

Πρόβλεψη τιμών συμβολαίων αθέτησης
πληρωμών με χρήση νευρο-ασαφών τεχνικών

Αικατερίνη Τσακαλάκη



2011

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της πτυχιακής μου Ατσαλάκη Γιώργο για την αμέριστη βοήθεια, συμπαράσταση, κατανόηση και συνεργασία, καθώς και τους καθηγητές, οι οποίοι αποτελούν τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής και συνέβαλαν σημαντικά στην πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής. Έπειτα, ευχαριστώ την οικογένεια μου η οποία τόσα χρόνια με στηρίζει και στέκεται πάντα δίπλα μου ως αρωγός σε κάθε προσπάθειά μου ώστε να γίνουν πραγματικότητα όλα τα όνειρα και οι στόχοι που έχω θέσει και με παροτρύνει πάντα με πολύ αγάπη και υπομονή να ατενίζω το μέλλον με αισιοδοξία. Επίσης, να ευχαριστήσω στενούς συγγενείς που ανέκαθεν μου συμπαραστέκονταν και χαίρονταν με την πρόοδο μου και ειδικότερα τις γιαγιάδες και τους παππούδες μου. Στη συνέχεια, θα ευχαριστήσω όλους τους φίλους και φίλες μου με τους οποίους μοιραστήκαμε κοινά όνειρα, στόχους, φιλοδοξίες, εμπειρίες, χαρές και λύπες και θα αναφέρω ενδεικτικά κάποια ονόματα, τα οποία είναι τα εξής: Ιωάννα, Βίκυ, Ναταλία, Έφη, Αργύρης, Στέφανος, Ευτύχης, Φωτεινή, Walid, Μαρία, Γιώργος, Στάθης, Κωνσταντίνος, Μαρία, Λευτέρης.....(ο κατάλογος μπορεί να συνεχιστεί για πολύ ακόμα οπότε ας μην παρεξηγηθούν αυτοί των οποίων τα ονόματα δεν αναφέρονται!). Τέλος, αυτή η πτυχιακή είναι αφιερωμένη στη μνήμη του πολυαγαπημένου μου παππού ο οποίος πάντα χαιρόταν να με βλέπει να προοδεύω και να φτάνω όσο πιο ψηλά γίνεται και αν ζούσε θα ήταν πολύ ευτυχισμένος να δει την εγγονή του να παρουσιάζει την πτυχιακή της και να παίρνει πτυχίο.

Περίληψη

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία γίνεται μια προσπάθεια πρόβλεψης των τιμών των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (credit default swaps) της Ελλάδας τις επόμενες μέρες, λαμβάνοντας υπόψη ημερήσιες τιμές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της Ελλάδας από τις 4/3/2003 έως τις 29/6/2011. Η πρόβλεψη γίνεται με τη μέθοδο ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), δηλαδή με μια προσαρμοστική μηχανή συμπερασμού νευρο-ασαφούς λογικής η οποία δέχεται ως είσοδο αυτές τις ημερήσιες τιμές και παράγει ως έξοδο την πρόβλεψη για τις τιμές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης τις επόμενες μέρες. Στόχος αυτής της διπλωματικής είναι η πρόβλεψη των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της Ελλάδας τις επόμενες μέρες με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και το μικρότερο δυνατό σφάλμα. Το υπόλοιπο μέρος της πτυχιακής δομείται ως εξής: Αρχικά, στην εισαγωγή περιγράφονται αναλυτικά τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (Credit Default Swaps-CDSs), δηλαδή τι είναι αυτά, τα χαρακτηριστικά τους, το ιστορικό τους και το κατά πόσο συνέβαλαν και σε τι βαθμό στην χρηματοπιστωτική κρίση του 2007. Έπειτα, ακολουθεί ανάλυση τριών μεθόδων, των νευρωνικών δικτύων, της ασαφούς λογικής αλλά και του συνδυασμού αυτών, ο οποίος αποτελεί και τη μέθοδο ANFIS με την οποία επιχειρείται να γίνει η πρόβλεψη των τιμών των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Τέλος, καταγράφονται οι ημερήσιες τιμές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της Ελλάδας που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι από τη μέθοδο ANFIS, καθώς και οι δοκιμές που έγιναν στο πρόγραμμα που δημιουργήθηκε και το οποίο περιγράφει τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη και το οποίο τρέχει σε περιβάλλον Matlab έτσι ώστε να βρεθούν οι παράμετροι, οι οποίες οδηγούν στην πρόβλεψη αυτών των τιμών με το μικρότερο σφάλμα και τη μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης, καταγράφονται κάποια συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα και τις δοκιμές με αυτή τη μεθοδολογία όσον αφορά την ικανότητα όσο το δυνατόν πιο ακριβούς πρόβλεψης, αλλά και μελλοντικές προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και βελτίωση των προβλέψεων που έγιναν με τη μέθοδο ANFIS σε αυτή τη διπλωματική.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Πίστωση και πιστωτικός κίνδυνος	1
Πιστωτικός κίνδυνος στις τράπεζες	3
Πιστωτικά παράγωγα.....	3
Συναλλαγές όπου η πιστωτική προστασία αγοράζεται και πουλιέται	4
Συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (Credit Default Swaps-CDSs).....	4
Ορισμός.....	4
Ιστορική αναδρομή και μέγεθος της αγοράς με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης.....	8
Κίνδυνοι που σχετίζονται με τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης	11
Νομοθεσία και τρέχουσα δομή αγοράς των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης	13
Απαιτήσεις σε κεφάλαιο και εγγύηση για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης	16
Αξιολόγηση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης	17
Κεφάλαιο περιθωρίου και ρυθμιστικό κεφάλαιο (Margin and Regulatory Capital).....	17
Συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έναντι εταιρικών ομολόγων και δευτερογενών δανείων	18
Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης	21
Η πτώση της AIG	25
Το νομοθετικό τοπίο πριν την AIG	25
Εξήγηση της κατάρρευσης της AIG	25
Συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και η οικονομική κρίση του 2007-2009.....	28
Ευρωπαϊκή νομοθετική απόκριση και χρήση οίκων εκκαθάρισης (clearing houses) των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης	29
Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης της Lehman	36
Θεωρητικό υπόβαθρο.....	39
Ασαφής λογική (Fuzzy Logic).....	39
Ιστορία	39
Ασαφή σύνολα	39
Συνεπαγωγές	39
Προσεγγιστικός συλλογισμός	40
Ασαφείς ελεγκτές.....	40
Ασαφοποίηση εισόδων	41
Μηχανισμός συμπερασμού	41
Αποασαφοποίηση εξόδων	42
Ανάλυση κανόνων	43
Συναρτήσεις συμμετοχής	43
Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks)	44
Ιστορία	44

Η Δομή-Σύντομη Περιγραφή.....	44
Συναρτήσεις Ενεργοποίησης.....	45
Αρχιτεκτονικές Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων.....	46
Εκπαίδευση-Μάθηση.....	46
Νεύρο-ασαφές συστήματα (υβριδικά συστήματα)	48
Χρήσιμες Πληροφορίες	48
Προσαρμοστικό νεύρο-ασαφές σύστημα εξαγωγής συμπεράσματος (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System-ANFIS).....	52
Η αρχιτεκτονική του ANFIS	52
Υβριδικός αλγόριθμος εκπαίδευσης	57
Εκτιμητής ελαχίστων τετραγώνων (least-squares estimator)	57
Οπισθοδρόμηση για πρώσο-τροφοδοτούμενα δίκτυα.....	59
Συνδυασμός βαθμωτής ελαχιστοποίησης και εκτιμητή ελαχίστων τετραγώνων.....	65
Περιορισμοί του ANFIS	67
Αξιολόγηση της πιστοληπτικής ικανότητας των κρατών (sovereign) και χρεωκοπίες (debt defaults).....	71
Αποτελέσματα από τη χρήση της μεθοδολογίας ANFIS.....	73
Επίλογος.....	81
Βιβλιογραφία.....	83

Εισαγωγή

Τα παράγωγα προϊόντα είναι συμβόλαια των οποίων η αξία προκύπτει από τον υποκείμενο τίτλο, δηλαδή ένα πρωτογενές χρηματοοικονομικό προϊόν που μπορεί να είναι ομόλογο, επιτόκιο, μετοχή, ξένο νόμισμα, δείκτης οργανωμένης αγοράς, εμπόρευμα (για παράδειγμα πετρέλαιο, ζάχαρη, χρυσός και άλλα). Ένα από τα πιο διαδεδομένα χρηματοοικονομικά παράγωγα είναι και οι ανταλλαγές (Swaps), στις οποίες συμπεριλαμβάνονται και τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (Credit Default Swaps-CDSs). Τα παράγωγα προϊόντα βρίσκουν αρκετά μεγάλη απήχηση λόγω της ικανότητάς τους να αντισταθμίζουν τους χρηματοοικονομικούς κινδύνους. Οι ανταλλαγές (Swaps) είναι συμβόλαια που καλύπτουν συμφωνίες μεταξύ δύο μερών όσον αφορά την ανταλλαγή εισροών ή εκροών στο μέλλον με όρους που συμφωνούνται από πριν. Οι ανταλλαγές δημιουργούνται και κινούνται κυρίως εκτός οργανωμένων αγορών (over-the-counter), δεν είναι τυποποιημένα προϊόντα, αλλά τα χαρακτηριστικά τους διαμορφώνονται από τους αντισυμβαλλόμενους έτσι ώστε να καλύπτουν επακριβώς τις ανάγκες τους και εκκαθαρίζονται με τη λογική ότι ο ένας αντισυμβαλλόμενος εισπράττει και ο άλλος καταβάλλει την τιμή του συμβολαίου. Οι πιο διαδεδομένες κατηγορίες ανταλλαγών (Swaps) είναι οι Ανταλλαγές Νομισμάτων (Currency Swaps) και οι Ανταλλαγές Επιτοκίων (Interest Rate Swaps).

Πίστωση και πιστωτικός κίνδυνος

Η διαχείριση του πιστωτικού κινδύνου υπήρξε πάντα το κύριο μέλημα στη χρηματοδότηση με τις εμπορικές τράπεζες και θα πρέπει κανείς να έχει πάντα κατά νου την ποιότητα των περιουσιακών στοιχείων καθώς επιφορτίζεται τους διάφορους τύπους κινδύνων. Η διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων έχει σημαντική επίδραση στη ρευστότητα ενάντια στη διαχείριση του ρίσκου. Η πίστωση αντιπροσωπεύει ένα δυναμικό οικονομικό σκεπτικό καθώς οι επιχειρήσεις, λόγω της αυξημένης παγκοσμιοποίησης, επεκτείνουν τις ικανότητές τους, αναβαθμίζουν την τεχνολογία τους και προσθέτουν προϊόντα στα χαρτοφυλάκια τους. Ο όρος αυτός ουσιαστικά σημαίνει ένα είδος υποστήριξης που παρέχεται από ένα δανειστή σε ένα δανειζόμενο με τη μορφή κάποιων πηγών, οι οποίες μπορεί να είναι χρήματα ή οποιαδήποτε άλλη μορφή αγαθών. Αυτός που δανειζεται αυτές τις πηγές μπορεί να μην εξοφλήσει το δανειστή αμέσως, αλλά μπορεί να συνεννοηθεί για κάποιο είδος αναβαλλόμενης πληρωμής του κεφαλαίου που έχει δανειστεί συν κάποιες αμοιβές ή αλλιώς τόκους, τα οποία θα εξοφληθούν στο δανειστή αντί:

- Του ρίσκου που έχει αυτός ο οποίος δανείζει τις πηγές και
- Αποζημίωσης του δανειστή για την αξία των χρημάτων με την πάροδο του χρόνου

Επομένως, ο όρος Πίστωση δίνει αυτομάτως αύξηση σε ένα άλλο φαινόμενο που ονομάζεται Πιστωτικός Κίνδυνος, ο οποίος περιγράφεται ως ο κίνδυνος της απώλειας από ένα πιστωτικό γεγονός με έναν αντισυμβαλλόμενο. Για παράδειγμα, ο κίνδυνος απώλειας στον οποίο εκτίθεται ένας δανειστής εάν ο δανειζόμενος δεν είναι ικανός να αποπληρώσει τις πιστωτικές του υποχρεώσεις. Οι δύο πιο σημαντικές αιτίες μιας πιστωτικής αποτυχίας είναι το παράπτωμα και η αφερεγγυότητα. Ενώ το παράπτωμα αναφέρεται στην αποτυχία να αποπληρώσει κανείς ένα δάνειο σε μια ληξιπρόθεσμη ημερομηνία, η αφερεγγυότητα ορίζεται ως μια κατάσταση όπου οι υποχρεώσεις ή παθητικό ενός δανειζόμενου ξεπερνούν τα περιουσιακά του στοιχεία ή ενεργητικό. Ορισμένες άλλες σημαντικές αιτίες πιστωτικού κινδύνου είναι οι εξής:

- Αντίθετη επιλογή, η οποία αναφέρεται σε μια κατάσταση όπου ο δανειζόμενος γνωρίζει περισσότερα σχετικά με την πιστοληπτική του ικανότητα από ότι ο δανειστής, δίνοντας στο δανειζόμενο ένα σημαντικό πλεονέκτημα, το οποίο ο δανειστής μπορεί να αντισταθμίσει μειώνοντας την έκθεσή του στο δανειζόμενο.
- Ηθικός κίνδυνος, ο οποίος αναφέρεται σε μια κατάσταση όπου ο δανειζόμενος έχει υπερβολικό ρίσκο έναντι των χρημάτων που έχει δανειστεί και επομένως βάζει τα χρήματα του δανειστή σε κίνδυνο.

Το γενικό μέτρο του πιστωτικού κινδύνου είναι η πιστωτική διαφορά (credit spread), η οποία είναι η διαφορά ανάμεσα στον τόκο που απαιτείται από το δανειστή έναντι του ποσού που δανείζει και στο μηδενικού κινδύνου επιτόκιο, το οποίο μπορεί να λάβει ο δανειστής. Όσο μεγαλύτερη είναι η πιστωτική διαφορά τόσο μεγαλύτερος είναι ο πιστωτικός κίνδυνος που σχετίζεται με το δανεισμό σε ένα συγκεκριμένο δανειζόμενο. Επίσης, το ποσοστό ανάκτησης είναι εκείνο το οποίο μετράει την έκταση στην οποία μπορεί η αγοραία αξία μιας υποχρέωσης να ανακτηθεί εάν ο δανειζόμενος αποτύχει και έχει σημασία στην περίπτωση μιας πιστωτικής αποτυχίας. Ένας δανειστής μπορεί συχνά να κρίνει την πιθανή πιστωτική ζημία με την οποία έρχεται αντιμέτωπος χρησιμοποιώντας ορισμένες άλλες πτυχές που ονομάζονται Έκθεση σε Αποτυχία, Πιθανότητα Αποτυχίας και Αποτυχία Δεδομένης Απώλειας και ορίζονται ως εξής:

- Η Έκθεση σε Αποτυχία (Exposure at Default-EAD) αναφέρεται στο ποσό στο οποίο ο δανειστής είναι εκτεθειμένος τη στιγμή της αποτυχίας από την πλευρά του αντισυμβαλλόμενου.
- Η Πιθανότητα Αποτυχίας (Probability of Default-PD) υποδεικνύει το βαθμό πιθανότητας που έχει ο δανειζόμενος να μην είναι ικανός να πραγματοποιήσει τις απαραίτητες αποπληρωμές στο ληξιπρόθεσμο χρόνο.
- Η Αποτυχία Δεδομένης Απώλειας (Loss Given Default-LGD) μετράει το ποσό που θα χάσει ο δανειστής στην περίπτωση μιας αποτυχίας από την πλευρά του δανειζόμενου.

Ωστόσο, για να εξαλειφθεί ο πιστωτικός κίνδυνος από τέτοιες συναλλαγές, μια διαδικασία που ονομάζεται Διαχείριση Πιστωτικού Κινδύνου γίνεται δημοφιλής στους δανειστές και ειδικότερα στις τράπεζες. Ένα από τα πιο σημαντικά βήματα στη Διαχείριση Πιστωτικού Κινδύνου είναι η Αξιολόγηση Πιστοληπτικής Ικανότητας, η οποία πραγματοποιείται από τους οργανισμούς αξιολόγησης πιστοληπτικής ικανότητας με σκοπό να αναγνωριστεί η πιστοληπτική ικανότητα ενός δανειζόμενου έτσι ώστε ένας δανειζόμενος που βαθμολογείται υψηλότερα στην Αξιολόγηση Πιστοληπτικής Ικανότητας είναι λιγότερο επιρρεπής στο να αποτύχει στις αποπληρωμές των υποχρεώσεών του, ενώ ένας δανειζόμενος που βαθμολογείται χαμηλά στην Αξιολόγηση Πιστοληπτικής Ικανότητας είναι περισσότερο επιρρεπής στο να αποτύχει στις αποπληρωμές. Επομένως, η Αξιολόγηση Πιστοληπτικής Ικανότητας βοηθάει στην ποσοτικοποίηση του Πιστωτικού Κινδύνου που σχετίζεται με το δανεισμό σε ένα συγκεκριμένο δανειζόμενο. Όμως, δεδομένων των οικονομικών κρίσεων που έχουμε αντιμετωπίσει όλα αυτά τα χρόνια, η αξιοπιστία των οργανισμών αξιολόγησης πιστοληπτικής ικανότητας υπόκειται σε έλεγχο καθώς δεν μπορούσαν να βαθμολογήσουν αποτελεσματικά διάφορους πτωχευμένους (sovereign) δανειζόμενους, προκαλώντας αποτυχίες, οι οποίες οδήγησαν σε πλήθος χρημάτων των φορολογούμενων να χαθούν παρέχοντας κίνητρο στην προβληματική οικονομία. Το άλλο ουσιαστικό κομμάτι της Διαχείρισης Πιστωτικού Κινδύνου είναι η μείωση του πιστωτικού κινδύνου, η οποία διενεργείται πρωτίστως με τη βοήθεια της τιτλοποίησης στοιχείων ενεργητικού και των πιστωτικών προϊόντων. Η τιτλοποίηση στοιχείων ενεργητικού αναφέρεται σε μια συναλλαγή όπου εκδίδονται οικονομικά χρεόγραφα έναντι των ταμειακών ροών που παράγονται από ένα χαρτοφυλάκιο περιουσιακών στοιχείων. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, η τράπεζα που έχει γεννήσει τα περιουσιακά στοιχεία, μεταφέρει την ιδιοκτησία τέτοιων περιουσιακών στοιχείων στο Ειδικού Σκοπού Όχημα (Special Purpose Vehicle-SPV), το οποίο δημιουργήθηκε ειδικά για αυτό το σκοπό. Το Ειδικού Σκοπού Όχημα εκδίδει τα οικονομικά χρεόγραφα στους επενδυτές και έχει την ευθύνη να εξυπηρετεί τους τόκους και τις αποπληρωμές επί τέτοιων οικονομικών μέσων.

Από την άλλη πλευρά, τα Πιστωτικά Παράγωγα (Credit Derivatives-CDs), τα οποία ξεκίνησαν ως μέσα μείωσης του ρίσκου το 1991 από τον Merrill Lynch, είναι εκτός οργανωμένων αγορών (over the counter-OTC) οικονομικά συμβόλαια που μεταφέρουν κινδύνους σχετικούς με πιστωτικά περιουσιακά στοιχεία χωρίς να μεταφέρουν τα υποκείμενα περιουσιακά στοιχεία από τα βιβλία του δημιουργού. Ως εκ τούτου,

θεωρούνται ως εκτός ισολογισμού οικονομικά μέσα. Τα Πιστωτικά Παράγωγα επιτρέπουν στον τραπεζικό δανεισμό τα εξής:

- Να μεταφέρει τον πιστωτικό κίνδυνο και να ελευθερώσει το κεφάλαιο ώστε να χρησιμοποιηθεί σε άλλες ευκαιρίες.
- Να διαφοροποιήσει τον πιστωτικό κίνδυνο.
- Να διατηρήσει τις σχέσεις με τους πελάτες.
- Να κατασκευάσει και να διαχειριστεί ένα χαρτοφυλάκιο πιστωτικού κινδύνου σύμφωνα με την δική του προτίμηση του κινδύνου.

Πιστωτικός κίνδυνος στις τράπεζες

Η πίστωση, τώρα, έχει γίνει η ενασχόληση των τραπεζών και η πρωταρχική βάση πάνω στην οποία κρίνονται η επίδοση και η ποιότητα μιας τράπεζας. Ενώ η ποιότητα των περιουσιακών στοιχείων, για παράδειγμα η ποιότητα των δανείων, αντανakλά κατευθείαν την ποιότητα της διαχείρισης μιας τράπεζας, επίσης εξαρτάται κάποιες φορές από τους κυβερνητικούς κανονισμούς, το μακροοικονομικό σενάριο και τη φύση της τραπεζικής ιδιοκτησίας. Αλλά παρά τις εξωτερικές επιρροές, η διαχείριση του πιστωτικού κινδύνου από μια τράπεζα είναι μια ουσιώδης συνιστώσα καθώς γίνεται ανάλυση του χαρτοφυλακίου δανείων της τράπεζας και της οικονομικής της επίδοσης. Η ανάληψη κινδύνων είναι κεντρική για τις τράπεζες αλλά είναι επαρκής μόνο όταν αυτοί οι κίνδυνοι είναι λογικοί, ελεγχόμενοι και εντός των οικονομικών πόρων και της πιστωτικής ικανότητας της τράπεζας. Τα περιουσιακά στοιχεία, πρωτίστως τα δάνεια, πρέπει να είναι αρκετά ρευστά έτσι ώστε να μπορούν να καλύψουν τις αποσύρσεις, τις δαπάνες και τις ζημίες και όμως να αποκομίζουν ένα σημαντικό κέρδος για τις τράπεζες, το οποίο μπορεί να αποζημιώσει τους μετόχους της τράπεζας. Επομένως, η διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων γίνεται πεμπτούσια για μια τράπεζα όχι μόνο για να έχουν κέρδος αλλά και για να επιβιώσουν. Ο πιστωτικός κίνδυνος είναι ένας από τους κινδύνους στους οποίους οι τράπεζες βρίσκονται συνεχώς και σε μεγάλο βαθμό εκτεθειμένες. Για αυτό το λόγο, η αποτελεσματική διαχείριση του πιστωτικού κινδύνου γίνεται εξαιρετικά σημαντική για μια τράπεζα ούτως ώστε να διασφαλίσει την ισχυρή οικονομική της υγεία.

Πιστωτικά παράγωγα

Όπως αναφέρθηκε πριν, τα πιστωτικά παράγωγα χρησιμοποιούνται για τη μείωση και τη διαχείριση του πιστωτικού κινδύνου που αντιμετωπίζει ένας δανειστής. Στο πλαίσιο μιας τέτοιας συναλλαγής, ένας αγοραστής προστασίας εισέρχεται σε μια συμφωνία με ένα πωλητή προστασίας ώστε να μεταφερθεί ο πιστωτικός κίνδυνος σε σχέση με μια ονομαστική αξία του περιουσιακού στοιχείου αναφοράς, συμφωνώντας να πληρώνει τακτικά ασφάλιστρα στον πωλητή προστασίας. Στην περίπτωση ενός πιστωτικού γεγονότος (καθυστερήσεων, αποτυχίας, κατάσχεσης, προπληρωμής και άλλα) που λαμβάνει χώρα σε σχέση με μια υποχρέωση αναφοράς, στο πλαίσιο ενός διακανονισμού, ο πωλητής προστασίας αποζημιώνει τον αγοραστή προστασίας για τις ζημίες που πραγματοποιήθηκαν ως αποτέλεσμα του πιστωτικού γεγονότος. Ο διακανονισμός μπορεί να είναι ένας φυσικός διακανονισμός, ένας διακανονισμός τοις μετρητοίς ή ένας διακανονισμός σταθερού ποσού και ορίζονται ως εξής:

- Στον φυσικό διακανονισμό (physical settlement), ο αγοραστής προστασίας παραδίδει το περιουσιακό στοιχείο αναφοράς στον πωλητή προστασίας και σε αντάλλαγμα ο πωλητής προστασίας πληρώνει την ονομαστική αξία συν τους δεδουλευμένους τόκους του περιουσιακού στοιχείου αναφοράς.
- Στον διακανονισμό τοις μετρητοίς (cash settlement), ο πωλητής προστασίας πληρώνει στον αγοραστή προστασίας τη ζημία που αυτός υπέστη, δηλαδή τη διαφορά ανάμεσα στην ονομαστική αξία συν τους δεδουλευμένους τόκους και στην αγοραία αξία της αποτυχημένης υποχρέωσης αναφοράς ή των εκτιμώμενων ανακτήσεων (estimated recoveries).

- Στον διακανονισμό σταθερού ποσού (fixed amount settlement), ο αγοραστής προστασίας πληρώνεται ένα σταθερό ποσό από τον πωλητή προστασίας.

Τα πιστωτικά παράγωγα μπορούν να χωριστούν σε δύο ευρύτερες κατηγορίες, δηλαδή:

- Συναλλαγές όπου η πιστωτική προστασία αγοράζεται και πουλιέται.
- Ανταλλαγές συνολικής απόδοσης.

Συναλλαγές όπου η πιστωτική προστασία αγοράζεται και πουλιέται

Σε αυτές τις συναλλαγές ανήκουν και τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (Credit Default Swaps-CDSs), τα οποία θα εξεταστούν σε αυτή την πτυχιακή εργασία. Παρακάτω θα δοθεί ο ορισμός τους και στη συνέχεια θα καταγραφούν τα χαρακτηριστικά τους, το ιστορικό τους και το κατά πόσο συνέβαλαν και σε τι βαθμό στην χρηματοπιστωτική κρίση του 2007.

Συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (Credit Default Swaps-CDSs)

Ορισμός

Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι οι πιο δημοφιλείς τύποι πιστωτικών παραγώγων και τα πιο συχνά διαπραγματευόμενα πιστωτικά παράγωγα, συλλαμβάνοντας σχεδόν το 45% των μεριδίων αγοράς. Επίσης, θεωρούνται από πολλούς ίσως η πιο σημαντική και επιτυχημένη οικονομική καινοτομία της τελευταίας δεκαετίας. Σύμφωνα με την έκδοση <<Έκθεση για τη Χρηματοπιστωτική Σταθερότητα>> της Τράπεζας της Ελλάδος, είναι παράγωγα προϊόντα τα οποία συνδέονται με τον πιστωτικό κίνδυνο συγκεκριμένων υποκείμενων περιουσιακών στοιχείων (συνήθως ομολόγων και δανείων) και λειτουργούν ως ένα είδος εξασφάλισης του αγοραστή ενός τέτοιου προϊόντος, καθώς ο πωλητής του προϊόντος αναλαμβάνει, έναντι ασφάλιστρου, να αποζημιώσει τον αγοραστή σε περίπτωση αθέτησης των υποχρεώσεων του εκδότη του υποκείμενου στοιχείου. Τα συμβόλαια αυτά αποτελούν ένα εργαλείο μετάθεσης του πιστωτικού κινδύνου ενός περιουσιακού στοιχείου αναφοράς (reference asset) από έναν επενδυτή σε έναν άλλον χωρίς να μεταβιβάζεται και η κυριότητα του στοιχείου αυτού. Πιο συγκεκριμένα, το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (credit default swap-CDS) είναι ένα διμερές συμβόλαιο παραγώγου επί ενός ή περισσότερων περιουσιακών στοιχείων αναφοράς, στο οποίο ο αγοραστής προστασίας πληρώνει μια αμοιβή που ονομάζεται ασφάλιστρο, κατά τη διάρκεια της ζωής του συμβολαίου σε αντάλλαγμα για την εξόφληση ενός πιστωτικού γεγονότος από τον πωλητή προστασίας, η οποία ακολουθεί μετά από ένα πιστωτικό γεγονός των οντοτήτων αναφοράς. Η οντότητα αναφοράς μπορεί να είναι μια εταιρία ή μια κυβέρνηση, αλλά θα μπορούσε επίσης να είναι ένα ομόλογο μιας εξασφαλισμένης δανειακής υποχρέωσης (collateralized debt obligation's-CDO bond), το οποίο ονομάζεται ένα χρεόγραφο εξασφαλισμένο με περιουσιακά στοιχεία (asset backed security-ABS). Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο αγοραστής προστασίας πραγματοποιεί περιοδικές πληρωμές στον πωλητή προστασίας. Η περιοδική πληρωμή εκφράζεται τυπικά από την άποψη του περιθωρίου του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (CDS Spread), το ετησιοποιημένο ποσοστό του ονομαστικού ποσού μιας συναλλαγής. Στην περίπτωση που κανένα προκαθορισμένο πιστωτικό γεγονός δεν λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια ζωής της συναλλαγής, ο πωλητής προστασίας λαμβάνει τις περιοδικές πληρωμές σαν αποζημίωση για το γεγονός ότι υποθέτει τον πιστωτικό κίνδυνο για την οντότητα/υποχρέωση αναφοράς. Αντίθετα, στην περίπτωση που οποιοδήποτε από τα πιστωτικά γεγονότα λάβει χώρα κατά τη διάρκεια ζωής της συναλλαγής, ο αγοραστής προστασίας θα λάβει μια πληρωμή για αυτό το πιστωτικό γεγονός η οποία θα εξαρτηθεί από το εάν οι όροι του συγκεκριμένου συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης κάνουν λόγο για φυσικό διακανονισμό, διακανονισμό τοις μετρητοίς ή διακανονισμό σταθερού ποσού. Με λίγες εξαιρέσεις, το νομικό πλαίσιο ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης- αυτό είναι, τα έγγραφα που αποδεικνύουν τη συναλλαγή-

είναι βασισμένο πάνω σε ένα έγγραφο επιβεβαίωσης και νομικούς ορισμούς που διατυπώνονται από τη Διεθνή Ένωση Ανταλλαγών και Παραγώγων (International Swaps and Derivatives Association-ISDA).

Οι διαφορετικοί τύποι συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι οι εξής:

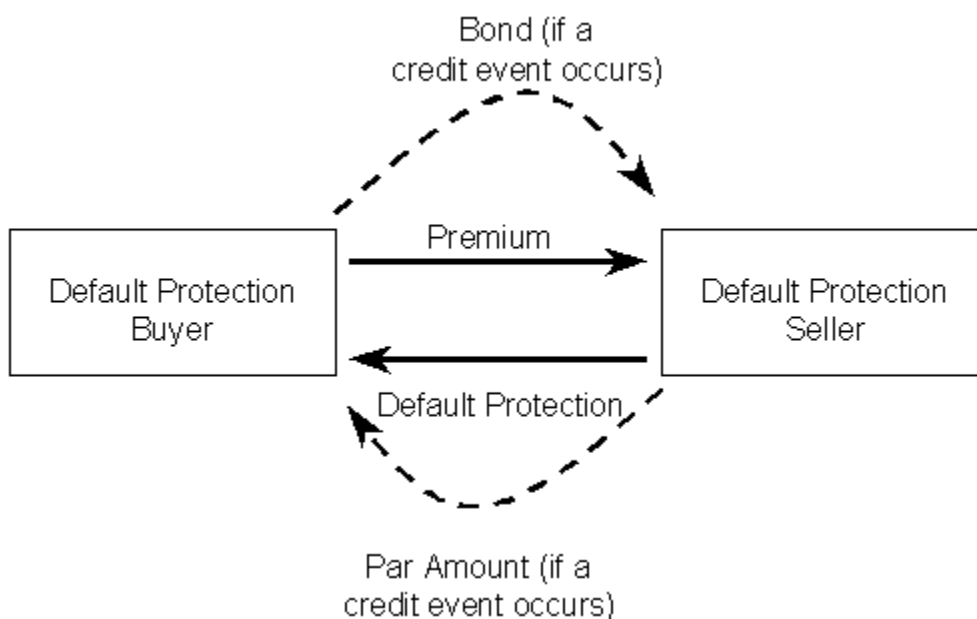
- Συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (CDS): Υποδηλώνει ότι οι υποκείμενες οντότητες αναφοράς και υποχρεώσεις είναι ανώτερα ακάλυπτα ομόλογα που εκδίδονται από εταιρικούς ή κυρίαρχους εκδότες.
- Συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μόνο για δάνεια (LCDS): Αναφέρεται σε συμβόλαια όπου η προστασία αγοράζεται και πουλιέται σε κοινοπρακτικά εξασφαλισμένα δάνεια μόχλευσης (syndicated secured leveraged loans). Αυτά είναι υψηλότερα όσον αφορά τη διάρθρωση του κεφαλαίου (και με υψηλότερα ποσοστά ανάκτησης) από τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης.
- Συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης για δήμους (MCDS): Η οντότητα αναφοράς είναι ένας δήμος και η υποχρέωση αναφοράς είναι ένα δημοτικό ομόλογο.
- Συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης για περιουσιακά στοιχεία που προέρχονται από τιτλοποίηση (ABCDS): Συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης για δομημένα χρεόγραφα (τυπικά, χρεόγραφα εξασφαλισμένα με περιουσιακά στοιχεία-asset backed securities).
- Προνομιούχο συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης: Συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης για preferreds.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (CDS) υπάρχουν δύο είδη, το single-name συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και το basket συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και ορίζονται ως εξής:

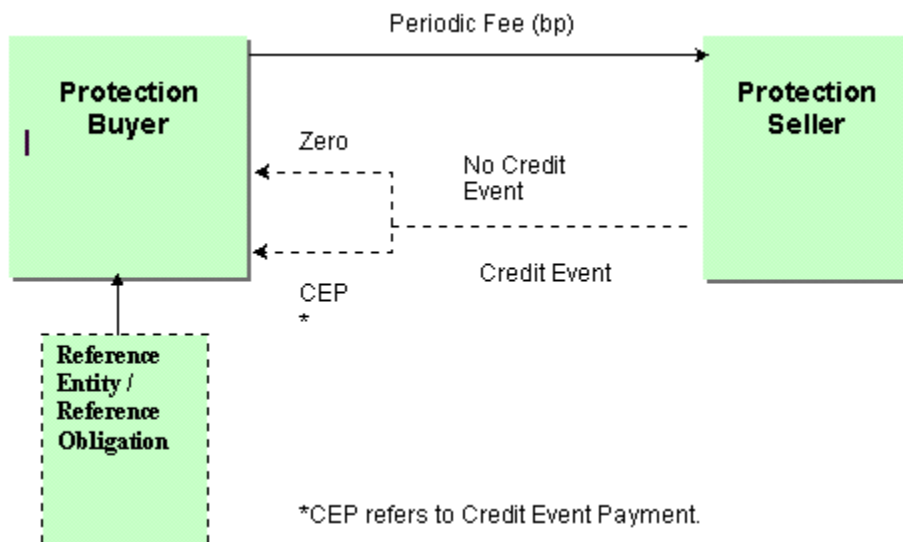
- Ένα single-name συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχει μόνο μια οντότητα αναφοράς. Στην περίπτωση απουσίας πιστωτικού γεγονότος, ο αγοραστής προστασίας θα πραγματοποιεί τριμηνιαίες πληρωμές ασφαλιστρών κατά τη διάρκεια ζωής της ανταλλαγής. Εάν λάβει χώρα ένα πιστωτικό γεγονός, δύο πράγματα συμβαίνουν. Κατ' αρχάς, ο αγοραστής προστασίας πληρώνει το δεδουλευμένο ασφάλιστρο από την ημερομηνία της τελευταίας πληρωμής μέχρι τη χρονική στιγμή του πιστωτικού γεγονότος, σε μια βάση κλάσματος ημέρας. Μετά από αυτή την πληρωμή, δεν υπάρχουν περαιτέρω πληρωμές του ασφάλιστρου της ανταλλαγής από τον αγοραστή προστασίας στον πωλητή προστασίας. Δεύτερον, μια τιμή τερματισμού καθορίζεται για την ανταλλαγή και η διαδικασία εξαρτάται από τους όρους διακανονισμού που προσδιορίζονται στην τεκμηρίωση της συναλλαγής. Αυτή θα είναι είτε φυσικός διακανονισμός ή διακανονισμός τοις μετρητοίς και η πρακτική της αγοράς για τα single-name συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι ο φυσικός διακανονισμός. Με το φυσικό διακανονισμό ο αγοραστής προστασίας παραδίδει ένα καθορισμένο ποσό της ονομαστικής αξίας των ομολόγων της οντότητας αναφοράς στον πωλητή προστασίας. Ο πωλητής προστασίας πληρώνει στον αγοραστή προστασίας την ονομαστική αξία των ομολόγων.
- Σε ένα basket συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, υπάρχουν περισσότερες από μια οντότητες αναφοράς. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι basket συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης βασισμένοι στο πότε ο πωλητής προστασίας είναι υποχρεωμένος να πραγματοποιήσει μια πληρωμή στον αγοραστή προστασίας. Είναι ταξινομημένοι ως N-οστές να αποτύχουν (N-th-to-default) ανταλλαγές, υποδεέστερα basket συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και ανώτερα basket συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Για παράδειγμα, σε μια N-οστή να αποτύχει ανταλλαγή, ο πωλητής προστασίας πραγματοποιεί μια πληρωμή στον αγοραστή προστασίας μόνο μετά που θα έχει υπάρξει μια αποτυχία για την N-οστή οντότητα αναφοράς και καμία πληρωμή για τις αποτυχίες των πρώτων (N-1) οντοτήτων αναφοράς. Άπαξ και υπάρχει μια πληρωμή για την N-οστή οντότητα

αναφοράς, η ανταλλαγή τερματίζει. Σε αντίθεση με ένα single-name συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, ο προτιμώμενος όρος διακανονισμού για ένα basket συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι ο διακανονισμός τοις μετρητοίς. Με το διακανονισμό τοις μετρητοίς, ο πωλητής προστασίας πληρώνει στον αγοραστή προστασίας ένα ποσό ίσο με τη διαφορά ανάμεσα στην ονομαστική αξία των ομολόγων και στην αγοραία αξία τους μετά την αποτυχία.

Εάν λάβει χώρα ένα πιστωτικό γεγονός και εφαρμοστεί φυσικός διακανονισμός, η συναλλαγή θα επιταχυνθεί και ο αγοραστής προστασίας θα παραδώσει τις παραδοτέες υποχρεώσεις (για παράδειγμα, ένα ομόλογο) στον πωλητή προστασίας έναντι της πληρωμής ενός προσυμφωνημένου ποσού. Εάν λάβει χώρα ένα πιστωτικό γεγονός και εφαρμοστεί διακανονισμός τοις μετρητοίς, η συναλλαγή θα επιταχυνθεί και ο πωλητής προστασίας θα πληρώσει στον αγοραστή προστασίας την υπέρβαση της ονομαστικής αξίας των παραδοτέων υποχρεώσεων στην ημερομηνία έναρξης πάνω από την επικρατούσα αγοραία αξία των παραδοτέων υποχρεώσεων σε περίπτωση επέλευσης του πιστωτικού γεγονότος. Η διαδικασία για τον καθορισμό της αγοραίας αξίας των παραδοτέων υποχρεώσεων βασίζεται πάνω στους καθορισμούς της Διεθνούς Ένωσης Ανταλλαγών και Παραγώγων (International Swaps and Derivatives Association-ISDA) ή μπορεί να καθοριστεί στη σχετική επιβεβαίωση και σε κάποιες περιπτώσεις πληρώνεται ένα προκαθορισμένο ποσό που συμφωνήθηκε και από τα δύο μέρη στην έναρξη της συναλλαγής. Οι δομές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης με φυσικό διακανονισμό και των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης με διακανονισμό τοις μετρητοίς φαίνονται στις παρακάτω εικόνες αντίστοιχα:



Συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης με φυσικό διακανονισμό



Συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης με διακανονισμό τοις μετρητοίς

Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μεταφέρουν το ρίσκο που έχει μια συγκεκριμένη ατομική οντότητα να αποτύχει, από τον αγοραστή προστασίας στον πωλητή προστασίας σε αντάλλαγμα για την πληρωμή ενός ασφάλιστρου. Συνήθως, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχουν μια λήξη ενός έως δέκα χρόνων με την περισσότερη ρευστότητα να συγκεντρώνεται σε ένα ορίζοντα πέντε χρόνων. Οι πληροφορίες μιας συναλλαγής με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης καταγράφονται στο συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, το οποίο βασίζεται συνήθως πάνω σε μια τυποποιημένη συμφωνία που προετοιμάζεται από τη Διεθνή Ένωση Ανταλλαγών και Παραγώγων, μια ένωση των μεγαλύτερων συμμετεχόντων στην αγορά. Το συμβόλαιο καθορίζει όλα τα πιστωτικά γεγονότα όπου ο πωλητής προστασίας χρειάζεται να αποζημιώσει τον αγοραστή προστασίας. Τυπικά περιλαμβάνονται τα εξής πέντε γεγονότα:

- Η οντότητα αναφοράς αποτυγχάνει να πραγματοποιήσει τις υποχρεώσεις πληρωμής όταν αυτές είναι ληξιπρόθεσμες.
- Χρεωκοπία
- Αποκήρυξη/Χρεοστάσιο (moratorium)
- Σημαντική αρνητική αναδιάρθρωση του χρέους
- Επιτάχυνση ή Αθέτηση της υποχρέωσης

Σε μια συναλλαγή με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, το ασφάλιστρο, το οποίο λαμβάνει ο πωλητής προστασίας εκφράζεται ως ένα ετησιοποιημένο ποσοστό της ονομαστικής αξίας της συναλλαγής και αυτή η αξία καταγράφεται ως η τιμή αγοράς του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης σε βάσεις δεδομένων όπως το Bloomberg. Ο αγοραστής προστασίας πραγματοποιεί αυτές τις πληρωμές τριμηνιαίως στον πωλητή προστασίας μέχρι τη λήξη του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ή μέχρι να λάβει χώρα ένα πιστωτικό γεγονός. Η πληρωμή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την απόδοση της ανταλλαγής (swap spread). Εισηγμένη σε μονάδες βάσης ή 0.01% (100 μονάδες βάσης=1%), μια απόδοση 180 μονάδων βάσης για παράδειγμα, συνεπάγεται ότι ο αγοραστής προστασίας θα πληρώσει 18,000 δολάρια ανά έτος για να ασφαλίσει 1 εκατομμύριο δολάρια την αξία της ονομαστικής αξίας. Μια υψηλότερη απόδοση, κρατώντας άλλους παράγοντες σταθερούς, υποδηλώνει μεγαλύτερη πιθανότητα αποτυχίας. Οι ταμειακές ροές από τους αγοραστές προστασίας στους πωλητές προστασίας και αντίστροφα ονομάζονται <<πόδια αθέτησης (default legs)>> και <<πόδια τοκομεριδίου (coupon legs)>> αντίστοιχα.

Οι γενικές χρήσεις ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι οι εξής:

- Για να αγοράσει ένας αγοραστής προστασίας προστασία που αφορά συγκεκριμένα δάνεια ή προόδους ή επενδύσεις και όπου ο αγοραστής προστασίας έχει μια έκθεση σε πιστωτικό κίνδυνο.
- Για να πουλήσει ένας πωλητής προστασίας προστασία που αφορά συγκεκριμένα δάνεια ή προόδους ή επενδύσεις και όπου ο αγοραστής προστασίας έχει μια έκθεση σε πιστωτικό κίνδυνο.
- Για να έχουν κέρδος οι κερδοσκόποι από το όργανο που συναλλάσσεται με το να στοιχηματίζουν για την πιθανότητα αποτυχίας της οντότητας αναφοράς.

Πιο συγκεκριμένα, οι χρήσεις ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης όσον αφορά την αντιστάθμιση αλλά και την επένδυση είναι οι εξής:

- Αντιστάθμιση:

- Το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης επιτρέπει στις επιχειρήσεις που περιορίζονται από άποψη κεφαλαίου ή έκθεσης σε πίστωση (οι τράπεζες για παράδειγμα) να ελευθερώσουν την χωρητικότητά (capacity) τους ώστε να διευκολυνθούν να κάνουν περισσότερη δουλειά.
- Το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μπορεί να είναι ένα όχημα θέσης σύντομης πίστωσης (short credit positioning vehicle). Είναι ευκολότερο να αγοράσει κανείς πιστωτική προστασία από σύντομα ομόλογα (short bonds).
- Για το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μόνο για δάνεια (LCDS), οι αντισυμβαλλόμενοι μπορούν να εκχωρήσουν τον πιστωτικό κίνδυνο των τραπεζικών δανείων χωρίς να απαιτείται η συγκατάθεση του δανειστή και ως εκ τούτου το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μόνο για δάνεια (LCDS) μειώνει την έκθεση της τράπεζας στον πιστωτικό κίνδυνο χωρίς να καταστρέφει τις σχέσεις με τους πελάτες.
- Το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ενδέχεται να επιτρέπει στους χρήστες να αποφύγουν την πυροδότηση επιπτώσεων όσον αφορά τους φόρους και την λογιστική, η οποία προκύπτει από την πώληση περιουσιακών στοιχείων.

- Επένδυση

- Οι επενδυτές λαμβάνουν θέση για την χειροτέρευση ή τη βελτίωση της πιστωτικής ποιότητας μιας πιστωτικής αναφοράς.
- Το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης προσφέρει την ευκαιρία να λάβει κανείς θέση καθαρώς για την πίστωση.
- Το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης προσφέρει πρόσβαση σε δυσεύρετη πίστωση (περιορισμένη προμήθεια ομολόγων, μικρό συνδικάτο).
- Το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης επιτρέπει στους επενδυτές να επενδύουν σε ξένες πιστώσεις χωρίς να φέρουν ανεπιθύμητο συναλλαγματικό κίνδυνο.

Ιστορική αναδρομή και μέγεθος της αγοράς με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης

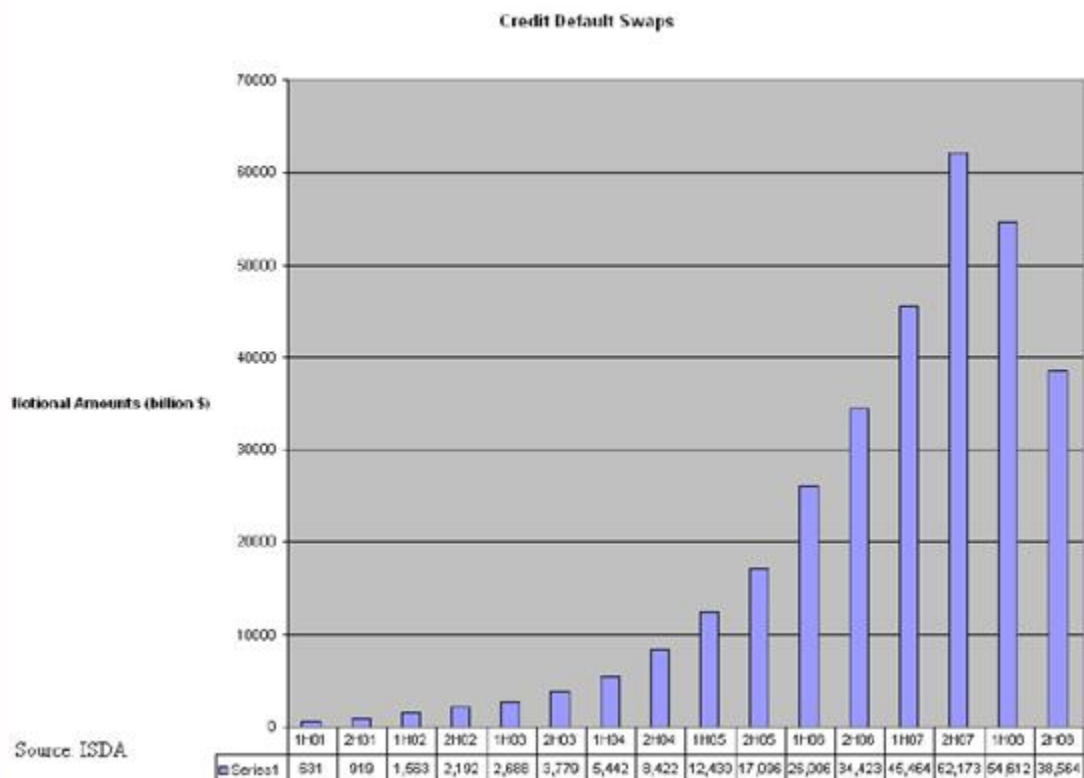
Η ανάπτυξη των πιστωτικών παραγώγων τα τελευταία δέκα χρόνια έχει επιφέρει συγκεκριμένες καινοτομίες στις αγορές. Γενικά, η οικονομική καινοτομία οδήγησε στη δημιουργία των πιστωτικών παραγώγων ούτως ώστε να διαχειρίζονται τον πιστωτικό κίνδυνο. Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης εφευρέθηκαν και δημιουργήθηκαν από την ομάδα της J.P. Morgan που είναι υπεύθυνη για τα παράγωγα προϊόντα το 1994 για να επιτρέπεται σε μια τράπεζα να μειώσει την απαίτηση σε αποθεματικό κεφαλαίου, το οποίο βασίζεται πάνω στο χαρτοφυλάκιο δανείων της τράπεζας. Συγκεκριμένα, εφευρέθηκαν από την J.P. Morgan μέσα σε ένα σαββατοκύριακο στο tony Boca Raton Resort & Club το 1994 κατά τη διάρκεια

ενός <<Εκτός της Μονάδας Σαββατοκύριακου (Off-site Weekend)>>, όπως είναι γνωστό στον οικονομικό κόσμο. Ενώ το 1994 σηματοδότησε την άφιξη των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, η Διεθνής Ένωση Ανταλλαγών και Παραγώγων αναφέρει ότι δεν ήταν παρά μόνο μέχρι το 2002 όπου ο αριθμός των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης άρχισε να εξαπλώνεται ραγδαία πέρα από τις τράπεζες που αντισταθμίζουν την έκθεσή τους σε μεγάλους θεσμικούς δανειζόμενους. Η εξάπλωση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης που ξεκίνησε το 2002 αποδίδεται στην, ανάμεσα σε άλλα πράγματα, προστασία που παρέχουν αυτά και η οποία αγοράζεται από τα καταπιστεύματα που κατέχουν εξασφαλισμένα ομόλογα χρέους (collateralized debt obligations-CDOs). Τον Ιανουάριο του 2009 η Επιτροπή Χρεογράφων και Ανταλλαγών (Securities and Exchange Commission) σημείωσε ομοίως ότι τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δημιουργήθηκαν για να ανταποκριθούν στη ζήτηση των τραπεζικών ινστιτούτων που ψάχνουν να αντισταθμίσουν και να διαφοροποιήσουν τον πιστωτικό κίνδυνο, ο οποίος συνοδεύει τις δανειοδοτικές τους δραστηριότητες. Παρ'όλα αυτά, τα τελευταία χρόνια η Επιτροπή δήλωσε ότι οι όγκοι της αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχουν αυξηθεί ραγδαία και αυτή η αύξηση συμπίπτει με τη σημαντική αύξηση στους τύπους και τον αριθμό των οντοτήτων που συμμετέχουν στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και περιλαμβάνουν ασφαλιστικές εταιρίες, ταμεία συντάξεων (pension funds), χρηματιστηριακές εταιρίες και αντισταθμιστικά κεφάλαια (hedge funds).

Κάποιος μπορεί να σκεφτεί το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ως ένα ασφαλιστικό συμβόλαιο έναντι κακού χρέους. Η δημοτικότητα των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης εξερράγη την τελευταία δεκαετία και αυτό είχε μια βαθιά επίδραση στις αιτίες της τρέχουσας οικονομικής κρίσης. Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχουν μια πληθώρα χρήσεων, αλλά έχουν λάβει εκτεταμένη κριτική. Έρευνες υποδηλώνουν ότι το θεωρητικό ποσό των πιστωτικών παραγώγων παγκοσμίως έφτασε τα 8.4 τρισεκατομμύρια δολάρια στο τέλος του 2004, περισσότερο από τέσσερις φορές το μέγεθος της αγοράς ομολόγων επενδυτικού βαθμού που είναι 2 τρισεκατομμύρια δολάρια και δύο φορές το μέγεθος της αγοράς παραγώγων που αφορούν το σύνολο των ιδίων κεφαλαίων και είναι 4.15 τρισεκατομμύρια δολάρια. Ειδικότερα, σύμφωνα με δεδομένα έρευνας από την Τράπεζα για Διεθνείς Διακανονισμούς (Bank for International Settlements) το συνολικό θεωρητικό ποσό της αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήταν 6 τρισεκατομμύρια δολάρια το 2004, 57 τρισεκατομμύρια δολάρια τον Ιούνιο του 2008 και 41 τρισεκατομμύρια δολάρια στο τέλος του 2008. Η αύξηση στα πιστωτικά παράγωγα μπορεί να αποδοθεί σε τέσσερις συμμετέχοντες στην αγορά. Η μεγαλύτερη ομάδα στην αγορά πιστωτικών παραγώγων αποτελείται από μεγάλες εμπορικές τράπεζες που είναι καθαροί αγοραστές της προστασίας με πιστωτικά παράγωγα. Παραδοσιακά, η δουλειά μιας τράπεζας περιλαμβάνει πιστωτικό κίνδυνο έστω και μόνο λόγω των πηγών εταιρικών δανείων. Σε αντίθεση με τις τιτλοποιήσεις, τα πιστωτικά παράγωγα προσφέρουν στις τράπεζες ένα ελκυστικό τρόπο να μεταφέρουν τον πιστωτικό κίνδυνο χωρίς να μετακινούν τα δάνεια από τους ισολογισμούς τους και χωρίς την άμεση συμμετοχή των δανειζόμενων. Επιπλέον, τα συμβόλαια πιστωτικών παραγώγων επιτρέπουν στις τράπεζες να διαφοροποιούν τα χαρτοφυλάκια τους, τα οποία συχνά είναι συγκεντρωμένα σε συγκεκριμένες βιομηχανίες ή γεωγραφικές περιοχές. Οι ασφαλιστικές εταιρίες αποτελούν τη δεύτερη μεγαλύτερη ομάδα. Οι ασφαλιστικές εταιρίες γίνονται όλο και περισσότερο κυρίαρχοι συμμετέχοντες στην αγορά πιστωτικών παραγώγων, καθώς προσπαθούν να ενισχύσουν τις αποδόσεις των επενδύσεων διαφοροποιώντας την έκθεσή τους σε κινδύνους που είναι ασυσχέτιστοι με την υπάρχουσα ασφαλιστική δουλειά. Παγκοσμίως, οι ασφαλιστικές εταιρίες έχουν καθαρές θέσεις πώλησης (net sold positions) στην αγορά πιστωτικών παραγώγων δεδομένου ότι πρωτίστως πωλούν ασφαλιστική προστασία. Τα παγκόσμια αντισταθμιστικά κεφάλαια (hedge funds) έχουν γίνει επίσης μεγάλοι παίκτες στην αγορά πιστωτικών παραγώγων λειτουργώντας τόσο ως αγοραστές προστασίας όσο και ως πωλητές προστασίας σε μια προσπάθεια να πραγματοποιήσουν πολύπλοκες κερδοσκοπικές στρατηγικές σε διάφορες

οικονομικές αγορές. Άλλοι ποικίλοι συμμετέχοντες περιλαμβάνουν οικονομικούς εγγυητές, οι οποίοι είναι καθαροί πωλητές προστασίας, και ταμεία συντάξεων (pension funds).

Γενικά, η αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης επέδειξε εκθετική αύξηση από το 2001 έως το 2007 και πρόσφατες εκτιμήσεις του συνολικού θεωρητικού ποσού των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ποικίλλουν από 30 έως 62 τρισεκατομμύρια δολάρια. Στην ακμή του το 2007, το συνολικό θεωρητικό ποσό για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήταν πάνω από 62 τρισεκατομμύρια δολάρια. Ωστόσο, μετά την κρίση αυτοί οι αριθμοί μειώθηκαν σημαντικά και πολλές φορές στο μισό φτάνοντας λίγο πάνω από τα 30 τρισεκατομμύρια δολάρια το 2009. Σύμφωνα με την έρευνα αγοράς που αφορά το τέλος του 2007 και πραγματοποιήθηκε από τη Διεθνή Ένωση Ανταλλαγών και Παραγώγων, η ακαθάριστη αξία αγοράς των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήταν μόλις πάνω από 2 τρισεκατομμύρια δολάρια ή λιγότερο από 3.5 τοις εκατό του αντίστοιχου θεωρητικού ποσού των 62 τρισεκατομμυρίων στις 31 Δεκεμβρίου του 2007. Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται το μέγεθος της αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και η ραγδαία αύξησή του:



Ραγδαία αύξηση του μεγέθους αγοράς των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι το μέγεθος της αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης αυξανόταν με πολύ ταχύ ρυθμό φτάνοντας στα υψηλότερα επίπεδα το 2007, όπου οι κίνδυνοι που σχετίζονται με το όργανο απέδωσαν αποκαρδιωτικά αποτελέσματα φέρνοντας την παγκόσμια οικονομία σε μια ακινησία. Από τότε, οι παίκτες της αγοράς έχουν γίνει επιφυλακτικοί και ως εκ τούτου μειώθηκαν τα θεωρητικά ποσά για τα οποία αποτελούν τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης αντικείμενα διαπραγμάτευσης.

Κίνδυνοι που σχετίζονται με τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης

Οι διάφοροι κίνδυνοι που σχετίζονται με μια συναλλαγή με συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι οι εξής:

- Πιστωτικός κίνδυνος από δύο πηγές:

Ο αγοραστής της προστασίας με συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης φέρει τον περισσότερο κίνδυνο της ανταλλαγής, επειδή ο κύριος κίνδυνος των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι ότι ο πωλητής προστασίας είναι ανίκανος να πληρώσει στην περίπτωση ενός πιστωτικού γεγονότος, το οποίο καλύπτεται από το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Με άλλα λόγια, ενώ ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης υποτίθεται ότι προστατεύει τον αγοραστή προστασίας από τον πιστωτικό κίνδυνο της οντότητας αναφοράς, δεν τον προστατεύει από τον πιστωτικό κίνδυνο που σχετίζεται με τον πωλητή προστασίας. Επιπλέον, εάν ο πωλητής προστασίας αποτύχει, τότε ο αγοραστής προστασίας θα υποστεί τις απώλειες τόσο από το πιστωτικό γεγονός της οντότητας αναφοράς που αναφέρεται όσο και από την απώλεια του ασφάλιστρου που πληρώθηκε στον πωλητή προστασίας.

Επομένως, ο πωλητής προστασίας πρέπει να έχει μια καλή αξιολόγηση της πιστοληπτικής ικανότητας και εάν η αξιολόγηση της πιστοληπτικής του ικανότητας πέφτει, τα περισσότερα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης απαιτούν ο πωλητής προστασίας να τοποθετήσει περισσότερη εγγύηση ώστε να προστατεύσει τον αγοραστή προστασίας. Αυτό είναι εκείνο που κατακρήμνισε την ελεύθερη πτώση της Αμερικανικής Διεθνούς Ομάδας (American International Group-AIG) προς την αναπόφευκτη χρεωκοπία προτού η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών την ξεμπλέξει με ένα δάνειο των 85 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Προφανώς, οι συναλλασσόμενοι στο τμήμα συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της AIG θεώρησαν το ασφάλιστρο να είναι πρακτικώς δωρεάν χρήματα δεδομένου ότι δεν αντιστάθμισαν τον δικό τους κίνδυνο και πούλησαν πολύ περισσότερη προστασία από αυτή που θα μπορούσαν πραγματικά να καλύψουν. Ακόμη χειρότερα, η περισσότερη προστασία ήταν για ενυπόθηκους τίτλους βασισμένους σε στεγαστικά δάνεια υψηλού κινδύνου που άρχισαν να αποτυγχάνουν σε σημαντικούς αριθμούς το 2008 λόγω της πτώσης των τιμών ακινήτων, προκαλώντας τους οργανισμούς αξιολόγησης πιστοληπτικής ικανότητας να υποβαθμίσουν την αξιολόγηση πιστοληπτικής ικανότητας της AIG, το οποίο, από την ισχύ του συμβολαίου, απαιτούσε η AIG να τοποθετήσει περισσότερη εγγύηση για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, τα οποία είχε πουλήσει. Έγινε έντονα εμφανές ότι η AIG δεν είχε πραγματικά το κεφάλαιο να καλύψει όλους τους αγοραστές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της. Ως εκ τούτου, λόγω του κινδύνου της πιστωτικής μετάδοσης, ο οποίος είναι όταν η αποτυχία μιας εταιρίας προκαλεί ένα ‘καταρράκτη’ αποτυχιών σε άλλες εταιρίες, η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών ξέμπλεξε την AIG ώστε να αποφευχθούν περισσότερες αποτυχίες και περισσότερη πιστωτική μετάδοση από την υπονόμευση των οικονομικών ιδρυμάτων των Ηνωμένων Πολιτειών.

- Νομοθεσία των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης:

Δεδομένου ότι η εξόφληση σε ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης εξαρτάται από την αποτυχία ενός συγκεκριμένου δανειζόμενου, όπως μια εταιρία, ή ενός συγκεκριμένου χρεογράφου, όπως ένα ομόλογο, η τιμή του είναι ευαίσθητη στην κατάσταση της συνολικής οικονομίας. Εάν, για παράδειγμα, η οικονομία κινείται προς μια ύφεση, η πιθανότητα αποτυχιών αυξάνεται και η αναμενόμενη εξόφληση στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μπορεί να αυξηθεί γρήγορα.

Η αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι εντελώς άναρχη και δεν υπάρχουν δημόσια αρχεία να δείχνουν εάν οι πωλητές έχουν τα περιουσιακά στοιχεία να πληρώσουν εάν ένα ομόλογο

αποτύχει, πρωτίστως, επειδή θεωρούνται διμερή συμβόλαια. Σε αυτούς τους αντισυμβαλλόμενους περιλαμβάνεται η JPMorgan Chase, ο μεγαλύτερος πωλητής και αγοραστής συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Οι πωλητές προστασίας δεν απαιτείται από το νόμο να έχουν στην άκρη αποθεματικά στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Ενώ οι τράπεζες ζητούν από τους πωλητές προστασίας να προσφέρουν κάποια χρήματα όταν πραγματοποιείται η συναλλαγή, δεν υπάρχουν πρότυπα του κλάδου.

Η άναρχη φύση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχει κατηγορηθεί ότι έπαιξε κύριο ρόλο στην πρόσφατη απότομη κατάρρευση της Bear Stearns, στη δραματική αίτηση χρεοκοπίας της Lehman Brothers, στην ομοσπονδιακή διάσωση της Αμερικανικής Διεθνούς Ομάδας (American International Group-AIG) και στην εξαγορά της Merrill Lynch από την Τράπεζα της Αμερικής. Επίσης, το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δεν συναλλάσσεται σε μια οργανωμένη αγορά και είναι ένα μη τυποποιημένο οικονομικό όργανο, φτιαγμένο κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ταιριάζει στις ανάγκες του επενδυτή. Μολονότι η Διεθνής Ένωση Ανταλλαγών και Παραγώγων ναυλώθηκε το 1985 με σκοπό να αναγνωρίζει και να μειώνει τους κινδύνους που σχετίζονται με τα παράγωγα εκτός οργανωμένων αγορών, η επιτυχία της μπορεί να μετρηθεί από την πρόσφατη οικονομική κρίση, η οποία ήταν ένα αποτέλεσμα χαλαρών πολιτικών στον τομέα των παραγώγων.

- Από την αντιστάθμιση στην κερδοσκοπία:

Παρά το γεγονός ότι τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης σχεδιάστηκαν για να προσφέρουν νόμιμη προστασία σε εκείνους που ψάχνουν να αντισταθμίσουν ή να μεταφέρουν τον πιστωτικό κίνδυνο, κάποιοι υποστηρίζουν ότι πρακτικές χειραγώγησης στην αγορά των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχουν συμβάλει στο θάνατο οντοτήτων όπως η Lehman Brothers, η AIG και άλλες παρόμοιες, καθώς και στην γενική αναταραχή της αγοράς.

Η κερδοσκοπία εισήλθε στην αγορά των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης σε τρεις μορφές:

- Χρησιμοποιώντας δομημένα επενδυτικά οχήματα όπως το MBS, το ABS, το CDO και τίτλων δομημένων επενδυτικών οχημάτων (structured investment vehicle-SIV) ως το υποκείμενο περιουσιακό στοιχείο.
- Δημιουργώντας συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ανάμεσα σε μέρη χωρίς καμία σύνδεση με το υποκείμενο περιουσιακό στοιχείο.
- Ανάπτυξη μιας δευτερογενούς αγοράς για συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης.

Πολλά έχουν γραφτεί για την αγορά τίτλων δομημένων επενδυτικών οχημάτων και την έλλειψη κατανόησης του τι περιλαμβανόταν στα διάφορα προϊόντα. Οι πωλητές προστασίας στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δεν είχαν επαρκή κατανόηση του υποκείμενου περιουσιακού στοιχείου ώστε να καθορίσουν ένα κατάλληλο προφίλ κινδύνου (επίσης δεν υπήρχε ιστορικό αυτών των προϊόντων ώστε να βοηθήσει στον καθορισμό ενός προφίλ ρίσκου). Όπως έχει καταστεί σαφές, η αγορά τίτλων δομημένων επενδυτικών οχημάτων ήταν μια κερδοσκοπική αγορά, η οποία δεν ήταν πραγματικά κατανοητή, οδηγώντας επομένως σε κερδοσκοπικά συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης που σχετίζονται με αυτά τα προϊόντα.

Ένα μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η καθαρή κερδοσκοπία στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Πολλά αντισταθμιστικά κεφάλαια (hedge funds) και επενδυτικές εταιρίες άρχισαν να γράφουν συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης χωρίς να τους ανήκει το υποκείμενο χρεόγραφο, δίνοντας τους μια μορφή ενός στοιχήματος σχετικά με το εάν θα λάβει χώρα ή όχι ένα πιστωτικό γεγονός. Αυτά τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δημιούργησαν ένα τρόπο να πουλά κανείς σύντομα (short sell)

το ομολόγο ή να βγάζει χρήματα από την πτώση στην αξία των ομολόγων. Επίσης, συχνά βάζουν στοιχήματα για την κίνηση των τιμών των εμπορευμάτων, των επιτοκίων και πολλών άλλων αντικειμένων και τώρα είχαν ένα όχημα να συντομεύσουν τις πιστωτικές αγορές.

Ένα ακόμη μεγαλύτερο πρόβλημα ήταν η ανάπτυξη μιας δευτερογενούς αγοράς και για τα δύο 'πόδια' ενός προϊόντος ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, ιδιαιτέρως για τους πωλητές προστασίας. Το πρόβλημα ίσως είναι ότι ένας αδύναμος κρίκος θα εμφανιζόταν στην αλυσίδα των πωλήσεων ακόμη και εάν οι όροι του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι οι ίδιοι. Ο αδύναμος κρίκος είναι συχνά ένας κερδοσκοπός αγοραστής που προσφέρεται να πουλήσει προστασία, αλλά στην πραγματικότητα απλά ψάχνει να επιστρέψει γρήγορα το προϊόν σε έναν άλλο επενδυτή. Αυτό το πρόβλημα γίνεται ιδιαίτερα οξύ όταν το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης βασίζεται πάνω σε τίτλους δομημένων επενδυτικών οχημάτων και σε εταιρίες που ψάχνουν για γρήγορα και εύκολα κέρδη.

Μια ασφαλιστική εταιρία ίσως εν αγνοία της τραβηχτεί σε μία από αυτές τις κερδοσκοπικές όψεις της αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Η ασφαλιστική εταιρία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η 'βαθιά τσέπη' και μπορεί να της ζητιόταν να ανακτήσει τις απώλειες από τον αγοραστή προστασίας.

Η υψηλή κερδοσκοπία στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, στην περίπτωση της ευρωπαϊκής κυρίαρχης κρίσης, προκάλεσε τις αποδόσεις (spreads) να εξακοντιστούν δίνοντας στους επενδυτές την εντύπωση ότι οι κυρίαρχοι εκδότες ομολόγων είναι πιο πιθανό να αποτύχουν όσον αφορά τις αποπληρωμές. Αυτό, με τη σειρά του, δημιούργησε χάος στην αγορά και όλοι οι 'αντισταθμιστές' (hedgers) αγωνίζονταν για προστασία ώστε να μην προσβληθούν από το πιστωτικό γεγονός, το οποίο ξανά οδήγησε σε απότομη αύξηση στις αποδόσεις (spreads), σχηματίζοντας επομένως ένα φαύλο κύκλο.

Σαν αποτέλεσμα, το 2010, η Γερμανία προκειμένου να αποφύγει την κερδοσκοπία στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης όσον αφορά ομολόγα που εκδίδονται από τις δεκαέξι χώρες οι οποίες χρησιμοποιούν το Ευρώ, απαγόρευσε όλες τις σύντομες και 'γυμνές' συναλλαγές (naked short trades) μέχρι τις 31 Μαρτίου 2011. Η κίνηση αυτή προκάλεσε αίσθηση, καθώς δεν υπάρχει κανένας λόγος για τον οποίο κάποιος που δεν κατέχει το υποκείμενο χρεόγραφο ασφαλίζεται έναντι οποιασδήποτε πιστωτικής αποτυχίας που αφορά αυτό το χρεόγραφο. Η απαγόρευση επευφημήθηκε από κάποια ευρωπαϊκά έθνη δεδομένου ότι είχαν περάσει δύσκολους καιρούς λόγω της απερίσκεπτης χρήσης των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης από διάφορα αντισταθμιστικά κεφάλαια (hedge funds) και άλλα οικονομικά ινστιτούτα. Η κερδοσκοπία στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μπορεί εύκολα να θεωρηθεί ως νομιμοποιημένο στοίχημα όπου ο κερδοσκοπός, ο αγοραστής προστασίας, στοιχηματίζει για μια πιστωτική αποτυχία όσον αφορά την αποπληρωμή της οντότητας αναφοράς, δηλαδή ο δανειζόμενος χωρίς να έχει καμία έκθεση στον πιστωτικό κίνδυνο που σχετίζεται με την οντότητα αναφοράς.

Νομοθεσία και τρέχουσα δομή αγοράς των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης

Η αγορά των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι μέρος των μεγαλύτερων, που λειτουργούν εκτός οργανωμένων αγορών, αγορών παραγώγων, οι οποίες είναι διμερείς αγορές ανάμεσα σε οικονομικά ινστιτούτα. Αυτές οι αγορές είναι ευρέως άναρχες από την έναρξή τους. Το 1998, υπήρξε μια ώθηση από την πρόεδρο της επιτροπής συναλλαγών που αφορούν εμπορεύματα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (Commodity Futures Trading Commission-CFTC), την Brooksley Born, ώστε να αναθεωρηθεί η υπάρχουσα νομοθεσία και να επεκταθεί η ρυθμιστική αρχή της επιτροπής συναλλαγών που αφορούν εμπορεύματα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (Commodity Futures Trading Commission-CFTC) ώστε να συμπεριλάβει τις ανταλλαγές εκτός οργανωμένων αγορών. Αυτή φοβήθηκε ότι η άναρχη και εκθετική αύξηση της αγοράς ανταλλαγών εκτός οργανωμένων αγορών θα μπορούσε να απειλήσει την υγεία του οικονομικού συστήματος στις δυσμενείς αγορές. Το Κονγκρέσο εξέτασε αυτή την πρόταση και λόγω

μιας ενοποιημένης αντίθεσης στην περισσότερη νομοθεσία από τον Alan Greenspan (πρόεδρο του ομοσπονδιακού διοικητικού συμβουλίου αποθεμάτων-Federal Reserve Board Chairman) και τον Robert Rubin (γραμματέα του ταμείου-Treasury Secretary), η πρόταση απέτυχε. Οι κύριοι Greenspan και Rubin πίστευαν ότι οι αγορές μπορούσαν να νομοθετήσουν τον εαυτό τους. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η οικονομική πιστωτική κρίση του 2007 γέννησε μια ανανεωμένη ώθηση για να νομοθετηθούν οι ανταλλαγές εκτός οργανωμένων αγορών. Τώρα πιστεύεται ευρέως ότι οι άναρχες συναλλαγές στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήταν ένας βασικός παράγοντας που συνέβαλε στην σοβαρότητα της πιστωτικής κρίσης. Για αυτούς τους λόγους, η πρόσφατη μεταρρύθμιση της δημοσιονομικής νομοθεσίας έχει ως στόχο να ελέγξει και/ή να περιορίσει τη χρήση αυτών των παραγώγων. Υπό το φως αυτών των ανησυχιών, έχουν προταθεί και επικρατήσει κάποιες προτάσεις.

Πρώτον, η νομοθεσία των αγορών συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης για απάτη είναι μια αναγκαιότητα και δεν συζητείται περαιτέρω, όπως υπάρχει ανάγκη και για νομοθεσία της αποτυχίας χωρίς απάτη στις αγορές συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Δεύτερον, η νομοθεσία είναι αναγκαία επειδή τα οφέλη των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης που αυξάνουν την ευημερία λόγω της αποτελεσματικής κατανομής των κινδύνων εξαφανίζονται όταν συμβεί η αποτυχία του πωλητή προστασίας. Αυτό συμβαίνει, διότι οι ασφαλισμένοι κίνδυνοι δεν αντισταθμίζονται μετά το γεγονός και το ασφάλιστρο πληρώθηκε χωρίς λόγο. Επομένως, η νομοθεσία είναι αναγκαία για τον έλεγχο αυτού του κινδύνου της ατομικής αποτυχίας σε ένα συμβόλαιο. Επιπλέον, υπάρχει επίσης μια αρνητική εξωτερικότητα που σχετίζεται με τη δυνατότητα που έχουν οι μαζικές αποτυχίες συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης να οδηγήσουν σε μια κατάρρευση του οικονομικού συστήματος. Στο βαθμό που αυτό είναι δυνατό, η νομοθεσία είναι επίσης αναγκαία να παρουσιάσει μια τέτοια καταστροφή.

Όσον αφορά την τρέχουσα δομή της αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, η τρέχουσα κατάσταση είναι ότι υπάρχει μια διμερής συναλλαγή εκτός οργανωμένης αγοράς. Σε αυτή την περίπτωση ο πωλητής προστασίας τοποθετεί μόνο ένα τοις εκατό του θεωρητικού ποσού σαν εγγύηση, μεγαλύτερο από ή ίσο με μηδέν αλλά αυστηρά λιγότερο από ένα. Επίσης, οι κανονισμοί που βασίζονται στην Βασιλεία II επιβάλλουν ένα περιορισμό αξίας σε κίνδυνο (VAR constraint) σχετικά με το μετοχικό κεφάλαιο του πωλητή προστασίας. Σε αυτές τις αγορές, ο υπολογισμός του μετοχικού κεφαλαίου για τους πωλητές προστασίας είναι διαφορετικός σε τρία σημεία από τον υπολογισμό του μετοχικού κεφαλαίου για τις ασφαλιστικές εταιρίες. Πρώτον, σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ασφαλιστικά γεγονότα (για παράδειγμα ζωή, αυτοκίνητο, ιδιοκτήτες σπιτιών) τα οποία είναι ανεξάρτητα και πανομοιότυπα κατανεμημένα σε κάθε χρονική περίοδο και στο πέρασμα του χρόνου, αυτό δεν συμβαίνει για τις πιστωτικές αποτυχίες. Τα γεγονότα αποτυχίας δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ των εταιριών (πιστωτικές οντότητες) και η πιθανότητα αποτυχίας για μια μεμονωμένη εταιρία είναι συσχετισμένη στο πέρασμα του χρόνου. Δεδομένου ότι η οικονομία αλλάζει συνεχώς, δεν υπάρχει ένα μακρύ ιστορικό αρχείο σχετικά με παρόμοιες εταιρίες που αποτυγχάνουν. Αυτό υποδηλώνει ότι ο υπολογισμός της αξίας σε κίνδυνο (VAR-value at risk) θα είναι περισσότερο πολύπλοκος από ότι είναι για τις ασφαλιστικές εταιρίες και υποκείμενος σε σημαντικό λάθος. Δεύτερον, αυτή η μη ανεξάρτητη και πανομοιότυπα κατανεμημένη συμπεριφορά αποτυχιών υποδηλώνει ότι ο νόμος των μεγάλων αριθμών δεν θα εφαρμοστεί από περίοδο σε περίοδο. Συνεπώς, οι αναμενόμενες απώλειες σε μια μεγάλη κοινοπραξία συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης θα διαφέρουν σημαντικά από τις πραγματοποιηθείσες απώλειες με θετική πιθανότητα. Για να λογοδοτήσουν για αυτή τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα, οι πωλητές προστασίας θα χρειαστεί να κατέχουν σημαντικά περισσότερο μετοχικό κεφάλαιο από ότι μια ισοδύναμη πλασματικού μεγέθους πρότυπη ασφαλιστική εταιρία η οποία χρησιμοποιεί το ίδιο επίπεδο αξίας σε κίνδυνο. Τρίτον, και ίσως το πιο σημαντικό, υπάρχει συσχέτιση στις αποτυχίες που εξαρτώνται από την υγεία της οικονομίας, η οποία οδηγεί στην έννοια του συστημικού κινδύνου. Όταν η υγεία της οικονομίας είναι καλή, η συσχέτιση αποτυχίας είναι μικρότερη. Όταν η υγεία

της οικονομίας είναι κακή, η συσχέτιση αποτυχίας αυξάνεται. Υποστηρίζεται ότι λόγω του συστημικού κινδύνου, εάν συμβεί ένας σημαντικός αριθμός αποτυχιών, η αποτυχία των σημαντικών συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης θα μπορούσε να επιφέρει μια αποτυχία του οικονομικού συστήματος. Μια αποτυχία του οικονομικού συστήματος θα είχε δραματικές επιπτώσεις για την κοινωνική ευημερία, ίσως ακόμη να προκαλούσε μια κατάρρευση του πολιτικού συστήματος. Οι συναλλαγές με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, επομένως, σε μια ακραία περίπτωση παράγουν μια καταστροφική αρνητική εξωτερικότητα στην οικονομία. Ως μια εξωτερικότητα, αυτό το κόστος δεν περιλαμβάνεται στην τιμολόγηση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ούτε στον προσδιορισμό της εγγύησης και του κεφαλαίου. Φυσικά, οι αρνητικές εξωτερικότητες καταστρέφουν την βέλτιστη συμπεριφορά κατά Pareto των τοποθετήσεων που αφορούν τις συμμετρικές πληροφορίες του ισοζυγίου σε ανταγωνιστική αγορά (symmetric information competitive market equilibrium allocations). Εάν αυτές οι αρνητικές εξωτερικότητες υπάρχουν και δεν έχουν ακόμη αποδειχθεί τότε αυτό γεννάει ένα άλλο ρόλο για την κυβερνητική νομοθεσία των αγορών συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Εάν αποδειχθεί, το μετοχικό κεφάλαιο χρειάζεται να αυξηθεί ώστε να 'εσωτερικευθεί' το κόστος της αρνητικής εξωτερικότητας λόγω της αποτυχίας του οικονομικού συστήματος. Προφανώς, η ποσοτικοποίηση αυτής της αύξησης σε μετοχικό κεφάλαιο απαραίτητο για να διευκολυνθεί αυτή η αρνητική εξωτερικότητα είναι ένα σχεδόν αδύνατο έργο. Για αυτό το λόγο, ένα εναλλακτικό σύστημα προσδιορισμού εγγύησης και ιδίων κεφαλαίων ίσως να προτιμηθεί.

Επιπρόσθετα, οι μεγάλες εμπορικές τράπεζες ανέπτυξαν πρώτες τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης για να μεταφέρουν τη συνιστώσα του πιστωτικού κινδύνου ενός εμπορικού χαρτοφυλακίου χρέους. Η αγορά ραγδαία υιοθέτησε τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ως ένα αποτελεσματικό και τώρα ουσιαστικά τυποποιημένο όργανο για τη μεταφορά του πιστωτικού κινδύνου. Οι έμποροι (dealers), τυπικά μεγάλες τράπεζες της Wall Street, είναι στην τρέχουσα πρακτική της αγοράς σε τουλάχιστον μια πλευρά κάθε συναλλαγής. Εν μέρει, αυτό αντανakλά απλά το ρόλο των εμπόρων στο να κάνουν αγορές γενικά- οι έμποροι είναι επαγγελματίες μεσάζοντες με τα μοντέλα υποδομής και τα επιχειρηματικά μοντέλα ώστε να προσφέρουν στους αντισυμβαλλόμενους τους μια σειρά από συμβόλαια σε τιμές που συνεχώς ενημερώνονται για να αντανakλούν τις εξελίξεις στην αγορά. Οι επενδυτές επίσης έχουν ιστορικά προτιμήσει να συναλλάσσονται με εμπόρους για λόγους που αφορούν τους πιστωτικούς αντισυμβαλλόμενους: Σε περιόδους σταθερότητας, οι επενδυτές θεωρούσαν ότι τα νομοθετημένα (regulated) ινστιτούτα έχουν ελάχιστο κίνδυνο αποτυχίας (defaulting) και αποδοκίμασαν άλλες εταιρίες επειδή οι επενδυτές αυτοί στερούσαν τις πληροφορίες ώστε να αξιολογήσουν τον πιστωτικό κίνδυνο τέτοιων εταιριών. Οι συμμετέχοντες επίσης τείνουν να έχουν διαπραγματεύσιμη τεκμηρίωση για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήδη με τους εμπόρους, κάνοντας περαιτέρω συναλλαγές με αυτούς ευκολότερες. Μια δομή αγοράς όπου ένας έμπορος είναι στη μια πλευρά κάθε συναλλαγής προσδίδει πληροφοριακά πλεονεκτήματα στους εμπόρους. Οι έμποροι βλέπουν όγκους πραγματικών και προορισμένων συναλλαγών από τους 'από την πλευρά της αγοράς' ('buy-side') πελάτες τους και επίσης φτιάχνουν μεταξύ εμπόρων συναλλαγές ώστε να αναλαμβάνουν ή να αφήνουν τον κίνδυνο σύμφωνα με την προσφορά και τη ζήτηση. Επομένως, οι έμποροι έχουν την καλύτερη θεώρηση της τρέχουσας αξίας της αγοράς σε μια αγορά όπου όλες οι συναλλαγές είναι ιδιωτικές και διμερείς χωρίς να δημοσιεύονται πραγματικές τιμές συναλλαγών. Οι πελάτες, από την άλλη πλευρά, πρέπει να συμμετέχουν σε μια σειρά διμερών συζητήσεων με τους εμπόρους για να κερδίσουν πληροφορίες τιμολόγησης. Δεδομένης αυτής της ασυμμετρίας πληροφοριών υπέρ τους, οι έμποροι έχουν ένα κίνητρο να διατηρήσουν το καθεστώς στη δομή της αγοράς.

Απαιτήσεις σε κεφάλαιο και εγγύηση για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης

Οι απαιτήσεις σε κεφάλαιο και εγγύηση είναι το αναλογικό του προσδιορισμού κεφαλαίου για τα ασφαλιστικά συμβόλαια. Αυτές οι απαιτήσεις είναι ως επί το πλείστον σχεδιασμένες για να μειωθεί ή να εξαλειφθεί ο κίνδυνος του αντισυμβαλλόμενου σε σχέση με τον πωλητή προστασίας σε ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Ο πωλητής προστασίας σε ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι ανάλογος με μια ασφαλιστική εταιρία. Από αυτή την άποψη υπάρχει ένα εμπόριο ανάμεσα στο ποσοστό εγγύησης που τοποθετήθηκε από τον πωλητή προστασίας σε ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και στο μετοχικό κεφάλαιο που υποστηρίζει το σχετικό οικονομικό ινστιτούτο. Για να γίνει κατανοητό αυτό το εμπόριο, θα θεωρήσουμε ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ανάμεσα στην τράπεζα Α, τον πωλητή προστασίας (ασφαλιστής) και την τράπεζα Β, τον αγοραστή (ασφαλισμένος).

100 τοις εκατό εγγύηση

Αρχικά θεωρούμε την περίπτωση όπου ο πωλητής προστασίας σε ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, η τράπεζα Α, τοποθετεί 100 τοις εκατό της ονομαστικής αξίας στην εγγύηση. Η τράπεζα Β είναι ο αγοραστής. Ας υποθέσουμε περαιτέρω ότι η εγγύηση κρατείται από ένα διαχειριστή σε ακίνδυνα χρεόγραφα και ότι τα ακίνδυνα χρεόγραφα αποτιμώνται με τιμές της αγοράς ώστε να είναι εγγυημένο ότι η ονομαστική αξία διατηρείται. Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει κίνδυνος του αντισυμβαλλόμενου όσον αφορά τον πωλητή προστασίας προς τον ασφαλισμένο, την τράπεζα Β. Εάν η τράπεζα Α αποτύχει, τότε η εγγύηση καλύπτει την ονομαστική αξία. Δεν υπάρχει ανάγκη να επιβληθούν οποιοιδήποτε περιορισμοί στο μετοχικό κεφάλαιο της τράπεζας Α. Σε αυτή την περίπτωση, κάποιος δεν θα ήθελε να επιβάλλει στον αγοραστή προστασίας, την τράπεζα Β, μια απαίτηση για 100 τοις εκατό πλασματική εγγύηση (notional collateral). Η τράπεζα Β είναι πραγματικά υπεύθυνη μόνο για την παρούσα αξία του συμβολαίου. Η παρούσα αξία ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι μόνο ένα μικρό ποσοστό της θεωρητικής (για παράδειγμα, κατά τη δημιουργία, η παρούσα αξία ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι μηδέν). Για να εξαλειφθεί ο κίνδυνος συμβαλλόμενου της τράπεζας Β, η τράπεζα Β πρέπει να τοποθετήσει εγγύηση ίση με την παρούσα αξία των συνολικών πληρωμών ασφάλιστρων που απομένουν κατά τη διάρκεια ζωής του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (υποθέτοντας ότι όλες οι πληρωμές γίνονται με πιθανότητα 1). Αυτό υπολογίζεται εύκολα χρησιμοποιώντας τα προθεσμιακά επιτόκια θησαυροφυλακίου (Treasury forward rates) και τα ασφάλιστρα των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης στην έναρξη. Σε αυτή την κατάσταση, το μετοχικό κεφάλαιο της τράπεζας Β είναι επίσης άσχετο. Σε αυτή την περίπτωση, και η τράπεζα Α και η τράπεζα Β κατέχουν επαρκή εγγύηση ώστε να καλύψουν το 100 τοις εκατό των αντίστοιχων υποσχέσεων τους με πιθανότητα 1. Για την τράπεζα Α αυτό αντιπροσωπεύει 100 τοις εκατό της θεωρητικής αξίας του συμβολαίου και για την τράπεζα Β αυτό αντιπροσωπεύει 100 τοις εκατό της παρούσας αξίας των εναπομεινάντων ασφάλιστρων του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης.

0 τοις εκατό εγγύηση

Στο άλλο άκρο είναι το 0 τοις εκατό του θεωρητικού σε εγγύηση και για την τράπεζα Α και για την τράπεζα Β. Αυτό είναι το άμεσα αναλογικό μιας ασφαλιστικής εταιρίας που πουλά ασφάλιση, υποστηριζόμενη μόνο από το μετοχικό της κεφάλαιο. Ο πωλητής προστασίας ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, η τράπεζα Α, είναι η 'ασφαλιστική εταιρία'. Σε αυτή την περίπτωση, το μετοχικό κεφάλαιο της τράπεζας Α πρέπει να είναι επαρκές ώστε να μειωθεί η πιθανότητα αποτυχίας του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης σε κάποιο αποδεκτό επίπεδο, ας πούμε σε μια α τοις εκατό πιθανότητα αποτυχίας κατά τη διάρκεια ζωής του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Αυτός είναι ένας περιορισμός τύπου 'αξίας σε κίνδυνο'. Σε αυτή την περίπτωση, το μετοχικό κεφάλαιο της τράπεζας Α είναι το μόνο 'μαξιλάρι' για να υποστηρίξει τις απώλειες της τράπεζας Β στην περίπτωση αποτυχίας του συμβολαίου. Το πρόβλημα

με μια 0 τοις εκατό του θεωρητικού εγγύηση και χρησιμοποιώντας ένα τέτοιο περιορισμό 'αξίας σε κίνδυνο' είναι ότι τα μέτρα της αξίας σε κίνδυνο είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν. Και αυτό επειδή η αξία σε κίνδυνο εξαρτάται από ολόκληρη την θέση ενεργητικού και παθητικού της τράπεζας. Εκτός εάν κανείς τοποθετήσει αποτελεσματικά 100 τοις εκατό της θεωρητικής αξίας εγγύηση, θα είναι αδύνατον να οριστεί η πιθανότητα αποτυχίας ενός πωλητή προστασίας ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης σε μηδέν. Μια ανάλογη απαίτηση ιδίων κεφαλαίων θα χρειαζόταν να τοποθετηθεί στην τράπεζα B, αλλά για λόγους που συζητήθηκαν νωρίτερα, αυτό είναι πολύ λιγότερο επαχθές.

0< δ <1 τοις εκατό εγγύηση

Αυτή η περίπτωση είναι ανάμεσα στις δύο προηγούμενες ακραίες. Αυτή αντιστοιχεί στην τρέχουσα δομή αγοράς. Σε αυτή την περίπτωση, το δ τοις εκατό του θεωρητικού εγγύηση χρησιμεύει ως ένα 'μαξιλάρι' για τις απώλειες από τον κίνδυνο αντισυμβαλλόμενου αλλά δεν τις αποκλείουν. Ο υπολογισμός του περιορισμού 'αξίας σε κίνδυνο' δεν θα είναι ευκολότερο να γίνει από ότι στην περίπτωση της 0 τοις εκατό του θεωρητικού εγγύησης.

Αξιολόγηση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης

Η αξιολόγηση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι το αναλογικό του προσδιορισμού ασφαλιστρών για τα ασφαλιστικά συμβόλαια. Για να αξιολογηθούν τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, κανείς λαμβάνει ως δεδομένο μια ισορροπία στην ανταγωνιστική πρωταρχικού χρέους αγορά κάτω από ασύμμετρες πληροφορίες. Χρησιμοποιείται η μεθοδολογία τιμολόγησης ελεύθερης από κερδοσκοπία, συνήθως υποθέτοντας καμία προστριβή στην αγορά και κανένα περιορισμό στο εμπόριο. Παρ' όλα αυτά, και οι δύο αυτές τέλει υποθέσεις αγοράς μπορούν να χαλαρώσουν. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι κανείς μπορεί να τιμολογήσει τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης χωρίς να χαρακτηρίζει ρητά την ισορροπία στην οικονομία. Με την παραδοχή της μη κερδοσκοπίας, υπάρχει ένας χειριστής παρούσας αξίας ουδέτερης σε κίνδυνο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Ο χειριστής παρούσας αξίας ουδέτερης σε κίνδυνο εξαρτάται από τις υποτιθέμενες διαδικασίες για το χρόνο αποτυχίας όσον αφορά το χρέος (debt default time) και το ποσοστό ανάκτησης στην περίπτωση αποτυχίας. Για σκοπούς εφαρμογής, οι παράμετροι του χειριστή παρούσας αξίας ουδέτερης σε κίνδυνο μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας μόνο τιμές αγοράς. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις ελεύθερες από κερδοσκοπία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης: τα διαρθρωτικά και τα μειωμένης μορφής μοντέλα (structural and reduced form models). Τα μειωμένης μορφής μοντέλα είναι περισσότερο συνεπή με τις ασύμμετρες πληροφορίες- δυσμενής επιλογή και ηθικός κίνδυνος- οι οποίες παρουσιάζονται στις αγορές χρέους και ως εκ τούτου είναι τα περισσότερο σχετικά για παραγωγή τιμών αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Υπό λογικές δομές, πολύ απλές φόρμουλες για τα ασφάλιστρα των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μπορούν να εφαρμοστούν.

Κεφάλαιο περιθωρίου και ρυθμιστικό κεφάλαιο (Margin and Regulatory Capital)

Ένας αντισυμβαλλόμενος σε ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, είτε είναι ένας αγοραστής είτε ένας πωλητής προστασίας, αξιολογεί την πιθανότητα ότι η οντότητα αναφοράς θα αποτύχει. Η τιμή που πληρώνεται για προστασία με το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης αντανάκλα την άποψη των μερών για αυτό τον κίνδυνο. Παρ' όλα αυτά, επειδή ο αγοραστής και ο πωλητής εισέρχονται σε αυτά τα συμβόλαια διμερώς, κάθε μέρος είναι επίσης εκτεθειμένο στον κίνδυνο ότι ο αντισυμβαλλόμενός του ίσως αποτύχει. Υπάρχουν δύο κυρίαρχες μέθοδοι εξασφάλισης για τις απώλειες που προκύπτουν στην περίπτωση αποτυχίας ενός αντισυμβαλλόμενου: το ρυθμιστικό κεφάλαιο και το κεφάλαιο περιθωρίου. Το ρυθμιστικό κεφάλαιο είναι αβλαβή ίδια κεφάλαια που πρέπει να διατηρούνται στον ισολογισμό ρυθμιζόμενων οντοτήτων όπως οι τράπεζες και οι εμπορομεσίτες (broker dealers). Το περιθώριο, το οποίο είναι γενικά

μετρητά ή ισοδύναμα μετρητών και αναφέρεται μερικές φορές ως ‘εγγύηση’, είναι δύο τύπων: ‘περιθώριο διακύμανσης’ (‘variation margin’) και ‘αρχικό περιθώριο’ (‘initial margin’). Το περιθώριο διακύμανσης (καλείται επίσης και ‘περιθώριο αποτιμώμενο με τιμές αγοράς’) πληρώνεται σε μετρητά και ανταλλάσσεται ανάμεσα σε μέρη ώστε να αντανakλά την τρέχουσα έκθεση ή συνεχιζόμενες αλλαγές στην αξία αγοράς μιας ανταλλαγής. Έτσι το περιθώριο διακύμανσης επιτρέπει στα μέρη να συνεκτιμήσουν το γεγονός ότι η αξία αγοράς ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, όπως εκείνη του πιστωτικού κινδύνου που υπονοείται στην αξία αγοράς ενός ομολόγου, αλλάζει κάθε μέρα ανάλογα με την εκτίμηση της αγοράς όσον αφορά την πιθανότητα αποτυχίας και μια σειρά άλλων παραγόντων. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αυτή η αλλαγή στην αξία καταλήγει σε μια αλλαγή στην απόδοση (spread) ή στο ασφάλιστρο που χρεώνεται για προστασία στην αγορά. Καθώς η απόδοση κινείται, η αξία ενός δεδομένου συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ανάμεσα σε δύο μέρη αλλάζει, υπολογιζόμενη ως η παρούσα αξία της αλλαγής στην απόδοση κατά την εναπομένουσα διάρκεια της ανταλλαγής. Τα μέρη σε μια ανταλλαγή ανταλλάσσουν ένα ποσό ίσο με την υπολογιζόμενη αλλαγή στην αξία έναντι της προηγούμενης μέρας. Αυτή η πληρωμή του περιθωρίου διακύμανσης προορίζεται να παρέχει ότι στην περίπτωση που ένα μέρος αποτύχει, το άλλο μέρος είναι εντάξει μέχρι εκείνη τη στιγμή όσον αφορά την αξία αγοράς της ανταλλαγής που κατέχει. Για το παράδειγμα του δεδομένου συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης που δόθηκε παραπάνω, η αλλαγή στην αξία, καθώς το ασφάλιστρο κινιόταν από 100 μονάδες βάσης σε 102 μονάδες βάσης, ήταν 40,000 δολάρια. Αυτό θα ήταν το ποσό του περιθωρίου διακύμανσης που θα πληρωνόταν από το μέρος έναντι του οποίου η αγορά είχε κινηθεί στο μέρος υπέρ του οποίου είχε κινηθεί. Το αρχικό περιθώριο συλλέγεται στην έναρξη της ανταλλαγής και κρατείται έναντι πιθανής μελλοντικής έκθεσης στην περίπτωση που το μέρος το οποίο καταθέτει, αποτύχει. Το αρχικό περιθώριο είναι τυπικά ένα μικρό κλάσμα του θεωρητικού ποσού και προορίζεται για να προστατεύσει ένα μέρος του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης από την κίνηση τιμών του συμβολαίου για μια συγκεκριμένη περίοδο μετά από μια αποτυχία του άλλου μέρους και κατά τη διάρκεια της οποίας το αποτυχημένο μέρος (αντισυμβαλλόμενος) δεν θα πλήρωνε πλέον με τιμές της αγοράς. Αυτή η περίοδος κάλυψης με αρχικό περιθώριο προορίζεται να καλύψει αυτή τη διακύμανση της αξίας η οποία αποτιμάται με τιμές της αγοράς μέχρι το μη αποτυχημένο μέρος να μπορεί να εισέλθει σε μια αντισταθμιστική συναλλαγή ώστε να ουδετεροποιήσει την έκθεσή του. Το αρχικό περιθώριο ενεργεί αποτελεσματικά ως μια προκαταβολή μέχρι το τέλος της συναλλαγής, χρονική στιγμή στην οποία επιστρέφεται στον πληρωτή εάν δεν έχει υπάρξει αποτυχία του πληρωτή. Το ρυθμιστικό κεφάλαιο είναι κεφάλαιο που κρατείται από μια υπό την επίβλεψη κεφαλαίου οντότητα στον ισολογισμό της ώστε να εξασφαλιστεί έναντι απωλειών στις επενδύσεις της. Εάν ένας αντισυμβαλλόμενος αντιμετωπίζει μια καλά κεφαλαιοποιημένη οντότητα, μπορεί να αναμένει ότι οι απώλειες στο χαρτοφυλάκιο αυτής της οντότητας προστατεύονται (cushioned) από ένα αποθεματικό κεφαλαίο το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί για να ανταποκριθεί στις υποχρεώσεις αυτής της οντότητας. Οι υπό την επίβλεψη κεφαλαίου οντότητες υπόκεινται σε κατευθυντήριες γραμμές για τον υπολογισμό κεφαλαίου, ο σκοπός των οποίων είναι να διασφαλίσουν ότι το κεφάλαιο είναι επαρκές, ρευστό, αμείωτο και όχι ευάλωτο σε ξαφνικές απώλειες. Αυτό επιβάλλει ένα κόστος ευκαιρίας για την υπό την επίβλεψη κεφαλαίου οντότητα, το οποίο απαιτείται να διαθέτει κεφάλαιο σε συντηρητική μορφή- για παράδειγμα, στη μορφή ταμείων των ΗΠΑ αντί σε πιο ριψοκίνδυνες ή λιγότερο ρευστές επενδύσεις με υψηλότερες αποδόσεις (returns).

Συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έναντι εταιρικών ομολόγων και δευτερογενών δανείων

Το προφίλ πιστωτικού κινδύνου ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης φαίνεται να είναι παρόμοιο με αυτό ενός εταιρικού ομολόγου μιας οντότητας αναφοράς. Όντως, ελλείπει ευκαιριών κερδοσκοπίας, χαρακτηριστικών του συμβολαίου όπως ενσωματωμένα δικαιώματα προαίρεσης, διαθήκες και εγγυήσεις, αλλά και προστριβών αγοράς, τα ασφάλιστρα ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και η διαφορά απόδοσης του εταιρικού ομολόγου είναι κατ’ανάγκη πανομοιότυπα για ένα

εταιρικό ομόλογο κυμαινόμενου επιτοκίου. Ωστόσο, είναι καλά αναγνωρισμένο από την οικονομική λογοτεχνία ότι τα ασφάλιστρα ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι της διαφοράς αποδόσεων των εταιρικών ομολόγων και των αποδόσεων των δευτερογενών δανείων, όσον αφορά την ανάλυση των καθοριστικών παραγόντων της τιμολόγησης του πιστωτικού κινδύνου και διατηρείται η σχέση ανάμεσα στα κέρδη και στον πιστωτικό κίνδυνο. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- 1) Όπως φαίνεται από τον Elton et al. το 2001, το 85 τοις εκατό της διαφοράς αποδόσεων των εταιρικών ομολόγων μπορεί να εξηγηθεί ως μια ανταμοιβή για την ανάληψη συστηματικού κινδύνου άσχετου με την αποτυχία. Οι Huang και Huang το 2002 κατέληξαν ότι λιγότερο από 25 τοις εκατό της πιστωτικής απόδοσης σε εταιρικά ομόλογα αποδίδεται στον πιστωτικό κίνδυνο. Παρομοίως, ο Longstaff et. Al το 2005 βρήκε ότι μια σημαντική συνιστώσα που δεν σχετίζεται με την αποτυχία στην απόδοση του εταιρικού ομολόγου συσχετίστηκε με μη ρευστά πληρεξούσια. Το σημαντικότερο, ο Erricson et. Al το 2006 βρήκε επίσης μια σημαντική μη ρευστή συνιστώσα για τα εταιρικά ομόλογα αλλά όχι για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης.
- 2) Ο κίνδυνος επιτοκίου οδηγεί τις αποδόσεις των σταθερού επιτοκίου εταιρικών ομολόγων και τα επιτόκια των δανείων των δευτερογενών αγορών εντελώς ανεξάρτητα από τον πιστωτικό κίνδυνο. Ακόμα και κυμαινόμενου επιτοκίου εταιρικά ομόλογα και δευτερογενή δάνεια υπόκεινται συχνά σε κίνδυνο επιτοκίου επειδή αλλαγές στο κυμαινόμενο επιτόκιο συχνά υφίστανται με μια χρονική υστέρηση. Μια θετική σχέση ανάμεσα στα κέρδη και στις τιμές ομολόγων θα μπορούσε να οφείλεται σε αλλαγές στα επιτόκια, εάν πούμε ότι οι μειώσεις των επιτοκίων που είναι απαλλαγμένα από τον κίνδυνο προκαλούν την αύξηση των κερδών των εταιριών στην πάροδο του χρόνου, από ότι στον πιστωτικό κίνδυνο. Ο κίνδυνος επιτοκίου μπορεί επίσης να επηρεάσει τις τιμές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, αλλά μόνο ως μια δευτερογενής επίδραση και μόνο στην έκταση που επηρεάζεται από τον πιστωτικό κίνδυνο. Πράγματι, η επίπτωση του κινδύνου επιτοκίου στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι στην αντίθετη κατεύθυνση με τα εταιρικά ομόλογα και τα δευτερογενή δάνεια. Για παράδειγμα, μια απρόβλεπτη αύξηση στην ελεύθερη από κίνδυνο τιμή θα μειώσει τις τιμές των εταιρικών ομολόγων και θα αυξήσει τις αποδόσεις, κάνοντας τον κάτοχο ομολόγων χειρότερα. Αντίθετα, μια απρόβλεπτη αύξηση στην ελεύθερη από κίνδυνο τιμή έχει μια θετική επίδραση του πλούτου στο ασφάλιστρο του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, μειώνοντας την πιθανότητα ενός πιστωτικού γεγονότος και κάνοντας τον πωλητή προστασίας (το ισοδύναμο του κατόχου ομολόγων) καλύτερα.
- 3) Σε αντίθεση με τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, τα εταιρικά ομόλογα και τα δάνεια σε δευτερογενείς αγορές είναι γεμάτα με ενσωματωμένα δικαιώματα προαίρεσης, εγγυήσεις και συμβόλαια. Η ανομοιογένεια σε αυτά τα χαρακτηριστικά δυνητικά διαστρεβλώνει τη σχέση ανάμεσα στα κέρδη και στον πιστωτικό κίνδυνο σε μελέτες διατομής (cross-sectional studies). Ακόμη πιο προβληματικό είναι το γεγονός ότι αυτά ίσως παράγουν μια ψευδή σχέση ανάμεσα στα κέρδη και στον πιστωτικό κίνδυνο. Για παράδειγμα, η θετική σχέση ανάμεσα στα κέρδη και στις τιμές των εταιρικών ομολόγων θα μπορούσαν να οδηγηθούν από συμβόλαια που βασίζονται στα κέρδη από ότι από πιστωτικό κίνδυνο καθ' αυτό. Με χαμηλότερα κέρδη, τα συμβόλαια που βασίζονται στα κέρδη είναι πιο πιθανό να είναι δεσμευτικά, αυξάνοντας την πιθανότητα τεχνικής χρεωκοπίας και τα ταυτόχρονα αναμενόμενα κόστη συναλλαγών και, επομένως, να οδηγήσουν σε μειωμένες τιμές ομολόγων. Αντίθετα, εκτός από σπάνιες περιπτώσεις, η τεχνική αποτυχία (καλείται επιτάχυνση υποχρέωσης ή αποτυχία υποχρέωσης στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης) δεν ορίζεται να είναι ένα πιστωτικό γεγονός στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Αφού η τεχνική αποτυχία δεν είναι

ένα πιστωτικό γεγονός, συμβόλαια που βασίζονται στα κέρδη όσον αφορά το υποκείμενο ομόλογο αναφοράς δεν έχουν καμία επίδραση στις τιμές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης.

- 4) Τα διαθέσιμα εμπειρικά αποδεικτικά στοιχεία υποδηλώνουν ότι η ανακάλυψη τιμών πιστωτικού κινδύνου λαμβάνει χώρα πρώτα στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και μόνο αργότερα στην αγορά ομολόγων. Οι αγορές ομολόγων καθυστερούσαν σε αντίδραση, το οποίο δυνητικά διαστρεβλώνει τις εμπειρικές μελέτες που σχετίζουν τα κέρδη με τις τιμές ομολόγων.
- 5) Σε αντίθεση με τη διαφορά αποδόσεων εταιρικών ομολόγων, καμία τιμή αναφοράς ελεύθερη από κίνδυνο δεν χρειάζεται να προσδιοριστεί για να ελαχιστοποιήσουν τα ασφάλιστρα των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ένα πιθανό μη προσδιορισμό του κατάλληλου πληρεξούσιου τιμών ελεύθερων από κίνδυνο (risk-free rate proxy). Ξανά, ο μη προσδιορισμός της σωστής τιμής ελεύθερης από κίνδυνο προκαλεί θόρυβο και δυνητικά διαστρεβλώνει τις εμπειρικές μελέτες που σχετίζουν τα κέρδη με τις αποδόσεις εταιρικών ομολόγων.
- 6) Οι τιμές συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι στενά συνδεδεμένες με την ονομαστική αξία του ομολόγου αναφοράς, ενώ οι αξίες των εταιρικών ομολόγων (συμπεριλαμβανομένων και των φορολογητών (taxability) χαρακτηριστικών) επηρεάζονται από τοκομερίδια. Η ανομοιογένεια στις τιμές τοκομεριδίων δυνητικά διαστρεβλώνει τη σχέση ανάμεσα στα κέρδη και στον πιστωτικό κίνδυνο σε μελέτες διατομής.

Γενικά, αυτή η αύξηση της αγοράς των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης φαίνεται να οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι, με πολλούς τρόπους, ευκολότερα για εμπόριο από ότι τα ομόλογα και από λειτουργική άποψη και από άποψη χρηματοδότησης. Αρχικά, ένας δεδομένος εκδότης ομολόγων ή μια οντότητα αναφοράς σε ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, τυπικά θα εκδώσει πολυάριθμη σειρά ομολόγων, καθεμία με διαφορετικά τοκομερίδια και άλλα χαρακτηριστικά. Οποιαδήποτε οντότητα που εμπορεύεται αυτά τα ομόλογα πρέπει να τα τιμολογήσει μεμονωμένα υπό το φως αυτών των χαρακτηριστικών και πρέπει επίσης να φτάσουν σε μια τιμή η οποία απομονώνει και μετά συνδυάζει ξανά το επιτόκιο και τις πιστωτικές συνιστώσες του οργάνου. Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, αντίθετα, δεν περιορίζονται σε έκδοση ενός ομολόγου αλλά συναλλάσσονται σε σχέση με την πίστωση μιας τάξης ομολόγων της οντότητας αναφοράς στο σύνολο και αποτιμώνται αποκλειστικά σε σχέση με την πιστωτική συνιστώσα. Για παράδειγμα, τη στιγμή της γραφής, η IBM έχει είκοσι μία διαφορετικές εκδόσεις ομολόγων που εκκρεμούν, αλλά υπάρχει ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της IBM που αποτελεί δραστήρια αντικείμενο διαπραγμάτευσης. Η συγκέντρωση στην τάξη χρέους της εταιρίας στο σύνολο από ότι πάνω στην έκδοση ενός ενιαίου ομολόγου είναι δικαιολογημένη επειδή οι διατάξεις γύρω από την αποτυχία (cross-default provisions) τυπικά ενώνουν τάξεις χρέους μιας οντότητας αναφοράς. Έτσι, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης προσφέρουν ένα μηχανισμό αγοράς που τιμολογεί και συναλλάσσεται στον καθαρό πιστωτικό κίνδυνο μιας οντότητας αναφοράς. Από την άποψη χρηματοδότησης, ένας επενδυτής ομολόγων πρέπει να χρηματοδοτήσει όλη την αγορά ομολόγων. Αυτό τυπικά σημαίνει ότι αρχικά δουλεύει κανείς μέσω των λειτουργικών βημάτων ώστε να διακανονιστεί η αγορά των ομολόγων και μετά να κάνει μια διευθέτηση, είτε των ομολόγων καθ'αυτών είτε άλλων χρεογράφων, ώστε να εγγυηθεί τα μετρητά που δανείζονται για να πληρώσει για τα ομόλογα. Το κόστος χρηματοδότησης για μια αγορά ομολόγων θα είναι η διαφορά ανάμεσα στην απόδοση των ομολόγων και στην απόδοση ενός ισοδύναμου θεωρητικού σε ταμεία που τοποθετούνται από τον επενδυτή ώστε να εγγυηθεί την χρηματοδότηση, συν το κόστος κεφαλαίου των μετρητών για οποιαδήποτε μερίδα της αγοράς ομολόγου η οποία δεν χρηματοδοτείται. Αντίθετα, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης επιτρέπουν στον επενδυτή να εκτίθεται στον ίδιο

πιστωτικό κίνδυνο ή ανταμοιβή αλλά μόνο μέσω του κόστους χρηματοδότησης του αρχικού περιθωρίου που σχετίζεται με τη συναλλαγή, κανονικά ένα σχετικά μικρό ποσοστό του συνολικού θεωρητικού ποσού. Το κόστος χρηματοδότησης της έκθεσης σε παράγωγο είναι επομένως τυπικά λιγότερο από ότι το κόστος χρηματοδότησης της έκθεσης σε ομόλογο, ενώ και τα δύο φέρουν τον ίδιο πιστωτικό κίνδυνο. Αυτή η αυξημένη μόχλευση έχει επίσης βοηθήσει στην ανάπτυξη των αγορών συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Όπως ανέφερε το περιοδικό *The Economist* τον Απρίλιο του 2008, 'τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχουν γίνει το προϊόν επιλογής για εκείνους που επενδύουν στην πίστωση ως μια κατηγορία περιουσιακών στοιχείων'. Ενώ υπάρχει πιστωτική έκθεση στην οντότητα αναφοράς και σε ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και σε ένα ομόλογο, υπάρχει ένα επιπλέον στρώμα κινδύνου του αντισυμβαλλόμενου σε ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Ένας αγοραστής προστασίας και ένας πωλητής προστασίας έκαστος φέρει κίνδυνο αντισυμβαλλόμενου ο ένας στον άλλο για τη διάρκεια του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Ο πωλητής προστασίας εξαρτάται από τον αγοραστή για να κάνει τις συμφωνημένες περιοδικές πληρωμές κατά τη διάρκεια του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Ο αγοραστής προστασίας αμοιβαία εξαρτάται από τον πωλητή για να αποκαταστήσει την υπόσχεσή του να αγοράσει το αποτυχημένο χρέος στο ακέραιο της ονομαστικής αξίας εάν η οντότητα αναφοράς αποτύχει κατά τη διάρκεια του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Αντίθετα, η αγορά από έναν επενδυτή ενός ομολόγου από ένα έμπορο ομολόγων δεν φέρει μακροπρόθεσμο κίνδυνο αντισυμβαλλόμενου ανάμεσα στον επενδυτή και τον έμπορο ομολόγων. Ο κίνδυνος αντισυμβαλλόμενου σε αυτό το συμβόλαιο αγοράς ομολόγου ανάμεσα στον επενδυτή και τον έμπορο ομολόγων περιορίζεται μόνο στο σύντομο χρονικό διάστημα ανάμεσα στο χρόνο που εκτελείται το συμβόλαιο και την ημερομηνία διακανονισμού-μετά από αυτό το σημείο, το συμβόλαιο διακανονίζεται με τα μετρητά που ανταλλάσσονται ανάμεσα στους αγοραστές και τους πωλητές του ομολόγου.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης

Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχουν πλεονεκτήματα, αλλά και μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Η αποδοτικότητα κατανομής των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Αυτό σημαίνει ότι για οικονομικά ινστιτούτα που έχουν μια μεγάλη ποσότητα δανείων με μια συγκεκριμένη γεωγραφική ή βιομηχανική συγκέντρωση, η ικανότητα αναχαίτισης του πιστωτικού κινδύνου αυτών των δανείων με την αγορά ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης επιτρέπει στα οικονομικά ινστιτούτα να εξαλείψουν τη γεωγραφική ή βιομηχανική συγκέντρωση από το χαρτοφυλάκιο τους. Εταιρίες με σημαντικό κίνδυνο αντισυμβαλλόμενου στις σχέσεις τους με προμηθευτές ή αγοραστές μπορούν μερικώς να αναχαιτίσουν τον κίνδυνο των προμηθευτών ή αγοραστών τους να σταματήσουν τις δραστηριότητές τους αγοράζοντας συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Επίσης, εταιρίες που λειτουργούν σε ξένες χώρες μπορούν μερικώς να αναχαιτίσουν τους ξένους επενδυτικούς κινδύνους χρησιμοποιώντας συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης σε πτωχευμένους (sovereigns). Πράγματι, εάν τα κέρδη τους υφίστανται σημαντικές απώλειες στην περίπτωση αποτυχίας της οικονομίας της ξένης χώρας, ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης παρέχει μερική ασφάλιση για αυτές τις απώλειες.
- Ίσως το πιο σημαντικό πλεονέκτημα του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι ότι επιτρέπει στον αγοραστή ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης να συντομεύσει (short) την υποκείμενη έκδοση χρέους χωρίς να υφίσταται μεγάλα κόστη συναλλαγής και ρευστότητας. Ας σημειωθεί ότι η αγορά ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι ισοδύναμη με την πώληση του χρέους αναφοράς συν την αγορά ενός με άλλο τρόπο ισοδύναμου χρεογράφου θησαυροφυλακίου (Treasury security). Πράγματι, όταν αγοράζει κανείς το συμβόλαιο ανταλλαγής

πιστωτικής αθέτησης πληρώνει ασφάλιστρα και λαμβάνει ένα κέρδος εάν το χρέος αποτύχει. Αυτή η δήλωση είναι απλώς μια επαναδιατύπωση της ισοδυναμίας ανάμεσα στο επικίνδυνο χρέος και στο ακίνδυνο χρέος συν την πώληση ενός συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης.

- Επιπλέον, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μετακινούν τις ατέλειες της αγοράς, αυξάνοντας επομένως την αποτελεσματικότητα των αγορών χρέους. Συγκεκριμένα, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης επιτρέπουν την περισσότερο αποτελεσματική συντόμευση (shorting) των εκκρεμών εκδόσεων χρέους. Όταν επιβάλλονται περιορισμοί σύντομης πώλησης (short sale) ή η συντόμευση είναι μια δαπανηρή άσκηση, οι τιμές της αγοράς μπορεί να παραμορφωθούν και να δημιουργηθούν φούσκες τιμών. Αυτό συμβαίνει επειδή οι αρνητικές γνώμες που αφορούν την υπόσχεση του χρέους να εξοφλήσει δεν μπορούν τόσο εύκολα να επιδράσουν στην τιμή. Με λιγότερο παραμορφωμένες τιμές και χαμηλότερα κόστη συναλλαγών, το εμπόριο συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης αυξάνει την προμήθεια κεφαλαίου στις κυρίαρχες αγορές χρέους, ως εκ τούτου μειώνει τα επιτόκια δανεισμού και αυξάνει τις συνολικές επενδύσεις. Αυτό παράγει μια θετική πραγματική επίδραση στην ανάπτυξη της οικονομίας. Παρ' όλα αυτά, αυτά τα οφέλη που αυξάνουν την ευημερία υπάρχουν υπό την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει κίνδυνος αντισυμβαλλόμενου κατά την εκτέλεση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Όταν ο πωλητής προστασίας μπορεί να αποτύχει, πολλές από τις ιδιότητες πρόνοιας εξαφανίζονται. Ο κίνδυνος αντισυμβαλλόμενου αντιμετωπίζεται μέσω της χρήσης εγγύησης και πιστωτικών ορίων, όπου τα πιστωτικά όρια καθορίζονται εν μέρει από το μετοχικό κεφάλαιο του αντισυμβαλλόμενου.
- Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης αποτιμώνται σε τιμές αγοράς καθημερινά. Αυτό σημαίνει ότι αυτοί που γράφουν πιστωτική προστασία έχουν να αντιμετωπίσουν τον κίνδυνο ο οποίος συμπεριλαμβάνεται, το οποίο σημαίνει ότι η οικονομική τους θέση περιθωριοποιείται (marginied) καθημερινά. Αυτή η μεταχείριση, στη θεωρία, πρέπει να επιτρέπει στους διαχειριστές των κεφαλαίων (funds) να χρησιμοποιούν τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ώστε να μειώνουν με ασφάλεια τον κίνδυνο πιστωτικής έκθεσης που περιλαμβάνεται για να χειρίζονται τα κεφάλαια ώστε να ταιριάζουν καλύτερα στο προφίλ κινδύνου των επενδυτών.
- Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μπορεί να χρησιμοποιηθούν από τους επενδυτές για κερδοσκοπικούς σκοπούς. Ανάλογα με το αν ένας επενδυτής πιστεύει ότι μια εταιρία ίσως αποτύχει σύντομα στο χρέος της ή παραμένει σταθερή, ένα συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μπορεί είτε να αγοραστεί είτε να πωληθεί με σκοπό να κάνουν κέρδος. Οι επενδυτές μπορούν ακόμα να χρησιμοποιήσουν μια στρατηγική κερδοσκοπίας γνωστή ως κερδοσκοπία διάρθρωσης κεφαλαίου, στην οποία ένα κέρδος δημιουργείται βασιζόμενο πάνω στην απόδοση του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης που αφορά ένα περιουσιακό στοιχείο (CDS spread of an asset).

Τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Οι τιμές στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης αντανακλούν τις εμπιστευτικές πληροφορίες. Η αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήταν ιστορικά ελαφρά αστυνόμευμένη (policed) από τους ρυθμιστές και επομένως ήταν ένας ελκυστικός τόπος συνάντησης για συναλλαγές συνδεδεμένων προσώπων. Οι συμμετέχοντες στην αγορά αυτή είναι υπερβολικά μεγάλα, πολύπειρα οικονομικά ινστιτούτα όπως τράπεζες, χρηματιστηριακές εταιρίες, αντισταθμιστικά κεφάλαια (hedge funds) και ασφαλιστικές εταιρίες. Πολλά από αυτά τα ινστιτούτα ίσως επίσης είναι εξασφαλισμένοι πιστωτές (secured creditors) ή χρηματοδότες αποθεμάτων ή απαιτήσεων και ως εκ

τούτου έχουν πρόσβαση σε κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τον οφειλέτη, οι οποίες δεν είναι ευρέως γνωστές.

- Η αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης πιθανόν αντανakλά μια ουδέτερη ή ίσως ακόμα και μια απαισιόδοξη άποψη. Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι κατ'ουσίαν ένας τζόγος (gamble). Δεν είναι απαραίτητο να ψάχνει κανείς ομόλογα για να στοιχηματίσει ενάντια σε αυτά χρησιμοποιώντας συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Αντί αυτού, είναι απαραίτητο μόνο να βρει κανείς ένα επαρκώς καλά κεφαλαιοποιημένο (well-capitalized) αντισυμβαλλόμενο ο οποίος είναι πρόθυμος να βάλει το αντίθετο στοίχημα. Το γεγονός ότι τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης επιτρέπουν σε όλους να εμπλακούν στην ασφάλιση είναι αμφίβολο κατά πόσο είναι μια καλή ιδέα, ακόμη και με ισχυρότερη κυβερνητική νομοθεσία (regulation).
- Το γεγονός ότι δισεκατομμύρια δολάρια επενδύθηκαν σε αντισταθμιστικά κεφάλαια (hedge funds) ειδικά σχεδιασμένα για να επωφεληθούν την κατάρρευση οικονομικών ιδρυμάτων όπως η Lehman Brothers αποτελεί ένα μειονέκτημα καθώς γίνεται υπερβολική χρήση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης για κερδοσκοπία. Άλλος ένας δυνητικά θανάσιμος χειρισμός των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ίσως είναι σε αυτό που είναι γνωστό ως 'αλίευση'. Ας υποθεθεί ότι ένα αντισταθμιστικό κεφάλαιο σχεδιασμένο για να επωφεληθεί κερδοσκοπικά τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης στοιχηματίζει σωστά. Όταν η απόδοση (spread) του συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης αυξάνεται, μπορεί να πουλήσει την προστασία που παρέχει το συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης για την ίδια εταιρία σε μια υψηλότερη τιμή, αλιεύοντας ένα σταθερό εισόδημα με ολότελα αναχαιτισμένο κίνδυνο. Αν διαιωνιστεί περαιτέρω, αυτό δημιουργεί μια επικίνδυνη αλυσίδα, τα λεγόμενα 'σχοινιά' μεταφορικά. Το αντισταθμιστικό κεφάλαιο ίσως φαίνεται να είναι σε μια καλή μορφή, αλλά με όλους να είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους, η κατάρρευση και οι οικονομικές απώλειες θα είναι καταστροφικές.
- Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μπορούν να επιτρέψουν στα οικονομικά ιδρυτά ή άλλους συμμετέχοντες στην αγορά να ξεφορτώσουν στην πραγματικότητα όλο τον κίνδυνο (ή να πάνε παραπέρα και να στοιχηματίσουν πραγματικά έναντι του οφειλέτη), ενώ ταυτόχρονα κατέχουν μια σημαντική μερίδα χρέους στους ισολογισμούς τους. Με τον τρόπο αυτό, το οικονομικό ιδρυτούτο φαίνεται στον πελάτη-και στον έξω κόσμο-να πιστεύει στην επιτυχία του πελάτη του, ενώ η αληθινή του γνώμη ίσως είναι πολύ λιγότερο αισιόδοξη. Επειδή τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δεν αποκαλύπτονται σε ένα ισολογισμό, μέσω αρχειοθετήσεων του ομοιόμορφου εμπορικού κώδικα (U.C.C.-Uniform Commercial Code), μέσω μιας ανταλλαγής ή σύμφωνα με οποιαδήποτε υποχρεωτική νομοθεσία (regulation), οι συναλλαγές με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι γενικά λιγότερο διαφανείς από ότι οι συναλλαγές με ομόλογα. Με άλλα λόγια, ενώ πουλώντας μια μεγάλη ποσότητα ομολόγων ή τραπεζικού χρέους ίσως είναι ισοδύναμο με τη δήλωση της ψηφοφορίας κάποιου κατά τη διάρκεια μιας ονομαστικής κλήσης (stating one's vote during a roll call), αγοράζοντας προστασία με συμβόλαιο ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μπορεί να μοιάζει περισσότερο με χύτευση μιας μυστικής ψηφοφορίας (casting a secret ballot). Παρ' όλα αυτά, η μυστικότητα και η ανωνυμία της αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης θα μπορούσε επίσης να την κάνει ένα ελκυστικό όχημα για χειρισμό της αγοράς.
- Επειδή η αποκάλυψη τιμών στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι εθελοντική και τα κατά μέσο όρο σταθμισμένα με βάση τον όγκο δεδομένα τιμών (volume-weighted average price data) δεν είναι γενικά διαθέσιμα, οι αγορές συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι πιθανώς

ευάλωτες στο χειρισμό, ακόμη και με υψηλότερο όγκο. Η νομοθεσία (regulation) στις αγορές παραγώγων εκτός οργανωμένων αγορών είναι επίσης εμφανώς χαλαρή. Επιπλέον, οι οργανισμοί αξιολόγησης πιστοληπτικής ικανότητας όπως η Standard and Poor's και η Moody's Investors Services, οι οποίοι είναι ιδιωτικές μη κυβερνητικές οντότητες (αλλά ίσως θεωρούνται 'ευλογημένες από την κυβέρνηση') προσδίδουν επιπρόσθετο μειονέκτημα στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και ίσως να είναι εν μέρει κατηγορούμενες για την τρέχουσα οικονομική κρίση. Για παράδειγμα, επειδή στην AIG δόθηκε μια AAA εκτίμηση, δεν χρειάστηκε να τοποθετήσει εγγύηση έναντι του κινδύνου πιστωτικής προστασίας που αφορά τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης όπως απαιτούνταν να κάνουν άλλες οικονομικές εταιρίες.

- Με τις συναλλαγές εκτός οργανωμένων αγορών, οι συναλλαγές δεν είναι δημόσιες. Μπορεί να υπάρχουν συναλλαγές παραγώγων για τις οποίες σχεδόν κανείς δεν θα γνωρίζει κάτι. Αυτή η έλλειψη διαφάνειας μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα. Αυτό σημαίνει ότι οι εκθέσεις σε παράγωγα δεν είναι γνωστές σε ικανοποιητικό βαθμό. Τα οικονομικά ινστιτούτα έχουν μερικές αποκαλύψεις για τα παράγωγα. Παρ' όλα αυτά, όπως αποδείχθηκε μετά την πτώχευση της Lehman, αυτές οι αποκαλύψεις δεν καθιστούν δυνατή την ακριβή αξιολόγηση της τρωτότητας ενός οικονομικού ινστιτούτου όσον αφορά την αποτυχία ενός εμπόρου. Η έλλειψη κατανόησης μιας τέτοιας τρωτότητας μπορεί να οδηγήσει σε ροές (runs) στα ινστιτούτα και ως εκ τούτου σε αστάθεια. Επίσης, η έλλειψη διαφάνειας για τους επενδυτές σημαίνει ότι είναι κατά καιρούς δύσκολο για αυτούς να γνωρίζουν εάν έχουν επωφεληθεί από μια συναλλαγή.
- Η αγορά για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήταν χειραγωγημένη ώστε αυξήσεις στα ασφάλιστρα των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δημιούργησαν πανικό και μείωσαν τις τιμές των μετοχών. Υπήρχαν ακραίες κινήσεις στα ασφάλιστρα των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, αλλά σε δύσκολους καιρούς μπορεί να είναι δύσκολο να αξιολογηθεί εάν τέτοιες ακραίες κινήσεις είναι παράλογες ή αντανακλούν πραγματικές αλλαγές σε πιθανότητες αθέτησης και εκτιμήσεις ανάκαμψης. Οι πληροφορίες σχετικά με τα ασφάλιστρα των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δεν υποδηλώνουν το πόσο βαθιά είναι η αγορά. Είναι δύσκολο, εάν όχι αδύνατο, να χειριστεί κανείς επιτυχώς μια ρευστή αγορά μέσω συναλλαγών. Εάν η αγορά για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης όσον αφορά ένα όνομα δεν είναι υψηλής ρευστότητας σε μια χρονική στιγμή, παρ' όλα αυτά, η αγορά θα μπορούσε να χειραγωγηθεί, όσον αφορά το ότι μικρές συναλλαγές θα μπορούσαν να κινήσουν τις τιμές. Συνήθως, τέτοια χειραγωγήση μπορεί να μην είναι επικερδής επειδή εάν η αγορά δεν είναι ρευστή είναι δύσκολο να καθοριστούν μεγάλες θέσεις ώστε να επωφεληθεί κανείς από τη χειραγωγήση. Με τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, όμως, ο χειραγωγός ίσως είναι ικανός να ωφεληθεί από τον καθορισμό θέσεων όσον αφορά το απόθεμα και το χρέος του ονόματος (name's stock and debt). Ακόμα, οι 'γυμνές' θέσεις στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης-δηλαδή καταστάσεις όπου ένας επενδυτής αγοράζει προστασία χωρίς να κατέχει ομόλογα εκδιδόμενα από ένα όνομα-επειδή επιτρέπουν στους επενδυτές να πουλήσουν σύντομα και αποτελεσματικά το χρέος (effectively sell debt short) και πιθανώς να ωθήσουν τις τιμές χρέους σε επίπεδα που δεν δικαιολογούνται από τις βασικές αρχές (fundamentals). Η ικανότητα σύντομης πώλησης (sell short) μπορεί να κάνει τις αγορές περισσότερο αποτελεσματικές. Παρ' όλα αυτά, είναι επίσης δυνατό κατά καιρούς η ικανότητα σύντομης πώλησης να κάνει τις αγορές αναποτελεσματικές, ίσως μέσω της χειραγωγής που αναφέρθηκε και συζητήθηκε παραπάνω.

Η πτώση της AIG

Ένα παράδειγμα συστημικού κινδύνου που ανανεώνει τη συζήτηση όσον αφορά τη νομοθεσία για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης

Το νομοθετικό τοπίο πριν την AIG

Μέχρι το 1980, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης νομοθετούνταν από τη ρυθμιστική αρχή της επιτροπής συναλλαγών που αφορούν εμπορεύματα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (Commodity Futures Trading Commission-CFTC) και μπορούσαν μόνο να συναλλάσσονται σε ρυθμιζόμενες αγορές εμπορευμάτων. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η ρυθμιστική αρχή της επιτροπής συναλλαγών που αφορούν εμπορεύματα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης είχε να προ-εγκρίνει την οικονομική ακεραιότητα των υποψηφίων συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Επειδή όλα τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης που έχουν εγγραφεί είχαν εγκριθεί από τη ρυθμιστική αρχή της επιτροπής συναλλαγών που αφορούν εμπορεύματα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης, οι πωλητές προστασίας ήταν γενικά ικανοί να αποκαταστήσουν τις δεσμεύσεις τους που απορρέουν από το συμβόλαιο σε περίπτωση αποτυχίας. Παρ'όλα αυτά, η διαδικασία προέγκρισης περιόρισε την ποικιλία συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης που θα μπορούσαν να αγοραστούν και να πωληθούν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι συμμετέχοντες στην αγορά να πιέσουν για απορρύθμιση (deregulation). Η νομοθεσία υπάρχει για να προωθηθούν ή να εμποδιστούν αμοιβαία επωφελείς συναλλαγές και η επιτυχής νομοθεσία ρυθμίζει μόνο στο βαθμό που τα κόστη της κανονιστικής συμμόρφωσης δεν υπερτερούν των πλεονεκτημάτων. Αυτοί που πιέζουν για απορρύθμιση της αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης πίστευαν ότι η δύναμη προέγκρισης της ρυθμιστικής αρχής της επιτροπής συναλλαγών που αφορούν εμπορεύματα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης περιόριζε την ικανότητα των συμμετεχόντων στην αγορά να δημιουργήσουν αμοιβαία επωφελείς συναλλαγές. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η ρυθμιστική εποπτεία της ρυθμιστικής αρχής της επιτροπής συναλλαγών που αφορούν εμπορεύματα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης να μειωθεί δραματικά με το πέρας του Νόμου Εκσυγχρονισμού των Εμπορευμάτων και των Συμβολαίων Μελλοντικής Εκπλήρωσης (Commodity Futures Modernization Act-CFMA) το 2000. Ο Νόμος Εκσυγχρονισμού των Εμπορευμάτων και των Συμβολαίων Μελλοντικής Εκπλήρωσης τροποποίησε το Νόμο περί Κινητών Αξιών (Securities Act) του 1933 και το Νόμο περί Ανταλλαγής Χρεογράφων (Securities Exchange Act) του 1934 ώστε να εξαιρέσει ρητά από τον ορισμό ενός ρυθμισμένου χρεογράφου 'οποιαδήποτε συμφωνία ανταλλαγής που βασίζεται σε χρεόγραφο (security-based swap agreement)'. Η πιο σημαντική επίδραση ήταν ότι ανακάλεσε την δύναμη προέγκρισης της ρυθμιστικής αρχής της επιτροπής συναλλαγών που αφορούν εμπορεύματα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης, το οποίο δημιούργησε μια νέα, ραγδαία εκτεινόμενη και σχεδόν ολότελα άναρχη εκτός οργανωμένων αγορών, αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Η ραγδαία απορρύθμιση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήρθε να ωφελήσει την αγορά σαν σύνολο επειδή η ελευθερία στα συμβόλαια προωθεί την καινοτομία. Παρ'όλα αυτά, η αγορά ωφελείται μόνο στο βαθμό που οι συμμετέχοντες σε αυτή αποτελεσματικά εσωτερικεύουν τον συστημικό κίνδυνο που ενυπάρχει στην ελεύθερη συναλλαγή συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Η πτώση της AIG αποδεικνύει ότι τα πρόσφατα απορρυθμισμένα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δεν προκάλεσαν επαρκώς τους συμμετέχοντες στην αγορά να εσωτερικεύσουν αυτό τον κίνδυνο.

Εξήγηση της κατάρρευσης της AIG

Η AIG είναι 'μια μητρική εταιρία η οποία, μέσω των θυγατρικών της, συμμετέχει σε μια ευρεία σειρά ασφαλιστικών δραστηριοτήτων και δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την ασφάλιση στις Ηνωμένες Πολιτείες και στο εξωτερικό.' Οι κυρίαρχες διαιρέσεις επιχειρήσεων είναι η ασφάλεια γενικού κλάδου, η ασφάλεια ζωής και οι υπηρεσίες συνταξιοδότησης, οι οικονομικές υπηρεσίες και η διαχείριση περιουσιακών στοιχείων. Ήταν η εταιρία οικονομικών προϊόντων της AIG (AIG's Financial Products Corp.-AIGFP), η

ομάδα συναλλαγών της AIG (AIG Trading Group, Inc.) και οι αντίστοιχες θυγατρικές, οι οποίες συμμετείχαν σε συναλλαγές με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και ήταν στη ρίζα της τελευταίας πτώσης. Η AIGFP επιβαρύνθηκε 32 δισεκατομμύρια δολάρια σε απώλειες ανάμεσα στον Ιανουάριο του 2007 και το Σεπτέμβριο του 2008 και αυτές οι απώλειες αποδίδονται σχεδόν ολότελα στο υπερμοχλευμένο (overleveraged) χαρτοφυλάκιο συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Για να κατανοηθεί πλήρως η επίδραση που είχαν τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης στην AIG και στην αγορά σαν σύνολο, είναι σημαντικό να καταλάβει κανείς τη διαδικασία τιτλοποίησης στεγαστικών δανείων (mortgage securitization) γενικά. Η διαδικασία ξεκινά με ένα δανειστή που εκδίδει ένα ενυπόθηκο δάνειο σε ένα αγοραστή προκειμένου να χρηματοδοτήσει την αγορά ενός σπιτιού. Ο δανειστής τότε πουλάει αυτό το δάνειο, μαζί με άλλα δάνεια τα οποία έκανε κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου, σε ένα ινστιτούτο που ονομάζεται ένας διευθετών. Ο διευθετών πουλάει αυτά τα δάνεια, μαζί με άλλα δάνεια τα οποία αγόρασε, σε ένα όχημα ειδικού σκοπού (special purpose vehicle-SPV). Προκειμένου να χρηματοδοτήσει την αγορά των συγκεντρωτικών δανείων, το όχημα ειδικού σκοπού εκδίδει υποχρεώσεις χρέους, οι οποίες καλούνται χρεόγραφα εξασφαλισμένα με περιουσιακά στοιχεία (asset backed securities-ABSs) και οι οποίες παρέχουν αξιώσεις στις ταμειακές ροές που παράγονται από τα συγκεντρωτικά δάνεια (pooled loans). Τυπικά το όχημα ειδικού σκοπού χωρίζει τις υποχρεώσεις χρέους που εκδίδει σε διαφορετικές δόσεις (tranches), συχνά κατώτερες, μεσαίες και ανώτερες δόσεις. Οι δόσεις χωρίζονται προκειμένου να υποδηλώσουν την προτεραιότητα πληρωμής. Γενικά, οι υποχρεώσεις αποπληρώνονται πρώτα στην ανώτερη δόση, μετά στην μεσαία δόση και τελικά στην κατώτερη δόση. Οι διαφορετικές δόσεις αξιολογούνται από οργανισμούς αξιολόγησης πιστοληπτικής ικανότητας. Αν και μια ανώτερη δόση μπορεί να μην υποστηρίζεται από οποιαδήποτε περιουσιακά στοιχεία που βαθμολογούνται με τριπλό A, ίσως ωστόσο να λάβει μια αξιολόγηση τριπλού A εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι η πρώτη που λαμβάνει πληρωμές και η τελευταία που υφίσταται απώλειες. Παρά την υψηλή αξιολόγηση πιστοληπτικής ικανότητας πολλών χρεογράφων εξασφαλισμένων με περιουσιακά στοιχεία, υπάρχει μια τεράστια ζήτηση για ασφάλιση σε αυτά τα χρεόγραφα εξασφαλισμένα με περιουσιακά στοιχεία με τη μορφή συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Αυτό είναι το σημείο όπου η AIGFP ήρθε στο προσκήνιο. Μέχρι το τέλος του 2007, η AIGFP είχε εκδώσει συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης τα οποία ασφάλιζαν μια καθαρή θεωρητική αξία 527 δισεκατομμυρίων δολαρίων σε δόσεις χρεογράφων, οι οποίες αξιολογήθηκαν με τριπλό A. Η AIGFP κέρδισε δισεκατομμύρια δολάρια σε έσοδα μέσω του χαρτοφυλακίου συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησής της, αλλά οι αγοραστές προστασίας ωφελήθηκαν επίσης. Πολλά οικονομικά ινστιτούτα αγόρασαν συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της AIGFP προκειμένου να επιτύχουν 'ενίσχυση εποπτικών κεφαλαίων (regulatory capital relief).' Αγοράζοντας προστασία από την AIGFP, αυτά τα ινστιτούτα ήταν ικανά να μειώσουν το ποσό κεφαλαίου που απαιτούνταν να διατηρούν από ρυθμιστικές εντολές. Αυτή η άποψη των δραστηριοτήτων με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της AIGFP αύξησε το συστημικό κίνδυνο και ήταν ένας κύριος παράγοντας που οδήγησε στην τρέχουσα οικονομική κρίση. Η ενίσχυση εποπτικών κεφαλαίων που παρείχαν αυτές οι συναλλαγές με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης καταδεικνύει πώς οι συμμετέχοντες στην αγορά και από τις δύο πλευρές της συναλλαγής είχαν ένα κίνητρο να αγνοήσουν τον κίνδυνο, ο οποίος ενυπάρχει στη συναλλαγή με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Παρ' όλα αυτά, η AIGFP και τα ινστιτούτα με τα οποία έκανε τις δουλειές της, ωφελήθηκαν από τη συναλλαγή με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μόνο εφόσον η αξία των υποκείμενων χρεογράφων στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης παρέμενε σταθερή. Δυστυχώς, δεν ωφελήθηκαν. Το καθαρό θεωρητικό ποσό των 61.4 δισεκατομμυρίων δολαρίων του χαρτοφυλακίου συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της AIGFP ασφάλισε τα εξασφαλισμένα ομόλογα χρέους (collateralized debt obligations-CDOs), ένα τύπο χρεογράφων εξασφαλισμένων με περιουσιακά στοιχεία που υποστηρίζονται (backed) από στεγαστικά δάνεια υψηλού κινδύνου (subprime mortgages). Όταν μια μεγάλη μερίδα δανειζόμενων υψηλού κινδύνου απέτυχε στα δανειά της, οι υποχρεώσεις της AIGFP που

απορρέουν από τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης καταστήθηκαν ληξιπρόθεσμες. Αυτό προκάλεσε μαζικές απομειώσεις (writedowns) στο χαρτοφυλάκιο συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της AIGFP (11.2 δισεκατομμύρια δολάρια το 2007 και 19.9 δισεκατομμύρια δολάρια τους πρώτους εννέα μήνες του 2008) και ώθησε την AIGFP να τοποθετήσει δισεκατομμύρια δολάρια σε εγγύηση. Ως αποτέλεσμα, οι οργανισμοί αξιολόγησης πιστοληπτικής ικανότητας υποβάθμισαν την μακροπρόθεσμη αξιολόγηση χρέους της AIG, το οποίο προκάλεσε 20 επιπρόσθετα δισεκατομμύρια δολάρια υποχρεώσεων που απορρέουν από συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης να καταστούν ληξιπρόθεσμα. Ήταν σε αυτό το σημείο που η ομοσπονδιακή κυβέρνηση αποφάσισε να κάνει ένα βήμα και να εκδώσει ένα δάνειο 85 δισεκατομμυρίων δολαρίων στον ασφαλιστικό γίγαντα. Η κατάρρευση της AIG είναι ένα τελειότατο παράδειγμα συστημικού κινδύνου. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η απορρύθμιση της αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δημιούργησε μια κατάσταση στην οποία η AIGFP και τα οικονομικά ιδρύματα στα οποία πούλησε συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δεν είχαν κίνητρα να εσωτερικεύσουν τον κίνδυνο, ο οποίος ενυπάρχει στη συναλλαγή με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Αυτοί οι συμμετέχοντες στην αγορά επέλεξαν αντί αυτού να εσωτερικεύσουν μόνο τα ιδιωτικά κόστη και οφέλη. Ως αποτέλεσμα, οι φορολογούμενοι των Ηνωμένων Πολιτειών αναγκάστηκαν να πληρώσουν το λογαριασμό, καθώς η βοήθεια της ομοσπονδιακής κυβέρνησης που παρασχέθηκε στην AIG έχει από τότε μεγαλώσει σε 200 δισεκατομμύρια δολάρια. Η AIG ήταν ένας από τους μεγαλύτερους παίκτες στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, αλλά σίγουρα όχι ο μόνος. Στην πραγματικότητα, το χαρτοφυλάκιο συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης των 527 δισεκατομμυρίων δολαρίων της AIG αντιπροσώπευε λιγότερο από ένα τοις εκατό των σχεδόν 58 τρισεκατομμυρίων δολαρίων της αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Θεωρώντας το επίπεδο συστημικού κινδύνου που θέτει η συναλλαγή με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης άναρχο, η συζήτηση που αφορά τη νομοθεσία των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχει ανανεωθεί.

Όμως εάν η αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης λειτουργεί καλά, γιατί θεωρείται ότι είναι τόσο επικίνδυνη; Παρά το γεγονός ότι οικονομικές κρίσεις εξακολουθούν να συμβαίνουν, δεν είναι ασυνήθιστο για τις πρόσφατες οικονομικές καινοτομίες να κατηγορούνται και για τη νομοθεσία να τις απαγορεύει. Παρ'όλο που η Lehman ήταν ένας μεγάλος έμπορος συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δεν ήταν η αιτία αποτυχίας της Lehman. Ούτε ήταν η άμεση αιτία θανάτου της Bear Stearn. Ίσως είναι εύκολο να μεταβεί κανείς στο συμπέρασμα ότι επειδή τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έπαιξαν ένα κύριο ρόλο στην τρέχουσα οικονομική κρίση, πρέπει κάπως να είναι εγγενώς ελαττωματικά. Η Blythe Masters είναι αρχηγός των παγκόσμιων εμπορευμάτων στην J.P. Morgan και βοήθησε στη δημιουργία των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Έχει πει ότι 'Ειρωνικά, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχουν λειτουργήσει ακριβώς όπως προοριζόταν να λειτουργήσουν.' Το μήνυμά της είναι ότι είναι εκείνοι που κάνουν κατάχρηση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, οι οποίοι έχουν προκαλέσει τόσο πόνο στην αγορά, ένα επιχείρημα ισοδύναμο με αυτό που λέει ότι 'τα όπλα δεν σκοτώνουν τους ανθρώπους, οι άνθρωποι σκοτώνουν τους ανθρώπους.' Πιθανόν ο βαθμός στον οποίο οι εταιρίες και οι επενδυτές προσπάθησαν να χειριστούν τον κίνδυνο από τη χρήση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, σε συνδυασμό με την έλλειψη κυβερνητικής επίβλεψης και νομοθεσίας, εμπόδισαν τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης να χρησιμοποιηθούν με ένα θετικό τρόπο σε όλους τους τομείς. Αντίθετα, όταν δημιουργούνται καταλλήλως, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είναι πάρα πολύ ωφέλιμα και παίζουν έναν αναπόσπαστο ρόλο στην αποκατάσταση της οικονομίας. Γενικά, έχουν μετριάσει τον πιστωτικό κίνδυνο αποτελεσματικά, καθώς νέες προσεγγίσεις εφευρίσκονται συνεχώς για τη διαχείριση του κινδύνου.

Συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και η οικονομική κρίση του 2007-2009

Τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης θεωρούνταν ως εύκολα χρήματα για τις τράπεζες όταν αυτά πρώτα ξεκίνησαν καθώς η οικονομία άνθιζε και οι εταιρικές αποτυχίες ήταν λίγες τότε, κάνοντας τις ανταλλαγές ένα λιγότερο επικίνδυνο τρόπο να συλλέξει κανείς το ασφάλιστρο και να κερδίσει επιπλέον μετρητά. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους αγοράς των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης σε ένα υπερβολικό αριθμό των 50 τρισεκατομμυρίων δολαρίων το 2009, νικώντας την χρηματιστηριακή αγορά των ΗΠΑ που έχει μέγεθος γύρω στα 22 τρισεκατομμύρια δολάρια. Επίσης, όσον αφορά την έρευνα χρήσης παραγώγων του 2009 από την Διεθνή Ένωση Ανταλλαγών και Παραγώγων (International Swaps and Derivatives Association-ISDA), πάνω από το 90 τοις εκατό των πεντακοσίων εταιριών του Fortune (Fortune 500 companies) χρησιμοποιούν συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ώστε να διαχειρίζονται τους κινδύνους τους. Οι ανταλλαγές συγκεντρώνονται πρωτίστως στα δημοτικά ομόλογα και το εταιρικό χρέος στη δεκαετία του 1990, όχι στα δομημένα χρηματοπιστωτικά χρεόγραφα. Οι επενδυτές συνέρρεαν στις ανταλλαγές με την πεποίθηση ότι οι μεγάλες εταιρίες σπάνια θα διαλύονταν σε τέτοιους ανθηρούς οικονομικούς καιρούς. Η αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης επεκτάθηκε τότε σε δομημένη χρηματοδότηση (structured finance), όπως τα εξασφαλισμένα ομόλογα χρέους (collateralized debt obligations-CDOs), που περιείχαν κοινοπραξίες υποθηκών (pools of mortgages). Επίσης, εξερράγη στη δευτερογενή αγορά, όπου οι κερδοσκοπικοί επενδυτές, τα αντισταθμιστικά κεφάλαια (hedge funds) και άλλοι θα αγοράζουν και θα πουλάνε συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης από τα περιθώρια (sidelines) χωρίς να έχουν καμία άμεση σχέση με την υποκείμενη επένδυση, το οποίο αναφέρεται ως 'γυμνό εμπόριο (naked trading)'. Πριν από την οικονομική κρίση του 2007-2009, καθώς η Ομοσπονδιακή Τράπεζα των ΗΠΑ (Federal Reserve) μείωνε τα επιτόκια και οι Αμερικάνοι άρχιζαν να αγοράζουν σπίτια σε αριθμούς ρεκόρ, οι ενυπόθηκοι τίτλοι (mortgage-backed securities-MBSs) έγιναν η καινούρια καυτή επένδυση. Οι υποθήκες συγκεντρώθηκαν μαζί και κόπηκαν σε ομόλογα τα οποία αγοράζονταν από σχεδόν κάθε οικονομικό ινστιτούτο που μπορεί κανείς να φανταστεί: επενδυτικές τράπεζες, εμπορικές τράπεζες, αντισταθμιστικά κεφάλαια (hedge funds), συνταξιοδοτικά ταμεία (pension funds). Για πολλούς από αυτούς τους ενυπόθηκους τίτλους, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ελήφθησαν για προστασία έναντι της αποτυχίας. Αλλά σύντομα, καθώς οι τιμές ακινήτων στις ΗΠΑ βυθίστηκαν προκαλώντας σε αυτούς τους ενυπόθηκους τίτλους αλλοιώσεις και όχι μόνο οι δανειστές αλλά και οι συντάκτες των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης αντιμετώπισαν χρεωκοπία, επειδή δεν είχαν αρκετό κεφάλαιο για να εξυπηρετήσουν αυτά τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης σε περίπτωση πιστωτικών γεγονότων, τα οποία συνέβησαν σε μεγάλους αριθμούς. Ως εκ τούτου, κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο έπρεπε να τα διασώσουν με τα χρήματα των φορολογούμενων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, υποδηλώνοντας ότι οι επενδυτές έπρεπε να πληρώνουν περισσότερα για να λάβουν προστασία από τους δανειζόμενους. Επίσης, κατά τη διάρκεια της κρίσης δημοσίου χρέους (sovereign debt crisis) στην Ευρώπη, η οποία αντιμετωπίστηκε πρωτίστως από την Πορτογαλία, την Ιταλία, την Ελλάδα και την Ισπανία (PIGS-Portugal, Italy, Greece, Spain), η απόδοση σε πενταετή Ελληνικά και Πορτογαλικά κρατικά ομόλογα παραβίασε όλα τα σήματα, υποδηλώνοντας ότι η πιθανότητα ενός πιστωτικού γεγονότος ήταν πολύ υψηλή όσον αφορά τα κρατικά ομόλογα που εκδίδονται από αυτές τις χώρες. Το επόμενο γράφημα υποδεικνύει τις αποδόσεις συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης διάφορων χωρών που αντιμετώπιζαν φόβους αύξησης των πιστωτικών αποτυχιών και από τις κυβερνήσεις και από άλλα οικονομικά ινστιτούτα. Όπως υποδηλώνεται στο γράφημα, η απόδοση συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήταν η ύψιστη για επενδυτές που αναζητούν προστασία έναντι των κρατικών ομολόγων του Ντουμπάι. Το Ντουμπάι, το οποίο είδε μια συνεχή πτώση στις τιμές ακινήτων, είχε ένα τεράστιο σωρό χρέους πάνω από 80 τρισεκατομμύρια δολάρια, με την ετερογενών δραστηριοτήτων ναυαρχίδα της χώρας (flagship conglomerate), τον Κόσμο του Ντουμπάι (Dubai World), να υφίσταται αναδιάρθρωση του σωρού χρέους γύρω στα 26 δισεκατομμύρια

δολάρια. Η απόδοση χαλάρωσε λίγο μετά που ο Abu Dhabi προσέφερε μια ανακούφιση 10 δισεκατομμυρίων δολαρίων στο Ντουμπάι ως βοήθεια για να εξοφλήσει το Ντουμπάι τα χρέη του.



Γράφημα 1: Αποδόσεις συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης διαφόρων χωρών

Αλλά μέχρι το τέλος του 2009, τα εκκρεμή (outstanding) θεωρητικά ποσά στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης συνέχισαν να πέφτουν (-9%), μολονότι με βραδύτερο ρυθμό από ότι στο πρώτο μισό του 2009 (-14%). Οι ακαθάριστες τιμές αγοράς συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (gross market values) συρρικνώθηκαν κατά 40%, ένα παρόμοιο ποσοστό μείωσης με αυτό που φάνηκε στο πρώτο μισό του έτους (-42%). Αυτό μείωσε την αξία αγοράς των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης στο 35% της κορυφής τους στο τέλος του 2008.

Ευρωπαϊκή νομοθετική απόκριση και χρήση οίκων εκκαθάρισης (clearing houses) των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης

Ακόμα κι αν τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήταν πρωτοπόρα από τους Αμερικάνους στη δεκαετία του 1990, έγιναν γρήγορα δημοφιλή στην Ευρώπη. Μια μελέτη της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας (European Central Bank-ECB) υποδηλώνει ότι 41 τοις εκατό των προϊόντων δείκτη συμβολαίου ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (CDS index products) τον Ιανουάριο του 2009 βασίζονταν σε Ευρωπαϊκές οντότητες αναφοράς (δηλαδή, δείκτης Ευρώπης- iTraxx Europe), 37 τοις εκατό των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης συντάσσονται σε Ευρωπαϊκές εταιρίες ή πτωχευμένους (sovereigns) το Μάρτιο του 2009 και ότι 39 τοις εκατό των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήταν εκφρασμένα σε Ευρώ το 2007. Ενώ οι υψηλού προφίλ αποτυχίες που σχετίζονται με τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης συνέβησαν στις ΗΠΑ, οι Ευρωπαϊκές αρχές αναγνώρισαν τους κινδύνους που σχετίζονται με τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ως δικούς τους. Στην Ευρώπη, οι οίκοι εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ήταν μόλις μια νέα ιδέα που συνελήφθη πρώτα μετά τη Lehman. Είχαν επί μακρόν χρησιμοποιηθεί σε μια ποικιλία συναλλαγών. Το 2001, το Διοικητικό Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, σε σχέση με τόσο τα παράγωγα όσο και τα χρεόγραφα, 'λόγω της πιθανής συστημικής σπουδαιότητας της εκκαθάρισης χρεογράφων και των συστημάτων διακανονισμού, το Ευρωπαϊκό σύστημα ενδιαφέρεται για την εκκαθάριση μέσω οίκων κεντρικού αντισυμβαλλόμενου και θεωρεί ότι είναι ουσιώδες να καθιερώνονται, σε συνεργασία με άλλες σχετικές αρχές, πρότυπα αποτελεσματικής διαχείρισης κινδύνου.' Η σύσταση ήταν παρ'όλα αυτά μακριά

από το να είναι οριστική. Υπήρχε μια αβεβαιότητα για την κατάλληλη υποδομή, με μερικούς να προτείνουν ένα μεμονωμένο οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου που να καλύπτει μετοχές, ομόλογα, παράγωγα και εμπορεύματα. Ακόμη και εάν η Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα δεν ήταν βέβαιη για τις λεπτομέρειες, δήλωνε σαφώς την προτίμησή της για έναν οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου εγκατεστημένο εντός της Ευρωζώνης, μια προτίμηση που θα επαναλαμβανόταν μετά τη Lehman. Τον Απρίλιο του 2008, στα ‘τακούνια’ (heels) της κατάρρευσης της Bear Stearns και μετά από μια μεγαλύτερη περίοδο αναταραχής στη χρηματοπιστωτική αγορά, το Φόρουμ Χρηματοπιστωτικής Σταθερότητας (Financial Stability Forum), μια ομάδα εργασίας οικονομικών νομοθετών από ηγετικές οικονομίες, προσέφερε την αναφορά του για ‘ενίσχυση της αγοράς και της θεσμικής ανθεκτικότητας (institutional resilience)’. Ενώ η αναφορά πρότεινε τυποποίηση των πιστωτικών παραγώγων και προώθησε τη διαχείριση του ‘κινδύνου αντισυμβαλλόμενου μέσω συμφωνιών εγγύησης (collateral) και δικτύωσης (netting)’, δεν κάλεσε για έναν οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για πιστωτικά παράγωγα. Στον απόηχο της οικονομικής κρίσης, η Ευρώπη γρήγορα αγάλιασε την ιδέα ενός οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης-με το επιπρόσθετο γεγονός ότι θα βρίσκεται στην Ευρώπη. Οι Ευρωπαϊκές αρχές, που κυμαίνονται από την Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα, τον Ευρωπαϊκό Επίτροπο για την Εσωτερική Αγορά και τις Υπηρεσίες (European Commissioner for Internal Market and Services), το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, μέχρι την Αρχή Οικονομικών Υπηρεσιών του Ηνωμένου Βασιλείου (UK’s Financial Services Authority-FSA) και ακόμα και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, δήλωσαν την υποστήριξή τους για έναν Ευρωπαϊκό οίκο εκκαθάρισης για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Μετά το θάνατο της Lehman το Σεπτέμβριο του 2008, η επείγουσα ανάγκη και ιδιαιτερότητα της υποστήριξης για έναν οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μεγάλωσε. Στην πολύπλευρη τοποθέτηση του Φόρουμ Χρηματοπιστωτικής Σταθερότητας, η οποία βασίζεται στην Βασιλεία, υπήρχε μια συμφωνία τον Οκτώβριο του 2008 όσον αφορά την ανάγκη για εκκαθάριση βασισμένη σε οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου: ‘Ενόψει των εξελίξεων της αγοράς, είναι σημαντικό οι συμμετέχοντες στην αγορά να προχωρήσουν με τις δεσμεύσεις τους για βελτίωση των αγορών πιστωτικών παραγώγων εκτός οργανωμένων αγορών, περιλαμβάνοντας το να τεθεί σε εφαρμογή η διευθέτηση για την εκκαθάριση με οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου στο εγγύς μέλλον.’ Η γλώσσα προέτρεψε τις εθελοντικές προσπάθειες, αν και η σκέψη μιας δυνατής εντολής δεν θα μπορούσε να είναι πολύ μακριά. Τον Οκτώβριο του 2008, ο Ευρωπαϊκός Επίτροπος για την Εσωτερική Αγορά και τις Υπηρεσίες, Charles McCreenvy, συγκάλεσε μια σύσκεψη με τη βιομηχανία και τους Ευρωπαϊκούς νομοθέτες για να ωθήσει ‘συγκεκριμένες προτάσεις όσον αφορά το πώς μπορούν να μετριαστούν οι κίνδυνοι από τα πιστωτικά παράγωγα.’ Ο επίτροπος McCreenvy αγάλιασε τους οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, λέγοντας ότι ενώ η τυποποίηση των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης ήταν σημαντική, ‘υπάρχει μια πολύ πιο πιεστική ανάγκη και αυτή είναι να υπάρχει ένας οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για αυτά τα παράγωγα.’ Η θέση της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας έγινε περισσότερο επίμονη όσον αφορά την ανάγκη για έναν οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για τους επόμενους λίγους μήνες. Το Νοέμβριο, το Διοικητικό Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας δήλωσε:

Το Ευρωπαϊκό Σύστημα συμμερίζεται τις απόψεις του Φόρουμ Χρηματοπιστωτικής Σταθερότητας και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής όσον αφορά την σπουδαιότητα μείωσης του κινδύνου αντισυμβαλλόμενου και ενίσχυσης της διαφάνειας στις αγορές παραγώγων εκτός οργανωμένων αγορών, ειδικά σε εκείνα τα τμήματα της αγοράς τα οποία είναι συστημικής σπουδαιότητας (για παράδειγμα, πιστωτικά παράγωγα, περιλαμβάνοντας τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης). Υπάρχει ένας αριθμός πρωτοβουλιών που στοχεύουν στην επίτευξη αυτών των στόχων μέσω της εισαγωγής λύσεων κεντρικής εκκαθάρισης (centralized clearing) για τα παράγωγα εκτός οργανωμένων αγορών.

Μέχρι το Δεκέμβριο, το Διοικητικό Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι 'υπήρχε μια ανάγκη για τουλάχιστον έναν Ευρωπαϊκό οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για πιστωτικά παράγωγα και ότι, δεδομένης της πιθανής συστημικής σπουδαιότητας της εκκαθάρισης χρεογράφων και των συστημάτων διακανονισμού, αυτή η υποδομή πρέπει να βρίσκεται εντός της ζώνης του ευρώ.' Τον ίδιο μήνα, το Συμβούλιο Οικονομικών και Χρηματοπιστωτικών Υποθέσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης δήλωσε την υποστήριξή του για έναν ή περισσότερους Ευρωπαϊκούς οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για αγορές παραγώγων εκτός οργανωμένων αγορών και προχώρησε ακόμη περισσότερο για να ενθαρρύνει τον παγκόσμιο συντονισμό όσον αφορά τις μεταρρυθμίσεις. Το Συμβούλιο δήλωσε ότι:

Υποστηρίζει τη δήλωση που έγινε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή όσον αφορά την πρόκληση οικονομικής σταθερότητας, η οποία τίθεται από την αυξανόμενη κλίμακα της έκθεσης σε παράγωγα εκτός οργανωμένων αγορών και συγκεκριμένα τα πιστωτικά παράγωγα και την ανάγκη υποστήριξης κατάλληλων πρωτοβουλιών ώστε να μειωθούν αυτοί οι κίνδυνοι, ιδιαίτερα αναπτύσσοντας, ως ένα πρώτο βήμα και ως ένα επείγον θέμα, τη δημιουργία ικανοτήτων εκκαθάρισης από έναν ή περισσότερους Ευρωπαϊκούς οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου στις αγορές παραγώγων εκτός οργανωμένων αγορών, και ενθαρρύνει τη συνοχή με παράλληλες πρωτοβουλίες σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ο ηγετικός εγχώριος Βρετανικός νομοθέτης, η Αρχή Οικονομικών Υπηρεσιών του Ηνωμένου Βασιλείου, προσέθεσε στην νομοθετική προσέγγιση με το να δηλώσει το Νοέμβριο του 2008 ότι το ρυθμιστικό καθεστώς κατάχρησης της αγοράς του Ηνωμένου Βασιλείου εφαρμόστηκε στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Αυτό σηματοδότησε την προθυμία της να διεκδικήσει την ρυθμιστική της αρχή περισσότερο γενικά στην αγορά. Επίσης το 2008, η Αρχή Οικονομικών Υπηρεσιών του Ηνωμένου Βασιλείου άρχισε τη διαδικασία έγκρισης αιτήσεων από ιδιωτικά μέρη (parties) για την παροχή υπηρεσιών εκκαθάρισης με οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για τα παράγωγα εκτός οργανωμένων αγορών. Μέχρι το Μάρτιο του 2009, η Αρχή Οικονομικών Υπηρεσιών του Ηνωμένου Βασιλείου δήλωσε δημόσια την υποστήριξή της για την εκκαθάριση με οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου στην αγορά συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Η αναθεώρηση της οικονομικής κρίσης από την Αρχή Οικονομικών Υπηρεσιών του Ηνωμένου Βασιλείου, με επικεφαλής τον αρχηγό Adair Turner, περιελάμβανε μια σύσταση άμεσα προς το εμπόριο με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης: 'Η εκκαθάριση και τα συστήματα εκκαθάρισης με οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου πρέπει να αναπτύσσονται ώστε να καλύπτουν τα τυποποιημένα συμβόλαια τα οποία λαμβάνουν υπόψη την πλειοψηφία των συναλλαγών με συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης.' Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει αναλάβει καθοδηγητικό ρόλο όσον αφορά τη δεξιότητα μιας Ευρωπαϊκής απόκρισης (crafting a European response). Μια αναφορά προσωπικού για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, με τίτλο 'Διασφαλίζοντας αποτελεσματικές, σώες και αβλαβείς αγορές παραγώγων', έκανε πιθανόν την πιο συστηματική επίσημη περίπτωση για έναν οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης να γίνει μέχρι σήμερα. Η αναφορά απαρίθμησε τους λόγους για μια δομή εκκαθάρισης με οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για τα παράγωγα και δήλωσε ότι μια τέτοια δομή είναι ιδιαίτερα επείγουσα για τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. 'Τα περισσότερα άλλα παράγωγα', κατέληξε το προσωπικό στο συμπέρασμα ότι, 'εμφανίζονται λιγότερα επικίνδυνα' από ότι τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Λίγο μετά την δημοσίευση της αναφοράς του προσωπικού, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε μια δημόσια διαβούλευση όσον αφορά 'δυνατές πρωτοβουλίες για ενίσχυση της ανθεκτικότητας των αγορών παραγώγων εκτός οργανωμένων αγορών.' Αυτή έλαβε 111 αποκρίσεις, που κυμαίνονται από ιδιώτες μέχρι την Παγκόσμια Τράπεζα. Ο μεγάλος όγκος αποκρίσεων αγκάλιασε την ιδέα ενός οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου, αν και πολλοί διαφέρουν πάνω στις λεπτομέρειες, περιλαμβάνοντας πώς να δοθούν κίνητρα για εκκαθάριση μέσω οίκων εκκαθάρισης κεντρικού

αντισυμβαλλόμενου αντί διμερώς. Μέχρι το 2009, ο αρχικός ενθουσιασμός για εκκαθάριση με οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για τα συμβολαία ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης είχε μόνο γίνει δυνατότερος. Ο εναγκαλισμός της εκκαθάρισης με οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου περικλείει όχι μόνο τους νομοθέτες των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης αλλά και τους εμπόρους των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Ενώ οι υπάρχοντες οίκοι εκκαθάρισης για άλλα χρεόγραφα και παράγωγα ήταν απασχολημένοι με το κτίσιμο νέων οίκων εκκαθάρισης για τα συμβολαία ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης, παρέμενε λιγότερο από βέβαιο το τι ποσοστό συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης που χρειάζονται εκκαθάριση θα προσέλκυαν αυτοί οι οίκοι. Η πίεση από τις αρχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ειδικά από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, βοήθησε στην ώθηση της λύσης εκκαθάρισης. Από τον Οκτώβριο του 2008 και μετά, ο Επίτροπος McCreevy επανειλημμένα απαιτούσε η βιομηχανία να κινηθεί προς την εκκαθάριση με οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου. Τον επόμενο Ιανουάριο, ήταν προφανώς δυσσαρεστημένος με την πρόοδο, προκαλώντας τον να εκδώσει ένα 'λίτο σχόλιο' μέσω ενός εκπροσώπου: 'Δεν έχουμε μια δέσμευση να κινηθούμε σε κεντρικά εκκαθάριση... έτσι τώρα αισθανόμαστε ότι αφού δεν υπάρχει η συμμετοχή από τη βιομηχανία, το σχέδιο ως εκ τούτου έχει αποτύχει και επομένως η Επιτροπή έχει να εξετάσει τα κατάλληλα επόμενα βήματα.' Το Φεβρουάριο του 2009, εννέα έμποροι έστειλαν ένα γράμμα στον Ευρωπαίο Επίτροπο McCreevy δεσμευόμενοι να χρησιμοποιήσουν έναν Ευρωπαϊκό οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου για τα Ευρωπαϊκά συμβολαία ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μέχρι τις 31 Ιουλίου του 2009. Η απειλή της νομοθεσίας ήταν μια τακτική που χρησιμοποιήθηκε για να ωθήσει την ιδιωτική δράση. 'Οι νομοθέτες κραδαίνουν τα όπλα', μια επικεφαλίδα σε μια μεγάλη Ευρωπαϊκή εφημερίδα οικονομικών αγορών που δηλώθηκε το Μάρτιο του 2009. Η Επιτροπή έθεσε μια προθεσμία στις 31 Ιουλίου του 2009 για εκκαθάριση των επιλέξιμων (eligible) Ευρωπαϊκών συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μέσω ενός οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου. Στις 3 Ιουλίου του 2009, με κάποια αβεβαιότητα σχετικά με το εάν η προθεσμία θα τηρούνταν, η Επιτροπή επανέλαβε την προειδοποίησή της:

Συνολικά, από σήμερα, είναι πολύ νωρίς να κρίνει κανείς εάν οι προσπάθειες των εμπόρων θα είναι αρκετές ώστε να σεβαστούν τη δέσμευσή τους να γίνει η εκκαθάριση των επιλέξιμων Ευρωπαϊκών συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μέχρι τις 31 Ιουλίου του 2009. Δεδομένης της απειλής στην οικονομική σταθερότητα, εάν δεν ήταν σεβαστό, άλλοι τρόποι θα έπρεπε να βρεθούν ώστε να επιτευχθεί ο ίδιος στόχος.

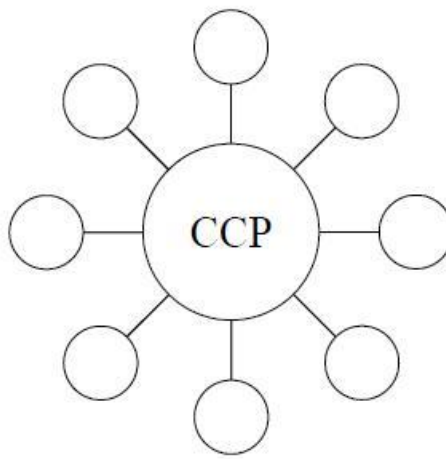
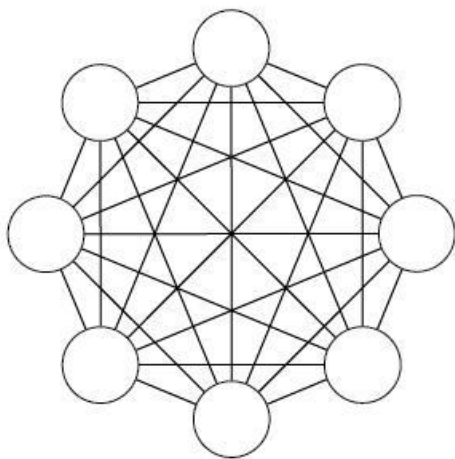
Μέχρι τις 31 Ιουλίου του 2009, δύο οίκοι εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου, ο ICE Clear Europe και ο Eurex Credit Clear, είχαν αποκτήσει τις απαραίτητες νομοθετικές εγκρίσεις για εκκαθάριση Ευρωπαϊκών συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Αυτοί οι δύο οίκοι εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ξεκίνησαν τον Ιούλιο, ημέρες πριν από την προθεσμία της Επιτροπής:

Ο ICE Clear Europe, που λειτουργεί από την Διεπειρωτική Ανταλλαγή Βασισμένη στην Ατλάντα (Atlanta-based Intercontinental Exchange-Ice), έχει μέχρι στιγμής υπερβεί τον αντίπαλο Eurex Credit Clear, που ανήκει στην Ανταλλαγή Παραγώγων της Eurex βασισμένη στην Φρανκφούρτη (Frankfurt-based derivatives exchange Eurex). Μέχρι τις 21 Αυγούστου, ο ICE Clear Europe είχε καθαρίσει 2,422 συναλλαγές, συνολικού ύψους 146.4 δισεκατομμυρίων ευρώ του θεωρητικού και είχε 11 εμπόρους ως άμεσα μέλη εκκαθάρισης. Αντίθετα, ο Eurex Credit Clear είχε προσελκύσει μόνο δύο μέλη, τη Nomura και τη UniCredit, και μέχρι τις 21 Αυγούστου είχε καθαρίσει μόλις τρεις συναλλαγές, συνολικού ύψους 85 εκατομμυρίων ευρώ.

Η επιτυχία του ICE Clear Europe οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι υποστηριζόταν από εμπόρους και είχε ένα προηγούμενο στην εκκαθάριση συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης-την πλατφόρμα εκκαθάρισης του ICE Trust των ΗΠΑ, ο οποίος ξεκίνησε στις 9 Μαρτίου του 2009. Στις 31 Ιουλίου, ο Επίτροπος McCreevy προανήγγειλε τις εξελίξεις στους οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου:

‘Η εκκαθάριση μέσω οίκων εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου είναι το κλειδί στη βελτίωση της διαχείρισης του κινδύνου και στην αύξηση της σταθερότητας του οικονομικού συστήματος. Είμαι ευχαριστημένος που οι ασυνήθιστες προσπάθειες από τη βιομηχανία και τους προμηθευτές υπηρεσιών κατέστησαν δυνατό το γεγονός ότι δύο Ευρωπαϊκοί οίκοι εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου αρχίζουν να καθαρίζουν τέτοια προϊόντα.’

Σε αντίθεση με τις διμερείς εμπορικές ροές, σε μια κεντρικά εκκαθαρισμένη συναλλαγή, η διμερής συναλλαγή ανάμεσα σε ένα πωλητή προστασίας και ένα αγοραστή προστασίας αντικαθίσταται με δύο ανταλλαγές: μια ανάμεσα στον πωλητή και τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ο οποίος λειτουργεί ως αγοραστής και μια ίση και αντισταθμιστική συναλλαγή ανάμεσα στον αγοραστή και τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ο οποίος λειτουργεί ως πωλητής. Οι δύο συμμετέχοντες στην αγορά ίσως πρώτα εισέλθουν σε μια διμερή συναλλαγή και μετά διαλέξουν ακολούθως να τη μετατρέψουν σε μια εκκαθαρισμένη συναλλαγή. Εναλλακτικά, οι συμμετέχοντες ίσως εισέλθουν σε μια συναλλαγή από την αρχή με την πρόθεση να καθαριστεί αυτή. Εάν η συναλλαγή είναι αμέσως αποδεκτή για εκκαθάριση, τα μέρη ίσως έχουν ελάχιστη έως καθόλου διμερή έκθεση ο ένας στον άλλο. Άπαξ και καθαριστεί η συναλλαγή, εάν ένας συμμετέχων στην αγορά αποτύχει, ο άλλος συμμετέχων στην αγορά δεν επηρεάζεται άμεσα, αφού ο αντισυμβαλλόμενός του είναι τώρα αποκλειστικά ο οίκος εκκαθάρισης. Έτσι, η εκκαθάριση με οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου αντικαθιστά την ‘Πολύ Διασυνδεδεμένη για να Αποτύχει’ δομή αγοράς με ένα κόμβο και μια ακτίνα όπου, εάν μια ακτίνα αποτύχει, δεν επηρεάζει τις άλλες ακτίνες. Αυτές οι δομές απεικονίζονται από τα σχήματα παρακάτω (οι κύκλοι στην περιφέρεια αντιπροσωπεύουν τους αγοραστές και πωλητές προστασίας στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης).



Αριστερά: Διμερής αγορά-Πολύ διασυνδεδεμένη για να αποτύχει, Δεξιά: Εκκαθάριση κεντρικού αντισυμβαλλόμενου

Κατά τη γνώμη του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου, εφόσον τα δύο μέρη λειτουργούν στις ακριβείς αντισταθμιστικές συναλλαγές, ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου δεν έχει κανένα κίνδυνο αγοράς. Ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου πρέπει παρ’ όλα αυτά να προβλέψει την περίπτωση όπου ένας συμμετέχων στην αγορά αποτύχει. Η βασική λειτουργία του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου είναι να ενεργεί ως διαχειριστής κινδύνου με τη χορήγηση διασφαλίσεων έναντι αυτού του ενδεχόμενου. Το κάνει αυτό μέσω ενός συνδυασμού εκτίμησης του

κινδύνου αντισυμβαλλόμενου και απαιτήσεων, εκτίμησης του περιθωρίου και επίβλεψης της θέσης, και αλληλέγγυας αποτυχίας και παροχών διαχείρισης. Αρχικά, ένας οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου συναλλάσσεται με ένα περιορισμένο αριθμό μελών εκκαθάρισης (clearing members-CMs), τυπικά πολύπειρες οικονομικές εταιρίες που ενεργούν με μια κύρια (act in a principal) και συνήθως, αλλά όχι πάντα, ενδιάμεση χρηματοπιστωτική ικανότητα. Τα μέλη εκκαθάρισης είναι τυπικά ρυθμισμένα ινστιτούτα, αλλά δεν χρειάζεται να είναι. Ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου καθιερώνει το ελάχιστο κεφάλαιο και τις λειτουργικές απαιτήσεις για τα μέλη εκκαθάρισης. Ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου έχει θέσει διαδικασίες σε λειτουργία για συνεχιζόμενη εκτίμηση της πιστωτικής δύναμης ενός μέλους εκκαθάρισης και έχει τη διακριτική ευχέρεια να επιβάλλει όρια στην δραστηριότητα των μελών εκκαθάρισης βασιζόμενη σε αυτή την εκτίμηση. Δεύτερον, για κάθε εκκαθαρισμένη συναλλαγή που εισέρχεται από τα μέλη εκκαθάρισης, κάθε μέλος εκκαθάρισης πρέπει να τοποθετήσει τόσο αρχικό περιθώριο όσο και περιθώριο διακύμανσης, τα οποία καθορίζονται σε ουδέτερη βάση από το τμήμα διαχείρισης κινδύνου του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου. Ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου συνεχώς παρακολουθεί τις θέσεις του κάθε μέλους εκκαθάρισης και έχει τη διακριτική ευχέρεια να αυξάνει τόσο το περιθώριο όσο και να επιβάλλει όρια θέσης. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται για καθιέρωση περιθωρίου υπολογίζονται από τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου βασιζόμενες σε δεδομένα τιμών πραγματικών συναλλαγών, πηγές για τις τιμές από τρίτους και άλλες πηγές. Ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου παρακινείται να σημειώσει τη συναλλαγή όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματική τιμή αγοράς προκειμένου να διασφαλίσει ότι έχει επαρκές περιθώριο για να καλύψει τους κινδύνους του και στις δύο πλευρές της συναλλαγής. Αυτή η διαδικασία εξαλείφει τις αναποτελεσματικότητες των τιμών στη διμερή αγορά που επισημάνθηκαν παραπάνω για την τιμολόγηση του περιθωρίου. Επιπλέον, οι οίκοι εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου τυπικά κάνουν τις τιμές τις οποίες χρησιμοποιούν για να καθιερώσουν το περιθώριο, γνωστές ως τιμές διακανονισμού, δημόσια διαθέσιμες, και έτσι ενισχύουν σημαντικά τη διαφάνεια τιμών έναντι των διμερών αγορών από τις οποίες λείπει οποιαδήποτε τέτοια κεντρική, αντικειμενική πηγή τιμών. Η αυξημένη διαφάνεια τιμών προσφέρει στους συμμετέχοντες στην αγορά μια περισσότερο ακριβή όψη του κινδύνου τον οποίο κατέχουν-επιτρέποντας σε αυτούς να ανταποκρίνονται πιο γρήγορα και αποτελεσματικά σε αλλαγές και έτσι να μειώνουν τον κίνδυνο ότι είναι ακάλυπτοι (unhedged). Αυτό, με τη σειρά του, οδηγεί σε μείωση του συστημικού κινδύνου. Τρίτον, κάθε μέλος εκκαθάρισης πρέπει να συνεισφέρει κεφάλαιο σε ένα αλληλέγγυας αποτυχίας ταμείο (fund) κατ'αναλογία προς τον κίνδυνο που έχει να εκκρεμεί (outstanding) με τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου. Το μέλος εκκαθάρισης τυπικά δεσμεύεται να επιτρέπει σε περαιτέρω κεφάλαια (funds) να ονομάζονται (be called) και ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου επίσης τοποθετεί ένα συγκεκριμένο ποσό του δικού του κεφαλαίου σε κίνδυνο. Στην περίπτωση που ένα μέλος εκκαθάρισης αποτύχει, ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου αμέσως αναλαμβάνει τις αποτυχημένες θέσεις του μέλους εκκαθάρισης και το αρχικό περιθώριο το οποίο κατείχε ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου έναντι εκείνων των θέσεων, και προχωράει στο κλείσιμό τους. Η καθημερινή πειθαρχία του περιθωρίου διακύμανσης η οποία επιβάλλεται από τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου επιδιώκει να εξασφαλίσει ότι τα συμβόλαια είναι τρέχοντα τη στιγμή της αποτυχίας. Το αρχικό περιθώριο προορίζεται για να καλύψει απώλειες κατά τη διάρκεια της περιόδου στην οποία ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου κλείνει τα συμβόλαια. Στην περίπτωση που το αρχικό περιθώριο είναι ανεπαρκές για αυτό το σκοπό, οι απώλειες όσον αφορά τα συμβόλαια θα γίνονται όλες με την άντληση από τα ίδια κεφάλαια του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου τα οποία είναι σε κίνδυνο, και από το ταμείο αμοιβαιότητας (mutualization fund), το οποίο λειτουργεί όπως μια ασφαλιστική κοινοπραξία (insurance pool), διασπείροντας τον κίνδυνο αποτυχίας μεταξύ όλων των μελών εκκαθάρισης. Ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου αξιολογεί μια αμοιβή συναλλαγής (transaction fee) για κάθε εκκαθαρισμένη

συναλλαγή. Ο όγκος των εγγυήσεων οι οποίες κρατούνται από τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου παραμένει στον ισολογισμό των αποσπασματικών συμμετεχόντων, με τον τόκο ο οποίος προκύπτει από τις εν λόγω εγγυήσεις (collateral) που πληρώνονται σε εκείνους τους συμμετέχοντες. Ένας συμμετέχων στην αγορά δεν χρειάζεται να είναι ένα μέλος εκκαθάρισης για να ωφεληθεί από τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου. Εάν το πλαίσιο του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου το επιτρέπει, όσοι δεν είναι μέλη εκκαθάρισης ίσως συνάψουν συμβόλαιο με μέλη εκκαθάρισης ώστε να εκκαθαρίσουν συμβόλαια για λογαριασμό τους. Το μέλος εκκαθάρισης θα καθιερώσει πιστωτικά όρια και κατάλληλες λειτουργικές διευθετήσεις και διευθετήσεις λογαριασμού ώστε να διαχειρίζεται τις θέσεις τις οποίες δεν κατέχουν μέλη εκκαθάρισης και τις συνεχιζόμενες υποχρεώσεις συναλλαγών κύκλου ζωής (trade lifecycle) ως ένας πελάτης. Ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου θα καθιερώσει το αρχικό περιθώριο για τη συναλλαγή και μετά θα αξιολογήσει το συνεχιζόμενο περιθώριο διακύμανσης (και τις προσαρμογές στο αρχικό περιθώριο). Ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου θα κάνει αυτές τις αξιολογήσεις στο μέλος εκκαθάρισης, το οποίο με τη σειρά του θα απαιτεί από τους πελάτες του να πραγματοποιήσουν την ίδια πληρωμή. Το μέλος εκκαθάρισης θα εγγυηθεί στον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου τις υποχρεώσεις του πελάτη του για τις εκκαθαρισμένες συναλλαγές του. Το μέλος εκκαθάρισης θα χρεώσει μια αμοιβή για αυτό τον εγγυητικό ρόλο σε όσους δεν είναι μέλη εκκαθάρισης και ίσως επίσης αξιολογήσει το περιθώριο από τον πελάτη καθ' υπέρβαση του απαιτούμενου επιπέδου για τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου, ιδιαίτερα εάν το μέλος εκκαθάρισης θεωρεί ότι ο πελάτης είναι ένας υψηλότερος πιστωτικός κίνδυνος. Από την πλευρά του πελάτη, σε αντίθεση με τη διμερή αγορά, οι θέσεις του πελάτη και το αρχικό περιθώριο το οποίο τοποθετείται από τον πελάτη στο μέλος εκκαθάρισής του διαχωρίζονται από τα περιουσιακά στοιχεία του μέλους εκκαθάρισης. Αυτή η διευθέτηση σημαίνει ότι, εάν το μέλος εκκαθάρισης ήταν να αποτύχει λόγω των δικών του θέσεων, οι θέσεις του πελάτη και το τοποθετημένο περιθώριο είναι αμέσως φορητά, επιτρέποντας στον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου να τοποθετήσει τις θέσεις του πελάτη και το τοποθετημένο περιθώριο με ένα άλλο, φερέγγυο μέλος εκκαθάρισης. Έτσι, ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου απομονώνει το περιθώριο του πελάτη από τη χρεωκοπία του μέλους εκκαθάρισης. Ο έμπορος των μελών εκκαθάρισης (dealer CMs) επομένως παίζει ουσιώδεις εγγυητικούς ρόλους και ρόλους κεφαλαιοποίησης στη δομή του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου. Η ακεραιότητα του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου εξαρτάται από τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ο οποίος συνεχώς παρακολουθεί την πιστωτική και κεφαλαιακή δύναμη των μελών εκκαθάρισής του και έχει ισχυρές νομικές ρυθμίσεις και ρυθμίσεις ασφαλείας (security arrangements) με αυτά. Για αυτό το λόγο, ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου περιορίζει την ιδιότητα του μέλους εκκαθάρισης σε εταιρίες οι οποίες πληρούν τα κεφαλαιακά και πιστωτικά κριτήριά του. Παρ' όλα αυτά, τα οφέλη της εκκαθάρισης είναι διαθέσιμα σε όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά μέσω του οργανισμού των μελών εκκαθάρισης. Το καθένα από τα μέλη εκκαθάρισης συνεισφέρει την κατανεμημένη μερίδα του κεφαλαίου ασφάλειας κατάθεσης (security deposit fund), η οποία είναι το ταμείο αμοιβαιότητας (mutualization fund) που υποστηρίζει το πλαίσιο διαχείρισης του κινδύνου αποτυχίας του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου. Τα μέλη εκκαθάρισης επίσης εγγυώνται τις υποχρεώσεις των πελατών τους στον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου. Τέλος, για την εκκαθάριση οποιουδήποτε προϊόντος εκτός οργανωμένων αγορών όπως τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης τα οποία δεν συναλλάσσονται σε μια οργανωμένη αγορά, ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου πρέπει να καθιερώσει την τιμολόγηση της αγοράς μέσω της ανάλυσης μιας σειράς πηγών για τις τιμές. Ενώ ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου θα καταγράψει τις πραγματικές τιμές στις οποίες συναλλάσσονται τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης μέσω της πορείας μιας ημέρας συναλλαγών και αυτές οι τιμές θα είναι αποτελεσματικές για τον καθορισμό τιμών διακανονισμού, για λιγότερο συχνά συναλλασσόμενα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης οι οίκοι

εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ίσως απαιτούν από τους εμπόρους να παρέχουν τιμές στις οποίες θα ήταν πρόθυμοι να πραγματοποιήσουν συναλλαγές με τέτοια συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Ειδικά στα πρώιμα στάδια εκκαθάρισης ενός συγκεκριμένου προϊόντος, οι οίκοι εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου εξαρτώνται από τον έμπορο των μελών εκκαθάρισης (dealer CMs) ώστε να υποστηρίξουν την καθημερινή διαδικασία τιμολόγησης. Εν τέλει, οι έμποροι των μελών εκκαθάρισης τυπικά δεσμεύονται να συμμετέχουν στις διαδικασίες διαχείρισης της αποτυχίας του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου στην περίπτωση που ένα μέλος εκκαθάρισης αποτύχει, περιλαμβάνοντας τη διευκόλυνση της μεταφοράς των αποτυχημένων χαρτοφυλακίων των πελατών του μέλους εκκαθάρισης σε φερέγγυα μέλη εκκαθάρισης και τη συμμετοχή σε μια δημοπρασία των αποτυχημένων ιδιοκτητών θέσεων του μέλους εκκαθάρισης.

Πέρα από τα πλεονεκτήματα που έχουν οι οίκοι εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου, δεν είναι μια μαγική σφαίρα ώστε να εξαλειφθεί ο συστημικός κίνδυνος ο οποίος σχετίζεται με τη συναλλαγή των παραγώγων εκτός οργανωμένων αγορών. Αντίθετα, έχουν και κάποια μειονεκτήματα τα οποία δεν ώθησαν τις ιδιωτικές αγορές παραγώγων να κινηθούν προς αυτούς παρά τα οφέλη τους, απουσία κυβερνητικής πίεσης. Αναλυτικά, ένας οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ίσως είναι σε μειονεκτική θέση όσον αφορά την παρακολούθηση κάποιων αντισυμβαλλόμενων συγκριτικά με τους εμπόρους, οι οποίοι όταν συναλλάσσονται εκατό φορές τη μέρα με έναν άλλο έμπορο θα έχουν κατά πάσα πιθανότητα μια καλύτερη εκτίμηση της πίστωσης αυτού του εμπόρου από ότι ένας οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ο οποίος αλληλεπιδρά με τον έμπορο για ένα μόνο τύπο συναλλαγών παραγώγων. Επιπρόσθετα, ένας οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου είναι αναποτελεσματικός όσον αφορά την ενασχόληση με προϊόντα τα οποία δεν είναι πολύ ρευστά. Τυπικά, τα νέα οικονομικά προϊόντα αρχίζουν τον κύκλο ζωής τους με χαμηλή ρευστότητα. Με τέτοια προϊόντα, ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου πρέπει να οικοδομήσει τα δικά του μοντέλα ώστε να αξιολογήσει τον κίνδυνο. Οι έμποροι είναι ίσως καλύτεροι στην οικοδόμηση τέτοιων μοντέλων επειδή επινοούν τα προϊόντα και τα συναλλάσσουν. Ένας οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ίσως εξοικονομήσει δαπάνες οικοδόμησης μοντέλων κάνοντας τέτοια προϊόντα ακατάλληλα για εκκαθάριση, περίπτωση στην οποία η απαίτηση χρήσης ενός οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου θα κατασττούσε αδύνατη τη χρήση παραγώγων τα οποία μπορεί να είναι αρκετά αποτελεσματικά όσον αφορά την κατανομή του κινδύνου στην οικονομία και θα εμπόδιζε την οικονομική καινοτομία. Επιπλέον, οι οίκοι εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου δημοσιεύουν πραγματικές τιμές συναλλαγών τουλάχιστον μια φορά τη μέρα, μειώνοντας το πληροφοριακό πλεονέκτημα που κατέχουν οι έμποροι στη διμερή αγορά. Περαιτέρω, επειδή τα μέρη συναλλάσσονται μέσω ενός οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου γνωρίζοντας ότι δεν θα αντιμετωπίσουν κίνδυνο αντισυμβαλλόμενου αφού ο αντισυμβαλλόμενος από την έναρξη θα είναι ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου, θα είναι αδιάφοροι όσον αφορά την ταυτότητα του υποκείμενου αντισυμβαλλόμενου της συναλλαγής, δημιουργώντας έτσι τα θεμέλια για ανώνυμες ηλεκτρονικές συναλλαγές, όπως μια ανταλλαγή η οποία αυξάνει περαιτέρω τη διαφάνεια τιμών. Τέλος, σε ένα σύστημα κεντρικής εκκαθάρισης οι έμποροι πρέπει να τοποθετήσουν αρχικό περιθώριο σε καθεμία από τις συναλλαγές τους και δεν μπορούν πια να χρησιμοποιήσουν το αρχικό περιθώριο των πελατών τους, το οποίο αντί αυτού κρατείται σε διαχωρισμένους λογαριασμούς.

Συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης της Lehman

Μια ιστορία επιτυχίας όσον αφορά τους οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου

Κατά το χρόνο αποτυχίας της Lehman, η Lehman ήταν ένας μεγάλος συμμετέχων τόσο στις αγορές εκκαθαρισμένων συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης, όπου ενέργησε ως αρχηγός (principal) και ως μέλος εκκαθάρισης για τους πελάτες όσο και στις διμερείς αγορές παραγώγων εκτός οργανωμένων αγορών, όπου αντιμετώπισε εμπόρους και πελάτες ως αντισυμβαλλόμενους. Οι δύο δομές αγοράς χειρίστηκαν την

αποτυχία ενός μεγάλου συμμετέχοντος με εντυπωσιακά αντίθετους τρόπους. Η ταχεία επίλυση των χαρτοφυλακίων συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης της Lehman προσέφερε στους νομοθέτες ένα σημαντικό παράδειγμα της σταθερότητας της εκκαθάρισης με οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου σε μια κρίση. Όταν κατέρρευσε η Lehman, τα χαρτοφυλάκια συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσής της ευημερούσαν συγκριτικά καλά με τους ακόλουθους τρόπους:

- Οι θέσεις και το περιθώριο των επενδυτών οι οποίοι εκκαθάρισαν τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσής τους μέσω της Lehman που είναι μέλος εκκαθάρισης ήταν, σύμφωνα με τους κανόνες της επιτροπής συναλλαγών που αφορούν εμπορεύματα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (Commodity Futures Trading Commission-CFTC) εφαρμόσιμα στα μέλη εκκαθάρισης του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου, κρατιούνταν απομονωμένα από τη χρεωκοπία της Lehman και κινήθηκαν εντός των ημερών σε φερέγγυα μέλη εκκαθάρισης.
- Λόγω αυτού του διαχωρισμού και της φορητότητας που βασίζονται στους κανόνες του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου, οι πελάτες της Lehman δεν υπέστησαν καμία απώλεια σε αυτά τα χαρτοφυλάκια ούτε υπήρχε χειροτέρευση της ρευστότητας της αγοράς.
- Ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου αμέσως ανέλαβε το ιδιόκτητο βιβλίο συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης της Lehman και το δημοπράτησε σε άλλους συμμετέχοντες στην αγορά.
- Τα προϊόντα της Lehman που είναι κεντρικά εκκαθαρισμένα είχαν ένα υψηλό επίπεδο ρευστότητας και διαφάνειας τιμών επειδή ήταν τυποποιημένα και επειδή οι συμμετέχοντες στη δημοπρασία δεν ήταν εκτεθειμένοι σε διμερές πιστωτικό κίνδυνο αντισυμβαλλόμενου όταν προσέφεραν τιμές για αυτά τα κεντρικά εκκαθαρισμένα προϊόντα.
- Μέσω της δημοπρασίας ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ήταν ικανός να ξεπουλήσει το χαρτοφυλάκιο της Lehman το οποίο είχε αναλάβει. Τα αποθεματικά περιθωρίου έναντι του χαρτοφυλακίου της Lehman ήταν επαρκή για να καλύψουν τις αντισταθμιστικές υποχρεώσεις του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου, έτσι ώστε δεν υπήρχε καμία απώλεια στον οίκο εκκαθάρισης ή στο ταμείο αμοιβαιότητας (mutualization fund) (και έτσι από ορισμό καμία απώλεια σε μέλη εκκαθάρισης άλλα εκτός της Lehman των οποίων οι καταθέσεις ήταν τμήμα του ταμείου αμοιβαιότητας), και δεν υπήρχε επίσης καμία αναστάτωση της αγοράς συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης. Δεν υπήρχε ακόμα καμία ανάγκη για επιδότηση ή διάσωση (bailout) από μια κυβερνητική υπηρεσία.

Αντίθετα, η επίλυση των χαρτοφυλακίων διμερών παραγώγων εκτός οργανωμένων αγορών της Lehman, όπως το χαρτοφυλάκιο συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησής της, αποδείχτηκε πολύ πιο δύσκολο:

- Οι θέσεις και το περιθώριο των αντισυμβαλλόμενων, ιδιαίτερα οι αντισυμβαλλόμενοι που είναι επενδυτές, παγιδεύτηκαν στην κατάσταση χρεωκοπίας της Lehman (bankruptcy estate), ιδιαίτερα αφότου ήταν φυσιολογικό για το περιθώριο να ληφθεί υπόψη στο κεφάλαιο κίνησης των εμπορών. Οι εκτιμήσεις του βιομηχανικού κλάδου υποδηλώνουν ότι υπάρχουν σε πλεόνασμα 50 δισεκατομμύρια δολάρια σε περιουσιακά στοιχεία πελατών τα οποία κρατιούνται ακόμα στην περιουσία (estate) και ότι ίσως λάβει 'πάνω από μια δεκαετία' για ανάκτηση αυτών των περιουσιακών στοιχείων η οποία πρέπει να καταβληθεί.
- Ο φόβος απωλειών και ο εγκλωβισμός της εγγύησης που μόλις περιγράφηκαν προκάλεσαν ένα αποτελεσματικό 'τρέξιμο' στη Lehman ώστε να κλείσει συμβόλαια και να ανακτήσει το περιθώριο κατά τις ημέρες πριν δηλώσει αποτυχία.
- Η Lehman απέτυχε στο διαδίκτυο των διασυνδεδεμένων συμβολαίων στο οποίο ήταν ένας διμερής αντισυμβαλλόμενος, στέλνοντας κρουστικά κύματα (shock waves) μέσω του παγκόσμιου οικονομικού συστήματος καθώς οι αντισυμβαλλόμενοι έψαχναν να κλείσουν τις αντισταθμιστικές θέσεις ή αλλιώς να

περιορίσουν τον κίνδυνο και τις απώλειές τους. Οι πιστωτικές αγορές υπέστησαν σημαντική μεταβλητότητα και αβεβαιότητα.

- Στο πλαίσιο των προετοιμασιών πριν την αποτυχία και μέσα στη σύγχυση που ακολούθησε, οι νομοθέτες δεν μπορούσαν να εξακριβώσουν την έκταση της έκθεσης και την πιθανή απώλεια η οποία σχετίζεται με τα διμερή συμβόλαια παραγώγων εκτός οργανωμένων αγορών της Lehman. Αντίθετα, η έκθεση των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης της Lehman ήταν γνωστή ακριβώς επειδή ήταν καταγεγραμμένη, σε πραγματικό χρόνο, με τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου.

Οι νομοθέτες συμφωνούν ότι πρέπει να επιβάλλονται υψηλότερα επίπεδα κεφαλαίου σε προϊόντα που δεν εκκαθαρίζονται, αλλά η πρόκληση παραμένει για να καθιερωθεί το ποια θα ήταν τα σωστά επίπεδα για τη Lehman και πώς πρέπει αυτά να βαθμονομηθούν για την αγορά στο σύνολο. Ασχέτως από την κεφαλαιοποίηση της Lehman, οι κεντρικά εκκαθαρισμένες αγορές συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης κατέδειξαν ότι μια διατήρηση από την πλευρά του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου της πειθαρχίας όσον αφορά το αρχικό περιθώριο και το περιθώριο διακύμανσης θα μπορούσε να βοηθήσει στην εμπόδιση των αντισυμβαλλόμενων των συμμετεχόντων ενός σημαντικού εμπόρου (a significant dealer participant's counterparties) και του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου από το να υποστούν απώλειες σε παροδικές (clearable) θέσεις. Επιπλέον, για το χαρτοφυλάκιο συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης της Lehman, ο οίκος εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου εξάλειψε με δύο κρίσιμους τρόπους το 'Πολύ Διασυνδεδεμένη για να Αποτύχει' πρόβλημα. Αρχικά, επειδή οι θέσεις της Lehman ήταν κεντρικά εκκαθαρισμένες, οι αρχικοί αντισυμβαλλόμενοι συναλλαγών της Lehman όπως για παράδειγμα, άλλοι έμποροι σε συναλλαγές έμπορου με έμπορο, δεν ήταν πια οι αντισυμβαλλόμενοι της κατά τη στιγμή της αποτυχίας-όλες αντιμετώπισαν τον οίκο εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου, υποστηριζόμενες από το καθεστώς περιθωρίου του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου και περαιτέρω με τη βοήθεια, στην περίπτωση που το περιθώριο υπολειπόταν, των ταμείων αμοιβαιότητας του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου. Δεύτερον, οι πελάτες της Lehman ήταν απομονωμένοι από την αφερεγγυότητα της Lehman-οι θέσεις τους και το περιθώριο ήταν φορητά και το περιθωρίό τους δεν ήταν διαπλεγμένο με το κεφάλαιο κίνησης της Lehman αλλά άμεσα διαθέσιμο να συνεχιστεί να κρατείται σε απόθεμα έναντι συναλλαγών του κάθε πελάτη. Το γεγονός ότι είχαν αυτή την ασφάλεια της απομόνωσης από τη χρεωκοπία της Lehman σήμαινε ότι δεν υπήρχε καμία βιασύνη όσον αφορά το να κλείσει η Lehman θέσεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης ή να ψάξει επιπρόσθετο περιθώριο καθώς έδειξε πιστωτική δυσκολία-ξανά οι μηχανισμοί του οίκου εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου εξυπηρετούν στην αφαίρεση του παράγοντα 'διασυνδεδεσιμότητα' ο οποίος επιδείνωσε το πιστωτικό άγχος στις διμερείς αγορές. Υπό το φως των εμπειριών με τη Lehman και νωρίτερες αποτυχίες μεγάλων συμμετεχόντων στην αγορά και της σταθερότητας των οίκων εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου μέσω μεγάλων εξαρθρώσεων της αγοράς, οι νομοθέτες έχουν παρατηρήσει ότι οι ρυθμιζόμενοι οίκοι εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου είχαν επιτυχία όσον αφορά την παροχή σταθερότητας και την βελτίωση του 'Πολύ Διασυνδεδεμένη για να Αποτύχει' προβλήματος. Καθώς η ομοφωνία όσον αφορά αυτά τα οφέλη έχει αυξηθεί, περιλαμβάνοντας ειδικά τη διανομή της ανάγκης για ένα κυβερνητικό backstop για να απορροφήσει τις απώλειες από την αποτυχία, οι νομοθέτες έχουν έρθει να θεωρήσουν τους οίκους εκκαθάρισης κεντρικού αντισυμβαλλόμενου ως κρίσιμους στην μελλοντική σταθερότητα των αγορών παραγώγων.

Θεωρητικό υπόβαθρο

Ασαφής λογική (Fuzzy Logic)

Ιστορία

Στα μέσα του 1960 ο Lotfi A. Zadeh του πανεπιστημίου Berkeley της Καλιφόρνια εφηύρε την θεωρία των ασαφών συνόλων, η οποία λέει ότι συνήθως στον κόσμο που ζούμε τα αντικείμενα γύρω μας ανήκουν σε διάφορα σύνολα με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής. Πχ. η κλάση των "ψηλών ανθρώπων" δεν έχει αυστηρό κριτήριο συμμετοχής. Ο ασαφής ορισμός κλάσεων παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην ανθρώπινη επικοινωνία. Το 1965 ο Zadeh θεμελίωσε πλήρως την θεωρία των ασαφών συνόλων και της ασαφούς λογικής ολοκληρώνοντας την δουλειά αρκετών άλλων μαθηματικών μέχρι τότε. Η θεωρία του Zadeh δέχθηκε μεγάλη αμφισβήτηση κυρίως στην Αμερική. Την δεκαετία του 1970 ο Ebrahim H. Mamdani, μηχανικός στο πανεπιστήμιο Queen Mary του Λονδίνου δοκίμασε για πρώτη φορά την ασαφή λογική για την ανάπτυξη ενός ελεγκτή ατμομηχανής.

Η θεωρία συνόλων αρχικά αναπτύχθηκε από τον Cantor (1845-1918). Η θεωρία του δέχθηκε μεγάλη αμφισβήτηση και τελικά πέθανε το 1918 σε ψυχιατρική κλινική. Σύνολο είναι οποιαδήποτε συλλογή - ομάδα ομοειδών πραγμάτων (πραγμάτων που έχουν ή ικανοποιούν μία συγκεκριμένη ιδιότητα). Τα μέλη της ομάδας αυτής καλούνται στοιχεία του συνόλου. Το πλήθος των στοιχείων ενός συνόλου καλείται πληθικός αριθμός του συνόλου (συμβολίζεται συνήθως με N). Υπάρχουν πεπερασμένα και άπειρα σύνολα, ανάλογα με το αν ο πληθικός τους αριθμός είναι πεπερασμένος ή άπειρος.

Ασαφή σύνολα

Ένα ασαφές σύνολο (fuzzy set) ορίζεται ως ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών $(x, \mu_A(x))$ όπου $x \in X$ και $\mu_A(x) \in [0,1]$. Το σύνολο X αποτελεί ένα ευρύτερο σύνολο αναφοράς (universe of discourse) που περιλαμβάνει όλα τα αντικείμενα στα οποία μπορεί να γίνει αναφορά. Η τιμή $\mu_A(x)$ λέγεται συνάρτηση συμμετοχής (membership function) ή βαθμός αλήθειας (degree of truth), συμβολίζει το βαθμό συμμετοχής του x στο A και παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$. Η διαφορά των ασαφών συνόλων συγκριτικά με την κλασική θεωρία συνόλων είναι ότι στη δεύτερη ισχύει $(x) \in \{0,1\}$ όπου x είτε ανήκει στο A ($\mu_A(x)=1$) ή δεν ανήκει ($\mu_A(x)=0$). Το ασαφές σύνολο ορίζεται ως: $A = \sum_x \mu_A(x)/X$ στην διακριτή και $A = \int \mu_A(x)/X$ στην περίπτωση που το X είναι ένα συνεχές διάστημα.

Συνεπαγωγές

Έστω οι προτάσεις $p = "x \text{ ανήκει στο σύνολο } A"$ και $q = "y \text{ ανήκει στο σύνολο } B"$ όπου A και B είναι κλασικά σύνολα. Η πρόταση " p συνεπάγεται q " που θα συμβολίζεται $R : p \rightarrow q$, ερμηνεύεται ως $\neg(p \wedge \neg q)$ δηλαδή ότι δεν μπορεί να αληθεύει το p και να μην αληθεύει το q . Η πλήρης ερμηνεία της συνεπαγωγής είναι ότι ο βαθμός αλήθειας της $p \rightarrow q$ καθορίζει κατά πόσο το q αληθεύει τουλάχιστον κατά τον ίδιο βαθμό όσο το p . Έτσι σύμφωνα με την κλασική λογική ο πίνακας αλήθειας της φυσικής συνεπαγωγής είναι ο ακόλουθος

p	q	$p \rightarrow q$
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

Μια επέκταση της φυσικής συνεπαγωγής $R : p \rightarrow q$ χρησιμοποιώντας ασαφή σύνολα A και B είναι η σχέση R μεταξύ των A και B .

$$\mu_R(x, y) = \begin{cases} 1, & \mu_A(x) \leq \mu_B(y) \\ 0, & \mu_A(x) > \mu_B(y) \end{cases}$$

που ονομάζεται αυστηρή συνεπαγωγή. Ο πιο διαδεδομένος τελεστής συνεπαγωγής στα ασαφή σύνολα είναι αυτός του Mamdani που ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\mu_R(x, y) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}.$$

Προσεγγιστικός συλλογισμός

Στην συμπερασματική συλλογιστική, δεδομένων αληθών προτάσεων το συμπέρασμα που βγαίνει δεν μπορεί να είναι ψευδές. Κλασσικό παράδειγμα συμπερασματικής συλλογιστικής είναι το ακόλουθο:

<u>Πρόταση:</u>	Όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί
<u>Γεγονός:</u>	Ο Σωκράτης είναι άνθρωπος
<u>Συμπέρασμα:</u>	Ο Σωκράτης είναι θνητός

Ο έλεγχος διαδικασιών ή συστημάτων με ασαφείς ελεγκτές προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιων λεκτικών κανόνων που περιγράφουν τις αντιδράσεις ενός ανθρώπου χειριστή. Αυτοί οι κανόνες περιγράφονται από ένα σύνολο προτάσεων της μορφής "ΑΝ A τότε B ". Είναι προφανές ότι σε πολύπλοκες διαδικασίες δεν είναι γνωστοί όλοι οι κανόνες εκ των προτέρων. Άρα ζητείτε ένας μηχανισμός που μπορεί να παίρνει αποφάσεις με ελλιπή στοιχεία, κάτι που η ασαφής λογική αποδεικνύεται ότι μπορεί να κάνει.

Στον προσεγγιστικό συλλογισμό και την ασαφή λογική ο σημαντικότερος κανόνας συνεπαγωγής είναι ο Generalized Modus Ponens (GMP) για τον οποίο ισχύει

<u>ΠρότασηR:</u>	ΑΝ x είναι A ΤΟΤΕ y είναι B
<u>Γεγονός:</u>	x είναι A
<u>Συμπέρασμα:</u>	y είναι B

Στόχος είναι η εύρεση ενός συμπεράσματος έχοντας σαν δεδομένα τα αίτια. Το συμπέρασμα B' προκύπτει από την σύνθεση του A' και του πίνακα αλήθειας της συνεπαγωγής. Η σύνθεση όπως έχουμε ήδη πει μπορεί να οριστεί με διάφορους τελεστές. Αν τώρα έχουμε παραπάνω από μία συνεπαγωγές $R^1, R^2, \dots, R^n$ τότε ο συνδυασμός αυτών των σχέσεων γίνεται με "OR" συνήθως χρησιμοποιώντας τον τελεστή $\max$.

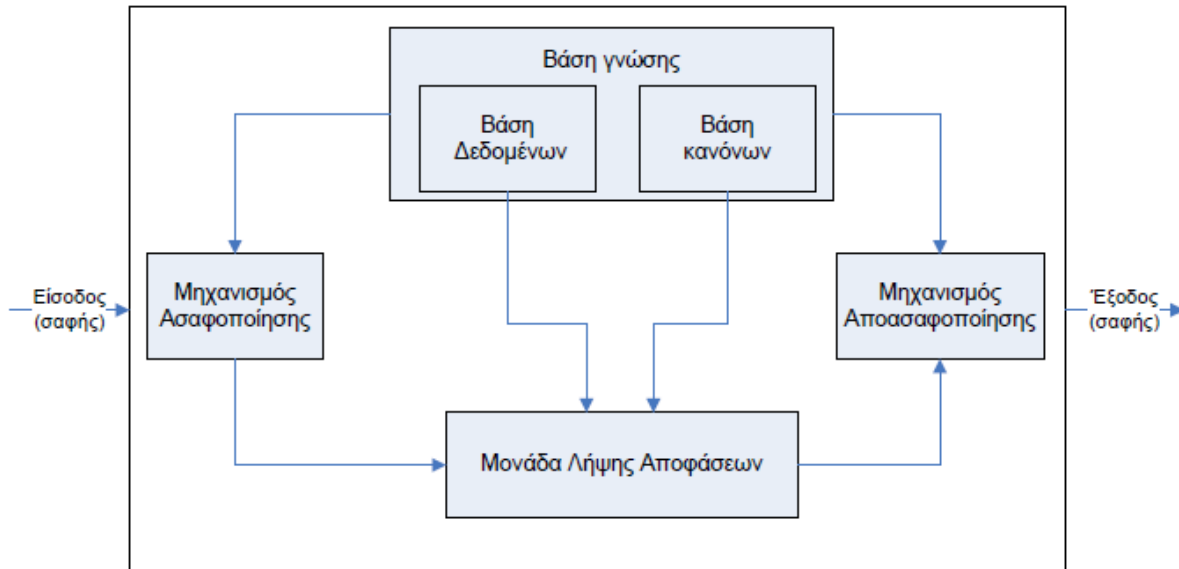
Ασαφείς ελεγκτές

Τα βασικά στοιχεία ενός ασαφούς ελεγκτή είναι τα ακόλουθα:

- Βάση γνώσης. Σε αυτήν είναι αποθηκευμένοι οι κανόνες ελέγχου για το έλεγχο της διαδικασίας.
- Ασαφή σύνολα. Έχοντας ορίσει τα ασαφή σύνολα είναι δυνατή η μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.
- Ασαφοποιητής. Αναλαμβάνει την μετατροπή των πραγματικών τιμών των μεταβλητών εισόδου του ελεγκτή σε ασαφή σύνολα.
- Μηχανισμός συμπερασμού. Εκεί παράγονται μέσω συνεπαγωγών τα ασαφή σύνολα

των συμπερασμάτων.

- Αποασαφοποιητής. Τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων μετατρέπονται σε πραγματικούς αριθμούς έτσι ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση της δράσης ελέγχου στην διαδικασία.



Εικόνα 1. Διαγραμματική απεικόνιση της δομής ενός ασαφούς ελεγκτή

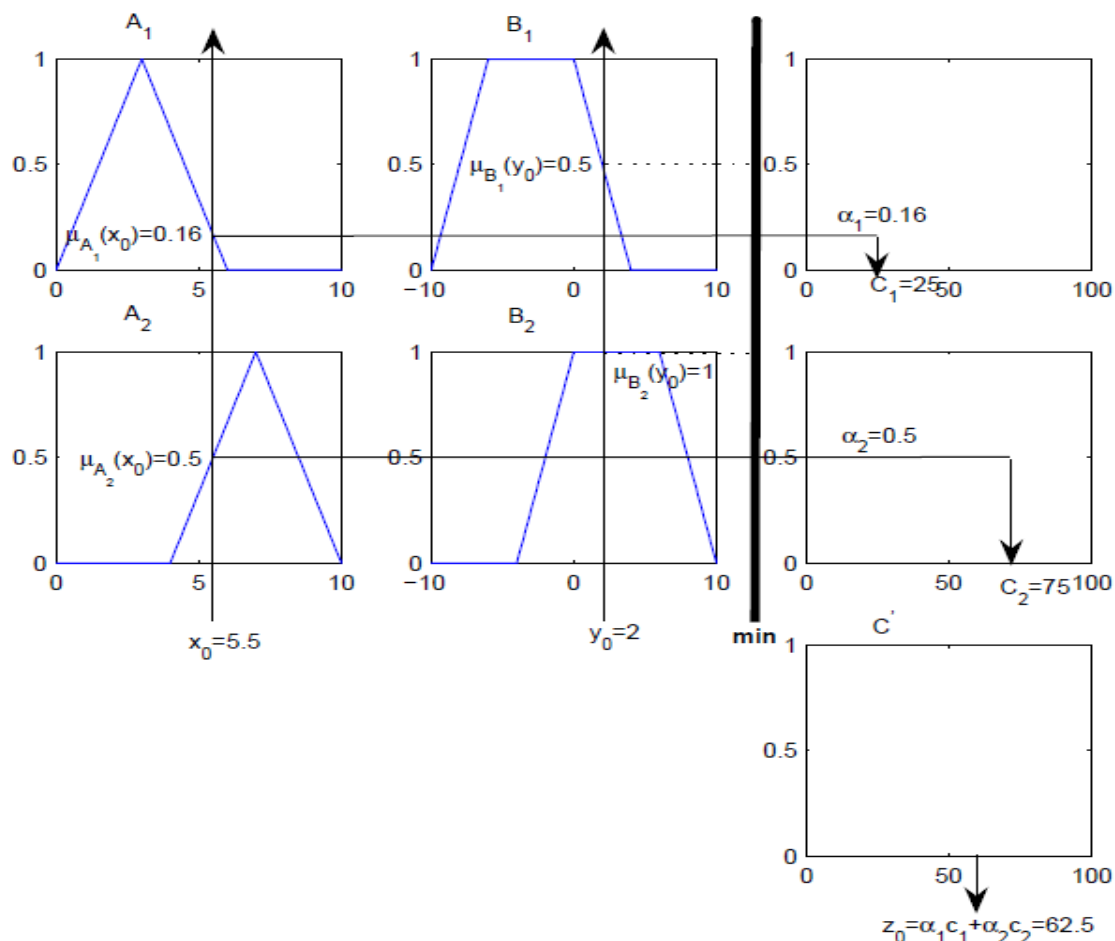
Ασαφοποίηση εισόδων

Οι εισοδοί σε έναν ασαφή ελεγκτή είναι σήματα άρα σαφείς μεταβλητές, γι αυτό και απαιτείται σαν πρώτο βήμα η ασαφοποίησή τους. Η ασαφοποίηση μπορεί να γίνει είτε με χρήση πίνακα τιμών είτε μέσα από μια αποτίμηση μιας συνάρτησης.

Μηχανισμός συμπερασμού

Ο μηχανισμός συμπερασμού για να οριστεί πλήρως χρειάζεται να οριστεί ο τελεστής συνεπαγωγής, ο τελεστής σύνθεσης που χρησιμοποιείται, το συνδετικό μεταξύ των n κανόνων, και ο τελεστής "ΚΑΙ" που ενώνει τις προϋποθέσεις των κανόνων.

Το ασαφές μοντέλο τύπου Sugeno προτάθηκε από τους Tagaki, Sugeno και Kang σε μια προσπάθεια να αναπτύξουν μια συστηματική προσέγγιση που θα τους επιτρέψει την παραγωγή ασαφών κανόνων από ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων εισόδου-εξόδου. Ένας τυπικός ασαφής κανόνας για το ασαφές μοντέλο τύπου Sugeno έχει την ακόλουθη μορφή: Αν x είναι A και y είναι B , τότε $z = f(x,y)$, όπου τα A και B είναι ασαφή σύνολα στην υπόθεση (antecedent), ενώ το $z = f(x,y)$ είναι μια σαφής (crisp) συνάρτηση στην απόδοση (consequent). Συνήθως το $f(x,y)$ είναι ένα πολυώνυμο των μεταβλητών εισόδου x και y , αλλά μπορεί να είναι οποιαδήποτε συνάρτηση, αρκεί να μπορεί να περιγράψει κατάλληλα την έξοδο του μοντέλου εντός της ασαφούς περιοχής που καθορίζεται από την υπόθεση (antecedent) του κανόνα.



Εικόνα 2. Απλοποιημένος Sugeno-Takagi ελεγκτής

Ο στόχος είναι να παραχθεί ένα ασαφές σύνολο σαν απόφαση του ελεγκτή. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν Sugeno μηχανισμό συμπερασμού είναι περισσότερο ακριβή αλλά απαιτούν περισσότερο υπολογιστικό χρόνο. Ενώ αυτά που χρησιμοποιούν Mamdani ερμηνεύονται περισσότερο και απαιτούν λιγότερο υπολογιστικό χρόνο αλλά είναι λιγότερο ακριβή.

<u>Τελεστής "AND"</u>	<u>Τελεστής "OR"</u>	<u>Τελεστής συνεπαγωγής</u>	<u>Τελεστής σύνθεσης</u>
Mamdani (max)	Mamdani (min)	Αυστηρή	Mamdani (max – min)
Probor	Larsen (prod)	Gödel	Larsen (max – prod)
		Larsen (prod)	max – average
		Mamdani (min)	

Πίνακας 1. Συνοπτική παρουσίαση τελεστών

Αποασαφοποίηση εξόδων

Για να προκύψει τελικά μια σαφής ενέργεια ελέγχου πρέπει στο ασαφές σύνολο C να εφαρμοστεί μια από τις παρακάτω τεχνικές αποασαφοποίησης.

- Κέντρου βάρους (Center of area - Centroid). Η έξοδος υπολογίζεται από τον τύπο $z = \frac{\sum y_i \mu_c(y_i)}{\sum \mu_c(y_i)}$ στην διακριτή και $z = \frac{\int y_i \mu_c(y_i)}{\int \mu_c(y_i)}$ στην συνεχή περίπτωση.
- Αποασαφοποίηση μικρότερου των μεγίστων (Smallest of maxima – SOM). Είναι το μικρότερο σε απόλυτη τιμή από τα y_i που έχουν την μέγιστη τιμή συμμετοχής στο C.
- Αποασαφοποίηση μεγαλύτερου των μεγίστων (Largest of maxima – LOM). Είναι το μεγαλύτερο σε απόλυτη τιμή από τα y_i που έχουν την μέγιστη τιμή συμμετοχής στο C.
- Αποασαφοποίηση μέσου των μεγίστων (Middle of maxima - MOM). Είναι ο μέσος όρος όλων των στοιχείων y_i $i = 1, \dots, N$ που παίρνουν την μέγιστη τιμή στο C. $z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$

Ανάλυση κανόνων

Η σχεδίαση ενός ασαφούς ελεγκτή εντοπίζεται κυρίως στην εύρεση κατάλληλων κανόνων, έτσι ώστε το κλειστό σύστημα να ικανοποιεί κάποιες δεδομένες προϋποθέσεις. Στην θεωρία των ασαφών ελεγκτών δεν υπάρχουν συγκεκριμένες διαδικασίες έτσι ώστε να σχεδιαστεί ένας τέτοιος ελεγκτής, σε αντίθεση με την γραμμική θεωρία αυτομάτου ελέγχου όπου υπάρχουν τεχνικές όπως ο γεωμετρικός τόπος ριζών, τα διαγράμματα Nyquist κλπ. Το πρόβλημα είναι ότι η σχέση εισόδου εξόδου του ελεγκτή είναι μη γραμμική και πολύ δύσκολη να περιγραφεί μαθηματικά. Παρόλα αυτά δημιουργήθηκαν κάποια test με σκοπό να δείχνουν αν μια βάση κανόνων πληρεί κάποια βασικά κριτήρια. Τα βασικά κριτήρια για την ανάλυση των κανόνων είναι τα ακόλουθα.

1. Πληρότητα - Είναι αρκετοί οι κανόνες που δημιουργήθηκαν;
2. Συνέπεια - Μήπως οι κανόνες αλληλοσυγκρούονται;
3. Πλεονασμός - Μήπως υπάρχουν στη βάση κανόνων κάποιοι περιττοί κανόνες;
4. Αλληλεπίδραση - Υπάρχουν κάποιοι κανόνες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους;

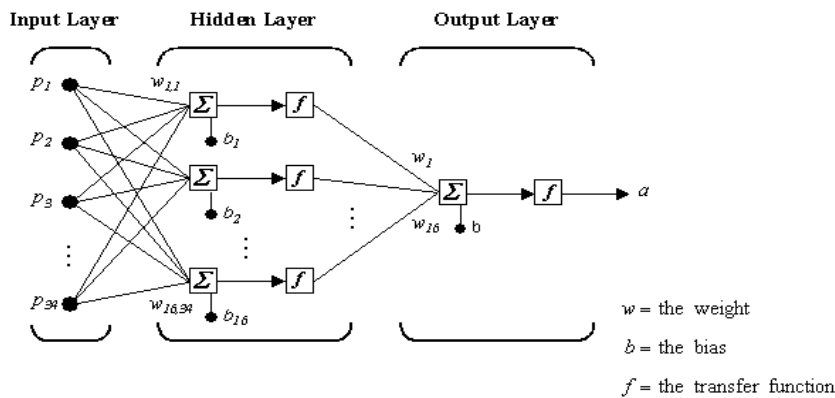
Συναρτήσεις συμμετοχής

Συναρτήσεις συμμετοχής γενικευμένης καμπανοειδούς μορφής (Generalized bell Mfs). Η γενικευμένη καμπανοειδής συνάρτηση συμμετοχής προσδιορίζεται από τρεις παραμέτρους $\{a, b, c\}$, όπου η παράμετρος b είναι συνήθως θετική. $gbellmf(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^2}$.

Συναρτήσεις συμμετοχής γκαουσιανής μορφής (Gaussian Mfs). Μια Γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής προσδιορίζεται από δύο παραμέτρους $\{c, \sigma\}$ $gaussmf(x, c, \sigma) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2\right)$.

Το δυσκολότερο σημείο είναι η επιλογή των ασαφών μεταβλητών, των τιμών τους και των κανόνων με τους οποίους θα συνδυαστούν. Ο προσδιορισμός των διαφόρων συναρτήσεων συμμετοχής συνήθως γίνεται αυτόματα με τη χρήση τεχνικών των νευρωνικών δικτύων. Άλλα σημεία που απαιτούν προσοχή είναι η επιλογή κατάλληλου τελεστή συνεπαγωγής, της μεθόδου αποασαφοποίησης κλπ. Ένα από τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα σύστημα ασαφούς συλλογιστικής είναι η σταθερότητα, δηλαδή η ικανότητά του να εμφανίζει καλή συμπεριφορά σε όλο το φάσμα τιμών εισόδου. Συνήθως η σταθερότητα συμπεριλαμβάνεται σαν ασαφής μεταβλητή στην περιγραφή του συστήματος και οι σχετικοί κανόνες ρυθμίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος σε ακραίες καταστάσεις.

Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks)



Ιστορία

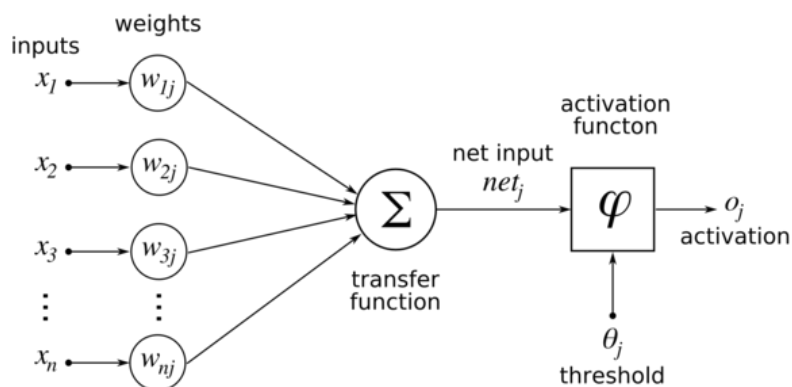
Η μελέτη υπολογιστικών συστημάτων που βασίζονται σε πρότυπα του ανθρώπινου εγκεφάλου έκανε τα πρώτα της βήματα το 1943 από τους McCulloch και Pitts οι οποίοι σχεδίασαν το πρώτο νευρωνικό δίκτυο. Η πολυπλοκότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι τέτοια έτσι ώστε απαγορεύει την πλήρη κατανόησή του. Ακόμα και η κατανόηση της λειτουργίας ενός νευρώνα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι φοβερά πολύπλοκη. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από 10^{10} νευρώνες, με κάθε νευρώνα να έχει αρκετές χιλιάδες συνδέσεις. Βασικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι η αναγνώριση προτύπων (pattern recognition), ο συνειρμός, η πολυπλοκότητα και η ανεκτικότητα στο θόρυβο.

Ένας νευρώνας ενεργοποιείται όταν το σήμα εισόδου του γίνεται μεγαλύτερο από μία τιμή. Οι συνάψεις (συνδέσεις νευρώνων) μπορεί να είναι είτε διεγερτικές είτε ανασταλτικές. Ο νευρώνας έχει ένα κυτταρικό σώμα, μια δενδρική δομή εισόδων τους δενδρίτες και δενδρική δομή εξόδων τους άξονες. Οι άξονες συνδέονται με δενδρίτες άλλων νευρώνων μέσω των συνάψεων. Τα ηλεκτροχημικά σήματα εισόδων διαδίδονται από τους δενδρίτες στο κυτταρικό σώμα και έπειτα μέσω των αξόνων σε άλλους νευρώνες. Αντίστοιχες δομές ακολουθούνται και στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.

Η Δομή-Σύντομη Περιγραφή

Το νευρωνικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο από υπολογιστικούς κόμβους (νευρώνες) συνδεδεμένους μεταξύ τους. Είναι εμπνευσμένο από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), το οποίο προσπαθούν να προσομοιώσουν. Στην ουσία πρόκειται για ένα σύστημα επεξεργασίας της πληροφορίας που αποτελείται από στρώματα (layers) κάθε ένα από τα οποία αποτελείται από στοιχεία επεξεργασίας που καλούνται νευρώνες.

Οι νευρώνες είναι τα δομικά στοιχεία του δικτύου. Υπάρχουν δύο είδη νευρώνων, οι νευρώνες εισόδου και οι υπολογιστικοί νευρώνες. Οι νευρώνες εισόδου (inputs) δεν υπολογίζουν τίποτα, μεσολαβούν ανάμεσα στις εισόδους του δικτύου και τους υπολογιστικούς νευρώνες. Οι υπολογιστικοί νευρώνες πολλαπλασιάζουν τις εισόδους τους με τα συναπτικά βάρη (weights) και υπολογίζουν το άθροισμα του γινομένου. Κάθε νευρώνας εκτελεί μία προκαθορισμένη μαθηματική λειτουργία και παράγει μία και μόνη έξοδο. Το άθροισμα που προκύπτει είναι το όρισμα της συνάρτησης ενεργοποίησης (activation function). Ο κάθε νευρώνας λειτουργεί ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους.



Εικόνα 3. Μοντέλο νευρώνα

Το μοντέλο του νευρώνα που παρουσιάζεται παραπάνω περιλαμβάνει επίσης και ένα εξωτερικό βάρος b_k . Το βάρος b_k έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση ή την μείωση της τιμής που δίνει σαν είσοδο το δίκτυο στην συνάρτηση ενεργοποίησης ανάλογα με το αν είναι αρνητικό ή θετικό. Το βάρος αυτό καλείται πόλωση ή κατώφλι (bias, threshold). Η τιμή της εισόδου του είναι πάντα η μονάδα, $x_0 = 1$. Με μαθηματικούς όρους, μπορούμε να περιγράψουμε έναν νευρώνα k από το παρακάτω ζεύγος εξισώσεων :

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j$$

$$y_k = \Phi(u_k - b_k)$$

όπου $x_1, x_2, \dots, x_m$ είναι τα εισερχόμενα σήματα, $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$ είναι τα βάρη των συνάψεων του νευρώνα k , u_k είναι η έξοδος του γραμμικού συνδιαστή, $\Phi(\cdot)$ είναι η συνάρτηση ενεργοποίησης και y_k είναι το σήμα που δίνει σαν έξοδο ο νευρώνας k .

Η δεύτερη εξίσωση δείχνει την ιδιαίτερη σημασία του βάρους b_k . Εάν το συνολικό άθροισμα από τις υπόλοιπες εισόδους του νευρώνα είναι μεγαλύτερο από την τιμή αυτή, τότε ο νευρώνας ενεργοποιείται. Εάν είναι μικρότερο, τότε ο νευρώνας παραμένει ανενεργός.

Οι δυνατότητες ενός νευρωνικού δικτύου περιγράφονται πλήρως στο ακόλουθο αποδεδειγμένο θεώρημα: Ένα νευρωνικό δίκτυο, με δύο επίπεδα ικανών για εκπαίδευση βαρών, μπορεί να προσεγγίσει οποιαδήποτε μη γραμμική συνάρτηση (Dayhoff and DeLeo 2001).

Συναρτήσεις Ενεργοποίησης

Η συνάρτηση ενεργοποίησης ορίζει την έξοδο του νευρώνα σε σχέση με την δυνατότητα ενεργοποίησης στην είσοδό του. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι συναρτήσεων ενεργοποίησης :

1. Η συνάρτηση κατώφλι (Threshold function). $\Phi(u) = \begin{cases} 1, & u \geq 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$
2. Τμηματικά γραμμική συνάρτηση (Piecewise Linear Function). $\Phi(u) = \begin{cases} 1, & u \geq \frac{1}{2} \\ u, & \frac{1}{2} > u > -\frac{1}{2} \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$

3. Σιγμοειδής συνάρτηση ενεργοποίησης (sigmoid activation function). Η σιγμοειδής συνάρτηση είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη συνάρτηση ενεργοποίησης για την κατασκευή ΤΝΔ. Ορίζεται ως μια γνησίως αύξουσα συνάρτηση που είναι ομαλή και ασυμπτωτική.
$$\Phi(u) = \frac{1}{1+e^{-au}}$$

Αρχιτεκτονικές Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

Ο τρόπος με τον οποίο οι νευρώνες ενός ΤΝΔ είναι δομημένοι είναι στενά συνδεδεμένος με τον αλγόριθμο εκπαίδευσης που χρησιμοποιείται για το δίκτυο. Γενικά υπάρχουν τρεις βασικές διαφορετικές κλάσεις αρχιτεκτονικών δικτύου.

1. Πρόσω τροφοδοτούμενα Δίκτυα Ενός Επιπέδου (Single Layer Feed forward networks). Στα νευρωνικά δίκτυα οι νευρώνες του δικτύου οργανώνονται σε διάφορα επίπεδα. Η πιο απλή μορφή νευρωνικού δικτύου με επίπεδα είναι ένα νευρωνικό δίκτυο με ένα επίπεδο. Στην περίπτωση αυτή έχουμε ένα επίπεδο με κόμβους εισόδου που προβάλλονται σε ένα επίπεδο εξόδου με νευρώνες (όπου γίνονται οι υπολογισμοί), ενώ το αντίθετο δεν ισχύει, δεν μπορούμε δηλαδή να πάμε από τους νευρώνες εξόδου στους κόμβους εισόδου. Σε αυτή την περίπτωση, το δίκτυο είναι ένα αυστηρά εμπρόσθιας τροφοδότησης (feed forward) δίκτυο και καλείται Feed forward Δίκτυο Ενός Επιπέδου. Με τον όρο ένα επίπεδο εννοούμε το επίπεδο εξόδου που περιέχει και τους νευρώνες όπου γίνονται οι υπολογισμοί. Σημειώνεται ότι δεν υπολογίζεται το επίπεδο εισόδου με τους κόμβους εισόδου γιατί σε αυτό δεν γίνονται καθόλου υπολογισμοί.
2. Πρόσω τροφοδοτούμενα Δίκτυα Πολλαπλών Επιπέδων (Multilayer Feed forward Networks). Η δεύτερη κλάση εμπρόσθιας τροφοδότησης νευρωνικών δικτύων διαφέρει από την πρώτη στην ύπαρξη ενός ή περισσοτέρων κρυφών επιπέδων, των οποίων οι νευρώνες καλούνται κρυφοί νευρώνες. Η λειτουργία των κρυφών νευρώνων είναι να παρεμβάλλονται μεταξύ των κόμβων εισόδου και των νευρώνων εξόδου του δικτύου. Με την προσθήκη ενός ή περισσότερων κρυφών επιπέδων, το δίκτυο έχει την δυνατότητα να προσεγγίζει συναρτήσεις μεγαλύτερης πολυπλοκότητας. Οι κόμβοι εισόδου στο επίπεδο εισόδου του δικτύου παρέχουν τα στοιχεία των προτύπων εισόδου, με την μορφή διανυσμάτων, που γίνονται εισοδοί στους νευρώνες του δεύτερου επιπέδου, δηλαδή του πρώτου κρυφού επιπέδου. Τα σήματα εξόδου των νευρώνων του δεύτερου κρυφού επιπέδου, γίνονται σήματα εισόδου στο τρίτο επίπεδο και συνεχίζεται κατά αυτό τον τρόπο η ροή των σημάτων μεταξύ των επιπέδων του δικτύου μέχρι να φτάσουν στο επίπεδο εξόδου. Συνήθως, οι νευρώνες σε κάθε επίπεδο του δικτύου, παίρνουν σαν είσοδο, τα σήματα εξόδου από τους νευρώνες του προηγούμενου επιπέδου μόνο. Το σύνολο των σημάτων εξόδου στο επίπεδο εξόδου (τελευταίο επίπεδο του δικτύου), αποτελεί και την απάντηση του δικτύου για τα δεδομένα που εισάγονται στους κόμβους εισόδου. Γενικά ένα δίκτυο με m κόμβους εισόδου, h_1 νευρώνες στο πρώτο κρυφό επίπεδο, h_2 νευρώνες στο δεύτερο κρυφό επίπεδο, ..., h_n νευρώνες στο n -οστό κρυφό επίπεδο και q νευρώνες στο επίπεδο εξόδου, αναφέρεται σαν ένα $m - h_1 - h_2 - \dots - h_n - q$ δίκτυο.
3. Αναδρομικά Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Recurrent Neural Networks). Ένα Αναδρομικό Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (ΑΤΝΔ) διαφέρει από ένα πρόσω τροφοδοτούμενο δίκτυο στο γεγονός ότι περιέχει έναν τουλάχιστον βρόγχο ανατροφοδότησης. Αυτό σημαίνει ότι σε έναν τουλάχιστον νευρώνα, το σήμα εξόδου του επηρεάζει το σήμα που έρχεται στην είσοδο του νευρώνα. Για παράδειγμα, ένα ΑΤΝΔ μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο επίπεδο νευρώνων όπου κάθε νευρώνας επιστρέφει το σήμα εξόδου του σαν σήμα εισόδου σε όλους τους άλλους νευρώνες του επιπέδου.

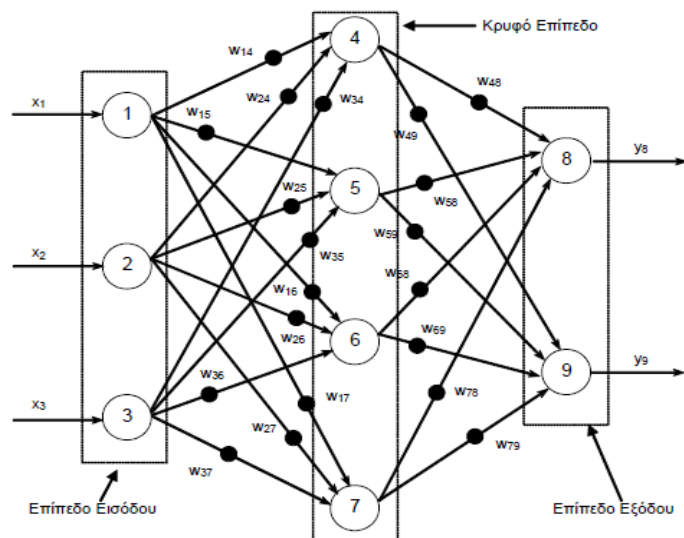
Εκπαίδευση-Μάθηση

Τα βάρη αποτελούν τα στοιχεία μνήμης της αντίστοιχης διάταξης νευρώνων. Οι τιμές που παίρνουν τα βάρη καθορίζονται από την διαδικασία μάθησης. Όλες οι μέθοδοι εκμάθησης κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

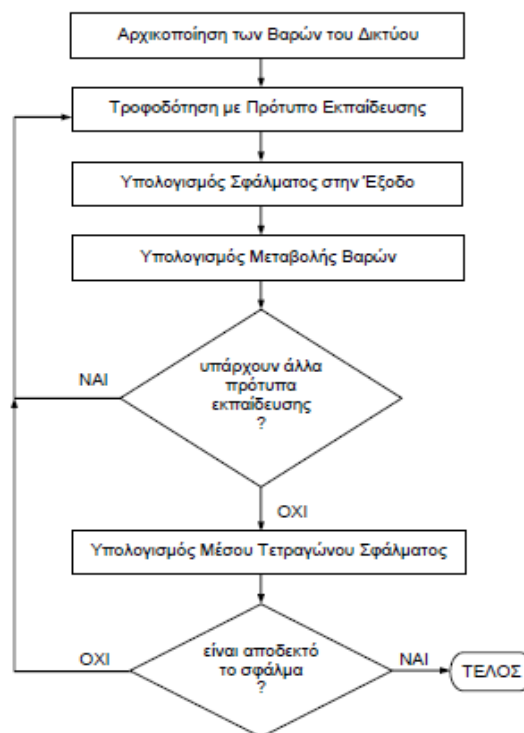
1. εκπαίδευση με επίβλεψη (supervised learning). Διαδικασία στην οποία απαιτείται κάποιο διάνυσμα εξόδου το οποίο αντιστοιχεί στις επιθυμητές τιμές. Οι μέθοδοι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι

η εκμάθηση με διόρθωση σφάλματος (error correction learning), η στοχαστική εκμάθηση (stochastic learning) και τα hardwired systems.

2. εκπαίδευση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning). Διαδικασία η οποία βασίζεται μόνο στην τοπική πληροφορία κατά την διάρκεια της εκπαίδευσης. Παραδείγματα αλγορίθμων εκπαίδευσης χωρίς επίβλεψη είναι ο αλγόριθμος Hebbian, ο διαφορικός αλγόριθμος Hebbian και Min-Max αλγόριθμος.



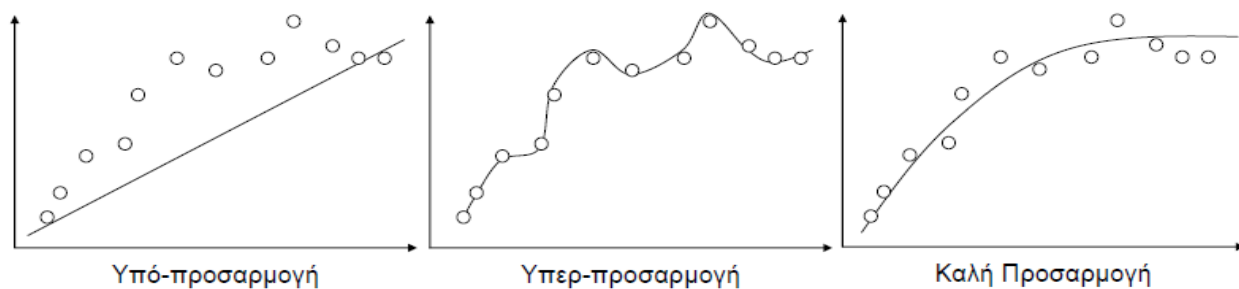
Εικόνα 4. Παράδειγμα ΤΝΔ



Εικόνα 5. Διαδικασία εκπαίδευσης ενός ΤΝΔ

Η εκπαίδευση ενός δικτύου βασίζεται στην ανάστροφη μετάδοση του σφάλματος (back propagation). Η αναπροσαρμογή των βαρών γίνεται από το επίπεδο εξόδου προς το εισόδου με εφαρμογή της διαδικασίας βελτιστοποίησης επικλινούς καθόδου (gradient descent optimization procedure) που ελαχιστοποιεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα E μεταξύ της εξόδου του δικτύου και της επιθυμητής εξόδου, για ένα συγκεκριμένο πλήθος διανυσμάτων εκπαίδευσης.

Η εκπαίδευση τελειώνει όταν τα αποτελέσματα που δίνει βρίσκονται εντός κάποιων προδιαγραφών που δίνονται από τον χρήστη ή/και την μορφή του προβλήματος. Εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας στην εκπαίδευση ενός νευρωνικού δικτύου είναι ο αριθμός εποχών εκπαίδευσης. Ως εποχή (epoch) εννοούμε την χρήση όλων των δεδομένων εκπαίδευσης (από το δίκτυο) για μία φορά. Μικρός αριθμός εποχών εκπαίδευσης συνήθως οδηγεί σε άσχημα αποτελέσματα ενώ αντίθετα μεγάλος αριθμός εποχών εκπαίδευσης οδηγεί στην υπερεκπαίδευση και απαιτεί μεγάλο υπολογιστικό χρόνο. Υπερεκπαίδευση έχουμε όταν το νευρωνικό δίκτυο προσαρμοστεί πολύ καλά στα δεδομένα εκπαίδευσης και μόνο σε αυτά. Οι αναφορές σε μικρό και μεγάλο αριθμό εποχών είναι σχετικές και αναφέρονται στο εκάστοτε πρόβλημα.



Εικόνα 6 Χαρακτηριστικές περιπτώσεις εκπαιδευμένων ΤΝΔ

Νεύρο-ασαφή συστήματα (υβριδικά συστήματα)

Χρήσιμες Πληροφορίες

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μια πολύ ελκυστική μέθοδο αναγνώρισης προτύπων, αλλά δεν προσφέρονται για την εξήγηση της διαδικασίας λήψης της απόφασης. Μπορούν να θεωρηθούν ως μαύρο κουτί (black box), όπου η εξαγωγή γνώσης από το εκπαιδευμένο δίκτυο είναι αρκετά δύσκολη. Όπως είναι φυσικό, θα ήταν επιθυμητό να υπήρχε πρόσβαση στο συλλογιστικό μηχανισμό των νευρωνικών δικτύων, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ευκολότερης διαχείρισης και κατασκευής τους. Από την άλλη πλευρά, η επιβολή εξωτερικής γνώσης στο σώμα ενός νευρωνικού δικτύου αναφορικά με ένα συγκεκριμένο πρόβλημα είναι αρκετά δύσκολη. Ένα ακόμα μειονέκτημα που εμφανίζουν τα νευρωνικά δίκτυα είναι ότι γενικά δεν είναι γνωστή η ακριβής μορφή της αρχιτεκτονικής του δικτύου και, συνεπώς, η δομή του καθορίζεται μόνο μέσω πειραματικών διαδικασιών.

Η ασαφής λογική μπορεί να εξηγήσει τη συμπεριφορά της λειτουργίας ενός συστήματος χρησιμοποιώντας κανόνες, και έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί ακρίβεια της πληροφορίας. Στις περιπτώσεις, όμως, που δεν υπάρχει διαθέσιμη εξωτερική γνώση, η δυνατότητα εφαρμογής των ασαφών συστημάτων περιορίζεται. Επίσης, διάφορα ζητήματα εμφανίζουν δυσκολίες, όπως ο ακριβής διαμερισμός του χώρου εισόδων και εξόδων ενός προβλήματος σε ασαφή σύνολα, οι τιμές των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής και ο ακριβής αριθμός των ασαφών κανόνων, που έχουν ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της σημαντικής ισχύος που χαρακτηρίζει την ασαφή λογική.

Τα νευρωνικά δίκτυα και τα ασαφή συστήματα μπορούν να θεωρηθούν ως ισοδύναμες μέθοδοι, όσον αφορά τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων. Όλοι οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στη γένεση νέων συνδυασμών των μεθόδων αυτών με κύριο στόχο την εξουδετέρωση όλων των παραπάνω μειονεκτημάτων. Τα υβριδικά συστήματα υπολογιστικής νοημοσύνης (hybrid computational intelligent systems) περιλαμβάνουν μια σύνθεση των δύο παραπάνω μεθόδων.

Τα συστήματα που βασίζονται στην ασαφή λογική και αυτά που βασίζονται στα ANN έχουν πολύ διαφορετικές (αντίθετες αν προτιμάτε) απαιτήσεις κατά την εφαρμογή τους. Για παράδειγμα τα ασαφή συστήματα είναι κατάλληλα όταν υπάρχει αρκετή γνώση ειδικού για την εξεταζόμενη διαδικασία, ενώ τα συστήματα ANN είναι χρήσιμα σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν αρκετά μετρήσιμα δεδομένα για την εξεταζόμενη διαδικασία. Και οι δύο προσεγγίσεις κατασκευάζουν μη-γραμμικά συστήματα βασισμένα πάνω σε συνεχείς μεταβλητές, με τη διαφορά ότι η μεταχείριση των νευρωνικών συστημάτων γίνεται με τρόπο αριθμητικό- ποσοτικό, ενώ η μεταχείριση των ασαφών συστημάτων γίνεται με τρόπο συμβολικό- ποιοτικό.

Τα νεύρο-ασαφή συστήματα, όμως, παρουσιάζουν τόσο συμβολικά όσο και αριθμητικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, μπορούν μέσω λειτουργιών βάσει κανόνων να κάνουν επεξεργασία των μεταχειρισμένων από αυτά συμβόλων (symbolic processing via rule-based operations). Από την άλλη πλευρά, οι συναρτήσεις συμμετοχής επιτρέπουν στα ασαφή συστήματα την αριθμητική επεξεργασία των καθορισμένων λεκτικών μεταβλητών που μεταχειρίζονται. Κατά συνέπεια, η σύνθεση νευρωνικών και ασαφών συστημάτων οδηγεί σε μια νέα κατάσταση όπου το ασαφές σύστημα παρέχει ένα ισχυρό υπόβαθρο για την αναπαράσταση της γνώσης των ειδικών, ενώ τα ANN παρέχουν ικανότητες μάθησης και είναι κατάλληλα για υπολογιστικές αποτελεσματικές εφαρμογές μέσω Η/Υ. Η σημασία της σύνθεσης αυτής εξάγεται και από τις διαφορές των ξεχωριστών αυτών συστημάτων, καθώς τα ANN δεν παρέχουν ένα ισχυρό πλαίσιο για αναπαράσταση γνώσης, ενώ οι ελεγκτές ασαφούς λογικής δεν διακρίνονται για την ικανότητα αυτόματης μάθησης. Τα υβριδικά νεύρο-ασαφή συστήματα μπορούν να δημιουργηθούν με τρεις τρόπους:

1. Neural Fuzzy System: Σε αυτού του είδους τα συστήματα τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται ως εργαλεία μέσα σε ένα ασαφές μοντέλο.
2. Fuzzy Neural Networks: Τα δίκτυα αυτά ουσιαστικά συνιστούν την ασαφοποίηση του συμβατικού μοντέλου νευρωνικού δικτύου.
3. Fuzzy-neural Hybrid System: Τα συστήματα αυτά συνίστανται στην ενσωμάτωση τεχνολογίας ασαφούς λογικής και νευρωνικών δικτύων σε υβριδικά συστήματα.

Για τις δύο πρώτες κατηγορίες, η σύνθεση νεύρο-ασαφών συστημάτων προκύπτει παρέχοντας σε ένα νευρωνικό δίκτυο την ικανότητα χειρισμού ασαφούς πληροφορίας (fuzzy-neural network - FNN) και ενισχύοντας ένα ασαφές σύστημα με νευρωνικά δίκτυα, προκειμένου να βελτιωθούν χαρακτηριστικά, όπως η ευελιξία, η ταχύτητα και η προσαρμοστικότητα (neural-fuzzy systems – NFS). Σε ένα FNN οι είσοδοι και τα βάρη των συνδέσεων και οι έξοδοι του δικτύου αποτελούν ασαφή υποσύνολα ή ένα σύνολο από τιμές συμμετοχής σε ασαφή σύνολα. Για τη μοντελοποίηση αυτών των δικτύων χρησιμοποιούνται λεκτικές τιμές, όπως "μικρό, μεσαίο, μεγάλο", ή ασαφείς αριθμοί. Νευρωνικά δίκτυα που χρησιμοποιούν ασαφείς νευρώνες χαρακτηρίζονται επίσης FNN, καθώς θεωρούνται ικανά να επεξεργαστούν ασαφείς πληροφορίες. Ένα νεύρο-ασαφές σύστημα (NFS) από την άλλη πλευρά έχει ως σκοπό την πραγματοποίηση της διαδικασίας ασαφούς συλλογιστικής (fuzzy reasoning), όπου τα βάρη των συνδέσεων του δικτύου αντιστοιχούν στις παραμέτρους της ασαφούς συλλογιστικής. Χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μάθησης της μορφής backpropagation, το NFS μπορεί να αναγνωρίσει ασαφείς κανόνες και να "μάθει" τις συναρτήσεις συμμετοχής της ασαφούς συλλογιστικής. Συγκεκριμένα το NFS θα πρέπει να είναι ικανό να "μάθει" λεκτικούς κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής ή να βελτιστοποιεί τους ήδη υπάρχοντες κανόνες ή συναρτήσεις συμμετοχής. Υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις:

- 1) Το σύστημα ξεκινά χωρίς κανόνες και δημιουργεί νέους κανόνες μέχρι το πρόβλημα της μάθησης να επιλυθεί. Η δημιουργία ενός νέου κανόνα προκύπτει από ένα πρότυπο εκμάθησης που δεν καλύπτεται αρκετά από την τρέχουσα βάση κανόνων.
- 2) Το σύστημα ξεκινά με όλους εκείνους τους κανόνες που μπορούν να δημιουργηθούν από το διαμερισμό των μεταβλητών και διαγράφοντας ανεπαρκείς κανόνες από τη βάση κανόνων με βάση την αξιολόγηση της απόδοσής τους.
- 3) Το σύστημα ξεκινά με μια βάση κανόνων που αποτελείται από σταθερό αριθμό κανόνων. Κατά τη διαδικασία της εκμάθησης οι κανόνες αντικαθίστανται μέσω μιας διαδικασίας βελτιστοποίησης.

Αναφορικά με την τρίτη προσέγγιση, τόσο οι τεχνικές ασαφούς λογικής, όσο και οι τεχνικές των νευρωνικών δικτύων παίζουν καθοριστικό ρόλο σε ένα υβριδικό σύστημα. Εκτελούν τις δραστηριότητές τους για διαφορετικές λειτουργίες του συστήματος. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει το ANFIS (Adaptive

Network based Fuzzy Inference System Adaptive ή αλλιώς Adaptive Neuro Fuzzy Inference System). Εμπερικλείοντας το σύστημα ασαφούς συμπερασμού σε ένα πλαίσιο προσαρμοστικών δικτύων (adaptive networks), προκύπτει η δομή του ANFIS (Jang, 1997).

Τα πρόσφατα αναπτυγμένα νεύρο-ασαφή συστήματα, που ενσωματώνουν τις επιθυμητές αρχές τόσο των ασαφών συστημάτων όσο και των νευρωνικών δικτύων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη ασαφών κανόνων με "φυσικό" τρόπο. Η μάθηση στα νεύρο-ασαφή συστήματα καταλήγει σε κατανοήσιμους λεκτικούς κανόνες της μορφής "εάν - τότε". Είναι εξαιρετικά χρήσιμα στην επεξήγηση της συλλογιστικής που κρύβεται πίσω από κάθε αποτέλεσμα τους, ενώ οι κανόνες "εάν - τότε" που παράγουν είναι αρκετά απλοί, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα έμπειρο σύστημα, σε περίπτωση που χρειαστεί. Οι κανόνες αυτής της μορφής, επίσης, επιτρέπουν τη χρησιμοποίηση τόσο ποιοτικών όσο και ποσοτικών δεδομένων.

Πέρα από τους κανόνες στους οποίους καταλήγουν τα νεύρο-ασαφή συστήματα, εξωτερικά καθορισμένες οδηγίες μπορούν να εισαχθούν ως "εάν - τότε" κανόνες. Το σύστημα χρησιμοποιεί και τα δύο σύνολα, δηλαδή εκείνα που δημιουργούνται από παραδείγματα εκμάθησης και εκείνα που καθορίζονται από το χρήστη ως οδηγίες για σκοπούς ταξινόμησης. Η διαδικασία παροχής οδηγιών είναι εξαιρετικά χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου πρόσθετη πληροφόρηση παρέχεται από τον ειδικό στο συγκεκριμένο αντικείμενο που εξετάζεται. Συνήθως στις πραγματικές εφαρμογές, οι οδηγίες αυτές παρέχουν πληροφορίες που δεν είναι διαθέσιμες στο σύνολο των δεδομένων εκμάθησης, και είναι το αποτέλεσμα της εμπειρικής γνώσης του ειδικού που ασχολείται πολλά χρόνια με το συγκεκριμένο αντικείμενο. Ανάλογη παροχή οδηγιών σε νευρωνικό δίκτυο δεν είναι εύκολο να υπάρξει, παρά το ότι μια χρονοβόρα κατάλληλη προσαρμογή των βαρών από το χρήστη θα μπορούσε να την καταστήσει δυνατή. Εξαιτίας της ασαφοποίησης των δεδομένων εισόδου, οι μεταβλητές εισόδου στο νεύρο-ασαφές σύστημα παίρνουν μερικές ασαφοποιημένες τιμές (π.χ. μικρό, μεσαίο, μεγάλο), αντί για μια μεγάλη γκάμα πραγματικών αριθμητικών τιμών. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται μεγάλη μείωση του χρόνου μάθησης για το νεύρο-ασαφές σύστημα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των νεύρο-ασαφών συστημάτων συνοψίζονται στα ακόλουθα:

1. Κατασκευή εύελικτου, μη-τυπικού μοντέλου για τα δεδομένα εκπαίδευσης με τη μορφή ασαφών κανόνων (fuzzy rules).
2. Χρησιμοποίηση a priori γνώσης για το πρόβλημα.
3. Η αρχική γνώση μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί βάσει των δεδομένων εκπαίδευσης με νευρωνικούς αλγόριθμους μάθησης.
4. Η γνώση είναι άμεσα προσπελάσιμη με τη μορφή κανόνων (rules). Οι κανόνες είναι της μορφής : Εάν (if) <συνθήκες (conditions) > τότε (then) <αποτελέσματα (consequents)>.
5. Ο τρόπος διατύπωσης των κανόνων είναι πολύ κοντά στην κοινή ανθρώπινη λογική και συνεπώς η δυνατότητα των ασαφών συστημάτων για παροχή επεξηγήσεων του τρόπου εξαγωγής ενός συμπεράσματος είναι εξαιρετικά αποτελεσματική.

Τα κυριότερα ολοκληρωμένα νεύρο-ασαφή συστήματα που παρουσιάζονται στην διεθνή βιβλιογραφία είναι :

- Το Adaptive Network based Fuzzy Inference System (ANFIS) το οποίο δημιουργήθηκε από τον J.-S.R. Jang (Jang, 1993). Το ANFIS ανήκει στα προσαρμοστικά δίκτυα (adaptive networks), τα οποία ομοιάζουν με τα νευρωνικά δίκτυα. Το προσαρμοστικό δίκτυο αποτελείται από τους προσαρμοστικούς και τους μη προσαρμοστικούς κόμβους (adaptive, non-adaptive nodes). Ουσιαστικά το προσαρμοστικό δίκτυο είναι ένα πολύ-επίπεδο δίκτυο πρόσθιας τροφοδότησης (multi-layer feed-forward network), στο

οποίο κάθε κόμβος εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία πάνω στα εισερχόμενα σήματα και πάνω στο σύνολο των παραμέτρων που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο κόμβο. Οι κόμβοι συνδέονται μέσω κατευθυντήριων συνδέσμων (directional links). Μερικοί ή όλοι οι κόμβοι είναι προσαρμόσιμοι, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι το αποτέλεσμα καθενός από αυτούς τους κόμβους εξαρτάται από τις παραμέτρους που σχετίζονται με αυτόν τον κόμβο, και ο κανόνας μάθησης προσδιορίζει πώς αυτοί οι παράμετροι θα πρέπει να μεταβληθούν για την ελαχιστοποίηση ενός προκαθορισμένου μέτρου σφάλματος. Το είδος της λειτουργίας του κάθε κόμβου μπορεί να ποικίλει από κόμβο σε κόμβο, και η επιλογή της λειτουργίας ενός κόμβου εξαρτάται από τη συνολική επεξεργασία πάνω στις εισόδους και την έξοδο που το προσαρμοστικό δίκτυο πρέπει να εκτελέσει.

- Το Mamdani Integrated Neuro-Fuzzy System το οποίο δημιουργήθηκε από τους E.H. Mamdani and S. Assilian (Mamdani, 1975). Χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο μάθησης back-propagation προκειμένου να προσαρμόσει τις παραμέτρους των συναρτήσεων συμμετοχής.
- Το Takagi-Sugeno Integrated Neuro-fuzzy system, (Sugeno, 1985) το οποίο χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο μάθησης backpropagation για την προσαρμογή των συναρτήσεων συμμετοχής και την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για τον υπολογισμό του γραμμικού μέρους των κανόνων.
- Το Fuzzy Adaptive Learning Control Network (FALCON), (Lin, 1991). Χρησιμοποιεί το μηχανισμό συμπερασμού Mamdani με αρχιτεκτονική πέντε επιπέδων. Ο αλγόριθμος μάθησης είναι υβριδικός και εξελίσσεται σε δύο φάσεις. Στην αρχική φάση καθορίζονται τα κέντρα και τα βάρη των συναρτήσεων συμμετοχής με τεχνικές μάθησης self-organized. Στη δεύτερη φάση εφαρμόζεται ο αλγόριθμος backpropagation για την προσαρμογή των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής.
- Το FuNe το οποίο δημιουργήθηκε από τους S.K. Halgamuge and M. Glesner (Halgamuge, 1994). Παράγει ασαφείς κανόνες με την χρήση δεδομένων βασισμένο στις τεχνικές μάθησης των νευρωνικών δικτύων. Στην πρώτη φάση εξάγονται τυχαίοι κανόνες και στην δεύτερη φάση με τη χρήση των δεδομένων εκπαίδευσης οι κανόνες βελτιστοποιούνται. Δεν υπάρχουν περιορισμοί στον αριθμό των μεταβλητών εισόδου και εξόδου. Κάθε μεταβλητή μπορεί να έχει μέχρι τρεις ασαφείς εισόδους.
- Το GARIC (General Approximate Reasoning-based Intelligent Control) το οποίο δημιουργήθηκε από τους H.R. Berenji and P. Khedkar (Berenji, 1992). Αποτελείται από ένα νεύρο-ασαφές δίκτυο το οποίο μαθαίνει με τη χρήση μεθόδων βαθμωτής κατάβασης. Περιλαμβάνει τρία κύρια τμήματα: α) Action Evaluation Network (AEN), β) Action Selection Network (ASN) και γ) Stochastic Action Modifier (SAM).
- Το Neuro-Fuzzy Controller (NEFCON) το οποίο δημιουργήθηκε από τους D. Nauck, and R. Kruse (Nauck, 1994). Έχει την δυνατότητα να μαθαίνει ασαφή σύνολα και ασαφείς κανόνες χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό συμπερασμού Mamdani. Η διαδικασία μάθησης χωρίζεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση το σύστημα μαθαίνει τους κανόνες και στη δεύτερη φάση βελτιστοποιεί τους κανόνες μεταβάλλοντας τα ασαφή σύνολα των κανόνων. Η μάθηση των κανόνων γίνεται με δύο μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος είναι η incremental και χρησιμοποιείται όταν η σωστή έξοδος δεν είναι γνωστή, οπότε οι κανόνες δημιουργούνται με βάση υπολογισμένες τιμές της εξόδου. Καθώς εξελίσσεται η εκπαίδευση όλο και περισσότεροι κανόνες προστίθενται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των δεδομένων. Η δεύτερη μέθοδος είναι η decremental στην οποία αρχικά οι κανόνες δημιουργούνται λόγω της ασαφούς διαίρεσης των διαστημάτων των μεταβλητών και στη συνέχεια κατά την διαδικασία της μάθησης απαλείφονται οι κανόνες που δεν χρησιμοποιούνται. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούν ένα ασαφές σφάλμα E, το οποίο αποτυπώνει την ποιότητα του συστήματος, για να δημιουργηθούν και να βελτιστοποιηθούν οι κανόνες. Οι συναρτήσεις συμμετοχής των κανόνων μεταβάλλονται σύμφωνα με τον αλγόριθμο Fuzzy Error Backpropagation.

- Το Neuro-Fuzzy Classification (NEFCLASS), (Nauck, 1995). Εξάγει ασαφείς κανόνες από τα δεδομένα τα οποία μπορούν να διαιρεθούν σε σαφείς περιοχές (ταξινόμηση). Η βάση δεδομένων του συστήματος προσεγγίζει μια άγνωστη συνάρτηση φ η οποία αναπαριστά το πρόβλημα της ταξινόμησης και αντιστοιχίζει κάθε τιμή της εισόδου x στην τάξη της C_i .
- Το Neuro-Fuzzy Function Approximation (NEFPROX), (Nauck, 1999). Αποτελεί μια τροποποιημένη έκδοση του NEFCON χωρίς την reinforcement μάθηση και χρησιμοποιείται για να προσεγγίσει μια συνάρτηση. Σε σχέση με το ANFIS μπορεί να χρησιμοποιήσει εκτός από Sugeno και Mamdani μηχανισμό συμπερασμού.
- Το Fuzzy Inference Environment Software with Tuning (FINEST), (Tano, 1996). Βελτιστοποιεί το μηχανισμό συμπερασμού μόνο του. Χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο backpropagation για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων.
- Το Self Constructing Neural Fuzzy Inference Network (SONFIN), (Feng, 1998). Χρησιμοποιεί ένα Takagi-Sugeno μηχανισμό συμπερασμού. Οι ασαφείς κανόνες δημιουργούνται και προσαρμόζονται καθώς η διαδικασία μάθησης εξελίσσεται και ταυτόχρονα δημιουργούνται η δομή και οι παράμετροι του συστήματος.
- Το Fuzzy Net (FUN), (Sulzberger, 1993). Μπορεί να αναπαραστήσει λογικές εκφράσεις μέσω ασαφών κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής σε ένα δίκτυο με βάση τις συναρτήσεις ενεργοποίησης κάποιων ειδικών νευρώνων.
- Τα Evolving Fuzzy Neural Networks (EFuNN) και Dynamic Evolving Fuzzy Neural Networks (dmFFuNNs), (Kasabov, 1998). Και τα δύο συστήματα βασίζονται στη μεθοδολογία Evolving Connectionist Systems (ECOS) καθώς χρησιμοποιούν υβριδικό (με επίβλεψη και χωρίς επίβλεψη) αλγόριθμο μάθησης.

Προσαρμοστικό νεύρο-ασαφές σύστημα εξαγωγής συμπεράσματος (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System-ANFIS)

Η αρχιτεκτονική του ANFIS

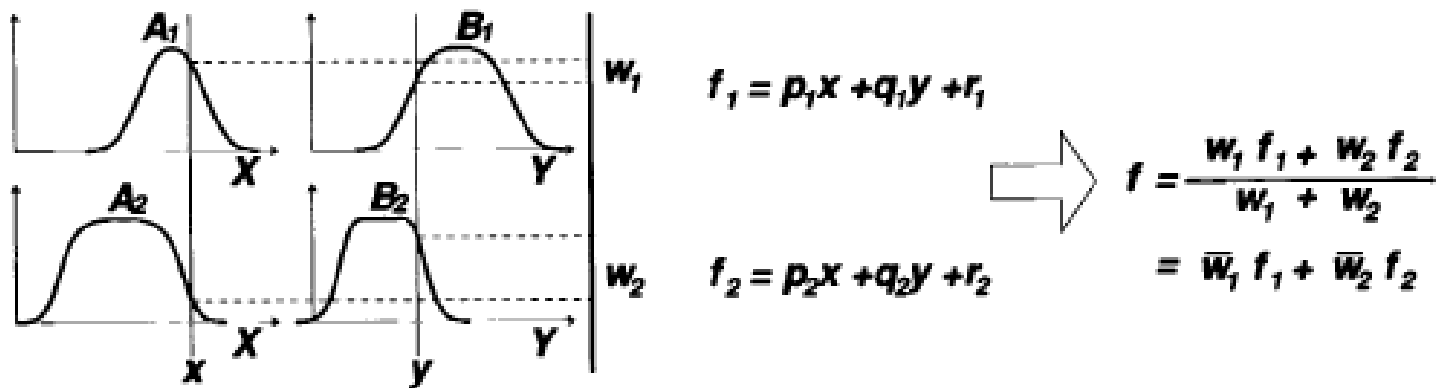
Ο αλγόριθμος ANFIS είναι από τους κυριότερους αλλά και ταυτόχρονα από τους πρώτους που εφαρμόστηκαν στο πεδίο της νεύρο-ασαφούς προσέγγισης προβλημάτων. Παρακάτω περιγράφεται το δίκτυο, υποθέτοντας ότι το πρόβλημα το οποίο θα αναλυθεί έχει δύο εισόδους x και y και μία έξοδο z .

Υποθέτοντας ότι για ένα πρώτης τάξης μοντέλο Sugeno, μία τυπική βάση κανόνων (rule base) θα μπορούσε να είναι και η εξής:

Κανόνας 1: Εάν το x είναι A_1 και το y είναι B_1 τότε $f_1 = p_1 \cdot x + q_1 \cdot y + r_1$

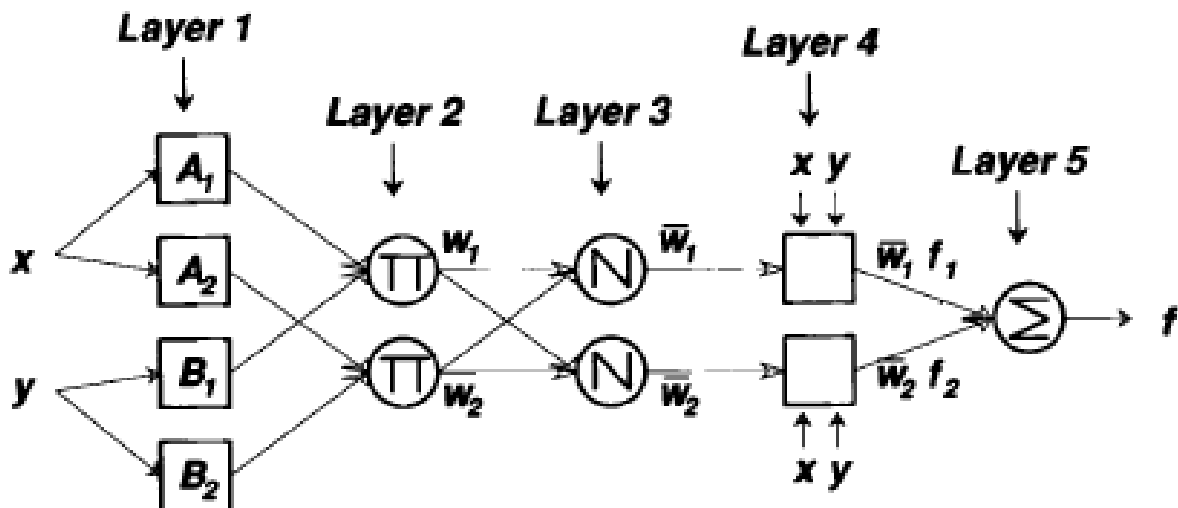
Κανόνας 2: Εάν το x είναι A_2 και το y είναι B_2 τότε $f_2 = p_2 \cdot x + q_2 \cdot y + r_2$

Το παρακάτω σχήμα 1 δείχνει με απλό τρόπο τη διαδικασία συμπερασμού (inference procedure) του μοντέλου Sugeno, στην περίπτωση όπου για t-operator έχει επιλεγεί η τομή των δύο ασαφών συνόλων (A,B), οπότε $\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$.



Σχήμα 1. Ένα διπλής-εισόδου πρώτης-εντολής (first-order) ασαφές μοντέλο Sugeno με δυο κανόνες.

Όπως γίνεται φανερό, η έξοδος z του πρωτοβάθμιου μοντέλου Sugeno είναι ένας σταθμικός μέσος όρος. Η αντίστοιχη αναπαράσταση του δικτύου ANFIS παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα 2.



Σχήμα 2. Αρχιτεκτονική ANFIS

Το παραπάνω σχήμα απεικονίζει τον συλλογιστικό μηχανισμό (reasoning) για αυτό το μοντέλο Sugeno και η αντίστοιχη ισοδύναμη αρχιτεκτονική του ANFIS όπου οι κόμβοι του ίδιου επιπέδου έχουν παρόμοιες συναρτήσεις. Παρακάτω παρουσιάζεται πιο αναλυτικά η διεργασία που εκτελείται σε κάθε επίπεδο.

Επίπεδο 1: Κάθε κόμβος i σε αυτό το επίπεδο είναι ένας προσαρμόσιμος (adaptive) κόμβος με μια συνάρτηση κόμβου :

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \text{ για } i = 1,2 \text{ ή}$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \text{ για } i = 3,4$$

όπου x (ή y) η είσοδος στον κόμβο και A_i (ή B_{i-2}) η γλωσσική μεταβλητή (small, large, κλπ.) που σχετίζεται με αυτή τη συνάρτηση του κόμβου.

Με άλλα λόγια, το $O_{1,i}$, είναι ο βαθμός συμμετοχής του A ($= A_1, A_2, B_1$ ή B_2) και καθορίζει το βαθμό στον οποίο η είσοδος x (ή y) ικανοποιεί τον ποσοτικοποιητή A . Εδώ η συνάρτηση συμμετοχής για το A μπορεί να είναι οποιαδήποτε κατάλληλη παραμετρική συνάρτηση συμμετοχής όπως η καμπανοειδής για παράδειγμα :

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{\alpha_i} \right|^{2b}}$$

Όπου $\{\alpha_i, b_i, c_i\}$ είναι το σύνολο των παραμέτρων.

Καθώς οι τιμές αυτών των παραμέτρων αλλάζουν, οι συναρτήσεις ποικίλλουν ανάλογα, παρουσιάζοντας έτσι διάφορες μορφές της συνάρτησης συμμετοχής για το ασαφές σύνολο A . Οι παράμετροι σε αυτό το επίπεδο αναφέρονται ως αρχικοί παράμετροι (premise parameters).

Επίπεδο 2: Κάθε κόμβος σε αυτό το επίπεδο είναι ένας σταθερός (fixed) κόμβος Π , του οποίου η έξοδος είναι το γινόμενο όλων των εισερχόμενων σημάτων:

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \quad i = 1,2$$

Κάθε κόμβος-έξοδος αντιπροσωπεύει το βαθμό ενεργοποίησης ενός κανόνα (firing strength). Γενικά, οποιεσδήποτε άλλες T-norm (operators) που σημαίνουν τον ασαφή τελεστή AND μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν συνάρτηση κόμβων σε αυτό το επίπεδο.

Επίπεδο 3: Κάθε κόμβος σε αυτό το επίπεδο είναι ένας σταθερός κόμβος N . Ο i -οστός κόμβος υπολογίζει το λόγο της βαθμού ενεργοποίησης (firing strength) του i -οστού κανόνα στο άθροισμα των βαθμών ενεργοποίησης όλων των κανόνων:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1,2$$

Για ευκολία, οι έξοδοι αυτού του επιπέδου ονομάζονται κανονικοποιημένοι βαθμοί ενεργοποίησης (normalized firing strengths).

Επίπεδο 4: Κάθε κόμβος i σε αυτό το επίπεδο είναι ένας προσαρμόσιμος κόμβος με μία συνάρτηση κόμβου:

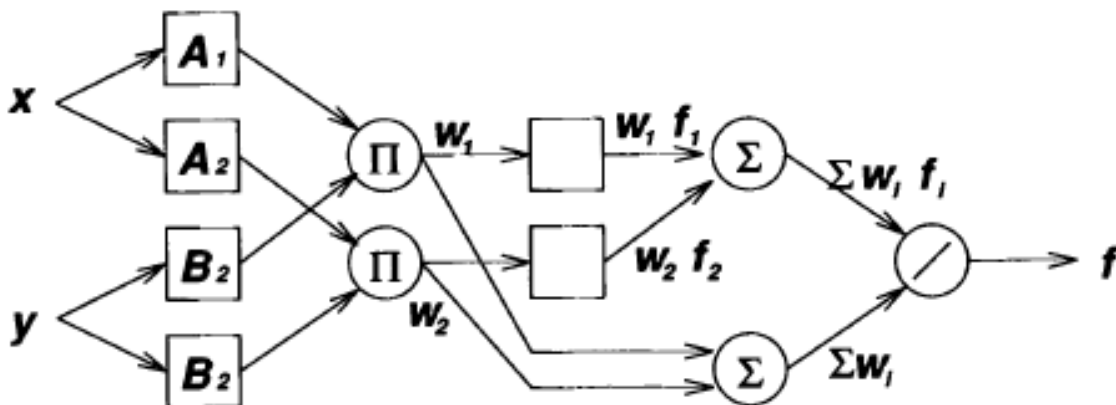
$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i \cdot x + q_i \cdot y + r_i)$$

Όπου $\bar{w}_i$ είναι ο κανονικοποιημένος βαθμός ενεργοποίησης από το επίπεδο 3, και $\{p_i, q_i, r_i\}$ το σύνολο των παραμέτρων. Οι παράμετροι σε αυτό το επίπεδο αναφέρονται ως επακόλουθοι (consequent parameters).

Επίπεδο 5: Ο μοναδικός κόμβος σε αυτό το επίπεδο είναι ένας σταθερός κόμβος Σ που υπολογίζει τη συνολική έξοδο σαν το ολικό άθροισμα όλων των εισερχόμενων σημάτων:

$$\text{συνολική έξοδος} = O_{5,1} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

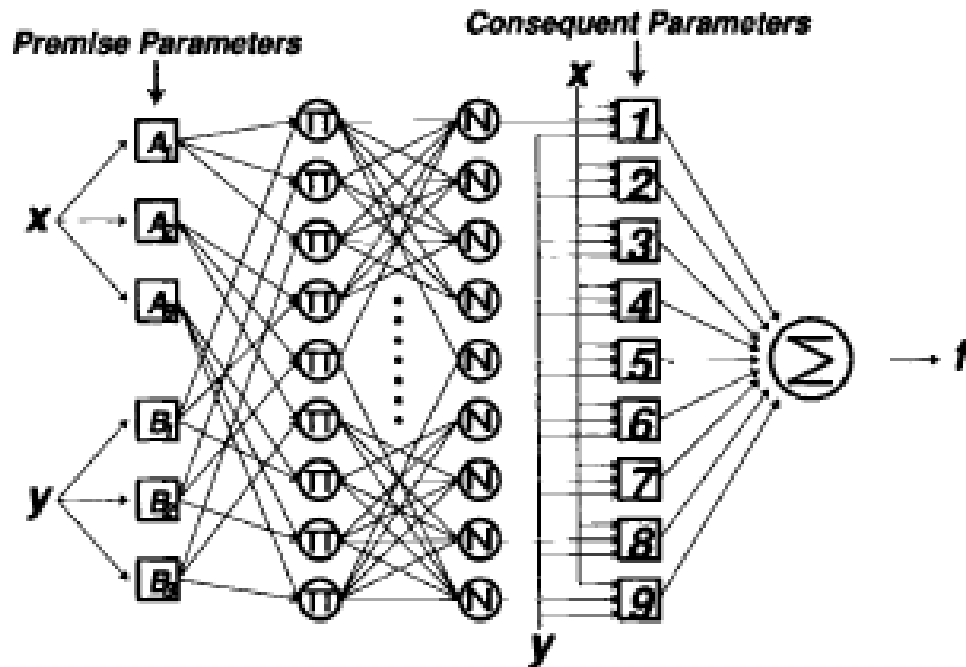
Αυτό το προσαρμοστικό δίκτυο είναι λειτουργικά ισοδύναμο με το ασαφές μοντέλο Sugeno. Μπορούμε να συνδυάσουμε τα επίπεδα 3 και 4 για να αποκτήσουμε ένα ισοδύναμο δίκτυο με τέσσερα μόνο επίπεδα. Με το ίδιο δείγμα μπορούμε να πραγματοποιήσουμε την κανονικοποίηση των βαρών στο τελευταίο επίπεδο. Το σχήμα 3 απεικονίζει ένα ANFIS αυτού του τύπου. Στην ακραία περίπτωση μπορούμε να συρρικνώσουμε ακόμα και όλο το δίκτυο, σε έναν μόνο προσαρμοστικό κόμβο με το ίδιο σύνολο παραμέτρων. Η ανάθεση συναρτήσεων κόμβων και η σύνθεση του δικτύου είναι αυθαίρετες, εφόσον κάθε κόμβος και κάθε επίπεδο πραγματοποιούν λειτουργίες που είναι σημαντικές και έχουν δυνατότητα να αποτελούνται από επιμέρους τμήματα.



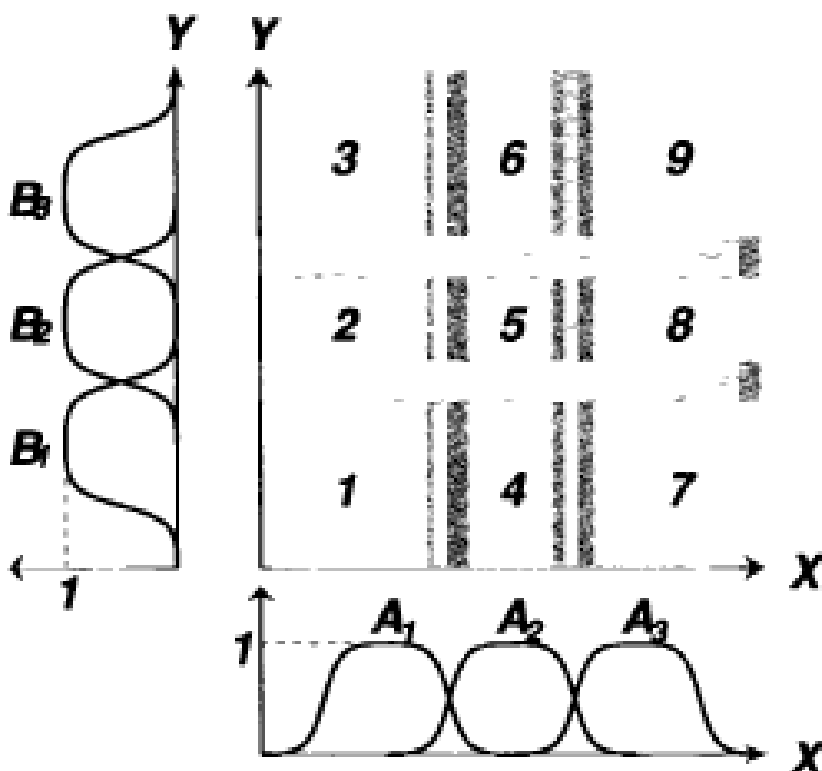
Σχήμα 3.
Αρχιτεκτονική ANFIS για το ασαφές μοντέλο Sugeno, όπου η κανονικοποίηση βαρών γίνεται στο τελευταίο επίπεδο.

Εκτός από το μηχανισμό συμπερασμού του Sugeno, μπορούμε να κατασκευάσουμε ANFIS και με το μοντέλο Mamdani. Το Sugeno χρησιμοποιείται περισσότερο συχνά, μιας και διακρίνεται για την διαφάνεια και την αποτελεσματικότητά του. Στο σχήμα 4 (α) βλέπουμε μια αρχιτεκτονική ANFIS που είναι ισοδύναμη με ένα ασαφές μοντέλο Sugeno πρώτου βαθμού δυο εισόδων και εννέα κανόνων, σε κάθε είσοδο θεωρούμε

ότι αντιστοιχούν τρεις συναρτήσεις συμμετοχής. Το σχήμα 4 (β) απεικονίζει πως δύο διαστάσεων χώρος εισόδου είναι χωρισμένος σε εννέα υπέρθετες (overlapping) ασαφείς περιοχές όπου κάθε μια ελέγχεται από ένα ασαφή κανόνα εάν-τότε (if-then). Αυτό σημαίνει ότι το μέρος των προϋποθέσεων ενός κανόνα προσδιορίζει μια ασαφή περιοχή, ενώ το μέρος των συμπερασμάτων προσδιορίζει την έξοδο μέσα στην περιοχή.



Σχήμα 4. (α) Η αρχιτεκτονική του ANFIS για το ασαφές μοντέλο Sugeno με δύο εισόδους και εννέα κανόνες.



Σχήμα 4. (β) ο χώρος εισόδου, χωρισμένος σε εννέα ασαφείς περιοχές.

Υβριδικός αλγόριθμος εκπαίδευσης

Το ANFIS χρησιμοποιεί έναν υβριδικό αλγόριθμο εκμάθησης για να προσδιορίσει τις παραμέτρους του ασαφούς συστήματος τύπου Sugeno. Εφαρμόζει έναν συνδυασμό της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων (least-squares) και της μεθόδου οπισθόδρομης βαθμωτής ελαχιστοποίησης (backpropagation gradient descent) για την εκπαίδευση παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής του FIS ώστε να μιμηθεί ένα δοσμένο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης.

Εκτιμητής ελαχίστων τετραγώνων (least-squares estimator)

Στο γενικό πρόβλημα ελαχίστων τετραγώνων, η έξοδος του γραμμικού μοντέλου y δίνεται από τη γραμμικά παραμετροποιημένη έκφραση:

$$y = \theta_1 f_1(u) + \theta_2 f_2(u) + \dots + \theta_n f_n(u) \quad \text{εξ. 1}$$

Όπου $u = [u_1, \dots, u_p]^T$ είναι το διάνυσμα εισόδου του μοντέλου, $f_1, \dots, f_n$ είναι γνωστές συναρτήσεις του u και $\theta_1, \dots, \theta_n$ είναι άγνωστες παράμετροι που θα υπολογιστούν. Η παραπάνω εξίσωση καλείται συνάρτηση παλινδρόμησης, και τα θ_i ονομάζονται συντελεστές παλινδρόμησης.

Για να προσδιοριστούν οι άγνωστες παράμετροι θ_i , συνήθως πρέπει να εκτελεστούν πειράματα για να βρεθεί ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης που αποτελείται από τα ζευγάρια δεδομένων $\{(u_i; y_i), i = 1, \dots, m\}$; τα οποία αντιπροσωπεύουν τα επιθυμητά ζευγάρια εισόδου-εξόδου του συστήματος στόχου που θα μοντελοποιηθεί. Η αντικατάσταση κάθε ζευγαριού στοιχείων στην εξίσωση 1 παράγει ένα σύνολο γραμμικών εξισώσεων m :

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1(u_1)\theta_1 + f_2(u_1)\theta_2 + \dots + f_n(u_1)\theta_n = y_1, \\ f_1(u_2)\theta_1 + f_2(u_2)\theta_2 + \dots + f_n(u_2)\theta_n = y_2, \\ \vdots \\ f_1(u_m)\theta_1 + f_2(u_m)\theta_2 + \dots + f_n(u_m)\theta_n = y_m \end{array} \right\} \quad \text{εξ. 2}$$

Σε μορφή πινάκων, οι προηγούμενες εξισώσεις μπορούν να γραφτούν σε συνοπτική μορφή:

$$A\theta = y \quad \text{εξ. 3}$$

όπου A είναι ένας $m \times n$ πίνακας (πίνακας σχεδιασμού):

$$A = \begin{bmatrix} f_1(u_1) & \dots & f_n(u_1) \\ \vdots & & \vdots \\ f_1(u_m) & \dots & f_n(u_m) \end{bmatrix}$$

θ είναι ένα $n \times 1$ διάνυσμα άγνωστων παραμέτρων:

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix}$$

και y είναι ένα $m \times 1$ διάνυσμα εξόδου:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}$$

Η i-οστή σειρά του ενωμένου πίνακα δεδομένων $[A : y]$, που δηλώνεται με $[a_i^T : y_i]$ σχετίζεται με το i-οστό ζευγάρι δεδομένων $(u_i ; y_i)$ μέσω της

$$a_i^T = [f_1(u_i), \dots, f_n(u_i)].$$

Το μεγαλύτερο μέρος των υπολογισμών βασίζεται στους πίνακες A και y , μερικές φορές γίνεται αναφορά στο $(a_i^T ; y_i)$, σαν το i-οστό ζευγάρι δεδομένων του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης.

Για να προσδιοριστεί μεμονωμένα το άγνωστο διάνυσμα θ , είναι απαραίτητο να ισχύει $m \geq n$. Αν ο A είναι τετραγωνικός ($m = n$) και αντιστρέψιμος, τότε η εξίσωση 3 μπορεί να λυθεί ως προς τον άγνωστο x και γίνεται:

$$\theta = A^{-1} y$$

Ο m είναι συνήθως μεγαλύτερος από τον n , που σημαίνει ότι υπάρχουν περισσότερα ζευγάρια στοιχείων από τις παραμέτρους. Σε αυτήν την περίπτωση, μια ακριβής λύση που να ικανοποιεί όλες τις m εξισώσεις δεν είναι πάντα δυνατή, δεδομένου ότι τα στοιχεία μπορεί να μολυνθούν από θόρυβο, ή το μοντέλο μπορεί να μην είναι κατάλληλο για την περιγραφή του συστήματος στόχου. Κατά συνέπεια η εξίσωση 3 πρέπει να τροποποιηθεί με την ενσωμάτωση ενός διανύσματος λάθους e για να αποτελέσει το τυχαίο λάθος θορύβου ή το τυχαίο λάθος διαμόρφωσης ως εξής:

$$A\theta + e = y$$

Τώρα, αντί της εύρεσης της ακριβούς λύσης στην εξίσωση 3, πρέπει να βρεθεί το $\theta = \hat{\theta}$ που ελαχιστοποιεί το άθροισμα του τετραγωνικού σφάλματος και ορίζεται ως :

$$E(\theta) = \sum_{i=1}^m (y_i - a_i^T \theta)^2 = e^T e = (y - A\theta)^T (y - A\theta) \quad \text{εξ. 4}$$

όπου $e = y - A\theta$ είναι το διάνυσμα λάθους που παράγεται από μια συγκεκριμένη επιλογή του θ . Πρέπει να σημειωθεί ότι το $E(\theta)$ είναι σε τετραγωνική μορφή και έχει ένα μοναδικό ελάχιστο $\theta = \hat{\theta}$. Το ακόλουθο θεώρημα δηλώνει έναν απαραίτητο όρο που ικανοποιείται από τον εκτιμητή ελαχίστων τετραγώνων $\hat{\theta}$.

Ορισμός 1. Εκτιμητής ελαχίστων τετραγώνων

Το τετραγωνικό σφάλμα στην εξίσωση 6 ελαχιστοποιείται όταν $\theta = \hat{\theta}$, ο οποίος καλείται εκτιμητής ελαχίστων τετραγώνων (LSE) και ο οποίος ικανοποιεί την κανονική εξίσωση

$$A^T A \hat{\theta} = A^T y$$

Αν ο $A^T A$ είναι αντιστρέψιμος, ο $\hat{\theta}$ είναι μοναδικός και δίνεται από την :

$$\hat{\theta} = (A^T A)^{-1} A^T y$$

Οπισθοδρόμηση για πρώσο-τροφοδοτούμενα δίκτυα

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει ένα βασικό κανόνα εκμάθησης για προσαρμόσιμα δίκτυα, που είναι στην ουσία η πιο απλή μέθοδος βαθμωτής ελαχιστοποίησης. Το κεντρικό μέρος αυτού του κανόνα εκμάθησης αφορά στο πώς να επιλεγεί επαναληπτικά ένα διάνυσμα κλίσης στο οποίο κάθε στοιχείο ορίζεται ως η παράγωγος ενός μέτρου σφάλματος ως προς μια παράμετρο. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια του κανόνα αλυσίδας, ενός βασικού τύπου για το διαφορισμό σύνθετων συναρτήσεων ο οποίος αναλύεται σε κάθε εγχειρίδιο μαθηματικών. Η διαδικασία εύρεσης ενός διανύσματος κλίσης σε ένα δίκτυο αναφέρεται γενικά σαν οπισθοδρόμηση (backpropagation) επειδή το διάνυσμα κλίσης υπολογίζεται σε κατεύθυνση αντίθετη από τη ροή της εξόδου κάθε κόμβου. Μόλις επιλεγεί η κλίση, διάφορες τεχνικές βελτιστοποίησης και παλινδρόμησης βασισμένες στις παραγώγους είναι διαθέσιμες για την ενημέρωση των παραμέτρων. Ειδικότερα, εάν χρησιμοποιούμε το διάνυσμα κλίσης σε μια απλή μέθοδο βαθμωτής ελαχιστοποίησης, το προκύπτον παράδειγμα εκμάθησης αναφέρεται συχνά ως **κανόνας οπισθοδρόμησης εκμάθησης**.

Έστω ότι ένα δεδομένο πρωσοτροφοδοτούμενο προσαρμόσιμο δίκτυο στην αναπαράστασή του σε επίπεδα έχει L επίπεδα και το επίπεδο l (όπου

$l = 0, 1, \dots, L$; $l = 0$ αντιπροσωπεύει το επίπεδο εισαγωγής) έχει $N(l)$ κόμβους. Τότε η έξοδος και η συνάρτηση του κόμβου i [$i = 1, \dots, N(l)$] στο επίπεδο l μπορούν να αναπαρασταθούν σαν $x_{l,i}$ και $f_{l,i}$ αντίστοιχα. Ας υποτεθεί ότι δεν υπάρχει καμία σύνδεση μεταξύ μη συνεχόμενων στρωμάτων. Δεδομένου ότι η έξοδος ενός κόμβου εξαρτάται από τα εισερχόμενα σήματα και το σύνολο παραμέτρων του κόμβου, προκύπτει η ακόλουθη γενική έκφραση για τη συνάρτηση των κόμβων $f_{l,i}$:

$$x_{l,i} = f_{l,i}(x_{l-1,1}, \dots, x_{l-1,N(l-1)}, \alpha, \beta, \gamma, \dots)$$

όπου α, β, γ κτλ. είναι οι παράμετροι αυτού του κόμβου.

Υποθέτοντας ότι το δοσμένο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης έχει P καταχωρήσεις, μπορεί να οριστεί ένα μέτρο σφάλματος για την p -οστή ($1 \leq p \leq P$) καταχώρηση των δεδομένων εκπαίδευσης σαν το άθροισμα των τετραγωνικών σφαλμάτων:

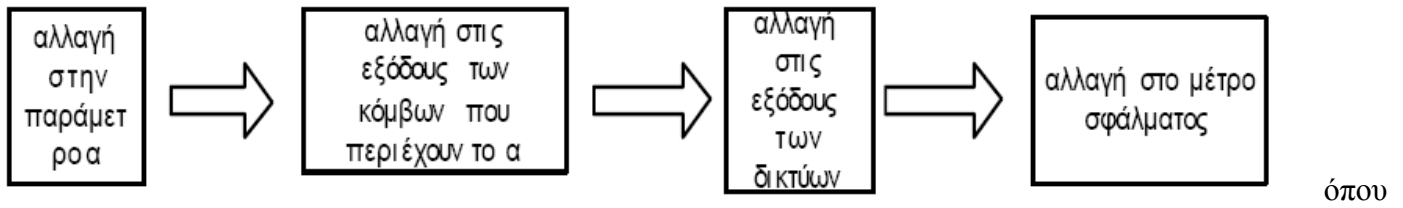
$$E_p = \sum_{k=1}^{N(l)} (d_k - x_{L,k})^2 \quad \text{εξ. 2}$$

Όπου d_k είναι το k -οστό συστατικό του p -οστού επιθυμητού διανύσματος εξόδου και $x_{L,k}$ είναι το k -οστό συστατικό του πραγματικού διανύσματος εξόδου που παράγεται με την παρουσίαση του p -οστού διανύσματος εισόδου στο δίκτυο. (Για σημειογραφική απλότητα, παραλείπεται ο δείκτης p και από το d_k και από το $x_{L,k}$). Προφανώς, όταν το E_p είναι ίσο με το μηδέν, το δίκτυο είναι ικανό να αναπαράγει ακριβώς το επιθυμητό διάνυσμα εξόδου στο p -οστό ζευγάρι δεδομένων εκπαίδευσης. Ο στόχος εδώ είναι να ελαχιστοποιηθεί ένα συνολικό μέτρο σφάλματος, που ορίζεται ως:

$$E = \sum_{p=1}^P E_p \quad \text{εξ. 3}$$

Επιπλέον, ας υποτεθεί ότι το E_p εξαρτάται μόνο από τους κόμβους εξόδου.

Για να χρησιμοποιηθεί η βαθμωτή ελαχιστοποίηση ώστε να ελαχιστοποιηθεί το μέτρο σφάλματος, πρέπει πρώτα να βρεθεί το διάνυσμα κλίσης. Πριν υπολογιστεί το διάνυσμα κλίσης, πρέπει να παρατηρηθούν οι ακόλουθες αιτιώδεις σχέσεις:



τα βέλη $\Rightarrow$ δείχνουν τις αιτιώδεις σχέσεις. δηλαδή, μια μικρή αλλαγή σε μια παράμετρο α θα επηρεάσει την έξοδο του κόμβου που περιέχει το α . Αυτό με τη σειρά του θα επηρεάσει την έξοδο του τελευταίου επιπέδου και συνεπώς το μέτρο σφάλματος.

Η βασική αρχή στον υπολογισμό του διανύσματος κλίσης είναι να περαστούν μια σειρά από πληροφορίες παραγώγων ξεκινώντας από το επίπεδο εξόδου και πηγαίνοντας ανάποδα από επίπεδο σε επίπεδο έως ότου καταλήξει η διαδικασία στο επίπεδο εισόδου.

Το σήμα σφάλματος $\epsilon_{l,i}$ ορίζεται σαν τη παράγωγο του μέτρου σφάλματος E_p ως προς την έξοδο του κόμβου i στο επίπεδο l λαμβάνοντας υπόψη και τις άμεσες και τις έμμεσες πορείες.

$$\epsilon_{l,i} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}} \quad \text{εξ. 4}$$

Η έκφραση αυτή ονομάστηκε διατεταγμένη παράγωγος από τον Werbos.

Το σήμα σφάλματος για τον i -οστό κόμβο εξόδου (στο επίπεδο L) μπορεί να υπολογιστεί απευθείας:

$$\epsilon_{1,i} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{1,i}} = \frac{\partial E_p}{\partial x_{1,i}} \quad \text{εξ. 5}$$

Αυτό ισούται με $\epsilon_{L,i} = -2(d_i - x_{L,i})$ αν το E_p ορίζεται όπως στην εξίσωση 2. Για τον εσωτερικό κόμβο στην i -οστή θέση του επιπέδου l το σήμα σφάλματος μπορεί να βρεθεί από τον κανόνα αλυσίδας (εξ. 6):

$$\epsilon_{l,i} = \underbrace{\frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}}}_{\text{error signal at layer } l} = \sum_{m=1}^{N(l+1)} \underbrace{\frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l+1,m}}}_{\text{error signal at layer } l+1} \frac{\partial f_{l+1,m}}{\partial x_{l,i}} = \sum_{m=1}^{N(l+1)} \epsilon_{l+1,m} \frac{\partial f_{l+1,m}}{\partial x_{l,i}}$$

όπου $0 \leq l \leq L-1$. δηλαδή το σήμα σφάλματος ενός εσωτερικού κόμβου στο στρώμα l μπορεί να εκφραστεί ως γραμμικός συνδυασμός των κόμβων στο στρώμα $l+1$. Επομένως, για οποιαδήποτε l και i [και $1 \leq i \leq N(l)$], μπορούν να βρεθούν τα:

$$\epsilon_{l,i} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}}$$

εφαρμόζοντας πρώτα την εξίσωση 5 μία φορά για να υπολογιστούν τα σήματα σφάλματος στο επίπεδο εξόδου, και έπειτα εφαρμόζοντας την εξίσωση 6 επαναληπτικά έως ότου καταλήξει η διαδικασία στο

επιθυμητό επίπεδο 1 . Η διαδικασία αυτή καλείται οπισθοδρόμηση δεδομένου ότι τα σήματα σφάλματος λαμβάνονται διαδοχικά από το επίπεδο εξόδου προς το επίπεδο εισόδου.

Το διάνυσμα κλίσης ορίζεται ως η παράγωγος του μέτρου σφάλματος ως προς κάθε παράμετρο, έτσι πρέπει να εφαρμοστεί ο κανόνας αλυσίδας ξανά για να βρεθεί το διάνυσμα κλίσης. Εάν a είναι μια παράμετρος του i -οστού κόμβου στο επίπεδο 1 , τότε ισχύει:

$$\frac{\partial^+ E_p}{\partial a} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}} \frac{\partial f_{l,i}}{\partial a} = \epsilon_{l,i} \frac{\partial f_{l,i}}{\partial a} \quad \text{εξ. 7}$$

Ας σημειωθεί ότι αν επιτραπεί στην παράμετρο a να μοιράζεται μεταξύ διαφορετικών κόμβων, τότε η εξίσωση 7 πρέπει να αλλαχθεί σε μια πιο γενική μορφή:

$$\frac{\partial^+ E_p}{\partial a} = \sum_{x^* \in S} \frac{\partial^+ E_p}{\partial x^*} \frac{\partial f^*}{\partial a} \quad \text{εξ. 8}$$

όπου S είναι το σύνολο των κόμβων που περιέχουν το a σαν παράμετρο ενώ x^* και f^* είναι η έξοδος και η συνάρτηση, αντίστοιχα, ενός γενικού κόμβου στο S .

Η παράγωγος του γενικού μέτρου σφάλματος E ως προς το a είναι

$$\frac{\partial^+ E_p}{\partial a} = \sum_{p=1}^P \frac{\partial^+ E_p}{\partial a} \quad \text{εξ. 9}$$

Συνεπώς, για την απλούστερη βαθμωτή ελαχιστοποίηση χωρίς ελαχιστοποίηση γραμμών, ο τύπος για τη γενική παράμετρο a είναι :

$$\Delta a = -n \frac{\partial^+ E_p}{\partial a}$$

όπου το n είναι ο ρυθμός εκμάθησης, το οποίο μπορεί να εκφραστεί περαιτέρω ως:

$$n = \frac{k}{\sqrt{\sum_{\alpha} \left(\frac{\partial E}{\partial \alpha} \right)^2}}$$

όπου το k είναι το μέγεθος βήματος, το μήκος δηλαδή κάθε μετάβασης κατά μήκος της κατεύθυνσης κλίσης στο διάστημα παραμέτρου. Συνήθως το μέγεθος βήματος μπορεί να αλλαχθεί για να μεταβληθεί η ταχύτητα της σύγκλισης.

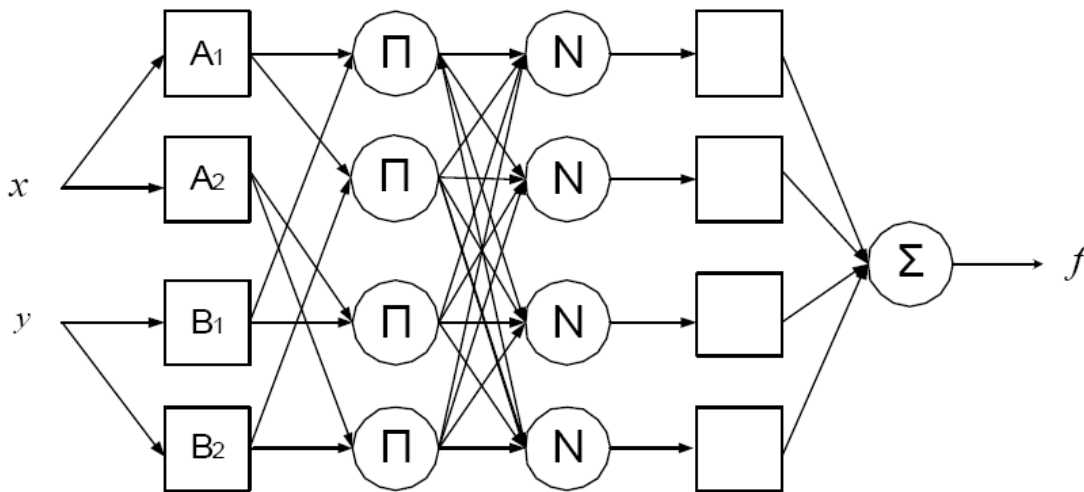
Όταν ένα πρωστοροφοδοτούμενο δίκτυο n -κόμβων αναπαριστάται στην τοπολογική του διάταξη, μπορεί να υπολογιστεί το μέτρο σφάλματος E_p σαν την έξοδο ενός επιπλέον κόμβου με ένδειξη $n+1$, του οποίου η συνάρτηση κόμβου f_{n+1} μπορεί να οριστεί από τις εξόδους κάθε κόμβου με μικρότερη ένδειξη. (Επομένως, το E_p μπορεί να εξαρτάται άμεσα από οποιουσδήποτε κόμβους.) Εφαρμόζοντας πάλι τον κανόνα αλυσίδας, ισχύει ο ακόλουθος συνοπτικός τύπος για τον υπολογισμό του σήματος σφάλματος

$$\epsilon_i = \frac{\partial E_p}{\partial x_i}$$

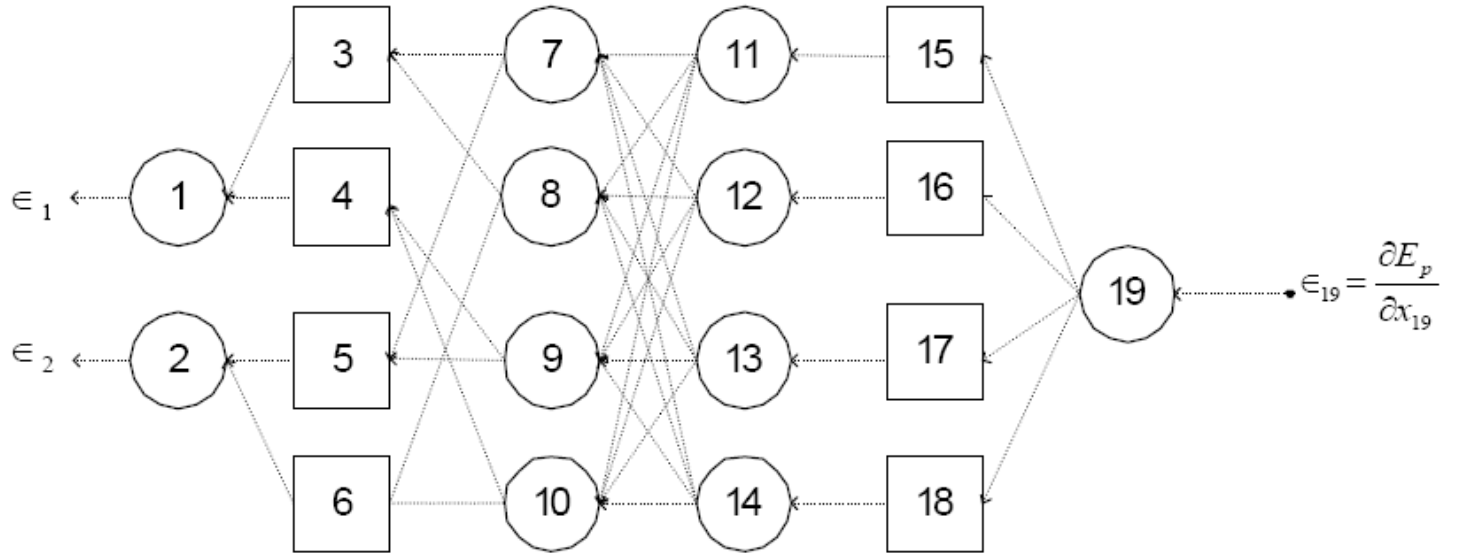
$$\epsilon_i = \frac{\partial f_{n+1}}{\partial x_i} + \sum_{j > i} \epsilon_j \frac{\partial f_j}{\partial x_i}$$

όπου ο πρώτος όρος δείχνει μια άμεση επίδραση του x_i στο E_p μέσω της άμεσης διαδρομής από τον κόμβο i στον κόμβο $n + 1$ και κάθε όρος παραγώγου στο άθροισμα δείχνει την έμμεση επίδραση του x_i στο E_p . Μόλις βρεθεί το σήμα σφάλματος για κάθε κόμβο, τότε το διάνυσμα κλίσης για τις παραμέτρους παράγεται όπως πριν.

Ένας άλλος συστηματικός τρόπος να υπολογιστούν τα σήματα σφάλματος είναι μέσω της αναπαράστασης του δικτύου διάδοσης σφάλματος (ή του μοντέλου ευαισθησίας), το οποίο λαμβάνεται από το αρχικό προσαρμόσιμο δίκτυο με την αντιστροφή των συνδέσεων και την παροχή των σημάτων σφάλματος στο επίπεδο εξόδου ως είσοδοι στο νέο δίκτυο. Το ακόλουθο σχήμα δείχνει το μοντέλο ANFIS και το δίκτυο διάδοσης σφάλματος του:



Σχήμα 5 α : Το προσαρμόσιμο δίκτυο



Σχήμα 5 β: Το δίκτυο διάδοσης σφάλματος

Τώρα θα υπολογιστούν τα σήματα σφάλματος στους εσωτερικούς κόμβους. Χρησιμοποιούνται τα f_i και x_i για το συμβολισμό της συνάρτησης και της εξόδου του κόμβου i . Η έξοδος του κόμβου i είναι το σήμα σφάλματος αυτού του κόμβου στο πραγματικό προσαρμόσιμο δίκτυο. Σε σύμβολα, αν επιλεγθεί το τετραγωνικό μέτρο σφάλματος για E_p τότε ισχύει το ακόλουθο: $\epsilon_{19} = -2(d_{19} - x_{19})$

Αυτό είναι επειδή ο κόμβος 19 είναι μόνο ένας κόμβος προσωρινής αποθήκευσης στο δίκτυο διάδοσης σφάλματος. Για τους κόμβους 15, 16, 17 και 18 ισχύουν:

$$\epsilon_{18} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{18}} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{19}} \frac{\partial f_{19}}{\partial x_{18}} = \epsilon_{19} \frac{\partial f_{19}}{\partial x_{18}}$$

$$\epsilon_{17} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{17}} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{19}} \frac{\partial f_{19}}{\partial x_{17}} = \epsilon_{19} \frac{\partial f_{19}}{\partial x_{17}}$$

$$\epsilon_{16} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{16}} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{19}} \frac{\partial f_{19}}{\partial x_{16}} = \epsilon_{19} \frac{\partial f_{19}}{\partial x_{16}}$$

$$\epsilon_{15} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{15}} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{19}} \frac{\partial f_{19}}{\partial x_{15}} = \epsilon_{19} \frac{\partial f_{19}}{\partial x_{15}}$$

Αυτό είναι επειδή όλοι αυτοί οι κόμβοι εξαρτώνται από τον κόμβο 19. Αυτό ισχύει και για τους κόμβους 11, 12, 13 και 14 με τη διαφορά ότι κάθε ένας από αυτούς εξαρτάται από διαφορετικό κόμβο:

$$\epsilon_{14} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{14}} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{18}} \frac{\partial f_{18}}{\partial x_{14}} = \epsilon_{18} \frac{\partial f_{18}}{\partial x_{14}}$$

$$\epsilon_{13} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{13}} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{17}} \frac{\partial f_{17}}{\partial x_{13}} = \epsilon_{17} \frac{\partial f_{17}}{\partial x_{13}}$$

$$\epsilon_{12} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{12}} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{16}} \frac{\partial f_{16}}{\partial x_{12}} = \epsilon_{16} \frac{\partial f_{16}}{\partial x_{12}}$$

$$\epsilon_{11} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{11}} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{15}} \frac{\partial f_{15}}{\partial x_{11}} = \epsilon_{15} \frac{\partial f_{15}}{\partial x_{11}}$$

Αντιθέτως, οι κόμβοι 7, 8, 9 και 10 εξαρτώνται από τέσσερις διαφορετικούς κόμβους όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Έτσι, ισχύει:

$$\epsilon_{10} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{10}} = \epsilon_{14} \frac{\partial f_{14}}{\partial x_{10}} + \epsilon_{13} \frac{\partial f_{13}}{\partial x_{10}} + \epsilon_{12} \frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} + \epsilon_{11} \frac{\partial f_{11}}{\partial x_{10}}$$

$$\epsilon_9 = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_9} = \epsilon_{14} \frac{\partial f_{14}}{\partial x_9} + \epsilon_{13} \frac{\partial f_{13}}{\partial x_9} + \epsilon_{12} \frac{\partial f_{12}}{\partial x_9} + \epsilon_{11} \frac{\partial f_{11}}{\partial x_9}$$

$$\epsilon_8 = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_8} = \epsilon_{14} \frac{\partial f_{14}}{\partial x_8} + \epsilon_{13} \frac{\partial f_{13}}{\partial x_8} + \epsilon_{12} \frac{\partial f_{12}}{\partial x_8} + \epsilon_{11} \frac{\partial f_{11}}{\partial x_8}$$

$$\epsilon_7 = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_7} = \epsilon_{14} \frac{\partial f_{14}}{\partial x_7} + \epsilon_{13} \frac{\partial f_{13}}{\partial x_7} + \epsilon_{12} \frac{\partial f_{12}}{\partial x_7} + \epsilon_{11} \frac{\partial f_{11}}{\partial x_7}$$

Οι κόμβοι 3, 4, 5 και 6 εξαρτώνται από δύο διαφορετικούς κόμβους και σαν αποτέλεσμα προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\epsilon_6 = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_6} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{10}} \frac{\partial f_{10}}{\partial x_6} + \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_8} \frac{\partial f_8}{\partial x_6} = \epsilon_{10} \frac{\partial f_{10}}{\partial x_6} + \epsilon_8 \frac{\partial f_8}{\partial x_6}$$

$$\epsilon_5 = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_5} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_9} \frac{\partial f_9}{\partial x_5} + \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_7} \frac{\partial f_7}{\partial x_5} = \epsilon_9 \frac{\partial f_9}{\partial x_5} + \epsilon_7 \frac{\partial f_7}{\partial x_5}$$

$$\epsilon_4 = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_4} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{10}} \frac{\partial f_{10}}{\partial x_4} + \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_9} \frac{\partial f_9}{\partial x_4} = \epsilon_{10} \frac{\partial f_{10}}{\partial x_4} + \epsilon_9 \frac{\partial f_9}{\partial x_4}$$

$$\epsilon_3 = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_3} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_8} \frac{\partial f_8}{\partial x_3} + \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_7} \frac{\partial f_7}{\partial x_3} = \epsilon_8 \frac{\partial f_8}{\partial x_3} + \epsilon_7 \frac{\partial f_7}{\partial x_3}$$

Τέλος, οι κόμβοι 1 και 2 εξαρτώνται από δύο κόμβους και έτσι ισχύει:

$$\epsilon_2 = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_2} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_6} \frac{\partial f_6}{\partial x_2} + \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_5} \frac{\partial f_5}{\partial x_2} = \epsilon_6 \frac{\partial f_6}{\partial x_2} + \epsilon_5 \frac{\partial f_5}{\partial x_2}$$

$$\epsilon_1 = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_1} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_4} \frac{\partial f_4}{\partial x_1} + \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_3} \frac{\partial f_3}{\partial x_1} = \epsilon_4 \frac{\partial f_4}{\partial x_1} + \epsilon_3 \frac{\partial f_3}{\partial x_1}$$

Συνδυασμός βαθμωτής ελαχιστοποίησης και εκτιμητή ελαχίστων τετραγώνων

Η έξοδος ενός προσαρμόσιμου δικτύου είναι γραμμική σε μερικές από τις παραμέτρους του δικτύου. Έτσι μπορούν να προσδιοριστούν αυτές οι γραμμικές παράμετροι με τη γραμμική μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων που περιγράφηκε παραπάνω. Αυτή η προσέγγιση οδηγεί σε ένα υβριδικό κανόνα εκμάθησης που συνδυάζει τη βαθμωτή ελαχιστοποίηση (SD) και τον εκτιμητή ελαχίστων τετραγώνων (LSE) για γρήγορο προσδιορισμό των παραμέτρων.

Από την αρχιτεκτονική δομή του ANFIS παρατηρούμε ότι οι τιμές των παραμέτρων από τις προϋποθέσεις είναι προκαθορισμένες (αμετάβλητες), η ολική έξοδος μπορεί να εκφραστεί σαν ο γραμμικός συνδυασμός των παραμέτρων από τα συμπεράσματα. Σε σύμβολα, η έξοδος f στο σχήμα 4 (β) ξαναγράφεται:

$$\begin{aligned} f &= \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2 = \bar{w}_1(p_1x + q_1y + r_1) + \bar{w}_2(p_2x + q_2y + r_2) \\ &= (\bar{w}_1x)p_1 + (\bar{w}_1y)q_1 + (\bar{w}_1)r_1 + (\bar{w}_2x)p_2 + (\bar{w}_2y)q_2 + (\bar{w}_2)r_2 \end{aligned}$$

Η οποία είναι γραμμική στις παραμέτρους των συμπερασμάτων p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 , και r_2 .

Έστω ότι:

S = σύνολο όλων των παραμέτρων

S_1 = σύνολο των (μη γραμμικών) παραμέτρων από τις προϋποθέσεις

S_2 = σύνολο των (γραμμικών) παραμέτρων από τα συμπεράσματα

Το προσαρμόσιμο δίκτυο έχει μία έξοδο που αναπαριστάται ως:

$$o = F(i, S)$$

όπου i είναι το διάνυσμα των μεταβλητών εισόδου, S είναι το σύνολο των παραμέτρων, και F είναι η συνολική συνάρτηση που εφαρμόζεται από το προσαρμόσιμο δίκτυο.

Στην εξίσωση $S = S_1 \oplus S_2$ όπου $H(.)$ και $F(.)$ είναι η ταυτοτική συνάρτηση και η συνάρτηση του FIS αντίστοιχως στην εξίσωση η H ο F είναι γραμμική στα στοιχεία του 2^S , τότε εφαρμόζοντας την H

στην εξίσωση $o = F(i, S)$, προκύπτει ότι $H(o) = H \circ F(Bi, S)$. Το $\oplus$ αντιπροσωπεύει την άμεση άθροιση (direct sum). Η $H(.)$ είναι η ταυτοτική συνάρτηση και η $F(.,.)$ είναι η συνάρτηση του συστήματος ασαφούς συμπερασμού αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, ο υβριδικός αλγόριθμος μάθησης που αναπτύχθηκε παραπάνω μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα.

Αναλυτικότερα, όπως συμβαίνει και στα νευρωνικά δίκτυα, θα ξεχωρίσουν δύο φάσεις στη διαδικασία εκπαίδευσης:

1. Πέρασμα προς τα εμπρός (forward pass): Στη φάση αυτή το σήμα εισόδου διαδίδεται από το επίπεδο 1 μέχρι το επίπεδο 4 και οι παράμετροι (p_i, q_i, r_i) $i = 1, 2$ εκτιμούνται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

2. Πέρασμα προς τα πίσω (backward pass): Στη φάση αυτή έχοντας μία ένδειξη του λάθους πραγματοποιείται μία διόρθωση κατά μία ποσότητα που ορίζεται από τη μέθοδο της βαθμωτής κατάβασης (Gradient Descent), των μεταβλητών a_i , b_i , c_i .

Το ANFIS διασπά το σύνολο των παραμέτρων του σε δύο υποσύνολα, εκ των οποίων το ένα αποτελεί γραμμικό σύνολο παραμέτρων και, επομένως, είναι δυνατόν να εκπαιδευτεί με γραμμικούς αλγόριθμους, όπως η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων (least squared). Οι γραμμικοί αλγόριθμοι μάθησης επιτυγχάνουν συνολικά ελάχιστα (global minimums) της συνάρτησης κόστους στο χώρο των παραμέτρων τους και είναι αποδοτικοί από πλευράς απαιτούμενου υπολογιστικού χρόνου. Το δεύτερο υποσύνολο παραμέτρων εκπαιδεύεται με αλγόριθμους που μπορούν να δημιουργήσουν μη-γραμμικές απεικονίσεις, όπως η βαθμωτή κατάβαση (gradient descent). Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι απαιτητικοί από πλευράς απαιτούμενου χρόνου εκπαίδευσης και δεν υπάρχει εγγύηση για την πραγματοποίηση του συνολικού ελαχίστου της συνάρτησης κόστους στον χώρο των παραμέτρων τους. Ο αλγόριθμος μάθησης του ANFIS συνδυάζει περάσματα προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Στο πέρασμα εμπρός γίνεται η μάθηση του συνόλου των γραμμικών παραμέτρων και στο πέρασμα προς τα πίσω γίνεται η προσαρμογή των μη-γραμμικών αντίστοιχα. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι δραστηριότητες του κάθε περάσματος.

Δραστηριότητες κατά την εκπαίδευση :

	εμπροσθόδρομο πέρασμα	οπισθόδρομο πέρασμα
παράμετροι των προϋποθέσεων	Προκαθορισμένες (αμετάβλητες)	βαθμωτή φθίνουσα μέθοδος
παράμετροι των συμπερασμάτων	εκτιμήτρια ελαχίστων τετραγώνων	προκαθορισμένες (αμετάβλητες)
σήματα	έξοδοι των κόμβων	σήματα σφάλματος

Το πλεονέκτημα της μεθόδου έγκειται στο γεγονός της ύπαρξης τόσο γραμμικών όσο και μη γραμμικών μεθόδων, που την καθιστά ταχύτερη από τα κλασικά νευρωνικά δίκτυα. Οι παράμετροι των συμπερασμάτων που ευρίσκονται με αυτόν τον τρόπο, είναι βέλτιστες υπό την προϋπόθεση ότι οι παράμετροι των προϋποθέσεων είναι προκαθορισμένες (αμετάβλητες). Αναλόγως, η υβριδική προσέγγιση συγκλίνει πολύ γρηγορότερα μιας και μειώνει τις διαστάσεις του διαστήματος αναζήτησης της αρχικής καθαρής μεθόδου οπισθόδρομης διάδοσης.

Μέχρι τώρα χρησιμοποιούσαμε προκαθορισμένες και αυθαίρετα επιλεγμένες συναρτήσεις συμμετοχής. Πολλές φορές έχουμε μια συλλογή από δεδομένα εισόδου / εξόδου και δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα προκαθορισμένο μοντέλο βασισμένο στα στοιχεία αυτά ώστε να ξέρουμε ποιες συναρτήσεις συμμετοχής και με ποιες παραμέτρους να χρησιμοποιήσουμε. Τότε μπορούμε να βοηθηθούμε από το ANFIS, ώστε να βρούμε τις καταλληλότερες συναρτήσεις συμμετοχής.

Οι νευρο-προσαρμοστικές τεχνικές είναι αρκετά απλές. Έτσι παρέχεται μια μέθοδος ώστε το ασαφές μοντέλο να εκπαιδευτεί με τις πληροφορίες που του δίνει το σύνολο των δεδομένων, ώστε να υπολογιστούν οι παράμετροι των συναρτήσεων συμμετοχής με σκοπό την εύρεση του καλύτερου τρόπου ώστε να επιτρέπει στο σύστημα εξαγωγής συμπερασμάτων να ανιχνεύει τα δεδομένα εισόδου/ εξόδου. Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με αυτή των νευρωνικών δικτύων.

Η προσαρμογή των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής από ένα ANFIS γίνεται με αλγόριθμους εκμάθησης είτε μόνο backpropagation είτε με έναν υβριδικό αλγόριθμο, συνδυασμό backpropagation και μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων.

Ο υπολογισμός των παραμέτρων αυτών, που αλλάζουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκμάθησης, διευκολύνεται από ένα βαθμωτό διάνυσμα που μας δείχνει πόσο καλά το FIS μοντελοποιεί τα δεδομένα εισόδου/ εξόδου για το εν λόγω σύνολο παραμέτρων. Μόλις αποκτήσουμε το βαθμωτό διάνυσμα μπορούμε να εφαρμόσουμε κάποιον από τους πολλούς αλγόριθμους βελτιστοποίησης, για να βελτιώσουμε αυτές τις παραμέτρους, ούτως ώστε να μειώσουμε το μέγεθος του σφάλματος (συνήθως το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ πραγματικών και επιθυμητών τιμών).

Περιορισμοί του ANFIS

Οι κυριότεροι περιορισμοί του ANFIS που αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία είναι:

-Βασίζεται σε ένα FIS τύπου Sugeno.

-Έχει μια έξοδο, που λαμβάνεται με τη μέθοδο αποασαφοποίησης σταθμισμένου μέσου. Όλες οι συναρτήσεις συμμετοχής εξόδου πρέπει να είναι ίδιου τύπου, είτε γραμμικές είτε σταθερές.

-Δεν μπορεί να γίνεται κοινή χρήση κανόνων. Διαφορετικοί κανόνες δεν μπορούν να έχουν την ίδια συνάρτηση συμμετοχής εξόδου.

-Πρέπει να υπάρχουν βάρη σε κάθε κανόνα.

-Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε συνάρτηση συμμετοχής, παρά μόνο προκαθορισμένες που επιβάλλουν οι ορισμοί του ANFIS.

Σχετική βιβλιογραφία και έρευνα όσον αφορά τις προβλέψεις με τη μέθοδο ANFIS

Όσον αφορά τις προβλέψεις με τη μέθοδο ANFIS, νευρωνικών δικτύων, ασαφούς λογικής, στοχαστικών μοντέλων ή με άλλες μεθόδους και ακόμα και με συνδυασμό δύο ή περισσότερων μεθόδων σχετικά με τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης δεν υπάρχει ιδιαίτερα σχετική έρευνα και βιβλιογραφία. Για αυτό το λόγο παρατίθεται σχετική βιβλιογραφία και έρευνα η οποία αφορά παρεμφερείς προβλέψεις διάφορων χρονοσειρών. Αυτή είναι η εξής:

- Ο James E. Pesando (1981) και ο Jeremy R. Rudin (1988) προέβλεψαν τα επιτόκια.
- Οι Thomas F. Cargill και Robert A. Meyer (1983) προέβλεψαν τη χρονική διάρθρωση των επιτοκίων και των μοντέλων προγραμματισμού χαρτοφυλακίων.
- Οι Stuart D. Allen και R.W. Hafer (1984) προέβλεψαν τη χρονική διάρθρωση των επιτοκίων.
- Ο Kanta Marwan (1985) προέβλεψε τις ταμειακές ροές και τις συναλλαγματικές ισοτιμίες της ξένης αγοράς συναλλάγματος του Καναδά.
- Οι Bharat R. Kolluri και Demetrios S. Giannaros (1987) προέβλεψαν το έλλειμμα του προϋπολογισμού και το βραχυπρόθεσμο πραγματικό επιτόκιο.

- Οι H.D. Vinod και Parantap Basu (1995) προέβλεψαν την κατανάλωση, το εισόδημα και τα πραγματικά επιτόκια με χρήση εναλλακτικών μοντέλων χώρου καταστάσεων.
- Οι Kanhaya L. Gupta και Bakhtiar Moazzami (1991) προέβλεψαν την πρόσφατη συμπεριφορά επιτοκίου με χρήση της προσέγγισης μοντελοποίησης σφάλματος-διόρθωσης.
- Οι Donna J. Fletcher και O. David Gulley (1996) προέβλεψαν το πραγματικό επιτόκιο.
- Ο Prasad V. Bidarkota (1998) προέβλεψε το πραγματικό επιτόκιο με χρήση μονομεταβλητών και πολυμεταβλητών μοντέλων.
- Οι Arturo Estrella και Frederic S. Mishkin (1997) προέβλεψαν τη χρονική διάρθρωση των επιτοκίων στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες με επιπτώσεις στην Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα.
- Οι Y.J. Ju, C.E. Kim και J.C. Shim (1997) προέβλεψαν το επιτόκιο με χρήση γενετικά βασισμένων ασαφών μοντέλων.
- Οι Steven H. Kim και Hyun Ju Noh (1997) προέβλεψαν το επιτόκιο με χρήση εργαλείων εξόρυξης δεδομένων και έκαναν μια συγκριτική ανάλυση της Κορέας και των Ηνωμένων Πολιτειών.
- Οι S. Brock Blomberg και Gregory D. Hess (1997) προέβλεψαν τη συναλλαγματική ισοτιμία.
- Οι S.L. Byers και K.B. Nowman (1998) προέβλεψαν τα επιτόκια του Ηνωμένου Βασιλείου και των Ηνωμένων Πολιτειών με χρήση μοντέλων συνεχούς χρονικής διάρθρωσης.
- Οι Michael Y. Hu και Christos Tsoukalas (1999) προέβλεψαν τις συναλλαγματικές ισοτιμίες του Ευρωπαϊκού Νομισματικού Συστήματος με χρήση νευρωνικών δικτύων.
- Ο Gordon R. Richards (2000) προέβλεψε τη δομή των συναλλαγματικών ισοτιμιών.
- Οι Kyong Jo Oh και Ingoo Han (2001) προέβλεψαν τα επιτόκια με χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων.
- Ο Miguel A. Ferreira (2005) προέβλεψε τις συνκινήσεις (comovements) των σημειακών επιτοκίων.
- Οι Thomas Elger, Barry E. Jones και Birger Nilsson (2006) προέβλεψαν διάφορα νομισματικά σύνολα με χρήση πρόσφατων αποδείξεων για τις Ηνωμένες Πολιτείες.
- Οι Atsalakis George, Bellonias Lukas και Zorounidis Constantinos (2008) προέβλεψαν τις τιμές των ομοσπονδιακών κεφαλαίων με χρήση ενός νευρο-ασαφούς συστήματος.
- Οι Oliver Blaskowitz και Helmut Herwartz (2009) προέβλεψαν τη χρονική διάρθρωση της ανταλλαγής του Euribor με χρήση προσαρμοστικών μοντέλων.
- Οι Alexander Dauwe και Marcelo L. Moura (2011) προέβλεψαν τη χρονική διάρθρωση της αγοράς του ευρώ με χρήση ανάλυσης κύριων συνιστωσών.
- Οι Oliver Blaskowitz, Helmut Herwartz και Gonzalo de Cadenas Santiago (2005) προέβλεψαν τη χρονική διάρθρωση της ανταλλαγής του Fibor/Euribor με χρήση μιας εμπειρικής προσέγγισης.
- Οι Vincenzo Pacelli, Vitoantonio Bevilacqua και Michele Azzollini (2011) προέβλεψαν τις συναλλαγματικές ισοτιμίες με χρήση ενός μοντέλου τεχνητού νευρωνικού δικτύου.
- Οι Marcos J. Dal Bianco, Máximo Camacho Alonso και Gabriel Pérez-Quirós (2008) προέβλεψαν τη συναλλαγματική ισοτιμία ευρώ-δολαρίου με χρήση βασικών οικονομικών μεγεθών.
- Οι Gioqinang Zhang και Michael Y. Hu (1998) προέβλεψαν τη συναλλαγματική ισοτιμία βρετανικής λίρας-δολαρίου Ηνωμένων Πολιτειών με χρήση νευρωνικών δικτύων.
- Οι Lean Yu, Shouyang Wang και Kin Keung Lai (2005) προέβλεψαν την ξένη συναλλαγματική ισοτιμία με χρήση προσαρμοστικών λείων νευρωνικών δικτύων.
- Οι Skiadas C. Rompogianakis G. Atsalakis G., (2001) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση ενός γενικευμένου λογικού μοντέλου και το εφάρμοσαν στη διαχείριση της καινοτομίας.
- Οι Atsalakis, G., Skiadas C. και Braimidis I., (2007) προέβλεψαν την πιθανότητα τάσεων στις συναλλαγματικές ισοτιμίες με χρήση νευρο-ασαφών τεχνικών.
- Οι L.P. Maguire, B. Roche, T.M. McGinnity και L.J. McDaid (1998) προέβλεψαν μια χαοτική χρονοσειρά με χρήση ενός ασαφούς νευρωνικού δικτύου.

- Οι Atsalakis G., Skiadas C. και Nezis D., (2008) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση ενός νευρωνικού δικτύου.
- Οι J. Doynne Farmer και John J. Sidorowich (1987) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση μιας τεχνικής πρόβλεψης.
- Ο George G. Szpiro (1997) προέβλεψε χαοτικές χρονοσειρές με χρήση γενετικών αλγορίθμων.
- Οι L. Studer και F. Masulli (1996) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση ενός νευρο-ασαφούς συστήματος.
- Οι Ajoy Kumar Palit και D. Popovic (1999) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση μιας νευρο-ασαφούς προσέγγισης.
- Οι Liang Zhao και Yupu Yang (2009) προέβλεψαν χρονοσειρές με χρήση ενός μοντέλου με ένα μόνο πολλαπλασιαστικό νευρώνα και βασισμένου σε PSO.
- Οι Hirotaka Inoue, Yoshinobu Fukunaga και Hiroyuki Narihisa (2001) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση ενός αποτελεσματικού υβριδικού νευρωνικού δικτύου.
- Ο Rahib H. Abiyev (2006) προέβλεψε χρονοσειρές με χρήση ενός ασαφούς κυματιδιακού μοντέλου νευρωνικού δικτύου.
- Ο Junhong Nie (1994) προέβλεψε χρονοσειρές με χρήση μιας νευρο-ασαφούς προσέγγισης.
- Οι M.R. Hassan, B. Nath και M. Kirley (2006) προέβλεψαν χρονοσειρές ενός ασαφούς μοντέλου βασισμένου σε HMM.
- Οι Mohammad Assaad, Romuald Bone και Hubert Cardot (2006) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση ενισχυμένων επαναλαμβανόμενων νευρωνικών δικτύων.
- Οι Ding Gang, Zhong Shi-Sheng και Li Yang (2008) προέβλεψαν χρονοσειρές με χρήση ενός νευρωνικού δικτύου κυματιδιακής διαδικασίας.
- Οι Catherine Vairappan, Hiroki Tamura, Shangce Gao και Zheng Tang (2009) προέβλεψαν χρονοσειρές με χρήση ενός τοπικού προσαρμοστικού νευρο-ασαφούς συστήματος εξαγωγής συμπεράσματος (ANFIS) βασισμένου στην αναζήτηση και τύπου παρτίδας με αυτό-ανατροφοδοτήσεις.
- Οι Xieping Gao και Fen Xiao (2004) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση πολυκυματιδιακών δικτύων.
- Οι Cui Wan, Zhao Zhu, Chang Chun, Bao Wen, Xing Liu και Jun Hua (2005) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση διανυσματικών μηχανών υποστήριξης για ασαφή βασισμένη σε κανόνες μοντελοποίηση.
- Οι W.K. Wong, Min Xia και W.C. Chu (2010) προέβλεψαν χρονοσειρές με χρήση ενός προσαρμοστικού μοντέλου νευρωνικού δικτύου.
- Οι Hong-Wei Wang, Hong Gu και Zhe-Long Wang (2005) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση αποσύνθεσης μήτρας SVD.
- Οι Muhammad Ardalani-Farsa και Saeed Zolfaghari (2010) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με τη μέθοδο ανάλυσης υπολοίπου και με χρήση υβριδικών Elman-NARX νευρωνικών δικτύων.
- Οι Ping Liu και Jian Yao (2009) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση διανυσματικών μηχανών υποστήριξης ελαχίστων τετραγώνων βασισμένων σε βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων.
- Οι H.J. Song, C.Y. Miao, Z.Q. Shen, W. Roel, D.H. Maja και C. Francky (2010) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση νευρωνικών δικτύων.
- Οι Hongwei Wang και Hong Gu (2009) προέβλεψαν χαοτικές χρονοσειρές με χρήση νευρωνικού δικτύου με πολυώνυμα Legendre.
- Οι Yuehui Chen, Feng Chen και Qiang Wu (2007) προέβλεψαν χρονοσειρές με χρήση ενός μοντέλου δυναμικών αποφάσεων βασισμένου σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.
- Οι F. Pan, H. Zhang και M. Xia (2009) προέβλεψαν χρονοσειρές με χρήση ενός υβριδικού μοντέλου πρόβλεψης.

- Ο Meiying Ye (2007) προέβλεψε χαοτικές χρονοσειρές με χρήση LS-SVM (μηχανές υποστήριξης εκμάθησης-διανυσματικές μηχανές υποστήριξης) με αλγορίθμους προσομοιωμένης ανόπτησης.
- Οι Atsalakis George, Zopounidis Constantinos και Tsakalaki Katerina προέβλεψαν την τιμή του Euribor με χρήση του προσαρμοστικού νεύρο-ασαφούς συστήματος εξαγωγής συμπεράσματος (ANFIS).

Αξιολόγηση της πιστοληπτικής ικανότητας των κρατών (sovereign) και χρεωκοπίες (debt defaults)

Όσον αφορά την αξιολόγηση της πιστοληπτικής ικανότητας των κρατών, οι κορυφαίοι τρεις οργανισμοί αξιολόγησης πιστοληπτικής ικανότητας στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι η Standard and Poor's (S&P), η Moody's και η Fitch Ratings. Όλες έχουν αναπτύξει τα δικά τους συστήματα βαθμίδων αξιολόγησης για τους κρατικούς και τους εταιρικούς δανειολήπτες, οι οποίοι αν και είναι διαφορετικοί σε μορφή, είναι αρκετά παρόμοιοι σε περιεχόμενο. Οι αξιολογήσεις πιστοληπτικής ικανότητας του εκδότη από όλους τους οργανισμούς αξιολόγησης εκφράζουν μια σχετική κατάταξη της πιστοληπτικής ικανότητας ενός εκδότη, η οποία αντανακλά την συνολική ικανότητα του εκδότη και την προθυμία του να εκπληρώσει τις ανώτερες, ακάλυπτες υποχρεώσεις του. Είναι βασισμένη στις τρέχουσες πληροφορίες οι οποίες παρέχονται οικειοθελώς από τους οφειλέτες ή λαμβάνονται από άλλες αξιόπιστες πηγές. Οι οργανισμοί αξιολόγησης πιστοληπτικής ικανότητας εκτιμούν συχνά την ευπάθεια ενός εκδότη. Όταν έχουν ενδείξεις ότι η οικονομική κατάσταση ενός εκδότη ίσως αλλάξει και η πιθανή κατεύθυνση της αλλαγής είναι γνωστή, ο εκδότης τοποθετείται είτε θετικά με βάση τη φορά των δεικτών του ρολογιού (watch-positive) ή αρνητικά με βάση τη φορά των δεικτών του ρολογιού (watch-negative), ανάλογα με το εάν η αλλαγή θεωρείται ότι είναι θετική ή αρνητική, αντίστοιχα. Είναι βραχυπρόθεσμα στη φύση (in nature). Οι προοπτικές αξιολόγησης (Rating Outlooks), από την άλλη μεριά, αντανακλούν τάσεις οι οποίες δεν έχουν ακόμη φτάσει στο επίπεδο που θα πυροδοτούσαν μια ενέργεια αξιολόγησης, αλλά το οποίο ίσως συμβεί εάν τέτοιες τάσεις συνεχιστούν. Υποδηλώνουν αυξημένη πιθανότητα μιας αλλαγής αξιολόγησης για τα επόμενα ένα με δύο έτη.

Όσον αφορά τις χρεωκοπίες κρατών, το χρέος που πραγματοποιήθηκε από κυβερνήσεις είναι γνωστό ως δημόσιο χρέος (sovereign debt) και ίσως εκφράζεται σε εγχώριο ή ξένο νόμισμα. Από νομική άποψη, ένα γεγονός κρατικής χρεωκοπίας (sovereign default) εμφανίζεται όταν μια προγραμματισμένη υπηρεσία χρέους δεν πληρώνεται πέρα από μια περίοδο χάριτος η οποία προσδιορίζεται στο συμβόλαιο χρέους. Σε αντίθεση με μια εταιρία, στις σπάνιες περιπτώσεις που μια κυβέρνηση αποτύχει όσον αφορά το χρέος της, δεν μπορεί να δηλώσει (file for) χρεωκοπία. Όπως έχει δείξει η πρόσφατη πρακτική, τα περισσότερα επεισόδια αποτυχίας ακολουθούνται από μια ανταλλαγή χρέους ή αναδιάρθρωση χρέους ανάμεσα στους πιστωτές και τον αποτυχημένο δανειολήπτη. Στο πλαίσιο του νέου διακανονισμού, οι πληρωμές τις οποίες υπόσχεται η κυβέρνηση τυπικά περιλαμβάνουν ένα συνδυασμό χαμηλότερου κεφαλαίου, χαμηλότερων τόκων και μεγαλύτερων διαρκειών. Όταν η προσφορά αναδιάρθρωσης περιέχει όρους λιγότερο ευνοϊκούς από το αρχικό χρέος, οι οργανισμοί αξιολόγησης πιστοληπτικής ικανότητας θεωρούν ότι το κράτος είναι σε 'τεχνική' αποτυχία. Ενώ υπάρχει μια διαδεδομένη συμφωνία για μια ενοποιημένη διαδικασία αναδιάρθρωσης του δημοσίου χρέους, δεν έχει επιτευχθεί καμία συναίνεση για το ποιες πρέπει να είναι οι πραγματικές διαδικασίες. Ο Μηχανισμός Αναδιάρθρωσης Δημοσίου Χρέους της IMF (Sovereign Debt Restructuring Mechanism-SDRM), ο οποίος προτάθηκε από την Anne Krueger, πρώην Αναπληρωτή Διευθύνων Σύμβουλο της IMF, ζητά τη δημιουργία ενός ινστιτούτου το οποίο να ενεργεί ως ένας διαιτητής υπό την αιγίδα ενός διεθνούς δικαστηρίου χρεωκοπιών (international bankruptcy court). Το Υπουργείο Οικονομικών των ΗΠΑ υποστηρίζει τη χρήση 'ρητρών συλλογικής δράσης' (collective action clauses) στα συμβόλαια χρέους ώστε να επιτρέπεται σε μια πλειοψηφία πιστωτών να θέσουν τους όρους αναδιάρθρωσης. Ο Kunibert Raffer και οι υποστηρικτές του πρότειναν την διεθνοποίηση των νόμων των ΗΠΑ οι οποίοι αφορούν την κρατική χρεωκοπία και την προσαρμογή τους στις ανάγκες των αναπτυσσόμενων χωρών. Ασχέτως από το ποια πρόταση υιοθετείται, ένα επιτυχημένο πλαίσιο χρειάζεται να περιλαμβάνει

διαπραγμάτευση και ενδεχόμενη συμφωνία ανάμεσα στον οφειλέτη και τους πιστωτές και, ως σημαντικό, να προστατεύει τα δικαιώματα όλων των μερών τα οποία συμμετέχουν στη διαδικασία αναδιάρθρωσης.

Η συγκεκριμένη πτυχιακή ασχολείται με το κρατικό χρέος της Ελλάδας και τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης τα οποία την αφορούν, προσπαθώντας να κάνει την καλύτερη δυνατή πρόβλεψη όσον αφορά τις ημερήσιες τιμές αυτών των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται ως είσοδος για το μοντέλο είναι ημερήσιες τιμές πενταετών συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης της Ελλάδας και τα αποτελέσματα που έδωσε ως έξοδο το μοντέλο παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

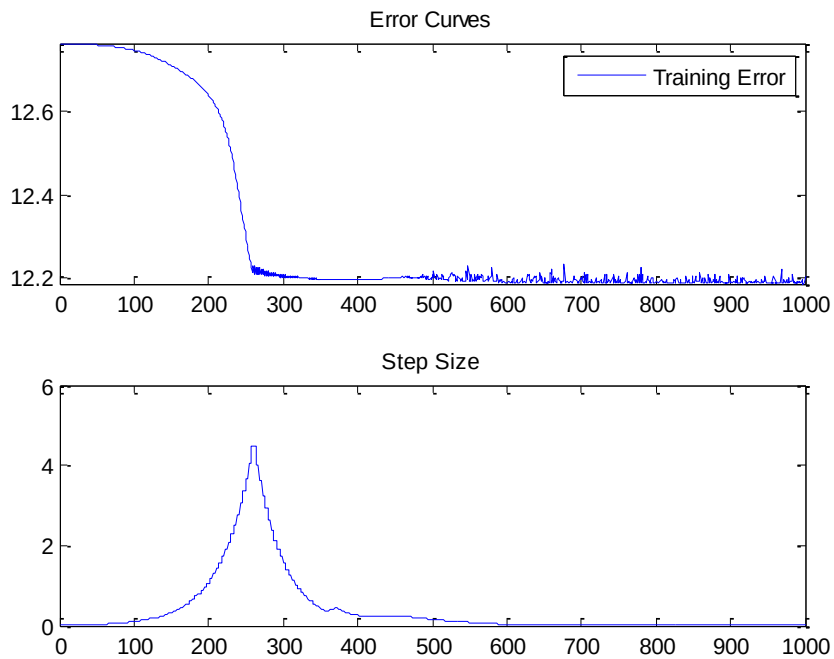
Αποτελέσματα από τη χρήση της μεθοδολογίας ANFIS

Σε αυτή τη διπλωματική δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος που κάνει χρήση της μεθόδου ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), δηλαδή μιας προσαρμοστικής μηχανής συμπερασμού νευρο-ασαφούς λογικής, ο οποίος τρέχει σε περιβάλλον Matlab με τη βοήθεια του fuzzy logic toolbox, το οποίο περιέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την ολοκληρωμένη ανάπτυξη και αναλυτική χρήση του ANFIS. Ο αλγόριθμος δέχεται ως είσοδο τις ημερήσιες τιμές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης (credit default swaps) της Ελλάδας από τις 4/3/2003 έως τις 29/6/2011 και με βάση αυτές τις παρελθοντικές τιμές παράγει ως έξοδο την πρόβλεψη για τις τιμές αυτών των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης τα επόμενα χρόνια.

Από τα 2170 δεδομένα που υπάρχουν συνολικά, τα 2047, δηλαδή το 80% των συνολικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του μοντέλου και τα υπόλοιπα 121, δηλαδή το 20% των συνολικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του μοντέλου.

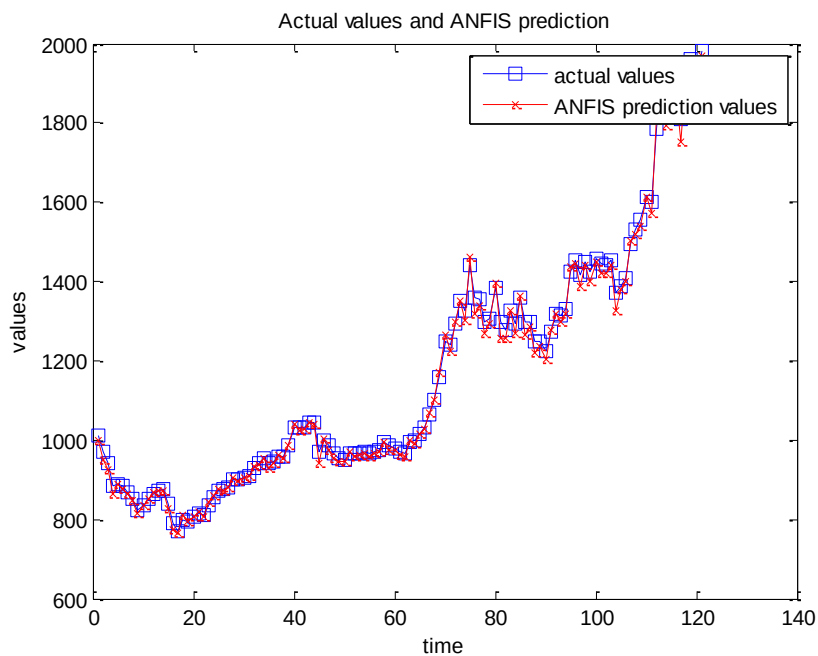
Έπειτα δημιουργείται το ANFIS, χρησιμοποιώντας το fuzzy logic toolbox, το οποίο υπολογίζει τις καταλληλότερες παραμέτρους των συναρτήσεων συμμετοχής (MF parameters). Στο σχήμα 1 περιέχονται δυο ξεχωριστές γραφικές παραστάσεις, η πρώτη με το όνομα “error curves” και η δεύτερη με το όνομα “step size”. Στην πρώτη γραφική παράσταση απεικονίζονται τα σφάλματα εκπαίδευσης (ως τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος-RMSE) συναρτήσει του αριθμού των επαναλήψεων (epochs).

Στη δεύτερη γραφική παράσταση για λόγους αναφοράς σχεδιάζεται η γραφική παράσταση του μεγέθους βήματος συναρτήσει των εποχών. Αυτό βοηθάει να προσαρμοστεί το αρχικό μέγεθος βήματος στο βέλτιστο, βλέποντας τους αντίστοιχους ρυθμούς μείωσης και αύξησης, πάνω στο σχήμα. Στην προκειμένη περίπτωση όσες δοκιμές και να έγιναν με σκοπό να βρεθούν οι παράμετροι, οι οποίες οδηγούν στην πρόβλεψη των τιμών των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης με το μικρότερο σφάλμα και τη μεγαλύτερη ακρίβεια δεν άλλαξε το μέγεθος βήματος, το οποίο παρέμεινε σταθερό στο 0.01. Παρακάτω φαίνεται το σχήμα 1, το οποίο αναλύθηκε και επεξηγήθηκε παραπάνω και είναι το εξής:



Σχήμα 1: Σφάλμα εκπαίδευσης και μέγεθος βήματος

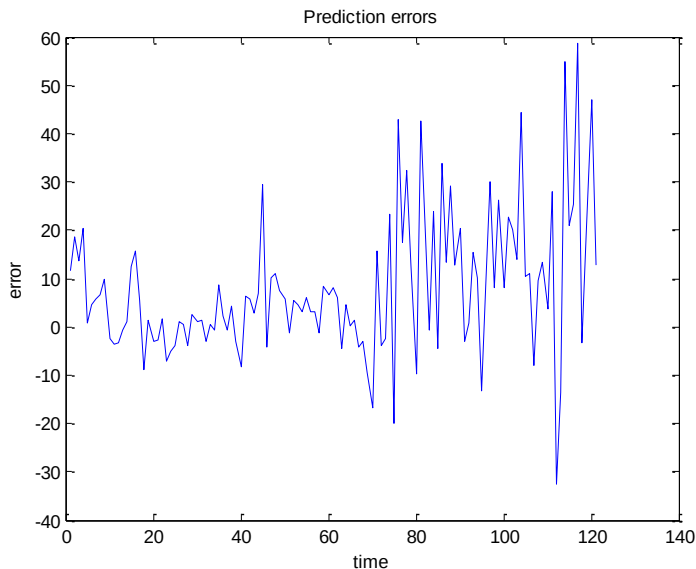
Στη συνέχεια, στο σχήμα 2 φαίνεται η σύγκριση ανάμεσα στις πραγματικές τιμές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και στις τιμές που προκύπτουν από την πρόβλεψη με τη μέθοδο ANFIS.



Σχήμα 2: Σύγκριση μεταξύ πραγματικών τιμών και τιμών από το ANFIS

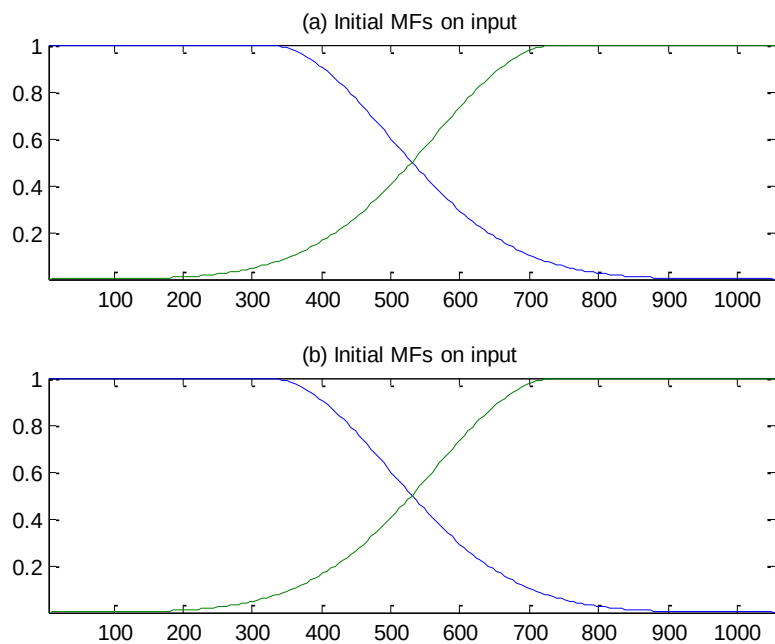
Από το σχήμα 2 παρατηρείται ότι οι πραγματικές τιμές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης και οι τιμές που προκύπτουν από την πρόβλεψη με τη μέθοδο ANFIS είναι σχεδόν πανομοιότυπες, το οποίο σημαίνει ότι το μοντέλο λειτουργεί πολύ ικανοποιητικά.

Παίρνοντας τη διαφορά (δηλαδή το σφάλμα της πρόβλεψης) των δυο προηγούμενων αποτελεσμάτων (πραγματικές τιμές-τιμές από ANFIS) προκύπτει το σχήμα 3, το οποίο απεικονίζει τα σφάλματα συναρτήσεων των παρατηρήσεων.

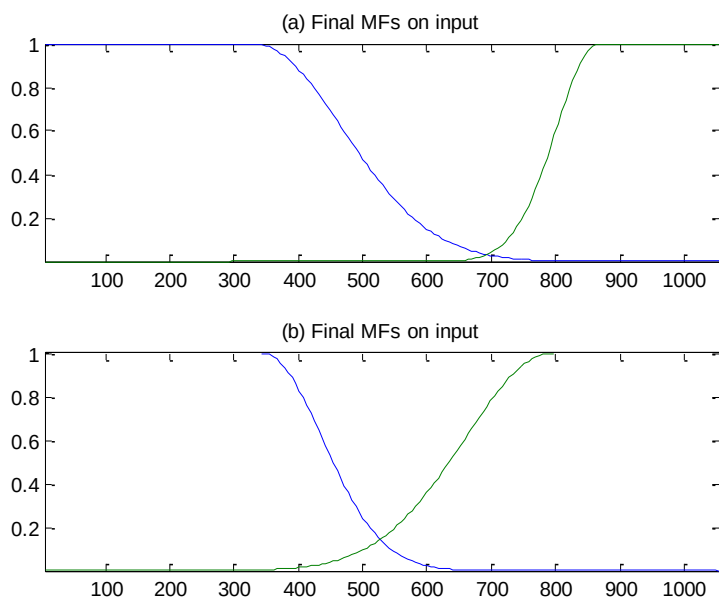


Σχήμα 3: Σφάλματα πρόβλεψης του ANFIS

Οι αρχικές συναρτήσεις συμμετοχής κάθε μεταβλητής εισόδου που προέκυψαν από την προσαρμογή των παραμέτρων τους με τη βοήθεια του ANFIS πριν όμως την εκπαίδευση του μοντέλου παρουσιάζονται στο σχήμα 4 με τίτλο “initial MFs” και οι τελικές συναρτήσεις συμμετοχής που προέκυψαν μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκπαίδευσης του μοντέλου ANFIS παρουσιάζονται στο σχήμα 5 με τίτλο “final MFs”. Τη δομή του ANFIS συνιστούν μια είσοδος και μια έξοδος, το οποίο σημαίνει ότι το σύστημα πρόβλεψης χρησιμοποιείται για να προβλέψει τις επόμενες ημερήσιες τιμές των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης βασισμένο σε προηγούμενες τιμές. Η μέθοδος της δοκιμής και σφάλματος χρησιμοποιείται ώστε να αποφασιστεί ο τύπος και ο αριθμός συναρτήσεων συμμετοχής, ο αριθμός εποχών και το μέγεθος βήματος, τα οποία καλύτερα περιγράφουν το μοντέλο και παρέχουν το μικρότερο σφάλμα. Στην προκειμένη περίπτωση, ο βέλτιστος ασαφής συμπερασμός επιτυγχάνεται μετά από 1000 εποχές με δύο συναρτήσεις συμμετοχής τύπου Gauss 2 και το μέγεθος βήματος να ορίζεται σε 0.01.



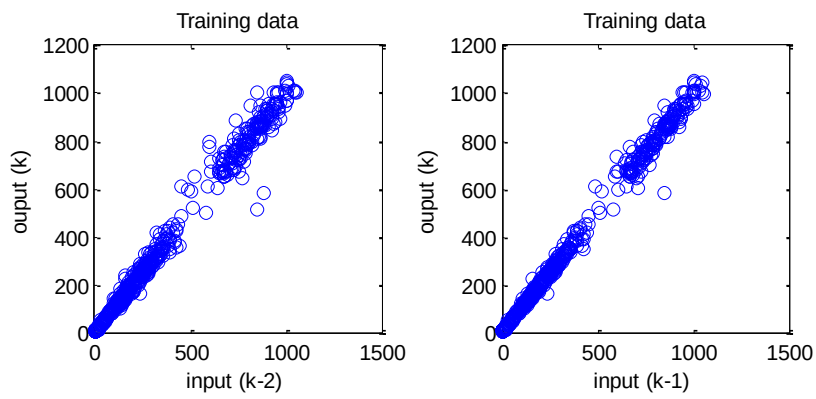
Σχήμα 4: Αρχικές συναρτήσεις συμμετοχής



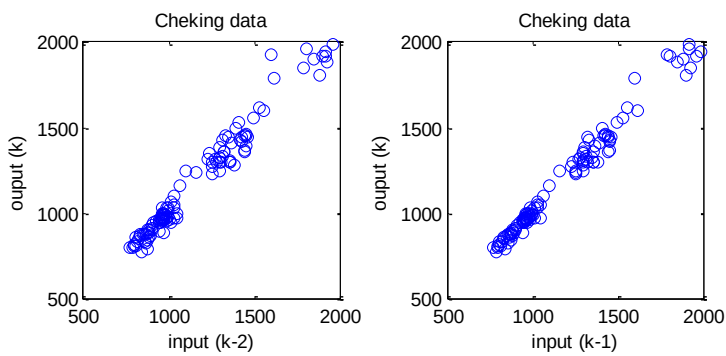
Σχήμα 5: Τελικές συναρτήσεις συμμετοχής

Από τα σχήματα 4 και 5 παρατηρείται ότι η σύγκριση ανάμεσα στις αρχικές και στις τελικές συναρτήσεις συμμετοχής των δεδομένων εισόδου υποδηλώνει μεγάλες διαφορές και το μοντέλο κατέληξε σε αξιοσημείωτη απόκλιση ανάμεσα στις αρχικές και τελικές συναρτήσεις συμμετοχής.

Εν συνεχεία, στα σχήματα 6 και 7 απεικονίζεται η διασπορά των δεδομένων εκπαίδευσης και αξιολόγησης αντίστοιχα:

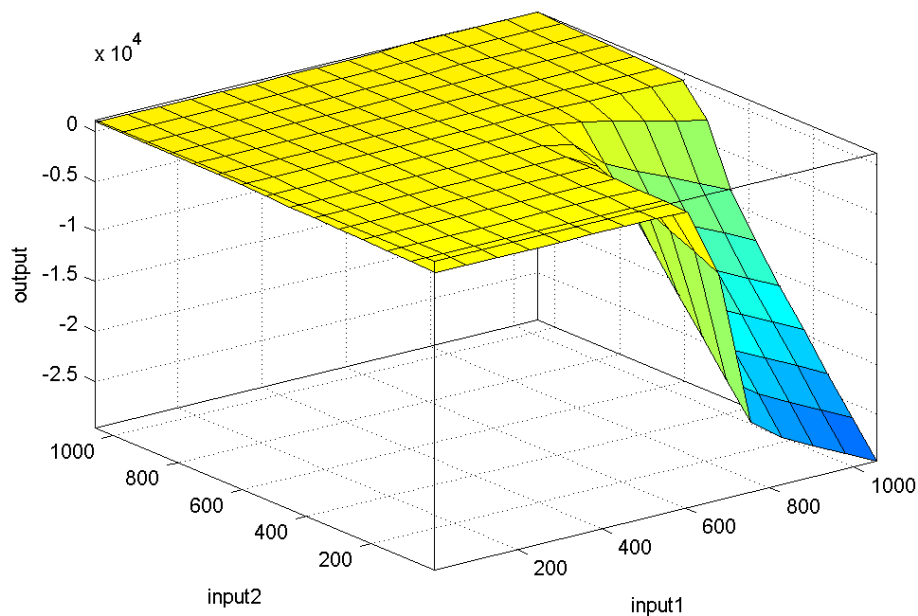


Σχήμα 6: Διασπορά δεδομένων εκπαίδευσης



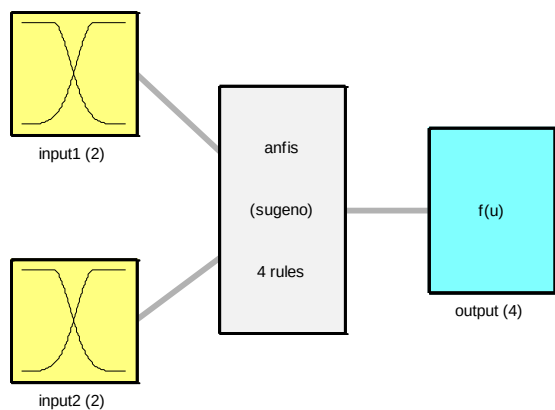
Σχήμα 7: Διασπορά δεδομένων αξιολόγησης

Στο σχήμα 8 φαίνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση της εισόδου και της εξόδου του νευρο-ασαφούς συστήματος:



Σχήμα 8: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εισόδου και εξόδου του νευρο-ασαφούς συστήματος

Στο σχήμα 9 παρουσιάζεται η δομή του ANFIS που χρησιμοποιήθηκε. Διακρίνονται η είσοδος με τις συναρτήσεις συμμετοχής, ο μηχανισμός συμπερασμού με τέσσερις κανόνες και η έξοδος του συστήματος.



System anfis: 2 inputs, 1 outputs, 4 rules

Σχήμα 9: Δομή ANFIS

Το δίκτυο εφαρμόζει τέσσερις κανόνες και υπάρχει μια είσοδος και μια έξοδος. Ο πίνακας 10 περιγράφει τον τύπο και τις τιμές των παραμέτρων του ANFIS:

Πίνακας 10: Τύποι παραμέτρων του ANFIS και οι τιμές τους που χρησιμοποιούνται για εκπαίδευση

Τύποι παραμέτρων του ANFIS	Τιμές
Τύπος συνάρτησης συμμετοχής	Gauss 2 συνάρτηση
Αριθμός συναρτήσεων συμμετοχής	2
Τελική συνάρτηση συμμετοχής	Γραμμική
Αριθμός κόμβων	21
Αριθμός γραμμικών παραμέτρων	12
Αριθμός μη γραμμικών παραμέτρων	16
Συνολικός αριθμός παραμέτρων	28
Αριθμός δεδομένων εκπαίδευσης	2047
Αριθμός δεδομένων αξιολόγησης	121
Αριθμός ασαφών κανόνων	4

Έπειτα ακολουθεί η εξαγωγή τεσσάρων τύπων σφαλμάτων ώστε να μπορέσει να γίνει η σύγκριση μεταξύ των διαφόρων δοκιμών που γίνονται όσον αφορά τον αριθμό και τύπο συναρτήσεων συμμετοχής και τον αριθμό εποχών, αφήνοντας σταθερό το μέγεθος βήματος. Τα σφάλματα αυτά είναι τα εξής τέσσερα :

-Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα –mean square error-(MSE)

$$MSE = \frac{1}{N} \cdot \sum_{t=1}^N e_t^2$$

- Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος-root mean square error-(RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N e_t^2}{N}}$$

-Το μέσο απόλυτο σφάλμα –mean absolute error-(MAE)

$$MAE = \frac{1}{N} \cdot \sum_{t=1}^N |e_t|$$

-Το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα –mean absolute percent error-(MAPE)

$$MAPE = \frac{100}{N} \cdot \sum_{t=1}^N |e_t| \cdot e_t = \frac{F_t - A_t}{A_t}$$

Όπου A_t , F_t πραγματικές τιμές.

Κατά τη διάρκεια της φάσης αξιολόγησης, τα εκτός δείγματος δεδομένα διενεργούνται (carried out) και η έξοδος του μοντέλου συγκρίνεται με τα πραγματικά δεδομένα της επόμενης μέρας. Η λειτουργικότητα του μοντέλου εξετάζεται χρησιμοποιώντας τα τέσσερα σφάλματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ο πίνακας 11 συνοψίζει τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης:

Πίνακας 11: Στατιστική λειτουργία του μοντέλου ANFIS

	ANFIS
MSE	271.3448
RMSE	16.4725
MAE	11.4421
MAPE	0.9035

Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η λειτουργία πρόβλεψης του ANFIS είναι ικανοποιητική και αποδεκτή τόσο στην έρευνα όσο και στην πράξη. Ας σημειωθεί ότι ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου με δύο συναρτήσεις συμμετοχής τύπου Gauss 2, 1000 εποχές και μέγεθος βήματος 0.01 είναι 50.634454 δευτερόλεπτα, ο οποίος θεωρείται πολύ καλός από άποψη υπολογιστικού φόρτου.

Επίλογος

Γενικά, τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχουν αποκτήσει ένα κακό όνομα πρόσφατα. Θα περιορίσει η μελλοντική νομοθεσία τη χρήση τους σε μια προσπάθεια να δημιουργηθεί περισσότερη διαφάνεια; Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι τα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έπαιξαν ένα τεράστιο ρόλο στις πρόσφατες οικονομικές αποτυχίες και έτσι πρέπει κανείς να θεωρήσει ότι οι αλλαγές είναι επικείμενες. Η ερώτηση που τίθεται είναι η εξής: Θα επιτρέψει η νομοθεσία στα συμβόλαια ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης να γίνουν η θετική δύναμη αγοράς που σχεδιάστηκαν να είναι ή μελλοντικά προβλήματα με αυτά θα τα αναγκάσουν να απομακρυνθούν (stomped) από όλα τα έξοδα;

Ειδικότερα, αυτή η πτυχιακή παρουσιάζει ένα σύστημα ασαφούς συμπερασμού για την πρόβλεψη των ημερήσιων τιμών των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης. Το μοντέλο αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας λογισμικό Matlab. Τα αποτελέσματα της πρόβλεψης είναι ικανοποιητικά και ενθαρρυντικά. Η θεωρία της ασαφούς λογικής μπόρεσε να κάνει καλή πρόβλεψη όσον αφορά τη μοντελοποίηση αβέβαιων δεδομένων. Το ANFIS και η χρήση του για την πρόβλεψη των ημερήσιων τιμών των συμβολαίων ανταλλαγής πιστωτικής αθέτησης έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, όμως τα πλεονεκτήματα υπερτερούν. Κάποια μειονεκτήματα είναι ότι η πολυπλοκότητά του σημαίνει μεγαλύτερες ανάγκες σε τεχνολογικό εξοπλισμό και επεξεργαστική ισχύ, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση του αλγορίθμου και την εξαγωγή αποτελεσμάτων είναι μεγαλύτερος σε σχέση με ένα πιο απλό μοντέλο και επίσης το γεγονός ότι απαιτούνται πολλά δεδομένα για την καλύτερη εκπαίδευση του μοντέλου, καθώς λίγα δεδομένα δεν δίνουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, δηλαδή την καλύτερη δυνατή πρόβλεψη με το μικρότερο δυνατό σφάλμα. Αντίθετα, τα πλεονεκτήματα είναι περισσότερα και είναι τα εξής:

- Είναι απλό να διατηρηθεί και να εφαρμοστεί στην πρόβλεψη πρακτικά.
- Συνδυάζει τις δυνατότητες των ασαφών συστημάτων και των νευρωνικών δικτύων.
- Το σύστημα που βασίζεται σε ασαφείς κανόνες ενσωματώνει την ευελιξία της ανθρώπινης διαδικασίας λήψης αποφάσεων μέσω της χρήσης της θεωρίας ασαφών συστημάτων και κάνει χρήση ασαφών γλωσσικών όρων οι οποίοι περιγράφονται από συναρτήσεις συμμετοχής.
- Απαιτεί λιγότερες και απλούστερες μεθόδους δοκιμής και σφάλματος για τη βελτιστοποίηση της αρχιτεκτονικής του.
- Είναι μη γραμμικό και ικανό να προσαρμόζεται και να μαθαίνει γρήγορα από αριθμητικές και γλωσσικές γνώσεις.
- Είναι μια χωρίς μοντέλο, εύκολη στην εφαρμογή προσέγγιση. Σε αντίθεση με παραδοσιακές μεθόδους χρονοσειρών, χρειάζεται λίγη εκπαίδευση για να υπολογιστούν οι προβλέψεις με το ANFIS. Εφαρμόζει μια διαδικασία που εφαρμόζεται μεμονωμένα (single-fitting) σε μη γραμμικές καταστάσεις, χωρίς την ανάγκη καθιέρωσης ενός τυπικού μοντέλου για το πρόβλημα το οποίο επιλύεται. Έτσι, δεν απαιτείται καμία εκ των προτέρων πληροφορία για να καθοριστεί η εμπειρική σχέση μεταξύ ερμηνευτικών (explanatory) και προβλεπόμενων μεταβλητών και η καταλληλότητα της μεθόδου ελέγχεται πάντα εκ των υστέρων.
- Η διαφανής δομή κανόνων του ANFIS επιτρέπει στον ερευνητή να εξάγει πληροφορίες σχετικά με την εμπειρική σχέση μεταξύ των δεδομένων εισόδου και των δεδομένων εξόδου κατά τη διάρκεια του χρόνου που τρέχει το μοντέλο και να παρέχει συνοπτικές εξηγήσεις.

Εν κατακλείδι, αυτά τα αποτελέσματα πρόβλεψης μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες και καθοδήγηση στους οικονομικούς αναλυτές και τους αναλυτές αγοράς. Το ANFIS δίνει πολύ καλά αποτελέσματα πρόβλεψης και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη οικονομικών μεγεθών και χρονοσειρών αρκεί να τροφοδοτηθεί με τα κατάλληλα δεδομένα. Εν τούτοις, συνίσταται περαιτέρω έρευνα προκειμένου να βελτιωθούν τα αποτελέσματα πρόβλεψης.

Βιβλιογραφία

1. **Fast valuation and calibration of credit default swaps under Lévy dynamics**, The Journal of Computational Finance, 14(2), 57, 2011, Fang, F., Nsson, H.J., Oosterlee, C.W. and Schoutens, W.
2. **Clearing Credit Default Swaps: A Case Study in Global Legal Convergence**. Chicago, Journal of International Law, 10(2), 639, 2010, Chander, A. and Costa, R.
3. **Credit Default Swaps: The Good, The Bad And The Ugly**, Journal of Business & Economics Research, 8 (4), 29, 2010, Young, T., Mccord, L. and Crawford, P.J.
4. **Dodd-Frank Regulation For Credit Default Swaps Takes Shape**, Institutional Investor, 2010, Kutler, J.
5. **The Economics of Credit Default Swaps (CDS)**, SSRN Working Paper Series, 2010, Jarrow, R.A.
6. **Finding Systemically Important Financial Institutions Around the Global Credit**, Crisis: Evidence from Credit Default Swaps. SSRN Working Paper Series, 2010, Yang, J. and Zhou, Y.
7. **The Goldman Sachs Swaps Shop: An Examination of Synthetic Short Selling Through Credit Default Swaps and the Implications of SEC v. Goldman Sachs & Co., et al.**, SSRN Working Paper Series, 2010, Lufano, C. and Pekarek, E.
8. **Innovative Credit Default Management in the Banks Through Credit Default Swaps: An Analysis of Credit Derivatives**, SSRN Working Paper Series, 2010, Tandon, D. and Agarwal, S.
9. **The Largest Pyramid Scheme of All Time: The Effect of Allowing Unregulated Credit Default Swaps**, SSRN Working Paper Series, 2010, Murphy, J.A.
10. **Leveraged Buyout Bankruptcies, the Problem of Hindsight Bias, and the Credit Default Swap Solution**, SSRN Working Paper Series, 2010, Simkovic, M. and Kaminetzky, B.
11. **Mutual Funds' Use of Credit Default Swaps-PART II**, The Investment Lawyer, 17 (1), 20, 2010, Helm, R.W., Geffen, D.M. and Capistrone, S.A.
12. **The Risks of tailoring credit default swaps**, Risk, 23(7), 72, 2010, Schubert, D.
13. **As Feds Probe Credit Default Swaps, AIG Knows Of No Crime At Fin'l Unit: an Insurance Newspaper**, National Underwriter.P & C, 113 (17), 6, 2009, Hays, D.
14. **Counterparty Risk for Credit Default Swaps: Markov Chain Interacting Intensities Model with Stochastic Intensity**, Asia - Pacific Financial Markets, 16 (3), 169, 2009, Leung, K.S. and Kwok, Y.K.
15. **Credit Default Swaps and the Credit Crisis**, SSRN Working Paper Series, 2009, Stulz, R.M.
16. **Credit Default Swaps and the Credit Crisis: [1]**, SSRN Working Paper Series, 2009, Stulz, R.M.
17. **Credit value adjustment for credit default swaps via the structural default model**, The Journal of Credit Risk, 5 (2), 127, 2009, Lipton, A. and Sepp, A.
18. **ICE Begins Clearing Credit Default Swaps As Counterparty Risk Hits Record High**, Global Finance, 23 (4), 64, 2009, Platt, G.

19. **The Impact of Earnings on the Pricing of Credit Default Swaps**, *The Accounting Review*, 84 (5), 1363, 2009, Callen, J.L., Livnat, J. and Segal, D.
20. **Market Manipulation and Insider Trading Claims Involving Securities-Based Credit Default Swaps**, *Insights; the Corporate & Securities Law Advisor*, 23 (11), 2, 2009, Welsh, P.L. and Connor, R.D.
21. **Mutual Funds' Use of Credit Default Swaps-Part I**, *The Investment Lawyer*, 16 (12), 3, 2009, Helm, R.W., Geffen, D.M. and Capistrone, S.A.
22. **The Reaction of Emerging Market Credit Default Swap Spreads to Sovereign Credit Rating Changes**, SSRN Working Paper Series, 2009, Ismailescu, I. and Kazemi, H.B.
23. **Regulating credit default swaps as insurance: a law and economics perspective**, *The Journal of Investment Compliance*, 10 (4), 54, 2009, Zolnor, M.A.
24. **Regulating Credit Default Swaps as Insurance: A Law and Economics Perspective**, SSRN Working Paper Series, 2009, Zolnor, M.A.
25. **Single-name credit default swap clearing under scrutiny**, *Risk*, 22(2), 9, 2009, Marsh, A.
26. **Understanding Corporate Bond Spreads Using Credit Default Swaps**, *Bank of Canada Review*, 23, 2009, Garcia, A. and Yang, J.
27. **The Janus-headed salvation: Sovereign and bank credit risk premia during 2008–2009**, *Economics Letters*, Volume 110, Issue 1, January 2011, Pages 28-31, Jacob Ejsing, Wolfgang Lemke
28. **Markets contagion during financial crisis: A regime-switching approach**, *International Review of Economics & Finance*, Volume 20, Issue 1, January 2011, Pages 95-109, Feng Guo, Carl R. Chen, Ying Sophie Huang
29. **Contagion inside the credit default swaps market: The case of the GM and Ford crisis in 2005**, *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, Volume 20, Issue 2, April 2010, Pages 109-134, Virginie Coudert, Mathieu Gex
30. **The Information content of option-implied volatility for credit default swap valuation**, *Journal of Financial Markets*, Volume 13, Issue 3, August 2010, Pages 321-343, Charles Cao, Fan Yu, Zhaodong Zhong
31. **Market conditions, default risk and credit spreads**, *Journal of Banking & Finance*, Volume 34, Issue 4, April 2010, Pages 743-753, Dragon Yongjun Tang, Hong Yan
32. **Modeling of CPDOs – Identifying optimal and implied leverage**, *Journal of Banking & Finance*, Volume 34, Issue 6, June 2010, Pages 1371-1382, Jochen Dorn
33. **The Reaction of emerging market credit default swap spreads to sovereign credit rating changes**, *Journal of Banking & Finance*, Volume 34, Issue 12, December 2010, Pages 2861-2873, Iuliana Ismailescu, Hossein Kazemi
34. **Takeover risk and the correlation between stocks and bonds**, *Journal of Empirical Finance*, Volume 17, Issue 3, June 2010, Pages 381-393, Karan Bhanot, Sattar A. Mansi, John K. Wald

35. **Tail Return analysis of Bear Stearns' credit default swaps**, *Economic Modelling*, Volume 27, Issue 6, November 2010, Pages 1529-1536, Liuling Li, Bruce Mizrach
36. **Accounting-based versus market-based cross-sectional models of CDS spreads**, *Journal of Banking & Finance*, Volume 33, Issue 4, April 2009, Pages 719-730, Sanjiv R. Das, Paul Hanouna, Atulya Sarin
37. **A Framework for assessing the systemic risk of major financial institutions**, *Journal of Banking & Finance*, Volume 33, Issue 11, November 2009, Pages 2036-2049, Xin Huang, Hao Zhou, Haibin Zhu
38. **Has the CDS market lowered the cost of corporate debt?**, *Journal of Monetary Economics*, Volume 56, Issue 4, May 2009, Pages 514-523, Adam B. Ashcraft, João A.C. Santos
39. **Implied recovery**, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Volume 33, Issue 11, November 2009, Pages 1837-1857, Sanjiv R. Das, Paul Hanouna
40. **Price discovery of subordinated credit spreads for Japanese mega-banks: Evidence from bond and credit default swap markets**, *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, Volume 19, Issue 4, October 2009, Pages 616-632, Naohiko Baba, Masakazu Inada
41. **Pricing of credit default index swap tranches with one-factor heavy-tailed copula models**, *Journal of Empirical Finance*, Volume 16, Issue 2, March 2009, Pages 201-215, Dezhong Wang, Svetlozar T. Rachev, Frank J. Fabozzi
42. **Systematic equity-based credit risk: A CEV model with jump to default**, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Volume 33, Issue 1, January 2009, Pages 93-108, Luciano Campi, Simon Polbennikov, Alessandro Sbuelz
43. **Credit derivatives and loan pricing**, *Journal of Banking & Finance*, Volume 32, Issue 12, December 2008, Pages 2560-2569, Lars Norden, Wolf Wagner
44. **The Delivery option in credit default swaps**, *Journal of Banking & Finance*, Volume 32, Issue 7, July 2008, Pages 1269-1285, Rainer Jankowitsch, Rainer Pullirsch, Tanja Veža
45. **Dependence structure between the credit default swap return and the kurtosis of the equity return distribution: Evidence from Japan**, *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, Volume 18, Issue 3, July 2008, Pages 259-271, Yi-Hsuan Chen, Anthony H. Tu, Kehluh Wang
46. **A First-passage-time model under regime-switching market environment**, *Journal of Banking & Finance*, Volume 32, Issue 12, December 2008, Pages 2617-2627, Mi Ae Kim, Bong-Gyu Jang, Ho-Seok Lee
47. **Regime dependent determinants of credit default swap spreads**, *Journal of Banking & Finance*, Volume 32, Issue 6, June 2008, Pages 1008-1021, Carol Alexander, Andreas Kaeck
48. **CBOE to Launch CDS Options Alternative**, The Wall Street Journal Online, 00:23, 12 January 2011, 640 words, (English), NEW YORK—The Chicago Board Options Exchange is preparing to reintroduce listed credit derivatives later this quarter, going up against the \$583 trillion market for privately traded derivatives—specifically credit-default swaps, which became ...

49. **Costs rise in default insurance**, The Irish Examiner, 8 January 2011, 105 words, (English), Dublin: Belgium and Ireland led a surge in the cost of insuring against default on European sovereign bonds on concern governments will struggle to fund their deficits.
50. **Default Swaps On Marathon Oil End Flat After Intraday Spike**, Dow Jones Business News, 02:27, 14 January 2011, 494 words, (English), NEW YORK -(Dow Jones)- The cost of protecting against a default on debt sold by Marathon Oil Corp. (MRO) closed little changed on the day, after spiking Thursday morning when the company said it would resurrect plans to spin off a portion ...
51. **DJ West Europe Sovereign Default Insurance Cost Exceeds CEEMEA**, Dow Jones Chinese Financial Wire, 22:00, 5 January 2011, 245 words, (English), LONDON (Dow Jones)--The cost of insuring western European sovereign debt using credit default swaps has risen above the default insurance cost for a basket of 15 sovereigns from central and eastern Europe, the Middle East, and Africa, for ...
52. **EDITOR AT LARGE: A Shot at Redemption For 'the Work Of the Devil'**, American Banker, 20 January 2011, 1067 words, (English), Imagine this: using credit-default swaps to solve "too big to fail." Too good to be true? Could a product vilified as a cause of the 2008 financial crisis provide the solution to an intractable policy problem of how to regulate the largest ...
53. **Europe Debt Insurance Costs Edge Higher, Earnings, Ecofin Eyed**, Dow Jones International News, 09:46, 18 January 2011, 236 words, (English), LONDON (Dow Jones)--The cost of insuring European corporate and sovereign debt using credit default swaps was slightly higher in early trading Tuesday, as credit investors start to eye corporate earnings alongside moves by European policy ...
54. **Europe Default Insurance Fall After Early Rise, Volumes Low**, Dow Jones International News, 14:38, 20 January 2011, 422 words, (English), LONDON (Dow Jones)--The cost of insuring European corporate and sovereign debt against default using credit default swaps fell Thursday after briefly rising in early trading, as investors bought corporate bonds and removed hedges that they ...
55. **Europe Senior Financial Debt Insurance Cost Highest Since June**, Dow Jones International News, 10:58, 7 January 2011, 120 words, (English), LONDON (Dow Jones)--The cost of insuring the senior debt of a basket of 25 European banks and insurers using credit default swaps rose to its highest level since last summer Friday after the European Commission proposed a region-wide ...
56. **European Sovereign Debt Insurance Costs Rise – Markit**, Dow Jones Capital Markets Report, 11:25, 7 January 2011, 228 words, (English), LONDON (Dow Jones)--The cost of insuring Western European sovereign debt using credit default swaps rose to record levels Friday, as concerns over banks and the coming supply of new government bonds continued to add pressure.
57. **Exchange-traded funds could be at risk of overheating; After a period of rapid growth, the ETF market shows signs of previous acronym...**, Financial News, 3 January 2011, 1306 words, (English), Given the experience of the past decade, investors could be forgiven for never again touching financial products that can be abbreviated to three initials. There is often something nasty lurking in the alphabet soup.
58. **Global Diversified Investment Grade Income Trust Ii - Net Asset Value As At December 31, 2010**, Market News Publishing, 01:51, 7 January 2011, 204 words, (English), GLOBAL DIVERSIFIED INVESTMENT GRADE INCOME TRUST II ("GIL.UN-T") - Net Asset Value As At December 31, 2010 Global Diversified Investment Grade Income Trust II ("Global DIGIT II") announces that the net asset value ("NAV") per unit as of ...

59. **ISDA Committee Says Further Anglo Irish CDS Auctions May Be Held**, Dow Jones International News, 19:47, 4 January 2011, 332 words, (English), LONDON (Dow Jones)--Further auctions to settle credit default swaps written on the debt of Anglo Irish Bank Corp. can be held, an International Swaps and Derivatives Association committee announced Tuesday.
60. **Japan CDS Index Edges Up But May Tighten Next Week, US Jobs Data Eyed**, Dow Jones International News, 11:53, 7 January 2011, 415 words, (English), TOKYO (Dow Jones)--Japan's benchmark index for credit default swaps edged up slightly this week due to renewed concerns over European sovereign debt problems ahead of several euro-member government debt auctions next week.
61. **Japan CDS Index Higher On Broad Buying By Hedge Funds**, Dow Jones International News, 13:31, 14 January 2011, 474 words, (English), TOKYO (Dow Jones)--Japan's benchmark index for credit default swaps rose this week as costs of insuring Japanese sovereign debt and Japanese corporation bonds broadly increased.
62. **Japan CDS Index Little Changed; Seen In Range Of 90-110 BPs Till End Of FY**, Dow Jones International News, 08:45, 30 December 2010, 429 words, (English), TOKYO (Dow Jones)--Japan's benchmark index for credit default swaps was little changed this week as trade was relatively thin due to a lack of market participants ahead of the year-end.
63. **MARKET TALK: CDS On Haliburton Strengthen On Quarterly Results**, Dow Jones Capital Markets Report, 00:36, 25 January 2011, 1545 words, (English), Contact us in New York. Robert Flint, 212-416-2216; robert.flint@dowjones.com 2236 GMT [Dow Jones] Credit default swaps on oilfield services company Haliburton Co strengthened 2 bps to 72 bps, according to Markit data, after the ...
64. **MARKET TALK: CDS On JPMorgan A Touch Weaker After Earnings**, Dow Jones International News, 17:27, 14 January 2011, 118 words, (English), 1527 GMT [Dow Jones] Credit default swaps on JPMorgan Chase widened 1% to 82/8.25 bps from Thursday's close after the company released earnings that beat consensus estimates, but showed some causes for concern. John Guarnera, a credit ...
65. **MARKET TALK: CDS On Goldman Strengthen On New Reporting Plan**, Dow Jones Capital Markets Report, 16:56, 11 January 2011, 1143 words, (English), Contact us in New York. Robert Flint, 212-416-2216; robert.flint@dowjones.com 1456 GMT [Dow Jones] Credit default swaps on Goldman Sachs Group Inc. are 5.48 bps better at 126 bps compared to a close of 131 bps Monday, according to ...
66. **MARKET TALK: CDS On Goldman Strengthen On New Reporting Plan**, Dow Jones International News, 16:56, 11 January 2011, 130 words, (English), 1456 GMT [Dow Jones] Credit default swaps on Goldman Sachs Group Inc. are 5.48 bps better at 126 bps compared to a close of 131 bps Monday, according to data provider Markit, since the firm said it would break out its proprietary trading ...
67. **MARKET TALK: CDS On Spanish Banks Highlight Bondholder Fears**, Dow Jones International News, 17:47, 6 January 2011, 162 words, (English), 1547 GMT [Dow Jones] Holders of senior bonds from Spanish banks are worried they may have to share the burden of potential restructurings, credit derivatives prices show. The cost of the credit default swaps are at near record highs, ...
68. **MARKET TALK: Illinois CDS Improve After Income Tax Increase**, Dow Jones International News, 18:55, 12 January 2011, 147 words, (English), 1655 GMT [Dow Jones] Credit default swaps

on Illinois debt have improved after the Illinois House passed a huge income tax increase to help the state get out of \$13 bln of debt. CDS on Illinois are now trading at 295 bps--equivalent to ...

69. **MARKET TALK: Illinois CDS Improve After Income Tax Increase**, Dow Jones Capital Markets Report, 18:55, 12 January 2011, 1170 words, (English), Contact us in New York. Robert Flint, 212-416-2216; robert.flint@dowjones.com 1655 GMT [Dow Jones] Credit default swaps on Illinois debt have improved after the Illinois House passed a huge income tax increase to help the state get ...
70. **NET ASSET VALUE AS AT DECEMBER 31, 2010**, Canada NewsWire, 00:13, 7 January 2011, 174 words, (English), MONTREAL, Jan. 6 /CNW/ -- MONTREAL, Jan. 6 /CNW Telbec/ - Global Diversified Investment Grade Income Trust ("Global DIGIT") announces that the net asset value ("NAV") per unit as of December 31, 2010 was estimated to be \$4.78.
71. **Non-core Euro-zone Sovereign Default Insurance Costs Drop-Trader**, Dow Jones International News, 11:10, 14 January 2011, 195 words, (English), LONDON (Dow Jones)--The cost of insuring debt issued by non-core euro-zone sovereigns using credit default swaps fell in early trading Friday, as sentiment towards financially weaker countries continued to improve following successful bond ...
72. **S.Korea and Philippine Bonds Shine**, UNI (United News of India), 3 January 2011, 620 words, (English), Kochi, Jan. 3 -- HONG KONG, Jan 3 (IFR) Asian credits started the year on a solid footing lifted by a wave of solid economic data in recent weeks amid continued investment flows into the world's fastest growing region, but trade was thin ...
73. **Specialized Finance**, Standard & Poor's Industry Investment Reviews, 22 January 2011, 411 words, (English), We have a neutral fundamental outlook on the specialized finance sub-industry based on our expectations for financial exchanges, which are the primary component of the sub-industry. We expect financial exchanges to continue to benefit from ...
74. **UBS launches electronic trading Credit Default Swaps**, Global Banking News, 18 January 2011, 177 words, (English), UBS Investment Bank, a division of UBS AG (NYSE: UBS) (ZHR: UBSN) (UBSN.VX), has launched electronic trading of Credit Default Swap (CDS) on Bloomberg for the major ITRAXX and CDX global Indices including SOVX WE and CEEMA SOVX and also for ...
75. **The Unofficial Barber Of Goldman Is Moving In**, The New York Times, 15 January 2011, 654 words, (English), Goldman Sachs is taking haircuts. It's not on the credit-default swaps of A.I.G. or any other investment, however. The Wall Street firm is bringing its favorite barber in-house.
76. **UPDATE: Europe Senior Bank Debt Insurance Cost Hits 7-Mo High, Recovers**, Dow Jones International News, 13:59, 7 January 2011, 366 words, (English), (Updates prices, adds detail, background, comment.) LONDON (Dow Jones)--The cost of insuring the senior debt of a basket of 25 European banks and insurers using credit default swaps rose Friday to its highest level since the summer before ...
77. **Crafting a Safer Retail Buyout**, The Wall Street Journal Online, 27 December 2010, 317 words, (English), Imagine a classic bubble-era buyout. Then structure the deal on terms that fly in 2010. That is the experiment being undertaken by private-equity firm Leonard Green, which said Thursday it will buy crafts retailer Jo-Ann Stores for \$1.6 ...
78. **Derivatives Clearing Group Decides Against Registration**, The New York Times, 29 December 2010, 327 words, (English), The world's largest clearinghouse for credit-default swaps, ICE Trust, has had second thoughts about registering with regulators, citing concerns over new rules devised to bring transparency to the \$600 trillion derivatives market.

79. **DJ UPDATE: Europe Sovereign Default Insurance Hits All-Time High**, Dow Jones Chinese Financial Wire, 14:54, 30 December 2010, 476 words, (English), (Rewrites, updates prices, adds further information, detail and comment.) By Mark Brown Of DOW JONES NEWSWIRE
LONDON (Dow Jones)--The cost of insuring European sovereign debt using credit default swaps, which has been rising steadily since ...
80. **HEARD ON THE STREET: Crafting A Safer Retail Buyout**, Dow Jones News Service, 20:45, 26 December 2010, 381 words, (English), Imagine a classic bubble-era buyout. Then structure the deal on terms that fly in 2010. That is the experiment being undertaken by private-equity firm Leonard Green, which said Thursday it will buy crafts-retailer Jo-Ann Stores Inc. (JAS) ...
81. **ICE Trust withdraws derivatives clearing organization application**, Gas Daily, 29 December 2010, 263 words, (English), The IntercontinentalExchange affiliate aiming to clear credit default swaps under the new federal over-the-counter derivatives regulatory regime has withdrawn its application to be a derivatives clearing organization, the Commodity Futures ...
82. **Swaps show SBI beats China, Russia rivals**, Daily The Pak Banker, 29 December 2010, 527 words, (English), Karachi: The SBI Bank has issued following press released: The cost of protecting State Bank of India's (SBI's) debt from default fell for 11 straight days, the longest stretch of declines since at least 2004, as lenders' willingness to ...
83. **Insider Trading in Credit Derivatives**, DP 5180, 2005, Viral V. Acharya and Tim Johnson
84. **Information Efficiency of Credit Default Swap and Stock Markets: the Impact of Credit Rating Announcements**, DP4250, 2004, Lars Norden and Martin Weber
85. **Are all Credit Default Swap Databases Equal?**, W16590, 2010, Sergio Mayordomo, Juan Ignacio Peña
86. **Credit Default Swaps and the Empty Creditor Problem**, w15999, 2010, Patrick Bolton, Martin Oehmke
87. **Credit Default Swaps and the Credit Crisis**, w15384, 2009, René M. Stulz
88. **The Effect of Word of Mouth on Sales: Online Book Reviews**, W10418, 2003, Judith A. Chevalier, Dina Mayzlin
89. **Markit Credit Indices A Primer**, Markit Group Limited, October 2010
90. **Predicting credit default swap prices with financial and pure data-driven approaches**, Yalin Gündüz and Marliese Uhrig-Homburg, Quantitative Finance, 2011, 1-19, iFirst, Routledge, Taylor and Francis Group, <http://www.informaworld.com>
91. Ποσοτικές Μέθοδοι Διαχείρισης Τραπεζικών Κινδύνων, Παράγωγα Χρηματοοικονομικά προϊόντα-Εισαγωγή, Φώτης Πασσιούρας, Πολυτεχνείο Κρήτης, Διάλεξη μεταπτυχιακού μαθήματος του τμήματος ΜΠΔ
92. Αγγελόπουλος Π., 2008, Τράπεζες και Χρηματοπιστωτικό Σύστημα, Αγορές, Προϊόντα, Κίνδυνοι, Β' έκδοση, Κεφάλαιο 9
93. Τσακλάγκανος Α., 1996, Χρηματοδότηση και Αξιολόγηση Επενδύσεων ΙΙΙ, Εκδοτικός οίκος Αδερφών Κυριακίδη, Κεφάλαιο 10

94. Καραθανάσης Γ., 1999, Χρηματοοικονομική Διοίκηση και Χρηματιστηριακές Αγορές, 3^η έκδοση, Εκδόσεις Ευγ. Μπένου, Κεφάλαιο 29
95. Μελάς Κ., 2002, Εισαγωγή στην τραπεζική χρηματοοικονομική διοικητική, Εκδόσεις Έξαντας, Κεφάλαιο 9
96. M. Sugeno and G. T. Kang, Fuzzy Sets and Systems, 1988
97. J.-S.R. Jang C.-T. Sun E. Mizutani. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. (Prentice-Hall, 1997)
98. Hornik K., (1991), Approximation capabilities of multi-layer feed- forward networks, Neural Networks 4, 251-257
99. Jain B.A. and Nag B.N.,(1997), Performance evaluation of neural network decision models, Manage Information Systems 14, 201-216
100. Jang J.S.R., (1993), ANFIS: Adaptive network-based fuzzy inference system. IEEE Trans Systems, Man Cybern 23(3), 665-685
101. Jang J. S. R., and Chuen-Tsai S., (1995), Neuro-fuzzy modeling and control Proc. IEEE (83) 378–406
102. Jang, J-S.R., C-T.E. Sun and E. Mizutani, (1997), Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence, Prentice Hall
103. Lee C. C., (1990a), Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. I IEEE Trans. on Syst. Man Cybern, (20) 404–18
104. Lee C. C., (1990b), Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. II IEEE Trans. on Syst. Man Cybern. (20) 419–35
105. Loukas Y. L., (2001), Adaptive neuro-fuzzy inference system: an instant and architecture-free predictor for improved QSAR studies J. Med. Chem.(44) 2772–83
106. Makridakis, S., Wheelwright SC, and McGee VE., (1983), Forecasting: Methods and Applications, 2nd edition. Wiley, New York
107. Skapura D., (1996), Building Neural Networks, Addison Wesley, New York (1)
108. Shapiro A.F., (2002), The merging of neural networks, fuzzy logic, and genetic algorithms, Insurance: Mathematics and Economics 31, 115-131
109. Pao Y.H., (1989), Adaptive pattern recognition and neural networks, Addison Wesley, New York
110. McNelis, P.D. (2005). Neural Networks in Financial: Gaining Predictive Edge in the Market. New York: Elsevier Inc.
111. Salchenberger, L. M., Cinar, E. M, and Lash, N. A. (1992) Neural networks: A New Tool for Predicting Thrift Failures. *Decision Sciences*. 23(4), 899-916
112. Boritz, J. E., Kennedy, D. B., and de Mirande e Albuquerque, A. (1995) Predicting Corporate Failure Using a Neural Network Approach. *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management* 4(2) (June): 95 –111

113. Coats, P. K., and Fant, L. F. (1993) Recognizing Financial Distress Patterns Using a Neural Network Tool. *Financial Management*: 142-155
114. Fletcher, D., and Goss, E. (1993) Forecasting With Neural Networks: An Application Using Bankruptcy Data. *Information and Management* 24(3): 159-167
115. Yang, Z. R, Platt, M. B., and Platt, Harlan D. (1999) Probabilistic Neural Networks in Networks in Bankruptcy Prediction. *Journal of Business Research* 44(2) (Feb): 67-74
116. Zhang, G. P. (2001) An investigation of neural network for linear time-series forecasting. *European Computers & Operational Research* 28(12) (Oct), 1183-1202
117. Junhong Nie (1994), A fuzzy-neural approach to time series prediction, Neural networks, IEEE World Congress on Computational Intelligence, 3164-3169, Vol.5
118. W.K. Wong, Min Xia and W.C. Chu (2010), Adaptive neural network model for time-series forecasting, *European Journal of Operational Research*, Vol. 207, Issue 2, Pages 807-816
119. Yuehui Chen, Feng Chen and Qiang Wu (2007), An artificial neural networks based dynamic decision model for time-series forecasting, International Joint Conference on Neural Networks, IJCNN 2007, 696-699
120. Michael Y. Hu, Christos Tsoukalas (1999), Combining conditional volatility forecasts using neural networks: an application to the EMS exchange rates, *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money* 9, 407–422
121. S. Brock Blomberg, Gregory D. Hess (1997), Politics and exchange rate forecasts, *Journal of International Economics* 43, 189-205
122. Peter M. Summers (2001), Forecasting Australia's economic performance during the Asian crisis, *International Journal of Forecasting* 17, 499–515
123. George S. Atsalakis, Kimon P. Valavanis (2009), Forecasting stock market short-term trends using a neuro-fuzzy based methodology, *Expert Systems with Applications* 36, 10696–10707
124. Paul Ormerod, Craig Mounfield (2000), Random Matrix Theory and the Failure of Macro-economic Forecasts, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* Volume 280, Issues 3-4, Pages 497-504
125. S.L. Byers, K.B. Nowman (1998), Forecasting U.K. and U.S. Interest Rates Using Continuous Time Term Structure Models, *International Review of Financial Analysis*, Vol.7, No.3, p.p. 191-206
126. Thomas Elger, Barry E. Jones, Birger Nilsson (2006), Forecasting with Monetary Aggregates: Recent Evidence for the United States, *Journal of Economics and Business* 58, 428–446
127. Miguel A. Ferreira (2005), Forecasting the comovements of spot interest rates, *Journal of International Money and Finance* 24, 766e792
128. Turan G. Bali (2003), Modeling the stochastic behavior of short-term interest rates: Pricing implications for discount bonds, *Journal of Banking & Finance* 27, 201–228

129. Min Qi, Guoqiang Peter Zhang (2001), An investigation of model selection criteria for neural network time series forecasting, *European Journal of Operational Research* 132, 666-680
130. Kyong Jo Oh, Ingoo Han (2000), Using change-point detection to support artificial neural networks for interest rates forecasting, *Expert Systems with Applications* 19, 105–115
131. Gordon R. Richards (2000), The fractal structure of exchange rates: measurement and forecasting, *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money* 10, 163–180
132. David C. Black, Paul R. Corrigan, Michael R. Dowd (2000), New dogs and old tricks: do money and interest rates still provide information content for forecasts of output and prices?, *International Journal of Forecasting* 16, 191–205
133. James H. Stock, Mark W. Watson (1999), Forecasting inflation, *Journal of Monetary Economics* 44, 293-335
134. Prasad V. Bidarkota (1998), The comparative forecast performance of univariate and multivariate models: an application to real interest rate forecasting, *International Journal of Forecasting* 14, 457–468
135. Y.J.Ju, C.E.Kim, J.C.Shim (1997), Genetic-Based Fuzzy Models: Interest Rate Forecasting Problem, *Computers ind. Engng* Vol. 33, Nos 3-4, pp. 561-564
136. Steven H. Kim, Hyun Ju Noh (1997), Predictability of Interest Rates Using Data Mining Tools: A Comparative Analysis of Korea and the US, *Expert Systems with Applications*, Vol. 13, No. 2, pp. 85-95
137. Donna J. Fletcher, O. David Gulley (1996), Forecasting the Real Interest Rate, *North American Journal of Economics & Finance* 7(1): 55-76
138. Arturo Estrella, Frederic S. Mishkin (1997), The predictive power of the term structure of interest rates in Europe and the United States: Implications for the European Central Bank, *European Economic Review* 41, 1375-1401
139. H.D. Vinod, Parantap Basu (1995), Forecasting consumption, income and real interest rates from alternative state space models, *International Journal of Forecasting* 11, 217-231
140. Peter C.B. Phillips (1995), Bayesian model selection and prediction with empirical applications, *Journal of Econometrics* 69, 289-331
141. Jeremy R. Rudin (1988), Central Bank Secrecy, ‘Fed Watching’, and the predictability of interest rates, *Journal of Monetary Economics* 22, 317-334
142. Kanhaya L. Gupta, Bakhtiar Moazzami (1991), Recent Interest Rate Behavior: The Error-Correction Modeling Approach, *Journal of Macroeconomics*, Vol. 13, No. 3, pp. 479-493
143. Bharat R. Kolluri, Demetrios S. Giannaros (1987), Budget Deficits and Short-Term Real Interest Rate Forecasting, *Journal of Macroeconomics*, Vol. 9, No. 1, pp. 109-125
144. Stuart D. Allen, R.W. Hafer (1984), Measuring The Opportunity Cost Of Holding Money: More Evidence on the Tern Structure of Interest Rates, *Economics Letters* 16, 105-111

145. Thomas F. Cargill and Robert A. Meyer (1983), Forecasting the Term Structure of Interest Rates and Portfolio Planning Models, *Journal of Economics and Business* 35, 399-411
146. James E. Pesando (1981), On Forecasting Interest Rates: An Efficient Markets Perspective, *Journal of Monetary Economics* 8, 305-318
147. Francisco J. Ruge-Murcia (2006), The expectations hypothesis of the term structure when interest rates are close to zero, *Journal of Monetary Economics* 53, 1409–1424
148. Kanta Marwah (1985), A prototype model of the foreign exchange market of Canada: Forecasting capital flows and exchange rates, *Economic Modelling* Volume 2, Issue 2, Pages 93-124
149. Atsalakis George, Bellonias Lukas, Zopounidis Constantinos (2008), Federal funds effective rate forecasting by a neuro-fuzzy model, *The 7th Conference of Hellenic Finance and Accounting Association*, Chania, Greece
150. Oliver Blaskowitz, Helmut Herwartz, Gonzalo de Cadenas Santiago (2009), Adaptive Forecasting of the EURIBOR Swap Term Structure, *Journal of Forecasting* 28, 575-594
151. Alexander Dauwe, Marcelo L. Moura (2011), Forecasting the term structure of the Euro Market using Principal Component Analysis, *Inspire Working Paper* 233
152. Oliver Blaskowitz, Helmut Herwartz, Gonzalo de Cadenas Santiago (2005), Modeling the FIBOR/EURIBOR Swap Term Structure: An Empirical Approach, *SFB 649 Discussion Paper*
153. Vincenzo Pacelli, Vitoantonio Bevilacqua, Michele Azzollini (2011), An Artificial Neural Network Model to Forecast Exchange Rates, *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 3, 57-69
154. Alexei V. Egorov, Haitao Li, David Ng (2011), A tale of two yield curves: Modeling the joint term structure of dollar and euro interest rates, *Journal of Econometrics* 162, 55-70
155. Sonia Petrone, Francesco Corielli (2005), Dynamic polynomial models for the term structure of interest rates, <http://www.istfin.eco.usi.ch/>
156. Ahmet E. Kocagil, Vadim Mezrin, Atanasios Mitropoulos, Andreas Wilgen (2006), Interest Rate Risk In Structured Finance Transactions – Euribor, www.fitchratings.com
157. Andrea Pallavicini, Marco Tarengi (2010), Interest-Rate Modeling with Multiple Yield Curves, *Quantitative Finance Papers*
158. Marcos J. Dal Bianco, Máximo Camacho Alonso, Gabriel Pérez-Quirós (2008), Short-Run Forecasting of the Euro-Dollar Exchange Rate with Economic Fundamentals, <http://merlin.fae.ua.es/>
159. Kari Heimonen (2009), The euro–dollar exchange rate and equity flows, *Review of Financial Economics* 18, 202-209
160. Gioqinang Zhang, Michael Y. Hu (1998), Neural Network Forecasting of the British Pound/US Dollar Exchange Rate, *Omega, International Journal of Management Science*, Vol. 26, No. 4, pp. 495-506

161. Lean Yu, Shouyang Wang, Kin Keung Lai (2005), Adaptive Smoothing Neural Networks in Foreign Exchange Rate Forecasting, V.S. Sunderam et al. (Eds.): ICCS, Computational Science, LNCS Vol. 3516, pp. 523 – 530
162. Atsalakis G., Skiadas C. and Nezis D., (2008), Forecasting Chaotic time series by a Neural Network, XIIIth International conference on Applied Stochastic Models and Data Analysis, Greece
163. Skiadas C., Rompogianakis G. Atsalakis G., (2001), Chaotic Aspects of a Generalized Rational Model and Application in Innovation Management, Accounting, Management, Marketing, The Works of Scientific Session of Petru Maior University, Publishing House of Petru Maior University, Tîrgu-Mureş, volume II, pg. 398-405
164. Atsalakis G., Skiadas C. and Braimis I., (2007), Probability of trend prediction of exchange rate by neuro-fuzzy techniques, XIIth International conference on Applied Stochastic Models and Data Analysis, Greece
165. L.P. Maguire, B. Roche, T.M. McGinnity, L.J. McDaid, (1998), Predicting a chaotic time series using a fuzzy neural network, Information Sciences 112, 125-136
166. Christos H. Skiadas, Charilaos Skiadas, (2009), Chaotic Modelling and Simulation Analysis of Chaotic Models, Attractors and Forms, CRC Press Taylor & Francis Group, New York
167. Robinson, Guy (1995), “Simulated Annealing” Webpage: www.npac.syr.edu/copywrite/pcw/node252
168. J. Doyne Farmer and John J. Sidorowich (1987), Predicting chaotic time series, Physical Review Letters, Vol. 59, No. 8, 845-848
169. George G. Szpiro (1997), Forecasting chaotic time series with genetic algorithms, Physical Review Letters, Vol. 55, No. 3, 2557-2568
170. L. Studer and F. Masulli (1996), On the structure of a neuro-fuzzy system to forecast chaotic time series, Neuro-Fuzzy Systems, 1st International Symposium on Neuro-Fuzzy Systems, AT’96, 103-110
171. Ajoy Kumar Palit and D. Popovic (1999), Forecasting chaotic time series using neuro-fuzzy approach, International Joint Conference on Neural Networks, IJCNN’99, 1538-1543, Vol. 3
172. Liang Zhao and Yupu Yang (2009), PSO-based single multiplicative neuron model for time series prediction, Expert Systems with Applications, Vol. 36, Issue 2, Part 2, Pages 2805-2812
173. Yoshinobu Fukunaga and Hiroyuki Narihisa (2001), Efficient hybrid neural network for chaotic time series prediction, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2130, 712-718
174. Rahib H. Abiyev (2006), Time series prediction using fuzzy wavelet neural network model, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4132, 191-200
175. Junhong Nie (1994), A fuzzy-neural approach to time series prediction, Neural networks, IEEE World Congress on Computational Intelligence, 3164-3169, Vol.5
176. M.R. Hassan, B. Nath and M. Kirley (2006), HMM based fuzzy model for time series prediction, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2120-2126

177. Mohammad Assaad, Romuald Bone and Hubert Cardot (2006), Predicting chaotic time series by boosted recurrent neural networks, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4233, 831-840
178. Gang, Zhong Shi-Sheng and Li Yang (2008), Time series prediction using wavelet process neural network, Chinese Physics B, Vol. 17, No. 6, 1674-1056
179. Catherine Vairappan, Hiroki Tamura, Shangce Gao and Zheng Tang (2009), Batch type local search-based adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) with self-feedbacks for time-series prediction, Neurocomputing, Vol. 72, Issues 7-9, Pages 1870-1877
180. Xieping Gao and Fen Xiao (2004), Multiwavelet networks for prediction of chaotic time series, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 3328-3332, Vol. 4
181. Cui Wan, Zhao Zhu, Chang Chun, Bao Wen, Xing Liu and Jun Hua (2005), Prediction of the chaotic time series using support vector machines for fuzzy rule-based modeling, http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-WLXB200507008.htm
182. W.K. Wong, Min Xia and W.C. Chu (2010), Adaptive neural network model for time-series forecasting, European Journal of Operational Research, Vol. 207, Issue 2, Pages 807-816
183. Hong-Wei Wang, Hong Gu and Zhe-Long Wang (2005), Fuzzy prediction of chaotic time series based on SVD matrix decomposition, Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2493-2498, Vol. 4
184. Muhammad Ardalani-Farsa and Saeed Zolfaghari (2010), Chaotic time series prediction with residual analysis method using hybrid Elman-NARX neural networks, Neurocomputing, Vol. 73, Issues 13-15, Pages 2540-2553
185. Ping Liu and Jian Yao (2009), Application of least square support vector machine based on particle swarm optimization to chaotic time series prediction, IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, 458-462
186. H.J. Song, C.Y. Miao, Z.Q. Shen, W. Roel, D.H. Maja and C. Francky (2010), Design of fuzzy cognitive maps using neural networks for predicting chaotic time series, Neural Networks, Vol. 23, Issue 10, Pages 1264-1275
187. Hongwei Wang and Hong Gu (2009), Prediction of chaotic time series based on neural network with Legendre polynomials, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5551, 836-843
188. Yuehui Chen, Feng Chen and Qiang Wu (2007), An artificial neural networks based dynamic decision model for time-series forecasting, International Joint Conference on Neural Networks, IJCNN 2007, 696-699
189. F. Pan, H. Zhang and M. Xia (2009), A hybrid time-series forecasting model using extreme learning machines, Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA'09, 933-936
190. Meiying Ye (2007), Prediction of chaotic time series using LS-SVM with simulated annealing algorithms, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4492, 127-134