



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Στατιστικός έλεγχος διαδικασιών με τη συνάρτηση απώλειας του
Taguchi**

ΣΕΛΕΑΡΗ ΑΙΜΙΛΙΑΝΑ

Καθηγητής, κ. Γρηγορούδης Ευάγγελος (Επιβλέπων)

Καθηγητής, κ. Δούμπος Μιχαήλ

Επίκουρος Καθηγητής, κ. Τσαφάρáκης Στέλιος

Χανιά, 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	4
1.2 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΟΥ TAGUCHI	4
1.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ TAGUCHI	4
1.2.2 Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ TAGUCHI.....	4
1.2.3 ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ TAGUCHI	5
1.2.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ TAGUCHI.....	8
1.2.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	10
1.2.6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ - ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ TAGUCHI.....	11
1.3 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΑΣ TAGUCHI	14
2.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΟΥ TAGUCHI ΑΠΟ ΤΟΝ DUNCAN	14
2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ CUSUM ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΟΥ TAGUCHI.....	20
2.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ S ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΟΥ TAGUCHI.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	39
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	39
3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΥ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ	39
3.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	40
3.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	40
3.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	41
3.2.3 ΣΕΝΑΡΙΟ SRC ΤΡΙΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ	44
3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	46
3.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ – ΔΟΚΙΜΕΣ.....	46
3.5 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΛΟΓΟΣ	52
4.1 ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	54
run_algo.m.....	54
ML_function.m.....	55

f.m	56
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	58
run_over_mdm.m	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα διαγράμματα ελέγχου είναι σημαντικά εργαλεία στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Αυτά τα διαγράμματα χρησιμοποιούνται για να αποφασιστεί εάν μια διαδικασία έχει επιτύχει μια κατάσταση στατιστικού ελέγχου και για να διατηρήσουν τον τρέχοντα έλεγχο μιας διαδικασίας. Για να χρησιμοποιηθεί κάποιο από αυτά τα διαγράμματα, πρέπει να καθοριστούν τρεις παράμετροι σχεδιασμού. Το μέγεθος του δείγματος n , η περίοδος δειγματοληψίας h , και ο συντελεστής των ορίων ελέγχου k (ο αριθμός της τυπικής απόκλισης πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή).

Το βέλτιστο διάγραμμα σε αυτή την εργασία λαμβάνει υπόψη τη συνάρτηση απώλειας του Taguchi και ελαχιστοποιεί τη συνολική μέση απώλεια μιας διαδικασίας εκτός ελέγχου (ML διάγραμμα). Στην εργασία εξετάζεται μια μεθοδολογία τριών φάσεων για το στατιστικό έλεγχο διαδικασιών για τη σχεδίαση και λειτουργία ενός διαγράμματος ML. Η κατανομή πιθανότητας των μέσων αλλαγών μπορεί να μοντελοποιηθεί μέσω μίας κατανομής Rayleigh που βασίζεται στο ρυθμό δειγματοληψίας που πραγματοποιούνται.

Σε αντίθεση με τα σχέδια διαγραμμάτων οικονομικού ελέγχου, ο σχεδιασμός του διαγράμματος ML απαιτεί μόνο ένα περιορισμένο αριθμό προδιαγραφών που μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως το διάγραμμα ML είναι σημαντικά ανώτερο του διαγράμματος ελέγχου Shewchart όσον αφορά τη συνολική επίδοση.

1.2 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΟΥ TAGUCHI

1.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ TAGUCHI

Ο Taguchi γεννήθηκε το 1924. Μετά από την υπηρεσία του στο τμήμα του Ιδρύματος Ναυσιπλοΐας του ιαπωνικού ναυτικού το 1942-1945, εργάστηκε στο Υπουργείο Δημόσιας Υγείας και Ευημερίας, στο Ίδρυμα Στατιστικών Μαθηματικών και στο Υπουργείο Παιδείας. Επίσης, εργάστηκε ως σύμβουλος στα φαρμακευτικά είδη Morigana και Moriaga Seika και είχε μια θέση στο εργαστήριο επικοινωνιών μιας επιχείρησης τηλεφωνίας και τηλεγράφων για να αυξήσει την παραγωγικότητα των δραστηριοτήτων της.



Στα μέσα της δεκαετίας του '50, και συγκεκριμένα το 1954-1955, επισκέφθηκε το Ινδικό Στατιστικό Ίδρυμα, όπου συνάντησε τον καθηγητή Walter Shewhart. Το 1962 επισκέφθηκε για πρώτη φορά τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής πηγαίνοντας στον ερευνητικό του συνέταιρο στο πανεπιστήμιο του Princeton. Το 1962 ήταν επίσης η χρονιά που απέκτησε το διδακτορικό του από το πανεπιστήμιο του Kyushu.

Το 1964 ο Taguchi έγινε καθηγητής στο πανεπιστήμιο Aoyama Gakuin στο Τόκιο, μια θέση την οποία διατήρησε μέχρι το 1982.

Το 1960 του απονεμήθηκε το βραβείο εφαρμογής του Deming, το 1951, 1953 και 1984 του απονεμήθηκαν τα βραβεία για τη αρθρογραφία του στην ποιότητα και επίσης το 1986 του απονεμήθηκε το μετάλλιο Willard F. Rockwell από το Διεθνές Ίδρυμα Τεχνολογίας.

1.2.2 Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ TAGUCHI

Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, οι συμμαχικές δυνάμεις διαπίστωσαν ότι η ποιότητα

του ιαπωνικού τηλεφωνικού συστήματος είναι εξαιρετικά φτωχή και εντελώς ακατάλληλη για μακροπρόθεσμους σκοπούς επικοινωνίας. Για να βελτιώσει το σύστημα, η Συμμαχική Διοίκηση συνέστησε στην Ιαπωνία να δημιουργήσει ερευνητικές εγκαταστάσεις παρόμοιες με τις Bell Laboratories στις Ηνωμένες Πολιτείες. Οι Ιάπωνες ίδρυσαν τα Εργαστήρια Ηλεκτρικής Επικοινωνίας (ECL), με τον Dr. Genichi Taguchi υπεύθυνο για τη βελτίωση της παραγωγικότητας μέσω του τμήματος Έρευνας και Ανάπτυξης (R&D -Research & Development) και την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων.

Ο Taguchi άρχισε να αναπτύσσει νέες μεθόδους για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας σχεδιασμού των προϊόντων. Ανέπτυξε τις τεχνικές που είναι τώρα γνωστές ως μέθοδοι Taguchi. Η μεγαλύτερη συμβολή του δεν έγκειται στη μαθηματική διατύπωση του σχεδιασμού των πειραμάτων (DOE), αλλά μάλλον στη φιλοσοφία τους. Η μέθοδος του Taguchi, η οποία είναι γνωστή ως η συνάρτηση απώλειας του Taguchi, είναι κάτι περισσότερο από μια μέθοδο για την κατάρτιση πειραμάτων.

Η προσέγγιση της ποιότητας από τον Dr. Taguchi, αφορά την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης γύρω από την τιμή-στόχο.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι:

- Η συνάρτηση απώλειας ποιότητας είναι μια συνεχής λειτουργία και είναι ένα μέτρο απόκλισης από την τιμή στόχο. Η συμμόρφωση με τα όρια προδιαγραφών LCL και UCL είναι ένα ανεπαρκές μέτρο για τον καθορισμό της λειτουργίας απώλειας ποιότητας.
- Η απώλεια ποιότητας σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά απόδοσης του προϊόντος και μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τον καλύτερο σχεδιασμό της ποιότητας του προϊόντος. Η πρόληψη της κακής ποιότητας είναι λιγότερο δαπανηρή από την επιθεώρηση και διόρθωση και αποδίδει πολύ καλύτερες αποδόσεις.
- Η απώλεια ποιότητας οφείλεται στη δυσαρέσκεια του πελάτη και πρέπει να μετρείται σε ολόκληρο το σύστημα παρά σε ένα διακριτό σημείο της παραγωγικής διαδικασίας.
- Η απώλεια ποιότητας είναι μια οικονομική και κοινωνική απώλεια.
- Η ελαχιστοποίηση της απώλειας ποιότητας είναι ο μόνος τρόπος να είστε ανταγωνιστικοί και να επιβιώσετε στο σημερινό ανταγωνιστικό επιχειρηματικό περιβάλλον.

Δύο απόλυτα αντίθετες απόψεις συνηγορούν για τη συμβολή του Taguchi στη στατιστική μελέτη των πειραμάτων. Μία άποψη δείχνει ότι η συμβολή του στον τομέα του ποιοτικού ελέγχου είναι μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών. Η άλλη άποψη υποστηρίζει ότι πολλές από τις ιδέες που προτάθηκαν στην προσέγγιση του Taguchi δεν είναι ούτε νέες ούτε αναπτύχθηκαν από αυτόν. Αυτές οι νέες τεχνικές υλοποιήθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και δημιούργησαν σημαντικές αλλαγές στις μεθόδους μηχανικής ποιότητας στη χώρα. Η προσέγγιση Taguchi εφαρμόστηκε επιτυχώς σε διάφορους βιομηχανικούς οργανισμούς και άλλαξε εντελώς την προοπτική τους όσον αφορά τις δραστηριότητες βελτίωσης της ποιότητας.

1.2.3 ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ TAGUCHI

Ο Taguchi υιοθέτησε μια φιλοσοφία για τον ποιοτικό έλεγχο στις μεταποιητικές βιομηχανίες. Πράγματι, το δόγμα του δημιουργεί μια εντελώς διαφορετική άποψη των μηχανικών που σκέπτονται, αναπνέουν και ζουν για την ποιότητα. Έχει, στην πραγματικότητα, γεννήσει μια

νέα ποιοτική κουλτούρα. Η Ford Motor Company, για παράδειγμα, αποφάσισε στις αρχές της δεκαετίας του '90 ότι όλοι οι μηχανικοί της Ford Motor και οι μηχανικοί των προμηθευτών θα εκπαιδευτούν στη μεθοδολογία Taguchi και ότι οι αρχές αυτές θα χρησιμοποιηθούν για την επίλυση προβλημάτων ποιότητας. Η φιλοσοφία του Taguchi έχει μακροπρόθεσμες συνέπειες, όμως βασίζεται σε τρεις πολύ απλές και θεμελιώδεις έννοιες. Η όλη τεχνολογία και οι τεχνικές προκύπτουν εξ ολοκλήρου από αυτές τις τρεις ιδέες.

Αυτές οι τρεις ιδέες είναι:

1. Η ποιότητα πρέπει να σχεδιάζεται στο προϊόν και να μην επιθεωρείται σε αυτό.
2. Η ποιότητα επιτυγχάνεται καλύτερα με την ελαχιστοποίηση της απόκλισης από τον στόχο. Το προϊόν θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να μην μεταβάλλεται από ανεξέλεγκτους περιβαλλοντικούς παράγοντες.
3. Το κόστος της ποιότητας θα πρέπει να μετριέται ως συνάρτηση της απόκλισης από το πρότυπο και οι απώλειες θα πρέπει να μετρηθούν σε όλο το σύστημα.

Η παρατήρηση του Deming ήταν ότι το 85% της κακής ποιότητας οφείλεται στη διαδικασία κατασκευής και μόνο το 15% στον εργαζόμενο. Ως εκ τούτου, ο Taguchi ανέπτυξε συστήματα κατασκευής που ήταν "ανθεκτικά" ή δεν ήταν ευαίσθητα στις καθημερινές και εποχιακές διακυμάνσεις του περιβάλλοντος, τη φθορά μηχανών και άλλους εξωτερικούς παράγοντες. Οι τρεις αρχές ήταν οι οδηγοί του για την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων, τη δοκιμή των παραγόντων που επηρέασαν την ποιότητα της παραγωγής και τον καθορισμό των παραμέτρων του προϊόντος.

Ο Taguchi πίστευε ότι ο καλύτερος τρόπος βελτίωσης της ποιότητας ήταν ο σχεδιασμός και η κατασκευή του στο προϊόν. Η βελτίωση της ποιότητας ξεκινά από την αρχή, δηλαδή κατά τη διάρκεια των σταδίων σχεδιασμού ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας, και συνεχίζεται κατά τη φάση παραγωγής. Πρότεινε μια στρατηγική ελέγχου εκτός σειράς (-"off-line"-) για την ανάπτυξη της βελτίωσης της ποιότητας στις πρώτες φάσεις του σχεδιασμού, αντί για μια προσπάθεια επιθεώρησης της ποιότητας σε ένα προϊόν στη γραμμή παραγωγής. Ο Taguchi παρατήρησε ότι η κακή ποιότητα δεν μπορεί να βελτιωθεί με τη διαδικασία επιθεώρησης, προ-συμπτωματικού ελέγχου ή διάσωσης. Κανένας έλεγχος δεν μπορεί να επαναφέρει την ποιότητα στο προϊόν. Η επιθεώρηση απλώς αντιμετωπίζει ένα σύμπτωμα. Επομένως, οι έννοιες της ποιότητας πρέπει να βασίζονται και να αναπτύσσονται γύρω από τη φιλοσοφία της πρόληψης. Ο σχεδιασμός του προϊόντος πρέπει να είναι τόσο ανθεκτικός, ώστε να είναι αμετάβλητος από την επίδραση ανεξέλεγκτων φυσικών και περιβαλλοντικών παραγόντων στις διαδικασίες παραγωγής. Ο Taguchi επιμένει στην αντιμετώπιση της ποιότητας στο στάδιο του σχεδιασμού για πολύ υψηλότερη απόδοση επένδυσης.

Η δεύτερη έννοια του Taguchi πραγματεύεται τις πραγματικές μεθόδους βελτίωσης της ποιότητας των προϊόντων. Υποστήριξε ότι η ποιότητα σχετίζεται άμεσα με την απόκλιση μιας παραμέτρου σχεδιασμού από την τιμή στόχου και όχι με τη συμμόρφωση με ορισμένες σταθερές προδιαγραφές. Ένα προϊόν μπορεί να παραχθεί με ιδιότητες παραμορφωμένες προς το ένα άκρο ενός εύρους αποδοχής, αλλά να παρουσιάζουν μικρότερο προσδόκιμο ζωής. Ωστόσο, καθορίζοντας μια τιμή-στόχο για την κρίσιμη ιδιότητα και αναπτύσσοντας διαδικασίες παραγωγής για να επιτευχθεί η τιμή-στόχος με μικρή απόκλιση, το προσδόκιμο ζωής μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά.

Η τρίτη έννοια του Taguchi απαιτεί τη μέτρηση των αποκλίσεων από μια δεδομένη παράμετρο σχεδιασμού, όσον αφορά το συνολικό κόστος κύκλου ζωής του προϊόντος. Αυτές οι δαπάνες θα περιλαμβάνουν το κόστος της απόρριψης, της επανεπεξεργασίας, της

επιθεώρησης, τις επιστροφές, τις εγγυήσεις ή / και την αντικατάσταση προϊόντος. Αυτές οι δαπάνες παρέχουν καθοδήγηση σχετικά με τις κύριες παραμέτρους που πρέπει να ελέγχονται.

Ο Taguchi θεωρεί τη βελτίωση της ποιότητας ως συνεχή προσπάθεια. Επιδιώκει συνεχώς να μειώνει τις διακυμάνσεις γύρω από την τιμή-στόχο. Ένα υπό έρευνα προϊόν μπορεί να παρουσιάζει μια κατανομή που έχει μια μέση τιμή διαφορετική από την τιμή-στόχο. Το πρώτο βήμα προς τη βελτίωση της ποιότητας είναι η επίτευξη της κατανομής του πληθυσμού όσο το δυνατόν πιο κοντά στην τιμή-στόχο. Για να το πετύχει αυτό, ο Taguchi σχεδιάζει πειράματα χρησιμοποιώντας ειδικούς κατασκευασμένους πίνακες γνωστούς ως ορθογωνίες συστοιχίες (OAs). Η χρήση αυτών των πινάκων καθιστά το σχεδιασμό των πειραμάτων πολύ εύκολο.

Ένας δεύτερος στόχος της κατασκευής προϊόντων για την επίτευξη μιας ιδανικής τιμής είναι η μείωση της διακύμανσης ή της διασποράς γύρω από τον στόχο. Για να επιτύχει αυτό το στόχο, ο Taguchi ενσωματώνει έναν μοναδικό τρόπο αντιμετώπισης των παραγόντων θορύβου. Οι παράγοντες θορύβου, σύμφωνα με την ορολογία του, είναι παράγοντες που επηρεάζουν την ανταπόκριση μιας διαδικασίας, αλλά δεν μπορούν να ελεγχθούν οικονομικά. Οι παράγοντες θορύβου, όπως οι καιρικές συνθήκες, η φθορά των μηχανημάτων κ.λπ., είναι συνήθως οι κύριες πηγές που μεταβάλλουν τη διαδικασία. Μέσω της χρήσης αυτού που ονομάζει τις εξωτερικές συστοιχίες, ο Taguchi επινόησε έναν αποτελεσματικό τρόπο για να μελετήσει την επιρροή τους με τον ελάχιστο αριθμό επαναλήψεων. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένας "εύρωστος" σχεδιασμός που επηρεάζεται ελάχιστα από τον θόρυβο, δηλαδή με υψηλή τιμή σήματος προς θόρυβο (S / N).

Για να επιτύχει την επιθυμητή ποιότητα του προϊόντος από το σχεδιασμό, ο Taguchi συνιστά μια διαδικασία τριών σταδίων, ως εξής:

1. Σχεδιασμός συστήματος
2. Σχεδιασμός παραμέτρων
3. Σχεδιασμός ανοχής

Η εστίαση στη φάση του σχεδιασμού του συστήματος είναι στον καθορισμό των κατάλληλων επιπέδων εργασίας των παραγόντων σχεδιασμού. Περιλαμβάνει το σχεδιασμό και τη δοκιμή ενός συστήματος βάσει της κρίσης του μηχανικού για επιλεγμένα υλικά, εξαρτήματα και ονομαστικές παραμέτρους προϊόντος / διεργασίας που βασίζονται στην τρέχουσα τεχνολογία. Συχνά περιλαμβάνει καινοτομία και γνώση από τους εφαρμοστέους τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας.

Ενώ ο σχεδιασμός του συστήματος συμβάλλει στην ταυτοποίηση των επιπέδων εργασίας των παραγόντων σχεδιασμού, ο σχεδιασμός των παραμέτρων επιδιώκει να προσδιορίσει τα επίπεδα συντελεστών που παράγουν τις καλύτερες επιδόσεις του υπό μελέτη προϊόντος / διεργασίας. Η βέλτιστη κατάσταση επιλέγεται, έτσι ώστε η επίδραση των ανεξέλεγκτων παραγόντων (συντελεστές θορύβου) να προκαλεί ελάχιστη μεταβολή της απόδοσης του συστήματος.

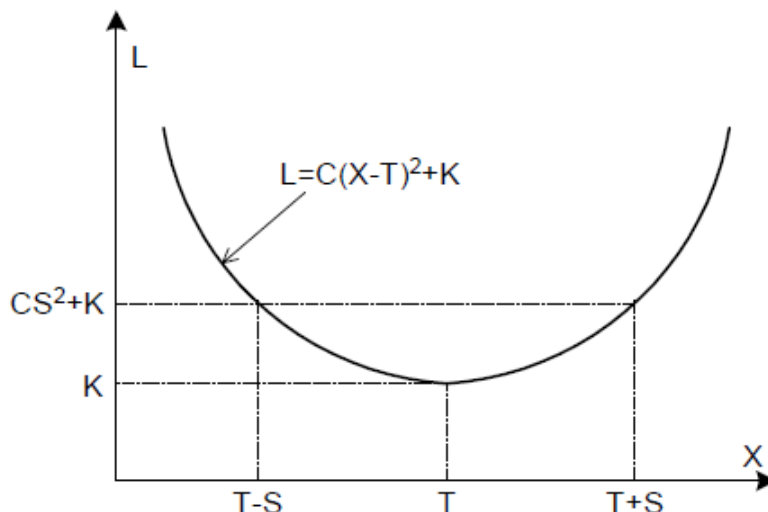
Ο σχεδιασμός ανθεκτικότητας είναι ένα βήμα που χρησιμοποιείται για την τελειοποίηση των αποτελεσμάτων του σχεδιασμού των παραμέτρων με τη σύσφιξη της ανοχής των παραγόντων με σημαντική επίδραση στο προϊόν. Αυτά τα βήματα θα οδηγήσουν κανονικά στον εντοπισμό της ανάγκης για καλύτερο υλικό, στην αγορά νεότερου εξοπλισμού, στην κατανάλωση περισσότερων χρημάτων για επιθεώρηση κ.ο.κ.

1.2.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ TAGUCHI

Η μεθοδολογία Taguchi ενδιαφέρεται και επικεντρώνεται στη βελτιστοποίηση του προϊόντος και της διαδικασίας πριν από την κατασκευή. Οι έννοιες της ποιότητας και της αξιοπιστίας οδηγούνται πίσω στο στάδιο του σχεδιασμού, όπου και ανήκουν πραγματικά. Η μέθοδος παρέχει μια αποδοτική τεχνική για να σχεδιαστούν οι δοκιμές προϊόντων πριν από την είσοδο στη φάση της κατασκευής. Εντούτοις, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως μεθοδολογία ανίχνευσης λαθών για τα προβλήματα της κατασκευής.

Σε αντίθεση με τους δυτικούς ορισμούς, ο Taguchi λειτουργεί από την άποψη της συνολικής απώλειας παρά από την άποψη της ποιότητας. Αυτό ορίζεται ως "η απώλεια που μεταδίδεται από το προϊόν στην κοινωνία από το χρόνο που το προϊόν στέλνεται στην αγορά". Αυτή η απώλεια περιλαμβάνει όχι μόνο την απώλεια στην επιχείρηση μέσω των δαπανών συντήρησης, αλλά και την απώλεια λόγου του χρόνου διακοπής εξαιτίας των αστοχιών του εξοπλισμού, των δαπανών προς τον πελάτη μέσω της κακής απόδοσης και αξιοπιστίας των προϊόντων που οδηγούν στις περαιτέρω απώλειες του κατασκευαστή. Ο Taguchi συνδέει μία απλή τετραγωνική συνάρτηση απώλειας με τις αποκλίσεις από τον στόχο.

Η συσχέτιση αυτή του κόστους και της ποιότητας γίνεται μέσω της συνάρτησης απώλειας (Loss Function), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1. Η συνάρτηση απώλειας δίνει μια οικονομική μέτρηση της μη ικανοποίησης του χρήστη με την απόδοση του προϊόντος καθώς αυτή αποκλίνει από το στόχο. Έτσι, η συνεχής προσπάθεια μείωσης της απόκλισης από το στόχο διαφόρων κρίσιμων χαρακτηριστικών είναι το κλειδί για την επίτευξη υψηλής ποιότητας και μείωσης του κόστους. Η συνάρτηση απώλειας του Taguchi είναι η πρώτη λειτουργική ένωση του κόστους της ποιότητας και της απόκλισης του προϊόντος, που επιτρέπει στους μηχανικούς σχεδιασμού να υπολογίσουν το βέλτιστο σχέδιο βασιζόμενοι στην ανάλυση κόστους και στον πειραματισμό με το σχέδιο (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1 Συνάρτηση απώλειας του Taguchi

L: απώλειες της επιχείρησης (σε χρηματικές μονάδες)

X: απόδοση ή προδιαγραφή χαρακτηριστικού προϊόντος

T: επιθυμητή τιμή χαρακτηριστικού

K: ανεκτή απώλεια επιχείρησης (σε χρηματικές μονάδες)

C: μεταβλητή κόστους

Αυτή η συνάρτηση απώλειας δείχνει ότι μια μείωση της απόκλισης από το στόχο οδηγεί σε μια μείωση στην απώλεια και μια συνεπακόλουθη αύξηση στην ποιότητα.

Με αυτήν την ιδέα, μια απώλεια θα εμφανιστεί ακόμα και όταν το προϊόν είναι μέσα στην προδιαγραφή που επιτρέπεται, αλλά είναι ελάχιστο όταν είναι το προϊόν στο στόχο. Η συνάρτηση απώλειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει τις αποφάσεις σχεδιασμού σε οικονομική βάση για να αποφασιστεί, εάν οι επιπλέον επενδύσεις στην παραγωγή θα αποδειχθούν πραγματικά σημαντικές στην αγορά.

Η μεθοδολογία Taguchi μπορεί να εφαρμοστεί off-line (εκτός γραμμής) στο σχεδιασμό ή απευθείας στην παραγωγή.

Ο Taguchi χωρίζει τον εκτός γραμμής ποιοτικό έλεγχο σε τρία στάδια:

1. Στάδιο σχεδίου συστημάτων.
2. Στάδιο του σχεδιασμού των παραμέτρων
3. Στάδιο προσδιορισμού ανοχών.

Το στάδιο σχεδιασμού των παραμέτρων είναι το κρίσιμο βήμα. Εκεί είναι που οι Ιάπωνες υπερέχουν στην επίτευξη της υψηλής επιπέδου ποιότητας χωρίς αύξηση του κόστους. Τα ονομαστικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού ή των στοιχείων διαδικασίας που επιλέγονται εξετάζονται και ο συνδυασμός επιπέδων παραμέτρου προϊόντων ή λειτουργούντων επιπέδων διαδικασίας καθορίζεται από τους πιο ελάχιστα ευαίσθητους παράγοντες στις αλλαγές, στις περιβαλλοντικές συνθήκες και άλλους ανεξέλεγκτους παράγοντες (θορύβου).

Τέλος, το σχέδιο ανοχής υιοθετείται για να μειώσει την απόκλιση περαιτέρω, αν είναι απαραίτητο, με την πιο μικρή ανοχή σε εκείνους τους παράγοντες που χρησιμοποιούνται για να ασκήσουν μεγαλύτερη επίδραση στην παραλλαγή. Αυτό είναι το στάδιο στο οποίο ξοδεύονται περισσότερα χρήματα εάν είναι απαραίτητο, αγοράζοντας τα καλύτερα υλικά ή τον καλύτερο εξοπλισμό, υπογραμμίζοντας την ιαπωνική φιλοσοφία που λέει «επενδύστε στο τέλος, μην επενδύσετε στην αρχή». Η δυνατότητα για αυτές τις μεθόδους μέσα στην παγκόσμια βιομηχανία είναι μεγάλη.

Η μεθοδολογία Taguchi είναι μια πλήρης μέθοδος διαμόρφωσης πρωτοτύπου που επιτρέπει στο μηχανικό ή το σχεδιαστή να προσδιορίσει τις βέλτιστες προδιαγραφές για να παράγει και να κατασκευάζει συνεχώς ένα καλό προϊόν που μπορεί να επιζήσει, προκειμένου να ανταποκριθεί στη λειτουργία που απαιτείται από τον πελάτη.

Υπάρχουν ίσως δύο σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του πλεονεκτήματος της μεθοδολογίας Taguchi. Αρχικά, χρησιμοποιείται κατά ένα μεγάλο μέρος από τους μηχανικούς παρά από τους στατιστικούς. Αυτό αφαιρεί το μεγαλύτερο μέρος του χάσματος επικοινωνίας και τα προβλήματα της γλώσσας που συνδέονται παραδοσιακά με πολλές στατιστικές μεθοδολογίες. Η συνέπεια αυτού είναι ότι η σημασία των μεταβλητών θορύβου που αναστατώνουν την παραγωγή πρέπει να εξεταστεί, εκτός από τις μεταβλητές ελέγχου που εισάγονται. Η βελτιστοποίηση ενός προϊόντος αντιστοιχεί όχι μόνο στο να φθάσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της στο στόχο αλλά και στην ελαχιστοποίηση της μεταβλητότητας μακριά από εκείνο τον στόχο σε μια βάση κομμάτι - ανά - κομμάτι ή χρόνο - ανά - χρόνο. Αυτό είναι η σύνδεση με το στατιστικό έλεγχο διεργασίας (SPC).

Η μέθοδος του Taguchi μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει τη διανομή ποιοτικών χαρακτηριστικών και για να προσδιορίσει τις μεταβλητές που θα στηριχθεί έλεγχος. Το SPC μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί για να κρατήσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά στο στόχο. Ουσιαστικά αυτό είναι το άλλο νέο χαρακτηριστικό γνώρισμα της μεθοδολογίας Taguchi: η χρήση της αποκαλούμενης σήματος προς θόρυβο αναλογίας για να επιλέξει τον έλεγχο που θέτει και που ελαχιστοποιεί την ευαισθησία στο θόρυβο.

1.2.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η τεχνική καθορισμού και διερεύνησης όλων των πιθανών συνθηκών σε ένα πείραμα που περιλαμβάνει πολλαπλούς παράγοντες είναι γνωστό ως σχεδιασμός πειραμάτων (DOE). Στη βιβλιογραφία, αυτή η τεχνική αναφέρεται επίσης ως παράγοντας σχεδιασμού. Ο σχεδιασμός των εννοιών των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε από το έργο του Sir Ronald A. Fisher στα τέλη της δεκαετίας του 1920. Ο Fisher σχεδίασε με επιτυχία πειράματα για να καθορίσει τις βέλτιστες μεθόδους για τη γεωργία, για να επιτύχει τη μέγιστη απόδοση.

Χρησιμοποιούνται τεχνικές, όπως τα κλασματικά (ή μερικά) παραγοντικά πειράματα για την απλοποίηση του πειράματος. Τα κλασματικά παραγοντικά πειράματα διερευνούν μόνο ένα κλάσμα όλων των πιθανών συνδυασμών. Αυτή η προσέγγιση εξοικονομεί σημαντικό χρόνο και χρήμα, αλλά απαιτεί αυστηρή μαθηματική αντιμετώπιση, τόσο στο σχεδιασμό του πειράματος όσο και στην ανάλυση των αποτελεσμάτων. Κάθε πειραματιστής μπορεί να σχεδιάσει ένα διαφορετικό σύνολο κλασματικών παραγοντικών πειραμάτων.

Έτσι, ενώ τα παραγοντικά και κλασματικά σχέδια των πειραμάτων, χρησιμοποιούνται ευρέως και αποτελεσματικά, υπόκεινται στους ακόλουθους περιορισμούς:

1. Τα πειράματα καθίστανται δύσκολα στο κόστος και στον χρόνο, όταν ο αριθμός των μεταβλητών είναι μεγάλος.
2. Δύο σχέδια για το ίδιο πείραμα μπορεί να αποφέρουν διαφορετικά αποτελέσματα.
3. Η ερμηνεία των πειραματικών αποτελεσμάτων με μεγαλύτερο αριθμό παραγόντων μπορεί να είναι δύσκολη, λόγω έλλειψης σαφών κατευθυντήριων γραμμών σχεδιασμού και ανάλυσης.

Σε αυτό το μέρος της επιστήμης του σχεδιασμού πειραμάτων, ο Genichi Taguchi πρότεινε μια καινοτόμο μέθοδο. Απλοποίησε και τυποποίησε κλασματικούς παραγοντικούς σχεδιασμούς με τέτοιο τρόπο, ώστε δύο μηχανικοί που διεξάγουν δοκιμές χιλιάδες μίλια μακριά να χρησιμοποιούν σχέδια παρόμοιου μεγέθους και να αναμένουν παρόμοια αποτελέσματα.

Πίνακας 1.1. Πίνακας με τρεις παράγοντες σε δύο επίπεδα

	A1		A2		Average	
	B1	B2	B1	B2		
C1						
C2		"cell"				
Average						

Ο Taguchi συνέβαλε στη πειθαρχία και στη δομή για το σχεδιασμό των πειραμάτων. Το αποτέλεσμα είναι μια τυποποιημένη μεθοδολογία σχεδιασμού που μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί από τους ερευνητές. Επιπλέον, σχέδια για το ίδιο πείραμα από δύο διαφορετικούς ερευνητές θα δώσουν παρόμοια δεδομένα και θα οδηγήσουν σε παρόμοια συμπεράσματα. Ο Taguchi υπερέβη τους περιορισμούς των παραγοντικών και κλασματικών πειραμάτων.

1.2.6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ - ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ TAGUCHI

Για να καταστήσει το DOE (design of experiments –σχεδιασμός πειραμάτων) ευκολότερο και πιο ελκυστικό για τους επαγγελματίες του τομέα της ιατρικής, ο Taguchi πρότεινε τα ακόλουθα ζητήματα για την εφαρμογή της τεχνικής:

1. Ορισμός της ποιότητας

Ο Taguchi ορίζει την ποιότητα από την άποψη της ελάχιστης απώλειας για την κοινωνία, η οποία μεταφράζεται σε συνέπεια της απόδοσης. Ανεξάρτητα από την εφαρμογή, είτε πρόκειται για προϊόν είτε για διαδικασία, είτε για τον τρόπο μέτρησης των αποτελεσμάτων, η συνεκτικότητα στην απόδοση θεωρείται ως πρωτεύον χαρακτηριστικό. Η συνέπεια επιτυγχάνεται όταν η απόδοση είναι κοντά στον στόχο με τις ελάχιστες παραλλαγές.

Για να βελτιώσει την ποιότητα, ο Taguchi πρότεινε μια προσέγγιση βελτιστοποίησης δύο βημάτων:

- α) Βρείτε τον συνδυασμό συντελεστή-παράγοντα που μειώνει τη μεταβλητότητα απόδοσης.
- β) Ρυθμίστε τα επίπεδα συντελεστών που φέρνουν την απόδοση πιο κοντά στον στόχο.

2. Τυποποιημένο DOE

Για το σχεδιασμό πειραμάτων, ο Taguchi χρησιμοποίησε ένα ειδικό σύνολο πινάκων, που ονομάζονται ορθογώνιες συστοιχίες (OAs), οι οποίες αντιπροσωπεύουν τους μικρότερους κλασματικούς συντελεστές και χρησιμοποιούνται για τα πιο κοινά σχέδια πειράματος.

3. Αυστηρή στρατηγική σχεδιασμού

Για να καταστούν τα προϊόντα και οι διαδικασίες μη ευαίσθητα στην επίδραση ανεξέλεγκτων (θορύβων) παραγόντων, ο Taguchi ενσωματώνει έναν επίσημο τρόπο να συμπεριλάβει τους παράγοντες θορύβου στη διάταξη του πειράματος. Αυτή η νέα δομή (που ονομάζεται σχεδιασμός εξωτερικής συστοιχίας) διευκολύνει τη χρήση πειραμάτων μικρότερου μεγέθους για να μελετήσουν τις επιδράσεις ενός μεγαλύτερου αριθμού παραγόντων θορύβου, πράγμα που οδηγεί σε μια ευνοϊκή απόδοση με το μέσο κοντά στο στόχο και τη μειωμένη διακύμανση γύρω από τον μέσο όρο.

4. Συνάρτηση απώλειας

Ο μαθηματικός τύπος που συνδέεται με την έννοια της συνάρτησης ζημιών που προτείνει ο Taguchi, επιτρέπει έναν απλό τρόπο ποσοτικοποίησης των βελτιώσεων στις μονάδες κόστους.

Οι έννοιες μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν για να εκφράσουν την προβλεπόμενη βελτίωση από τα αποτελέσματα του DOE όσον αφορά την αναμενόμενη εξοικονόμηση κόστους.

5. Ανάλυση σήματος-θορύβου (S / N)

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών πολλαπλών δειγμάτων, η χρήση των αναλογιών σήματος προς θόρυβο αντί των αποτελεσμάτων, καθιστά πολύ πιο εύκολη την

ανάλυση των αποτελεσμάτων DOE. Επιπλέον, ο λογαριθμικός μετασχηματισμός των αποτελεσμάτων σε όρους S / N διευκολύνει την πρόβλεψη βελτίωσης των επιδόσεων από την ανάλυση.

1.3 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η συνάρτηση απώλειας του Taguchi, σε συνδυασμό με μελέτες άλλων επιστημόνων, οι οποίοι πραγματοποίησαν παραλλαγές με βάση τη μέθοδο αυτή.

Στόχος της εργασίας, είναι να παρουσιαστεί η φιλοσοφία και η μέθοδος του Taguchi, μέσω υλοποίησης ενός αλγόριθμου για ML διάγραμμα. Ο σχεδιασμός γίνεται για να ελαχιστοποιηθεί ο συνολικός μέσος όρος της συνάρτησης απώλειας του Taguchi για κάθε περίπτωση εκτός ελέγχου μέσω της ρύθμισης του μεγέθους του δείγματος, του ρυθμού δειγματοληψίας και του ελέγχου των ορίων του διαγράμματος με βέλτιστο τρόπο.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, παρουσιάζεται ένα σύντομο βιογραφικό του Taguchi και ακολούθως η μέθοδος του Taguchi. Επίσης παρουσιάζεται ο σχεδιασμός πειραμάτων με τη συμβατική προσέγγιση και την προσέγγιση του Taguchi.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, παρουσιάζονται τα διαγράμματα ελέγχου μέσης τιμής από τον Duncan, ο σχεδιασμός βελτιστοποίησης πίνακα ελέγχου CUSUM και ο οικονομικός στατιστικός σχεδιασμός των διαγραμμάτων ελέγχου S. Τα τρία αυτά υπο-κεφάλαια είναι με βάση τη συνάρτηση απώλειας του Taguchi.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας υλοποιείται ο αλγόριθμος για το ML διάγραμμα. Παρουσιάζεται το μοντέλο βελτιστοποίησης και ο σχεδιασμός βελτιστοποίησης. Επίσης, προτείνεται ένα σενάριο τριών φάσεων για το στατιστικό έλεγχο της διαδικασίας (SPC) έτσι ώστε να σχεδιάζεται και να λειτουργεί το διάγραμμα ML.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα.

Επίσης, στο τέλος υπάρχουν δύο παραρτήματα στα οποία φαίνονται οι κώδικες υλοποίησης του αλγόριθμου σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΑΣ TAGUCHI

2.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΟΥ TAGUCHI ΑΠΟ ΤΟΝ DUNCAN

Περίληψη

Εμπλουτίστηκε το μοντέλο κόστους του Duncan με τη συνάρτηση απώλειας του Taguchi για να ενσωματωθούν οι απώλειες που προκύπτουν από την μεταβλητότητα λόγω των αιτιών που μπορούν να επιλυθούν. Ενώ, ο Duncan εφαρμόζει ένα κόστος για τη συνάρτηση εκτός ελέγχου, δεν δείχνει πώς μπορεί να ληφθεί ή να ποσοτικοποιηθεί αυτό το κόστος. Αναλύεται και αξιολογείται αυτό το μοντέλο χρησιμοποιώντας υποθετικά στοιχεία κόστους και παραμέτρους διεργασίας. Προτείνουμε, επίσης προσαρμογές για τον έλεγχο των παραμέτρων σχεδιασμού διαγράμματος όταν υπάρχουν βελτιώσεις της διαδικασίας με την πάροδο του χρόνου.

Ιστορικό

Ο σχεδιασμός του διαγράμματος Shewchart \bar{X} περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του μεγέθους δείγματος (n), της συχνότητας ή του χρόνου μεταξύ της δειγματοληψίας (h) και του πολλαπλασιαστή που καθορίζει την εξάπλωση των ορίων ελέγχου από την κεντρική γραμμή (K). Στην πράξη, τα διαγράμματα Shewchart \bar{X} έχουν ένα λογικό μέγεθος υποομάδας για το n , συνήθως περίπου 4 ή 5. Το διάστημα δειγματοληψίας επιλέγεται γενικά με βάση το ρυθμό παραγωγής και την εξοικείωση με τη διαδικασία.

Το μέγεθος της υποομάδας είναι κανονικά μικρό, επειδή τα μεγαλύτερα μεγέθη δειγμάτων αυξάνουν τον κίνδυνο των μεταβολών της διαδικασίας ή των εκχωρούμενων αιτιών που εμφανίζονται κατά τη λήψη του δείγματος. Ένα τέτοιο περιστατικό είναι ανεπιθύμητο, αφού αυτό θα φιλτράρει τη μετατόπιση στην στατιστική που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και επίσης θα υπερβάλλει την αντιληπτή διακύμανση της διαδικασίας. Η μείωση της ισχύος του στατιστικού τεστ, που προκύπτει από το μικρό μέγεθος του δείγματος, αντισταθμίζεται με τη λήψη συχνότερων δειγμάτων. Τα όρια $\pm 3\sigma_x$ έχουν βρεθεί ότι παρέχουν στην πράξη ένα αποδεκτό επίπεδο κινδύνου ψευδών συναγερμών.

Το πρόβλημα με την κοινώς χρησιμοποιούμενη "ορθολογική" προσέγγιση για τον έλεγχο του σχεδιασμού του διαγράμματος είναι ότι χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις διαδικασίες, ως η τυπική διαδικασία για την εφαρμογή διαγραμμάτων ελέγχου, ανεξάρτητα από τις συνέπειες κόστους του σχεδιασμού. Προκειμένου να ξεπεραστεί αυτό το κενό, ορισμένοι ερευνητές πρότειναν οικονομικά μοντέλα για το σχεδιασμό διαγραμμάτων ελέγχου. Οι Ho και Case (1994) παρέχουν ανασκόπηση της βιβλιογραφίας των μοντέλων αυτών για την περίοδο 1981-1991. Οι περισσότερες από αυτές τις έρευνες επικεντρώθηκαν στο σχεδιασμό των διαγραμμάτων. Παρόλο που τα μοντέλα αυτά δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως, η αξία τους είναι προφανής. Ένας από τους λόγους που τα οικονομικά μοντέλα δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, είναι επειδή τα μοντέλα είναι αρκετά περίπλοκα και είναι δύσκολο να αξιολογηθούν και να βελτιστοποιηθούν. Επίσης, αυτά τα μοντέλα βελτιστοποιούνται συνήθως για ένα συγκεκριμένο μέγεθος μετατόπισης, συχνότητας εκτός ελέγχου και κόστους διάγνωσης. Στην πράξη, ωστόσο, η μέση περίοδος που η διαδικασία παραμένει σε έλεγχο δεν είναι σταθερή, το μέγεθος της μετατόπισης της διαδικασίας δεν είναι σταθερό και το κόστος της

διάγνωσης αλλάζει με το χρόνο. Στην πραγματικότητα, με την παραδοχή της συνεχούς βελτίωσης, αναμένουμε ότι η συχνότητα των καταστάσεων εκτός ελέγχου, το μέγεθος της μετατόπισης και το κόστος της διάγνωσης θα μειωθούν με την πάροδο του χρόνου. Εξάλλου, αυτός είναι ένας από τους σκοπούς του ελέγχου των στατιστικών διαδικασιών (SPC). Προκειμένου να αντιμετωπιστούν ορισμένες από αυτές τις ανησυχίες, επιχειρούμε να καθορίσουμε την κατεύθυνση αλλαγής των παραμέτρων σχεδιασμού του πίνακα ελέγχου, όταν η συχνότητα και το μέγεθος της διαδικασίας μετατοπίζονται και το κόστος της διάγνωσης αλλάζει. Με αυτές τις πληροφορίες, ο επαγγελματίας μπορεί να προσαρμόσει τις παραμέτρους "βελτιστοποιημένου" σχεδιασμού με την πάροδο του χρόνου.

Κατάργηση του υποδείγματος κόστους του Duncan με τη συνάρτηση του Taguchi

Το μοντέλο του Duncan (1956) ελέγχει μια κατάσταση εκτός ελέγχου. Η έρευνα επιβεβαίωσε ότι τα πολλαπλά προσδιορίσιμα μοντέλα αιτίας μπορούν να προσεγγιστούν με ένα κατάλληλα επιλεγμένο μοντέλο μονής αιτίας.

Ως εκ τούτου, υποθέτουμε ότι παρακολουθούμε τη διαδικασία για να ανιχνεύσουμε την εμφάνιση μιας μοναδικής αιτίας που μπορεί να επιλυθεί και προκαλεί μια σταθερή μετατόπιση στη διαδικασία. Ο Duncan ορίζει την παρακολούθηση και το σχετικό κόστος κατά τη διάρκεια ενός κύκλου.

Τα στοιχεία του κύκλου είναι τα εξής:

- (1) Η κατάσταση ελέγχου. (Η διαδικασία ξεκινά σε αυτή την κατάσταση.)
- (2) Η κατάσταση εκτός ελέγχου. (Η διαδικασία πηγαίνει σε μια κατάσταση εκτός ελέγχου, από μια κατάσταση ελέγχου που υποτίθεται ότι είναι μια διαδικασία Poisson με 2 συμβάντα ανά ώρα).
- (3) Ανίχνευση της κατάστασης εκτός ελέγχου.
- (4) Η εκχωρούμενη αιτία ανιχνεύεται και σταθεροποιείται.

Ο Duncan υποθέτει επίσης ότι η διαδικασία δεν έχει σταματήσει κατά τη διερεύνηση της ύπαρξης μιας εκχωρούμενης αιτίας.

Ο αναμενόμενος χρόνος κύκλου (E (T)) με την υπόθεση του Duncan είναι:

$$\frac{1}{\lambda} + \frac{h}{1-\beta} - \tau + gN + D \quad (1)$$

Όπου:

h = χρόνος μεταξύ δειγμάτων

(1- β) = πιθανότητα ανίχνευσης μιας μετατόπισης

τ = επισημαίνει το χρόνο που έχει παρέλθει εντός ενός διαστήματος δειγματοληψίας όταν η διαδικασία εξέρχεται από τον έλεγχο

g = χρόνος δειγματοληψίας / μονάδα

N = μέγεθος δείγματος

D = χρόνος που απαιτείται για την ανίχνευση και τον καθορισμό μιας αιτίας που μπορεί να επιλυθεί.

Το αναμενόμενο κόστος ανά κύκλο είναι:

$$\frac{(\alpha_1 + \alpha_2 N)E(T)}{H} + \alpha_3 + \frac{\alpha_3 \alpha \exp(-\lambda H)}{1 - \exp(-\lambda H)} + \alpha_4 \left(\frac{H}{1-\beta} - \tau + gN + D \right) \quad (2)$$

Όπου:

α₁ = σταθερό κόστος δειγματοληψίας

α₂ = μεταβλητό κόστος δειγματοληψίας

α_3 = κόστος εξεύρεσης και καθορισμού αιτίας προς επίλυση
 α_3 = κόστος ενός ψεύτικου συναγερμού
 $\rho\alpha_4$ = κόστος ποινής για τη λειτουργία σε κατάσταση εκτός ελέγχου
 α = πιθανότητα ψευδούς συναγερμού (σφάλμα τύπου I).

Η συνάρτηση απώλειας Taguchi για ένα προϊόν ορίζεται παρακάτω:

Εξετάζεται ένα προϊόν με δύο ανοχές ίσης αξίας (Δ). Εάν το κόστος για την κοινωνία και την κατασκευή ενός προϊόντος εκτός προδιαγραφών είναι A \$/προϊόν, τότε η συνάρτηση απώλειας Taguchi ορίζει την αναμενόμενη απώλεια για την κοινωνία που προκαλείται από τη χρήση μιας συγκεκριμένης διαδικασίας για την παραγωγή του προϊόντος ως:

$$\text{Αναμενόμενο κόστος/προϊόν} = \frac{A}{\Delta^2} v^2 \quad (3)$$

Όπου: v^2 = μέση τετραγωνική απόκλιση της διαδικασίας.

$$\text{Μπορεί εύκολα να φανεί ότι } v^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2 \quad (4)$$

Όπου:

σ^2 = διακύμανση διεργασίας

μ = μέση διαδικασία

T = στόχος διεργασίας.

Υποθέτουμε, ότι όταν η διαδικασία είναι σε έλεγχο, οι μέσες τιμές είναι κεντραρισμένες στο στόχο και το $v^2 = v_1^2 = \sigma^2$. Υποθέτουμε επίσης, ότι όταν η διαδικασία μετατοπίζεται, η μέση μετατόπιση από το στόχο είναι $v^2 = v_2^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2$. (Δεδομένου ότι εξετάζουμε απλώς διαγράμματα \bar{X} , η εξέταση των μέσων μετατοπίσεων είναι επαρκής.)

Χρησιμοποιώντας τον ορισμό της απώλειας, μπορούμε εύκολα να εμπλουτίσουμε το μοντέλο του Duncan, ώστε να εξετάσει τις απώλειες λόγω της μεταβλητότητας εντός και εκτός ελέγχου. Σημειώνοντας ότι, η αναμενόμενη περίοδος ελέγχου είναι $(1/\lambda)$ και η αναμενόμενη περίοδος εκτός ελέγχου είναι $[\frac{H}{1-\beta} - \tau + gN + D]$

και αν υποθεθεί ότι ο ρυθμός παραγωγής είναι μονάδες P προϊόν/ώρα, το κόστος ανά κύκλο (c), χρησιμοποιώντας το εμπλουτισμένο μοντέλο φαίνεται παρακάτω:

$$c = (\alpha_1 + \alpha_2 N) \frac{E(T)}{H} + \alpha_3 + \frac{\alpha_3 a \exp(-\lambda H)}{1 - \exp(-\lambda H)} + \frac{A v_1^2 P}{\Delta^2} \lambda + \frac{A v_2^2 P}{\Delta^2} \left[\frac{H}{1-\beta} - \tau + gN + D \right] \quad (5)$$

Διαιρώντας τη (5) με $E(T)$ και εφαρμόζοντας τις ακόλουθες προσεγγίσεις και ορισμούς στη (5):

$$\tau \approx \frac{H}{2} - \frac{\lambda H^2}{12} \quad (6)$$

$$B = \left[\frac{1}{(1-\beta)} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda H}{12} \right] H + D + gN \quad (7)$$

$$\frac{a \exp(-\lambda H)}{(1 - \exp(-\lambda H))} \approx \frac{\alpha}{\lambda H} \quad (8)$$

$$L_1 = \frac{A}{\Delta^2} v_1^2 \quad (9)$$

$$L_2 = \frac{A}{\Delta^2} v_2^2 \quad (10)$$

Λαμβάνουμε το αναμενόμενο κόστος ανά ώρα ως:

$$E(c) = \frac{a_1 + a_2 N}{H} + \frac{\lambda \alpha_3 + \frac{\alpha_3 \alpha}{H} + L_1 P + L_2 P \lambda B}{1 + \lambda B} \quad (11)$$

Οι βέλτιστες τιμές για N, H και K μπορούν να επιτευχθούν με την ελαχιστοποίηση της παραπάνω συνάρτησης κόστους.

Εφαρμογή του διακοσμημένου μοντέλου σε υποθετικό παράδειγμα

Ένας κατασκευαστής παράγει ένα προϊόν το οποίο έχει προδιαγραφή μήκους 2,5 ιντσών με ανοχή $\pm 0,003$ ίντσες. Από τις προηγούμενες δοκιμές η τυπική απόκλιση της μεθόδου εκτιμήθηκε ως 0,001. Η διαδικασία χρειάστηκε κατά μέσο όρο δέκα προσαρμογές κατά τη διάρκεια 40 ωρών του χρόνου παραγωγής. Ως εκ τούτου, ο μέσος όρος του χρόνου μεταξύ των αιτιών που μπορούν να εισέλθουν στο σύστημα υπολογίζεται ότι είναι 4 ώρες.

Βάσει ανάλυσης των μισθών του τεχνικού και του ποιοτικού ελέγχου καθορίζεται ότι το σταθερό κόστος δειγματοληψίας ανά υποομάδα είναι \$1. Ενώ, το μεταβλητό κόστος είναι \$0,10 ανά προϊόν με ένα δείγμα.

Ο μέσος χρόνος για να διερευνηθεί ένας ψευδής συναγερμός ή να βρεθεί και να εξαλειφθεί μια αιτία που μπορεί να επιλυθεί εκτιμάται ότι είναι δύο ώρες με κόστος \$ 25 / ώρα. Η διαδικασία θεωρείται ότι συνεχίζει να παράγει εξαρτήματα με ρυθμό 100 / h κατά την έρευνα και την εξάλειψη των σημάτων εκτός ελέγχου.

Το κόστος επαναφοράς ή κατάργησης ενός προϊόντος που βρίσκεται έξω από τα όρια προδιαγραφών είναι \$ 5, ενώ η μετατόπιση του μέσου όρου της διαδικασίας που πρέπει να ανιχνευθεί είναι 0,001 ίντσες. Από τις παραπάνω πληροφορίες συμπεραίνουμε τις ακόλουθες πληροφορίες σχετικά με το μοντέλο μας:

Πίνακας 2.2. Αποτελέσματα αναζήτησης για τις βέλτιστες παραμέτρους

$\alpha_1 = \$1$	$\alpha_2 = \$0.10 \quad D=2$
$\alpha_3 = \$50$	$\alpha_3^1 = \$50$
$P=100$ προϊόντα / ώρα	$v_1^2 = (0.001)^2$
$A = \$5/\text{προϊόν}$	$\Delta = 0.003$
$\frac{1}{\lambda} = 4h$	$g = 0.01h$
$\delta = (u-T) = 0.001$	$v_2^2 = \sigma^2 + \delta^2 = (0.001)^2 + (0.001)^2 = 0.000002$

Ο Πίνακας 2.2 παραθέτει τα αποτελέσματα μιας αναζήτησης υπολογιστών για τις βέλτιστες παραμέτρους σχεδιασμού. Για αυτές τις συνθήκες οι βέλτιστες παράμετροι φαίνεται να είναι $N^* = 13$, $K^* = 2.5$, και $H^* = 1$ με κόστος \$ 88.48 / h. Οι πιο συνηθισμένες τιμές που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία των ΗΠΑ είναι $N = 5$, $K = 3$ και $H = 0.5$, με αποτέλεσμα το κόστος των \$ 92.88 / h ή μια ποινή \$ 4.40 / h.

Το πρόγραμμα υπολογιστή που χρησιμοποιείται για την αναζήτηση ενός βέλτιστου υπολογισμού υπολογίζει το βέλτιστο πλάτος ορίου ελέγχου K και τη συχνότητα δειγματοληψίας h για πολλές τιμές h και εμφανίζει την τιμή της συνάρτησης κόστους με τον σχετικό κίνδυνο και ισχύ A όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2. Αυτή είναι η ίδια προσέγγιση που χρησιμοποιείται από τους Montgomery και Jaraiedi και Zhuang.

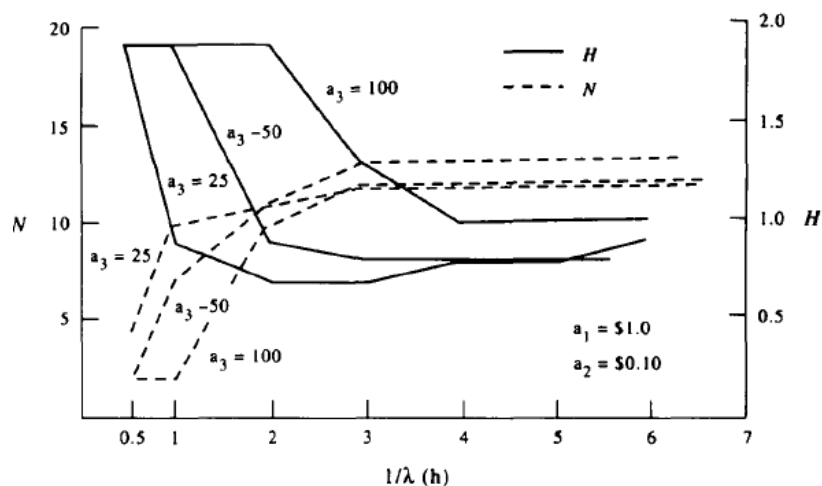
Στον Πίνακα 3.2 πιο κάτω παρουσιάζονται:

n: μέγεθος υποομάδας, K: συντελεστή για τον καθορισμό των ορίων ελέγχου, h: διάστημα δειγματοληψίας (h)

Πίνακας 3.2. Μεταβλητές και επιλογή παραμέτρων για το διάγραμμα \bar{X}

n	K	h	A	Power (1-β)	Cost
2	1.8	0.7	0.07	0.35	93.07
3	1.9	0.7	0.06	0.43	91.64
4	2.1	0.7	0.04	0.46	90.69
5	2.1	0.8	0.04	0.55	90.02
6	2.2	0.8	0.03	0.60	89.54
7	2.2	0.8	0.03	0.67	89.20
8	2.2	0.9	0.03	0.74	89.95
9	2.3	0.9	0.02	0.76	88.76
10	2.4	0.9	0.02	0.78	88.64
11	2.4	1.0	0.02	0.82	88.55
12	2.4	1.0	0.02	0.86	88.50
13	2.5	1.0	0.01	0.87	88.48
14	2.5	1.1	0.01	0.89	88.49
15	2.6	1.1	0.01	0.90	88.50

Συνάρτηση απώλειας του Taguchi:



Σχήμα 2.2 Μέγεθος δείγματος (n) και διάστημα δειγματοληψίας (h)

Οι καμπύλες στο Σχήμα 2.2 δείχνουν ότι όταν η συχνότητα των μετατοπίσεων της διαδικασίας μειώνεται ή το μέσο χρονικό διάστημα μεταξύ μετατοπίσεων διεργασίας αυξάνει, το μέγεθος του δείγματος (n) αυξάνεται και το διάστημα δειγματοληψίας (h) μειώνεται σε τιμή σταθερής κατάστασης. Ωστόσο, αυτό μπορεί να εξηγηθεί όταν παρατηρούμε το ποσοστό σύγκλισης στις τιμές σταθερής κατάστασης των παραμέτρων σχεδιασμού. Ο ρυθμός σύγκλισης προς τις τιμές σταθερής κατάστασης εξαρτάται από το κόστος αναζήτησης για μια αιτία (a_3) προς επίλυση, δηλαδή όσο υψηλότερο είναι αυτό, τόσο πιο αργός είναι ο ρυθμός σύγκλισης. Αυτό σημαίνει, ότι αν υπάρχει υψηλό κόστος που σχετίζεται με τη διερεύνηση σημάτων εκτός ελέγχου, εξαιτίας του υψηλού κόστους αναζήτησης και της συχνότητας εμφάνισης, τότε οι παράμετροι σχεδιασμού του πίνακα ελέγχου ρυθμίζονται έτσι ώστε να διατηρείται αυτό το κόστος χαμηλό. Αυτό συμβαίνει όταν το n διατηρείται χαμηλό και το h είναι υψηλό,

μειώνεται το $(1 - \beta)$ και το $h / (1 - \beta)$ και ο χρόνος που απαιτείται για την ανίχνευση μιας κατάστασης εκτός ελέγχου αυξάνεται. Ως εκ τούτου, μειώνεται ο αριθμός των καταστάσεων εκτός ελέγχου που εντοπίζονται και διερευνώνται ανά μονάδα χρόνου.

Συμπεράσματα

Στο παρόν άρθρο έχει συνδυαστεί το μοντέλο κόστους του Duncan με τη συνάρτηση απώλειας Taguchi. Αυτός ο συνδυασμός παρέχει ένα πλαίσιο για τη χρήση της συνάρτησης απώλειας Taguchi, η οποία καθορίζει τις απώλειες λόγω της μεταβλητότητας που προκαλούνται, τόσο από τυχαίες όσο και από τις αιτίες προς επίλυση που μπορούν να ληφθούν, για τον οικονομικό σχεδιασμό των διαγραμμάτων ελέγχου. Οι παράμετροι (n και h) πρέπει να προσαρμοστούν με βάση το μέγεθος της μετατόπισης διαδικασίας που ερευνάται. Οι μικρές μετατοπίσεις απαιτούν μεγαλύτερες τιμές n και h , ενώ για μεγάλες βάρδιες παραγωγής συνιστώνται μικρές n και h .

2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ CUSUM ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΟΥ TAGUCHI

Περίληψη

Τα διαγράμματα CUSUM έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στον έλεγχο στατιστικών διεργασιών (SPC) σε όλους τους κλάδους για την παρακολούθηση των μεταβολών των διαδικασιών. Αυτό το άρθρο προτείνει έναν αλγόριθμο για τον βέλτιστο σχεδιασμό μιας διαδικασίας ανίχνευσης διαγράμματος ελέγχου CUSUM που μετατοπίζεται στη μέση τιμή. Ο αλγόριθμος βελτιστοποιεί το μέγεθος του δείγματος, το διάστημα δειγματοληψίας, το όριο ελέγχου και την παράμετρο αναφοράς του διαγράμματος CUSUM, ελαχιστοποιώντας τη συνολική μέση τιμή της συνάρτησης απώλειας του Taguchi σε σχέση με την κατανομή πιθανότητας της μέσης μετατόπισης της τυχαίας διαδικασίας.

Εισαγωγή

Η βελτιστοποίηση των διαγραμμάτων ελέγχου για τον έλεγχο των στατιστικών διεργασιών (SPC) έχει στραφεί προς δύο κατευθύνσεις, και συγκεκριμένα στον στατιστικό σχεδιασμό και στον οικονομικό σχεδιασμό. Ο στατιστικός σχεδιασμός ελαχιστοποιεί τον μέσο χρόνο εκτός ελέγχου (ATS) σε μία ή σε λίγες καταστάσεις εκτός ελέγχου.

Τα διαγράμματα ελέγχου CUSUM αναγνωρίζονται ολοένα και περισσότερο σε όλους τους κλάδους για την παρακολούθηση των μετατοπίσεων διαδικασιών, λόγω του γεγονότος ότι τα ηλεκτρονικά συστήματα μέτρησης και κατανεμημένων υπολογιστών καθίστανται ως ο κανόνας στις σημερινές εφαρμογές SPC. Η απόδοση ενός διαγράμματος CUSUM είναι συνήθως πιο ικανοποιητική από ένα διάγραμμα Shewhart \bar{X} από στατιστική ή οικονομική άποψη, ειδικά στην περίπτωση μικρών ή μέτριων μετατοπίσεων.

Αυτό το άρθρο προτείνει ένα διάγραμμα CUSUM (που ονομάζεται διάγραμμα ML-CUSUM) που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της μέσης τιμής ML, βελτιστοποιώντας το μέγεθος του δείγματος n , το διάστημα δειγματοληψίας h , το όριο ελέγχου H και την παράμετρο αναφοράς k πάνω από την κατανομή πιθανότητας της μέσης μετατόπισης δ_μ . Η μέση μετατόπιση είναι μια τυχαία μεταβλητή και παρουσιάζει διαφορετικές κατανομές πιθανότητας για διαφορετικές διεργασίες. Ο παραδοσιακός στατιστικός ή οικονομικός σχεδιασμός θεωρεί μόνο μία ή λίγες τιμές των μεταβολών της διαδικασίας δ_μ και αυτές οι τιμές δ_μ είναι πιθανό να αποφασιστούν υποκειμενικά. Κατά συνέπεια, η διαδικασία σχεδιασμού ενδέχεται να είναι ανεπαρκής, και να μην αντικατοπτρίζει τις πραγματικές συνθήκες εργασίας. Με άλλα λόγια, το διάγραμμα ελέγχου που προκύπτει μπορεί να επιτύχει βέλτιστη απόδοση για τη συγκεκριμένη τιμή ή τις τιμές δ_μ , αλλά μπορεί να λειτουργήσει ανεπαρκώς για άλλες τιμές δ_μ . Στην πραγματικότητα, τα δεδομένα του δ_μ μπορούν να συλλέγονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας πεδίου του διαγράμματος ελέγχου.

Επομένως, αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό του διαγράμματος ML-CUSUM και έτσι η απόδοση του διαγράμματος ML-CUSUM μπορεί να βελτιωθεί σε ολόκληρη τη διανομή δ_μ .

Αυτή η μελέτη υποθέτει ότι το χαρακτηριστικό ποιότητας x κατανέμεται κανονικά με γνωστό μέσο όρο μ_0 και τυπική απόκλιση σ_0 . Όταν συμβαίνει μια μέση μετατόπιση, η μέση διαδικασία μ θα αλλάξει αναλόγως, δηλαδή, $\mu = \mu_0 + \delta_\mu \sigma_0$, όπου δ_μ δηλώνει τη μέση μετατόπιση σε όρους σ_0 . Όταν η διαδικασία ελέγχεται, αποδίδει $\delta_\mu = 0$. Για λόγους απλότητας,

η μετατόπιση της τυπικής απόκλισης δεν λαμβάνεται υποχρεωτικά υπόψη σε αυτή την έρευνα (δηλ. $\sigma \equiv \sigma_0$).

2.2.1 Σχεδιασμός Βελτιστοποίησης

Προδιαγραφές

Για να σχεδιάσετε ένα διάγραμμα ML-CUSUM, μόνο οι ακόλουθες παράμετροι πρέπει να καθορίζονται από τους μηχανικούς:

τ : ελάχιστο επιτρεπτό ATS_0 σε έλεγχο για μονοδιάστατο διάγραμμα ML-CUSUM.

R: μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό επιθεώρησης.

d_1, d_2, \dots, d_m : τιμές δείγματος του δ_μ , ή d_m

μ_{δ_μ} : μέση τιμή δ_μ .

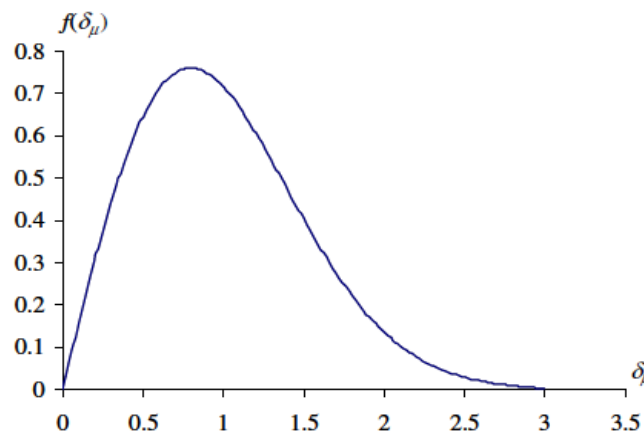
Η τιμή του τ καθορίζεται βάσει της αντιστάθμισης μεταξύ του ποσοστού ψευδούς συναγερμού και της ισχύος ανίχνευσης. Η τιμή του R εξαρτάται από τους διαθέσιμους πόρους (χειριστές και όργανο μέτρησης). Οι τιμές m δείγματος d_i ($i = 1, 2, \dots, m$) του δ_μ λαμβάνονται από τις παρατηρήσεις σε περιπτώσεις μη ελέγχων μέσω ενός σεναρίου τριών φάσεων SPC. Και το μ_{δ_μ} μπορεί να εκτιμηθεί από τις διακριτές τιμές m ως εξής:

$$\mu_{\delta_\mu} \approx \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{m} \quad (1)$$

Η μέση τιμή μ_{δ_μ} του δ_μ απαιτείται μόνο όταν είναι προτιμότερο να προσεγγισθεί η κατανομή πιθανότητας δ_μ χρησιμοποιώντας μια κατανομή Rayleigh. Αυτή η κατανομή πιθανότητας χρησιμοποιείται συχνά για να μοντελοποιήσει την απόκλιση από έναν στόχο. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Rayleigh δίνεται από:

$$f_{\delta_\mu}(\delta_\mu) = \frac{\pi \delta_\mu}{2\mu_{\delta_\mu}^2} \exp\left(-\frac{\pi \delta_\mu^2}{4\mu_{\delta_\mu}^2}\right) \quad (2)$$

που χαρακτηρίζεται από μία μόνο παράμετρο - τη μέση τιμή μ_{δ_μ} του δ_μ . Το Σχήμα 3.2 απεικονίζει τη συνάρτηση πυκνότητας μιας κατανομής Rayleigh με μ_{δ_μ} ίσο με ένα.



Σχήμα 3.2. Κατανομή Rayleigh

2.2.2 Μοντέλο Βελτιστοποίησης

Ο αλγόριθμος σχεδιασμού του διαγράμματος ML-CUSUM περιγράφεται στο ακόλουθο μοντέλο βελτιστοποίησης:

Αντικειμενική συνάρτηση: ML=minimum

Περιορισμοί: $ATS_0 \geq \tau$

$r \leq R$

Μεταβλητές: n, h, k, H, w

όπου: r είναι το πραγματικό (ή προκύπτων) ποσοστό επιθεώρησης.

Αυτό το μοντέλο βελτιστοποίησης, βελτιστοποιεί τα n , h , k , H και w προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η ML-η συνολική μέση τιμή της συνάρτησης απώλειας ανά περίπτωση εκτός ελέγχου ως προς την κατανομή πιθανότητας της τυχαίας μέσης μετατόπισης δ_μ -υπό την προϋπόθεση ότι οι περιορισμοί για ATS_0 και r είναι όλοι ικανοποιημένοι. Η ελαχιστοποίηση του ML θα μειώσει την απώλεια ποιότητας (ή το κόστος ή τη ζημιά) που προκαλείται στις περιπτώσεις εκτός ελέγχου. Η αντικειμενική συνάρτηση ML μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την πιο κάτω εξίσωση:

$$ML = \int_0^\infty [gATS(\delta_\mu)L(\delta_\mu)f_{\delta_\mu}(\delta_\mu)] d\delta_\mu \quad (3)$$

Όπου, $ATS(\delta_\mu)$ και $L(\delta_\mu)$ είναι τα αντίστοιχα ATS εκτός ελέγχου και οι αναμενόμενες τιμές της συνάρτησης απώλειας για μια δεδομένη τιμή της μέσης μετατόπισης δ_μ . Η μεταβλητή g είναι ο αριθμός των προϊόντων που κατασκευάζονται ανά μονάδα χρόνου. Η μεταβλητή g και ATS υποδεικνύουν τον μέσο αριθμό μονάδων που παράγονται ανά περίπτωση εκτός ελέγχου. Είναι γνωστό ότι μια μικρή μέση μετατόπιση δ_μ μπορεί να συνεισφέρει σημαντική ποσότητα στο ML, επειδή το μικρό δ_μ παράγει ένα μεγάλο ATS. Από την άλλη πλευρά, ένα μεγάλο δ_μ μπορεί επίσης να αυξήσει σημαντικά την τιμή του ML, επειδή το μεγάλο δ_μ κάνει την αναμενόμενη απώλεια $L(\delta_\mu)$ μεγάλη. Η συνάρτηση απώλειας λαμβάνει υπόψη, όχι μόνο το χρόνο που θα σηματοδοτήσει αλλά και το ποσό της ζημιάς που προκύπτει λόγω των μετατοπίσεων της διαδικασίας. Επιπλέον, η ολοκλήρωση στην εξίσωση θεωρεί διάφορες μέσες μετατοπίσεις με διαφορετικά μεγέθη και πιθανότητες. Συνεπώς, το ML είναι ένα πιο ολοκληρωμένο μέτρο της χαρτογράφησης απόδοσης από το ATS. Το τελευταίο λαμβάνει υπόψη μόνο το χρόνο για να σηματοδοτήσει μια συγκεκριμένη τιμή δ_μ . Από αυτή την άποψη, η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να ξαναγραφεί (θεωρώντας $T = \mu_0$):

$$ML = k_c g \int_0^\infty [ATS(\delta_\mu)(\sigma^2 + \delta_\mu^2 \sigma_0^2) f_{\delta_\mu}(\delta_\mu)] d\delta_\mu \quad (4)$$

Δεδομένου ότι το k_c και g είναι μια σταθερά και δεν επηρεάζει τις βέλτιστες τιμές n , h , k , H και w , ένα τυποποιημένο ML που υποθέτει $k_c g = 1$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απλότητα στην επόμενη συζήτηση.

Η κατανομή πιθανότητας δ_μ στην εξίσωση μπορεί να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας μία από τις ακόλουθες δύο προσεγγίσεις.

- (1) Η μη παραμετρική προσέγγιση: Οι τιμές δείγματος (d_1, d_2, \dots, d_m) του δ_μ χρησιμοποιούνται απευθείας χωρίς να προσαρμόζονται σε μια θεωρητική κατανομή πιθανότητας. Η έκφραση του ML γράφεται (με $k_c g = 1$) ως εξής:

$$ML = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [ATS(d_i)(\sigma^2 + d_i^2 \sigma_0^2)] \quad (5)$$

όπου το $ATS(d_i)$ είναι ο μέσος χρόνος σήματος όταν το δ_μ είναι ίσο με d_i .

- (2) Η παραμετρική προσέγγιση: Οι τιμές του δείγματος d_1, d_2, \dots, d_m προσαρμόζονται αρχικά σε μια θεωρητική κατανομή πιθανότητας (π.χ. η κατανομή Rayleigh).

Όταν χρησιμοποιείται, είτε η παραμετρική είτε η μη παραμετρική προσέγγιση, η ακρίβεια του υπολογιζόμενου ML εξαρτάται από τον αριθμό m των τιμών δείγματος των μέσων μετατοπίσεων δ_μ . Μια δοκιμή προσομοίωσης δείχνει ότι μια τιμή m μεγαλύτερη από 10 συνήθως παράγει καλά αποτελέσματα. Η μη παραμετρική προσέγγιση είναι επωφελής κατά το ότι δεν απαιτείται επιπλέον σφάλμα λόγω της επιλογής μιας θεωρητικής κατανομής.

Μεταξύ των πέντε μεταβλητών σχεδιασμού n , h , k , H και w , μόνο το μέγεθος δείγματος n , η παράμετρος αναφοράς k και η εκθετική w της μέσης μετατόπισης του δείγματος είναι ανεξάρτητες. Το διάστημα δειγματοληψίας h εξαρτάται από n , δηλαδή, $h=n/R$.

Η εξίσωση διασφαλίζει ότι ικανοποιείται ο περιορισμός του ρυθμού επιθεώρησης r και ο διαθέσιμος πόρος χρησιμοποιείται πλήρως. Όταν δίνεται ο ρυθμός ελέγχου R , ένας βέλτιστος συνδυασμός n και h θα έχει ως αποτέλεσμα την ελάχιστη τιμή του ML και το όριο ελέγχου H καθορίζεται, έτσι ώστε το προκύπτων ATS_0 κατά τον έλεγχο να είναι ίσο ή πολύ κοντά στο τ . Ολόκληρος ο σχεδιασμός βελτιστοποίησης υλοποιείται ως μια αναζήτηση τριών επιπέδων, στην οποία αναζητούνται οι βέλτιστες τιμές των εξαρτημένων μεταβλητών n , w και k , το καθένα μέσω μίας μόνο μεταβλητής αναζήτησης. Ο αλγόριθμος σχεδίασης τριών επιπέδων περιγράφεται ως εξής:

1. Καθορίστε τ , R , και (d_1, d_2, \dots, d_m) ή $\mu_{\delta\mu}$.
2. Αρχικοποίηση του ML_{\min} ως πολύ μεγαλύτερο αριθμό, για παράδειγμα 10^7 (Το ML_{\min} χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της ελάχιστης τιμής ML).
3. Στο πρώτο επίπεδο, αναζητήστε n από το ένα στο πρώτο βήμα έως ότου η ML δεν μπορεί να μειωθεί περαιτέρω. Για μια δεδομένη τιμή του n , υπολογίστε το h χρησιμοποιώντας την εξίσωση.
4. Στο δεύτερο επίπεδο, η βέλτιστη τιμή του w αναζητείται στην περιοχή $1 \leq w \leq 2$
5. Στο τρίτο επίπεδο αναζητείται η βέλτιστη τιμή k ($0 \leq k \leq \infty$). Για ένα δεδομένο σύνολο τιμών (n, h, w, k) , το όριο ελέγχου H ρυθμίζεται έτσι ώστε το ATS_0 ελέγχου να είναι ίσο(ή πολύ κοντά) με την προδιαγραφή τ , που σημαίνει αύξηση του H εάν $ATS_0 < \tau$ ή μείωση H εάν $ATS_0 > \tau$ μέχρι η διαφορά μεταξύ ARL_0 και τ να είναι μικρότερη από μια προκαθορισμένη ανοχή.
6. Όταν οι τιμές και των πέντε παραμέτρων n , h , w , k και H προσδιοριστούν προκαταρκτικά, η αντικειμενική συνάρτηση ML υπολογίζεται από την εξίσωση για μια μη παραμετρική προσέγγιση ή με την εξίσωση για μια παραμετρική προσέγγιση.
7. Εάν το υπολογιζόμενο ML είναι μικρότερο από το τρέχον ML_{\min} , αντικαταστήστε το τελευταίο από το πρώτο και οι τρέχουσες τιμές των n , h , w , k και H αποθηκεύονται ως προσωρινή βέλτιστη λύση.
8. Στο τέλος της όλης έρευνας, μπορεί να εντοπιστεί ο βέλτιστος πίνακας $ML-CUSUM$ που παράγει το ελάχιστο ML και ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς. Οι αντίστοιχες βέλτιστες τιμές των n , h , w , k και H είναι επίσης οριστικοποιημένες.

2.2.3 Συγκριτικές μελέτες

Οι επιδόσεις του διαγράμματος $ML-CUSUM$ και άλλων τεσσάρων διαγραμμάτων συγκρίνονται σε αυτό το τμήμα. Όλα τα διαγράμματα είναι διαγράμματα με ανώτερο όριο ελέγχου για την ανίχνευση της αυξανόμενης μέσης μετατόπισης. Για κάθε ένα από αυτά τα διαγράμματα, ένα συμμετρικό αντίστοιχο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της μείωσης της μέσης μετατόπισης. Η μέση μετατόπιση δ_{μ} θεωρείται ότι ακολουθεί μια κατανομή Rayleigh και τα μ_0 και σ_0 είναι σταθερά στο μηδέν και στο ένα, αντίστοιχα. Ο ATS εκτός ελέγχου όλων των διαγραμμάτων υπολογίζεται υπό σταθερή κατάσταση. Θεωρεί ότι η διαδικασία έχει φτάσει σε σταθερή κατανομή τη στιγμή που συμβαίνει η μετατόπιση της διαδικασίας. Τα πέντε γραφήματα ελέγχου έχουν ως εξής:

- (1) Ένα διάγραμμα $ML-\bar{X}$. Το μέγεθος του δείγματος n , το διάστημα δειγματοληψίας h και το ανώτερο όριο ελέγχου UCL βελτιστοποιούνται προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το ML σε σχέση με την κατανομή πιθανότητας δ_{μ} .

- (2) Ένα γράφημα CUSUM ($k = 0.5$). Πρόκειται για ένα γράφημα CUSUM το οποίο χρησιμοποιεί μια παράμετρο αναφοράς k σταθερή στο 0,5 και έχει σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας μια στατιστική μέθοδο. Το μέγεθος δείγματος n , το διάστημα δειγματοληψίας h και το όριο ελέγχου H αυτού του διαγράμματος CUSUM βελτιστοποιούνται προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το ATS σε $\delta_\mu = 2k = 1$. Η ρύθμιση του $\delta_\mu = 1$ είναι μια τυπική τιμή που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό ενός διαγράμματος CUSUM σε πολλά εγχειρίδια και ερευνητικά έγγραφα.
- (3) Ένα γράφημα CUSUM ($k=0.5\mu_{\delta_\mu}$). Είναι επίσης ένα στατιστικό διάγραμμα CUSUM παρόμοιο με το παραπάνω διάγραμμα CUSUM ($k = 0.5$), εκτός από το k που είναι ίσο με $0.5\mu_{\delta_\mu}$, που σημαίνει ότι το γράφημα θα ελαχιστοποιήσει το ATS σε $\delta_\mu = \mu_{\delta_\mu}$. Η εξάρτηση του k από το μ_{δ_μ} υποδηλώνει ότι ο σχεδιασμός του διαγράμματος έχει χρησιμοποιήσει κάποιες πληροφορίες σχετικά με το δ_μ (μέσος όρος του δ_μ), αν και δεν λαμβάνεται υπόψη ολόκληρη η κατανομή πιθανότητας δ_μ .
- (4) Ένα γράφημα ML-CUSUM ($w = 1$). Είναι ένας πίνακας ML-CUSUM που βασίζεται στην εξίσωση με το w να είναι σταθερό ως ένα, δηλαδή μόνο τα n , h , k και H βελτιστοποιούνται.
- (5) Διάγραμμα ML-CUSUM. Είναι ο πλήρης πίνακας ML-CUSUM με βάση τις εξισώσεις, στις οποίες βελτιστοποιούνται όλες οι παράμετροι συμπεριλαμβανομένου του w .

Το διάγραμμα Shewchart \bar{X} , ωστόσο, δεν περιλαμβάνεται στις μελέτες, καθώς μια προηγούμενη μελέτη καταλήγει σαφώς ότι η απόδοση ενός τέτοιου διαγράμματος είναι σημαντικά κατώτερη από εκείνη του διαγράμματος ML- \bar{X} . Για να διευκολυνθεί η σύγκριση, υπολογίζεται ένα κανονικοποιημένο $ML_{\text{normalized}}$ για κάθε διάγραμμα χρησιμοποιώντας την τιμή ML του διαγράμματος ML- \bar{X} ως πρότυπο, δηλαδή

$$ML_{\text{normalized}} = \frac{ML}{ML_{ML-\bar{X}}} \quad (6)$$

Προφανώς, εάν η τιμή του $ML_{\text{normalized}}$ ενός γραφήματος είναι μικρότερη από ένα, η απόδοση αυτού του γραφήματος είναι ανώτερη από αυτήν του διαγράμματος ML- \bar{X} και αντίστροφα.

2.2.4 Μελέτη I

Η σύγκριση διεξάγεται αρχικά κάτω από τις ακόλουθες γενικές συνθήκες:

$$\tau=800, R=5, \mu_{\delta_\mu} = 1,2$$

Η προδιαγραφή του $\tau = 800$ καθιστά το συνολικό ATS_0 εντός ελέγχου ίσο με 400, δηλαδή κοντά στην τιμή ATS_0 που παράγεται από ένα τυπικό διάγραμμα $3\sigma\bar{X}$ διπλής όψης, όταν χρησιμοποιούνται δύο διαγράμματα ML-CUSUM για την ανίχνευση μέσης μετατόπισης δύο όψεων.

Οι παράμετροι χαρτογράφησης, η τιμή ML και η κανονικοποιημένη τιμή $ML_{\text{normalized}}$ για κάθε ένα από τα πέντε γραφήματα ελέγχου εκτελούνται παρακάτω.

- ML- \bar{X} : $n = 16$, $h = 3.2$, $UCL = 0.663$, $ML = 14.880$, $ML_{\text{normalized}} = 1.000$

- CUSUM ($k = 0,5$): $n = 1$, $h = 0,2$, $k = 0,50$, $H = 6,480$, $ML = 14.214$, $ML_{\text{normalized}} = 0.955$

- CUSUM ($k = 0,5\mu_{\delta_\mu}$): $n = 1$, $h = 0,2$, $k = 0,60$, $H = 5,513$, $ML = 16.040$, $ML_{\text{normalized}} = 1.078$

- ML-CUSUM ($w = 1$): $n = 1$, $h = 0,2$, $k = 0,20$, $H = 13,390$, $ML = 10.589$, $ML_{\text{normalized}} = 0.712$

- ML-CUSUM: $n = 6$, $h = 1,2$, $k = 0,10$, $H = 2,283$, $w = 1,55$, $ML = 9,039$, $ML_{\text{normalized}} = 0,607$

Σημειώνεται ότι όλα τα παραπάνω διαγράμματα έχουν ικανοποιήσει τις λειτουργίες περιορισμού και στις δύο ATS_0 και r . Ο πίνακας ML- \bar{X} χρησιμοποιεί ένα μεγάλο μέγεθος

δείγματος έτσι ώστε να γίνεται πιο ευαίσθητο σε μικρές και μέτριες μέσες μετατοπίσεις. Από την άλλη πλευρά, τα τρία πρώτα διαγράμματα CUSUM υιοθετούν το σύντομο διάστημα δειγματοληψίας (και το μικρότερο μέγεθος δείγματος) προκειμένου να βελτιώσουν την ικανότητά τους να ανιχνεύουν μεγάλες μέσες μετατοπίσεις. Για το διάγραμμα ML-CUSUM, ο σχεδιασμός βελτιστοποίησης έχει προσδιορίσει τις βέλτιστες τιμές του μεγέθους δείγματος ($n = 6$), το διάστημα δειγματοληψίας ($h = 1,2$) και άλλες παραμέτρους. Μαζί ελαχιστοποιούν τη συνολική μέση απώλεια συνάρτησης ML και εξασφαλίζουν την ικανοποίηση όλων των περιορισμών.

Οι τιμές $ML_{normalized}$ των διαγραμμάτων CUSUM ($k = 0.5$) και CUSUM ($k = 0.5\mu_{\delta\mu}$) υποδεικνύουν ότι οι διαγράμματα CUSUM που σχεδιάστηκαν με στατιστική μέθοδο ενδέχεται να μην υπερβαίνουν το διάγραμμα $ML-\bar{X}$ εάν μετριοούνται με τη συνολική απώλεια ML. Αυτό συμβαίνει επειδή, παρόλο που το γράφημα $ML-\bar{X}$ είναι διάγραμμα τύπου Shewhart, οι παράμετροι του n , h και UCL βελτιστοποιούνται με την ελαχιστοποίηση του ML σε σχέση με την κατανομή πιθανότητας δ_{μ} .

Αντίθετα, τα διαγράμματα CUSUM ($k = 0.5$) και CUSUM ($k = 0.5\mu_{\delta\mu}$) έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν το ATS σε ένα συγκεκριμένο δ_{μ} .

Το διάγραμμα CUSUM ($k = 0.5\mu_{\delta\mu}$), ο σχεδιασμός του οποίου χρησιμοποιεί τη μέση τιμή $\mu_{\delta\mu}$ του δ_{μ} , παράγει πολύ κατώτερη απόδοση σε όρους ML.

Από την άλλη πλευρά, οι τιμές $ML_{normalized}$ του διαγράμματος ML-CUSUM ($w = 1$) και του διαγράμματος ML-CUSUM είναι μικρότερες από αυτές του διαγράμματος $ML-\bar{X}$ κατά περίπου 30% και 40% αντίστοιχα. Επίσης, είναι σημαντικά μικρότερες από τις τιμές $ML_{normalized}$ των δύο στατιστικών διαγραμμάτων CUSUM. Δείχνει ότι, χάρη στη λειτουργία CUSUM και στο σχεδιασμό βελτιστοποίησης των παραμέτρων, τα διαγράμματα ML-CUSUM ξεπερνούν τα υπόλοιπα διαγράμματα όσον αφορά τη συνολική απώλεια. Η υπεροχή του διαγράμματος ML-CUSUM στο διάγραμμα $ML-\bar{X}$ ($w = 1$) αντανακλά τη μοναδική συμβολή του σχεδιασμού βελτιστοποίησης του w .

2.2.5 Μελέτη II

Η απόδοση των πέντε διαγραμμάτων μελετάται περαιτέρω με ένα παραγοντικό πείραμα. Οι τρεις προδιαγραφές (τ , R και $\mu_{\delta\mu}$) χρησιμοποιούνται ως συντελεστές εισόδου και το αποτέλεσμα λαμβάνεται ως απόκριση. Κάθε ένας από τους τρεις παράγοντες τ , R και $\mu_{\delta\mu}$ ποικίλει σε δύο επίπεδα, με αποτέλεσμα οκτώ κύκλους (δηλαδή, οκτώ συνδυασμοί των τιμών των τριών παραγόντων). Τα χαμηλά και υψηλά επίπεδα για κάθε παράγοντα αποφασίζονται παρακάτω. Οι προδιαγραφές της μελέτης I είναι σχεδόν στο επίκεντρο του πειράματος του παράγοντα 2^3 .

T	300	1400
R	2	10
$\mu_{\delta\mu}$	0.6	1.8

Πίνακας 4.2. Συγκριτική μελέτη

Run	Factor			ML _{normalized}			
τ	R	μ _{δμ}	CUSUM (k=0.5)	CUSUM	ML-CUSUM (w=1)	ML-CUSUM	
0	800	5	1.2	0.955	1.078	0.712	0.607
1	300	2	0.6	1.273	1.022	0.882	0.878
2	300	2	1.8	0.783	0.941	0.774	0.725
3	300	10	0.6	1.414	1.004	0.780	0.778
4	300	10	1.8	0.721	1.043	0.646	0.567
5	1400	2	0.6	1.417	1.011	0.791	0.790
6	1400	2	1.8	0.724	1.039	0.654	0.576
7	1400	10	0.6	1.585	1.002	0.603	0.593
8	1400	10	1.8	0.767	1.336	0.517	0.417
ML _{normalized}				1.086	1.050	0.706	0.666

Οι τιμές ML των κανονικών διαγραμμάτων ελέγχου σε κάθε μία από τις οκτώ διαδρομές υπολογίζονται και απαριθμούνται στον Πίνακα 4.2. Οι τιμές ML_{normalized} που προσδιορίστηκαν στη Μελέτη 1 δίδονται επίσης στον Πίνακα 4.2 ως Run.

Μπορεί να φανεί ότι τα διαγράμματα ML-CUSUM και ML-CUSUM (w = 1) εκτελούνται σε όλες τις διαδρομές. Επιπλέον, το διάγραμμα ML-CUSUM υπερβαίνει κατά πολύ το διάγραμμα ML-CUSUM (w = 1) λόγω της νέας μεταβλητής σχεδιασμού, w, της εκθετικής μέσης μετατόπισης του δείγματος. Ο μέσος όρος, ML_{normalized}, των ML_{normalized} τιμών για ένα διάγραμμα πάνω από τις οκτώ διαδρομές του 2³ παραγοντικού πειράματος, υπολογίζεται και απαριθμείται στο κάτω μέρος του πίνακα 1. Οι τιμές του ML_{normalized} δείχνουν ότι, από μια άποψη πάνω από διαφορετικούς συνδυασμούς των τιμών του τ, R και μ_{δμ}, τα διαγράμματα ML-CUSUM και ML-CUSUM (w = 1) ξεπερνούν το διάγραμμα ML- \bar{X} κατά 29,4% και 33,4% αντίστοιχα. Αυτό προκύπτει από την υπεροχή του συστήματος CUSUM στο γράφημα Shewhart. Τα γραφήματα ML-CUSUM και ML-CUSUM (w = 1) ξεπερνούν, σε ένα ακόμη σημαντικότερο βαθμό, τα δύο στατιστικά διαγράμματα CUSUM, λόγω του σχεδιασμού βελτιστοποίησης των παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένου του εκθετικού w.

Συμπεράσματα

Για την ανίχνευση των μεταβολών της διαδικασίας προτείνεται ένα διάγραμμα ελέγχου ML-CUSUM. Όσον αφορά τη συνολική μέση τιμή ML της συνάρτησης απώλειας, αυτό το διάγραμμα υπερβαίνει σε πολύ μεγάλο βαθμό το διάγραμμα ML- \bar{X} , καθώς και πολλά άλλα διαγράμματα Shewhart ή CUSUM που σχεδιάζονται από τις στατιστικές μεθόδους. Η βελτίωση της απόδοσης επιτυγχάνεται με το χαρακτηριστικό CUSUM καθώς και με τον σχεδιασμό βελτιστοποίησης των παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένου του εκθετικού w της μέσης μετατόπισης του δείγματος. Σε αντίθεση με το στατιστικό σχεδιασμό που επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση του ATS εκτός ελέγχου, ο αλγόριθμος σχεδιασμού του διαγράμματος ML-CUSUM συνδέει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του διαγράμματος με το κόστος ποιότητας. Η ελαχιστοποίηση του ML οδηγεί άμεσα στη μείωση του κόστους ποιότητας που αποτελεί τον κύριο στόχο κάθε έργου TQM (Διοίκηση Ολικής Ποιότητας). Μια προσέγγιση ελέγχου σχετικά με την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης απώλειας Taguchi μπορεί να παρουσιάσει νέα πιθανή εξοικονόμηση κόστους σε ταχεία διαδικασία. Μια

ολοκληρωμένη προσέγγιση μπορεί να συνδυάσει τα συνολικά μέτρα διαχείρισης της ποιότητας, με τους οικονομικούς στόχους και τον επιχειρησιακό έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας. Από την άλλη πλευρά, οι προδιαγραφές σχεδιασμού του διαγράμματος ML-CUSUM είναι σχετικά ευκολότερες σε διαχείριση σε σχέση με τα οικονομικά σχέδια. Η προτεινόμενη μέθοδος ML-CUSUM θα μπορούσε να παρουσιάσει αυτοματοποιημένες εφαρμογές σε μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρονικών και ημιαγωγών, καθώς και σε βιομηχανίες επεξεργασίας, όπως πολτό και χαρτί. Ο αλγόριθμος σχεδιασμού του διαγράμματος ML-CUSUM λαμβάνει υπόψη ολόκληρη την πιθανότητα κατανομής των μέσων μετατοπίσεων. Επιπλέον, κάθε φορά που ανιχνεύεται μια νέα περίπτωση εκτός ελέγχου και υπολογίζεται η τιμή δείγματος d της μέσης μετατόπισης δ_{μ} , οι παράμετροι n , h , k , H και w ενός διαγράμματος ML-CUSUM μπορούν να ενημερωθούν μέσω ενός επανασχεδιασμού της διαδικασίας.

2.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ S ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΟΥ TAGUCHI

Περίληψη

Αναπτύχθηκε ο πρώτος οικονομικός στατιστικός σχεδιασμός του διαγράμματος S για τον έλεγχο της μεταβλητότητας της διαδικασίας με βάση τους Lorenzen και Vances, η οποία είναι εμπλουτισμένη με τη λειτουργία απώλειας Taguchi.

Το μοντέλο κόστους, συμπεριλαμβανομένης της φωνής των πελατών, αποκαλύπτει τη σημασία της ποιότητας. Στην πράξη, τα οικονομικά στατιστικά διαγράμματα S μπορούν να κατασκευαστούν εφαρμόζοντας την προτεινόμενη προσέγγιση όταν είναι γνωστές οι τιμές παραμέτρων κόστους, οι τιμές παραμέτρων διεργασίας και τα όρια στα α , β και ATS. Τα οικονομικά στατιστικά διαγράμματα S θα πρέπει να προτιμώνται, εάν οι μηχανικοί της ποιότητας επιθυμούν να λάβουν υπόψη τις στατιστικές ιδιότητες κατά το σχεδιασμό οικονομικών διαγραμμάτων ελέγχου. Στην ανάλυση δεδομένων, έχουν διερευνηθεί οι επιδράσεις των συντελεστών εισροής. Από τις συγκρίσεις κόστους μεταξύ οικονομικού στατιστικού σχεδιασμού και οικονομικού σχεδιασμού, διαπιστώνουμε ότι ο πρώτος έχει σχετικά μικρές αυξήσεις κόστους. Τα αποτελέσματα των αριθμητικών παραδειγμάτων δείχνουν ότι τα οικονομικά στατιστικά σχέδια έχουν μεγαλύτερο μέγεθος δείγματος και μικρότερα όρια ελέγχου από ότι τα οικονομικά σχέδια. Η συχνότητα του ψευδούς συναγερμού και ο χρόνος ανίχνευσης της αιτίας προς επίλυση είναι σημαντικά μειωμένοι στα οικονομικά στατιστικά σχέδια. Αυτό προκύπτει άμεσα από την απαίτηση ότι τα οικονομικά στατιστικά σχέδια έχουν καλές στατιστικές επιδόσεις.

Εισαγωγή

Τα διαγράμματα ελέγχου είναι σημαντικά εργαλεία στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Αυτά τα διαγράμματα χρησιμοποιούνται για να αποφασίσουν εάν μια διαδικασία έχει επιτύχει μια κατάσταση στατιστικού ελέγχου και για να διατηρήσουν τον τρέχοντα έλεγχο μιας διαδικασίας. Η χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου ως εργαλείο παρακολούθησης και ελέγχου έχει λάβει μεγάλη προσοχή. Για να χρησιμοποιηθεί κάποιο από αυτά τα διαγράμματα, πρέπει να καθοριστούν τρεις παράμετροι σχεδιασμού. Το μέγεθος του δείγματος n , η περίοδος δειγματοληψίας h , και ο συντελεστής των ορίων ελέγχου k (ο αριθμός της τυπικής απόκλισης πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή).

Ο Duncan (1956) πρότεινε τη χρήση μιας έννοιας την οποία ονόμασε οικονομικό σχεδιασμό για την απόκτηση των βέλτιστων παραμέτρων σχεδιασμού ενός \bar{X} - διαγράμματος ελαχιστοποιώντας το καθαρό άθροισμα του συνολικού κόστους ποιότητας. Έκτοτε, έχουν εμφανιστεί διάφορες παραλλαγές της προσέγγισης του Duncan.

Ο Duncan (1974) σημείωσε ότι η κοινή απασχόληση ενός \bar{X} - διαγράμματος για τον έλεγχο της μέσης διαδικασίας και του διαγράμματος R για τον έλεγχο της μεταβλητότητας της διαδικασίας θα δώσει σχετικά καλό έλεγχο σε ολόκληρη τη διαδικασία.

Στην πιο πάνω αρθρογραφία, φαίνεται ότι παράγοντες, όπως η ικανότητα (μεταβλητή ποιότητα), πρώτες ύλες, ανειδίκευτοι / απρόσεκτοι χειριστές και χαλάρωση των ρυθμίσεων του μηχανήματος μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της μεταβλητότητας της διαδικασίας χωρίς να επηρεάζει αναγκαστικά το επίπεδο της μέσης διαδικασίας. Ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός διαγράμματος ελέγχου S είναι σε εφαρμογή σε τέτοιες περιπτώσεις.

Ο στόχος του οικονομικού σχεδιασμού είναι να προσδιοριστούν οι παράμετροι σχεδιασμού του διαγράμματος ελέγχου που ελαχιστοποιεί το κόστος της αναμενόμενης απώλειας που δημιουργείται από μια παραγωγή, επεξεργασία, διαδικασία. Το κόστος αυτό αποτελείται από τις δοκιμές δειγματοληψίας, της διαδικασίας ελέγχου και των δαπανών αναζήτησης και εξάλειψης της εκχωρούμενης αιτίας. Υπάρχουν ορισμένες αδυναμίες που σχετίζονται με το σχεδιασμό. Ο οικονομικός σχεδιασμός δεν θεωρεί στατιστικές ιδιότητες, όπως τη πιθανότητα σφάλματος Τύπου I, Τύπου II πιθανότητα σφάλματος (ή ισχύς διαγράμματος) και το μέσο αριθμό δειγμάτων (ARL) κατά την επιλογή των παραμέτρων για το διάγραμμα ελέγχου. Ο Woodall (1986, 1987) δείχνει ότι σε πολλά οικονομικά σχέδια η πιθανότητα σφάλματος Τύπου I ενός διαγράμματος ελέγχου είναι πολύ υψηλότερη από αυτή σε ένα στατιστικό σχέδιο, και ότι αυτό θα οδηγήσει σε πιο πολλούς ψευδείς συναγερμούς από το αναμενόμενο.

Μια υψηλή πιθανότητα σφάλματος Τύπου I μπορεί επίσης να προκαλέσει υπερπροσδιορισμό της διαδικασίας, πράγμα που οδηγεί σε αύξηση της διακύμανσης της κατανομής των χαρακτηριστικών ποιότητας.

Προκειμένου να βελτιωθεί ο οικονομικός σχεδιασμός, ο Saniga (1979) παρουσιάζει μια μέθοδο διαγράμματος ελέγχου οικονομικού σχεδιασμού που έχουν όρια στον Τύπο I και τον Τύπο II τις πιθανότητες σφάλματος και το μέσο χρόνο για το σήμα (ATS) μια αναμενόμενη μετατόπιση και συνεπώς, είναι σύμφωνη με τη ζήτηση της βιομηχανίας για τη μεταβλητότητα χαμηλών διεργασιών και μακροπρόθεσμη ποιότητα, καθώς και άλλα πλεονεκτήματα.

Αυτός ο σχεδιασμός διατηρεί την αποτελεσματικότητα των οικονομικών σχεδίων και διατηρεί ταυτόχρονα πολύ μικρή πιθανότητα ενός ψευδούς συναγερμού και ενδεχομένως εσφαλμένη προσαρμογή. Τον ονόμασε Σχεδιασμό του Οικονομικού Στατιστικού Σχεδιασμού.

Συμβατικά, η απώλεια ποιότητας θεωρείται ως το κόστος που προέκυψε όταν το χαρακτηριστικό ποιότητας δεν είναι εντός των ορίων προδιαγραφών. Δείχνει ότι μια τετραγωνική συνάρτηση προσέγγισης αντιπροσωπεύει επαρκώς τις οικονομικές απώλειες λόγω της απόκλισης των χαρακτηριστικών ποιότητας από τον στόχο της. Ο Kacker (1986) υποδεικνύει ότι η έννοια της τετραγωνικής απώλειας τονίζει τη σημασία της συνεχούς μείωσης των αποκλίσεων από τη τιμή-στόχο.

Διάφορα συστήματα αξιολόγησης της ποιότητας που χρησιμοποιούν την προσέγγιση της συνάρτησης απώλειας, παρουσιάστηκαν από τους Chen και Karur (1989). Σε άρθρα του Taguchi τις χρονιές 1984 και 1989 παρέχεται ένας οικονομικός σχεδιασμός για τον καθορισμό του διαστήματος διάγνωσης και των ορίων ελέγχου για τη διαδικασία παραγωγής εντός της γραμμής παραγωγής εφαρμόζοντας τη συνάρτηση απώλειας. Η συνάρτηση απώλειας ως μια ορθολογική προσέγγιση για την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης διαδικασίας έχει γίνει ευρέως αποδεκτή. Οι Koo και Lin (1992) περιλαμβάνουν μια τέτοια προσέγγιση στον οικονομικό σχεδιασμό των διαγραμμάτων \bar{X} και τροποποιούν το μοντέλο κόστους του Duncan (1956) με τη συνάρτηση απώλειας του Taguchi. Οι Elsayed και Chen (1994) παρουσιάζουν ένα νέο οικονομικό σχεδιασμό των \bar{X} - διαγραμμάτων με βάση τη συνάρτηση απώλειας ποιότητας Taguchi για διαδικασίες με συνεχείς λειτουργίες.

Μέχρι τώρα, δεν έχει ληφθεί υπόψη ο οικονομικός στατιστικός σχεδιασμός του διαγράμματος ελέγχου S, ο οποίος είναι διακοσμημένος με τη συνάρτηση απώλειας Taguchi. Στο παρών άρθρο παρουσιάζεται ένα στατιστικά περιορισμένο οικονομικό μοντέλο για το

βέλτιστο σχεδιασμό του διαγράμματος ελέγχου S για τον έλεγχο της μεταβλητότητας της διαδικασίας. Οι βέλτιστες παράμετροι σχεδιασμού του διαγράμματος S προσδιορίζονται με στατιστικούς περιορισμούς στο μέσο χρόνο-προς-σήμα (ATS). Μια ανάλυση ευαισθησίας των ελαχίστων απωλειών, που προτάθηκε από τους Lorenzen και Vance (1986), η οποία είναι διακοσμημένη με τη συνάρτηση απώλειας Taguchi, καθώς επηρεάζεται από διάφορες πιθανότητες σφάλματος Τύπου I, πιθανότητα σφάλματος τύπου II ή όρια ATS. Συμπεριλαμβάνεται επίσης, η σύγκριση μεταξύ βέλτιστων οικονομικών στατιστικών σχεδίων και βέλτιστων οικονομικών σχεδίων όσον αφορά την απώλεια.

2.3.1 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο Saniga (1989) ορίζει ένα οικονομικό στατιστικό σχέδιο ενός διαγράμματος ελέγχου ως ένα σχέδιο στο οποίο ελαχιστοποιείται η συνάρτηση κόστους-απώλειας υπό την προϋπόθεση της περιορισμένης ελάχιστης τιμής ισχύος και της μέγιστης τιμής της πιθανότητας σφάλματος Τύπου I και της μέγιστης τιμής της εκτός ελέγχου ATS. Εναλλακτικά, το ARL, το οποίο είναι το ATS διαιρούμενο με το διάστημα δειγματοληψίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντικατάσταση του ATS στη διαμόρφωση του μοντέλου σχεδιασμού. Για να επιλεγούν στατιστικοί περιορισμοί, τα διαγράμματα ελέγχου σχεδιάζονται έτσι ώστε να έχουν μικρές τιμές ATS κατά τη σηματοδότηση όταν η διαδικασία είναι εκτός ελέγχου. Υποθέτει ότι το σύνολο των παραμέτρων σχεδιασμού για το γράφημα S και V είναι η αναμενόμενη ωριαία απώλεια της διαδικασίας διεργασίας. Το στατιστικά περιορισμένο οικονομικό μοντέλο μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Ελαχιστοποίηση $V(D)$

$$a \leq a_u$$

$$b \leq b_u$$

$$ATS \leq ATS_u$$

όπου, a_u , b_u , και ATS_u είναι τα επιθυμητά όρια για το σφάλμα τύπου I, πιθανότητες σφάλματος τύπου II και ATS αντίστοιχα. Η λύση αυτού του μοντέλου είναι μια βελτίωση του στατιστικού σχεδιασμού επειδή έχει τις απαιτούμενες στατιστικές ιδιότητες και ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση απώλειας. Μια λύση χωρίς τους περιορισμούς θα δώσει τον βέλτιστο οικονομικό σχεδιασμό.

2.3.2 Η ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ

Σε ό, τι ακολουθεί αναπτύσσεται ένα αναμενόμενο μοντέλο απώλειας ανά ώρα λειτουργίας της διαδικασίας με την εξαγωγή πρώτον, του αναμενόμενου χρόνου ανά κύκλο και στη συνέχεια την αναμενόμενη ανά απώλεια κύκλο, το οποίο είναι διακοσμημένο με συνάρτηση απώλειας Taguchi. Προκειμένου να αντληθεί ο αναμενόμενος χρόνος κύκλου, θεωρούμε ένα διαχωρισμό του T σε τέσσερις χρονικές περιόδους. Για να ορίσουμε αυτές τις χρονικές περιόδους, υποθέτουμε ότι η διακύμανση της διαδικασίας μεταβάλλεται μεταξύ του αριθμού δείγματος ρ και $\rho + 1$.

Οι τέσσερις χρονικές περιόδους είναι T_i, T_d, T_e, T_{sr} .

Ο αναμενόμενος χρόνος κύκλου μπορεί έτσι να εκφραστεί ως εξής:

$$E(T) = E(T_i) + E(T_0) \quad (1)$$

Ή

$$E(T) = E(T_i) + E(T_d) + E(T_e) + E(T_{sr}) \quad (2)$$

Όπου:

$$E(T_i) = 1/\lambda \quad (3)$$

$$E(T_d) = h/(1-\beta) - \tau \quad (4)$$

$$E(T_e) = nE \quad (5)$$

$$E(T_{sr}) = T_{12} \quad (6)$$

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις, ο αναμενόμενος χρόνος κύκλου μπορεί τώρα να εκφραστεί ως:

$$E(T) = 1/\lambda + h/(1-\beta) - \tau + nE + T_{12} \quad (7)$$

Για να αναπτύξουμε το αναμενόμενο μοντέλο απώλειας κύκλου, εξετάζουμε αρχικά το κόστος κατά τη διάρκεια ενός κύκλου που αποτελείται από:

- (1) κόστος μεταβλητότητας C_v .
- (2) κόστος δειγματοληψίας και δοκιμών C_{st} .
- (3) κόστος αναζήτησης και επισκευής C_{sr} .

Το συνολικό αναμενόμενο κόστος κύκλου ($E(C)$) μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$E(C) = E(C_v) + E(C_{st}) + E(C_{sr}) \quad (8)$$

Όπου:

$$E(C_{st}) = (a_0 + a_1 n) E(T)/h \quad (9)$$

$$E(C_{sr}) = C_{12} T_{12} + C_f T_f \alpha / \lambda h \quad (10)$$

$$E(C_v) = C_i U E(T_i) + C_0 U E(T_0) \quad (11)$$

Το αναμενόμενο κόστος μεταβλητότητας ($E(C_v)$) είναι το άθροισμα του αναμενόμενου κόστους μεταβλητότητας όταν η διαδικασία ελέγχεται ($C_i U E(T_i)$) και το αναμενόμενο κόστος μεταβλητότητας όταν η διαδικασία είναι εκτός ελέγχου ($C_0 U E(T_0)$).

Τόσο τα C_i και C_0 προέρχονται από τη συνάρτηση απώλειας του Taguchi.

Η συνάρτηση απώλειας Taguchi υποδηλώνεται ως:

$$Cl = K_1 (X - T_a)^2, \quad K_1 > 0 \quad (12)$$

όπου το X είναι χαρακτηριστικό ποιότητας, T_a είναι η τιμή στόχος (= μέση διαδικασία), και K_1 είναι μια σταθερά που ονομάζεται συντελεστής κόστους ποιότητας.

Το αναμενόμενο κόστος μεταβλητότητας ανά μονάδα προϊόντος όταν η διαδικασία λειτουργεί σε έλεγχο είναι:

$$C_i = E(K_1 (X - T_a)^2) = K_1 \sigma_0^2 \quad (13)$$

όπου $X \sim N(\mu, \sigma_0^2)$.

Το αναμενόμενο κόστος μεταβλητότητας ανά μονάδα προϊόντος όταν η διαδικασία λειτουργεί εκτός ελέγχου είναι:

$$C_0 = E(K_1 (x - T_a)^2) = K_1 \delta_1^2 \sigma_0^2, \quad \delta_1^2 \quad (14)$$

όπου $X \sim N(\mu, \delta_1^2 \sigma_0^2)$.

Η μέση απώλεια ανά μονάδα προϊόντος είναι τότε, $Q = CO - Ci = K_1 \delta_1^2 \sigma_0^2 - K_1 \sigma_0^2 = K_1 \delta^2 \sigma_0^2$, $\delta^2 > 0$.

Η αναμενόμενη απώλεια κύκλου ($E(L)$) ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του συνόλου του αναμενόμενου κόστους κύκλου και του αναμενόμενου κόστους λόγω της διακύμανσης της διαδικασίας (Lorenzen and Vance, 1986) και μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$E(L) = E(C) - C_i U E(T) \\ = Q U E(T_0) + (a_0 + a_1 n) (E(T)/h + C_{12} T_{12} + C_f T_f \alpha / \lambda h) \quad (15)$$

Η αναμενόμενη ωριαία απώλεια της διαδικασίας επεξεργασίας μπορεί να ληφθεί με τη λήψη του λόγου της αναμενόμενης απώλειας κύκλου και του αναμενόμενου χρόνου κύκλου, δηλαδή

$$V = E(L) / E(T) = [Q U E(T_0) + (a_0 + a_1 n) (E(T)/h + C_{12} T_{12} + C_f T_f \alpha / \lambda h)] / [1/\lambda + h / (1 - \beta) - \tau + n E + T_{12}] \quad (16)$$

Συνεπώς, θεωρώντας τα όρια των α , β και ATS στατιστικούς περιορισμούς, το οικονομικό μοντέλο μπορεί να διατυπωθεί ως:

Ελαχιστοποίηση V

$$\alpha \leq \alpha_u$$

$$\beta \leq \beta_u$$

$$ATS \leq ATS_u$$

Οι στατιστικοί περιορισμοί βελτιώνουν το σχεδιασμό των παραμέτρων του διαγράμματος S και στη συνέχεια προσδιορίζεται με την ελαχιστοποίηση, η αναμενόμενη ζημιά ανά ώρα λειτουργίας, χρησιμοποιώντας μια απλή μέθοδο αναζήτησης σε πλέγμα.

2.3.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ

Ο Πίνακας 5.2 παρουσιάζει τον στατιστικά περιορισμένο βέλτιστο σχεδιασμό για το διάγραμμα S για το μοντέλο απώλειας με τις καθορισμένες παραμέτρους και το σύνολο των περιορισμών όπως φαίνεται παραπάνω. Ο Πίνακας 6.2 παρουσιάζει μια ανάλυση της διακύμανσης στο μέγεθος του δείγματος. Το μέγεθος του δείγματος n καθορίζεται κυρίως από το δ . Η παράμετρος a_1 είναι επίσης σημαντική. Με τα επίπεδα συντελεστών που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη, η ανάλυση της διακύμανσης δείχνει επίσης ότι το C_f , το κόστος αναζήτησης ψευδούς συναγερού, έχει σημαντική επίδραση στο μέγεθος του δείγματος.

Μεγάλες τιμές του $U k_1 \delta, \lambda$ καταλήγουν σε μικρότερες τιμές του h , ενώ τα a_0, a_1 , και C_f αυξάνουν την τιμή h (Πίνακας 7.2).

Οι παράμετροι $U k_1 \delta, a_0, a_1$, και C_f παρουσιάζουν σημαντικό αποτέλεσμα στο k , το πλάτος του ορίου ελέγχου.

Μεγάλες τιμές του $U k_1 \delta$ και C_f έχουν αποτέλεσμα ένα μεγάλο k , ενώ a_0 και a_1 οδηγούν σε μικρότερο k (βλ. Πίνακα 8.2). Μια ανάλυση της διακύμανσης στις αποκρίσεις κόστους που παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.2 αποκαλύπτουν ότι το κόστος του ελέγχου της διαδικασίας είναι επηρεασμένο σημαντικά από πέντε παραμέτρους $U k_1, \lambda, T_{12}, a_0$ και a_1 .

Επίσης, διαπιστώνουμε ότι το $QU (= U k_1 \delta^2 \sigma_0^2)$, η μέση απώλεια ανά ώρα, είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη βέλτιστη h, k και V , (βλ. Πίνακα 10.2).

Μια λύση χωρίς τους στατιστικούς περιορισμούς θα δώσει τον καθαρό οικονομικό σχεδιασμό. Η σύγκριση μεταξύ του οικονομικού στατιστικού σχεδιασμού και του καθαρού οικονομικού σχεδιασμού που παρουσιάζεται στον Πίνακα 11.2 αποκαλύπτει ότι ο οικονομικός στατιστικός σχεδιασμός έχει μεγαλύτερα μεγέθη δειγμάτων, μικρότερα όρια ελέγχου και μεγαλύτερο κόστος. Τα α και β για τον οικονομικό στατιστικό σχεδιασμό είναι πολύ καλύτερα από τα αντίστοιχα α και β για τον καθαρό οικονομικό σχεδιασμό. Αυτά τα αποτελέσματα απεικονίζουν τα οφέλη, τη βελτίωση των στατιστικών επιδόσεων, τη χρήση του οικονομικού στατιστικού σχεδιασμού. Αν και είναι πιο δαπανηρό να χρησιμοποιηθούν οικονομικά στατιστικά σχέδια, η βελτιωμένη στατιστική απόδοση μπορεί εύκολα να παρουσιάσει την αύξηση του κόστους εάν παρουσιαστεί η απροσδόκητη μετατόπιση.

Πίνακας 5.2. Η βέλτιστη στατιστική του σχεδιασμού του διαγράμματος S

<u>N</u>	<u>H</u>	<u>K</u>	<u>V</u>	<u>α</u>	<u>β</u>
10	1.20	1.80	3.000	0.0006	0.0460
10	2.60	1.80	13.080	0.0006	0.0460
24	3.80	1.50	9.915	0.0005	0.0467
30	1.90	1.50	4.183	0.0001	0.0282
15	1.10	1.80	13.012	0.0000	0.0148
10	1.00	1.80	24.623	0.0006	0.0460
24	3.30	1.50	17.172	0.0005	0.0467
24	1.20	1.50	13.484	0.0005	0.0467
10	1.60	1.80	7.988	0.0006	0.0460
11	1.60	1.80	8.544	0.0003	0.0364
29	3.80	1.50	4.625	0.0002	0.0306
24	3.80	1.50	11.164	0.0005	0.0467
10	1.70	1.70	20.590	0.0020	0.0315
12	0.40	1.90	13.694	0.0000	0.0437
24	1.10	1.50	7.653	0.0005	0.0467
24	2.50	1.50	27.749	0.0005	0.0467
10	1.20	1.80	4.418	0.0006	0.0460
10	2.60	1.80	14.289	0.0006	0.0460
24	3.80	1.50	10.172	0.0005	0.0467
30	1.90	1.50	5.526	0.0001	0.0282
14	1.10	1.80	19.789	0.0001	0.0184
10	1.00	1.80	30.419	0.0006	0.0460
24	3.30	1.50	18.267	0.0005	0.0467
24	1.20	1.50	19.892	0.0005	0.0467
10	3.20	1.80	9.382	0.0006	0.0460
11	1.60	1.80	9.766	0.0003	0.0364
29	3.80	1.50	4.882	0.0002	0.0306
24	3.80	1.50	12.483	0.0005	0.0467
10	1.70	1.70	27.169	0.0020	0.0315
12	0.40	1.90	19.616	0.0000	0.0437

Πίνακας 6.2 Ανάλυση της διακύμανσης για το μέγεθος του δείγματος

<u>Source</u>	<u>DF</u>	<u>Anova SS</u>	<u>Mean Square</u>	<u>F Value</u>	<u>Pr>F</u>
U_{k1}	1	0.03125	0.031250	0.01	0.9043
Δ	1	1667.531250	1667.531250	790.00	0.0001*
Λ	1	3.781250	3.781250	1.79	0.1944
E	1	0.781250	0.781250	0.37	0.5492
T₁₂	1	0.031250	0.031250	0.01	0.9043
a₀	1	0.781250	0.781250	0.37	0.5492
a₁	1	42.781250	42.781250	20.27	0.0002*
C_{sr}	1	0.031250	0.031250	0.01	0.9043
C_f	1	34.031250	34.031250	16.12	0.0006*

Σημείωση: *σημαντικό στο 5%.

Πίνακας 7.2 Ανάλυση της διακύμανσης για το διάστημα δειγματοληψίας

<u>Source</u>	<u>DF</u>	<u>Anova SS</u>	<u>Mean Square</u>	<u>F Value</u>	<u>Pr>F</u>
U_{k1}	1	2.15281250	2.15281250	18.74	0.0003*
Δ	1	9.35281250	9.35281250	81.43	0.0001*
Λ	1	11.40031250	11.40031250	99.26	0.0001*
E	1	0.52531250	0.52531250	4.57	0.0438*
T₁₂	1	0.00031250	0.00031250	0.00	0.9589
a₀	1	0.75031250	0.75031250	6.53	0.0180*
a₁	1	11.64031250	11.64031250	101.35	0.0001*
C_{sr}	1	0.00031250	0.00031250	0.00	0.9589
C_f	1	1.48781250	1.48781250	12.95	0.0016*

Σημείωση: *σημαντικό στο 5%.

Πίνακας 8.2 Ανάλυση της διακύμανσης για το πλάτος του ορίου ελέγχου

<u>Source</u>	<u>DF</u>	<u>Anova SS</u>	<u>Mean Square</u>	<u>F Value</u>	<u>Pr>F</u>
Uk₁	1	0.005	0.005	5.50	0.0284*
Δ	1	0.720	0.720	792.00	0.0001*
Λ	1	0.000	0.000	0.00	1.0000
E	1	0.000	0.000	0.00	1.0000
T₁₂	1	0.000	0.000	0.00	1.0000
a₀	1	0.005	0.005	5.50	0.0284*
a₁	1	0.005	0.005	5.50	0.284*
C_{sr}	1	0.000	0.000	0.00	1.000
C_f	1	0.005	0.005	5.50	0.0284*

Σημείωση: *σημαντικό στο 5%.

Πίνακας 9.2 Ανάλυση διακύμανσης για την απώλεια

<u>Source</u>	<u>DF</u>	<u>Anova SS</u>	<u>Mean Square</u>	<u>F Value</u>	<u>Pr>F</u>
Uk₁	1	177.519903	177.519903	24.70	0.0001*
Δ	1	27.398503	27.398503	3.81	0.0637
Λ	1	1038.882153	1038.882153	144.56	0.0001*
E	1	1.398628	1.398628	0.19	0.6634*
T₁₂	1	72.751953	72.51953	10.12	0.0043*
a₀	1	85.379778	85.379778	11.88	0.0023*
a₁	1	506.176653	506.176653	70.43	0.0001*
C_{sr}	1	6.365280	6.365280	0.89	0.3569
C_f	1	0.747253	0.747253	0.10	0.7501

Σημείωση: *σημαντικό στο 5%.

Πίνακας 10.2 Βέλτιστος οικονομικός σχεδιασμός για S διάγραμμα για $T_f=5$, $C_{sr}=250$, $T_{12}=0.05$, $E=0.01$, $\sigma_0=1$, $\alpha_0=0.05$, $\alpha_1=0.1$, $\delta=2$, $\lambda=0.05$, $C_f=50$, $UK_1=25$

$\delta=2$				
UK_1	25.0	50.0	100.0	500.0
N	24.0	24.0	24.0	24.0
H	1.1	0.8	0.5	0.2
K	1.5	1.5	1.5	1.5
EV	7.65	11.45	17.67	54.99
$\delta=3$				
UK_1	25.0	50.0	100.0	500.0
N	10.0	10.0	10.0	10.0
H	0.5	0.4	0.3	0.1
K	1.8	1.8	1.8	1.8
EV	8.60	12.91	20.06	62.75

Πίνακας 11.2 Βέλτιστες λύσεις οικονομικού στατιστικού σχεδιασμού και οικονομικού σχεδιασμού του διαγράμματος S

No.	Economic		Statistical		Design		Economic				Design	
	n	h	k	V	α	B	N	h	k	v	α	β
1	10	1.20	1.80	3.00	0.0006	0.0460	9	1.10	1.90	2.94	0.0003	0.0794
2	10	2.60	1.80	13.08	0.0006	0.0460	9	2.40	1.90	12.82	0.0003	0.0794
3	24	3.80	1.50	9.92	0.0005	0.0467	13	5.70	1.50	7.23	0.0077	0.1263
4	30	1.90	1.50	4.18	0.0001	0.0282	23	1.60	1.60	3.98	0.0001	0.1014
5	15	1.10	1.80	13.01	0.0000	0.0148	15	1.10	1.80	13.01	0.0000	0.0148
6	10	1.00	1.80	24.62	0.0006	0.0460	6	0.70	1.90	22.58	0.0029	0.1516
7	24	3.30	1.50	177.17	0.0005	0.0467	16	2.50	1.60	16.17	0.0008	0.1559
8	24	1.20	1.50	13.48	0.0005	0.0467	23	1.20	1.50	13.47	0.0007	0.0509
9	10	3.20	1.80	7.99	0.0006	0.0460	7	2.20	2.10	7.43	0.0002	0.1837
10	11	1.60	1.80	8.54	0.0003	0.0364	11	1.60	1.80	8.54	0.0003	0.0364
11	29	3.80	1.50	4.63	0.0002	0.0306	29	4.00	1.50	4.62	0.0002	0.0306
12	24	3.80	1.50	11.16	0.0005	0.0467	10	2.80	1.60	9.03	0.0061	0.2363
13	10	1.70	1.70	20.59	0.0020	0.0315	7	1.40	1.80	19.72	0.0035	0.0956
14	12	0.40	1.90	13.69	0.0000	0.0437	8	0.30	2.20	12.89	0.0000	0.1935
15	24	1.10	1.50	7.65	0.0005	0.0467	15	0.80	1.60	7.11	0.0011	0.1664
16	24	2.50	1.50	27.75	0.0005	0.0467	16	2.00	1.60	26.27	0.0008	0.1559
17	10	1.20	1.80	4.42	0.0006	0.0460	9	1.10	1.90	4.36	0.0003	0.0794
18	10	2.60	1.80	14.29	0.0006	0.0460	9	2.40	1.90	14.03	0.0003	0.0794
19	24	3.80	1.50	10.17	0.0005	0.0467	13	5.70	1.50	7.48	0.0077	0.1263
20	30	1.90	1.50	5.53	0.0001	0.0282	23	1.60	1.60	5.32	0.0001	0.1014
21	14	1.10	1.80	19.79	0.0001	0.0184	14	1.10	1.80	19.79	0.0001	0.0184
22	10	1.00	1.80	30.42	0.0006	0.0460	6	0.70	1.90	28.41	0.0029	0.1516
23	24	1.00	1.50	18.27	0.0005	0.0467	16	2.50	1.60	17.27	0.0008	0.1559
24	24	3.30	1.50	19.89	0.0005	0.0467	22	1.20	1.50	19.88	0.0009	0.0555
25	10	1.20	1.80	9.38	0.0006	0.0460	7	2.30	2.10	8.83	0.0002	0.1837
26	11	3.20	1.80	9.77	0.0003	0.0364	11	1.60	1.80	9.77	0.0003	0.0364
27	29	1.60	1.50	4.88	0.0002	0.0306	29	4.00	1.50	4.87	0.0002	0.0306
28	24	3.80	1.50	12.48	0.0005	0.0467	10	2.80	1.60	10.35	0.0061	0.2363

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΥ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ

Ο αλγόριθμος αναπτύχθηκε για τη βελτιστοποίηση των διαγραμμάτων ελέγχου που στηρίζονται στην κατανομή πιθανότητας των τυχαίων διαδικαστικών αλλαγών πχ μεταβολές μέσης τιμής. Στόχος του σχεδιασμού, ήταν να ελαχιστοποιηθεί ο συνολικός μέσος όρος της συνάρτησης απώλειας Taguchi για κάθε περίπτωση εκτός ελέγχου (ML) μέσω της ρύθμισης του μεγέθους του δείγματος, του ρυθμού δειγματοληψίας και του ελέγχου των ορίων του διαγράμματος με βέλτιστο τρόπο.

Το βέλτιστο διάγραμμα ονομάζεται ML διάγραμμα. Προτάθηκε επίσης ένα σενάριο τριών φάσεων για το στατιστικό έλεγχο της διαδικασίας (SPC) έτσι ώστε να σχεδιάζεται και να λειτουργεί το διάγραμμα ML. Η κατανομή πιθανότητας των μέσων αλλαγών μπορεί να μοντελοποιηθεί μέσω μίας κατανομής Rayleigh που στηρίζεται στο ρυθμό δειγματοληψίας των μέσων αλλαγών που λαμβάνεται από αυτό το σενάριο.

Σε αντίθεση με τα σχέδια διαγραμμάτων οικονομικού ελέγχου, ο σχεδιασμός του διαγράμματος ML απαιτεί μόνο ένα περιορισμένο αριθμό προδιαγραφών που μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως το διάγραμμα ML είναι σημαντικά ανώτερο του διαγράμματος ελέγχου Shewchart όσον αφορά τη συνολική επίδοση. Παρόλο που το διάγραμμα ML υλοποιήθηκε μόνο για το διάγραμμα \bar{X} , η γενική ιδέα μπορεί να εφαρμοστεί και σε πολλά άλλα διαγράμματα, όπως CUSUM και EWMA.

Το διάγραμμα ελέγχου Shewchart \bar{X} χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία για την παρακολούθηση των μέσων αλλαγών κατά το στατιστικό έλεγχο διαδικασιών (SPC – Statistical Process Control). Συνήθως, το μέγεθος του δείγματος n είναι μικρό, συχνά 4, 5 ή 6 (Montgomery, 2001). Τα όρια ελέγχου LCL και UCL μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα για να ικανοποιήσουν διαφορετικές απαιτήσεις του ρυθμού λανθασμένου συναγερμού. Το διάστημα δειγματοληψίας h καθορίζεται συνήθως σύμφωνα με την ιδέα των λογικών υποσυνόλων.

Παρόλο που το διάγραμμα Shewchart \bar{X} είναι εύκολο να σχεδιαστεί και να λειτουργήσει, η επίδοσή του είναι μη ικανοποιητική είτε από τη στατιστική είτε από την οικονομική σκοπιά, και ειδικά για μικρές αλλαγές διαδικασιών. Η επίδοση αυτών των διαγραμμάτων μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση του μέσου χρόνου σήματος (ATS). Πρόκειται για το μέσο χρόνο που απαιτείται για να σηματοδοτηθεί μία αλλαγή στη διαδικασία αφού έχει συμβεί. Το εκτός-ελέγχου ATS χρησιμοποιείται ευρέως ως ένδειξη της αποδοτικότητας των διαγραμμάτων ελέγχου, ενώ το εντός-ελέγχου ATS_0 για το χρόνο λανθασμένου συναγερμού.

Εδώ, προτείνεται ένας αλγόριθμος που βασίζεται στα δεδομένα των αλλαγών στις διαδικασίες (meanshifts δ_μ). Αυτά τα δεδομένα λαμβάνονται από παρατηρήσεις των περιπτώσεων εκτός-ελέγχου εντός του σεναρίου SPC τριών φάσεων. Η δ_μ είναι μία τυχαία μεταβλητή, που έχει διαφορετικές κατανομές πιθανότητες για διαφορετικές διαδικασίες. Αυτή μπορεί να προσεγγιστεί από μία κατανομή Rayleigh (Wu, 2002). Ο αλγόριθμος βελτιστοποιεί τα μεγέθη n , h , LCL, UCL έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσει το ML (το μέσο όρο της συνάρτησης απωλειών για τις περιπτώσεις εκτός-ελέγχου). Η συνάρτηση απωλειών χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία για τη μέτρηση του κόστους εξαιτίας χαμηλής ποιότητας (Spring and Yeung, 1998).

Η συνάρτηση απωλειών l που συνδέεται με ένα συγκεκριμένο ποιοτικό χαρακτηριστικό x ορίζεται ως:

$$l = k (x - T)^2 \quad (1)$$

Όπου k μία σταθερά που συνδέεται με το κόστος των προδιαγραφών των ορίων. Είναι σαφές ότι όσο λιγότερες οι απώλειες, τόσο πιο κοντά στο T είναι το x . Επομένως, η μείωση του l είναι συνδεδεμένη άμεσα με τη βελτίωση της ποιότητας. Η αναμενόμενη τιμή L της l μέσω της κατανομής του x είναι (Ross, 1989):

$$L = k [\sigma^2 + (\mu - T)^2] \quad (2)$$

Όπου μ και σ είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του x .

Σε αυτή την ανάλυση υποθέτουμε ότι η κατανομή πιθανότητας του ποιοτικού χαρακτηριστικού x είναι κανονική με μέση τιμή μ_0 και τυπική απόκλιση σ_0 . Όταν εφαρμοστεί η μεταβολή μέσης τιμής, η μέση τιμή της διαδικασίας θα αλλάξει σε:

$$\mu = \mu_0 + \delta_\mu \sigma_0 \quad (3)$$

Όταν η διαδικασία είναι υπό έλεγχο, $\delta_\mu = 0$. Στη συζήτηση για το διάγραμμα \bar{X} , υποθέτουμε ότι η αλλαγή στην τυπική απόκλιση δε λαμβάνεται υπόψιν, δηλαδή $\sigma = \sigma_0$.

3.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Για να σχεδιαστεί το βέλτιστο διάγραμμα $ML-\bar{X}$, πρέπει να προσδιοριστούν μόνο οι τρεις παρακάτω παράμετροι:

τ : το ελάχιστο επιτρεπόμενο εντός-ελέγχου ATS_0

R : ο μέγιστος επιτρεπόμενος ρυθμός ελέγχου

μ_{δ_μ} : ο μέσος όρος των μεταβολών μέσης τιμής δ_μ

Η τιμή τ προσδιορίζεται με βάση την ισορροπία μεταξύ του ρυθμού λανθασμένου συναγερμού και της δυνατότητας εντοπισμού. Εάν το κόστος διαχείρισης του λανθασμένου συναγερμού είναι μεγάλο, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερο τ , έτσι ώστε να μειωθεί η συχνότητά τους. Ωστόσο, ένα μεγάλο τ , μπορεί να επηρεάσει την αποδοτικότητα του διαγράμματος ελέγχου.

Η τιμή R καθορίζεται με βάση τους διαθέσιμους πόρους και μπορεί να εκτιμηθεί από τα τεστ κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών εκτελέσεων.

Η τιμή μ_{δ_μ} μπορεί να εκτιμηθεί από τις παρατηρήσεις m των εκτός-ελέγχου περιπτώσεων κατά τη λειτουργία του διαγράμματος ελέγχου.

Ο σχεδιασμός της βελτιστοποίησης του διαγράμματος $ML-\bar{X}$ μπορεί να εκτελεστεί θέτοντας:

$$\mu_0 = 0, \sigma_0 = 1 \quad (4)$$

Τα τελικά όρια ελέγχου μπορούν να ρυθμιστούν με μία απλή αλλαγή χρησιμοποιώντας τις πραγματικές τιμές των μ_0, σ_0 .

3.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Ο αλγόριθμος σχεδιασμού του διαγράμματος μπορεί να περιγραφεί από το παρακάτω μοντέλο βελτιστοποίησης:

Αντικειμενική Συνάρτηση: $ML = \text{minimum}$

Υπό τους περιορισμούς:

$$ATS_0 \geq \tau \quad (5)$$

$$r \leq R \quad (6)$$

Μεταβλητές Σχεδιασμού: n, h, LCL, UCL

Όπου r είναι ο πραγματικός ρυθμός ελέγχου. Το μοντέλο βελτιστοποίησης βελτιστοποιεί τα n, h, LCL και UCL έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συνάρτηση ML ικανοποιώντας όλους τους περιορισμούς. Η ελαχιστοποίηση της ML θα μειώσει τις απώλειες ποιότητας που προκύπτουν από τις περιπτώσεις εκτός-ελέγχου.

Μεταξύ των μεταβλητών ελέγχου, μόνο το n είναι ανεξάρτητη μεταβλητή. Οι υπόλοιπες προσδιορίζονται ως ακολούθως:

Ρυθμός δειγματοληψίας h : για να ικανοποιηθεί η σχέση (6) και για να γίνει βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων πόρων, επιλέγεται:

$$R = r = \frac{n}{h} \quad (7)$$

Άρα,

$$h = \frac{n}{R} \quad (8)$$

Άνω Όριο Ελέγχου (UCL): για να ικανοποιηθεί η σχέση (5) και για να γίνει πιο «ισχυρό» το διάγραμμα, είναι ιδανική η επιλογή:

$$ATS_0 = \tau \quad (9)$$

Η αντίστοιχη πιθανότητα σφάλματος Τύπου I είναι:

$$\alpha = \frac{h}{ATS_0} = \frac{h}{\tau} \quad (10)$$

Επομένως, το UCL μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$UCL = \mu_0 + \frac{\Phi^{-1}(1 - 0.5\alpha)\sigma_0}{n^{\frac{1}{2}}} \quad (11)$$

Όπου Φ^{-1} η αντίστροφη συνάρτηση της αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας της τυπικής κανονικής κατανομής.

1. Κάτω όριο περιορισμού (LCL): Από τη στιγμή που τα όρια περιορισμού του διαγράμματος είναι συμμετρικά ως προς τη μέση τιμή μ_0 , το LCL μπορεί να καθοριστεί ως ακολούθως:

$$LCL = 2\mu_0 - UCL \quad (12)$$

Αφού έχουν καθοριστεί τα n , h , LCL, UCL, η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$ML = \int_0^{\infty} [g \text{ ATS}(\delta_\mu) L(\delta_\mu) f_{\delta_\mu}(\delta_\mu)] d\delta_\mu \quad (13)$$

Όπου $L(\delta_\mu)$, $\text{ATS}(\delta_\mu)$ οι αναμενόμενες τιμές της συνάρτησης απωλειών και του ATS εκτός-ελέγχου αντίστοιχα, για δοθείσα τιμή μεταβολής μέσης τιμής δ_μ . Η μεταβλητή g είναι ο αριθμός των προϊόντων που παράγονται ανά μονάδα χρόνου. Το γινόμενο των g και ATS είναι ο μέσος αριθμός προϊόντων που παράγονται κάτω από μία περίπτωση εκτός-ελέγχου. Μόνο θετικές μεταβολές μέσης τιμής πρέπει να ληφθούν υπόψιν λόγω της συμμετρίας της κατανομής του x .

Είναι ευρέως γνωστό ότι μικρά δ_μ είναι σημαντικά για την ML, γιατί μικρά δ_μ οδηγούν σε μεγάλα ATS . Από την άλλη, μεγάλα δ_μ μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε αύξηση της ML, γιατί μεγάλα δ_μ οδηγούν σε αύξηση της $L(\delta_\mu)$. Η σχέση (13) λαμβάνει υπόψιν διάφορα δ_μ και πιθανότητες και προσφέρει μια καλύτερη εκτίμηση των συνολικών απωλειών.

Με βάση τις εξισώσεις (2), (13), η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να γραφτεί ως: $ML = kg \int_0^{\infty} [\text{ATS}(\delta_\mu)(\sigma^2 + \delta_\mu^2 \sigma_0^2) f_{\delta_\mu}(\delta_\mu)] d\delta_\mu \quad (14)$

Το γινόμενο kg θα αγνοηθεί στη συνέχεια για λόγους απλότητας, αφού δεν επηρεάζει τις βέλτιστες τιμές των n , h , LCL, UCL.

Υποθέτουμε ότι το μέγεθος x έχει σταθεροποιηθεί στην εντός-ελέγχου κατανομή τη στιγμή που η αλλαγή της διαδικασίας λαμβάνει χώρα και ότι ο τυχαίος χρόνος της διαδικασίας αλλαγής προκύπτει από μια ομοιόμορφη κατανομή εντός ενός διαστήματος δειγματοληψίας (Reynolds, 1990). Έτσι, ισχύει το εξής:

$$\text{ATS}(\delta_\mu) = \text{ARL}(\delta_\mu) h - 0.5h \quad (15)$$

Όπου ARL – μέσος αριθμός δειγμάτων - είναι ο αριθμός των δειγμάτων που απαιτούνται για να σηματοδοτήσουν μία διαδικασία αλλαγής, αφού συμβεί.

$$\text{ARL}(\delta_\mu) = \frac{1}{1 - \beta(\delta_\mu)} \quad (16)$$

$$\beta(\delta_\mu) = \Phi\left(\frac{UCL - (\mu_0 + \delta_\mu\sigma_0)}{\frac{\sigma}{\frac{1}{n^2}}}\right) - \Phi\left(\frac{LCL - (\mu_0 + \delta_\mu\sigma_0)}{\frac{\sigma}{\frac{1}{n^2}}}\right) \quad (17)$$

Όπου β είναι η πιθανότητα τύπου II σφάλματος για δοθείσα τιμή δ_μ .

Είναι γνωστό πως ο ARL είναι φθίνουσα συνάρτηση των n , και το h αυξάνεται με το n . Αν χρησιμοποιηθεί μικρό n , ο ARL θα είναι μεγάλη και το h μικρό. Αντίθετα, αν το n είναι μεγάλο, η ARL θα είναι μικρή και το h μεγάλο. Από τη στιγμή που στη σχέση (15) υπάρχουν και οι δύο παράμετροι, θα υπάρχει κάποια βέλτιστη τιμή του n που ελαχιστοποιεί το ATS για δοθέν δ_μ . Από μία γενικότερη σκοπιά, θα πρέπει να υπάρχει τιμή του n που ελαχιστοποιεί την ML. Η τελική εξίσωση της ML είναι:

$$ML = \int_0^\infty \left[\left(\frac{h}{1 - \Phi\left(\frac{UCL - (\mu_0 + \delta_\mu\sigma_0)}{\frac{\sigma}{\frac{1}{n^2}}}\right) + \Phi\left(\frac{LCL - (\mu_0 + \delta_\mu\sigma_0)}{\frac{\sigma}{\frac{1}{n^2}}}\right)} - 0.5h \right) * (\sigma^2 + \delta_\mu^2\sigma_0^2) f_{\delta_\mu}(\delta_\mu) \right] d\delta_\mu \quad (18)$$

Ο συνολικός σχεδιασμός της βελτιστοποίησης εφαρμόζεται ως μία αναζήτηση μιας μεταβλητής. Η μεταβλητή n αυξάνεται κατά 1 με αρχή την τιμή 1. Τα βήματα του αλγορίθμου ακολουθούν:

1. Προσδιορίστε τα τ , R , μ_{δ_μ} και θέστε $\mu_0 = 0, \sigma_0 = 1$.
2. Αρχικοποίηση της τιμής ML_{\min} ως έναν πολύ μεγάλο αριθμό. Έστω $ML_{\min} = 10^7$.
3. Αναζητήστε για n από 1 μέχρι η ML να μην μπορεί να μειωθεί περαιτέρω. Για κάθε τιμή n , κάντε τους εξής υπολογισμούς:
 - α. Υπολογίστε το h από τη σχέση (8)
 - β. Υπολογίστε το UCL από τις σχέσεις (10), (11)
 - γ. Υπολογίστε το LCL από τη σχέση (12)
 - δ. Υπολογίστε την ML από τη σχέση (18)

ε. Εάν η υπολογισθείσα ML είναι μικρότερη από την τρέχουσα τιμή της ML_{\min} , αντικαταστήστε την τελευταία. Οι τρέχουσες τιμές των n , h , LCL και UCL είναι οι προσωρινές τιμές του βέλτιστου σχεδιασμού.

4. Στο τέλος της αναζήτησης, το βέλτιστο διάγραμμα $ML\bar{X}$ παράγει την ελάχιστη ML.
5. Στο τέλος, τα όρια ελέγχου πρέπει να τροποποιηθούν με τη χρήση των πραγματικών τιμών μ_0, σ_0 .

$$LCL_{final} = \mu_0 + \sigma_0 LCL$$

$$UCL_{final} = \mu_0 + \sigma_0 UCL \quad (19)$$

3.2.3 ΣΕΝΑΡΙΟ SPC ΤΡΙΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ

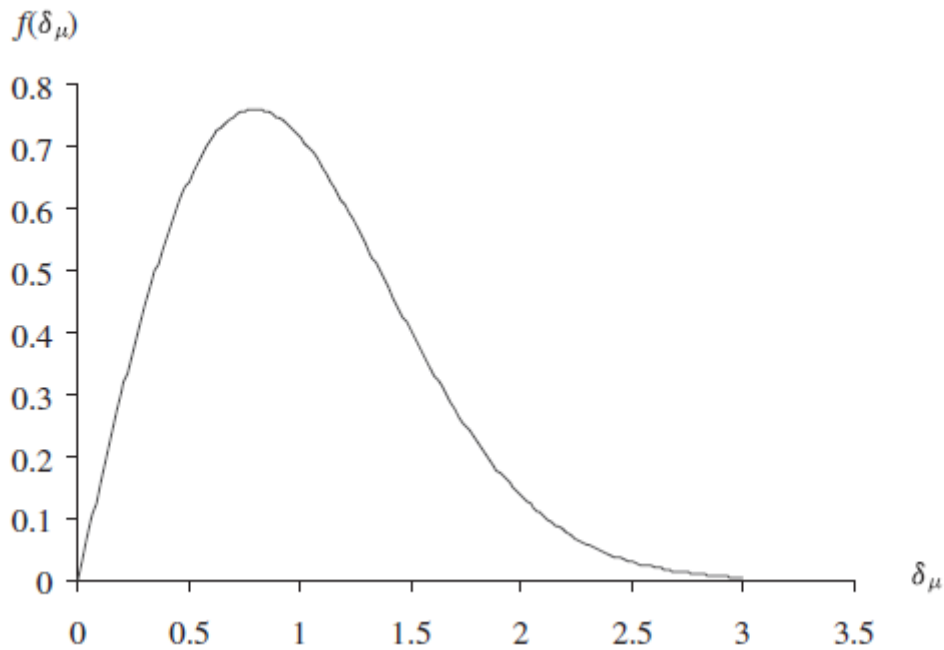
Η συνάρτηση κατανομής της δ_μ μπορεί να επιλεγθεί μέσω ενός σεναρίου SPC τριών φάσεων. Στην πρώτη φάση, συλλέγονται τα δεδομένα του x έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι εντός-ελέγχου τιμές των μ_0, σ_0 , για να προσδιοριστούν τα όρια ελέγχου ενός λειτουργικού διαγράμματος ελέγχου (Montgomery, 2001). Το διάγραμμα χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την εποπτεία της διαδικασίας στη δεύτερη φάση για τη λήψη των m τιμών του δείγματος δ_μ , δηλαδή τα d_1, d_2 κλπ.

Όταν τα m δείγματα είναι διαθέσιμα, το διάγραμμα ML μπορεί να σχεδιαστεί με μία από τις παρακάτω μεθόδους:

1. Μη-παραμετρική προσέγγιση. Οι τιμές του δείγματος δ_μ χρησιμοποιούνται χωρίς να προσαρμόζονται σε κάποια κατανομή πιθανότητας. Η έκφραση της ML ακολουθεί:

$$ML = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [ATS(\delta_i)(\sigma^2 + d_i^2 \sigma_0^2)] \quad (20)$$

2. Παραμετρική προσέγγιση. Οι τιμές του δείγματος προσαρμόζονται πρώτα σε κάποια κατανομή πιθανότητας. Η κατανομή Rayleigh είναι μία κατάλληλη υποψήφια (Wu, 2002).



Σχήμα 4.3 Κατανομή Rayleighγια μέση μετατόπιση ($\mu_{\delta\mu}=1$)

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Rayleigh είναι:

$$f_{\delta\mu}(\delta\mu) = \frac{\pi\delta\mu}{2\mu_{\delta\mu}^2} \exp\left(-\frac{\pi\delta\mu^2}{4\mu_{\delta\mu}^2}\right) \quad (21)$$

Το διάγραμμα που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην επερχόμενη φάση 3. Το σενάριο SPC τριών φάσεων μπορεί να ανανεώνει διαρκώς το διάγραμμα και να το διατηρεί βέλτιστο. Είναι βεβαίως ανώτερο του σεναρίου SPC δύο φάσεων, το οποίο καταλήγει σε ένα διάγραμμα με μέση επίδοση.

Είτε επιλεχθεί η παραμετρική προσέγγιση, είτε η μη-παραμετρική, η ακρίβεια της ML εξαρτάται από τον αριθμό των δειγμάτων m της $\delta\mu$. Όσο μεγαλύτερο είναι το m , τόσο μικρότερο το παρακάτω σφάλμα:

$$e = \left| \frac{ML_a - ML_m}{ML_a} \right| \quad (22)$$

Όπου ML_a η ακριβής τιμή της ML και ML_m η εκτιμηθείσα τιμή.

3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Για την υλοποίηση του παραπάνω αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκαν 4 αρχεία: run_algo.m, run_over_mdm.m, ML_function.m και f.m.

Το run_algo.m αφορά τον καθορισμό των βασικών παραμέτρων και τον έλεγχο των μετρήσεων που λαμβάνονται.

Το run_over_mdm.m αφορά τη λήψη τιμών της συνάρτησης ML για δοθέντες τιμές τ , R και διαφορετικές τιμές mdm. Καλείται από το run_algo.m για να υπολογιστούν οι αντίστοιχες τιμές και να εξαχθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Το ML_function.m αφορά την εκτέλεση του αλγορίθμου που περιεγράφηκε παραπάνω.

Το f.m περιέχει τη συνάρτηση πάνω στην οποία υπολογίζεται το ολοκλήρωμα που αναφέρεται στη σχέση (18), έχοντας λάβει υπόψιν τη σχέση (21).

Υπάρχουν σχόλια που εξηγούν τις εντολές που έχουν γραφτεί σε Matlab.

Οι κώδικες φαίνονται στο Παράρτημα 1.

3.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ – ΔΟΚΙΜΕΣ

Στη συνέχεια, εκτελούνται ορισμένα πειράματα υπολογισμών της ML αλλάζοντας τις βασικές παραμέτρους του αλγορίθμου. Οι υπολογισμοί και οι γραφικές παραστάσεις ελέγχονται από τον κώδικα στο Παράρτημα 2.

Οι παράμετροι τ και R καθορίζονται από το σύστημα ή το διαχειριστή του, ενώ η τιμή της παραμέτρου $\mu_{\delta\mu}$ από τις παρατηρήσεις του μεγέθους που μελετάμε. Αυτό σημαίνει ότι η παράμετρος $\mu_{\delta\mu}$ είναι πιο εύκολο να διαφέρει για διαφορετικές μελέτες του ίδιου μεγέθους ενός συστήματος. Με βάση αυτό το σκεπτικό επιλέχθηκαν και εκτελέστηκαν τα παρακάτω πειράματα.

Ως βασικές τιμές για τους πειραματικούς υπολογισμούς επιλέχθηκαν οι τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 12.3. Συγκεκριμένα:

τ	R	mdm
100	2	0.7
100	10	1.8
100	2	0.7
100	10	1.8
600	2	0.7
600	10	1.8
600	2	0.7
600	10	1.8

Πίνακας 12.3. Βασικές τιμές για τους πειραματικούς υπολογισμούς

Τα πειράματα που εκτελούνται αφορούν τις εξής τιμές:

t=100; R=2; mdm from 0.1 to 5

t=100; R=10; mdm from 0.1 to 5

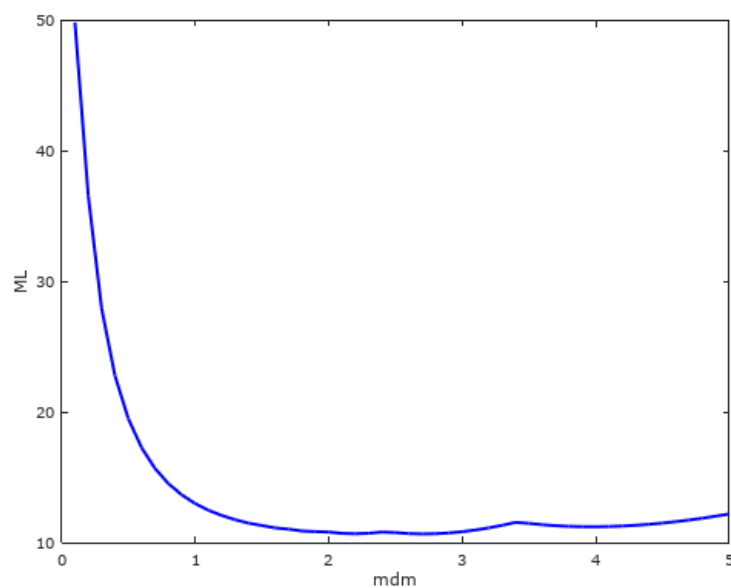
t=600; R=2; mdm from 0.1 to 5

t=600; R=10; mdm from 0.1 to 5

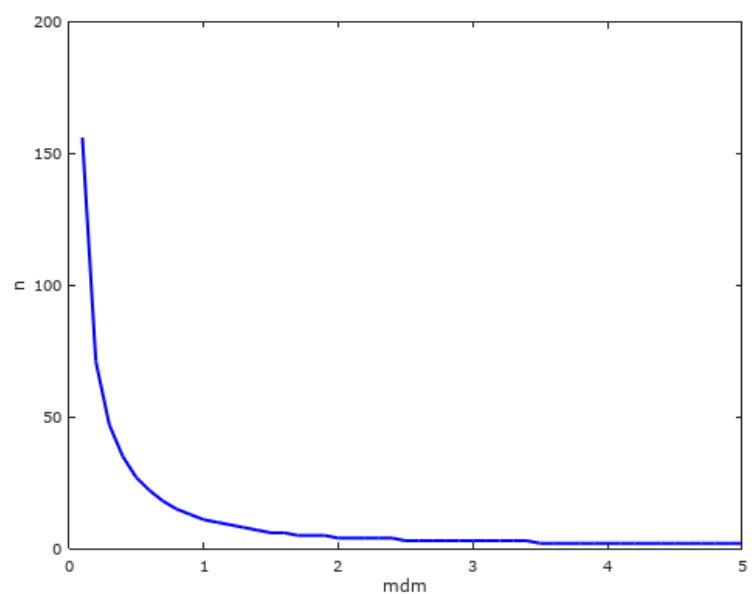
Δηλαδή έχουμε καθορίσει το ελάχιστο επιτρεπόμενο εντός-ελέγχου ATS_0 , τ , και το μέγιστο επιτρεπόμενο ρυθμό ελέγχου, R και εκτελούμε τις μετρήσεις για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου mdm , που είναι ο μέσος όρος των μεταβολών μέσης τιμής δ_μ . Οι τιμές που αναπαρίστανται αφορούν την τιμή της ML και την τιμή n για την οποία λήφθηκε αυτή η τιμή της ML .

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μετρήσεων που ελήφθησαν.

A: # ML , t=100; R=2; mdm from 0.1 to 5 with step 0.1

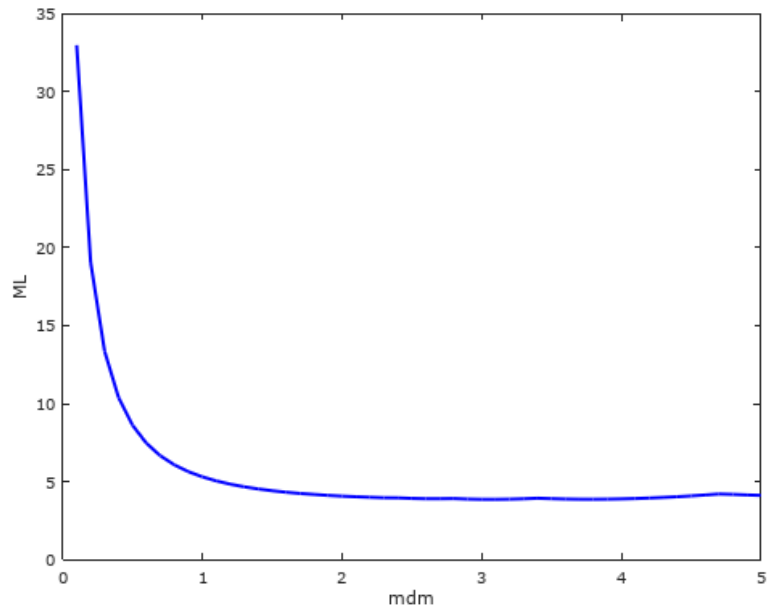


n , t=100; R=2; mdm from 0.1 to 5 with step 0.1

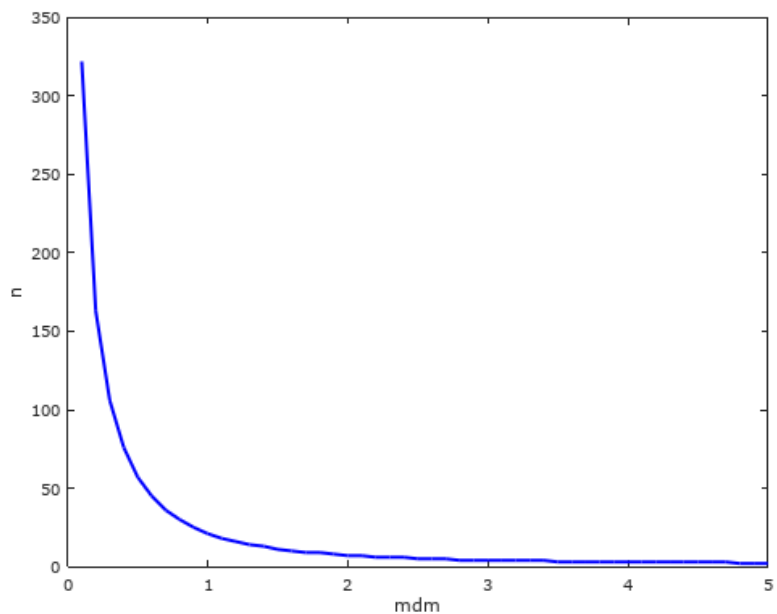


Στην πρώτη εκτέλεση του πειράματος η ML ξεκινάει από μία τιμή γύρω στο 50 και καταλήγει περίπου στο 12. Η σύγκλιση επιτυγχάνεται για τιμές του mdm περίπου γύρω στο 1.7. Αντίστοιχα, το n εκκινεί από την τιμή 156 και για τιμές mdm μεγαλύτερες του 2.5 λαμβάνει τιμές δείγματος μικρότερες του 3.

B: # ML, $t=100$; $R=10$; mdm from 0.1 to 5 with step 0.1



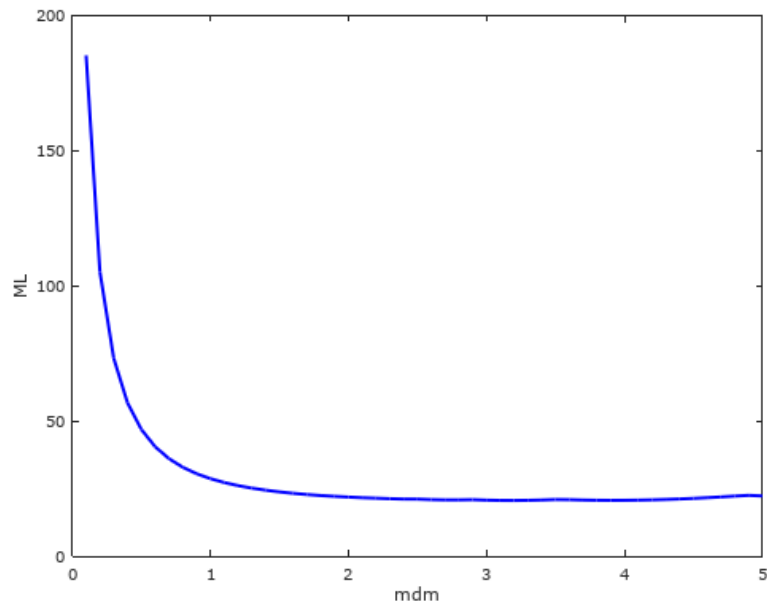
n , $t=100$; $R=10$; mdm from 0.1 to 5 with step 0.1



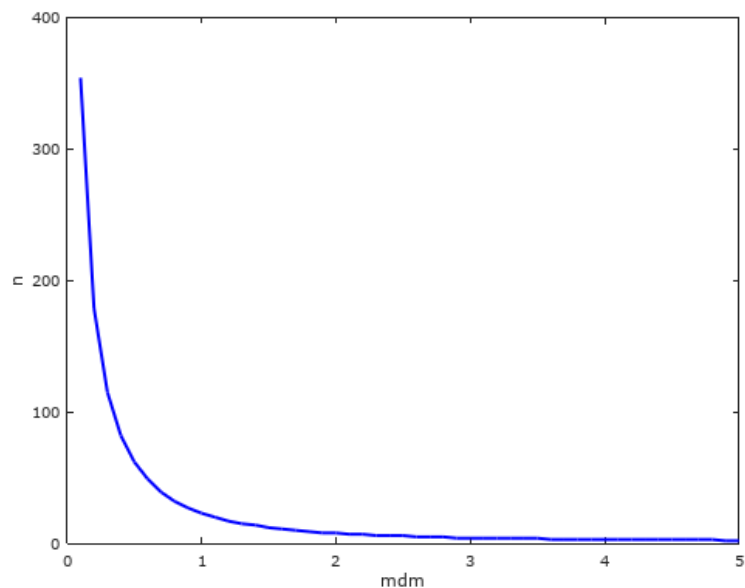
Στη δεύτερη εκτέλεση του πειράματος η ML ξεκινάει από μία τιμή γύρω στο 33 και καταλήγει περίπου στο 4. Η σύγκλιση επιτυγχάνεται για τιμές του mdm περίπου γύρω στο 1.

Αντίστοιχα, το η εκκινεί από την τιμή 325 και για τιμές mdm μεγαλύτερες του 2 λαμβάνει τιμές δείγματος ίσες με 2.

Γ:# ML, $t=600$; $R=2$; mdm from 0.1 to 5 with step 0.1

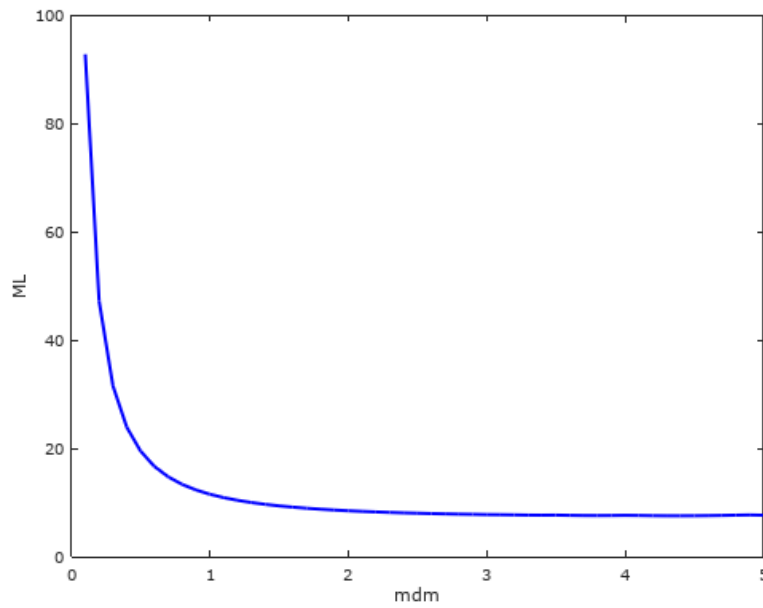


η , $t=600$; $R=2$; mdm from 0.1 to 5 with step 0.1

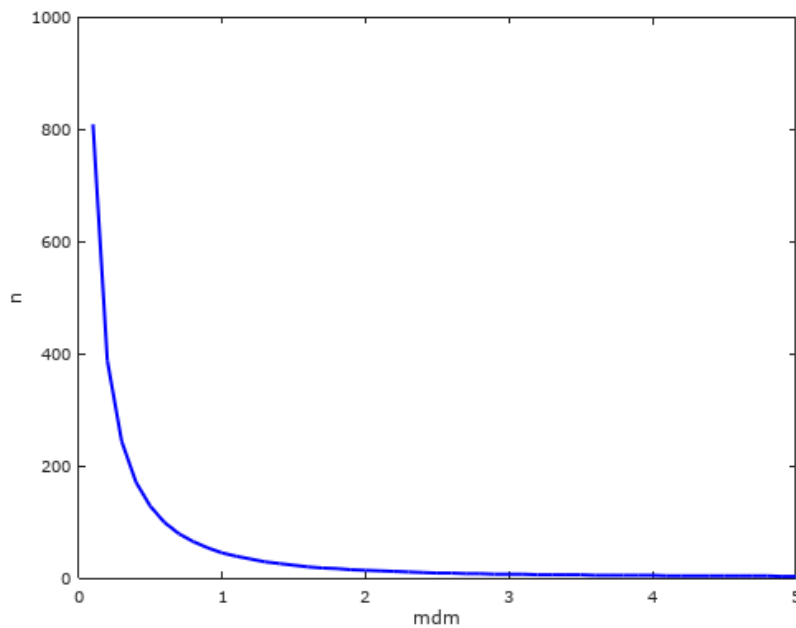


Στην τρίτη εκτέλεση του πειράματος η ML ξεκινάει από μία τιμή γύρω στο 185 και καταλήγει περίπου στο 22. Η σύγκλιση επιτυγχάνεται για τιμές του mdm περίπου γύρω στο 1. Αντίστοιχα, το η εκκινεί από την τιμή 354 και για τιμές mdm μεγαλύτερες του 2.9 λαμβάνει τιμές δείγματος μικρότερες του 4.

Δ :# ML, $t=600$; $R=10$; mdm from 0.1 to 5 with step 0.1



n, $t=600$; $R=10$; mdm from 0.1 to 5 with step 0.1



Στην τέταρτη εκτέλεση του πειράματος η ML ξεκινάει από μία τιμή γύρω στο 92 και καταλήγει περίπου στο 7. Η σύγκλιση επιτυγχάνεται για τιμές του mdm περίπου γύρω στο 1. Αντίστοιχα, το n εκκινεί από την τιμή 825 και για τιμές mdm μεγαλύτερες του 2 είναι μικρότερο του 14, μεγαλύτερες του 2.5 μικρότερο του 9, ενώ καταλήγει να ισούται με τιμή 3.

3.5 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Επαναλαμβάνεται ότι τα πειράματα εκτελέστηκαν με την εξής σειρά:

- # t=100; R=2; mdm from 0.1 to 5
- # t=100; R=10; mdm from 0.1 to 5
- # t=600; R=2; mdm from 0.1 to 5
- # t=600; R=10; mdm from 0.1 to 5

Το βήμα του mdm είναι 0.1.

Παρατηρούμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις η ML συγκλίνει περίπου στις ίδιες τιμές του mdm. Αντίστοιχα, οι τιμές του n συγκλίνουν με παρεμφερή τρόπο σε όλες τις εκτελέσεις για τιμές του mdm μεγαλύτερες περίπου του 2.5. Επίσης, παρατηρούμε ότι αν συγκρίνουμε τις τελικές τιμές του n μεταξύ των εκτελέσεων 1,2 και 3,4 η τιμή σύγκλισης της ML στις περιπτώσεις 1 και 3 είναι σχεδόν τριπλάσια της τιμής των 2 και 4. Τονίζεται ότι για τις εκτελέσεις 1, 2, $t=100$ ενώ $R_1 = 2$ και $R_2 = 10$. Αντίστοιχα για τις εκτελέσεις 3, 4, $t=600$ ενώ $R_3 = 2$ και $R_4 = 10$. Μία έντονη διαφορά που παρατηρείται είναι η τιμή του mdm για την οποία συγκλίνει η πρώτη εκτέλεση σε σχέση με τις άλλες. Στην πρώτη εκτέλεση συγκλίνει για τιμές mdm μεγαλύτερες του 1.7 περίπου, ενώ στις υπόλοιπες η αντίστοιχη τιμή είναι 1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΛΟΓΟΣ

4.1 ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο Taguchi λειτουργεί από την άποψη της συνολικής απώλειας. Ορίζει την απώλεια ποιότητας ως «η απώλεια που μεταδίδεται από το προϊόν στην κοινωνία από το χρόνο που το προϊόν στέλνεται στην αγορά». Αυτή η απώλεια περιλαμβάνει όχι μόνο την απώλεια στην επιχείρηση μέσω των δαπανών συντήρησης, αλλά και την απώλεια λόγω του χρόνου διακοπής εξαιτίας των αστοχιών του εξοπλισμού, των δαπανών προς τον πελάτη μέσω της κακής απόδοσης και αξιοπιστίας των προϊόντων που οδηγούν στις περαιτέρω απώλειες του κατασκευαστή. Ο Taguchi τα συνδέει με μια απλή τετραγωνική συνάρτηση απώλειας με τις αποκλίσεις από τον στόχο.

Το μοντέλο κόστους του Duncan εμπλουτίστηκε με ένα πλαίσιο για τη χρήση συνάρτησης απώλειας του Taguchi, η οποία καθορίζει τις απώλειες λόγω μεταβλητότητας που προκαλούνται τόσο από τυχαίες όσο και από τις εκχωρούμενες αιτίες που μπορούν να ληφθούν, για τον οικονομικό σχεδιασμό των διαγραμμάτων ελέγχου. Οι παράμετροι (N και H) πρέπει να προσαρμοστούν με βάση το μέγεθος της μετατόπισης διαδικασίας που ερευνάται. Οι μικρές μετατοπίσεις απαιτούν μεγαλύτερες τιμές N και H, ενώ για μεγάλες βάρδιες συνιστώνται μικρές N και H.

Για την ανίχνευση των μεταβολών της διαδικασίας στο μέσο προτάθηκε ένα διάγραμμα ελέγχου ML-CUSUM. Όσον αφορά τη συνολική μέση τιμή ML της συνάρτησης απώλειας, αυτό το διάγραμμα υπερβαίνει σε πολύ μεγάλο βαθμό το διάγραμμα ML- \bar{X} , καθώς και πολλά άλλα διαγράμματα Shewhart ή CUSUM που σχεδιάζονται από τις στατιστικές μεθόδους. Η βελτίωση της απόδοσης επιτυγχάνεται με το χαρακτηριστικό CUSUM καθώς και με τον σχεδιασμό βελτιστοποίησης των παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένου του εκθετικού w της μέσης μετατόπισης του δείγματος. Σε αντίθεση με το στατιστικό σχεδιασμό που επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση του ATS εκτός ελέγχου, ο αλγόριθμος σχεδιασμού του διαγράμματος ML-CUSUM συνδέει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του διαγράμματος με το κόστος ποιότητας. Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση μπορεί να συνδυάσει τα συνολικά μέτρα διαχείρισης της ποιότητας, με τους οικονομικούς στόχους και τον επιχειρησιακό έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας. Από την άλλη πλευρά, οι προδιαγραφές σχεδιασμού του διαγράμματος ML-CUSUM είναι σχετικά ευκολότερες σε διαχείριση σε σχέση με τα οικονομικά σχέδια.

Ο αλγόριθμος σχεδιασμού του διαγράμματος ML-CUSUM λαμβάνει υπόψη ολόκληρη την πιθανότητα κατανομής των μέσων μετατοπίσεων. Επιπλέον, κάθε φορά που ανιχνεύεται μια νέα περίπτωση εκτός ελέγχου και υπολογίζεται η τιμή δείγματος d της μέσης μετατόπισης d_{μ} , οι παράμετροι n , h , k , H και w ενός διαγράμματος ML-CUSUM μπορούν να ενημερωθούν μέσω ενός επανασχεδιασμού της διαδικασίας.

Μια λύση χωρίς τους στατιστικούς περιορισμούς θα δώσει τον οικονομικό σχεδιασμό με το διάγραμμα S. Αν και είναι πιο δαπανηρό να χρησιμοποιηθούν οικονομικά στατιστικά σχέδια, η βελτιωμένη στατιστική απόδοση μπορεί εύκολα να παρουσιάσει την αύξηση του κόστους εάν παρουσιαστεί η απροσδόκητη μετατόπιση.

Σε αντίθεση με το σχεδιασμό των διαγραμμάτων οικονομικού ελέγχου, ο σχεδιασμός του διαγράμματος ML απαιτεί μόνο ένα περιορισμένο αριθμό προδιαγραφών που μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως το διάγραμμα ML είναι σημαντικά ανώτερο του διαγράμματος ελέγχου Shewchart όσον αφορά τη συνολική επίδοση.

Παρόλο που το διάγραμμα Shewchart \bar{X} είναι εύκολο να σχεδιαστεί και να λειτουργήσει, η επίδοσή του είναι μη ικανοποιητική είτε από τη στατιστική είτε από την οικονομική σκοπιά, και ειδικά για μικρές αλλαγές διαδικασιών. Η επίδοση αυτών των διαγραμμάτων μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση του μέσου χρόνου σήματος (ATS). Πρόκειται για το μέσο χρόνο που απαιτείται για να σηματοδοτηθεί μία αλλαγή στη διαδικασία αφού έχει συμβεί. Το εκτός-ελέγχου ATS χρησιμοποιείται ευρέως ως ένδειξη της αποδοτικότητας των διαγραμμάτων ελέγχου, ενώ το εντός-ελέγχου ATS_0 για το χρόνο λανθασμένου συναγερμού.

Συνεπώς, ανάλογα με το τι παραμέτρους έχει ο κάθε ερευνητής στη διάθεσή του, όπως επίσης και ο ακριβής στόχος που θέλει να επιτύχει, μπορεί ουσιαστικά να χρησιμοποιήσει και την αντίστοιχη παραλλαγή της συνάρτησης απώλειας του Taguchi.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

run_algo.m

```
% Initialization of platform
clear;
close all;
more off;

% Loading the data from the paper
#fprintf('Loading Data ...\n');
data = load('data1.txt');

% Initialization of variables
global t;
global R;
global mdm;
global m0=0;
global s0=1;
global n;
global h;
global ATSO;
global a;
global UCL;
global LCL;
global output;

t = 400;
R = 4;
mdm = 0.8;

% Experimental Calculation of ML for given t, R, mdm
[ML,n] = ML_function(t,R,mdm);
printf("ML=%f n=%f \n", ML, n);
```

Για λόγους συνέπειας, επιλέχθηκαν τιμές από αυτές που χρησιμοποιούνται και στη δημοσίευση έτσι ώστε να ελεγχθεί η ορθότητα των προγραμμάτων που γράφτηκαν. Η παραπάνω πειραματική κλήση του ML_function.m δίνει ως αποτέλεσμα την τιμή:

ML=18.703399 n=37.000000

Ακριβώς δηλαδή την τιμή που παρατίθεται και στη δημοσίευση.

Στην επόμενη ενότητα, θα εκτελεστούν πειράματα για διαφορετικές τιμές των παραμέτρων και θα δοθούν και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

ML_function.m

```
# if this function is called directly from the command line  
# the variables m0, s0 should have been defined first
```

```
function [y1,y2] = ML_function(t, R, mdm)
```

```
% running the algorithm - step 1
```

```
global m0;
```

```
global s0;
```

```
global n;
```

```
global h;
```

```
global ATSO;
```

```
global a;
```

```
global UCL;
```

```
global LCL;
```

```
n = 1;
```

```
% running the algorithm - step 2
```

```
MLmin = 10^7;
```

```
% running the algorithm - step 3
```

```
while (true)
```

```
h = n/R;
```

```
ATSO = t;
```

```
a = h/ATSO;
```

```

X = norminv(1-0.5*a,0,1);
UCL = m0 + X * s0 / n^(1/2);
LCL= 2 * m0 - UCL;

% integration
[q, ier, nfun, err] = quad ("f", 0, Inf);

% update MLmin or not
if (q < MLmin)
    MLmin = q;
    n = n + 1;
else
    break;
endif

endwhile

y1 = MLmin;
y2 = n;

endfunction

```

f.m

```

function y = f(x)

global t;
global R;
global mdm;
global m0;
global s0;
global n;
global h;
global UCL;

```


global LCL;

$$y = (h/(1-\text{normcdf}((\text{UCL}-m_0-x*s_0)/(s_0*n^{(-1/2)}))+\text{normcdf}((\text{LCL}-m_0-x*s_0)/(s_0*n^{(-1/2)})))-0.5*h)*(s_0^2+x^2*s_0^2)*(pi*x/(2*(\text{mdm}^2))*\exp(-pi*(x^2)/(4*(\text{mdm}^2))));$$

endfunction

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

run_over_mdm.m

```
function y = run_over_mdm (t, R)

global mdm;

% variable for output and plotting
output = [];

% for loop - for the calculation of the ML_function for the different values of mdm
for mdm=0.1:0.1:5

% call ML_function
[ML, n] = ML_function(t, R, mdm);

printf("mdm=%d ML=%f n=%d\n", mdm, ML, n);

output = [output; mdm, ML, n];

end

% plotting
X = output(:,1);
y = output(:,2);
plot(X, y, '-b', 'LineWidth', 2);
xlabel('mdm'); ylabel('ML');

y = output;

endfunction
```

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Wu, Z., Shamsuzzamany, M., & Pan, E. S. (2004). Optimization design of control charts based on Taguchi's loss function and random process shifts. *International Journal of Production Research*, 42(2), 379–390.
- Yang, S. F. (1998). Economic statistical design of S control charts using Taguchi loss function. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 15(3), 259–272.
- Jiao, J. R., & Helo, P. T. (2008). Optimization design of a CUSUM control chart based on Taguchi's loss function. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35(11–12), 1234–1243.
- Suraj M. Alexander, Matthew A Dillman, John S. Usher, Biju Damodaran (1995) Economic design of control charts using the Taguchi loss function. *Computers and Industrial Engineering* 28(3), 671-679.
- Roy, Ranjit K. (2010). A primer on the Taguchi method. *Society of Manufacturing Engineers*
- Duncan, A.J (1956). The Economic Design of \bar{X} – Charts Used to Maintain Current Control of a Process. *Journal of the American Statistical Association*, Vol.51, 228-248.
- Ho,C.and K.E Case (1994) Economic Design of Control Charts: A Literature Review for 1981-1991. *Journal of Quality Technology*, Vol.26, 39-53.
- Lorenzen, T.J and L.C. Vance (1986). The Economic Design of Control Charts: A Unified Approach, *Technometrics*, Vol.28,3-10.
- William H. Woodall (1986). Weaknesses of the economic design of control charts. *Technometrics*, 408-409.
- Erwin M. Saniga (1979). Joint Economic Design of X and R Control Charts with Alternate Process Models, *AIIE Transactions*, 254-260.
- Wade E. Molnau, Douglas C. Montgomery, George C. Runger (2001). Statistically constrained economic design of the multivariate exponentially weighted moving average control chart, *Quality and Reliability Engineering International*.