ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΙΝΤΕΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ DSP

ΜΟΙΡΟΓΙΩΡΓΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ

Εξεταστική Επιτροπή: Καθ. Μιχάλης Ζερβάκης (επιβλέπων)
Αν. Καθ. Ευριπίδης Γ.Μ. Πετράκης
Καθ. Κων/νος Καλαϊτζάκης

Χανιά, Μάρτιος 2011

Στο Διονύση μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Μιχάλη Ζερβάκη για την επίβλεψη, την πολύτιμη καθοδήγηση σε κρίσιμα σημεία και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου διατριβής. Αλλά κυρίως θα ήθελα να τον ευχαριστήσω γιατί έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξή μου ως μηχανικό και γενικότερα στο πεδίο της Επιστήμης.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον αναπληρωτή καθηγητή Ευριπίδη Πετράκη, καθώς η στενή συνεργασία μας στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας, πέραν της καινούριας γνώσης που μου προσέφερε, επίσης με βοήθησε να εξελιχθώ και να αποκτήσω σημαντική εμπειρία σε ερευνητικό επίπεδο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Κων/νο Καλαϊτζάκη για την ολική του συνεισφορά του ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής και, κυρίως, στο στάδιο της αξιολόγησης της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονο ενδιαφέρον γύρω από τον τομέα της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας και Video, εστιάζοντας κυρίως στον τρόπο με τον οποίο μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην υπηρεσία των εφαρμογών. Πολλοί τομείς, όπως ο περιβαλλοντικός, ο ιατρικός, ο χώρος της εκπαίδευσης αλλά και της ασφάλειας, με κοινό γνώμονα αφενός την παρατήρηση και αφετέρου τη λήψη αποφάσεων που προκύπτουν και εξαρτώνται από την παρατήρηση που έχει προηγηθεί, πολύ συχνά χρησιμοποιούν πληροφορία εικόνας ως μέσο περαιτέρω διερεύνησης του εκάστοτε πεδίου εφαρμογής.

Λόγω του υψηλού, συνήθως, όγκου της πληροφορίας που οι μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας διαχειρίζονται, αλλά και των αναγκών για γρήγορη επεξεργασία έχει υπάρξει μία στροφή από τους κοινούς επεξεργαστές, που χρησιμοποιούνταν για την υλοποίηση και εκτέλεση των μεθόδων και των αλγορίθμων, στους επεξεργαστές DSP (digital signal processor).

Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διατριβής έγινε μελέτη των μεθόδων και των εφαρμογών επεξεργασίας εικόνας και βίντεο με χρήση επεξεργαστή DSP. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε εξαρχής και έγινε υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής, επεξεργασίας και μετάδοσης μέσω δικτύου εικόνων βίντεο. Αναπτύχθηκε τεχνογνωσία σε τομείς τεχνολογίας όπως:

(α) Ανάλυση video και υπολογισμός/καταγραφή κίνησης.

(β) Επικοινωνία σήματος video μέσω τοπικών δικτύων.

(γ) Προγραμματισμός επιταχυντών επεξεργασίας video (DSPs).

Το σύστημα που υλοποιήθηκε αποτελείται από πολλαπλές κάμερες οι οποίες επικοινωνούν με (αντίστοιχα) πολλαπλούς κεντρικούς Η/Υ (servers ή host computers). Κάθε σύστημα κάμερας μεταφέρει τα δεδομένα εικόνας μέσω δικτύου (1GB Ethernet) στους χρήστες (clients). Χρησιμοποιήθηκαν έγχρωμες κάμερες υψηλής ευκρίνειας και ταχύτητας, οι οποίες σε επικοινωνία με DSP boards, αποτέλεσαν τα δομικά στοιχεία του μοντέλου server – client που αναπτύχθηκε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Λίστα εικόνων/Σχημάτων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διατριβής έγινε μελέτη των μεθόδων και των εφαρμογών επεξεργασίας εικόνας και βίντεο με χρήση επεξεργαστή DSP. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε εξαρχής και έγινε υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής, επεξεργασίας και μετάδοσης μέσω δικτύου εικόνων βίντεο. Αναπτύχθηκε τεχνογνωσία σε τομείς τεχνολογίας αιχμής όπως:

(α) Ανάλυση video και καταγραφή κίνησης.

(β) Επικοινωνία σήματος video μέσω τοπικών δικτύων.

(γ) Προγραμματισμός επιταχυντών επεξεργασίας video (DSPs).

Το σύστημα που υλοποιήθηκε αποτελείται από πολλαπλές κάμερες οι οποίες επικοινωνούν με (αντίστοιχα) πολλαπλούς κεντρικούς Η/Υ (servers ή host computers). Κάθε σύστημα κάμερας μεταφέρει τα δεδομένα εικόνας μέσω δικτύου (1GB Ethernet) στους χρήστες (clients).

Χρησιμοποιήθηκαν έγχρωμες κάμερες υψηλής ευκρίνειας και ταχύτητας, οι οποίες σε επικοινωνία με DSP boards, αποτέλεσαν τα δομικά στοιχεία του μοντέλου server – client που αναπτύχθηκε. Στόχος της εργασίας είναι η λειτουργία μοντέλων πολλαπλών servers – πολλαπλών clients με λειτουργικότητα που συνοψίζεται παρακάτω:

- Μετάδοση σε πραγματικό χρόνο έγχρωμης εικόνας video υψηλής ευκρίνειας (πάνω από 1024x768 pixels) σε υψηλές ταχύτητες μετάδοσης (πάνω από 20 εικόνες το δευτερόλεπτο), εκμεταλλευόμενη της υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων των σύγχρονων υπολογιστών και δικτύων (τάξεως Gbit).
- Εφαρμογή τεχνικών βελτίωσης εικόνας video για την απομάκρυνση θορύβου, διόρθωση γεωμετρίας της κάμερας ή την αντιμετώπιση χαμηλού φωτισμού.
- Υψηλό βαθμό συμπίεσης εικόνας με ταυτόχρονη υψηλή ποιότητα σήματος στον client, με υιοθέτηση σύγχρονων προτύπων συμπίεσης τύπου M-JPEG και MPEG-2 ή MPEG-4.

- Επιλεκτική μετάδοση περιοχής ενδιαφέροντος (ROI – region of interest) με την επιλογή παραθύρου στην εικόνα μετάδοσης.
- Δυνατότητα επεξεργασίας σήματος (εικόνα-video και κίνηση) από πολλές κάμερες ταυτόχρονα.
- Καταγραφή νέου αντικειμένου σε ένα χώρο, υπολογισμός και καταγραφή διανυσμάτων κίνησης, όπως αυτά προκύπτουν από διαδοχικά frames βίντεο.
- Σύστημα ελέγχου με την ανάπτυξη επικοινωνίας χρήστη – συστήματος κάμερας που εκμεταλλεύεται τις παραπάνω δυνατότητες.
- Δυνατότητα «κλιμάκωσης» δηλ. μεγέθυνσης του συστήματος με την προσθήκη περισσότερων καμερών ή σταθμών ελέγχου ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής χωρίς επίπτωση στην απόδοση του συστήματος.

Η υλοποίηση της εργασίας καθορίστηκε από τον αρχικό σχεδιασμό, ο οποίος προέκυψε κατόπιν διερεύνησης προϊόντων και λύσεων που υπάρχουν στην αγορά. Η σχετική επισκόπηση του πεδίου κατέληξε στην επιλογή συγκεκριμένων επιθυμητών χαρακτηριστικών στο σύστημα της εργασίας.

Βασικός παράγοντας κατά τον αρχικό σχεδιασμό υπήρξε το χαρακτηριστικό ότι το σύστημα θα έπρεπε να χρησιμοποιεί υπάρχουσα υποδομή όπως σταθμοί ελέγχου, τοπικά δίκτυα, κάμερες αλλά και λογισμικό υποστήριξης χωρίς να αυξάνει υπερβολικά το κόστος των υπαρχόντων συστημάτων. Αναπτύχθηκε το απαραίτητο λογισμικό για την ανάλυση και την επεξεργασία του video, τη συμπίεση και τη μετάδοση μέσω δικτύου. Έγινε επανα-προσδιορισμός των αρχικών προδιαγραφών, κάτι που βελτίωσε αισθητά την απόδοση του συστήματος. Τέλος, το σύστημα εφαρμόστηκε σε πραγματικές συνθήκες, με την έννοια των υποδομών και του δικτύου, ώστε να ελεγχθεί η σωστή λειτουργία του.

Στο 1ο Κεφάλαιο, αφού γίνει μια αναφορά στα πεδία εφαρμογής της επεξεργασίας video με χρήση DSP, παρουσιάζεται η επιθυμητή λειτουργικότητα του συστήματος της εργασίας, συγκρινόμενο με την υπάρχουσα τεχνολογία.

Στο 2ο Κεφάλαιο αναλύεται η αρχιτεκτονική όλων των επιμέρους υπο-συστημάτων, η λειτουργικότητά τους καθώς και η περιγραφή λειτουργίας τους.

Στο 3ο Κεφάλαιο, υπάρχει αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής του συστήματος που αναπτύχθηκε, των μεθόδων ελέγχου και των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων που προέκυψαν.

Τέλος, στο 4ο Κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις μελλοντικές επεκτάσεις της εργασίας, δίνοντας προτάσεις τόσο σε άποψη της αρχιτεκτονικής του συστήματος όσο και στο πεδίο της εφαρμογής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Εφαρμογές επεξεργασίας βίντεο με DSP

1.1. Επεξεργασία βίντεο με χρήση DSP και πεδία εφαρμογής

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονο ενδιαφέρον γύρω από τον τομέα της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας, ιδιαίτερα στην εφαρμογή της, δηλαδή πως μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην υπηρεσία των εφαρμογών. Πολλοί τομείς, όπως ο περιβαλλοντικός, ο ιατρικός, ο χώρος της εκπαίδευσης αλλά και της ασφάλειας, με κοινό γνώμονα αφενός την παρατήρηση και αφετέρου τη λήψη αποφάσεων που προκύπτουν και εξαρτώνται από την παρατήρηση που έχει προηγηθεί, πολύ συχνά χρησιμοποιούν πληροφορία εικόνας ως μέσο περαιτέρω διερεύνησης του εκάστοτε πεδίου εφαρμογής. Ο τομέας Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας παρέχει ασφαλείς μεθόδους εξαγωγής συμπερασμάτων αλλά και αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο όσον αφορά στην καταγραφή δεδομένων.

Λόγω του υψηλού, συνήθως, όγκου της πληροφορίας που οι μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας διαχειρίζονται, αλλά και των αναγκών για γρήγορη επεξεργασία έχει υπάρξει μία στροφή από τους κοινούς επεξεργαστές που χρησιμοποιούνταν για την υλοποίηση και εκτέλεση των μεθόδων και των αλγορίθμων στους επεξεργαστές DSP (digital signal processor). Εν συντομία, οι DSP επεξεργαστές είναι επεξεργαστές των οποίων το υλικό (hardware), το λογισμικό (software) και το σετ εντολών τους (instruction set) είναι βελτιστοποιημένο για εφαρμογές αριθμητικής επεξεργασίας υψηλής ταχύτητας. Η διαφορά τους από τους κοινούς επεξεργαστές έγκειται στη διαφορετική αρχιτεκτονική τους (instruction set, memory handling, parallelism, data addressing) η οποία τους καθιστά ιδανικούς για σειριακές αριθμητικές πράξεις καθώς επιφέρουν συντομότερο χρόνο επεξεργασίας. Δεδομένου, λοιπόν, ότι αρκετές από τις μεθόδους επεξεργασίας εικόνας εφαρμόζονται pixel – by – pixel, σειριακά, η χρήση DSP είναι επιτακτική. Σε επόμενο κεφάλαιο θα γίνει εκτενής αναφορά στην αρχιτεκτονική των DSP επεξεργαστών και, συνεπώς, στα πλεονεκτήματά τους.

Το εύρος του πεδίου εφαρμογών για μεθόδους ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας με χρήση DSP είναι μεγάλο, καθώς η παρατήρηση και η εξαγωγή συμπερασμάτων με χαμηλούς χρόνους επεξεργασίας και υψηλής ποιότητας και ευκρίνειας εξαγωγή συμπερασμάτων αποτελούν κρίσιμο χαρακτηριστικό πολλών τομέων εφαρμογής. Ενδεικτικά, μερικοί από τους τομείς όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί επεξεργασία εικόνας με εξαγωγή αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο είναι οι:

- Περιβάλλον: η παρατήρηση και καταγραφή με τη μορφή εικόνας περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών, π.χ. ροή υδάτων σε ποταμό, περιεκτικότητα σε ιζήματα, έντονη αύξηση θερμότητας στο σημείο – πεδίο παρατήρησης (εντοπισμός πυρκαγιάς), παρατήρηση ανάπτυξης φυτών και καταγραφή της σε χρονική κλίμακα, κλπ. Τα παραπάνω μπορούν να οδηγήσουν σε αυτοματοποίηση της διαδικασίας παρατήρησης ακόμη και σε δύσβατες περιοχές ή σε συνθήκες ακραίων καιρικών φαινομένων και να οδηγήσουν σε πραγματικό χρόνο (δηλαδή, τη στιγμή εκδήλωσης του παρατηρηθέντος φαινομένου) είτε σε απλά δημιουργία σήματος προειδοποίησης (alert) ή ακόμη και σε αυτόματη ενεργοποίηση επόμενων υποσυστημάτων ενός γενικότερου συστήματος.
- Ιατρική: η μελέτη και η εξαγωγή χαρακτηριστικών/συμπερασμάτων, η ακριβής μελέτη ιατρικών εξετάσεων (οι οποίες μπορούν να καταγραφούν με τη μορφή εικόνας υψηλής ευκρίνειας) για τον εντοπισμό μη επιθυμητών σωματιδίων/χαρακτηριστικών. Εδώ η έννοια της σύντομης επεξεργασίας δεδομένων αφορά στην καταγραφή των ‘ιδιαίτερων’ χαρακτηριστικών μόνο με την έννοια της προσφοράς σε πιο γρήγορη, πάντοτε ασφαλή διάγνωση και μόνο.
- Εκπαίδευση: η τηλε-εκπαίδευση ειδικευομένων γιατρών, παρέχοντας τη δυνατότητα να παρακολουθούν όλοι, μεν, μαζί, αλλά ανά ομάδα διαφορετική περιοχή ενδιαφέροντος μιας χειρουργικής επέμβασης είναι

ένα παράδειγμα όπου η επεξεργασία και μετάδοση εικόνας 'απαιτεί' υλοποίηση σε πραγματικό χρόνο.

- Ασφάλεια - Επιτήρηση χώρων: σπίτια, γραφεία, μικρά καταστήματα, σύγχρονα πολυκαταστήματα, μεγάλες εταιρείες, ξενοδοχεία, εργοστάσια, σχολεία, τράπεζες, γήπεδα, νοσοκομεία, δημόσιες υπηρεσίες, πρεσβείες, υπουργεία, αεροδρόμια. Όλοι οι παραπάνω χώροι, με γνώμονα την ασφάλεια, μπορεί να γίνουν το πεδίο εφαρμογής συστημάτων επιτήρησης χώρου με χρήση κατάλληλου συστήματος καμερών, με χρήση συμβατικών (γενικής χρήσης) Η/Υ ή και με κεντρικούς servers και clients και επιπλέον με χρήση του τοπικού δικτύου (LAN). Ίσως σε αυτές τις περιπτώσεις να είναι απαραίτητη και η ύπαρξη αλγορίθμων ανίχνευσης κίνησης.

Σε όποιο πεδίο εφαρμογής και αν το δει κάποιος, με οποιεσδήποτε προδιαγραφές και ανάγκες συστήματος αλλά και όποιο κι αν είναι το αντικείμενο της παρατήρησης, τα παραπάνω καθιστούν αναγκαίο ένα σύστημα το οποίο με εικόνα/βίντεο ως δεδομένα εισόδου και κατάλληλες μεθόδους ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, υλοποιημένες έτσι ώστε να απαιτούν μικρούς χρόνους επεξεργασίας με σκοπό να προσεγγίζουν την έννοια της επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο, να μπορεί να έχει ως 'έξοδο' ό,τι ο κάθε τομέας εφαρμογής ορίζει ως σημαντικό (π.χ. νέο αντικείμενο στο πεδίο παρατήρησης, χαρακτηριστικά του νέου αντικειμένου, δυνατότητα παρατήρησης σε πολλαπλές περιοχές ενδιαφέροντος ταυτόχρονα, κ.ά.). Στο εξής, το σύστημα που έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας, για λόγους γενικότητας ως προς το πεδίο της εφαρμογής, θα καλείται σύστημα επιτήρησης ή, εναλλακτικά, σύστημα επίβλεψης.

1.2. Σύγχρονα συστήματα επιτήρησης

Τα σύγχρονα συστήματα επιτήρησης αφορούν κυρίως σε επιτήρηση χώρων με κύριο χαρακτηριστικό τους την ικανοποιητική απόδοση υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο (ή, τουλάχιστον, την απόκριση του συστήματος σε μικρό χρονικό διάστημα). Η υψηλής απόδοσης υπολογιστική ισχύ των συστημάτων αυτών σε συνδυασμό με την υψηλής απόδοσης δυνατότητα ενδο-επικοινωνίας (ανάμεσα στα επιμέρους υποσυστήματα) πρέπει να είναι ένας από τα σημαντικότερα κριτήρια επιτυχίας κατά το σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος.

Στον τομέα των συστημάτων επιτήρησης, υπάρχουν κάποια στοιχεία που είναι κοινά σε όλα τα συστήματα, όπως η ανάλυση και η επεξεργασία video και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ των επιμέρους υποσυστημάτων. Πολλές, ανεξάρτητες μεταξύ τους κάμερες παρέχουν οπτική πρόσβαση και έλεγχο σε ένα χώρο. Άλλα χαρακτηριστικά μπορεί να είναι η ανίχνευση κίνησης και ο εντοπισμός αντικειμένων. Συνήθως ένας χρήστης ενδιαφέρεται για τον εντοπισμό ή παρακολούθηση κίνησης όχι όλων των δυνατών αλλά μίας κατηγορίας αντικειμένων (π.χ. άνθρωποι). Όταν το αντικείμενο ενδιαφέροντος εντοπιστεί, ο χρήστης πιθανόν να πρέπει να πάρει αποφάσεις, όπως παρακολούθηση της κίνησης του αντικειμένου, οι οποίες θα πρέπει να υλοποιηθούν σε πραγματικό χρόνο.

Ο λεπτομερής και προσεκτικός σχεδιασμός των επιμέρους συστημάτων, με τη διαμόρφωση των συσκευών που τα απαρτίζουν, είναι ίσως το σπουδαιότερο στάδιο της υλοποίησης ενός συστήματος επιτήρησης χώρων. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει:

- Να χρησιμοποιείται ο κατάλληλος εξοπλισμός ανάλογα με την εφαρμογή, παρέχοντας μια καλή σχέση απόδοσης – τιμής συστήματος.
- Να σχεδιάζεται με ακρίβεια και προσοχή η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος σε οποιονδήποτε χώρο.
- Να αξιοποιούνται στο βέλτιστο οι δυνατότητες των επιμέρους υποσυστημάτων αλλά και οι προδιαγραφές σχεδίασης του συστήματος να είναι προσεκτικά ορισμένες και αντίστοιχες των απαιτήσεων του χώρου εφαρμογής.
- Να παρέχεται αξιοπιστία και σιγουριά καλής και σωστής λειτουργίας του συστήματος.

Για τους παραπάνω λόγους, το σύστημα επιτήρησης που σχεδιάστηκε στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας υποβλήθηκε πρώτα σε εκτενείς ελέγχους και δοκιμές, ώστε να διασφαλιστεί πλήρης λειτουργικότητα.

Διερευνήθηκαν προϊόντα και λύσεις που ήδη υπάρχουν στην αγορά, ενώ παράλληλα διερευνήθηκε και το πλαίσιο εφαρμογών που οι λύσεις αυτές έχουν εφαρμογή. Η σχετική επισκόπηση του πεδίου κατέληξε στην επιλογή συγκεκριμένων επιθυμητών χαρακτηριστικών στο σύστημα του έργου, που δίνουν την απαραίτητη προστιθέμενη αξία για να έχει προοπτική περαιτέρω εξέλιξης.

1.2.1. Υπάρχοντα συστήματα – εφαρμογές

Τα συστήματα επιτήρησης χώρων είναι αυτά που κυρίως κυκλοφορούν ως εμπορικά προϊόντα και έχουν σκοπό να διευκολύνουν την προσωπική αλλά και την επαγγελματική ζωή μας, να προσφέρουν ασφάλεια στα κτίρια αλλά και στα πρόσωπα τα οποία υπάρχει ανάγκη να τα επιτηρούμε. Αυτά, σε συνάρτηση με τις ανάγκες της εποχής που ζούμε, επιβάλλουν μία σειρά από απαιτήσεις όπως έγχρωμη εικόνα, υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, ρεαλιστική κίνηση και αυτοματοποίηση (δηλ. με ελάχιστη ή καθόλου παρέμβαση του χρήστη) και όλα αυτά ταυτόχρονα με χαμηλό κόστος αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης. Η εξάπλωση της χρήσης συστημάτων ασφάλειας οφείλεται κυρίως στην πτωτική τάση κόστους απόκτησης υπολογιστικής ισχύος την τελευταία δεκαετία, γεγονός που έχει οδηγήσει στη γενικότερη μείωση του κόστους απόκτησης ενός συστήματος επιτήρησης χώρου. Παρόλα αυτά, καθώς οι εφαρμογές γίνεται όλο και πιο πολύπλοκες (ως προς τη λειτουργικότητα που προσφέρουν), το υψηλό κόστος μετατοπίζεται σε συντήρηση και, κυρίως, σε επέκταση υπαρχόντων συστημάτων με νέες λειτουργίες.

Η ηλεκτρονική (αυτόματη) επιτήρηση χώρων και εγκαταστάσεων με αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας αποτελεί ένα από τα τελευταία επιτεύγματα της τεχνολογίας. Η ιδιωτική περιουσία ή πληροφορία προστατεύεται από κακόβουλες ενέργειες με τη χρήση τεχνικών μέσων. Αυτοματοποιημένες συσκευές απεικονίζουν την εικόνα και τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται σε χρήστες για την περαιτέρω διαχείριση και καταγραφή τους. Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα στον τομέα συστημάτων επιτήρησης χώρων επικεντρώνεται σε εφαρμογές που να μπορούν να παρέχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη και, επομένως, ασφάλεια στους χώρους που εφαρμόζονται.

Η επιτήρηση χώρων με τη χρήση ειδικά σχεδιασμένων συστημάτων έχει γενικά τις εξής δυνατότητες:

- Ζωντανή επίβλεψη χώρου από μία ή περισσότερες κάμερες ταυτόχρονα.
- Καταγραφή όλων των δεδομένων των καμερών (24ωρη συνεχής εγγραφή) στο σκληρό δίσκο του κεντρικού Η/Υ, αλλά και καταγραφή των εικόνων μόνο σε περίπτωση συγκεκριμένων συμβάντων, όπως, για παράδειγμα, κίνηση.
- Παρακολούθηση του επιτηρούμενου χώρου, απομακρυσμένα, μέσω τηλεφωνικής γραμμής (παλαιότερα PSTN, ISDN και πρόσφατα ADSL).
- Αυτοματοποίηση συστήματος ασφάλειας χώρου με σύνδεση του συστήματος επιτήρησης με το σύστημα συναγερμού του χώρου. Αυτό είναι ίσως και η δύσκολη απαίτηση στην υλοποίησή της καθώς η λειτουργία αυτή απαιτεί την λήψη απόφασης (π.χ. συναγερμός) και πρέπει να λαμβάνεται σε πραγματικό χρόνο περιορίζοντας ταυτόχρονα την πιθανότητα σφάλματος.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν αρκετά συστήματα επιτήρησης χώρων τα οποία μπορεί να παρέχουν πέραν της απλής επιτήρησης χώρου επιπλέον λειτουργίες, όπως:

- Ειδικό εξοπλισμό για “night vision”, δηλαδή δυνατότητα επιτήρησης του χώρου και τη νύχτα με ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- Εξελιγμένα, ειδικά συστήματα με ειδικές απαιτήσεις και προδιαγραφές για εφαρμογές αμυντικού χαρακτήρα.

1.2.2. Εξειδικευμένες εφαρμογές

Στη διεθνή αγορά, ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις της εφαρμογής, του χώρου, δηλαδή, του οποίου απαιτείται η επιτήρηση, κυκλοφορούν και αντίστοιχων απαιτήσεων και προδιαγραφών συστήματα. Στην υπό-ενότητα αυτή περιγράφονται μερικές από τις πιο διαδεδομένες περιπτώσεις τέτοιων εφαρμογών.

Ορισμένες εφαρμογές – συστήματα επιτήρησης χώρου που είναι διαθέσιμες στο εμπόριο είναι συνδυασμός επιτήρησης και ταυτόχρονα καταμέτρησης πελατών που συνήθως εφαρμόζονται σε μεγάλα εμπορικά κέντρα. Αυτά τα συστήματα μπορούν να συνδεθούν με τις ταμειακές μηχανές του εμπορικού κέντρου έτσι ώστε να εξασφαλισθεί ότι κάθε συναλλαγή ελέγχεται και ότι δεν γίνονται ατασθαλίες.

Με την εμφάνιση σύγχρονων απειλών τρομοκρατίας, έχουν αναπτυχθεί συστήματα ασφαλείας για χώρους όπου παρατηρείται συγκέντρωση μεγάλων πληθυσμών ατόμων όπως αεροδρόμια, πλατείες, λιμάνια, σταθμοί τρένων, γήπεδα και αλλού. Ειδικότερα, η εφαρμογή των συστημάτων σε χώρους συγκέντρωσης επιβατών σε αεροδρόμια ή τρένα είναι ιδιαίτερα σημαντική επειδή σε τέτοιους χώρους εμφανίζονται οι μεγαλύτερες απειλές. Εκεί απαιτείται η εφαρμογή συστημάτων επιτήρησης με αυξημένες δυνατότητες αυτοματοποίησης ώστε να δίνεται η δυνατότητα να περιλαμβάνουν λειτουργίες όπως ανίχνευση ύποπτων κινήσεων ή εντοπισμό παραμελημένων αντικειμένων. Η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων βρίσκεται σήμερα στην αιχμή της έρευνας διεθνώς. Σε όλες περιπτώσεις ή επιτήρηση μπορεί διακρίνεται σε:

- ***<u>Ακούσια:</u>*** τα άτομα βρίσκονται χωρίς απαραίτητα την συγκατάθεσή τους ή δεν έχουν απαραίτητα την αίσθηση ότι βρίσκονται στο οπτικό πεδίο των καμερών του συστήματος (αν και πολλές φορές δια νόμου ενημερώνονται για αυτό). Αυτό παρατηρείται στο μεγαλύτερο ποσοστό εφαρμογών κυρίως σε χώρους υψηλής συγκέντρωσης ατόμων όπως σταθμούς επιβίβασης (τρένα, λιμάνια, αεροδρόμια), δρόμους, εμπορικά κέντρα κλπ. Ο αντικειμενικός στόχος του συστήματος σε αυτές τις εφαρμογές είναι ή επιβεβαίωση της ασφάλειας του χώρου ή αντίθετα η ανίχνευση κινδύνου ή παραβατικής συμπεριφοράς. Παρόμοιας φιλοσοφίας αλλά πιο εξειδικευμένης χρήση είναι τα συστήματα ασφαλείας που σκοπό έχουν την ανίχνευση παράβασης σε επιτηρούμενους χώρους (π.χ. Επιτήρηση εμπορικών χώρων τη νύχτα).
- ***<u>Εκούσια:</u>*** Τα άτομα παρακολουθούνται με κάμερα μετά από δική τους συναίνεση με σκοπό της εμπέδωση του αισθήματος ασφάλειας ή την αύξηση της παραγωγικότητας της εργασίας. Η κατηγορία αυτή συστημάτων έχει συνέχεια αυξανόμενη αποδοχή και εφαρμογή καθώς οδηγεί σε μείωση κόστους κάποιας δραστηριότητας. Παράδειγμα αποτελεί

σύστημα για την επιτήρηση παιδιών σε χώρους παιχνιδιού, ηλικιωμένων σε χώρους κατοικίας. Νεότερη εφαρμογή με αυξημένο εμπορικό ενδιαφέρον αποτελεί η παρακολούθηση με κάμερα επιβατών σε αεροδρόμια για την άμεση ενημέρωσή τους για την πορεία της επιβίβασής τους, τον ευκολότερο εντοπισμό τους και άρα την μείωση των καθυστερήσεων και τέλος της μείωση του κόστους των πτήσεων.

Για το σχεδιασμό συστημάτων ασφαλείας για χώρους όπου παρατηρείται συγκέντρωση μεγάλων πληθυσμών (π.χ. χώρους συγκέντρωσης επιβατών) απαιτείται σχεδιασμός τριών επιμέρους υποσυστημάτων που περιγράφονται παρακάτω. Το κάθε ένα υποσύστημα έχει δικά του λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ενώ το ολοκληρωμένο σύστημα επιτήρησης προκύπτει από την ολοκλήρωση (integration) των τριών υποσυστημάτων.

I. Ένα συμπαγές σύστημα αναμεταδότη το οποίο θα τοποθετείται σε κάθε επιβάτη μέσου μαζικής μεταφοράς ή στην αποσκευή του (στην περίπτωση «εκούσιας επιτήρησης» που αναφέρθηκε παραπάνω). Αυτό το σύστημα θα αναμεταδίδει τη θέση του επιβάτη μέσα στο σταθμό ή το αεροδρόμιο. Πρέπει να έχει χαμηλό κόστος ώστε να μπορεί να "επιτραπεί" η παροχή ενός από αυτό σε κάθε επιβάτη. Επίσης, θα μπορούσε να είναι ενσωματωμένο στην κάρτα επιβίβασης του κάθε επιβάτη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αναμεταδότες που βασίζονται σε τεχνολογία «ράδιο-συχνοτήτων» όπως παθητικοί ή ενεργητικοί πομποί RFID.

II. Ένα συμπαγές, υψηλής ευκρίνειας, (πολλές φορές πανοραμικό σύστημα καμερών για να επιτυγχάνεται πλήρης κάλυψη του χώρου σε όλες τις κατευθύνσεις και χωρίς κενά) και το αντίστοιχο λογισμικό, ικανό να "ακολουθεί" τον επιβάτη και να είναι σε θέση να επιβεβαιώσει την ταυτότητά του ανά πάσα στιγμή. Η τεχνική δυσκολία σε αυτά τα συστήματα αφορούν το λογισμικό που θα είναι σε θέση να παρακολουθεί τον επιβάτη όταν μετακινείται στον χώρο συνεχώς με αποτέλεσμα να φεύγει από το οπτικό πεδίο μιας κάμερας και να εμφανίζεται στο οπτικό πεδίο μιας άλλης κάμερας).

III. Ένα εργονομικό σύστημα διεπαφής (user interface) χρήστη συστήματος που να παρουσιάζει τους χώρους που παρακολουθούν οι κάμερες, αλλά και τους υπό παρακολούθηση επιβάτες (οι οποίοι ενδεχομένως αποτελούν κίνδυνο με οποιονδήποτε τρόπο για την ομαλή λειτουργία του αεροδρομίου ή μπορούν να προκαλέσουν καθυστερήσεις ή άλλα προβλήματα στην λειτουργία του χώρου).

Η παρακάτω περιγραφή αφορά στην περίπτωση αεροδρομίων για λόγους συντομίας και ευκολότερης ανάλυσης των στοιχείων, ενώ εύκολα μπορεί κανείς να κάνει τον παραλληλισμό και με άλλες, αντίστοιχες, περιπτώσεις χώρων όπου απαιτείται επιτήρηση, όπως γήπεδα, σταθμούς μέσων μαζικής μεταφοράς, κλπ.

1.2.3. Παραδείγματα εμπορικών συστημάτων επιτήρησης

#	Σύντομη Περιγραφή	URL
1	Κάμερες (ενσύρματες ή ασύρματες) για επιτήρηση χώρων που βοηθούν στην προστασία των χώρων από εισβολείς. Η καταγραφή (αρχειοθέτηση) του βίντεο που τραβά η κάμερα μπορεί να γίνει με digital video recorders (DVRs). Οι κάμερες της εταιρείας είναι πλήρως ανεξάρτητες από οποιοδήποτε άλλο μηχάνημα (δεν χρειάζεται Η/Υ).	http://www.smarthome.com/
2	Το EZWatch Pro 3.0 HD είναι ένα επαγγελματικό security kit το οποίο εγκαθίσταται και λειτουργεί σε Η/Υ, ο οποίος "μετατρέπεται" σε ένα επαγγελματικό DVR ασφαλείας. Το kit περιλαμβάνει όλα όσα χρειάζονται για ένα σύστημα επιτήρησης χώρων 8 καμερών. Περιλαμβάνει Λογισμικό, παρέχει 60fps και νυχτερινή λήψη	www.ezwatchstore.com Τιμή: $1500 -$2500

	καταγράφοντας και αρχειοθετώντας το βίντεο που τραβούν οι κάμερες. Το όλο σύστημα παρέχει 30-60 μέρες υψηλής ποιότητας καταγραφή βίντεο σε σκληρό δίσκο.	
3	Το EZWatch 32 είναι ένα επαγγελματικό security kit το οποίο εγκαθίσταται και λειτουργεί σε Η/Υ, ο οποίος "μετατρέπεται" σε ένα επαγγελματικό, υψηλής απόδοσης DVR ασφαλείας. Το kit περιλαμβάνει όλα όσα χρειάζονται για ένα σύστημα επιτήρησης χώρων 32 καμερών. Περιλαμβάνει Λογισμικό, παρέχει 240fps (ή 7.5 fps ανά κάμερα) και νυχτερινή λήψη καταγράφοντας και αρχειοθετώντας το βίντεο που τραβούν οι κάμερες. Το όλο σύστημα παρέχει 30-60 μέρες υψηλής ποιότητας καταγραφή βίντεο σε σκληρό δίσκο.	www.ezwatchstore.com Τιμή: $4500 -$8500
4	Η ACM 1430 κάμερα δικτύου (IP camera), η οποία παρέχει μέγιστη απόδοση σε μία σειρά από χώρους επιτήρησης. Παρέχει ως έξοδο βίντεο συμπιεσμένο με το MPEG4 πρότυπο συμπίεσης. Η ασύρματη αυτή λύση παρέχει ευελιξία στα συστήματα επιτήρησης χώρων.	http://www.acti.com/
5	Το XProtect είναι ένα λογισμικό για εφαρμογές επιτήρησης χώρου και είναι	http://www.milestonesys.com

	ιδανική επιλογή για συστήματα με 1-64 κάμερες. Υποστηρίζει μια μεγάλη γκάμα από κάμερες δικτύου (με JPEG ή MPEG4 συμπίεση) και μπορεί να καταγράφει και να αρχειοθετεί μέχρι 600.000 εικόνες ανά κάμερα ανά ημέρα ή αλλιώς, 40GB δεδομένων ανά κάμερα.	
6	Οι Intelligent Active Networking κάμερες δικτύου (IP cameras) είναι αυτόνομες συσκευές, οι οποίες επιτρέπουν σε πολλαπλούς χρήστες να δουν ζωντανά βίντεο από οποιονδήποτε χώρο μέσω δικτύου. Ο χρήστης μπορεί να μειώσει το ρυθμό μετάδοσης των καμερών για να αυξήσει το bandwidth του δικτύου, ενώ ένας εξειδικευμένος χρήστης μπορεί να προσθέσει controls στο σύστημα (μέσω του διαθέσιμου λογισμικού) για τη φωτεινότητα ή ακόμα και να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει συναρτήσεις για ανίχνευση κίνησης.	http://www.networkipcamera.com/550710_press_fw40.php
7	Το ADVISOR Visual Surveillance System παρέχει επιτήρηση χώρου σε πραγματικό χρόνο και παράγει σήματα – προειδοποίηση σε περίπτωση που εντοπίσει κάτι που μπορεί να είναι ύποπτο. Παρέχει ανίχνευση κίνησης, αρχειοθετεί το βίντεο, κάνει ανάλυση κίνησης και εκτίμηση μελλοντικής κίνησης. Είναι ένα οικονομικό και	http://www.ks.informatik.uni-kiel.de/~vision/doc/Publications/nts/SiebelMaybank2004-acv.pdf

	επεκτάσιμο σύστημα.	
8	Το DIVR Σύστημα επιτήρησης χώρων καταγράφει και αρχειοθετεί εικόνες βίντεο μέσω TCP/IP δικτύου. Μπορεί να υποστηρίξει εκατοντάδες καμερών σε ένα μόνο σταθμό. Χρησιμοποιείται κυρίως σε εκπαιδευτικούς χώρους (σχολεία), νοσοκομεία, δημόσιους χώρους, κ.ο.κ	http://www.divrsystems.com/

1.3. Υπάρχουσα τεχνολογία συστημάτων επιτήρησης χώρων

Ακολουθεί μια ανασκόπηση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως οι παραπάνω, δηλαδή για της τεχνολογίας που ήδη χρησιμοποιείται σε συστήματα επιτήρησης.

Ένα σύστημα επιτήρησης, πέραν των παραπάνω χαρακτηριστικών που μπορεί να διαθέτει, αποτελείται από κάποια απαραίτητα υποσυστήματα, ώστε να ικανοποιηθούν οι ελάχιστες προδιαγραφές, και πιο συγκεκριμένα, από:

- τις κάμερες
- το κέντρο ελέγχου
- τα δίκτυα υποδομής

Οι κάμερες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα απεικόνισης και καταγραφής ευκρινούς εικόνας των επιτηρούμενων χώρων. Το κέντρο ελέγχου μπορεί να είναι ένας απλός Ηλεκτρονικός Υπολογιστής μέσω του οποίου θα επιτυγχάνεται ο έλεγχος των καμερών και, πιθανόν, και η καταγραφή των λαμβανόμενων εικόνων με ψηφιακό τρόπο στον σκληρό δίσκο του Η/Υ με σκοπό την αρχειοθέτηση αυτών. Με την καταγραφή και αρχειοθέτηση των εικόνων - video, επιτρέπεται η γρήγορη ανεύρεση οποιουδήποτε συμβάντος αρκεί κατά την καταγραφή τους να εισάγεται στα δεδομένα η ώρα και η ημερομηνία. Επιπλέον, ο Η/Υ που αποτελεί το κέντρο ελέγχου μπορεί να περιλαμβάνει και ειδικό Υλικό (Hardware) ή/και ειδικό

Λογισμικό (Software) που να επιτρέπει περαιτέρω επεξεργασία των λαμβανόμενων εικόνων, όπως, για παράδειγμα, εντοπισμός κίνησης, αλλαγή της φωτεινότητας των εικόνων, κ.ο.κ. Σ' αυτή την περίπτωση οι κάμερες συνδέονται με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω μίας ειδικής κάρτας, δίνοντας επιπλέον τις δυνατότητες της ταυτόχρονης ζωντανής επίβλεψης ενός ή περισσότερων σημείων του χώρου.

Το δίκτυο υποδομής, ή αλλιώς το δίκτυο καλωδιώσεων του συστήματος συνήθως βρίσκεται εσωτερικά στον τοίχο του χώρου επιτήρησης και εγκαθίσταται από εξειδικευμένο προσωπικό.

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας που ήδη χρησιμοποιείται, καθώς και η λειτουργικότητα των συστημάτων του εμπορίου.

1.3.1. Κάμερες

Οι κάμερες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα για απεικόνιση και καταγραφή ευκρινούς εικόνας των επιτηρούμενων περιοχών και χώρων τόσο σε συνθήκες έντονης ηλιοφάνειας όσο και σε συνθήκες με χαμηλό ή μηδενικό φωτισμό καθώς και με περιορισμένη ορατότητα (ομίχλη, βροχή, σκόνη, καπνός). Η ποιότητα του υλικού κατασκευής των καμερών σήμερα διασφαλίζει τη λειτουργία της με έκθεση συνεχώς σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, άνεμος, υγρασία, αλμύρα, σκόνη). Το εξωτερικό περίβλημα μπορεί να είναι κατασκευασμένο από κατάλληλο υλικό (π.χ. αλουμίνιο με πολυεστερική επίστρωση) και με ανάλογους μηχανισμούς (π.χ. από ανοξείδωτο ατσάλι εσωτερικά). Το παράθυρο θέασης είναι από υλικό υψηλής καθαρότητας με δυνατότητα εύκολου καθαρισμού (π.χ. ενισχυμένο γυαλί). Οι κινούμενες κάμερες συνήθως έχουν ενσωματωμένο μηχανισμό κλίσης και στρέψης, μεταβλητής ταχύτητας και συνεχούς περιστροφής 360 μοιρών σε περίβλημα προστασίας και τα κατάλληλα στηρίγματα για την τοποθέτησή τους επί ιστού ή άλλου στηρίγματος.

Σε αρκετά συστήματα χρησιμοποιούνται και επαγγελματικές κάμερες νυκτερινής όρασης (night vision), με χαρακτηριστικά τους αισθητήρες υψηλής ευαισθησίας και ανάλυσης και/ή επαγγελματικούς φακούς υψηλής φωτεινότητας και ακρίβειας. Σε άλλα συστήματα, χρησιμοποιούνται κάμερες με ψηφιακή επεξεργασία σήματος (DSP) και ενσωματωμένη αυτόματη ανίχνευση κίνησης. Οι εφαρμογές που ήδη κυκλοφορούν στο εμπόριο περιλαμβάνουν συστήματα τηλεχειρισμού καμερών και πρωτόκολλα συμπίεσης, κωδικοποίησης και μετάδοσης εικόνας ενσύρματα ή ασύρματα.

Συνοπτικά, οι κάμερες μπορεί να είναι μονόχρωμες ή έγχρωμες (με τις έγχρωμες φυσικά ανεβαίνει και το κόστος), συνήθως έχουν CCD αισθητήρα και η ευαισθησία τους κυμαίνεται από 0,03lux έως 0,5 lux, χωρίς αυτό να είναι δεσμευτικό. Μπορεί να είναι αδιάβροχες, να εξάγουν εικόνες συμπιεσμένες σε πρωτόκολλο συμπίεσης MJPEG και να παρέχουν ακόμη και οριζόντια περιστροφή 360^o. Ο ρυθμός καταγραφής εικόνων εξαρτάται από την εφαρμογή και μπορεί να κυμαίνεται από 15fps μέχρι και 100fps, ή ακόμη και περισσότερο αυξάνοντας όμως το κόστος.

Σημαντικό παράγοντα για τη λειτουργικότητα ενός συστήματος επιτήρησης χώρου αποτελεί η χωροθέτηση των καμερών σε αυτό το χώρο. Συνήθως οι κάμερες τοποθετούνται κατά μήκος της περίφραξης ασφαλείας της εγκατάστασης ή/και εντός αυτής σε κατάλληλη απόσταση έτσι ώστε, ανάλογα με την ποιότητα του φακού εστίασης να είναι επαρκής η κάλυψη και να υπάρχει η δυνατότητα ευκρινούς απεικόνισης κάθε ατόμου που ενδέχεται να επιχειρήσει την παραβίασή της. Τα σημεία τοποθέτησης των καμερών πρέπει να προστατεύονται από τυχόν βανδαλισμούς, ενώ το ύψος τοποθέτησης καθορίζεται από τις λειτουργικές ανάγκες του συστήματος επιτήρησης. Συχνά υπάρχει κάτοψη καλύψεως των καμερών ώστε να αποτυπώνονται οι ελεγχόμενες περιοχές.

Η ανάπτυξη του τομέα Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας έχει οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση της δημιουργίας συστημάτων επίβλεψης χώρων βασισμένα στο πρότυπο CCTV. Δυστυχώς, σε αυτά τα συστήματα, μέχρι σήμερα, υπάρχει ένας πεπερασμένος αριθμός ενεργών εικονοστοιχείων (pixels) τα οποία λόγω της (φτωχής) ποιότητας τους οδηγούν πολλά από τα υπάρχοντα συστήματα επιτήρησης χώρων να υποβάλλονται σε έντονη κριτική. Υπάρχει, με άλλα λόγια, πάντοτε ένας συμβιβασμός μεταξύ του μεγέθους του πεδίου επίβλεψης, της ανάλυσης της εικόνας που λαμβάνεται από τις κάμερες και, επομένως, και της ταχύτητας απόκρισης του συστήματος. Καθώς οι κατασκευαστές των CCD και των CMOS chips έχουν αποδείξει ότι η αύξηση της ανάλυσης των sensors εικόνας είναι ανάλογη του κόστους, είναι σχεδόν απίθανο να αναπτυχθούν σένσορες εικόνας υψηλής απόδοσης οι οποίοι να είναι οικονομικά ανεκτοί.

1.3.2. Κέντρο Ελέγχου

Το κέντρο ελέγχου ενός συστήματος επιτήρησης χώρου στα ήδη υπάρχοντα εμπορικά συστήματα επιτήρησης χώρων αποτελείται από μια οθόνη, η οποία είναι η οθόνη παρακολούθησης και, συνήθως από έναν Η/Υ. Η οθόνη του κέντρου ελέγχου, δηλαδή η οθόνη παρακολούθησης συνήθως είναι έγχρωμη, τουλάχιστον 17΄΄ (ιντσών), με εικόνα υψηλής ανάλυσης τουλάχιστον 1280Χ1024 και με δυνατότητα σύνδεσης με Η/Υ. Η οθόνη πρέπει να έχει τη δυνατότητα προβολής εικόνων (pop-up) όταν ενεργοποιείται κάποια συγκεκριμένη κάμερα καθώς και δυνατότητα ηχητικού ή/και φωτεινού σήματος.

Εάν υπάρχει Η/Υ συνδεδεμένος με την οθόνη παρακολούθησης, αυτός μπορεί να περιέχει ένα ψηφιακό σύστημα διαχείρισης και καταγραφής εικόνας (DVR) για την καταγραφή και αρχειοθέτηση των δεδομένων που στέλνουν οι κάμερες. Ο καταγραφέας συνήθως είναι υψηλής ποιότητας, ικανός για συνεχή καταγραφή και αναπαραγωγή εικόνων αριθμού αντίστοιχου του αριθμού των καμερών του συστήματος. Επίσης, ο Η/Υ του συστήματος πρέπει να έχει λειτουργικό σύστημα υποστήριξης δικτύου και λογισμικό κατάλληλο για τη λειτουργία του συστήματος καμερών μέσω υπολογιστών και διαδικτύου (Internet) ή ενδοδικτύου (Intranet).

Συνιστάται σύστημα ηλεκτρικής παροχής εφεδρείας (UPS) για χρόνο περίπου 6 ώρες για τα βασικά συστήματα (Η/Υ, φωτισμός ασφαλείας κλπ).

1.3.3. Δίκτυα Υποδομής

Το βασικό δίκτυο καλωδιώσεων του συστήματος μπορεί να είναι υπόγειο και οι σχετικές καλωδιώσεις να βρίσκονται εντός μεταλλικών ή πλαστικών σωλήνων ή να είναι εσωτερικό σε τοίχο χωρίς εκτεθειμένα καλώδια ώστε να αποφεύγεται η δυνατότητα αποκοπής τους από οποιαδήποτε αιτία.

Οι απαιτήσεις που υπάρχουν για εύρος δικτύου σε CCTV εφαρμογές πραγματικού χρόνου, διατηρώντας την υψηλή ποιότητα στις εικόνες αποτελούν πρόκληση για τις εφαρμογές που αναμένονται να σχεδιαστούν. Υπάρχουν τεχνικές για κωδικοποίηση ψηφιακού βίντεο διαφορετικές για διαφορετικά bit rates, π.χ., τα ISO MPEG-1 και ISO MPEG-2 που είναι σχεδιασμένα για πολύ υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης από ό,τι το H.263. Έτσι, formats τα οποία είναι αποδοτικά για μία κατηγορία εφαρμογών (π.χ. editing) δεν είναι αξιόπιστα σε άλλη (π.χ. επίβλεψη χώρου ή ανίχνευση κίνησης). Γι' αυτό το λόγο δεν υπάρχει ένα κοινό format κωδικοποίησης video που να ταιριάζει σε όλες τις εφαρμογές. Συνεπώς, όσο πιο καθαρό είναι το αντικείμενο της εφαρμογής και οι απαιτήσεις της τόσο καλύτερα μπορεί να γίνει η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων μετάδοσης του video, υπό την έννοια της πολυπλοκότητας της μεθόδου, του εύρους δικτύου που χρησιμοποιεί, της ποιότητας της εικόνας και της επεξεργαστικής ευελιξίας.

Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των καταγεγραμμένων από τις κάμερες εικόνων είναι συνήθως το TCP/IP ή το UDP. Οι διαφορές τους έχουν να κάνουν με το ρυθμό μετάδοσης και το ποσοστό σφάλματος που "επιτρέπουν". Και τα δύο αυτά πρωτόκολλα έχουν καλή απόδοση, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται πολύ σε τέτοιου είδους εφαρμογές.

1.4. Επιθυμητή λειτουργικότητα προτεινόμενου συστήματος

Συνοψίζοντας την επισκόπηση πεδίου που έγινε μέχρις εδώ, το σύστημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, συγκρινόμενο με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα επιτήρησης, μπορεί επιπλέον να:

- κάνει ταυτόχρονη μετάδοση εικόνων βίντεο από μία ή και περισσότερες κάμερες σε πολλαπλούς (ανεξάρτητους μεταξύ τους) χρήστες.
- στέλνει συμπιεσμένη πληροφορία εικόνας στους χρήστες, κάτι που κάνει το σύστημα περισσότερο ευέλικτο, με μικρές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης (bandwidth) δικτύου και μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης.
- το λογισμικό απεικόνισης επιτρέπει τον προσδιορισμό των ξένων ως προς το χώρο επίβλεψης αντικειμένων.
- υλοποιεί ανίχνευση κίνησης.
- θα μπορούσε να εφαρμοστεί για επίβλεψη χώρων μέσω PDA που συνδέονται ασύρματα (ασύρματη σύνδεση WiFi) με τα σταθερό δίκτυο των καμερών.

Η καινοτομία του συστήματος που υλοποιήθηκε έγκειται στα:

- Έγχρωμη εικόνα video υψηλής ευκρίνειας.
- Υψηλές ταχύτητες μετάδοσης.
- Υψηλό βαθμό συμπίεσης video .
- Ανίχνευση κίνησης.
- Επιλεκτική παρακολούθηση και μετάδοση περιοχής ενδιαφέροντος (region of interest).
- Εφαρμογή τεχνικών βελτίωσης εικόνας video.
- Εξειδικευμένη επικοινωνία χρήστη – συστήματος (user interface) που εκμεταλλεύεται τις παραπάνω δυνατότητες.

Ο σκοπός για τον οποίο αναπτύχθηκε το σύστημα που υλοποιήθηκε στο παρόν έργο ικανοποιεί ανάγκες περιβαλλοντικής παρατήρησης ή/και ανάγκες τηλε-εκπαίδευσης διαφορετικών μεταξύ τους ομάδων εκπαιδευόμενων στο ίδιο (χρονικά) αντικείμενο παρατήρησης, ή, εν γένει, το σύστημα που αναπτύχθηκε μπορεί και συνδυάζει απαιτήσεις επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων με παρατηρήσεις και συμπεράσματα που πρέπει να προκύψουν με όρους πραγματικού χρόνου.

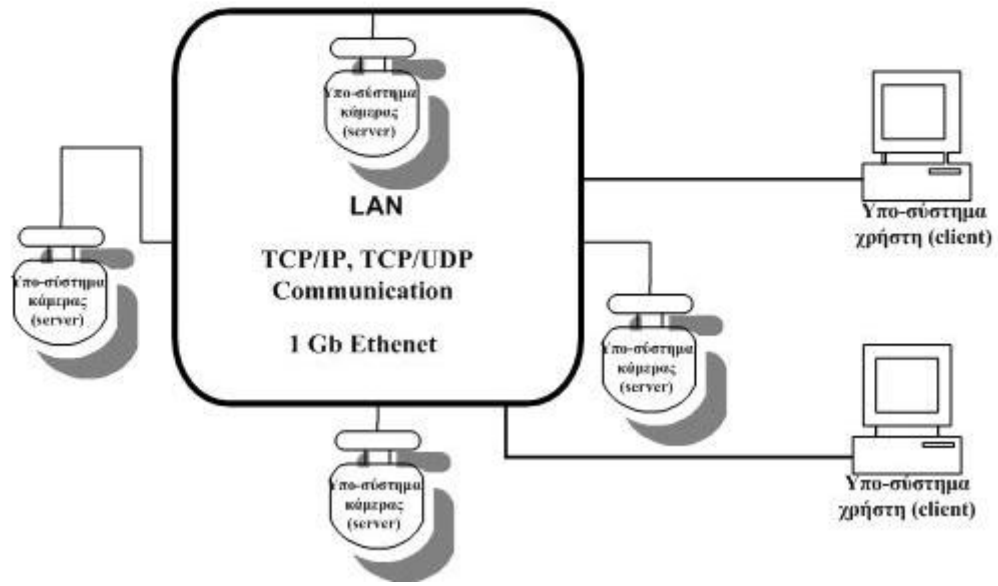
Ανακεφαλαιώνοντας, στο 1ο Κεφάλαιο έγινε ανασκόπηση του τεχνικού και επιστημονικού πεδίου στο οποίο αφορά η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία και παρουσιάστηκαν οι μεθοδολογίες, οι εφαρμογές και τα προϊόντα στη διεθνή αγορά και τη βιβλιογραφία. Το στάδιο αυτό ήταν απαραίτητο προκειμένου να τεκμηριωθεί η καταλληλότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας και να αναγνωριστεί η προστιθέμενη αξία του συστήματος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας. Προσδιορίστηκαν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του συστήματος ενώ σκιαγραφήθηκε η διαδικασία καθορισμού των λεπτομερών προδιαγραφών υλικού και λογισμικού του συστήματος που αναπτύχθηκε. Τέλος, προσδιορίστηκαν τα πεδία εφαρμογής όπου υπάρχει η δυνατότητα να δοκιμαστεί το σύστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Αρχιτεκτονική συστήματος επίβλεψης

2.1. Αρχιτεκτονική – λειτουργικότητα συστήματος επίβλεψης

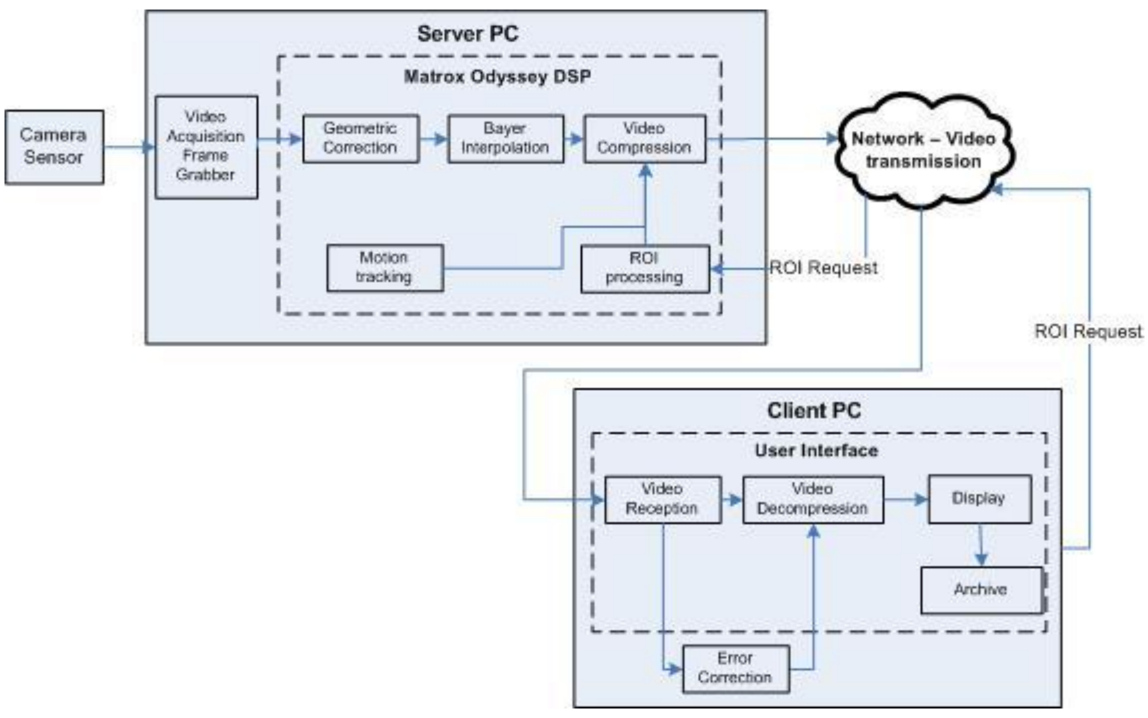
Το σύστημα επίβλεψης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας βασίζεται στο μοντέλο server – client. Με άλλα λόγια, η σχεδίαση του συστήματος προβλέπει πολλαπλές κάμερες οι οποίες επικοινωνούν με (αντίστοιχα) πολλαπλούς κεντρικούς Η/Υ (servers ή host computers). Κάθε σύστημα κάμερας μεταφέρει τα δεδομένα εικόνας μέσω δικτύου (1GB Ethernet) στους χρήστες (clients).



Εικόνα 1: Γενική αρχιτεκτονική συστήματος

Στο εξής ως σύστημα κάμερας ή server θα αναφέρεται το υποσύστημα που αποτελείται από μία κάμερα συνδεδεμένη μέσω frame grabber με τον Η/Υ που φιλοξενεί το DSP board. Ως σύστημα χρήστη ή client θα αναφέρεται το, απομακρυσμένο από τον server, υποσύστημα που αποτελείται από έναν μόνο Η/Υ. Και τα δύο υποσυστήματα, δηλαδή και ο server και ο client, είναι συνδεδεμένα σε ένα τοπικό δίκτυο LAN, στην περίπτωσή μας, 1 Gb Ethernet.

Παρόλο που στο τρέχων κεφάλαιο η περιγραφή και η αναφορά στις λειτουργίες του συστήματος επίβλεψης θα αφορά σε 1 server – 1 client σύστημα, σημειώνεται ότι η παραπάνω αρχιτεκτονική επιτρέπει την αύξηση του αριθμού των συστημάτων κάμερας ή των συστημάτων χρηστών (σταθμών ελέγχου) χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση του συστήματος. Ειδικότερα, ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής αλλά και η υλοποίηση έχει γίνει με βασική προδιαγραφή η αύξηση καμερών ή χρηστών να επηρεάζει μόνο το διαθέσιμο εύρος συχνότητας του δικτύου (τυπικά 1Gb στο σχήμα). Η αύξηση της υπολογιστικής ισχύος του συστήματος απορροφάται από το κάθε υποσύστημα (κάμερα ή υποσύστημα χρήστη) και δεν επιβαρύνει το σύστημα συνολικά, καθώς κάθε κάμερα ή σταθμός χρήστη συνοδεύεται από χωριστή υπολογιστική μονάδα. Η μόνη επίπτωση αφορά στο κόστος ανά κάμερα ή χρήστη, συνολικά όμως το κόστος του συστήματος δεν αυξάνεται περισσότερο. Αναλυτική αναφορά στην επεκτασιμότητα του συστήματος θα γίνει σε επόμενη ενότητα.



Εικόνα 2: Block diagram λειτουργικότητας συστήματος

Όπως, λοιπόν, προαναφέρθηκε το σύστημα επίβλεψης αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

- Υπο-σύστημα κάμερας (server)

- Υπο-σύστημα χρήστη (client)
- Υπο-σύστημα επικοινωνίας

Εξαιτίας του μεγάλου όγκου δεδομένων, η μετάδοση εικόνας και βίντεο σε πραγματικό χρόνο μέσω του δικτύου μεταγωγής δεδομένων θεωρείται από τις πιο απαιτητικές εφαρμογές σε υπολογιστικό χρόνο (που απαιτείται για τη συμπίεση πριν την μετάδοση και για την αποσυμπίεση κατά τη λήψη). Κάθε τύπος video ανάλογα με την εφαρμογή έχει δικά του χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απόφαση για τη μέθοδο συμπίεσης που εφαρμόζεται και την απόδοση της συμπίεσης που επιτυγχάνεται. Όσο αυξάνει (μειώνεται) ο βαθμός συμπίεσης, μειώνεται (αυξάνεται) αντίστοιχα ο όγκος της πληροφορίας που πρέπει να μεταδοθεί. Επίσης, όσο αυξάνεται ο βαθμός συμπίεσης κατά την μετάδοση, μειώνεται η ποιότητα της εικόνας του video που μπορεί να ανακτηθεί κατά την αποσυμπίεση στη λήψη, ειδικότερα αν ο βαθμός συμπίεσης ξεπεράσει ένα όριο πέρα από το οποίο δεν μπορεί να επιτευχθεί συμπίεση χωρίς απώλειες (lossless compression). Ιδανικά, ένα σύστημα πρέπει να μπορεί να επιτυγχάνει μεγάλη απόδοση συμπίεσης χωρίς μείωση της ποιότητας.

Τα χαρακτηριστικά αυτά εξαρτώνται από την εφαρμογή και σχετίζονται με (α) τη διάρκεια του video που πρέπει να μεταδοθεί (β) το βαθμό κίνησης που περιγράφεται όπως αργή ή γρήγορη κίνηση (γ) το μέγεθος των εικόνων ανά πλαίσιο (frame) και (δ) το είδος της χρωματικής πληροφορίας που περιγράφεται και η οποία μπορεί να είναι λεπτομερής ή λιγότερο λεπτομερής (ε) το ρυθμό εναλλαγής (frame rate) που παρουσιάζεται και (ζ) την καθυστέρηση για την αναπαραγωγή (decompression) του video στη λήψη. Όλα τα παραπάνω εξαρτώνται από την εφαρμογή και επηρεάζουν το μέγεθος της πληροφορίας που πρέπει να συμπιεστεί (αντίστοιχα να αποσυμπιεστεί) και να μεταδοθεί μέσω του δικτύου. Αντίστοιχα επηρεάζονται και οι αποφάσεις για την επιλογή καταλληλότερου αλγόριθμου που επιτυγχάνει τον επιθυμητό βαθμό συμπίεσης και ρυθμού μετάδοσης δεδομένων των χαρακτηριστικών της δικτυακής και υπολογιστικής υποδομής που παρέχεται (υπολογιστική ισχύς, χωρητικότητα δικτύου). Οι παραπάνω παράμετροι έχουν τεθεί βάση των προδιαγραφών του συστήματος και συνοπτικά έχουν ως εξής

Χαρακτηριστικό Video	*Τιμή*
Διάρκεια	Συνεχής ροή video
Κίνηση	Αργές έως συνεχείς εναλλαγές
Μέγεθος εικόνων	1024x768 pixels
Χρωματικά πληροφορία	RGB, 24bits / pixel
Ρυθμός εναλλαγής	Περισσότερα από 20 frames/sec
Ποιότητα video στην λήψη	Χωρίς οπτική παραμόρφωση
Καθυστέρηση στην λήψη	Λιγότερο από 1 sec (μετάδοση σε πραγματικός χρόνο)
Χωρητικότητα δικτύου	1Mbps

Ακολουθεί λεπτομερής αναφορά στην αρχιτεκτονική και τη λειτουργικότητα του κάθε επιμέρους υποσυστήματος.

2.2. Υποσύστημα κάμερας (server)

2.2.1. Αρχιτεκτονική - Λειτουργικότητα

Κάθε σύστημα κάμερας αποτελείται από:

- ***Σύστημα λήψης δεδομένων (εικόνων):*** Αποτελείται από μία υψηλής ευκρίνειας κάμερα, η οποία μπορεί να παράγει μονόχρωμες εικόνες σε (εκτιμώμενη) ανάλυση 1024x776 pixels, με camera link έξοδο και ρυθμό μετάδοσης έως και 40fps. Η επιλογή μονόχρωμης κάμερας έναντι μίας έγχρωμης έγινε βασιζόμενη στο κριτήριο του μειωμένου κόστους καθώς η κάμερα που επιλέχθηκε είναι μεν μονόχρωμη, αλλά ακολουθεί Bayer color interpolation στην έξοδό της (έχει, δηλαδή, ενσωματωμένο το αντίστοιχο φίλτρο). Παράγει 8bits/pixel color εικόνα, κάτι που γίνεται μέσω κατάλληλης υλοποίησης στο DSP board του server. Έτσι, δεν απαιτείται η αγορά μιας υψηλού κόστους έγχρωμης κάμερας, ενώ από την άλλη ικανοποιείται το απαραίτητο κριτήριο έγχρωμης εικόνας, απαραίτητης για ένα σύστημα επίβλεψης.

- ***Σύστημα επεξεργασίας:*** Είναι επί της ουσίας ένας Η/Υ (server). Το σύστημα επεξεργασίας λαμβάνει τις εικόνες της κάμερας και τις μετατρέπει σε έγχρωμες (στην επιθυμητή ανάλυση). Τα δεδομένα βίντεο παράγονται σε μέγιστο ρυθμό 40fps. Ένας DSP (Digital Image Processor, ψηφιακός επεξεργαστής σήματος) παρέχει όλη την απαραίτητη υπολογιστική ισχύ ώστε να επιτευχθεί επεξεργασία πραγματικού χρόνου (real-time processing) στα δεδομένα βίντεο που λαμβάνονται από την κάμερα. Η επικοινωνία μεταξύ των (προαναφερόμενων) συστημάτων λήψης δεδομένων και επεξεργασίας επιτυγχάνεται μέσω ενός frame grabber ο οποίος επικοινωνεί με την κάμερα μέσω camera link πρωτοκόλλου.

Η λειτουργικότητα του συστήματος κάμερας είναι η εξής:

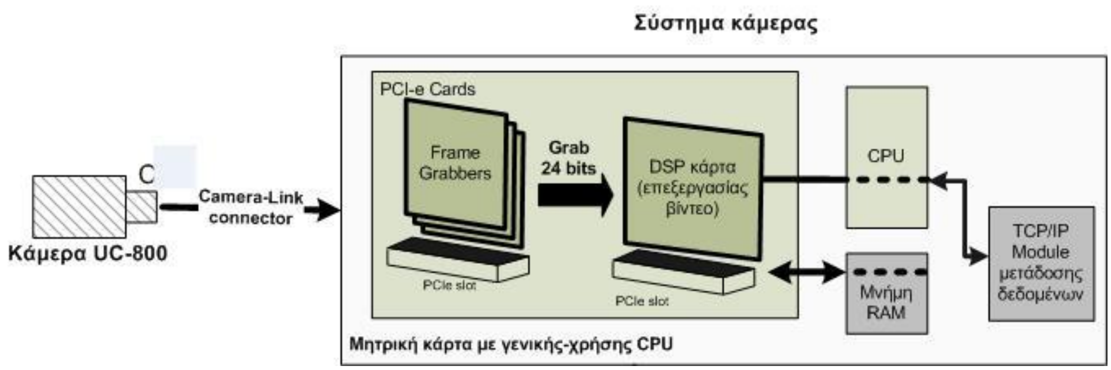
Κάθε σύστημα κάμερας λειτουργεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα συστήματα κάμερας που υπάρχουν στο δίκτυο. Κάθε τέτοιο σύστημα καταγράφει βίντεο, επεξεργάζεται τα δεδομένα και μεταδίδει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας στους σταθμούς ελέγχου – συστήματα χρήστη που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Κάθε σύστημα κάμερας μπορεί και υλοποιεί τα παρακάτω:

- ***Λήψη δεδομένων*** (data acquisition) από την κάμερα μέσω ενός frame grabber.
- ***Συναρτήσεις επεξεργασίας εικόνας***: (Bayer) Color interpolation (μετατροπή μονόχρωμης εικόνας σε έγχρωμη), διόρθωση φωτεινότητας, διόρθωση γεωμετρίας, δημιουργία πανοραμικής εικόνας, δημιουργία παραθύρου εικόνας περιοχής ενδιαφέροντος.
- ***Συμπίεση*** (compression): Συμπίεση τύπου lossless ήταν επιθυμητή αλλά όχι απαραίτητη. Ήταν επίσης επιθυμητό και μεγαλύτερης προτεραιότητας απαίτηση να μειωθούν στο μέγιστο οι καθυστερήσεις συμπίεσης οπότε η συμπίεση τύπου lossy αποδείχθηκε προτιμότερη.
- ***Επικοινωνία με πολλαπλούς χρήστες στο δίκτυο***. Το σύστημα κάμερας μπορεί να μεταδώσει όλη την πληροφορία που προκύπτει από την επεξεργασία σε όλους τους χρήστες (broadcasting) όποτε αυτοί συνδεθούν στο δίκτυο.

- Το σύστημα της κάμερας έχει δικό του λειτουργικό σύστημα και μπορεί αυτόνομα να επιτυγχάνει και να διατηρεί επικοινωνία μέσω δικτύου με τους χρήστες.
- ***Ανίχνευση κίνησης***: Ένας από τους στόχους του συστήματος είναι να εντοπίζει αντικείμενα που μπορεί να είναι άνθρωποι ή άλλα αντικείμενα όπως, στερεά ιζήματα μέσα σε ποτάμι, αποσκευές μέσα στο χώρο υπό επιτήρηση, και εν γένει οποιοδήποτε κι αν είναι το αντικείμενο ενδιαφέροντος. Το αποτέλεσμα είναι το περίγραμμα του 'νέου' αντικειμένου, όπως και πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα και την κατεύθυνσή του. Γενικότερα, κινούμενα αντικείμενα ή αντικείμενα που δεν ανήκουν στο φόντο (background) του χώρου αποτελούν "αποτελέσματα" της ανίχνευσης κίνησης.

2.2.2. Χαρακτηριστικά Υλικού (Hardware)

Το υπο-σύστημα κάμερας (server) αποτελείται από μία κάμερα, που είναι υπεύθυνη για τη λήψη των εικόνων, η οποία μέσω ενός frame grabber επικοινωνεί με τον Η/Υ (server) που περιέχει τον επεξεργαστή DSP.



Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική υπο-συστήματος κάμερας

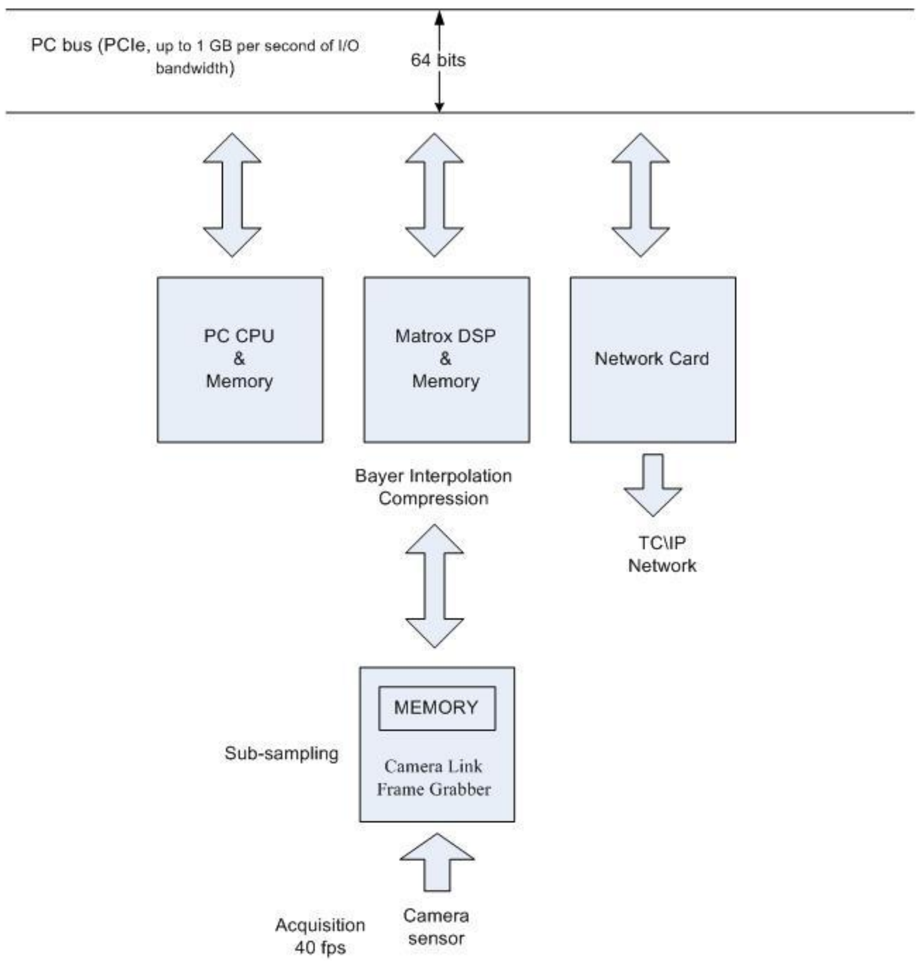
Το σύστημα "απόκτησης" δεδομένων εικόνας (acquisition system) συνδυάζει ένα αισθητήρα μονόχρωμης κάμερας, ανάλυσης 1024x768, 8 bits / pixel (256 τιμές έντασης σε κάθε pixel), η οποία παράγει στην έξοδό της ψευδό-έγχρωμη εικόνα (εικόνα Bayer) από την οποία παράγεται η τελική έγχρωμη εικόνα RGB με 24 bits/pixel. Η κάμερα έχει την δυνατότητα να παράγει σειρές εικόνων (video) με εξαιρετικά μεγάλο ρυθμό (μεγαλύτερο από 40 εικονο-πλαίσια (frames) ανά δευτερόλεπτο. Η κάμερα επικοινωνεί με τοπικό υπολογιστή που δέχεται τις εικόνες για περαιτέρω επεξεργασία με πρωτόκολλο Camera Link που επιτρέπει τα δύο συστήματα (αισθητήρας – κάμερα και υπολογιστής να ευρίσκονται σε ικανή απόσταση μεταξύ τους π.χ. έως 10 μέτρα). Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται μοντέλο κάμερας UNIQ UC-800CL της εταιρείας UNIQVISION.

Αποφασίστηκε ώστε ο επεξεργαστής DSP να είναι ο Matrox Odyssey eCL/XCL (με επεξεργαστή τον 1 GHz MPC7447A), με ενσωματωμένο camera link frame grabber (με μέγιστο ρυθμό “διαβάσματος” δεδομένων εικόνας τα 680MB/sec). Το DSP board με τον ενσωματωμένο frame grabber συνδέεται σε ένα PCI-X slot της μητρικής του Η/Υ (server). Όλες οι συναρτήσεις που αφορούν στην επεξεργασία της εικόνας εκτελούνται στον επεξεργαστή σήματος (DSP). Ο Η/Υ του υπό-συστήματος κάμερας είναι ένας συμβατικός Η/Υ με χαρακτηριστικά: Intel Motherboard, PCI-X/Xpress bus, Xeon 2.6GHZ, Dual Core, 1GB RAM, 1GB κάρτα δικτύου, 80 GB σκληρό δίσκο. Το υπό-σύστημα κάμερας δηλαδή είναι αυτόνομος υπολογιστής που εκτελεί τις λειτουργίες επεξεργασίας εικόνας ταυτόχρονα με τις λειτουργίες λειτουργικού συστήματος και τη δικτύωση.

Εικόνα 4: Matrox Odyssey eCL/XCL

Η επικοινωνία μεταξύ του frame grabber και της κάμερας υλοποιείται μέσω του προτύπου camera link. Ο frame grabber διαβάζει τα δεδομένα από την κάμερα (10 bits/pixel) και απαιτεί συγχρονισμό στο γράψιμο των δεδομένων διαδοχικών εικόνων στην κοινή μνήμη του. Επίσης, διαβάζει δεδομένα (frames) 1 γραμμή τη φορά.

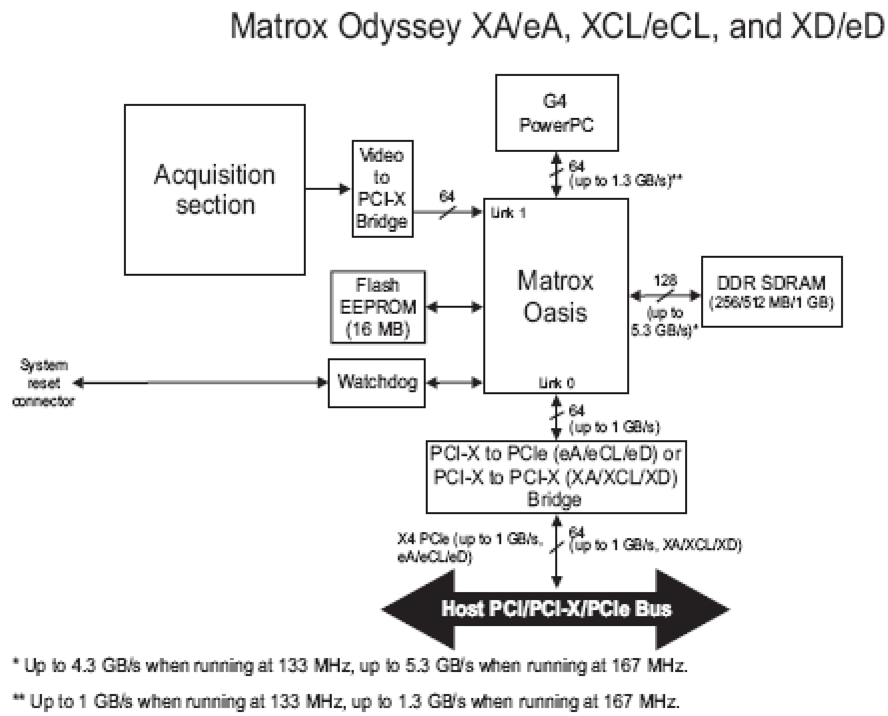
Το DSP board και ο Η/Υ (server) που το περιέχει ως κάρτα επικοινωνούν μέσω PCIe πρωτοκόλλου.



Εικόνα 5: Επικοινωνία DSP board και Host computer

Τα Matrox XA/eA, XCL/eCL και XD/eD boards έχουν ένα ενσωματωμένο Camera Link acquisition τμήμα. Το XA/eA board έχει ένα ίδιο αλλά αναλογικό ενσωματωμένο acquisition τμήμα, ενώ το XD/eD board έχει ένα ενσωματωμένο ψηφιακό acquisition τμήμα LVDS/RS-422.

Η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ) που ελέγχει τις δραστηριότητες στο Matrox board είναι ο μικροεπεξεργαστής Freescale G4 PowerPC (συγκεκριμένα το Matrox MPC7447A). Αυτός ο μικροεπεξεργαστής συνδυάζει τα καλύτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός γενικού σκοπού ΚΜΕ και ενός επεξεργαστή ψηφιακών σημάτων (DSP). Παρέχει την κορυφαία απόδοση σε ένα δεδομένο clock rate. Το G4 PowerPC χαρακτηρίζει μια 32-bit superscalar μονάδα εκτέλεσης RISC και AltiVec τεχνολογίας, 128-bit διανυσματική. Τα 512 kbyte της εσωτερικής L2 cache που διαθέτει, καθώς επίσης και 2 Mbyte της εξωτερικής L3 cache στηρίζουν τη μέγιστη απόδοση του επεξεργαστή.



Εικόνα 6: Βασική Αρχιτεκτονική του Matrox Odyssey eCL/XCL

Το Matrox Oasis ASIC που διαθέτει το προτεινόμενο board είναι το κεντρικό συστατικό των Matrox Odyssey boards. Πρόκειται για ένα τσιπ υψηλής πυκνότητας που ενσωματώνει μια γέφυρα ΚΜΕ (CPU bridge), συνδέει τον ελεγκτή με τους data formatters, τον ελεγκτή κύριας μνήμης, και τον επιταχυντή εικονοστοιχείου (Pixel Accelerator - PA). Το Matrox Oasis οργανώνει τη διαβίβαση όλων των στοιχείων μέσα στο board. Συνδέει με το G4 PowerPC την κύρια μνήμη, αλλά και τη Flash EEPROM. Στην κατηγορία XA, XCL, και XD των Matrox DSP boards, το Matrox Oasis συνδέεται στο Pci/Pci-X bus μέσω μιας Pci-X σε Pci-X γέφυρας (bridge). Τέλος, το Matrox Oasis επικοινωνεί με τον G4 PowerPC επεξεργαστή σε ταχύτητες μέχρι και 1

Gbyte/sec όταν δουλεύει στα 133 MHz και σε ταχύτητες μέχρι και 1.3 Gbyte/sec όταν δουλεύει στα 167 MHz.

Ο PA, που έχει προαναφερθεί, είναι ένας πυρήνας παράλληλης επεξεργασίας, ο οποίος επιταχύνει αρκετά τις "γειτονικές" διεργασίες, με τη χρήση χαρτογράφησης LUT. Μπορεί να εκτελέσει μέχρι 80 δισεκατομμύριο εντολές στα 133 MHZ, και 100 δισεκατομμύρια εντολές στα 167 MHZ. Επιπλέον, οι I/O εντολές, όπως οι αριθμητικές εντολές σε εικόνες, ωφελούνται από το εύρος ζώνης μνήμης του Matrox Oasis (μέχρι 4.3 Gigabyte/Sec στα 133 MHZ και μέχρι 5.3 Gigabyte/Sec στα 167 MHZ). Ο PA αποτελείται από ένα πίνακα 64 στοιχείων επεξεργασίας, τα οποία λειτουργούν παράλληλα. Κάθε ένα από αυτά έχει μία MAC (multiply-accumulate) μονάδα και μια ALU (arithmetic-logic) μονάδα. Η MAC μονάδα μπορεί να εκτελέσει έναν 16-bit επί 16-bit, δύο 8-bit επί 16-bit ή τέσσερις 8-bit επί 8-bit πολλαπλασιασμούς με 40-bit συσσωρευτή (accumulation) ανά κύκλο ρολογιού για πράξεις συνέλιξη. Η ALU μονάδα μπορεί να εκτελέσει μία μεγάλη γκάμα αριθμητικών και λογικών εντολών και μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να εκτελεί μία ακολουθία από 256 εντολές ανά εικονοστοιχείο (pixel) εικόνας ανά κύκλο ρολογιού.

Τέλος, το board υποστηρίζει μέχρι και 1 Gbyte κύριας μνήμης (linearly addressable) τύπου DDR SDRAM. Η πρόσβαση στην κύρια μνήμη γίνεται μέσω του Matrox Oasis. Το Matrox Oasis έχει ένα 133/167 MHz 128-bit interface προς την κύρια μνήμη, για μετάδοση δεδομένων σε ρυθμό μέχρι και 4.3 Gbytes/sec όταν λειτουργεί στα 133 MHz και σε ρυθμό 5.3 Gbytes/sec όταν λειτουργεί στα 167 MHz. Η κύρια μνήμη "κρατά" τον κώδικα του προγράμματος καθώς και όλα τα δεδομένα των εικόνων των οποίων γίνεται η επεξεργασία.

2.2.3. Χαρακτηριστικά λογισμικού (Software)

Το λογισμικό (software) του υπό- συστήματος κάμερας υλοποιείται σε γλώσσα προγραμματισμού C, χρησιμοποιώντας παράλληλα τις Matrox Imaging Library (MIL) και Odyssey Native Library (ONL) που είναι οι βιβλιοθήκες επεξεργασίας εικόνας του DSP της Matrox. Η MIL είναι μια ολοκληρωμένη και σχετικά εύκολη στη χρήση C-callable βιβλιοθήκη, που παρέχει δυνατότητες για λήψη εικόνας από σένσορα κάμερας, για επεξεργασία εικόνας, ανάλυση, απεικόνιση και αποθήκευση αυτής. Οι εντολές της MIL τρέχουν πάνω στον Matrox DSP και είναι πλήρως βελτιστοποιημένες για τον G4 PowerPC επεξεργαστή. Από την άλλη πλευρά, η ONL είναι επίσης μια C-callable γλώσσα προγραμματισμού, αλλά είναι board specific, που σημαίνει ότι είναι σχεδιασμένη να τρέχει αποκλειστικά σε αυτόν τον τύπο του επεξεργαστή. Η MIL μπορεί να τρέξει και σε συμβατικούς επεξεργαστές, αλλά όχι το ίδιο γρήγορα σε όλες τις περιπτώσεις. Για τη μέγιστη απόδοση του συστήματος, δηλαδή για την επίτευξη του μικρότερου δυνατού χρόνου επεξεργασίας των εικόνων που λαμβάνει η κάμερα, η ONL είναι η καλύτερη λύση. Η τρέχουσα εφαρμογή αποτελεί μία μίξη MIL και ONL κώδικα, πάντα με στόχο τη βέλτιστη απόδοση. Για παράδειγμα, το Bayer interpolation υλοποιείται σε MIL, ενώ η συμπίεση σε ONL.

2.2.4. Συναρτήσεις προ - επεξεργασίας εικόνας

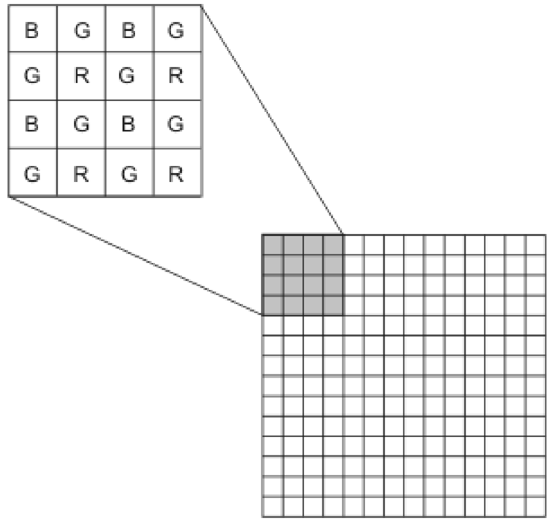
Η προ - επεξεργασία της εικόνας που γίνεται σε κάθε σύστημα κάμερας πριν η πληροφορία εικόνας σταλεί για broadcasting στο δίκτυο ακολουθεί τα εξής στάδια:

- λήψη (grab) εικόνας από τον αισθητήρα
- γεωμετρική διόρθωση της εικόνας (geometric correction: ένας μετασχηματισμός δύο συντεταγμένων που διορθώνει τις αλλοιωμένες συντεταγμένες της εικόνας σε 2D πεδίο)
- Bayer interpolation για δημιουργία έγχρωμης εικόνας
- διόρθωση φωτεινότητας
- συμπίεση δεδομένων εικόνας με σκοπό τη μετάδοση μέσω δικτύου. Υλοποιήθηκε σε MJPEG που τελικά προτιμήθηκε από στάνταρτ MPEG-2 ή 4 επειδή αποφεύγονται οι καθυστερήσεις στη λήψη του video στο χρήστη.

Εκτός από τη μετάδοση της εικόνας (και περαιτέρω, την επικοινωνία με τα συστήματα των χρηστών) η επεξεργασία και η συμπίεση σε πραγματικό χρόνο της εικόνας υλοποιείται στο DSP board του server. Η κάρτα αυτή αποτελείται από έναν επιταχυντή (PA – pixel accelerator, i.e. array processing node), έναν μικρό-επεξεργαστή Motorola G4 PowerPC (MPC7455 υλοποιημένος με RISK τεχνολογία) και έναν frame grabber ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη λήψη της εικόνας από το σένσορα της κάμερας. Ο ρυθμός λήψης της κάμερας φτάνει τα 35 frames/sec και ο στόχος του ολοκληρωμένου συστήματος είναι να λειτουργεί σε ρυθμό μεγαλύτερο των 20 frames/sec.

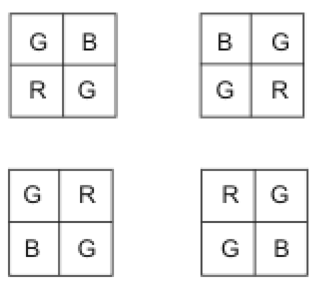
Πιο ειδικά, η προ-επεξεργασία της εικόνας που καταγράφει η κάμερα αφορά στη βελτίωσή της πριν αυτή σταλεί στο δίκτυο και στους επιμέρους σταθμούς χρήστη και κάνει:

- ***Διόρθωση Χρώματος (Bayer Interpolation)***: Οι κάμερες που περιλαμβάνουν φίλτρο χρώματος Bayer μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τη βιβλιοθήκη MIL της Matrox για να δώσουν μια οικονομικώς αποδοτική μέθοδο για έγχρωμες εικόνες. Η κάμερα 'αρπάζει' μια εικόνα χρώματος, κωδικοποιημένη σε μία και μόνο χρωματική ζώνης (single-band color-encoded image), και τη μετατρέπει σε μια πολλαπλής ζώνης έγχρωμη εικόνα (multi-band color image), χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση MbufBayer της MIL. Οι εικόνες Bayer είναι διαφορετικές από τις τυποποιημένες εικόνες μίας χρωματικής ζώνης λόγω των πληροφοριών χρώματος που περιλαμβάνονται στα pixels τους. Κατά τη λήψη τέτοιων εικόνων από μία ανάλογη κάμερα, κάθε pixel της εικόνας ποσολογεί μόνο ένα από τα χρωματικά συστατικά της εικόνας. Μέσα σε μια ομάδα 2x2 pixels, υπάρχουν δύο pixels που περιέχουν τις πληροφορίες χρώματος για το πράσινο χρώμα, και ένα pixel για κάθε ένα από τα κόκκινα και μπλε συστατικά χρώματος. Οι εικόνες Bayer περιέχουν περισσότερα πράσινα pixels επειδή το ανθρώπινο μάτι είναι πιο ευαίσθητο σε αυτό το χρώμα. Τα pixels τακτοποιούνται στο ακόλουθο σχέδιο: τα πράσινα pixels είναι πάντα διαγώνια το ένα στο άλλο, όπως είναι τα κόκκινα και μπλε pixels, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7: Bayer interpolation

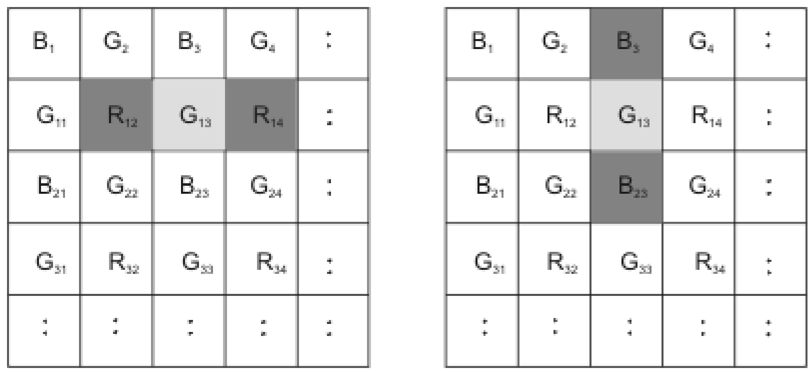
Οι Bayer εικόνες είναι "τακτοποιημένες" σε ομάδες των 2x2 pixels. Κάθε ομάδα περιέχει ένα μπλε pixel, ένα κόκκινο pixel, και δύο πράσινα pixel, οι τιμές των οποίων χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των αντίστοιχων ζωνών των pixels της έγχρωμης εικόνας. Η ανάλογη κάμερα μπορεί να κάνει λήψη εικόνων με ένα από τα ακόλουθα τέσσερα σχέδια:



Εικόνα 8: Διατάξεις Bayer

Η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία και στο σύστημα που υλοποιείται (UNIQ UC-800CL) έχει Bayer διάταξη της μορφής της πρώτης από τις παραπάνω εικόνες.

Η τιμή ενός pixel (πηγής) της εικόνας της κάμερας χρησιμοποιείται στην αντίστοιχη ζώνη του pixel της έγχρωμης εικόνας προορισμού. Οι υπόλοιπες δύο ζώνες χρώματος χρησιμοποιούν τη μέση τιμή των αντίστοιχων γειτόνων του αντίστοιχου pixel. Εάν το pixel πηγής είναι πράσινο, κατόπιν η μέση αξία για τα υπόλοιπα δύο συστατικά (κόκκινα και μπλε) είναι υπολογισμένη με βάση δύο γειτονικά εικονοκύτταρα. Η ανάλυση αυτή καθώς και η παρακάτω εικόνα αφορούν στην περίπτωση της κάμερας του έργου.



Εικόνα 9: Παράδειγμα Bayer interpolation

Εάν το pixel πηγής είναι σε μια άκρη της εικόνας, η MIL θα χρησιμοποιήσει όσο το δυνατόν περισσότερους γείτονες κατά την καθορισμό της μέσης τιμής των pixels για τις υπόλοιπες χρωματικές ζώνες.

- ***Διόρθωση Φωτεινότητας***: Η συνάρτηση MbufBayer() μπορεί επίσης να εκτελέσει την άσπρη διόρθωση ισορροπίας (white balance correction) και τη διόρθωση γάμμα (gamma correction) στην εικόνα Bayer κατά τη διάρκεια της μετατροπής. Η άσπρη διόρθωση ισορροπίας ρυθμίζει μια εικόνα για τις παραλλαγές χρώματος που εισήχθησαν από τους όρους φωτισμού του χώρου όταν έγινε η λήψη της εικόνας από την κάμερα. Η συνάρτηση MbufBayer() μετατρέπει τα pixels που αντιστοιχούν στο λευκό έτσι ώστε να εμφανίζονται όσο κοντά στο λευκό όσο είναι πιθανό, και ρυθμίζει τα άλλα pixels αναλόγως. Η διόρθωση γάμμα αλλάζει το γενικό κορεσμό φωτεινότητας και χρώματος μιας εικόνας έτσι ώστε οι "μεσαίοι" τόνοι χρώματος να εμφανίζονται ρεαλιστικότερα στην οθόνη. Η διόρθωση γάμμα ρυθμίζει αποτελεσματικά μια εικόνα για να αντισταθμίσει τη μη γραμμική σχέση μεταξύ της τιμής ενός pixel και της επιδειχθείσας έντασής του στην οθόνη. Στο υπό-σύστημα κάμερας της εργασίας εφαρμόζονται τόσο Bayer Interpolation για τη μετατροπή του εκάστοτε frame που λαμβάνει η κάμερα σε έγχρωμο όσο και white balance correction ώστε να βελτιώνονται δυναμικά οι αλλαγές στη φωτεινότητα της εικόνας όταν αυτή αλλάζει στο χώρο όπου βρίσκεται η κάμερα.

- ***Διόρθωση Γεωμετρίας***: Το calibration module της MIL αποτελείται από ένα σετ συναρτήσεων που επιτρέπουν το mapping των συντεταγμένων των pixels της εικόνας σε απόλυτες (real-world) συντεταγμένες. Το mapping αυτό στο τρέχων έργο χρησιμοποιείται για τη διόρθωση τυχόν αλλοιώσεων της εικόνας που λαμβάνει η κάμερα. Έτσι, αντισταθμίζεται αυτόματα οποιαδήποτε διαστρέβλωση της εικόνας και μπορούμε να πάρουμε τα ακριβή αποτελέσματα παρά τις διαστρεβλώσεις της. Ο καθορισμός του pixel-to-world mapping είναι γνωστός ως βαθμολόγηση (calibration). Ένα αντικείμενο βαθμολόγησης (calibration object) χρησιμοποιείται για να κρατήσει την καθορισμένη χαρτογράφηση, καθώς επίσης και ορισμένες ρυθμίσεις ελέγχου (control settings). Στη συγκεκριμένη εργασία, δεδομένου ότι χρησιμοποιείται μία μόνο κάμερα, δεν είναι δυνατή η επίδειξη του geometric correction. Εντούτοις, η διαδικασία αυτή έχει υλοποιηθεί και αποτελέσματά της όπως και γενικότερες παρατηρήσεις – συμπεράσματα θα παρουσιαστούν σε επόμενο κεφάλαιο που αφορά στην εφαρμογή του συστήματος επίβλεψης που έχει αναπτυχθεί και πιο συγκεκριμένα στο case study που περιγράφει.

- ***Συμπίεση***: Το σύστημα που περιγράφεται και υλοποιήθηκε επιτρέπει τη γρήγορη μετάδοση της εικόνας (video) υψηλής ανάλυσης με χρήση ειδικευμένων μεθόδων συμπίεσης. Το video από κάμερες επιτήρησης επιβάλλει περιορισμούς για ελάχιστη απώλεια πληροφοριών και γρήγορη μετάδοση (έτσι ώστε η πληροφορία του video να μπορεί να αντιμετωπισθεί στο όργανο ελέγχου στον πραγματικό χρόνο). Η ανάγκη αντιμετώπισης προβλημάτων καθυστέρησης κατά τη μετάδοση του βίντεο μέσω δικτύου οδηγεί στην επιλογή MJPEG/MJPEG2000 πρωτοκόλλων συμπίεσης για την κωδικοποίηση του βίντεο. Τα MJPEG είτε MJPEG2000 επιτυγχάνουν υψηλή συμπίεση μέσω την συμπίεσης μεμονωμένων πλαισίων (frames) και ταυτόχρονα χαμηλή καθυστέρηση στη συμπίεση και αποσυμπίεση video υψηλής ευκρίνειας. Πιο σύγχρονα πρωτόκολλα όπως τα MPEG-1/2/4 επιτυγχάνουν μεγαλύτερη συμπίεση αλλά δεν υποστηρίζουν λήψη σε πραγματικό χρόνο καθώς εισάγουν καθυστέρηση στην αναπαραγωγή του video. Τα πρωτόκολλα αυτά στηρίζονται στην ιδέα της κωδικοποίησης πληροφορίας που μεταβάλλεται ανάμεσα σε συνεχόμενα πλαίσια ταυτόχρονα με την κωδικοποίηση πληροφορίας μέσα στα ίδια τα πλαίσια (όπως κάνουν τα πρωτόκολλα MJPEG/MJPEG2000). Αυτό σημαίνει ότι για την αναπαραγωγή του video στη λήψη απαιτείται όχι μόνο η λήψη κάθε πλαισίου χωριστά αλλά και η λήψη των επόμενων πλαισίων που ακολουθούν (και αυτό εισάγει καθυστέρηση στην αναπαραγωγή του video σε σχέση με το χρόνο που αυτά μεταδόθηκαν). Κανένα από τα εμπορικά διαθέσιμα ή πειραματικά συστήματα επισκόπησης χώρων δε χρησιμοποιεί αυτά τα πρωτόκολλα αν και ενδεχομένως με την αναμενόμενη αύξηση της υπολογιστικής ισχύος στο μέλλον αυτό να καταστεί δυνατόν σε συστήματα επόμενης γενιάς.

Τα MJPEG/MJPEG2000 πρότυπα είναι ο απαραίτητος συμβιβασμός ανάμεσα σε βαθμό συμπίεσης και χρόνο μετάδοσης. Προσφέρουν μετάδοση video σε πραγματικό χρόνο. Υποστηρίζονται πλήρως από το υλικό (hardware) της κάμερας που χρησιμοποιείται καθώς είναι δυνατόν να υλοποιηθούν αποδοτικότερα χρησιμοποιώντας τον ‘επιταχυντή επεξεργασίας σήματος’ (DSP) του συστήματος κάμερας.

Ανάμεσα στα παραπάνω MJPEG πρωτόκολλα που εξετάστηκαν ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην νεότερη έκδοση MJPEG2000. Σε MJPEG2000 κάθε πλαίσιο κωδικοποιείται με τη χρήση «μετασχηματισμού κυματιδίων» (discrete wavelet transform) αντί «μετασχηματισμού συνημίτονου» (discrete cosine transform). Ας σημειωθεί ότι με την χρήση MJPEG πρωτοκόλλων το video μετατρέπεται σε σειρά από bit (bitstream). Αν ο θόρυβος δικτύου στην διάρκεια της μετάδοσης προκαλέσει αλλοίωση έστω και λίγων μόνο bit αυτό έχει ως συνέπεια την απώλεια ολόκληρου του πλαισίου (frame) που περιέχει το αλλαγμένο bit, και τελικά σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας του video στην λήψη.

2.2.5. Συναρτήσεις επεξεργασίας εικόνας κατόπιν 'απαίτησης' του χρήστη

Η επεξεργασία της εικόνας που γίνεται σε κάθε σύστημα κάμερας αμέσως μόλις λάβει την κατάλληλη εντολή (request) από κάποιο σταθμό χρήστη γίνεται σε πραγματικό χρόνο και το αποτέλεσμά της αποστέλλεται στο σταθμό χρήστη που το ζήτησε και μόνο σε αυτόν. Ο server, παράλληλα, εξακολουθεί να κάνει broadcasting στο δίκτυο (δηλαδή σε όλους τους σταθμούς χρήστη που είναι συνδεδεμένοι) την πληροφορία εικόνας που καταγράφει η κάμερα αφού ολοκληρώσει την προ-επεξεργασία της. Όλα αυτά γίνονται παράλληλα, σε dedicated ports του δικτύου και σε πραγματικό χρόνο.

- **Ανίχνευση νέων αντικειμένων**: Κατόπιν αίτησης του χρήστη, μέσω του user interface που αυτός χειρίζεται, μπορεί να δώσει εντολή στο server να ξεκινήσει τη διαδικασία ανίχνευσης νέων αντικειμένων στο πεδίο που γίνεται η επίβλεψη, με σκοπό να προχωρήσει σε ανίχνευση κίνησης ή, με άλλα λόγια, να παρατηρήσει και να καταγράψει πληροφορία κατεύθυνσης και μεγέθους της ταχύτητάς τους. Ως αποτέλεσμα, ο χρήστης όχι μόνο μπορεί να δει και να εντοπίσει τα νέα αντικείμενα στο χώρο που γίνεται η επίβλεψη, αλλά ταυτόχρονα του παρέχεται η δυνατότητα παρατήρησης και αποθήκευσης της κατεύθυνσης αλλά και της ταχύτητας του/των νέων αντικειμένων.

  Αυτό που αρχικά υλοποιείται στο server αμέσως μόλις λάβει την εντολή (request) από το σταθμό του χρήστη, είναι ένα φίλτρο sobel σε κάθε frame που στέλνεται αμέσως μετά την προ-επεξεργασία του και αμέσως πριν τη συμπίεση και αποστολή του στο σταθμό χρήστη που ζήτησε τη συγκεκριμένη λειτουργία. Το φίλτρο sobel 3x3 αποτελεί ουσιαστικά μια μάσκα διαστάσεων 3x3 όπως φαίνεται στην Εικόνα 10, όπου τα x_i, $i=0, \ldots, 8$ αντιπροσωπεύουν, σε γενική μορφή, τους συντελεστές με τους οποίους πολλαπλασιάζονται οι τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων (pixels), ενώ το x_0 είναι το κεντρικό εικονοστοιχείο. Το ‘πέρασμα’ της μάσκας στην εικόνα γίνεται τόσο στην οριζόντια όσο και στην κατακόρυφη κατεύθυνση. Οι τελεστές sobel δίνονται στην Εικόνα 10 για την οριζόντια και την κατακόρυφη κατεύθυνση αντίστοιχα.

x_4	x_3	x_2	1	2	1	1	0	1
x_5	x_0	x_1	0	0	0	2	0	-2
x_6	x_7	x_8	-1	-2	-1	-1	0	-1
(α) Γενική μορφή			*(α) Τελεστής οριζόντιας κατεύθυνσης*			*(α) Τελεστής κατακόρυφης κατεύθυνσης*		

Εικόνα 10: Τελεστές Sobel

Εφαρμόζοντας τελεστή Sobel σε κάθε εικόνα πριν αυτή σταλεί στο σταθμό χρήστη που τη ζήτησε, παράγεται το περίγραμμα του περιεχομένου (edge detection) της κάθε εικόνας. Για να έχει νόημα η ανίχνευση κίνησης, για να μπορεί δηλαδή ο χρήστης να εντοπίσει με ευκολία τα νέα και μόνο αντικείμενα στην κάθε εικόνα, πριν την εφαρμογή του sobel γίνεται αφαίρεση background, δηλαδή η ανίχνευση ακμών γίνεται σε εικόνα που περιέχει (αν περιέχει) μόνο κάτι καινούριο ως πληροφορία. Η αφαίρεση background είναι ουσιαστικά μια αριθμητική πράξη (αφαίρεσης) ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εικόνες και εξασφαλίζει ότι τίποτε από όσα αντικείμενα υπάρχουν ήδη στο χώρο επίβλεψης τη στιγμή που ο χρήστης θα ζητήσει ανίχνευση κίνησης δεν θα θεωρηθεί νέο.

Επιπλέον, με την ανίχνευση ακμών (δηλαδή, ανίχνευση νέων αντικειμένων), δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να κάνει πάνω στο αποτέλεσμα καταγραφή πληροφορίας ταχύτητας (τόσο το μέτρο – μέγεθος όσο και τα διανύσματα κατεύθυνσης), κάτι που είναι μία από τις λειτουργίες του σταθμού του χρήστη και θα γίνει η ανάλυσή της σε επόμενη ενότητα.

- **Περιοχή ενδιαφέροντος**: Μέσω αυτής της λειτουργίας παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να κάνει επιλεκτική επίβλεψη σε μια, μικρότερου μεγέθους, περιοχή ενδιαφέροντός του, ταυτόχρονα με την επίβλεψη σε ολόκληρο το αρχικό πεδίο παρατήρησης. Σε πολλές εφαρμογές, στις ακολουθίες εικόνας που καταγράφονται από σταθερή κάμερα μόνο ένα μέρος του frame είναι σημαντικό (παραδείγματος χάριν, οι άνθρωποι που περνούν από το χώρο), ενώ το υπόλοιπο τμήμα του frame είναι μικρής ή μηδενικής σημασίας (περίχωρα, φόντο). Βελτιώνοντας την ποιότητα των σημαντικών περιοχών, τις οποίες καλούμε περιοχές ενδιαφέροντος (ROIs) αλλά και αυξάνοντας το ποσοστό συμπίεσης στο τμήμα του frame που δεν συμπεριλαμβάνεται στην περιοχή ενδιαφέροντος (non-ROIs) βελτιώνει την αποδοτικότητα κωδικοποίησης βίντεο για τέτοιου είδους εφαρμογές χωρίς παρεμπόδιση της λειτουργίας του. Αυτή η λειτουργία βοηθά, λοιπόν, το χρήστη να εστιάσει καλύτερα σε μια περιοχή ενδιαφέροντος. Η διαφορά αυτής της λειτουργίας από το να κάνει ένα απλό zoom ο χρήστης στην εικόνα που παρατηρεί είναι η διαφορά στην ανάλυση της εικόνας που βλέπει. Το zoom θα "αλλοιώσει" εν μέρει την εικόνα, ενώ, εάν ξαναζητήσει από το server ένα μικρότερο τμήμα αυτής, ο server θα το στείλει στην ίδια ανάλυση με αυτή που επεξεργάζεται και την αρχική, ολόκληρη εικόνα. Ο χρήστης μπορεί να ζητήσει να βλέπει ταυτόχρονα με την ολόκληρη εικόνα και περισσότερες από μία περιοχές ενδιαφέροντος. Ο μόνος περιορισμός έγκειται στο εύρος (bandwidth) του δικτύου και στη μνήμη του DSP board, το οποίο μπορεί να αντικατασταθεί με κάποιο νεότερης γενιάς. Κατά τα άλλα, το σύστημα επίβλεψης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας είναι πλήρως επεκτάσιμο.

2.3. Υποσύστημα χρήστη (client)

2.3.1. Αρχιτεκτονική - Λειτουργικότητα

Το Σύστημα χρήστη (client) είναι ένας Η/Υ, ο οποίος λαμβάνει τα δεδομένα που στέλνει ο κάθε server μέσω 1GB δικτύου Ethernet.

Κάθε σύστημα χρήστη έχει ένα περιβάλλον αλληλεπίδρασης (interface) ικανό να κάνει display το βίντεο που το κάθε σύστημα κάμερας μεταδίδει. Η λειτουργικότητά του περιγράφεται σε γενικές γραμμές με τις παρακάτω δυνατότητες που δίνει στο χρήστη:

- **Αποσυμπίεση** εικόνων βίντεο που 'λαμβάνει' από το σύστημα κάμερας.
- ***Επιλογή συστήματος κάμερας*** από την οποία ο εκάστοτε χρήστης θα θέλει να λάβει βίντεο.
- ***Επικοινωνία*** με τα συστήματα κάμερας μέσω δικτύου.
- ***Αποθήκευση*** σε τοπικό δίσκο των δεδομένων βίντεο που κάνει display (αν χρειαστεί).

2.3.2. Χαρακτηριστικά Υλικού (Hardware) - Λογισμικού (Software)

Ο client είναι ουσιαστικά ένας Η/Υ με οθόνη. Πρέπει να έχει, παρόλα αυτά, μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα σε περίπτωση που ζητηθεί αποθήκευση των δεδομένων βίντεο για λόγους αρχειοθέτησης. Δεν υπάρχει απαίτηση για δυνατότητες κάρτας γραφικών πλέον των συμβατικών αναγκών για καλή απεικόνιση βίντεο.

Το σύστημα της κάμερας έχει λειτουργικό windows XP (χωρίς αυτό να είναι δεσμευτικό), ενώ η υλοποίηση έγινε σε περιβάλλον .NET (C/++, Visual Basic). Το τελικό αποτέλεσμα της υλοποίησης στο σύστημα του χρήστη είναι της μορφής ενός user interface, το οποίο περιλαμβάνει όλη τη λειτουργικότητα του client, ενώ στηρίζεται για τη σωστή λειτουργία του στο σύστημα επικοινωνίας που περιγράφεται σε επόμενη ενότητα.

2.3.3. Σύστημα διεπαφής (user interface)

Μέσω του συστήματος διεπαφής (user interface) ο χρήστης κάθε σταθμού ελέγχου μπορεί να επιλέγει και να ελέγχει την κάμερα λήψης, με άλλα λόγια να επηρεάζει τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος κάμερας. Το σύστημα διεπαφής επιτρέπει στον χρήστη την επιλογή 'στόχου' (αντικειμένου, ανθρώπου κλπ) για τον οποίο το σύστημα πρέπει να δώσει εικόνα περιοχής (region of interest) μεγαλύτερης ευκρίνειας, επιτρέπει λειτουργίες μετατόπισης (pan/tilt), μεγέθυνσης/σμίκρυνσης (zoom in/out) ή ακόμα και να λάβει χρήσιμες πληροφορίες που αφορούν στην κίνηση αντικειμένου ή ανθρώπου.

Ο βασικός ρόλος του συστήματος διεπαφής (αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα) ήταν να χτιστεί ένα σύνολο λειτουργιών 'χαμηλού επιπέδου' που να υποστηρίζουν την επικοινωνία του κάθε server με τους χρήστες. Το σύστημα διεπαφής που αναπτύχθηκε επικοινωνεί (σύνδεση/αποσύνδεση) με έναν ή και περισσότερους servers (που είναι κάθε φορά διαθέσιμοι στο δίκτυο), στέλνει τα αιτήματα των χρηστών για την περιοχή ενδιαφέροντος της οποίας θέλουν να έχουν την επίβλεψη (στέλνει, δηλαδή, τις μεταβαλλόμενες συντεταγμένες παραθύρων), λαμβάνει τις εικόνες ολόκληρης της εικόνας που καταγράφει ο κάθε server αλλά και των παραθύρων και αποθηκεύει τις εικόνες αυτές σε αρχείο.

Τα δεδομένα εικόνας και βίντεο που λαμβάνονται από τον client μέσω του συστήματος επικοινωνίας και τα οποία γίνονται display στον χρήστη είναι συμπιεσμένα, τύπου MJPEG. Κι αυτό γίνεται για έναν πολύ σημαντικό λόγο. Οι εφαρμογές στις οποίες θα ήταν χρήσιμο ένα τέτοιο σύστημα (και που η αναφορά σε αυτές τις εφαρμογές έχει γίνει σε προηγούμενη ενότητα) επιβάλλουν μια διαφορετική αντιμετώπιση και αντίληψη της ποιότητας (της ανάλυσης) της εικόνας από ότι σε άλλες εφαρμογές, όπως, για παράδειγμα, η ψυχαγωγία. Στις ακολουθίες εικόνας που καταγράφονται συνήθως από σταθερή κάμερα (κάμερες) μόνο ένα μέρος του frame είναι σημαντικό (παραδείγματος χάριν, οι άνθρωποι που περνούν από το χώρο), ενώ το υπόλοιπο τμήμα του frame είναι μικρής ή μηδενικής σημασίας (περίχωρα, φόντο). Βελτιώνοντας την ποιότητα των σημαντικών περιοχών, τις οποίες καλούμε περιοχές ενδιαφέροντος (ROIs) αλλά και αυξάνοντας το ποσοστό συμπίεσης στο τμήμα του frame που δεν συμπεριλαμβάνεται στην περιοχή ενδιαφέροντος (non-ROIs) θα βελτιώσει την αποδοτικότητα κωδικοποίησης βίντεο για τέτοιου είδους εφαρμογές χωρίς παρεμπόδιση της λειτουργίας του. Κατά συνέπεια, οι περισσότερες από τις εφαρμογές επιτήρησης χώρων απαιτούν πραγματικού - χρόνου συμπίεση.

Πιο αναλυτικά, το σύστημα διεπαφής υποστηρίζει και υλοποιεί τις ακόλουθες διεργασίες:

- ***Αρχικοποίηση σύνδεσης client με server:*** Αρχικοποιείται μία νέα σύνδεση με έναν ή και περισσότερους servers (που είναι διαθέσιμοι στο δίκτυο). Εκτελείται στην αρχή (χρονικά) της εφαρμογής που λειτουργεί στον client. Αυτή η λειτουργία κάνει παύση στην εφαρμογή του συστήματος διεπαφής, περιμένοντας τον server να ανταποκριθεί, δηλαδή να συνδεθεί. Όταν γίνει η σύνδεση με τον server, "επιστρέφει" ένα socket το οποίο "αναπαριστά" την επικοινωνία μεταξύ server και client. Ο κάθε client μπορεί να διακόψει την επικοινωνία του με το server χωρίς να επηρεάσει την επικοινωνία του server με τους υπόλοιπους clients. Ο server μπορεί ανά πάσα στιγμή να έχει την πληροφορία με πόσους clients επικοινωνεί και ποιος client διέκοψε την επικοινωνία μαζί του.
- ***Παραλαβή δεδομένων εικόνας από τον server:*** Δημιουργείται ένα network stream το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά δεδομένων από τον server στον client. Το stream αυτό μεταφέρει τα δεδομένα εικόνας στον client και, πιο συγκεκριμένα, τα "τοποθετεί" σε ένα buffer (πίνακα) τύπου byte, ώστε να είναι διαθέσιμα στον client να τα κάνει display ή να τα αποθηκεύσει σε αρχείο. Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και κατά την παραλαβή παράθυρου (περιοχής ενδιαφέροντος) που έχει ζητηθεί από το χρήστη.
- ***Αίτηση σε server για περιοχή ενδιαφέροντος - ROI μιας εικόνας*** (κι όχι όλης της πληροφορίας εικόνας που καταγράφει ο server)***:*** Ο χρήστης κάνοντας δύο διαδοχικά κλικ πάνω στην εικόνα που βλέπει στην οθόνη του client μπορεί να ζητήσει ένα μικρότερο τμήμα της εικόνας αυτής από τον αντίστοιχο server. Αυτή η λειτουργία βοηθά τον χρήστη να εστιάσει καλύτερα σε μια περιοχή ενδιαφέροντος. Η διαφορά αυτής της λειτουργίας από το να κάνει ένα απλό zoom ο χρήστης στην εικόνα που παρατηρεί είναι η διαφορά στην ανάλυση της εικόνας που βλέπει. Το zoom θα "αλλοιώσει" εν μέρει την εικόνα, ενώ, εάν ξαναζητήσει από το server ένα μικρότερο τμήμα αυτής, ο server θα το στείλει στην ίδια ανάλυση με

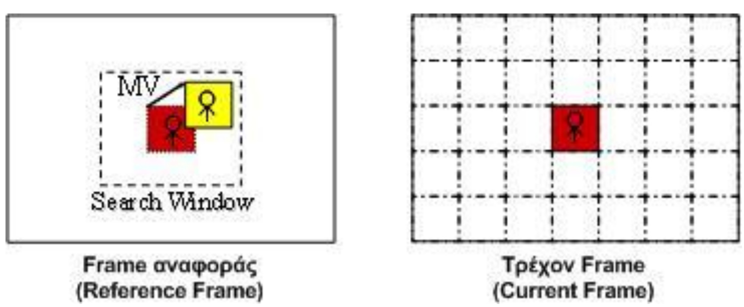
αυτή που επεξεργάζεται και την αρχική ολόκληρη εικόνα. Τα δύο κλικ του ποντικιού που κάνει ο χρήστης στην οθόνη του μεταφράζονται σε συντεταγμένες σημείων, στα ζεύγη συντεταγμένων (start_x, start_y) και (end_x, end_y) τα οποία το σύστημα διεπαφής στέλνει στο server ώστε να γνωρίζει πιο τμήμα της εικόνας ενδιαφέρει το χρήστη. Είναι φυσικά αναμενόμενο ότι η συνεχής χρήση της λειτουργίας από το χρήστη, με διαφορετικά μεγέθη εικόνας κάθε φορά θα προκαλέσει μια μείωση στο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων εικόνας από το server στον client, για το λόγο ότι κάθε φορά ο server θα πρέπει να δεσμεύει διαφορετικό μέγεθος buffer για να επεξεργαστεί την εικόνα που αντιστοιχεί στην περιοχή ενδιαφέροντος του χρήστη.

- ***Αποθήκευση σε αρχείο εικόνων που λαμβάνει ο χρήστης (αρχειοθέτηση):*** Η λειτουργία αυτή αποθηκεύει τις εικόνες (frames) που έρχονται από τον κάθε server στο σκληρό δίσκο του υπολογιστή του χρήστη. Τα ονόματα των αρχείων περιέχουν την πληροφορία από ποιο server προέρχονται, η αποθήκευση των δεδομένων μπορεί να γίνεται όσο τακτικά αποφασίσει η χρήστης και τα αρχεία αυτά είναι τύπου .jpeg, ώστε να καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο. Η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται με τη χρήση ενός memory stream το οποίο διαβάζει ό,τι περιέχεται στο network stream της επικοινωνίας.
- ***Υπολογισμός και καταγραφή διανυσμάτων κίνησης:*** Η λογική πίσω από αυτή τη διαδικασία είναι να υπολογιστούν τα διανύσματα κίνησης ανάμεσα σε διαδοχικά frames των εικόνων βίντεο που λαμβάνει ο κάθε σταθμός χρήστη. Δεδομένου ότι αποθηκεύονται οι εικόνες βίντεο που ‘φτάνουν’ σε κάθε σταθμό χρήστη, με επιλογή από αυτόν του πλήθους των εικόνων (ή όλων) που είναι καταγεγραμμένες στο σταθμό του, η συνάρτηση αυτή υπολογίζει το μέτρο και την κατεύθυνση των διανυσμάτων κίνησης.

Η παρακολούθηση αντικειμένων μέσω ροής εικόνων (video) είναι αλληλένδετη με την εξαγωγή χαρακτηριστικών από τις εικόνες του video. Η εύρεση κατάλληλων χαρακτηριστικών παρέχει τη δυνατότητα της αναγνώρισης ενός αντικειμένου, την παρακολούθησή του στο χώρο και την εξαγωγή χαρακτηριστικών όπως για παράδειγμα των διανυσμάτων ταχύτητας. Ο ορισμός και η εξαγωγή χαρακτηριστικών υπάγονται στην ανάλυση εικόνας, η οποία γίνεται σήμερα κυρίως από εξειδικευμένους χρήστες, μπορεί να αυτοματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό με την ανάπτυξη ειδικών αλγορίθμων που ήδη έχουν προταθεί γι' αυτό τον σκοπό στη διεθνή βιβλιογραφία. Τέτοιοι αλγόριθμοι εξαγωγής διανυσμάτων ταχύτητας ανήκουν στην κατηγορία των block matching αλγορίθμων.

Οι block matching αλγόριθμοι αποτελούν ένα τρόπο εντοπισμού των blocks εικόνας που ταιριάζουν μεταξύ τους (ανίχνευση ομοιότητας) σε μια ακολουθία ψηφιακών καρέ (frames) βίντεο και, κυρίως χρησιμοποιούνται για σκοπούς εκτίμησης κίνησης (motion estimation).

Με γενικά λόγια, ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής: εντοπίζει ένα matching block ενός frame i σε ένα άλλο frame j, επόμενο ή προηγούμενο του i. Βέβαια, ακολουθούνται συγκεκριμένα κριτήρια, ανάλογα με τον block matching αλγόριθμο, τα οποία ορίζουν με ποιο τρόπο ένα block εικόνας του frame j 'ταιριάζει' με το block αναζήτησης του frame i. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμο αυτός χωρίζει αρχικά το τρέχον frame σε μικρά, μη-επικαλυπτόμενα blocks (συνήθως 8x8 pixels). Στη συνέχεια, για κάθε block, και μέσα σε ένα παράθυρο αναζήτησης (search window), όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, υπολογίζεται το διάνυσμα ταχύτητας (motion ή velocity vector), το οποίο θα πρέπει να ελαχιστοποιεί ένα προκαθορισμένο σφάλμα αν-αντιστοιχίας.



Εικόνα 11: Παράδειγμα block-based motion estimation

Έτσι, αρχικά γίνεται η τμηματοποίηση της εικόνας σε blocks των 8x8 pixel, όπου κάθε block αναπαριστά μια γειτονιά από pixels που θεωρούνται ότι κινούνται με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή περιγράφονται από το ίδιο διάνυσμα κίνησης. Η πρόβλεψη της κίνησης γίνεται μέσα από ανίχνευση ομοιότητας στα ίδια blocks των διαδοχικών frames. Υποθέτουμε ότι στο βίντεο που καταγράφεται στο σταθμό του χρήστη (client) δεν παρατηρούνται απότομες μεταβολές, δηλαδή μεγάλες μετατοπίσεις. Βέβαια, η ταχύτητα λειτουργίας και η γενικότερη λειτουργία του όλου συστήματος συνηγορούν σε αυτή την παραδοχή (περισσότερες λεπτομέρειες για την απόδοση του συστήματος στο Κεφάλαιο 4).

Η αναζήτηση όμοιων blocks περιορίζεται μέσα στα όρια του παραθύρου αναζήτησης κάθε φορά, σε όλες τις πιθανές κατευθύνσεις. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το παράθυρο αναζήτησης έχει μέγεθος 24x24, Η ορθή μετατόπιση καθορίζεται κατόπιν σύγκρισης όλων των δυνατών μετατοπίσεων. Αποτελεί μία γενικά 'δαπανηρή' σε πόρους και χρόνο εκτέλεσης διαδικασία λόγω της εξαντλητικής αναζήτησης, αλλά δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα. Δεδομένου ότι στη συγκεκριμένη εργασία, ο υπολογισμός των διανυσμάτων κίνησης γίνεται off-line (εκτός του πλαισίου λειτουργίας του συστήματος σε πραγματικό χρόνο), δεν υπήρχε λόγος να επιλεγεί κάτι διαφορετικό από τον αλγόριθμο που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Για την ποσοτική περιγραφή της ομοιότητας δύο διαδοχικών εικόνων μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο μετρικές:

- ***Άθροισμα απολύτων διαφορών – SAD***: Για κάθε υποψήφια μετατόπιση *(dx, dy)* υπολογίζεται το άθροισμα των απολύτων διαφορών pixel προς pixel ανάμεσα στο τρέχων block και το block αναφοράς του επόμενου frame.

$$SAD(dx,dy) = \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0}^{N} \left| C(x+i, y+j) - R(x+i+dx, y+j+dy) \right|$$

Η μετατόπιση που επιλέγεται ως εκτίμηση της κίνησης λαμβάνεται ως εκείνη για την οποία το SAD ελαχιστοποιείται.

- ***Συσχέτιση - Correlation***: Το correlation περιγράφει το βαθμό στον οποίο κάθε pixel του τρέχοντος block C καθορίζει την τιμή του αντίστοιχου pixel στο block αναφοράς R.

$$CORR(dx,dy)=\frac{\sum\sum(C_{i,j}R_{i+dx,\ j+dy})}{\sqrt{\sum\sum C_{i,j}{}^{2}}\cdot\sum\sum R_{i+dx,\ j+dy}{}^{2}}$$

Η μετατόπιση που επιλέγεται ως εκτίμηση της κίνησης λαμβάνεται ως εκείνη για την οποία το Correlation μεγιστοποιείται.

Η μετρική του correlation απαιτεί περισσότερους πόρους για τον υπολογισμό της και γι' αυτό προτιμήθηκε η μετρική του SAD.

Στα αποτελέσματα της υλοποίησης περιλαμβάνονται τα διανύσματα κίνησης (motion vectors) με την έννοια ότι υπολογίζονται για κάθε διάνυσμα οι συντεταγμένες αρχής και τέλους. Έτσι, μπορεί εύκολα να υπολογιστεί τόσο το μέτρο του διανύσματος όσο και η κλίση, η οποία σε συνδυασμό με τη θέση του τέλους σε σχέση με την αρχή του διανύσματος μπορεί εύκολα να δώσει την κατεύθυνση. Τα παραπάνω γίνονται αναφορικά σε μια συγκεκριμένη ακολουθία από frames ή μελλοντικά και αναφορικά με ένα, καθορισμένο από το χρήστη του σταθμού ελέγχου, χρονικό εύρος παρατήρησης.

Η συγκεκριμένη λειτουργία κυρίως υλοποιήθηκε ώστε να αποτελέσει ένα χρήσιμο επιπλέον εργαλείο σε περίπτωση που το σύστημα χρησιμοποιηθεί σε περιβαλλοντικές εφαρμογές, όπως, για παράδειγμα, σε Περιβαλλοντικά Δίκτυα Αισθητήρων με αναφορά σε υδάτινους πόρους (π.χ. ποταμούς). Η δυνατότητα καταγραφής και παρακολούθησης των διανυσμάτων ταχύτητας μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλο βαθμό στην πλήρη αυτοματοποίηση του προτεινόμενου σταθμού ελέγχου καθώς πέραν της παρατήρησης στο πεδίο της ταχύτητας θα δώσει την πρόσθετη δυνατότητα του υπολογισμού της παροχής. Μεγαλύτερη ανάλυση στη συγκεκριμένη εφαρμογή γίνεται στο 4ο Κεφάλαιο, που περιλαμβάνει τις μελλοντικές επεκτάσεις και εφαρμογές.

2.4. Υποσύστημα επικοινωνίας (communication)

2.4.1. Λειτουργικότητα συστήματος

Το υποσύστημα επικοινωνίας είναι υλοποιημένο εν μέρει στο σύστημα κάμερας και εν μέρει στο σύστημα του χρήστη. Είναι υπεύθυνο για όλη την ανταλλαγή δεδομένων εικόνας (βίντεο) μεταξύ της κάμερας και του χρήστη και βασίζεται στο μοντέλο server – client. Υποστηρίζει τη δυνατότητα πολλαπλών συστημάτων χρηστών, οι οποίοι μπορούν να έχουν πρόσβαση (με άλλα λόγια να λαμβάνουν) πληροφορία ακόμα και από το ίδιο σύστημα κάμερας.

Κάθε σύστημα επικοινωνίας παρουσιάζει σε πραγματικό χρόνο τη λήψη της κάμερας την οποία έχει επιλέξει ο χρήστης. Ο επιθυμητός χρόνος μετάδοσης και εμφάνισης του βίντεο μπορεί να θεωρηθεί πραγματικού χρόνου καθώς πλησιάζει το ρυθμό μετάδοσης της κάμερας. Η ανάλυση του βίντεο είναι 1024x766 και οι εικόνες έγχρωμες.

Παρόλο που το αναφερόμενο δίκτυο είναι 1GB, το διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) του συστήματος επικοινωνίας μπορεί να είναι λιγότερο εξαιτίας της κίνησης του δικτύου. Επίσης, στο αναφερόμενο εύρος προστίθεται και ο φόρτος επεξεργασίας και μετάδοσης δεδομένων μεταξύ DSP και CPU του μηχανήματος του server. Πιο συγκεκριμένα, η συμπίεση των δεδομένων στο σύστημα της κάμερας, η οποία προηγείται της μετάδοσης των δεδομένων, μπορεί να προσδώσει καθυστέρηση στο σύστημα.

Η ανάπτυξη ενός συστήματος επικοινωνίας καμερών και σταθμών εργασίας μέσω δικτύου βασίστηκε σε πρωτόκολλα χαμηλού επιπέδου που επιτρέπουν ταυτόχρονη μετάδοση (broadcasting) σε πολλούς χρήστες. Το σύστημα διεπαφής (user interface) που αναπτύχθηκε έδωσε τη δυνατότητα στους χρήστες να επικοινωνήσουν με τις κάμερες που επιλέγουν. Η υλοποίηση του συστήματος επικοινωνίας σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να δεχτεί οποιοδήποτε αριθμό ή τύπο καμερών ή χρηστών με μόνο περιορισμό το εύρος διαθέσιμου ρυθμού μετάδοσης (bandwidth).

Το σύστημα επικοινωνίας, λοιπόν, που υλοποιήθηκε υποστηρίζει μεταφορά έγχρωμου σήματος video υψηλής ανάλυσης που παράγεται από κάθε κάμερα καθώς επίσης και δυνατότητα λήψης σήματος από κάθε κάμερα σε κάθε σταθμό ελέγχου. Διερευνήθηκαν δυνατές λύσεις μεταφοράς εικόνας video πάνω από δίκτυο με έμφαση σε λύσεις βασισμένες σε υψηλού ή χαμηλού επιπέδου πρωτόκολλα (TCP, UDP), τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν ταυτόχρονη και γρήγορη μετάδοση σε πολλούς αποδέκτες (broadcasting). Εξετάστηκαν λύσεις που οδήγησαν στη μείωση στο ελάχιστο της απώλειας πληροφορίας πάνω στο δίκτυο (packet losses).

2.4.2. Αρχιτεκτονική συστήματος

Υλοποιήθηκε ένα μοντέλο server/client. O server είναι το σύστημα με την κάμερα και έχει ως κύριο ρόλο, πέραν της επεξεργασίας της εικόνας που λαμβάνεται από την κάμερα, να επικοινωνεί με τους clients και να τους στέλνει την επιθυμητή κάθε φορά από το χρήστη πληροφορία.

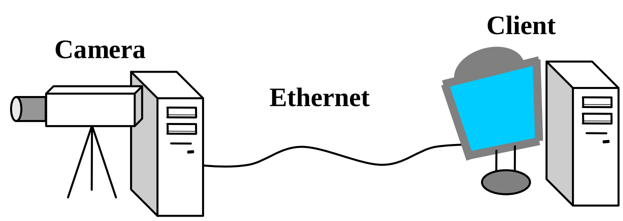
O server ξεκινά πρώτος τη λειτουργία του και στη συνέχεια περιμένει από τους διαθέσιμους στο δίκτυο clients τις αιτήσεις για σύνδεση και επικοινωνία. Παρέχει περιοδικά την κατάσταση λειτουργίας του, δηλαδή, πόσοι clients έχουν συνδεθεί με αυτόν και πόσοι έχουν αποσυνδεθεί. Μόλις ανιχνευθεί μια εισερχόμενη αίτηση για σύνδεση από κάποιο client και γίνει αποδεκτή, ο server δημιουργεί ένα χωριστό socket για να χειριστεί αυτόν τον client, επομένως υπάρχουν τόσα ανεξάρτητα μεταξύ τους sockets όσοι και οι clients που βρίσκονται σε σύνδεση με τον server.

Εν γένει, τα επιμέρους τμήματα του συστήματος επικοινωνίας που απαίτησαν ιδιαίτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό και ουσιαστικά προδιέγραψαν την πορεία της υλοποίησης είναι τα παρακάτω:

- ***Ethernet:*** Αφορά στον τρόπο επικοινωνίας των συστημάτων κάμερας με τα συστήματα χρήστη. Οι δύο παρακάτω παράμετροι έπαιξαν σημαντικό ρόλο κατά τη σχεδίαση του συστήματος επικοινωνίας:

A. <u>*Ο προγραμματισμός του TCP/IP πρωτοκόλλου.*</u> Αυτό που έπρεπε να γίνει ήταν να υλοποιηθούν οι TCP/IP ρουτίνες και να γίνουν tests για να διερευνηθούν οι δυνατότητες ή οι απαιτήσεις του συστήματος σε 100MBps Ethernet. Στη συνέχεια, έπρεπε να διευρυνθεί το δίκτυο σε 1GBps Ethernet. Όλα τα παραπάνω έπρεπε να δοκιμαστούν σε διαφορετικά φορτία δικτύου ώστε να προκύψει ασφάλεια αποτελεσμάτων.

B. Η <u>*ασύγχρονη (asynchronous) και πιθανολογική (probabilistic) φύση του Ethernet*</u> επιβάλλει μια μέθοδο συγχρονισμού που να χρησιμοποιεί buffers (οι οποίοι συστήνονται έντονα) προκειμένου να υπάρξει εγγύηση ότι θα γίνεται η κατάλληλη ανταλλαγή της ακολουθίας εικόνας μεταξύ server και client χωρίς να υπάρχουν περικοπές ή μέρη εικόνας που θα χάνονται.



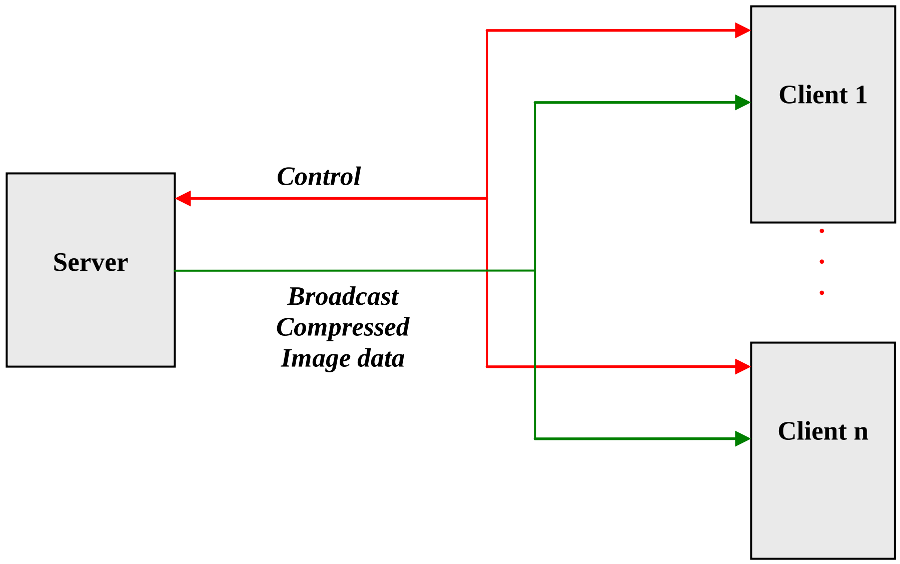
- ***Επικοινωνία server – client (Communication - application level):*** Ο συγχρονισμός στο σύστημα του χρήστη - client (δηλαδή, ο σχηματισμός της σωστής ακολουθίας των frames) ήταν απαραίτητος και έπρεπε να εφαρμοστεί. Ήταν αναγκαίο να υπάρχει μια συμφωνία στη γλώσσα προγραμματισμού που θα χρησιμοποιηθεί στα συστήματα του server και του client προκειμένου να είναι δυνατόν να εφαρμοστεί, χωρίς ιδιαίτερη προσπάθεια (χωρίς, δηλαδή, να είναι χρονοβόρα διαδικασία στα πλαίσια της real – time εφαρμογής) σε όλα τα μέρη της εφαρμογής που αρχίζει με την επικοινωνία δικτύων, τη συμπίεση εικόνας και την αποσυμπίεση και την παρακολούθηση και το χειρισμό της εικόνας της κάμερας από το χρήστη.
- ***Sockets:*** Ήταν απαραίτητο να υλοποιηθούν διάφορα sockets τα οποία να είναι υπεύθυνα για τη μετάδοση των video ακολουθιών αλλά και του χειρισμού των κατάλληλων σημάτων control για την ομαλή λειτουργία του

όλου συστήματος. Οι απαιτήσεις του συστήματος είναι μέσω του socket να μεταδίδονται εικόνες ανάλυσης 1024x768 για λειτουργία στα 20fps (για κάθε client) αλλά και επιπλέον control πληροφορίες όπως το μέγεθος της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI) στην οποία θέλει να εστιάσει ο χρήστης.

- ***Λειτουργικότητα στον server:*** Όσον αφορά σε όρους επικοινωνίας η κάμερα μπορεί να επικοινωνεί με πολλαπλούς χρήστες στο δίκτυο. Το σύστημα κάμερας μπορεί να μεταδώσει όλη την πληροφορία που προκύπτει από την επεξεργασία σε όλους τους χρήστες που θα το ζητήσουν (broadcasting). Κάθε κάμερα λειτουργεί ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες στο δίκτυο. Κάθε server κάνει λήψη δεδομένων από την αντίστοιχη κάμερα, επεξεργάζεται και διαμορφώνει κατάλληλα τα δεδομένα εικόνας με τρόπο που έχει περιγραφεί αναλυτικά σε προηγούμενη ενότητα εργασίας και τα στέλνει μέσω δικτύου στους clients που θα τα ζητήσουν.
- ***Λειτουργικότητα στον client:*** Κάθε σύστημα χρήστη περιλαμβάνει ένα user interface κατάλληλο ώστε να δείχνει τις εικόνες που λαμβάνει μία κάμερα από αυτές που είναι διαθέσιμες στο δίκτυο. Είναι υπεύθυνο για τη συλλογή των δεδομένων που έρχονται μέσω δικτύου, την αποθήκευσή τους (εάν αυτό ζητηθεί) και κατά κύριο λόγο, τη "δρομολόγησή" τους στο user interface.

2.4.3. Περιγραφή λειτουργίας

Κάθε σύστημα κάμερας (server) δεσμεύεται (binds itself) σε έναν τοπικό port προκειμένου να παραλάβει τα αιτήματα από τους χρήστες (clients). Αυτή η λειτουργία υλοποιείται ως ένα TCP socket δεσμευμένο σε ένα port. Το σύστημα της κάμερας δημιουργεί ένα thread που μόνη του λειτουργία είναι να ακούσει (Listen) για εισερχόμενες αιτήσεις από τους clients που είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο. Μόλις ο server παραλάβει ένα τέτοιο αίτημα χρησιμοποιεί το TCP socket και αρχίζει τη μετάδοση των MJPEG video δεδομένων στον αντίστοιχο χρήστη. Με άλλα λόγια, ο server και ο client εγκαθιστούν τη σύνδεση μεταξύ τους πριν ανταλλάξουν δεδομένα. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η άσκοπη συμφόρηση του δικτύου, δηλαδή η περίπτωση ο server να γεμίζει το δίκτυο με πακέτα κάνοντας broadcasting χωρίς κάποιος client να έχει κάνει αίτηση για σύνδεση.



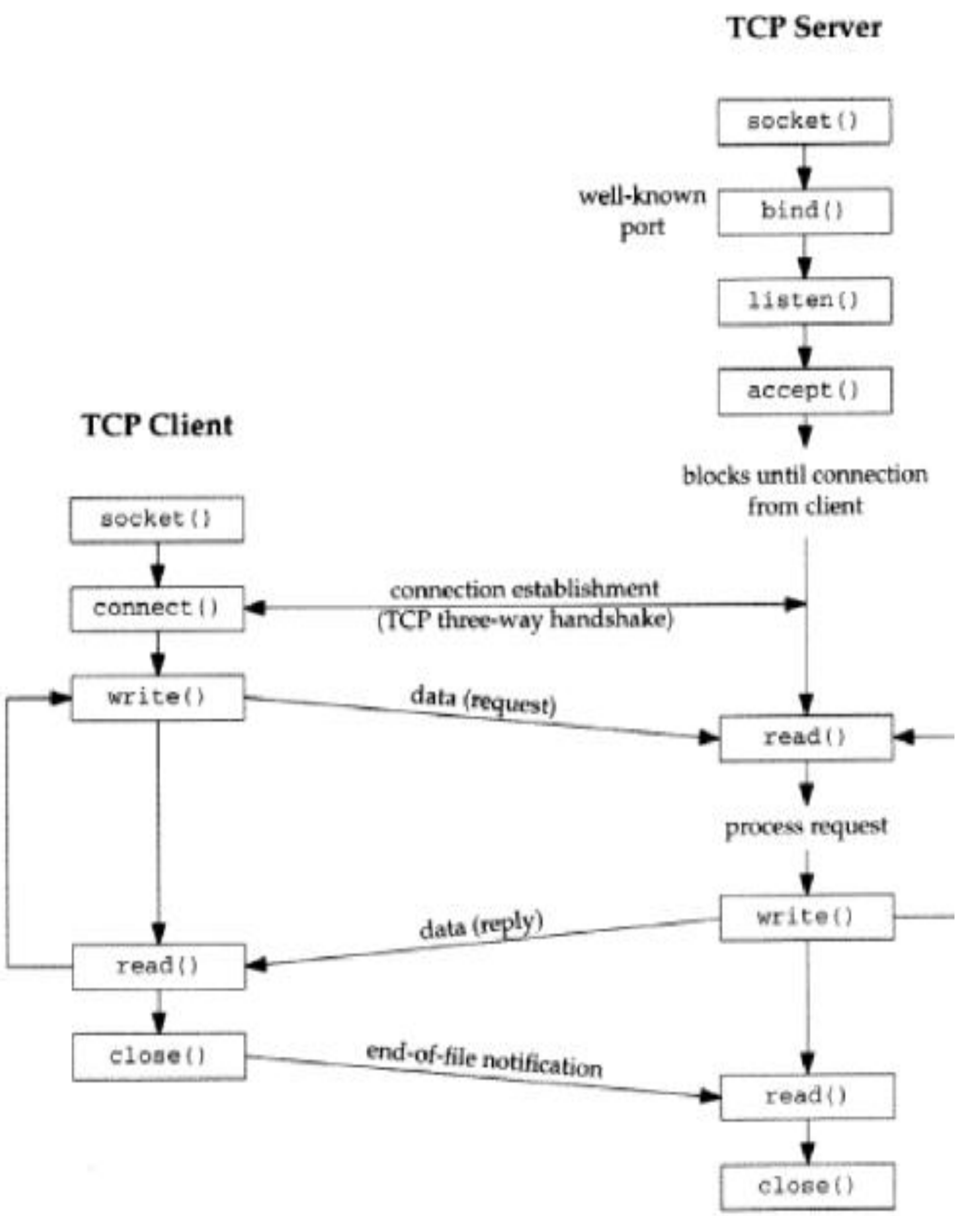
Εικόνα 12: Λειτουργία server – client στο δίκτυο

Το TCP πρωτόκολλο εγκαθιστά ένα νοητό κύκλωμα μεταξύ των δύο σταθμών εργασίας. Έχει ενσωματωμένη διαδικασία handshaking μεταξύ του server και του client για την εγκατάσταση και την επιβεβαίωση της σύνδεσης. Το κύριο πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου, ώστε να τηρηθούν και οι προδιαγραφές του έργου είναι ότι μεταδίδει τα δεδομένα στον προορισμό τους με την ίδια σειρά με την οποία τα έστειλε ο server. Η μεταφορά δεδομένων με TCP είναι full-duplex (αμφίδρομη), δηλαδή μπορούμε να έχουμε ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις, ενώ χρησιμοποιεί επιβεβαιώσεις και αριθμεί τα πακέτα, κάτι που είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία του υπό-υλοποίηση συστήματος. Αυτή είναι και η κύρια διαφορά του από το UDP πρωτόκολλο, το οποίο δεν μπορεί να χειριστεί διπλά πακέτα ή πακέτα σε λάθος σειρά.

Στην άλλη πλευρά του δικτύου, ο client στέλνει αίτηση να συνδεθεί στο port του server που επιθυμεί. Εάν ο client δεν μπορέσει να συνδεθεί με το server (γιατί, π.χ., το δίκτυο είναι φορτωμένο ή ο server είναι προσωρινά μη-διαθέσιμος) εξακολουθεί να περιμένει μέχρι η προσπάθεια αυτή γίνει timed-out. Όταν τελικά συνδεθεί, μέσω του TCP socket αρχίζει να λαμβάνει video από το server.

Για όση ώρα ο server μεταδίδει δεδομένα σε κάποιο client εξακολουθεί να κάνει listen για νέες αιτήσεις σύνδεσης από άλλους clients. Κάθε TCP πακέτο που στέλνει ο server έχει έναν μοναδικό αριθμό που το αναγνωρίζει σε σχέση με τα άλλα πακέτα. Ο client μόλις λάβει ένα πακέτο στέλνει επιβεβαίωση, ενώ κάθε μη επιβεβαιωμένο πακέτο επαναμεταδίδεται από τον server. Εάν ίδιο πακέτο επαναμεταδοθεί απορρίπτεται από τον client.

Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται σχηματικά το μοντέλο TCP server / TCP client που έχει υλοποιηθεί:



Εικόνα 13: Block diagram της επικοινωνίας των TCP-server και TCP-client

Το λογισμικό του συστήματος επικοινωνίας είναι επεκτάσιμο: μπορεί να υποστηρίξει πολλαπλό αριθμό από servers και clients οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο. Ακόμη μπορεί ένας server να μεταδίδει την ίδια πληροφορία σε δύο ή περισσότερους clients ταυτόχρονα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

Το σύστημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας εφαρμόστηκε σε δύο διαφορετικές εφαρμογές:

- Εφαρμογή 2 servers – 2 clients (επεκτάσιμης σε πολλαπλούς), με χρήση σε κάθε server κάμερας αποτελούμενης από 8 σένσορες, στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος OPTAG. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε επιπλέον η πανοραμική εικόνα του χώρου όπου τοποθετείτε η κάθε κάμερα. Περισσότερες λεπτομέρειες της εφαρμογής δίνονται παρακάτω.
- Εφαρμογή 1 servers – 2 clients (επεκτάσιμης σε πολλαπλούς), με χρήση μονής κάμερας στον server. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, έχει επαλειφθεί η υλοποίηση της πανοραμικής εικόνας, καθώς η κάμερα έχει ένα σένσορα. Έχει προστεθεί, από την άλλη, η λειτουργικότητα του υπολογισμού και καταγραφής των διανυσμάτων κίνησης.

3.1. Εφαρμογή με χρήση κάμερας αποτελούμενης από 8 σένσορες

Μέρος της παρούσας εργασίας εφαρμόστηκε στην πράξη στα πλαίσια του OpTag Project. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της συμμετοχής ήταν ο έλεγχος και, τελικά, η καλή λειτουργία του συστήματος με χρήση κάμερας αποτελούμενης από 8 σένσορες η κάθε μία. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε το σύστημα αποτελούμενο από 2 servers και 2 clients, με τέτοιο σχεδιασμό ώστε να είναι απόλυτα επεκτάσιμο σε πολλαπλούς servers – πολλαπλούς clients. Κάθε server διαχειρίζεται δεδομένα από κάμερα αποτελούμενη από 8 σένσορες. Παράλληλα με τη λειτουργικότητα του συστήματος, όπως αυτή έχει περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα, ο κάθε server δημιουργεί υψηλής ανάλυσης, πανοραμική εικόνα του χώρου όπου είναι τοποθετημένη η κάμερα, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του κάθε ένα από τους 8 σένσορες. Αυτή είναι και η εικόνα που ο server κάνει broadcast στο δίκτυο.

Η επεξεργασία βίντεο έγινε με τη χρήση ενός Matrox Odyssey XPRO DSP board. Το συγκεκριμένο board αποτελείται από έναν array processing node (pixel accelerator), ένα Motorola G4 PowerPC μικρο-επεξεργαστή (τον MPC7455 με τεχνολογία RISK) και ένα frame grabber module για την απόκτηση της εικόνας (image acquisition). Το Matrox Odyssey board μπορεί να ανταλλάξει δεδομένα με το Host computer σε ταχύτητα μέχρι και 1 Gbyte/sec μέσω ενός PCI-X slot.

Το αντικείμενο του OpTag project ήταν να επεκτείνει την 'κάλυψη' που παρείχαν τα εμπορικά ημι-αυτόματα συστήματα ταυτοποίησης και αναγνώρισης κίνησης και αντικειμένων. Αυτό επετεύχθη τόσο με τη χρήση κάμερας με πολλαπλούς σένσορες για καλύτερη κάλυψη του χώρου, όσο και με τη χρήση RFID tags, τα οποία μετέφερε μαζί του το αντικείμενο αναγνώρισης.

Η συνεισφορά της μεταπτυχιακής εργασίας ήταν τόσο στο αρχικό στάδιο του σχεδιασμού της λειτουργικότητας του τελικού συστήματος όσο και στην τελική απόδοσή του, όσον αφορά στους χρόνους λειτουργίας, στο πολύ μικρό ποσοστό σφάλματος της μετάδοσης, αλλά και στην αξιόπιστη λειτουργία και επεκτασιμότητα του συστήματος. Το έργο κατέληξε με την επιτυχή λειτουργία ενός πρωτότυπου συστήματος, στο χώρο ενός αεροδρομίου, όπου τα RFID tags τα μετέφεραν εθελοντές, ενώ οι servers ήταν δύο, δηλαδή η κάλυψη γινόταν σε δύο διαφορετικούς χώρους του αεροδρομίου. Οι clients – χρήστες ήταν, επίσης, δύο και λάμβαναν δεδομένα και από τους δύο διαφορετικούς χώρους. Η συνολική συνεισφορά του έργου ήταν η μείωση των καθυστερήσεων των πτήσεων (κάτι που έχει, πολλές φορές, μεγάλο κόστος αλλά και οδηγεί σε ταλαιπωρία των επιβατών, ειδικά στα μεγάλα αεροδρόμια).

3.1.1. Κάμερα πολλαπλών (οκτώ) sensors

Η κάμερα που έπρεπε να χρησιμοποιηθεί ήταν τέτοια ώστε να είναι κατάλληλη για καταγραφή και μετάδοση πανοραμικής εικόνας, με την έννοια του περιεχομένου σε 360^o γύρω από την κάμερα.

Κατά τη διάρκεια του έργου Optag

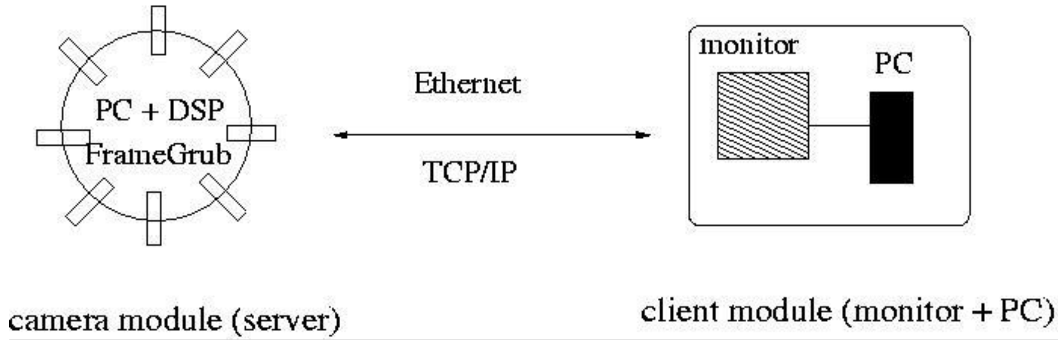
Εικόνα 14: Κάμερα με 8 σένσορες της Photonic

σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και ελέγχθηκε μέσω κατάλληλων διαδικασιών αλλά και μέσω του τελικού αποτελέσματος η απαιτούμενη κάμερα από την εταιρεία Optonics με έδρα τη Μεγάλη Βρετανία. Στην αρχή, κατασκευάστηκε ένας μόνο σένσορας, και όταν κατέληξε στη σωστή λειτουργία βάση των προδιαγραφών, προέκυψε η πρωτότυπη, ολοκληρωμένη μονάδα κάμερας αποτελούμενη από οκτώ σένσορες.

3.1.2. Αρχιτεκτονική εφαρμογής

Η αρχιτεκτονική του OPTAG camera system αποτελείται από πολλά camera modules που επικοινωνούν πάνω σε ένα LAN με πολλαπλούς χρήστες (monitoring stations) χρησιμοποιώντας TCP και UDP πρωτόκολλα. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή αναπτύχθηκε λογισμικό κατάλληλο για επεξεργασία βίντεο, ανάλυση, συμπίεση αλλά και επικοινωνία μέσω δικτύου, έτσι ακριβώς όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα. Η διαφοροποίηση είναι ότι υλοποιήθηκαν μέθοδοι κατάλληλες για δημιουργία πανοράματος, σύνθεση δηλαδή πανοραμικής εικόνας από 8 μικρότερες.

Πέραν της επικοινωνίας μέσω δικτύου, οι υπόλοιπες παραπάνω διαδικασίες υλοποιήθηκαν σε ένα Matrox Odyssey XPRO DSP και ‘έτρεξαν’ σύγχρονα με τη λειτουργία της κάμερας. Με άλλα λόγια, μόνο όταν τελείωνε η επεξεργασία όλου του set των 8 εικόνων (που τραβούσε ταυτόχρονα η κάμερα), το σύστημα προχωρούσε στην επεξεργασία του επόμενου set των 8 εικόνων.



Εικόνα 15: Σύστημα με χρήση της κάμερας των 8 sensors

Πιο συγκεκριμένα, τα επιμέρους υπο-συστήματα είναι:

- ***Σύστημα καταγραφής εικόνας:*** Συνδυάζει 8 camera sensors, όπου ο κάθε ένας καταγράφει εικόνα μεγέθους 1600x1200 pixels, 8 bits / pixel (256 επίπεδα του γκρι). Το υπό-σύστημα του server υλοποιεί single-Full Camera Link module στην επικοινωνία με το frame grabber επιτρέποντας έτσι στην κάμερα να μπορεί να καταγράψει μέχρι και 64bit από video data. Αυτό που έχει σημασία να καταγραφεί είναι ότι το απαιτούμενο εύρος δικτύου (bandwidth) που απαιτείται για να μεταδώσει πληροφορία η κάμερα σε ένα χρήστη πολλαπλασιάζεται από τον αριθμό των χρηστών. Το ίδιο ισχύει και για περισσότερες από μία κάμερες.
- ***Σύστημα server:*** Η διαδικασία της επεξεργασίας σε κάθε σύστημα server συνοψίζεται στα ακόλουθα στάδια:
  - Καταγραφή εικόνας (Frame/Image acquisition) από 8 σένσορες
  - Bayer color interpolation
  - Γεωμετρική διόρθωση (δηλαδή, μετασχηματισμός δύο διαστάσεων που διορθώνει τις αλλοιωμένες διαστάσεις μιας εικόνας που η αναπαράστασή της γίνει σε 2D επίπεδο)
  - Δημιουργία πανοράματος / Δημιουργία παραθύρου
  - Συμπίεση MJPEG
  - Επικοινωνία – μετάδοση μέσω δικτύου
- ***Σύστημα client:*** Ο χρήστης λαμβάνει δεδομένα και τα αποσυμπιέζει για να τα δει. Τα δεδομένα που λαμβάνει είναι υψηλής ανάλυσης.

Η κύρια συνεισφορά της μεταπτυχιακής διατριβής, πέραν των άλλων διαδικασιών (π.χ. επικοινωνία με πολλαπλούς χρήστες) έγκειται κυρίως στο τμήμα της ανάπτυξης και υλοποίησης κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας εικόνας. Δεδομένης της κάμερας που περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα, στη συγκεκριμένη εφαρμογή υπήρξαν επιπλέον μέθοδοι που αναπτύχθηκαν και που μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- ***Γεωμετρική διόρθωση:*** Η γεωμετρική παραμόρφωση αποτελεί λάθος για μια εικόνα καθώς οι πραγματικές συντεταγμένες απέχουν από τις ιδανικές συντεταγμένες μιας εικόνας που θεωρητικά θα έκανε αναπαράσταση ένας ιδανικός σένσορας κάμερας. Με σκοπό να διορθωθούν τα δεδομένα της εικόνας εφαρμόστηκε η μέθοδος της γεωμετρικής διόρθωσης. Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά αποτελεί ένα μετασχηματισμό δύο διαστάσεων, ο οποίος διορθώνει τις 'παραμορφωμένες' συντεταγμένες σε σχέση με τις πραγματικές. Ο μετασχηματισμός αυτός είναι άμεσα συσχετισμένος με τον σένσορα κάμερας που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή.

  Με στόχο την όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο εκτέλεσης της συγκεκριμένης λειτουργίας, ο αντίστοιχος κώδικας υλοποιήθηκε σε MIL (στη γλώσσα, δηλαδή, του DSP board). Επίσης, για τον ίδιο λόγο, ο κώδικας της γεωμετρικής διόρθωσης, 'τρέχει' μόνο μία φορά, στην αρχή της λειτουργίας της εφαρμογής, καθώς η κάμερα είναι ακίνητη κι έτσι, δεν απαιτείται να επανα-προσδιορίζεται ο απαιτούμενος δι-διάστατος μετασχηματισμός για κάθε καινούρια εικόνα. Το αποτέλεσμα της αντίστοιχης, λοιπόν, ρουτίνας είναι δύο 16-bit image buffers, ένας για κάθε κατεύθυνση στο δι-διάστατο επίπεδο (οριζόντια και κατακόρυφη), αλλά και ένας για κάθε διαφορετικό camera sensor. Πιο συγκεκριμένα, οι απαιτούμενοι μετασχηματισμοί ώστε να διορθώνονται οι συντεταγμένες κάθε καινούριας εικόνας αποθηκεύονται με τη μορφή ενός LUT (look-up table), ώστε η διόρθωση στη συνέχεια των εικόνων να γίνει όσο το δυνατόν ταχύτερα.

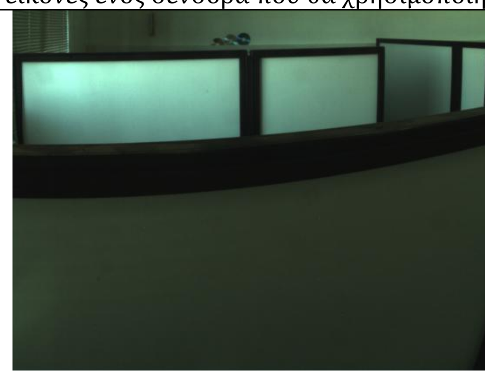

Sensor image after grab

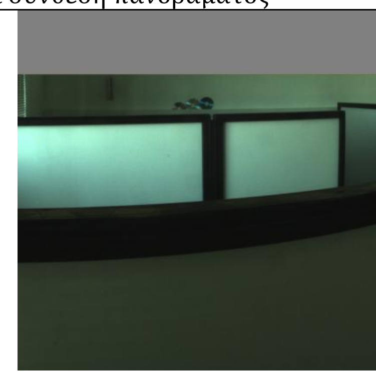

Sensor image after Bayer interpolation


Sensor image after geometric correction

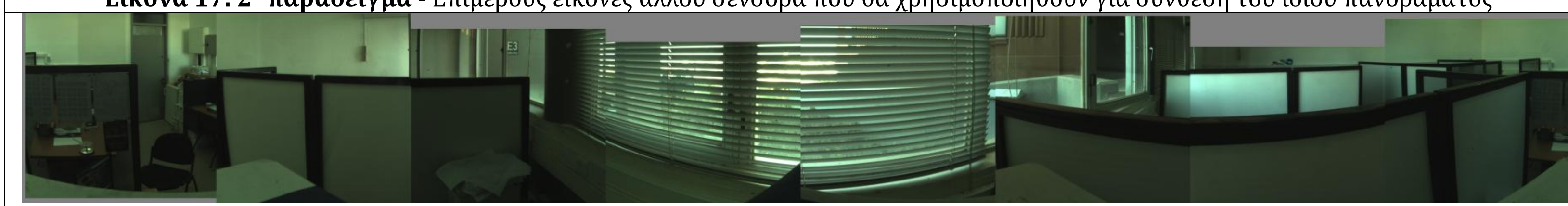
Εικόνα 16: 1ο παράδειγμα - Επιμέρους εικόνες ενός σένσορα που θα χρησιμοποιηθούν για σύνθεση πανοράματος


Sensor image after grab


Sensor image after Bayer interpolation


Sensor image after geometric correction

Εικόνα 17: 2ο παράδειγμα - Επιμέρους εικόνες άλλου σένσορα που θα χρησιμοποιηθούν για σύνθεση του ίδιου πανοράματος



Εικόνα 18: Παράδειγμα Πανοράματος **(προέκυψε με χρήση και των 8 camera sensors)**

- ***Δημιουργία εικόνας πανοράματος:*** Σε αρχικό στάδιο του έργου, η υλοποίηση αφορούσε στη δημιουργία μιας πανοραμικής εικόνας υψηλής ανάλυσης, χρησιμοποιώντας και τις οκτώ εικόνες που 'τραβούσαν' την ίδια χρονική στιγμή οι διαφορετικοί σένσορες της κάμερας. Η έννοια της υψηλής ανάλυσης, αφορά στο ότι και οι οκτώ διαφορετικές εικόνες, αφού πρώτα διορθώνονται γεωμετρικά, στη συνέχεια με κατάλληλη μεθοδολογία συνθέτουν μία πανοραμική εικόνα μεγέθους 1600 x 1200 x 8bits x 8frames x 3 color bands = 368640000 bits = 46.08 MB. Βέβαια, για λόγους μετάδοσης στο δίκτυο, η εικόνα στη συνέχεια συμπιέζεται. Παρόλα αυτά, το σημαντικό ζήτημα στη δημιουργία του πανοράματος ήταν να μπορεί το σύστημα να επεξεργάζεται τις εικόνες, να υλοποιεί όλες τις μεθόδους επεξεργασίας εικόνας που περιλαμβάνονται στο γενικότερο σχεδιασμό και τέλος, μαζί με τη μετάδοση των εικόνων, το σύστημα να λειτουργεί σε κοντινό ρυθμό μετάδοσης με αυτόν της λειτουργίας της κάμερας, κάτι που επετεύχθη.

Εικόνα 19: Παράδειγμα εικόνας πριν τη δημιουργία πανοράματος

Επειδή όμως, με τη δημιουργία του πανοράματος, οι δυνατότητες του DSP board εξαντλήθηκαν, με την έννοια ότι οι data buffers του DSP σε κάθε νέο set από 8 εικόνες γέμιζαν στο 90%, οδηγηθήκαμε στη λύση του μειωμένου-μεγέθους πανοράματος (reduced panorama). Το reduced panorama αποτελεί την υπο-δειγματοληψία της τελικής εικόνας του πανοράματος με ένα συντελεστή κατά 1/8. Πιο συγκεκριμένα, με στόχο να μην επιβαρύνεται τόσο το DSP board και να μένουν resources ελεύθερα και για άλλες λειτουργίες όπως η συμπίεση, η υπο-δειγματοληψία ξεκινά από τις αρχικές οκτώ εικόνες, τις εικόνες που 'τραβούν' εξαρχής οι σένσορες της κάμερας. Οι LUTs που είναι υπεύθυνοι για τη γεωμετρική διόρθωση υπόκεινται σε δειγματοληψία, μία φορά στην αρχή του κώδικα, και από εκεί και πέρα, όποια εικόνα αρχικού μεγέθους 1600 x 1200 συνελιχθεί με αυτούς τους πίνακες θα προκύψει να έχει μέγεθος μειωμένο κατά 1/8. Με αυτόν τον τρόπο, μειώθηκε κατά 1/8 το 'φορτίο' επεξεργασίας στο DSP board, μειώθηκε χαρακτηριστικά ο χρόνος εκτέλεσης, με την έννοια ότι βελτιώθηκε η απόδοση του συστήματος (βλ. στη συνέχεια τις μετρήσεις απόδοσης), αλλά κυρίως, αυτό έγινε χωρίς να υπάρξει μεγάλο κόστος στο περιεχόμενο των δεδομένων εικόνας. Κι αυτό διότι η υπο-δειγματοληψία έγινε, όπως προκύπτει από τα παραπάνω, με όρους ισομερούς κατανομής της πληροφορίας που κρατάμε και αυτής που δεν κρατάμε μέσα στην εικόνα.

Το τελικό στάδιο της δημιουργίας του reduced πανοράματος είναι η ένωση των επιμέρους οκτώ διορθωμένων και υπο-δειγματοληπτημένων εικόνων.

Εικόνα 20: Παράδειγμα 1ο πανοραμικής εικόνας μειωμένου μεγέθους

Εικόνα 21: Παράδειγμα 2ο πανοραμικής εικόνας μειωμένου μεγέθους

Εικόνα 22: Παράδειγμα 3ο πανοραμικής εικόνας μειωμένου μεγέθους

- ***Δημιουργία εικόνας 'παραθύρου':*** Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, μία από τις λειτουργίες του συστήματος που υλοποιήθηκε, είναι η δημιουργία παραθύρου που να περιλαμβάνει τα δεδομένα εικόνας που ζητά κάθε φορά ο χρήστης να δει. Η υλοποίηση έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε αίτηση του χρήστη για ένα παράθυρο να ικανοποιείται χωρίς να απαιτείται η πανοραμική εικόνα. ΤΟ σύστημα χρησιμοποιεί τις συντεταγμένες του παραθύρου με σκοπό να 'κόψει' το κατάλληλο τμήμα του αντίστοιχου LUT ζευγαριού (ένας για την οριζόντια και άλλος ένας για την κατακόρυφη κατεύθυνση). Το κατάλληλο ζευγάρι από LUTs επιλέγεται σωστά καθώς προηγείται ένας κατάλληλος υπολογισμός πάνω στις συντεταγμένες του παράθυρου ώστε να προκύψει το αντίστοιχο, με την αίτηση του χρήστη, frame από όπου 'απαιτούνται' δεδομένα και, κατά συνέπεια, και το κατάλληλο ζευγάρι από LUTs. Ακολουθεί η γεωμετρική διόρθωση του frame, η συμπίεσή του και η μετάδοσή του μέσω δικτύου στο χρήστη που το ζήτησε. Η υλοποίηση έχει προβλέψει και την περίπτωση όπου το παράθυρο που ζητά να δει ο χρήστης περιέχει πληροφορία που ανήκει σε δύο διαδοχικά frames κι όχι ένα.

Αυτό που είναι σημαντικό να τονιστεί είναι ότι το παράθυρο για το οποίο γίνεται αίτηση από το χρήστη, δεν 'κόβεται' από το αντίστοιχο reduced πανόραμα, αλλά δημιουργείται εξαρχής. Ο λόγος για αυτή την επιλογή είναι ότι το βέλτιστο είναι να βλέπει ο χρήστης ό,τι 'τραβά' ή κάμερα εκείνη τη στιγμή κι όχι ό,τι έχει καταγραφεί στο reduced πανόραμα, παρόλο που μπορεί η καταγραφή να απέχει μόνο κάποια ms. Επίσης, η επιλογή να δημιουργείται με αυτό τον τρόπο το παράθυρο, δεν επιβάρυνε επιπλέον το DSP board σε σχέση με το να χρησιμοποιούσαμε το reduced πανόραμα για τη δημιουργία του. Τέλος, κάθε χρήστης μπορεί να στέλνει αιτήσεις σε δύο διαφορετικούς servers και να 'βλέπει' το αποτέλεσμα ταυτόχρονα, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι στη λειτουργικότητα της συγκεκριμένης εφαρμογής περιλαμβάνεται ότι κάθε server μπορεί να ικανοποιεί ταυτόχρονα δύο διαφορετικές αιτήσεις για παράθυρα, μία από κάθε χρήστη. Η λειτουργία αυτή είναι επεκτάσιμη μέχρις εξαντλήσεως των πόρων του DSP board.

- ***Συμπίεση:*** Το σχήμα της συμπίεσης που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εφαρμογή ακολουθεί τις γενικές αρχές που έχουν περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα.

  Αυτό που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι η πλήρης, υψηλής ανάλυσης πανοραμική εικόνα έχει μέγεθος 8frames x 8bits x 1600 (frame width) x 1200 (frame height) x 3 (color bands) = 46.08Mbytes. Επομένως, η συμπίεση παίζει σημαντικό ρόλο για τη μετάδοση του συγκεκριμένου όγκου πληροφορίας μέσω δικτύου. Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η JPEG lossy μέθοδος συμπίεσης, η οποία μπορεί να συμπιέσει 8-bit buffers που να περιέχουν είτε 1 ή 3 χρωματικές μπάντες. Μπορεί να εμπεριέχει πιθανότητα να χαθούν πακέτα πληροφορίας αλλά χαρακτηρίζεται από υψηλό και μεταβλητό ρυθμό συμπίεσης.

  Η MIL JPEG lossy συμπίεση δοκιμάστηκε αλλά δεν ήταν τόσο αποδοτική όσο χρειαζόταν. Έχει μεν υψηλό ρυθμό συμπίεσης, αλλά υπήρχαν προβλήματα κατά τη μετάδοση της πληροφορίας μέσω δικτύου. Πιο ειδικά, η κύρια μνήμη του κεντρικού υπολογιστή που φιλοξενεί το DSP board (του Host computer) δεν ήταν δυνατό να έχει γρήγορη πρόσβαση στον MIL image buffer που περιείχε τα συμπιεσμένα δεδομένα. Η επικοινωνία μεταξύ Host computer και DSP board είναι απαραίτητη για τη μετάδοση δεδομένων στο δίκτυο. Ο πιο γρήγορος τρόπος για πρόσβαση σε συμπιεσμένα δεδομένα είναι αυτά να γίνουν map στη μνήμη του Host computer. Έτσι, αυτό που χρειάστηκε να γίνει, είναι να οδηγηθούμε σε ένα σχήμα συμπίεσης το οποίο να οδηγεί σε μικρότερο όγκο δεδομένων επιτρέποντας ταυτόχρονα γρηγορότερη πρόσβαση από το Host. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε η ONL JPEG lossy συμπίεση, δηλαδή ίδιο σχήμα συμπίεσης, αλλά στην board-specific γλώσσα προγραμματισμού του DSP.

  Το κυριότερο πλεονέκτημα της ONL JPEG συμπίεσης είναι οι restart markers που προστίθενται στο bit-stream της συμπιεσμένης εικόνας. Ένας restart marker είναι ένας ειδικός κωδικός που ουσιαστικά μπαίνει σε ενδιάμεσα σημεία του κωδικοποιημένου (λόγω συμπίεσης) bit-stream και σηματοδοτεί αρχή και τέλος μικρότερων αλλά διαδοχικών τμημάτων του bit-stream. Οι restart markers είναι πολύ χρήσιμοι όταν μεταδίδουμε πληροφορία σε ένα μέσο που είναι 'επιρρεπές' σε λάθη. Εάν ένα σφάλμα συμβεί και δεν υπάρχουν restart markers, τότε το σφάλμα αυτό θα 'διαδοθεί' και σε επακόλουθα δεδομένα. Εντούτοις, εάν υπάρχουν restart markers, το σφάλμα θα περιοριστεί μόνο ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς markers. Έτσι, θα μπορέσουμε να κάνουμε ανακατασκευή της εικόνας και επιδιόρθωση λάθους, επανα-μεταδίδοντας μόνο το bit-stream που υπάρχει ανάμεσα στους συγκεκριμένους markers. Επιπλέον, χωρίς τους markers, είναι σχεδόν ανέφικτο να βρούμε ακριβώς ποιο τμήμα των δεδομένων επηρεάστηκε από το σφάλμα. Η γλώσσα ONL τοποθετεί κατά τη συμπίεση restart markers μετά από τον ακριβή αριθμό των 8x8 blocks από δεδομένα, όταν πρόκειται για lossy σχήμα συμπίεσης.

3.1.3. Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη κάμερα μπορούσε να παρέχει εικόνες σε ρυθμό μέχρι και 4.3 fps (frames per second) , μιλώντας βέβαια για σύγχρονη λειτουργία και των οκτώ (8) sensors. Το σύστημα κατάφερε να λειτουργεί στα 1.5 fps, με τη δημιουργία πλήρους μεγέθους, υψηλής ανάλυσης, έγχρωμου πανοράματος επιπλέον όλων των υπόλοιπων λειτουργιών να περιλαμβάνεται.

Η παρατηρούμενη απόδοση ικανοποίησε τις αρχικές προδιαγραφές, οι οποίες απαιτούσαν ταχύτητα ίση με 1 frame per second για μετάδοση υψηλής ανάλυσης βίντεο. Παρόλα αυτά, δεν ικανοποιήθηκε η αρχική απαίτηση των 20 frames per second για μετάδοση του παραθύρου. Για την ακρίβεια, η μετάδοση του παραθύρου δεν μπόρεσε να ξεπεράσει τα 12.5fps.

Μια πιο προσεκτική ματιά στα κριτήρια της απόδοσής του συστήματος, οδήγησε στην παρατήρηση ότι η λειτουργία που προκαλεί την καθυστέρηση ή αλλιώς, τη μείωση του operation time είναι αυτή της γεωμετρικής διόρθωσης (geometric correction). Ο μετασχηματισμός συντεταγμένων που απαιτείται για τη γεωμετρική διόρθωση, γίνεται με χρήση, μεταξύ άλλων, και της συνάρτησης MemWarp, μιας εξειδικευμένης και σύνθετης ουσιαστικά εντολής της MIL. Για τη

MemWarp, τα benchmarks της εταιρείας Matrox (είναι η εταιρεία κατασκευής του DSP Odyssey XPRO που χρησιμοποιήθηκε) υποδείκνυαν ότι 'είναι ό,τι καλύτερο μπορεί να κάνει το συγκεκριμένο DSP'. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώθηκε και κατά τη διάρκεια συνάντησης με εκπροσώπους της εταιρείας στο Λονδίνο. Δεδομένου, λοιπόν, ότι η απαραίτητη, για τη σωστή λειτουργία του συστήματος της κάμερας, γεωμετρική διόρθωση δε μπορεί να υλοποιηθεί με διαφορετικό τρόπο ούτε μπορεί να εξαιρεθεί, έπρεπε να οδηγηθούμε σε τακτικές επανα-προσδιορισμού των αρχικών προδιαγραφών, ώστε να βελτιωθεί, στο βαθμό που είναι αυτό δυνατό, η απόδοση του server.

Μία από τις αλλαγές που έγιναν ήταν η αντικατάσταση δημιουργίας πλήρους πανοράματος υψηλής ανάλυσης με τη δημιουργία υψηλής ανάλυσης πανοράματος 'μειωμένου μεγέθους', ακολουθώντας την τεχνική που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Έτσι, η μετάδοση, πλέον με την αλλαγή, αφορά μόνο στο reduced πανόραμα και στο παράθυρο, ενώ το πλήρες πανόραμα εξακολουθεί και δημιουργείται μεν αλλά ασύγχρονα, off-line και μόνο για λόγους αποθήκευσης (archiving) . Με αυτή και μόνο την αλλαγή στον αρχικό σχεδιασμό επιτεύχθηκε ρυθμός λειτουργίας στα 12fps. Επιβεβαιώθηκε, μάλιστα, ότι τα 12fps ήταν το πάνω όριο ταχύτητας στην επικοινωνία της κάμερας και του frame grabber και του DSP board.

Ανακεφαλαιώνοντας, η συγκεκριμένη εφαρμογή, με χρήση κάμερας αποτελούμενη από 8 σένσορες και λειτουργία στα 20fps, κατέληξε σε ταχύτητα λειτουργίας στα:

- 1.5 fps για δημιουργία υψηλής ανάλυσης, πλήρους πανοραμικής εικόνας για λόγους αποθήκευσης (archiving)
- 12.5 fps για δημιουργία και μετάδοση υψηλής ανάλυσης, τόσο μιας πανοραμικής εικόνας μειωμένου μεγέθους όσο και του παράθυρου (κατόπιν απαίτησης του χρήστη)

Είναι, λοιπόν σαφές ότι η απόδοση του συστήματος της κάμερας (server) εξαρτάται από την ταχύτητα λειτουργίας του DSP board, με την έννοια του όγκου των δεδομένων που το DSP πρέπει να επεξεργαστεί. Μειώνοντας την ανάλυση του πανοράματος (κάτι που έγινε με την ιδέα του να γίνεται broadcasting το reduced πανόραμα) επιτυγχάνονται ταχύτερα frame rates. Μπορεί δε να θεωρηθεί αναμενόμενο η απόδοση να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας νεότερης πλέον τεχνολογίας DSP, δηλαδή μιας τεχνολογίας που να επιτρέπει ταχύτερη επικοινωνία μεταξύ της κάμερας και του frame grabber (acquisition system), περισσότερους buffers – μεγαλύτερη μνήμη στον DSP επεξεργαστή, αλλά και ταχύτερη πρόσβαση στη μνήμη του DSP.

3.2. Εφαρμογή βασισμένη σε κάμερα με μονό (1) σένσορα

Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διατριβής αναπτύχθηκε επιπλέον το σύστημα σε έκδοση του ενός (1) server – δύο (2) clients, με χρήση κάμερας αποτελούμενης από ένα (1) σένσορα. Επιπλέον, υλοποιήθηκε μέθοδος για επεξεργασία διαδοχικών video frames στον client με σκοπό τον υπολογισμό και την καταγραφή των διανυσμάτων κίνησης.

Το σύστημα αποτελείται από δύο (2) έγχρωμες κάμερες υψηλής ευκρίνειας και ταχύτητας λήψης (μεγαλύτερης από 20 εικόνες ανά δευτερόλεπτο). Η προμήθεια των καμερών έγινε από τις ΗΠΑ. Κάθε κάμερα συνδέεται με σταθμό εργασίας που αναλαμβάνει την επεξεργασία (βελτίωση) του σήματος, τη συμπίεση MJPEG και τη μετάδοση μέσω δικτύου. Το σύστημα μπορεί να δεχτεί μεγαλύτερο αριθμό καμερών. Ο περιορισμός σε δύο (2) κάμερες επιβάλλεται, στο πλαίσιο της εργασίας, λόγω του κόστους των καμερών. Ας σημειωθεί ότι το κόστος έγχρωμων καμερών, υψηλής ευκρίνειας και μεγάλου ρυθμού λήψης ξεπερνά τα 1500 ευρώ ανά κάμερα. Για τη λήψη σήματος video χρησιμοποιούνται ξεχωριστοί σταθμοί εργασίας στους οποίους εκτελείται το πρόγραμμα διεπαφής χρήστη-συστήματος (user interface).

Συνοψίζοντας τη λειτουργικότητα του προτεινόμενου συστήματος και στη συγκεκριμένη εφαρμογή, και συγκρίνοντας με τα υπάρχοντα συστήματα επιτήρησης, τα επιπλέον χαρακτηριστικά αφορούν σε:

- Ταυτόχρονη μετάδοση εικόνων βίντεο από μία ή και περισσότερες κάμερες σε πολλαπλούς (ανεξάρτητους μεταξύ τους) χρήστες.

- Αποστολή συμπιεσμένης πληροφορίας εικόνας στους χρήστες, κάτι που κάνει το σύστημα περισσότερο ευέλικτο, με μικρές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης (bandwidth) δικτύου και μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης.
- Λογισμικό απεικόνισης που επιτρέπει τον προσδιορισμό των ξένων, ως προς το χώρο επίβλεψης, αντικειμένων.

Η καινοτομία του συστήματος που υλοποιήθηκε, κι εδώ, έγκειται στα:

- Έγχρωμη εικόνα video υψηλής ευκρίνειας
- Υψηλές ταχύτητες μετάδοσης
- Υψηλό βαθμό συμπίεσης video
- Επιλεκτική παρακολούθηση και μετάδοση περιοχής ενδιαφέροντος (region of interest)
- Καταγραφή διανυσμάτων κίνησης
- Εφαρμογή τεχνικών βελτίωσης εικόνας video
- Εξειδικευμένη επικοινωνία χρήστη – συστήματος (user interface) που εκμεταλλεύεται τις παραπάνω δυνατότητες.

Με την ολοκλήρωση του πρωτότυπου συστήματος και την ολοκλήρωση της υλοποίησης παρατηρήθηκαν:

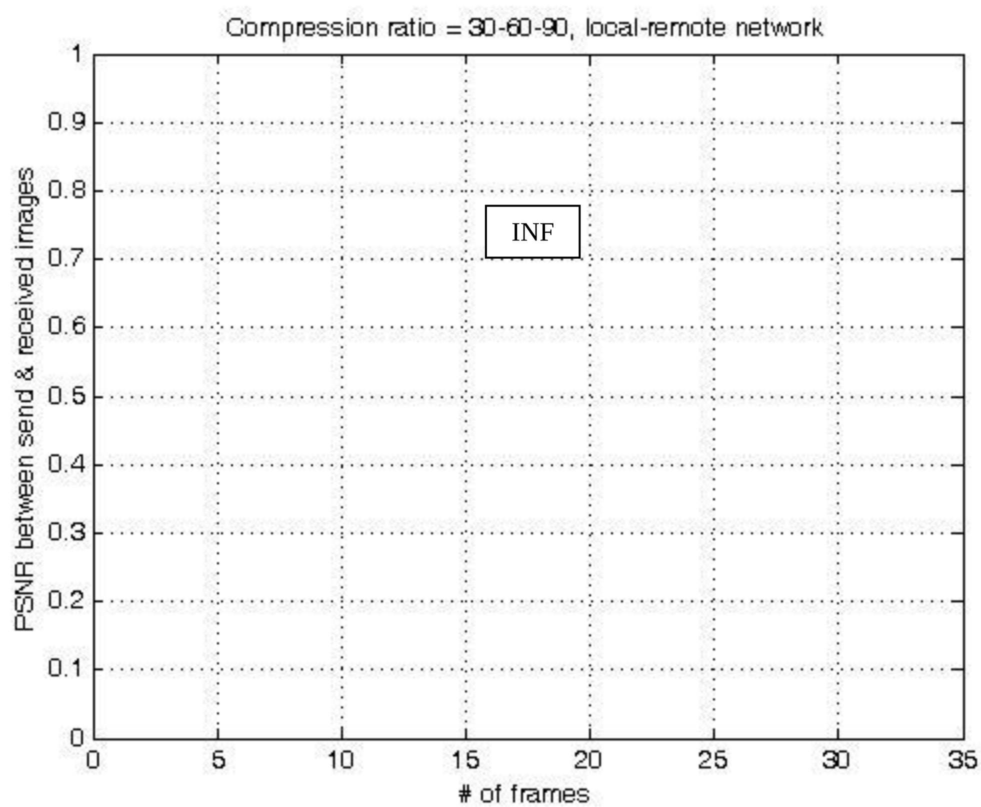
- Συμπίεση ~95% χωρίς εμφανή μείωση ποιότητας
- Φορτίο:
    - στον επιταχυντή σήματος ~ 20% (PA – Pixel Accelerator)
    - στο PowerPC του DSP board ~ 95%

Αναφορικά με την απόδοση του συστήματος, μετρήθηκαν κάποιες ενδεικτικές μετρικές με σκοπό να γίνει σαφής τόσο η ταχύτητα λειτουργίας όσο και το ενδεχόμενο σφάλμα κατά τη μετάδοση των εικόνων του βίντεο. Ο υπολογισμός των μετρικών έχει γίνει στο σύστημα 1 server – 1 client, δεδομένου ότι η αρχιτεκτονική του ολικού συστήματος προδιαγράφει παράλληλη και ανεξάρτητη επικοινωνία κάθε server με κάθε client.

Τα παρακάτω σχήματα αναπαριστούν το PSNR μεταξύ των συμπιεσμένων εικόνων που φεύγουν από το server και των αντίστοιχων (συμπιεσμένων) που φτάνουν στον client. Επίσης, έχει μετρηθεί η απόδοση του συστήματος τόσο σε video χωρίς ιδιαίτερη κίνηση όσο και στην περίπτωση έντονης κίνησης, ώστε να γίνει εκτίμηση της αξιοπιστίας του.

Το PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) είναι ένα μέτρο ομοιότητας δύο εικόνων και παράγεται μετρώντας τη διαφορά των εικονοστοιχείων μεταξύ των δύο υπό-εξέταση εικόνων. Οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ απείρου (για πανομοιότυπες εικόνες) και 0 (για εικόνες που δεν έχουν καμία ομοιότητα).

Παρατηρώντας τα σχήματα, διαπιστώνει κανείς καταρχάς ότι σε μια ακολουθία περίπου 70 frames (κατά μέσο όρο), το PSNR ανάμεσα στην εικόνα που στέλνει ο server και την αντίστοιχη που λαμβάνει ο client δεν παρουσιάζει καμία αυξομείωση. Με έντονη κίνηση ή χωρίς, η απόδοση του συστήματος δεν επηρεάζεται, καθώς η εικόνα που στέλνει ο server σε σχέση με αυτή που λαμβάνει ο client παρουσιάζει άπειρο PSNR.



Σχήμα 1: PSNR send – received image / compression ratio = 60 / βίντεο με χωρίς-έντονη κίνηση / δίκτυο Πολυτεχνείου-απομακρυσμένο

Επιπλέον, το ίδιο σχήμα αναπαριστά άπειρο PSNR ανάμεσα στις send και received εικόνες, με αυξανόμενο ρυθμό συμπίεσης. Με ρυθμό συμπίεσης στο 30%, 60% και 90%, η απόδοση του συστήματος, αναφορικά με την ευστάθειά του πάνω στο δίκτυο, παραμένει στον ίδιο ικανοποιητικό βαθμό.

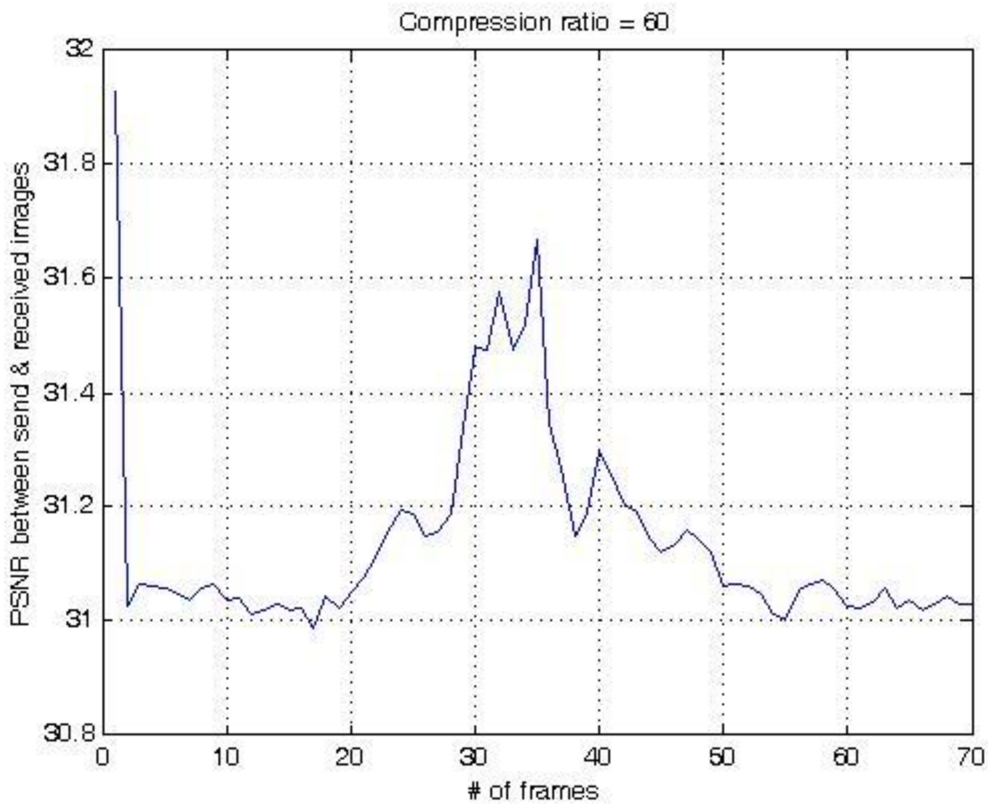
Τέλος, δεν υπάρχει διαφορά στα αποτελέσματα που να καθορίζεται από την ύπαρξη ή όχι έντονης κίνησης στο βίντεο. Οι μετρήσεις έχουν γίνει τόσο με ύπαρξη έντονης κίνησης μπροστά στην κάμερα, όσο και με ελάχιστη κίνηση, με την έννοια της πολύ απομακρυσμένης από την κάμερα κίνησης. Επιπλέον, σε κάθε περίπτωση οι μετρήσεις έγιναν με την ταυτόχρονη ύπαρξη πολλών και συνεχόμενων request για ROI από τον client προς το server.

Στον παρακάτω πίνακα, υπάρχουν στοιχεία που αφορούν στους χρόνους εκτέλεσης της λειτουργίας του server (συμπεριλαμβανομένου του request για ROI από τον client), καθώς και τη διαφορά στο φορτίο του δικτύου με το σύστημα σε λειτουργία.

<table>
<tr><td colspan="2"><u>Χαρακτηριστικά μετρήσεων</u>: 'Panoramic' image: 1024x768, 'ROI' – window image: 400x300, Τύπος δικτύου: TUC / ευρύτερο, Είδος κίνησης: ελάχιστη / έντονη, Compression ratio: 30%, 60%, 90%</td></tr>
<tr><td><u>Χρόνος εκτέλεσης (δηλ. επεξεργασία σε server)</u></td><td>~0,030 sec (με μια αυξομείωση κατά 5ms, ανάλογα την περίπτωση)</td></tr>
<tr><td><u>'Φορτίο' στο δίκτυο (στα 100Mbps)</u></td><td>○ Για compression ratio 30%: από ~0,3% 'ανέβηκε' σε ~5%
○ Για compression ratio 90%: από ~0,3% 'ανέβηκε' σε ~3%</td></tr>
</table>

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις έγιναν αρχικά με το σύστημα να χρησιμοποιεί το ευρύτερο δίκτυο του Πολυτεχνείου. Στη συνέχεια, το σύστημα δοκιμάστηκε με το server να λειτουργεί στο Πολυτεχνείο και τον client σε PC εκτός δικτύου Πολυτεχνείου, σε τοποθεσία στα Χανιά.

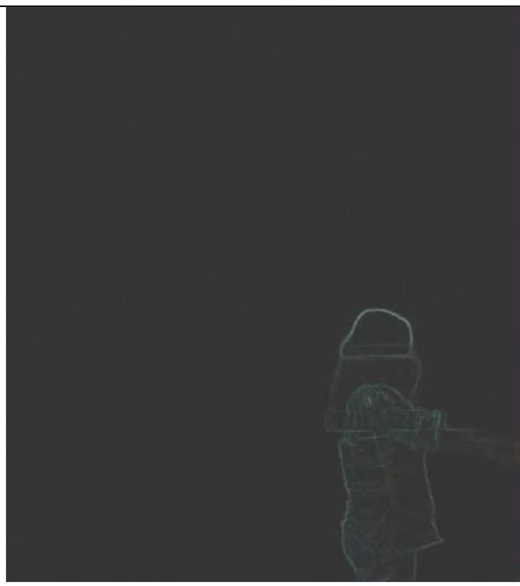
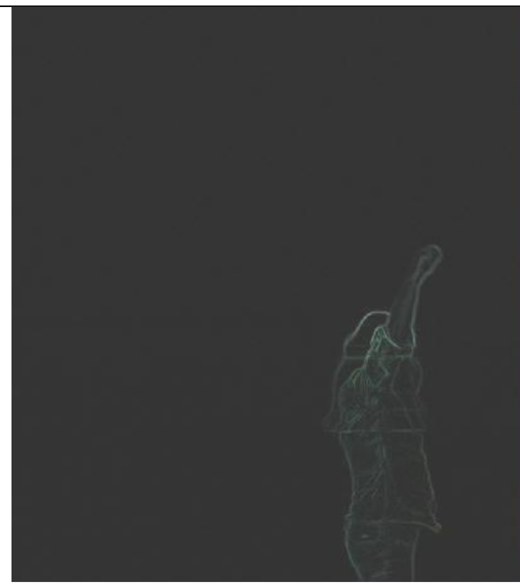
Στην ακόλουθη εικόνα, υπάρχει σύγκριση των δύο εναλλακτικών τρόπων προγραμματισμού του DSP επεξεργαστή, δηλαδή της MIL και της ONL, με την εξής έννοια: μετρήθηκε το PSNR, πάλι ανάμεσα στις εικόνες που στέλνει ο server και τις αντίστοιχες που λαμβάνει ο client, μόνον που αυτή τη φορά χρησιμοποιείται στο server η συμπίεση της MIL. Το compression ratio στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε να είναι στο 60%, ώστε να υπάρχει παρατήρηση σε μια μέση κατάσταση.

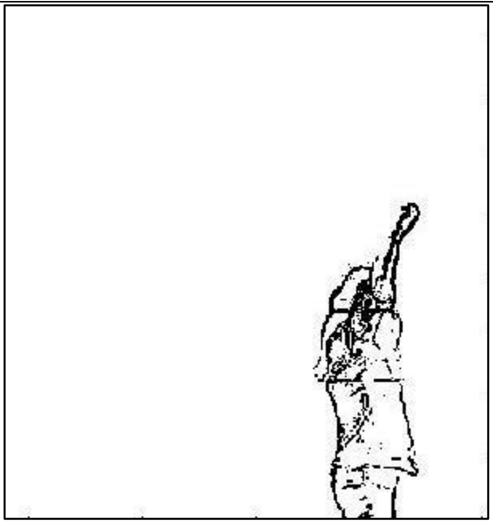


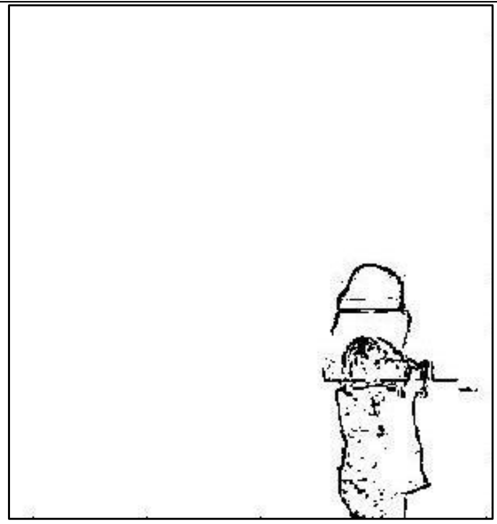
Σχήμα 2: PSNR send – received image / compression ratio = 60 / χρήση της MIL συμπίεσης

Όπως ήταν αναμενόμενο, υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις εικόνες του server και του client. Αποδεικνύεται έτσι ότι, όντως, η ONL γλώσσα έχει τη δυνατότητα να μας επιτρέψει μεγαλύτερη βελτιστοποίηση στα αποτελέσματα, καθώς είναι board-specific. Το γεγονός αυτό μπορεί να θεωρηθεί και μια απόδειξη σωστού αρχικού σχεδιασμού της λειτουργικότητας του υπο-συστήματος του server, καθώς η ONL χρησιμοποιήθηκε σε σημεία επεξεργασίας όπου απαιτούνταν ακρίβεια και ιδιαίτερη προσοχή. Η MIL, της οποίας το σχήμα συμπίεσης ουσιαστικά παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα, είναι μια general-purpose γλώσσα προγραμματισμού του DSP, που ναι μεν δεν επηρέασε τους χρόνους λειτουργίας του server (κάτι που σαφώς είναι ένα από τα ζητούμενα), αλλά οδήγησε σε όχι και τόσο ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά στη συμπίεση. Βέβαια, πρέπει να αναφερθεί πως στη συγκεκριμένη εργασία, το ζητούμενο είναι η ταχύτητα του συστήματος και η γενικότερη επίβλεψη και όχι τόσο η ακρίβεια και η απόλυτη ομοιότητα ανάμεσα στις εικόνες, επομένως η παρατήρηση γίνεται κυρίως για λόγους benchmarking.

Τέλος, παρατίθενται ενδεικτικές εικόνες του συστήματος σε λειτουργία για εντοπισμό νέων αντικειμένων στο χώρο επιτήρησης και τον αντίστοιχο υπολογισμό των διανυσμάτων ταχύτητας.

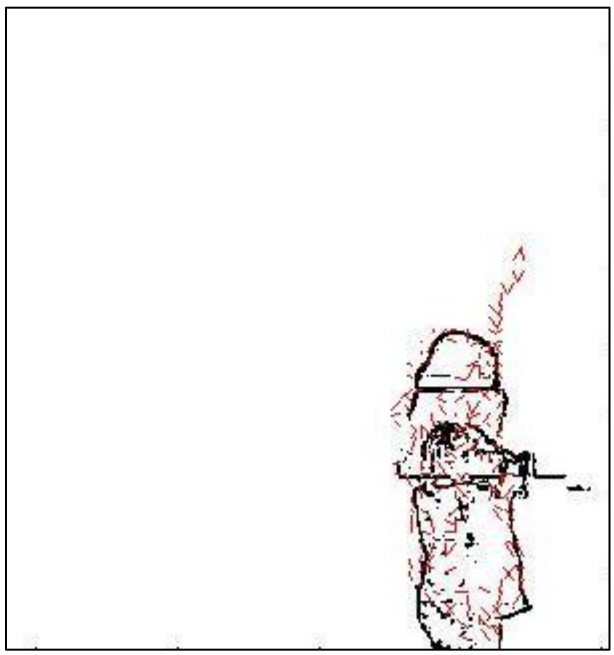
	
Frame 1 – εικόνα από Sobel	Frame 2 – εικόνα από Sobel





Frame 1 – intensity εικόνα

Frame 2 – intensity εικόνα



Frame 2 with Motion Vectors

Εικόνα 23: Παράδειγμα υπολογισμού των διανυσμάτων κίνησης motion vectors

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Μελλοντικές επεκτάσεις

Οι μελλοντικές επεκτάσεις της εργασίας εκτείνονται σε δύο κατευθύνσεις: σε αυτή της βελτίωσης της απόδοσης του συστήματος και στη διαφοροποίηση όσον αφορά στο πεδίο της εφαρμογής.

4.1. Επέκταση με αλλαγή τεχνολογίας

Όσον αφορά στη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, καταρχάς η αντικατάσταση των Matrox Odyssey XPRO και Odyssey eCL/XCL DSP boards με νέας γενιάς DSP επεξεργαστών, αναμένεται να επιφέρει βελτίωση των χρόνων λειτουργίας και μετάδοσης του συστήματος. Κι αυτό γιατί, πλέον έχει εξελιχθεί η αρχιτεκτονική των DSP επεξεργαστών όσον αφορά στην ταχύτητα επεξεργασίας (π.χ. μεγαλύτερος σε χωρητικότητα array processor, που είναι υπεύθυνος για την παράλληλη επεξεργασία), στην ταχύτητα αλλά και στο εύρος μεταφοράς δεδομένων κατά την επικοινωνία του DSP board με το host computer, αλλά και στην ενσωματωμένη μνήμη των boards αυτών.

Επιπλέον, οι καινούριες εκδόσεις των ONL/MIL γλωσσών προγραμματισμού των DSPs, δηλαδή των συναρτήσεων και εντολών προγραμματισμού, είναι βελτιστοποιημένες ώστε να απαιτείται μικρότερος χρόνος κατά τη λειτουργία τους.

Από την άλλη, μπορεί να υπάρξει αλλαγή της αρχιτεκτονικής του συστήματος μέσω της δυναμικής επανασχεδίασης του συστήματος, χρησιμοποιώντας DSP boards, όπου επεξεργαστική ισχύς τους να βασίζεται επιπλέον και σε αναδιατασσόμενη λογική (FPGAs). Αυτό το χαρακτηριστικό θα δώσει την ευελιξία του καταμερισμού των διεργασιών που πρέπει να τρέχουν ανάμεσα στο DSP και την FPGA. Τέλος, θα δώσει το πλεονέκτημα του εύκολου επαναπρογραμματισμού, σε πραγματικό χρόνο, σε περίπτωση που απαιτηθεί από τον τελικό χρήστη.

4.2. Επέκταση με αλλαγή στο πεδίο της εφαρμογής

Όσον αφορά στο πεδίο της εφαρμογής, εξαιρετικό ενδιαφέρον έχει η στροφή του πεδίου εφαρμογής σε περιβαλλοντικά θέματα, με την εφαρμογή των μεθόδων που αναπτύχθηκαν, σε Περιβαλλοντικά Δίκτυα Αισθητήρων Π.Δ.Α. (Environmental Sensor Networks) για διαχείριση υδάτινων πόρων.

Τα Π.Δ.Α αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο καθώς προσφέρουν την δυνατότητα συλλογής μεγάλου όγκου πολύτιμων περιβαλλοντικών δεδομένων. Μια απλή μεθοδολογία εντοπισμού ακραίων γεγονότων (extreme event detection) προϋποθέτει τη συλλογή και τη μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων (λόγω του υψηλού ρυθμού δειγματοληψίας) από το σύστημα σε μια κεντρική βάση δεδομένων για περεταίρω ανάλυση (data mining).

Πιο συγκεκριμένα, τα Π.Δ.Α. αφορούν στην ανάπτυξη και υλοποίηση της ευφυούς ολοκληρωμένου συστήματος συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, υψηλής (προσαρμοζόμενης) δειγματοληψίας χωρίς ωστόσο να υποβαθμίζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δεδομένων που συλλέγει, διατηρώντας παράλληλα μεγάλη ενεργειακή αυτονομία και αξιοπιστία. Το σύστημα θα αποτελείται από αισθητήρες, μονάδα(ες) επεξεργασίας, αποθήκευσης και ασύρματης μετάδοσης δεδομένων. Τα δεδομένα θα καταλήγουν σε ένα κεντρικό σταθμό όπου μέσω μιας εφαρμογής ολοκληρωμένης διαχείρισης πόρων και με τη χρήση περιβαλλοντικών μοντέλων θα γίνεται αξιολόγηση της επικινδυνότητας της περιβαλλοντικής κατάστασης της ευρύτερης περιοχής δειγματοληψίας.

Στα πλαίσια της επεξεργασίας, αυτό που είναι χρήσιμο είναι να αναπτυχθεί κατάλληλη μεθοδολογία για την ανίχνευση, καταγραφή και παρακολούθηση των μέτρων των ταχυτήτων που παρατηρούνται στους υδάτινους πόρους του πεδίου καθώς και αλγόριθμοι που θα εξάγουν την υπολογιζόμενη παροχή. Σκοπός είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας 'επιτήρησης' των σημαντικών μεταβολών που παρατηρούνται στο πεδίο. Με άλλα λόγια, η χρήση οπτικών αισθητήρων και η ανάπτυξη κατάλληλων αλγορίθμων εξυπηρετούν στην ταυτόχρονη ανάλυση της ποιότητας, χημικής περιεκτικότητας και της εμφάνισης των φερτών και της ροής του ποταμού.

Η υλοποίηση αλγορίθμων επεξεργασίας video σε πραγματικό χρόνο στην περίπτωση των Π.Δ.Α. αφορά στη διόρθωση των οπτικών δεδομένων, τη μετατροπή της εικόνας στο κατάλληλο format, στη συμπίεση των δεδομένων που θα μεταφερθούν μέσω δικτύου, ώστε, στη συνέχεια να αναπτυχθούν αλγόριθμοι ανάλυσης οπτικών μετρήσεων για την καταγραφή του πεδίου ταχυτήτων και τον υπολογισμό της παροχής αλλά και για την κατανομή των αιωρούμενων στερεών στον υδάτινο πόρο. Επίσης, σημαντική θα είναι η συμβολή της μεταπτυχιακής εργασίας στον τομέα του δικτύου και του συστήματος διεπαφής του χρήστη με τους επιμέρους σταθμούς των Π.Δ.Α.

Οι βασικοί άξονες γύρω από τους οποίους πρέπει να κινηθεί ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος, συγκρινόμενοι με τη μεταπτυχιακή εργασία, θα είναι:

- **Αξιοπιστία**: Ο όγκος δεδομένων που θα μεταφέρεται εξαρτάται από το επίπεδο επεξεργασίας και ελέγχου δεδομένων, αλλά το υποσύστημα επικοινωνίας πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει υψηλό και συνεχόμενο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων (worst-case) σε περιβάλλον με θόρυβο, ειδικά όταν αναφερόμαστε σε συστήματα πραγματικού χρόνου.
- **Μικρό μέγεθος και βάρος**: Το σύστημα θα πρέπει να έχει μικρό μέγεθος και βάρος καθώς αναφερόμαστε σε φορητή πλατφόρμα. Έτσι, ένα σύστημα με χρήση DSP + FPGA board σε συνδυασμό με ένα mini-PC για τις βασικές λειτουργίες επικοινωνίας με τους υπόλοιπους σταθμούς θεωρείται ιδανικό.
- **Παραλληλισμό της εκτελούμενες διεργασίες**: Το προτεινόμενο σύστημα θα είναι στην ουσία μια πολύ-παραμετρική πλατφόρμα καταγραφής, επεξεργασίας και μετάδοσης ετερογενών δεδομένων. Έτσι, βέλτιστη απόδοση επιτυγχάνεται μέσω του παραλληλισμού της διεργασίες του συστήματος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί α) με το διαχωρισμό του συστήματος σε μικρότερες υποσυστήματα όπου το καθένα θα λειτουργεί ασύγχρονα σε σχέση με τα υπόλοιπα ή β) με γρήγορη διαδοχική εναλλαγή των διεργασιών (multitasking/task scheduling) από ένα μικρο-επεξεργαστή.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Lisa M. Brown, Andrew W. Senior, Ying-li Tian, Jonathan Connell, Arun Hampapur, Chiao-Fe Shu, Hans Merkl, Max Lu, **"Performance Evaluation of Surveillance Systems Under Varying Conditions"**, in: Proceedings of IEEE PETS Workshop, 2005.
2. Tim Ellis, **"Performance Metrics and Methods for Tracking in Surveillance"**, in: PETS'2002; 1 June 2002, Copenhagen, Denmark.
3. LUCIO MARCENARO, FRANCO OBERTI, GIAN LUCA FORESTI, SENIOR MEMBER, IEEE, AND CARLO S. REGAZZONI, SENIOR MEMBER, IEEE, **"Distributed Architectures and Logical-Task Decomposition in Multimedia Surveillance Systems"**, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 89, NO. 10, OCTOBER 2001.
4. Michael Bramberger, Josef Brunner, Bernhard Rinner, Helmut Schwabach, **"Real-Time Video Analysis on an Embedded Smart Camera for Traffic Surveillance"**, Proceedings of the 10th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS'04).
5. Toufik Ahmed, Ahmed Mehaoua, Raouf Boutaba, Member, IEEE, and Youssef Iraqi, **"Adaptive Packet Video Streaming Over IP Networks: A Cross-Layer Approach"**, IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 23, NO. 2, FEBRUARY 2005.
6. Gian Luca Foresti, Christian Micheloni, Lauro Snidaro, Paolo Remagnino, and Tim Ellis, **"Active Video-Based Surveillance System"**, IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE MARCH 2005.
7. Michael Bramberger, Andreas Doblander, Arnold Maier, and Bernhard Rinner, Helmut Schwabach, **"Distributed Embedded Smart Cameras for Surveillance Applications"**, published by IEEE Computer Society, 0018-9162/06 © 2006 IEEE.
8. Nicola Bellotto, Eric Sommerlade, Ben Benfold, Charles Bibby, Ian Reid, Daniel Roth, Carles Fern´andez, Luc Van Gool and Jordi Gonzalez, **"A Distributed Camera System for Multi-Resolution Surveillance"**, Proc. of the 3rd ACM/IEEE Int. Conf. on Distributed Smart Cameras (ICDSC) 2009.

9. Aroh Barjatya, **“Block Matching Algorithms For Motion Estimation”**, DIP 6620 Spring 2004 Final Project Paper.

10. Christian Micheloni, Marco Lestuzzi, Gian Luca Foresti, **“Adaptive video communication for an intelligent distributed system: Tuning sensors parameters for surveillance purposes”**, © Springer-Verlag 2007.

11. Rita Cucchiara, **“Multimedia Surveillance Systems”**, VSSN’05, November 11, 2005, Singapore, Copyright 2005 ACM.

12. Douglas A. Fidaleo, Hoang-Anh Nguyen, Mohan Trivedi, **“The Networked Sensor Tapestry (NeST): A Privacy Enhanced Software Architecture for Interactive Analysis of Data in Video-Sensor Networks”**, VSSN’04, October 15, 2004, New York, New York, USA, Copyright 2004 ACM.

13. Tien-Hsu Lee, Hsiu-Hua Hsu, and Pao-Chi Chang, **“Restart Marker Regulation Technique for Progressive JPEG Image Coding in Mobile Communications”**, IEEE COMMUNICATION LETTERS, VOL. 4, NO. 12, DECEMBER 2000.

14. Nils T Siebel and Stephen J Maybank, **“The ADVISOR Visual Surveillance System”**, Applications of Computer Vision ’04, Prague, May 16, 2004.

15. JOINT PHOTOGRAPHIC EXPERTS GROUP (JPEG) - IMAGE COMPRESSION FOR THE NATIONAL IMAGERY TRANSMISSION FORMAT STANDARD, DEPARTMENT OF DEFENSE, USA, INTERFACE STANDARD, 15 December 1993.

16. Analog Devices (www. analog.com): Embedded Processing and DSP.

17. **www.matrox.com**