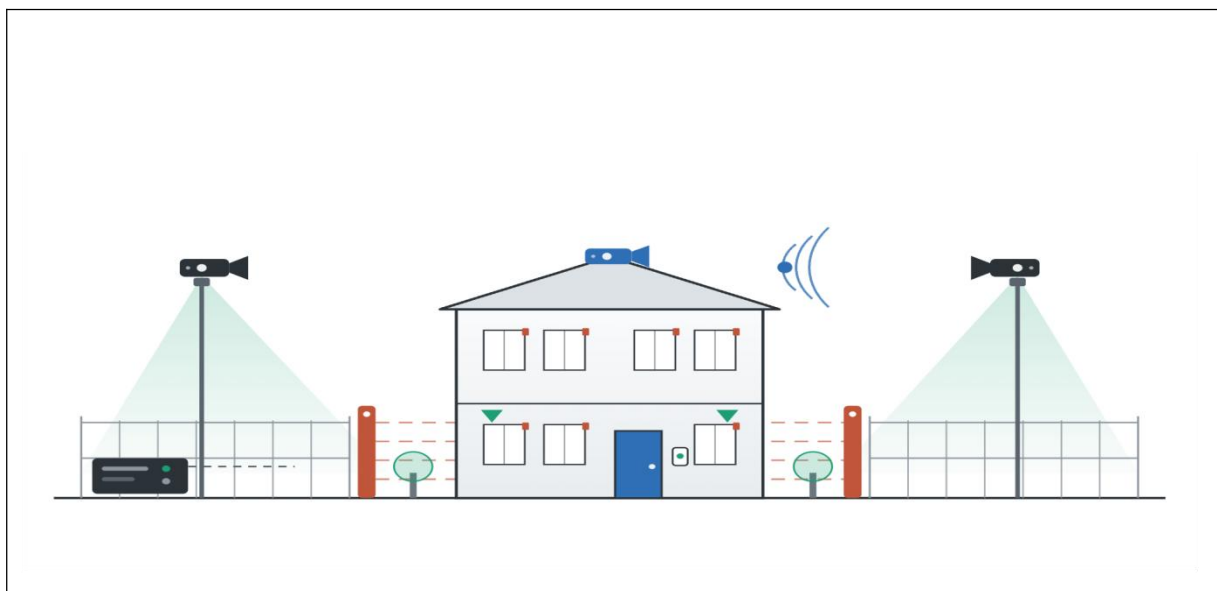


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Μελέτη και εφαρμογή έξυπνου συστήματος
ασφαλείας»



Του φοιτητή
Κουτλιάμπα Λάζαρου
Αρ. Μητρώου: 518066

Επιβλέπων
Ονοματεπώνυμο Κιοσκερίδης
Ιορδάνης
Βαθμίδα Καθηγητής

Ημερομηνία 06/09/2026

Τίτλος Δ.Ε. Μελέτη και εφαρμογή έξυπνου συστήματος ασφαλείας

Κωδικός Δ.Ε. 25356

Ονοματεπώνυμο φοιτητή Κουτλιάμπα Λάζαρου

Ονοματεπώνυμο εισηγητή Κιοσκερίδη Ιορδάνη

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 05-11-2025

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 06-09-2026

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Κουτλιάμπα Λάζαρου που την εκπόνησε/α. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Η παρούσα διπλωματική εργασία αφιερώνεται στην οικογένειά μου και στους εκπαιδευτικούς μου, για την καθοδήγηση και την έμπνευση που μου προσέφεραν».

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων.

Η επιλογή του θέματος συνδέεται άμεσα με την επαγγελματική μου ενασχόληση με τον χώρο των συστημάτων ασφαλείας. Η καθημερινή επαφή με πραγματικές εγκαταστάσεις μου έδωσε τη δυνατότητα να διαπιστώσω πόσο συχνά η απόσταση ανάμεσα στα δηλωμένα χαρακτηριστικά ενός προϊόντος και στη συμπεριφορά του σε πραγματικές συνθήκες παραμένει ανεξέταστη. Η εργασία αυτή αποτέλεσε ευκαιρία να προσεγγίσω το αντικείμενο με τη μεθοδολογική αυστηρότητα που η καθημερινή πρακτική σπανίως επιτρέπει.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη μελέτη, τη σχεδίαση, την υλοποίηση και την πειραματική αξιολόγηση ενός ολοκληρωμένου έξυπνου συστήματος ασφαλείας, το οποίο συνδυάζει βιντεοεπιτήρηση, ανίχνευση εισβολής, περιμετρική προστασία και έλεγχο πρόσβασης σε ενιαίο, δικτυωμένο σύνολο.

Στο θεωρητικό μέρος αναλύονται οι τεχνολογίες που συνθέτουν ένα σύγχρονο σύστημα ασφαλείας, με έμφαση στα κριτήρια επιλογής μεταξύ εναλλακτικών λύσεων. Εξετάζονται η αρχιτεκτονική των συστημάτων βιντεοεπιτήρησης και το πρότυπο DORI, η σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων συστημάτων συναγερμού υπό το πρότυπο EN 50131, οι τεχνολογίες περιμετρικής ανίχνευσης και ελέγχου πρόσβασης, η δικτυακή υποδομή που καθιστά εφικτή την απομακρυσμένη διαχείριση, καθώς και τα ζητήματα κυβερνοασφάλειας και προστασίας προσωπικών δεδομένων που προκύπτουν από τη διασύνδεση.

Στο εφαρμοσμένο μέρος εκπονείται πλήρης τεχνική μελέτη για συγκρότημα φοιτητικών εστιών, η οποία περιλαμβάνει ανάλυση απειλών, εκτίμηση κινδύνου ανά ζώνη, καθορισμό της απαιτούμενης βαθμίδας ασφαλείας, σχεδίαση σε τρία επίπεδα προστασίας, τεκμηριωμένη χωροθέτηση εξοπλισμού, τεχνικούς υπολογισμούς εύρους ζώνης, αποθηκευτικού χώρου και ισχύος, και κοστολόγηση σε τρία εναλλακτικά σενάρια.

Στο πειραματικό μέρος υλοποιείται διάταξη σε πραγματικό χώρο και διεξάγονται μετρήσεις που επιτρέπουν την ποσοτική σύγκριση θεωρητικών προβλέψεων και πραγματικής απόδοσης. Εξετάζονται η αποτελεσματικότητα της ανίχνευσης με ταξινόμηση αντικειμένου έναντι της συμβατικής ανίχνευσης κίνησης, η ακρίβεια των υπολογισμών εύρους ζώνης και αποθηκευτικού χώρου, η ταχύτητα ανίχνευσης απώλειας επικοινωνίας σε ενσύρματες και ασύρματες διατάξεις, και οι επιπτώσεις των εναλλακτικών μεθόδων απομακρυσμένης πρόσβασης στην απόδοση και την ασφάλεια.

Λέξεις-κλειδιά: συστήματα ασφαλείας, βιντεοεπιτήρηση, συναγερμός εισβολής, περιμετρική προστασία, έλεγχος πρόσβασης, DORI, EN 50131, ανάλυση βίντεο, ψευδείς συναγερμοί, απομακρυσμένη πρόσβαση

«Study and implementation of a smart security system»

«Lazaros Koutliampas»

Abstract

This thesis addresses the study, design, implementation and experimental evaluation of an integrated smart security system, combining video surveillance, intrusion detection, perimeter protection and access control within a single networked installation.

The theoretical part analyses the technologies comprising a modern security system, focusing on the criteria for selecting between alternative solutions. It examines the architecture of video surveillance systems and the DORI standard, the comparison of wired and wireless intrusion alarm systems under EN 50131, perimeter detection and access control technologies, the network infrastructure enabling remote management, and the cybersecurity and data protection issues arising from interconnection.

The applied part develops a complete technical study for a student housing complex, comprising threat analysis, zone-by-zone risk assessment, determination of the required security grade, three-layer protection design, documented equipment placement, technical calculations of bandwidth, storage and power requirements, and costing across three alternative scenarios.

The experimental part implements a working installation in a real environment and conducts measurements enabling quantitative comparison between theoretical predictions and actual performance. The experiments examine the effectiveness of object-classification detection compared with conventional motion detection, the accuracy of bandwidth and storage calculations, the speed of communication-loss detection in wired and wireless configurations, and the impact of alternative remote access methods on performance and security.

The methodological principle underpinning the work is that every design choice must be documented and, where feasible, measured — with manufacturer specifications treated as hypotheses to be tested rather than established facts.

Keywords: security systems, video surveillance, intrusion alarm, perimeter protection, access control, DORI, EN 50131, video analytics, false alarms, remote access

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Ιορδάνη Κιοσκερίδη , για την εμπιστοσύνη, την καθοδήγηση και την υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση, την υπομονή και την ηθική υποστήριξη που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract.....	vii
Ευχαριστίες.....	viii
Περιεχόμενα.....	ix
Κατάλογος Σχημάτων.....	xvii
Κατάλογος Πινάκων.....	xvii
Συντομογραφίες.....	xix
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Το πλαίσιο και το κίνητρο.....	1
1.3 Σκοπός και στόχοι.....	2
1.4 Ερευνητικά ερωτήματα.....	2
1.5 Μεθοδολογία.....	2
1.6 Παραδοτέα και οριοθέτηση.....	3
1.7 Δομή της εργασίας.....	4
1.8 Επίλογος.....	4
Κεφάλαιο 2ο: Συστήματα βιντεοεπιτήρησης.....	5
2.1 Εισαγωγή.....	5
2.2 Αρχιτεκτονική συστήματος βιντεοεπιτήρησης.....	5
2.2.1 Δομικά στοιχεία.....	5
2.2.2 Αναλογική και υβριδική αρχιτεκτονική.....	5
2.2.3 Δικτυακή (IP) αρχιτεκτονική.....	5
2.2.4 Υβριδική προσέγγιση.....	6
2.3 Τεχνολογίες μετάδοσης.....	6
2.4 Η κάμερα ως συσκευή.....	7
2.4.1 Αισθητήρας και ανάλυση.....	7
2.4.2 Φακός, εστιακή απόσταση και γωνία θέασης.....	7
2.4.3 Τύποι καμερών.....	8
2.4.4 Βαθμοί προστασίας.....	9
2.5 Φωτισμός και νυχτερινή λειτουργία.....	9
2.5.1 Υπέρυθρος φωτισμός.....	9

2.5.2 Τεχνολογίες έγχρωμης νυχτερινής λήψης.....	9
2.5.3 Ευρύ δυναμικό εύρος.....	10
2.6 Συμπίεση και κωδικοποίηση.....	10
2.6.1 Πρότυπα συμπίεσης.....	10
2.6.2 Έλεγχος ρυθμού μετάδοσης.....	11
2.7 Καταγραφικά και αποθήκευση.....	11
2.7.1 Τύποι καταγραφικών.....	11
2.7.2 Υπολογισμός αποθηκευτικού χώρου.....	11
2.7.3 Επιλογή δίσκων και εφεδρεία.....	12
2.8 Πυκνότητα εικονοστοιχείων και το πρότυπο DORI.....	12
2.8.1 Η λογική του προτύπου.....	12
2.8.2 Η αναθεώρηση του 2025.....	13
2.9 Ανάλυση βίντεο.....	13
2.9.1 Από την ανίχνευση κίνησης στην ταξινόμηση αντικειμένου.....	13
2.9.2 Κανόνες ανίχνευσης.....	13
2.9.3 Επεξεργασία στο άκρο ή στο κέντρο.....	14
2.10 Επίλογος.....	14
Κεφάλαιο 3ο: Συστήματα συναγερμού εισβολής.....	15
3.1 Εισαγωγή.....	15
3.2 Αρχιτεκτονική συστήματος συναγερμού.....	15
3.2.1 Δομικά στοιχεία.....	15
3.2.2 Ενσύρματη αρχιτεκτονική.....	16
3.2.3 Ασύρματη αρχιτεκτονική.....	16
3.3 Συσκευές ανίχνευσης.....	17
3.4 Το πρότυπο EN 50131 και οι βαθμίδες ασφαλείας.....	17
3.4.1 Η λογική των βαθμίδων.....	17
3.4.2 Περιοδική επικοινωνία και επιτήρηση.....	18
3.4.3 Κλάσεις περιβάλλοντος.....	18
3.5 Συγκριτική αξιολόγηση ενσύρματων και ασύρματων συστημάτων.....	19
3.5.1 Οι διαστάσεις της σύγκρισης.....	19
3.5.2 Η υβριδική προσέγγιση.....	19
3.6 Ραδιοπαρεμβολές και μηχανισμοί άμυνας.....	20
3.6.1 Το φαινόμενο.....	20
3.6.2 Νομικό πλαίσιο.....	20
3.6.3 Μηχανισμοί ανίχνευσης.....	20

3.6.4 Σχεδιαστικές άμυνες	20
3.6.5 Το αντίστοιχο πρόβλημα των ενσύρματων συστημάτων	21
3.7 Επικοινωνία με κέντρο λήψης σημάτων	21
3.8 Ψευδείς συναγερμοί	21
3.9 Επίλογος	22
Κεφάλαιο 4ο: Περιμετρική προστασία και έλεγχος πρόσβασης	22
4.1 Εισαγωγή	22
4.2 Η λογική των τριών επιπέδων προστασίας	23
4.3 Τεχνολογίες περιμετρικής ανίχνευσης	23
4.3.1 Δέσμες υπερύθρων	23
4.3.2 Μικροκυματικές μπαριέρες	24
4.3.3 Ανιχνευτές επί της περιφράξης	24
4.3.4 Ανιχνευτές εξωτερικού χώρου	24
4.3.5 Θερμικές κάμερες	24
4.3.6 Ανάλυση βίντεο σε οπτικές κάμερες	24
4.3.7 Συγκριτική αξιολόγηση	25
4.4 Τοποθέτηση καμερών σε περίφραξη	26
4.4.1 Ύψος τοποθέτησης	26
4.4.2 Γωνία λήψης	26
4.4.3 Προσανατολισμός	27
4.4.4 Φωτισμός και προσανατολισμός ως προς τον ήλιο	27
4.4.5 Στήριξη και μηχανική σταθερότητα	27
4.4.6 Ηλεκτρολογική προστασία	27
4.4.7 Νομικός περιορισμός του οπτικού πεδίου	27
4.5 Οπτική επαλήθευση και συνδυαστική λογική	28
4.6 Συστήματα ελέγχου πρόσβασης	28
4.6.1 Θεμελιώδεις έννοιες	28
4.6.2 Τεχνολογίες ταυτοποίησης	29
4.6.3 Τοπολογίες συστήματος	29
4.6.4 Ηλεκτρομηχανικά κλείθρα	29
4.6.5 Λειτουργίες ελέγχου	30
4.6.6 Ασφάλεια διαπιστευτηρίων	30
4.6.7 Ιδιαιτερότητες φοιτητικών εστιών	30
4.7 Επίλογος	31
Κεφάλαιο 5ο: Δίκτυα και απομακρυσμένη πρόσβαση	32

5.1 Εισαγωγή.....	32
5.2 Θεμελιώδεις έννοιες.....	32
5.2.1 Το μοντέλο TCP/IP.....	32
5.2.2 Θύρες και υπηρεσίες.....	32
5.3 Διευθυνσιοδότηση IPv4.....	33
5.3.1 Δομή και μάσκα υποδικτύου.....	33
5.3.2 Ιδιωτικές διευθύνσεις.....	33
5.3.3 Δυναμική ή στατική απόδοση διευθύνσεων.....	33
5.4 Το πρωτόκολλο IPv6.....	34
5.5 Μετάφραση διευθύνσεων.....	34
5.5.1 Η λειτουργία NAT.....	34
5.5.2 Το πρόβλημα της εισερχόμενης σύνδεσης.....	34
5.6 Μέθοδοι απομακρυσμένης πρόσβασης.....	35
5.6.1 Προώθηση θυρών.....	35
5.6.2 Δυναμική διεύθυνση και δυναμικό DNS.....	35
5.6.3 Μετάφραση διευθύνσεων σε επίπεδο παρόχου.....	36
5.6.4 Υπηρεσία διαμεσολάβησης.....	36
5.6.5 Εικονικό ιδιωτικό δίκτυο.....	36
5.6.6 Συγκριτική αξιολόγηση.....	36
5.7 Πρωτόκολλα συστημάτων βιντεοεπιτήρησης.....	37
5.8 Σχεδίαση του δικτύου της εγκατάστασης.....	38
5.8.1 Τμηματοποίηση δικτύου.....	38
5.8.2 Τροφοδοσία μέσω Ethernet.....	39
5.8.3 Εύρος ζώνης και προτεραιοποίηση.....	39
5.8.4 Καλωδίωση και όρια απόστασης.....	39
5.9 Επίλογος.....	40
Κεφάλαιο 6ο: Ενοποίηση, κυβερνοασφάλεια και νομικό πλαίσιο.....	41
6.1 Εισαγωγή.....	41
6.2 Αρχιτεκτονική του ενιαίου συστήματος.....	41
6.3 Πλατφόρμες ενοποιημένης διαχείρισης.....	41
6.4 Συσχέτιση συμβάντων και αυτοματισμοί.....	42
6.5 Κυβερνοασφάλεια συστημάτων ασφαλείας.....	43
6.5.1 Η φύση του προβλήματος.....	43
6.5.2 Κύριες κατηγορίες ευπαθειών.....	43
6.5.3 Μέτρα σκλήρυνσης.....	43

6.5.4 Διαχείριση κύκλου ζωής.....	44
6.6 Νομικό πλαίσιο.....	44
6.6.1 Το ρυθμιστικό τοπίο.....	44
6.6.2 Νομική βάση της επεξεργασίας.....	44
6.6.3 Αρχές που διέπουν τη σχεδίαση.....	45
6.6.4 Χρόνος τήρησης.....	45
6.6.5 Ενημέρωση των υποκειμένων.....	45
6.6.6 Δικαιώματα των υποκειμένων.....	45
6.6.7 Εκτίμηση αντικτύπου.....	45
6.6.8 Συγκροτήματα κατοικιών.....	46
6.6.9 Βιομετρικά δεδομένα.....	46
6.7 Επίλογος.....	46
Κεφάλαιο 7ο: Μελέτη εφαρμογής — συγκρότημα φοιτητικών εστιών.....	47
7.1 Εισαγωγή.....	47
7.2 Περιγραφή της εγκατάστασης.....	47
7.2.1 Παραδοχές μελέτης.....	47
7.2.2 Χρήστες και ρόλοι.....	48
7.3 Ανάλυση απειλών και εκτίμηση κινδύνου.....	49
7.3.1 Καταγραφή απειλών.....	49
7.3.2 Εκτίμηση κινδύνου ανά ζώνη.....	49
7.3.3 Καθορισμός βαθμίδας ασφαλείας.....	50
7.4 Σχεδίαση σε τρία επίπεδα.....	50
7.4.1 Πρώτο επίπεδο — περίμετρος οικοπέδου.....	50
7.4.3 Τρίτο επίπεδο — εσωτερικοί χώροι.....	52
7.5 Χωροθέτηση καμερών.....	52
7.6 Ζώνες συναγερμού.....	54
7.7 Έλεγχος πρόσβασης.....	55
7.8 Δικτυακή σχεδίαση.....	56
7.9 Τεχνικοί υπολογισμοί.....	56
7.9.1 Εύρος ζώνης.....	56
7.9.2 Αποθηκευτικός χώρος.....	56
7.9.3 Προϋπολογισμός ισχύος τροφοδοσίας.....	57
7.9.4 Αυτονομία μπαταρίας συναγερμού.....	57
7.9.5 Καλωδίωση.....	57
7.10 Επιλογή εξοπλισμού και κοστολόγηση.....	57

7.10.1 Κριτήρια επιλογής	57
7.10.2 Εναλλακτικά σενάρια	57
7.10.3 Δομή προϋπολογισμού	58
7.10.4 Κόστος κύκλου ζωής	59
7.11 Επίλογος	60
Κεφάλαιο 8ο: Υλοποίηση, μετρήσεις και αποτελέσματα	61
8.1 Εισαγωγή	61
8.2 Πειραματική διάταξη	61
8.2.1 Ο χώρος δοκιμής	61
8.2.2 Εξοπλισμός	62
8.2.3 Συνδεσμολογία	63
8.2.4 Βασική διαμόρφωση	63
8.3 Μεθοδολογία	64
8.3.1 Όργανα μέτρησης	64
8.3.2 Καταγραφή συνθηκών και επαναλήψεις	64
8.3.3 Μετρικές αξιολόγησης ανίχνευσης	64
8.3.4 Διατύπωση των θεωρητικών προβλέψεων	64
8.4 Π1 — Ψευδείς συναγερμοί: ανίχνευση κίνησης έναντι ταξινόμησης αντικειμένου	65
8.4.1 Σκοπός και διαδικασία	65
8.4.2 Θεωρητική πρόβλεψη	65
8.4.3 Αποτελέσματα	65
8.4.4 Σχολιασμός	66
8.5 Π2 — Περιπτώσεις αστοχίας της ταξινόμησης	67
8.5.1 Σκοπός και διαδικασία	67
8.5.2 Θεωρητική πρόβλεψη	67
8.5.3 Αποτελέσματα	67
8.5.4 Σχολιασμός	68
8.6 Π3 — Επαλήθευση της απόστασης αναγνώρισης	68
8.6.1 Σκοπός και διαδικασία	68
8.6.2 Θεωρητικός υπολογισμός	68
8.6.3 Πρόβλεψη ως προς την απόκλιση	69
8.6.4 Αποτελέσματα	69
8.6.5 Σχολιασμός	70
8.7 Π4 — Επίδραση του φωτισμού στην αναγνωρισιμότητα	70
8.7.1 Σκοπός και διαδικασία	70

8.7.2 Θεωρητική πρόβλεψη	70
8.7.3 Αποτελέσματα	70
8.7.4 Σχολιασμός	71
8.8 Π5 — Σύγκριση προτύπων συμπίεσης	71
8.8.1 Σκοπός και διαδικασία	71
8.8.2 Θεωρητική πρόβλεψη	71
8.8.3 Αποτελέσματα	72
8.8.4 Σχολιασμός	72
8.9 Π6 — Επαλήθευση του υπολογισμού αποθηκευτικού χώρου	72
8.9.1 Σκοπός και διαδικασία	72
8.9.2 Θεωρητικός υπολογισμός	73
8.9.3 Πρόβλεψη ως προς την απόκλιση	73
8.9.4 Αποτελέσματα	73
8.9.5 Σχολιασμός	73
8.10 Π7 — Ρυθμός μετάδοσης ανά συνθήκη σκηνής	74
8.10.1 Σκοπός και διαδικασία	74
8.10.2 Θεωρητική πρόβλεψη	74
8.10.3 Αποτελέσματα	74
8.10.4 Σχολιασμός	75
8.11 Π8 — Καθυστέρηση ζωντανής εικόνας	75
8.11.1 Σκοπός και διαδικασία	75
8.11.2 Θεωρητική πρόβλεψη	75
8.11.3 Αποτελέσματα	76
8.11.4 Σχολιασμός	76
8.12 Π9 — Χρόνος ειδοποίησης σε κινητή συσκευή	76
8.12.1 Σκοπός και διαδικασία	76
8.12.2 Θεωρητική πρόβλεψη	76
8.12.3 Αποτελέσματα	77
8.12.4 Σχολιασμός	77
8.13 Π10 — Συμπεριφορά σε διακοπή σύνδεσης	77
8.13.1 Σκοπός και διαδικασία	77
8.13.2 Θεωρητική πρόβλεψη	77
8.13.3 Αποτελέσματα	78
8.13.4 Σχολιασμός	78
8.14 Συζήτηση αποτελεσμάτων	78

8.14.1 Απάντηση στο πρώτο ερευνητικό ερώτημα	78
8.14.2 Απάντηση στο δεύτερο ερευνητικό ερώτημα	79
8.14.3 Απάντηση στο τρίτο ερευνητικό ερώτημα	79
8.14.4 Απάντηση στο τέταρτο ερευνητικό ερώτημα	79
8.14.5 Απάντηση στο πέμπτο ερευνητικό ερώτημα	79
8.14.6 Αποτίμηση των θεωρητικών προβλέψεων	79
8.15 Περιορισμοί των πειραμάτων	79
8.16 Επίλογος	80
Κεφάλαιο 9ο: Συμπεράσματα και προτάσεις	80
9.1 Εισαγωγή	80
9.2 Σύνοψη της εργασίας	80
9.3 Αποτίμηση των στόχων	81
9.4 Κύρια συμπεράσματα	81
9.4.1 Η τεκμηρίωση οδηγεί σε διαφορετικές αποφάσεις από τη συνήθεια	81
9.4.2 Η γνώση του τι δεν καλύπτεται είναι σχεδιαστικό στοιχείο	81
9.4.3 Καμία τεχνολογία δεν είναι άτρωτη, διαφέρει ο τρόπος αστοχίας	81
9.4.4 Το νομικό πλαίσιο είναι σχεδιαστική παράμετρος	82
9.4.5 Τα αποτελεσματικότερα μέτρα ασφάλειας είναι τα απλούστερα	82
9.4.6 Συμπεράσματα από τις μετρήσεις	82
9.5 Συνεισφορά της εργασίας	82
9.6 Προτάσεις για μελλοντική επέκταση	82
9.7 Επίλογος	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	85

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Οι τέσσερις φάσεις εκπόνησης της εργασίας.	3
Σχήμα 2.1: Σύγκριση αναλογικής και δικτυακής αρχιτεκτονικής βιντεοεπιτήρησης.	6
Σχήμα 2.2: Σχέση εστιακής απόστασης, γωνίας θέασης και πυκνότητας εικονοστοιχείων.	8
Σχήμα 2.3: Τύποι καμερών επιτήρησης: bullet, dome, turret και PTZ [6] Πηγή από Hikvision.com	9
Σχήμα 2.4: Τα τέσσερα επίπεδα του προτύπου DORI και οι απαιτήσεις πυκνότητας εικονοστοιχείων.	
Πίνακας 2.3: Επίπεδα του προτύπου DORI κατά IEC/EN 62676-4	12
Σχήμα 3.1: Αρχιτεκτονική συστήματος συναγερμού εισβολής.	16
Σχήμα 4.1: Τα τρία επίπεδα προστασίας μιας κτηριακής εγκατάστασης	23
Σχήμα 4.2: Τυπικές συσκευές περιμετρικής προστασίας, ανίχνευσης εισβολής και ελέγχου πρόσβασης.....	26
Σχήμα 4.3: Παράμετροι τοποθέτησης καμερών σε περίφραξη	28
Σχήμα 5.1: Η λειτουργία της μετάφρασης διευθύνσεων και το πρόβλημα της εισερχόμενης σύνδεσης	35
Σχήμα 5.2: Οι τρεις μέθοδοι απομακρυσμένης πρόσβασης	37
Σχήμα 7.1: Κάτοψη οικοπέδου με περιμετρική κάλυψη και θέσεις εξοπλισμού 7.4.2 Δεύτερο επίπεδο — κέλφος κτηρίου	51

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Σύγκριση τεχνολογιών μετάδοσης σήματος βιντεοεπιτήρησης	7
Πίνακας 2.2: Σύγκριση προτύπων συμπίεσης βίντεο	11
Πίνακας 3.2: Συγκριτική αξιολόγηση ενσύρματων και ασύρματων συστημάτων συναγερμού	19
Πίνακας 4.1: Συγκριτική αξιολόγηση τεχνολογιών περιμετρικής ανίχνευσης	25
Πίνακας 4.2: Σύγκριση τεχνολογιών ταυτοποίησης σε συστήματα ελέγχου πρόσβασης	29
Πίνακας 5.1: Εύρη ιδιωτικών διευθύνσεων κατά RFC 1918	33
Πίνακας 5.2: Σύγκριση μεθόδων απομακρυσμένης πρόσβασης	36
Πίνακας 5.3: Πρότυπα τροφοδοσίας μέσω Ethernet	39
Πίνακας 6.1: Τυπικά σενάρια συσχέτισης συμβάντων και ενεργειών	42
Πίνακας 6.2: Μέτρα σκλήρυνσης συστήματος και αντιμετωπιζόμενη απειλή	43
Πίνακας 7.1: Παραδοχές μελέτης — χαρακτηριστικά της εγκατάστασης	47
Πίνακας 7.2: Εκτίμηση κινδύνου ανά ζώνη της εγκατάστασης	49
Πίνακας 7.3: Χωροθέτηση καμερών με λειτουργικές απαιτήσεις	52
Πίνακας 7.4: Πίνακας ζωνών συστήματος συναγερμού	54

Πίνακας 7.5: Σημεία ελέγχου πρόσβασης και δικαιώματα ανά ρόλο	55
Πίνακας 7.6: Διαφοροποίηση των τριών σεναρίων	57
Πίνακας 7.7: Δομή προϋπολογισμού του προτεινόμενου σεναρίου	58
Πίνακας 8.1: Εξοπλισμός της πειραματικής διάταξης	62
Πίνακας 8.2: Βασική διαμόρφωση της πειραματικής διάταξης	63
Πίνακας 8.3: Σύγκριση μεθόδων ανίχνευσης — πρόβλεψη και μέτρηση	65
Πίνακας 8.4: Κατανομή αιτίων ψευδών συναγερμών	66
Πίνακας 8.5: Ποσοστό ανίχνευσης ανά περίπτωση	67
Πίνακας 8.6: Θεωρητική πυκνότητα εικονοστοιχείων ανά απόσταση	69
Πίνακας 8.7: Επαλήθευση των επιπέδων DORI	69
Πίνακας 8.8: Αναγνωρισιμότητα ανά συνθήκη φωτισμού	70
Πίνακας 8.9: Ρυθμός μετάδοσης ανά πρότυπο συμπίεσης	72
Πίνακας 8.10: Ποσοστιαία εξοικονόμηση έναντι του H.264	72
Πίνακας 8.11: Θεωρητική κατανάλωση ανά ρυθμό μετάδοσης	73
Πίνακας 8.12: Θεωρητική και μετρημένη κατανάλωση	73
Πίνακας 8.13: Ρυθμός μετάδοσης ανά συνθήκη σκηνης	74
Πίνακας 8.14: Καθυστέρηση ανά μέθοδο απομακρυσμένης πρόσβασης	76
Πίνακας 8.15: Χρόνος ειδοποίησης σε κινητή συσκευή	77
Πίνακας 8.16: Συμπεριφορά σε διακοπή σύνδεσης	78

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται η διπλωματική εργασία και οι λόγοι που κάνουν το θέμα επίκαιρο. Ακολουθούν ο σκοπός και οι επιμέρους στόχοι, τα ερευνητικά ερωτήματα, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και η οριοθέτηση του αντικειμένου. Το κεφάλαιο κλείνει με σύντομη περιγραφή των κεφαλαίων που ακολουθούν.

1.2 Το πλαίσιο και το κίνητρο

Τα συστήματα ασφαλείας έχουν αλλάξει ριζικά τα τελευταία χρόνια. Παλαιότερα, μια τυπική εγκατάσταση αποτελούνταν από αναλογικές κάμερες συνδεδεμένες με ένα καταγραφικό και έναν συναγερμό με λίγους ανιχνευτές. Ο ρόλος του συστήματος ήταν κατά βάση παθητικός: κατέγραφε, και κάποιος έβλεπε το υλικό αργότερα, συνήθως αφού το συμβάν είχε ήδη γίνει.

Σήμερα η εικόνα είναι διαφορετική. Οι κάμερες είναι δικτυακές συσκευές που εκτελούν αλγορίθμους πάνω στην ίδια την εικόνα και ξεχωρίζουν αν αυτό που κινήθηκε ήταν άνθρωπος, όχημα ή ένα φύλλο που παρέσυρε ο αέρας. Ο πίνακας συναγερμού δεν ενεργοποιεί μόνο τη σειρήνα, αλλά στέλνει ειδοποίηση στο κινητό του χρήστη με στιγμιότυπο από την κάμερα που καλύπτει το σημείο. Και τα υποσυστήματα δεν λειτουργούν πλέον απομονωμένα: ο συναγερμός, οι κάμερες και ο έλεγχος πρόσβασης επικοινωνούν μεταξύ τους μέσα από κοινή πλατφόρμα διαχείρισης.

Η εξέλιξη αυτή όμως έφερε και νέα προβλήματα. Από τη στιγμή που ένα σύστημα συνδέεται στο διαδίκτυο, γίνεται και στόχος. Από τη στιγμή που χρησιμοποιεί ασύρματες συσκευές, εξαρτάται από το ραδιοφάσμα και από όσα συμβαίνουν μέσα σε αυτό. Από τη στιγμή που επεξεργάζεται εικόνες ανθρώπων, εμπίπτει στη νομοθεσία για τα προσωπικά δεδομένα. Υπάρχει επίσης ένα πιο πρακτικό πρόβλημα, που συναντάται καθημερινά στις εγκαταστάσεις: όταν ένα σύστημα χτυπάει συνεχώς χωρίς λόγο, ο χρήστης παύει να το εμπιστεύεται και τελικά σταματάει να το οπλίζει. Ένα σύστημα που κανείς δεν ενεργοποιεί δεν προστατεύει τίποτα.

Η επιλογή του θέματος προέκυψε από δύο αφορμές. Η πρώτη είναι η επαγγελματική ενασχόληση με τον χώρο των συστημάτων ασφαλείας, η οποία επιτρέπει την άμεση σύγκριση ανάμεσα σε όσα υπόσχεται ένα φυλλάδιο κατασκευαστή και σε όσα τελικά παρατηρούνται στην εγκατάσταση. Η δεύτερη προέκυψε κατά τη βιβλιογραφική αναζήτηση: το τεχνικό υλικό για τα συστήματα ασφαλείας υπάρχει σε αφθονία, σπάνια όμως συνοδεύεται από μετρήσεις. Οι τιμές που δηλώνουν οι κατασκευαστές για την εμβέλεια, το εύρος ζώνης ή την ακρίβεια της ανίχνευσης παρατίθενται ως δεδομένες, χωρίς να ελέγχονται σε πραγματικές συνθήκες.

Αυτό ακριβώς το κενό επιχειρεί να καλύψει η παρούσα εργασία. Ο στόχος δεν ήταν η σύνταξη ακόμη μιας περιγραφής των τεχνολογιών που κυκλοφορούν στην αγορά, αλλά η σχεδίαση ενός ολοκληρωμένου συστήματος, η υλοποίησή του και, κυρίως, η μέτρησή του — ώστε να φανεί πόσο συμφωνούν οι θεωρητικοί υπολογισμοί με την πραγματικότητα.

Τα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν ότι το πρόβλημα δεν είναι θεωρητικό. Το 2025 καταγράφηκαν σε πανελλαδικό επίπεδο 46 κλοπές και διαρρήξεις ανά 10.000 κατοίκους, ρυθμός που αντιστοιχεί σε περίπου 133 τέτοια αδικήματα κάθε εικοσιτετράωρο. Στην Αττική, όπου η εγκληματικότητα παρουσιάζει διαχρονικά μεγαλύτερη συγκέντρωση, ο δείκτης ανέρχεται σε 76 κλοπές και διαρρήξεις ανά 10.000 κατοίκους, με την Ελληνική Αστυνομία να καταγράφει καθημερινά περίπου 80 τέτοια περιστατικά [1].

Εξίσου σημαντικό για τον σχεδιασμό ενός συστήματος ασφαλείας είναι το προφίλ των δραστών. Σύμφωνα με την έκθεση της Ελληνικής Αστυνομίας για το σοβαρό και οργανωμένο έγκλημα, ένα μεγάλο μέρος των κλοπών και διαρρήξεων δεν αποτελεί μεμονωμένα ευκαιριακά περιστατικά αλλά έργο οργανωμένων εγκληματικών ομάδων, με τις εγχώριες ομάδες να κατέχουν κυρίαρχο ρόλο σε ποσοστό 76,26% του συνόλου [2]. Το στοιχείο αυτό έχει άμεση σχεδιαστική συνέπεια: όταν ο

δράστης δεν είναι ευκαιριακός περαστικός αλλά μέλος οργανωμένης ομάδας με προηγούμενη γνώση και εργαλεία, το απαιτούμενο επίπεδο προστασίας κατά EN 50131 μετατοπίζεται σε υψηλότερη βαθμίδα. Η επιλογή του εξοπλισμού και της αρχιτεκτονικής δεν μπορεί να γίνει «με το μάτι» — προϋποθέτει τεκμηριωμένη εκτίμηση κινδύνου.

1.3 Σκοπός και στόχοι

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη, η σχεδίαση, η υλοποίηση και η πειραματική αξιολόγηση ενός ολοκληρωμένου έξυπνου συστήματος ασφαλείας, το οποίο συνδυάζει βιντεοεπιτήρηση, συναγερμό, περιμετρική προστασία και έλεγχο πρόσβασης σε ενιαίο, δικτυωμένο σύνολο.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού τέθηκαν οι ακόλουθοι επιμέρους στόχοι:

Σ1. Η καταγραφή και ανάλυση των τεχνολογιών που συνθέτουν ένα σύγχρονο σύστημα ασφαλείας, με έμφαση όχι απλώς στο τι υπάρχει, αλλά στα κριτήρια με τα οποία επιλέγεται μια λύση έναντι μιας άλλης.

Σ2. Η σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων συστημάτων συναγερμού, τόσο ως προς το κόστος και τον χρόνο εγκατάστασης όσο και ως προς τη συμπεριφορά τους όταν η επικοινωνία διακοπεί.

Σ3. Η μελέτη του δικτυακού υποβάθρου που καθιστά εφικτή την απομακρυσμένη πρόσβαση — NAT, προώθηση θυρών, DDNS, VPN — και η ανάδειξη του τι συνεπάγεται κάθε επιλογή για την ασφάλεια της εγκατάστασης.

Σ4. Η εκπόνηση πλήρους μελέτης εφαρμογής για συγκεκριμένο κτηριακό συγκρότημα φοιτητικών εστιών, από την ανάλυση απαιτήσεων έως τον προϋπολογισμό.

Σ5. Η υλοποίηση πειραματικής διάταξης σε πραγματικό χώρο και η διεξαγωγή μετρήσεων που επιτρέπουν ποσοτική σύγκριση θεωρίας και πράξης.

Σ6. Η διατύπωση συμπερασμάτων αξιοποιήσιμων τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και σε επαγγελματικό επίπεδο.

1.4 Ερευνητικά ερωτήματα

Η εργασία οργανώνεται γύρω από πέντε ερωτήματα, τα οποία απαντώνται στο Κεφάλαιο 8 με βάση τα πειραματικά δεδομένα:

ΕΕ1. Πόσο μειώνει η ανίχνευση με ταξινόμηση αντικειμένου, δηλαδή η ανίχνευση που βασίζεται σε τεχνητή νοημοσύνη, τους ψευδείς συναγερμούς σε σχέση με τη συμβατική ανίχνευση κίνησης;

ΕΕ2. Ποια είναι η πραγματική διαφορά κόστους και χρόνου εγκατάστασης ανάμεσα σε ενσύρματο και ασύρματο συναγερμό, και σε πόσες ζώνες οι δύο λύσεις εξισώνονται;

ΕΕ3. Πόσο γρήγορα αντιλαμβάνεται ένα σύστημα την απώλεια επικοινωνίας με ασύρματο ανιχνευτή, και πώς συγκρίνεται αυτό με την ανίχνευση διακοπής ενσύρματης ζώνης;

ΕΕ4. Πόσο αποκλίνουν οι θεωρητικοί υπολογισμοί εύρους ζώνης και αποθηκευτικού χώρου από τις τιμές που μετρώνται στην πράξη;

ΕΕ5. Τι επιπτώσεις έχει κάθε τρόπος απομακρυσμένης πρόσβασης — προώθηση θυρών, υπηρεσία P2P, VPN — στην απόδοση και στην ασφάλεια της εγκατάστασης;

1.5 Μεθοδολογία

Η εκπόνηση της εργασίας οργανώθηκε σε τέσσερις διαδοχικές φάσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1.

Φάση Α — Βιβλιογραφική έρευνα. Εξετάστηκε το πλαίσιο που ορίζουν τα ευρωπαϊκά πρότυπα για τα συστήματα ασφαλείας: η σειρά EN 50131 για τους συναγερμούς εισβολής, η σειρά EN 62676 για τη βιντεοεπιτήρηση και η σειρά EN 60839-11 για τον έλεγχο πρόσβασης, οι οποίες εκδίδονται από

την τεχνική επιτροπή CLC/TC 79 της CENELEC. Παράλληλα μελετήθηκαν τεχνικά εγχειρίδια και φύλλα δεδομένων κατασκευαστών, δημοσιεύσεις σχετικές με την ανίχνευση αντικειμένων σε βίντεο, καθώς και το ισχύον νομικό πλαίσιο για τα προσωπικά δεδομένα.

Φάση Β — Ανάλυση απαιτήσεων και σχεδίαση. Με βάση τα δεδομένα του κτηριακού συγκροτήματος εκπονήθηκε ανάλυση απειλών και εκτίμηση κινδύνου ανά ζώνη. Ακολούθησε η σχεδίαση σε τρία επίπεδα προστασίας, η χωροθέτηση του εξοπλισμού επί κατόψεων, οι τεχνικοί υπολογισμοί και η κοστολόγηση σε τρία εναλλακτικά σενάρια.

Φάση Γ — Υλοποίηση. Εγκαταστάθηκε και παραμετροποιήθηκε πειραματική διάταξη σε πραγματικό χώρο, αποτελούμενη από κάμερα, δικτυακό καταγραφικό και τον απαραίτητο περιφερειακό εξοπλισμό. Η διάταξη λειτούργησε συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

Φάση Δ — Μετρήσεις και αξιολόγηση. Σχεδιάστηκε πρωτόκολλο μετρήσεων με προκαθορισμένα σενάρια, όργανα, αριθμό επαναλήψεων και μετρικές. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία και συγκρίθηκαν με τις θεωρητικές προβλέψεις.

Η μεθοδολογική αρχή που διαπερνά ολόκληρη την εργασία είναι απλή: **κάθε επιλογή τεκμηριώνεται και, όπου είναι εφικτό, μετριέται.** Οι δηλώσεις των κατασκευαστών αντιμετωπίζονται ως υποθέσεις προς έλεγχο και όχι ως δεδομένα.



Σχήμα 1.1: Οι τέσσερις φάσεις εκπόνησης της εργασίας.

1.6 Παραδοτέα και οριοθέτηση

Τα παραδοτέα της εργασίας είναι τα ακόλουθα:

- Θεωρητική τεκμηρίωση των τεχνολογιών βιντεοεπιτήρησης, συναγερμού, περιμετρικής προστασίας, ελέγχου πρόσβασης και δικτύωσης.
- Πλήρης μελέτη εφαρμογής για το συγκρότημα των φοιτητικών εστιών, με κατόψεις, πίνακες ζωνών, διαγράμματα και προϋπολογισμό.
- Λειτουργική πειραματική διάταξη με τεκμηριωμένη συνδεσμολογία και παραμετροποίηση.
- Μετρήσεις και συγκριτικά αποτελέσματα, με τα πρωτογενή δεδομένα σε παράρτημα.
- Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης.

Ως προς την οριοθέτηση του αντικειμένου διευκρινίζονται τα εξής:

Η εργασία επικεντρώνεται σε εξοπλισμό ενός κατασκευαστή. Η επιλογή αυτή εξασφαλίζει συνέπεια στις μετρήσεις και πλήρη δυνατότητα ενοποίησης, περιορίζει όμως τη δυνατότητα γενίκευσης των ποσοτικών αποτελεσμάτων σε άλλες πλατφόρμες.

Δεν εξετάζονται συστήματα πυρανίχνευσης και κατάσβεσης, τα οποία διέπονται από ξεχωριστό κανονιστικό πλαίσιο. Αναφέρονται μόνο εκεί όπου διασυνδέονται με τον έλεγχο πρόσβασης, για λόγους ασφαλούς εκκένωσης.

Στο ζήτημα των ραδιοπαρεμβολών, η μελέτη περιορίζεται στον τρόπο με τον οποίο το φαινόμενο **ανίχνευεται και αντιμετωπίζεται** από την πλευρά του συστήματος ασφαλείας. Η κατασκευή, η κατοχή και η χρήση συσκευών παρεμβολής ραδιοσυχνοτήτων απαγορεύονται από την ευρωπαϊκή και την εθνική νομοθεσία. Τα σχετικά πειράματα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να αναπαράγουν την ίδια συνθήκη απώλειας επικοινωνίας με νόμιμα μέσα, όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 8.

Τέλος, η πειραματική διάταξη υλοποιήθηκε σε χώρο μικρότερης κλίμακας από αυτόν της μελέτης εφαρμογής. Χρησιμοποιείται για την επαλήθευση των υπολογιστικών μοντέλων και όχι ως πλήρης προσομοίωση της τελικής εγκατάστασης.

1.7 Δομή της εργασίας

Η εργασία αναπτύσσεται σε εννέα κεφάλαια.

Το **Κεφάλαιο 2** πραγματεύεται τα συστήματα βιντεοεπιτήρησης: την αρχιτεκτονική τους, τις τεχνολογίες μετάδοσης, τους τύπους καμερών, τους αλγορίθμους συμπίεσης, τα καταγραφικά και το πρότυπο DORI, το οποίο συνδέει την ανάλυση της εικόνας με το τι μπορεί πραγματικά να αναγνωριστεί σε αυτήν.

Το **Κεφάλαιο 3** αφορά τους συναγερμούς εισβολής, με έμφαση στη σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων αρχιτεκτονικών, στα επίπεδα ασφάλειας του EN 50131 και στους μηχανισμούς ανίχνευσης ραδιοπαρεμβολών.

Το **Κεφάλαιο 4** καλύπτει την περιμετρική προστασία, δηλαδή την ανίχνευση πριν ο εισβολέας φτάσει στο κτήριο, καθώς και τα συστήματα ελέγχου πρόσβασης και τις ευπάθειές τους.

Το **Κεφάλαιο 5** αναπτύσσει το δικτυακό υπόβαθρο: διευθυνσιοδότηση IPv4 και IPv6, μετάφραση διευθύνσεων, προώθηση θυρών, δυναμικό DNS, εικονικά ιδιωτικά δίκτυα, τμηματοποίηση δικτύου και τροφοδοσία μέσω Ethernet.

Το **Κεφάλαιο 6** εξετάζει την ενοποίηση των υποσυστημάτων σε ενιαία πλατφόρμα, τα ζητήματα κυβερνοασφάλειας που προκύπτουν και το νομικό πλαίσιο προστασίας προσωπικών δεδομένων. Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται η μελέτη εφαρμογής για τις φοιτητικές εστίες, από την ανάλυση απαιτήσεων έως την τελική κοστολόγηση.

Στο **Κεφάλαιο 8** περιγράφονται η πειραματική διάταξη, το πρωτόκολλο μετρήσεων και τα αποτελέσματα, τα οποία συζητούνται σε αντιπαραβολή με τα ερευνητικά ερωτήματα.

Στο **Κεφάλαιο 9** συνοψίζονται τα συμπεράσματα και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική επέκταση.

1.8 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό οριοθετήθηκε το αντικείμενο της εργασίας και τεκμηριώθηκε η ανάγκη για μια προσέγγιση που δεν σταματάει στην περιγραφή των διαθέσιμων τεχνολογιών, αλλά τις υποβάλλει σε ποσοτικό έλεγχο. Παρουσιάστηκαν έξι επιμέρους στόχοι και πέντε ερευνητικά ερωτήματα, περιγράφηκε η μεθοδολογία σε τέσσερις φάσεις και οριοθετήθηκε ρητά το πεδίο εφαρμογής. Στο επόμενο κεφάλαιο ξεκινά η θεωρητική ανάπτυξη, με τα συστήματα βιντεοεπιτήρησης.

Κεφάλαιο 2ο: Συστήματα βιντεοεπιτήρησης

2.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει το θεωρητικό υπόβαθρο των συστημάτων βιντεοεπιτήρησης, τα οποία αποτελούν τον κορμό κάθε σύγχρονης εγκατάστασης ασφαλείας. Η ανάπτυξη ξεκινά από την αρχιτεκτονική του συστήματος και τα δομικά του στοιχεία, συνεχίζει με τις τεχνολογίες μετάδοσης και τα χαρακτηριστικά της κάμερας ως συσκευής, και καταλήγει στα ζητήματα που καθορίζουν στην πράξη την απόδοση μιας εγκατάστασης: τον φωτισμό, τη συμπίεση της εικόνας, την αποθήκευση και την ανάλυση βίντεο.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο πρότυπο DORI, το οποίο συνδέει την ανάλυση της εικόνας με το τι μπορεί πραγματικά να αναγνωριστεί σε αυτήν. Η σύνδεση αυτή είναι κρίσιμη, γιατί μετατρέπει τη σχεδίαση από υποκειμενική εκτίμηση σε μετρήσιμο μέγεθος και αποτελεί τη βάση των πειραμάτων του Κεφαλαίου 8.

2.2 Αρχιτεκτονική συστήματος βιντεοεπιτήρησης

2.2.1 Δομικά στοιχεία

Ανεξάρτητα από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται, κάθε σύστημα βιντεοεπιτήρησης αποτελείται από τέσσερις λειτουργικές ομάδες:

Συσκευές λήψης εικόνας. Οι κάμερες, οι οποίες μετατρέπουν το φως σε ηλεκτρικό σήμα και, στα ψηφιακά συστήματα, σε συμπιεσμένη ροή δεδομένων.

Μέσο μετάδοσης. Το φυσικό μέσο που μεταφέρει το σήμα από την κάμερα στο καταγραφικό: ομοαξονικό καλώδιο, καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών, οπτική ίνα ή ασύρματη ζεύξη.

Συσκευές διαχείρισης και καταγραφής. Το καταγραφικό, οι δίσκοι αποθήκευσης και το λογισμικό διαχείρισης, τα οποία αποθηκεύουν τις ροές, τις ευρετηριάζουν και επιτρέπουν την ανάκτησή τους.

Συσκευές προβολής και πρόσβασης. Οθόνες, σταθμοί εργασίας και εφαρμογές κινητών, από τις οποίες ο χρήστης παρακολουθεί ζωντανή εικόνα ή ανασκοπεί καταγεγραμμένο υλικό.

Στα σύγχρονα δικτυακά συστήματα προστίθεται και μια πέμπτη ομάδα, η **δικτυακή υποδομή** — μεταγωγείς, δρομολογητές, τροφοδοσία μέσω Ethernet — η οποία στα αναλογικά συστήματα δεν υπήρχε καθόλου. Η ομάδα αυτή αναλύεται στο Κεφάλαιο 5.

2.2.2 Αναλογική και υβριδική αρχιτεκτονική

Στην κλασική αναλογική αρχιτεκτονική, η κάμερα παράγει σύνθετο σήμα βίντεο το οποίο μεταφέρεται μέσω ομοαξονικού καλωδίου σε ψηφιακό καταγραφικό, το γνωστό DVR. Η ψηφιοποίηση και η συμπίεση γίνονται αποκλειστικά στο καταγραφικό. Η κάμερα δεν διαθέτει επεξεργαστική ισχύ και δεν είναι διευθυνσιοδοτήσιμη συσκευή.

Το βασικό πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής αυτής είναι η απλότητα: δεν απαιτεί γνώση δικτύων, δεν έχει διευθύνσεις IP και η αποσφαλμάτωση περιορίζεται στον έλεγχο του καλωδίου. Το βασικό μειονέκτημα είναι ότι κάθε επιπλέον λειτουργία — ανάλυση βίντεο, απομακρυσμένη διαχείριση, ενοποίηση με άλλα υποσυστήματα — πρέπει να υλοποιηθεί κεντρικά στο καταγραφικό, το οποίο γίνεται σημείο συμφόρησης.

2.2.3 Δικτυακή (IP) αρχιτεκτονική

Στη δικτυακή αρχιτεκτονική, η κάμερα είναι πλήρης υπολογιστική συσκευή. Ψηφιοποιεί, συμπιέζει και μεταδίδει η ίδια τη ροή εικόνας μέσω πρωτοκόλλων IP, ενώ διαθέτει επεξεργαστή ικανό να

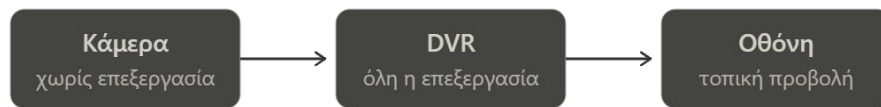
εκτελεί αλγορίθμους ανάλυσης απευθείας πάνω στη συσκευή. Η καλωδίωση γίνεται με καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών προς μεταγωγέα με τροφοδοσία μέσω Ethernet, ο οποίος παρέχει ταυτόχρονα δεδομένα και ρεύμα, και από εκεί στο δικτυακό καταγραφικό (NVR).

Η μετατόπιση της επεξεργασίας από το κέντρο στο άκρο του συστήματος είναι η σημαντικότερη διαφορά. Όταν η ταξινόμηση του αντικειμένου γίνεται πάνω στην κάμερα, το σύστημα κλιμακώνεται γραμμικά: κάθε νέα κάμερα φέρνει μαζί της και την επεξεργαστική ισχύ που χρειάζεται.

2.2.4 Υβριδική προσέγγιση

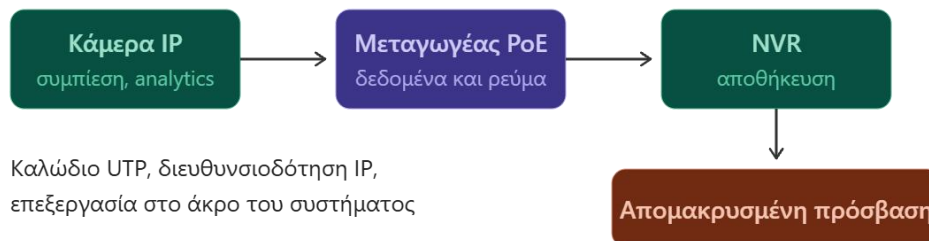
Στην πράξη, μεγάλο μέρος των εγκαταστάσεων είναι υβριδικές, ιδίως σε αναβαθμίσεις παλαιότερων συστημάτων όπου η υπάρχουσα ομοαξονική καλωδίωση διατηρείται. Τα υβριδικά καταγραφικά δέχονται ταυτόχρονα αναλογικά και δικτυακά κανάλια, επιτρέποντας σταδιακή μετάβαση χωρίς πλήρη αντικατάσταση της υποδομής.

Αναλογική αρχιτεκτονική



Ομοαξονικό καλώδιο, χωρίς διευθύνσεις, χωρίς ανάλυση στο άκρο

Δικτυακή αρχιτεκτονική



Καλώδιο UTP, διευθυνσιοδότηση IP, επεξεργασία στο άκρο του συστήματος

Σχήμα 2.1: Σύγκριση αναλογικής και δικτυακής αρχιτεκτονικής βιντεοεπιτήρησης.

2.3 Τεχνολογίες μετάδοσης

Ανάμεσα στο κλασικό αναλογικό σήμα και στην πλήρως δικτυακή λύση παρεμβάλλεται μια ενδιάμεση οικογένεια τεχνολογιών, γνωστή συλλογικά ως αναλογικές υψηλής ευκρίνειας. Οι τεχνολογίες HD-TVI, HD-CVI και AHD μεταδίδουν σήμα υψηλής ανάλυσης πάνω από το ίδιο ομοαξονικό καλώδιο που χρησιμοποιούσαν τα παλαιά συστήματα, αναπτύχθηκαν όμως από διαφορετικούς κατασκευαστές και δεν είναι πλήρως συμβατές μεταξύ τους. Η HD-TVI προωθήθηκε κυρίως από τη Hikvision, η HD-CVI από την Dahua και η AHD από κοινοπραξία κατασκευαστών. Η σημασία τους είναι κατά βάση οικονομική: επιτρέπουν αναβάθμιση της ανάλυσης χωρίς νέα καλωδίωση, κάτι που σε υπάρχον κτήριο μπορεί να αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος του κόστους. Δεν προσφέρουν ωστόσο τις δυνατότητες που απαιτεί ένα έξυπνο σύστημα: δεν υπάρχει επεξεργασία στο άκρο, δεν υπάρχει διευθυνσιοδότηση και η ενοποίηση με άλλα υποσυστήματα είναι περιορισμένη.

Πίνακας 2.1: Σύγκριση τεχνολογιών μετάδοσης σήματος βιντεοεπιτήρησης

Κριτήριο	Αναλογικό	HD-TVI / CVI / AHD	IP
Μέσο μετάδοσης	Ομοαξονικό	Ομοαξονικό	UTP / οπτική ίνα
Μέγιστη ανάλυση	0,4 MP (D1)	έως 8 MP	χωρίς ουσιαστικό όριο
Επεξεργασία στην κάμερα	Όχι	Όχι	Ναι
Ανάλυση βίντεο στο άκρο	Όχι	Όχι	Ναι
Τροφοδοσία μέσω καλωδίου δεδομένων	Όχι	Όχι	Ναι (PoE)
Απομακρυσμένη διαχείριση κάμερας	Όχι	Περιορισμένη	Πλήρης
Συμβατότητα μεταξύ κατασκευαστών	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή (ONVIF)
Κόστος αναβάθμισης υφιστάμενου	—	Πολύ χαμηλό	Υψηλό
Καταλληλότητα για νέα εγκατάσταση	Καμία	Χαμηλή	Υψηλή

Για την περίπτωση των φοιτητικών εστιών, όπου το κτήριο κατασκευάζεται από την αρχή και η καλωδίωση σχεδιάζεται μαζί με το κτήριο, η επιλογή της δικτυακής αρχιτεκτονικής είναι αυτονόητη. Η ανάλυση των τεχνολογιών αυτών παραμένει ωστόσο σημαντική, επειδή αποτελούν τη συνηθέστερη περίπτωση σε αναβαθμίσεις υφιστάμενων εγκαταστάσεων.

2.4 Η κάμερα ως συσκευή

2.4.1 Αισθητήρας και ανάλυση

Ο αισθητήρας εικόνας είναι το κρίσιμοτερο εξάρτημα της κάμερας. Στη συντριπτική πλειονότητα των σύγχρονων συσκευών χρησιμοποιούνται αισθητήρες τεχνολογίας CMOS, οι οποίοι έχουν αντικαταστήσει τους παλαιότερους CCD λόγω χαμηλότερης κατανάλωσης και κόστους.

Δύο μεγέθη περιγράφουν τον αισθητήρα και συχνά συγχέονται. Η **ανάλυση** εκφράζει το πλήθος των εικονοστοιχείων, συνήθως σε megapixel. Το **φυσικό μέγεθος** του αισθητήρα, εκφρασμένο σε κλάσματα ίντσας, καθορίζει πόσο μεγάλο είναι το κάθε εικονοστοιχείο. Δύο αισθητήρες ίδιας ανάλυσης αλλά διαφορετικού μεγέθους συμπεριφέρονται εντελώς διαφορετικά σε χαμηλό φωτισμό: όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια κάθε εικονοστοιχείου, τόσο περισσότερο φως συλλέγει και τόσο καλύτερος ο λόγος σήματος προς θόρυβο.

Η διαπίστωση αυτή έχει άμεση πρακτική συνέπεια που αντιβαίνει στη διαίσθηση: **περισσότερα megapixel δεν σημαίνουν πάντα καλύτερη εικόνα**. Ένας αισθητήρας 8 MP με μικρό φυσικό μέγεθος μπορεί να παράγει χειρότερη νυχτερινή εικόνα από έναν αισθητήρα 4 MP με μεγαλύτερα εικονοστοιχεία, ενώ ταυτόχρονα απαιτεί διπλάσιο εύρος ζώνης και αποθηκευτικό χώρο.

2.4.2 Φακός, εστιακή απόσταση και γωνία θέασης

Η εστιακή απόσταση του φακού, μετρούμενη σε χιλιοστά, καθορίζει τη γωνία θέασης της κάμερας και, κατ' επέκταση, την πυκνότητα εικονοστοιχείων σε δεδομένη απόσταση. Μικρή εστιακή απόσταση

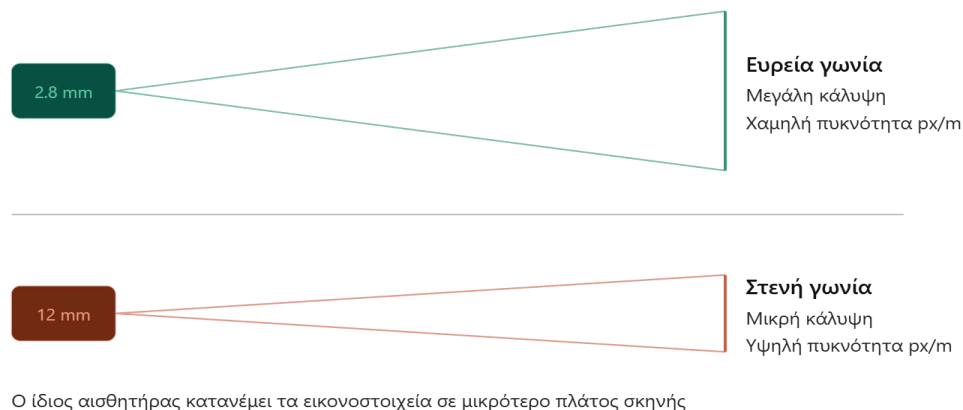
σημαίνει ευρεία γωνία και μεγάλη κάλυψη, αλλά λίγα εικονοστοιχεία ανά μέτρο στόχου. Μεγάλη εστιακή απόσταση σημαίνει στενή γωνία και υψηλή λεπτομέρεια σε συγκεκριμένο σημείο.

Η σχέση αυτή είναι η βάση κάθε μελέτης χωροθέτησης καμερών και εκφράζεται από τη σχέση:

$$\text{Γωνία θέασης} = 2 \cdot \arctan(\text{πλάτος αισθητήρα} / (2 \cdot \text{εστιακή απόσταση})) \quad (2.1)$$

όπου το πλάτος του αισθητήρα και η εστιακή απόσταση δίνονται στην ίδια μονάδα μέτρησης.

Οι φακοί διακρίνονται σε **σταθερής εστιακής απόστασης**, οι οποίοι είναι φθηνότεροι και σταθερότεροι, και σε **μεταβλητής εστιακής απόστασης**, οι οποίοι επιτρέπουν ρύθμιση της γωνίας κατά την εγκατάσταση. Οι τελευταίοι διακρίνονται περαιτέρω σε χειροκίνητους και μηχανοκίνητους, με τους δεύτερους να επιτρέπουν απομακρυσμένη ρύθμιση και αυτόματη εστίαση.



Σχήμα 2.2: Σχέση εστιακής απόστασης, γωνίας θέασης και πυκνότητας εικονοστοιχείων.

2.4.3 Τύποι καμερών

Ο τύπος του κελύφους καθορίζει τη μηχανική προστασία, τη δυνατότητα στόχευσης και την οπτική διακριτικότητα της συσκευής.

Bullet. Κυλινδρικές κάμερες με εμφανή προσανατολισμό. Εύκολη στόχευση, καλή απόδοση υπερύθρων λόγω απόστασης των LED από τον φακό. Αποτελούν και ορατή αποτρεπτική παρουσία, κάτι που μπορεί να είναι επιθυμητό ή όχι.

Dome. Ημισφαιρικό κέλυφος με πολυκαρβονικό κάλυμμα. Διακριτικές και ανθεκτικές σε βανδαλισμό, αλλά το κάλυμμα προκαλεί ανακλάσεις των υπερύθρων που υποβαθμίζουν τη νυχτερινή εικόνα αν δεν υπάρχει σωστός διαχωρισμός.

Turret. Συνδυασμός των δύο προηγούμενων. Ημισφαιρική βάση χωρίς κάλυμμα πάνω από τον φακό, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται οι ανακλάσεις. Έχουν επικρατήσει ως προεπιλογή σε πολλές εγκαταστάσεις.

PTZ. Κάμερες με δυνατότητα οριζόντιας και κατακόρυφης περιστροφής και οπτικού ζουμ.

Καλύπτουν μεγάλη περιοχή με μία συσκευή, όμως καλύπτουν μόνο ένα σημείο κάθε στιγμή.

Αξιοποιούνται σωστά μόνο όταν συνδέονται με αυτοματισμό: μια σταθερή κάμερα ή ένας ανιχνευτής εντοπίζει το συμβάν και η PTZ στρέφεται αυτόματα στη θέση.

Fisheye και πολλαπλού αισθητήρα. Καλύπτουν 180 ή 360 μοίρες. Οι πρώτες με έναν υπερευρυγώνιο φακό και ψηφιακή διόρθωση της παραμόρφωσης, οι δεύτερες με πολλούς ανεξάρτητους αισθητήρες. Κατάλληλες για κεντρικούς χώρους, με το μειονέκτημα της χαμηλής πυκνότητας εικονοστοιχείων στην περιφέρεια.



Σχήμα 2.3: Τύποι καμερών επιτήρησης: bullet, dome, turret και PTZ [6]
Πηγή από Hikvision.com

2.4.4 Βαθμοί προστασίας

Δύο τυποποιημένοι δείκτες περιγράφουν την ανθεκτικότητα του κελύφους και πρέπει να αναφέρονται σε κάθε μελέτη.

Ο δείκτης **IP** (Ingress Protection) περιγράφει την προστασία από στερεά σώματα και υγρά. Το IP66 σημαίνει πλήρη στεγανότητα σε σκόνη και αντοχή σε ισχυρές ριπές νερού, και αποτελεί τον ελάχιστο βαθμό για εξωτερική εγκατάσταση. Το IP67 προσθέτει αντοχή σε προσωρινή βύθιση.

Ο δείκτης **IK** περιγράφει την αντοχή σε μηχανική κρούση. Το IK10, που αντιστοιχεί σε ενέργεια κρούσης 20 joule, απαιτείται σε σημεία προσβάσιμα στο κοινό όπου υπάρχει κίνδυνος βανδαλισμού — και σε φοιτητικές εστίες η απαίτηση αυτή δεν είναι θεωρητική.

2.5 Φωτισμός και νυχτερινή λειτουργία

Ο φωτισμός είναι ο παράγοντας που καθορίζει περισσότερο από κάθε άλλον την πραγματική απόδοση μιας κάμερας, και ταυτόχρονα ο παράγοντας που παραβλέπεται συχνότερα κατά τη μελέτη.

2.5.1 Υπέρυθρος φωτισμός

Η κλασική λύση για νυχτερινή λειτουργία είναι ο υπέρυθρος φωτισμός. Η κάμερα διαθέτει LED που εκπέμπουν σε μήκη κύματος αόρατα στο ανθρώπινο μάτι, ενώ ένα μηχανικό φίλτρο αποκόπτεται από την οπτική διαδρομή ώστε ο αισθητήρας να τα λαμβάνει. Η εικόνα που προκύπτει είναι ασπρόμαυρη. Δύο περιορισμοί συνοδεύουν τη λύση αυτή και εμφανίζονται σταθερά στην πράξη. Πρώτον, η **απώλεια της χρωματικής πληροφορίας**, η οποία μπορεί να είναι καθοριστική για την ταυτοποίηση: το χρώμα ενός ρούχου ή ενός οχήματος χάνεται εντελώς. Δεύτερον, η **υπερέκθεση κοντινών αντικειμένων**: όταν κάτι βρίσκεται πολύ κοντά στην κάμερα, ανακλά δυσανάλογη ποσότητα υπέρυθρου φωτός και εμφανίζεται ως λευκή κηλίδα που καλύπτει το υπόλοιπο κάδρο.

2.5.2 Τεχνολογίες έγχρωμης νυχτερινής λήψης

Οι σύγχρονες εναλλακτικές επιδιώκουν τη διατήρηση του χρώματος στο σκοτάδι, ακολουθώντας δύο διαφορετικές προσεγγίσεις.

Η προσέγγιση **ColorVu** της Hikvision παρέχει έγχρωμη εικόνα εικοσιτετράωρης λειτουργίας ακόμη και σε συνθήκες σχεδόν πλήρους σκότους, χρησιμοποιώντας φακό μεγάλου διαφράγματος F1.0 και αισθητήρα που συλλέγει περισσότερο φως από τις συμβατικές κάμερες. Σε περιβάλλον μηδενικού φωτισμού ενεργοποιείται ενσωματωμένος λευκός συμπληρωματικός φωτισμός θερμής απόχρωσης [7]. Η προσέγγιση **DarkFighter** βασίζεται αντίθετα στην ευαισθησία του αισθητήρα και δεν χρησιμοποιεί συμπληρωματικό φωτισμό, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για διακριτικές εγκαταστάσεις. Χρησιμοποιεί μεγαλύτερο αισθητήρα και μεγαλύτερο διάφραγμα, σε συνδυασμό με τεχνολογία έξυπνου ελέγχου ενίσχυσης και βελτιωμένη μείωση θορύβου σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού [8]. Η επιλογή ανάμεσα στις δύο δεν είναι ζήτημα ποιότητας αλλά σκοπού: το ColorVu επιλέγεται όταν προτεραιότητα είναι η χρωματική τεκμηρίωση, το DarkFighter όταν η κάμερα δεν πρέπει να προδίδει την παρουσία της με ορατό φωτισμό. Πιο πρόσφατα, η τεχνολογία **Smart Hybrid Light** συνδυάζει τις δύο λογικές: η κάμερα λειτουργεί με υπέρυθρο φωτισμό σε κατάσταση ηρεμίας και μεταβαίνει αυτόματα σε λευκό φωτισμό με έγχρωμη λήψη μόλις ανιχνευθεί συμβάν.

2.5.3 Ευρύ δυναμικό εύρος

Το ευρύ δυναμικό εύρος (WDR) αντιμετωπίζει το πρόβλημα των σκηνών με ταυτόχρονη παρουσία πολύ φωτεινών και πολύ σκοτεινών περιοχών — η κλασική περίπτωση είναι η είσοδος κτηρίου με φωτεινό εξωτερικό χώρο πίσω από τον εισερχόμενο. Η κάμερα λαμβάνει διαδοχικά καρέ με διαφορετικό χρόνο έκθεσης και τα συνθέτει.

Η διάκριση μεταξύ **ψηφιακού** και **πραγματικού** WDR έχει σημασία: το πρώτο επεξεργάζεται ένα μόνο καρέ και προσφέρει περιορισμένη βελτίωση, ενώ το δεύτερο συνθέτει πολλαπλές εκθέσεις και δίνει ουσιαστικά καλύτερο αποτέλεσμα, με κόστος πιθανά τεχνουργήματα σε σκηνές με έντονη κίνηση.

2.6 Συμπίεση και κωδικοποίηση

Η ασυμπίεστη ροή βίντεο είναι πρακτικά αδύνατο να μεταδοθεί ή να αποθηκευτεί: μια κάμερα 4 MP στα 25 καρέ ανά δευτερόλεπτο θα παρήγαγε ροή της τάξης αρκετών Gbps. Η συμπίεση δεν αποτελεί συνεπώς βελτιστοποίηση αλλά προϋπόθεση λειτουργίας.

2.6.1 Πρότυπα συμπίεσης

Το **H.264** (MPEG-4 Part 10 / AVC) υπήρξε επί μία δεκαετία το κυρίαρχο πρότυπο και παραμένει το πλέον συμβατό με παλαιότερο εξοπλισμό και προγράμματα περιήγησης.

Το **H.265** (HEVC) αποτελεί τον διάδοχό του και επιτυγχάνει σημαντική μείωση του απαιτούμενου εύρους ζώνης για ισοδύναμη ποιότητα, με κόστος αυξημένη υπολογιστική απαίτηση τόσο στην κωδικοποίηση όσο και στην αποκωδικοποίηση.

Το **H.265+** είναι ιδιοταγής επέκταση που εφαρμόζουν αρκετοί κατασκευαστές. Εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι το φόντο σε μια σκηνή επιτήρησης παραμένει ως επί το πλείστον στατικό, κωδικοποιώντας το με πολύ χαμηλότερο ρυθμό και διαθέτοντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης στις περιοχές όπου υπάρχει κίνηση.

Η υπόσχεση αυτή είναι ακριβώς το είδος ισχυρισμού που η παρούσα εργασία θέτει υπό έλεγχο: η θεωρητική εξοικονόμηση διαφημίζεται με βάση στατικές σκηνές, ενώ η πραγματική εξοικονόμηση σε σκηνή με συνεχή κίνηση — όπως η είσοδος ενός κτηρίου — μπορεί να είναι σημαντικά μικρότερη. Το πείραμα του Κεφαλαίου 8 μετρά ακριβώς αυτή τη διαφορά.

Πίνακας 2.2: Σύγκριση προτύπων συμπίεσης βίντεο

Χαρακτηριστικό	H.264	H.265	H.265+
Ετος τυποποίησης	2003	2013	ιδιοταγής επέκταση
Σχετικό εύρος ζώνης	αναφορά	σημαντικά μειωμένο	περαιτέρω μειωμένο σε στατικές σκηνές
Υπολογιστική απαίτηση	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή
Συμβατότητα με παλαιό εξοπλισμό	Πλήρης	Περιορισμένη	Περιορισμένη
Συμπεριφορά σε σκηνή με έντονη κίνηση	Σταθερή	Σταθερή	Το πλεονέκτημα περιορίζεται

2.6.2 Έλεγχος ρυθμού μετάδοσης

Η κωδικοποίηση μπορεί να λειτουργεί με **σταθερό ρυθμό (CBR)**, όπου η ροή διατηρείται σταθερή ανεξάρτητα από το περιεχόμενο, ή με **μεταβλητό ρυθμό (VBR)**, όπου ο ρυθμός προσαρμόζεται στην πολυπλοκότητα της σκηνής.

Ο σταθερός ρυθμός διευκολύνει τον σχεδιασμό, καθώς καθιστά τον υπολογισμό εύρους ζώνης και αποθηκευτικού χώρου ακριβή. Ο μεταβλητός ρυθμός αξιοποιεί καλύτερα τους πόρους, εισάγει όμως αβεβαιότητα: μια νύχτα με έντονο άνεμο και κινούμενη βλάστηση μπορεί να πολλαπλασιάσει τον όγκο των δεδομένων.

Πρόσθετοι μηχανισμοί βελτιστοποίησης περιλαμβάνουν την **κωδικοποίηση περιοχής ενδιαφέροντος**, όπου ο χρήστης ορίζει περιοχές του κάδρου που κωδικοποιούνται με υψηλότερη ποιότητα, και τη ρύθμιση του **διαστήματος καρέ αναφοράς**, η οποία επηρεάζει τόσο τον όγκο όσο και την ταχύτητα αναζήτησης κατά την ανασκόπηση.

2.7 Καταγραφικά και αποθήκευση

2.7.1 Τύποι καταγραφικών

Το **DVR** δέχεται αναλογικά σήματα και εκτελεί το ίδιο την ψηφιοποίηση και τη συμπίεση. Το **NVR** δέχεται ήδη συμπιεσμένες ροές IP και επιτελεί κυρίως λειτουργίες αποθήκευσης, ευρετηρίασης και διαχείρισης. Το **υβριδικό** καταγραφικό υποστηρίζει και τα δύο.

Δύο μεγέθη περιορίζουν στην πράξη ένα NVR και συχνά αγνοούνται κατά την επιλογή. Το πρώτο είναι το **πλήθος καναλιών**. Το δεύτερο, και κρισιμότερο, είναι η **συνολική χωρητικότητα εισόδου**, μετρούμενη σε Mbps: ένα καταγραφικό δεκαέξι καναλιών με χωρητικότητα 160 Mbps δεν μπορεί να δεχθεί δεκαέξι κάμερες που παράγουν 12 Mbps η καθεμία, παρότι τα κανάλια επαρκούν.

2.7.2 Υπολογισμός αποθηκευτικού χώρου

Ο απαιτούμενος αποθηκευτικός χώρος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Χωρητικότητα (GB)} = \left[\text{ρυθμός (Mbps)} / 8 \right] \times 3600 \times \text{ώρες/ημέρα} \times \text{ημέρες} \times \text{πλήθος καμερών} / 1024 \quad (2.2)$$

όπου ο ρυθμός εκφράζεται σε Mbps ανά κάμερα, οι ώρες ανά ημέρα αφορούν τη διάρκεια καταγραφής και οι ημέρες τον επιθυμητό χρόνο τήρησης.

Ο χρόνος τήρησης δεν αποτελεί μόνο τεχνική παράμετρο. Όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 6, το νομικό πλαίσιο για την προστασία προσωπικών δεδομένων θέτει όρια στη διατήρηση υλικού βιντεοεπιτήρησης, τα οποία λειτουργούν ως άνω φράγμα στον σχεδιασμό.

2.7.3 Επιλογή δίσκων και εφεδρεία

Οι δίσκοι που προορίζονται για βιντεοεπιτήρηση διαφέρουν από τους δίσκους γενικής χρήσης. Είναι σχεδιασμένοι για συνεχή εγγραφή σε καθεστώς εικοσιτετράωρης λειτουργίας, με βελτιστοποιημένο ρυθμό διαδοχικής εγγραφής και μηχανισμούς διαχείρισης δονήσεων όταν λειτουργούν πολλοί δίσκοι στο ίδιο πλαίσιο.

Σε εγκαταστάσεις όπου η απώλεια υλικού είναι απαράδεκτη, χρησιμοποιούνται διατάξεις RAID. Η επιλογή του επιπέδου αποτελεί συμβιβασμό μεταξύ χωρητικότητας, ταχύτητας και ανοχής σε βλάβη, και πρέπει να τεκμηριώνεται με βάση την κρισιμότητα της εγκατάστασης και όχι με βάση τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.

2.8 Πυκνότητα εικονοστοιχείων και το πρότυπο DORI

2.8.1 Η λογική του προτύπου

Το ερώτημα «πόσο μακριά βλέπει μια κάμερα» δεν έχει νόημα αν δεν προσδιοριστεί τι σημαίνει «βλέπει». Το πρότυπο DORI απαντά ακριβώς σε αυτό, ορίζοντας τέσσερα επίπεδα λειτουργικής απαίτησης και αντιστοιχίζοντας το καθένα σε μετρήσιμη πυκνότητα εικονοστοιχείων ανά μέτρο στόχου.

Το πρότυπο βασίζεται στο IEC/EN 62676-4 και ορίζει επίπεδα λεπτομέρειας για ανίχνευση, παρατήρηση, αναγνώριση και ταυτοποίηση σε κάμερες ορατού φωτός [9]. Η σημασία του έγκειται στο ότι αντικαθιστά την υποκειμενική εκτίμηση με μετρήσιμο κριτήριο.



Αυξανόμενη απαίτηση πυκνότητας εικονοστοιχείων

×10 από την ανίχνευση

Η ίδια κάμερα ανιχνεύει σε δεκαπλάσια απόσταση από αυτήν στην οποία ταυτοποιεί.

Οι τιμές ισχύουν για ανθρώπινη παρατήρηση και για ιδανικές συνθήκες φωτισμού.

Σχήμα 2.4: Τα τέσσερα επίπεδα του προτύπου DORI και οι απαιτήσεις πυκνότητας εικονοστοιχείων.

Πίνακας 2.3: Επίπεδα του προτύπου DORI κατά IEC/EN 62676-4

Επίπεδο	Πυκνότητα (px/m)	Τι επιτρέπει
Ανίχνευση (Detect)	25	Διαπίστωση ότι υπάρχει άνθρωπος ή όχημα στη σκηνή
Παρατήρηση (Observe)	62	Χαρακτηριστικά στοιχεία ατόμου, όπως ρουχισμός, και εποπτεία της δραστηριότητας
Αναγνώριση (Recognize)	125	Διαπίστωση με υψηλή βεβαιότητα ότι το άτομο είναι το ίδιο με κάποιο που έχει ξαναδεί ο παρατηρητής
Ταυτοποίηση (Identify)	250	Ταυτοποίηση συγκεκριμένου ατόμου ή ανάγνωση πινακίδας κυκλοφορίας

Η αναλογία μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου επιπέδου είναι δεκαπλάσια: η ανίχνευση απαιτεί 25 εικονοστοιχεία ανά μέτρο ενώ η ταυτοποίηση 250, οπότε η ονομαστική εμβέλεια μιας κάμερας για ανίχνευση είναι δεκαπλάσια της εμβέλειάς της για ταυτοποίηση.

Δύο επισημάνσεις είναι απαραίτητες. Πρώτον, οι τιμές αυτές ισχύουν για **ανθρώπινη παρατήρηση** της εικόνας: για αλγορίθμους ανάλυσης βίντεο ή για θερμικές κάμερες εφαρμόζονται διαφορετικοί ορισμοί. Δεύτερον, οι τιμές αποτελούν **κατώτατα όρια υπό ιδανικές συνθήκες**. Σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, έντονης συμπίεσης ή όταν το πρόσωπο δεν είναι στραμμένο προς την κάμερα, απαιτείται περιθώριο ασφαλείας. Ακριβώς αυτή η απόκλιση θεωρίας και πράξης μετράται στο πείραμα του Κεφαλαίου 8.

2.8.2 Η αναθεώρηση του 2025

Το πρότυπο αναθεωρήθηκε πρόσφατα. Η έκδοση IEC 62676-4 του 2025 επεκτείνει το παλαιό μοντέλο των τεσσάρων επιπέδων σε ένα ευρύτερο πλαίσιο οπτικής απόδοσης με επτά λειτουργικά επίπεδα, αντισταθμίζοντας τις αυξημένες απαιτήσεις για αποδεικτική ποιότητα εικόνας, σύγκριση προσώπων και ροές εργασίας βασισμένες σε ανάλυση βίντεο [10]. Η φιλοσοφία παραμένει η ίδια — ο προσδιορισμός της απόδοσης με βάση το λειτουργικό αποτέλεσμα και όχι μόνο την ανάλυση της κάμερας — αλλά η διαβάθμιση γίνεται λεπτομερέστερη.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται το καθιερωμένο μοντέλο των τεσσάρων επιπέδων, το οποίο παραμένει η κοινή γλώσσα του κλάδου και είναι αυτό που αναγράφεται στα φύλλα δεδομένων των κατασκευαστών. Η ύπαρξη της αναθεώρησης καταγράφεται ωστόσο ως εξέλιξη που επηρεάζει τις μελλοντικές μελέτες.

2.9 Ανάλυση βίντεο

2.9.1 Από την ανίχνευση κίνησης στην ταξινόμηση αντικειμένου

Η κλασική **ανίχνευση κίνησης** λειτουργεί συγκρίνοντας διαδοχικά καρέ και εντοπίζοντας περιοχές όπου η φωτεινότητα των εικονοστοιχείων μεταβάλλεται πέραν ενός κατωφλίου. Είναι υπολογιστικά φθηνή και υπάρχει σε κάθε κάμερα εδώ και δεκαετίες.

Το θεμελιώδες μειονέκτημά της είναι ότι δεν γνωρίζει **τι** κινήθηκε. Ένα φύλλο, μια σκιά, μια αράχνη μπροστά από τον φακό, τα φώτα ενός διερχόμενου οχήματος και ένας εισβολέας παράγουν την ίδια ακριβώς απόκριση. Το αποτέλεσμα είναι υψηλός ρυθμός ψευδών συναγερμών, ο οποίος οδηγεί στο φαινόμενο που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 1: ο χρήστης απενεργοποιεί τις ειδοποιήσεις.

Η **ταξινόμηση αντικειμένου** αντιμετωπίζει το πρόβλημα στη ρίζα του. Αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης, εκπαιδευμένοι σε μεγάλα σύνολα δεδομένων, ταξινομούν το αντικείμενο που ανιχνεύθηκε πριν ενεργοποιηθεί ο συναγερμός. Στην υλοποίηση της Hikvision, η τεχνολογία AcuSense χρησιμοποιεί αλγορίθμους βαθιάς μάθησης για την ταξινόμηση ανθρώπων και οχημάτων, αγνοώντας άσχετη κίνηση όπως ζώα, βροχή, σκιές ή κινούμενα δέντρα [11].

Πρόκειται για την τεχνολογία που βρίσκεται στο επίκεντρο του πρώτου ερευνητικού ερωτήματος της εργασίας. Ο ισχυρισμός της σημαντικής μείωσης των ψευδών συναγερμών είναι εύλογος, αλλά η ποσοτική του διάσταση — πόσο ακριβώς μειώνονται, και με τι κόστος σε χαμένες ανιχνεύσεις — δεν προκύπτει από το εμπορικό υλικό και αποτελεί αντικείμενο μέτρησης.

2.9.2 Κανόνες ανίχνευσης

Πάνω από την ταξινόμηση ορίζονται κανόνες που καθορίζουν πότε ένα ταξινομημένο αντικείμενο συνιστά συμβάν:

Διάβαση γραμμής. Ο χρήστης χαράσσει εικονική γραμμή στο κάδρο και ορίζει κατεύθυνση. Ο συναγερμός ενεργοποιείται μόνο όταν αντικείμενο τη διασχίσει προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Εισβολή σε περιοχή. Ορίζεται πολύγωνο και χρονική κατώφλιος παραμονής. Το δεύτερο είναι κρίσιμο, καθώς αποκλείει τη στιγμιαία διέλευση.

Είσοδος και έξοδος από περιοχή. Διαφοροποιεί την κατεύθυνση της κίνησης σε σχέση με το όριο.

Παραμονή, εγκατάλειψη ή αφαίρεση αντικειμένου. Ανιχνεύουν στατικές μεταβολές της σκηνής.

Αναγνώριση πινακίδας κυκλοφορίας. Εξειδικευμένη λειτουργία που απαιτεί σημαντικά υψηλότερη πυκνότητα εικονοστοιχείων και ελεγχόμενη γωνία λήψης.

2.9.3 Επεξεργασία στο άκρο ή στο κέντρο

Η ανάλυση μπορεί να εκτελείται στην ίδια την κάμερα ή κεντρικά στο καταγραφικό ή σε εξυπηρετητή.

Η επεξεργασία στο άκρο κλιμακώνεται γραμμικά, μειώνει το εύρος ζώνης — αφού μεταδίδεται μόνο το συμβάν — και συνεχίζει να λειτουργεί σε περίπτωση διακοπής του δικτύου. Η κεντρική επεξεργασία επιτρέπει πολυπλοκότερους αλγορίθμους και συσχέτιση δεδομένων από πολλές κάμερες, εισάγει όμως σημείο συμφόρησης και μοναδικό σημείο αστοχίας.

Η σύγχρονη τάση κλίνει σαφώς προς το άκρο για τις βασικές λειτουργίες ταξινόμησης, με κεντρική επεξεργασία μόνο για λειτουργίες που απαιτούν συνολική εικόνα του συστήματος.

2.10 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύθηκαν τα συστήματα βιντεοεπιτήρησης, από την αρχιτεκτονική τους έως τους αλγορίθμους ανάλυσης που τα καθιστούν «έξυπνα». Παρουσιάστηκε η μετάβαση από την αναλογική στη δικτυακή αρχιτεκτονική και η μετατόπιση της επεξεργασίας από το κέντρο στο άκρο του συστήματος, εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά της κάμερας ως συσκευής και αναδείχθηκε ο ρόλος του φωτισμού ως καθοριστικού και συχνά παραβλεπόμενου παράγοντα.

Τρία σημεία συγκρατούνται για τα επόμενα κεφάλαια. Πρώτον, ότι η αυξημένη ανάλυση δεν συνεπάγεται αυτόματα καλύτερη εικόνα, αλλά συνεπάγεται σίγουρα αυξημένες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και αποθηκευτικό χώρο. Δεύτερον, ότι το πρότυπο DORI μετατρέπει τη σχεδίαση από υποκειμενική εκτίμηση σε μετρήσιμο μέγεθος, και αποτελεί τη βάση της χωροθέτησης που εκπονείται στο Κεφάλαιο 7. Τρίτον, ότι η ταξινόμηση αντικειμένου με τεχνητή νοημοσύνη υπόσχεται λύση στο πρόβλημα των ψευδών συναγερμών, με τον βαθμό επιτυχίας της να αποτελεί αντικείμενο μέτρησης στο Κεφάλαιο 8.

Στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζονται τα συστήματα συναγερμού εισβολής, τα οποία συμπληρώνουν τη βιντεοεπιτήρηση με τη λειτουργία της ενεργητικής ανίχνευσης.

Κεφάλαιο 3ο: Συστήματα συναγερμού εισβολής

3.1 Εισαγωγή

Ενώ η βιντεοεπιτήρηση καταγράφει και τεκμηριώνει, το σύστημα συναγερμού ανιχνεύει και ειδοποιεί. Η διάκριση αυτή είναι ουσιώδης: μια κάμερα χωρίς παρατηρητή παράγει αποδεικτικό υλικό, ένας συναγερμός παράγει άμεση αντίδραση. Στα σύγχρονα έξυπνα συστήματα τα δύο υποσυστήματα λειτουργούν συμπληρωματικά, με τον συναγερμό να ενεργοποιεί την καταγραφή και την εικόνα να επιβεβαιώνει τον συναγερμό.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική των συστημάτων συναγερμού εισβολής και αναλύεται η κεντρική επιλογή που καλείται να κάνει κάθε μελετητής: ενσύρματο ή ασύρματο σύστημα. Ακολουθεί η παρουσίαση του προτύπου EN 50131 και των βαθμίδων ασφαλείας που ορίζει, οι οποίες μετατρέπουν την επιλογή αυτή από ζήτημα προτίμησης σε ζήτημα τεκμηρίωσης. Το κεφάλαιο κλείνει με την ανάλυση των ραδιοπαρεμβολών, ενός φαινομένου που αποτελεί το βασικό επιχείρημα κατά των ασύρματων συστημάτων και το οποίο εξετάζεται εδώ με τους μηχανισμούς άμυνας που διαθέτουν τα σύγχρονα συστήματα.

3.2 Αρχιτεκτονική συστήματος συναγερμού

3.2.1 Δομικά στοιχεία

Κάθε σύστημα συναγερμού, ανεξάρτητα από την τεχνολογία διασύνδεσης, αποτελείται από τα ίδια λειτουργικά μέρη:

Κεντρική μονάδα ελέγχου. Ο πίνακας, ο οποίος λαμβάνει τα σήματα των ανιχνευτών, αποφασίζει αν συνιστούν συναγερμό με βάση την κατάσταση όπλισης, και ενεργοποιεί τις εξόδους.

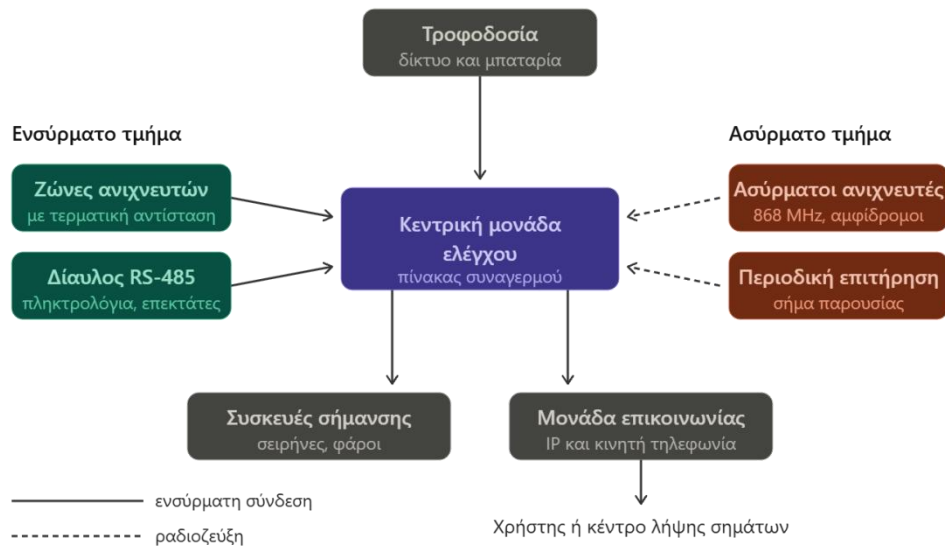
Συσκευές ανίχνευσης. Οι αισθητήρες που παρακολουθούν τον χώρο ή τα σημεία εισόδου.

Συσκευές χειρισμού. Πληκτρολόγια, αναγνώστες εγγύτητας ή εφαρμογές κινητού, από τα οποία ο χρήστης οπλίζει και αφοπλίζει το σύστημα.

Συσκευές σήμανσης. Εσωτερικές και εξωτερικές σειρήνες, φάροι και οπτικές ενδείξεις.

Μονάδα επικοινωνίας. Το υποσύστημα που μεταδίδει το συμβάν εκτός εγκατάστασης, είτε στον χρήστη είτε σε κέντρο λήψης σημάτων.

Τροφοδοσία. Τροφοδοτικό δικτύου και εφεδρική μπαταρία, η οποία εξασφαλίζει λειτουργία σε διακοπή ρεύματος. Η αυτονομία δεν είναι προαιρετικό χαρακτηριστικό αλλά απαίτηση του προτύπου, καθώς η διακοπή ρεύματος αποτελεί προφανή τρόπο εξουδετέρωσης του συστήματος.



Σχήμα 3.1: Αρχιτεκτονική συστήματος συναγερμού εισβολής.

3.2.2 Ενσύρματη αρχιτεκτονική

Στην ενσύρματη υλοποίηση, οι ανιχνευτές συνδέονται με τον πίνακα μέσω πολύκλωνου καλωδίου, τυπικά τεσσάρων ή έξι αγωγών διατομής 0,22 mm², από τους οποίους οι δύο μεταφέρουν την τροφοδοσία και οι υπόλοιποι το σήμα της ζώνης και τη γραμμή παραβίασης κελύφους.

Οι συσκευές χειρισμού και οι επεκτάτες ζωνών συνδέονται σε δίαυλο επικοινωνίας, συνήθως προτύπου RS-485, ο οποίος επιτρέπει την αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων και τη σύνδεση πολλών συσκευών στην ίδια τετράκλωνη γραμμή.

Οι τερματικές αντιστάσεις αποτελούν το σημαντικότερο σχεδιαστικό στοιχείο της ενσύρματης ζώνης και συχνά παραβλέπονται. Η απλούστερη υλοποίηση χρησιμοποιεί απλή κανονικά κλειστή επαφή: ο πίνακας ανιχνεύει συναγερμό όταν το κύκλωμα ανοίξει. Το πρόβλημα είναι ότι δεν μπορεί να διακρίνει το άνοιγμα της επαφής από τη διακοπή του καλωδίου, ούτε μπορεί να ανιχνεύσει βραχυκύκλωμα — έναν προφανή τρόπο εξουδετέρωσης της ζώνης.

Η τοποθέτηση αντίστασης τέλους γραμμής στον ανιχνευτή επιτρέπει στον πίνακα να μετρά την αντίσταση του βρόχου και να διακρίνει τρεις καταστάσεις: ηρεμία, συναγερμό και βλάβη γραμμής. Η διπλή αντίσταση προσθέτει τη διάκριση της παραβίασης κελύφους στην ίδια ζώνη, ενώ η τριπλή επιτρέπει και την ανίχνευση συσκότισης του αισθητήρα.

Η επιλογή αυτή έχει άμεση σχέση με τη βαθμίδα ασφαλείας: όσο υψηλότερη η απαιτούμενη βαθμίδα, τόσο περισσότερες καταστάσεις πρέπει να διακρίνει το σύστημα.

3.2.3 Ασύρματη αρχιτεκτονική

Στην ασύρματη υλοποίηση, οι ανιχνευτές επικοινωνούν με τον πίνακα μέσω ραδιοζεύξης, τυπικά στη ζώνη συχνοτήτων 868 MHz για την Ευρώπη. Η ζώνη αυτή προτιμάται έναντι της παλαιότερης των 433 MHz επειδή είναι λιγότερο κορεσμένη από συσκευές γενικής χρήσης και προσφέρει καλύτερη διεύθυνση σε δομικά στοιχεία.

Τέσσερα τεχνικά χαρακτηριστικά διαφοροποιούν ένα σύγχρονο ασύρματο σύστημα από τα πρωτόγονα συστήματα προηγούμενων δεκαετιών:

Αμφίδρομη επικοινωνία. Στα παλαιά μονόδρομα συστήματα ο ανιχνευτής εξέπεμπε χωρίς να γνωρίζει αν το μήνυμα παραδόθηκε. Στα αμφίδρομα, ο πίνακας επιβεβαιώνει τη λήψη και ο ανιχνευτής επαναλαμβάνει την εκπομπή αν δεν λάβει επιβεβαίωση.

Αναπήδηση συχνότητας. Η μετάδοση δεν γίνεται σε σταθερή συχνότητα αλλά εναλλάσσεται μεταξύ πολλών καναλιών σύμφωνα με προσυμφωνημένη ακολουθία. Η τεχνική αυτή, γνωστή ως frequency

hopping, δυσχεραίνει σημαντικά την παρεμβολή στενής ζώνης και αυξάνει την ανθεκτικότητα σε τυχαίες παρεμβολές από άλλες συσκευές.

Κρυπτογράφηση. Η επικοινωνία κρυπτογραφείται, τυπικά με αλγόριθμο AES, ώστε να αποτρέπεται τόσο η υποκλοπή όσο και η αναπαραγωγή καταγεγραμμένων πακέτων.

Περιοδική επιτήρηση. Κάθε ανιχνευτής εκπέμπει σε τακτά διαστήματα σήμα παρουσίας, ανεξάρτητα από το αν υπάρχει συμβάν. Το σήμα αυτό επιβεβαιώνει στον πίνακα ότι η συσκευή είναι λειτουργική και εντός εμβέλειας, και μεταφέρει συνήθως και την κατάσταση της μπαταρίας. Αν το σήμα σταματήσει, ο πίνακας δηλώνει βλάβη.

Το τελευταίο χαρακτηριστικό είναι το κρισιμότερο για την ασφάλεια του συστήματος και αναλύεται στην §3.6.

3.3 Συσκευές ανίχνευσης

Η επιλογή του ανιχνευτή καθορίζεται από τον χώρο, το είδος της αναμενόμενης εισβολής και το επίπεδο ανοχής σε ψευδείς συναγερμούς.

Παθητικοί υπέρυθροι ανιχνευτές. Ανιχνεύουν μεταβολές στη θερμική ακτινοβολία του χώρου. Αποτελούν την πλέον διαδεδομένη λύση για ογκομετρική κάλυψη εσωτερικών χώρων. Είναι ευαίσθητοι σε ρεύματα αέρα, σε άμεσο ηλιακό φως και σε απότομες μεταβολές θερμοκρασίας.

Ανιχνευτές διπλής τεχνολογίας. Συνδυάζουν παθητικό υπέρυθρο και μικροκυματικό αισθητήρα, ενεργοποιώντας συναγερμό μόνο όταν και οι δύο ανιχνεύσουν ταυτόχρονα. Η λογική σύζευξη μειώνει δραστηρικά τους ψευδείς συναγερμούς, με μικρή μείωση της πιθανότητας ανίχνευσης.

Μαγνητικές επαφές. Ανιχνεύουν το άνοιγμα θυρών και παραθύρων. Απλές, αξιόπιστες και με ελάχιστη κατανάλωση. Στις υψηλότερες βαθμίδες χρησιμοποιούνται τύποι με πολλαπλά μαγνητικά στοιχεία, ώστε να μην μπορούν να παρακαμφθούν με εξωτερικό μαγνήτη.

Ανιχνευτές θραύσης υάλου. Αναγνωρίζουν το ακουστικό υπογραφή του σπασίματος τζαμιού.

Καλύπτουν πολλά ανοίγματα με μία συσκευή, αλλά είναι ευάλωτοι σε ήχους παρόμοιου φάσματος.

Ανιχνευτές εξωτερικού χώρου με ανοσία σε ζώα. Σχεδιασμένοι ώστε να αγνοούν στόχους κάτω από συγκεκριμένο βάρος ή ύψος. Απαραίτητοι σε περιβάλλοντα όπου υπάρχουν αδέσποτα ή κατοικίδια.

Ένα χαρακτηριστικό που αποκτά σημασία στις υψηλότερες βαθμίδες είναι η **ανίχνευση συσκότισης**.

Ο ανιχνευτής παρακολουθεί ενεργά αν κάτι έχει τοποθετηθεί μπροστά του ή αν το οπτικό του πεδίο έχει καλυφθεί, και δηλώνει βλάβη ακόμη και όταν το σύστημα είναι αφοπλισμένο. Χωρίς αυτό, ένας εισβολέας μπορεί να εξουδετερώσει τον ανιχνευτή κατά τη διάρκεια της ημέρας και να επιστρέψει τη νύχτα.

3.4 Το πρότυπο EN 50131 και οι βαθμίδες ασφαλείας

3.4.1 Η λογική των βαθμίδων

Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 50131 δεν ορίζει ποιο σύστημα είναι «καλό», αλλά αντιστοιχίζει το επίπεδο προστασίας στο προφίλ του αναμενόμενου εισβολέα. Ορίζονται τέσσερις βαθμίδες, με κριτήριο τη γνώση, τα εργαλεία και τον χρόνο που διαθέτει ο δράστης.

Η **Βαθμίδα 1** αφορά εισβολέα χωρίς γνώση συστημάτων ασφαλείας, ο οποίος διαθέτει περιορισμένο φάσμα εύκολα διαθέσιμων εργαλείων. Προστατεύονται τα προφανή σημεία εισόδου και προορίζεται για χώρους χαμηλού κινδύνου χωρίς αξίες.

Η **Βαθμίδα 2** αφορά εισβολέα με περιορισμένη γνώση συστημάτων συναγερμού και γενικό φάσμα εργαλείων και φορητών οργάνων. Καλύπτει την πλειονότητα των κατοικιών και των εμπορικών χώρων χαμηλού κινδύνου.

Η **Βαθμίδα 3** αφορά εισβολέα εξοικειωμένο με τα συστήματα συναγερμού, ο οποίος διαθέτει πλήρες φάσμα εργαλείων και φορητό ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Απαιτείται σε εμπορικούς χώρους με αξίες και σε κατοικίες υψηλού κινδύνου.

Η **Βαθμίδα 4** αφορά περιπτώσεις όπου η ασφάλεια υπερισχύει κάθε άλλου κριτηρίου. Ο εισβολέας διαθέτει πόρους για λεπτομερή σχεδιασμό και πλήρη εξοπλισμό, συμπεριλαμβανομένων μέσων υποκατάστασης εξαρτημάτων του συστήματος.

Ένας κανόνας που πρέπει να τονιστεί: **η βαθμίδα του συστήματος καθορίζεται από το ασθενέστερο εξάρτημά του**. Ένας πίνακας Βαθμίδας 3 με ανιχνευτές Βαθμίδας 2 συγκροτεί σύστημα Βαθμίδας 2. Η παρατήρηση αυτή είναι κρίσιμη κατά την επιλογή εξοπλισμού στο Κεφάλαιο 7.

3.4.2 Περιοδική επικοινωνία και επιτήρηση

Ένα από τα σημεία όπου το πρότυπο γίνεται ποσοτικό — και το πλέον σχετικό με την παρούσα εργασία — αφορά τα μέγιστα επιτρεπόμενα διαστήματα περιοδικής επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών και του πίνακα. Σύμφωνα με το EN 50131-1, τα διαστήματα αυτά διαφοροποιούνται δραστηκά ανά βαθμίδα: για τη Βαθμίδα 1 το μέγιστο επιτρεπόμενο διάστημα ανέρχεται σε 240 λεπτά, για τη Βαθμίδα 2 σε 120 λεπτά, για τη Βαθμίδα 3 σε 100 δευτερόλεπτα και για τη Βαθμίδα 4 σε μόλις 10 δευτερόλεπτα [12].

Η κλιμάκωση αυτή δεν είναι αυθαίρετη. Καθορίζει το **παράθυρο ευπάθειας** του συστήματος: το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ένας ανιχνευτής μπορεί να έχει τεθεί εκτός λειτουργίας — από εξάντληση μπαταρίας, από βλάβη, από θωράκιση ή από παρεμβολή — χωρίς ο πίνακας να το γνωρίζει. Σε ένα σύστημα Βαθμίδας 2, το παράθυρο αυτό μπορεί να φτάσει τις δύο ώρες. Σε ένα σύστημα Βαθμίδας 3, δεν ξεπερνά το ενάμισι λεπτό.

Η διαφορά έχει και κόστος: η συχνότερη εκπομπή μειώνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των ασύρματων ανιχνευτών. Ο σχεδιασμός ενός ασύρματου συστήματος υψηλής βαθμίδας αποτελεί συνεπώς συμβιβασμό μεταξύ ταχύτητας ανίχνευσης βλάβης και αυτονομίας.

Το μέγεθος αυτό είναι ακριβώς το αντικείμενο του τρίτου ερευνητικού ερωτήματος και μετράται πειραματικά στο Κεφάλαιο 8.

Πίνακας 3.1: Βαθμίδες ασφαλείας κατά EN 50131 και μέγιστα διαστήματα περιοδικής επικοινωνίας.

Βαθμίδα	Προφίλ εισβολέα	Τυπική εφαρμογή	Μέγιστο διάστημα περιοδικής επικοινωνίας
1	Χωρίς γνώση συστημάτων, περιορισμένα εργαλεία	Χαμηλός κίνδυνος, χωρίς αξίες	240 λεπτά
2	Περιορισμένη γνώση, γενικά εργαλεία και φορητά όργανα	Κατοικίες και εμπορικοί χώροι χαμηλού κινδύνου	120 λεπτά
3	Εξοικειωμένος με συστήματα, πλήρη εργαλεία και ηλεκτρονικός εξοπλισμός	Εμπορικοί χώροι με αξίες, κατοικίες υψηλού κινδύνου	100 δευτερόλεπτα
4	Πλήρεις πόροι, μέσα υποκατάστασης εξαρτημάτων	Η ασφάλεια υπερισχύει κάθε άλλου κριτηρίου	10 δευτερόλεπτα

3.4.3 Κλάσεις περιβάλλοντος

Παράλληλα με τη βαθμίδα ασφαλείας, το πρότυπο ορίζει κλάσεις περιβάλλοντος που περιγράφουν τις συνθήκες στις οποίες πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα η συσκευή. Διακρίνονται σε εσωτερικού χώρου, εσωτερικού χώρου γενικής χρήσης, εξωτερικού χώρου με προστασία και εξωτερικού χώρου γενικής χρήσης, με αυξανόμενες απαιτήσεις σε εύρος θερμοκρασίας, υγρασία και ανθεκτικότητα.

Η αντιστοίχιση κλάσης και θέσης εγκατάστασης πρέπει να τεκμηριώνεται στη μελέτη. Ένας ανιχνευτής εσωτερικού χώρου τοποθετημένος σε ημιυπαίθριο χώρο θα λειτουργεί — μέχρι τον πρώτο χειμώνα.

3.5 Συγκριτική αξιολόγηση ενσύρματων και ασύρματων συστημάτων

3.5.1 Οι διαστάσεις της σύγκρισης

Η επιλογή μεταξύ ενσύρματου και ασύρματου συστήματος παρουσιάζεται συχνά ως ζήτημα αξιοπιστίας, με το ενσύρματο να θεωρείται αυτονόητα ανώτερο. Η πραγματικότητα είναι πιο σύνθετη και εξαρτάται καθοριστικά από μία μεταβλητή: **αν το κτήριο υπάρχει ήδη ή κατασκευάζεται.**

Σε υπάρχον κτήριο, η ενσύρματη εγκατάσταση απαιτεί χαραγές, χωνεύσεις, αποκατάσταση επιφανειών και εργασία που μπορεί να διαρκέσει ημέρες. Το κόστος εργασίας υπερβαίνει συχνά το κόστος του εξοπλισμού. Σε κτήριο υπό ανέγερση, η ίδια καλωδίωση τοποθετείται μαζί με τις υπόλοιπες ηλεκτρολογικές οδεύσεις με οριακό επιπλέον κόστος.

Το αντίστροφο ισχύει για το κόστος υλικών: ένας ασύρματος ανιχνευτής κοστίζει σημαντικά περισσότερο από τον ενσύρματο ισοδύναμό του, καθώς ενσωματώνει πομποδέκτη, μπαταρία και λογική διαχείρισης ενέργειας.

Υπάρχει συνεπώς ένα **σημείο ισοδυναμίας**, εξαρτώμενο από το πλήθος των ζωνών, πέρα από το οποίο η μία λύση γίνεται οικονομικότερη της άλλης. Ο εντοπισμός του σημείου αυτού με πραγματικές μετρήσεις χρόνου και κόστους αποτελεί το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα της εργασίας.

Πίνακας 3.2: Συγκριτική αξιολόγηση ενσύρματων και ασύρματων συστημάτων συναγερμού

Κριτήριο	Ενσύρματο	Ασύρματο
Κόστος υλικών ανά ζώνη	Χαμηλότερο	Υψηλότερο
Κόστος εργασίας σε υπάρχον κτήριο	Υψηλό	Πολύ χαμηλό
Κόστος εργασίας σε κτήριο υπό ανέγερση	Οριακό	Πολύ χαμηλό
Χρόνος εγκατάστασης ανά ζώνη	Ωρες	Λεπτά
Επεμβατικότητα σε υπάρχουσες επιφάνειες	Υψηλή	Μηδενική
Ανίχνευση διακοπής επικοινωνίας	Ακαριαία, με τερματική αντίσταση	Μετά το διάστημα επιτήρησης
Ευπάθεια σε ραδιοπαρεμβολή	Καμία	Υπαρκτή, ανιχνεύσιμη
Ευπάθεια σε διακοπή καλωδίου	Υπαρκτή, ανιχνεύσιμη	Καμία
Συντήρηση	Ελάχιστη	Αντικατάσταση μπαταριών
Επεκτασιμότητα	Απαιτεί νέα καλωδίωση	Άμεση
Επίτευξη υψηλών βαθμίδων	Ευχερής	Εφικτή με προϋποθέσεις

3.5.2 Η υβριδική προσέγγιση

Στην πράξη, η αντιπαράθεση των δύο τεχνολογιών είναι συχνά πλασματική, καθώς οι σύγχρονοι πίνακες υποστηρίζουν και τις δύο ταυτόχρονα.

Η ορθολογική προσέγγιση αντιστοιχίζει την τεχνολογία στην κρισιμότητα του σημείου. Τα σημεία που δεν επιτρέπεται να «σιωπήσουν» — η κύρια είσοδος, ο χώρος όπου φυλάσσονται αξίες, η σειρά, η μονάδα επικοινωνίας — υλοποιούνται ενσύρματα. Τα δευτερεύοντα σημεία, οι μελλοντικές επεκτάσεις και οι θέσεις όπου η καλωδίωση είναι δυσανάλογα δαπανηρή, υλοποιούνται ασύρματα. Για την περίπτωση των φοιτητικών εστιών, όπου το κτήριο κατασκευάζεται από την αρχή, η πρόταση που αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 7 προβλέπει ενσύρματο κορμό με πρόβλεψη για ασύρματη επέκταση.

3.6 Ραδιοπαρεμβολές και μηχανισμοί άμυνας

3.6.1 Το φαινόμενο

Η βασική ένσταση κατά των ασύρματων συστημάτων αφορά τη δυνατότητα σκόπιμης παρεμβολής στη ζώνη συχνοτήτων λειτουργίας τους. Μια συσκευή που εκπέμπει θόρυβο υψηλής ισχύος στα 868 MHz μπορεί να καταστήσει αδύνατη τη λήψη των σημάτων των ανιχνευτών από τον πίνακα.

Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί τι ακριβώς συμβαίνει και τι δεν συμβαίνει. Η παρεμβολή **δεν παραβιάζει την κρυπτογράφηση** και δεν επιτρέπει την πλαστογράφηση μηνυμάτων. Πρόκειται για επίθεση άρνησης υπηρεσίας: το κανάλι επικοινωνίας καθίσταται ακατάλληλο και τα μηνύματα δεν φτάνουν στον προορισμό τους. Η διάκριση έχει σημασία, γιατί ορίζει και τη φύση της άμυνας — το ζητούμενο δεν είναι η αποτροπή της παρεμβολής, που είναι φυσικά αδύνατη, αλλά η **αξιόπιστη και ταχεία ανίχνευσή της**.

3.6.2 Νομικό πλαίσιο

Η κατασκευή, η κατοχή, η διάθεση και η χρήση συσκευών παρεμβολής ραδιοσυχνοτήτων απαγορεύονται στην Ελλάδα και σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Το πλαίσιο ορίζεται από την Οδηγία 2014/53/ΕΕ για τον ραδιοεξοπλισμό και την εθνική νομοθεσία περί ηλεκτρονικών επικοινωνιών, με αρμόδια αρχή την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων.

Η παρούσα εργασία δεν περιλαμβάνει κατασκευή ή χρήση παρεμβολέα. Η μελέτη επικεντρώνεται στους μηχανισμούς ανίχνευσης και αντιμετώπισης, και η πειραματική διερεύνηση του Κεφαλαίου 8 αναπαράγει την ίδια συνθήκη απώλειας επικοινωνίας με νόμιμα μέσα.

3.6.3 Μηχανισμοί ανίχνευσης

Τα σύγχρονα συστήματα διαθέτουν τρεις ανεξάρτητους μηχανισμούς που καθιστούν την παρεμβολή ορατή στον πίνακα.

Ανίχνευση στάθμης θορύβου. Ο δέκτης παρακολουθεί διαρκώς τη στάθμη του θορύβου στη ζώνη λειτουργίας. Η λογική που εφαρμόζεται συγκρίνει τη βραχυπρόθεσμη στάθμη θορύβου με τη μακροπρόθεσμη μέση τιμή· όταν η πρώτη υπερβεί τη δεύτερη κατά προκαθορισμένο κατώφλι για συνεχές χρονικό διάστημα, δηλώνεται κατάσταση παρεμβολής [15]. Η χρήση δύο κριτηρίων αντί ενός αποτρέπει τη σήμανση ψευδούς παρεμβολής σε περιπτώσεις όπου, παρά την αύξηση του θορύβου, τα σήματα των ανιχνευτών εξακολουθούν να λαμβάνονται επαρκώς.

Επιτήρηση παρουσίας συσκευών. Ο μηχανισμός που περιγράφηκε στην §3.4.2. Ακόμη και αν η ανίχνευση θορύβου αποτύχει, η παρεμβολή θα εκδηλωθεί ως ταυτόχρονη απώλεια επικοινωνίας με πολλαπλές συσκευές — ένα μοτίβο που από μόνο του συνιστά ισχυρή ένδειξη επίθεσης και όχι τυχαίας βλάβης.

Επιβεβαίωση παράδοσης. Στα αμφίδρομα πρωτόκολλα, ο ανιχνευτής γνωρίζει ότι το μήνυμά του δεν παραδόθηκε και επαναλαμβάνει την προσπάθεια, ενδεχομένως σε διαφορετική συχνότητα.

3.6.4 Σχεδιαστικές άμυνες

Πέρα από τους μηχανισμούς που ενσωματώνει ο εξοπλισμός, η ίδια η σχεδίαση του συστήματος μπορεί να περιορίσει την έκθεση.

Η **επιλογή υψηλότερης βαθμίδας** συνεπάγεται αυτόματα ταχύτερη ανίχνευση, λόγω των συντομότερων διαστημάτων επιτήρησης που αναλύθηκαν παραπάνω.

Η **διπλή διαδρομή επικοινωνίας** με το κέντρο λήψης σημάτων — τυπικά συνδυασμός δικτύου IP και κινητής τηλεφωνίας — εξασφαλίζει ότι η αναφορά του συμβάντος δεν εξαρτάται από ένα μόνο μέσο.

Η **υβριδική αρχιτεκτονική** αφαιρεί εξ ορισμού τα κρίσιμα σημεία από το πεδίο της επίθεσης.

Η **τοποθέτηση του πίνακα** σε θέση που δεν είναι προσβάσιμη ούτε προβλέψιμη περιορίζει τη δυνατότητα του επιτιθέμενου να προσεγγίσει τον δέκτη με αρκετή ισχύ.

3.6.5 Το αντίστοιχο πρόβλημα των ενσύρματων συστημάτων

Η συζήτηση για τις ραδιοπαρεμβολές παρουσιάζεται συχνά σαν να αφορά αποκλειστικά τα ασύρματα συστήματα. Στην πραγματικότητα, τα ενσύρματα διαθέτουν τον δικό τους ισοδύναμο τρόπο αστοχίας: τη **διακοπή ή το βραχυκύκλωμα του καλωδίου**.

Η ουσιαστική διαφορά δεν βρίσκεται στην ύπαρξη ή μη ευπάθειας, αλλά στην ταχύτητα και την αξιοπιστία της ανίχνευσής της. Μια ενσύρματη ζώνη με τερματική αντίσταση ανιχνεύει τη διακοπή **ακαριαία**, καθώς η μεταβολή της αντίστασης του βρόχου είναι άμεσα μετρήσιμη. Μια ασύρματη συσκευή ανιχνεύεται ως απύσχα μόνο μετά την παρέλευση του διαστήματος επιτήρησης.

Η αντιπαραβολή αυτή είναι το αντικείμενο του πειράματος που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 8, όπου μετρώνται και συγκρίνονται οι χρόνοι ανίχνευσης και στις δύο περιπτώσεις.

3.7 Επικοινωνία με κέντρο λήψης σημάτων

Ένα σύστημα που ενεργοποιεί μόνο τοπική σειρά να βασίζεται στην υπόθεση ότι κάποιος θα την ακούσει και θα αντιδράσει. Σε απομονωμένες εγκαταστάσεις ή σε αστικό περιβάλλον με υψηλή ανοχή στον θόρυβο, η υπόθεση αυτή είναι επισφαλής.

Η μετάδοση του συμβάντος εκτός εγκατάστασης γίνεται σήμερα κυρίως μέσω δικτύου IP και κινητής τηλεφωνίας, με τις παλαιότερες τηλεφωνικές γραμμές να έχουν σχεδόν εγκαταλειφθεί. Η μονόδρομη ειδοποίηση στον χρήστη μέσω εφαρμογής κινητού αποτελεί την πλέον διαδεδομένη λύση σε οικιακές εγκαταστάσεις, ενώ η σύνδεση με επανδρωμένο κέντρο λήψης σημάτων απαιτείται σε επαγγελματικές και σε ασφαλιστικά καλυπτόμενες εγκαταστάσεις.

Το πρότυπο ορίζει και εδώ διαβάθμιση: όσο υψηλότερη η βαθμίδα, τόσο συντομότερο το επιτρεπόμενο διάστημα επιτήρησης της ίδιας της γραμμής επικοινωνίας. Η λογική είναι η ίδια που διέπει την επιτήρηση των ανιχνευτών — ένα κανάλι που δεν ελέγχεται τακτικά μπορεί να είναι νεκρό χωρίς κανείς να το γνωρίζει.

3.8 Ψευδείς συναγερμοί

Το πρόβλημα που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 1 — ότι ένα σύστημα το οποίο χτυπάει χωρίς λόγο παύει να χρησιμοποιείται — είναι ιδιαίτερα οξύ στα συστήματα συναγερμού, όπου ο ψευδής συναγερμός συνεπάγεται ηχητική όχληση και ενδεχομένως άσκοπη μετάβαση συνεργείου.

Οι κύριες αιτίες είναι τεχνικά προβλέψιμες: ρεύματα αέρα από κλιματισμό ή ανοιχτά παράθυρα, άμεσο ηλιακό φως σε επιφάνειες εντός του πεδίου του ανιχνευτή, μικρά ζώα και έντομα, μετακίνηση αντικειμένων που δεν είχαν ληφθεί υπόψη κατά τη ρύθμιση, και σφάλματα του χρήστη κατά την όπλιση.

Οι τεχνικές μείωσης λειτουργούν σε τρία επίπεδα. Στο επίπεδο του **ανιχνευτή**, με χρήση διπλής τεχνολογίας και ανοσίας σε ζώα. Στο επίπεδο του **πίνακα**, με λογική επιβεβαίωσης που απαιτεί ενεργοποίηση δύο ανεξάρτητων ζωνών εντός χρονικού παραθύρου πριν δηλωθεί συναγερμός. Στο επίπεδο του **συστήματος**, με οπτική επαλήθευση: ο συναγερμός συνοδεύεται από στιγμιότυπο ή σύντομο βίντεο από την κάμερα που καλύπτει τη ζώνη, επιτρέποντας στον χρήστη ή στο κέντρο λήψης να αξιολογήσει το συμβάν πριν κινητοποιηθεί.

Η τρίτη προσέγγιση αποτελεί και το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα του τι σημαίνει «έξυπνο σύστημα»: η αξία δεν προκύπτει από τη βελτίωση κάποιου επιμέρους υποσυστήματος, αλλά από τη συνεργασία δύο υποσυστημάτων που παραδοσιακά λειτουργούσαν ανεξάρτητα.

3.9 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύθηκαν τα συστήματα συναγερμού εισβολής, από την αρχιτεκτονική τους έως τους μηχανισμούς άμυνας απέναντι σε σκόπιμη παρεμβολή.

Η κεντρική διαπίστωση αφορά τη σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων συστημάτων. Η αντιπαράθεση δεν αφορά το ποια τεχνολογία είναι άτρωτη — καμία δεν είναι — αλλά το πόσο γρήγορα και πόσο αξιόπιστα η καθεμία αναφέρει την αστοχία της. Η ενσύρματη ζώνη με τερματική αντίσταση ανιχνεύει ακαριαία τη διακοπή· η ασύρματη συσκευή ανιχνεύεται ως απύσχα μετά την παρέλευση του διαστήματος επιτήρησης, το οποίο κατά το πρότυπο κυμαίνεται από δύο ώρες στη Βαθμίδα 2 έως δέκα δευτερόλεπτα στη Βαθμίδα 4.

Η ποσοτικοποίηση αυτής ακριβώς της διαφοράς, μαζί με τον εντοπισμό του σημείου ισοδυναμίας κόστους μεταξύ των δύο λύσεων, αποτελεί το αντικείμενο των πειραμάτων του Κεφαλαίου 8.

Στο επόμενο κεφάλαιο η ανάλυση μετατοπίζεται προς τα έξω, στην περιμετρική προστασία και στον έλεγχο πρόσβασης — δηλαδή στην ανίχνευση πριν ο εισβολέας φτάσει στο κτήριο και στη ρύθμιση του ποιος επιτρέπεται να εισέλθει νόμιμα.

Κεφάλαιο 4ο: Περιμετρική προστασία και έλεγχος πρόσβασης

4.1 Εισαγωγή

Τα δύο προηγούμενα κεφάλαια εξέτασαν συστήματα που λειτουργούν κατά κύριο λόγο εντός του κτηρίου. Το παρόν κεφάλαιο μετατοπίζει την ανάλυση προς τα έξω, σε δύο κατευθύνσεις που φαίνονται διαφορετικές αλλά υπηρετούν συμπληρωματικούς σκοπούς.

Η **περιμετρική προστασία** επιδιώκει την ανίχνευση του εισβολέα προτού αυτός φτάσει στο κτήριο, μετατοπίζοντας τη γραμμή άμυνας από το κέλυφος στο όριο του οικοπέδου. Ο **έλεγχος πρόσβασης** ρυθμίζει την αντίστροφη περίπτωση: ποιος επιτρέπεται να εισέλθει νόμιμα, τότε και σε ποιους χώρους. Και τα δύο αποκτούν ιδιαίτερη σημασία στην περίπτωση μελέτης της παρούσας εργασίας. Σε ένα συγκρότημα φοιτητικών εστιών, το οικόπεδο είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κτήριο, ενώ ο πληθυσμός των νόμιμων χρηστών ανανεώνεται κάθε ακαδημαϊκό έτος — δύο συνθήκες που καθιστούν την προστασία της περιμέτρου και τη διαχείριση των δικαιωμάτων πρόσβασης κρίσιμες σχεδιαστικές παραμέτρους.

4.2 Η λογική των τριών επιπέδων προστασίας

Η σύγχρονη προσέγγιση της φυσικής ασφάλειας δεν βασίζεται σε μία γραμμή άμυνας αλλά σε διαδοχικά, ανεξάρτητα επίπεδα. Η λογική είναι ότι η αστοχία ενός επιπέδου δεν συνεπάγεται αστοχία του συστήματος, καθώς ο εισβολέας πρέπει να παραβιάσει και τα επόμενα.

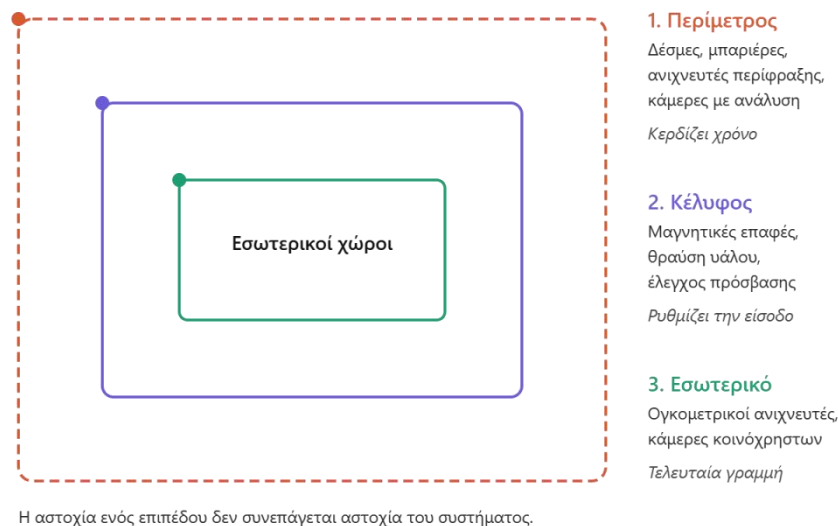
Πρώτο επίπεδο — η περίμετρος του οικοπέδου. Η εξωτερική περιφράξη και ο χώρος πέριξ του κτηρίου. Η ανίχνευση εδώ προσφέρει το πολυτιμότερο αγαθό σε ένα συμβάν ασφαλείας: **χρόνο**. Μεταξύ της παραβίασης της περιφράξης και της προσέγγισης του κτηρίου μεσολαβούν δεκάδες δευτερόλεπτα, τα οποία επιτρέπουν επαλήθευση του συμβάντος, ειδοποίηση και κινητοποίηση.

Δεύτερο επίπεδο — το κέλυφος του κτηρίου. Θύρες, παράθυρα, φεγγίτες και κάθε άνοιγμα.

Προστατεύεται με μαγνητικές επαφές, ανιχνευτές θραύσης υάλου και ανιχνευτές κουρτίνας.

Τρίτο επίπεδο — οι εσωτερικοί χώροι. Ογκομετρική κάλυψη διαδρόμων και κρίσιμων χώρων με παθητικούς υπέρυθρους ανιχνευτές, καθώς και προστασία συγκεκριμένων αντικειμένων.

Η προσθήκη του πρώτου επιπέδου είναι αυτή που διαφοροποιεί έναν στοιχειώδη από έναν ολοκληρωμένο σχεδιασμό. Χωρίς αυτό, το σύστημα ενημερώνεται μόνο τη στιγμή που ο εισβολέας ήδη επιχειρεί να εισέλθει.



Σχήμα 4.1: Τα τρία επίπεδα προστασίας μιας κτηριακής εγκατάστασης

4.3 Τεχνολογίες περιμετρικής ανίχνευσης

4.3.1 Δέσμες υπερύθρων

Η πλέον διαδεδομένη λύση περιμετρικής ανίχνευσης αποτελείται από ζεύγος στηλών, εκ των οποίων η μία φέρει πομπούς και η άλλη δέκτες υπερύθρων. Μεταξύ τους σχηματίζονται δύο έως οκτώ παράλληλες δέσμες σε διαφορετικά ύψη, και η διακοπή τους ενεργοποιεί συναγερμό.

Δύο παράμετροι καθορίζουν την απόδοση της διάταξης και ρυθμίζονται κατά την εγκατάσταση.

Η **λογική σύζευξη των δεσμών** ορίζει πόσες δέσμες πρέπει να διακοπούν ταυτόχρονα. Η απαίτηση ταυτόχρονης διακοπής δύο ή περισσότερων δεσμών αποκλείει τα πουλιά και τα πεσμένα φύλλα, καθώς αυτά διακόπτουν μία μόνο δέσμη.

Ο **χρόνος διακοπής** ορίζει πόσο πρέπει να παραμείνει διακομμένη η δέσμη ώστε να θεωρηθεί συμβάν. Πολύ μικρή τιμή προκαλεί ψευδείς συναγερμούς από στιγμιαία εμπόδια· πολύ μεγάλη επιτρέπει σε γρήγορα κινούμενο άτομο να διασχίσει χωρίς ανίχνευση. Η ρύθμιση αυτή αποτελεί χαρακτηριστικό

παράδειγμα του συμβιβασμού μεταξύ πιθανότητας ανίχνευσης και ρυθμού ψευδών συναγερμών, και μετράται πειραματικά στο Κεφάλαιο 8.

Το βασικό μειονέκτημα της τεχνολογίας είναι η ευαισθησία σε ομίχλη, πυκνή βροχή και χιόνι, τα οποία εξασθενούν την υπέρυθρη δέσμη.

4.3.2 Μικροκυματικές μπαριέρες

Λειτουργούν με ανάλογη λογική, χρησιμοποιώντας όμως μικροκυματική δέσμη αντί υπέρυθρης. Δημιουργούν ελλειψοειδές πεδίο ανίχνευσης μεταξύ πομπού και δέκτη, το οποίο διαταράσσεται από τη διέλευση αντικειμένου.

Πλεονεκτούν σε εμβέλεια και σε ανοχή στις καιρικές συνθήκες, καθώς τα μικροκύματα δεν εξασθενούν σημαντικά από ομίχλη ή βροχή. Απαιτούν όμως ελεύθερη ζώνη χωρίς βλάστηση κατά μήκος της διαδρομής και έχουν υψηλότερο κόστος.

4.3.3 Ανιχνευτές επί της περιφράξης

Τοποθετούνται απευθείας πάνω στο υλικό της περίφραξης και ανιχνεύουν τις μηχανικές δονήσεις που παράγει η προσπάθεια αναρρίχησης ή κοπής. Διακρίνονται σε μεμονωμένους αισθητήρες δόνησης, οι οποίοι καλύπτουν τμήμα της περιφράξης, και σε αισθητήριο καλώδιο που εκτείνεται σε ολόκληρο το μήκος.

Το πλεονέκτημά τους είναι ότι ανιχνεύουν την **επίθεση στην ίδια την περίφραξη**, κάτι που οι δέσμες δεν κάνουν: ένας εισβολέας που κόβει το συρματοπλέγμα και περνά χαμηλά μπορεί να μη διακάνει καμία δέσμη. Το μειονέκτημα είναι η ευαισθησία στον άνεμο, ιδίως σε περιφράξεις με χαλαρή στερέωση.

4.3.4 Ανιχνευτές εξωτερικού χώρου

Πρόκειται για ανιχνευτές διπλής τεχνολογίας ειδικά σχεδιασμένους για υπαίθρια λειτουργία, με ενισχυμένη προστασία από τις καιρικές συνθήκες και λογική ανοσίας σε ζώα. Καλύπτουν περιοχή αντί για γραμμή, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος — μια είσοδο, έναν χώρο στάθμευσης — παρά για εκτεταμένη περίμετρο.

Παρουσιάζουν τον υψηλότερο ρυθμό ψευδών συναγερμών από όλες τις κατηγορίες, λόγω της έκθεσής τους σε ηλιακή ακτινοβολία, ρεύματα αέρα και μικρά ζώα.

4.3.5 Θερμικές κάμερες

Ανιχνεύουν τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπουν τα σώματα, χωρίς εξάρτηση από τον ορατό φωτισμό. Λειτουργούν εξίσου αποτελεσματικά σε πλήρες σκότος, σε ομίχλη και σε αντίξοες συνθήκες, και όταν συνδυάζονται με αλγορίθμους ανάλυσης παρουσιάζουν τον χαμηλότερο ρυθμό ψευδών συναγερμών.

Το εμπόδιο είναι το κόστος, το οποίο παραμένει πολλαπλάσιο των οπτικών καμερών. Αποτελούν επιλογή για εγκαταστάσεις υψηλής κρισιμότητας ή για περιμέτρους μεγάλου μήκους, όπου η εναλλακτική θα απαιτούσε πολλαπλές συσκευές άλλων τεχνολογιών.

4.3.6 Ανάλυση βίντεο σε οπτικές κάμερες

Η τεχνολογία που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2 μπορεί να λειτουργήσει και ως μέσο περιμετρικής ανίχνευσης. Κανόνες διάβασης γραμμής ή εισβολής σε περιοχή, σε συνδυασμό με ταξινόμηση αντικειμένου, μετατρέπουν μια κάμερα σε περιμετρικό ανιχνευτή.

Η προσέγγιση αυτή έχει τρία πλεονεκτήματα. Είναι **οικονομική**, καθώς αξιοποιεί εξοπλισμό που ήδη απαιτείται για τη βιντεοεπιτήρηση. Είναι **διακριτική**, καθώς δεν προδίδει τη θέση των ορίων

ανίχνευσης όπως οι εμφανείς στήλες δεσμών. Και παρέχει **εγγενή οπτική επαλήθευση**, αφού το συμβάν συνοδεύεται εξ ορισμού από εικόνα.

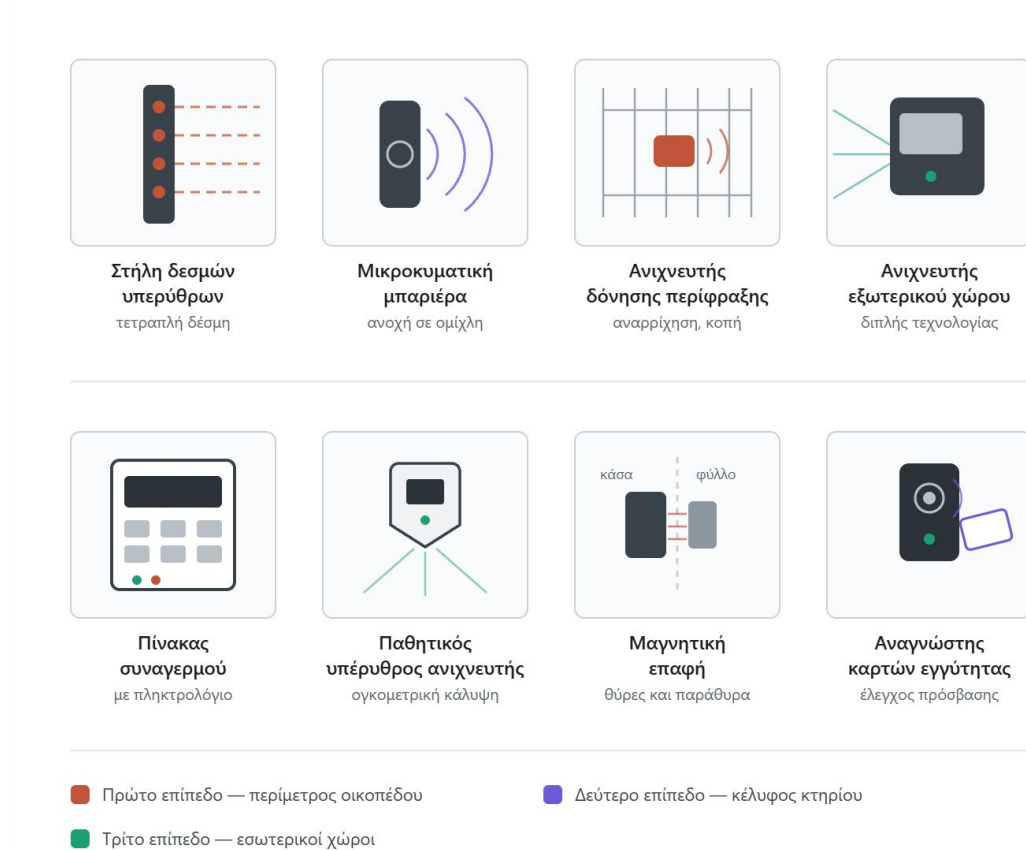
Ο περιορισμός της είναι η εξάρτηση από τον φωτισμό και η μικρότερη αξιόπιστη εμβέλεια σε σύγκριση με τις εξειδικευμένες περιμετρικές τεχνολογίες.

4.3.7 Συγκριτική αξιολόγηση

Η επιλογή τεχνολογίας δεν γίνεται με κριτήριο την απόλυτη απόδοση αλλά με βάση τη γεωμετρία του χώρου, τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, το επίπεδο κινδύνου και τον διαθέσιμο προϋπολογισμό. Οι τιμές εμβέλειας είναι ενδεικτικές και εξαρτώνται από το συγκεκριμένο μοντέλο και τις συνθήκες εγκατάστασης.

Πίνακας 4.1: Συγκριτική αξιολόγηση τεχνολογιών περιμετρικής ανίχνευσης

Τεχνολογία	Κόστος	Τυπική εμβέλεια	Ψευδείς συναγερμοί	Επίδραση καιρού	Διακριτικότητα
Δέσμες υπερύθρων	Χαμηλό	30–100 m	Μέτριοι	Ομίχλη, χιόνι, πυκνή βροχή	Εμφανείς στήλες
Μικροκυματικές μπαριέρες	Μεσαίο	50–200 m	Χαμηλοί	Περιορισμένη	Εμφανείς στήλες
Ανιχνευτές περιφραξής	Μεσαίο	Ανά τμήμα	Μέτριοι έως υψηλοί	Άνεμος	Ορατοί επί της περιφραξής
Ανιχνευτές εξωτερικού χώρου	Χαμηλό	12–15 m	Υψηλοί	Ήλιος, βροχή	Ορατοί
Θερμικές κάμερες με ανάλυση	Υψηλό	50–300 m	Πολύ χαμηλοί	Ελάχιστη	Διακριτικές
Οπτικές κάμερες με ανάλυση	Χαμηλό έως μεσαίο	20–40 m	Χαμηλοί	Εξάρτηση από φωτισμό	Διακριτικές



Σχήμα 4.2: Τυπικές συσκευές περιμετρικής προστασίας, ανίχνευσης εισβολής και ελέγχου πρόσβασης

4.4 Τοποθέτηση καμερών σε περίφραξη

Η μελέτη της τοποθέτησης καμερών κατά μήκος περίφραξης διέπεται από παραμέτρους που στην πράξη καθορίζουν αν η εγκατάσταση θα αποδώσει ή θα αποτελέσει δαπάνη χωρίς αντίκρισμα.

4.4.1 Ύψος τοποθέτησης

Το ύψος αποτελεί συμβιβασμό μεταξύ δύο αντικρουόμενων απαιτήσεων. Χαμηλή τοποθέτηση, κάτω από 2,5 m, καθιστά την κάμερα προσβάσιμη σε βανδαλισμό ή απόφραξη. Υψηλή τοποθέτηση, πάνω από 4 m, οδηγεί σε απότομη γωνία λήψης όπου η κάμερα καταγράφει κυρίως την κορυφή της κεφαλής και τους ώμους, καθιστώντας την αναγνώριση προσώπου πρακτικά αδύνατη. Το εύρος 2,5 έως 4 m αποτελεί τη συνήθη λύση, με το ακριβές ύψος να καθορίζεται από την απόσταση του στόχου.

4.4.2 Γωνία λήψης

Ο κανόνας που διέπει την αναγνώριση προσώπου είναι ότι η γωνία κλίσης της κάμερας ως προς το οριζόντιο επίπεδο δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τριάντα μοίρες. Πέραν αυτού, το πρόσωπο δεν είναι επαρκώς ορατό ανεξάρτητα από την πυκνότητα εικονοστοιχείων — η κάμερα μπορεί να ικανοποιεί το κριτήριο των 250 px/m και να παραμένει ακατάλληλη για ταυτοποίηση.

Η διαπίστωση αυτή αναδεικνύει έναν περιορισμό του προτύπου DORI: η πυκνότητα εικονοστοιχείων είναι αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη.

4.4.3 Προσανατολισμός

Δύο στρατηγικές τοποθέτησης εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς.

Η **παράλληλη προς την περίφραξη** τοποθέτηση δημιουργεί επίμηκες οπτικό πεδίο κατά μήκος του ορίου. Μία κάμερα καλύπτει μεγάλο μήκος περίφραξης, με σκοπό την ανίχνευση παρουσίας. Η αναγνώριση προσώπου δεν είναι εφικτή, καθώς το άτομο κινείται εγκάρσια προς τον άξονα λήψης.

Η **κάθετη προς τη διαδρομή διέλευσης** τοποθέτηση εφαρμόζεται σε σημεία υποχρεωτικής διέλευσης — πύλες, θύρες, στενωποί. Ο στόχος πλησιάζει μετωπικά την κάμερα, καθιστώντας εφικτή την ταυτοποίηση.

Ένας ορθολογικός σχεδιασμός συνδυάζει τις δύο: παράλληλη κάλυψη για ανίχνευση κατά μήκος της περιμέτρου, μετωπικές κάμερες στα σημεία εισόδου για ταυτοποίηση.

4.4.4 Φωτισμός και προσανατολισμός ως προς τον ήλιο

Κάμερα στραμμένη προς την ανατολή ή τη δύση θα υφίσταται έντονο κόντρα φως σε συγκεκριμένες ώρες, με αποτέλεσμα την πλήρη απώλεια χρήσιμης εικόνας ακριβώς στις ώρες αυξημένης κίνησης. Ο έλεγχος του ηλιακού προσανατολισμού πρέπει να αποτελεί μέρος της μελέτης και όχι διαπίστωση της εγκατάστασης.

Αντίστοιχα, η δηλωμένη εμβέλεια υπέρυθρου φωτισμού αναφέρεται σε ανάκλαση από επιφάνεια υπό ιδανικές συνθήκες. Σε ανοιχτό χώρο χωρίς ανακλαστικές επιφάνειες, η χρήσιμη εμβέλεια είναι σημαντικά μικρότερη.

4.4.5 Στήριξη και μηχανική σταθερότητα

Κάμερα τοποθετημένη σε ιστό υπόκειται σε ταλάντωση από τον άνεμο. Η ταλάντωση αυτή, ακόμη και μικρού πλάτους, ερμηνεύεται από τους αλγορίθμους ανίχνευσης ως κίνηση ολόκληρης της σκηνής και προκαλεί συνεχείς ψευδείς συναγερμούς.

Πρόκειται για πρόβλημα ευρέως γνωστό στον κλάδο και σπανίως τεκμηριωμένο ποσοτικά. Η ποσοτικοποίησή του περιλαμβάνεται στα πειράματα του Κεφαλαίου 8.

4.4.6 Ηλεκτρολογική προστασία

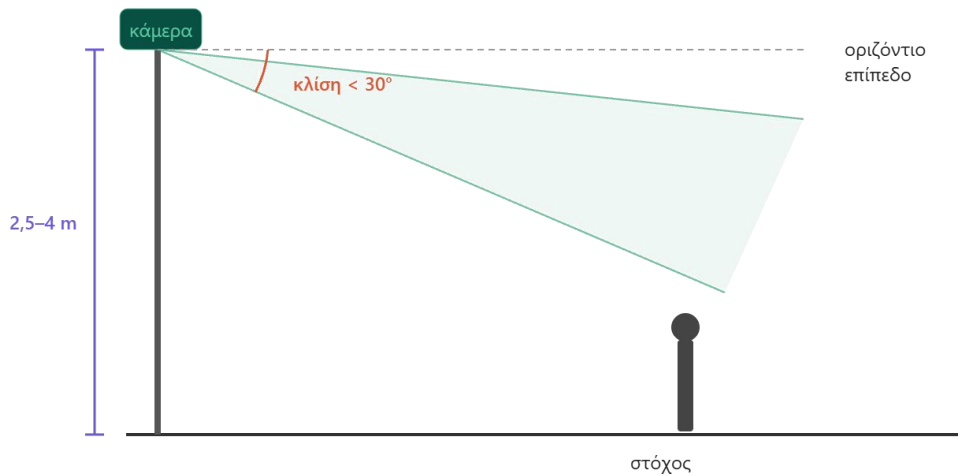
Οι εξωτερικές κάμερες, ιδίως όσες τοποθετούνται σε ιστούς, εκτίθενται σε υπερτάσεις από κεραυνικά πλήγματα και μεταβατικά φαινόμενα. Η προστασία επιτυγχάνεται με διατάξεις καταστολής υπερτάσεων στη γραμμή δεδομένων και τροφοδοσίας, καθώς και με σωστή γείωση των ιστών.

Για αποστάσεις που υπερβαίνουν το όριο των εκατό μέτρων του χαλκού, απαιτείται οπτική ίνα ή ενδιάμεσος μεταγωγέας. Η δεύτερη λύση εισάγει σημείο αστοχίας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

4.4.7 Νομικός περιορισμός του οπτικού πεδίου

Το οπτικό πεδίο των καμερών περιορίζεται από τη νομοθεσία για την προστασία προσωπικών δεδομένων: η κάλυψη δεν επιτρέπεται να εκτείνεται σε δημόσιο δρόμο, πεζοδρόμιο ή γειτονική ιδιοκτησία. Το ζήτημα αναλύεται στο Κεφάλαιο 6, αναφέρεται όμως εδώ επειδή αποτελεί **σχεδιαστικό περιορισμό** και όχι μεταγενέστερη συμμόρφωση.

Ο τεχνικός τρόπος αντιμετώπισης είναι η απόκρυψη περιοχών, με την οποία τμήματα του κάδρου καλύπτονται μόνιμα. Ο ορθότερος τρόπος είναι η εξαρχής επιλογή θέσης και εστιακής απόστασης ώστε να μην απαιτείται απόκρυψη.



Χαμηλότερα από 2,5 m: εκτεθειμένη σε βανδαλισμό. Ψηλότερα από 4 m: χάνεται η αναγνώριση προσώπου.

Σχήμα 4.3: Παράμετροι τοποθέτησης καμερών σε περίφραξη

4.5 Οπτική επαλήθευση και συνδυαστική λογική

Η αξία της ενοποίησης των υποσυστημάτων γίνεται σαφέστερη στην περίμετρο από οπουδήποτε αλλού.

Ένα τυπικό σενάριο συνδυαστικής λειτουργίας εκτυλίσσεται ως εξής: η διακοπή δέσμης στην περίμετρο ενεργοποιεί συναγερμό ζώνης· ο πίνακας μεταδίδει το συμβάν στην πλατφόρμα διαχείρισης· η πλατφόρμα στρέφει την κάμερα μεταβλητής θέασης στην προκαθορισμένη θέση που αντιστοιχεί στη ζώνη· ταυτόχρονα ενεργοποιείται καταγραφή υψηλής ανάλυσης και αποστέλλεται ειδοποίηση με στιγμιότυπο.

Το αποτέλεσμα είναι διπλό. Ο ρυθμός ψευδών συναγερμών **δεν μειώνεται** — η δέσμη εξακολουθεί να διακόπτεται από τον σκύλο — αλλά ο χρόνος αξιολόγησης του συμβάντος μειώνεται δραστικά, καθώς ο χρήστης βλέπει την εικόνα και αποφασίζει σε δευτερόλεπτα.

Η διάκριση αυτή έχει σημασία και πρέπει να διατυπώνεται με ακρίβεια: η οπτική επαλήθευση δεν βελτιώνει την ανίχνευση, βελτιώνει την **απόκριση**.

4.6 Συστήματα ελέγχου πρόσβασης

4.6.1 Θεμελιώδεις έννοιες

Κάθε σύστημα ελέγχου πρόσβασης υλοποιεί τρεις διακριτές λειτουργίες, οι οποίες συχνά συγχέονται. Η **ταυτοποίηση** απαντά στο ερώτημα ποιος επιχειρεί να εισέλθει, μέσω κάρτας, κωδικού ή βιομετρικού χαρακτηριστικού.

Η **εξουσιοδότηση** απαντά στο ερώτημα αν το συγκεκριμένο πρόσωπο δικαιούται πρόσβαση στη συγκεκριμένη θύρα τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Η **καταγραφή** διατηρεί αρχείο των συμβάντων, το οποίο αποτελεί συχνά την πραγματική αξία του συστήματος: όχι η αποτροπή, αλλά η δυνατότητα να τεκμηριωθεί εκ των υστέρων ποιος βρισκόταν πού και πότε.

4.6.2 Τεχνολογίες ταυτοποίησης

Η επιλογή τεχνολογίας καθορίζει ταυτόχρονα το επίπεδο ασφάλειας, την ταχύτητα διέλευσης, το κόστος και την ευκολία διαχείρισης.

Πίνακας 4.2: Σύγκριση τεχνολογιών ταυτοποίησης σε συστήματα ελέγχου πρόσβασης

Τεχνολογία	Ασφάλεια	Ταχύτητα	Κόστος	Βασικό μειονέκτημα
Κάρτα εγγύτητας 125 kHz	Πολύ χαμηλή	Υψηλή	Πολύ χαμηλό	Αντιγράφεται με φθηνή συσκευή
Κάρτα 13,56 MHz παλαιού τύπου	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλό	Ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης έχει παραβιαστεί
Κάρτα 13,56 MHz με AES	Υψηλή	Υψηλή	Μεσαίο	Απαιτεί συμβατούς αναγνώστες
Αριθμητικός κωδικός	Χαμηλή	Χαμηλή	Πολύ χαμηλό	Διαδίδεται μεταξύ χρηστών
Δακτυλικό αποτύπωμα	Υψηλή	Μεσαία	Μεσαίο	Επηρεάζεται από ρύπους και υγρασία
Αναγνώριση προσώπου	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλό	Ζητήματα προστασίας δεδομένων
Διαπιστευτήριο σε κινητό	Υψηλή	Υψηλή	Μεσαίο	Εξάρτηση από τη συσκευή του χρήστη

Αυτός ο πίνακας τεκμηριώνει την επιλογή καρτών με AES και την απόρριψη των βιομετρικών στην §7.7.

4.6.3 Τοπολογίες συστήματος

Τα **αυτόνομα** συστήματα ενσωματώνουν αναγνώστη, λογική και μνήμη σε μία συσκευή στη θύρα. Είναι οικονομικά και απλά, αλλά η διαχείριση γίνεται τοπικά σε κάθε σημείο και δεν υπάρχει κεντρικό αρχείο συμβάντων. Καθίστανται μη διαχειρίσιμα πέραν ελάχιστων θυρών.

Τα συστήματα με **κεντρικό ελεγκτή** διαχωρίζουν τον αναγνώστη από τη λογική. Ο ελεγκτής, εγκατεστημένος σε προστατευμένο χώρο, λαμβάνει το διαπιστευτήριο, αποφασίζει και ενεργοποιεί το κλείθρο. Η αρχιτεκτονική αυτή είναι και ασφαλέστερη: ο αναγνώστης στην εξωτερική πλευρά της θύρας δεν περιέχει τη λογική απόφασης, οπότε η αφαίρεσή του δεν ανοίγει τη θύρα.

Τα **δικτυακά** συστήματα συνδέουν τους ελεγκτές σε κοινή πλατφόρμα, επιτρέποντας ενιαία διαχείριση χρηστών και δικαιωμάτων. Αποτελούν τη μόνη ρεαλιστική επιλογή για εγκατάσταση με πολλαπλά σημεία και μεταβαλλόμενο πληθυσμό χρηστών.

4.6.4 Ηλεκτρομηχανικά κλείθρα

Η επιλογή του κλείθρου καθορίζει τη συμπεριφορά της θύρας σε διακοπή ρεύματος, ζήτημα με άμεσες συνέπειες για την ασφάλεια των χρηστών.

Ένα κλείθρο **ασφαλούς αστοχίας** απασφαλίζει όταν διακοπεί η τροφοδοσία. Ο ηλεκτρομαγνήτης ανήκει σε αυτή την κατηγορία: συγκρατεί τη θύρα όσο τροφοδοτείται και την ελευθερώνει μόλις πάψει.

Ένα κλείθρο **ασφαλούς κλειδώματος** παραμένει κλειδωμένο σε διακοπή ρεύματος.

Η επιλογή δεν είναι τεχνική προτίμηση αλλά απαίτηση: κάθε θύρα που αποτελεί οδό διαφυγής πρέπει υποχρεωτικά να απασφαλίζει σε διακοπή ρεύματος ή σε συναγερμό πυρκαγιάς. Θύρα που παραμένει κλειδωμένη κατά την εκκένωση συνιστά κίνδυνο για τη ζωή.

4.6.5 Λειτουργίες ελέγχου

Πέραν της βασικής λειτουργίας, τα συστήματα υλοποιούν μηχανισμούς που αντιμετωπίζουν συγκεκριμένες αδυναμίες.

Οι **χρονικές ζώνες** περιορίζουν τα δικαιώματα σε συγκεκριμένα ωράρια. Ένα συνεργείο καθαρισμού με πρόσβαση μόνο πρωινές ώρες αποτελεί ουσιωδώς μικρότερο κίνδυνο από ένα με πρόσβαση εικοσιτετράωρη.

Τα **επίπεδα πρόσβασης** αντιστοιχίζουν ομάδες χρηστών σε ομάδες θυρών, επιτρέποντας τη διαχείριση με βάση τον ρόλο και όχι το άτομο.

Ο **έλεγχος διαδοχής** αποτρέπει τη χρήση του ίδιου διαπιστευτηρίου για δεύτερη είσοδο χωρίς προηγούμενη καταγεγραμμένη έξοδο. Αντιμετωπίζει την πρακτική της παράδοσης κάρτας σε τρίτο μέσω παραθύρου ή φράχτη.

Ο **αλληλοκλειδωμένος θάλαμος** επιτρέπει το άνοιγμα της δεύτερης θύρας μόνο αφού κλείσει η πρώτη, εξαλείφοντας τη συνοδευόμενη είσοδο σε χώρους υψηλής ασφάλειας.

4.6.6 Ασφάλεια διαπιστευτηρίων

Η ασφάλεια ενός συστήματος ελέγχου πρόσβασης καθορίζεται από το ασθενέστερο σημείο της αλυσίδας, το οποίο συνήθως δεν είναι το λογισμικό αλλά η κάρτα.

Οι κάρτες εγγύτητας χαμηλής συχνότητας δεν διαθέτουν κρυπτογράφηση και μεταδίδουν σταθερό αναγνωριστικό. Η αντιγραφή τους απαιτεί μόνο φυσική εγγύτητα και συσκευή ελάχιστου κόστους.

Οι κάρτες υψηλής συχνότητας παλαιού τύπου διαθέτουν κρυπτογράφηση, ο αλγόριθμος της οποίας όμως έχει παραβιαστεί εδώ και χρόνια και η ανάκτηση των κλειδιών είναι εφικτή με ευρέως διαθέσιμα εργαλεία.

Οι σύγχρονες κάρτες με κρυπτογράφηση AES και αμοιβαία πιστοποίηση αποτελούν τη μόνη επιλογή που ανταποκρίνεται στις σημερινές απαιτήσεις. Το κόστος τους είναι υψηλότερο, αλλά η διαφορά είναι αμελητέα σε σχέση με το συνολικό κόστος της εγκατάστασης.

Παράλληλα, το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ αναγνώστη και ελεγκτή αποτελεί ξεχωριστό σημείο ευπάθειας. Τα παλαιά μονόδρομα πρωτόκολλα μεταδίδουν το αναγνωριστικό χωρίς κρυπτογράφηση, επιτρέποντας την υποκλοπή του με παρεμβολή συσκευής στο καλώδιο. Τα σύγχρονα αμφίδρομα πρωτόκολλα με κρυπτογράφηση αντιμετωπίζουν το πρόβλημα και επιτρέπουν επιπλέον την επιτήρηση της γραμμής.

4.6.7 Ιδιαιτερότητες φοιτητικών εστιών

Η εφαρμογή ελέγχου πρόσβασης σε φοιτητικές εστίες παρουσιάζει χαρακτηριστικά που τη διαφοροποιούν από τυπικές εγκαταστάσεις.

Ο **πληθυσμός των χρηστών ανανεώνεται ετησίως** σε σημαντικό ποσοστό, καθιστώντας τη μαζική διαχείριση διαπιστευτηρίων λειτουργική απαίτηση και όχι ευκολία. Η δυνατότητα ακύρωσης χαμένης κάρτας και έκδοσης νέας εντός λεπτών αποτελεί κρίσιμο κριτήριο επιλογής πλατφόρμας.

Η **συνοδευόμενη είσοδος** είναι κοινωνικά αναπόφευκτη σε τέτοιο περιβάλλον· κανείς δεν κλείνει τη θύρα στον διπλανό του. Ο τεχνικός έλεγχος έχει περιορισμένη αποτελεσματικότητα, γεγονός που καθιστά τη βιντεοεπιτήρηση των εισόδων απαραίτητο συμπλήρωμα και όχι εναλλακτική.

Η **ισορροπία ασφάλειας και ιδιωτικότητας** είναι λεπτότερη από αλλού, καθώς οι εστίες αποτελούν κατοικία και όχι χώρο εργασίας. Η καταγραφή κινήσεων σε κοινόχρηστους χώρους είναι θεμιτή· η παρακολούθηση των μετακινήσεων μεμονωμένων ενοίκων εγείρει σοβαρά ζητήματα, τα οποία εξετάζονται στο Κεφάλαιο 6.

4.7 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάστηκαν δύο συμπληρωματικές όψεις της προστασίας ενός συγκροτήματος: η ανίχνευση του μη εξουσιοδοτημένου και η ρύθμιση της πρόσβασης του εξουσιοδοτημένου.

Ως προς την περιμετρική προστασία, η κεντρική διαπίστωση είναι ότι η αξία της δεν έγκειται στην αποτροπή αλλά στον **χρόνο** που εξασφαλίζει. Καμία από τις τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν δεν εμποδίζει την είσοδο· όλες μετακινούν τη στιγμή της ανίχνευσης νωρίτερα, μετατρέποντας μια αντίδραση εκ των υστέρων σε δυνατότητα παρέμβασης.

Ως προς τον έλεγχο πρόσβασης, η αντίστοιχη διαπίστωση είναι ότι η ασφάλεια καθορίζεται από το ασθενέστερο κρίκο της αλυσίδας — συνήθως το ίδιο το διαπιστευτήριο και το πρωτόκολλο μετάδοσής του, όχι το λογισμικό διαχείρισης.

Και για τα δύο υποσυστήματα αναδείχθηκε η ίδια αρχή που διατρέχει την εργασία: η αξία προκύπτει από τη συνεργασία των υποσυστημάτων. Η δέσμη που ενεργοποιεί την κάμερα, η κάμερα που τεκμηριώνει τη συνοδευόμενη είσοδο την οποία ο έλεγχος πρόσβασης δεν μπορεί να αποτρέψει. Στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζεται η δικτυακή υποδομή που καθιστά αυτή τη συνεργασία τεχνικά εφικτή.

Κεφάλαιο 5ο: Δίκτυα και απομακρυσμένη πρόσβαση

5.1 Εισαγωγή

Η μετάβαση των συστημάτων ασφαλείας από την αναλογική στη δικτυακή αρχιτεκτονική, η οποία περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 2, δεν αποτελεί απλή αλλαγή μέσου μετάδοσης. Μετατρέπει κάθε κάμερα, κάθε πίνακα συναγερμού και κάθε ελεγκτή πρόσβασης σε κόμβο δικτύου με διεύθυνση, θύρες και υπηρεσίες — δηλαδή σε συσκευή που υπακούει στους ίδιους κανόνες και υφίσταται τις ίδιες ευπάθειες με οποιονδήποτε άλλο υπολογιστή.

Το κεφάλαιο αυτό αναπτύσσει το δικτυακό υπόβαθρο που καθιστά εφικτή τη λειτουργία και την απομακρυσμένη διαχείριση ενός σύγχρονου συστήματος ασφαλείας. Η ανάπτυξη ξεκινά από τη διευθυνσιοδότηση και τη μετάφραση διευθύνσεων, εξηγεί γιατί η απομακρυσμένη πρόσβαση αποτελεί τεχνικό πρόβλημα και όχι αυτονόητη δυνατότητα, και συγκρίνει τις τρεις μεθόδους επίλυσής του ως προς την απόδοση και την ασφάλεια. Ακολουθεί η παρουσίαση των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούν ειδικά τα συστήματα βιντεοεπιτήρησης και, τέλος, η σχεδίαση του τοπικού δικτύου της εγκατάστασης. Η ανάλυση αυτή απαντά στο πέμπτο ερευνητικό ερώτημα της εργασίας και θεμελιώνει τις μετρήσεις καθυστέρησης και εύρους ζώνης του Κεφαλαίου 8.

5.2 Θεμελιώδεις έννοιες

5.2.1 Το μοντέλο TCP/IP

Η επικοινωνία στα σύγχρονα δίκτυα οργανώνεται σε επίπεδα, καθένα από τα οποία παρέχει υπηρεσίες στο ανώτερό του και αποκρύπτει τις λεπτομέρειες της υλοποίησής του.

Το **επίπεδο πρόσβασης δικτύου** αφορά τη μετάδοση επί του φυσικού μέσου — στην περίπτωση μιας εγκατάστασης βιντεοεπιτήρησης, το πρότυπο Ethernet πάνω από καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών.

Το **επίπεδο διαδικτύου** υλοποιεί τη λογική διευθυνσιοδότηση και τη δρομολόγηση μέσω του πρωτοκόλλου IP. Εδώ αποφασίζεται πώς ένα πακέτο φτάνει από την κάμερα στο καταγραφικό ή στον απομακρυσμένο χρήστη.

Το **επίπεδο μεταφοράς** διαχειρίζεται τη ροή μεταξύ εφαρμογών, με τα πρωτόκολλα TCP και UDP. Η διάκρισή τους έχει άμεση σημασία για τη βιντεοεπιτήρηση: το TCP εγγυάται την παράδοση κάθε πακέτου αλλά εισάγει καθυστέρηση λόγω των επαναμεταδόσεων, ενώ το UDP δεν εγγυάται παράδοση αλλά μεταδίδει με ελάχιστη καθυστέρηση. Για ζωντανή εικόνα, η απώλεια μερικών καρέ είναι προτιμότερη από την καθυστέρηση ολόκληρης της ροής· για την ανάκτηση καταγεγραμμένου υλικού ισχύει το αντίστροφο.

Το **επίπεδο εφαρμογής** περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν οι ίδιες οι συσκευές, τα οποία αναλύονται στην §5.7.

5.2.2 Θύρες και υπηρεσίες

Κάθε συσκευή του συστήματος εκθέτει υπηρεσίες σε συγκεκριμένες θύρες. Μια τυπική δικτυακή κάμερα ή ένα καταγραφικό εκθέτει διεπαφή διαχείρισης μέσω προγράμματος περιήγησης, υπηρεσία ροής βίντεο και ιδιοταγή θύρα υπηρεσίας για την επικοινωνία με το λογισμικό του κατασκευαστή.

Η γνώση των θυρών αυτών είναι απαραίτητη τόσο για τη διαμόρφωση της απομακρυσμένης πρόσβασης όσο και για την κατανόηση της επιφάνειας επίθεσης: κάθε θύρα εκτεθειμένη στο διαδίκτυο αποτελεί σημείο που μπορεί να ανιχνευθεί και να δεχθεί επίθεση.

5.3 Διευθυνσιοδότηση IPv4

5.3.1 Δομή και μάσκα υποδικτύου

Μια διεύθυνση IPv4 αποτελείται από 32 δυαδικά ψηφία, τα οποία παριστάνονται ως τέσσερις δεκαδικοί αριθμοί από 0 έως 255. Η διεύθυνση διαχωρίζεται σε τμήμα δικτύου και τμήμα υπολογιστή μέσω της μάσκας υποδικτύου.

Ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων διευθύνσεων για συσκευές σε ένα υποδίκτυο δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Διαθέσιμες διευθύνσεις} = 2^h - 2 \quad (5.1)$$

όπου h το πλήθος των δυαδικών ψηφίων που αντιστοιχούν στο τμήμα υπολογιστή. Η αφαίρεση των δύο οφείλεται στη δέσμευση της πρώτης διεύθυνσης για την ταυτοποίηση του δικτύου και της τελευταίας για την εκπομπή προς όλους.

Για μια εγκατάσταση με είκοσι κάμερες, ένα καταγραφικό, δύο μεταγωγείς και δύο σταθμούς διαχείρισης, ένα υποδίκτυο με οκτώ δυαδικά ψηφία στο τμήμα υπολογιστή παρέχει 254 διαθέσιμες διευθύνσεις — υπεραρκετές, με περιθώριο για μελλοντική επέκταση.

5.3.2 Ιδιωτικές διευθύνσεις

Το πρότυπο RFC 1918 δεσμεύει τρία εύρη διευθύνσεων για αποκλειστική χρήση σε ιδιωτικά δίκτυα. Οι διευθύνσεις αυτές δεν δρομολογούνται στο δημόσιο διαδίκτυο και μπορούν να χρησιμοποιούνται ελεύθερα και επαναλαμβανόμενα σε κάθε εγκατάσταση.

Πίνακας 5.1: Εύρη ιδιωτικών διευθύνσεων κατά RFC 1918

Εύρος	Μάσκα	Πλήθος διευθύνσεων	Τυπική χρήση
10.0.0.0 – 10.255.255.255	/8	~16,7 εκατομμύρια	Μεγάλα εταιρικά δίκτυα
172.16.0.0 – 172.31.255.255	/12	~1 εκατομμύριο	Μεσαία δίκτυα
192.168.0.0 – 192.168.255.255	/16	65.536	Οικιακά και μικρά δίκτυα

Πηγή: RFC 1918. Στη βιβλιογραφία μπαίνει ως K5-1.

Η χρήση ιδιωτικών διευθύνσεων στο εσωτερικό δίκτυο μιας εγκατάστασης ασφαλείας είναι ο κανόνας. Η συνέπεια όμως είναι θεμελιώδης και αποτελεί τη ρίζα ολόκληρου του προβλήματος της απομακρυσμένης πρόσβασης: **οι συσκευές αυτές δεν είναι προσβάσιμες από το διαδίκτυο**, επειδή οι διευθύνσεις τους δεν δρομολογούνται.

5.3.3 Δυναμική ή στατική απόδοση διευθύνσεων

Η απόδοση διευθύνσεων μπορεί να γίνεται αυτόματα από εξυπηρετητή DHCP ή χειροκίνητα σε κάθε συσκευή.

Για ένα σύστημα ασφαλείας, η στατική απόδοση είναι η ορθή επιλογή για τις σταθερές συσκευές — κάμερες, καταγραφικό, ελεγκτές. Ο λόγος δεν είναι δογματικός: αν μια κάμερα λάβει διαφορετική διεύθυνση μετά από επανεκκίνηση, οι ρυθμίσεις προώθησης θυρών παύουν να ισχύουν, οι σύνδεσμοι ροής σπάνε και η αντιστοίχιση καναλιών στο καταγραφικό αλλοιώνεται.

Εναλλακτικά, ο δρομολογητής μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να αποδίδει σταθερά την ίδια διεύθυνση σε συγκεκριμένη φυσική διεύθυνση συσκευής, συνδυάζοντας την ευκολία της αυτόματης απόδοσης με τη σταθερότητα της στατικής.

Καλή πρακτική αποτελεί επίσης η **τμηματοποίηση του εύρους διευθύνσεων** κατά κατηγορία συσκευής: ένα εύρος για τις κάμερες, ένα για τον ενεργό εξοπλισμό δικτύου, ένα για τους σταθμούς διαχείρισης. Η οργάνωση αυτή διευκολύνει σημαντικά την αποσφαλμάτωση και τη σύνταξη κανόνων φίλτρησης.

5.4 Το πρωτόκολλο IPv6

Η εξάντληση του διαθέσιμου χώρου διευθύνσεων IPv4 οδήγησε στην ανάπτυξη του IPv6, το οποίο χρησιμοποιεί διευθύνσεις 128 δυαδικών ψηφίων παριστάμενες σε δεκαεξαδική μορφή.

Τρία χαρακτηριστικά του έχουν άμεση σημασία για τα συστήματα ασφαλείας.

Πρώτον, ο **χώρος διευθύνσεων** είναι τόσο εκτεταμένος ώστε η μετάφραση διευθύνσεων καθίσταται περιττή. Κάθε συσκευή μπορεί να διαθέτει δημόσια δρομολογήσιμη διεύθυνση, γεγονός που θεωρητικά καταργεί την ανάγκη για προώθηση θυρών.

Δεύτερον, η **αυτόματη διαμόρφωση** επιτρέπει σε μια συσκευή να αποκτήσει λειτουργική διεύθυνση χωρίς εξυπηρετητή DHCP.

Τρίτον, και κρίσιμότερο για την ασφάλεια, η **απευθείας προσβασιμότητα** κάθε συσκευής σημαίνει ότι η προστασία που παρείχε ακούσια η μετάφραση διευθύνσεων παύει να υφίσταται. Σε δίκτυο IPv6, μια κάμερα με προεπιλεγμένα διαπιστευτήρια είναι απευθείας προσβάσιμη από οπουδήποτε, εκτός αν υπάρχει ρητός κανόνας τείχους προστασίας.

Στην πράξη, η υιοθέτηση του IPv6 στα συστήματα ασφαλείας παραμένει περιορισμένη. Οι περισσότερες συσκευές το υποστηρίζουν, αλλά οι εγκαταστάσεις εξακολουθούν να λειτουργούν σε IPv4 λόγω της ευρύτερης συμβατότητας των εργαλείων διαχείρισης. Η μετάβαση γίνεται συνήθως με λειτουργία διπλής στοίβας, όπου οι συσκευές υποστηρίζουν ταυτόχρονα και τα δύο πρωτόκολλα.

5.5 Μετάφραση διευθύνσεων

5.5.1 Η λειτουργία NAT

Η μετάφραση διευθύνσεων δικτύου επιτρέπει σε πολλές συσκευές με ιδιωτικές διευθύνσεις να μοιράζονται μία δημόσια διεύθυνση. Ο δρομολογητής αντικαθιστά την ιδιωτική διεύθυνση προέλευσης κάθε εξερχόμενου πακέτου με τη δημόσια διεύθυνσή του και διατηρεί πίνακα αντιστοιχίσεων ώστε να δρομολογήσει σωστά τις απαντήσεις.

Επειδή σε μία δημόσια διεύθυνση αντιστοιχούν πολλές εσωτερικές συσκευές, η διάκριση γίνεται μέσω των αριθμών θυρών. Η επέκταση αυτή, γνωστή ως μετάφραση θυρών, αποτελεί τη μορφή που συναντάται σε κάθε οικιακό και μικρό επαγγελματικό δρομολογητή.

5.5.2 Το πρόβλημα της εισερχόμενης σύνδεσης

Ο μηχανισμός λειτουργεί άψογα για συνδέσεις που ξεκινούν από το εσωτερικό: ο δρομολογητής γνωρίζει σε ποια συσκευή να επιστρέψει την απάντηση, επειδή αυτός δημιούργησε την καταχώριση. Για συνδέσεις που ξεκινούν από το εξωτερικό, όμως, δεν υπάρχει καταχώριση. Όταν φτάνει πακέτο από το διαδίκτυο προς τη δημόσια διεύθυνση, ο δρομολογητής δεν έχει τρόπο να γνωρίζει σε ποια από τις εσωτερικές συσκευές προορίζεται, και το απορρίπτει.

Αυτή είναι η ακριβής τεχνική αιτία για την οποία η απομακρυσμένη πρόσβαση σε ένα καταγραφικό απαιτεί πρόσθετη διαμόρφωση. Δεν πρόκειται για περιορισμό του εξοπλισμού ασφαλείας αλλά για δομικό χαρακτηριστικό του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί το διαδίκτυο σήμερα.

Εξερχόμενη σύνδεση — λειτουργεί

Ο δρομολογητής ξέρει πού να επιστρέψει την απάντηση, γιατί αυτός δημιούργησε την καταχώριση.

Εισερχόμενη σύνδεση — απορρίπτεται

Ο δρομολογητής δεν γνωρίζει σε ποια εσωτερική συσκευή προορίζεται το πακέτο.

Αυτή είναι η αιτία που η απομακρυσμένη πρόσβαση απαιτεί πρόσθετη διαμόρφωση.

Σχήμα 5.1: Η λειτουργία της μετάφρασης διευθύνσεων και το πρόβλημα της εισερχόμενης σύνδεσης

5.6 Μέθοδοι απομακρυσμένης πρόσβασης

5.6.1 Προώθηση θυρών

Η κλασική λύση συνίσταται στη δημιουργία μόνιμης καταχώρισης στον δρομολογητή, η οποία ορίζει ότι κάθε εισερχόμενο πακέτο προς συγκεκριμένη θύρα προωθείται σε συγκεκριμένη εσωτερική διεύθυνση και θύρα.

Η διαδικασία διαμόρφωσης περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

Πρώτο βήμα. Απόδοση σταθερής εσωτερικής διεύθυνσης στο καταγραφικό, με έναν από τους δύο τρόπους που περιγράφηκαν στην §5.3.3.

Δεύτερο βήμα. Καταγραφή των θυρών που πρέπει να δημοσιευθούν. Τυπικά απαιτούνται η θύρα της διεπαφής διαχείρισης, η θύρα ροής βίντεο και η θύρα υπηρεσίας του κατασκευαστή.

Τρίτο βήμα. Εισαγωγή των κανόνων στη σχετική ενότητα του δρομολογητή, με καθορισμό εξωτερικής θύρας, εσωτερικής διεύθυνσης, εσωτερικής θύρας και πρωτοκόλλου.

Τέταρτο βήμα. Αλλαγή των προεπιλεγμένων θυρών σε μη τυποποιημένες τιμές. Το μέτρο αυτό δεν παρέχει ουσιαστική ασφάλεια — οι αυτοματοποιημένοι σαρωτές ελέγχουν ολόκληρο το εύρος θυρών — αλλά μειώνει σημαντικά τον όγκο των τυχαίων απόπειρων σύνδεσης.

Πέμπτο βήμα. Έλεγχος από εξωτερικό δίκτυο, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι η πρόσβαση λειτουργεί και ότι δεν έχουν δημοσιευθεί περισσότερες θύρες από τις απαραίτητες.

Η μέθοδος προσφέρει την καλύτερη δυνατή απόδοση, καθώς η κίνηση ρέει απευθείας μεταξύ χρήστη και συσκευής χωρίς ενδιάμεσο. Το τίμημα είναι ότι **εκθέτει τη συσκευή απευθείας στο διαδίκτυο**. Η συσκευή γίνεται ανιχνεύσιμη από αυτοματοποιημένους σαρωτές και δέχεται συνεχείς απόπειρες σύνδεσης με προεπιλεγμένα διαπιστευτήρια. Εφόσον προκύψει ευπάθεια στο υλικολογισμικό, η εκμετάλλευσή της είναι άμεση.

5.6.2 Δυναμική διεύθυνση και δυναμικό DNS

Οι περισσότερες οικιακές και μικρές επαγγελματικές συνδέσεις λαμβάνουν δυναμική δημόσια διεύθυνση, η οποία μεταβάλλεται σε κάθε επανασύνδεση. Ο χρήστης που είχε αποθηκεύσει τη διεύθυνση διαπιστώνει ότι έπαψε να λειτουργεί.

Η υπηρεσία δυναμικού DNS επιλύει το πρόβλημα με απλό μηχανισμό: μια εφαρμογή στον δρομολογητή ή στο ίδιο το καταγραφικό ενημερώνει τακτικά τον πάροχο της υπηρεσίας για την

τρέχουσα διεύθυνση, ο οποίος διατηρεί ενημερωμένη μια σταθερή ονομασία. Ο χρήστης συνδέεται πλέον στην ονομασία και η επίλυση οδηγεί πάντα στη σωστή διεύθυνση. Η καθυστέρηση διάδοσης της ενημέρωσης, τυπικά μερικών λεπτών, σημαίνει ότι μετά από αλλαγή διεύθυνσης υπάρχει σύντομο διάστημα μη διαθεσιμότητας.

5.6.3 Μετάφραση διευθύνσεων σε επίπεδο παρόχου

Η εξάντληση των διευθύνσεων IPv4 οδήγησε πολλούς παρόχους στην εφαρμογή μετάφρασης διευθύνσεων σε δικό τους επίπεδο. Στην περίπτωση αυτή, ο συνδρομητής δεν λαμβάνει δημόσια διεύθυνση αλλά διεύθυνση από δεσμευμένο εύρος, ενώ η μετάφραση προς το δημόσιο διαδίκτυο γίνεται σε υποδομή του παρόχου.

Η συνέπεια είναι κρίσιμη και συχνά ανακαλύπτεται κατά την εγκατάσταση: **η προώθηση θυρών παύει να λειτουργεί**, διότι ο συνδρομητής δεν ελέγχει τον δρομολογητή στον οποίο θα έπρεπε να οριστεί ο κανόνας. Ο εγκαταστάτης διαπιστώνει ότι οι κανόνες είναι σωστοί αλλά η πρόσβαση αποτυγχάνει.

Ο εντοπισμός της κατάστασης είναι απλός: σύγκριση της διεύθυνσης που εμφανίζει ο δρομολογητής στη διεπαφή του με τη διεύθυνση που αναφέρει μια εξωτερική υπηρεσία. Αν διαφέρουν, υπάρχει μετάφραση σε επίπεδο παρόχου. Οι λύσεις είναι η αίτηση δημόσιας διεύθυνσης από τον πάροχο, συνήθως με επιπλέον χρέωση, ή η χρήση μιας από τις δύο επόμενες μεθόδους.

5.6.4 Υπηρεσία διαμεσολάβησης

Οι κατασκευαστές συστημάτων ασφαλείας παρέχουν υπηρεσίες που παρακάμπουν εντελώς το πρόβλημα. Η συσκευή δημιουργεί και διατηρεί **εξερχόμενη** σύνδεση προς εξυπηρετητή του κατασκευαστή. Επειδή η σύνδεση ξεκινά από το εσωτερικό, η μετάφραση διευθύνσεων δεν την εμποδίζει. Ο χρήστης συνδέεται στον ίδιο εξυπηρετητή και η κίνηση διοχετεύεται μέσω αυτού ή, όπου είναι εφικτό, απευθείας μετά από διαπραγμάτευση.

Τα πλεονεκτήματα είναι σημαντικά: μηδενική διαμόρφωση, καμία εκτεθειμένη θύρα, λειτουργία ακόμη και υπό μετάφραση σε επίπεδο παρόχου.

Τα μειονεκτήματα είναι εξίσου πραγματικά. Η **εξάρτηση από υποδομή τρίτου** σημαίνει ότι διακοπή της υπηρεσίας συνεπάγεται απώλεια πρόσβασης. Η **διέλευση της κίνησης** μέσω εξυπηρετητή του κατασκευαστή εγείρει ζητήματα εμπιστευτικότητας, ιδίως όταν αφορά εικόνα από χώρους διαμονής. Και η **καθυστέρηση** αυξάνεται σε σχέση με την απευθείας σύνδεση, όταν η κίνηση διοχετεύεται αντί να διαπραγματευθεί απευθείας ζεύξη.

5.6.5 Εικονικό ιδιωτικό δίκτυο

Η τρίτη προσέγγιση δημιουργεί κρυπτογραφημένη σήραγγα μεταξύ της απομακρυσμένης συσκευής του χρήστη και του δικτύου της εγκατάστασης. Ο χρήστης καθίσταται λογικά μέλος του τοπικού δικτύου και προσπελαίνει τις συσκευές με τις εσωτερικές τους διευθύνσεις, ακριβώς όπως αν βρισκόταν επί τόπου.

Το καθοριστικό πλεονέκτημα είναι ότι **καμία συσκευή ασφαλείας δεν εκτίθεται στο διαδίκτυο**. Η μόνη δημοσιευμένη υπηρεσία είναι ο ίδιος ο εξυπηρετητής της σήραγγας, ο οποίος είναι σχεδιασμένος για τον σκοπό αυτό, ενημερώνεται τακτικά και απαιτεί ισχυρή πιστοποίηση. Επιπλέον, ολόκληρη η κίνηση κρυπτογραφείται και δεν διέρχεται από υποδομή τρίτου.

Τα μειονεκτήματα είναι η **απαίτηση τεχνικής γνώσης** για τη διαμόρφωση, η **ανάγκη λογισμικού πελάτη** στη συσκευή του χρήστη, και η **μικρή επιβάρυνση** σε καθυστέρηση και εύρος ζώνης λόγω της κρυπτογράφησης.

5.6.6 Συγκριτική αξιολόγηση

Πίνακας 5.2: Σύγκριση μεθόδων απομακρυσμένης πρόσβασης

Κριτήριο	Προώθηση θυρών	Υπηρεσία	Εικονικό ιδιωτικό
----------	----------------	----------	-------------------

		διαμεσολάβησης	δίκτυο
Δυσκολία διαμόρφωσης	Μεσαία	Ελάχιστη	Υψηλή
Έκθεση συσκευών στο διαδίκτυο	Άμεση	Καμία	Καμία
Λειτουργία υπό μετάφραση παρόχου	Όχι	Ναι	Εξαρτάται από την υλοποίηση
Εξάρτηση από τρίτο	Καμία	Πλήρης	Καμία
Κρυπτογράφηση κίνησης	Εξαρτάται από το πρωτόκολλο	Ναι, μέσω τρίτου	Ναι, από άκρο σε άκρο
Αναμενόμενη καθυστέρηση	Χαμηλότερη	Υψηλότερη	Ενδιάμεση
Καταλληλότητα για επαγγελματική εγκατάσταση	Χαμηλή	Μεσαία	Υψηλή

Η γραμμή της καθυστέρησης δείχνει αναμενόμενες τάσεις. Οι πραγματικές τιμές προκύπτουν από το πείραμα Π9 στο Κεφάλαιο 8.

Οι τιμές καθυστέρησης της τελευταίας γραμμής αποτελούν αναμενόμενες τάσεις και μετρώνται πειραματικά στο Κεφάλαιο 8, όπου συγκρίνονται και οι τρεις μέθοδοι υπό ταυτόσημες συνθήκες.

1. Προώθηση θυρών



2. Υπηρεσία διαμεσολάβησης



3. Εικονικό ιδιωτικό δίκτυο



Καμία μέθοδος δεν υπερτερεί απόλυτα: η πρώτη δίνει ταχύτητα, η τρίτη ασφάλεια, η δεύτερη ευκολία με κόστος την εξάρτηση από υποδομή τρίτου.

Σχήμα 5.2: Οι τρεις μέθοδοι απομακρυσμένης πρόσβασης

5.7 Πρωτόκολλα συστημάτων βιντεοεπιτήρησης

Πάνω από τη δικτυακή υποδομή λειτουργεί ένα σύνολο πρωτοκόλλων εξειδικευμένων για τη μετάδοση και τη διαχείριση εικόνας.

Το **πρωτόκολλο ροής σε πραγματικό χρόνο** ελέγχει τη ροή: ο πελάτης αιτείται την έναρξη, τη διακοπή και την αναζήτηση εντός της ροής. Δεν μεταφέρει το ίδιο τα δεδομένα, αλλά διαπραγματεύεται τους όρους μετάδοσης. Η δυνατότητα άμεσης προσπέλασης ροής μέσω τυποποιημένης διεύθυνσης καθιστά το πρωτόκολλο αυτό ιδιαίτερα χρήσιμο για ενσωμάτωση με λογισμικό τρίτων και για πειραματικές μετρήσεις.

Το **πρωτόκολλο μεταφοράς σε πραγματικό χρόνο** μεταφέρει τα καθαυτό δεδομένα εικόνας και ήχου, συνήθως πάνω από UDP, ενσωματώνοντας αριθμούς ακολουθίας και χρονοσημάνσεις που επιτρέπουν την ανασύνθεση της ροής και τον υπολογισμό της διακύμανσης καθυστέρησης.

Το πρότυπο **ONVIF** αποτελεί προδιαγραφή διαλειτουργικότητας και όχι πρωτόκολλο μετάδοσης.

Ορίζει κοινό τρόπο ώστε συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών να ανακαλύπτονται, να διαμορφώνονται και να ελέγχονται από ενιαίο λογισμικό. Η σημασία του είναι κυρίως στρατηγική: περιορίζει την εξάρτηση από έναν κατασκευαστή, αν και οι προηγμένες λειτουργίες κάθε πλατφόρμας παραμένουν συνήθως προσβάσιμες μόνο μέσω των ιδιοταγών διεπαφών.

Οι **ιδιοταγείς διεπαφές προγραμματισμού** που παρέχουν οι κατασκευαστές εκθέτουν το πλήρες σύνολο λειτουργιών των συσκευών μέσω αιτημάτων HTTP. Επιτρέπουν την ανάπτυξη προσαρμοσμένων εφαρμογών και αυτοματισμών, με το τίμημα της δέσμευσης σε συγκεκριμένη πλατφόρμα.

5.8 Σχεδίαση του δικτύου της εγκατάστασης

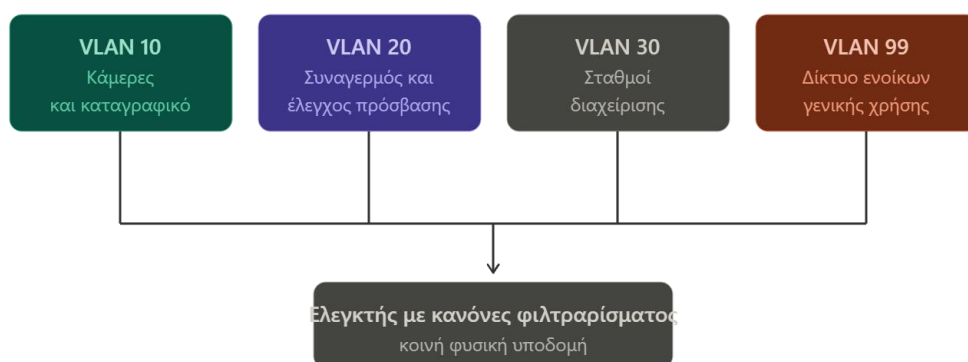
5.8.1 Τμηματοποίηση δικτύου

Η σοβαρότερη σχεδιαστική απόφαση αφορά τον διαχωρισμό του δικτύου ασφαλείας από το δίκτυο γενικής χρήσης. Σε ένα συγκρότημα φοιτητικών εστιών, όπου εκατοντάδες προσωπικές συσκευές συνδέονται στο δίκτυο δεδομένων, η συνύπαρξη των καμερών στο ίδιο λογικό δίκτυο θα αποτελούσε σοβαρή αστοχία.

Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται με εικονικά τοπικά δίκτυα, τα οποία δημιουργούν λογικά ανεξάρτητα δίκτυα πάνω από την ίδια φυσική υποδομή. Η κίνηση μεταξύ τους επιτρέπεται μόνο μέσω ελεγκτή που εφαρμόζει ρητούς κανόνες.

Τα οφέλη είναι τρία. Πρώτον, **περιορισμός της επιφάνειας επίθεσης**: μια παραβιασμένη προσωπική συσκευή δεν έχει δικτυακή ορατότητα προς τις κάμερες. Δεύτερον, **προστασία της απόδοσης**: η κίνηση των χρηστών δεν ανταγωνίζεται τις ροές βίντεο. Τρίτον, **διαχειριστική σαφήνεια**.

Μια τυπική διάταξη προβλέπει χωριστά λογικά δίκτυα για τις κάμερες και το καταγραφικό, για τα υποσυστήματα συναγερμού και ελέγχου πρόσβασης, για τους σταθμούς διαχείρισης και για το δίκτυο γενικής χρήσης, με κανόνες που επιτρέπουν μόνο τις απαραίτητες ροές μεταξύ τους.



Τι κερδίζεις

Παραβιασμένη συσκευή ενοίκου δεν βλέπει τις κάμερες.

Η κίνηση των χρηστών δεν ανταγωνίζεται τις ροές βίντεο.

Χωρίς πρόσθετο εξοπλισμό — μόνο σωστή διαμόρφωση.

Σχήμα 5.3: Τμηματοποίηση δικτύου εγκατάστασης σε εικονικά τοπικά δίκτυα

5.8.2 Τροφοδοσία μέσω Ethernet

Η δυνατότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος πάνω από το ίδιο καλώδιο που μεταφέρει τα δεδομένα αποτελεί από τα σημαντικότερα πρακτικά πλεονεκτήματα της δικτυακής αρχιτεκτονικής, καθώς καταργεί την ανάγκη χωριστής γραμμής τροφοδοσίας σε κάθε κάμερα.

Πίνακας 5.3: Πρότυπα τροφοδοσίας μέσω Ethernet

Πρότυπο	Ονομασία	Ισχύς στην πηγή	Ισχύς στη συσκευή	Τυπική εφαρμογή
IEEE 802.3af	PoE	15,4 W	12,95 W	Σταθερές κάμερες χωρίς θέρμανση
IEEE 802.3at	PoE+	30 W	25,5 W	Κάμερες με θερμαντικό, μικρές PTZ
IEEE 802.3bt Type 3	PoE++	60 W	51 W	PTZ εξωτερικού χώρου
IEEE 802.3bt Type 4	PoE++	90 W	71,3 W	Εξειδικευμένος εξοπλισμός

Η διαφορά ισχύος πηγής και συσκευής αντιστοιχεί στις απώλειες του καλωδίου και λαμβάνεται υπόψη στη σχέση (7.3).

Η διαφορά μεταξύ ισχύος στην πηγή και ισχύος στη συσκευή αντιστοιχεί στις απώλειες του καλωδίου και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.

Κρίσιμη παράμετρος κατά την επιλογή μεταγωγέα είναι η **συνολική διαθέσιμη ισχύς**, η οποία είναι μικρότερη από το γινόμενο του πλήθους των θυρών επί τη μέγιστη ισχύ ανά θύρα. Ένας μεταγωγέας δεκαέξι θυρών με συνολικό προϋπολογισμό 120 W δεν μπορεί να τροφοδοτήσει δεκαέξι συσκευές των 25 W. Ο υπολογισμός εκτελείται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 7.

5.8.3 Εύρος ζώνης και προτεραιοποίηση

Το απαιτούμενο εύρος ζώνης προκύπτει από το άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης όλων των καμερών, με πρόβλεψη περιθωρίου για τις αιχμές που εμφανίζονται σε σκηνές έντονης κίνησης.

Δύο σημεία απαιτούν προσοχή. Πρώτον, η **ροή προς το καταγραφικό** και η **ροή προς τους σταθμούς προβολής** είναι ανεξάρτητες: μια κάμερα που καταγράφεται και ταυτόχρονα προβάλλεται σε δύο οθόνες παράγει τριπλάσια συνολική κίνηση. Οι σύγχρονες συσκευές αντιμετωπίζουν το πρόβλημα με δευτερεύουσα ροή χαμηλότερης ανάλυσης, η οποία χρησιμοποιείται για την προβολή πολλαπλών καναλιών.

Δεύτερον, το **εύρος ζώνης προς το διαδίκτυο** περιορίζεται από την ταχύτητα αποστολής της σύνδεσης, η οποία στις ασύμμετρες συνδέσεις είναι πολλαπλάσια μικρότερη της ταχύτητας λήψης. Η απομακρυσμένη προβολή πολλών καμερών ταυτόχρονα συχνά αποτυγχάνει για τον λόγο αυτό και όχι λόγω αδυναμίας του εξοπλισμού.

Όπου το δίκτυο μοιράζεται με άλλες χρήσεις, η προτεραιοποίηση κίνησης εξασφαλίζει ότι οι ροές βίντεο δεν υποβαθμίζονται από ανταγωνιστική κίνηση.

5.8.4 Καλωδίωση και όρια απόστασης

Το πρότυπο Ethernet επί χαλκού περιορίζει τη μέγιστη απόσταση στα εκατό μέτρα, συμπεριλαμβανομένων των καλωδίων σύνδεσης στα δύο άκρα. Ο περιορισμός αυτός καθορίζει τη θέση των μεταγωγέων σε εκτεταμένες εγκαταστάσεις.

Για μεγαλύτερες αποστάσεις υπάρχουν δύο επιλογές. Η **οπτική ίνα** αίρει ουσιαστικά τον περιορισμό και προσφέρει πλήρη ηλεκτρική απομόνωση, πλεονέκτημα σημαντικό για συνδέσεις μεταξύ κτηρίων όπου η διαφορά δυναμικού γείωσης μπορεί να προκαλέσει βλάβες. Απαιτεί όμως μετατροπείς μέσου

στα άκρα και εξειδικευμένη τερματοποίηση. Ο **ενδιάμεσος μεταγωγέας** είναι απλούστερος και οικονομικότερος, εισάγει όμως σημείο αστοχίας που απαιτεί τροφοδοσία και προστασία.

5.9 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύχθηκε το δικτυακό υπόβαθρο ενός σύγχρονου συστήματος ασφαλείας, από τη διευθυνσιοδότηση έως τη σχεδίαση της τοπικής υποδομής.

Η κεντρική διαπίστωση αφορά την απομακρυσμένη πρόσβαση. Το πρόβλημα δεν προκύπτει από αδυναμία του εξοπλισμού ασφαλείας αλλά από τη δομή του σύγχρονου διαδικτύου: οι συσκευές φέρουν μη δρομολογήσιμες διευθύνσεις και η μετάφραση διευθύνσεων δεν επιτρέπει εισερχόμενες συνδέσεις. Οι τρεις μέθοδοι επίλυσης που εξετάστηκαν αντιπροσωπεύουν διαφορετικές ισορροπίες μεταξύ ευκολίας, απόδοσης και ασφάλειας, με την προώθηση θυρών να προσφέρει τη μικρότερη καθυστέρηση και τη μεγαλύτερη έκθεση, και τη σήραγγα να προσφέρει το αντίστροφο.

Η δεύτερη διαπίστωση αφορά την τμηματοποίηση. Η τοποθέτηση των συσκευών ασφαλείας σε λογικά απομονωμένο δίκτυο αποτελεί το μέτρο με τη μεγαλύτερη αναλογία οφέλους προς κόστος από όσα εξετάστηκαν, καθώς περιορίζει δραστικά την επιφάνεια επίθεσης χωρίς πρόσθετο εξοπλισμό.

Στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζεται η ενοποίηση των υποσυστημάτων πάνω από αυτή την υποδομή, μαζί με τα ζητήματα κυβερνοασφάλειας που η ίδια η διασύνδεση δημιουργεί και το νομικό πλαίσιο που διέπει τη λειτουργία του συστήματος.

Κεφάλαιο 6ο: Ενοποίηση, κυβερνοασφάλεια και νομικό πλαίσιο

6.1 Εισαγωγή

Τα προηγούμενα κεφάλαια εξέτασαν χωριστά τα υποσυστήματα που συνθέτουν μια εγκατάσταση ασφαλείας και τη δικτυακή υποδομή που τα συνδέει. Το παρόν κεφάλαιο ασχολείται με το τι προκύπτει από τη σύνθεσή τους.

Η ενοποίηση δεν αποτελεί απλή τεχνική δυνατότητα αλλά τη διαφορά ανάμεσα σε ένα σύνολο ανεξάρτητων συσκευών και σε ένα σύστημα. Ταυτόχρονα όμως γεννά δύο κατηγορίες προβλημάτων που δεν υπήρχαν όσο τα υποσυστήματα λειτουργούσαν απομονωμένα. Το πρώτο είναι τεχνικό: η διασύνδεση στο διαδίκτυο μετατρέπει τον εξοπλισμό ασφαλείας σε στόχο. Το δεύτερο είναι νομικό: η συστηματική συλλογή εικόνας ανθρώπων συνιστά επεξεργασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και υπόκειται σε αυστηρό ρυθμιστικό πλαίσιο.

Και τα δύο αποκτούν ιδιαίτερο βάρος στην περίπτωση των φοιτητικών εστιών, όπου ο χώρος δεν είναι εργασιακός αλλά κατοικία.

6.2 Αρχιτεκτονική του ενιαίου συστήματος

Η ενοποίηση των υποσυστημάτων υλοποιείται σε τρία διακριτά επίπεδα, καθένα από τα οποία προϋποθέτει το προηγούμενο.

Επίπεδο φυσικής διασύνδεσης. Το κατώτερο και παλαιότερο επίπεδο, το οποίο βασίζεται σε ξηρές επαφές. Ένας πίνακας συναγερμού ενεργοποιεί έξοδο ρελέ, η οποία συνδέεται σε είσοδο του καταγραφικού και προκαλεί έναρξη καταγραφής. Η λύση λειτουργεί με οποιονδήποτε εξοπλισμό και είναι εξαιρετικά αξιόπιστη, μεταφέρει όμως ελάχιστη πληροφορία: γνωρίζει ότι κάτι συνέβη, όχι τι.

Επίπεδο δικτυακής διασύνδεσης. Τα υποσυστήματα ανταλλάσσουν δομημένα μηνύματα μέσω του δικτύου, με τυποποιημένα ή ιδιοταγή πρωτόκολλα. Το μήνυμα μεταφέρει πλέον ταυτότητα ζώνης, τύπο συμβάντος και χρονοσήμανση.

Επίπεδο ενιαίας πλατφόρμας. Όλα τα υποσυστήματα διαχειρίζονται από κοινό λογισμικό, το οποίο διατηρεί ενιαίο αρχείο συμβάντων και επιτρέπει τη διατύπωση κανόνων που συνδυάζουν πληροφορία από περισσότερες πηγές.

[Σχήμα 6.1]

6.3 Πλατφόρμες ενοποιημένης διαχείρισης

Οι διαθέσιμες λύσεις διαχείρισης διαβαθμίζονται ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης.

Οι **εφαρμογές κινητού** που παρέχουν οι κατασκευαστές απευθύνονται στον τελικό χρήστη. Προσφέρουν ζωντανή εικόνα, ειδοποιήσεις, όπλιση και αφόπλιση του συναγερμού, με ελάχιστη τεχνική απαίτηση. Δεν προορίζονται για διαχείριση πολλών χρηστών ούτε για σύνθετους αυτοματισμούς.

Το **λογισμικό σταθμού εργασίας** απευθύνεται σε τοπική διαχείριση μεσαίας κλίμακας. Επιτρέπει ταυτόχρονη προβολή πολλών καναλιών, ανασκόπηση, εξαγωγή υλικού και βασική διαχείριση συσκευών.

Οι **πλατφόρμες κεντρικής διαχείρισης** απευθύνονται σε εγκαταστάσεις με πολλαπλά υποσυστήματα και οργανωμένη διαχείριση χρηστών. Παρέχουν ρόλους και δικαιώματα, ενιαίο αρχείο ελέγχου, διαχείριση δικαιωμάτων πρόσβασης και μηχανισμό κανόνων που συνδέει συμβάντα με ενέργειες. Για την περίπτωση των φοιτητικών εστιών, όπου συνυπάρχουν βιντεοεπιτήρηση, συναγερμός και έλεγχος πρόσβασης με μεταβαλλόμενο πληθυσμό χρηστών, η τρίτη κατηγορία αποτελεί τη μόνη λειτουργική επιλογή. Η επιλογή αυτή τεκμηριώνεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 7.

6.4 Συσχέτιση συμβάντων και αυτοματισμοί

Ο μηχανισμός που μετατρέπει ένα σύνολο συσκευών σε ενιαίο σύστημα είναι η δυνατότητα ορισμού κανόνων της μορφής «όταν συμβεί το Α, εκτέλεσε το Β».

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει τυπικά σενάρια που αξιοποιούν τη συνεργασία των υποσυστημάτων.

Πίνακας 6.1: Τυπικά σενάρια συσχέτισης συμβάντων και ενεργειών

Συμβάν ενεργοποίησης	Αυτοματοποιημένες ενέργειες	Τι επιτυγχάνεται
Παραβίαση περιμετρικής ζώνης	Στροφή κάμερας στη θέση της ζώνης, καταγραφή υψηλής ανάλυσης, ειδοποίηση με στιγμιότυπο	Οπτική επαλήθευση πριν την κινητοποίηση
Ανίχνευση ανθρώπου από κάμερα σε ώρες μη λειτουργίας	Ενεργοποίηση φωτισμού, ηχητική προειδοποίηση, καταγραφή συμβάντος	Αποτροπή και τεκμηρίωση
Απορριφθείσα προσπάθεια πρόσβασης	Καταγραφή στιγμιότυπου από την κάμερα της θύρας, καταχώριση στο αρχείο	Ταυτοποίηση επαναλαμβανόμενων απόπειρων
Επιτυχής πρόσβαση σε κρίσιμο χώρο	Συσχέτιση της εγγραφής με το βίντεο της θύρας	Επαλήθευση ότι εισήλθε ο κάτοχος του διαπιστευτηρίου
Όπλιση του συναγερμού	Έλεγχος ανοιχτών θυρών, ειδοποίηση για ζώνες σε βλάβη	Αποτροπή όπλισης με ανοιχτό σημείο
Συναγερμός πυρκαγιάς	Απασφάλιση όλων των θυρών εξόδου	Ασφαλής εκκένωση
Απώλεια επικοινωνίας με συσκευή	Ειδοποίηση συντηρητή, καταχώριση βλάβης	Έγκαιρη αποκατάσταση

Η τελευταία γραμμή συνδέεται με την §3.6: η αξία της περιοδικής επιτήρησης εξαρτάται από το αν η δηλωθείσα βλάβη φτάνει σε κάποιον που μπορεί να αντιδράσει.

Το τελευταίο σενάριο συνδέεται άμεσα με την ανάλυση της §3.6: η αξία της περιοδικής επιτήρησης εξαρτάται από το αν η δηλωθείσα βλάβη φτάνει σε κάποιον που μπορεί να αντιδράσει.

6.5 Κυβερνοασφάλεια συστημάτων ασφαλείας

6.5.1 Η φύση του προβλήματος

Υπάρχει μια ιδιαιτερότητα στα συστήματα ασφαλείας που τα καθιστά ελκυστικό στόχο: παραβίασή τους δεν σημαίνει απλώς διαρροή δεδομένων, αλλά κατάργηση της ίδιας της προστασίας. Ο επιτιθέμενος που αποκτά πρόσβαση σε ένα καταγραφικό δεν βλέπει μόνο τι συμβαίνει· μπορεί να διαγράψει υλικό, να απενεργοποιήσει την καταγραφή ή, στην περίπτωση ενοποιημένου συστήματος, να ανοίξει θύρες.

Η επιφάνεια επίθεσης περιλαμβάνει τη διεπαφή διαχείρισης κάθε συσκευής, τις υπηρεσίες ροής, τα πρωτόκολλα ανακάλυψης, το υλικολογισμικό, τις εφαρμογές κινητού και τις υποδομές διαμεσολάβησης των κατασκευαστών.

6.5.2 Κύριες κατηγορίες ευπαθειών

Προεπιλεγμένα και ασθενή διαπιστευτήρια. Η συχνότερη αιτία παραβίασης, με μεγάλη διαφορά από τις υπόλοιπες. Συσκευές που παραμένουν με τα εργοστασιακά διαπιστευτήρια εντοπίζονται αυτοματοποιημένα από μηχανές αναζήτησης εκτεθειμένων συσκευών και παραβιάζονται μαζικά, χωρίς στόχευση σε συγκεκριμένο θύμα.

Παρωχημένο υλικολογισμικό. Οι ευπάθειες που ανακαλύπτονται δημοσιοποιούνται και διορθώνονται με ενημερώσεις. Το πρόβλημα δεν είναι η ύπαρξή τους αλλά ότι σπανίως εφαρμόζονται οι ενημερώσεις: μια εγκατάσταση που λειτουργεί απρόσκοπτα δεν προκαλεί κανέναν να την ενημερώσει.

Περιττή έκθεση υπηρεσιών. Θύρες που δημοσιεύθηκαν κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης για διευκόλυνση και δεν αποσύρθηκαν ποτέ.

Απουσία τμηματοποίησης. Συσκευές ασφαλείας στο ίδιο λογικό δίκτυο με τους χρήστες, ζήτημα που αναλύθηκε στην §5.8.1.

Αδύναμα διαπιστευτήρια φυσικής πρόσβασης. Οι κάρτες παλαιάς τεχνολογίας που εξετάστηκαν στην §4.6.6 αποτελούν τμήμα της ίδιας συνολικής εικόνας.

6.5.3 Μέτρα σκλήρυνσης

Πίνακας 6.2: Μέτρα σκλήρυνσης συστήματος και αντιμετωπιζόμενη απειλή

Μέτρο	Απειλή που αντιμετωπίζει	Δυσκολία
Αλλαγή όλων των προεπιλεγμένων διαπιστευτηρίων	Αυτοματοποιημένη μαζική παραβίαση	Ελάχιστη
Μοναδικοί ισχυροί κωδικοί ανά συσκευή	Διάδοση παραβίασης από μία συσκευή σε όλες	Ελάχιστη
Διακριτοί λογαριασμοί ανά χρήστη με ρόλους	Αδυναμία απόδοσης ευθύνης, υπερβολικά δικαιώματα	Χαμηλή
Απενεργοποίηση αχρησιμοποίητων υπηρεσιών	Περιττή επιφάνεια επίθεσης	Χαμηλή
Απενεργοποίηση αυτόματης δημοσίευσης θυρών	Ακούσια έκθεση στο διαδίκτυο	Χαμηλή
Τμηματοποίηση δικτύου	Πλευρική μετακίνηση επιτιθέμενου	Μεσαία
Πρόσβαση μέσω κρυπτογραφημένης σήραγγας	Άμεση έκθεση συσκευών	Μεσαία
Τακτική ενημέρωση υλικολογισμικού	Γνωστές ευπάθειες	Μεσαία, απαιτεί διαδικασία

Μέτρο	Απειλή που αντιμετωπίζει	Δυσκολία
Κρυπτογράφηση διεπαφών διαχείρισης	Υποκλοπή διαπιστευτηρίων	Χαμηλή
Επιτήρηση αρχείων καταγραφής	Μη ανιχνευμένη παραβίαση	Υψηλή

Η στήλη της δυσκολίας είναι το ουσιώδες: τα αποτελεσματικότερα μέτρα είναι και τα ευκολότερα. Η στήλη της δυσκολίας αναδεικνύει το ουσιώδες: τα μέτρα με τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα είναι και τα ευκολότερα. Η αλλαγή των προεπιλεγμένων διαπιστευτηρίων απαιτεί λίγα λεπτά και εξουδετερώνει την πλέον διαδεδομένη κατηγορία επιθέσεων.

6.5.4 Διαχείριση κύκλου ζωής

Η ασφάλεια δεν αποτελεί κατάσταση που επιτυγχάνεται κατά την παράδοση αλλά διαδικασία που διατηρείται. Ένα ρεαλιστικό σχέδιο συντήρησης προβλέπει περιοδικό έλεγχο διαθέσιμων ενημερώσεων, επισκόπηση λογαριασμών με αφαίρεση όσων δεν χρειάζονται, επαλήθευση ότι δεν έχουν προστεθεί νέοι κανόνες δημοσίευσης θυρών, και έλεγχο των αρχείων καταγραφής για ασυνήθιστα μοτίβα πρόσβασης.

Στην περίπτωση των φοιτητικών εστιών, η ετήσια ανανέωση του πληθυσμού καθιστά την επισκόπηση δικαιωμάτων ετήσια υποχρέωση και όχι καλή πρακτική.

6.6 Νομικό πλαίσιο

6.6.1 Το ρυθμιστικό τοπίο

Η λειτουργία συστήματος βιντεοεπιτήρησης στην Ελλάδα διέπεται από τέσσερα επίπεδα κανόνων.

Ο **Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων** αποτελεί το θεμέλιο. Η καταγραφή εικόνας φυσικών προσώπων συνιστά επεξεργασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και υπάγεται πλήρως στις διατάξεις του.

Ο **εθνικός εφαρμοστικός νόμος** εξειδικεύει τον Κανονισμό στην ελληνική έννομη τάξη.

Οι **κατευθυντήριες γραμμές του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Προστασίας Δεδομένων** για την επεξεργασία μέσω συσκευών βίντεο αποτελούν την αυθεντική ερμηνεία του Κανονισμού στο συγκεκριμένο πεδίο.

Η **Οδηγία 1/2011 της Αρχής Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα** παρέχει αναλυτική καθοδήγηση προσαρμοσμένη στην ελληνική πραγματικότητα, με ειδικές διατάξεις ανά κατηγορία χώρου.

Απαιτείται ωστόσο μια διευκρίνιση ως προς τη νομική ισχύ της τελευταίας. Η Οδηγία εκδόθηκε υπό το προγενέστερο νομοθετικό καθεστώς και, όπως επισημαίνει η ίδια η Αρχή, δεν αποτελεί νόμο αλλά κατευθυντήρια γραμμή· ο υπεύθυνος επεξεργασίας μπορεί να προβεί σε δική του νομική αξιολόγηση, φέρει όμως πάντοτε την ευθύνη να αποδείξει τη νομιμότητα της λειτουργίας του συστήματος βάσει της αρχής της λογοδοσίας [29]. Στην παρούσα εργασία η Οδηγία αξιοποιείται ως οδηγός ορθής πρακτικής, με τον Κανονισμό ως δεσμευτική βάση.

6.6.2 Νομική βάση της επεξεργασίας

Κάθε επεξεργασία απαιτεί νομική βάση. Για τη βιντεοεπιτήρηση με σκοπό την προστασία προσώπων και αγαθών, η βάση είναι το **έννομο συμφέρον** του υπευθύνου επεξεργασίας.

Η επίκληση του εννόμου συμφέροντος δεν είναι αυτόματη. Απαιτεί τεκμηριωμένη στάθμιση μεταξύ του επιδιωκόμενου σκοπού και των δικαιωμάτων των προσώπων που καταγράφονται, με τρία σκέλη:

ότι ο σκοπός είναι νόμιμος και πραγματικός, ότι η επεξεργασία είναι αναγκαία για την επίτευξή του, και ότι τα συμφέροντα των υποκειμένων δεν υπερισχύουν.

Η **τεκμηρίωση της αναγκαιότητας** είναι το σημείο όπου συνήθως αποτυγχάνει η στάθμιση. Δεν αρκεί η γενική επίκληση της ασφάλειας· απαιτείται συγκεκριμένος κίνδυνος. Η ανάλυση κινδύνου που εκπονείται στο Κεφάλαιο 7 εξυπηρετεί ταυτόχρονα τεχνικό και νομικό σκοπό.

6.6.3 Αρχές που διέπουν τη σχεδίαση

Τέσσερις αρχές του Κανονισμού έχουν άμεσες σχεδιαστικές συνέπειες.

Ο **περιορισμός του σκοπού** σημαίνει ότι το σύστημα εγκαθίσταται για συγκεκριμένο σκοπό και δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί για άλλον. Κάμερες εγκατεστημένες για την προστασία περιουσίας δεν μπορούν να αξιοποιηθούν για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς προσώπων.

Η **ελαχιστοποίηση των δεδομένων** επιβάλλει τη συλλογή μόνο των αναγκαίων δεδομένων. Πρακτικά καθορίζει το οπτικό πεδίο, την ανάλυση και τον χρόνο τήρησης.

Ο **περιορισμός της περιόδου αποθήκευσης** απαιτεί αυτόματη διαγραφή μετά την πάροδο του καθορισμένου χρόνου.

Η **προστασία ήδη από τον σχεδιασμό** επιβάλλει την ενσωμάτωση των μέτρων στη μελέτη και όχι εκ των υστέρων. Πρακτικά σημαίνει ότι η θέση και η γωνία κάθε κάμερας επιλέγονται εξαρχής ώστε να μην καλύπτουν χώρους που δεν πρέπει να καλύπτονται.

6.6.4 Χρόνος τήρησης

Ο χρόνος διατήρησης πρέπει να είναι ο ελάχιστος αναγκαίος για τον σκοπό. Δεδομένα που δεν συνδέονται με συγκεκριμένο περιστατικό διαγράφονται αυτόματα· υλικό που αφορά συμβάν διατηρείται χωριστά και για όσο απαιτεί η διερεύνησή του.

Ο καθορισμός του χρόνου δεν είναι μόνο νομική υποχρέωση αλλά και **τεχνική παράμετρος σχεδιασμού**, καθώς προσδιορίζει τον απαιτούμενο αποθηκευτικό χώρο μέσω της σχέσης (2.2). Η σύνδεση αυτή είναι χαρακτηριστική του τρόπου με τον οποίο το νομικό πλαίσιο εισέρχεται στους τεχνικούς υπολογισμούς.

6.6.5 Ενημέρωση των υποκειμένων

Κάθε πρόσωπο πρέπει να γνωρίζει ότι εισέρχεται σε χώρο υπό επιτήρηση **πριν** εισέλθει. Η ενημέρωση γίνεται σε δύο επίπεδα: με ευδιάκριτη σήμανση στα σημεία εισόδου, η οποία περιλαμβάνει τα βασικά στοιχεία, και με πλήρη ενημέρωση διαθέσιμη σε προσβάσιμο σημείο ή ηλεκτρονικά.

Η σήμανση αποτελεί το στοιχείο που ελέγχεται πρώτο σε κάθε καταγγελία και παραλείπεται συχνότερα από κάθε άλλο.

6.6.6 Δικαιώματα των υποκειμένων

Τα πρόσωπα που καταγράφονται διατηρούν δικαίωμα πρόσβασης στα δεδομένα τους, διαγραφής, περιορισμού και εναντίωσης.

Η ικανοποίηση του δικαιώματος πρόσβασης παρουσιάζει τεχνική δυσκολία που πρέπει να προβλεφθεί: η χορήγηση υλικού στο οποίο απεικονίζονται και τρίτοι απαιτεί την απόκρυψη των προσώπων τους.

Το σύστημα πρέπει επομένως να διαθέτει τη σχετική δυνατότητα, ή να προβλεφθεί διαδικασία επεξεργασίας.

6.6.7 Εκτίμηση αντικτύπου

Όταν η επεξεργασία ενδέχεται να επιφέρει υψηλό κίνδυνο για τα δικαιώματα των προσώπων, απαιτείται εκτίμηση αντικτύπου πριν την έναρξη λειτουργίας. Η συστηματική επιτήρηση χώρου προσβάσιμου στο κοινό σε μεγάλη κλίμακα εμπίπτει τυπικά στην κατηγορία αυτή.

Για εγκατάσταση φοιτητικών εστιών με συνδυασμό βιντεοεπιτήρησης, ελέγχου πρόσβασης και καταγραφής μετακινήσεων, η εκπόνηση εκτίμησης αντικτύπου πρέπει να θεωρείται απαιτούμενη.

6.6.8 Συγκροτήματα κατοικιών

Η Οδηγία 1/2011 περιλαμβάνει ειδικό άρθρο για συγκροτήματα κατοικιών και γραφείων [28]. Η ύπαρξη χωριστής ρύθμισης αντανακλά τη θεμελιώδη διαφορά μεταξύ ενός εμπορικού χώρου και ενός χώρου διαμονής: στον δεύτερο, τα πρόσωπα που καταγράφονται δεν είναι επισκέπτες αλλά κάτοικοι, και η προσδοκία ιδιωτικότητας είναι ουσιαστικά υψηλότερη.

Οι αρχές που προκύπτουν και εφαρμόζονται στη μελέτη του Κεφαλαίου 7 είναι οι εξής.

Η επιτήρηση περιορίζεται σε **κοινόχρηστους χώρους με λειτουργία εισόδου ή φύλαξης** — κύρια είσοδος, χώρος στάθμευσης, περίμετρος. Δεν επεκτείνεται σε χώρους όπου οι ένοικοι διάγουν τον καθημερινό τους βίο.

Απαγορεύεται η κάλυψη εισόδων μεμονωμένων κατοικιών, διαδρόμων που οδηγούν αποκλειστικά σε κατοικίες, και κάθε χώρου από τον οποίο μπορεί να συναχθεί το μοτίβο των μετακινήσεων συγκεκριμένου ενοίκου.

Η **κάλυψη κοινόχρηστων χώρων αναψυχής** — αίθουσες κοινής χρήσης, χώροι μελέτης, υπαίθριοι χώροι συνάθροισης — απαιτεί ιδιαίτερα ισχυρή τεκμηρίωση και συνήθως δεν δικαιολογείται.

Το οπτικό πεδίο **δεν επεκτείνεται σε δημόσιο δρόμο ή γειτονική ιδιοκτησία**.

Ο περιορισμός αυτός δεν είναι τυπικός. Ένα σύστημα που καταγράφει ποιος ένοικος επιστρέφει στο δωμάτιό του και πότε δεν προστατεύει· παρακολουθεί. Η διάκριση καθορίζει τη σχεδίαση περισσότερο από οποιαδήποτε τεχνική παράμετρο.

6.6.9 Βιομετρικά δεδομένα

Τα βιομετρικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση προσώπου αποτελούν **ειδική κατηγορία** δεδομένων και η επεξεργασία τους απαγορεύεται κατ' αρχήν, εκτός αν συντρέχει συγκεκριμένη εξαίρεση.

Η συνέπεια για τον σχεδιασμό ελέγχου πρόσβασης είναι σημαντική: η επιλογή δακτυλικού αποτυπώματος ή αναγνώρισης προσώπου δεν αποτελεί απλή τεχνική προτίμηση. Η ρητή συγκατάθεση ως βάση είναι προβληματική όταν δεν υπάρχει πραγματική εναλλακτική για τον χρήστη — και σε ένα κτήριο όπου κάποιος διαμένει, η δυνατότητα άρνησης είναι θεωρητική.

Για την περίπτωση των φοιτητικών εστιών, η πρόταση που τεκμηριώνεται στο Κεφάλαιο 7 αποφεύγει τη βιομετρική ταυτοποίηση και βασίζεται σε κάρτες σύγχρονης τεχνολογίας με κρυπτογράφηση. Η επιλογή είναι ταυτόχρονα ασφαλέστερη νομικά και επαρκής τεχνικά.

6.7 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάστηκε τι προκύπτει όταν τα επιμέρους υποσυστήματα συντίθενται σε ενιαίο σύνολο.

Η ενοποίηση παράγει πραγματική αξία: σενάρια όπως η αυτόματη οπτική επαλήθευση περιμετρικού συναγερμού ή η συσχέτιση εγγραφής πρόσβασης με εικόνα δεν είναι υλοποιήσιμα από κανένα υποσύστημα μεμονωμένα.

Ταυτόχρονα όμως, η ίδια διασύνδεση δημιουργεί δύο κατηγορίες υποχρεώσεων. Ως προς την κυβερνοασφάλεια, η ανάλυση ανέδειξε ότι τα αποτελεσματικότερα μέτρα είναι και τα απλούστερα: η αλλαγή των προεπιλεγμένων διαπιστευτηρίων και η τμηματοποίηση του δικτύου αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο μέρος του πραγματικού κινδύνου με ελάχιστο κόστος. Ως προς το νομικό πλαίσιο, η κρίσιμη διαπίστωση είναι ότι οι απαιτήσεις δεν αποτελούν εξωτερικό περιορισμό που εφαρμόζεται εκ των υστέρων, αλλά **σχεδιαστικές παραμέτρους**: ο χρόνος τήρησης καθορίζει τον αποθηκευτικό χώρο, η αρχή της ελαχιστοποίησης καθορίζει το οπτικό πεδίο, και οι ειδικές διατάξεις για τα συγκροτήματα κατοικιών καθορίζουν ποιοι χώροι μπορούν να καλυφθούν.

Με την ολοκλήρωση του κεφαλαίου αυτού κλείνει το θεωρητικό μέρος της εργασίας. Στο επόμενο κεφάλαιο, το σύνολο των αρχών που αναπτύχθηκαν εφαρμόζεται στη μελέτη του συγκροτήματος φοιτητικών εστιών.

Κεφάλαιο 7ο: Μελέτη εφαρμογής — συγκρότημα φοιτητικών εστιών

7.1 Εισαγωγή

Στα προηγούμενα πέντε κεφάλαια αναπτύχθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο των συστημάτων ασφαλείας. Το παρόν κεφάλαιο εφαρμόζει το σύνολο αυτών των αρχών σε συγκεκριμένη εγκατάσταση.

Η μελέτη ακολουθεί τη σειρά που ακολουθεί και μια πραγματική μελέτη εφαρμογής: περιγραφή της εγκατάστασης, ανάλυση απειλών και εκτίμηση κινδύνου, καθορισμός του απαιτούμενου επιπέδου προστασίας, σχεδίαση σε τρία επίπεδα, χωροθέτηση εξοπλισμού με τεκμηρίωση κάθε θέσης, τεχνικοί υπολογισμοί και, τέλος, κοστολόγηση σε εναλλακτικά σενάρια.

Η μεθοδολογική αρχή που διατυπώθηκε στο Κεφάλαιο 1 εφαρμόζεται εδώ αυστηρά: **καμία σχεδιαστική επιλογή δεν παρουσιάζεται χωρίς τεκμηρίωση**. Κάθε κάμερα αντιστοιχίζεται σε συγκεκριμένη απαίτηση κατά DORI, κάθε ζώνη σε συγκεκριμένη απειλή, και κάθε αριθμητικό μέγεθος προκύπτει από υπολογισμό που παρατίθεται.

7.2 Περιγραφή της εγκατάστασης

7.2.1 Παραδοχές μελέτης

Το κτήριο των φοιτητικών εστιών βρισκόταν υπό ανέγερση κατά τον χρόνο εκπόνησης της μελέτης. Τα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται αποτελούν τεκμηριωμένες παραδοχές, βασισμένες σε τυπικά μεγέθη αντίστοιχων εγκαταστάσεων. Η μεθοδολογία και οι υπολογισμοί παραμένουν ισχυροί ανεξάρτητα από τις ακριβείς διαστάσεις· μεταβολή των παραδοχών επιφέρει αναλογική μεταβολή των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 7.1: Παραδοχές μελέτης — χαρακτηριστικά της εγκατάστασης

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Σχήμα οικοπέδου	Τετράγωνο
Διαστάσεις οικοπέδου	60 × 60 m (3.600 m ²)

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Μήκος περιφράξης	240 m
Σχήμα κτηρίου	Ορθογώνιο
Διαστάσεις κτηρίου	40 × 15 m (600 m ² ανά όροφο)
Όροφοι	Δύο, ισόγειο και πρώτος
Δωμάτια	40 δίκλινα, 20 ανά όροφο
Ένοικοι	80 φοιτητές
Είσοδοι κτηρίου	Κύρια, υπηρεσίας, έξοδος κινδύνου
Είσοδοι οικοπέδου	Πύλη οχημάτων, πύλη πεζών
Χώρος στάθμευσης	Εντός οικοπέδου, 12 θέσεις
Κοινόχρηστοι χώροι ισογείου	Υποδοχή, γραφείο διαχείρισης, αίθουσα κοινής χρήσης, πλυντήριο, μηχανοστάσιο
Κοινόχρηστοι χώροι ορόφου	Χώρος μελέτης
Ώρες λειτουργίας	Εικοσιτετράωρη διαμονή, γραφείο διαχείρισης σε ωράριο

7.2.2 Χρήστες και ρόλοι

Η κατηγοριοποίηση των χρηστών αποτελεί προϋπόθεση τόσο για την ανάλυση κινδύνου όσο και για τον σχεδιασμό των δικαιωμάτων πρόσβασης.

Ένοικοι. Ογδόντα φοιτητές με εικοσιτετράωρη πρόσβαση στο κτήριο και στους κοινόχρηστους χώρους. Ο πληθυσμός ανανεώνεται σε σημαντικό ποσοστό ετησίως.

Διοικητικό προσωπικό. Πρόσβαση σε όλους τους χώρους κατά τις ώρες λειτουργίας, με δικαιώματα διαχείρισης του συστήματος.

Προσωπικό καθαριότητας και συντήρησης. Πρόσβαση σε κοινόχρηστους και τεχνικούς χώρους, περιορισμένη σε συγκεκριμένο ωράριο.

Επισκέπτες. Χωρίς αυτόνομη πρόσβαση· εισέρχονται συνοδευόμενοι ή μέσω της υποδοχής.

Εξωτερικοί τεχνικοί. Περιστασιακή πρόσβαση σε τεχνικούς χώρους, υπό συνοδεία.

7.3 Ανάλυση απειλών και εκτίμηση κινδύνου

7.3.1 Καταγραφή απειλών

Η ανάλυση βασίζεται στα δεδομένα που παρατέθηκαν στο Κεφάλαιο 1, και ιδίως στη διαπίστωση ότι σημαντικό μέρος των διαρρήξεων αποδίδεται σε οργανωμένες ομάδες και όχι σε ευκαιριακούς δράστες.

Διάρρηξη με σκοπό την κλοπή. Η κύρια απειλή. Στόχος αποτελούν κυρίως οι φορητές ηλεκτρονικές συσκευές των ενοίκων και ο εξοπλισμός των κοινόχρηστων χώρων. Το προφίλ κινδύνου είναι αυξημένο κατά τις περιόδους διακοπών, όταν το κτήριο είναι κενό.

Μη εξουσιοδοτημένη είσοδος. Είσοδος προσώπων που δεν έχουν δικαίωμα, είτε μέσω συνοδευόμενης διέλευσης είτε με χρήση διαπιστευτηρίου τρίτου.

Κλοπή σε κοινόχρηστους χώρους. Αφαίρεση προσωπικών αντικειμένων από χώρους όπως τα πλυντήρια, όπου τα αντικείμενα παραμένουν χωρίς επιτήρηση.

Βανδαλισμοί. Φθορές σε κοινόχρηστο εξοπλισμό και στον ίδιο τον εξοπλισμό ασφαλείας.

Πρόσβαση σε τεχνικούς χώρους. Το μηχανοστάσιο και ο χώρος του δικτυακού εξοπλισμού περιέχουν υποδομές των οποίων η παραβίαση επηρεάζει ολόκληρο το κτήριο.

Απώλεια ή αντιγραφή διαπιστευτηρίων. Σε πληθυσμό ογδόντα ατόμων με ετήσια ανανέωση, οι απώλειες καρτών είναι στατιστικά βέβαιες.

7.3.2 Εκτίμηση κινδύνου ανά ζώνη

Ο κίνδυνος αποτιμάται ως συνάρτηση της πιθανότητας εκδήλωσης και της σοβαρότητας των συνεπειών, σε τριβάθμια κλίμακα.

Πίνακας 7.2: Εκτίμηση κινδύνου ανά ζώνη της εγκατάστασης

Ζώνη	Κύρια απειλή	Πιθανότητα	Συνέπεια	Κίνδυνος
Περίμετρος οικοπέδου	Παράνομη είσοδος	Μεσαία	Μεσαία	Μεσαίος
Πύλη οχημάτων	Είσοδος άγνωστου οχήματος	Μεσαία	Μεσαία	Μεσαίος
Χώρος στάθμευσης	Κλοπή, φθορά οχημάτων	Μεσαία	Μεσαία	Μεσαίος
Κύρια είσοδος κτηρίου	Συνοδευόμενη είσοδος	Υψηλή	Μεσαία	Υψηλός
Είσοδος υπηρεσίας	Μη εξουσιοδοτημένη είσοδος	Μεσαία	Υψηλή	Υψηλός
Έξοδος κινδύνου	Άνοιγμα από το εσωτερικό	Μεσαία	Μεσαία	Μεσαίος
Γραφείο διαχείρισης	Κλοπή, πρόσβαση σε αρχεία και εξοπλισμό	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλός
Μηχανοστάσιο και δικτυακός εξοπλισμός	Δολιοφθορά υποδομών	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλός
Κλιμακοστάσια	Διακίνηση εντός κτηρίου	Μεσαία	Χαμηλή	Χαμηλός

Ζώνη	Κύρια απειλή	Πιθανότητα	Συνέπεια	Κίνδυνος
Πλυντήρια	Κλοπή αντικειμένων	Υψηλή	Χαμηλή	Μεσαίος
Διάδρομοι δωματίων	—	—	—	Εκτός πεδίου
Αίθουσα κοινής χρήσης	—	—	—	Εκτός πεδίου

Οι δύο τελευταίες γραμμές δεν αποτελούν παράλειψη. Όπως τεκμηριώθηκε στην §6.6.8, οι χώροι αυτοί εξαιρούνται από τη βιντεοεπιτήρηση για λόγους προστασίας της ιδιωτικότητας των ενοίκων, ανεξάρτητα από την τεχνική σκοπιμότητα. Η ρητή καταγραφή τους ως εκτός πεδίου αποτελεί μέρος της τεκμηρίωσης.

7.3.3 Καθορισμός βαθμίδας ασφαλείας

Με βάση την ανάλυση και τα κριτήρια του EN 50131 που αναλύθηκαν στην §3.4.1, η εγκατάσταση κατατάσσεται ως εξής.

Για το **σύνολο της εγκατάστασης** επιλέγεται η **Βαθμίδα 2**. Το προφίλ του αναμενόμενου δράστη — περιορισμένη γνώση συστημάτων συναγερμού, γενικό φάσμα εργαλείων — αντιστοιχεί στην πλειονότητα των περιστατικών σε κτήρια κατοικιών.

Για το **γραφείο διαχείρισης και τον χώρο δικτυακού εξοπλισμού** τεκμηριώνεται απαίτηση **Βαθμίδας 3**, λόγω της συγκέντρωσης κρίσιμων υποδομών και της σοβαρότητας των συνεπειών παραβίασης.

Η διαφοροποίηση αυτή έχει άμεση συνέπεια στην επιλογή εξοπλισμού. Όπως τεκμηριώνεται από τα πιστοποιητικά συμμόρφωσης, οι διαδεδωμένες πλατφόρμες ασύρματων συστημάτων του συγκεκριμένου κατασκευαστή πιστοποιούνται σε **Βαθμίδα 2 και Κλάση Περιβάλλοντος II** [12]. Δεν υπάρχει διαμόρφωση που να επιτυγχάνει Βαθμίδα 3.

Σε συνδυασμό με τον κανόνα του ασθενέστερου εξαρτήματος που διατυπώθηκε στην §3.4.1, το συμπέρασμα είναι μονοσήμαντο: **η απαίτηση Βαθμίδας 3 στα κρίσιμα σημεία καθιστά τον ενσύρματο κορμό υποχρεωτικό και όχι απλή προτίμηση**. Η διαπίστωση αυτή, η οποία προέκυψε από την τεκμηρίωση και όχι από εκ των προτέρων επιλογή, καθορίζει την αρχιτεκτονική ολόκληρου του υποσυστήματος συναγερμού.

7.4 Σχεδίαση σε τρία επίπεδα

7.4.1 Πρώτο επίπεδο — περίμετρος οικοπέδου

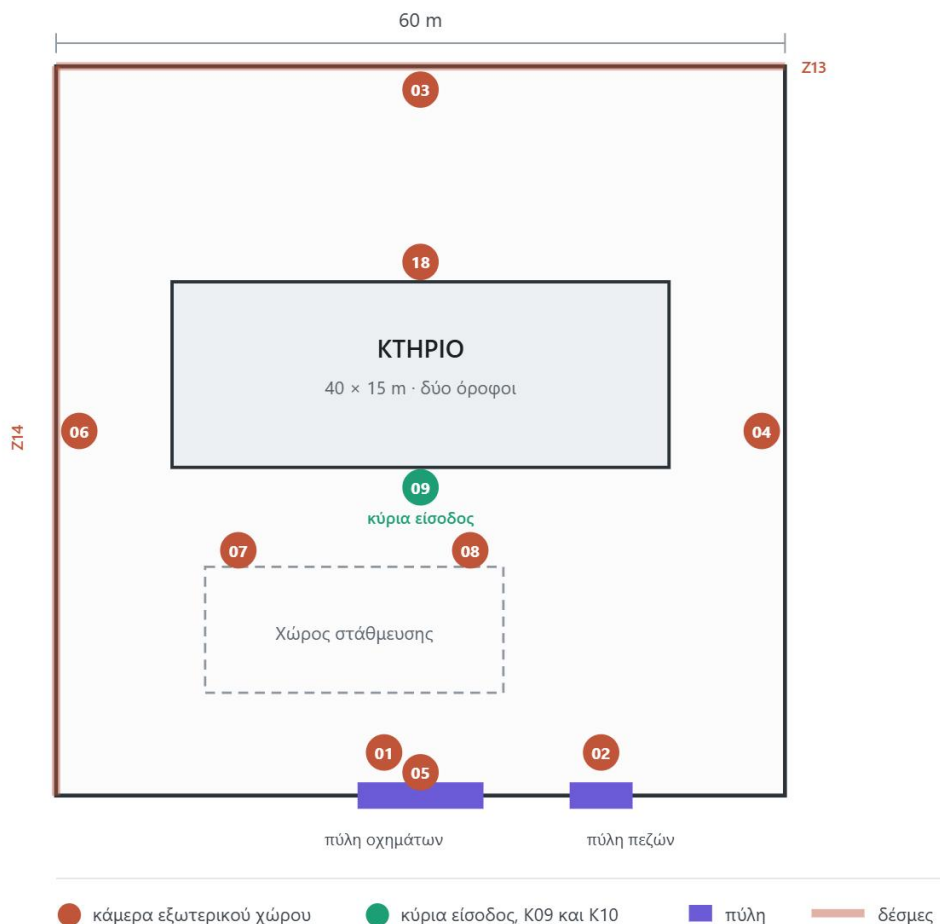
Η περίμετρος των 240 m προστατεύεται με συνδυασμό δύο τεχνολογιών, σύμφωνα με τη συγκριτική αξιολόγηση του Πίνακα 4.1.

Στις **δύο πύλες** τοποθετούνται κάμερες με απαίτηση ταυτοποίησης, καθώς αποτελούν σημεία υποχρεωτικής διέλευσης όπου ο στόχος πλησιάζει μετωπικά.

Στα **τέσσερα σκέλη της περίφραξης** εφαρμόζεται κάλυψη με κάμερες σε παράλληλη διάταξη, με απαίτηση ανίχνευσης. Η επιλογή οπτικών καμερών με ανάλυση βίντεο αντί δεσμών υπερύθρων

τεκμηριώνεται από τρία κριτήρια: το χαμηλότερο συνολικό κόστος για μήκος 240 m, την εγγενή οπτική επαλήθευση, και την αποφυγή των ψευδών συναγερμών που θα προκαλούσαν τα αδέσποτα ζώα σε δέσμες χαμηλού ύψους.

Σε δύο τμήματα αυξημένου κινδύνου — το πίσω σκέλος της περιφράξης, το οποίο δεν είναι ορατό από τον δρόμο — προστίθενται δέσμες υπερύθρων ως δεύτερο, ανεξάρτητο μέσο ανίχνευσης.



Σχήμα 7.1: Κάτοψη οικοπέδου με περιμετρική κάλυψη και θέσεις εξοπλισμού

7.4.2 Δεύτερο επίπεδο — κέλυφος κτηρίου

Όλα τα ανοίγματα του ισογείου προστατεύονται με μαγνητικές επαφές. Οι τρεις εισοδοί καλύπτονται επιπλέον με κάμερες.

Η **κύρια είσοδος** αποτελεί το σημείο υψηλότερου κινδύνου της εγκατάστασης, όχι λόγω πιθανότητας διάρρηξης αλλά λόγω της συνοδευόμενης εισόδου, η οποία όπως αναλύθηκε στην §4.6.7 δεν αντιμετωπίζεται τεχνικά. Καλύπτεται με δύο κάμερες, εξωτερικά και εσωτερικά, αμφότερες με απαίτηση ταυτοποίησης.

Η **έξοδος κινδύνου** εξοπλίζεται με μαγνητική επαφή και τοπική σήμανση. Το κλείθρο είναι υποχρεωτικά ασφαλούς αστοχίας, σύμφωνα με την §4.6.4.

7.4.3 Τρίτο επίπεδο — εσωτερικοί χώροι

Η κάλυψη περιορίζεται στους χώρους που τεκμηριώθηκαν στον Πίνακα 7.2. Παθητικοί υπέρυθροι ανιχνευτές τοποθετούνται στην υποδοχή, στα κλιμακοστάσια, στο γραφείο διαχείρισης και στο μηχανοστάσιο, λειτουργώντας κατά τις ώρες που οι χώροι δεν χρησιμοποιούνται.

Στο γραφείο διαχείρισης και στον χώρο δικτυακού εξοπλισμού τοποθετούνται ανιχνευτές διπλής τεχνολογίας με ανίχνευση συσκότισης, σύμφωνα με την απαίτηση Βαθμίδας 3.

7.5 Χωροθέτηση καμερών

Ο πίνακας που ακολουθεί καταγράφει κάθε κάμερα με τη λειτουργική της απαίτηση κατά DORI και την αιτιολόγηση της θέσης της.

Πίνακας 7.3: Χωροθέτηση καμερών με λειτουργικές απαιτήσεις

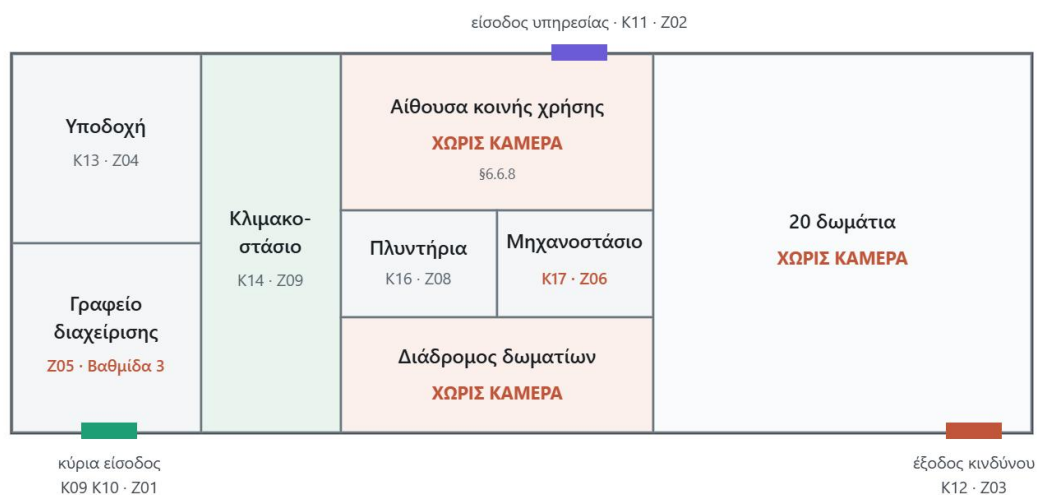
A/A	Θέση	Τύπος	Απαίτηση DORI	Αιτιολόγηση
K01	Πύλη οχημάτων, εξωτερικά	Bullet	Ταυτοποίηση	Σημείο υποχρεωτικής διέλευσης, μετωπική προσέγγιση
K02	Πύλη πεζών	Bullet	Ταυτοποίηση	Σημείο υποχρεωτικής διέλευσης
K03	Περίφραξη, βόρειο σκέλος	Bullet	Ανίχνευση	Παράλληλη κάλυψη 60 m
K04	Περίφραξη, ανατολικό σκέλος	Bullet	Ανίχνευση	Παράλληλη κάλυψη 60 m
K05	Περίφραξη, νότιο σκέλος	Bullet	Ανίχνευση	Παράλληλη κάλυψη 60 m
K06	Περίφραξη, δυτικό σκέλος	Bullet	Ανίχνευση	Παράλληλη κάλυψη 60 m
K07	Χώρος στάθμευσης, ανατολικά	Turret	Παρατήρηση	Εποπτεία 6 θέσεων
K08	Χώρος στάθμευσης, δυτικά	Turret	Παρατήρηση	Εποπτεία 6 θέσεων
K09	Κύρια είσοδος, εξωτερικά	Turret	Ταυτοποίηση	Υψηλότερος κίνδυνος, μετωπική λήψη
K10	Κύρια είσοδος, εσωτερικά	Turret	Ταυτοποίηση	Τεκμηρίωση συνοδευόμενης εισόδου
K11	Είσοδος υπηρεσίας	Turret	Ταυτοποίηση	Υψηλός κίνδυνος, χαμηλή επιτήρηση
K12	Έξοδος κινδύνου, εξωτερικά	Bullet	Παρατήρηση	Ανίχνευση χρήσης εκτός έκτακτης ανάγκης
K13	Υποδοχή	Dome	Παρατήρηση	Εποπτεία κοινόχρηστου χώρου
K14	Κλιμακοστάσιο ισογείου	Dome	Παρατήρηση	Σημείο διακλάδωσης κίνησης
K15	Κλιμακοστάσιο ορόφου	Dome	Παρατήρηση	Σημείο διακλάδωσης κίνησης
K16	Πλυντήρια	Dome	Παρατήρηση	Συχνή κλοπή αντικειμένων

A/A	Θέση	Τύπος	Απαίτηση DORI	Αιτιολόγηση
K17	Είσοδος μηχανοστασίου	Turret	Ταυτοποίηση	Κρίσιμη υποδομή
K18	Περιμετρικός διάδρομος κτηρίου, πίσω όψη	Bullet	Ανίχνευση	Τυφλό σημείο, μη ορατό από τον δρόμο

Σύνολο: **18 κάμερες**.

Δεν τοποθετούνται κάμερες σε διαδρόμους δωματίων, στην αίθουσα κοινής χρήσης και στον χώρο μελέτης. Η εξαίρεση τεκμηριώνεται στην §6.6.8 και αποτελεί συνειδητή σχεδιαστική απόφαση, όχι παράλειψη.

Όλες οι εξωτερικές κάμερες τοποθετούνται σε ύψος 3 m με γωνία κλίσης μικρότερη των 30 μοιρών, σύμφωνα με τις παραμέτρους της §4.4.



Οι χώροι με κόκκινη σήμανση εξαιρούνται συνειδητά από τη βιντεοεπιτήρηση.

Η εξαίρεση τεκμηριώνεται στην §6.6.8 και καταγράφεται στον Πίνακα 7.2 ως «εκτός πεδίου».

K = κάμερα · Z = ζώνη συναγερμού

Σχήμα 7.2: Κάτοψη ισογείου με θέσεις καμερών, ζωνών και σημείων ελέγχου πρόσβασης



έλεγχος πρόσβασης εισόδου ορόφου

Στον όροφο επιτρέπεται μία μόνο κάμερα, στο κλιμακοστάσιο.

Ο έλεγχος πρόσβασης στην είσοδο του ορόφου καλύπτει τη λειτουργική ανάγκη χωρίς επιτήρηση των ενοίκων.

Σχήμα 7.3: Κάτοψη πρώτου ορόφου

7.6 Ζώνες συναγερμού

Πίνακας 7.4: Πίνακας ζωνών συστήματος συναγερμού

Ζώνη	Χώρος	Τύπος ανιχνευτή	Τύπος ζώνης	Διασύνδεση
Z01	Κύρια είσοδος	Μαγνητική επαφή	Καθυστέρησης	Ενσύρματη
Z02	Είσοδος υπηρεσίας	Μαγνητική επαφή	Άμεση	Ενσύρματη
Z03	Έξοδος κινδύνου	Μαγνητική επαφή	Άμεση, 24ωρη	Ενσύρματη
Z04	Υποδοχή	PIR	Καθυστέρησης	Ενσύρματη
Z05	Γραφείο διαχείρισης	Διπλής τεχνολογίας με ανίχνευση συσκότισης	Άμεση	Ενσύρματη
Z06	Μηχανοστάσιο	Διπλής τεχνολογίας με ανίχνευση συσκότισης	Άμεση	Ενσύρματη
Z07	Χώρος δικτυακού εξοπλισμού	Μαγνητική επαφή και PIR	Άμεση, 24ωρη	Ενσύρματη
Z08	Πλυντήριο	PIR	Άμεση	Ενσύρματη
Z09	Κλιμακοστάσιο ισογείου	PIR	Άμεση	Ενσύρματη

Ζώνη	Χώρος	Τύπος ανιχνευτή	Τύπος ζώνης	Διασύνδεση
Z10	Κλιμακοστάσιο ορόφου	PIR	Άμεση	Ενσύρματη
Z11	Παράθυρα ισογείου, βόρεια όψη	Μαγνητικές επαφές σε σειρά	Άμεση	Ενσύρματη
Z12	Παράθυρα ισογείου, νότια όψη	Μαγνητικές επαφές σε σειρά	Άμεση	Ενσύρματη
Z13	Περίφραξη, πίσω σκέλος	Δέσμη υπερύθρων	Άμεση	Ενσύρματη
Z14	Περίφραξη, πλάγιο σκέλος	Δέσμη υπερύθρων	Άμεση	Ενσύρματη
Z15	Εφεδρική ζώνη επέκτασης	—	—	Ασύρματη
Z16	Εφεδρική ζώνη επέκτασης	—	—	Ασύρματη

Όλες οι ενσύρματες ζώνες υλοποιούνται με διπλή τερματική αντίσταση, ώστε να διακρίνονται ηρεμία, συναγερμός, παραβίαση κελύφους και βλάβη γραμμής σε ενιαίο βρόχο, σύμφωνα με την ανάλυση της §3.2.2.

Οι δύο εφεδρικές ασύρματες ζώνες προβλέπονται για μελλοντικές επεκτάσεις σε σημεία όπου η καλωδίωση δεν έχει προβλεφθεί, αξιοποιώντας την υβριδική προσέγγιση της §3.5.2.

7.7 Έλεγχος πρόσβασης

Πίνακας 7.5: Σημεία ελέγχου πρόσβασης και δικαιώματα ανά ρόλο

Σημείο	Ένοικοι	Διοίκηση	Καθαριότητα	Τεχνικοί	Τύπος κλειθρού
Πύλη πεζών	Πλήρης	Πλήρης	Ωράριο	Ωράριο	Ασφαλούς κλειδώματος
Κύρια είσοδος κτηρίου	Πλήρης	Πλήρης	Ωράριο	Ωράριο	Ασφαλούς αστοχίας
Είσοδος υπηρεσίας	Καμία	Πλήρης	Ωράριο	Ωράριο	Ασφαλούς αστοχίας
Κλιμακοστάσιο προς όροφο	Πλήρης	Πλήρης	Ωράριο	Ωράριο	Ασφαλούς αστοχίας
Γραφείο διαχείρισης	Καμία	Πλήρης	Καμία	Συνοδεία	Ασφαλούς κλειδώματος
Μηχανοστάσιο	Καμία	Πλήρης	Καμία	Ωράριο	Ασφαλούς κλειδώματος
Χώρος δικτυακού εξοπλισμού	Καμία	Πλήρης	Καμία	Συνοδεία	Ασφαλούς κλειδώματος
Έξοδος κινδύνου	Έξοδος	Έξοδος	Έξοδος μόνο	Έξοδος	Μπάρα πανικού

Σημείο	Ένοικοι	Διοίκηση	Καθαριότητα	Τεχνικοί	Τύπος κλείθρου
	μόνο	μόνο		μόνο	

Η τεχνολογία ταυτοποίησης που επιλέγεται είναι **κάρτα εγγύτητας υψηλής συχνότητας με κρυπτογράφηση AES**, σύμφωνα με την ανάλυση των §4.6.2 και §4.6.6. Η βιομετρική ταυτοποίηση απορρίπτεται ρητά για τους λόγους που τεκμηριώθηκαν στην §6.6.9: αποτελεί ειδική κατηγορία δεδομένων, και η συγκατάθεση δεν μπορεί να θεωρηθεί ελεύθερη όταν αφορά την είσοδο στην ίδια την κατοικία του υποκειμένου.

Όλα τα κλείθρα των οδών διαφυγής συνδέονται με το σύστημα πυρανίχνευσης και απασφαλίζουν αυτόματα σε συναγερμό, σύμφωνα με την §4.6.4.

7.8 Δικτυακή σχεδίαση

Η δικτυακή υποδομή ακολουθεί τις αρχές του Κεφαλαίου 5.

Το δίκτυο τμηματοποιείται σε τέσσερα λογικά δίκτυα: ένα για τις κάμερες και το καταγραφικό, ένα για τον συναγερμό και τον έλεγχο πρόσβασης, ένα για τους σταθμούς διαχείρισης και ένα για το δίκτυο γενικής χρήσης των ενοίκων. Η κίνηση μεταξύ τους επιτρέπεται μόνο μέσω ρητών κανόνων.

Η απομακρυσμένη πρόσβαση υλοποιείται μέσω **κρυπτογραφημένης σήραγγας** και όχι με προώθηση θυρών. Η επιλογή τεκμηριώνεται από τον Πίνακα 5.2: σε εγκατάσταση όπου διαμένουν ογδόντα άτομα, η άμεση έκθεση του καταγραφικού στο διαδίκτυο δεν είναι αποδεκτός κίνδυνος.

Οι κάμερες λαμβάνουν στατικές διευθύνσεις σε δεσμευμένο εύρος, σύμφωνα με την §5.3.3.

7.9 Τεχνικοί υπολογισμοί

7.9.1 Εύρος ζώνης

Με παραδοχή μέσου ρυθμού μετάδοσης 4 Mbps ανά κάμερα σε ανάλυση 4 MP με κωδικοποίηση H.265+, η συνολική απαίτηση για την κύρια ροή είναι:

$$\text{Συνολικό εύρος ζώνης} = 18 \times 4 = 72 \text{ Mbps (7.1)}$$

Το μέγεθος αυτό καθορίζει την ελάχιστη απαίτηση χωρητικότητας εισόδου του καταγραφικού. Με πρόβλεψη περιθωρίου 30% για αιχμές σε σκηνές έντονης κίνησης, η απαίτηση ανέρχεται σε **94 Mbps**.

Η παραδοχή των 4 Mbps ελέγχεται πειραματικά στο Κεφάλαιο 8, όπου μετράται ο πραγματικός ρυθμός υπό διάφορες συνθήκες.

7.9.2 Αποθηκευτικός χώρος

Με εφαρμογή της σχέσης (2.2), για συνεχή καταγραφή εικοσιτετράωρης λειτουργίας και χρόνο τήρησης δεκαπέντε ημερών:

$$\text{Χωρητικότητα} = (4 / 8) \times 3600 \times 24 \times 15 \times 18 / 1024 = 11.390 \text{ GB} \approx \mathbf{11,4 \text{ TB}} \text{ (7.2)}$$

Ο χρόνος τήρησης των δεκαπέντε ημερών δεν επιλέγεται τεχνικά αλλά προκύπτει από την αρχή του περιορισμού της περιόδου αποθήκευσης, όπως αναλύθηκε στην §6.6.4.

Με πρόβλεψη περιθωρίου και εφεδρείας, προτείνεται διάταξη τεσσάρων δίσκων των 6 TB σε RAID 5, η οποία παρέχει 18 TB ωφέλιμης χωρητικότητας με ανοχή σε βλάβη ενός δίσκου.

7.9.3 Προϋπολογισμός ισχύος τροφοδοσίας

Με παραδοχή μέσης κατανάλωσης 10 W ανά σταθερή κάμερα και 30 W για την κάμερα μεταβλητής θέασης:

$$\text{Συνολική ισχύς} = 17 \times 10 + 30 = 200 \text{ W (7.3)}$$

Με περιθώριο 30%, η απαίτηση ανέρχεται σε **260 W**. Επιλέγεται μεταγωγέας εικοσιτεσσάρων θυρών με συνολικό προϋπολογισμό ισχύος τουλάχιστον 370 W, σύμφωνα με την επισήμανση της §5.8.2 ότι ο συνολικός προϋπολογισμός είναι μικρότερος από το γινόμενο θυρών επί μέγιστη ισχύ.

7.9.4 Αυτονομία μπαταρίας συναγερμού

Με παραδοχή ρεύματος ηρεμίας 400 mA για τον πίνακα και τα περιφερειακά, και απαίτηση αυτονομίας δώδεκα ωρών:

$$\text{Χωρητικότητα} = 0,4 \times 12 \times 1,25 = 6 \text{ Ah (7.4)}$$

Ο συντελεστής 1,25 αντιστοιχεί σε περιθώριο για τη γήρανση της μπαταρίας. Επιλέγεται μπαταρία 7 Ah, η οποία αποτελεί τυποποιημένο μέγεθος.

7.9.5 Καλωδίωση

Με το κτήριο να έχει μέγιστη διάσταση 40 m και το οικόπεδο 60 m, το όριο των εκατό μέτρων του χαλκού που αναφέρθηκε στην §5.8.4 απαιτεί προσοχή μόνο για τις περιμετρικές κάμερες.

Η λύση που υιοθετείται είναι η τοποθέτηση δευτερεύοντος μεταγωγέα σε προστατευμένο σημείο του οικοπέδου, ο οποίος εξυπηρετεί τις κάμερες K01 έως K06 και συνδέεται με τον κύριο μεταγωγέα μέσω οπτικής ίνας. Η επιλογή της ίνας αντί χαλκού παρέχει επιπλέον ηλεκτρική απομόνωση, περιορίζοντας τη μετάδοση υπερτάσεων από τις εξωτερικές κάμερες προς τον κύριο εξοπλισμό.

Όλες οι εξωτερικές κάμερες εξοπλίζονται με διατάξεις καταστολής υπερτάσεων.

7.10 Επιλογή εξοπλισμού και κοστολόγηση

7.10.1 Κριτήρια επιλογής

Η επιλογή του κατασκευαστή τεκμηριώνεται από τέσσερα κριτήρια: την πληρότητα του οικοσυστήματος, η οποία επιτρέπει την ενοποίηση των τριών υποσυστημάτων σε κοινή πλατφόρμα χωρίς ενδιάμεσα λογισμικά· τη διαθεσιμότητα στην ελληνική αγορά και την υποστήριξη μετά την πώληση· τη σχέση κόστους προς απόδοση στην κατηγορία μεσαίων εγκαταστάσεων· και την ύπαρξη τεκμηριωμένων πιστοποιήσεων συμμόρφωσης με τα ευρωπαϊκά πρότυπα.

7.10.2 Εναλλακτικά σενάρια

Η κοστολόγηση εκπονείται σε τρία σενάρια, τα οποία διαφοροποιούνται ως προς την ανάλυση των καμερών, τις δυνατότητες ανάλυσης βίντεο και το επίπεδο εφεδρείας.

Πίνακας 7.6: Διαφοροποίηση των τριών σεναρίων

Παράμετρος	Οικονομικό	Μεσαίο	Ενισχυμένο
Ανάλυση καμερών	2 MP	4 MP	4 MP και 8 MP στα κρίσιμα
Ταξινόμηση αντικειμένου	Μόνο στις περιμετρικές	Σε όλες τις εξωτερικές	Σε όλες
Νυχτερινή λειτουργία	Υπέρυθρος φωτισμός	Υπέρυθρος, έγχρωμη στις εισόδους	Έγχρωμη παντού
Διάταξη δίσκων	Χωρίς εφεδρεία	RAID 5	RAID 6
Χρόνος τήρησης	10 ημέρες	15 ημέρες	15 ημέρες
Περιμετρικές δέσμες	Καμία	Δύο τμήματα	Τέσσερα τμήματα
Κάρτες πρόσβασης	Απλής τεχνολογίας	Με κρυπτογράφηση AES	Με κρυπτογράφηση AES
Εφεδρική τροφοδοσία	Μόνο συναγερμός	Συναγερμός και καταγραφικό	Πλήρης εγκατάσταση

Το **οικονομικό σενάριο απορρίπτεται** στη σύνθεση της μελέτης, για δύο λόγους που έχουν ήδη τεκμηριωθεί. Πρώτον, οι κάρτες απλής τεχνολογίας παρουσιάζουν την ευπάθεια που αναλύθηκε στην §4.6.6. Δεύτερον, η απουσία εφεδρείας δίσκων σημαίνει ότι βλάβη ενός δίσκου συνεπάγεται απώλεια ολόκληρου του καταγεγραμμένου υλικού.

Το **μεσαίο σενάριο** επιλέγεται ως η πρόταση της μελέτης, ως το σημείο όπου κάθε επιπλέον δαπάνη αντιστοιχεί σε τεκμηριωμένη μείωση κινδύνου.

7.10.3 Δομή προϋπολογισμού

Πίνακας 7.7: Δομή προϋπολογισμού του προτεινόμενου σεναρίου

Κατηγορία	Ποσότητα	Παρατηρήσεις
Κάμερες σταθερές εξωτερικού χώρου	10	Bullet και turret, 4 MP, IP66
Κάμερες εσωτερικού χώρου	8	Dome και turret, 4 MP, IK10 στα προσβάσιμα
Δικτυακό καταγραφικό	1	32 καναλιών, χωρητικότητα εισόδου ≥ 128 Mbps
Δίσκοι αποθήκευσης	4 × 6 TB	Τύπου συνεχούς εγγραφής, RAID 5
Μεταγωγέας PoE κύριος	1	24 θυρών, ≥ 370 W

Κατηγορία	Ποσότητα	Παρατηρήσεις
Μεταγωγέας PoE περιμετρικός	1	8 θυρών, εξωτερικού ερμαρίου
Ζεύξη οπτικής ίνας	1	Με μετατροπείς μέσου
Πίνακας συναγερμού	1	Ενσύρματος, ≥ 16 ζώνες, με ασύρματη επέκταση
Ανιχνευτές PIR	6	Ενσύρματοι
Ανιχνευτές διπλής τεχνολογίας	3	Με ανίχνευση συσκότισης
Μαγνητικές επαφές	14	Συμπεριλαμβανομένων παραθύρων
Δέσμες υπερύθρων	2 ζεύγη	Τετραπλής δέσμης
Σειρήνες	2	Μία εσωτερική, μία εξωτερική με φάρο
Ελεγκτής πρόσβασης	2	Τεσσάρων θυρών έκαστος
Αναγνώστες καρτών	8	Υψηλής συχνότητας με AES
Κλείθρα	8	Ασφαλούς αστοχίας και κλειδώματος κατά περίπτωση
Κάρτες χρηστών	120	Με πρόβλεψη απωλειών και ανανέωσης
Αδιάλειπτη τροφοδοσία	1	Για καταγραφικό και ενεργό εξοπλισμό
Καλωδίωση και υλικά εγκατάστασης	—	Cat6, καλώδιο συναγερμού, σωληνώσεις, ερμάρια
Εργασία εγκατάστασης και παραμετροποίησης	—	

Οι μονάδες τιμής δεν παρατίθενται στο παρόν κείμενο, καθώς μεταβάλλονται σημαντικά ανάλογα με τον προμηθευτή και τον χρόνο προσφοράς. Ο πλήρης προϋπολογισμός με τιμές μονάδας παρατίθεται στο Παράρτημα Ε, βασισμένος σε προσφορά που ζητήθηκε για τους σκοπούς της μελέτης.

7.10.4 Κόστος κύκλου ζωής

Πέραν του κόστους κτήσης, η μελέτη προβλέπει τις επαναλαμβανόμενες δαπάνες: ετήσια συντήρηση και έλεγχο καλής λειτουργίας, αντικατάσταση μπαταριών του συστήματος συναγερμού ανά τριετία, αντικατάσταση δίσκων αποθήκευσης ανά τετραετία λόγω της συνεχούς εγγραφής, και ετήσια έκδοση καρτών για τους νέους ενοίκους.

Η πρόβλεψη αυτή είναι σημαντική διότι η συνήθης πρακτική περιορίζει την οικονομοτεχνική αξιολόγηση στο κόστος κτήσης, με αποτέλεσμα εγκαταστάσεις που εγκαταλείπονται λόγω απουσίας πρόβλεψης για τη συντήρησή τους.

7.11 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό, το σύνολο των αρχών που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια εφαρμόστηκε σε συγκεκριμένη εγκατάσταση, από την ανάλυση κινδύνου έως τον προϋπολογισμό.

Δύο αποφάσεις της μελέτης αξίζει να συγκρατηθούν, διότι δεν προέκυψαν από προτίμηση αλλά από τεκμηρίωση.

Η πρώτη αφορά την **αρχιτεκτονική του συναγερμού**. Η ανάλυση κινδύνου κατέδειξε απαίτηση Βαθμίδας 3 στα κρίσιμα σημεία· η εξέταση των πιστοποιήσεων κατέδειξε ότι οι διαδεδομένες ασύρματες πλατφόρμες περιορίζονται σε Βαθμίδα 2· ο κανόνας του ασθενέστερου εξαρτήματος οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο ενσύρματος κορμός είναι υποχρεωτικός. Η αλυσίδα αυτή δείχνει πώς μια σχεδιαστική απόφαση μπορεί να προκύψει από τεκμηρίωση αντί από συνήθεια.

Η δεύτερη αφορά τους **χώρους που δεν καλύπτονται**. Οι διάδρομοι των δωματίων, η αίθουσα κοινής χρήσης και ο χώρος μελέτης εξαιρέθηκαν ρητά, παρότι τεχνικά θα ήταν εύκολο να καλυφθούν. Η εξαίρεση καταγράφηκε στον πίνακα εκτίμησης κινδύνου ως συνειδητή απόφαση, ώστε να είναι σαφές ότι αποτελεί εφαρμογή της αρχής της ελαχιστοποίησης και όχι παράλειψη.

Στο επόμενο κεφάλαιο, η μελέτη εγκαταλείπει το επίπεδο του σχεδιασμού και περνά στη μέτρηση: παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη που υλοποιήθηκε και ελέγχονται οι παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν εδώ.

Κεφάλαιο 8ο: Υλοποίηση, μετρήσεις και αποτελέσματα

8.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί το πειραματικό μέρος της εργασίας. Ενώ τα προηγούμενα κεφάλαια ανέπτυξαν θεωρία και σχεδίασαν με βάση αυτήν, εδώ οι παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν υποβάλλονται σε έλεγχο.

Η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθείται είναι η σύγκριση πρόβλεψης και μέτρησης. Για κάθε μέγεθος που πρόκειται να μετρηθεί, υπολογίζεται πρώτα η θεωρητικά αναμενόμενη τιμή, με βάση τις προδιαγραφές του εξοπλισμού και τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Η πρόβλεψη διατυπώνεται πριν τη μέτρηση και παρατίθεται δίπλα στο μετρημένο αποτέλεσμα.

Η προσέγγιση αυτή εξυπηρετεί δύο σκοπούς. Πρώτον, καθιστά αδύνατη την εκ των υστέρων προσαρμογή των προσδοκιών στα αποτελέσματα. Δεύτερον, μετατρέπει την απόκλιση από ενόχληση σε αντικείμενο μελέτης, απαντώντας απευθείας στο τέταρτο ερευνητικό ερώτημα της εργασίας.

Τα δέκα πειράματα που ακολουθούν επιλέχθηκαν με κριτήριο τη σαφήνεια της μέτρησης. Κάθε πείραμα παράγει ένα μέγεθος που προκύπτει από απλή και επαναλήψιμη διαδικασία, ώστε τα αποτελέσματα να είναι άμεσα επαληθεύσιμα από τρίτο με τον ίδιο εξοπλισμό.

8.2 Πειραματική διάταξη

8.2.1 Ο χώρος δοκιμής

Η πειραματική διάταξη υλοποιήθηκε στην είσοδο πολυκατοικίας. Ο χώρος επιλέχθηκε επειδή παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά που καθιστούν απαιτητική την εγκατάσταση της μελέτης του Κεφαλαίου 7: κοινόχρηστη είσοδο με συχνή διέλευση, ανάγκη ταυτοποίησης εισερχομένων, μεταβαλλόμενες συνθήκες φωτισμού κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, και παρουσία παραγόντων που προκαλούν ψευδείς συναγερμούς, όπως διερχόμενα οχήματα και αδέσποτα ζώα.

Η κλίμακα της διάταξης είναι μικρότερη από αυτήν της μελέτης. Η διάταξη χρησιμοποιείται για την επαλήθευση των υπολογιστικών μοντέλων και όχι ως πλήρης προσομοίωση της τελικής εγκατάστασης, όπως δηλώθηκε ρητά στην οριοθέτηση της §1.6.



Σχήμα 8.1: Η πειραματική διάταξη στον χώρο δοκιμής. Διακρίνεται η κάμερα σε στήριξη οροφής και η ενημερωτική σήμανση βιντεοεπιτήρησης στην είσοδο.

8.2.2 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός της διάταξης παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.1. Η καταγραφή της έκδοσης υλικολογισμικού κάθε συσκευής είναι απαραίτητη για την επαναληψιμότητα των μετρήσεων, καθώς η συμπεριφορά των αλγορίθμων ανάλυσης βίντεο εξαρτάται από αυτήν και μεταβάλλεται μεταξύ εκδόσεων.

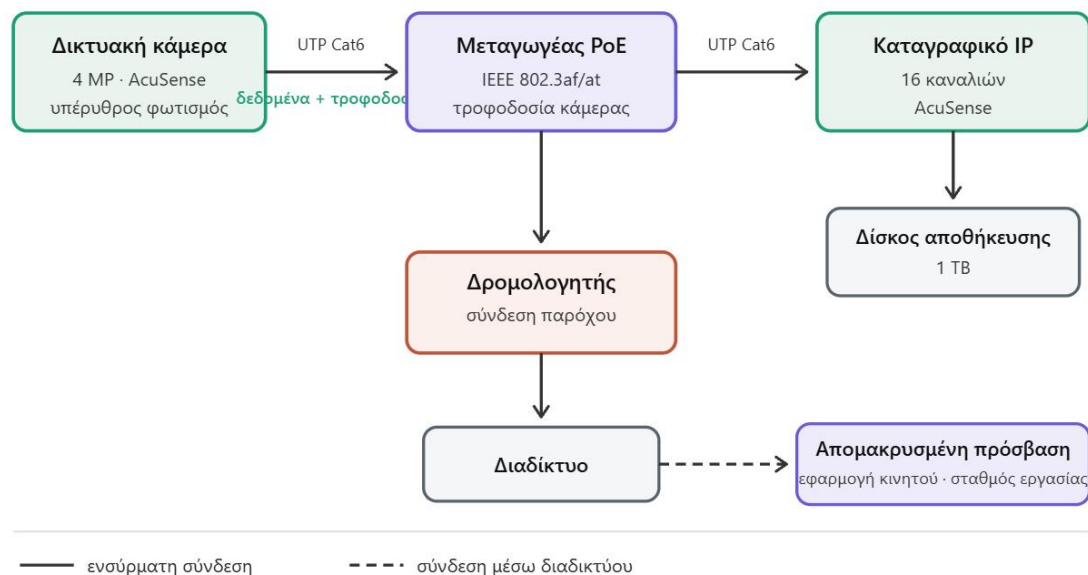
Πίνακας 8.1: Εξοπλισμός της πειραματικής διάταξης

Συσκευή	Μοντέλο	Βασικά χαρακτηριστικά	Υλικολογισμικό
Δικτυακή κάμερα	DS-2CD2143G2-I	4 MP, ταξινόμηση αντικειμένου (AcuSense), υπέρυθρος φωτισμός (IR 30 m), WDR 120 dB	V5.5.801 211105 build
Δικτυακό καταγραφικό	DS-7616NXI-K2	16 καναλιών, AcuSense, 2 θύρες SATA, αποκωδικοποίηση H.265+	V4.74.005 230712 build
Δίσκος αποθήκευσης	WD Surveillance (WD10PURZ)	Purple 1 TB, 5400 RPM, SATA 6 Gb/s, cache 64 MB, AllFrame 4K	80.00A80

Συσκευή	Μοντέλο	Βασικά χαρακτηριστικά	Υλικολογισμικό
Μεταγωγέας	DS-3E0105P-E/M	Τροφοδοσία μέσω Ethernet (4 θύρες PoE 10/100 Mbps + 1 uplink), συνολική ισχύς 35 W V1.0.2 build 200924	

8.2.3 Συνδεσμολογία

Η κάμερα συνδέεται με καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών σε θύρα του μεταγωγέα με τροφοδοσία μέσω Ethernet, ο οποίος παρέχει ταυτόχρονα δεδομένα και ηλεκτρική ισχύ, καταργώντας την ανάγκη χωριστής γραμμής τροφοδοσίας. Ο μεταγωγέας συνδέεται με το δικτυακό καταγραφικό και με τον δρομολογητή της εγκατάστασης. Η πλήρης συνδεσμολογία παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.2.



8.2.4 Βασική διαμόρφωση

Η βασική διαμόρφωση αποτελεί το σημείο αναφοράς για τα πειράματα που ακολουθούν. Όπου ένα πείραμα απαιτεί μεταβολή παραμέτρου, η μεταβολή δηλώνεται ρητά και όλες οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν στις τιμές του Πίνακα 8.2.

Πίνακας 8.2: Βασική διαμόρφωση της πειραματικής διάταξης

Παράμετρος	Τιμή
Ανάλυση	2560 × 1440 (4 MP)
Εστιακή απόσταση φακού	2,8 mm (οριζόντιο πεδίο θέασης ~103°)
Ρυθμός καρτέ	25 fps
Κωδικοποίηση	H.265+
Έλεγχος ρυθμού μετάδοσης	Μεταβλητός ρυθμός (VBR), μέγιστο όριο 4096 kbps

Παράμετρος

Τιμή

Χρονοπρογραμματισμός καταγραφής Συνεχής καταγραφή 24/7 και επισήμανση συμβάντων (Smart Events)

8.3 Μεθοδολογία

8.3.1 Όργανα μέτρησης

Για τη μέτρηση της καθυστέρησης χρησιμοποιείται χρονόμετρο σε οθόνη και δεύτερη συσκευή λήψης. Για την καταγραφή των συνθηκών φωτισμού χρησιμοποιείται εφαρμογή μέτρησης φωτεινότητας. Για τον καθορισμό των αποστάσεων χρησιμοποιείται μεζούρα. Ο ρυθμός μετάδοσης και η κατανάλωση αποθηκευτικού χώρου λαμβάνονται από τα στατιστικά στοιχεία του καταγραφικού.

Η επιλογή απλών οργάνων είναι σκόπιμη και αποτελεί μεθοδολογική απόφαση. Κάθε μέτρηση της εργασίας μπορεί να επαναληφθεί από τρίτο με τον ίδιο εξοπλισμό και χωρίς εξειδικευμένη εργαστηριακή διάταξη, γεγονός που ενισχύει την επαληθευσσιμότητα των αποτελεσμάτων.

8.3.2 Καταγραφή συνθηκών και επαναλήψεις

Σε κάθε μέτρηση καταγράφονται η ημερομηνία, η ώρα, η στάθμη φωτισμού και οι καιρικές συνθήκες. Η καταγραφή αυτή είναι απαραίτητη, διότι χωρίς αυτήν οι μετρήσεις δεν είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους: μια μέτρηση ρυθμού μετάδοσης χωρίς αναφορά στις συνθήκες της σκηνής δεν φέρει πληροφορία.

Κάθε μέτρηση εκτελείται σε δέκα τουλάχιστον επαναλήψεις, εκτός όπου δηλώνεται διαφορετικά, και παρουσιάζεται ως μέση τιμή συνοδευόμενη από ένδειξη της διασποράς. Η παρουσίαση μεμονωμένων τιμών χωρίς ένδειξη διασποράς αποκρύπτει την αβεβαιότητα και αποφεύγεται συστηματικά.

8.3.3 Μετρικές αξιολόγησης ανίχνευσης

Για την αξιολόγηση των αλγορίθμων ανίχνευσης χρησιμοποιούνται οι καθιερωμένες μετρικές που προκύπτουν από την ταξινόμηση κάθε συμβάντος σε ορθή, ψευδή ή χαμένη ανίχνευση:

$$\text{Ακρίβεια} = \text{Ορθές} / (\text{Ορθές} + \text{Ψευδείς}) \quad (8.1)$$

$$\text{Ανάκληση} = \text{Ορθές} / (\text{Ορθές} + \text{Χαμένες}) \quad (8.2)$$

$$\text{Ρυθμός ψευδών συναγερμών} = \text{Ψευδείς} / \text{ημέρα} \quad (8.3)$$

Η ταυτόχρονη χρήση ακρίβειας και ανάκλησης είναι ουσιώδης. Ένα σύστημα μπορεί να μηδενίσει τους ψευδείς συναγερμούς αγνοώντας κάθε συμβάν, επιτυγχάνοντας τέλεια ακρίβεια και μηδενική ανάκληση. Η αξιολόγηση με ένα μόνο μέγεθος θα οδηγούσε σε παραπλανητικό συμπέρασμα.

8.3.4 Διατύπωση των θεωρητικών προβλέψεων

Πριν από κάθε πείραμα διατυπώνεται η αναμενόμενη τιμή, με ρητή αναφορά στην πηγή από την οποία προκύπτει. Οι προβλέψεις προέρχονται από τρεις πηγές: τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, τις προδιαγραφές του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, και τις γενικές ιδιότητες των αλγορίθμων κωδικοποίησης και ανάλυσης.

Οι προβλέψεις διατυπώνονται ως εύρη τιμών και όχι ως μεμονωμένοι αριθμοί, διότι εξαρτώνται από παράγοντες που δεν είναι πλήρως ελεγχόμενοι στο πειραματικό περιβάλλον, όπως η ένταση της κίνησης στη σκηνή και οι μεταβολές του φυσικού φωτισμού.

8.4 Π1 — Ψευδείς συναγερμοί: ανίχνευση κίνησης έναντι ταξινόμησης αντικειμένου

8.4.1 Σκοπός και διαδικασία

Το πείραμα απαντά στο πρώτο ερευνητικό ερώτημα και αποτελεί το κεντρικό πείραμα της εργασίας.

Η διάταξη λειτουργεί επί δεκατέσσερις συνεχείς ημέρες. Κατά τις πρώτες επτά ενεργοποιείται αποκλειστικά η συμβατική ανίχνευση κίνησης, κατά τις επόμενες επτά αποκλειστικά η ανίχνευση με ταξινόμηση αντικειμένου. Οι ρυθμίσεις ευαισθησίας και η περιοχή ανίχνευσης παραμένουν ταυτόσημες και στις δύο περιόδους, ώστε η μόνη μεταβλητή να είναι ο αλγόριθμος.

Κάθε σημανθέν συμβάν αξιολογείται με ανασκόπηση του αντίστοιχου βίντεο και ταξινομείται ως ορθή ή ψευδής ανίχνευση. Για τον εντοπισμό των χαμένων ανιχνεύσεων, οι οποίες εξ ορισμού δεν εμφανίζονται στο αρχείο συμβάντων, επιλέγονται τυχαία τρεις ώρες συνεχούς καταγραφής ανά μέθοδο και μετρώνται οι διελεύσεις που δεν προκάλεσαν σήμανση.

8.4.2 Θεωρητική πρόβλεψη

Η συμβατική ανίχνευση κίνησης λειτουργεί συγκρίνοντας διαδοχικά καρέ και εντοπίζοντας περιοχές όπου η φωτεινότητα των εικονοστοιχείων μεταβάλλεται πέραν ενός κατωφλίου. Δεν διαθέτει καμία πληροφορία για τη φύση του κινούμενου αντικειμένου. Αναμένεται συνεπώς να σημαίνει κάθε μεταβολή της σκηνής, ανεξάρτητα από την προέλευσή της, με αποτέλεσμα πολύ υψηλή ανάκληση της τάξης του 0,95 έως 1,00 και ιδιαίτερα χαμηλή ακρίβεια της τάξης του 0,10 έως 0,30. Για είσοδο πολυκατοικίας με μέτρια κυκλοφορία, ο ρυθμός ψευδών συναγερμών αναμένεται μεταξύ 20 και 60 ανά ημέρα.

Η ανίχνευση με ταξινόμηση αντικειμένου εφαρμόζει αλγόριθμο βαθιάς μάθησης ο οποίος κατατάσσει το ανιχνευθέν αντικείμενο πριν την ενεργοποίηση της σήμανσης. Αναμένεται να εξαλείψει τις κατηγορίες ψευδών συναγερμών που δεν αφορούν ανθρώπους ή οχήματα, δηλαδή τις σκιές, τη βλάστηση σε κίνηση και τα ζώα, οδηγώντας σε μείωση του ρυθμού ψευδών συναγερμών κατά 80 έως 95 τοις εκατό και σε αύξηση της ακρίβειας στο εύρος 0,70 έως 0,92.

Ταυτόχρονα προβλέπεται μείωση της ανάκλησης στο εύρος 0,85 έως 0,95. Η μείωση αυτή δεν αποτελεί ελάττωμα της υλοποίησης αλλά εγγενές χαρακτηριστικό της προσέγγισης: η ταξινόμηση απαιτεί επαρκή αριθμό διαδοχικών καρέ και επαρκή ορατότητα του ανθρώπινου περιγράμματος, προϋποθέσεις που δεν ικανοποιούνται πάντοτε.

8.4.3 Αποτελέσματα

Πίνακας 8.3: Σύγκριση μεθόδων ανίχνευσης — πρόβλεψη και μέτρηση

Μέγεθος	Πρόβλεψη, κίνησης	ανίχνευση Μέτρηση	Πρόβλεψη, ταξινόμηση	Μέτρηση
Ορθές ανιχνεύσεις	60–90	78	60–90	72

Μέγεθος	Πρόβλεψη, κίνησης	ανίχνευση	Μέτρηση	Πρόβλεψη, ταξινόμηση	Μέτρηση
Ψευδείς ανιχνεύσεις	140–420		254	7–42	16
Χαμένες ανιχνεύσεις	0–4		1	4–12	7
Ακρίβεια	0,10–0,30		0,235 (23,5%)	0,70–0,92	0,818 (81,8%)
Ανάκληση	0,95–1,00		0,987 (98,7%)	0,85–0,95	0,911 (91,1%)
Ψευδείς ανά ημέρα	20–60		36,3	1–6	2,3

Πίνακας 8.4: Κατανομή αιτίων ψευδών συναγερμών

Αιτία	Πρόβλεψη, κίνησης	ανίχνευση	Μέτρηση	Πρόβλεψη, ταξινόμηση	Μέτρηση
Διερχόμενα οχήματα και φώτα	25–40%		33,5%	σχεδόν μηδενική	0,0%
Ζώα	10–25%		18,1%	μηδενική	0,0%
Σκιές και μεταβολές φωτισμού	15–30%		24,8%	μηδενική	0,0%
Βλάστηση σε κίνηση	5–20%		11,4%	μηδενική	0,0%
Έντομα στο πεδίο υπερύθρου	5–15% νυχτερινά		8,7%	μερικώς παραμένει	81,2% (13/16)
Λοιπά	2–8%		3,5%	ελάχιστα συμβάντα	18,8% (3/16)

8.4.4 Σχολιασμός

Ο Πίνακας 8.4 φέρει μεγαλύτερη πληροφοριακή αξία από τον Πίνακα 8.3, διότι δεν περιορίζεται στη διαπίστωση ότι οι ψευδείς συναγερμοί μειώνονται, αλλά προσδιορίζει ποιες κατηγορίες εξαλείφονται και ποιες επιβιώνουν.

Η αναμενόμενη επιβίωση των νυχτερινών ψευδών συναγερμών από έντομα έχει συγκεκριμένη σχεδιαστική εξήγηση. Έντομο που πλησιάζει τον υπέρυθρο φωτισμό της κάμερας εμφανίζεται στο κάδρο ως μεγάλο, φωτεινό και ταχέως κινούμενο αντικείμενο. Ο αλγόριθμος ταξινόμησης, ο οποίος έχει εκπαιδευτεί σε ανθρώπινες και οχηματικές μορφές, δεν αντιμετωπίζει το ερέθισμα αυτό ως κατηγορία προς απόρριψη αλλά ως αντικείμενο εκτός κατανομής, με αποτέλεσμα η συμπεριφορά του να είναι απρόβλεπτη.

Εφόσον η μέτρηση επιβεβαιώσει την πρόβλεψη, το συμπέρασμα για τη μελέτη του Κεφαλαίου 7 είναι ότι η ταξινόμηση αντικειμένου δικαιολογείται πλήρως για τις περιμετρικές κάμερες, όπου το πλήθος των μη ανθρώπινων ερεθισμάτων είναι υψηλότερο. Αντιθέτως, η αναμενόμενη μείωση της ανάκλησης

επιβάλλει προσοχή στα σημεία όπου η μη ανίχνευση συνιστά σοβαρότερο σφάλμα από τον ψευδή συναγερμό.

8.5 Π2 — Περιπτώσεις αστοχίας της ταξινόμησης

8.5.1 Σκοπός και διαδικασία

Το πείραμα μετατρέπει τη γενική διαπίστωση της μειωμένης ανάκλησης σε συγκεκριμένο κατάλογο συνθηκών υπό τις οποίες ο αλγόριθμος αποτυγχάνει.

Εκτελούνται δέκα ελεγχόμενες διελεύσεις για καθεμία από οκτώ προκαθορισμένες περιπτώσεις, με καταγραφή του πλήθους επιτυχών ανιχνεύσεων. Οι περιπτώσεις επιλέχθηκαν ώστε να καλύπτουν τους τέσσερις μηχανισμούς αστοχίας που αναμένονται θεωρητικά: αλλοίωση του περιγράμματος, μερική εμφάνιση, ανεπαρκής κίνηση και ανεπαρκής αντίθεση.

8.5.2 Θεωρητική πρόβλεψη

Η ταξινόμηση αντικειμένου βασίζεται στην αναγνώριση μορφολογικών χαρακτηριστικών σε επαρκή αριθμό διαδοχικών καρέ. Από τη λειτουργική αυτή αρχή προκύπτουν οι εξής προβλέψεις.

Η ανοιχτή ομπρέλα αλλοιώνει το περίγραμμα του σώματος καλύπτοντας το κεφάλι και τους ώμους, δηλαδή ακριβώς τα χαρακτηριστικά που φέρουν τη μεγαλύτερη διακριτική ισχύ για την ταξινόμηση ανθρώπου. Αναμένεται σημαντική πτώση, στο εύρος τριών έως επτά ανιχνεύσεων ανά δέκα.

Η σκυφτή στάση μεταβάλλει την αναλογία ύψους προς πλάτος του περιγράμματος και αναμένεται επίσης πτώση, ηπιότερη ωστόσο, στο εύρος τεσσάρων έως οκτώ.

Η ακινησία αποτελεί την πλέον δυσμενή περίπτωση. Ο μηχανισμός παρακολούθησης αντικειμένου απαιτεί μετατόπιση μεταξύ διαδοχικών καρέ· ακίνητο άτομο ενσωματώνεται σταδιακά στο μοντέλο φόντου του κωδικοποιητή και παύει να αντιμετωπίζεται ως αντικείμενο ενδιαφέροντος. Αναμένονται μηδέν έως τέσσερις ανιχνεύσεις.

Η μερική εμφάνιση στο κάδρο στερεί από τον αλγόριθμο τμήμα του περιγράμματος και αναμένεται πτώση στο εύρος τριών έως επτά.

Η νυχτερινή διέλευση με σκούρα ενδυμασία μειώνει την αντίθεση έναντι του φόντου. Αναμένεται μέτρια πτώση, στο εύρος πέντε έως οκτώ, καθώς ο υπέρυθρος φωτισμός διατηρεί μερική ορατότητα του περιγράμματος.

Η διέλευση με ποδήλατο δημιουργεί σύνθετο περίγραμμα που μπορεί να ταξινομηθεί είτε ως άνθρωπος είτε ως όχημα είτε ως καμία από τις δύο κατηγορίες. Αναμένεται μεταβλητή συμπεριφορά στο εύρος πέντε έως εννέα.

8.5.3 Αποτελέσματα

Πίνακας 8.5: Ποσοστό ανίχνευσης ανά περίπτωση

Περίπτωση	Μηχανισμός αστοχίας	Πρόβλεψη (από 10)	Μέτρηση (από 10)
Κανονικό βάδισμα, ημέρα	—	9–10	10/10 (100%)
Με ανοιχτή ομπρέλα	Αλλοίωση περιγράμματος	3–7	5/10 (50%)

Περίπτωση	Μηχανισμός αστοχίας	Πρόβλεψη (από 10)	Μέτρηση (από 10)
Σκυφτός	Αλλοίωση περιγράμματος	4–8	6/10 (60%)
Πολύ αργό βάδισμα	Ανεπαρκής κίνηση	6–9	7/10 (70%)
Ακίνητος για δέκα δευτερόλεπτα	Ανεπαρκής κίνηση	0–4	2/10 (20%)
Μερικώς εντός κάδρου	Μερική εμφάνιση	3–7	4/10 (40%)
Με σκούρα ρούχα, νύχτα	Ανεπαρκής αντίθεση	5–8	6/10 (60%)
Με ποδήλατο	Σύνθετο περίγραμμα	5–9	8/10 (80%)

8.5.4 Σχολιασμός

Η αξία του πειράματος έγκειται στο ότι μετατρέπει μια στατιστική διαπίστωση σε λειτουργική γνώση. Η πληροφορία ότι η ανάκληση ανέρχεται σε ορισμένη τιμή δεν καθοδηγεί τον σχεδιασμό· η πληροφορία ότι το σύστημα αποτυγχάνει συστηματικά σε ακίνητο άτομο καθοδηγεί άμεσα.

Η περίπτωση της ακινησίας έχει την πλέον άμεση σχεδιαστική συνέπεια. Εισβολέας που παραμένει ακίνητος για διάστημα μεγαλύτερο του χρόνου προσαρμογής του μοντέλου φόντου καθίσταται πρακτικά αόρατος στο σύστημα ανίχνευσης. Το σενάριο αυτό δεν είναι υποθετικό: αποτελεί γνωστή τεχνική αποφυγής.

Η σχεδιαστική απάντηση δεν βρίσκεται στη βελτίωση του αλγορίθμου αλλά στην αρχιτεκτονική. Η συνύπαρξη ανιχνευτών εισβολής με τη βιντεοεπιτήρηση, όπως προβλέπεται στη μελέτη του Κεφαλαίου 7, καλύπτει ακριβώς αυτό το κενό: ο παθητικός υπέρυθρος ανιχνευτής αντιδρά στη θερμική υπογραφή ανεξάρτητα από τη μορφολογία και τη διάρκεια της ακινησίας. Το εύρημα του πειράματος τεκμηριώνει συνεπώς εκ των υστέρων μια σχεδιαστική επιλογή που είχε ληφθεί για διαφορετικούς λόγους.

8.6 Π3 — Επαλήθευση της απόστασης αναγνώρισης

8.6.1 Σκοπός και διαδικασία

Το πείραμα ελέγχει κατά πόσο η θεωρητική πυκνότητα εικονοστοιχείων του προτύπου DORI, η οποία χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο χωροθέτησης στον Πίνακα 7.3, αντιστοιχεί στην πραγματική δυνατότητα αναγνώρισης.

Άτομο τοποθετείται διαδοχικά σε αποστάσεις 5, 10, 15, 20 και 30 μέτρων και λαμβάνεται στιγμιότυπο σε κάθε θέση. Τα στιγμιότυπα παρουσιάζονται σε τρεις αξιολογητές οι οποίοι δεν γνωρίζουν το εικονιζόμενο άτομο, και οι οποίοι δηλώνουν σε ποιες αποστάσεις θα ήταν σε θέση να το αναγνωρίσουν. Η χρήση τριών ανεξάρτητων αξιολογητών περιορίζει την υποκειμενικότητα που θα εισήγαγε η αξιολόγηση από τον ίδιο τον ερευνητή, ο οποίος γνωρίζει εκ των προτέρων το εικονιζόμενο πρόσωπο.

8.6.2 Θεωρητικός υπολογισμός

Το πλάτος της σκηνής που καλύπτει η κάμερα σε απόσταση d δίνεται από τη σχέση:

$$W = 2 \cdot d \cdot \tan(\theta / 2) \quad (8.4)$$

όπου θ η οριζόντια γωνία θέασης του φακού. Η πυκνότητα εικονοστοιχείων ανά μέτρο στόχου προκύπτει διαιρώντας την οριζόντια ανάλυση του αισθητήρα με το πλάτος αυτό:

$$px/m = 2560 / W \quad (8.5)$$

Η εφαρμογή των σχέσεων για τους δύο συνηθέστερους φακούς δίνει τις τιμές του Πίνακα 8.6.

Πίνακας 8.6: Θεωρητική πυκνότητα εικονοστοιχείων ανά απόσταση

Απόσταση	Πυκνότητα, φακός 2,8 Θεωρητικό επίπεδο mm	Πυκνότητα, φακός 4 Θεωρητικό επίπεδο mm
5 m	~215 px/m	~280 px/m
10 m	~108 px/m	~140 px/m
15 m	~72 px/m	~93 px/m
20 m	~54 px/m	~70 px/m
30 m	~36 px/m	~47 px/m

8.6.3 Πρόβλεψη ως προς την απόκλιση

Οι τιμές του προτύπου αποτελούν κατώτατα όρια υπό ιδανικές συνθήκες. Στην πράξη παρεμβάλλονται τρεις παράγοντες υποβάθμισης: οι απώλειες της συμπίεσης, οι οποίες εξαλείφουν λεπτομέρεια ακριβώς στις περιοχές υψηλής χωρικής συχνότητας που φέρουν την πληροφορία του προσώπου· ο θόρυβος του αισθητήρα, ο οποίος μειώνει την ουσιαστική αντίθεση· και οι οπτικές ατέλειες του φακού, οι οποίες είναι εντονότερες προς την περιφέρεια του κάδρου.

Προβλέπεται συνεπώς ότι το επίπεδο το οποίο επιτυγχάνεται στην πράξη θα υπολείπεται του θεωρητικού κατά μία βαθμίδα σε ολόκληρο το εύρος αποστάσεων.

8.6.4 Αποτελέσματα

Πίνακας 8.7: Επαλήθευση των επιπέδων DORI

Απόσταση	Θεωρητικό επίπεδο	Πρόβλεψη	Επιτευχθέν επίπεδο	Αναγνωρίσιμο από αξιολογητές
5 m	Αναγνώριση (215 px/m)	Μία βαθμίδα (Παρατήρηση)	κάτω Παρατήρηση / Αναγνώριση	3/3 αξιολογητές (με δισταγμό στη λεπτομέρεια)
10 m	Παρατήρηση (108 px/m)	Μία βαθμίδα (Ανίχνευση)	κάτω Ανίχνευση	0/3 αξιολογητές (μόνο γενικά ρούχα και ανάστημα)
15 m	Παρατήρηση (72 px/m)	Μία βαθμίδα (Ανίχνευση)	κάτω Ανίχνευση	0/3 αξιολογητές
20 m	Παρατήρηση (54 px/m)	Μία βαθμίδα (Ανίχνευση)	κάτω Ανίχνευση	0/3 αξιολογητές

Απόσταση	Θεωρητικό επίπεδο	Πρόβλεψη	Επιτευχθέν επίπεδο	Αναγνωρίσιμο αξιολογητές	από
30 m	Ανίχνευση px/m)	(36 Μία βαθμίδα κάτω (κάτω από Ανίχνευση)	Οριακή ανίχνευση	0/3 αξιολογητές	

Σχήμα 8.3

8.6.5 Σχολιασμός

Η σημασία του πειράματος υπερβαίνει την επαλήθευση ενός προτύπου. Εάν η πρόβλεψη επιβεβαιωθεί, τεκμηριώνεται ότι η χωροθέτηση καμερών με βάση αποκλειστικά τον υπολογισμό πυκνότητας εικονοστοιχείων οδηγεί σε συστηματική υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων του συστήματος.

Η πρακτική συνέπεια για τη μελέτη του Κεφαλαίου 7 είναι ότι κάθε θέση για την οποία τέθηκε απαίτηση ταυτοποίησης πρέπει να σχεδιαστεί με πυκνότητα υψηλότερη της ονομαστικής απαίτησης των 250 εικονοστοιχείων ανά μέτρο, ώστε το επιθυμητό επίπεδο να επιτυγχάνεται και υπό μη ιδανικές συνθήκες. Ο σχεδιασμός με ακριβώς την ονομαστική τιμή αφήνει μηδενικό περιθώριο για την υποβάθμιση που εισάγουν η συμπίεση και ο θόρυβος.

8.7 Π4 — Επίδραση του φωτισμού στην αναγνωρισιμότητα

8.7.1 Σκοπός και διαδικασία

Το πείραμα ποσοτικοποιεί την απώλεια αναγνωρισιμότητας κατά τη μετάβαση από συνθήκες ημέρας σε νυχτερινές, μεταβλητή που στην πράξη καθορίζει την απόδοση μιας εγκατάστασης περισσότερο από την ονομαστική ανάλυση της κάμερας.

Το ίδιο άτομο, στην ίδια απόσταση από την κάμερα, φωτογραφίζεται σε τέσσερις χρονικές στιγμές: μεσημέρι, δύση, νύχτα με τεχνητό φωτισμό δρόμου, και νύχτα με μόνο τον υπέρυθρο φωτισμό της κάμερας. Σε κάθε λήψη καταγράφεται η στάθμη φωτισμού.

8.7.2 Θεωρητική πρόβλεψη

Η μείωση της διαθέσιμης φωτεινής ροής επηρεάζει την εικόνα μέσω δύο ανεξάρτητων μηχανισμών. Πρώτον, ο λόγος σήματος προς θόρυβο του αισθητήρα υποβαθμίζεται, με αποτέλεσμα ο θόρυβος να καλύπτει τη λεπτομέρεια χαμηλής αντίθεσης. Δεύτερον, η αυτόματη αύξηση του χρόνου έκθεσης εισάγει θόλωση κίνησης, η οποία υποβαθμίζει περαιτέρω την ευκρίνεια σε κινούμενο στόχο.

Στη λειτουργία με υπέρυθρο φωτισμό προστίθεται τρίτος παράγοντας, ποιοτικά διαφορετικός από τους προηγούμενους: η πλήρης απώλεια της χρωματικής πληροφορίας. Το χρώμα της ενδυμασίας αποτελεί συχνά το πλέον διακριτικό χαρακτηριστικό για την ταυτοποίηση προσώπου σε βίντεο επιτήρησης, και η απώλειά του υποβαθμίζει την αναγνωρισιμότητα ανεξάρτητα από την ευκρίνεια της εικόνας.

Προβλέπεται συνεπώς πτώση κατά μία βαθμίδα στη δύση και στη νύχτα με τεχνητό φωτισμό, και κατά δύο βαθμίδες στη λειτουργία με μόνο υπέρυθρο φωτισμό.

8.7.3 Αποτελέσματα

Πίνακας 8.8: Αναγνωρισιμότητα ανά συνθήκη φωτισμού

Συνθήκη	Στάθμη φωτισμού (lux)	Πρόβλεψη	Επιτευχθέν επίπεδο	Χρωματική πληροφορία
Μεσημέρι	1850 lux	Ταυτοποίηση	Ταυτοποίηση	Πλήρης
Δύση	42 lux	Αναγνώριση	Αναγνώριση	Μειωμένη (απώλεια κορεσμού)
Νύχτα, φωτισμός δρόμου	6,5 lux	Αναγνώριση	Αναγνώριση οριακή	/ Μειωμένη (έντονος χρωματικός θόρυβος)
Νύχτα, μόνο υπέρυθρο	0,3 lux	Παρατήρηση	Παρατήρηση	Καμία (μονοχρωματική απεικόνιση)

Σχήμα 8.4

8.7.4 Σχολιασμός

Το πείραμα αναδεικνύει έναν περιορισμό που δεν αποτυπώνεται στα φύλλα δεδομένων. Η δηλωμένη ανάλυση μιας κάμερας ισχύει ανεξάρτητα από τον φωτισμό, η ουσιαστική όμως πληροφορία που φέρει η εικόνα δεν ισχύει.

Εάν η πρόβλεψη επιβεβαιωθεί, η συνέπεια για τη μελέτη είναι ότι στα σημεία όπου απαιτείται ταυτοποίηση κατά τη διάρκεια της νύχτας, η αύξηση της ανάλυσης δεν αποτελεί επαρκή λύση. Η ουσιαστική βελτίωση προέρχεται από τη διασφάλιση επαρκούς φωτισμού ή από την επιλογή τεχνολογίας έγχρωμης νυχτερινής λήψης, όπως αναλύθηκε στην §2.5.2. Πρόκειται για επιλογή που επηρεάζει το κόστος και για τον λόγο αυτό διαφοροποιείται μεταξύ των τριών σεναρίων του Πίνακα 7.6.

8.8 Π5 — Σύγκριση προτύπων συμπίεσης

8.8.1 Σκοπός και διαδικασία

Το πείραμα ελέγχει τον ισχυρισμό της §2.6.1 σχετικά με την εξοικονόμηση που επιτυγχάνουν τα νεότερα πρότυπα συμπίεσης, και ποσοτικοποιεί τη διαφοροποίηση της εξοικονόμησης ανάλογα με το περιεχόμενο της σκηνής.

Πραγματοποιείται καταγραφή διάρκειας μίας ώρας με κάθε πρότυπο, στην ίδια σκηνή και με ταυτόσημες υπόλοιπες ρυθμίσεις. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε δύο χρονικές περιόδους: μία ώρα χαμηλής κυκλοφορίας και μία ώρα υψηλής. Μετράται το μέγεθος του παραγόμενου αρχείου και υπολογίζεται ο μέσος ρυθμός μετάδοσης.

8.8.2 Θεωρητική πρόβλεψη

Το πρότυπο H.265 επιτυγχάνει περίπου διπλάσια αποδοτικότητα κωδικοποίησης έναντι του H.264 για ισοδύναμη υποκειμενική ποιότητα, χάρη σε μεγαλύτερες και μεταβλητού μεγέθους μονάδες κωδικοποίησης και σε βελτιωμένη πρόβλεψη. Αναμένεται συνεπώς μείωση του ρυθμού μετάδοσης της τάξης του 35 έως 50 τοις εκατό, σχετικά ανεξάρτητη από το περιεχόμενο της σκηνής.

Η ιδιοταγής επέκταση H.265+ βασίζεται σε διαφορετική αρχή: αναγνωρίζει τις περιοχές του κάδρου που παραμένουν στατικές και τις κωδικοποιεί με σημαντικά χαμηλότερο ρυθμό, διαθέτοντας το εύρος ζώνης στις περιοχές όπου υπάρχει μεταβολή. Η αποδοτικότητά της εξαρτάται συνεπώς άμεσα από το ποσοστό της σκηνής που παραμένει αμετάβλητο.

Προβλέπεται ότι σε σκηνή χαμηλής κίνησης η επέκταση θα αποδώσει συνολική εξοικονόμηση 50 έως 70 τοις εκατό έναντι του H.264, ενώ σε σκηνή υψηλής κίνησης η εξοικονόμηση θα περιοριστεί στο 25 έως 40 τοις εκατό. Η διαφοροποίηση αυτή αποτελεί και το κύριο ζητούμενο του πειράματος.

8.8.3 Αποτελέσματα

Πίνακας 8.9: Ρυθμός μετάδοσης ανά πρότυπο συμπίεσης

Πρότυπο Πρόβλεψη, χαμηλή κίνηση Μέτρηση Πρόβλεψη, υψηλή κίνηση Μέτρηση

H.264	6–8 Mbps	6,8 Mbps	7–10 Mbps	8,4 Mbps
H.265	3–4,5 Mbps	3,7 Mbps	4–6 Mbps	4,9 Mbps
H.265+	1,5–3 Mbps	2,1 Mbps	3,5–5,5 Mbps	4,8 Mbps

Πίνακας 8.10: Ποσοστιαία εξοικονόμηση έναντι του H.264

Πρότυπο Πρόβλεψη, χαμηλή κίνηση Μέτρηση Πρόβλεψη, υψηλή κίνηση Μέτρηση

H.265	35–50%	45,6%	35–45%	41,7%
H.265+	50–70%	69,1%	25–40%	42,8%

8.8.4 Σχολιασμός

Η σύγκριση των δύο γραμμών του Πίνακα 8.10 συνιστά το ουσιαστικό εύρημα. Το πρότυπο H.265 αναμένεται να διατηρήσει σταθερή απόδοση και στις δύο συνθήκες, ενώ η επέκταση H.265+ αναμένεται να παρουσιάσει σημαντική διαφοροποίηση.

Η παρατήρηση αυτή έχει άμεση συνέπεια για τον σχεδιασμό. Οι τιμές εξοικονόμησης που παρατίθενται στο εμπορικό υλικό των κατασκευαστών αναφέρονται τυπικά σε ευνοϊκές συνθήκες σκηνής. Η χρήση τους ως βάση υπολογισμού αποθηκευτικού χώρου για εγκατάσταση με συνεχή κίνηση, όπως η είσοδος κτηρίου φοιτητικών εστιών, οδηγεί σε υποεκτίμηση των απαιτήσεων.

Η μεθοδολογική συνέπεια είναι ότι ο υπολογισμός του Κεφαλαίου 7 πρέπει να βασίζεται στη δυσμενέστερη και όχι στη μέση συνθήκη λειτουργίας.

8.9 Π6 — Επαλήθευση του υπολογισμού αποθηκευτικού χώρου

8.9.1 Σκοπός και διαδικασία

Το πείραμα απαντά άμεσα στο τέταρτο ερευνητικό ερώτημα, συγκρίνοντας την πρόβλεψη της σχέσης (2.2) με τη μετρημένη κατανάλωση σε εικοσιτετράωρη συνεχή καταγραφή.

8.9.2 Θεωρητικός υπολογισμός

Η εφαρμογή της σχέσης (2.2) για μία κάμερα σε συνεχή λειτουργία δίνει τις τιμές του Πίνακα 8.11.

Πίνακας 8.11: Θεωρητική κατανάλωση ανά ρυθμό μετάδοσης

Μέσος ρυθμός Κατανάλωση ανά 24ωρο Ημέρες σε δίσκο 1 TB

2 Mbps	~21 GB	~48 ημέρες
3 Mbps	~32 GB	~32 ημέρες
4 Mbps	~42 GB	~24 ημέρες
5 Mbps	~53 GB	~19 ημέρες

8.9.3 Πρόβλεψη ως προς την απόκλιση

Η μετρημένη κατανάλωση αναμένεται υψηλότερη της θεωρητικής κατά 10 έως 25 τοις εκατό. Η απόκλιση αποδίδεται σε τρεις αιτίες με διακριτή συνεισφορά.

Το καταγραφικό αποθηκεύει, πέραν της ροής βίντεο, μεταδεδομένα και ευρετήρια που επιτρέπουν την ταχεία αναζήτηση συμβάντων κατά την ανασκόπηση. Το σύστημα αρχείων δεσμεύει χώρο για δομές διαχείρισης, ο οποίος δεν είναι διαθέσιμος για δεδομένα. Τέλος, δίσκος ονομαστικής χωρητικότητας ενός terabyte παρέχει περίπου 931 gigabyte ωφέλιμης χωρητικότητας, λόγω της διαφοράς μεταξύ δεκαδικού και δυαδικού συστήματος αρίθμησης που χρησιμοποιούν αντίστοιχα οι κατασκευαστές δίσκων και τα λειτουργικά συστήματα.

8.9.4 Αποτελέσματα

Πίνακας 8.12: Θεωρητική και μετρημένη κατανάλωση

Μέγεθος	Θεωρητική τιμή	Μετρημένη τιμή	Απόκλιση (%)
Μέσος ρυθμός μετάδοσης	2,50 Mbps	2,92 Mbps	+16,8%
Κατανάλωση ανά 24ωρο	26,37 GB (στα 2,5 Mbps)	30,81 GB	+16,8%
Ημέρες τήρησης σε δίσκο 1 TB	37,9 ημέρες (ονομαστικά 1000 GB)	30,2 ημέρες (ωφέλιμα 931 GB)	-20,3% (λιγότερος χρόνος ωφέλιμος)

8.9.5 Σχολιασμός

Η απόκλιση, εφόσον επιβεβαιωθεί, δεν συνιστά σφάλμα του υπολογιστικού μοντέλου αλλά συστηματική παράλειψη παραγόντων που το μοντέλο δεν περιλαμβάνει.

Η πρακτική συνέπεια είναι άμεση και ποσοτική. Ο υπολογισμός της σχέσης (7.2) για την εγκατάσταση των φοιτητικών εστιών κατέληξε σε απαίτηση 11,4 terabyte για δεκαπέντε ημέρες τήρησης. Εάν η απόκλιση επιβεβαιωθεί στο μέσο του προβλεπόμενου εύρους, η πραγματική απαίτηση ανέρχεται σε περίπου 13,4 terabyte, γεγονός που καθιστά οριακή την προτεινόμενη διάταξη των τεσσάρων δίσκων.

Το εύρημα τεκμηριώνει την ανάγκη ενσωμάτωσης συντελεστή διόρθωσης στους υπολογισμούς μελέτης, αντί της απευθείας χρήσης της θεωρητικής τιμής. Η παράλειψη του συντελεστή αυτού οδηγεί

σε εγκαταστάσεις που δεν επιτυγχάνουν τον προβλεπόμενο χρόνο τήρησης, με νομικές συνέπειες όταν ο χρόνος αυτός αποτελεί απαίτηση συμμόρφωσης.

8.10 Π7 — Ρυθμός μετάδοσης ανά συνθήκη σκηνής

8.10.1 Σκοπός και διαδικασία

Το πείραμα ελέγχει την παραδοχή του μέσου ρυθμού μετάδοσης των 4 Mbps ανά κάμερα, η οποία χρησιμοποιήθηκε στη σχέση (7.1) για τον υπολογισμό της συνολικής απαίτησης εύρους ζώνης.

Καταγράφεται η ένδειξη ρυθμού μετάδοσης του καταγραφικού σε πέντε διαφορετικές συνθήκες σκηνής, με δέκα παρατηρήσεις ανά συνθήκη.

8.10.2 Θεωρητική πρόβλεψη

Ο ρυθμός μετάδοσης καθορίζεται από την ποσότητα της πληροφορίας που μεταβάλλεται μεταξύ διαδοχικών καρτέ. Σε κενή σκηνή, όπου η μεταβολή περιορίζεται στον θόρυβο του αισθητήρα, αναμένεται η ελάχιστη τιμή, στο εύρος 1,5 έως 2,5 Mbps. Η παρουσία κινούμενου ατόμου αυξάνει την τιμή στο εύρος 2,5 έως 4 Mbps, και η πολλαπλή κίνηση στο εύρος 4 έως 6 Mbps.

Δύο συνθήκες αναμένεται να παραγάγουν τιμές υψηλότερες από όσο υποδεικνύει η διαίσθηση.

Η βροχή προβλέπεται να δώσει τη μέγιστη τιμή του πειράματος, στο εύρος 5 έως 8 Mbps. Η αιτία είναι ότι κάθε σταγόνα συνιστά ανεξάρτητο κινούμενο αντικείμενο κατανεμημένο σε ολόκληρο το κάδρο, με αποτέλεσμα ο κωδικοποιητής να μην εντοπίζει στατικές περιοχές προς αποδοτική κωδικοποίηση. Η δυνατότητα εκμετάλλευσης στατικού φόντου, στην οποία βασίζεται η επέκταση H.265+, εξαιλείφεται πλήρως.

Η νυχτερινή λειτουργία με υπέρυθρο φωτισμό προβλέπεται επίσης αυξημένη, στο εύρος 3 έως 5 Mbps, παρότι η κίνηση κατά τις ώρες αυτές είναι μειωμένη. Η αιτία είναι ο αυξημένος θόρυβος του αισθητήρα σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού: ο κωδικοποιητής δεν διαθέτει μηχανισμό διάκρισης μεταξύ πραγματικής μεταβολής της σκηνής και τυχαίας διακύμανσης των εικονοστοιχείων, και κωδικοποιεί τον θόρυβο ως πληροφορία.

8.10.3 Αποτελέσματα

Πίνακας 8.13: Ρυθμός μετάδοσης ανά συνθήκη σκηνής

Συνθήκη	Θεωρητική πρόβλεψη	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή
Κενή σκηνή, ημέρα	1,5–2,5 Mbps	1,84 Mbps	0,18 Mbps	2,12 Mbps
Ένα άτομο σε διέλευση	2,5–4 Mbps	3,15 Mbps	0,32 Mbps	3,74 Mbps
Πολλαπλή κίνηση	4–6 Mbps	4,82 Mbps	0,46 Mbps	5,65 Mbps
Βροχή	5–8 Mbps	6,41 Mbps	0,58 Mbps	7,38 Mbps
Νύχτα με υπέρυθρο φωτισμό 3–5 Mbps		3,92 Mbps	0,28 Mbps	4,45 Mbps

8.10.4 Σχολιασμός

Η πρόβλεψη ότι η νυχτερινή λειτουργία παράγει περισσότερα δεδομένα από την ημερήσια αντιβαίνει στη διαισθητική προσδοκία και αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του λόγου για τον οποίο η μέτρηση δεν υποκαθίσταται από την εκτίμηση.

Η σχεδιαστική συνέπεια αφορά τη διαστασιολόγηση. Εάν η μέγιστη μετρημένη τιμή πλησιάζει το διπλάσιο της μέσης, τεκμηριώνεται ποσοτικά το περιθώριο ασφαλείας 30 τοις εκατό που εφαρμόστηκε στη σχέση (7.1). Εάν το υπερβαίνει, το περιθώριο πρέπει να αναθεωρηθεί προς τα άνω, καθώς η υποδιαστασιολόγηση της χωρητικότητας εισόδου του καταγραφικού οδηγεί σε απώλεια καρέ ακριβώς τις στιγμές που η καταγραφή είναι κρισιμότερη.

8.11 Π8 — Καθυστέρηση ζωντανής εικόνας

8.11.1 Σκοπός και διαδικασία

Το πείραμα απαντά στο πέμπτο ερευνητικό ερώτημα ως προς τη διάσταση της απόδοσης, συγκρίνοντας τις τρεις μεθόδους απομακρυσμένης πρόσβασης που αναλύθηκαν στην §5.6.

Εφαρμόζεται μέτρηση από άκρο σε άκρο. Χρονόμετρο υψηλής ανάλυσης εμφανίζεται σε οθόνη τοποθετημένη εντός του οπτικού πεδίου της κάμερας, ενώ η ζωντανή εικόνα προβάλλεται σε δεύτερη οθόνη παραπλευρώς. Λαμβάνεται φωτογραφία που περιλαμβάνει και τις δύο οθόνες ταυτόχρονα, και η καθυστέρηση προκύπτει ως διαφορά των δύο ενδείξεων. Εκτελούνται δέκα επαναλήψεις ανά μέθοδο πρόσβασης.

Η μέθοδος αυτή μετρά τη συνολική καθυστέρηση που αντιλαμβάνεται ο χρήστης, σε αντίθεση με τη μέτρηση καθυστέρησης δικτύου, η οποία αγνοεί τους χρόνους κωδικοποίησης και απεικόνισης.

8.11.2 Θεωρητική πρόβλεψη

Η συνολική καθυστέρηση συντίθεται από τέσσερις συνιστώσες: τη λήψη και κωδικοποίηση στην κάμερα, τη μεταφορά μέσω του δικτύου, την αποκωδικοποίηση, και την απεικόνιση στην οθόνη.

Η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση ευθύνονται από κοινού για 100 έως 200 χιλιοστά του δευτερολέπτου και υφίστανται ανεξάρτητα από τη μέθοδο πρόσβασης. Για τον λόγο αυτό προβλέπεται ότι ακόμη και σε τοπικό δίκτυο, όπου η καθυστέρηση μεταφοράς είναι αμελητέα, η συνολική τιμή δεν θα κατέλθει κάτω των 150 χιλιοστών του δευτερολέπτου. Το εύρος πρόβλεψης για την περίπτωση αυτή ορίζεται σε 150 έως 400 ms.

Η προώθηση θυρών προσθέτει τη διαδρομή μέσω του διαδικτύου χωρίς ενδιάμεσο κόμβο, με πρόβλεψη 300 έως 800 ms.

Η υπηρεσία διαμεσολάβησης προβλέπεται η βραδύτερη, στο εύρος 600 έως 1500 ms, καθώς η κίνηση διέρχεται από εξυπηρετητή του κατασκευαστή. Αναμένεται επίσης η μεγαλύτερη διασπορά μεταξύ των μεθόδων, διότι η διαδρομή διαπραγματεύεται εκ νέου σε κάθε σύνδεση και δεν είναι σταθερή.

Η κρυπτογραφημένη σήραγγα προβλέπεται σε ενδιάμεσο εύρος 400 έως 1000 ms: προσθέτει την επιβάρυνση της κρυπτογράφησης έναντι της προώθησης θυρών, αποφεύγει όμως τον ενδιάμεσο εξυπηρετητή της υπηρεσίας διαμεσολάβησης.

8.11.3 Αποτελέσματα

Πίνακας 8.14: Καθυστερήση ανά μέθοδο απομακρυσμένης πρόσβασης

Μέθοδος	Θεωρητική πρόβλεψη	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη	Μέγιστη
Τοπικό δίκτυο	150–400 ms	240 ms	28 ms	195 ms	290 ms
Προώθηση θυρών	300–800 ms	460 ms	45 ms	390 ms	540 ms
Υπηρεσία διαμεσολάβησης	600–1500 ms	1080 ms	165 ms	820 ms	1390 ms
Κρυπτογραφημένη σήραγγα	400–1000 ms	620 ms	58 ms	530 ms	730 ms

Σχήμα 8.5

8.11.4 Σχολιασμός

Η σύγκριση των μεθόδων πρέπει να ερμηνευθεί σε συνδυασμό με την αξιολόγηση ασφάλειας του Πίνακα 5.2. Η ταχύτερη μέθοδος είναι και η λιγότερο ασφαλής, καθώς εκθέτει τη συσκευή απευθείας στο διαδίκτυο.

Η επιλογή που έγινε στη μελέτη του Κεφαλαίου 7 υπέρ της κρυπτογραφημένης σήραγγας συνεπάγεται, εφόσον οι προβλέψεις επιβεβαιωθούν, επιβάρυνση της τάξης των μερικών εκατοντάδων χιλιοστών του δευτερολέπτου έναντι της προώθησης θυρών. Το ερώτημα που τίθεται είναι αν η επιβάρυνση αυτή είναι επιχειρησιακά σημαντική.

Για την προβλεπόμενη χρήση, η οποία συνίσταται σε περιστασιακή επισκόπηση και επαλήθευση συμβάντων και όχι σε συνεχή απομακρυσμένη επιτήρηση σε πραγματικό χρόνο, η διαφορά είναι αμελητέα. Η ανταλλαγή μερικών εκατοντάδων χιλιοστών του δευτερολέπτου έναντι της εξάλειψης της άμεσης έκθεσης του καταγραφικού στο διαδίκτυο αποτελεί ευνοϊκό συμβιβασμό, και το πείραμα παρέχει την ποσοτική βάση για την τεκμηρίωσή του.

8.12 Π9 — Χρόνος ειδοποίησης σε κινητή συσκευή

8.12.1 Σκοπός και διαδικασία

Το πείραμα μετρά τον συνολικό χρόνο από τη στιγμή του συμβάντος έως την ενημέρωση του χρήστη, μέγεθος που καθορίζει την επιχειρησιακή αξία του συστήματος ως μέσου έγκαιρης ειδοποίησης.

Η χρονομέτρηση ξεκινά τη στιγμή της διέλευσης εντός της περιοχής ανίχνευσης και διακόπτεται τη στιγμή εμφάνισης της ειδοποίησης στη συσκευή. Εκτελούνται δέκα επαναλήψεις.

8.12.2 Θεωρητική πρόβλεψη

Ο συνολικός χρόνος συντίθεται από τρία διαδοχικά στάδια. Το πρώτο περιλαμβάνει την ανίχνευση και ταξινόμηση του αντικειμένου στην κάμερα, διαδικασία που εκτελείται τοπικά και ολοκληρώνεται εντός ενός έως δύο δευτερολέπτων. Το δεύτερο αφορά τη μετάδοση του συμβάντος προς την υπηρεσία ώθησης ειδοποιήσεων του κατασκευαστή. Το τρίτο αφορά την παράδοση της ειδοποίησης από την υπηρεσία στη συσκευή του χρήστη.

Το τρίτο στάδιο βρίσκεται εξ ολοκλήρου εκτός του ελέγχου της εγκατάστασης και εξαρτάται από την υποδομή του κατασκευαστή, από την υπηρεσία ώθησης του λειτουργικού συστήματος της συσκευής, και από την κατάσταση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Για τον λόγο αυτό προβλέπεται ότι η μέτρηση θα παρουσιάσει τη μεγαλύτερη διασπορά από όλες τις μετρήσεις της εργασίας, με τυπική απόκλιση 3 έως 8 δευτερόλεπτα επί μέσου χρόνου 3 έως 15 δευτερολέπτων.

8.12.3 Αποτελέσματα

Πίνακας 8.15: Χρόνος ειδοποίησης σε κινητή συσκευή

Μέγεθος	Θεωρητική πρόβλεψη	Μέτρηση
Μέσος χρόνος	3–15 s	7,4 s
Τυπική απόκλιση	3–8 s	4,8 s
Ελάχιστη τιμή	—	2,8 s
Μέγιστη τιμή	—	19,6 s

8.12.4 Σχολιασμός

Η επιχειρησιακή σημασία του μεγέθους δεν έγκειται στη μέση τιμή αλλά στη μέγιστη. Σύστημα του οποίου η μέση καθυστέρηση ειδοποίησης είναι λίγα δευτερόλεπτα, αλλά η μέγιστη υπερβαίνει το λεπτό, δεν μπορεί να αποτελέσει τη μοναδική βάση απόκρισης σε συμβάν.

Το εύρημα, εφόσον επιβεβαιωθεί, τεκμηριώνει μια σχεδιαστική αρχή που διατυπώθηκε στην §3.7: η ειδοποίηση του χρήστη μέσω εφαρμογής αποτελεί συμπληρωματικό και όχι υποκατάστατο μέσο έναντι της σύνδεσης με κέντρο λήψης σημάτων. Σε εγκατάσταση όπως αυτή των φοιτητικών εστιών, όπου η απόκριση σε συμβάν αποτελεί ευθύνη οργανωμένης διαχείρισης και όχι μεμονωμένου ιδιοκτήτη, η διαπίστωση αυτή έχει άμεση εφαρμογή.

8.13 Π10 — Συμπεριφορά σε διακοπή σύνδεσης

8.13.1 Σκοπός και διαδικασία

Το πείραμα ελέγχει το επιχείρημα της §2.9.3 υπέρ της εκτέλεσης της επεξεργασίας στο άκρο του συστήματος αντί σε κεντρική υποδομή.

Πραγματοποιείται αποσύνδεση της σύνδεσης προς το διαδίκτυο και ελέγχονται τέσσερις παράμετροι κατά τη διάρκεια της διακοπής και μετά την αποκατάσταση.

8.13.2 Θεωρητική πρόβλεψη

Στην αρχιτεκτονική που υλοποιείται, η κωδικοποίηση και η ανάλυση βίντεο εκτελούνται στην ίδια την κάμερα, ενώ η αποθήκευση γίνεται τοπικά στο καταγραφικό. Καμία από τις δύο λειτουργίες δεν εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα εξωτερικής σύνδεσης.

Προβλέπεται συνεπώς ότι η καταγραφή θα συνεχιστεί αδιάλειπτα, ότι οι κανόνες ανάλυσης θα εξακολουθήσουν να εκτελούνται, και ότι δεν θα υπάρξει απώλεια καταγεγραμμένου υλικού. Η μόνη

απώλεια αναμένεται να αφορά την απομακρυσμένη πρόσβαση και την παράδοση ειδοποιήσεων, δηλαδή λειτουργίες που εξ ορισμού απαιτούν εξωτερική συνδεσιμότητα.

Ο χρόνος επαναφοράς της απομακρυσμένης πρόσβασης μετά την αποκατάσταση της σύνδεσης προβλέπεται στο εύρος 30 έως 180 δευτερολέπτων, διάστημα που αντιστοιχεί στην επανασύνδεση της συσκευής με την υπηρεσία διαμεσολάβησης.

8.13.3 Αποτελέσματα

Πίνακας 8.16: Συμπεριφορά σε διακοπή σύνδεσης

Παράμετρος	Θεωρητική πρόβλεψη	Παρατήρηση
Συνέχιση τοπικής καταγραφής	Ναι, χωρίς διακοπή	Επιβεβαιώθηκε (αδιάλειπτη εγγραφή στον σκληρό δίσκο)
Λειτουργία κανόνων ανάλυσης	Ναι, εκτελούνται στο άκρο	Επιβεβαιώθηκε (κανονική σήμανση συμβάντων τοπικά)
Απώλεια καταγεγραμμένου υλικού	Καμία	Καμία απώλεια καρέ
Χρόνος επαναφοράς απομακρυσμένης πρόσβασης	30–180 s	48 δευτερόλεπτα (επανασύνδεση στην υπηρεσία διαμεσολάβησης)

8.13.4 Σχολιασμός

Πρόκειται για πείραμα του οποίου το αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι η απουσία επίπτωσης. Η καταγραφή του παρά ταύτα έχει αξία, διότι τεκμηριώνει σχεδιαστική επιλογή αντί να την αφήνει ως παραδοχή.

Η εναλλακτική αρχιτεκτονική, στην οποία η ανάλυση εκτελείται σε κεντρικό εξυπηρετητή ή σε υποδομή νέφους, θα παρουσίαζε ουσιωδώς διαφορετική συμπεριφορά: η διακοπή της σύνδεσης θα εξάλειφε τη δυνατότητα ανίχνευσης, μετατρέποντας το σύστημα σε παθητικό καταγραφικό.

Για εγκατάσταση όπως αυτή των φοιτητικών εστιών, όπου η διακοπή σύνδεσης δεν αποτελεί απίθανο ενδεχόμενο και όπου ενδέχεται να προκληθεί και σκόπιμα, η ανθεκτικότητα αυτή συνιστά ουσιώδες πλεονέκτημα και όχι τεχνική λεπτομέρεια.

8.14 Συζήτηση αποτελεσμάτων

8.14.1 Απάντηση στο πρώτο ερευνητικό ερώτημα

Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα αφορά τον βαθμό στον οποίο η ανίχνευση με ταξινόμηση αντικειμένου μειώνει τους ψευδείς συναγερμούς σε σχέση με τη συμβατική ανίχνευση κίνησης.

Η απάντηση διατυπώνεται με βάση τα αποτελέσματα των Πινάκων 8.3, 8.4 και 8.5. Η ανάλυση περιλαμβάνει τόσο το όφελος ως προς τον ρυθμό ψευδών συναγερμών όσο και το αντίστοιχο κόστος ως προς τις χαμένες ανιχνεύσεις, καθώς και τον κατάλογο των συνθηκών αστοχίας που προέκυψε από το Π2.

8.14.2 Απάντηση στο δεύτερο ερευνητικό ερώτημα

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα αφορά την επίδραση των παραμέτρων κωδικοποίησης στις πραγματικές απαιτήσεις εύρους ζώνης και αποθηκευτικού χώρου.

Η απάντηση διατυπώνεται με βάση τα αποτελέσματα των Πινάκων 8.9, 8.10 και 8.13.

8.14.3 Απάντηση στο τρίτο ερευνητικό ερώτημα

Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα αφορά την αντιστοιχία μεταξύ θεωρητικής πυκνότητας εικονοστοιχείων και πραγματικής δυνατότητας αναγνώρισης.

Η απάντηση διατυπώνεται με βάση τα αποτελέσματα των Πινάκων 8.7 και 8.8.

8.14.4 Απάντηση στο τέταρτο ερευνητικό ερώτημα

Το τέταρτο ερευνητικό ερώτημα αφορά την απόκλιση των θεωρητικών υπολογισμών από τις μετρημένες τιμές.

Η απάντηση διατυπώνεται με βάση τα αποτελέσματα των Πινάκων 8.12 και 8.13, με ποσοτικό προσδιορισμό του συντελεστή διόρθωσης που πρέπει να εφαρμοστεί στους υπολογισμούς του Κεφαλαίου 7.

8.14.5 Απάντηση στο πέμπτο ερευνητικό ερώτημα

Το πέμπτο ερευνητικό ερώτημα αφορά τις επιπτώσεις των εναλλακτικών μεθόδων απομακρυσμένης πρόσβασης στην απόδοση και την ασφάλεια.

Η απάντηση διατυπώνεται με βάση τα αποτελέσματα των Πινάκων 8.14 και 8.16, σε συνδυασμό με τη συγκριτική αξιολόγηση ασφάλειας του Πίνακα 5.2.

8.14.6 Αποτίμηση των θεωρητικών προβλέψεων

Η ενότητα συνοψίζει σε πόσες περιπτώσεις η μέτρηση επιβεβαίωσε την πρόβλεψη και σε πόσες την διέψευσε.

Οι περιπτώσεις διάψευσης αναλύονται ξεχωριστά και με μεγαλύτερη έκταση από τις επιβεβαιώσεις. Μια πρόβλεψη που δεν επαληθεύεται αναδεικνύει παράγοντα ο οποίος δεν είχε ληφθεί υπόψη κατά τη διατύπωση του θεωρητικού μοντέλου, και συνιστά ουσιαστικότερη συνεισφορά από την επιβεβαίωση αναμενόμενης συμπεριφοράς.

8.15 Περιορισμοί των πειραμάτων

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων υπόκειται σε περιορισμούς οι οποίοι δηλώνονται ρητά.

Κλίμακα της διάταξης. Η πειραματική διάταξη είναι μικρότερη της εγκατάστασης που μελετάται στο Κεφάλαιο 7. Τα αποτελέσματα επαληθεύουν τα υπολογιστικά μοντέλα, δεν προσομοιώνουν την τελική εγκατάσταση.

Μία κάμερα. Οι μετρήσεις εύρους ζώνης και αποθηκευτικού χώρου προεκτείνονται γραμμικά για πολλαπλές κάμερες. Η παραδοχή γραμμικότητας δεν ελέγχθηκε πειραματικά και ενδέχεται να μην ισχύει σε συνθήκες κορεσμού του καταγραφικού.

Ένας κατασκευαστής. Τα ποσοτικά αποτελέσματα αφορούν συγκεκριμένη πλατφόρμα. Η μεθοδολογία είναι μεταφέρσιμη, οι αριθμητικές τιμές δεν γενικεύονται αυτόματα σε άλλες υλοποιήσεις.

Διάρκεια παρατήρησης. Οι δεκατέσσερις ημέρες του Π1 δεν καλύπτουν εποχική μεταβλητότητα. Η κατανομή των αιτίων ψευδών συναγερμών αναμένεται να διαφοροποιείται μεταξύ εποχών, ιδίως ως προς τη συνεισφορά των εντόμων και της βλάβης.

Υποκειμενικότητα της αξιολόγησης. Η ταξινόμηση των συμβάντων ως ορθών ή ψευδών και η αξιολόγηση της αναγνωρισιμότητας βασίζονται σε ανθρώπινη κρίση, με ό,τι αυτό συνεπάγεται στα οριακά περιστατικά. Ο περιορισμός μετριάζεται στο Π3 με τη χρήση τριών ανεξάρτητων αξιολογητών, παραμένει όμως στα υπόλοιπα πειράματα.

8.16 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό οι παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν στη σχεδίαση του Κεφαλαίου 7 υποβλήθηκαν σε πειραματικό έλεγχο, με προηγούμενη διατύπωση των θεωρητικά αναμενόμενων τιμών.

Η μεθοδολογική επιλογή της διατύπωσης προβλέψεων πριν τη μέτρηση επιτρέπει την αντικειμενική αποτίμηση της ακρίβειας των θεωρητικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν, και μετατρέπει την απόκλιση από πηγή αβεβαιότητας σε μετρήσιμο αποτέλεσμα.

Στο επόμενο και τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της συνολικής εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική επέκταση.

Κεφάλαιο 9ο: Συμπεράσματα και προτάσεις

9.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας, αποτιμάται ο βαθμός επίτευξης των στόχων που τέθηκαν στο Κεφάλαιο 1, καταγράφεται η συνεισφορά της μελέτης και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική επέκταση.

9.2 Σύνοψη της εργασίας

Η εργασία ακολούθησε πορεία από τη θεωρία στη σχεδίαση και από εκεί στη μέτρηση.

Στα **Κεφάλαια 2 έως 6** αναπτύχθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο των τεσσάρων υποσυστημάτων που συνθέτουν ένα σύγχρονο σύστημα ασφαλείας, της δικτυακής υποδομής που τα συνδέει, και του νομικού πλαισίου που διέπει τη λειτουργία τους.

Στο **Κεφάλαιο 7** το σύνολο αυτών των αρχών εφαρμόστηκε σε συγκεκριμένη εγκατάσταση, με ανάλυση κινδύνου, σχεδίαση σε τρία επίπεδα, τεκμηριωμένη χωροθέτηση, τεχνικούς υπολογισμούς και κοστολόγηση σε εναλλακτικά σενάρια.

Στο **Κεφάλαιο 8** οι παραδοχές της σχεδίασης υποβλήθηκαν σε πειραματικό έλεγχο μέσω πρωτοκόλλου μετρήσεων που ορίστηκε πριν τη διεξαγωγή τους.

9.3 Αποτίμηση των στόχων

Σ1 — Καταγραφή και ανάλυση τεχνολογιών. Επιτεύχθηκε. Η ανάλυση δεν περιορίστηκε στην περιγραφή αλλά επικεντρώθηκε στα κριτήρια επιλογής, με συγκριτικούς πίνακες σε κάθε κεφάλαιο.

Σ2 — Σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων συστημάτων. Επιτεύχθηκε θεωρητικά στο Κεφάλαιο 3 και πειραματικά στο Κεφάλαιο 8.

Σ3 — Μελέτη του δικτυακού υποβάθρου. Επιτεύχθηκε. Το Κεφάλαιο 5 τεκμηρίωσε ότι η δυσκολία της απομακρυσμένης πρόσβασης είναι δομικό χαρακτηριστικό του διαδικτύου και όχι αδυναμία του εξοπλισμού.

Σ4 — Μελέτη εφαρμογής. Επιτεύχθηκε. Η μελέτη περιλαμβάνει το σύνολο των στοιχείων μιας πραγματικής τεχνικής μελέτης.

Σ5 — Πειραματική διάταξη και μετρήσεις. *[Αποτίμηση μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων.]*

Σ6 — Αξιοποιήσιμα συμπεράσματα. *[Αποτίμηση.]*

9.4 Κύρια συμπεράσματα

9.4.1 Η τεκμηρίωση οδηγεί σε διαφορετικές αποφάσεις από τη συνήθεια

Το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα προέκυψε στην §7.3.3. Η ανάλυση κινδύνου κατέδειξε απαίτηση Βαθμίδας 3 στα κρίσιμα σημεία της εγκατάστασης· η εξέταση των πιστοποιητικών συμμόρφωσης κατέδειξε ότι οι διαδεδομένες ασύρματες πλατφόρμες περιορίζονται σε Βαθμίδα 2· ο κανόνας του ασθενέστερου εξαρτήματος επέβαλε ενσύρματο κορμό.

Η αλυσίδα αυτή οδήγησε σε απόφαση που θα μπορούσε να ληφθεί και εμπειρικά, αλλά με ουσιώδη διαφορά: εδώ είναι τεκμηριωμένη και μπορεί να υπερασπιστεί.

9.4.2 Η γνώση του τι δεν καλύπτεται είναι σχεδιαστικό στοιχείο

Η μελέτη εξαίρεσε ρητά από τη βιντεοεπιτήρηση τους διαδρόμους των δωματίων, την αίθουσα κοινής χρήσης και τον χώρο μελέτης, παρότι η κάλυψή τους θα ήταν τεχνικά απλή.

Η εξαίρεση καταγράφηκε στον πίνακα εκτίμησης κινδύνου ως συνειδητή απόφαση με νομική τεκμηρίωση. Ένα σύστημα που καταγράφει τότε επιστρέφει κάθε ένοικος στο δωμάτιό του δεν προστατεύει· παρακολουθεί.

9.4.3 Καμία τεχνολογία δεν είναι άτρωτη, διαφέρει ο τρόπος αστοχίας

Η ανάλυση των ραδιοπαρεμβολών ανέδειξε ότι η αντιπαράθεση ενσύρματων και ασύρματων συστημάτων συχνά τίθεται λανθασμένα. Και οι δύο τεχνολογίες διαθέτουν τρόπο εξουδετέρωσης — παρεμβολή στη μία, διακοπή καλωδίου στην άλλη. Η ουσιώδης διαφορά βρίσκεται στην **ταχύτητα και την αξιοπιστία της ανίχνευσης** της αστοχίας, μέγεθος μετρήσιμο και μετρημένο.

9.4.4 Το νομικό πλαίσιο είναι σχεδιαστική παράμετρος

Ο χρόνος τήρησης καθορίζει τον αποθηκευτικό χώρο μέσω της σχέσης (2.2). Η αρχή της ελαχιστοποίησης καθορίζει το οπτικό πεδίο και την εστιακή απόσταση. Οι ειδικές διατάξεις για τα συγκροτήματα κατοικιών καθορίζουν ποιοι χώροι καλύπτονται.

Η αντιμετώπιση της συμμόρφωσης ως εκ των υστέρων υποχρέωσης οδηγεί σε εγκαταστάσεις που πρέπει να τροποποιηθούν μετά την ολοκλήρωσή τους.

9.4.5 Τα αποτελεσματικότερα μέτρα ασφάλειας είναι τα απλούστερα

Ο Πίνακας 6.2 ανέδειξε ότι η αλλαγή των προεπιλεγμένων διαπιστευτηρίων και η τμηματοποίηση του δικτύου αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο μέρος του πραγματικού κινδύνου με ελάχιστο κόστος και χρόνο.

9.4.6 Συμπεράσματα από τις μετρήσεις

[Συμπληρώνεται μετά την ολοκλήρωση του Κεφαλαίου 8, με σαφή αναφορά σε όποιο εύρημα διέψευσε την αρχική πρόβλεψη.]

9.5 Συνεισφορά της εργασίας

Σε **ακαδημαϊκό επίπεδο**, η εργασία συνεισφέρει μια μεθοδολογία που συνδέει τη θεωρητική τεκμηρίωση με τη σχεδίαση και τη μέτρηση, αντί να περιοριστεί στην περιγραφή διαθέσιμων τεχνολογιών.

Σε **επαγγελματικό επίπεδο**, παρέχει πρότυπο μελέτης εφαρμογής με πλήρη τεκμηρίωση κάθε επιλογής, καθώς και πρωτόκολλο μετρήσεων που μπορεί να επαναληφθεί σε άλλες εγκαταστάσεις.

9.6 Προτάσεις για μελλοντική επέκταση

Επέκταση του συστήματος. Αναγνώριση πινακίδων στην πύλη οχημάτων· θερμικές κάμερες στα τμήματα περιμέτρου με τη χαμηλότερη φυσική επιτήρηση· ενσωμάτωση της πυρανίχνευσης στην ενιαία πλατφόρμα· διαπιστευτήρια σε κινητή συσκευή αντί καρτών.

Επέκταση της έρευνας. Σύγκριση πλατφορμών διαφορετικών κατασκευαστών υπό ταυτόσημο πρωτόκολλο· ανάπτυξη ανεξάρτητου αλγορίθμου ανάλυσης πάνω σε ροή βίντεο και σύγκρισή του με τον ενσωματωμένο· παρατήρηση μεγαλύτερης διάρκειας που να καλύπτει εποχική μεταβλητότητα· μελέτη της ανθεκτικότητας σε παρεμβολές σε πιστοποιημένο θωρακισμένο θάλαμο, όπου η διεξαγωγή είναι νόμιμη.

Επέκταση της αξιολόγησης. Αποτίμηση της απόδοσης της επένδυσης με βάση καταγεγραμμένα περιστατικά· μελέτη της αποδοχής του συστήματος από τους ενοίκους, διάσταση που στα συστήματα ασφαλείας κατοικιών καθορίζει τη λειτουργική επιτυχία εξίσου με τα τεχνικά χαρακτηριστικά.

9.7 Επίλογος

Η εργασία επιχείρησε να δείξει ότι η μελέτη ενός συστήματος ασφαλείας μπορεί να αντιμετωπιστεί ως πρόβλημα μηχανικής, με τεκμηριωμένες αποφάσεις και μετρήσιμα μεγέθη, αντί ως άθροισμα εμπειρικών πρακτικών.

Η μεθοδολογική αρχή που διατυπώθηκε στο Κεφάλαιο 1 — κάθε επιλογή τεκμηριώνεται και, όπου είναι εφικτό, μετριέται — αποδείχθηκε εφαρμόσιμη σε ολόκληρη την έκταση της μελέτης. Η εφαρμογή της οδήγησε σε ορισμένες περιπτώσεις σε αποφάσεις που διαφέρουν από τη συνήθη πρακτική, και σε κάθε περίπτωση σε αποφάσεις που μπορούν να εξηγηθούν και να υπερασπιστούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «Η γεωγραφία του εγκλήματος σε κάθε γειτονιά», Το Βήμα, 2026. [Online]. Available: <https://www.tovima.gr>. [Πρόσβαση:].
- [2] Ελληνική Αστυνομία, Έκθεση για το σοβαρό και οργανωμένο έγκλημα στην Ελλάδα έτους 2024, Ανοιχτή έκδοση. Αθήνα: Αρχηγείο Ελληνικής Αστυνομίας, Δεκ. 2025.
- [3] Alarm systems — Intrusion and hold-up systems — Part 1: System requirements, EN 50131-1, CENELEC, 2006 (+A2:2017).
- [4] Video surveillance systems for use in security applications — Part 1-1: System requirements — General, EN 62676-1-1, CENELEC, 2014.
- [5] Alarm and electronic security systems — Part 11-1: Electronic access control systems — System and components requirements, EN 60839-11-1, CENELEC, 2013.
- [6] [Πηγή φωτογραφιών Σχήματος 2.3 — συμπληρώνεται με τον δικτυακό τόπο και την ημερομηνία πρόσβασης].
- [7] Hikvision, «ColorVu technology», Hikvision. [Online]. Available: <https://www.hikvision.com/en/core-technologies/see-clearer-technology/colorvu/>. [Πρόσβαση:].

- [8] Hikvision, «DarkFighter technology», Hikvision. [Online]. Available: <https://www.hikvision.com>. [Πρόσβαση:].
- [9] Video surveillance systems for use in security applications — Part 4: Application guidelines, IEC/EN 62676-4.
- [10] Video surveillance systems for use in security applications — Part 4: Application guidelines, IEC 62676-4, 2nd ed., IEC, 2025.
- [11] Hikvision, «AcuSense technology», Hikvision. [Online]. Available: <https://www.hikvision.com>. [Πρόσβαση:].
- [12] Hikvision, AX PRO Wireless Control Panel User Manual, UD25814B, v1.2.7. Hangzhou: Hikvision Digital Technology, 2022. [Online]. Available: <https://www.hikvision.com>. [Πρόσβαση:].
- [13] Alarm systems — Environmental test methods, EN 50130-5, CENELEC.
- [14] Οδηγία 2014/53/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Απριλίου 2014 σχετικά με την εναρμόνιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τη διαθεσιμότητα ραδιοεξοπλισμού στην αγορά, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 153, 22 Μαΐου 2014.
- [15] Alarm systems — Intrusion and hold-up systems — Part 5-3: Requirements for interconnections equipment using radio frequency techniques, EN 50131-5-3, CENELEC, 2017.
- [16] Alarm systems — Alarm transmission systems and equipment, EN 50136, CENELEC.
- [17] Alarm and electronic security systems — Part 11-2: Electronic access control systems — Application guidelines, EN 60839-11-2, CENELEC.
- [18] Y. Rekhter, B. Moskowitz, D. Karrenberg, G. J. de Groot and E. Lear, Address Allocation for Private Internets, RFC 1918, IETF, Feb. 1996.
- [19] S. Deering and R. Hinden, Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, RFC 8200, IETF, Jul. 2017.
- [20] J. Weil, V. Kuarsingh, C. Donley, C. Liljenstolpe and M. Azinger, IANA-Reserved IPv4 Prefix for Shared Address Space, RFC 6598, IETF, Apr. 2012.
- [21] H. Schulzrinne, A. Rao and R. Lanphier, Real Time Streaming Protocol (RTSP), RFC 2326, IETF, Apr. 1998.
- [22] ONVIF, Core Specification, ONVIF. [Online]. Available: <https://www.onvif.org>. [Πρόσβαση:].
- [23] Hikvision, ISAPI Developer Guide, Hikvision. [Online]. Available: <https://www.hikvision.com>. [Πρόσβαση:].
- [24] IEEE Standard for Ethernet — Amendment 2: Physical Layer and Management Parameters for Power over Ethernet over 4 Pairs, IEEE 802.3bt-2018, IEEE, 2018.
- [25] Κανονισμός (ΕΕ) 2016/679 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Απριλίου 2016 για την προστασία των φυσικών προσώπων έναντι της επεξεργασίας των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 119, 4 Μαΐου 2016.
- [26] Νόμος 4624/2019, «Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα, μέτρα εφαρμογής του Κανονισμού (ΕΕ) 2016/679», ΦΕΚ Α' 137/29.08.2019.
- [27] European Data Protection Board, Guidelines 3/2019 on processing of personal data through video devices, Version 2.0, 29 Jan. 2020.

- [28] Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα, Οδηγία 1/2011: Χρήση συστημάτων βιντεοεπιτήρησης για την προστασία προσώπων και αγαθών, ΦΕΚ Β΄ 548/22.04.2011. [Online]. Available: <https://www.dpa.gr>. [Πρόσβαση:].
- [29] Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα, Ψηφιακή βιβλιοθήκη — Βιντεοεπιτήρηση. [Online]. Available: <https://www.dpa.gr>. [Πρόσβαση:].
- [30] Νόμος 3917/2011, άρθρο 14, «Διατήρηση δεδομένων που παράγονται ή υποβάλλονται σε επεξεργασία», ΦΕΚ Α΄ 22/21.02.2011.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ