



Πανεπιστήμιο Πειραιώς
Σχολή Τεχνολογιών Πληροφορικής Και
Επικοινωνιών
Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων

Εφαρμογή δικτύου LoRa για δίκτυο αισθητήρων

Πτυχιακή/Διπλωματική εργασία

Σταμούλος Βασίλειος, Ε14178
[**b.stamoulos@yahoo.gr**](mailto:b.stamoulos@yahoo.gr)

Σεπτέμβριος 2019

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Γεώργιο Ευθύμογλου του τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων Πανεπιστημίου Πειραιώς, για την ανάθεση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, δίνοντας μου παράλληλα την ευκαιρία να ασχοληθώ διεξοδικά με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους μου στην εταιρία Evolution Projects+, στην οποία και οφείλω την καθοδήγηση, την παροχή εξειδικευμένης τεχνικής γνώσης πάνω στο αντικείμενο, αλλά και όσα μου παρείχε ώστε η γνώση αυτή να μην σταθεί σε αποκλειστικά θεωρητικό επίπεδο, αλλά να ενσαρκωθεί στην διαδικτυακή εφαρμογή που ανέπτυξα και μας χάρισε το χρυσό βραβείο στα Best Cities Awards του 2018, τα οποία διοργάνωσε η ΚΕΔΕ (Κεντρική Επιτροπή Δήμων Ελλάδας).

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά τους γονείς μου, Δημήτρη και Τζίνα, όπως επίσης και όλους τους φίλους μου οι οποίοι με στήριξαν και μου στάθηκαν σε όλα αυτά τα χρόνια, μου συμπαραστάθηκαν και με βοήθησαν σε όλη την πορεία αυτή.

*If you can make one heap of all your winnings
And **risk** it on one turn of pitch-and-toss,
And lose, and start again at your beginnings
And never breathe a word about your **loss**;
If you can **force** your heart and nerve and sinew
To serve your turn long after they are **gone**,
And so **hold on** when there is nothing in you
Except the Will which says to them: "**Hold on**";*

~ Rudyard Kipling, "*If*"

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος	1
Κεφάλαιο 1: Συγκριτική μελέτη πρωτοκόλλων ανάπτυξης ασύρματων δικτύων μεγάλης εμβέλειας	3
1.1 Low Power Wide Area Networks (LPWANs)	4
1.2 3rd Generation Partnership Project (3GPP)	6
1.2.1 EC-GSM-IoT	6
1.2.2 LTE-M	6
1.2.3 NB-IoT	7
1.3 Non 3GPP Standards	8
1.3.1 Weightless Special Interest Group	8
1.3.3 SigFox	9
1.3.1 Ingenu	11
1.3.4 LoRa	11
1.4 Συγκριτικός πίνακας τεχνολογιών LPWAN	12
Κεφάλαιο 2: Ανάλυση των πρωτοκόλλων LoRa και LoRaWAN	15
2.1 Long Range (LoRa)	16
Βασικά χαρακτηριστικά	20
2.2 LoRaWAN	22
Βασικά χαρακτηριστικά	24
2.3 Γιατί LoRaWAN;	25
Κεφάλαιο 3: Η περίπτωση του ηλεκτροφωτισμού - Τα Πρότυπα TR 13201 και CIE 115	27
3.1 Η ύπαρξη ανάγκης για το φαινόμενο “Οδοφωτισμός”	28
3.2 Κλάσεις φωτισμού και τα κριτήρια επιλογής τους	30
3.2.1 Κλάσεις φωτισμού	30
3.2.2 Κριτήρια επιλογής κλάσεων φωτισμού	32
3.3 Φωτομετρική μελέτη	34
Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή και Σχεδιασμός Δικτύου	39

4.1 Δοκιμές Κάλυψης Δικτύου.....	40
4.1.1 Δοκιμή εύρους από τον χρήστη	41
4.1.2 Χάρτης κάλυψης.....	41
4.1.2 Δοκιμή εύρους από την συσκευή	41
4.2 Εγκατάσταση Εξοπλισμού	42
4.2.1 Ασύρματοι Ελεγκτές (Controllers)	42
4.2.2 Ενδιάμεσοι Κόμβοι Τηλε-διαχείρισης (Gateways).....	43
4.3 Εφαρμογή Τηλε-ελέγχου και Τηλε-διαχείρισης.....	45
4.4 Αρχιτεκτονική Πληροφοριακού Συστήματος	52
4.4.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική.....	52
4.4.2 Φυσική Αρχιτεκτονική.....	54
4.4.3 Υψηλή Διαθεσιμότητα	57
Κεφάλαιο 5: Περιπτώσεις χρήσης.....	59
5.0 Το Know-How των έργων	60
5.1 Ο Δήμος Μήλου.....	61
5.2 Ο Δήμος Επιδαύρου	61
5.3 Ο Δήμος Ζαγοράς	62
5.4 Ο Δήμος Φυλής	62
Αναφορές – Πηγές	63
Παράρτημα	67
Διαμόρφωση CSS	68
ΑΙΟΗΑ	69
Προϋπολογισμός Ζεύξης (Link Budget).....	70
Κριτήρια κλάσεων οδοφωτισμού	72
Κλάση “M”	72
Κλάση “C”	78
Κλάση “P”	83
Ανάλυση Τεχνικών Όρων	87
MySQL	87
MongoDB	89
JSON.....	90
Python	91

PHP.....	93
HTML	94
CSS	95
JavaScript.....	96

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Σύγκριση «BandWidth προς εμβέλεια» για τις τεχνολογίες LPWAN, τα δίκτυα μικρής εμβέλειας και τα δίκτυα κινητής.....	5
Εικόνα 2: Η διαμόρφωση LoRa και οι επιλογές στο επίπεδο MAC.....	17
Εικόνα 3: Η επιλογή των LoRa κλάσεων	18
Εικόνα 4: Σχηματική περιγραφή των κλάσεων	18
Εικόνα 5: Βασική αρχιτεκτονική δικτύου LoRa - Τύπου star	19
Εικόνα 6: Διαμόρφωση πακέτου πληροφορίας.....	20
Εικόνα 7: Η θέση του LoRaWan στη στοίβα πρωτοκόλλων.....	22
Εικόνα 8: Αρχιτεκτονική δικτύου LoRaWAN.....	23
Εικόνα 9: Τύποι δρόμων και περιπτώσεις τοποθέτησης φωτιστικών σε αυτούς	36
Εικόνα 10: Ορισμός περιοχής ενδιαφέροντος	37
Εικόνα 11: Ενδεικτική συσκευή δοκιμών (tester)	40
Εικόνα 12: Ασύρματος Ελεγκτής (Controller)	43
Εικόνα 13: Κόμβος τηλεδιαχείρισης (Gateway)	44
Εικόνα 14: Κεντρική εικόνα LightControl - Χάρτης πλήρης εικόνας φωτιστικών	45
Εικόνα 15: Προβολή φωτιστικών σε λίστα - δυνατότητα χειροκίνητης λειτουργίας.....	47
Εικόνα 16: Δημιουργία ομάδων, είτε με επιλογή σημείων σε χάρτη, είτε με γραφική μέθοδο.....	48
Εικόνα 17: Οθόνη δημιουργίας χρονοπρογράμματος	48
Εικόνα 18: Οθόνη προβολής χρονοπρογράμματος.....	49
Εικόνα 19: Πληροφορίες Pillar controller - δυνατότητα χειροκίνητης λειτουργίας.....	49
Εικόνα 20: Στατιστικά στοιχεία για κάθε συσκευή	50
Εικόνα 21: Μαζικός έλεγχος συσκευών	51
Εικόνα 22: Μερικός έλεγχος συσκευών	51
Εικόνα 23: Αρχιτεκτονική Πληροφοριακού Συστήματος.....	52
Εικόνα 24: Παράδειγμα φάσματος ενός "chirp"	68

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά διαφόρων LPWANs	12
Πίνακας 2: Όρια Ισχύος Εκπομπών	16
Πίνακας 3: Επιλογή κλάσεων "M"	74
Πίνακας 4: Κλάσεις φωτισμού για την κατηγορία M, συναρτήσει την λαμπρότητα του οδοστρώματος.....	76
Πίνακας 5: Αντιστοίχιση κλάσεων φωτισμού M και C.....	78
Πίνακας 6: Επιλογή κλάσης "C"	80
Πίνακας 7: Κλάσεις φωτισμού για την κατηγορία C, συναρτήσει της έντασης φωτισμού.....	82
Πίνακας 8: Επιλογή κλάσης "P".....	84
Πίνακας 9: Κλάσεις φωτισμού για την κατηγορία P, συναρτήσει της έντασης φωτισμού.....	86

Πρόλογος

Ο όρος Internet of Things (IoT - Διαδίκτυο των Πραγμάτων) επινοήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990 από τον επιχειρηματία Kevin Ashton. Ο Ashton, ο οποίος είναι ένας από τους ιδρυτές του Auto-ID Center στο MIT, ήταν μέρος μιας ομάδας που ανακάλυψε τον τρόπο να συνδέσει τα αντικείμενα με το διαδίκτυο μέσω μιας ετικέτας RFID. Έχει δηλώσει ότι χρησιμοποίησε πρώτη φορά τη φράση Internet of Things σε μια παρουσίαση που έκανε το 1999 – και ο όρος αυτός έχει καθιερωθεί από τότε. Το Internet of Things είναι μια έννοια που αφορά τα αντικείμενα της καθημερινότητάς μας – από βιομηχανικές μηχανές μέχρι wearable συσκευές που χρησιμοποιούν ενσωματωμένους αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων και την ανάληψη κάποιας δράσης σε αυτά μέσα σε ένα δίκτυο.

Τα υπάρχοντα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα δεν έχουν σχεδιαστεί για να εξυπηρετούν περιοχές απομακρυσμένες από κεντρικούς σταθμούς και βάσεις, αλλά σχεδιάστηκαν για χρήση σε συσκευές που είτε έχουν σταθερή παροχή ρεύματος, είτε συχνή πρόσβαση σε τέτοιες παροχές και επιτρέπουν την κίνηση μεγάλου όγκου δεδομένων. Οι παράγοντες αυτοί είναι πολύ σημαντικοί και αποτελούν πρόκληση για το IoT. Τη λύση για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων δίνουν τα δίκτυα χαμηλής ισχύος ευρείας περιοχής (LPWANs – Low Power Wide Area Networks). Το LoRa (Long Range) είναι ένα πρωτόκολλο LPWAN και αποτελεί ιδιαίτερο αντικείμενο μελέτης στην συγκεκριμένη εργασία, καθώς το χρησιμοποιεί για την αμφίδρομη επικοινωνία των IoT συσκευών με το δίκτυο και την τελική εφαρμογή τηλε-ελέγχου και τηλε-διαχείρισης των φωτιστικών σωμάτων.

Το πρώτο κεφάλαιο πραγματεύεται τις διαφορές ανάμεσα στα διάφορα πρωτόκολλα LPWANs, ιδιότητα και μη και παραθέτει τις διαφορές αυτές χωρίς όμως να διακρίνει κάποιο απ' αυτά, καθώς εμπειρικά καταλαβαίνουμε ότι κάθε ένα απ' αυτά μπορεί να φανεί χρήσιμο ανάλογα τις ανάγκες που προκύπτουν. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εκτεταμένη ανάλυση του πρωτοκόλλου LoRa, αλλά και του LoRaWAN και ξεκαθαρίζει την διαφορά ανάμεσα στα δύο. Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει τον οδοφωτισμό και σε αυτό αναλύεται η ανάγκη ύπαρξης επαρκούς φωτισμού στις οδούς και την ανάγκη για καλές φωτοτεχνικές μελέτες. Στο επόμενο κεφάλαιο, το τέταρτο, εφαρμόζουμε την γνώση που αποκτήσαμε από τα προηγούμενα κεφάλαια, προκειμένου να σχεδιάσουμε το δίκτυο, την υποδομή και να εγκαταστήσουμε τις συσκευές στο πεδίο. Παράλληλα, παρουσιάζεται και η εφαρμογή με την οποία επιτυγχάνεται ο τηλε-έλεγχος και η τηλε-διαχείριση και παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του πληροφοριακού συστήματος. Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο δίνονται κάποια στοιχεία για την εφαρμογή του παραπάνω περιγραφέντος συστήματος σε τέσσερις δήμους.

Τέλος, στο παράρτημα παρατίθενται κάποιες αναλύσεις τεχνικών όρων οι οποίοι δεν μπορούσαν να παρατεθούν στην κύρια δομή του κειμένου. Στο κείμενο, οι παραπομπές ξεχωρίζουν από την γενική μορφοποίηση.

Κεφάλαιο 1:
Συγκριτική μελέτη πρωτοκόλλων
ανάπτυξης ασύρματων δικτύων
μεγάλης εμβέλειας

1.1 Low Power Wide Area Networks (LPWANs)

Οι τεχνολογίες Low-Power, Wide-Area (LPWA) συμπληρώνουν τα υφιστάμενα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και τις τεχνολογίες μικρής εμβέλειας, επιτρέποντας χαμηλότερα κόστη και βελτιωμένα χαρακτηριστικά κατανάλωσης ενέργειας. Στην περίοδο που διανύουμε πολλές είναι οι εταιρίες που δίνουν έμφαση σε εφαρμογές χαμηλού κόστους και υψηλής κάλυψης αναπτύσσοντας την δική τους LPWAN τεχνολογία. Για τον λόγο αυτό, ως τώρα, υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις ανάπτυξης εφαρμογών που καλύπτουν τις ανάγκες του IoT:

- Τα δίκτυα κινητής,
- Τα δίκτυα μικρής εμβέλειας και
- Τα δίκτυα μεγάλης εμβέλειας.

Η πρώτη προσέγγιση είναι η χρήση ενός προ-υπάρχοντος κυψελοειδούς δικτύου. Τα κυψελοειδή δίκτυα έχουν καθιερωμένο παγκόσμιο αποτύπωμα και μπορούν να αντιμετωπίσουν την πρόκληση της καθολικής και διαφανούς κάλυψης, επιτρέποντας έτσι τη χρήση του λειτουργικού μοντέλου "place-and-play", σύμφωνα με τον οποίο οι κόμβοι του IoT πρέπει απλώς να τοποθετηθούν στις επιθυμητές θέσεις για να καταστούν λειτουργικοί και να συνδεθείτε με τον υπόλοιπο κόσμο. Στα κυψελοειδή δίκτυα, οι τεχνολογίες LPWAN χαρακτηρίζονται από συνδέσεις μεγάλης εμβέλειας (στις τάξεις των km) σε τοπολογίες αστρικών δικτύων, με τους περιφερειακούς κόμβους συνδεδεμένους απευθείας με έναν server, ο οποίος ενεργεί ως πύλη στο διαδίκτυο.

Η δεύτερη προσέγγιση, είναι αυτή των WLANs (Wireless Local Area Networks) ασύρματων δικτύων μικρής εμβέλειας, τα οποία συνδέουν ένα μεγάλο εύρος χρηστών σε μια περιορισμένη περιοχή, όπως μία οικία, ένα σχολείο, ή μια πανεπιστημιακή μονάδα. Έτσι, προσφέρουν την δυνατότητα τα τερματικά να μετακινούνται στον χώρο, διατηρώντας την συνδεσιμότητα με το δίκτυο. Τα πρωτόκολλα που υλοποιούν αυτού του είδους την τεχνολογία, είναι το Bluetooth, το WiFi, στο ZigBee, κα.

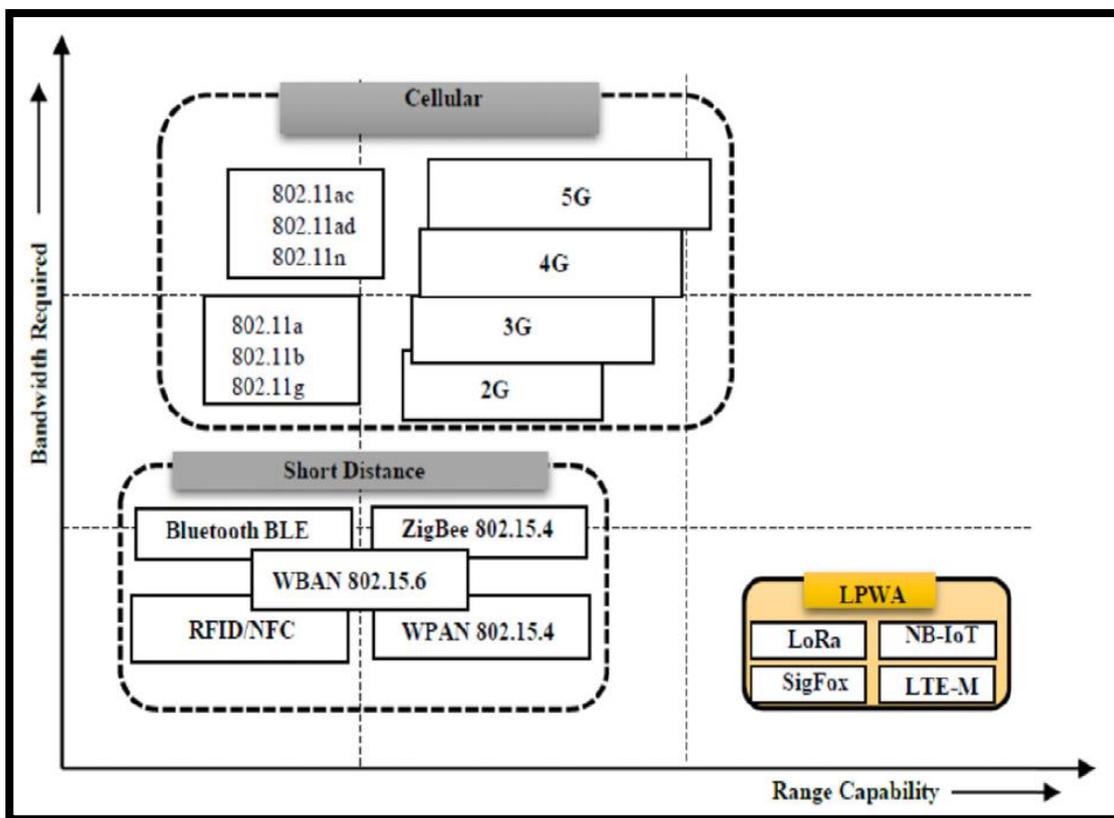
Στον χώρο του IoT πραγματοποιείται η ταχεία εξάπλωση νέων εμπορικών τεχνολογιών, με βάση ένα άλλο παράδειγμα δικτύωσης που αναφέρεται ως «δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος» (Low Power Wide Area Network - LPWAN). Έτσι, έχουν προκύψει διάφορες προτάσεις που ακολουθούν το πρότυπο του LPWAN. Αυτές οι προτάσεις στοχεύουν στη τομή μεταξύ της μεγάλης εμβέλειας επικοινωνίας που συναντάται στα δίκτυα κινητής και της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας των WLANs (**Εικόνα 1**). Πολλές προτάσεις LPWAN βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης αλλά αρκετοί φορείς έχουν ήδη ξεκινήσει την αρχιτεκτονική τους ανάπτυξη. Το LoRaWAN, το Sigfox και το Ingenu είναι σήμερα οι τεχνολογίες LPWAN με τη μεγαλύτερη δυναμική και έχουν συναντώνται σε ένα τεράστιο αριθμό ενεργών εφαρμογών. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές άλλες ιδιόκτητες και τυποποιημένες ενδιαφέρουσες τεχνολογίες που θα εξετάσουμε παρακάτω. Οι πιο θεμελιώδεις διαφορές μεταξύ αυτών των τεχνολογιών περιλαμβάνουν το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιούν (απαλλάσσονται από την άδεια χρήσης των τηλεπικοινωνιακών φορέων) και τις εμπορικές στρατηγικές των εταιρειών που τις αναπτύσσουν. Οπότε με λίγα λόγια, Low-Power, Wide-Area (LPWA) είναι

έναν γενικό όρο για μια ομάδα τεχνολογιών με τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά:

- Μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας (συχνά υπερβαίνει τα 10 χρόνια),
- Μεγάλη ακτίνα επικοινωνίας, συχνά χωρίς να προηγηθεί κάποια παραμετροποίηση,
- Ανάπτυξη αρχιτεκτονικής δικτύου με χαμηλό κόστος,
- Περιορισμένη χωρητικότητα στον όγκο των δεδομένων μεταξύ των άκρων που επικοινωνούν στο ασύρματο δίκτυο.

Στις επόμενες ενότητες παρέχεται μια γενική επισκόπηση των ευρέως χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών στις κατηγορίες που προαναφέραμε.

Εικόνα 1: Σύγκριση «BandWidth προς εμβέλεια» για τις τεχνολογίες LPWAN, τα δίκτυα μικρής εμβέλειας και τα δίκτυα κινητής



1.2 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

1.2.1 EC-GSM-IoT

Το Extended Coverage-GSM-IoT (EC-GSM-IoT) είναι ένα πρότυπο βασισμένο σε τυποποιημένες τεχνολογίες LPWA. Βασίζεται στο eGPRS και έχει σχεδιαστεί ως κυψελωτό σύστημα μεγάλης χωρητικότητας, μεγάλης εμβέλειας, χαμηλής ενεργειακής ισχύος και χαμηλής πολυπλοκότητας για το IoT. Οι βελτιστοποιήσεις που έγιναν στο EC-GSM-IoT, που πρέπει να γίνουν στα υπάρχοντα δίκτυα GSM, μπορούν να γίνουν με μια απλή αναβάθμιση λογισμικού, εξασφαλίζοντας την κάλυψη και την έγκαιρη υλοποίηση του δικτύου. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας ενός end device μπορεί να φτάσει έως 10 έτη, κάτι που είναι απαιτούμενο από ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων χρήσης. Υποστηρίζεται από όλους τους μεγάλους φορείς και κατασκευαστές μπορεί να συνυπάρχει με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 2G, 3G και 4G. Έτσι επωφελείται από όλα τα χαρακτηριστικά τους, όπως ασφάλειας και προστασίας προσωπικών δεδομένων, την εμπιστευτικότητα της ταυτότητας των χρηστών, τη πιστοποίηση των οντοτήτων, την ακεραιότητα των δεδομένων και την αναγνώριση του κινητού εξοπλισμού.

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας (uplink / downlink)
- Σχεδιασμένο ως κυψελοειδές σύστημα υψηλής χωρητικότητας και χαμηλής πολυπλοκότητας.
- Ο ρυθμός δεδομένων κυμαίνεται περίπου 70-250 kbps στο uplink στο downlink.
- Εύρος επικοινωνίας περίπου 15 χλμ.
- Ένα τυπικό τέλος χρέωσης για ένα τερματικό είναι 4-5€.

1.2.2 LTE-M

Το LTE-M βελτιώνει τις προγενέστερες από αυτό τεχνολογίες και μειώνει παράλληλα το κόστος ανάπτυξης. Έχει το πλεονέκτημα ότι προσφέρεται στο πλαίσιο μιας κανονικής αναβάθμισης της υποδομής, οπότε μπορεί να υποστηριχθεί από την ήδη υπάρχουσα αρχιτεκτονική. Ωστόσο, επειδή το LTE-M εξακολουθεί να μην είναι έτοιμο καθώς κάποιες ιδιαιτερότητες δεν επιτρέπουν τον συντονισμό μεταξύ των παρόχων και των κατασκευαστών.

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας (uplink / downlink).
- Βασίζεται στη διαμόρφωση QPSK.
- Εύρος ζώνης 1,4 - 20 MHz.
- Επιτρέπει την αποστολή απεριόριστου αριθμού μηνυμάτων ανά ημέρα.
- Εύρος επικοινωνίας περίπου 11 χλμ.
- Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας ενός controller φτάνει τα 10 χρόνια.

1.2.3 NB-IoT

Το NarrowBand IoT (NB-IoT) είναι ένα από αυτά τα πρότυπα τεχνολογίας LPWAN που έχει αναπτυχθεί για να επιτρέψει τη σύνδεση ενός ευρέος φάσματος συσκευών και υπηρεσιών χρησιμοποιώντας την κινητή τηλεφωνία. Το NB-IoT είναι μια narrowband τεχνολογία σχεδιασμένη για IoT (Internet of Things) συσκευές και ανήκει σε μια σειρά τεχνολογιών Mobile IoT (MIoT) που τυποποιούνται από το 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει την τεχνολογία LTE-M, σαν μία εναλλακτική λύση χαμηλότερου κόστους και βελτίωση της αποδοτικότητας του δικτύου.

Το NB-IoT επικεντρώνεται ειδικά στην κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους, το χαμηλό κόστος, τη μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και την υψηλή πυκνότητα σύνδεσης. Το NB-IoT παρότι βασίζεται στο LTE, το εύρος ζώνης περιορίζεται στα 200kHz, χρησιμοποιεί τη διαμόρφωση OFDM και SC-FDMA για επικοινωνίες ανερχόμενης ζεύξης. Μπορεί να συνυπάρχει με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 2G, 3G και 4G, οπότε και επωφελείται από όλες τις λειτουργίες ασφάλειας και ιδιωτικού απορρήτου των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, όπως η υποστήριξη της εμπιστευτικότητας των στοιχείων ταυτότητας χρήστη, ο έλεγχος ταυτότητας οντοτήτων, η εμπιστευτικότητα, η ακεραιότητα των δεδομένων και η αναγνώριση του κινητού εξοπλισμού.

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας (uplink / downlink).
- Χαμηλότερου κόστους από τα υπόλοιπα 3GPP πρότυπα.
- Βασίζεται στη διαμόρφωση QPSK και ορίζει τα παράθυρα επικοινωνίας με βάση τις χρονοθυρίδες.
- Εύρος ζώνης 180-200 KHz.
- Χαμηλή ανοσία σε παρεμβολές
- Ρυθμός δεδομένων 204,8kbps στο uplink και 234,7kbps κατά το downlink
- Απεριόριστος αριθμός μηνυμάτων μέσα στην μέρα.
- Κάθε κεντρικός κόμβος μπορεί να διαχειριστεί περίπου πενήντα πέντε χιλιάδες (55.000) συσκευές NB-IoT.
- Οι συσκευές μπορούν να έχουν εμβέλεια μετάδοσης:
 - 1 Km σε αστικές περιοχές και
 - 10 Km σε προάστια.
- Χαμηλή διάρκεια ζωής της μπαταρίας.
- Για κάθε συσκευή προστίθεται ένα πάγιο τέλος που μπορεί να ξεπερνά τα 5€/συσκευή και αφορά την συντήρηση του δικτύου.

1.3 Non 3GPP Standards

1.3.1 Weightless Special Interest Group

Η Weightless Special Interest Group έχει αναπτύξει ένα σετ με τρία ανοιχτά πρότυπα για τις τεχνολογίες LPWAN, το Weightless-W, το Weightless-N και το Weightless-P, τα οποία αποτελούνται από διαφορετικά χαρακτηριστικά και αφορούν σε διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης.

Weightless-W

Χρησιμοποιεί αμφίδρομη (bidirectional) λειτουργία στο πεδίο του χρόνου με μεταπήδηση συχνοτήτων και μεταβλητούς συντελεστές διάδοσης στην προσπάθεια να αυξηθεί η εμβέλεια της επικοινωνίας και να προσαρμόσει τις συσκευές χαμηλής ισχύος στις χαμηλές συχνότητες των 470-790 MHz. Οι συχνότητες αυτές συνήθως χρησιμοποιούνται από επίγειους τηλεοπτικούς σταθμούς, οπότε αν κάποιο κανάλι χρησιμοποιείται, αναγνωρίζεται η συχνότητα από το πρωτόκολλο και απορρίπτεται.

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Αμφίδρομη επικοινωνία (uplink/downlink).
- Λειτουργεί στις συχνότητες 470-790 MHz.
- Βασίζεται στην διαμόρφωση στενής ζώνης συχνοτήτων FDMA (Frequency Division Multiple Access) μαζί με τη Time Division Duplex (TDD) ανάμεσα στα μηνύματα εκπομπής/λήψης.
- Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης από 1 kbps έως και 1 Mbps.
- Υποστηρίζει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι τα 5 km σε μη αστικό περιβάλλον.
- Οι συσκευές μπορούν να έχουν διάρκεια «ζωής» της μπαταρίας μέχρι και 3-5 χρόνια.

Weightless-N

Το Weightless-N σχεδιάστηκε με βάση τη ψηφιακή διαμόρφωση DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) για τη μετάδοση μηνυμάτων σε στενές ζώνες χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο μεταπήδησης συχνοτήτων για καλύτερη ανοχή στις παρεμβολές και αυξημένη ασφάλεια. Υποστηρίζει φορητότητα, καθώς το δίκτυο μπορεί αυτόματα να διαβιβάσει τα μηνύματα στον σωστό προορισμό. Κάθε κεντρικός σταθμός αποθηκεύει ένα κατάλογο με όλα τα δίκτυα που υπάρχουν (από τον ίδιο πάροχο, ή ακόμα και από άλλους) και αναγνωρίζει η τελική συσκευή σε πιο από αυτά είναι εγγεγραμμένη αποκρυπτογραφώντας τα μηνύματα κατάλληλα. Το Weightless-N βελτιώνει το εύρος της επικοινωνίας σε σχέση με το Weightless-W, ενώ παράλληλα μειώνει την κατανάλωση ισχύος επιτυγχάνοντας απόδοση 10 ετών στη διάρκεια μπαταρίας.

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Μονόδρομη επικοινωνία (uplink).

- Λειτουργεί στις συχνότητες 800-900 MHz.
- Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης στα 0.2-100 kbps με κανάλια των 12.5kHz.
- Υποστηρίζει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι τα 5 km σε μη αστικό περιβάλλον.
- Οι συσκευές μπορούν να έχουν διάρκεια «ζωής» της μπαταρίας μέχρι και 10 χρόνια.

Weightless-P

Το Weightless-P προτείνεται ως λύση αμφίδρομης επικοινωνίας υψηλής απόδοσης που μπορεί να λειτουργεί στις ζώνες 169, 433, 470, 780, 868, 915 και 923MHz. Ωστόσο, το κόστος των τερματικών συσκευών και η κατανάλωση ρεύματος είναι υψηλότερες από αυτές του Weightless-N και η διάρκεια ζωής μπαταρίας περιορίζεται στα 3-8 χρόνια.

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Αμφίδρομη επικοινωνία (uplink/downlink).
- Λειτουργεί στις συχνότητες 169, 433, 470, 780, 868, 915 and 923MHz.
- Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης στα 0.625-100kbps.
- Υποστηρίζει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι τα 2 km σε μη αστικό περιβάλλον.
- Οι συσκευές μπορούν να έχουν διάρκεια «ζωής» της μπαταρίας στα 3-8 χρόνια.

1.3.3 SigFox

Το SigFox είναι η πρώτη τεχνολογία LPWAN που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές σε όλη την Ευρώπη και μέρη της Ασίας. Είναι ιδιόκτητη λύση, η οποία ανήκει και αναπτύσσεται από την ομώνυμη εταιρία και την καθιστά χρήσιμη στις εφαρμογές που χρησιμοποιούν πολύ μικρό εύρος ζώνης και πρέπει να αποστέλνουν μικρές ποσότητες δεδομένων για μακρά χρονικά διαστήματα. Η Sigfox ελέγχει κάθε πτυχή του δικτύου με όλες τις μεταδόσεις μηνυμάτων που δρομολογούνται μέσω των διακομιστών SigFox. Αυτό σημαίνει ότι η διαθεσιμότητα των εφαρμογών που τρέχουν στα δίκτυα της Sigfox εξαρτάται εξ ολοκλήρου από τη λειτουργική ικανότητα της ίδιας να παρέχει συνεχείς υπηρεσίες.

Το Sigfox χρησιμοποιεί τη Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK) και τη Gaussian frequency-shift keying (GFSK) που επιτρέπει την επικοινωνία χρησιμοποιώντας τη ζώνη ελεύθερων συχνοτήτων στα 868MHz στην Ευρώπη και την 915MHz στις ΗΠΑ. Χρησιμοποιεί σήματα "Ultra Narrowband" που απαιτούν ελάχιστη ενέργεια και συνεπώς ανήκει στην κατηγορία των LPWAN. Το δίκτυο βασίζεται στην τοπολογία αστερία και απαιτεί από τον φορέα που θα κληθεί να υλοποιήσει ένα δίκτυο SigFox να διαχειρίζεται την κίνηση. Το σήμα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εύκολη κάλυψη μεγάλων περιοχών και για την πρόσβαση σε αντικείμενα που βρίσκονται υπόγειοι.

Οι ραδιοφωνικές ζώνες ISM (industrial, scientific and medical radio bands) υποστηρίζουν περιορισμένη αμφίδρομη επικοινωνία. Για τον λόγο αυτό, το Sigfox υποστηρίζει μέχρι και 140 μηνύματα uplink την ημέρα, καθένα από τα οποία μπορεί να μεταφέρει ένα ωφέλιμο φορτίο 12 οκτάδων (12bit) με ρυθμό μετάδοσης έως και 100 bytes ανά δευτερόλεπτο.

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Δεν υπάρχουν λεπτομερείς προδιαγραφές, καθώς αποτελεί “κλειστό” πρότυπο.
- Λειτουργεί στις συχνότητες 868MHz (Ευρώπη) και 915MHz (ΗΠΑ).
- Βασίζεται στις διαμορφώσεις DBPSK, GFSK και Random Frequency and Time Division Multiple Access (RFTDMA).
- Λειτουργεί σε ένα εύρος ζώνης 200KHz, το οποίο χωρίζεται σε 400 κανάλια των 100Hz.
- Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης στα 100 ή 600bps στο uplink.
- Μέγιστος αριθμός πακέτων που αποστέλλονται: 140 πακέτα τη μέρα.
- Υποστηρίζει εμβέλεια επικοινωνίας 3-10χλμ. Σε αστικές περιοχές και 30–50χλμ. Σε μη αστικές.
- Οι συσκευές μπορούν να έχουν διάρκεια «ζωής» της μπαταρίας στα 6-10 χρόνια.

1.3.1 Ingenu

Η πολλαπλή πρόσβαση τυχαίας φάσης (RPMA) είναι μια ιδιόκτητη LPWAN τεχνολογία που αναπτύχθηκε από την Ingenu για την παροχή λύσεων βιομηχανίας M2M και ιδιωτικών δικτύων. Η αρχιτεκτονική RPMA διαθέτει δυνατότητες για ισχυρή εκπομπή μηνυμάτων σε uplink/downlink και λειτουργεί στο ελεύθερο φάσμα των 2.4GHz, το οποίο χρησιμοποιείται περισσότερο από το Wi-Fi. Όπως και η Sigfox, οι εφαρμογές που εκτελούνται στο δίκτυο της Ingenu είναι υπό την εποπτεία της εταιρείας, οπότε, διακοπές υπηρεσιών ή οι βλάβες του λογισμικού μπορούν να οδηγήσουν σε αδυναμία εκτέλεσης των εφαρμογών των τελικών χρηστών. Το κύριο πλεονέκτημα της Ingenu σε σύγκριση με εναλλακτικές λύσεις είναι το υψηλός ρυθμός αποστολής δεδομένων, μέχρι τα 624kbps στο uplink και τα 156kbps στο downlink. Αντίθετα, η κατανάλωση ενέργειας είναι υψηλότερη και το εύρος επικοινωνίας είναι μικρότερο (γύρω στα 5-6 χλμ.) κυρίως λόγω της χρησιμοποιούμενης ζώνης των 2.4GHz.

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Αμφίδρομη επικοινωνία (uplink/downlink).
- Λειτουργεί στα 2.4GHz.
- Βασίζεται στην διαμόρφωση RPMA (Based on Random Phase Multiple Access).
- Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης στα 624 kbps (Uplink) και 156 kbps (Downlink).
- Υποστηρίζει εμβέλεια επικοινωνίας γύρω στα 5-6χλμ.

1.3.4 LoRa

Το πρωτόκολλο LoRa, δημιουργήθηκε από την Semtech και ανήκει στο φυσικό επίπεδο ή αλλιώς είναι η τεχνολογία διαμόρφωσης του σήματος σε μια ασύρματη ζεύξη με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας. Το LoRa είναι, δηλαδή, ένας ψηφιακός τρόπος διαμόρφωσης εξάπλωσης φάσματος βασισμένος στη “**Διαμόρφωση CSS**” που επιτρέπει χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης της πληροφορίας, όπως η παλαιότερη FSK (Frequency Shift Keying). Η CSS παραμένει το ίδιο αποδοτική με την FSK και λόγω των πλεονεκτημάτων σε σχέση με αυτή χρησιμοποιείται τις τελευταίες δεκαετίες σε στρατιωτικές εφαρμογές, αλλά το LoRa είναι η πρώτη χαμηλού κόστους υλοποίησή για εμπορική χρήση.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναλυτικότερη επέκταση αναφορικά με την τεχνολογία αυτή και το τι μας προσφέρει.

1.4 Συγκριτικός πίνακας τεχνολογιών LPWAN

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά διαφόρων LPWANs

Τεχνολογία / Χαρακτηριστικά	Ingenu	Weightless-W	Weightless-N	Weightless-P	SigFox	EC-GSM-IoT	LTE-M	NB-IoT	LoRa	LoRaWAN
Επικοινωνία	Αμφίδρομη	Αμφίδρομη	Uplink	Αμφίδρομη	Uplink	-	Αμφίδρομη	Αμφίδρομη	Αμφίδρομη	Αμφίδρομη
Ζώνη Συχνότητας	2.4 GHz	470-790 MHz	800-900 MHz	169, 433, 470, 780, 868, 915 και 923 MHz	868 και 915 MHz	EDGE/2G	LTE/4G	2G/3G/4G	433, 868 και 915 MHz	433, 868 και 915 MHz
Διαμόρφωση	RPMA	FDMA & TDD	FDMA & TDD	FDMA & TDD	DBPSK & GFSK	-	OFDMA	OFDMA	LoRa	LoRa ή FSK
Εύρος Ζώνης	-	-	-	-	200 KHz	200 KHz	1.4-20 MHz	180-200 KHz	7.8 - 62.5 KHz (433 MHz) & 125, 250, 500 KHz (868, 915 MHz)	7.8 - 62.5 KHz (433 MHz) & 125, 250, 500 KHz (868, 915 MHz)
# καναλιών	-	-	12.5 KHz channels	-	400	-	-	12	10	10 (EU) και 64 + 8 + 8 (US)
Ρυθμός μετάδοσης Uplink	624kbps	-	0.2-100kbps	-	100 or 600 bps	-	-	204.8-234.7 kbps	-	-
Ρυθμός μετάδοσης Downlink	156kbps	1kbps - 1Mbps	-	0.625-100kbps	-	70-250 kbps	0.2-1 Mbps	234.7 kbps	0.29 - 25 Kbps	0.29 - 50 Kbps

Μέγιστο Μέγεθος Πακέτων (ΜΜΠ)	-	-	-	200 Bytes	8-12 bytes	-	-	1.6 kB	21-243 Bytes	21-243 Bytes
Πακέτα / μέρα / συσκευή	-	-	-	-	140	-	Απεριόριστα	Απεριόριστα	Ανάλογα τον κύκλο δράσης ανά συχνότητα	Ανάλογα τον κύκλο δράσης ανά συχνότητα
Εμβέλεια (χλμ)	5-6	5	5	2	3-10 στο αστικό δίκτυο / 30-50	11	11	11	2-5 στο αστικό δίκτυο / 15	2-5 στο αστικό δίκτυο / 15
Περιορισμός Κύκλου Δράσης	-	-	-	-	1%	-	-	-	όχι (στα 433) / 10%, 1% ή 0.1% (στα 868MHz)	όχι (στα 433) / 10%, 1% ή 0.1% (στα 868MHz)
Ζωή Μπαταρίας (σε χρόνια)	-	3-5	10	3-8	6-10	-	10	10	10-15	10-15
Gateways/Base Stations	Gateway	-	-	-	Καθορίζεται από τη SigFox	-	LTE/4G Base Stations	LTE/4G Base Stations	Gateway	Gateway

Κεφάλαιο 2:
Ανάλυση των πρωτοκόλλων
LoRa και LoRaWAN

2.1 Long Range (LoRa)

Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, «LoRa» είναι η διαμόρφωση, το επίπεδο εκείνο, δηλαδή, το οποίο είναι υπεύθυνο για την μετάδοση της πληροφορίας στον «αέρα». Βασίζεται στη διαμόρφωση CSS (chirp Spread Spectrum), η οποία αναπτύχθηκε την δεκαετία του 1940 και χρησιμοποιούνταν σε στρατιωτικές εφαρμογές. Τα τελευταία χρόνια βρίσκει εφαρμογή σε αρκετά τηλεπικοινωνιακά συστήματα, καθώς με ελάχιστη ισχύ κατά την εκπομπή μπορεί να διαθέτει ανοσία σε πολύ-διαδρομές, εξασθένιση, φαινόμενα Doppler και παρεμβολές. Η CSS έχει υιοθετηθεί πλέον απ' την Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών για το πρότυπο IEEE 802.15.4 για εφαρμογές που χρειάζονται φορητότητα και ανθεκτικότητα σε μεγάλες αποστάσεις.

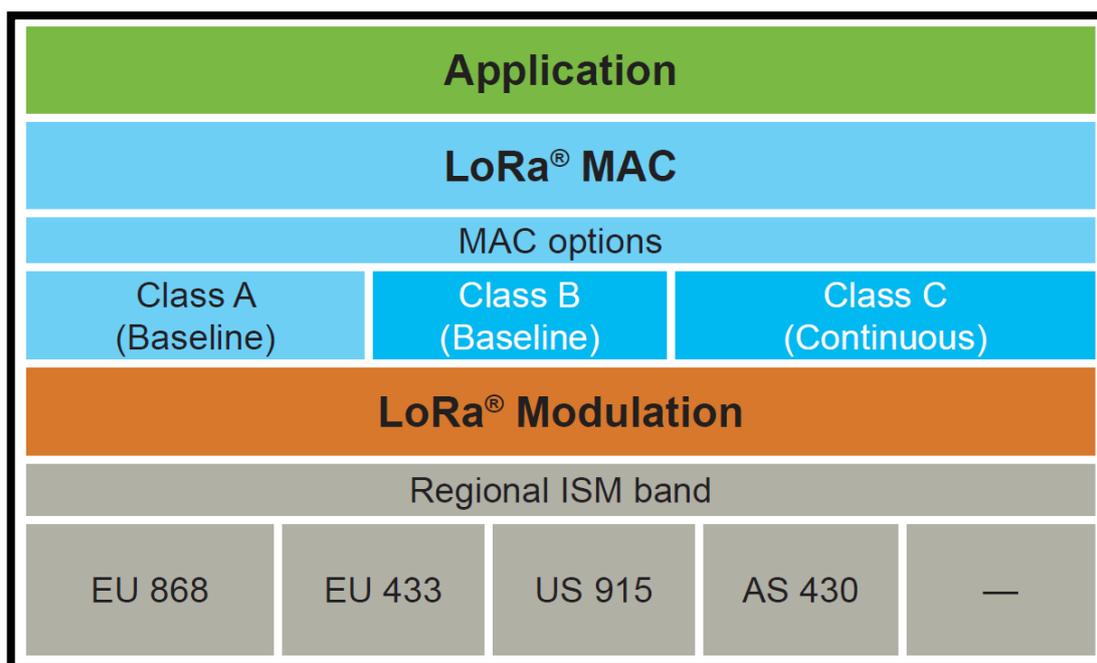
Ως LoRa ορίζουμε μια τεχνολογία LPWAN (Low Power Wide Area Network) η οποία “τρέχει” στο ανοιχτό φάσμα συχνοτήτων ISM συμβατό με την οδηγία ETSI EN 300 220. Για την Ευρώπη και συγκεκριμένα την Ελλάδα, χρησιμοποιούνται οι συχνότητες 433,05-434,79MHz και 863-870MHz. Επειδή, όμως, η εκπομπή γίνεται στο ελεύθερο φάσμα έχουν τεθεί τα όρια που φαίνονται στον “**Πίνακας 2**”:

Πίνακας 2: Όρια Ισχύος Εκπομπών

Συχνότητα	Μέγιστο όριο ισχύος εκπομπής (E.R.P.)	Κύκλος Δράσης
433,050 - 434,790 MHz	<= 10mW	<= 10%
434,040 - 434,790 MHz	<= 10mW	-
863 - 865 MHz	<= 25mW	<= 0,1%
865 - 868 MHz	<= 25mW	<= 1%
868 - 868,6 MHz	<= 25mW	<= 1%
868,7 - 869,2 MHz	<= 25mW	<= 0,1%
869,4 - 869,65 MHz	<= 500mW	<= 10%
869,7 - 870 MHz	<= 5mW	-
869,7 - 870 MHz	<= 25mW	<= 1%

Όπου “μέγιστο όριο εκπομπής” είναι το σύνολο της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από όλες τις συσκευές εκπομπής και «κύκλος δράσης» ο συνολικός χρόνος που μπορεί να εκπέμψει κάθε συσκευή μέσα στο διάστημα μιας ώρας.

Εικόνα 2: Η διαμόρφωση LoRa και οι επιλογές στο επίπεδο MAC

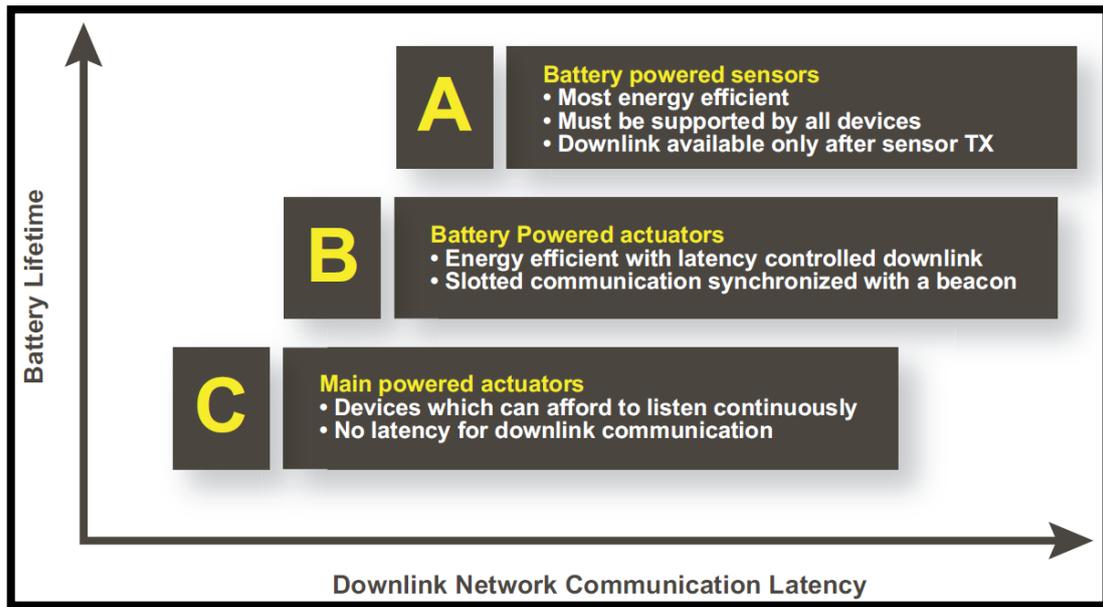


Όπως φαίνεται και απ' την **Εικόνα 2** σε αυτό το σημείο έχει καλυφθεί το πρώτο κομμάτι, αυτό του επιπέδου της διαμόρφωσης πάνω στην επιλεγμένη συχνότητα. Ένα πολύ σημαντικό επίπεδο όμως είναι και το αμέσως πιο πάνω, δηλαδή αυτό του LoRa MAC, στο οποίο ορίζονται τρεις κλάσεις (**Εικόνα 3**):

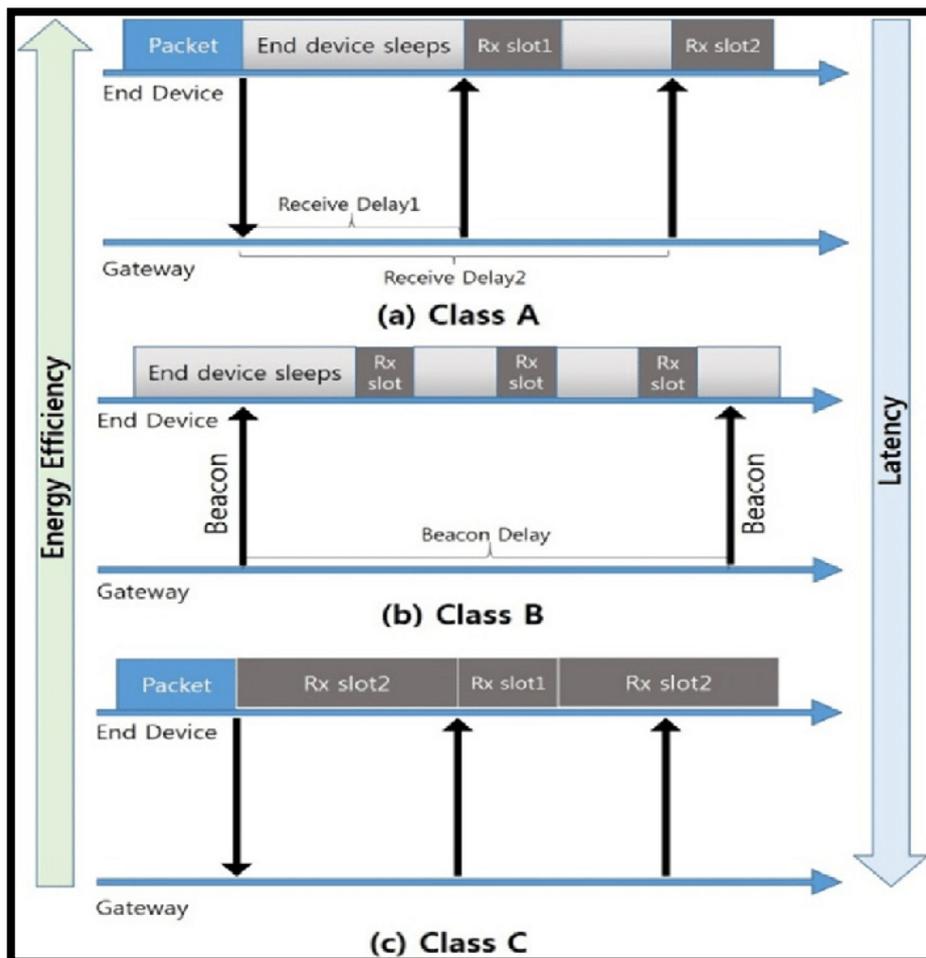
- Κλάση A. Στο δίκτυο με κλάση A η επικοινωνία γίνεται ασύγχρονα, δηλαδή ο controller είναι εκείνος που ορίζει το πότε θα πραγματοποιηθεί. Μόλις εκπέμψει το πακέτο που έχει να στείλει, αφήνει δύο ανοιχτά χρονικά «παράθυρα» επικοινωνίας, μόνο στα οποία μπορεί να λάβει μηνύματα και ύστερα μπαίνει σε κατάσταση αναμονής μέχρι πάλι να ξαναστείλει. Η κλάση αυτή θα πρέπει να υποστηρίζεται από όλες τις συσκευές και αφορά στην ελάχιστη κατανάλωση επιδιώκοντας την μέγιστη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.
- Κλάση B. Στην περίπτωση αυτή ισχύει ότι και στην προηγούμενη κλάση με την διαφορά ότι τα «παράθυρα» επικοινωνίας είναι προκαθορισμένα και ορίζονται από τον εξυπηρετητή (server). Στο ενδιαμέσο διάστημα, το gateway στέλνει περιοδικά κάποια αναγνωριστικά μηνύματα στον controller προκειμένου να συγχρονιστεί χρονικά με αυτό.
- Κλάση C. Στην κλάση C, οι controllers διαθέτουν σχεδόν συνεχή «παράθυρα» επικοινωνίας σε αντίθεση με τις άλλες δύο κλάσεις. Στην περίπτωση αυτή, δεν υπάρχει μεγάλη καθυστέρηση στην λήψη και αποστολή των μηνυμάτων, αλλά η κατανάλωση της ενέργειας είναι αυξημένη σε τέτοια επίπεδα όπου παροτρύνεται η τροφοδοσία της συσκευής με μπαταρία.

Η παραπάνω περιγραφή μπορεί να φανεί και σχηματικά απ' την **Εικόνα 4**.

Εικόνα 3: Η επιλογή των LoRa κλάσεων



Εικόνα 4: Σχηματική περιγραφή των κλάσεων

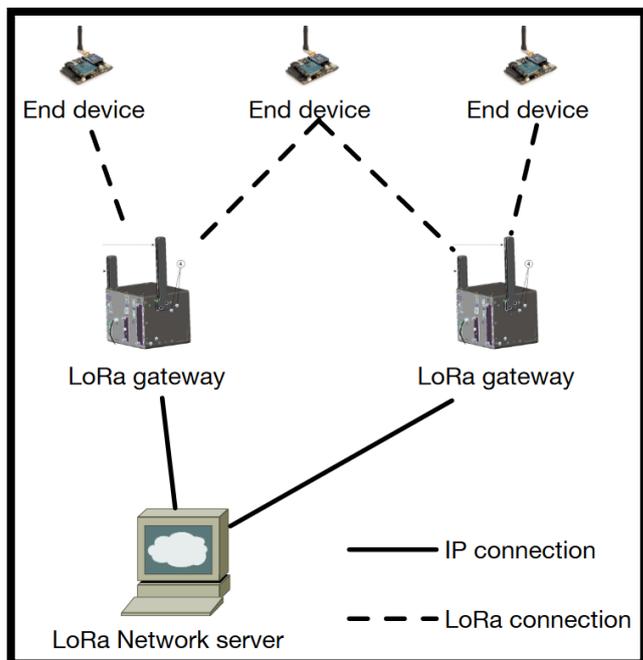


Επειδή το διαθέσιμο μέγεθος πλαισίου είναι μικρό και η πληροφορία που μεταφέρεται δεν έχει τη μορφή πακέτων IP, τα πλαίσια εκπέμπονται στον ραδιοδίαυλο με τεχνική “**ALOHA**” προς πύλες (gateways) οι οποίες τα προωθούν προς το διαδίκτυο. Οι πύλες είναι αντίστοιχες των σταθμών βάσης της κινητής τηλεφωνίας, με τη διαφορά ότι έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια και μπορούν να εξυπηρετήσουν πολύ μεγάλο αριθμό τερματικών.

Μία τυπική αρχιτεκτονική ενός δικτύου LoRa είναι η τοπολογία star (**Εικόνα 5**). Σε αυτή την τοπολογία κάθε controller συνδέεται με point-to-point, δηλαδή άμεση, σύνδεση τεχνολογίας LoRa με ένα ή περισσότερα gateways. Οι υπόλοιποι controllers δε συνδέονται κατευθείαν ο ένας με τον άλλο, αλλά όταν μία συσκευή πρόκειται να στείλει πληροφορία σε μία άλλη, τη στέλνει πρώτα στο gateway, το οποίο τη μεταβιβάζει στη συσκευή προορισμού, τον Network Server. Εκείνος με την σειρά του ελέγχει την ροή της πληροφορίας, αναγνωρίζει για τυχόν λάθη, ή πλεονασμούς και την προωθεί στην εφαρμογή. Η τοπολογία star χρησιμοποιείται γιατί είναι λιγότερο απαιτητική όσον αφορά το κόστος και την πολυπλοκότητα, χαρακτηρίζεται από ευκολία στην εγκατάσταση και διαχείριση και ευρωστία στις βλάβες και περιορίζει την κατανάλωση ενέργειας, αφού δεν υπάρχει η σύνδεση και ο συγχρονισμός μεταξύ των controllers.

Εκτός της τοπολογίας star, το δίκτυο μπορεί να αναπτυχθεί και σε τοπολογία mesh. Στην τοπολογία mesh κάθε κόμβος συνδέεται με κάθε άλλο κόμβο ξεχωριστά, διασφαλίζει ότι δεν υπάρχουν προβλήματα συγκέντρωσης φορτίου, όπως στην περίπτωση που πολλοί κόμβοι μοιράζονται την ίδια σύνδεση, είναι εύρωστη σε βλάβες, επιτρέπει δρομολόγηση για αποφυγή προβληματικών κόμβων, αλλά απαιτεί υλοποίηση μεγάλου κόστους και πολυπλοκότητας. Ο τελευταίος είναι και ο λόγος που δεν προτιμάται σε σύγκριση με την star.

Εικόνα 5: Βασική αρχιτεκτονική δικτύου LoRa - Τύπου star



Το κομμάτι της μετάδοσης δεν θα ήταν σημαντικό, αν δεν εξετάζαμε το μέγεθος της πληροφορίας την οποία στέλνουμε. Κάθε πακέτο πληροφορίας (**Εικόνα 6**) που μεταδίδεται από μια συσκευή σε μία άλλη αποτελείται από τέσσερα (4) διακριτά τμήματα:

- Έναν πρόλογο συνήθως οκτώ συμβόλων,
- Την επικεφαλίδα, η οποία περιέχει βασικές πληροφορίες, αναγνωριστικού χαρακτήρα για το δίκτυο,
- Το μήνυμα με την «χρήσιμη» και αξιοποιήσιμη πληροφορία με μέγεθος που κυμαίνεται από 51 έως 222 Bytes και τέλος,
- Δύο (2) κυκλικά προθέματα (Cyclic Redundancy Check - CRC), ένα μετά την επικεφαλίδα και ένα μετά το μήνυμα, προκειμένου να ελεγχθεί η ακεραιότητά τους.

Κάθε πακέτο ρυθμίζεται ανάλογα με τον ρυθμό μετάδοσης, το πόσο γρήγορα μεταδίδεται η πληροφορία. Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων (σε bits), λοιπόν, εξαρτάται από την σχέση:

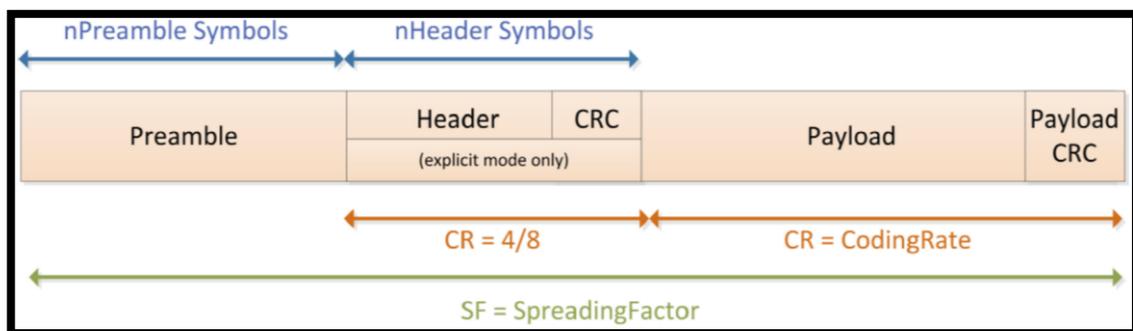
$$R_d = \frac{SF}{2^{SF}} * BW * CR,$$

όπου SF (Spreading Factor) είναι ένας παράγοντας διάδοσης, δηλαδή ένας πολλαπλασιαστικός παράγοντας που ενισχύει το σήμα, BW (BandWidth) είναι το εύρος ζώνης, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στην μεγαλύτερη και μικρότερη συχνότητα που χρησιμοποιεί το σήμα μας και CR (Coding Rate), ο ρυθμός κωδικοποίησης, όπου μας δείχνει το ποσοστό της πληροφορίας που είναι «χρήσιμη» μετά την εκπομπή του σήματος.

Οι πιθανές τιμές που μπορεί να δεχθούν οι παραπάνω παράμετροι είναι για το:

- SF: 6, 7, 8, 9, 10, 11 και 12,
- BW (σε kHz): 7.8, 10.4, 15.6, 20.8, 31.2, 41.7, 62.5, 125 και 250 (για την Ευρώπη),
- CR: 4/5, 5/6, 4/7 και 4/8 και τέλος,
- R_d (σε kbps): 0,29 έως 25.

Εικόνα 6: Διαμόρφωση πακέτου πληροφορίας



Βασικά χαρακτηριστικά

Οπότε μπορούμε να ορίσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αυτής, ως εξής:

- Ως LoRa ορίζεται το φυσικό επίπεδο στην στιβάδα μιας δικτυακής υποδομής,
- Βασίζεται στη διαμόρφωση CSS,
- Σε κάθε εκπομπή πραγματοποιεί μεταπήδηση μεταξύ του εύρους των συχνοτήτων που του έχει ορισθεί για να αντιμετωπίσει εξωτερικές παρεμβολές,
- Ο μέγιστος αριθμός των μηνυμάτων που μπορεί να στείλει κάθε συσκευή εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, τον κύκλο δράσης και ποικίλει αναλόγως, αλλά μπορεί να είναι και σχεδόν απεριόριστος,

ενώ επιπλέον μας προσφέρει:

Κλιμακωτό Bandwidth

Η διαμόρφωση LoRa προσφέρει κλιμάκωση τόσο του bandwidth, όσο και της συχνότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για εφαρμογές narrowband, όσο και για εφαρμογές άμεσης ακολουθίας wideband. Σε αντίθεση με τα υπάρχοντα προγράμματα narrowband ή wideband, το LoRa μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί για έναν από τους δύο τρόπους λειτουργίας με λίγες μόνο απλές αλλαγές στις ρυθμίσεις των συσκευών.

Χαμηλή ισχύ

Παρόμοια με το FSK, το LoRa είναι ένα σταθερό σχήμα διαμόρφωσης πλάτους, το οποίο σημαίνει ότι τα ίδια στάδια υψηλής αποδοτικότητας, χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν χωρίς τροποποίηση. Επιπλέον, λόγω του processing gain που σχετίζεται με το LoRa, η ισχύς εξόδου του πομπού μπορεί να μειωθεί σε σύγκριση με έναν συμβατικό πομπό FSK ενώ διατηρείται ο **Προϋπολογισμός Ζεύξης (Link Budget)**.

Ανθεκτικότητα σε πολλαπλές διαδρομές και διαλείψεις

Επειδή ένας παλμός Chirp καταλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα στο συχνοτικό πεδίο, η διαμόρφωση LoRa προσφέρει ανοσία σε πολλαπλές διαδρομές και διαλείψεις, καθιστώντας την ιδανική για χρήση σε αστικά περιβάλλοντα, αλλά και στην επαρχία όπου συναντώνται και οι δύο αυτοί μηχανισμοί.

Ανθεκτικότητα σε φαινόμενα Doppler

Κατά τη μετατόπιση Doppler προκαλείται μια μικρή μετατόπιση συχνότητας στον παλμό μετάδοσης που εισάγει μια σχετικά αμελητέα μετατόπιση στον χρονικό άξονα του σήματος. Το LoRa είναι ιδανικό για χρήση σε συστήματα όπου υπάρχουν κινητά τερματικά, όπως συστήματα παρακολούθησης λειτουργίας ενός κινητήρα, κινητές συσκευές ανάγνωσης ετικετών, κ.α.

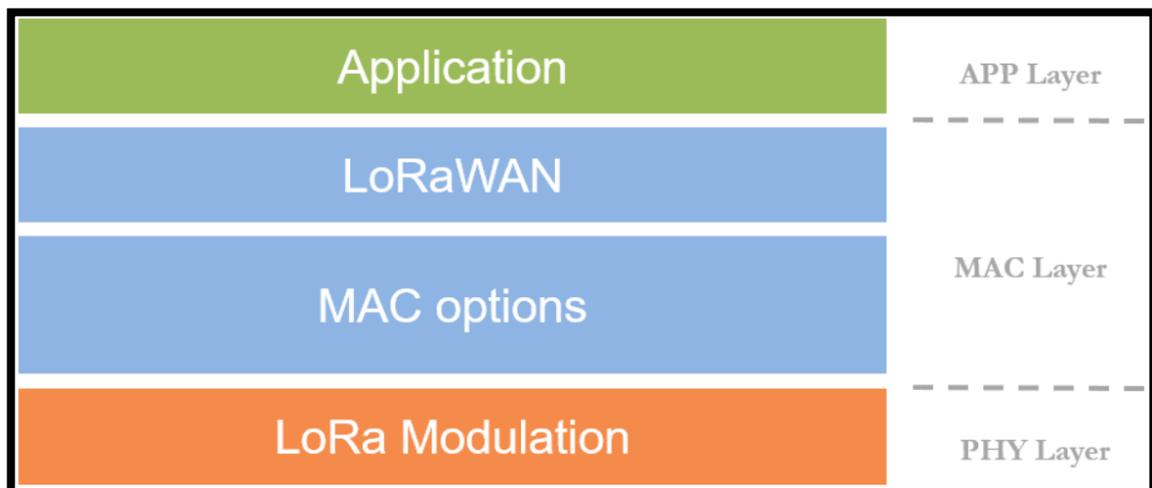
Ευρεία χωρητικότητα δικτύου

Η διαμόρφωση LoRa χρησιμοποιεί ορθογώνιους συντελεστές εξάπλωσης (Spreading Factors) που επιτρέπουν τη μετάδοση πολλαπλών σημάτων ταυτόχρονα και στο ίδιο κανάλι χωρίς την ελάχιστη υποβάθμιση της ισχύος του σήματος. Τα διαμορφωμένα σήματα με διαφορετικούς συντελεστές διάδοσης εμφανίζονται ως θόρυβος στον δέκτη και μπορούν να αντιμετωπιστούν ως τέτοιοι, δηλαδή να τους αγνοήσει ή μη.

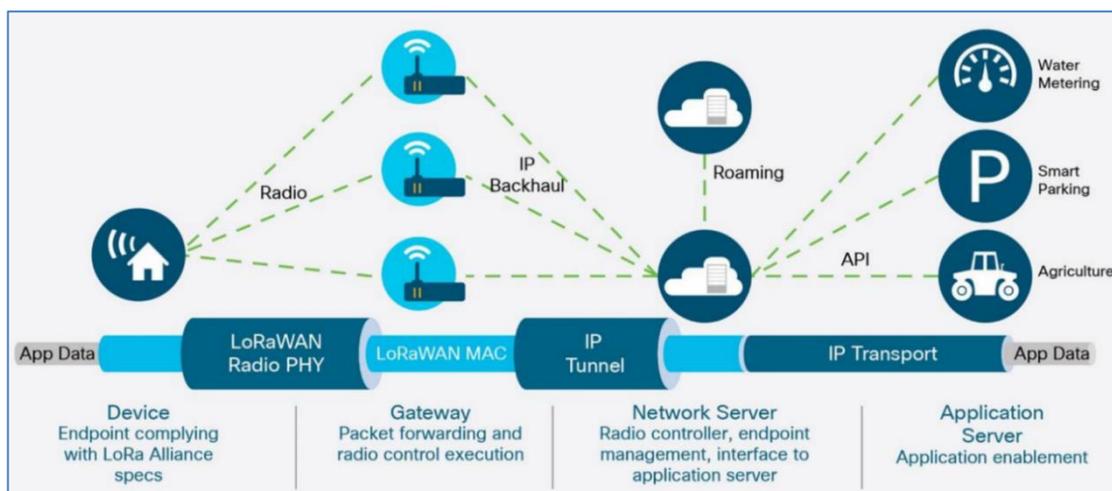
2.2 LoRaWAN

Το πρωτόκολλο LoRa, ήρθε να ορίσει τον τρόπο επικοινωνίας στο μέσο και προσπάθησε να θέσει κάποιους κανόνες σε επίπεδο δικτύου. Στην προσπάθεια, όμως, να μην υπάρχουν ανοιχτά «παράθυρα» και αυθαιρεσίες κατά την υλοποίηση, δημιουργήθηκε μία «συμμαχία» από εταιρίες κολοσσούς στον χώρο των επικοινωνιών, η λεγόμενη «LoRa Alliance». Το project αυτό καθιέρωσε το πρωτόκολλο LoRaWAN, ένα πρωτόκολλο ενός (1) επιπέδου πάνω από το LoRa στην στιβάδα των δικτυακών επιπέδων (**Εικόνα 7**), το οποίο θέτει κάποιους κανόνες ομαλής λειτουργίας με βάση την αρχιτεκτονική του δικτύου (**Εικόνα 8**). Τόσο το ίδιο το πρωτόκολλο, όσο και το ίδιο το δίκτυο ορίζουν την διάρκεια της «ζωής» της μπαταρίας του controller, την ποιότητα της υπηρεσίας, την ασφάλεια και πολλά άλλα. Σε όλα αυτά είναι υποχρεωτική η ύπαρξη ενός Network Server, ο οποίος θα διασφαλίζει την σωστή «μετάφραση» της πληροφορίας, καθώς διαθέτει την απαραίτητη γνώση να διαβάσει για επαναλήψεις στην μετάδοση του ίδιου πακέτου από τα διαφορετικά gateways, να ελέγχει για την ακεραιότητα και την ασφάλεια, να αποστέλλει μηνύματα επιβεβαίωσης στα gateways και να μεταβιβάζει τα πακέτα στην κατάλληλη εφαρμογή. Το πρωτόκολλο LoRaWAN δεν έρχεται να αντικαταστήσει το LoRa, αλλά βασίζεται σε αυτό, προκειμένου να χρησιμοποιήσει τις βέλτιστες δυνατές επιλογές για κάθε διαφορετικού τύπου εφαρμογή και να οριοθετεί by-default μια πολιτική ορθής χρήσης του δικτύου.

Εικόνα 7: Η θέση του LoRaWAN στη σιόβα πρωτοκόλλων



Εικόνα 8: Αρχιτεκτονική δικτύου LoRaWAN



Προκειμένου μία συσκευή να συνδεθεί στο δίκτυο και να ξεκινήσει την επικοινωνία, πρέπει πρώτα να γίνει αποδεκτή από αυτό, πληρώνοντας τις παρακάτω τρεις (3) προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι η ύπαρξη τριών (3) κλειδιών, τα οποία ενισχύουν την ασφάλεια και βοηθούν στην αυθεντικοποίηση της συσκευής, οπότε:

- DevAddr. Τέσσερις (4) χαρακτήρες (32bit) που βρίσκονται στην επικεφαλίδα κάθε πακέτου και διαμοιράζεται μεταξύ controller, gateway και Network Server. Είναι ξεχωριστό για κάθε συσκευή της εφαρμογής, αλλά όχι για συσκευές μεταξύ διάφορων εφαρμογών.
- NwkSKey. Δεκαέξι (16) χαρακτήρες (128bit) που ορίζουν την μοναδικότητα του κάθε controller στο δίκτυο και στον συγκεκριμένο Network Server, παρέχοντας αξιοπιστία στην επικοινωνία και επιπλέον ασφάλεια.
- AppSKey. Δεκαέξι (16) χαρακτήρες (128bit) που ορίζουν το κλειδί της κρυπτογράφησης του AES, το οποίο είναι ξεχωριστό για κάθε συσκευή και προωθείται στην εφαρμογή για την αποκρυπτογράφηση του πακέτου.

Η ενεργοποίηση, λοιπόν, μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε με:

- Over-The-Air Activation (OTAA) – Ενεργοποίηση από απόσταση.
- Activation By Personalization (ABP) – Ενεργοποίηση με εξατομίκευση.

Η πρώτη μέθοδος βασίζεται σε κάποια «ευρέως γνωστά» κλειδιά, γνωστά και ως Globally Unique Identifiers (GUI) και στην αποστολή ενός μηνύματος «χειραψίας» μεταξύ του Application Server και του controller. Πιο αναλυτικά, η συσκευή στέλνει (i) το DevEUI, ένα κλειδί μοναδικό για κάθε μία, (ii) το AppEUI, ένα κλειδί μοναδικό για κάθε εφαρμογή και (iii) το AppKey, ένα κλειδί για αυθεντικοποίηση. Ο Application Server στέλνει πίσω την βεβαίωση, ο controller την αποκρυπτογραφεί, εξάγει και αποθηκεύει το DevAddr, όπως επίσης και τα NwkSKey και AppSKey, χωρίς όμως να τα αποθηκεύσει.

Στην δεύτερη μέθοδο, ο προγραμματιστής εισάγει εκείνος σε κάθε μία από τις συσκευές τα κλειδιά DevAddr, NwkSKey και AppSKey και μόλις η συσκευή ενεργοποιηθεί, μπορεί να συνδεθεί στην εφαρμογή, χωρίς κάποια επικοινωνία

με το δίκτυο. Αν και με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να γνωρίζουμε ότι η κάθε συσκευή θα συνδέεται πάντα στην εφαρμογή που θέλουμε, χωρίς την πιθανότητα λάθους, υπάρχει το ζήτημα της έλλειψης ασφάλειας, καθώς αν κάποιος επιτιθέμενος αποκτήσει πρόσβαση στην ίδια την συσκευή, μπορεί να ανακτήσει τα μοναδικά κλειδιά του Network και Application Server και να έχει πρόσβαση τόσο στην εφαρμογή, όσο και στις πληροφορίες.

Βασικά χαρακτηριστικά

Τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αυτής, ως εξής:

- Υλοποιεί το πρωτόκολλο LoRa
- Εκτός από την CSS, μπορεί να επιλεγθεί και η διαμόρφωση FSK (Frequency Shift Keying) κατά την οποία επιτυγχάνονται ψευδο-τυχαίες μεταπηδήσεις στο συχνοτικό φάσμα για να μειώσει τα λάθη από παρεμβολές, αυξάνοντας και τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων στα 50kbrps.
- Η επιλογή των παραμέτρων (SF, R_b) μπορεί να γίνει αυτόματα από τον controller (σε συνεργασία με το δίκτυο), μέσω της λειτουργίας ADR (Adaptive Data Rate).
- Χρησιμοποιεί μόνο την τοπολογία star.
- Όλα τα μηνύματα κρυπτογραφούνται με βάση τον αλγόριθμο AES-128, τον πιο ασφαλή αλγόριθμο συμμετρικής κρυπτογράφησης μέχρι και σήμερα.
- Οι συσκευές μπορούν να έχουν εμβέλεια μετάδοσης:
 - 2-5 Km σε αστικές περιοχές και
 - 15 Km σε προάστια
- Οι controllers μπορούν να έχουν διάρκεια «ζωής» της μπαταρίας μέχρι και 15 χρόνια.

2.3 Γιατί LoRaWAN;

Αν αναλογιστούμε πέραν των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών που διαφοροποιούν το LoRaWAN από τα υπόλοιπα πρωτόκολλα, ένα ακόμη σπουδαίο χαρακτηριστικό. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στα πρότυπα του "ανοιχτού-λογισμικού" (open-source) δηλαδή τα βήματα που μπορεί να ακολουθήσει ένας προγραμματιστής για να προσαρμόσει το πρωτόκολλο στις συσκευές του δίνονται ελεύθερα και χωρίς να υπάρχει κάποια δέσμευση στην απόκτησή τους.

Στο ίδιο μήκος κύματος κινούνται και αρκετές εταιρίες οι οποίες προσφέρουν τον πηγαίο κώδικα των εξυπηρετητών του LoRaWAN δικτύου (network servers) δωρεάν, ώστε ο καθένας πλέον να μπορεί να χρησιμοποιήσει, αλλά και να συμβάλει στην βελτίωσή τους. Τα οφέλη για εμάς, τους τελικούς χρήστες-προγραμματιστές είναι αρκετά σημαντικά, οφέλη τα οποία βρίσκονται στα πρωτόκολλα που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Πιο αναλυτικά:

Αρχικά, ένα σημαντικό όφελος είναι ότι μας δίνει την ευελιξία και παράλληλα την ελευθερία να αναπτύξουμε συστήματα τα οποία δεν εξαρτώνται από τρίτους παρόχους, δεν υπάρχει κόστος προμήθειας χρήσης του δικτύου και δεν τίθενται περιορισμοί στο τι μπορεί να προσφέρει. Κάθε ένας μπορεί να προσθαφαιρεί λειτουργίες και να τις συντηρεί ο ίδιος, ή και η ομάδα του, αποφεύγοντας έτσι εκπλήξεις όπως κάποια αναπάντεχη εμπλοκή στην λειτουργία του συστήματος από κάποια ενημέρωση του κώδικα που του έστειλε ο κατασκευαστής.

Επιπλέον, δίνει την δυνατότητα παρακολούθησης της "ροής εργασίας", την κατανόηση της πορείας των μηνυμάτων μεταξύ συσκευής και τελικού χρήστη, αλλά και την προσθήκη "επιχειρησιακής λογικής" (business logic) η οποία να καθορίζει τον τρόπο που δημιουργούνται, αποθηκεύονται και γίνονται αλλαγές στα δεδομένα.

Τέλος, το πιο σημαντικό όφελος, απόρροια του προηγούμενου χαρακτηριστικού είναι και η πλήρης παρακολούθηση και έλεγχος του συστήματος. Σημαντικό για κάθε επιχείρηση, αλλά και οργανισμό να ελέγχουν πλήρως την πορεία των δεδομένων, ώστε να μπορούν να αντιμετωπίζουν τα προβλήματα έγκαιρα. Στο κομμάτι αυτό γίνεται έλεγχος στο τι πληροφορία περνάει από τους εξυπηρετητές, αναγνωρίζονται βλάβες, εξάγονται αναφορές και στατιστικά δεδομένα, τα οποία δύσκολα τα παρέχουν τρίτες εφαρμογές οι οποίες θα πρέπει να συνεργάζονται μεταξύ τους με απόλυτη ελευθερία.

Κεφάλαιο 3:
Η περίπτωση του
ηλεκτροφωτισμού - Τα Πρότυπα
TR 13201 και CIE 115

3.1 Η ύπαρξη ανάγκης για το φαινόμενο

“Οδοφωτισμός”

Στην εποχή μας και ειδικά από τις περασμένες δεκαετίες, παρατηρείται η συνεχής αύξηση της οδικής κυκλοφορίας, πράγμα που συνδέεται, τόσο στην αύξηση του βιοτικού επιπέδου, όσο και στις τεχνολογικές καινοτομίες που “εισβάλλουν” συνέχεια στον χώρο. Παρότι τις πρωινές ώρες καλύπτεται ένα μεγάλο ποσοστό του όγκου κυκλοφορίας, οι νυχτερινές ώρες είναι αυτές στις οποίες δίνεται μεγάλη έμφαση. Σε μερικές χώρες κατά μέσο όρο περίπου το 25% του ταξιδιού γίνεται τις ώρες αυτές, ενώ τα ποσοστά θανατηφόρων τροχαίων είναι αυξημένα, περίπου τρεις φορές μεγαλύτερες από αυτές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό, κυρίως, οφείλεται λόγω της μειωμένης ορατότητας αλλά και άλλων παραγόντων για τους οποίους θα μιλήσουμε παρακάτω.

Οι προβολείς των αυτοκινήτων ενισχύουν την ορατότητα, αλλά κρίνονται αναποτελεσματικοί καθώς αυξάνεται η ταχύτητα κίνησης, η κυκλοφοριακή ροή, ή ακόμη και όταν η ποικιλομορφία του εδάφους γίνεται περίπλοκη. Επιπλέον, το πρόβλημα επιδεινώνεται περαιτέρω στους δρόμους διπλής κατεύθυνσης όπου τα οχήματα ταξιδεύουν σε αντίθετες κατευθύνσεις και βρίσκονται πολύ κοντά. Η μείωση της θάμβωσης από τους προβολείς επιτυγχάνεται με την καλή ποιότητα του οδικού φωτισμού, ο οποίος βελτιώνει την άνεση και παρέχει στον οδηγό τη δυνατότητα να βλέπει τις λεπτομέρειες και να τις εντοπίζει σε επαρκή χρόνο ώστε να αντιδρά αποτελεσματικά.

Οδοφωτισμός και ασφάλεια κυκλοφορίας

Ο σκοπός του οδοφωτισμού είναι να παρέχει οπτικές ενδείξεις και να αποκαλύπτει κινδύνους, ώστε ο οδηγός να βρίσκεται σε ασφάλεια. Ενώ οι προβολείς των οχημάτων, οι φωτεινοί σηματοδότες και οι πινακίδες σήμανσης είναι απαραίτητοι για την ασφάλεια της κυκλοφορίας, καθώς βοηθούν στην καθοδήγηση, υπάρχει ανάγκη να αποκαλυφθούν αντικείμενα που εμφανίζονται ξαφνικά στο δρόμο. Η απόσταση που απαιτείται για την ασφαλή ακινητοποίηση ενός οχήματος μπορεί να υπερβεί την απόσταση από την οποία μπορούν να φανεί το αντικείμενο αυτό ανάλογα με την αντίδραση και τον χρόνο πέδησης, την ταχύτητα του οχήματος και εάν το οδόστρωμα είναι στεγνό ή όχι. Ο ποιοτικός φωτισμός του δρόμου μπορεί να προσφέρει την ορατότητα που απαιτείται σε αυτή την απόσταση, έτσι ώστε να υπάρχει γρήγορη αντίληψη και χωρίς να γίνονται απότομοι ελιγμοί.

Πολλές μελέτες αναφέρουν ότι τα ποσοστά ατυχημάτων μετά την δύση του ηλίου μπορούν να μειωθούν κατά 20% έως 30% όταν οι περιοχές φωτίζονται ενδεικτικά. Η απόφαση σχετικά με το εάν πρέπει να φωτίζεται ο δρόμος καθορίζεται στην εκάστοτε εθνική πολιτική και άρα αυτό ποικίλλει ανάλογα με τη χώρα ή τον δήμο, αλλά ειδικές κατευθυντήριες γραμμές είναι συνήθως διαθέσιμες σε εθνικό επίπεδο. Τα θέματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση οδικού φωτισμού συνοψίζονται παρακάτω:

1. Όταν η κυκλοφοριακή ροή είναι σε φυσιολογικά επίπεδα, η ανάγκη για συνήθως αξιολογείται με βάση τον όγκο και την ταχύτητα κυκλοφορίας.
2. Την αποτίμηση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης του δρόμου και την εκτίμηση για τα πιθανά οφέλη, όπως αυτά της αποφυγής ατυχημάτων και των τροχαίων, κυρίως κατά την διάρκεια της νύχτας.
3. Ο υπολογισμός της ωφέλιμης αξίας των υπαρχόντων εγκατεστημένων φωτιστικών σωμάτων συναρτήσκει του ποσοστού τροχαίων ατυχημάτων, αλλά και του χρόνου ταξιδιού που διανύει κάθε οδηγός στον δρόμο αυτόν (κυρίως για οδούς ταχείας κυκλοφορίας κτλ).
4. Η αποδοτικότητα του υπάρχοντος δικτύου οδοφωτισμού και τον έλεγχο για το αν μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας σε συνδυασμό με το συνολικό ετήσιο κόστος λειτουργίας του συστήματος, του όγκου κυκλοφορίας, των ατυχημάτων κτλ.
5. Την ιδιομορφία του εδάφους του δρόμου, την κακή μελέτη κατασκευής του δρόμου, την ιδιαιτερότητα στην χρήση του, αλλά και τον τύπο στον οποίον ανήκει. Παράδειγμα την χρήση του από οχήματα και πεζούς, την ύπαρξη κάποιας στάσης λεωφορείου, αν είναι σταυροδρόμι κτλ.
6. Σε ορισμένους τύπους οδών, ιδιαίτερα σε αστικές και σε κατοικημένες περιοχές στις οποίες να μην υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης ατυχημάτων ή τραυματισμών, αλλά ο φωτισμός παρέχεται για κοινωνικούς λόγους, για τη βελτίωση της γενικής άνεσης, την ασφαλή διέλευση των πεζών και την παροχή αίσθησης προσωπικής ασφάλειας.

Στόχοι του οδοφωτισμού

Υπάρχουν τρεις κύριοι στόχοι του οδικού φωτισμού:

- 1) να επιτρέπεται σε όλους τους χρήστες του οδικού δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των χειριστών μηχανοκίνητων οχημάτων, των ποδηλατιστών, των αγροτικών οχημάτων ακόμη και των ζωήλατων οχημάτων, να προχωρούν με ασφάλεια,
- 2) να επιτρέπουν στους πεζούς να βλέπουν κινδύνους, να προσανατολίζονται, και να δίνουν μια αίσθηση ασφάλειας,
- 3) να βελτιώνουν την εμφάνιση του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας.

Στον φωτισμό δρόμων και άλλων δημόσιων δρόμων πρέπει να αξιολογηθεί η σχετική σημασία αυτών των στοιχείων, ιδιαίτερα όσον αφορά τις δύο πρώτες, δεδομένου ότι οι ανάγκες των οδηγών και των πεζών διαφέρουν. Το τελευταίο στοιχείο, το οποίο είναι το θέμα της αισθητικής, είναι σημαντικό για όλους τους χρήστες και τους κατοίκους της οδού, τόσο τη διάρκεια της ημέρας όσο και τη νύχτα.

3.2 Κλάσεις φωτισμού και τα κριτήρια επιλογής τους

Η κατηγοριοποίηση των οδών με βάση τις απαιτήσεις σε φωτισμό καθορίζονται από την Τεχνική Έκθεση 13201-1 και αφορά σε όλες τις περιοχές όπου υπάρχει κυκλοφορία οχημάτων, ποδηλάτων, πεζών και συνδυασμούς αυτών. Αφορά σε κάθε τύπο οδού από έναν απλό δρόμο ήπιας κυκλοφορίας, μία επαρχιακή οδό, ένα πολυσύχναστο δρόμο πόλεως έως έναν κλειστό αυτοκινητόδρομο ταχείας κυκλοφορίας. Αφορά επίσης, σε πεζόδρομους, ποδηλατοδρόμους και στις περιοχές που συναντώνται ή διασταυρώνονται οδοί διαφορετικών ή όμοιων χρηστών, για παράδειγμα διαβάσεις πεζών, διασταυρώσεις, ισόπεδοι ή ανισόπεδοι κόμβοι κ.λπ.

3.2.1 Κλάσεις φωτισμού

Οι κατηγορίες απαιτήσεων φωτισμού αντιστοιχούν στις ονομαζόμενες κλάσεις φωτισμού (Lighting Classes), οι οποίες δεν είναι απαραίτητο να αφορούν και σε συγκεκριμένες κατηγορίες οδών. Η κάθε κλάση φωτισμού εξαρτάται από τα λειτουργικά και ορισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Οι κλάσεις ομαδοποιούνται στις τρεις ακόλουθες καταστάσεις φωτισμού.

Class M – Motorised traffic

Αφορά στο φωτισμό οδών και περιοχών, όπου οι κύριοι χρήστες είναι ως επί το πλείστον μηχανοκίνητα οχήματα τα οποία κινούνται με χαμηλές, μέσες ή υψηλές ταχύτητες. Το μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης του φωτισμού οδών κλάσης **M** είναι η λαμπρότητα (luminance) οδοστρώματος (σε cd/m²). Η κλάση καθορίζεται με βάση γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού ή τμήματος αυτής. Η επιλογή της κλάσης βασίζεται στα 8 κριτήρια που αναγράφονται στο παράρτημα (**Κλάση “M”**).

Τα τμήματα των οδών, όπου εφαρμόζονται οι κλάσεις φωτισμού **M**, είναι τα τμήματα μεταξύ των περιοχών κινδύνου (conflict areas) οι οποίες ορίζονται στη συνέχεια. Σε περίπτωση που δύο γειτονικές περιοχές κινδύνου απέχουν απόσταση μικρότερη από την εκάστοτε απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης (stopping distance - SD), τότε προτείνεται η ως κλάση φωτισμού για το ενδιάμεσο τμήμα να λαμβάνεται η αντίστοιχη κλάση φωτισμού **C** (παραπομπή στο παράρτημα).

Class C – Conflict areas

Οι κλάσεις **C** χρησιμοποιούνται σε περιοχές αυξημένου κινδύνου εμπλοκής δύο ή περισσότερων οδικών ρευμάτων και οδών εν γένει, με κύρια σύνθεση χρηστών τα μηχανοκίνητα οχήματα. Περιοχές κινδύνου ορίζονται οι περιοχές στις οποίες ροές οχημάτων εμπλέκονται μεταξύ τους ή συναντώνται με περιοχές που χρησιμοποιούνται συχνά από πεζούς, ποδηλάτες ή άλλους χρήστες των οδών, όπως κόμβοι, διασταυρώσεις κ.λπ. Περιοχές στις οποίες μειώνεται ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας ή μειώνεται το πλάτος

λωρίδων ή το συνολικό πλάτος, θεωρούνται επίσης περιοχές κινδύνου. Στις περιοχές κινδύνου εμφανίζεται αυξημένη πιθανότητα σύγκρουσης μεταξύ οχημάτων, οχημάτων και πεζών, ποδηλατών με άλλους χρήστες ή αυτοκινήτων με σταθερά εμπόδια.

Η περιοχή κινδύνου οριοθετείται από την περιοχή που συμβάλλουν ή εμπλέκονται οι οδοί, επαυξημένη κατά την περιοχή που ορίζεται από την εκάστοτε απόσταση ασφαλούς πέδησης κάθε συμβαλλόμενης οδού. Για τις περιοχές κινδύνου είναι προτιμητέο να χρησιμοποιείται ως μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης η λαμπρότητα. Αυτό όμως είναι αδύνατο σε περιπτώσεις που οι αποστάσεις θέασης του τυπικού παρατηρητή (οδηγού) είναι μικρές (< 60 m) ή υπάρχουν πολλαπλοί παρατηρητές (από διάφορες κατευθύνσεις π.χ. διασταυρώσεις, ράμπες κ.λπ). Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται ως μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης η ένταση φωτισμού Illuminance (σε lux - lx).

Η εφαρμογή της έντασης φωτισμού, ως μέγεθος αξιολόγησης, εφαρμόζεται είτε στα επιμέρους τμήματα της περιοχής κινδύνου, στα οποία δεν είναι δυνατή η χρήση της λαμπρότητας, είτε στην ευρύτερη περιοχή κινδύνου π.χ. σε ολόκληρο τον οδικό κόμβο, τη διασταύρωση κ.λπ.

Στις περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητο, για λόγους επαύξησης της ασφάλειας, ο μελετητής μπορεί να επιλέξει κλάση φωτισμού κατά ένα βήμα ανώτερη από αυτή που προκύπτει από την αντιστοίχιση.

Στην περίπτωση που οι οδοί που συνέρχονται σε μία περιοχή κινδύνου δεν φωτίζονται και ως εκ τούτου δεν έχει οριστεί κάποια κλάση φωτισμού **M**, για την επιλογή της κλάσης φωτισμού **C** χρησιμοποιείται σύστημα υπολογισμού με βάρη όπως παρουσιάζονται στο παράρτημα (**Κλάση "C"**).

Class P – Pedestrians and low speed areas

Αφορά στο φωτισμό περιοχών κυκλοφορίας κυρίως πεζών, ποδηλατών ή οδών μεικτής χρήσης αλλά ήπιας κυκλοφορίας. Ο ορισμός των κλάσεων φωτισμού **P** πραγματοποιείται μέσω των κριτηρίων που παρουσιάζονται στους στο παράρτημα (**Κλάση "P"**).

Οι κλάσεις φωτισμού **P** εφαρμόζονται στο μήκος της οδού το οποίο διατηρεί σταθερά τα χαρακτηριστικά της κάθε κλάσης.

3.2.2 Κριτήρια επιλογής κλάσεων φωτισμού

Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται γενικά για την επιλογή κριτηρίων ποιότητας για τον οδοφωτισμό και ορίζεται πλήρως στην τεχνική έκθεση CIE 115, βασίζεται στην έννοια της φωτεινότητας. Η φωτεινότητα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται από ορισμένες χώρες, αλλά η εμπειρία έχει δείξει ότι αυτό αποτελεί ένα μη ικανοποιητικό κριτήριο. Η εφαρμογή του κριτηρίου αυτού χρησιμοποιεί το επίπεδο και την ομοιομορφία της φωτεινότητας της επιφάνειας της οδού, καθώς και την λάμψη ως κριτήρια ποιότητας. Ωστόσο, πολλά αντικείμενα στο δρόμο έχουν υψηλή ανακλασιμότητα, επομένως δεν διακρίνεται η σιλουέτα τους, αλλά το ίδιο το αντικείμενο, όταν το φως ανακλάται απευθείας σε εκείνο. Η εμπειρία που αποκτήθηκε σε διάστημα αρκετών δεκαετιών μέσα από τη χρήση των κριτηρίων δείχνει ότι παρέχουν μια ικανοποιητική βάση για τον σχεδιασμό του οδοφωτισμού. Παρόλο που οι προκαθορισμένες τιμές των κριτηρίων προέκυψαν αρχικά ως αποτέλεσμα πειραμάτων, έχουν προσαρμοστεί σε άλλα επίπεδα βάσει της εμπειρίας στο διάστημα αυτό.

Ταχύτητα

Οι αλλαγές στην οπτική συμπεριφορά των οδηγών βασίζονται κυρίως στις συνθήκες του οδοστρώματος, αποτέλεσμα που καθορίστηκε ύστερα από εξέταση κάτω από διαφορετικές οδικές συνθήκες. Καθώς η ταχύτητα αυξάνεται, το η αντίληψη του οδηγού μειώνεται και η όραση περιορίζεται σε πιο στενό εύρος και θολώνει το περιφερειακό οπτικό πεδίο. Ως αποτέλεσμα, συνιστάται να χρησιμοποιείται υψηλότερο επίπεδο φωτισμού για οδοστρώματα με υψηλότερες ταχύτητες. Παρ' όλα αυτά, θα πρέπει να υπάρχει κάποιος συμβιβασμός. Οι οδηγοί έχουν την τάση να αυξάνουν την ταχύτητα οδήγησης όταν υπάρχει φωτισμός οπότε πιθανότατα θα επωφεληθούν από τα υψηλότερα επίπεδα φωτισμού.

Όγκος κυκλοφορίας

Στην ανάλυση των δεδομένων, δεν βρέθηκε ότι ο όγκος κυκλοφορίας συνδέεται σημαντικά σε σχέση με τη μέρα και τη νύχτα. Στην πραγματικότητα, σε ορισμένες από τις αναλύσεις, το επίπεδο φωτισμού παρουσίασε στην πραγματικότητα μικρότερη επίπτωση όταν ο όγκος της κυκλοφοριακής ροής ήταν αυξημένος. Με τον αυξανόμενο όγκο κυκλοφορίας, παρατηρείται μείωση των συγκρούσεων μέχρι το σημείο όπου ο όγκος αυτός γίνεται κορεσμένος και η πιθανότητα σύγκρουσης αρχίζει να αυξάνεται. Αυτά τα δεδομένα δείχνουν ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, τα οχήματα μπροστά από έναν οδηγό παρέχουν μια ασφάλεια και περιορίζουν τις πιθανότητες σύγκρουσης. Το επίπεδο φωτισμού έχει αντίκτυπο στη μείωση του κινδύνου σύγκρουσης, αλλά δεν μπορεί να προσδιοριστεί συγκεκριμένο επίπεδο βελτίωσης. Ως αποτέλεσμα, συνιστάται να αυξηθεί το επίπεδο φωτισμού σε δρόμους με υψηλή ετήσια μέση κυκλοφοριακή ροή και να μειωθεί στις οδούς με χαμηλή.

Παρουσία ενδιάμεσης διαχωριστικής λωρίδας

Η παρουσία μιας ενδιάμεσης διαχωριστικής λωρίδας στο οδόστρωμα είναι σημαντική ώστε τη νύχτα να μην είναι ορατοί οι προβολείς των αυτοκινήτων του αντίθετου ρεύματος και προκαλούν στους οδηγούς δυσκολία στην όραση. Ένα υψηλό φράγμα, πολλοί και υψηλοί πυλώνες με φωτιστικά σώματα, μπορεί να εμποδίσουν ή να περιορίσουν το φαινόμενο αυτό. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η λάμψη από τα άλλα οχήματα είναι περιορισμένη, οπότε απαιτείται και πιο ελάχιστος φωτισμός στο δρόμο. Ως αποτέλεσμα, ο συντελεστής που καθορίζει τον βαθμό της κατηγοριοποίησης αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα την περίπτωση.

Πυκνότητα κόμβων

Ο παράγοντας αυτός λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των οχημάτων που εισέρχονται και εξέρχονται από το δρόμο σε διασταυρώσεις, οδούς και κόμβους. Ο αντίκτυπος του φωτισμού στους κόμβους και μόνο, για αστικές λεωφόρους, είναι λιγότερο αποτελεσματικός από τον φωτισμό ολόκληρου του οδοστρώματος, ενώ ο φωτισμός του οδοστρώματος έχει μεγάλο αντίκτυπο στην ασφάλεια. Αυτό δείχνει ότι ο φωτισμός έχει πολύ μεγαλύτερη επίδραση σε κόμβους σε σχέση με τα άλλα τμήματα ενός δρόμου. Ως αποτέλεσμα, ένας δρόμος με κεντρικές διασταυρώσεις απαιτεί υψηλότερο φωτισμό από ένα δρόμο με μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ δύο κόμβων. Λόγω της έλλειψης αναφορών σχετικά με τη σχέση μεταξύ φωτισμού, ασφάλειας και πυκνότητας σε επίπεδο διασταυρώσεων, η παράμετρος την πυκνότητα των κόμβων χρησιμοποιείται επίσης για τις διασταυρώσεις.

Φωτεινή ένταση περιβάλλοντα χώρου

Η φωτεινότητα περιβάλλοντος αναφέρεται στην ποσότητα φωτός γύρω από τους δρόμους. Το φως του περιβάλλοντα χώρου τείνει να έρχεται από πολλές κατευθύνσεις και συνήθως να είναι σε υψηλά επίπεδα. Για να περιοριστεί ο λόγος κατακόρυφου προς οριζόντιο φωτισμό, η στάθμη φωτισμού στο οδόστρωμα πρέπει να αυξάνεται ώστε να ληφθεί υπόψη η κατάσταση φωτισμού του περιβάλλοντα χώρου. Η συνάρτηση στάθμησης για αυτή την παράμετρο βασίζεται στις ζώνες φωτισμού IES (LZ), οι οποίες ορίζονται ως εξής:

- LZ0: Δεν υπάρχει φωτισμός στον περιβάλλοντα χώρο
- LZ1: Χαμηλή ένταση φωτισμού
- LZ2: Μέτριος φωτισμός περιβάλλοντα χώρου
- LZ3: Μέτρια προς υψηλή ένταση φωτισμού
- LZ4: Υψηλός φωτισμός περιβάλλοντα χώρο

Σήμανση

Αυτή η παράμετρος αναφέρεται στην ποιότητα της σήμανσης στην περιοχή που πρέπει να τοποθετηθούν τα φωτιστικά σώματα. Ο φωτισμός αυξάνει την ορατότητα των σημάτων στο οδόστρωμα σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Επομένως, απαιτείται όταν η οριοθέτηση της λωρίδας και η σήμανση είναι κακή.

Παρουσία πεζών

Αυτή η παράμετρος εφαρμόζεται μόνο στις κατηγορίες οδών και πεζοδρομίων, ενώ οι αυτοκινητόδρομοι δεν αναμένεται να έχουν πεζούς. Η συμπεριφορά των ματιών σε περιοχές όπου υπάρχουν πεζοί προσαρμόζεται, διαστέλλοντας τις κόρες, ώστε να παρατηρείται μια ευρύτερη περιοχή λειτουργεί περισσότερο η περιφερειακή όραση. Όπως και με την παράμετρο ανταλλαγής και διασταύρωσης, αυξάνεται η πιθανότητα σύγκρουσης με επιπλέον πεζούς. Το επίπεδο φωτισμού αυξάνεται με βάση τον αριθμό των πεζών κατά μήκος του δρόμου. Επομένως, τα επίπεδα φωτισμού θα πρέπει να αυξηθούν με την εκτεταμένη παρουσία πεζών.

Παρουσία σταθμευμένων οχημάτων

Όπως και οι στην περίπτωση των πεζών και τις διασταυρώσεις, τα σταθμευμένα οχήματα παρέχουν μια πιθανότητα σύγκρουσης. Οι πεζοί και άλλα οχήματα μπορούν να εμφανιστούν από τα παρκαρισμένα οχήματα, οπότε πρέπει να παρέχεται επιπλέον φωτισμός σε αυτές τις περιοχές.

Αναγνώριση προσώπου

Αυτή η τελική παράμετρος πρέπει να χρησιμοποιείται πολύ προσεκτικά. Για την παροχή επαρκούς φωτισμού για την αναγνώριση των προσώπων απαιτείται επιπλέον φωτισμός. Παρ' όλα αυτά, δεν είναι σαφές αν η αναγνώριση προσώπου είναι σημαντική σε δρόμους γύρω από κατοικίες ή πεζοδρομους (κατηγορία P), αλλά εάν μία αρχή διαπιστώσει ότι δεν είναι σημαντικό, το επίπεδο φωτισμού μπορεί να μειωθεί.

3.3 Φωτομετρική μελέτη

Ο σχεδιασμός οδοφωτισμού αφορά ένα σύνολο βημάτων/δράσεων, που πρέπει να εκτελούνται από τον μελετητή, από την αρχή του έργου μέχρι και πριν την υλοποίηση αυτού. Τα βήματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες. Τα υποχρεωτικά και τα προαιρετικά βήματα, όπως αναγράφονται ακολούθως και αναλύονται στις επόμενες ενότητες.

Απαραίτητα βήματα σχεδιασμού οδοφωτισμού

Τα βήματα αυτά είναι απαραίτητα για τον ορθό και ολοκληρωμένο σχεδιασμό έργων οδοφωτισμού:

1. Επιλογή κλάσεων οδοφωτισμού
2. Εκπόνηση μελέτης οδοφωτισμού

3. Υπολογισμός δεικτών ενεργειακής επίδοσης

Προαιρετικά βήματα σχεδιασμού οδοφωτισμού

Τα βήματα αυτά εκτελούνται, εφόσον απαιτείται από τις προδιαγραφές του έργου και εφόσον κρίνεται απαραίτητο από τον φορέα υλοποίησης του έργου:

1. Διαστασιολόγηση συστήματος ελέγχου
2. Τεχνοοικονομικοί υπολογισμοί
3. Προδιαγραφές χρηματοδότησης του έργου

Μεθοδολογία μετρήσεων απόδοσης

Για την δυνατότητα πιστοποίησης της βελτιστοποίησης του οδοφωτισμού κατά την ολοκλήρωση της μελέτης, είναι σημαντική και η καταγραφή των συνθηκών φωτισμού στην υφιστάμενη εγκατάσταση. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε όλο το μήκος του κεντρικού δρόμου του χωριού και στην πλατεία, που εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε μελέτη φωτισμού.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθή πραγματοποίηση μιας μελέτης οδοφωτισμού αποτελεί η σωστή επιλογή της κλάσης του δρόμου, όπου σύμφωνα με το πρότυπο θα προσδιοριστούν τα κατάλληλα όρια φωτομετρικών μεγεθών (Ένταση φωτισμού, ομοιομορφία κλπ.)

Για τις ανάγκες της μελέτης, κατά την επίσκεψη αρχικά καθορίστηκαν τα παρακάτω απαραίτητα στοιχεία του δρόμου:

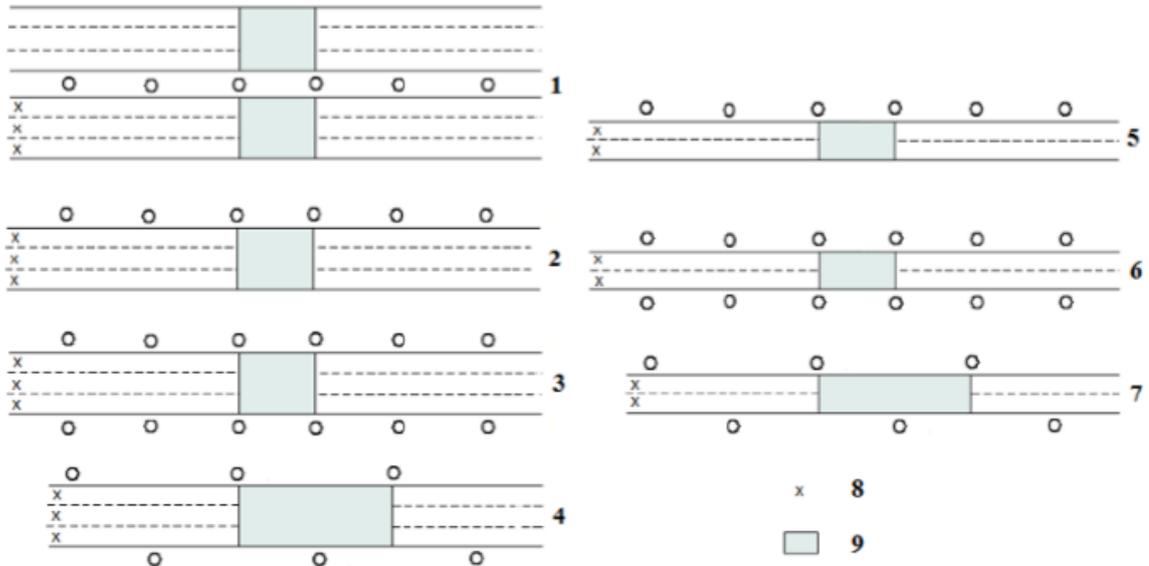
- Ακριβής θέση ιστού
- Πλάτος δρόμου
- Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας
- Αριθμός κατευθύνσεων
- Ύψος ιστών
- Απόσταση Ιστών από το δρόμο
- Τύπος δρόμου (ασφαλτόδρομος, τσιμεντόδρομος κλπ)
- Πλάτος πεζοδρομίου (εάν υπάρχει)
- Τύπος κατανομής ιστών επί του δρόμου
- Απόσταση μεταξύ των ιστών
- Τύπος εγκατεστημένου φωτιστικού
- Κατανάλωση εγκατεστημένου φωτιστικού
- Προσδιορισμός χρήσης δρόμου

Ο αριθμός των απαιτούμενων μετρήσεων σε κάθε πεδίο μελέτης είναι διαφορετικός και καθορίζεται από το είδος του πεδίου μελέτης. **Για τις μετρήσεις, που αφορούν δρόμο** η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

1. Επιλέγονται τα πεδία μετρήσεων. Στο σημείο αυτό πρέπει να ελέγξουμε τον τύπο της οδού για την οποία θα πραγματοποιήσουμε την μελέτη. Στην παρακάτω φωτογραφία αναφέρονται ενδεικτικά 7 τύποι οδών με

τις θέσεις των τοποθετημένων φωτιστικών σωμάτων (π.χ. έξι λωρίδες με διαχωριστική νησίδα και τα φωτιστικά τοποθετημένα στο κέντρο, δύο λωρίδες με χιαστί διάταξη των φωτιστικών σωμάτων, κτλ.). Επιλέγονται οι θέση παρατήρησης και το πεδίο υπολογισμού λαμπρότητας.

Εικόνα 9: Τύποι δρόμων και περιπτώσεις τοποθέτησης φωτιστικών σε αυτούς

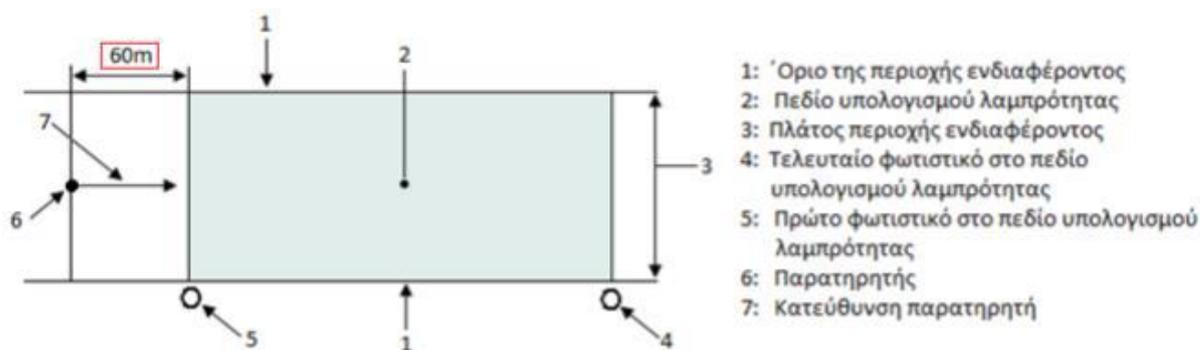


- 1: Έξι λωρίδες που διαχωρίζονται κεντρικά
- 2: Τρεις λωρίδες. Μονόπλευρη διάταξη φωτιστικών
- 3: Τρεις λωρίδες. Αμφίπλευρη διάταξη φωτιστικών
- 4: Τρεις λωρίδες. Χιαστί διάταξη φωτιστικών
- 5: Δύο λωρίδες. Μονόπλευρη διάταξη φωτιστικών
- 6: Δύο λωρίδες. Αμφίπλευρη διάταξη φωτιστικών
- 7: Δύο λωρίδες. Χιαστί διάταξη φωτιστικών
- 8: Θέση παρατηρητή
- 9: Πεδίο υπολογισμού λαμπρότητας

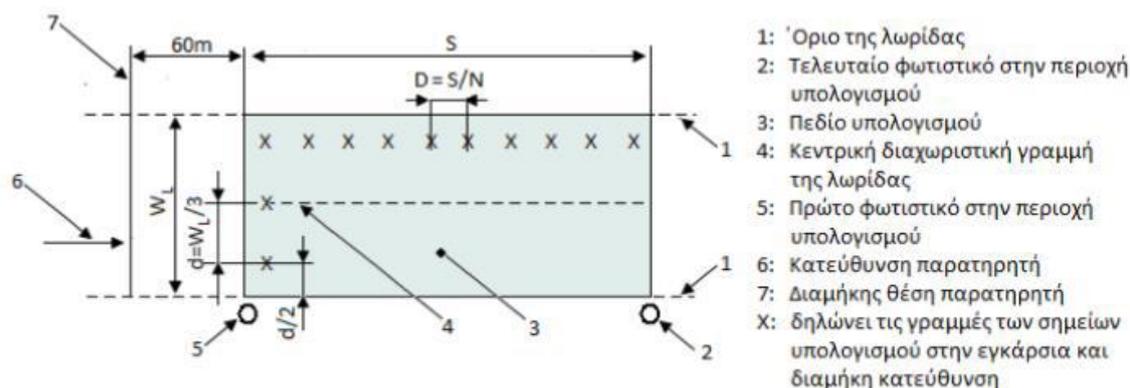
2. Υπολογίζονται οι ακριβείς θέσεις μετρήσεων

Για τον υπολογισμό στην διαμήκη κατεύθυνση πρέπει να περιέχονται δύο φωτιστικά στην σειρά.

Εικόνα 10: Ορισμός περιοχής ενδιαφέροντος



Η μέση λαμπρότητα προκύπτει από τον μέσο όρο των σημείων της διάταξης. Οι θέσεις των σημείων και ο αριθμός των απαιτούμενων μετρήσεων θα πραγματοποιηθούν επιτόπου. Τα σημεία πρέπει να είναι τοποθετημένα όπως στο παρακάτω σχήμα.



Οι παραπάνω διαδικασίες πραγματοποιούνται για κάθε σημείο μελέτης (δρόμος μονός, δρόμος διπλός, πάρκο κλπ.) καθώς και για κάθε διαφορετικό είδος φωτιστικού.

Για το φωτισμό πλατείας ή πάρκου είναι εξίσου σημαντικός και ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται ενδεικτικά σε κάποια σημεία του συγκεκριμένου χώρου, όπου οι απαιτήσεις φωτισμού είναι μεγαλύτερες. Τα σημεία αυτά καθορίζονται επί το έργον.

Πρέπει να σημειωθεί ότι:

- Οι μετρήσεις διεξάγονται σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε παραπάνω και σύμφωνα με το πρότυπο **EN 13201**.
- Όλες οι μετρήσεις ξεκινούν από έναν ιστό αναφοράς και λαμβάνονται ανά ένα μέτρο μέχρι τον επόμενο ιστό.
- Όλες οι μετρήσεις λαμβάνονται σε 1,5 μέτρο ύψος από το έδαφος, και ορίζεται από το πρότυπο **EN 13201**.

Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή και Σχεδιασμός Δικτύου

4.1 Δοκιμές Κάλυψης Δικτύου

Ύστερα από τις φωτοτεχνική μελέτη, από την οποία προκύπτει η αναγκαιότητα αναβάθμισης του δικτύου οδοφωτισμού, ξεκινά η μελέτη για την εγκατάσταση του εξοπλισμού. Στο χρονικό αυτό σημείο, η έκβαση των μετρήσεων και της σωστής κάλυψης του συνόλου των συσκευών που θα τοποθετηθούν, απαιτεί την κατάλληλη προετοιμασία και την ύπαρξη κατάλληλου εξοπλισμού.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο “**2.2 LoRaWAN**” είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός εξυπηρετητή (στην προκειμένη Network Server), αλλά και του κατάλληλου διαχειριστικού εργαλείου, τα οποία θα μπορούν να συλλέξουν μετρήσεις από το πεδίο και έτσι να έχουμε μια γενική εικόνα για το που θα εγκατασταθούν οι κεραιές κάλυψης (gateways). Οι μετρήσεις που κρατάμε αφορούν τον δείκτη έντασης του σήματος (received signal strength indicator - RSSI), δηλαδή το πόσο ισχυρό είναι το σήμα που έλαβε η συσκευή σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Μετριέται σε “dB” και για την δική μας περίπτωση επειδή οι τιμές λαμβάνονται με αρνητικό πρόσημο, όσο πιο κοντά στο μηδέν βρισκόμαστε, τόσο πιο ισχυρό είναι το σήμα.

Στο σημείο αυτό θα χρειαστεί αριθμός διαθέσιμων κεραιών (gateways) και κάποιων δοκιμαστικών συσκευών (testers). Οι δοκιμαστικές συσκευές μπορεί να είναι κάποιοι controller που θα τοποθετηθούν στα φωτιστικά, αλλά και κάποιες απλές συσκευές ο ρόλος των οποίων είναι η απλή μεταβίβαση μηνυμάτων για να ληφθεί το ζητούμενο RSSI. Αυτές οι συσκευές μπορούν να μας δώσουν τόσο το RSSI, αλλά ταυτόχρονα και το SNR (Signal-to-Noise Ratio), στίγμα μέσω δορυφορικού GPS, αλλά και επιπλέον πληροφορίες, όπως θερμοκρασία κτλ.

Εικόνα 11: Ενδεικτική συσκευή δοκιμών (tester)



Λόγω της φύσης του έργου, κάθε μελέτη εγκατάστασης είναι διαφορετική. Αλλάζουν οι απαιτήσεις, ο τόπος εγκατάστασης με τις ιδιαιτερότητες που διαθέτει, αλλά και οι συνθήκες (καιρικές, πυκνότητα του αστικού ιστού κτλ.). Οπότε, κρίνεται αναγκαίο, ο τρόπος απόκτησης των μετρήσεων να πρέπει να ακολουθεί μια συγκεκριμένη μεθοδολογία. Το πως θα πραγματοποιηθεί αυτό βέβαια, βασίζεται στους παρακάτω τρεις (3) τρόπους.

4.1.1 Δοκιμή εύρους από τον χρήστη

Αυτή αποτελεί την πιο απλή μέθοδο και προϋποθέτει την ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση των κεραιών (gateways). Ένας ή περισσότεροι χρήστες κινούνται σταθερά με το tester σε όλη την επιφάνεια της συνολικής κάλυψης. Στόχος είναι τα testers να στέλνουν συνέχεια μηνύματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα και να καταγράφονται οι θέσεις στις οποίες γίνονται οι καταγραφές. Έτσι αποκτάμε μια γενική εικόνα στην ποιότητα του δικτύου στο πεδίο, δηλαδή σε πραγματικές συνθήκες.

4.1.2 Χάρτης κάλυψης

Η μέθοδος αυτή προκύπτει από την προηγούμενη με την διαφορά ότι αξιοποιούνται οι συντεταγμένες για οπτικοποίηση των δεδομένων. Ο χρήστης κινείται σταθερά ή χρησιμοποιούνται οχήματα τα οποία διαγράφουν συγκεκριμένη τροχιά και σε συνδυασμό με το GPS των συσκευών παράγονται χάρτες κάλυψης "heat maps", από τους οποίους μπορούμε άμεσα να καταλάβουμε αν υπάρχουν περιοχές στις οποίες χρειάζεται άμεση ενίσχυση του σήματος.

4.1.2 Δοκιμή εύρους από την συσκευή

Η τρίτη και τελευταία μέθοδος είναι αυτή που είναι και πιο κατάλληλη για την περίπτωση του οδοφωτισμού, αφού οι controllers είναι εγκατεστημένοι σε σταθερά σημεία. Η δοκιμή μπορεί να γίνει ακόμη και με μία κεραία (gateway) και αυτό που χρειάζεται από τον χρήστη είναι να εγκαταστήσει μία ή περισσότερες δοκιμαστικές συσκευές κοντά σε κάποια από σημεία όπου θα γίνει η τελική εγκατάσταση. Τα πακέτα που λαμβάνονται αναλύονται πλήρως (απώλεια πακέτων, RSSI, παρεμβολές κτλ.), καθώς η επικοινωνία μας δίνει το πλέον πιο ποιοτικό δείγμα, όσο πιο κοντά γίνεται στις τελικές συνθήκες.

4.2 Εγκατάσταση Εξοπλισμού

Αναφορικά με την εφαρμογή που αναφέρεται ως τώρα, οι ζεύξη γίνεται μεταξύ των συσκευών - ασύρματων ελεγκτών (controllers) - και των κεραιών (gateways) βάσει των ανωτέρων προδιαγραφών. Η επικοινωνία είναι κρυπτογραφημένη με χρήση δυο δυναμικών κλειδιών κρυπτογράφησης και τα δεδομένα της κάθε συσκευής αναγνωρίζονται με το μοναδικό χαρακτηριστικό της συσκευής. Η επικοινωνία του gateway με τον κεντρικό εξυπηρετητή (Network Server) θα γίνεται κρυπτογραφημένα και εντός ιδεατού δικτύου.

Η όποια απαιτούμενη εγκατάσταση περιλαμβάνει, ενδεικτικά, τα εξής:

4.2.1 Ασύρματοι Ελεγκτές (Controllers)

Οι Controllers που θα χρησιμοποιηθούν έχουν την δυνατότητα τηλε-ελέγχου και τηλε-διαχείρισης μεμονωμένων φωτιστικών ένα προς ένα, αλλά και ομάδας φωτιστικών μέσω των πινάκων ελέγχων του ρεύματος που είναι εγκατεστημένοι στα πύλαρ. Οι ασύρματοι ελεγκτές (**Εικόνα 12**) ενδεικτικά μπορούν να:

- επικοινωνούν με τον κεντρικό κόμβο (gateway) για τον πλήρη απομακρυσμένο έλεγχο των Φωτιστικών Σωμάτων και την παρακολούθηση της λειτουργίας τους.
- παρέχουν στα φωτιστικά σώματα τη δυνατότητα αυτόματης λειτουργίας βάσει καθορισμένου προγράμματος, το οποίο μπορεί να τροποποιείται οποιαδήποτε στιγμή. Το χρονοπρόγραμμα περιλαμβάνει τουλάχιστον 45 (46) χρονικές στιγμές κατά τις οποίες θα ενεργοποιείται (on) ή θα απενεργοποιείται (off) το φωτιστικό, ή/και η ομάδα των φωτιστικών.

Παράλληλα, η ενεργοποίηση/απενεργοποίηση φωτιστικών ή/και ομάδας φωτιστικών μπορεί να επιτυγχάνεται βάσει του αλγορίθμου ανατολής – δύσης ηλίου (sunrise – sunset mode, δηλαδή να ορίζονται τα χρονικά διαστήματα και οι τρόποι λειτουργίας πριν και μετά την ανατολή/δύση του ηλίου.

- θέσουν σε σχεδόν πραγματικό χρόνο κάθε φωτιστικό ή/και κάθε ομάδα φωτιστικών σε κατάσταση on/off/dim (On: 100%, Off: 0% Dim: 0% -100% της max φωτεινότητας), κατόπιν λήψης σχετικής εντολής.
- παρέχουν στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας κάθε φωτιστικού ή/και κάθε ομάδας φωτιστικών (W, A, V, Wh)
- καταγράφουν τις ώρες λειτουργίας μεμονωμένων φωτιστικών ή/και ομάδων φωτιστικών
- εκτελούν αυτόματο έλεγχο βλάβης ανά φωτιστικό και να παρέχουν σχετική ειδοποίηση
- έχουν την δυνατότητα ελέγχου και διαχείρισης αυτόνομα και σε τοπικό επίπεδο με προκαθορισμένο πρόγραμμα (schedule), χωρίς να είναι απαραίτητη η συνεχής σύνδεση με το λογισμικό και την υπόλοιπη υποδομή του συστήματος. Η συγκεκριμένη λειτουργία εκτελείται μέσω

χρήσης προ-εγκατεστημένου microcontroller, μπαταρίας και μνήμης για την αποθήκευση των ρυθμίσεων λειτουργίας σε τοπικό επίπεδο.

- είναι αδιάβροχα και να αντιστέκονται σε ακραίες καιρικές συνθήκες.

Εικόνα 12: Ασύρματος Ελεγκτής (Controller)



Επιπλέον, οι controllers πρέπει να συνοδεύονται από δηλώσεις συμμόρφωσης στις ευρωπαϊκές οδηγίες για την πιστοποίηση ότι οι συσκευές μπορούν να λειτουργούν κάτω από τα νομοθετικά πλαίσια και με ασφάλεια.

4.2.2 Ενδιάμεσοι Κόμβοι Τηλε-διαχείρισης (Gateways)

Ο Κεντρικός Κόμβος (Gateway - **Εικόνα 13**) εγκαθίστανται σε κατάλληλο σημείο που αποφασίζεται κατά το στάδιο της μελέτης (ενότητα **4.1 Δοκιμές Κάλυψης Δικτύου**), και συνδέεται ασύρματα με τους Controllers και με το σύστημα τηλε-ελέγχου και τηλε-διαχείρισης.

Εικόνα 13: Κόμβος τηλεδιαχείρισης (Gateway)



Ένα gateway έχει τη δυνατότητα να επικοινωνήσει με περισσότερους από 5000 controllers και θα καλύπτει έκταση με ακτίνα μεγαλύτερη των 15Km.

Επιπλέον, τα gateways, ενδεικτικά μπορούν να:

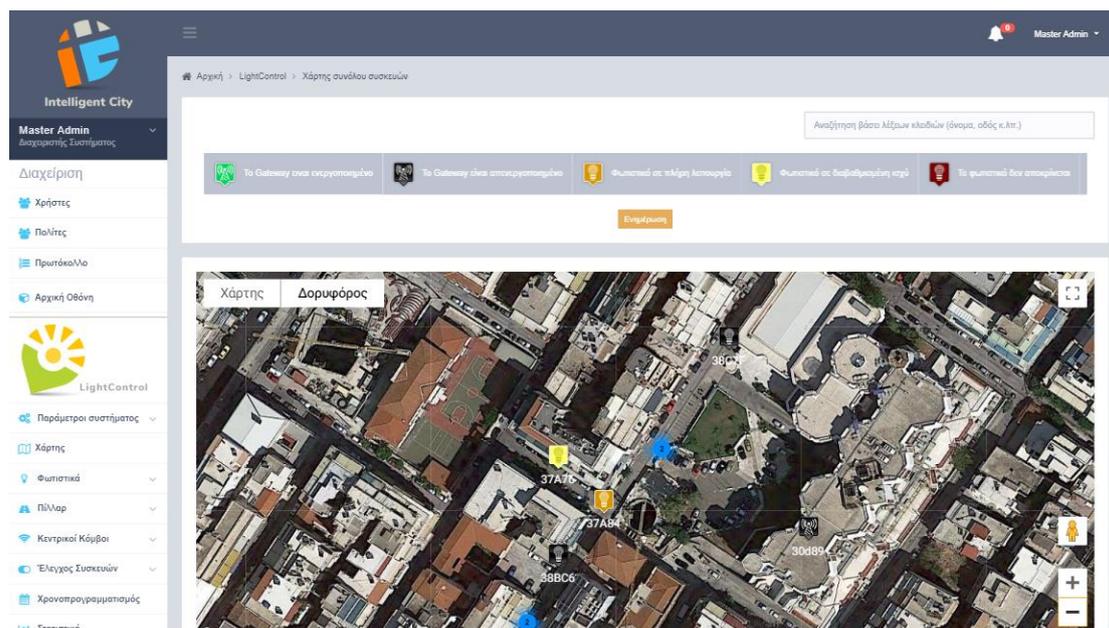
- έχουν ανοιχτά συχνотικά κανάλια επικοινωνίας (τουλάχιστον 8) που λειτουργούν για ταυτόχρονη αποστολή και λήψη, ώστε να επιτυγχάνεται αδιάληπτη επικοινωνία με τις συσκευές.
- είναι αδιάβροχα και να αντιστέκονται σε ακραίες καιρικές συνθήκες.
- Επιτρέπουν απομακρυσμένη συντήρηση, ενημέρωση λογισμικού και έλεγχο.
- διαθέτουν υποδοχή για κάρτες SIM σε περίπτωση που διακοπεί η επικοινωνία μέσω καλωδίου ethernet.

Επιπλέον, τα gateways πρέπει να συνοδεύονται από δηλώσεις συμμόρφωσης στις ευρωπαϊκές οδηγίες για την πιστοποίηση ότι οι συσκευές μπορούν να λειτουργούν κάτω από τα νομοθετικά πλαίσια και με ασφάλεια.

4.3 Εφαρμογή Τηλε-ελέγχου και Τηλε-διαχείρισης

Στο πλαίσιο λειτουργίας του συνόλου των διαθέσιμων συσκευών τηλε-ελέγχου και τηλε-διαχείρισης φωτιστικών σωμάτων, πραγματοποιήθηκε η δημιουργία μιας διαδικτυακής εφαρμογής η οποία επιτρέπει την ολοκληρωμένη διαχείριση αυτών των συσκευών σε περιβάλλον φιλικό προς τον χρήστη, την LightControl, υποσύστημα της πλατφόρμας IntelligentCity.

Εικόνα 14: Κεντρική εικόνα LightControl - Χάρτης πλήρης εικόνας φωτιστικών



Η βραβευμένη το 2018 με Gold βραβείο στα Best City Awards, εφαρμογή δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει ασύρματα, με τη χρήση οποιασδήποτε ηλεκτρονικής συσκευής (PC, smartphone, tablet, κτλ) τους ακόλουθους τρόπους λειτουργίας (modes) για το σύνολο των Φωτιστικών που συνδέονται σε έναν pillar controller (ελεγκτή Πίλαρ) ή/και μεμονωμένα Φωτιστικά, ανάλογα με την τοπολογία:

On Mode

- Ενεργοποίηση όλων των φωτιστικών και των λαμπτήρων.
- Ενεργοποίηση όλων (ταυτοχρόνως) των λαμπτήρων, που συνδέονται στο ίδιο pillar controller.
- Ενεργοποίηση όλων (ταυτοχρόνως) των λαμπτήρων, που συνδέονται σε πολλά pillar (ομαδοποίηση pillar).
- Ενεργοποίηση μεμονωμένων φωτιστικών που διαθέτουν luminaire controller.
- Ενεργοποίηση ομάδων φωτιστικών που διαθέτουν luminaire controller.

Off Mode

- Απενεργοποίηση όλων των φωτιστικών και των λαμπτήρων.

- Απενεργοποίηση όλων (ταυτοχρόνως) των λαμπτήρων, που συνδέονται στο ίδιο pillar controller.
- Απενεργοποίηση όλων (ταυτοχρόνως) των λαμπτήρων, που συνδέονται σε πολλά pillar (ομαδοποίηση pillar).
- Απενεργοποίηση μεμονωμένων φωτιστικών που διαθέτουν luminaire controller.
- Απενεργοποίηση ομάδων φωτιστικών που διαθέτουν luminaire controller.

Schedule Mode

- Αυτόματη Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση (On/Off) των Φωτιστικών, που συνδέονται στον ίδιο pillar controller, βάσει χρονοδιαγράμματος που επίσης θα καθορίζει ο χρήστης μέσω σχετικών εντολών από την εφαρμογή. Το χρονοδιάγραμμα θα έχει τουλάχιστον 45 χρονικές στιγμές, (δηλ. θα ορίζει τουλάχιστον 46 χρονικά διαστήματα). Το χρονοδιάγραμμα θα αποθηκεύεται σε μνήμη στον pillar Controller, ο οποίος με την σειρά του θα δίνει τις αντίστοιχες εντολές στα φωτιστικά που ελέγχει αυτόνομα (χωρίς να είναι πλέον απαραίτητη η σύνδεση με το λογισμικό. Με αυτόν τον τρόπο το σύνολο των φωτιστικών, θα μπορούν να λειτουργήσουν, ακόμα και αν για οποιοδήποτε λόγο έχει διακοπεί η επικοινωνία μεταξύ Server και pillar Controllers.
- Αυτόματη Ενεργοποίηση / Απενεργοποίηση / dimming (On/Off/Dimming) των Φωτιστικών που διαθέτουν luminaire controller, βάσει χρονοδιαγράμματος που επίσης θα καθορίζει ο χρήστης μέσω σχετικών εντολών από την εφαρμογή. Το χρονοδιάγραμμα θα έχει τουλάχιστον 45 χρονικές στιγμές, (δηλ. θα ορίζει τουλάχιστον 46 χρονικά διαστήματα). Το χρονοδιάγραμμα θα αποθηκεύεται σε μνήμη στον luminaire controller. Με αυτόν τον τρόπο το σύνολο των φωτιστικών, θα μπορούν να λειτουργήσουν, ακόμα και αν για οποιοδήποτε λόγο έχει διακοπεί η επικοινωνία μεταξύ Server και luminaire Controllers.

Sunrise - Sunset Mode

- Αυτόματη Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση των Φωτιστικών, που συνδέονται στον ίδιο pillar controller, βάσει του αλγορίθμου Ανατολής - Δύσης ηλίου (On τη χρονική στιγμή της δύσης και Off τη χρονική στιγμή της ανατολής). Με την ίδια λογική μπορούν να λειτουργήσουν και μεμονωμένα τα φωτιστικά που διαθέτουν δικό τους luminaire controller.
- Ειδικότερα για τα φωτιστικά που διαθέτουν δικό τους luminaire controller, το σύστημα θα έχει την δυνατότητα dimming (0% - 100% της max φωτεινότητας), κατόπιν λήψης σχετικής εντολής. Επιπλέον, για τις στάθμες dimming, δεν θα υπάρχει σχετικός περιορισμός και θα εξασφαλίζεται ελάχιστο βήμα dimming 1%. Η εν λόγω λειτουργία θα μπορεί να επιβάλλεται στα φωτιστικά και με σχετικό προγραμματισμό (schedule), ο οποίος θα αποθηκεύεται στην μνήμη των luminaire controllers και τα εφαρμόζεται ακόμα και αν τα Luminaire controllers έχουν χάσει την επικοινωνία τους με το gateway.

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε περιβάλλον PHP, HTML, CSS, JavaScript, λειτουργεί μέσω διαδικτύου και πληροί τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Διαθέτει εύχρηστο διαχειριστικό εργαλείο στην ελληνική γλώσσα, το οποίο είναι προσβάσιμο από όλα τα λειτουργικά συστήματα (π.χ. Windows, Mac OS, Linux)
- Μπορεί να ελέγχει αυτόματα τους pillar Controllers ένα προς ένα για πιθανές βλάβες των ελεγχόμενων φωτιστικών σε πραγματικό χρόνο.
- Μπορεί να ελέγχει αυτόματα τους luminaire Controllers ένα προς ένα για πιθανές βλάβες ανά φωτιστικό σε πραγματικό χρόνο.
- Διαθέτει προβολή των φωτιστικών, των ομάδων φωτιστικών, των pillar, των ομάδων pillar και των gateways, σε χάρτη (**Εικόνα 14**) και σε πίνακα (**Εικόνα 15**), με προβολή όλων των αποτυπωμένων χαρακτηριστικών (δυνατότητα προβολής σε Google streets, google satellite, google hybrid). Στην περίπτωση του χάρτη, τα χαρακτηριστικά του κάθε φωτιστικού και του κάθε pillar θα εμφανίζονται σε σχετικό αναδυόμενο παράθυρο (popup window) και ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο. Ο χρήστης μπορεί να δει αναλυτικά τη δομή του δικτύου, την θέση των φωτιστικών, το pillar που ανήκουν, και εάν βρίσκονται σε κανονική λειτουργία ή όχι.

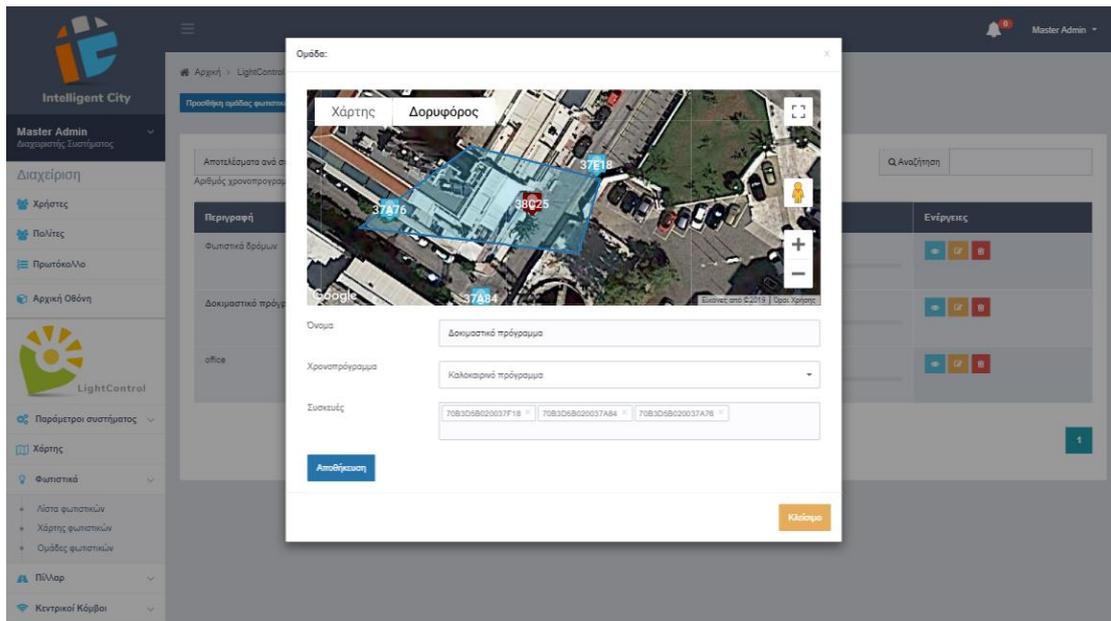
Εικόνα 15: Προβολή φωτιστικών σε λίστα - δυνατότητα χειροκίνητης λειτουργίας

The screenshot shows the 'Προσθήκη φωτιστικών' (Add luminaires) section of the LightControl software. It features a table with columns for 'Αναγνωριστικό' (Identifier), 'Μοντέλο' (Model), 'Αξόν Αριθμός' (Axis Number), 'Διεύθυνση' (Direction), 'Αετοουργία' (Status), 'Dimming', 'Τρόπος Λειτουργίας' (Operation Mode), 'Ομάδα' (Group), and 'Ενέργειες' (Actions). The table lists five luminaires with their respective status and dimming levels.

Αναγνωριστικό	Μοντέλο	Αξόν Αριθμός	Διεύθυνση	Αετοουργία	Dimming	Τρόπος Λειτουργίας	Ομάδα	Ενέργειες
70B3D5B020038C25	LoRaWAN Luminaire IP88 UL2014	0	Δεληγιώρη 120, Περασιός 185 34, Ελλάδα	0%	100%	Έχει ρυθμιστεί χειροκίνητα		[On] [Off] [Refresh]
70B3D5B020038BC6	LoRaWAN Luminaire IP88 UL2014	0	Δεληγιώρη 107, Περασιός 185 34, Ελλάδα	65%	35%	Έχει ρυθμιστεί χειροκίνητα	office	[On] [Off] [Refresh]
70B3D5B020037A70	LoRaWAN Luminaire IP88 UL2011	13	Τσαμασίου 77, Περασιός 185 34, Ελλάδα	25%	75%	Έχει ρυθμιστεί χειροκίνητα		[On] [Off] [Refresh]
70B3D5B020037A8F	LoRaWAN Luminaire IP88 UL2011	14	Δεληγιώρη 130, Περασιός 185 34, Ελλάδα	0%	100%	Έχει ρυθμιστεί χειροκίνητα		[On] [Off] [Refresh]
70B3D5B020037A88	LoRaWAN Luminaire IP88 UL2011	15	Δεληγιώρη 111, Περασιός 185 34, Ελλάδα	0%	100%	Έχει ρυθμιστεί χειροκίνητα		[On] [Off] [Refresh]

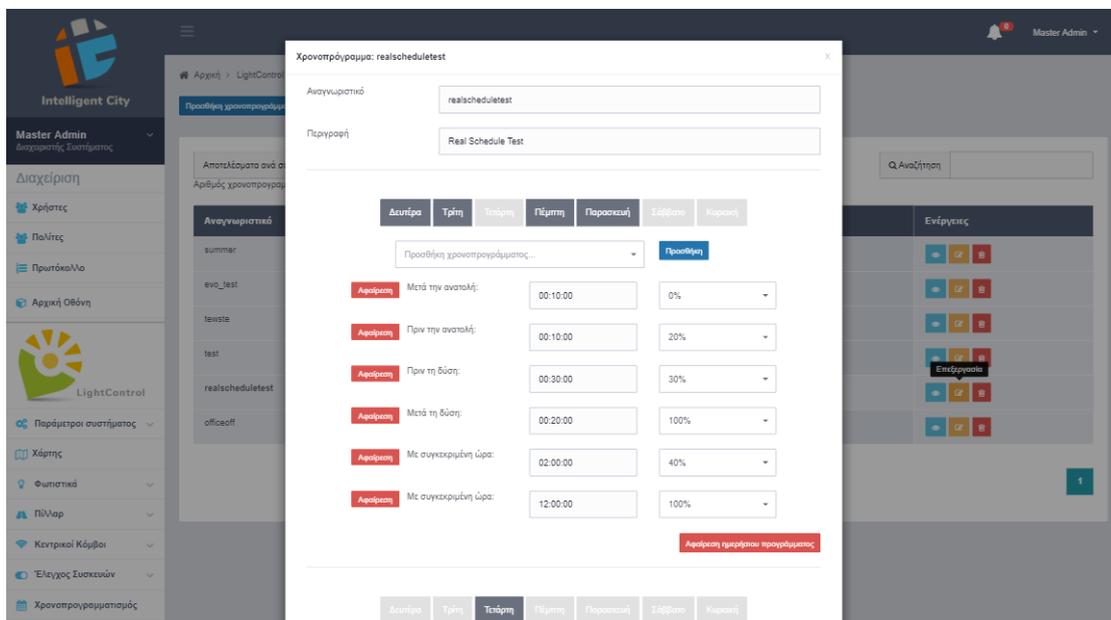
- Δίνει την δυνατότητα δημιουργίας ομάδων φωτιστικών, είτε με επιλογή σημείων σε χάρτη, είτε με γραφική μέθοδο επιλογής πλήθους αντικειμένων που περιλαμβάνονται μέσα σε μια επιφάνεια (**Εικόνα 16**).

Εικόνα 16: Δημιουργία ομάδων, είτε με επιλογή σημείων σε χάρτη, είτε με γραφική μέθοδο



- Δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας προγράμματος ή διαφορετικών προγραμμάτων λειτουργίας ανά φωτιστικό ή ανά ομάδα φωτιστικών (light on, light off, light dim on schedule, sunset - sunrise), καθώς και ανά pillar ή ανά ομάδα pillar (light on, light off, sunset - sunrise) (**Εικόνα 17, Εικόνα 18**).

Εικόνα 17: Οθόνη δημιουργίας χρονοπρογράμματος



Εικόνα 18: Οθόνη προβολής χρονοπρογράμματος

	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή
Πριν τη δύση	30 λεπτά πριν ανάβει στο 30%			30 λεπτά πριν ανάβει στο 30%			
Μετά τη δύση	20 λεπτά μετά σβήνει (100%)			20 λεπτά μετά σβήνει (100%)			
Πριν την ανατολή	10 λεπτά πριν ανάβει στο 20%			10 λεπτά πριν ανάβει στο 20%			
Μετά την ανατολή	10 λεπτά μετά σβήνει (0%)			10 λεπτά μετά σβήνει (0%)			
Ευγκεκριμένη ώρα	Στις 02:00 ανάβει στο 40% Στις 12:00 ανάβει (100%)			Στις 02:00 ανάβει στο 40% Στις 12:00 ανάβει (100%)			

	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή
Πριν τη δύση			30 λεπτά πριν ανάβει (100%)				
Μετά τη δύση							
Πριν την ανατολή							
Μετά την ανατολή			10 λεπτά μετά σβήνει (0%)				
Ευγκεκριμένη ώρα			Στις 12:00 ανάβει (100%)				

	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή
Πριν τη δύση							
Μετά τη δύση							
Πριν την ανατολή							
Μετά την ανατολή							

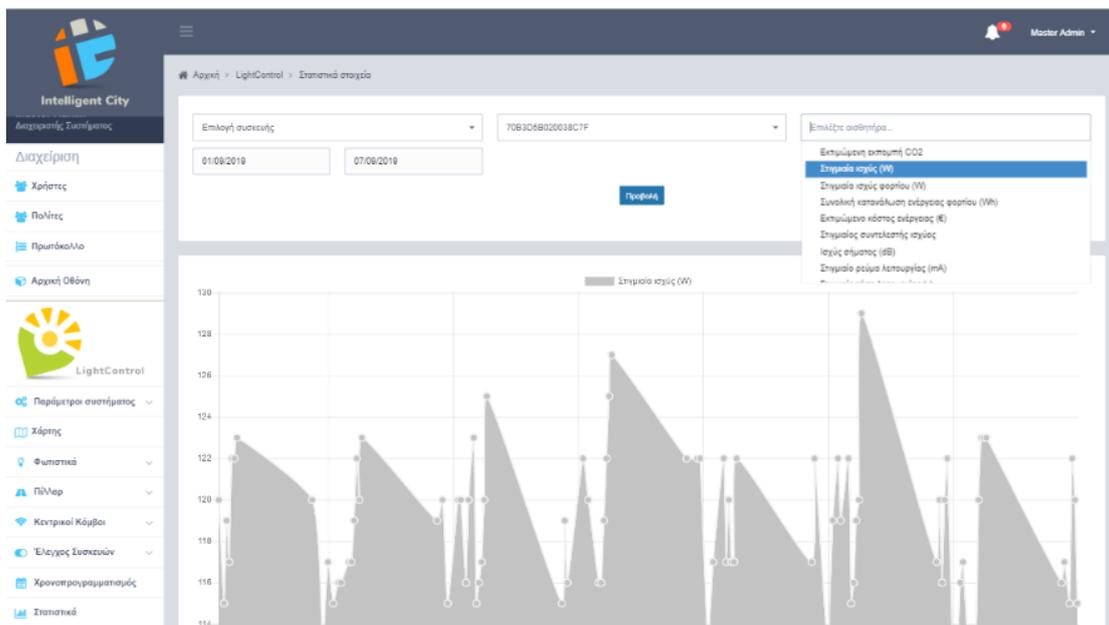
- Ειδικότερα, για το dimming on schedule, παρέχεται η δυνατότητα ομαδοποίησης luminaire controller και προγραμματισμού λειτουργίας σε κατάσταση dimming για ένα σύνολο τουλάχιστον 45 χρονικών διαστημάτων εντός του εικοσιτετραώρου. Η εν λόγω ρύθμιση μπορεί να πραγματοποιείται δυνάμει του ευρωπαϊκού προτύπου EN 13201-1 και σύμφωνα με τις παραμέτρους ορισμού χρονικών διαστημάτων Δt1, Δt2, Δt3.....Δtn.
- Δίνει τη δυνατότητα χειροκίνητης λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο ανά φωτιστικό ή ανά ομάδα φωτιστικών (light on, light off, light dim on demand) (Εικόνα 15), καθώς και ανά pillar ή ανά ομάδα pillar (light on, light off on demand) (Εικόνα 19).

Εικόνα 19: Πληροφορίες Pillar controller - δυνατότητα χειροκίνητης λειτουργίας

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Αναγνωριστικό	1234
Αίθρων Αριθμός	1
Προμηθευτής	FSA
Μοντέλο	FM-G
Τύπος	Controller Pillar
Εφαρμογή	office giv

- Είναι προσβάσιμο από οποιαδήποτε συσκευή ανεξάρτητα από το μέγεθος ή το λειτουργικό σύστημα (desktop, laptop, tablet, smart phone σε λειτουργικά android και iOS – πολυκαναλική διάθεση σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στο έντυπο της Εθνικής Ψηφιακής Στρατηγικής, της Γενικής Γραμματείας Ψηφιακής Πολιτικής, του Υπουργείου Ψηφιακής Πολιτικής, Τηλεπικοινωνιών και Ενέργειας).
- Παρέχει στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας ανά φωτιστικό, ανά ομάδα φωτιστικών, ανά pillar και ανά ομάδα pillar σε πραγματικό χρόνο (**Εικόνα 20**).

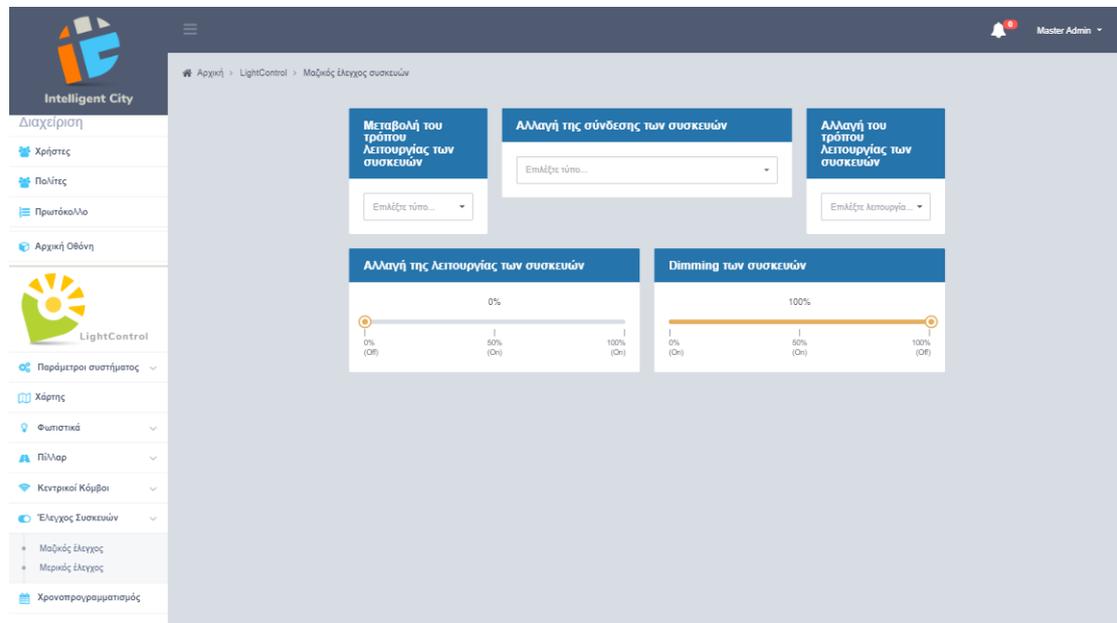
Εικόνα 20: Στατιστικά στοιχεία για κάθε συσκευή



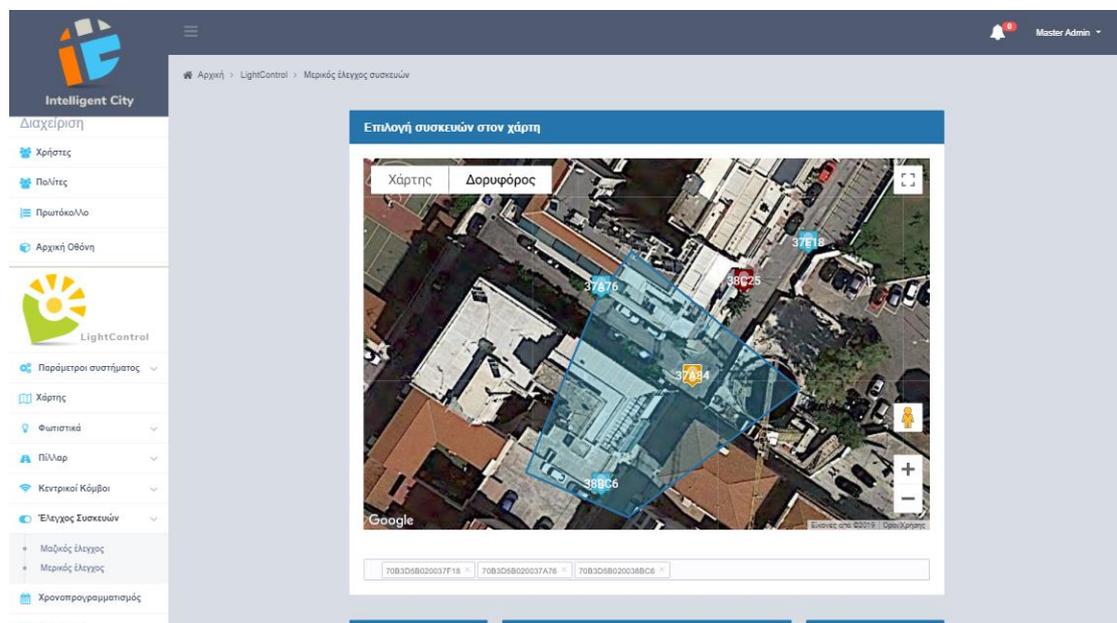
- Παρέχει τις ώρες λειτουργίας ανά φωτιστικό, ανά ομάδα φωτιστικών, ανά pillar και ανά ομάδα pillar (**Εικόνα 20**).
- Παρέχει τη δυνατότητα τροφοδότησης του δικτύου με ηλεκτρικό ρεύμα σε συνεχή βάση, ανεξάρτητα από το εάν τα φωτιστικά λειτουργούν ή όχι, ούτως ώστε να είναι δυνατή και η τροφοδότηση άλλων εφαρμογών, που πρέπει να λειτουργούν χωρίς διακοπή (π.χ. μετρητές κυκλοφοριακού φόρτου, αισθητήρες παρακολούθησης κάδων απορριμμάτων, μετεωρολογικοί αισθητήρες, αισθητήρες πάρκινγκ, αισθητήρες μέτρησης ποιότητας αέρα κ.λπ).
- Παράγει αναφορές εξοικονόμησης ενέργειας, κόστους και εκπομπών CO₂ (**Εικόνα 20**).
- Εκτελεί αυτόματο έλεγχο βλάβης ανά pillar controller και ανά luminaire controller και παρέχει σχετική ειδοποίηση σε πραγματικό χρόνο.
- Παρέχει στατιστικά στοιχεία και ιστορικό των ανωτέρω μεταβλητών (π.χ. παράμετροι ενέργειας, ώρες λειτουργίας και βλάβες) με δυνατότητα προβολής συγκεκριμένων χρονικών διαστημάτων (από - έως), αλλά και δυνατότητα υπολογισμού μέσων, μεγίστων και ελαχίστων τιμών.
- Παρέχει πλήρη σειρά ειδοποιήσεων σε ξεχωριστό τμήμα της κονσόλας διαχείρισης, καθώς και σε εμφανές σημείο ως notification με ευδιάκριτο χρώμα.

- Παρέχει πλήρη εικόνα των χαρακτηριστικών του εκάστοτε pillar controller και luminaire controller (**Εικόνα 19**).
- Παρέχει την δυνατότητα μαζικού ή/και μερικού ελέγχου για την εύκολη διαχείριση των συσκευών σε περιόδους έκτακτης (ή μη) ανάγκης (**Εικόνα 21, Εικόνα 22**).

Εικόνα 21: Μαζικός έλεγχος συσκευών



Εικόνα 22: Μερικός έλεγχος συσκευών



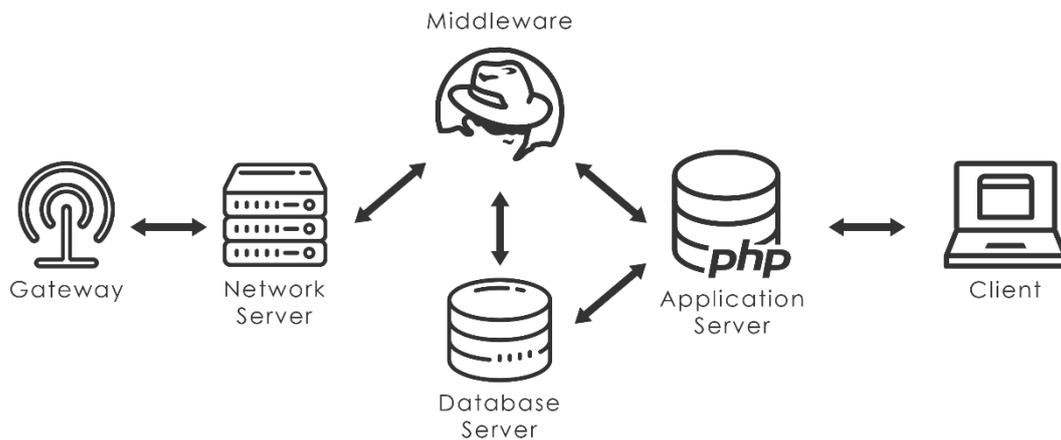
- Διατίθεται σε εφαρμογή για Android και iOS, η οποία διατίθεται μέσω των καταστημάτων Google play και AppStore αντιστοίχως, με στόχο την διαχείριση και παρακολούθηση όλων των ανωτέρω παραμέτρων από κινητές συσκευές και smart phones.
- Διαθέτει την υποστήριξη για push notifications για την ενημέρωση των ενδιαφερομένων στο κινητό τους τηλέφωνο σε πραγματικό χρόνο.

4.4 Αρχιτεκτονική Πληροφοριακού Συστήματος

Η εφαρμογή που περιεγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα (**4.3 Εφαρμογή Τηλε-ελέγχου και Τηλε-διαχείρισης**) βασίζεται σε μια multi-level αρχιτεκτονική (**Εικόνα 23**) και εγκαθίσταται σε εξυπηρετητές (servers) που κάνουν χρήση πληθώρας πρωτοκόλλων επικοινωνίας (MQTT, TCP/IP, UDP/IP κτλ.). Το σύστημα αποτελείται από τα εξής επίπεδα:

- Gateway
- Network Server
- Middleware
- Database Server
- Application Server
- Client

Εικόνα 23: Αρχιτεκτονική Πληροφοριακού Συστήματος



4.4.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική

Το πληροφοριακό σύστημα υποστηρίζει την πλήρη διασύνδεση των υποσυστημάτων του η οποία έγκειται στην ενιαία τήρηση των κοινών δεδομένων μέσω τήρησης ενιαίας βάσης δεδομένων, ώστε οι πληροφορίες για μία οντότητα να διατηρούνται σε ένα και μοναδικό σημείο μέσα στο σύστημα και να δημιουργούνται / ενημερώνονται από το κατάλληλο υποσύστημα. Οποιοδήποτε υποσύστημα μπορεί να εκτελεί οποιαδήποτε παρεχόμενη λειτουργία του συστήματος μέσω ανοικτής τεχνολογίας διασύνδεσης όπως Web APIs.

Το σύστημα είναι «ανοικτής» αρχιτεκτονικής (open architecture), δηλαδή παρέχει ανεξαρτησία από συγκεκριμένο προμηθευτή και χρησιμοποιούνται πρότυπα που διασφαλίζουν:

- Την ομαλή συνεργασία και λειτουργία μεταξύ των επιμέρους συστημάτων,
- Τη δικτυακή συνεργασία μεταξύ εφαρμογών ή/και συστημάτων τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικά υπολογιστικά συστήματα,

- Την επεκτασιμότητα των συστημάτων και εφαρμογών χωρίς αλλαγές στη δομή και αρχιτεκτονική του συνόλου του συστήματος.

Η ανοιχτή αρχιτεκτονική ακολουθηθεί τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού (εύκολη διασύνδεση, επέκταση, αντικατάσταση μερών, κλπ) όσο και σε επίπεδο λογισμικού εφαρμογών (π.χ. αρθρωτός σχεδιασμός, επέκταση λειτουργικότητας, ύπαρξη APIs, κλπ). Επιπλέον, ακολουθηθεί αρθρωτή (modular) αρχιτεκτονική του συστήματος, ώστε να επιτρέπονται μελλοντικές επεκτάσεις και αντικαταστάσεις, ενσωματώσεις, αναβαθμίσεις ή αλλαγές διακριτών τμημάτων λογισμικού ή εξοπλισμού. Το σύστημα έχει αρχιτεκτονική “N-tier” για την ευελιξία της κατανομής του κόστους, για την αποδοτική εκμετάλλευση του δικτύου και την ευκολία στην επεκτασιμότητα. Στόχοι του σχεδιασμού είναι οι εξής:

- Επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής ομοιομορφίας στις διεπαφές μεταξύ των διαφόρων υποσυστημάτων και στον τρόπο εργασίας αυτών,
- Επιλογή κοινών και φιλικών τρόπων παρουσίασης, όσον αφορά τις διεπαφές των χρηστών με τις εφαρμογές,
- Εξασφάλιση πλήρους λειτουργικότητας μέσω του διαδικτύου για το σύνολο των εφαρμογών και εργαλείων που θα αποτελέσουν την λύση.

Όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων με τρόπο, που θα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν από άλλες υπηρεσίες και να επιτυγχάνεται η διασύνδεση με τα υφιστάμενα υποσυστήματα. Ιδιαίτερη βαρύτητα έχει δοθεί στη μη επανάληψη δεδομένων, ώστε να αποφευχθούν διπλοκαταχωρήσεις, ασυνέπειες δεδομένων, προβλήματα συγχρονισμού κτλ. και να ελαχιστοποιηθεί το κόστος συντήρησης και διαχείρισης του συστήματος.

Για την αποθήκευση των δεδομένων χρησιμοποιούνται τόσο συστήματα σχεσιακών, όσο και μη σχεσιακών βάσεων δεδομένων για την ευκολία διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων, για την διαχείριση δεδομένων με χρονοσειρές, για την αυξημένη διαθεσιμότητα του συστήματος καθώς και τη δυνατότητα ελέγχου πρόσβασης στα δεδομένα με χρήση υπηρεσιών καταλόγου.

Ακόμη, η εταιρεία μας χρησιμοποιεί σουίτα εργαλείων ανάπτυξης, συντήρησης και διαχείρισης των εφαρμογών και των εργαλείων που χρησιμοποιούνται, η οποία είναι συμβατή με την επιλεγείσα βάση δεδομένων. Στα πλαίσια αυτά έχει πραγματοποιηθεί:

- Δυνατότητα χρησιμοποίησης από την χρήστη συγκεκριμένων προσχεδιασμένων αναφορών που θα περιέχουν πληροφορίες για την ανάλυση των βασικών διαδικασιών, καθώς και τη δυνατότητα για δημιουργία ad-hoc αναφορών για την ανάλυση συγκεκριμένων παραμέτρων και υποθέσεων,
- Δυνατότητα άμεσης σύνδεσης των αναφορών κατά τη δημιουργία τους με επίπεδα ταυτοποίησης (authorization) και ασφάλειας,
- Δυνατότητα στατιστικής επεξεργασίας στοιχείων,
- Δυνατότητα εξαγωγής του συνόλου των αναφορών και των στατιστικών του συστήματος σε διαφορετικές ηλεκτρονικές μορφές αρχείων για την κατά περίπτωση καλύτερη αξιοποίησή τους (π.χ. ιστοσελίδες, απλό κείμενο, έγγραφα PDF, έγγραφα Word/Excel, σχεσιακοί πίνακες, κτλ)

4.4.2 Φυσική Αρχιτεκτονική

Για την υλοποίηση των υποσυστημάτων, έχει επιλεγεί μια αντικειμενοστραφής και πολύ-επίπεδη αρχιτεκτονική σχεδιασμού και οργάνωσης των δομών, των οντοτήτων και των επιμέρους στοιχείων που συνθέτουν τα περιεχόμενα της εφαρμογής. Αυτή θα επιτρέψει την αυξημένη απόδοση, ευελιξία, συντηρησιμότητα και επαναχρησιμοποίηση (performance, flexibility, maintainability and reusability), ενώ ταυτόχρονα η πολυπλοκότητα της κατανομής επεξεργασίας να είναι αδιαφανής προς τον χρήστη.

Η αρχιτεκτονική αυτή (των “N επιπέδων”) προσφέρει τεράστιες δυνατότητες για εύκολη και γρήγορη επέκταση των λειτουργιών αλλά και των συστατικών του συστήματος, ενώ απομονώνει τις διάφορες κατηγορίες λειτουργιών σε διαφορετικά επίπεδα που είναι ευκολότερο να συντηρηθούν.

Ειδικότερα, η συγκρότηση του συστήματος σε επίπεδα εξασφαλίζει:

- Την ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης του δικτύου λόγω μεταφοράς μεγάλου όγκου δεδομένων
- Τη δυνατότητα διαχωρισμού του διακομιστή δεδομένων (Database Server) από το διακομιστή ή τους διακομιστές εφαρμογής (Application Servers), ώστε να εκτελούνται σε διαφορετικά μηχανήματα. Κατά συνέπεια, ο καθορισμός των κρίσιμων μεγεθών απόδοσης των αντίστοιχων μηχανών (sizing) μπορεί να γίνεται ανεξάρτητα, ενώ παράλληλα να εξασφαλίζεται απεριόριστη επεκτασιμότητα, χωρίς ανακατασκευή, του λογισμικού.
- Τη μέγιστη ευελιξία στην επιλογή του διακομιστή δεδομένων, καθώς πρέπει να επιτρέπεται η χρήση οποιουδήποτε μηχανήματος με οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα, με μοναδική απαίτηση τη δυνατότητα επικοινωνίας δια μέσου των απαιτούμενων πρωτοκόλλων (TCP/IP, UDP/IP, MQTT κτλ.). Έτσι, θα είναι δυνατή η μεταγενέστερη αναβάθμιση ως προς τη βάση δεδομένων με την αλλαγή / αναβάθμιση του μηχανήματος, χωρίς να επηρεάζεται το υπόλοιπο σύστημα.

Πιο αναλυτικά:

Επίπεδο “κεραίας” – Gateway

Αποτελεί τον “μεσάζοντα” ανάμεσα σε μία IoT συσκευή και τον τελικό χρήστη. Με τις συσκευές επικοινωνεί μέσω του πρωτοκόλλου LoRaWAN, ενώ με την χρήση καλωδίου Ethernet, WiFi, αλλά και καρτούλας SIM 2G/3G/4G χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα TCP/IP και UDP/IP για την επικοινωνία με το διαδίκτυο. Είναι απλές σχετικά συσκευές, με χαμηλή επεξεργαστική ισχύ σαν απαίτηση, οι οποίες όμως μπορούν να διαχειριστούν μέχρι και δεκάδες χιλιάδες IoT συσκευές που βρίσκονται εντός εμβέλειας.

Επίπεδο δικτύου – Network Server

Το πρώτο επίπεδο λειτουργίας είναι και αυτό που επιτρέπει τον διαμοιρασμό της πληροφορίας, την σωστή κατανομή των μηνυμάτων και την διαχείριση του φόρτου εργασίας. Στο εσωτερικό του αποτελείται από τρία (3) υποσυστήματα.

Το πρώτο είναι ο Join Server, μία υπηρεσία που ρόλος της είναι η εγγραφή των νέων συσκευών IoT που λειτουργούν σε ένα LoRaWAN δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, όταν μία συσκευή ξεκινήσει την λειτουργία της, αποστέλλει συνεχώς ένα μήνυμα τύπου “join”, το οποίο περιέχει το αναγνωριστικό κάθε συσκευής. Τότε, ο Network Server ανατρέχει στην εσωτερική του βάση δεδομένων εάν υπάρχει η συγκεκριμένη συσκευή και εάν υπάρχουν τα κατάλληλα κλειδιά (όπως π.χ. AppKey), τότε πραγματοποιεί την σύνδεση και η συσκευή μπορεί πλέον να ανταλλάσσει μηνύματα.

Το δεύτερο είναι ο Application server, ο οποίος αναλαμβάνει την επιχειρησιακή λογική του Network Server και περιορίζεται στο κλειστά όρια αυτού. Συνήθως συνοδεύεται από γραφικό περιβάλλον για ευκολία στην διαχείριση, συνδέει τα gateways στο σύστημα και κρυπτογραφεί τα μηνύματα από και προς αυτά. Η επικοινωνία με τον Application Server μπορεί να γίνει είτε μέσω μιας απλής HTTP σύνδεσης, όσο και με του MQTT πρωτοκόλλου, το οποίο επιτρέπει ασύγχρονη επικοινωνία, δηλαδή συνεχή και ζωντανή ενημέρωση των δεδομένων.

Τέλος, το πιο σημαντικό υποσύστημα είναι ο ίδιος ο Network Server, ο οποίος κάνει την όλη διαχείριση. Ενεργοποιεί τις συσκευές και τα gateways, αλλάζει δυναμικά τα κανάλια επικοινωνίας και τον ρυθμό μετάδοσης, κρατά στατιστικά για τις συσκευές, “καθαρίζει” τα μηνύματα από τα λάθος και από αυτά που επαναλαμβάνονται. Προωθεί τα μηνύματα στα gateway που πρέπει και το πλέον πιο χρήσιμο, κρατά για κάθε gateway τον ημερήσιο φόρτο εργασίας και εφαρμόζει σε αυτό τους περιορισμούς “duty cycle” δυναμικά, χωρίς την επέμβαση του χρήστη.

Επίπεδο μεσολογισμικού – Middleware

Αποτελεί το τμήμα του λογισμικού, στο οποίο εκτελούνται οι περισσότερες λειτουργίες, βασικές για την παροχή πληροφοριών μεταξύ συσκευής και τελικού χρήστη. Λειτουργεί σαν οδηγός, ο οποίος μεταφράζει μια εντολή από τον χρήστη σε εντολή αναγνωρίσιμη για την συσκευή. Το πρωτοποριακό στοιχείο που κυριαρχεί στο επίπεδο αυτό, είναι ότι η αρθρωτή δομή του Middleware του επιτρέπει να υποστηρίζει συσκευές από όλες τις διαθέσιμες, ακόμα και μελλοντικά υποστηριζόμενες τεχνολογίες χωρίς ιδιαίτερη ανάπτυξη.

Με την δομή αυτή, παράλληλα επιτρέπεται η συνεχής επέκταση του συστήματος, προσθαφαιρώντας λειτουργίες ανάλογα με τις απαιτήσεις χωρίς να επηρεάζονται οι υπόλοιπες του συστήματος. Συν τοις άλλοις, ξεκινά και σταματά διεργασίες του φυσικού μηχανήματος για εκτέλεση εντολών σε τρίτο χρόνο, εκδίδει στατιστικά και αναφορές ελέγχων και επιτρέπει στον διαχειριστή να έχει την εικόνα και τον πλήρη έλεγχο του συστήματος. Για την υλοποίηση των συστατικών λογισμικού (components) του επιπέδου αυτού χρησιμοποιείται η **Python 3.7.4**.

Επίπεδο Δεδομένων – Database server:

Με αυτή τη δομή η Βάση Δεδομένων (Επίπεδο Δεδομένων – Data Layer) αποτελείται από ένα σύμπλεγμα διαφορετικών βάσεων δεδομένων, το οποίο λειτουργεί σαν μία οντότητα, είναι πλήρως απομονωμένη από τις λοιπές

κλάσεις του συστήματος και δημιουργείται ταυτόχρονα μια μοναδική πύλη πρόσβασης προς αυτήν. Οι κλάσεις οντοτήτων που επικοινωνούν με την Βάση Δεδομένων έχουν υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας standard τρόπους προσπέλασης της Βάσης έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύκολη μετάβαση σε νέα Βάση Δεδομένων εφόσον αυτό απαιτηθεί. Το Επίπεδο Δεδομένων είναι ουσιαστικά υπεύθυνο για την αποθήκευση της πληροφορίας κάθε μορφής. Τα δεδομένα αποθηκεύονται είτε στην Βάση Δεδομένων είτε στο σύστημα διαχείρισης αρχείων (File System) σε περίπτωση που απαιτείται (π.χ. images, επισυναπτόμενα αρχεία WORD / EXCEL / PDF, αρχεία καταγραφής κλπ.). Η διαχείριση της βάσης δεδομένων γίνεται με τον **MySQL server 5.7.24** και τη **MongoDB 4.2**.

Αποτελώντας το βασικότερο επίπεδο του συστήματος, ο Database Server παρέχει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες για την αποθήκευση, ανάκτηση, ενημέρωση και συντήρηση των δεδομένων του συστήματος καθώς επίσης και όλους τους απαραίτητους μηχανισμούς για την ακεραιότητα των δεδομένων (Data Integrity).

Επίπεδο Επιχειρησιακής Λογικής – Application Server:

Αποτελεί το κύριο τμήμα του λογισμικού, στο οποίο εκτελούνται οι περισσότερες λειτουργίες, εκτός εκείνων που σχετίζονται με τη διαμόρφωση των οθονών εργασίας. Υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης περισσότερων του ενός Application Servers σε διαφορετικά μηχανήματα, αξιοποιώντας, με τον τρόπο αυτό, οποιαδήποτε διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ και εξασφαλίζοντας εξαιρετικά αποτελέσματα ανταπόκρισης, αξιοπιστίας και επεκτασιμότητας.

Με την κατανομή των Application Servers σε ανεξάρτητα μηχανήματα, επιτυγχάνεται αποσυμφόρηση του συνολικού φόρτου του συστήματος, αφού κάθε Application Server είναι σε θέση να υποστηρίξει ένα υποσύνολο του συνολικού αριθμού των Remote Clients.

Ο **Linux Server** μέσω του ρόλου Application Server παρέχει ένα εργαλείο για την κεντρική διαχείριση και φιλοξενία καταναμημένων εφαρμογών υψηλής απόδοσης. Το Επίπεδο Επιχειρησιακής Λογικής (Application Layer) παρέχει την λειτουργικότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Για την υλοποίηση των συστατικών λογισμικού (components) του επιπέδου αυτού χρησιμοποιείται η **PHP v7.2.14**.

Επίπεδο Παρουσίασης - Client:

Το τελευταίο επίπεδο του λογισμικού αποτελεί την επαφή του χρήστη με το σύστημα (User Interface). Στο επίπεδο αυτό πραγματοποιείται η διαχείριση των Οθονών Εργασίας (User Screens) καθώς επίσης και η μορφοποίηση των δεδομένων που εμφανίζονται. Η επικοινωνία του Client με τον Application ή τους Application Servers πραγματοποιείται κάνοντας χρήση ενός μόνο πακέτου δεδομένων κάθε φορά.

Το Επίπεδο Παρουσίασης δηλαδή η διεπαφή του συστήματος προς τους χρήστες (Presentation Layer) συγκεντρώνει τις ζητήσεις των χρηστών του συστήματος και τις προωθεί στο Επίπεδο Επιχειρησιακής Λογικής καλώντας τις κατάλληλες μεθόδους που προσφέρουν την απαιτούμενη λειτουργικότητα.

Μετά την εκτέλεση των μεθόδων αυτών οι απαντήσεις επιστρέφουν στο Επίπεδο Παρουσίασης σε **JSON** μορφή. Ο μετασχηματισμός των απαντήσεων αυτών σε μορφή ορατή και κατανοητή για τον χρήστη θα γίνεται με την χρήση των **HTML**, **CSS** και **JavaScript**.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι η αξιοποίηση των JSON δεδομένων στο επίπεδο αυτό δίνει την δυνατότητα σε άλλα συστατικά λογισμικού που έχουν αναπτυχθεί με διαφορετικά εργαλεία ή άλλες τεχνολογίες, να μπορούν να επικοινωνήσουν με την κάθε εφαρμογή με ελάχιστες προσαρμογές. Αυτό δίνει την δυνατότητα στο φορέα να επεκτείνει σταδιακά το σύστημα με εύκολο και γρήγορο τρόπο, χωρίς να δεσμεύεται από το περιβάλλον υλοποίησης άλλων εφαρμογών ή συστημάτων που ενδεχομένως αναπτυχθούν για λογαριασμό του στο μέλλον.

Επιπρόσθετα, η χρήση των HTML, CSS και JavaScript δίνει την δυνατότητα στην προτεινόμενη εφαρμογή να μπορεί να ικανοποιεί ανάγκες για εξατομίκευση της διεπαφής της ενώ κάνει εύκολο και γρήγορο τον ανασχεδιασμό του τρόπου παρουσίασης της πληροφορίας όποτε αυτό απαιτηθεί. Η αισθητική και η σχεδιαστική άποψη των υποσυστημάτων ταιριάζουν απόλυτα στην εικόνα ενός σύγχρονου Οργανισμού. Το Διαδίκτυο και ιδιαίτερα ο Παγκόσμιος Ιστός (World Wide Web) εντάσσονται στην κατηγορία των νέων μέσων διαδραστικής ενημέρωσης που στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στην εικόνα. Έτσι το οπτικό ερέθισμα που δημιουργούν στον επισκέπτη οι σελίδες ενός συστήματος είναι σημαντικό για την άποψη που αυτός θα σχηματίσει για την προσπάθεια που προβάλλεται από τις σελίδες αυτές. Υπάρχουν πολλά στοιχεία στη σχεδίαση ενός κόμβου που συμβάλλουν στη δημιουργία συγκεκριμένης εικόνας. Στο επίπεδο του εξυπηρετητή διαδικτύου χρησιμοποιείται ο **apache 2.4.41 server**. Ο apache υποστηρίζει όλα τα σύγχρονα πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως HTTP, HTTPS, FTP, FTPS, SMTP and NNTP και διατηρεί πολύ υψηλά standard ασφαλείας.

4.4.3 Υψηλή Διαθεσιμότητα

Σε ότι αφορά στη διασφάλιση της υψηλής διαθεσιμότητας (high availability) των υπηρεσιών του Συστήματος, το λογισμικό των εξυπηρετητών (Servers), αλλά και ο γενικότερος σχεδιασμός της λύσης και στο επίπεδο του hardware, εξασφαλίζει τη δυνατότητα επέκτασης σε μοντέλο ανάκαμψης από καταστροφές, να παρέχει δυνατότητες για την υλοποίηση αρχιτεκτονικής χωρίς μοναδικό σημείο σφάλματος (no single point of failure), διασφαλίζει την προστασία και γρήγορη ανάκαμψη από ανθρώπινα λάθη, την υψηλή διαθεσιμότητα κατά τη διάρκεια διαδικασιών αναδιοργάνωσης, συντήρησης, λήψης αντιγράφων ασφαλείας, καθώς και τη διάθεση υπηρεσιών fail-over για τις εφαρμογές με τρόπο διαφανή προς τους χρήστες. Οι ανωτέρω αναφερόμενες τεχνολογικές επιλογές σχεδιασμού και υλοποίησης αρχιτεκτονικής εξασφαλίζουν τις απαιτήσεις υψηλής διαθεσιμότητας.

Κεφάλαιο 5: Περιπτώσεις χρήσης

5.0 Το Know-How των έργων

Σε κάθε ένα από τα παρακάτω έργα, ακολουθήθηκε η μεθοδολογία που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα (“**4.1 Δοκιμές Κάλυψης Δικτύου**”). Στην αρχή έγινε η μελέτη της υφιστάμενης κατάστασης, ύστερα έγινε η τοποθέτηση των κεντρικών κόμβων (gateways) και μετά ακολουθήθηκε η εγκατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με τους ασύρματους ελεγκτές (controllers) και το πληροφοριακό σύστημα.

Αξίζει να σημειωθεί πως πριν την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων, αποτυπώθηκε πλήρως η κατάσταση των παλιών φωτιστικών, πραγματοποιώντας μετρήσεις κατανάλωσης ρεύματος και μετρήσεις απόδοσης (φωτεινότητας) των φωτιστικών σωμάτων. Οι μετρήσεις κατανάλωσης συγκρίθηκαν με τους υφιστάμενους λογαριασμούς κατανάλωσης, ώστε να διαπιστωθεί η απόκλιση ονομαστικής και πραγματικής ισχύος και να αποτελέσουν βάση αναφοράς της υφιστάμενης κατάστασης για μελλοντική επέκταση της αντικατάστασης στο σύνολο του δικτύου. Παράλληλα, οι μετρήσεις φωτεινότητας που πραγματοποιήθηκαν πριν την αντικατάσταση, λειτούργησαν ως κανόνας για την επιλογή των φωτιστικών LED, ώστε να διατηρηθεί ίδιο ή καλύτερο επίπεδο φωτεινότητας στο χώρο παρέμβασης. Αντίστοιχες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και μετά το πέρας της αντικατάστασης, αφενός για την επιβεβαίωση του επιπέδου φωτεινότητας, αφετέρου για την πιστοποίηση του πραγματικού ποσοστού εξοικονόμησης κόστους κατανάλωσης και ασφαλώς την σύγκριση αυτού με την εκτιμώμενη εξοικονόμηση, όπως αυτή προκύπτει από αναφορές βιβλιογραφίας και εργοστασίων κατασκευής φωτιστικών σωμάτων LED.

5.1 Ο Δήμος Μήλου

Στον Δήμο Μήλου και συγκεκριμένα στο λιμάνι του Αδάμαντα, έχουν πραγματοποιηθεί 2 έργα οδοφωτισμού τα οποία στο σύνολό τους περιλαμβάνουν την εγκατάσταση και τοποθέτηση 52 νέα φωτιστικά σώματα τύπου LED με ισάριθμες συσκευές τηλε-ελέγχου και τηλε-διαχείρισης, όπως και το αντίστοιχο λογισμικό που τα συνοδεύει.

Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν φωτιστικά σώματα ονομαστικής ισχύς 21W, 29W και 30W, τα οποία προσφέρουν αναμενόμενο χρόνο ζωής τουλάχιστον 100.000 ώρες, αντοχή σε κρούσεις, απόδοση 109 lm/W (lumens per Watt) και συντελεστή ισχύος 0.99, δηλαδή η απώλεια της ισχύς εισόδου με την ισχύ εξόδου είναι μηδαμινή.

Η πλατφόρμα παρέχει συνεχή παρακολούθηση, αναγνωρίζει τις βλάβες και εκδίδει αναφορές σχετικά με την κατανάλωση, απ' όπου βγαίνει και ο λογαριασμός που γίνονται οι χρεώσεις. Τα φωτιστικά σώματα, ύστερα από απαίτηση ανάβουν στο 100% της λειτουργίας τους με την δύση του ήλιου, σβήνουν με την ανατολή και μετά τις 03:00 τη νύχτα πέφτουν στο 40% της λειτουργίας τους, καθώς η κυκλοφοριακή ροή πέφτει ραγδαία και έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση.

5.2 Ο Δήμος Επιδαύρου

Στον Δήμο Επιδαύρου και συγκεκριμένα στο Λυγουριό, έχουν εγκατασταθεί και τοποθετηθεί 40 νέα φωτιστικά σώματα τύπου LED με ισάριθμες συσκευές τηλε-ελέγχου και τηλε-διαχείρισης, όπως και το αντίστοιχο λογισμικό που τα συνοδεύει.

Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν φωτιστικά σώματα ονομαστικής ισχύς 60W, τα οποία αντικαθιστούν φώτα τύπου Na (νατρίου) 250W, Hg (υδραργύρου) 125W και οικονομίας 23W, προσφέρουν αναμενόμενο χρόνο ζωής τουλάχιστον 75.000 ώρες, αντοχή σε κρούσεις, απόδοση 120 lm/W (lumens per Watt) και συντελεστή ισχύος 0.99, δηλαδή η απώλεια της ισχύς εισόδου με την ισχύ εξόδου είναι μηδαμινή.

Η πλατφόρμα λόγω της φύσης του έργου παρέχει μόνο τις λειτουργίες ON/OFF/Dimming και χρονοπρογραμματισμού, όπου ύστερα από απαίτηση ανάβουν στο 100% της λειτουργίας τους με την δύση του ήλιου, μετά τη 01:00 πέφτουν στο 50% και στις 05:00 επανέρχονται στο 100% της λειτουργίας τους, μέχρι την ανατολή του ηλίου, όπου και σβήνουν πλήρως.

5.3 Ο Δήμος Ζαγοράς

Στον Δήμο Ζαγοράς και συγκεκριμένα στον Άγιο Ιωάννη, έχουν εγκατασταθεί και τοποθετηθεί 40 νέα φωτιστικά σώματα τύπου LED με ισάριθμες συσκευές τηλε-ελέγχου και τηλε-διαχείρισης, όπως και το αντίστοιχο λογισμικό που τα συνοδεύει.

Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν φωτιστικά σώματα ονομαστικής ισχύς 30W, τα οποία αντικαθιστούν φώτα τύπου Hg (υδραργύρου) 125W, προσφέρουν αναμενόμενο χρόνο ζωής τουλάχιστον 60.000 ώρες, αντοχή σε κρούσεις, απόδοση 161 lm/W (lumens per Watt) και συντελεστή ισχύος 0.92, δηλαδή η απώλεια της ισχύς εισόδου με την ισχύ εξόδου είναι μηδαμινή.

Η πλατφόρμα παρέχει συνεχή παρακολούθηση, αναγνωρίζει τις βλάβες και εκδίδει αναφορές σχετικά με την κατανάλωση, απ' όπου βγαίνει και ο λογαριασμός που γίνονται οι χρεώσεις. Τα φωτιστικά σώματα, ύστερα από απαίτηση παραμένουν ανοιχτά στο 100% της λειτουργίας τους από την δύση μέχρι την ανατολή του ηλίου.

5.4 Ο Δήμος Φυλής

Στον Δήμο Φυλής, έχουν εγκατασταθεί και τοποθετηθεί 850 νέα φωτιστικά σώματα τύπου LED με ισάριθμες συσκευές τηλε-ελέγχου και τηλε-διαχείρισης, όπως και το αντίστοιχο λογισμικό που τα συνοδεύει.

Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν φωτιστικά σώματα ονομαστικής ισχύς 40W και 120W, τα οποία αντικαθιστούν φώτα τύπου Hg (υδραργύρου) 125W και Na (νατρίου) 250W αντίστοιχα, προσφέρουν αναμενόμενο χρόνο ζωής τουλάχιστον 80.000 ώρες, αντοχή σε κρούσεις, απόδοση 120 lm/W (lumens per Watt) και συντελεστή ισχύος 0.90, δηλαδή η απώλεια της ισχύς εισόδου με την ισχύ εξόδου είναι μηδαμινή.

Η πλατφόρμα παρέχει συνεχή παρακολούθηση, αναγνωρίζει τις βλάβες και εκδίδει αναφορές σχετικά με την κατανάλωση, απ' όπου βγαίνει και ο λογαριασμός που γίνονται οι χρεώσεις. Τα φωτιστικά σώματα, ύστερα από απαίτηση παραμένουν ανοιχτά στο 100% της λειτουργίας τους από την δύση μέχρι την ανατολή του ηλίου.

Αναφορές – Πηγές

- “LPWAN”,
<https://en.wikipedia.org/wiki/LPWAN>
- “LPWA Technologies Unlock New IoT Market Potential”, LoRa Alliance
- “LoRa Alliance”,
<https://lora-alliance.org/>
- “LoRa Technology”,
<https://www.semtech.com/technology/lora>
- “NB-IoT vs LoRa™ Technology”, LoRa Alliance
- “Decoding LoRa: Realizing a Modern LPWAN with SDR”, Matthiew Knight and Balint Seeber
- “A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things”, Aloys Augustin, Jiazi Yi, Thomas Clausen and William Mark Townsley
- “LoRa™ Modulation Basics”, Semtech
- “LoRa™ and FCC Part 15.247: Measurement Guidance”, Semtech
- “ETSI Compliance of the SX1272/3 LoRa Modem”, Semtech
- “LoRa Device Developer Guide”, Orange
- “LoRaWAN 1.1 Regional Parameters”, LoRa Alliance
- “LoRaWAN™ 1.1 Specification”, LoRa Alliance
- “Enabling wide area IoT solutions with machine, a comcast service”,
<https://machineq.com/>
- Weightless,
<http://www.weightless.org/>
- “LoRa vs LTE-M vs Sigfox”,
<http://www.nickhunn.com/lora-vs-lte-m-vs-sigfox/>
- Sigfox,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Sigfox>
- “Internet of Things, LoRaWAN vs NB-IoT”, Nikolaos Konstas,
- ITU ASP CoE training, “IoT Network Planning”
- “Comparison of Indoor/Outdoor, RSSI-Based Positioning Using 433, 868 or 2400 MHz ISM Bands”, Lukasz Chruszczyk and Adam Zajac
- “NB-IoT Deployment Guide”, GSMA Mobile IoT
- “ISM-Band and Short Range Device Regulatory Compliance Overview”, Matthew Loy, Raju Karingattil and Louis Williams
- “Introduction to Chirp Spread Spectrum (CSS) Technology”, John Lampe and Zbigniew Janelli
- “Chirp-Spread-Spectrum Modulation”, School of Engineering
- “3GPP Low Power wide Area Technologies”,
<https://www.gsma.com>
- “Extended Coverage – GSM – Internet of Things (EC-GSM-IoT)”,
<https://www.gsma.com>
- “Narrowband – Internet of Things (NB-IoT)”,
<https://www.gsma.com/iot/narrow-band-internet-of-things-nb-iot/>
- “3GPP SA2 architecture and functions for 5G mobile communication system”, Junseok Kim, Dongmyoung Kim and Sunghyun Choi

- **“Understanding the Limits of LoRaWAN”**, Ferran Adelantado, Xavier Vilajosana, Pere Tuset-Peiro, Borja Martinez, Joan Melià-Seguí, Thomas Watteyne,
- **“What it Weightless”**,
<https://www.link-labs.com/blog/what-is-weightless>
- **“A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT”**, Rashmi Sharan Sinha, Yiqiao Wei and Seung-Hoon Hwang
- **“LoRa vs LTE-M vs Sigfox”**, Nick Hunn
- **“Low Power, Wide Area Networks”**, LinkLabs
- **“ENABLING WIDE AREA IOT SOLUTIONS WITH machineQTM, A COMCAST SERVICE”**, machineQ
- **“Κανονισμός Όρων Χρήσης Μεμονωμένων Ραδιοσυχνοτήτων ή Ζωνών Ραδιοσυχνοτήτων”**, EETT
- **“Εθνικός Κανονισμός Κατανομής Ζωνών Συχνοτήτων”**, ΦΕΚ 105/Β'/27.01.2016
- **“Chirp Spread Spectrum”**,
https://en.wikipedia.org/wiki/Chirp_spread_spectrum
- **Σημειώσεις** καθηγητή Πανεπιστημίου Πειραιά τμήματος Ψηφιακών συστημάτων, κου Γ. Ευθύμογλου.
- **Σημειώσεις** καθηγητή Πανεπιστημίου Πειραιά τμήματος Ψηφιακών συστημάτων, κου Α. Κανάτα.
- **“ALOHA Class of Multiple Access Protocols”**, University of Southampton
- **“Lighting of roads for motor and pedestrian traffic”**, Technical Report CIE 115:2010,
- **“Road lighting – Part 1: Guidelines on selection of lighting classes”**, Technical Report CEN 13201 Part 1,
- **“Οδηγίες σχεδιασμού και ελέγχου εγκαταστάσεων οδοφωτισμού”**, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας,
- **“Σχεδιασμός και έλεγχος εγκαταστάσεων οδοφωτισμού”**, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας,
- **Design Criteria for Adaptive Roadway Lighting**,
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/14051/004.cfm>
- **Received signal strength indication**,
https://en.wikipedia.org/wiki/Received_signal_strength_indication
- **Best Cities Awards**,
<https://www.bestcityawards.gr/>
- **World Wide Web Consortium (W3C)**,
<https://www.w3.org>
- **HTML**,
<https://el.wikipedia.org/wiki/HTML>
- **CSS**,
<https://el.wikipedia.org/wiki/CSS>
- **JavaScript**,

Παράρτημα

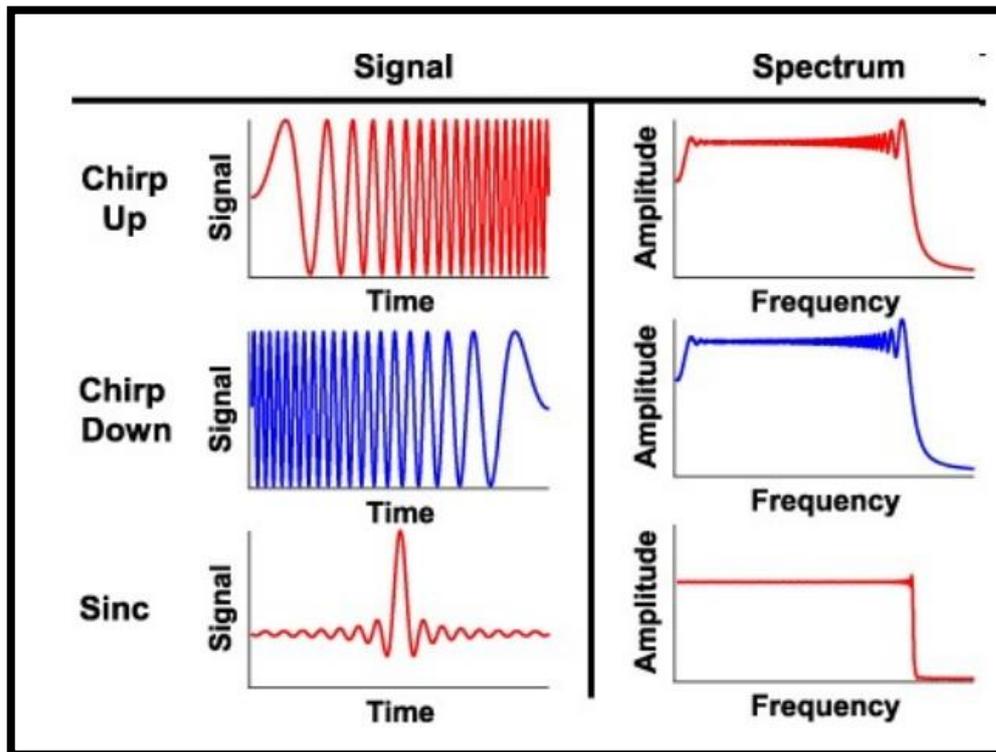
Διαμόρφωση CSS

Οι μέθοδοι διασποράς φάσματος (Spread Spectrum), εναλλακτικά *εξάπλωσης* ή *διεύρυνσης φάσματος*, αποτελούν τρόπους με τους οποίους η ενέργεια ενός σήματος που καταλαμβάνει κάποιο σχετικά περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων, κατανέμεται εσκεμμένα σε πολύ μεγαλύτερο φασματικό εύρος με σκοπό την αύξηση της ασφάλειας των τηλεπικοινωνιών, την αποφυγή υποκλοπών και τη μεγαλύτερη αντοχή στα παράσιτα και τις παρεμβολές.

Στις ψηφιακές επικοινωνίες, η Chirp Spread Spectrum (CSS) είναι μια τεχνική διασποράς φάσματος που χρησιμοποιεί γραμμικές ευρυζωνικές διαμορφωμένες συχνότητες για να κωδικοποιήσουν την πληροφορία. Ένα chirp είναι ένα ημιτονοειδές σήμα, το οποίο αυξάνεται ή μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Όπως συμβαίνει με άλλες μεθόδους διασποράς φάσματος, η CSS χρησιμοποιεί όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης για να εκπέμψει ένα σήμα, καθιστώντας το ισχυρό στην μείωση θορύβου. Επιπλέον, επειδή τα chirps χρησιμοποιούν μια ευρεία ζώνη του φάσματος, η CSS είναι επίσης ανθεκτικό στη πολύ-διαδρομική εξασθένηση ακόμα και όταν λειτουργεί σε πολύ χαμηλή ισχύ.

Εντούτοις, δεν είναι σαν το φάσμα διασποράς απλής ακολουθίας (DSSS) ή το φάσμα εξάπλωσης συχνότητας (FHSS) καθώς δεν προσθέτει ψευδοτυχαία στοιχεία στο σήμα για να το ενισχύσει από το θόρυβο, αντ' αυτού βασίζεται γραμμική φύση του παλμού ενός chirp. Η CSS είναι ανθεκτική στο φαινόμενο Doppler, το οποίο είναι χαρακτηριστικό στις κινητές ασύρματες εφαρμογές.

Εικόνα 24: Παράδειγμα φάσματος ενός "chirp"



ALOHA

Το ALOHA, που ονομάζεται επίσης μέθοδος Aloha, αναφέρεται σε ένα απλό σύστημα επικοινωνιών στο οποίο κάθε πηγή (πομπός) σε ένα δίκτυο στέλνει δεδομένα όποτε υπάρχει ένα πακέτο, χωρισμένο σε πλαίσια, προς αποστολή. Εάν κάθε πλαίσιο φτάσει επιτυχώς στον προορισμό (δέκτης), αποστέλλεται το επόμενο πλαίσιο. Εάν το πλαίσιο δεν μπορέσει να ληφθεί επιτυχώς στον προορισμό, περιμένει μια τυχαία περίοδο και την αποστέλλει ξανά, ενώ παράλληλα ο αποστολέας μπορεί πάντα να διαπιστώσει εάν το καρέ του καταστράφηκε ακούγοντας συνεχώς κανάλι. Το πρωτόκολλο αυτό αναπτύχθηκε αρχικά στο Πανεπιστήμιο της Χαβάης για χρήση με δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών στον Ειρηνικό.

Σε ένα ασύρματο σύστημα εκπομπής ή σε μια ημι-αμφίδρομη ζεύξη μεταξύ δύο άκρων, το ALOHA λειτουργεί τέλεια. Όμως, καθώς τα δίκτυα γίνονται πιο περίπλοκα, για παράδειγμα σε ένα σύστημα Ethernet που περιλαμβάνει πολλαπλές πηγές και προορισμούς που μοιράζονται μια κοινή διαδρομή δεδομένων, παρουσιάζεται πρόβλημα επειδή τα πλαίσια δεδομένων συγκρούονται συνεχώς. Όσο βαρύτερος είναι ο όγκος επικοινωνιών, τόσο χειρότερα τα προβλήματα σύγκρουσης γίνονται. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της απόδοσης του συστήματος, και επειδή όταν δύο πλαίσια συγκρούονται, τα δεδομένα που περιέχονται αμφότερα χάνονται.

Προϋπολογισμός Ζεύξης (Link Budget)

Ο προϋπολογισμός ζεύξης ενός ασύρματου συστήματος ή δικτύου είναι ο υπολογισμός όλων των κερδών και των απωλειών από τον πομπό, μέσω του καναλιού διάδοσης, στον δέκτη. Αυτά τα κέρδη και οι απώλειες περιλαμβάνουν κέρδη και απώλειες συστήματος που σχετίζονται με την κεραία, αντιστοίχιση δικτύων κ.λπ. καθώς και απώλειες που συνδέονται με το ίδιο το κανάλι διάδοσης (είτε μέσω μοντελοποίησης, είτε εμπειρικές μετρήσεις). Τυπικά τυχαία μεταβαλλόμενοι μηχανισμοί καναλιών (όπως η πολλαπλή διαδρομή και τα φαινόμενα Doppler), λαμβάνονται υπόψη προσθέτοντας ένα περιθώριο, ανάλογα με τις απαιτήσεις. Ο προϋπολογισμός ζεύξης ενός ασύρματου συνδέσμου δικτύου μπορεί να εκφραστεί ως:

$$P_{Rx}(dBm) = P_{Tx}(dBm) + G_{system}(dB) - L_{system}(dB) - l_{channel}(dB) - M(dB)$$

Όπου:

P_{Rx} = ισχύς του λαμβανόμενου σήματος που αναμένεται να φτάσει στον δέκτη,

P_{Tx} = ισχύς του εκπεμπόμενου σήματος,

G_{system} = το κέρδος που σχετίζεται από τις κεραιές του συστήματος,

L_{system} = απώλειες σχετιζόμενες με το ίδιο το σύστημα, δηλαδή απώλειες από τις κεραιές, τα καλώδια, τις ίδιες τις συσκευές κ.α.,

$l_{channel}$ = απώλειες που οφείλονται από το κανάλι διάδοσης, υπολογισμένες είτε από μια ευρεία κλίμακα δεδομένων, είτε από εμπειρικές μετρήσεις,

M = περιθώριο διάλειψης, εκτιμώμενος από εμπειρικές μετρήσεις.

Ένα κανάλι επικοινωνίας θεωρείται ότι συνδέεται περιοριστικά, όταν οι απώλειες που σχετίζονται με το κανάλι προκαλούν το επίπεδο λαμβανόμενης ισχύος στον δέκτη να είναι χαμηλότερο από αυτό που απαιτείται για να ικανοποιηθεί η απαίτηση SNR (σηματο-θορυβικού λόγου) του δέκτη για σωστή αποδιαμόρφωση των ληφθέντων δεδομένων.

Κριτήρια κλάσεων οδοφωτισμού

Όπως είδαμε και στην ενότητα “**3.2 Κλάσεις φωτισμού και τα κριτήρια επιλογής τους**”, ορίζονται κάποια κριτήρια για την διασφάλιση της καλής ποιότητας του φωτισμού. Τα κριτήρια αυτά παρατίθενται παρακάτω.

Κλάση “Μ”

Το πρώτο κριτήριο αφορά στην ταχύτητα σχεδιασμού ή στο όριο ταχύτητας της οδού. Στην περίπτωση που το όριο ταχύτητας μίας οδού αλλάζει κατά το μήκος αυτής ή κατά τη διάρκεια της νύχτας, τότε επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Το δεύτερο κριτήριο αφορά στον κυκλοφοριακό φόρτο της οδού ως ποσοστό επί της μέγιστης χωρητικότητας. Διαχωρίζεται, όσον αφορά σε αυτοκινητόδρομους με πολλαπλές λωρίδες ανά κατεύθυνση ή μικρότερες οδούς. Στην περίπτωση που ο κυκλοφοριακός φόρτος αλλάζει κατά το μήκος αυτής ή κατά τη διάρκεια της νύχτας, επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Το τρίτο κριτήριο αφορά στη σύνθεση των χρηστών της οδού. Στην περίπτωση που η σύνθεση των χρηστών αλλάζει κατά το μήκος αυτής ή κατά τη διάρκεια της νύχτας, επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Το τέταρτο κριτήριο αφορά στο διαχωρισμό των κατευθύνσεων μίας οδού. Ο διαχωρισμός μπορεί να είναι ένα στηθαίο, μεταλλική μπάρα, φύτευση κ.ο.κ. Στην περίπτωση που ο διαχωρισμός διαφοροποιείται κατά το μήκος της οδού, επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Το πέμπτο κριτήριο αφορά στην πυκνότητα των κόμβων της οδού. Οι διασταυρώσεις αναφέρονται σε οδούς που συνέρχονται στο ίδιο επίπεδο ενώ οι κόμβοι αναφέρονται σε ανισόπεδες εισόδους, εξόδους, κλπ. Στην περίπτωση που η πυκνότητα αλλάζει κατά το μήκος της οδού ή κατά τη διάρκεια της νύχτας, επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Το έκτο κριτήριο αφορά στην παρουσία ή όχι σταθμευμένων οχημάτων στην υπό εξέταση οδό. Στην περίπτωση που η παρουσία σταθμευμένων οχημάτων αλλάζει στη διάρκεια της νύχτας ή στο μήκος της οδού, επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Το έβδομο κριτήριο αφορά στο φωτισμό του περιβάλλοντος της υπό εξέταση οδού. Υψηλός φωτισμός δύναται να προέλθει λόγω μεγάλης πυκνότητας από κτήρια που γεινιάζουν με την οδό, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές και υπαίθριες εγκαταστάσεις φωτισμού κ.λπ. Ο μέσος περιβάλλοντος φωτισμός αφορά σε συνήθεις καταστάσεις εντός πόλεων που δεν ανήκουν στην προηγούμενη περίπτωση, ενώ χαμηλός φωτισμός συναντάται συνήθως σε οδούς εκτός αστικού ιστού χωρίς την παρουσία τεχνητού φωτισμού, πλην του οδοφωτισμού. Στην περίπτωση που ο περιβάλλοντος φωτισμός αλλάζει στη διάρκεια της νύχτας ή στο μήκος της οδού, επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Το όγδοο κριτήριο αφορά στη δυσκολία οδήγησης που σχετίζεται με το οπτικό πεδίο του οδηγού. Υψηλή δυσκολία οδήγησης παρουσιάζεται σε περιπτώσεις που ο οδηγός καλείται να κατανοήσει πολύπλοκη σήμανση, να οδηγήσει σε οδούς με πολλαπλές εξόδους και εισόδους, σύνθετη δομή κ.λπ. Η μέση δυσκολία οδήγησης αφορά περιπτώσεις που ο οδηγός θα εκτελέσει μία απλή αλλαγή λωρίδας, αλλαγή στην ταχύτητα του οχήματος, είσοδο, έξοδο κ.λπ., ενώ χαμηλή δυσκολία αφορά στην κίνηση σε συγκεκριμένη οδό ή λωρίδα, χωρίς να απαιτείται κάποια σημαντική ενέργεια. Στην περίπτωση κατά την οποία η δυσκολία οδήγησης αλλάζει κατά το μήκος της οδού, επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Η τελική επιλογή της κλάσης φωτισμού σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείται με το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου και με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$M = 6 - VWS$$

Όπου **M** η αντίστοιχη κλάση φωτισμού και **VWS** το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων. Από τη σχέση αυτή προκύπτουν οι κλάσεις M1, M2, M3, M4, M5 και M6.

Ισχύουν τα ακόλουθα:

- Αν $VWS < 0$ τότε $VWS=0$
- Αν $M \leq 0$ τότε $M=1$ (κλάση M1)

Να σημειωθεί πως Δt ορίζονται τα χρονικά διαστήματα από την δύση μέχρι την ανατολή του ηλίου και διαφέρουν από περίπτωση σε περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, στο παράδειγμά μας:

- Δt_1 = Από το χρόνο ενεργοποίησης έως το τέλος της ώρας αιχμής το βράδυ.
- Δt_2 = Από το τέλος της ώρας αιχμής το βράδυ έως το πρωί.
- Δt_3 = Από την αρχή της ώρας αιχμής το πρωί, έως την ώρα απενεργοποίησης.

Πίνακας 3: Επιλογή κλάσεων "Μ"

Κριτήριο	Επιλογές	Περιγραφή		Βάρος	Οδός		
					Δt ₁	Δt ₂	Δt ₃
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	v ≥ 100 km/h		2	2	2	2
	Υψηλή	70 < v < 100 km/h		1			
	Μέση	40 < v < =70 km/h		-1			
	Χαμηλή	v ≤ 40 km/h		-2			
Κυκλοφοριακός Φόρτος		Αυτοκινητόδρομοι, κατευθύνσεις πολλαπλών λωρίδων	Κατευθύνσεις 2 λωρίδων				
	Υψηλός	>65% της μέγιστης χωρητικότητας	>45% της μέγιστης χωρητικότητας	1	1		
	Μεσαίος	35-65% της μέγιστης χωρητικότητας	15-45% της μέγιστης χωρητικότητας	0		0	
	Χαμηλός	<35% της μέγιστης χωρητικότητας	<15% της μέγιστης χωρητικότητας	-1			-1
Σύνθεση κυκλοφορίας	Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη-μηχανοκίνητων			2			
	Μεικτή			1			
	Μόνο μηχανοκίνητα			0	0	0	0
Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας	Όχι			1			
	Ναι			0	0	0	0

Πυκνότητα κόμβων		Διασταυρώσεις / km	Απόσταση μεταξύ ανισόπεδων κόμβων				
		> 3	< 3	1	1	1	1
	Υψηλή	> 3	< 3	1	1	1	1
	Μέση	<= 3	>= 3	0			
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα			1			
	Απόντα			0	0	0	0
Φωτεινότητα περιβάλλοντος	Υψηλή	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί, αγροτικοί δρόμοι		1	1	1	
	Μέση	Συνήθεις καταστάσεις		0			0
	Χαμηλή			-1			
Πλοήγηση	Πολύ δύσκολη			2			
	Δύσκολη			1			
	Εύκολη			0	0	0	0
Άθροισμα βαρών (VWS)					5	4	2
Κλάση φωτισμού M (6-VWS)					1	2	4

Σημείωση! Με μωβ χρώμα σημειώνονται οι τιμές του παραδείγματος

Παράδειγμα

Από το συγκεκριμένο παράδειγμα προκύπτουν οι κλάσεις M1, M2 και M4 για τα αντίστοιχα Δt. Έτσι, ανατρέχουμε στον πίνακα λαμπρότητας (**Πίνακας 4**).

Πίνακας 4: Κλάσεις φωτισμού για την κατηγορία M, συναρτήσει την λαμπρότητα του οδοστρώματος

Κλάση	Λαμπρότητα Οδοστρώματος				Δείκτης Θάμβωσης	Φωτισμός όμορων περιοχών
	Στεγνό			Βρεγμένο		
	L_{av} ($cd \cdot m^{-2}$)	U_0	U_1	U_0	f_{TI} (%)	R_s
M1	2,0	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M3	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M5	0,5	0,35	0,4	0,15	15	0,5
M6	0,3	0,35	0,4	0,15	20	0,5

Οπότε παρατηρούμε ότι από την κλάση M4 στην M1 παρατηρείται συνολική αύξηση του επιπέδου φωτισμού μεγαλύτερη του 150%.

Κλάση “C”

Η αντιστοίχιση των κλάσεων φωτισμού **M** και **C** (λαμπρότητας και έντασης φωτισμού) μπορεί να επιτευχθεί με τη γνώση του συνολικού συντελεστή ανακλαστικότητας του οδοστρώματος **Q₀** (**Πίνακας 5**).

Πίνακας 5: Αντιστοίχιση κλάσεων φωτισμού M και C

Τιμή συντελεστή Q ₀		Q ₀ ≤ 0.05	0.05 < Q ₀ ≤ 0.08	Q ₀ > 0.09
Κλάσεις M	M1	C0	C1	C2
	M2	C1	C2	C3
	M3	C2	C3	C4
	M4	C3	C4	C5
	M5	C4	C5	C5
	M6	C5	C5	C5

Επειδή οι κλάσεις φωτισμού **C** έχουν σχεδιαστεί για τους ίδιους χρήστες με αυτούς των κλάσεων **M**, ο **Πίνακας 5** θα πρέπει κυρίως να χρησιμοποιείται για τον ορισμό των κλάσεων στις περιοχές κινδύνου που ανήκουν σε οδούς, για τις οποίες έχει ήδη προηγηθεί ο ορισμός κλάσεων **M**. Οι περιοχές κινδύνου θα πρέπει να έχουν κλάση όχι μικρότερη από τη μέγιστη κλάση των οδών που συναντώνται.

Το πρώτο κριτήριο αφορά στην ταχύτητα σχεδιασμού ή στο όριο ταχύτητας της οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M**.

Το δεύτερο κριτήριο αφορά στον κυκλοφοριακό φόρτο της οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M** αλλά χωρίς εξειδίκευση των ποσοστών του φόρτου.

Το τρίτο κριτήριο αφορά στη σύνθεση των χρηστών της οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M**.

Το τέταρτο κριτήριο αφορά στο διαχωρισμό των κατευθύνσεων μίας οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M**.

Το πέμπτο κριτήριο αφορά στην παρουσία ή όχι σταθμευμένων οχημάτων στην υπό εξέταση οδό. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M**.

Το έκτο κριτήριο αφορά στο φωτισμό του περιβάλλοντος της υπό εξέταση οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M**.

Το έβδομο κριτήριο αφορά στη δυσκολία οδήγησης που σχετίζεται με το οπτικό πεδίο του οδηγού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M**.

Η επιλογή της κλάσης φωτισμού **C** πραγματοποιείται με το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου και με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$C = 6 - VWS$$

Όπου **C** η αντίστοιχη κλάση φωτισμού και **VWS** το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων. Από τη σχέση προκύπτουν οι κλάσεις C0, C1, C2, C3, C4 και C5.

Ισχύουν τα ακόλουθα:

- Αν $VWS \leq 0$ τότε $VWS=1$
- Αν $C < 0$ τότε $C=0$ (κλάση C0)

Να σημειωθεί πως Δt ορίζονται τα χρονικά διαστήματα από την δύση μέχρι την ανατολή του ηλίου και διαφέρουν από περίπτωση σε περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, στο παράδειγμά μας:

- Δt_1 = Από το χρόνο ενεργοποίησης έως το τέλος της ώρας αιχμής το βράδυ.
- Δt_2 = Από το τέλος της ώρας αιχμής το βράδυ έως το πρωί.
- Δt_3 = Από την αρχή της ώρας αιχμής το πρωί, έως την ώρα απενεργοποίησης.

Πίνακας 6: Επιλογή κλάσης "C"

Κριτήριο	Επιλογές	Περιγραφή	Βάρος	Οδός		
				Δt_1	Δt_2	Δt_3
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$v \geq 100$ km/h	3			
	Υψηλή	$70 < v < 100$ km/h	2			
	Μέση	$40 < v \leq 70$ km/h	0	0	0	0
	Χαμηλή	$v \leq 40$ km/h	-1			
Κυκλοφοριακός Φόρτος	Υψηλός		1	1		
	Μεσαίος		0		0	
	Χαμηλός		-1			-1
Σύνθεση κυκλοφορίας	Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη-μηχανοκίνητων		2			
	Μεικτή		1	1	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα		0			
Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας	Όχι		1	1	1	1
	Ναι		0			
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα		1	1	1	1
	Απόντα		0			
Φωτεινότητα περιβάλλοντος	Υψηλή	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί	1			
	Μέση	Συνήθεις καταστάσεις	0	0	0	0
	Χαμηλή		-1			

Πλοήγηση	Πολύ δύσκολη		2			
	Δύσκολη		1			
	Εύκολη		0	0	0	0
Άθροισμα βαρών (VWS)				4	3	2
Κλάση φωτισμού C (6-VWS)				2	3	4

Σημείωση! Με μωβ χρώμα σημειώνονται οι τιμές του παραδείγματος

Παράδειγμα

Από το συγκεκριμένο παράδειγμα προκύπτουν οι κλάσεις C2, C3 και C4 για τα αντίστοιχα Δt. Έτσι, ανατρέχουμε στον πίνακα έντασης φωτισμού (**Πίνακας 7**).

Πίνακας 7: Κλάσεις φωτισμού για την κατηγορία C, συνάρτησι της έντασης φωτισμού

Κλάση	Ένταση φωτισμού	
	E (lx)	U ₀
C0	50,0	0,4
C1	30,0	0,4
C2	20,0	0,4
C3	15,0	0,4
C4	10,0	0,4
C5	7,5	0,4

Παρότι βλέπουμε ότι από την κλάση C4 στην C2 έχουμε μία αύξηση της τάξης του 100% στην ένταση του φωτισμού, για να εξαγάγουμε την λαμπρότητα θα πρέπει να μας είναι γνωστός ο συντελεστής ανακλαστικότητας του οδοστρώματος **Q₀**.

Κλάση “P”

Το πρώτο κριτήριο αφορά στην ταχύτητα ταξιδιού ή στο όριο ταχύτητας της οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M**.

Το δεύτερο κριτήριο αφορά στον κυκλοφοριακό φόρτο της οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M** αλλά χωρίς εξειδίκευση των ποσοστών του φόρτου.

Το τρίτο κριτήριο αφορά στη σύνθεση των χρηστών της οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M** αλλά με μεγαλύτερη ανάλυση των περιπτώσεων.

Το τέταρτο κριτήριο αφορά στην παρουσία ή όχι σταθμευμένων οχημάτων στην υπό εξέταση οδό. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M**.

Το πέμπτο κριτήριο αφορά στον φωτισμό του περιβάλλοντος της υπό εξέταση οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιεγράφηκε στην κλάση **M**.

Η τελική επιλογή της κλάσης φωτισμού σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείται με το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου και με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$P = 6 - VWS$$

Όπου **P** η αντίστοιχη κλάση φωτισμού και **VWS** το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων. Από τη σχέση αυτή προκύπτουν οι κλάσεις P1, P2, P3, P4, P5, P6 και P7.

Ισχύουν τα ακόλουθα:

- Αν $VWS < 0$ τότε $VWS=0$
- Αν $P = 0$ τότε $P=1$ (κλάση P1)

Να σημειωθεί πως Δt ορίζονται τα χρονικά διαστήματα από την δύση μέχρι την ανατολή του ηλίου και διαφέρουν από περίπτωση σε περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, στο παράδειγμά μας:

- Δt_1 = Από το χρόνο ενεργοποίησης έως το τέλος της ώρας αιχμής το βράδυ.
- Δt_2 = Από το τέλος της ώρας αιχμής το βράδυ έως το πρωί.
- Δt_3 = Από την αρχή της ώρας αιχμής το πρωί, έως την ώρα απενεργοποίησης.

Πίνακας 8: Επιλογή κλάσης "P"

Κριτήριο	Επιλογές	Περιγραφή	Βάρος	Οδός		
				Δt_1	Δt_2	Δt_3
Ταχύτητα ταξιδιού	Χαμηλή	$v \leq 40 \text{ km/h}$	1			
	Πολύ χαμηλή	Πολύ χαμηλή (Ταχύτητα περπατήματος)	0	0	0	0
Ένταση χρήσης	Απασχολημένη		1	1		
	Κανονική		0		0	
	Ήσυχη		-1			-1
Σύνθεση Κυκλοφορίας	Πεζοί, ποδηλάτες και μηχανοκίνητη κυκλοφορία		2			2
	Πεζοί και μηχανοκίνητη κυκλοφορία		1	1	1	
	Πεζοί και ποδηλάτες μόνο		1			
	Πεζοί μόνο		0			
	Ποδηλάτες μόνο		0			
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα		1	1	1	
	Απόντα		0			0
Φωτεινότητα περιβάλλοντος	Υψηλή	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί	1	1		
	Μεσαία	Συνήθεις καταστάσεις	0		0	0
	Χαμηλή		-1			

Αναγνώριση προσώπου	Απαραίτητη		Πρόσθετες απαιτήσεις			
	Μη Απαραίτητη		Μη πρόσθετες απαιτήσεις	0	0	0
Άθροισμα βαρών (VWS)				4	2	1
Κλάση φωτισμού P(6-VWS)				2	4	5

Σημείωση! Με μωβ χρώμα σημειώνονται οι τιμές του παραδείγματος

Σημείωση! Ειδικές οδηγίες για τη χρήση των παραμέτρων αναγνώρισης προσώπου καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο για κάθε χώρα

Παράδειγμα

Από το συγκεκριμένο παράδειγμα προκύπτουν οι κλάσεις P2, P4 και P5 για τα αντίστοιχα Δt. Έτσι, ανατρέχουμε στον πίνακα έντασης φωτισμού (Πίνακας 9).

Πίνακας 9: Κλάσεις φωτισμού για την κατηγορία P, συναρτήσει της έντασης φωτισμού

Κλάση	Ένταση φωτισμού		Πρόσθετες απαιτήσεις όταν είναι απαραίτητη η αναγνώριση προσώπων	
	E (lx)	E _{min} (lx)	E _v (lx)	E _{sc} (lx)
P1	15,0	3,0	5,0	5,0
P2	10,0	2,0	3,0	2,
P3	7,5	1,5	2,5	1,5
P4	5,0	1,0	1,5	1,0
P5	3,0	0,6	1,0	0,6
P6	2,0	0,4	0,6	0,2
P7	Δεν έχει οριστεί			

Οπότε παρατηρούμε ότι από την κλάση P5 στην P2 παρατηρείται συνολική αύξηση της έντασης φωτισμού μεγαλύτερη του 300%.

Ανάλυση Τεχνικών Όρων

MySQL

Η MySQL, είναι το πιο δημοφιλές Σχεσιακό Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων και αναπτύσσεται και διανέμεται την Oracle. Διανέμεται τόσο υπό άδεια ανοιχτού λογισμικού, όσο και υπό εμπορική άδεια, ανάλογα με την περίπτωση. Στην παρούσα εργασία η εφαρμογή αναπτύχθηκε κάτω από την άδεια ανοιχτού λογισμικού. Η αρχιτεκτονική του, η εκτεταμένη επαναχρησιμοποίηση κώδικα και η μινιμαλιστική προσέγγιση που υιοθετήθηκε στην ανάπτυξή του, οδήγησαν στην ανάπτυξη ενός συστήματος που το χαρακτηρίζει η ταχύτητα, η συνοχή, η σταθερότητα και η ευκολία στην εγκατάσταση. Το γεγονός ότι διαχωρίζεται ο κύριος εξυπηρετητής από τη μηχανή αποθήκευσης δεδομένων επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει ανάμεσα στον έλεγχο των συναλλαγών (transaction control) και στην ταχύτητα που προσφέρει η παράκαμψη του ελέγχου των συναλλαγών (transactionless disk access). Η αποθήκευση των στοιχείων του συστήματος γίνεται σε κεντρική βάση δεδομένων.

Η MySQL είναι ένα σημαντικό συστατικό μιας στοίβας προγραμμάτων ανοικτού κώδικα που ονομάζεται LAMP. Το LAMP είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης ιστού που χρησιμοποιεί το Linux ως λειτουργικό σύστημα, τον Apache ως διακομιστή, τη MySQL ως το σύστημα διαχείρισης σχεσιακής βάσης δεδομένων και την PHP ως αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού. Επιτρέπει την αποθήκευση και πρόσβαση σε δεδομένα σε πολλαπλές μηχανές αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένων των InnoDB, CSV και NDB.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του MySQL Server είναι τα ακόλουθα:

- Υποστήριξη της ANSI SQL: Υποστηρίζει ένα ευρύ υποσύνολο της ANSI SQL 99. Η SQL είναι η πρότυπη γλώσσα η οποία χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με μια βάση δεδομένων και καθορίζεται από το πρότυπο ANSI/ISO SQL Standard. Επιπλέον, ο MySQL περιλαμβάνει επεκτάσεις και εναλλακτικές συντάξεις, καθιστώντας εύκολη πιθανή μετάβαση της εφαρμογής σε κάποιο άλλο σύστημα.
- Ανεξαρτησία από πλατφόρμα: Είναι διαθέσιμος για την πλειοψηφία των λειτουργικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα, συμπεριλαμβανομένων των πιο δημοφιλών από αυτά. Επιπλέον, είναι δυνατή η σύνδεση με τον MySQL Server από όλες τις πλατφόρμες χρησιμοποιώντας σχεδόν οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού.
- Διαχωρισμός μηχανής αποθήκευσης από τον κυρίως εξυπηρετητή: Όπως ήδη αναφέρθηκε, χρησιμοποιεί ανεξάρτητες μηχανές αποθήκευσης. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ποια μηχανή αποθήκευσης θα χρησιμοποιήσει ανάλογα με το αν η εφαρμογή του απαιτεί έλεγχο των συναλλαγών με την βάση δεδομένων ή όχι και να κερδίσει είτε σε ασφάλεια, είτε σε ταχύτητα.
- Ευέλικτο σύστημα ασφάλειας και υποστήριξη πρωτοκόλλου SSL: Περιλαμβάνει ένα ανεπτυγμένο σύστημα ασφάλειας και διαχείρισης αδειών πρόσβασης, ενώ υποστηρίζει και το πρωτόκολλο SSL (Secure Sockets Layer) για κρυπτογράφηση των δεδομένων. Από την έκδοση

MySQL 5.0 και μετά προσφέρεται επίσης server-enforced έλεγχος ακεραιότητας και πληρότητας δεδομένων.

- Query Caching: Από την έκδοση 4.0 και μετά, υποστηρίζεται το Query Caching, το οποίο μπορεί να αυξήσει ραγδαία την απόδοση ερωτημάτων που υποβάλλονται συχνά στη βάση δεδομένων, χωρίς να απαιτείται κάποια ιδιαίτερη υλοποίηση. Η αύξηση στην απόδοση εκτιμάται της τάξης του 200% για κάποια τυπική χρήση.
- Αναζήτηση και χρήση ευρετηρίων σε πλήρες κείμενο (Full-text indexing and searching): Καθίσταται πιο αποτελεσματική η αναζήτηση λέξεων και φράσεων μέσα σε κείμενο.
- Υποστήριξη συνόλων χαρακτήρων με πλήρη υποστήριξη Unicode δεδομένων: Υποστηρίζει μεγάλο εύρος συνόλων χαρακτήρων σε επίπεδο βάσης, πίνακα ή πεδίου, καθώς και δυνατότητες μετατροπής από ένα σύνολο σε άλλο. Παράλληλα, έχουν προστεθεί επιπλέον σύνολα χαρακτήρων για υποστήριξη Unicode δεδομένων. Έτσι, είναι δυνατή η αποθήκευση δεδομένων σε μια ποικιλία γλωσσών.
- Υποστήριξη Υποερωτημάτων: Ο προγραμματιστής έχει μεγαλύτερη ευελιξία για τη συγγραφή πιο αποτελεσματικών και αποδοτικών ερωτημάτων προς τη βάση δεδομένων.
- Ταχύτητα, αξιοπιστία και ευκολία στη χρήση: Τα συγκριτικά τεστ που κατά καιρούς δημοσιεύονται κατατάσσουν τον MySQL Server αρκετά υψηλά σε σχέση με τον ανταγωνισμό σε ότι αφορά την αποδοτικότητα και την ταχύτητα. Επιπλέον, προτού οριστικοποιηθεί κάποια έκδοση, διατίθεται στην κοινότητα του ανοιχτού λογισμικού όπου υποβάλλεται σε έλεγχο, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση της αξιοπιστίας και στην μείωση τυχών σφαλμάτων.
- Δυνατότητα χρήσης σε πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική: Ο MySQL Server είναι ένας πολύ-νηματικός (multi-threaded) SQL Server που μπορεί να ενσωματωθεί σε Client/Server ή σε 3-tier αρχιτεκτονικές, όπου η βάση δεδομένων είναι ανεξάρτητη από την υπόλοιπη εφαρμογή.
- Υποστήριξη της XML από το ίδιο το kernel του MySQL και όχι με τη χρήση εξωτερικών προϊόντων: (διαθέτει native XML τύπο δεδομένων, υποστηρίζει XML Schema και XPath, υποστηρίζει update σε επίπεδο τμήματος (subpart) ενός XML αρχείου, διαθέτει XML Developers Kit)
- Υποστήριξη προτύπων (π.χ. ODBC, RPC, XA κλπ)
- Ενσωματωμένο μηχανισμό διαχείρισης μηνυμάτων (message queuing)
- Δυναμική αλλαγή της δομής των πινάκων και των indexes της Β.Δ. χωρίς αποκλειστικό κλείδωμα των πινάκων και των indexes καθ' όλη τη διάρκεια των αλλαγών. Θα παρέχεται δυνατότητα για: online table reorganization, online δημιουργία index και index rebuilds, online table και index shrink.
- Επέκταση με procedural δυνατότητες.

MongoDB

Η MongoDB είναι μια βάση δεδομένων η οποία μπορεί να διαχειριστεί άμεσα και αποδοτικά τεράστιο όγκο εισερχόμενης και εξερχόμενης πληροφορίας, ενώ παράλληλα προσφέρει τεράστια ευελιξία και επεκτασιμότητα. Το μοντέλο εγγραφής που ακολουθεί η MongoDB είναι απλό για τους προγραμματιστές και απαιτεί ελάχιστο χρόνο εκμάθησης προκειμένου να τη χρησιμοποιήσουν σε μια εφαρμογή, παρέχοντας παράλληλα όλες τις δυνατότητες που χρειάζονται για να καλύψουν τις πιο σύνθετες απαιτήσεις σε οποιαδήποτε κλίμακα. Όπως και με τη MySQL, παρέχονται οδηγίες προκειμένου να είναι δυνατή η σύνδεση με όλες τις πλατφόρμες χρησιμοποιώντας σχεδόν οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του MySQL Server είναι τα ακόλουθα:

- Αποθηκεύει δεδομένα σε μια μορφή αντικειμένων, παρόμοια με αυτά σε JSON, που σημαίνει ότι τα πεδία μπορεί να διαφέρουν από εγγραφή σε εγγραφή και ότι η δομή των δεδομένων μπορεί να αλλάξει με τον καιρό. Αυτό σημαίνει ότι η βάση παύει να είναι σχεσιακή και απελευθερώνεται το όριο στην δομή και αρχιτεκτονική του μοντέλου αποθήκευσης.
- Είναι ελεύθερη για χρήση. Οι εκδόσεις που κυκλοφόρησαν πριν από τις 16 Οκτωβρίου 2018 δημοσιεύονται στο πλαίσιο της AGPL. Όλες οι εκδόσεις που κυκλοφόρησαν μετά τις 16 Οκτωβρίου 2018, συμπεριλαμβανομένων διορθώσεων επιδιορθώσεων για προηγούμενες εκδόσεις, δημοσιεύονται στο πλαίσιο της δημόσιας άδειας διακομιστή (SSPL) v1.
- Ειδικά ερωτήματα: Υποστηρίζει αναζήτηση σε πεδία, εύρη και κανονικοποιημένης έκφρασης. Τα ερωτήματα μπορούν να επιστρέψουν συγκεκριμένα πεδία των εγγραφών και επίσης να περιλαμβάνουν λειτουργίες JavaScript αφού πρώτα οριστούν από το χρήστη. Τα ερωτήματα μπορούν επίσης να ρυθμιστούν ώστε να επιστρέφουν ένα τυχαίο δείγμα αποτελεσμάτων ενός δοσμένου μεγέθους.
- Ευρετήρια: μπορούν να χρησιμοποιηθούν πρωτεύοντες και δευτερεύοντες δείκτες, ώστε οι εγγραφές να μετατραπούν σε καταλόγους για ταχύτερη προσπέλαση.
- Αντιγραφή: Παρέχει μια υπηρεσία υψηλής διαθεσιμότητας, στην οποία τα δεδομένα μετά την εγγραφή τους αντιγράφονται σε έναν, ή και περισσότερους προορισμούς. Ένα σετ από συστήματα από αντιγραφές χωρίζεται στο πρωτεύον και στα δευτερεύοντα. Όταν ένα δεδομένο καταστραφεί από το πρωτεύον, τότε ελέγχονται οι εγγραφές των δευτερευόντων και επιλέγεται "έξυπνα" ποιο από αυτά θα αντικαταστήσει το πρωτεύον.
- Εξισορρόπηση φορτίου: Η MongoDB μπορεί να τρέξει σε πολλούς διακομιστές, εξισορροπώντας το φορτίο ή να αντιγράψει τα δεδομένα για να διατηρήσει το σύστημα σε λειτουργία και σε περίπτωση αποτυχίας υλικού. Ο χρήστης επιλέγει ένα κλειδί "shard", το οποίο καθορίζει τον τρόπο κατανομής των δεδομένων μιας συλλογής. Τα δεδομένα χωρίζονται σε εύρη τιμών (με βάση το κλειδί shard) και κατανέμονται σε πολλαπλές θραύσματα.
- Συναλλαγές: Υποστήριξη για συναλλαγές ACID πολλαπλών εγγράφων προστέθηκε στη MongoDB με τη Γενική Διαθεσιμότητα της έκδοσης 4.0 τον Ιούνιο του 2018. Στην πληροφορική, το ACID (ατομικότητα,

συνέπεια, απομόνωση, μονιμότητα) είναι ένα σύνολο ιδιοτήτων το οποίο εγγυάται ότι οι συναλλαγές στην βάση δεδομένων (ΒΔ) λειτουργούν αξιόπιστα. Η ιδέα του ACID είναι να αξιολογεί την δομή βάσεων δεδομένων και εφαρμογών.

JSON

Το JSON (JavaScript Object Notation) είναι ένα ελαφρύ πρότυπο ανταλλαγής δεδομένων. Είναι εύκολο για τους ανθρώπους να το διαβάσουν και γράψουν. Είναι εύκολο για τις μηχανές να το αναλύσουν (parse) και να το παράγουν (generate). Είναι βασισμένο πάνω σε ένα υποσύνολο της γλώσσας προγραμματισμού JavaScript, Standard ECMA-262 Έκδοση 3η - Δεκέμβριος 1999. Το JSON είναι ένα πρότυπο κειμένου το οποίο είναι τελείως ανεξάρτητο από γλώσσες προγραμματισμού αλλά χρησιμοποιεί πρακτικές (conventions) οι οποίες είναι γνωστές στους προγραμματιστές της οικογένειας γλωσσών προγραμματισμού C, συμπεριλαμβανομένων των C, C++, C#, Java, JavaScript, Perl, Python, και πολλών άλλων. Αυτές οι ιδιότητες κάνουν το JSON μια ιδανική γλώσσα προγραμματισμού ανταλλαγής δεδομένων.

Το JSON είναι χτισμένο σε δύο δομές:

- Μια συλλογή από ζευγάρια ονομάτων/τιμών. Σε διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, αυτό αντιλαμβάνεται ως ένα αντικείμενο (object), καταχώριση, δομή, λεξικό, πίνακα κατακερματισμού (hash table), λίστα κλειδιών, ή associative πίνακα.
- Μία ταξινομημένη λίστα τιμών. Στις περισσότερες γλώσσες προγραμματισμού, αυτό αντιλαμβάνεται ως ένας πίνακας (array), διάνυσμα, λίστα, ή ακολουθία.

Αυτά είναι τα universal data structures. Ουσιαστικά όλες οι μοντέρνες γλώσσες προγραμματισμού τα υποστηρίζουν με τον έναν ή τον άλλον τρόπο. Λογικό είναι πως ένα πρότυπο δεδομένων το οποίο είναι εύκολα μεταβαλλόμενο με γλώσσες προγραμματισμού οι οποίες επίσης είναι βασισμένες σε αυτές τις δομές.

Στο JSON, παίρνουν αυτές τις ακόλουθες μορφές:

- Ένα αντικείμενο (object) είναι ένα άτακτο σύνολο από ζευγάρια ονομάτων/τιμών. Ένα αντικείμενο (object) ξεκινάει με αριστερό άγκιστρο ("{"") και τελειώνει με δεξιό άγκιστρο ("}"). Κάθε όνομα ακολουθείται από άνω-κάτω τελεία (":") και τα ζευγάρια ονόματος/τιμής χωρίζονται από κόμμα (",").
- Ένας πίνακας (array) είναι μια συλλογή από τιμές σε σειρά. Ένας πίνακας (array) ξεκινάει με αριστερή αγκύλη ("["") και τελειώνει με δεξιά αγκύλη ("]"). Οι τιμές χωρίζονται με κόμμα (",").
- Μία τιμή μπορεί να είναι απλό κείμενο (string) μέσα σε διπλά εισαγωγικά (quotes, """), ή αριθμός (number), ή αληθοτιμές (true/false) ή null, ή αντικείμενο (object) ή πίνακας (array). Αυτές οι τιμές μπορεί να είναι και ανακατεμένες.
- Ένα string είναι μια συλλογή από μηδέν ή περισσότερους Unicode χαρακτήρες, μέσα σε διπλά εισαγωγικά, χρησιμοποιώντας αντίστροφους κάθετους (backslash, "\") για εισαγωγή ειδικών

χαρακτήρων (escape characters). Ένας χαρακτήρας αντιπροσωπεύεται ως ένας μονός χαρακτήρας string. Ένα string μοιάζει πολύ σαν ένα C ή Java string.

- Ένας αριθμός (number) μοιάζει πάρα πολύ με ένα αριθμό στη C ή Java, με την διαφορά πως τα οκταδικά και δεκαεξαδικά συστήματα δεν χρησιμοποιούνται.

Python

Η Python είναι διερμηνυόμενη (interpreted), γενικού σκοπού (general-purpose) και υψηλού επιπέδου, γλώσσα προγραμματισμού. Ανήκει στις γλώσσες προστακτικού προγραμματισμού (Imperative programming) και υποστηρίζει τόσο το διαδικαστικό (procedural programming) όσο και το αντικειμενοστρεφές (object-oriented programming) προγραμματιστικό υπόδειγμα (programming paradigm). Είναι δυναμική γλώσσα προγραμματισμού (dynamically typed) και υποστηρίζει συλλογή απορριμμάτων (garbage collection ή GC) για την διαχείριση της μνήμης.

Ο κύριος στόχος της είναι η αναγνωσιμότητα του κώδικά της και η ευκολία χρήσης της. Το συντακτικό της επιτρέπει στους προγραμματιστές να εκφράσουν έννοιες σε λιγότερες γραμμές κώδικα από ότι θα ήταν δυνατόν σε γλώσσες όπως η C++ ή η Java. Διακρίνεται λόγω του ότι έχει πολλές βιβλιοθήκες που διευκολύνουν ιδιαίτερα αρκετές συνηθισμένες εργασίες και για την ταχύτητα εκμάθησής της.

Οι διερμηνευτές της Python είναι διαθέσιμοι για εγκατάσταση σε πολλά λειτουργικά συστήματα, επιτρέποντας στην Python την εκτέλεση κώδικα σε ευρεία γκάμα συστημάτων. Χρησιμοποιώντας εργαλεία τρίτων, όπως το Py2exe ή το Pyinstaller, ο κώδικας της Python μπορεί να πακεταριστεί σε αυτόνομα εκτελέσιμα προγράμματα για μερικά από τα πιο δημοφιλή λειτουργικά συστήματα, επιτρέποντας τη διανομή του βασισμένου σε Python λογισμικού για χρήση σε αυτά τα περιβάλλοντα χωρίς να απαιτείται εγκατάσταση του διερμηνευτή της Python.

Η Python αναπτύσσεται ως ανοιχτό λογισμικό (open source) και η διαχείρισή της γίνεται από τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό Python Software Foundation. Ο κώδικας διανέμεται με την άδεια Python Software Foundation License η οποία είναι συμβατή με την GPL. Το όνομα της γλώσσας προέρχεται από την ομάδα των Άγγλων κωμικών Μόντυ Πάιθον και δεν έχει καμιά σχέση με το φίδι πύθωνα, παρότι το λογότυπό της παραπέμπει σε κάτι τέτοιο.

Οι τύποι δεδομένων της Python διακρίνονται στους αρχέγονους (primitive data type), στις πιο σύνθετες δομές δεδομένων (λίστες, πλειάδες, σύνολα, λεξικά) και, λόγω των αντικειμενοστρεφών δυνατοτήτων της, στις κλάσεις (classes). Λόγω του ότι η Python είναι δυναμική γλώσσα δεν δηλώνονται οι τύποι των μεταβλητών πριν χρησιμοποιηθούν. Ο τύπος που τους αποδίδεται εξαρτάται από την τιμή που θα πάρουν κατά την διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος. Όταν χρησιμοποιηθεί (πχ. σε έκφραση ή συνάρτηση) πρέπει να έχει πάρει τιμή γιατί ο διερμηνευτής (interpreter) δίνει λάθος που το ονομάζει NameError. Γι' αυτό το λόγο η Python υποστηρίζει τον ιδιαίτερο τύπο NoneType.

Οι αρχέγονοι τύποι είναι:

- int (ακέραιος).
- float (κινητής υποδιαστολής).
- str(συμβολοσειρά ή string).
- bool. Ο λογικός τύπος (Boolean) μεταβλητής με τιμές True ή False.
- NoneType. Αυτός ο τύπος μεταβλητής παίρνει την τιμή None με ανάθεση (assignment, = None) και αντιμετωπίζεται, στον σχεδιασμό του προγράμματος, σαν μεταβλητή που δεν έχει τιμή. None επιστρέφουν και οι συναρτήσεις που δεν επιστρέφουν τιμή (δεν έχουν return <έκφραση>), όπως για παράδειγμα η print().
- Δεν έχει μεταβλητή τύπου Character (όπως για παράδειγμα η C/C++). Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται η μεταβλητή String με ένα χαρακτήρα.

Η συνάρτηση type() μας επιστρέφει τον τύπο της μεταβλητής. Αν η μεταβλητή δεν έχει πάρει τιμή μας επιστρέφει NoneType.

Οι ενσωματωμένες δομές δεδομένων είναι:

- Λίστα (List): Η λίστα υλοποιεί τον γνωστό αφηρημένο τύπο δεδομένων. Μοιάζει με την δομή του πίνακα (array), αλλά σε αντίθεση με αυτόν μπορεί να περιέχει ανομοιογενή αντικείμενα (items) ή αλλιώς στοιχεία (elements), τα οποία μπορεί να είναι οποιαδήποτε δομή δεδομένων (ακόμα και λίστα). Όπως στους πίνακες τα στοιχεία είναι διατεταγμένα σε συγκεκριμένη σειρά, προσπελάσιμα με δείκτες και επιτρέπεται η επανάληψη τους. Ορίζεται με ένα ζευγάρι τετραγωνισμένων αγκύλων [] και με τα στοιχεία να χωρίζονται μεταξύ τους με κόμμα, πχ. η ακολουθία [<στοιχείο1>, ..., <στοιχείοN>] ορίζει μια λίστα N στοιχείων. Μπορεί να οριστεί μια κενή λίστα μόνο με τις αγκύλες και χωρίς περιεχόμενο.
- Πλειάδα (Tuple): Η πλειάδα υλοποιεί την αντίστοιχη μαθηματική έννοια της πλειάδας. Είναι μια πεπερασμένη ακολουθία στοιχείων διατεταγμένων σε συγκεκριμένη σειρά και μοιάζει πολύ με την λίστα (list). Ορίζεται με ένα ζευγάρι παρενθέσεων () και με τα στοιχεία να χωρίζονται μεταξύ τους με κόμμα, πχ. η ακολουθία (<στοιχείο1>, ..., <στοιχείοN>) ορίζει μια πλειάδα N στοιχείων. Αν το επιτρέπουν τα συμφραζόμενα μπορούν να παραληφθούν οι παρενθέσεις. Διαφέρει από την δομή της λίστας στο ότι η πλειάδα είναι στατική ή αλλιώς αμετάβλητη (immutable) δομή δεδομένων, καθώς αφού δημιουργηθεί δεν μπορεί να μεταβληθεί.
- Σύνολο (Set):
- Λεξικό (Dictionary): Το λεξικό (dictionary) είναι μια δομή δεδομένων για την αποθήκευση ζευγαριών τιμών της μορφής κλειδί : τιμή (key : value). Ορίζεται με ένα ζευγάρι αγκύλων {} και με τα ζευγάρια να χωρίζονται μεταξύ τους με κόμμα, πχ. η ακολουθία { κλειδί1 : τιμή1, ..., κλειδίN : τιμήN } ορίζει ένα λεξικό N ζευγαριών. Ανάμεσα στο κλειδί και την τιμή υπάρχει η άνω-κάτω τελεία (:). Τα κλειδιά πρέπει να είναι μοναδικά γιατί χρησιμεύουν στην προσπέλαση της αντίστοιχης τιμής. Τα κλειδιά πρέπει να είναι στατικοί ή αλλιώς αμετάβλητοι (immutable) τύποι δεδομένων, όπως ακέραιοι αριθμοί, συμβολοσειρές, αμετάβλητες πλειάδες (όταν όλα τα στοιχεία της πλειάδας είναι αμετάβλητα).

Σημαντικό που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι η στοίχιση στα αριστερά ή αλλιώς οι αριστερές εσοχές (indentation) έχουν μεγάλη σημασία γιατί ορίζουν τα block (ομαδοποίηση) του κώδικα. Αυτό σε άλλες γλώσσες, όπως C και Java

επιτυγχάνεται με την χρήση των αγκύλων { }. Στην Python το block κώδικα αρχίζει εκεί που η αριστερή εσοχή αυξάνεται προς τα δεξιά και τελειώνει εκεί που καταργείται η εσοχή. Εσοχή μέσα σε εσοχή σημαίνει block μέσα σε block (nested blocks). Η εσοχή μπορεί να είναι οσοδήποτε μεγάλη ή μικρή - του ίδιου πάντα μεγέθους - αλλά συνιστάται η χρήση 4 κενών χαρακτήρων (spacebars) για ευκολότερη αναγνωσιμότητα του κώδικα.

PHP

Η PHP, της οποίας τα αρχικά αντιπροσωπεύουν το "PHP: Hypertext Preprocessor" είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη, ανοιχτού κώδικα, γενικού σκοπού scripting γλώσσα προγραμματισμού, η οποία είναι ειδικά κατάλληλη για ανάπτυξη εφαρμογών για το Web και μπορεί να ενσωματωθεί στην HTML. Αντί να γράφουμε ένα πρόγραμμα με πολλές εντολές για να εξαχθεί HTML, γράφεται ένα HTML script με κάποιο ενσωματωμένο κώδικα. Ο κώδικας PHP είναι εσώκλειστος σε ειδικά tags (ετικέτες) αρχής και τέλους που επιτρέπουν τη "μετάφραση" μέσα και έξω από το "PHP mode" (PHP τρόπο λειτουργίας).

Αυτό που διαχωρίζει την PHP από π.χ. την client-side Javascript είναι ότι ο κώδικας εκτελείται στον server (εξηγηρητή). Αν υπάρχει ένα script στον server, ο client θα έπαιρνε τα αποτελέσματα της εκτέλεσης αυτού του script, χωρίς να υπάρχει κανένας τρόπος να καταλάβει τι κώδικας υπάρχει από πίσω. Ο χρήστης όταν συνδέεται στον απομακρυσμένο διακομιστή ιστοσελίδων καλεί ένα σενάριο εντολών php το οποίο χρησιμοποιώντας δεδομένα από τον σκληρό δίσκο (συνήθως πολυμεσικά αρχεία - εικόνες - ήχους) και την βάση MySQL δημιουργεί την σελίδα δυναμικά. Στις δυναμικές ιστοσελίδες αν ο διαχειριστής θέλει να αλλάξει την γενική γραφική παρουσίαση, απλά τροποποιεί το κώδικα php και όλη η ιστοσελίδα αποκτά διαφορετική εμφάνιση (σε αντίθεση με τις στατικές ιστοσελίδες όπου πρέπει να αλλάξουν όλες οι τοπικά αποθηκευμένες σελίδες html).

Η PHP υποστηρίζει τους εξής τύπους δεδομένων:

- Πίνακας (array)
- Αριθμοί κινητής υποδιαστολής (floating-point numbers)
- Ακέραιοι αριθμοί (integers)
- Αντικείμενα (objects)
- Χαρακτήρες (string)

Ο τύπος δεδομένων μιας μεταβλητής δεν ορίζεται συνήθως από τον προγραμματιστή αλλά αποφασίζεται την ώρα εκτέλεσης (runtime) από την PHP ανάλογα με το περιβάλλον (context) στο οποίο χρησιμοποιείται η μεταβλητή. Αν θέλουμε να κάνουμε μια μεταβλητή να μετατραπεί σ' έναν συγκεκριμένο τύπο, μπορούμε είτε να μετατρέψουμε (cast) τη μεταβλητή ή να χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση "settype()" σ' αυτή. Πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι μια μεταβλητή μπορεί να συμπεριφερθεί διαφορετικά σε συγκεκριμένες καταστάσεις, ανάλογα με το τι τύπο δεδομένων έχει εκείνη την στιγμή και αυτό γιατί όλες οι μεταβλητές αποτελούν απλά θέσεις στην μνήμη και αντιμετωπίζονται σαν "pointers" από την PHP.

HTML

Η HTML είναι το ακρωνύμιο των λέξεων *HyperText Markup Language* (γλώσσα μορφοποίηση υπερκειμένου) και είναι η βασική γλώσσα δόμηση σελίδων του *World Wide Web* (ή απλά ιστού: Web). Είναι μία γλώσσα προγραμματισμού. Χρησιμοποιείται για να σημαίνει ένα τμήμα κειμένου και να το κάνει να εμφανίζεται καλύτερα. Επιτρέπει την ενσωμάτωση ήχου και εικόνων στις web σελίδες. Αρχικά είχε κατασκευασθεί με σκοπό μόνο την μορφοποίηση κειμένου, αλλά μεγάλωσε και ενσωμάτωσε σχεδιαστικές τεχνικές κ.α.

Η γλώσσα χρησιμοποιεί ένα αριθμό από *tags* για την μορφοποίηση κειμένου, για την δημιουργία συνδέσμων (*links*) μετάβασης ανάμεσα των σελίδα, για την εισαγωγή εικόνων, ήχου κ.α. Οι ετικέτες HTML συνήθως λειτουργούν ανά ζεύγη (για παράδειγμα `<h1>` και `</h1>`), με την πρώτη να ονομάζεται ετικέτα έναρξης και τη δεύτερη ετικέτα λήξης (ή σε άλλες περιπτώσεις ετικέτα ανοίγματος και ετικέτα κλεισίματος αντίστοιχα). Ανάμεσα στις ετικέτες, οι σχεδιαστές ιστοσελίδων μπορούν να τοποθετήσουν κείμενο, πίνακες, εικόνες κλπ.

Ο σκοπός ενός web browser είναι να διαβάσει τα έγγραφα HTML και να τα συνθέσει σε σελίδες που μπορεί κανείς να διαβάσει ή να ακούσει. Ο browser δεν εμφανίζει τις ετικέτες HTML, αλλά τις χρησιμοποιεί για να παρουσιάσει το περιεχόμενο της σελίδας. Στην HTML, επίσης, ορίζονται μερικοί τύποι δεδομένων για το περιεχόμενο των στοιχείων, όπως σενάρια εντολών ή *stylesheet*, και μια πληθώρα τύπων για τις τιμές των ιδιοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των ID, των name, των URI, διαφόρων αριθμών και μονάδων μήκους, γλωσσών, τύπων αρχείων πολυμέσων, χρωμάτων, κωδικοποιήσεων χαρακτήρων, ημερομηνιών κλπ.

Στην πέμπτη και τελευταία έκδοση της HTML, την HTML5 δηλαδή, συστήνονται δύο έννοιες. Πρόκειται για μια νέα έκδοση, με νέα στοιχεία, χαρακτηριστικά και συμπεριφορά, καθώς και ένα ευρύτερο σύνολο τεχνολογιών που επιτρέπει την κατασκευή πιο διαφορετικών και ισχυρών ιστοσελίδων και εφαρμογών.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της HTML5 Server είναι τα ακόλουθα:

- Έχει εισαγάγει νέες λειτουργίες για την προσαρμογή πολυμέσων που υποστηρίζουν στοιχεία ελέγχου ήχου και βίντεο χρησιμοποιώντας τις ετικέτες `<audio>` και `<video>`.
- Υπάρχουν νέα στοιχεία γραφικών συμπεριλαμβανομένων διανυσματικών γραφικών και ετικετών με την ετικέτα `<canvas>`.
- Εμπλουτίστε το σημασιολογικό περιεχόμενο συμπεριλαμβάνοντας τις ετικέτες `<header>`, `<footer>`, `<article>`, `<section>` και `<figure>`.
- Drag and Drop: Ο χρήστης μπορεί να τραβήξει ένα αντικείμενο και να το σύρει σε μια νέα θέση.
- Υπηρεσίες γεωγραφικού εντοπισμού: Βοηθά στον εντοπισμό της γεωγραφικής θέσης ενός χρήστη, ή καλύτερα, της συσκευής την οποία χρησιμοποιεί.
- Αποθήκευση στο Web: Παρέχει μεθόδους κατά τις οποίες ο προγραμματιστής έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει για την αποθήκευση δεδομένων στο πρόγραμμα περιήγησης ιστού (browser) που χρησιμοποιεί ο τελικός χρήστης. Μία από αυτές είναι και μία βάση δεδομένων SQL η οποία τρέχει τοπικά στον browser, ακόμη και αν δεν υπάρχει πρόσβαση στο διαδίκτυο.

- Δυνατότητα χειρισμού λανθασμένης σύνταξης: Ο parser ελέγχει για συντακτικά λάθη στις ετικέτες και στις ιδιότητές τους και στην περίπτωση που εντοπιστεί ένα απ' αυτά, προσαρμόζει το περιεχόμενο κατάλληλα, ώστε να συνεχίσει να προβάλλεται στον χρήστη.

CSS

Το CSS (Cascading Style Sheets) είναι αυτό που καθορίζει πως εμφανίζονται στον επισκέπτη μιας σελίδας τα διάφορα στοιχεία της HTML. Προστέθηκε στην HTML 4.0 για να επιλύσει το πρόβλημα της μορφοποίησης των σελίδων, σώζοντας τους σχεδιαστές από πολύ κόπο και πολύ χρόνο, μειώνοντας σημαντικά τον όγκο της εργασίας. Αυτό γιατί η HTML δεν δημιουργήθηκε για να περιέχει ετικέτες μορφοποίησης για ένα online έγγραφο. Στόχος της ήταν να δομεί το περιεχόμενο του εγγράφου με ετικέτες

Όταν ετικέτες όπως η `< font >` και τα χρωματικά στοιχεία προστέθηκαν στην έκδοση HTML 3.2, ξεκίνησε ο "εφιάλης" για τους web developers. Η ανάπτυξη πολύ μεγάλων sites, στα οποία οι γραμματοσειρές και τα χρώματα έπρεπε να προστεθούν σε κάθε σελίδα χωριστά, έγινε μια χρονοβόρα και κοστοβόρα διαδικασία.

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, το World Wide Web Consortium (W3C) δημιούργησε το CSS. Στην έκδοση HTML 4.0, όλη η μορφοποίηση αφαιρέθηκε από το έγγραφο HTML και αποθηκεύτηκε σε χωριστό CSS αρχείο. Όλα εκείνα τα στοιχεία που σχετίζονται με τη μορφοποίηση του εγγράφου αποθηκεύονται πλέον σε εξωτερικά .css αρχεία. Με ένα εξωτερικό style sheet αρχείο, μπορείτε να αλλάξετε τη μορφοποίηση ολόκληρου του website αλλάζοντας μόνο ένα αρχείο!

Το πρότυπο css για να επιλύσει παρόμοιες συγκρούσεις έχει καθορίσει μια αλληλουχία – σειρά – στην οποία θα μπουν αυτές οι δηλώσεις και με βάση την οποία θα επιλεγεί πχ η δήλωση που είναι πρώτη στη σειρά.

Ο αλγόριθμος δημιουργίας αυτής της αλληλουχίας (σειράς) είναι ο ακόλουθος:

1. Βρες όλες τις δηλώσεις που εφαρμόζονται στο στοιχείο που μας ενδιαφέρει. Οι δηλώσεις εφαρμόζονται στο στοιχείο αν ο επιλογέας του το επιλέξει (ταιριάζει με αυτό).
2. Ταξινόμησε με βάση τη σημασία (κανονική ή σημαντική) και τη προέλευση (συγγραφέας, χρήστη ή πλοηγός χρήστη). Με αύξουσα σειρά προτεραιότητας:
 - a. Δηλώσεις πλοηγού χρήστη
 - b. Κανονικές δηλώσεις χρήστη
 - c. Κανονικές δηλώσεις συγγραφέα
 - d. Σημαντικές δηλώσεις συγγραφέα
 - e. Σημαντικές δηλώσεις χρήστη
3. Ταξινόμησε τις δηλώσεις ίδιας σημασίας και προέλευσης με κριτήριο την εξειδίκευση του επιλογέα: οι πιο εξειδικευμένοι επιλογείς υπερισχύουν των πιο γενικών. Τα ψευδο-στοιχεία και οι ψευδο-κλάσεις λογαριάζονται σαν κανονικά στοιχεία και κλάσεις αντίστοιχα.
4. Τέλος ταξινόμησε ανάλογα με τη σειρά καθορισμού: αν δύο δηλώσεις έχουν το ίδιο βάρος, προέλευση και εξειδίκευση, αυτή που

προσδιορίστηκε τελευταία επικρατεί. Οι δηλώσεις σε εισαγόμενα φύλλα ύφους θεωρούνται ότι δηλώνονται πριν από τις δηλώσεις στο ίδιο το φύλλο ύφους.

Αφού λοιπόν προκύψει μια σειρά-αλληλουχία κανόνων εμφάνισης που αφορούν το ίδιο στοιχείο θα επιλεγεί προς εφαρμογή (για την αποφυγή συγκρούσεων) η δήλωση που θα είναι τελευταία στην σειρά που αναλύθηκε πιο πάνω.

JavaScript

Η JavaScript (JS) είναι μία διερμηνευμένη γλώσσα προγραμματισμού για ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Αρχικά αποτέλεσε μέρος της υλοποίησης των προγραμμάτων περιήγησης ιστών (browsers), ώστε τα σενάρια από την πλευρά του πελάτη (client-side scripts) να μπορούν να επικοινωνούν με τον χρήστη, να ανταλλάσσουν δεδομένα ασύγχρονα και να αλλάζουν δυναμικά το περιεχόμενο του εγγράφου που εμφανίζεται. Αυτό σημαίνει ότι η επεξεργασία του κώδικα JavaScript και η παραγωγή του τελικού περιεχομένου HTML δεν πραγματοποιείται στο διακομιστή, αλλά στο πρόγραμμα περιήγησης, ενώ μπορεί να ενσωματωθεί σε στατικές σελίδες HTML.

Η JavaScript είναι μια γλώσσα σεναρίων που βασίζεται στα πρωτότυπα (prototype-based), είναι δυναμική, με ασθενείς τύπους και έχει συναρτήσεις ως αντικείμενα πρώτης τάξης, ενώ η σύνταξή της είναι επηρεασμένη από τη C. Η JavaScript αντιγράφει πολλά ονόματα και συμβάσεις ονοματοδοσίας από τη Java, αλλά γενικά οι δύο αυτές γλώσσες δε σχετίζονται και έχουν πολύ διαφορετική σημασιολογία και γι' αυτό δεν θα πρέπει να τίθεται θέμα συσχέτισης. Οι βασικές αρχές σχεδιασμού της JavaScript προέρχονται από τις γλώσσες προγραμματισμού Self και Scheme. Είναι γλώσσα βασισμένη σε διαφορετικά προγραμματιστικά παραδείγματα (multi-paradigm), υποστηρίζοντας αντικειμενοστρεφές, προστακτικό και συναρτησιακό στυλ προγραμματισμού. Χρησιμοποιείται και σε εφαρμογές εκτός ιστοσελίδων όπως για παράδειγμα τα έγγραφα PDF, οι μικρές εφαρμογές της επιφάνειας εργασίας (desktop widgets) και οι εφαρμογές για έξυπνες συσκευές.

Τα πλεονεκτήματα της JavaScript, τα οποία την καθιστούν τόσο δημοφιλή ανάμεσα στους προγραμματιστές, είναι τα εξής:

- Επεξεργασία από την Πλευρά του Πελάτη: Αυτό σημαίνει ότι ο κώδικας εκτελείται από τον επεξεργαστή του χρήστη, αντί του εξυπηρετητή ιστού, εξοικονομώντας έτσι το εύρος ζώνης της σύνδεσης και περιορίζοντας την υπερφόρτωση του εξυπηρετητή.
- Η εκμάθησή της είναι απλή: Η σύνταξη αυτής της γλώσσας είναι παρόμοια με τα απλά Αγγλικά, καθιστώντας την εκμάθησή της ευκολότερη για τους προγραμματιστές.
- Εκτεταμένη Λειτουργικότητα για Ιστοσελίδες: Οι προσθήκες τρίτων βοηθούν τους προγραμματιστές JavaScript να γράψουν αποσπάσματα κώδικα, τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθούν στις ιστοσελίδες, όπου χρειάζεται.
- Η Υλοποίησή της είναι Απλή: Η δυνατότητα χρήσης της ίδιας γλώσσας στην κεντρική σελίδα που βλέπει ο χρήστης και το διαχειριστικό τμήμα, καθιστά την εργασία των ομάδων προγραμματισμού ευκολότερη.

- Οικονομική Γλώσσα: Δεν απαιτεί κανέναν ειδικό μεταγλωττιστή ή συντάκτη. Το μόνο που χρειάζεστε είναι ένας προγραμματιστής, ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου και έναν περιηγητή για να “τρέξει” τον κώδικα JavaScript.
- Σχετικά γρήγορη για τον τελικό χρήστη: Δεν χρειάζεται, πλέον, οι επισκέπτες να συμπληρώσουν μία ολόκληρη φόρμα και να την υποβάλλουν, για να μάθουν πως υπάρχει κάποιο τυπογραφικό λάθος στο πρώτο πεδίο και ότι θα πρέπει να συμπληρώσουν ολόκληρη τη φόρμα ξανά. Με τη JavaScript, κάθε πεδίο μπορεί να επαληθεύεται καθώς συμπληρώνεται από τους χρήστες, γεγονός που παρέχει άμεση ανατροφοδότηση, όταν αυτοί κάνουν κάποιο λάθος.
- Περιηγητές με ενσωματωμένη JavaScript: Οι χρήστες του ιστότοπου δεν χρειάζονται ειδικό λογισμικό και λήψεις προγραμμάτων για να δουν τη JavaScript, έτσι κάθε χρήστης έχει την ίδια εμπειρία.