



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχεδίαση και υλοποίηση συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας για το φωτισμό εθνικών οδών

Πτυχιακή Εργασία

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Λάρισα 2024

Συνεργάτες:

- Καλεδτζή Μεμετ Μεχμέτ, 2919156

Επίβλεψη: **Θεοδοσίου Θεοδόσιος**, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνω ότι ο κάτωθι υπογράφων είμαι συγγραφέας της παρούσης πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντας καθηγητή μου, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνω πως κάθε πηγή που χρησιμοποίησα (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυολογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της ερευνάς μου, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και, επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πινάκων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμένα.

ΕΠΩΝΥΜΟ	ΚΑΛΕΔΤΖΗ MEMET
ΟΝΟΜΑ	MEXMET
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ	2919156
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	25/06/2024
ΥΠΟΓΡΑΦΗ	

© 2024, ΚΑΛΕΔΤΖΗ MEMET MEXMET

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ.202 παρ. 2).

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Πίνακας Πινάκων	4
Πίνακας Εικόνων	4
Πίνακας Διαγραμμάτων	4
Περίληψη	5
Abstract	5
1.Εισαγωγή.....	6
1.1 Κίνητρα.....	6
1.2 Στόχοι.....	7
2. Βιβλιογραφική Έρευνα	8
2.1 Έξυπνα Συστήματα Φωτισμού: Βασικές Έννοιες	8
2.2 Ανασκόπηση προηγούμενων έργων	9
2.2.1 Σύνοψη Έργων	9
2.2.2 Ανάλυση των έργων.....	10
2.3 Χρήση του Arduino σε Έξυπνα Συστήματα Φωτισμού.....	12
2.3.1 Συστήματα ανίχνευσης Οχημάτων	12
2.3.2 Τεχνολογίες Επικοινωνίας	14
3. Επεξήγηση Εξαρτημάτων και ενότητας εργασίας	15
3.1 Έξυπνα συστήματα & Arduino.....	16
3.2 Συστατικά	16
3.3 Εξήγηση του συστήματος	19
3.4 Διάγραμμα συστήματος	20
4. Σχεδιασμός υλικού	22
4.1 Εισαγωγή.....	22
4.2 Σύνδεση και τοποθέτηση εξαρτημάτων	23
4.3 Κώδικας του Συστήματος	25
4.4 Λειτουργία του συστήματος.....	26
4.5 Ενεργειακή Αποδοτικότητα του Προτεινόμενου Συστήματος	27
5.Συμπεράσματα.....	30
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	30

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1.Εξαρτήματα και στόχοι των έργων	10
Πίνακας 2.Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των έργων	11
Πίνακας 3.Συστήματα Ανίχνευσης Οχημάτων.....	13
Πίνακας 4.Συστήματα Ασύρματων Συσκευών Επικοινωνίας	14

Πίνακας Εικόνων

Σχήμα 1.Τεχνολογίες Επικοινωνίας και Αισθητήρες. (Singh et al. 2021)	9
Σχήμα 2.Έξυπνο φωτισμό βασισμένο με LoRa και IoT. (Zhang et al. 2022)	15
Σχήμα 3.Πλακέτα Arduino. (('Arduino UNO R3' 2024).....	16
Σχήμα 4. Αισθητήρας Υπερήχων.(‘GROBOTRONICS’ 2024)	17
Σχήμα 5..Φωτοευαίσθητος αντιστάτης LDR.(‘Light Dependent 5528 Photosensitive Resistor (Photoresistor) - LDR COM22, R22’ 2024).....	17
Σχήμα 6. LED (‘Electronics World’, n.d.).....	18
Σχήμα 7.Αντιστάσεις (‘GROBOTRONICS’ 2024).....	18
Σχήμα 8.Καλώδια Jumper (‘PRT-11026 - SparkFun Electronics’, n.d.).....	18
Σχήμα 9.Breadboard (‘Robobee’, n.d.).....	19
Σχήμα 10. Μπαταρία 9V (‘Stationery & Printers’, n.d.)	19
Σχήμα 11.Παράδειγμα λειτουργίας συστήματος. (‘Aane Wala Tech, Jhansi - Order Online’ 2024).	20
Σχήμα 12.Διάγραμμα ροής συστήματος έξυπνου οδικού φωτισμού LED(‘Canva-Free Online Block Diagram Maker’ 2024).....	21
Σχήμα 13.Δομικό διάγραμμα συστήματος έξυπνου οδικού φωτισμού οδών(‘Canva-Free Online Block Diagram Maker’ 2024)	22
Σχήμα 14. Συνδεσμολογία του συστήματος. (‘Tinkercad’, n.d.)	23
Σχήμα 15.Σύνδεση των βασικών εξαρτημάτων, αισθητήρας υπερήχων , φωτοευαίσθητης αντιστάτης και μπαταρίας.	25
Σχήμα 16.Κωδικοποίηση του συστήματος.....	26
Σχήμα 17.Ανίχνευση των αισθητήρων υπερήχων και ενεργοποίηση των ομάδων LED.....	27

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.Χρήση Ενέργειας στο Σενάριο 1.....	28
Διάγραμμα 2.Χρήση Ενέργειας στο Σενάριο 2.....	29

Περίληψη

Αυτή η πτυχιακή εργασία εξετάζει τον σχεδιασμό και την εφαρμογή ενός καινοτόμου συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας για τον φωτισμό αυτοκινητοδρόμων, χρησιμοποιώντας ένα πρωτότυπο. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα χρησιμοποιεί αισθητήρες για να ανιχνεύει την κίνηση των οχημάτων και, ανάλογα με την ανιχνευθείσα κίνηση, φωτίζει την αντίστοιχη περιοχή, με στόχο την εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Η μελέτη περιγράφει λεπτομερώς τη σύνδεση και την τοποθέτηση των διαφόρων εξαρτημάτων του συστήματος, παρουσιάζει τα αποτελέσματα της λειτουργίας του και εισέρχεται σε σημαντικές συζητήσεις που αφορούν την εφαρμογή και την αποτελεσματικότητά του. Τα συμπεράσματα δείχνουν ότι το σύστημα αυτό έχει τεράστιες εφαρμογές στον τομέα της ασφάλειας και του αυτοματισμού, ενώ υπάρχει μεγάλο περιθώριο για περαιτέρω βελτίωση και επέκταση των δυνατοτήτων του.

Λέξεις-κλειδιά: Φωτισμός αυτοκινητοδρόμων; Αισθητήρες; εξοικονόμηση ενέργειας

Abstract

This thesis uses a prototype to examine the design and implementation of an innovative energy saving system for highway lighting. More specifically, the system uses sensors to detect the movement of vehicles and then, depending on the detected movement, illuminates the corresponding area, thus aiming to save significant amounts of energy. This study describes in detail the connection and placement of the various components of the system, presents the results obtained from its operation and enters into important discussions concerning its implementation and effectiveness. The resulting conclusions conclude that this system has huge applications in the field of security and automation, while there is a lot of room for further improvement and expansion of its capabilities.

Keywords: Highway Lighting; sensors; energy saving

1.Εισαγωγή

Η κλιμακούμενη παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια, σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες περιβαλλοντικές ανησυχίες, έχουν υποκινήσει την ανάγκη για καινοτόμες προσεγγίσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας. Ένας σημαντικός τομέας όπου μπορεί να επιτευχθεί ενεργειακή βελτιστοποίηση είναι οι δημόσιες υποδομές, ιδιαίτερα τα συστήματα φωτισμού αυτοκινητοδρόμων. Τα παραδοσιακά συστήματα φωτισμού αυτοκινητοδρόμων συχνά λειτουργούν με σταθερά χρονοδιαγράμματα, ανεξάρτητα από τις πραγματικές απαιτήσεις φωτισμού, οδηγώντας σε σημαντικές ποσότητες κατανάλωσης ενέργειας. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η αναποτελεσματικότητα, η ενσωμάτωση των έξυπνων τεχνολογιών στα συστήματα φωτισμού αυτοκινητοδρόμων έχει γίνει κομβικό σημείο για έρευνα και ανάπτυξη.

1.1 Κίνητρα

Η επιτακτική ανάγκη για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εθνικών οδών αποτελεί το βασικό κίνητρο για την ανάπτυξη και εφαρμογή έξυπνων συστημάτων φωτισμού αυτοκινητοδρόμων. Τα υπάρχοντα συστήματα φωτισμού, λόγω της αδυναμίας προσαρμογής στις πραγματικές ανάγκες φωτισμού, καταναλώνουν υπερβολική ενέργεια, αυξάνοντας έτσι τα κόστη και την περιβαλλοντική επιβάρυνση. Επίσης, η τεχνολογική πρόοδος στα ηλεκτρονικά συστήματα και η ευρεία διάδοση μικροελεγκτών, αισθητήρων και τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας παρέχουν νέες δυνατότητες για την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και ευέλικτων συστημάτων φωτισμού. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών μπορεί να συμβάλλει στην επίτευξη βιώσιμων και έξυπνων πόλεων.

Η επιλογή αυτού του θέματος προέκυψε από την αναγνώριση της ανάγκης για πιο αποδοτικά και ευφυή συστήματα φωτισμού που όχι μόνο θα εξοικονομούν ενέργεια αλλά και θα βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των πολιτών. Η δυνατότητα να συμβάλουμε στην ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος, το οποίο θα μπορούσε να εφαρμοστεί ευρέως, αποτέλεσε ισχυρό κίνητρο για την επιλογή αυτού του ερευνητικού πεδίου.

Η πτυχιακή μας εργασία αξίζει την προσοχή και τη μελέτη για διάφορους λόγους. Ασχολείται με ένα από τα πιο επίκαιρα και κρίσιμα ζητήματα της εποχής μας: την εξοικονόμηση ενέργειας και τη βιωσιμότητα. Οι λύσεις που προτείνουμε μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, συμβάλλοντας έτσι στη μάχη κατά της κλιματικής αλλαγής. Επίσης, Αυτή η πτυχιακή εργασία μπορεί να αποτελέσει οδηγό και έμπνευση για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα των έξυπνων συστημάτων φωτισμού και των βιώσιμων τεχνολογιών. Οι λύσεις και οι μέθοδοι που παρουσιάζονται μπορούν να προσαρμοστούν και να επεκταθούν, προσφέροντας νέες ευκαιρίες για καινοτομία και βελτίωση.

1.2 Στόχοι

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι να αναπτύξει και να παρουσιάσει ένα έξυπνο σύστημα φωτισμού αυτοκινητοδρόμων που να επιτυγχάνει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, διατηρώντας ταυτόχρονα υψηλά επίπεδα ασφάλειας και ορατότητας για τους οδηγούς. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, χρησιμοποιούμε σύγχρονες τεχνολογίες όπως μικροελεγκτές Arduino, αισθητήρες υπερήχων και φωτοευαίσθητες αντιστάσεις (LDR). Σε αυτή την πτυχιακή εργασία, θα δημιουργήσουμε ένα πρωτότυπο μικρής κλίμακας που θα επιδεικνύει τη λειτουργικότητα και την αποδοτικότητα του συστήματος.

Ο αναγνώστης αυτής της πτυχιακής εργασίας θα έχει την ευκαιρία να δει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη δημιουργία ενός έξυπνου συστήματος φωτισμού αυτοκινητοδρόμων. Αρχικά, θα αναφερθούν τα σχετικά έργα και στη συνέχεια θα αναλυθούν οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, ενώ θα παρουσιαστούν τα υλικά που χρησιμοποιούνται, όπως οι μικροελεγκτές Arduino, οι αισθητήρες υπερήχων και οι φωτοευαίσθητες αντιστάσεις. Στη συνέχεια, θα περιγράψει λεπτομερώς ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του συστήματος, με αναφορά στα διαγράμματα κυκλωμάτων, την τοποθέτηση των αισθητήρων και τη σύνδεση των εξαρτημάτων. Ο προγραμματισμός του Arduino για την επεξεργασία των δεδομένων από τους αισθητήρες και για τον έλεγχο της έντασης του φωτισμού θα καλυφθεί επίσης, με εξήγηση της λογικής πίσω από τις αλγοριθμικές αποφάσεις.

Ακολούθως, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τις δοκιμές του πρωτοτύπου σε συνθήκες μικρής κλίμακας, με ένα υποθετικό σενάριο γίνεται η ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης και σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα φωτισμού. Θα δοθεί έμφαση στην εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με το προτεινόμενο σύστημα. Τέλος, η εργασία θα καταλήξει σε συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Μέσα από την ανάγνωση αυτής της πτυχιακής εργασίας, ο αναγνώστης θα αποκτήσει μια πλήρη κατανόηση των προκλήσεων και των λύσεων που σχετίζονται με την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων φωτισμού αυτοκινητοδρόμων, καθώς και τη σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας και της τεχνολογικής καινοτομίας για τη δημιουργία βιώσιμων και έξυπνων φωτισμών οδών.

Το υπόλοιπο της εργασίας οργανώνεται ως εξής. Προσεγγίζει τις βασικές έννοιες και τις σχετικές εργασίες στην Ενότητα 2. Η ενότητα 3 επεξηγηση εξαρτημάτων και ενότητας εργασίας και στην Ενότητα 4 εξετάζει τη μεθοδολογία σχεδιασμού των αυτόματων συστημάτων φωτισμό των οδών. Τα συμπεράσματα παρέχονται στην Ενότητα 5.

2. Βιβλιογραφική Έρευνα

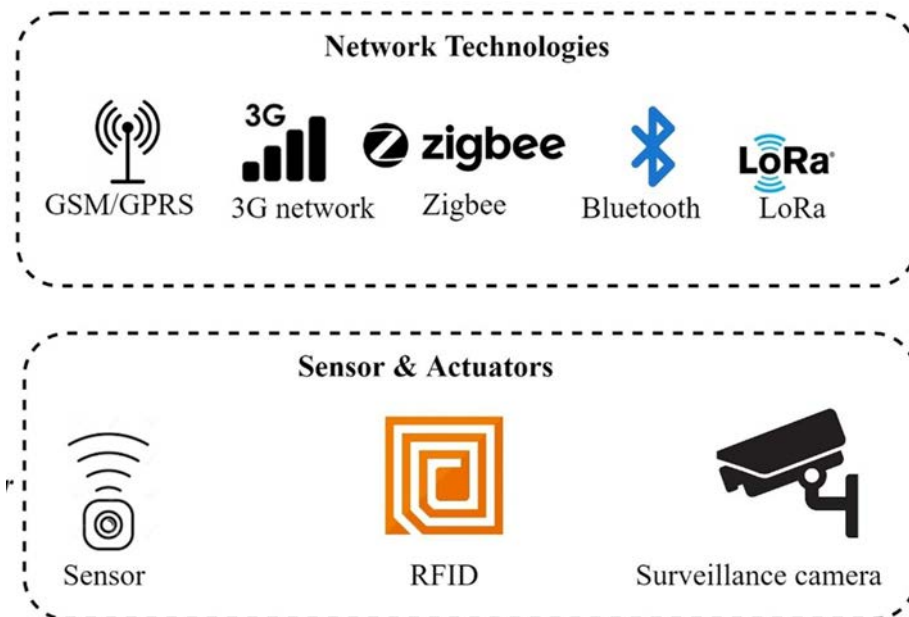
2.1 Έξυπνα Συστήματα Φωτισμού: Βασικές Έννοιες

Τα έξυπνα συστήματα φωτισμού αποτελούν τεχνολογικές λύσεις που έχουν σχεδιαστεί για να αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση, να μειώσουν τα λειτουργικά κόστη και να περιορίσουν το περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Αυτά τα συστήματα διαφέρουν από τα παραδοσιακά συστήματα φωτισμού, καθώς μπορούν να προσαρμόζουν δυναμικά τα επίπεδα φωτισμού βάσει των περιβαλλοντικών συνθηκών και των εκάστοτε αναγκών. Οι βασικοί συντελεστές των έξυπνων συστημάτων φωτισμού περιλαμβάνουν μονάδες ελέγχου, αισθητήρες και τεχνολογίες επικοινωνίας.

Μονάδες Ελέγχου: Αυτές οι μονάδες είναι ο εγκέφαλος των έξυπνων συστημάτων φωτισμού, λειτουργούν ως μικροελεγκτές ή μικροεπεξεργαστές που διαχειρίζονται τα δεδομένα που συλλέγονται από το σύστημα και αυτόματα προσαρμόζουν τα επίπεδα φωτισμού. Οι μικροελεγκτές όπως το **Arduino** είναι δημοφιλείς σε αυτά τα συστήματα λόγω της προγραμματιζόμενης φύσης τους και της συμβατότητας τους με μια ευρεία γκάμα αισθητήρων, προσφέροντας έτσι ευέλικτες λύσεις.

Αισθητήρες: Τα έξυπνα συστήματα φωτισμού χρησιμοποιούν διάφορους αισθητήρες για να ανιχνεύσουν τις περιβαλλοντικές αλλαγές. Αυτοί οι αισθητήρες περιλαμβάνουν LDR (φωτοαντιστάσεις) για τη μέτρηση της έντασης του φωτός και υπερηχητικούς αισθητήρες για τον καθορισμό της πυκνότητας της κυκλοφορίας. Οι φωτοαντιστάσεις χρησιμοποιούνται για αυτόματη προσαρμογή των επιπέδων φωτισμού βάσει της έντασης του ημέρας, ενώ **οι υπερηχητικοί αισθητήρες** μπορούν να ανιχνεύσουν την παρουσία και την πυκνότητα των οχημάτων για να αυξήσουν ή να μειώσουν τον φωτισμό όποτε χρειάζεται.

Τεχνολογίες Επικοινωνίας: Τα έξυπνα συστήματα φωτισμού συνήθως χρησιμοποιούν ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας για να επικοινωνούν με ένα κεντρικό σημείο ελέγχου. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν τη συντονισμένη λειτουργία όλων των στοιχείων του συστήματος. Η ασύρματη επικοινωνία διευκολύνει την πιο ευέλικτη εγκατάσταση και διαχείριση των συστημάτων φωτισμού, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα μεγάλα δίκτυα οδικών αξόνων. Στα σύγχρονα έξυπνα συστήματα φωτισμού, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για τον οδικό φωτισμό, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας για την αποτελεσματική μετάδοση δεδομένων και την ελεγχόμενη διαχείριση των φωτιστικών συσκευών. Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι το **WiFi, Zigbee, LoRa, Bluetooth και NRF κτλ.**



Σχήμα 1.Τεχνολογίες Επικοινωνίας και Αισθητήρες. (Singh et al. 2021)

2.2 Ανασκόπηση προηγούμενων έργων

Η χρήση προηγμένων τεχνολογιών για τη διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας στον οδικό φωτισμό έχει γίνει αντικείμενο πολλών μελετών. Οι παρακάτω έρευνες παρουσιάζουν διάφορες προσεγγίσεις και τεχνολογίες που έχουν εφαρμοστεί για την ανάπτυξη συστημάτων έξυπνου φωτισμού σε εθνικές οδούς και αστικούς δρόμους.

2.2.1 Σύνοψη Έργων

- (Vargas et al. 2017): Περιγράφεται η υλοποίηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος βασισμένου σε Arduino και ZigBee. Το σύστημα αυτό μεταβάλλει την ένταση του φωτός σύμφωνα με τις αναφορές του αισθητήρα LDR και ανιχνεύει την κίνηση με τον αισθητήρα υπερήχων. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της τεχνολογίας επικοινωνίας ZigBee, μεταφέρει τις πληροφορίες ασύρματα σε άλλους φανοστάτες της οδού κατά μήκος ενός χιλιομέτρου και ενεργοποιεί όλα τα φώτα για 2 λεπτά. Η έρευνα κατέδειξε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και ανέδειξε την οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος, αλλά παρουσιάζει περιορισμένο έλεγχο και απαιτεί συνεχή συντήρηση ((Mukta et al., 2020).
- (Sophiya Susan et al., 2022): Αυτή η εργασία επικεντρώνεται στην αύξηση της εξοικονόμησης ενέργειας στον φωτισμό των αυτοκινητοδρόμων μέσω της εφαρμογής ενός προηγμένου ενσωματωμένου συστήματος. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί τη μονάδα πομποδέκτη NRF 24L01, αισθητήρες υπερήχων, LDR και Arduino Nano, επιτρέποντας τον έλεγχο κάθε λαμπτήρα δρόμου ξεχωριστά. Αν εμφανιστεί μια δυσλειτουργία σε έναν αισθητήρα δεν επηρεάζει τα υπόλοιπα

φωτιστικά, αλλά κόστος εγκατάστασης αυξάνεται υπερβολικά σε μεγάλο μήκος και ρύθμιση του συστήματος ασύρματης επικοινωνίας γίνεται περίπλοκη όσο αυξάνονται οι λαμπτήρες .

- (Kabir et al., 2023):Το προτεινόμενο σύστημα βασίζεται στο IoT και περιλαμβάνει ένα αυτόματο, προσαρμοστικό σύστημα φωτισμού δρόμου που μειώνει τη φωτεινότητα βάσει δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες LDR, υπερήχων και RTC, αλλά χρησιμοποιούν την πλακέτα ESP32 .Το σύστημα ελέγχει μόνο τρεις φανοστάτες και κάθε φανοστάτης περιέχει έναν αισθητήρα υπερήχων. Η έρευνα αυτή κατέδειξε ότι το σύστημα μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά 70% έως 85% σε σύγκριση με τα υπάρχοντα φώτα δρόμου, χρησιμοποιώντας ηλιακά πάνελ για επιπλέον για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Πίνακας 1.Εξαρτήματα και στόχοι των έργων

Έρευνα	Τεχνολογίες Ασύρματης Επικοινωνίας	Συστατικά (Μικροελεγκτής, αισθητήρες και ενεργοποιητές)	Στόχος
(Vargas et al. 2017)	ZigBee	Arduino, Αισθητήρες υπερήχων, LDR	Εξοικονόμηση ενέργειας στον δημόσιο φωτισμό
(Sophiya Susan et al. 2022)	NRF 24L01	Arduino Nano, Αισθητήρες υπερήχων, LDR	Αύξηση εξοικονόμησης ενέργειας με ατομικό έλεγχο λαμπτήρων
(Kabir et al. 2023)	WiFi (IoT)	Esp32, Αισθητήρες υπερήχων, LDR ,RTC	Μείωση κατανάλωσης ενέργειας με έξυπνο φωτισμό και ηλιακή ενέργεια

2.2.2 Ανάλυση των έργων

Και οι τρεις εργασίες παρουσιάζουν συστήματα που εξοικονομούν ενέργεια και μειώνουν το κόστος λειτουργίας. Τα συστήματα των (Vargas et al. 2017) και (Kabir et al., 2023) είναι εύκολα στην υλοποίηση και οικονομικά αποδοτικά, γεγονός που τα καθιστά προσιτά για ευρεία εφαρμογή. Το σύστημα των (Sophiya Susan et al., 2022) προσφέρει ανθεκτικότητα σε βλάβες και ευελιξία στον έλεγχο, επιτρέποντας τη διαχείριση κάθε λαμπτήρα ξεχωριστά, γεγονός που αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος και μειώνει την πιθανότητα ολικής αποτυχίας.

Παρά τα πλεονεκτήματα, υπάρχουν και σημαντικά μειονεκτήματα στα συστήματα φωτισμού αυτοκινητοδρόμων. Το σύστημα των (Vargas et al. 2017) έχει περιορισμένο έλεγχο και απαιτεί συνεχή συντήρηση, γεγονός που μπορεί να αυξήσει τα λειτουργικά κόστη και να μειώσει την αποδοτικότητα του συστήματος μακροπρόθεσμα.

Το σύστημα των (Sophiya Susan et al., 2022) είναι ανθεκτικό και ευέλικτο, αλλά το υψηλό κόστος εγκατάστασης και η περίπλοκη ρύθμιση της ασύρματης επικοινωνίας σε μεγάλες αποστάσεις αποτελούν σημαντικούς περιορισμούς. Αυτό μπορεί να αυξήσει τα συνολικά κόστη και την πολυπλοκότητα του έργου.

Το σύστημα των (Kabir et al. 2023) προσφέρει σημαντικά οφέλη, αλλά αντιμετωπίζει προκλήσεις στην αρχική εγκατάσταση και συντήρηση, που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοσή του και την οικονομική του βιωσιμότητα μακροπρόθεσμα. Επίσης, η αποτελεσματικότητα αυτών των συστημάτων μπορεί να επηρεαστεί από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η πυκνότητα κυκλοφορίας και οι καιρικές συνθήκες, περιορίζοντας την απόδοσή τους σε διάφορα περιβάλλοντα. Ο πίνακας 2 αναλύει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε έργου ξεχωριστά.

Πίνακας 2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των έργων

Έρευνα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
(Vargas et al. 2017)	Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, οικονομική βιωσιμότητα	Περιορισμένες δυνατότητες ελέγχου και απαιτεί συνεχή συντήρηση.
(Sophiya Susan et al. 2022)	Ατομικός έλεγχος λαμπτήρων, μη επηρεασμός άλλων φωτιστικών από δυσλειτουργίες	Υψηλό κόστος εγκατάστασης, περίπλοκη ρύθμιση ασύρματης επικοινωνίας σε μεγάλα μήκη
(Kabir et al., 2023)	Σημαντική μείωση κατανάλωσης ενέργειας, χρήση ηλιακής ενέργειας, ευελιξία IoT	Προκλήσεις στην αρχική εγκατάσταση και συντήρηση

Όλες οι μελέτες συμφωνούν ότι η ενσωμάτωση έξυπνων συστημάτων φωτισμού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Ωστόσο, κάθε μία εστιάζει σε διαφορετική τεχνολογία και μεθοδολογία. Οι συγγραφείς (Vargas et al. 2017) επικεντρώνεται στη χρήση φωτοβολταϊκών και ασύρματων επικοινωνιών, οι (Sophiya Susan et al. 2022) προτείνουν ατομικό έλεγχο των λαμπτήρων, ενώ οι (Kabir et al. 2023) χρησιμοποιεί ένα προσαρμοστικό σύστημα βασισμένο στο IoT.

Η ανασκόπηση δείχνει ότι η χρήση τεχνολογιών όπως το Arduino, οι αισθητήρες υπερήχων, τα συστήματα IoT και τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας και η ηλιακή ενέργεια μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση και την εξοικονόμηση ενέργειας στον οδικό φωτισμό. Παρά τις διάφορες προσεγγίσεις, όλες οι μελέτες επισημαίνουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και βελτιστοποίηση των συστημάτων για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και της βιωσιμότητας.

2.3 Χρήση του Arduino σε Έξυπνα Συστήματα Φωτισμού

Το Arduino και οι αισθητήρες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων φωτισμού, προσφέροντας αποτελεσματικότητα, προσαρμοστικότητα και οικονομική αποδοτικότητα στις λύσεις φωτισμού αστικών υποδομών. Ακολουθεί πώς αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται συνήθως στα έξυπνα συστήματα φωτισμού:

Κεντρική Μονάδα Ελέγχου: Το Arduino λειτουργεί ως ο "εγκέφαλος" του έξυπνου συστήματος φωτισμού. Είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων από διάφορους αισθητήρες και την εκτέλεση αλγορίθμων ελέγχου φωτισμού με βάση προκαθορισμένους κανόνες. Το Arduino μπορεί εύκολα να προγραμματιστεί για να χειρίζεται καθήκοντα όπως να ανάβει ή να σβήνει τα φώτα βάσει δεδομένων αισθητήρων και ακόμα και να προγραμματίζει αλλαγές φωτισμού ανάλογα με την ώρα.

Ευελιξία και Προσαρμοστικότητα: Λόγω του ανοιχτού κώδικα και της μεγάλης κοινότητας υποστήριξης, το Arduino επιτρέπει πολύ εξατομικευμένες λύσεις λογισμικού. Οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν και να τροποποιήσουν κώδικα για να ταιριάζει σε συγκεκριμένες ανάγκες ή για να ενσωματώσουν νέους αισθητήρες και ενεργοποιητές καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται.

Συνδεσιμότητα: Το Arduino μπορεί να συνδεθεί με διάφορες συσκευές επικοινωνίας όπως Wi-Fi, Bluetooth ή Zigbee. Αυτές οι συνδέσεις του επιτρέπουν να επικοινωνεί με άλλες συσκευές, κεντρικά συστήματα ή πλατφόρμες στο διαδίκτυο. Αυτό είναι χρήσιμο για την απομακρυσμένη παρακολούθηση και διαχείριση συστημάτων φωτισμού.

Ενεργειακή Αποδοτικότητα: Προσαρμόζοντας τον φωτισμό βάσει των πραγματικών περιβαλλοντικών και χρηστικών δεδομένων, τα έξυπνα συστήματα φωτισμού μπορούν να μειώσουν σημαντικά την κατανάλωση ισχύος και, ως εκ τούτου, να μειώσουν το κόστος ενέργειας.

Οικονομική απόδοση: Οι πλακέτες Arduino είναι φθηνές, καθιστώντας τις έξυπνες λύσεις φωτισμού προσβάσιμες για ευρεία δημοτική και εμπορική χρήση.

Επεκτασιμότητα: Τα συστήματα που φτιάχνονται με το Arduino μπορούν εύκολα να μεγαλώσουν από μικρές εγκαταστάσεις σε μεγάλα έργα σε όλη την πόλη. Αυτό είναι δυνατό επειδή υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι και μεγέθη πλακετών και αισθητήρων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε.

Βιωσιμότητα: Αυτά τα συστήματα είναι σύμφωνες με τις παγκόσμιες τάσεις για πιο πράσινη αστική ανάπτυξη και συμβάλλουν στις προσπάθειες περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, μειώνοντας την ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται για φωτισμό.

2.3.1 Συστήματα Ανίχνευσης Οχημάτων

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη βιομηχανία περιλαμβάνουν την **κάμερα**, το **ραντάρ μικροκυμάτων**, το **ραντάρ λέιζερ**, τον **αισθητήρα υπερήχων** και την **παθητική ακουστική**. Αυτές οι τεχνολογίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση και παρακολούθηση οχημάτων, παρέχοντας διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες χρήσης.

Η επεξεργασία εικόνας και βίντεο μέσω κάμερας προσφέρει ακριβείς πληροφορίες και μπορεί να συνδεθεί με άλλα συστήματα κάμερας για να καλύψει μεγαλύτερες περιοχές. Ωστόσο, επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες και μπορεί να παρουσιάσει σφάλματα στην επεξεργασία των σκιών που ρίχνουν τα οχήματα.

Το ραντάρ μικροκυμάτων δεν είναι ευαίσθητο στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες και είναι κατάλληλο για μικρές αποστάσεις ανίχνευσης. Παρόλα αυτά, δεν μπορεί να ανιχνεύσει σταματημένα οχήματα και το συνεχές κύμα που εκπέμπει παράγει το φαινόμενο Doppler.

Το ραντάρ λέιζερ εκπέμπει σήματα που ανιχνεύουν το μέγεθος, τη θέση, την ταχύτητα και την κατηγορία του οχήματος, αλλά επηρεάζεται από την παρουσία ομίχλης ή όταν η ορατότητα είναι μικρότερη από 6 μέτρα.

Οι αισθητήρες υπερήχων μετρούν την απόσταση του οχήματος, ωστόσο, η ευαισθησία τους μειώνεται σε κακές καιρικές συνθήκες και η παθητική ακουστική ανίχνευση είναι αποτελεσματική σε βροχοπτώσεις, αλλά επηρεάζεται σοβαρά σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Συμφωνά με το άρθρο (Vargas et al. 2017) ο πίνακας 3 που περιέχει τα συστήματα ανίχνευσης οχημάτων με τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των αισθητήρων.

Πίνακας 3. Συστήματα Ανίχνευσης Οχημάτων

Τεχνολογία συστήματος	Πλεονέκτημα	Μειονεκτήματα
Επεξεργασία εικόνας και βίντεο	Δοκιμασμένο σε μεγάλες περιοχές, συστήματα και πληροφορίες που λαμβάνονται από την κάμερα, μπορεί να συνδεθεί με άλλες κάμερες	Επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες, σφάλματα στην επεξεργασία των σκιών που ρίχνουν τα οχήματα.
Ραντάρ μικροκυμάτων (Microwave Radar)	Αυτό το σύστημα δεν είναι ευαίσθητο στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες, σε μικρές αποστάσεις ανίχνευσης.	Το συνεχές κύμα που εκπέμπεται παράγει το φαινόμενο doppler. Δεν μπορεί να ανιχνεύσει σταματημένα οχήματα
Ραντάρ λέιζερ (Leiser Radar)	Εκπέμπει διάφορα σήματα που ανιχνεύονται: το μέγεθος, τη θέση, την ταχύτητα και την κατηγορία του οχήματος.	Επηρεάζεται από την παρουσία ομίχλης ή όταν η ορατότητα είναι μικρότερη από 6m.
Υπέρηχος (Ultrasonic sensor)	Αυτό το σύστημα μετρά την απόσταση του οχήματος.	Η ευαισθησία του αισθητήρα μειώνεται σε κακές καιρικές συνθήκες.
Παθητική Ακουστική	Μη ευαίσθητη παθητική ανίχνευση βροχοπτώσεων.	Επηρεάζεται σοβαρά σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Αυτές οι βασικές έννοιες παίζουν κρίσιμο ρόλο στην κατανόηση του πώς λειτουργούν τα έξυπνα συστήματα φωτισμού και πώς μπορούν να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών προσφέρει ένα σημαντικό βήμα

προς τη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα στα συστήματα φωτισμού των αυτοκινητοδρόμων.

2.3.2 Τεχνολογίες Επικοινωνίας

Οι τεχνολογίες επικοινωνίας χρησιμοποιούνται συχνά για την κάλυψη των αναγκών ασύρματης επικοινωνίας. Ο κύριος σκοπός τους είναι να παρέχουν ευελιξία και ευκολία στον χρήστη σε διάφορα περιβάλλοντα για να καταστεί δυνατή η μετάδοση δεδομένων και η σύνδεση μεταξύ συσκευών.

Zigbee: Αυτή η τεχνολογία προσφέρει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μεγάλη εμβέλεια, γεγονός που την καθιστά ιδανική για εφαρμογές όπως τα δίκτυα αισθητήρων. Ωστόσο, το χαμηλό εύρος ζώνης και οι πολύπλοκες δομές δικτύου μπορεί να αποτελέσουν εμπόδιο σε ορισμένες περιπτώσεις.

LoRa: Το LoRa ξεχωρίζει για τη μεγάλη του εμβέλεια και την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές σε μεγάλες περιοχές. Παρά τα πλεονεκτήματά του, έχει χαμηλό ρυθμό δεδομένων και περιορισμένο εύρος ζώνης.

NRF24: Αυτή η τεχνολογία προσφέρει χαμηλό κόστος και εύκολη λειτουργία, κάτι που την καθιστά δημοφιλή για απλές εφαρμογές. Όμως, η περιορισμένη εμβέλεια και η ευαισθησία στο θόρυβο RF μπορεί να περιορίσουν τη χρησιμότητά της.

WiFi: Το WiFi παρέχει υψηλό ρυθμό δεδομένων και ευρεία χρήση, ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη μεταφορά δεδομένων. Ωστόσο, η υψηλή κατανάλωση ενέργειας και η μικρή εμβέλεια μπορεί να είναι αποτρεπτικοί παράγοντες για ορισμένες εφαρμογές.

Bluetooth: Το Bluetooth προσφέρει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και υποστηρίζεται ευρέως από πολλές συσκευές. Παρόλα αυτά, η περιορισμένη εμβέλεια και η πιθανή ασυμβατότητα μεταξύ συσκευών μπορεί να αποτελέσουν μειονεκτήματα.

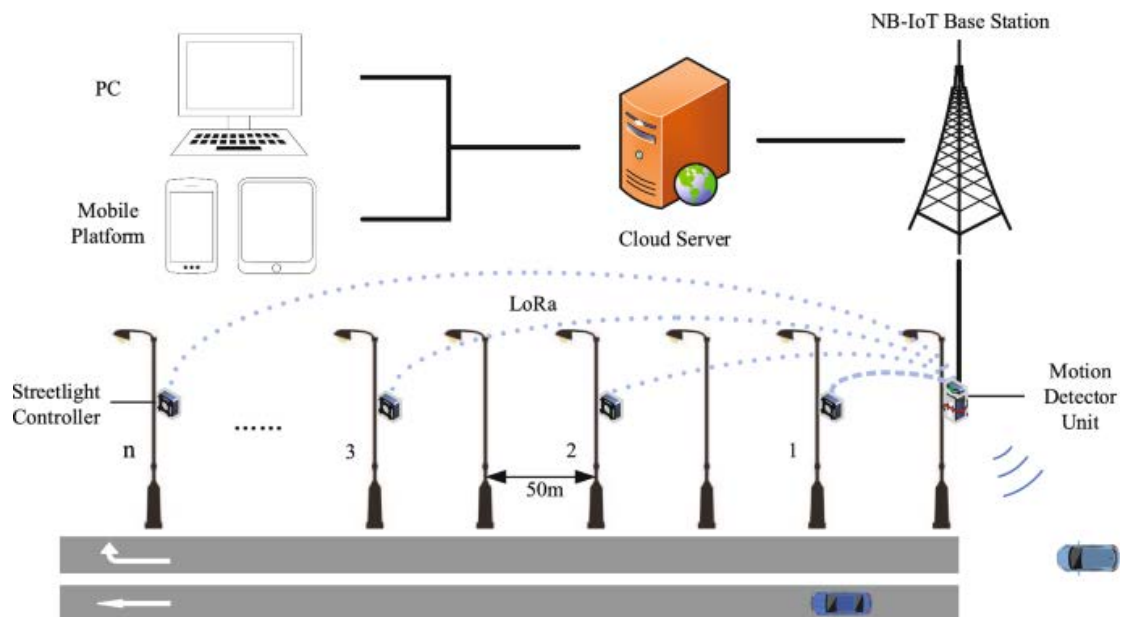
Οι ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας αποτελούν τον πυρήνα των σύγχρονων συστημάτων IoT (Internet of Things). Κάθε τεχνολογία έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία καθιστούν κατάλληλη την κάθε μία για διαφορετικές εφαρμογές. Παρακάτω αναλύονται μερικές από τις πιο δημοφιλείς τεχνολογίες. Στον πίνακα 4 αναφέρεται τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών αυτών.

Πίνακας 4. Συστήματα Ασύρματων Συσκευών Επικοινωνίας

Τεχνολογία	Πλεονέκτημα	Μειονέκτημα
Zigbee	Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μεγάλη εμβέλεια	Χαμηλό εύρος ζώνης, πολύπλοκες δομές δικτύου
LoRa	Μεγάλη εμβέλεια, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας	Χαμηλός ρυθμός δεδομένων, χαμηλό εύρος ζώνης

NRF24	Χαμηλό κόστος, εύκολη λειτουργία	Περιορισμένη εμβέλεια, ευαισθησία στο θόρυβο RF
WiFi	Υψηλός ρυθμός δεδομένων, ευρεία χρήση	Υψηλή κατανάλωση ενέργειας, μικρή εμβέλεια
Bluetooth	Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ευρέως υποστηριζόμενες συσκευές	Περιορισμένη εμβέλεια, ασυμβατότητα μεταξύ συσκευών

Αυτές οι λειτουργίες χρησιμοποιούνται για σκοπό τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και την αξιοπιστία, οι οποίες αναζητούνται γενικά στα έξυπνα συστήματα φωτισμού αυτοκινητοδρόμων. Αυτά τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη διαφορετικών αναγκών σε έξυπνα συστήματα φωτισμού αυτοκινητοδρόμων. Για παράδειγμα, τεχνολογίες μεγάλης εμβέλειας όπως το LoRa μπορούν να παρέχουν μετάδοση δεδομένων μεταξύ των πόλων φωτισμού, ενώ τεχνολογίες υψηλής ταχύτητας όπως το WiFi μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία με σταθμούς ελέγχου ή κεντρικά συστήματα. Επιπλέον, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών μπορούν να παρέχουν επικοινωνίες έκτακτης ανάγκης και να αποτελούν ιδανική επιλογή για απομακρυσμένη διαχείριση.

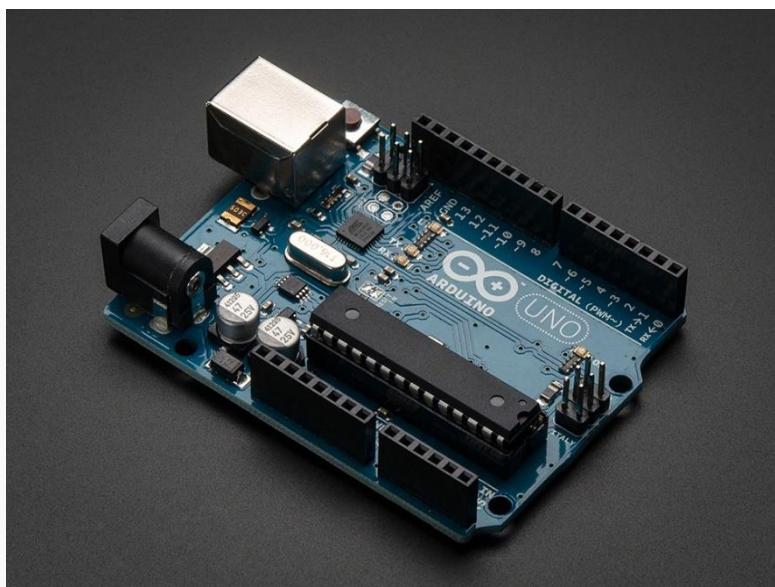


Σχήμα 2. Έξυπνο φωτισμό βασισμένο με LoRa και IoT. (Zhang et al. 2022)

3. Επεξήγηση Εξαρτημάτων και ενότητας εργασίας

Σε αυτή την ενότητα, θα αναλύσουμε τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήσουμε στον σχεδιασμό του συστήματος. Στο έργο μας, στοχεύαμε να δημιουργήσουμε ένα σύστημα που ανιχνεύει οχήματα στον αυτοκινητόδρομο και βελτιστοποιεί ανάλογα τον φωτισμό, χρησιμοποιώντας έναν μικροελεγκτή Arduino, αισθητήρες υπερήχων και λαμπτήρες LED. Αυτός ο σχεδιασμός αναπτύχθηκε για να εξοικονομήσει ενέργεια και να βελτιώσει την ασφάλεια των αυτοκινητοδρόμων.

3.1 Έξυπνα συστήματα & Arduino



Σχήμα 3. Πλακέτα Arduino. ((‘Arduino UNO R3’ 2024)

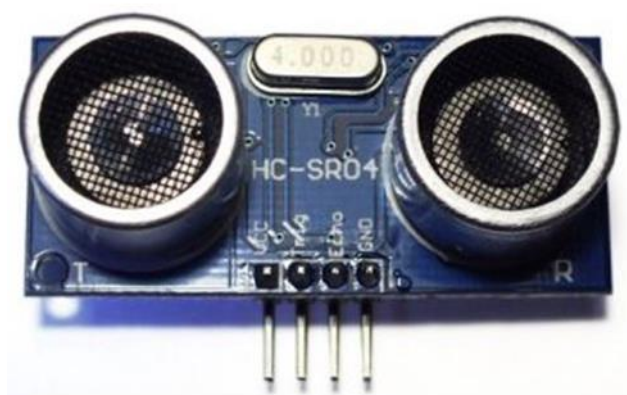
Στο παρακάτω κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο οι πλακέτες Arduino μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην κατασκευή ενός μακέτα έξυπνου φωτισμού των οδών. Επίσης, αναλύεται τα συστατικά που χρησιμοποιούνται στην μακέτα φωτισμού.

Όπως αναφέραμε και στην ενότητα 2, ο **Arduino** είναι καλύτερη επιλογή για την προσομοίωση των συστημάτων αυτών για το έξυπνο φωτισμό των οδών. Μας επιτρέπει να συνδέσουμε τις συσκευές και τις λαμπτήρες και να δίνουμε εντολές χρησιμοποιώντας την γλώσσα C++.

3.2 Συστατικά

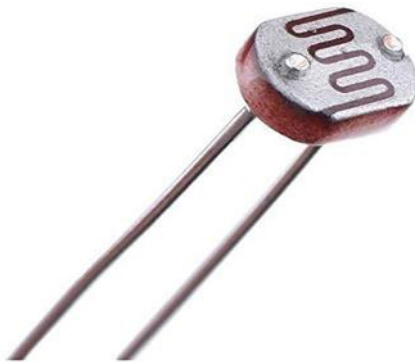
Η μακέτα έξυπνου φωτισμού αποτελείται από 7 διαφορετικά συστατικά. Στη συνέχεια θα, αναφερθούμε σε ορισμένους από τους πιο βασικούς αισθητήρες και εξαρτήματα που πρέπει να υπάρχουν σε ένα σύστημα έξυπνου φωτισμού και τη χρησιμότητά τους. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι όλοι οι αισθητήρες συνδυάζονται μεταξύ τους.

Αισθητήρες υπερήχων: Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ταχύτητας οχημάτων που πλησιάζουν ή διέρχονται στον αυτοκινητόδρομο. Προτιμήθηκαν αισθητήρες υπερήχων μοντέλου HC-SR04. Είναι το βασικό εργαλείο στο να ελέγχουμε την κίνηση στην οδό .



Σχήμα 4. Αισθητήρας Υπερήχων.(‘GROBOTRONICS’ 2024)

Φωτοαντίσταση: Ελέγχει την φωτεινότητα του περιβάλλοντος σε δεκαδική μορφή, αν η φωτεινότητα θα πέσει στο 0 ή κάτι μικρότερο αριθμό τότε το σύστημα αρχίζει να λειτουργήσει. Ένας αισθητήρας φωτοαντιστάσης είναι επαρκής για να λειτουργήσει το σύστημα.



Σχήμα 5..Φωτοευαίσθητος αντιστάτης LDR.(‘Light Dependent 5528 Photosensitive Resistor (Photoresistor) - LDR COM22, R22’ 2024)

LED: Όταν οι αισθητήρες ανιχνεύουν την κίνηση του οχήματος, αυτοί οι λαμπτήρες ανάβουν και παρέχουν τον απαραίτητο φωτισμό.



Σχήμα 6. LED (‘Electronics World’, n.d.)

Αντιστάσεις: Διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας των κυκλωμάτων και στην προστασία των εξαρτημάτων.



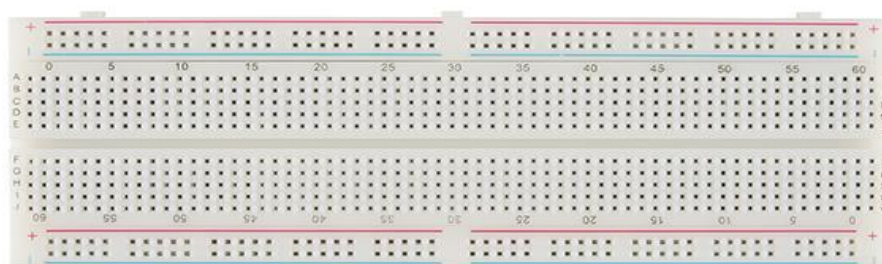
Σχήμα 7.Αντιστάσεις (‘GROBOTRONICS’ 2024)

Καλώδια Jumper: Τα καλώδια χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εξαρτημάτων και μονάδων σε ηλεκτρονικά κυκλώματα, μας επιτρέπουν να κάνουμε γρήγορες και εύκολες συνδέσεις, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν σε πίνακες Breadboard ή πρωτότυπα κυκλώματα.



Σχήμα 8.Καλώδια Jumper ('PRT-11026 - SparkFun Electronics', n.d.)

Breadboard: Χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και καλωδίων σύνδεσης, έτσι ώστε τα κυκλώματα να μπορούν εύκολα να εγκατασταθούν και να αντικατασταθούν χωρίς να απαιτείται συγκόλληση.



Σχήμα 9.Breadboard ('Robobee', n.d.)

Μπαταρία 9V: Η μπαταρία τάσης 9V χρησιμοποιείται για την αυτόνομη τροφοδοσία του συστήματος, εξασφαλίζοντας τη λειτουργία του μετά την αρχική ρύθμιση και προγραμματισμό στο Arduino.



Σχήμα 10. Μπαταρία 9V ('Stationery & Printers', n.d.)

3.3 Εξήγηση του συστήματος

Το σύστημά μας χρησιμοποιεί μια μπαταρία ως πηγή τροφοδοσίας στο πρωτότυπο, αλλά όταν το σύστημα εγκαθίσταται στον αυτοκινητόδρομο, θα αντλήσει ρεύμα από το δίκτυο. Η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του συστήματος γίνεται με τη βοήθεια ενός αισθητήρα φωτός (LDR). Όταν το LDR ανιχνεύει χαμηλό φωτισμό, το σύστημα ενεργοποιείται και αρχίζει να διαβάζει τα σήματα που προέρχονται από τους αισθητήρες.

Στο προτεινόμενο σύστημα, τα φώτα του αυτοκινητόδρομου ανάβουν όταν ένα όχημα βρίσκεται πίσω από δύο στύλους φανών, με τη βοήθεια ενός αισθητήρα υπερήχων. Ο στόχος είναι να παρέχει ασφαλή φωτισμό στο δρόμο, βοηθώντας τους άλλους οδηγούς να βλέπουν τα σταματημένα οχήματα. Αν ανιχνευτεί ένα όχημα, τα φώτα θα παραμείνουν αναμμένα στη μέγιστη φωτεινότητα για λίγα δευτερόλεπτα και μετά θα επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση, δηλαδή θα λειτουργούν με ελάχιστη φωτεινότητα ή θα σβήνουν αν δεν υπάρχουν οχήματα στον δρόμο. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα παρόμοιο παράδειγμα του συστήματος .



Σχήμα 11. Παράδειγμα λειτουργίας συστήματος. (‘Aane Wala Tech, Jhansi - Order Online’ 2024).

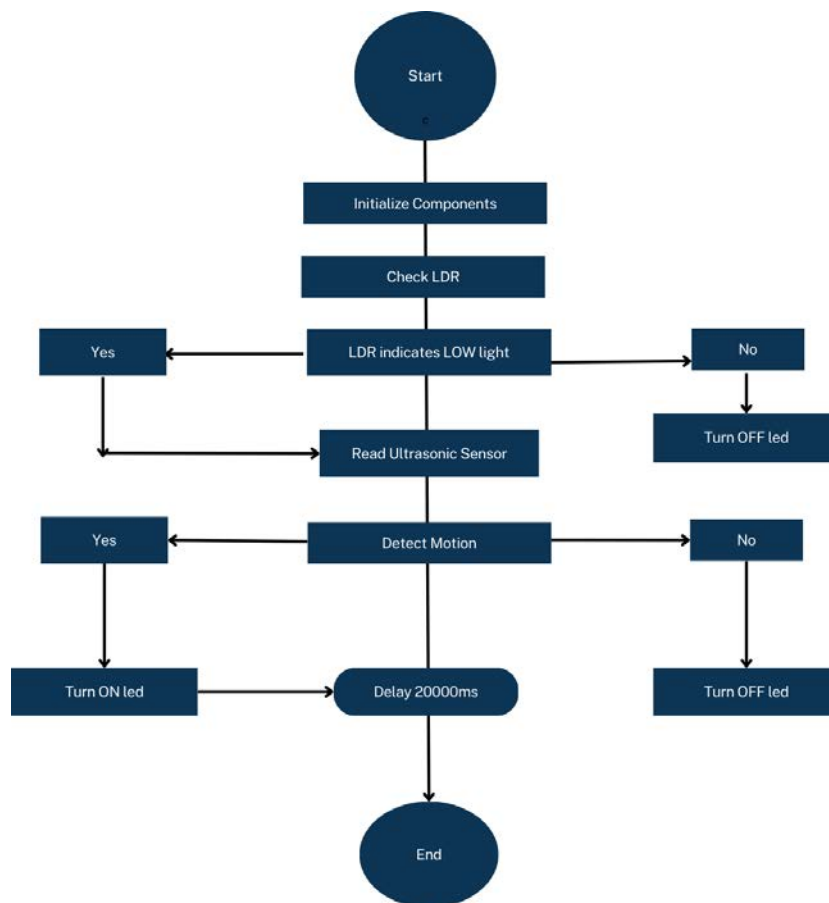
3.4 Διάγραμμα συστήματος

Υπάρχουν πολλές μεθοδολογίες για την επιτυχία αυτού του έργου. Αφού ολοκληρώθηκε η βιβλιογραφική ανασκόπηση, πραγματοποιήθηκαν πρόοδοι και αναλύσεις. Σχήμα 12 και 13 απεικονίζουν διαγράμματα ροής και μπλοκ του συστήματος.

Α. Βάση λειτουργίας του συστήματος

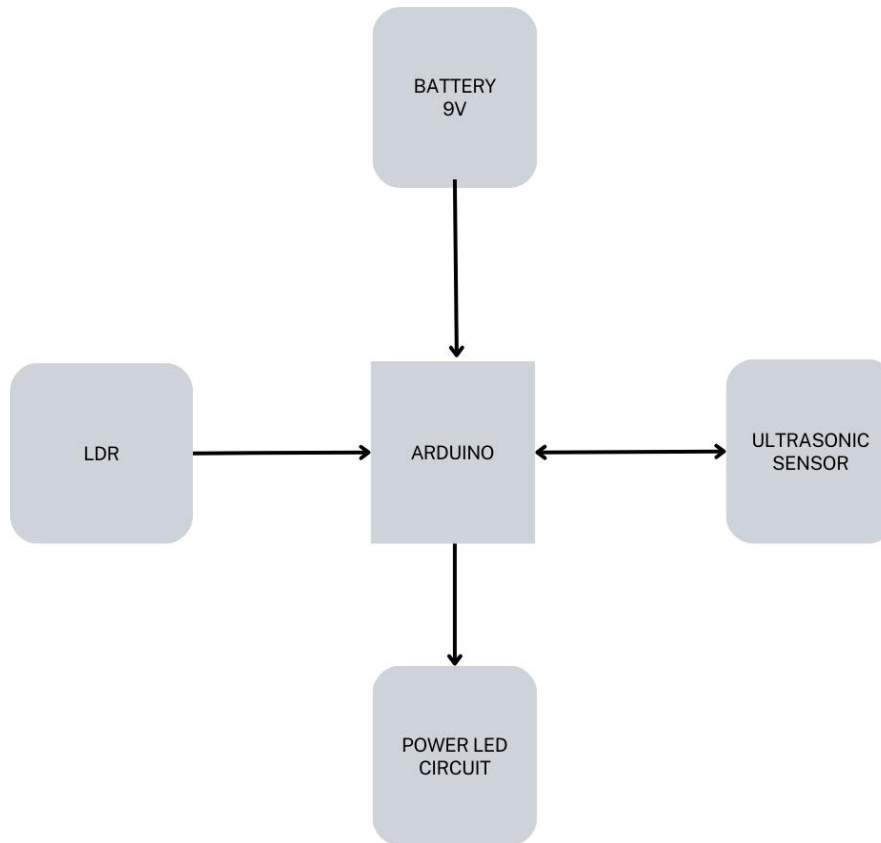
1. Μπαταρία 9V που χρησιμοποιείται για παροχή ρεύματος.
2. Το LDR θα ανιχνεύσει την ένταση του φωτός και θα στείλει τα δεδομένα στο Arduino. Αν η ένταση είναι υψηλή, τα φώτα θα παραμείνουν κλειστά.
3. Ο αισθητήρας υπερήχων ανιχνεύει την παρουσία οχήματος. Κάθε φορά που ανιχνεύεται παρουσία, τα φώτα θα ανάβουν με υψηλή φωτεινότητα για ορισμένα δευτερόλεπτα.
4. Όταν δεν ανιχνεύεται άλλη κίνηση στο δρόμο, τα φώτα σβήνουν και η ροή επιστρέφει στην αρχή, αποκαθιστώντας αυτή τη λειτουργία.

Β. Διάγραμμα ροής του έργου



Σχήμα 12. Διάγραμμα ροής συστήματος έξυπνου οδικού φωτισμού LED (‘Canva-Free Online Block Diagram Maker’ 2024)

Γ. Δομικό διάγραμμα



Σχήμα 13. Δομικό διάγραμμα συστήματος έξυπνου οδικού φωτισμού οδών (‘Canva-Free Online Block Diagram Maker’ 2024)

4. Σχεδιασμός υλικού

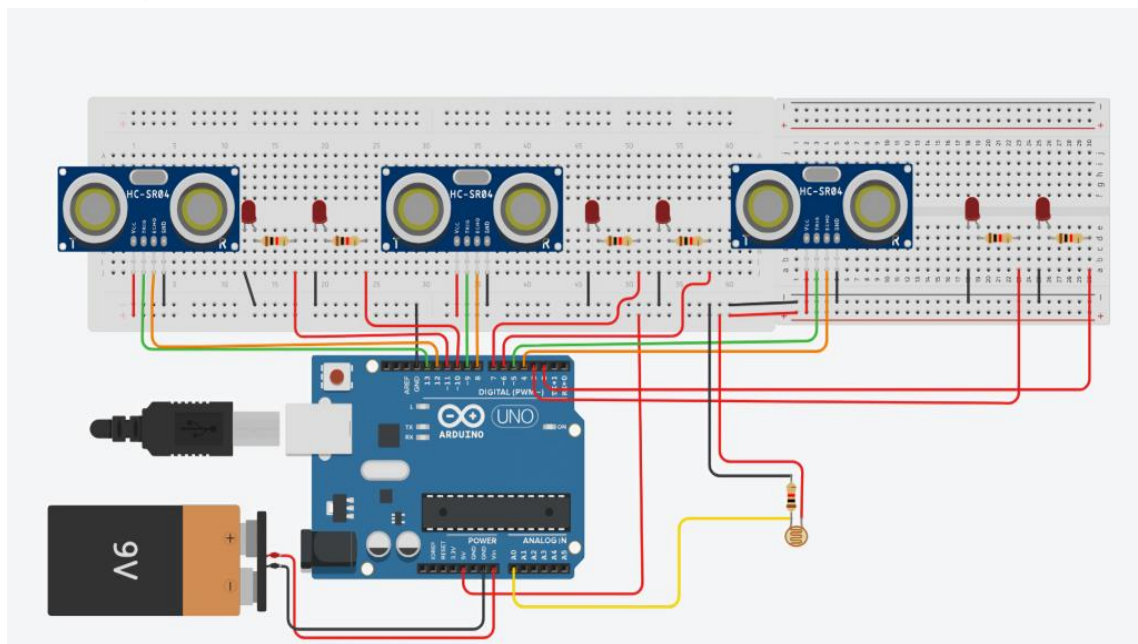
4.1 Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα, θα περιγράψουμε λεπτομερώς το σχεδιασμό και την ενσωμάτωση των εξαρτημάτων υλικού που χρησιμοποιούνται στο πρωτότυπο έξυπνο αυτοκινητόδρομο μας. Σκοπός αυτού του συστήματος είναι να ανιχνεύει οχήματα που κινούνται στον αυτοκινητόδρομο και να φωτίζει τη σχετική περιοχή.

Ο στόχος αυτής της ενότητας είναι να αναλύσει τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός πρωτότυπου συστήματος έξυπνου φωτισμού οδών, χρησιμοποιώντας το Arduino και διάφορους αισθητήρες. Το σύστημα αυτό έχει σχεδιαστεί για να βελτιώσει την ενεργειακή αποδοτικότητα και την ασφάλεια στους δρόμους, προσαρμόζοντας την ένταση των φώτων ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την παρουσία οχημάτων. Μέσω της χρήσης ενός LDR για την ανίχνευση της έντασης του φωτός και ενός αισθητήρα υπερήχων για την ανίχνευση της κίνησης, το σύστημα μπορεί να ρυθμίζει αυτόματα τα φώτα, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας όταν δεν υπάρχει κίνηση και εξασφαλίζοντας επαρκή φωτισμό όταν είναι απαραίτητο.

Τα υλικά που θα χρησιμοποιήσουμε για το συγκεκριμένο πείραμα είναι :

- Μπαταρία 9V
- Arduino
- LDR (Light Dependent Resistor)
- Αισθητήρας υπερήχων
- LED φώτα
- Αντιστάσεις και καλώδια



Σχήμα 14. Συνδεσμολογία του συστήματος. ('Tinkercad', n.d.)

4.2 Σύνδεση και τοποθέτηση εξαρτημάτων

Στην πρώτη φάση του πειράματος θα συνδέσουμε την πλακέτα μας με έναν αισθητήρα υπερήχων και έναν αισθητήρα LDR. Για να γίνει αυτό θα χρησιμοποιήσουμε και μια επιπλέον Breadboard ώστε να τοποθετήσουμε ένα λαμπάκι LED που θα ανάβει σε περίπτωση που θα εντοπιστεί οπουδήποτε κίνηση πάνω στην μακέτα. Στη συνέχεια θα τοποθετήσουμε άλλους αισθητήρες και άλλα LED, αλλά πρώτα για την ευκολία θα συνδέσουμε μονά αυτά τα εξαρτήματα.

Ο αισθητήρας υπερήχων έχει 4 pins :

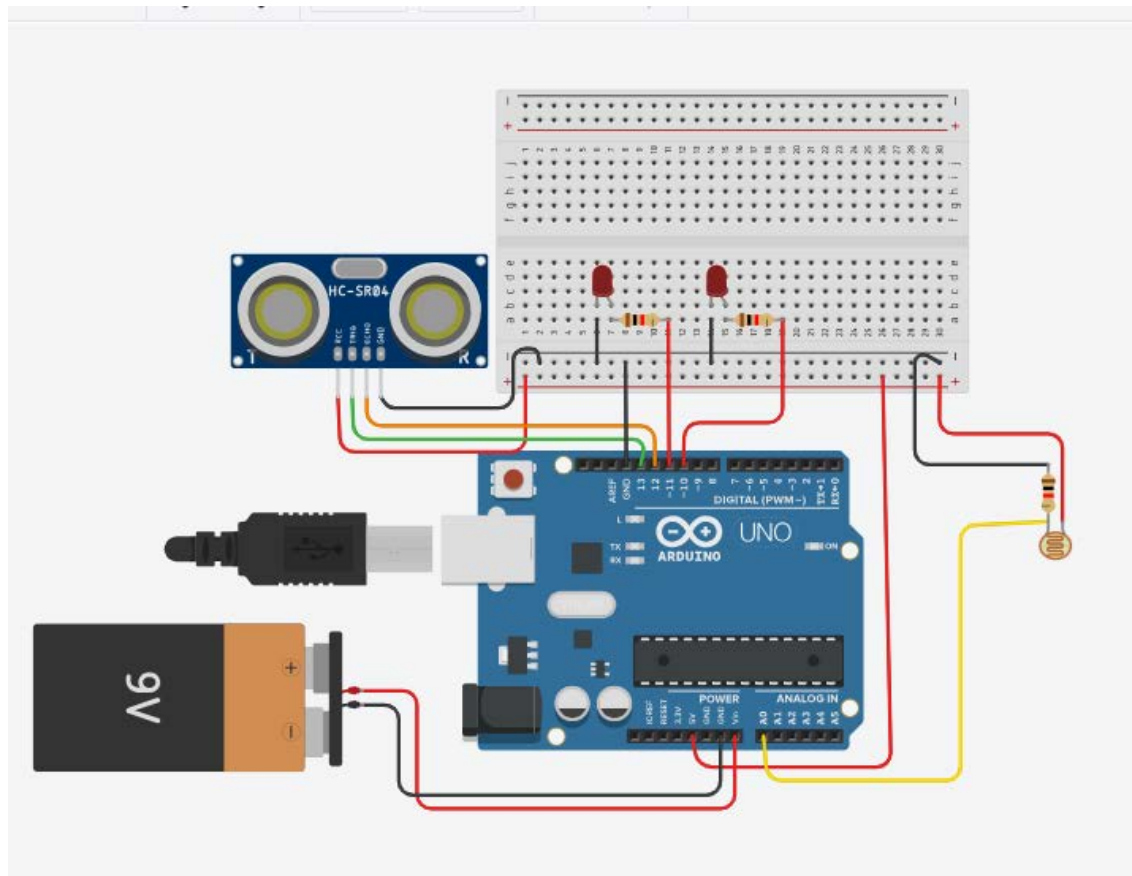
1. **VCC**: Είναι το pin από το οποίο θα τροφοδοτήσει τον αισθητήρα και το συνδέσουμε με το pin 5V στο Arduino και συνδέεται με το κόκκινο καλώδιο στην πλακέτα.
2. **Trig**: Ο Trig pin (ακίδα ενεργοποίησης) χρησιμοποιείται για την εκπομπή ενός υπερηχητικού σήματος από τον αισθητήρα και συνδέεται στο pin **D10** της πλακέτας.

3. **Echo:** Όταν το υπερηχητικό κύμα που εκπέμπεται από τον αισθητήρα συναντά ένα αντικείμενο, ανακλάται και επιστρέφει πίσω στον αισθητήρα. Είναι συνδεδεμένη στο pin **D9** της πλακέτας.
4. **GND:** Είναι η γείωση και θα πρέπει να συνδεθεί με το Pin GND στην πλακέτα και συνήθως συνδέεται με τα μαύρα καλώδια.

Ο αισθητήρας φωτοευαίσθητης αντιστάτης έχει 2 pins :

1. **Terminal 1:** Είναι το αριστερό ποδαράκι του αισθητήρα LDR (Light Dependent Resistor) και καθορίζεται από τον χρήστη να είναι είτε ο θετικός είτε ο αρνητικός πόλος του αισθητήρα, δηλαδή άνοδος ή κάθοδος. Το ποδαράκι αυτό δεν έχει πολικότητα, επομένως μπορεί να συνδεθεί είτε στον θετικό πόλο (VCC) είτε στον αρνητικό πόλο (GND) ανάλογα με το σχεδιασμό του κυκλώματος. Σε αυτό το παράδειγμα είναι συνδεδεμένη στο VCC.
2. **Terminal 2:** Είναι το δεξί ποδαράκι του αισθητήρα LDR (Light Dependent Resistor). Όπως και το αριστερό ποδαράκι, καθορίζεται από τον χρήστη να είναι είτε ο θετικός είτε ο αρνητικός πόλος. Στο παράδειγμα αυτό, το δεξί ποδαράκι του LDR είναι συνδεδεμένο με μια αντίσταση, η οποία με τη σειρά της είναι συνδεδεμένη στο **GND** (αρνητικός πόλος) και η αντίσταση συνδέεται με ένα αναλογικό πείνακι (A0) του Arduino για την ανάγνωση της τάσης.

Οι συνδέσεις γίνονται με τη βοήθεια του breadboard, διότι το Arduino δεν περιέχει αρκετά pin να γίνουν όλες οι συνδέσεις πάνω στην πλακέτα. Επίσης, έχουμε προσθέσει μία μπαταρία 9V και δυο λαμπάκια LED στο κύκλωμα.



Σχήμα 15.Σύνδεση των βασικών εξαρτημάτων, αισθητήρας υπερήχων , φωτοευαίσθητης αντιστάτης και μπαταρίας.

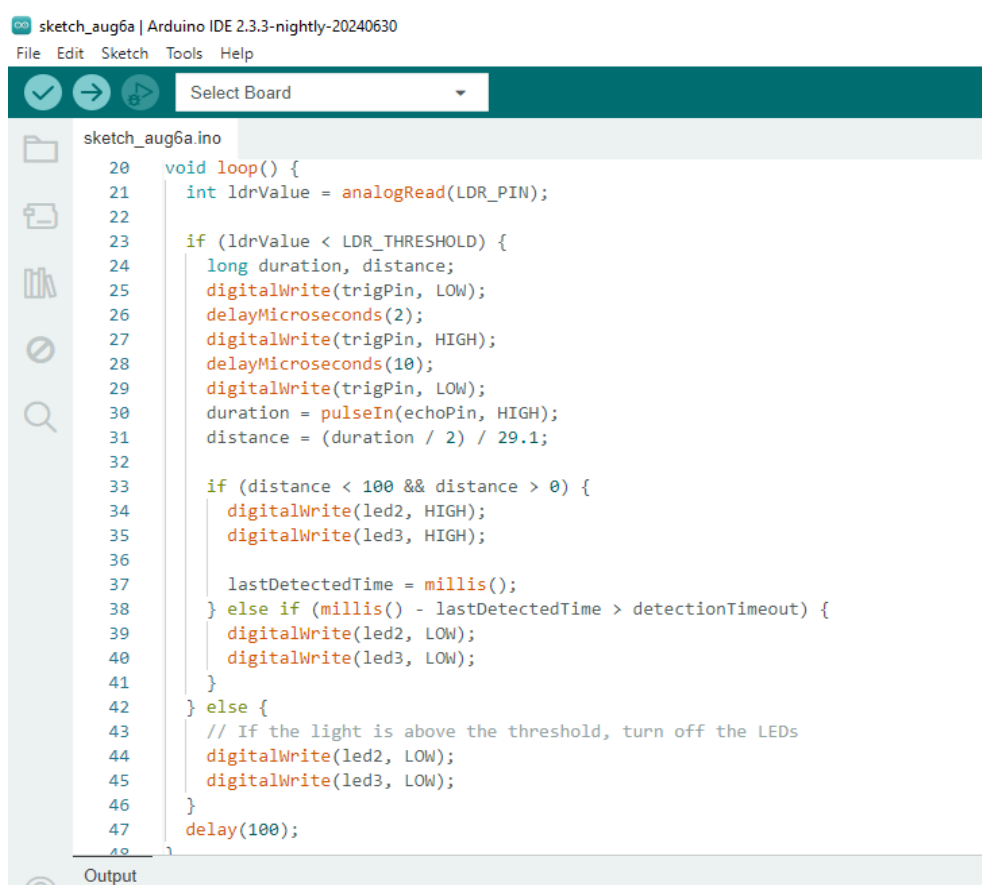
4.3 Κώδικας του Συστήματος

Σε αυτή τη φάση του πειράματος, έχουμε κωδικοποιήσει το σύστημα ώστε να καλύπτει τις ανάγκες που επιθυμούμε. Το Arduino διαθέτει το δικό του περιβάλλον ανάπτυξης, το οποίο ονομάζεται Ολοκληρωμένο Περιβάλλον Ανάπτυξης (IDE). Στο Σχήμα 15, παρουσιάζεται το βασικό κομμάτι του κώδικα, όπου πρώτα ρυθμίζουμε το σύστημα να διαβάζει τα σήματα που προέρχονται από τον LDR. Οι τιμές του αισθητήρα κυμαίνονται από 0 έως 1023. Σε αυτό το παράδειγμα, έχουμε θέσει την τιμή ενεργοποίησης στο 300 (έχουμε ορίσει ως τιμή κατωφλίου **LDR_THRESHOLD** στο παρακάτω σχήμα). Δηλαδή, όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει ένταση φωτός χαμηλότερη από 300, τότε το σύστημα αρχίζει να λειτουργεί, όπως έχουμε αναφέρει και στην Ενότητα 3.

Στη συνέχεια, κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις του αισθητήρα υπερήχων και ορίζουμε την απόσταση ανίχνευσης πάνω στη μακέτα. Στη συγκεκριμένη διαδικασία, έχουμε ορίσει την απόσταση ανίχνευσης σε 1 μέτρο. Οποιαδήποτε κίνηση κάτω από αυτό το όριο θα

ανιχνεύεται από τον αισθητήρα, και τα λαμπάκια LED θα ενεργοποιούνται για 5 δευτερόλεπτα. Εάν δεν εντοπιστούν άλλες κινήσεις μέσα σε αυτό το διάστημα, τα λαμπάκια θα σβήνουν ξανά.

Στην τελική σχεδίαση του συστήματος, θα τοποθετήσουμε άλλους δύο αισθητήρες και λαμπάκια LED, στα οποία θα προσθέσουμε επιπλέον στήλες κώδικα, με αποτέλεσμα ο αριθμός των στηλών κωδικοποίησης να αυξηθεί και να μην χωρέσει στο παρακάτω σχήμα. Για αυτόν τον λόγο, δείχνουμε τη λογική κωδικοποίηση για έναν αισθητήρα υπερήχων και μια φωτοευαίσθητη αντίσταση, ώστε να γίνεται πιο εύκολα κατανοητή.



```
sketch_aug6a.ino
20 void loop() {
21   int ldrValue = analogRead(LDR_PIN);
22
23   if (ldrValue < LDR_THRESHOLD) {
24     long duration, distance;
25     digitalWrite(trigPin, LOW);
26     delayMicroseconds(2);
27     digitalWrite(trigPin, HIGH);
28     delayMicroseconds(10);
29     digitalWrite(trigPin, LOW);
30     duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
31     distance = (duration / 2) / 29.1;
32
33     if (distance < 100 && distance > 0) {
34       digitalWrite(led2, HIGH);
35       digitalWrite(led3, HIGH);
36
37       lastDetectedTime = millis();
38     } else if (millis() - lastDetectedTime > detectionTimeout) {
39       digitalWrite(led2, LOW);
40       digitalWrite(led3, LOW);
41     }
42   } else {
43     // If the light is above the threshold, turn off the LEDs
44     digitalWrite(led2, LOW);
45     digitalWrite(led3, LOW);
46   }
47   delay(100);
48 }
```

Σχήμα 16.Κωδικοποίηση του συστήματος

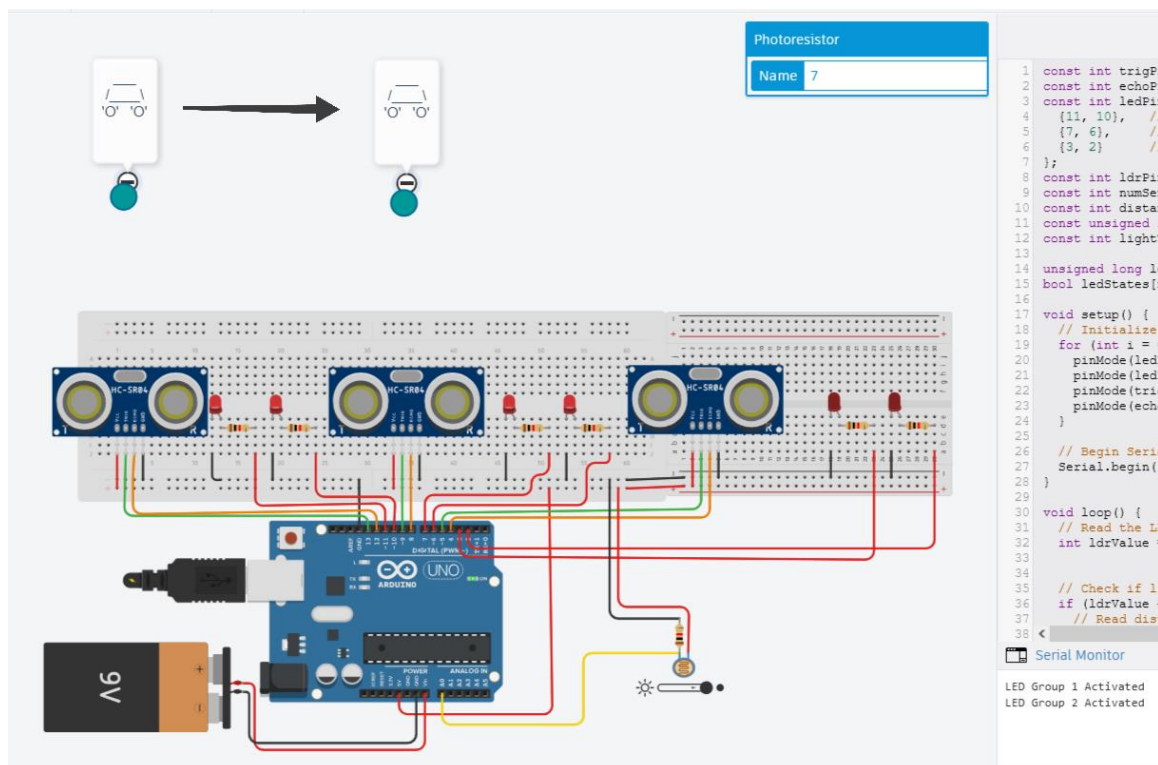
Για να βεβαιωθούμε ότι ο κώδικας είναι έτοιμος, πατάμε το κουμπί «Επικύρωση» για να γίνει έλεγχος για τυχόν λάθη. Αν δεν εντοπιστεί κανένα σφάλμα στην κωδικοποίηση, μπορούμε να πατήσουμε το κουμπί «Ανέβασμα» για να φορτώσουμε τον κώδικα στην πλακέτα.

4.4 Λειτουργία του συστήματος

Στο Σχήμα 16 βλέπουμε την ολοκληρωμένη σχεδίαση και λογική λειτουργία του συστήματος, όπως αναφέραμε στις προηγούμενες ενότητες. Τα λαμπάκια LED ενεργοποιούνται μετά την

ανίχνευση από τους αντίστοιχους αισθητήρες. Το μαύρο βελάκι μας παρουσιάζει την κίνηση του οχήματος, η οποία μετακινείται από αριστερά προς τα δεξιά. Αφού θεωρήσαμε ότι το όχημα κινείται από αριστερά προς τα δεξιά, δηλαδή ξεκινάει από την πλευρά όπου βρίσκεται ο αισθητήρας 1 και προχωράει προς τον αισθητήρα 2 και 3. Στη συνέχεια, ανάβουν οι λαμπτήρες όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Το συγκεκριμένο σύστημα είναι προγραμματισμένη να προειδοποιεί τον χρήστη, στο Serial Monitor του Arduino IDE, με αυτό το τρόπο μπορούμε να παρακολουθήσουμε την κίνηση και ποιες ομάδες LED είναι ενεργοποιημένες.



Σχήμα 17. Ανίχνευση των αισθητήρων υπερήχων και ενεργοποίηση των ομάδων LED.

4.5 Ενεργειακή Αποδοτικότητα του Προτεινόμενου Συστήματος

Για να αξιολογήσουμε την ενεργειακή αποδοτικότητα του προτεινόμενου συστήματος, θα εξετάσουμε την κατανάλωση ενέργειας σε ένα υποθετικό σενάριο σε μια περιοχή με χαμηλή κυκλοφορία τη νύχτα. Ας υποθέσουμε ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας θα περάσουν 10 αυτοκίνητα, σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Θα συγκρίνουμε την ενεργειακή κατανάλωση σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις.

Στο σενάριο 1, έχουμε μια παραδοσιακή λειτουργία φωτισμού που λειτουργεί όλη τη νύχτα, είτε υπάρχει κίνηση είτε όχι, ενώ στο σενάριο 2, έχουμε το παρόμοιο παράδειγμα της μακέτας που φτιάξαμε, όπου ελέγχονται 6 λαμπάκια από τον μικροελεγκτή. Στην πραγματικότητα, οι

φανοστάτες στην εθνική οδό έχουν γενικά απόσταση μεταξύ τους 25 μέτρα. Για αυτόν τον λόγο, μπορούμε να πούμε ότι κάθε 150 μέτρα υπάρχουν 6 φανοστάτες. Στο υποθετικό μας παράδειγμα, θεωρούμε την κατανάλωση ενέργειας για 150 μέτρα. Επειδή δεν μας ενδιαφέρει πόση ενέργεια καταναλώνουν αυτοί οι λαμπτήρες σε αυτό το παράδειγμα, τους αναφέρουμε σε εκατοστά χρήσης ενέργειας.

- **Σενάριο 1:** Σε αυτή την περίπτωση, τα φώτα παραμένουν αναμμένα όλη τη νύχτα για 10 ώρες, καταναλώνοντας το 100% της ενέργειας.
- **Σενάριο 2:** Τα φώτα ανάβουν μόνο όταν ανιχνεύεται κίνηση, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας. Αν έχουμε καθορίσει να παραμείνουν ανοιχτά τα φώτα για 2 λεπτά μετά από κάθε ανίχνευση και περάσουν συνολικά 10 αυτοκίνητα, το σύστημα θα λειτουργήσει συνολικά για 20 λεπτά.

Υπολογισμός Ενέργειας:

Σενάριο 1: Κατανάλωση ενέργειας με τα φώτα αναμμένα συνεχώς για 10 ώρες = 100% ενέργειας.

Σενάριο 2: Κατανάλωση ενέργειας με το προτεινόμενο σύστημα με τα φώτα αναμμένα για 20 λεπτά, που θα περάσουν 10 αυτοκίνητα και έχουμε ορίσει τα φώτα να είναι αναμμένα για 2 λεπτά όταν ανιχνεύουν οχήματα από τους αντίστοιχες αισθητήρες.

Για να απλοποιήσουμε τον υπολογισμό, ας θεωρήσουμε ότι 10 ώρες αντιστοιχούν στο 100% της κατανάλωσης ενέργειας. Επομένως, 20 λεπτά, που είναι το $\frac{1}{3}$ της 1 ώρας, άρα για 10 ώρες αντιστοιχούν στο $\frac{1}{30}$ της κατανάλωσης, δηλαδή περίπου στο **3.33%** της συνολικής ενέργειας.

Ο υπολογισμός ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για το **Σενάριο 2** είναι ως εξής :

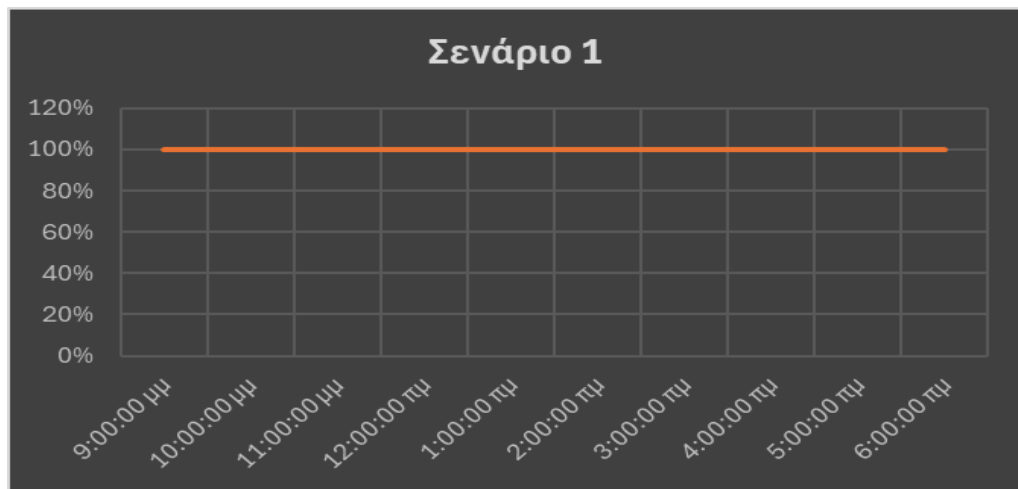
$$\text{Ποσοστό κατανάλωσης} = \frac{\frac{20}{60} \times 10 \text{ h}}{100} = 0.0333 \sim \mathbf{3.33\%}$$

Αφού έχουμε υπολογίσει το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας στο Σενάριο 1, μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας συγκρίνοντας τα αντίστοιχα σενάρια. Σύμφωνα με το **Σενάριο 1**, όπου έχουμε 100% κατανάλωση ενέργειας και στο **Σενάριο 2** έχουμε 3.33% κατανάλωση ενέργειας, αφαιρώντας τα ποσοστά των σεναρίων μεταξύ τους, βρίσκουμε το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας.

Ο υπολογισμός ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας είναι ως εξής :

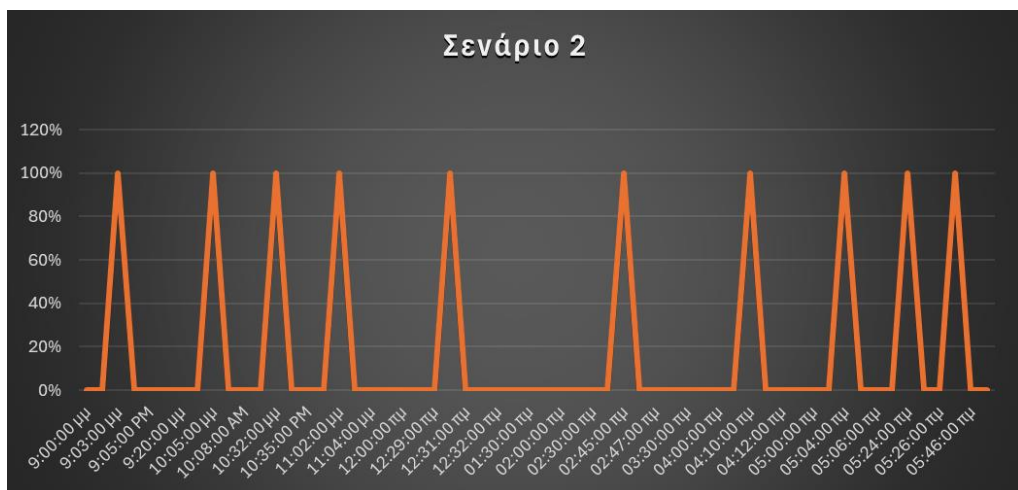
$$\text{Ποσοστό Εξοικονόμησης} = 1 - 0.0333 = 0.966 \sim \mathbf{96.67\%}$$

- Διάγραμμα 1:



Διάγραμμα 1.Χρήση Ενέργειας στο Σενάριο 1.

- Διάγραμμα 2:



Διάγραμμα 2.Χρήση Ενέργειας στο Σενάριο 2.

5.Συμπέρασματα

Αυτή η μελέτη πέτυχε τον σχεδιασμό και την εφαρμογή ενός συστήματος ανίχνευσης κίνησης και ελέγχου φωτός. Κατορθώσαμε να επιτύχουμε όλους τους στόχους που θέσαμε, ολοκληρώνοντας τις αναλύσεις σχετικών έργων και τις βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον κλάδο. Αναφέραμε τη λογική λειτουργίας του συστήματος

και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος και παρουσιάσαμε τον σχεδιασμό και τα αποτελέσματά του. Τέλος, καταφέραμε να δημιουργήσουμε δύο υποθετικά σενάρια, στα οποία συγκρίναμε τον παραδοσιακό φωτισμό με το συγκεκριμένο σύστημα. Τα αποτελέσματα έδειξαν τα οφέλη από τη χρήση ενός τέτοιου συστήματος .

Επιπλέον, τα αποτελέσματά μας έδειξαν ότι η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος μας επιτρέπει να εξοικονομούμε σημαντικές ποσότητες ενέργειας σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα φωτισμού. Όπως έδειξαν τα διαγράμματα και οι υπολογισμοί, με το προτεινόμενο σύστημα μπορούμε να εξοικονομούμε έως και 96,67% της ενέργειας. Αυτή η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας όχι μόνο μειώνει το λειτουργικό κόστος, αλλά συμβάλλει επίσης στην προστασία του περιβάλλοντος.

Τέλος, αυτό το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές ασφάλειας και αυτοματισμού, καθώς περιλαμβάνει τη δυνατότητα ειδοποίησης του χρήστη όταν ανιχνεύεται κίνηση. Αυτή η ανάλυση δείχνει ξεκάθαρα τα οφέλη του προτεινόμενου συστήματος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. 'Aane Wala Tech, Jhansi - Order Online'. 2024. <https://Www.Aanewalatech.Org>. 10 August 2024. <https://www.aanewalatech.org/product/30271278/Smart-Street-Light-project--Full-Video-And-Synopsis-File-Access-For-Pay>.
2. 'Arduino UNO R3'. 2024. GJ Digital. 3 June 2024. <https://www.gjdigital.com/product/2/arduino-uno-r3>.
3. 'Canva-Free Online Block Diagram Maker'. 2024. 3 June 2024. <https://www.canva.com/graphs/block-diagrams>.
4. 'Electronics World'. n.d. <https://Electronicsworld.Gr>. <https://electronicsworld.gr/product/led-%CE%B8%CE%B1%CE%BC%CF%80%CE%AC-%CE%BA%CF%8C%CE%BA%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B1-5mm/>.
5. 'GROBOTRONICS'. 2024. <https://Grobotronics.Com>. 3 June 2024. <https://grobotronics.com/ultrasonic-sensor-sr04.html>.
6. Kabir, Md. Humayun, Abdullah Al Noman, Abdullah Al Afiq, Reajul Hasan Raju, Mohammad Nadib Hasan, and Ahmad. 2023. 'Design and Implement IoT-Based Intelligent Manageable Smart Street Lighting Systems for Future Smart City'. In *The 4th International Electronic Conference on Applied Sciences*, 147. MDPI. <https://doi.org/10.3390/ASEC2023-15535>.
7. 'Light Dependent 5528 Photosensitive Resistor (Photoresistor) - LDR COM22, R22'. 2024. Faranux Electronics. 3 June 2024. <https://www.faranux.com/product/light-dependent-resistor-ldr>.
8. 'PRT-11026 - SparkFun Electronics'. n.d. PRT-11026 - SparkFun Electronics. <https://www.sparkfun.com/products/11026>.

9. 'Robobee'. n.d. Robobee.Gr.
<https://robobee.gr/product/%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%84%CE%B1-%CE%B4%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BC%CF%8E%CE%BD-830-%CE%BF%CF%80%CE%AD%CF%82-%CE%BA%CE%BB%CE%B1%CF%83%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE/>.
10. Singh, Rajesh, Rohit Sharma, Shaik Vaseem Akram, Anita Gehlot, Dharam Buddhi, Praveen Kumar Malik, and Rajeev Arya. 2021. 'Highway 4.0: Digitalization of Highways for Vulnerable Road Safety Development with Intelligent IoT Sensors and Machine Learning'. *Safety Science* 143 (November):105407.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105407>.
11. Sophiya Susan, S, Aakash Praveen Raj, Ashutosh Mishra, and Vachan Thambi. 2022. 'Vehicle Movement Based Innovative Smart Highway Lighting System'. In *2022 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, 483–88. Nepal: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICT54344.2022.9850478>.
12. 'Stationery & Printers'. n.d. Online Stationery Delhi.
<https://saistationeryprinters.com/product/9v-battery-duracell/>.
13. 'Tinkercad'. n.d. <https://www.tinkercad.com/>.
14. Vargas, Carlos, Jesus Guaman, Ruben Nogales, and Albertos Rios. 2017. 'Photovoltaic Lighting System with Intelligent Control Based on ZigBee and Arduino'. *International Journal of Renewable Energy Research*, no. v7i1.
<https://doi.org/10.20508/ijrer.v7i1.5335.g6981>.
15. Zhang, Jing-jing, Wei-hua Zeng, Sheng-li Hou, Yu-qi Chen, Lin-yan Guo, and Yan-xing Li. 2022. 'A Low-Power and Low-Cost Smart Streetlight System Based on Internet of Things Technology'. *Telecommunication Systems* 79 (1): 83–93.
<https://doi.org/10.1007/s11235-021-00847-1>.