

Συστήματα συλλογής αποβλήτων με IoT.

Ρέντζου Παρασκευή

Δρ.Αριστείδης Γκολφινόπουλος

Email:arisgolf2@hotmail.com

Μεταπτ. Φοιτήτρια Διαχείρισης Αποβλήτων/ΣΘΕΤ,
ΕΑΠ

vrentzou@greenwise.gr , st112438@ac.eap.gr

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, με την ανάπτυξη των τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στα πλαίσια των Έξυπνων πόλεων εφαρμόζονται καινοτομικές λύσεις μεταξύ άλλων και στην συλλογή των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, οι οποίες περιλαμβάνουν συστήματα Internet of Things – IoT. Ένα IoT σύστημα περιλαμβάνει διάφορους αισθητήρες, μικροεπεξεργαστές ενεργοποιητές που τοποθετούνται στους κάδους, έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν μέσω internet με την κεντρική διαχείριση, όπου το ειδικό Cloud λογισμικό παρακολουθεί τα στοιχεία των αισθητήρων ,όπως την πληρότητα των κάδων, βρίσκει τις βέλτιστες διαδρομές των απορριμματοφόρων, επικοινωνεί με τους πολίτες. Οι λύσεις IoT αποσκοπούν στην βελτιστοποίηση της συλλογής των αποβλήτων, στην αύξηση της συμμετοχής του κοινού και στην αξιοποίηση των αστικών βιοαποβλήτων, στο πλαίσιο μιας κυκλικής οικονομίας.

Λέξεις-Κλειδιά:

Συλλογή αποβλήτων με IoT/waste collection with IoT, έξυπνοι κάδοι/smart bins, βελτιστοποίηση διαδρομών/routes optimization.

1. Εισαγωγή

Η τεράστια διάδοση των τεχνολογιών του Διαδικτύου των πραγμάτων Internet of Things - IoT που σημειώθηκε τα τελευταία δέκα χρόνια είχε ως αποτέλεσμα την ραγδαία αλλαγή των υπηρεσιών και των διαδικασιών σε διάφορα περιβάλλοντα, όπως την βιομηχανία την γεωργία ή την πολιτιστική κληρονομιά. Η τεχνολογία IoT, προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την ανιχνευσιμότητα, προσαρμοστικότητα και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο.

Τα Ηνωμένα Έθνη εκτιμούν ότι περίπου τα δύο τρίτα του παγκόσμιου πληθυσμού θα αστικοποιηθεί έως το 2050 (Esmailian et al.,2018). Εάν ο πληθυσμός μιας πόλης αυξάνεται με ρυθμό 3-5% ετησίως όπως προβλέπεται , η ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων θα διπλασιάζεται ανά μια δεκαετία, γεγονός με τεράστια οικονομική επιβάρυνση για όλο το φάσμα της διαχείρισης από την συλλογή, ανακύκλωση, έως την τελική διάθεση. Η διαχείριση των αποβλήτων είναι ένα σοβαρό ζήτημα των αστικών πληθυσμών, και απαιτείται η ανάπτυξη ενός βιώσιμου οικοσυστήματος για την ελαχιστοποίηση της απειλής για την αστική ζωή (Shah et al., 2018). Στην παρούσα εργασία καταγράφονται τα μέρη που αποτελούν ένα IoT σύστημα συλλογής , τα πρωτόκολλα επικοινωνίας

και τα είδη λογισμικού που συναντώνται στην βιβλιογραφία.

2. IoT σύστημα συλλογής αποβλήτων

Όλες οι δραστηριότητες συλλογής στερεών αποβλήτων , απαιτούν πολλούς εργαζόμενους και μέσα μεταφοράς, με αντίκτυπο στην αστική κυκλοφορία και ρύπανση. Η υιοθέτηση IoT λύσεων μπορεί να αποφέρει μεγάλα οφέλη όπως μείωση χρόνου συλλογής, μείωση κόστους και βελτίωση αποδοτικότητας. Αυτές οι λύσεις περιλαμβάνουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των απορριμματοφόρων, την ανάλυση της συμπεριφοράς του χρήστη, την αυτοματοποίηση των διαδικασιών απόρριψης ,την μέτρηση σε πραγματικό χρόνο των επιπέδων πλήρωσης των κάδων που οδηγεί σε βελτιστοποιημένες διαδρομές με αποτέλεσμα την μείωση των ωρών εργασίας των χειριστών και των χιλιομέτρων των οχημάτων, με θετική επίδραση στα επίπεδα ρύπανσης και κυκλοφορίας.

Οι τεχνολογίες IoT περιλαμβάνουν αισθητήρες, συσκευές αναγνώρισης, ενεργοποιητές, τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, κάμερες, που προσαρμόζονται πάνω σε κάδους ,απορριμματοφόρα και γενικά εξοπλισμό συλλογής των αποβλήτων.

3. Αρχιτεκτονική συστήματος IoT

Ως αρχιτεκτονική ενός συστήματος IoT εννοούμε τα βασικά τμήματα τα οποία συνθέτουν το σύστημα. Η πιο απλή προσέγγιση εξετάζει μια αρχιτεκτονική που αποτελείται από τρία κύρια επίπεδα: των αισθητήρων/επεξεργαστών, που κάνει τις μετρήσεις, το επίπεδο των επικοινωνιών, υπεύθυνο για την αποστολή των δεδομένων και το επίπεδο του λογισμικού/εφαρμογών, που διαχειρίζεται τα δεδομένα. Συχνά συναντάμε ανάλυση της Αρχιτεκτονικής σε 4 επίπεδα ή και σε 5 επίπεδα. Οι, (Pardini et al., 2019) αναλύουν την αρχιτεκτονική των IoT συστημάτων σε 5 επίπεδα ως:

Επίπεδο υλικού:

Το επίπεδο του φυσικού υλικού, που έχει την ευθύνη της συλλογής των πληροφοριών με τεχνολογίες για την ανίχνευση φυσικών μεγεθών μέσω αισθητήρων, όπως βάρος, θερμοκρασία υγρασία κ.λπ., της επεξεργασίας τους και της μεταφοράς τους στα ανώτερα στρώματα μέσω ασφαλών καναλιών.

Επίπεδο δικτύου:

Το δίκτυο είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά των δεδομένων που μετρήθηκαν, προς τα ανώτερα επίπεδα, εκεί που θα επεξεργαστούν. Εκτός από τα βασικά καθήκοντα εκτελεί επίσης διαδικασία διαχείρισης δεδομένων.

Επίπεδο ενδιάμεσου λογισμικού- Middleware :

Το επίπεδο ενδιάμεσου λογισμικού είναι ένα σύνολο υποεπιπέδων που εργάζονται για τη διασύνδεση των στοιχείων του IoT που δεν θα ήταν δυνατόν να επικοινωνήσουν διαφορετικά, δηλαδή, εργάζεται ως διερμηνέας.

Επίπεδο εφαρμογής:

Το επίπεδο εφαρμογής είναι αυτό που δημιουργούνται οι διασυνδέσεις με τους χρήστες, δηλαδή, εκεί που συμβαίνει η ερμηνεία και η διαθεσιμότητα των πληροφοριών.

Επιχειρησιακό επίπεδο:

Το 5^ο επίπεδο που αναφέρεται από τους (Pardini et al., 2019), είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση ολόκληρου του συστήματος IoT και περιλαμβάνει υπηρεσίες, εφαρμογές όπως η παροχή reports των υποκείμενων επιπέδων, αντιμετώπιση του απορρήτου των χρηστών κ.λπ.

Η αρχιτεκτονική των IoT εφαρμογών πρέπει να αντιμετωπίζει θέματα όπως η επεκτασιμότητα, η διαλειτουργικότητα, η αξιοπιστία, η ποιότητα της υπηρεσίας κ.λπ. Κάθε ομάδα ή εταιρεία περιγράφει τη δική της αρχιτεκτονική, που καθιστά το έργο της τυποποίησης πιο περίπλοκο. Όμως ακόμη και με μια ευέλικτη αρχιτεκτονική, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις, που σχετίζονται ειδικά με την ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων.

4. Περιγραφή Φυσικού επιπέδου

Ακολουθεί περιγραφή των φυσικών τμημάτων που συναντάμε στην βιβλιογραφία σε ένα IoT σύστημα συλλογής αποβλήτων.

4.1. Αισθητήρες

Ένας έξυπνος κάδος απορριμμάτων περιλαμβάνει ένα κλειστό δοχείο που κλείνει με καπάκι και είναι εξοπλισμένος με αισθητήρες. Οι κάδοι μπορεί να είναι οι κλασικοί πλαστικοί κάδοι, ή ειδικές μεταλλικές κατασκευές, υπέργειοι ή υπόγειοι. Οι κλασικοί κάδοι, μπορεί να φέρουν ειδικό καπάκι, για ελεγχόμενο άνοιγμα - κλείσιμο, ελεγχόμενη

πρόσβαση, και ελεγχόμενη ποσότητα εισερχομένων. Οι αισθητήρες ή κόμβοι nodes συνήθως ομαδοποιούνται σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων WSN, που είναι αισθητήρες, ενεργοποιητές και μικροελεγκτές (Kumar et al., 2016). Επειδή οι έξυπνοι κάδοι αναμένεται να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλες ποσότητες, το συνολικό κόστος της τεχνολογικής υποδομής πρέπει να διατηρηθεί όσο το δυνατόν χαμηλότερο και αυτό σημαίνει ότι οι αισθητήρες δεν πρέπει να κοστίζουν περισσότερο από λίγα ευρώ

Οι αισθητήρες που εμφανίζονται στην βιβλιογραφία είναι:

4.1.1. Αισθητήρες υπερήχων

Οι πλέον συχνά εμφανιζόμενοι είναι οι αισθητήρες υπερήχων που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της πληρότητας των κάδων και σχετίζονται άμεσα με το λογισμικό καθορισμού των διαδρομών των απορριμματοφόρων. Ο αισθητήρας υπερήχων περιλαμβάνει πομπό υπερήχων, δέκτη και κύκλωμα ελέγχου.

Ο αισθητήρας στέλνει ένα σήμα υπερήχων και ανιχνεύει τον παλμό που επιστρέφει. Ο χρόνος από την αποστολή έως την παραλαβή δίνει την απόσταση, η οποία είναι:

$$\text{απόσταση} = \text{χρόνος} \times \text{ταχύτητα ήχου} (340\text{m/sec}) / 2$$

Κρίσιμα ζητήματα είναι η μηχανική στιβαρότητα, η στεγανοποίηση, δεδομένου ότι οι κάδοι πλένονται συχνά με νερό, η κατανάλωση ισχύος και τέλος το κόστος. Συχνά το ποσοστό πλήρωσης του κάδου εμφανίζεται σε οθόνη LED πάνω στον κάδο.

4.1.2. Αισθητήρας βάρους

Πρόκειται για μια δυναμοκυψέλη (load cell) που συνδέεται με πρόγραμμα οδήγησης, ένα ενισχυτή που ενισχύει το σήμα που εκπέμπεται από την δυναμοκυψέλη για την εξαγωγή μετρήσιμων δεδομένων σε διασύνδεση με έναν μικροελεγκτή. Η λειτουργία των δυναμοκυψελών βασίζεται σε μετρητές τάνσης, δηλαδή αισθητήρες που χρησιμοποιούν το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Οι δυναμοκυψέλες παρέχουν ακρίβεια δεδομένων από 0,03% έως 0,25% (Ali et al., 2020).

4.1.3. Αισθητήρες υπέρυθρων

Ένας αισθητήρας υπέρυθρων IR μετρά και ανιχνεύει την υπέρυθρη ακτινοβολία στο περιβάλλον του. Διακρίνονται σε ενεργούς και παθητικούς. Οι ενεργοί αισθητήρες υπέρυθρων έχουν δύο μέρη: μια δίοδο εκπομπής φωτός LED και έναν δέκτη. Ένας παθητικός αισθητήρας υπέρυθρων PIR δεν εκπέμπει φως αλλά μετρά το υπέρυθρο φως που ακτινοβολείται ή αντανακλάται από αντικείμενα στο οπτικό πεδίο του. Ο αισθητήρας υπέρυθρων χρησιμοποιείται για ανίχνευση κίνησης έξω από τον κάδο ή σκουπιδιών έξω από τον κάδο με ηχητική ειδοποίηση όταν γίνεται αυτό. Κάποιοι μετρούν την πληρότητα του κάδου απορριμμάτων με υπέρυθρους αισθητήρες που τους τοποθετούν σε ένα ή περισσότερα ύψη ώστε να ανιχνεύεται το ύψος των απορριμμάτων, όταν φτάνει στο επίπεδο αυτό, πριν γεμίσει ο κάδος.

4.1.4. Αισθητήρας βροχής

Οι αισθητήρες βροχής συνδέονται για ανίχνευση βροχοπτώσεων κυρίως για να κλείνει αυτόματα το καπάκι και να προστατεύεται το περιεχόμενο του κάδου. Είναι μια ομάδα αισθητήρων νερού που τοποθετούνται στις διάφορες πλευρές του κάδου για να ανιχνεύουν την βροχή έτσι ώστε να κλείνει αυτόματα το καπάκι. Οι αισθητήρες βροχής ανιχνεύουν το

φως που φθάνει σε αυτούς, οπότε όσο περισσότερη η βροχή τόσο λιγότερο φως θα φθάνει στον αισθητήρα.

4.1.5. Αισθητήρας φωτιάς

Ο αισθητήρας φωτιάς ανιχνεύει την φλόγα με φωτοδίοδο . Ο αισθητήρας φωτιάς ανιχνεύει το υπέρυθρο φως που εκπέμπεται από την φωτιά που τυχόν υπάρχει μέσα στον κάδο . Στην απόδοση, ο αισθητήρας φλόγας είναι πολύ πιο ευαίσθητος και ακριβής από τον αισθητήρα καπνού ή τον ανιχνευτή θερμότητας (Savla et al., 2020).

4.1.6. Αισθητήρας υγρασίας

Ένας αισθητήρας υγρασίας χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει το επίπεδο υγρασίας-ξηρότητας των περιεχομένων μέσα στο κάδο, κάτι που είναι χρήσιμο για παράδειγμα όταν δεν γίνεται συλλογή για μεγάλο χρονικό διάστημα , αλλά η συλλογή μπορεί να ενεργοποιηθεί όταν ανιχνευθούν υγρά για αποφυγή διαρροής. Άλλοι τον χρησιμοποιούν για να διακρίνουν υγρά από ξηρά απορρίμματα (Addabbo et al., 2019). Ένας τέτοιος αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας ταυτόχρονα συνήθως ανιχνεύει υδρατμούς μετρώντας την ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων.

4.1.7. Αισθητήρας αερίου

Ένας αισθητήρας αερίου π.χ. MQ-6 είναι μια συσκευή που ανιχνεύει την παρουσία ή τη συγκέντρωση αερίων στην ατμόσφαιρα. Με βάση τη συγκέντρωση του αερίου, ο αισθητήρας παράγει μια αντίστοιχη διαφορά δυναμικού αλλάζοντας την αντίσταση του υλικού μέσα στον αισθητήρα, το οποίο μπορεί να μετρηθεί ως τάση εξόδου. Το MQ-6 μπορεί να ανιχνεύσει συγκεντρώσεις αερίου οπουδήποτε από 200 έως 10000 ppm, με υψηλή ευαισθησία και γρήγορο χρόνο απόκρισης ,υψηλή ευαισθησία στο υγραέριο, ισοβουτάνιο, προπάνιο ,μικρή ευαισθησία στο αλκοόλ, τον καπνό, αλλά ανιχνεύει επίσης CH₄, CO ,H₂.

4.1.8. Αισθητήρας θερμοκρασίας

Ο αισθητήρας μπορεί να μετρήσει ένα αρκετά μεγάλο εύρος θερμοκρασίας (-50 ° C έως 125 ° C), είναι αρκετά ακριβής (ανάλυση 0,1 ° C) και έχει πολύ χαμηλό κόστος, καθιστώντας τον μια δημοφιλή επιλογή. Χρησιμοποιείται αισθητήρας θερμοκρασίας για να ανιχνευτεί αύξηση θερμοκρασίας στον κάδο σε περίπτωση πυρκαγιάς .

4.1.9. Επιταχυνσιόμετρο

Ένα επιταχυνσιόμετρο , μετρά μεταβολές στην κινητική κατάσταση μέσω μεταβολών στη πίεση , ή μέσω πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Με το επιταχυνσιόμετρο ανιχνεύονται μετακινήσεις , ανατροπές ή βανδαλισμοί των κάδων . Επίσης παρακολουθούνται και οι ανατροπές-περιστροφές των κάδων κατά το άδειασμα στο απορριμματοφόρο.

4.1.10. Ηχητική ειδοποίηση

Συχνά εμφανίζεται να τοποθετείται σε κάδους διάταξη για ηχητική ειδοποίηση, για να ειδοποιεί όσους βρίσκονται κοντά όταν π.χ. ένα επικίνδυνο αέριο ή φωτιά εμφανίζεται στον κάδο για να απομακρύνονται από τον κάδο, ή να ειδοποιεί όταν υπάρχουν σκουπίδια έξω από τον κάδο .Η ηχητική ειδοποίηση με βομβητή μπορεί να είναι μηχανική, ηλεκτρομηχανική ή πιεζοηλεκτρική.

4.1.11. Κάμερες

Οι κάμερες, τοποθετούνται συχνά για την παρακολούθηση του χώρου γύρω από τους κάδους ή τοποθετούνται στο απορριμματοφόρο για να παρακολουθούν όλη την διαδικασία συλλογής των κάδων. Οι κάμερες συναντώνται συχνά σε

κάδους που διαχωρίζουν τα απορρίμματα μέσω λογισμικού αναγνώρισης εικόνας και machine learning (Sheng et al.,2020). Συχνά επίσης χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του περιεχομένου όγκου ενός κάδου, για να βλέπει την στάθμη των απορριμμάτων. Μια κάμερα χαμηλής ανάλυσης ενεργοποιείται όταν ανοίγει το καπάκι και παίρνει εικόνες του τι μπαίνει στον κάδο ,που αποστέλλονται στο σύστημα διαχείρισης για να διαπιστωθεί αν απορρίφθηκε μη κατάλληλο υλικό.

4.1.12. Μπαταρία

Όλες οι λειτουργίες που εκτελούνται από αισθητήρες ,ελεγκτές κλπ., απαιτούν ενέργεια η οποία συνήθως παρέχεται από μπαταρίες. Η ανίχνευση , προώθηση των δεδομένων και η ασύρματη επικοινωνία επηρεάζουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας. Η κατανάλωση της μπαταρίας από τη χρήση των συσκευών / αισθητήρων είναι πολύ σημαντικός παράγοντας σε μια λύση IoT και επιδιώκεται πάντα το χαμηλό κόστος και η μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και η αποφυγή χειροκίνητης παρέμβασης για αντικατάσταση της μπαταρίας. Πολύ συχνά χρησιμοποιείται φωτοβολταϊκό πάνελ με επαναφορτιζόμενη μπαταρία.

4.2. Ταυτοποίηση- επικοινωνία

4.2.1. Global Positioning System (GPS)

Για την εύρεση της θέσης των έξυπνων κάδων, υπάρχει συνήθως μονάδα GPS στον κάδο συνδεδεμένη με τον μικροκοντρόλερ . Το GPS, είναι ένα δορυφορικό σύστημα ραδιοπλοήγησης που παρέχει γεωγραφική θέση και πληροφορίες χρόνου σε έναν δέκτη GPS οπουδήποτε πάνω ή κοντά στη Γη, όπου υπάρχει μια ανεμπόδιστη οπτική επαφή σε τέσσερις ή περισσότερους δορυφόρους GPS. Εμπόδια όπως βουνά και κτίρια εμποδίζουν τα σχετικά αδύναμα σήματα GPS. Η μονάδα GPS δίνει την ακριβή θέση του κάδου ,υψόμετρο, καθώς και ταχύτητα, ημερομηνία και ώρα.

4.2.2. RFID ετικέτες

Οι ετικέτες RFID χρησιμοποιούνται όχι μόνο όταν απλά θέλουμε να αναγνωρίσουμε την θέση ενός κάδου, αλλά θέλουμε να αποθηκεύσουμε και να μεταδώσουμε επιπλέον στοιχεία ,όπως π.χ., στοιχεία του ιδιοκτήτη του κάδου ή δεδομένα αισθητήρων (Catarinucci et al., 2020). Το RFID επιτρέπει την αναγνώριση από μικρή απόσταση και χωρίς να υπάρχει οπτική επαφή, σε αντίθεση με την τεχνολογία γραμμικού κώδικα (barcodes) που απαιτεί οπτική επαφή δηλαδή να πλησιάσει το κατάλληλο scanner και να σαρώσει την ετικέτα . Το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το μικρό εύρος επικοινωνίας που υποχρεώνει τον χειριστή να βρίσκεται σε μικρή απόσταση (λιγότερο από 1 m για συστήματα υψηλής συχνότητας ή χαμηλής συχνότητας) από τον κάδο.

Οι ετικέτες RFID μπορούν να ενσωματωθούν και να κρυφτούν επειδή δεν υπάρχει ανάγκη για την οπτική επικοινωνία. Μπορούν να διαβαστούν μέσα από ξύλο, πλαστικό, χαρτόνι, οποιοδήποτε υλικό εκτός από μέταλλο, μπορούν επίσης να επαναπρογραμματιστούν και να λειτουργούν σε σκληρά περιβάλλοντα, όπως σε εξωτερικούς χώρους, γύρω από χημικές ουσίες, υγρασία και υψηλές θερμοκρασίες. Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται οι διαφορές των ετικετών Barcodes -RFID .

Πίνακας 1: Σύγκριση τεχνολογιών barcode-RFID

Τεχνολογία Barcode	Τεχνολογία RFID
Απαιτούν οπτική επαφή για να αναγνωστούν	χωρίς οπτική επαφή
Μπορούν να διαβαστούν μόνο μια -μια οι ετικέτες	Μπορούν να διαβαστούν πολλές ετικέτες ταυτόχρονα
Δεν είναι δυνατή η ανάγνωσή τους εάν είναι βρώμικοι ή κατεστραμμένοι	Είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν σκληρά και βρώμικα περιβάλλοντα
Πρέπει να είναι ορατοί για να καταγραφούν	Μπορούν να διαβαστούν ακόμη και όταν είναι κρυμμένοι.
Μπορούν να αναγνωρίσουν μόνο τον τύπο του αντικειμένου	Μπορούν να προσδιορίσουν ένα συγκεκριμένο αντικείμενο
Οι πληροφορίες δεν μπορούν να επικαιροποιηθούν	Οι πληροφορίες μπορούν να αντικατασταθούν πολλές φορές
Πρέπει να διαβάζονται χειροκίνητα ,κάνοντας πιθανά τα ανθρώπινα λάθη	Μπορούν να διαβάζονται αυτόματα, εξαλείφοντας το ανθρώπινο λάθος

Μια κατηγορία των RFID είναι και οι ετικέτες κοντινής επικοινωνίας NFC, που λειτουργούν σε ένα πολύ συγκεκριμένο υποσύνολο του εύρους υψηλής συχνότητας στα 13,56 MHz και έχουν πολύ διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης από άλλες κατηγορίες RFID με βασική διαφορά ότι έχουν πολύ μικρότερο εύρος ανάγνωσης, απαιτώντας συχνά ο αναγνώστης και η ετικέτα να απέχουν μόνο μερικά εκατοστά. Διαβάζονται μία κάθε φορά ,αλλά έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες μνήμης ,αμφίδρομες δυνατότητες επικοινωνίας και παρέχουν ασφαλείς συνδέσεις και τις συναντάμε στη συλλογή αποβλήτων κυρίως για αναγνώριση των χρηστών. Οι ετικέτες RFID διαβάζονται από αντίστοιχους αναγνώστες RFID , στο ίδιο εύρος συχνοτήτων με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τη ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από την ετικέτα. Οι ετικέτες που λειτουργούν σε ζώνες LF και HF τοποθετούνται, πολύ κοντά στην κεραία του αναγνώστη.

Στην έρευνα των (Catarinucci et al., 2020) παρουσιάζεται μια νέα γενιά RFID ετικετών με μπαταρία και δεύτερης γενιάς προγραμματιζόμενο chip ,έτσι ώστε να μπορούν να αναγνωρίζουν και να μεταδίδουν περισσότερα δεδομένα. Εφαρμόζεται σε συλλογή πόρτα -πόρτα. Στον κάδο τοποθετείται αισθητήρας βάρους , που συνδέεται με την RFID ετικέτα του κάδου, η οποία στέλνει την ταυτότητα του κάδου και τις τιμές του βάρους στον αναγνώστη RFID που φοράει στο χέρι ο συλλέκτης.

4.2.3. GSM module για την επικοινωνία

Η επικοινωνία μεταξύ του έξυπνου κάδου και του λογισμικού πραγματοποιείται σε παλαιότερα συστήματα μέσω συστημάτων GSM/GPRS. Η GPRS τεχνολογία που έχει εκτεταμένη υποδομή δικτύου, χαμηλό λειτουργικό κόστος και σημαντική κάλυψη .

Το GSM μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο SMS για τη μετάδοση δεδομένων και δεν μπορεί να είναι "σε πραγματικό χρόνο στο διαδίκτυο" ή "να χρεώνεται κατ' όγκο". Σε σύγκριση με το GSM, το GPRS έχει προφανή πλεονεκτήματα στον φορέα και την υποστήριξη των υπηρεσιών δεδομένων

έχει υψηλό ρυθμό μετάδοσης, υψηλή χρήση πόρων , σύντομο χρόνο πρόσβασης και είναι πάντα συνδεδεμένο. Αλλά, οι κυψελοειδείς τεχνολογίες έχουν το μεγάλο μειονέκτημα της κατανάλωσης ενέργειας, ενώ επίσης το λειτουργικό κόστος είναι υψηλό λόγω της ανάγκης κάρτας SIM .

Σε παλαιότερες εργασίες παρατηρούμε ότι η επικοινωνία μεταξύ του έξυπνου κάδου και του ενδιάμεσου λογισμικού πραγματοποιείται μέσω κάρτας SIM και module GSM / GPRS με τεχνολογία δεύτερης γενιάς (2G) , λόγω εκτεταμένης διαθέσιμης υποδομής δικτύου, χαμηλού λειτουργικού κόστους ,και λόγω κάλυψης του δικτύου πρόσβασης.

4.2.4. Μονάδα Wi-Fi

Μια μονάδα Wi-Fi π.χ. ESP8266 είναι ένα φτηνό τσιπ με TCP / IP δυνατότητα που μπορεί να δώσει πρόσβαση οποιουδήποτε μικροελεγκτή σε υπάρχον ασύρματο δίκτυο Wi-Fi . Μπορεί να λειτουργήσει με έναν μικροελεγκτή ή μπορεί να προγραμματιστεί να λειτουργεί μόνο του και αυτό το καθιστά εξαιρετικά ισχυρό και ευέλικτο.

4.2.5. Ελεγκτές -controllers

Απαιτείται πάντα ένα σύστημα για τον έλεγχο του έξυπνου κάδου, που είναι οι controllers /microcontrollers που μπορεί να είναι ένα Arduino πιο συχνά ή ένα Raspberry pi, ή ARM, Atmel κλπ., με πιο κοινά τα πρώτα δυο. Οι ελεγκτές είναι μικροί υπολογιστές ,με ένα τσιπ ολοκληρωμένου κυκλώματος, που περιέχει έναν ή περισσότερους CPU (πυρήνες επεξεργαστή) και μνήμη και προγραμματιζόμενα περιφερειακά, ιδανικά για εφαρμογές IoT.

4.3. Επιπλέον στοιχεία

Σε κάποιες εργασίες συναντάμε επιπλέον στοιχεία , actuators , οι οποίοι μετατρέπουν εντολές του μικροελεγκτή σε κίνηση κάποιων μερών εντός του κάδου, όπως π.χ. ένα σερβομοτέρ , που δημιουργεί γραμμική ή περιστροφική κίνηση σε μηχανισμούς κίνησης ή ελέγχου. Για παράδειγμα ενεργοποιεί το άνοιγμα κλείσιμο του καπακιού κάθε φορά που ο αισθητήρας υπερύθρων αντιλαμβάνεται να πλησιάζει κάποιος άνθρωπος , κλειδώνουν το καπάκι όταν ο κάδος γεμίζει , περιστρέφουν τον κάδο ,για να τοποθετηθούν τα απορρίμματα στο αντίστοιχο διαμέρισμα του κάδου όταν γίνεται διαχωρισμός των αποβλήτων .

4.4. Έξυπνα απορριματοφόρα

Τα απορριματοφόρα χρειάζεται και αυτά να είναι ειδικά εξοπλισμένα για να συνεργαστούν με ένα IoT σύστημα συλλογής .Ένα έξυπνο απορριματοφόρο διαθέτει:

- **Αναγνώστη RFID** για την συλλογή δεδομένων και ταυτοποίηση από τις RFID ετικέτες των κάδων . Ο αναγνώστης μπορεί να είναι τοποθετημένος στο απορριματοφόρο , ή να είναι φορητός (Al-Jabi et al., 2017). Ένα φωτεινό σήμα ή ένα μπιπ ή δόνηση αναφέρει την ανάγνωση με την αντίστοιχη **μονάδα ελέγχου αναγνώστη RFID**.
- **Σύστημα ζύγισης** , που περιλαμβάνει **αισθητήρα βάρους** που βρίσκεται στους βραχίονες φόρτωσης για να ζυγίζονται οι κάδοι την ώρα που αδειάζουν στο όχημα και **μονάδα ελέγχου ζύγισης**, που συλλέγει τα δεδομένα από το σύστημα ζύγισης.
- **Μονάδα GPS** που δείχνει την θέση του απορριματοφόρου.

- **Κεντρικό πίνακα ελέγχου** για ενεργοποίηση ασύρματου ελέγχου, εντοπισμού σφαλμάτων .
- **Μονάδα μεταφοράς δεδομένων** προς το κεντρικό λογισμικό παρακολούθησης , πχ. **μονάδα GPRS** .

Στην μελέτη των (Wen et al., 2017) στην οποία παρουσιάζεται η συλλογή των βιοαποβλήτων στην πόλη Suzhou, στην Κίνα τα απορριμματοφόρα έχουν κάμερα για την παρακολούθηση της εκφόρτωσης των κάδων στο απορριμματοφόρο, ενσωματωμένο ελεγκτή που λαμβάνει τις τιμές από τις ετικέτες RFID των κάδων που αποστέλλονται από τον αναγνώστη RFID και έναν ενσωματωμένο κεντρικό ελεγκτή που αποθηκεύει τα δεδομένα για στατιστική ανάλυση , επεξεργασία και διαχείριση. Εάν δεν είναι δυνατή η αναγνώριση ορισμένων ετικετών RFID, τότε οι κάδοι αυτοί θεωρούνται ότι δεν εμπίπτουν στην εργασία συλλογής , με αποτέλεσμα την αποστολή ειδοποίησης στο κέντρο ελέγχου.

Ανάλογα οι (Al-Jabi & Diab , 2017) στο σύστημα που μελετούν έχουν tablet μέσα στα απορριμματοφόρα , με εφαρμογή δρομολόγησης ,GIS, και βέλτιστης διαδρομής από τα στοιχεία πλήρωσης κάθε κάδου. Και εδώ η μονάδα IoT μέσα στο απορριμματοφόρο ελέγχει το άδειασμα του απορριμματοφόρου και τον μηχανισμό εκκένωσης .

5. Επικοινωνία

Η επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων συσκευών ,δηλαδή των διάφορων nodes, τα οποία ενδέχεται να χρησιμοποιούν διαφορετικών τύπων δεδομένα και να είναι διάσπαρτα σε μεγάλες αποστάσεις , γίνεται με ασύρματη σύνδεση και εντός του κάδου κάποιες φορές ενσύρματη. Στα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων, η απόσταση επικοινωνίας μεταξύ του κέντρου διαχείρισης και των σημείων συλλογής αποβλήτων είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την αποτελεσματικότητα του συστήματος .

5.1. Επικοινωνία υποδομών – Πρωτόκολλα

Τα περισσότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας ανήκουν στα δίκτυα χαμηλής ισχύος (LPWAN) τα οποία παρέχουν επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας με μικρές, φθηνές μπαταρίες που διαρκούν χρόνια.

Σε παλαιότερα συστήματα συλλογής αποβλήτων που όμως εφαρμόζονται ακόμη και σήμερα η επικοινωνία γίνεται με κυψελοειδή δίκτυα , μέσω αποστολής μηνυμάτων SMS , τα οποία δεν είναι βιώσιμα για την πλειονότητα των εφαρμογών IoT που τροφοδοτούνται από αισθητήρες που λειτουργούν με μπαταρία. Το 5G και το μελλοντικό 6G αναμένεται επίσης να επιτρέψουν την παρακολούθηση βίντεο σε πραγματικό χρόνο από κινητό.

5.2. Πρωτόκολλα κοινής Επικοινωνίας

Το ZigBee είναι μια ώριμη τεχνολογία, με εύρος από 10 έως 100 m, μπορεί να φτάσει σε μεγάλες αποστάσεις με τη μετάδοση μηνυμάτων. Συνήθως το χρησιμοποιούν για επικοινωνία εντός του κάδου , όπως οι (Raaju et al., 2019), ή για επικοινωνία με ένα κεντρικό κέντρο ελέγχου (Longhi et al.,2012) ενώ χρησιμοποιούν άλλο πρωτόκολλο για απομακρυσμένη επικοινωνία. Η σταθερότητα επικοινωνίας του ZigBee δεν είναι υψηλή, γιατί η τεχνολογία χρησιμοποιεί τη συχνότητα 2,5 GHz στη ζώνη ISM, η οποία έχει ασθενή ικανότητα περίθλασης και αδύναμη ικανότητα διείσδυσης τοίχων.

5.3. Απομακρυσμένη επικοινωνία

Η βιβλιογραφία έχει παρουσιάσει έργα που χρησιμοποιούν παραδοσιακά δίκτυα επικοινωνίας, όπως τα κυψελοειδή δίκτυα (GPRS) .Η μέθοδος αυτή είναι ικανή να αποστείλει μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις .Αυτά τα δίκτυα διακρίνονται από τη μεγάλη ανάπτυξη τους, η οποία ουσιαστικά εγγυάται τη διαθεσιμότητά τους, αλλά παρουσιάζεται πρόβλημα με την ισχύ που απαιτούν και την κατανάλωση μπαταρίας. Αρχικά, αναπτύχθηκαν για μετάδοση φωνής, αλλά αργότερα άρχισαν να υποστηρίζουν μετάδοση δεδομένων αρχικά με χαμηλό ρυθμό που αυξήθηκε με την εξέλιξή τους.

Η ασύρματη επικοινωνία με Wi-Fi, Bluetooth, και κυψελοειδή δίκτυα, έχει πολλά προβλήματα όπως θόρυβος, παρεμβολές, καθυστέρηση δικτύου, διακοπές, και ανεπάρκεια. Το Wi-Fi δεν αποδίδει με μπαταρία, δεν καλύπτει μεγάλη περιοχή και δεν υποστηρίζει μεγάλο αριθμό τελικών συσκευών. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκαν ασύρματες μεγάλης απόστασης λύσεις δικτύου όπως Sigfox, LoRa και IEEE 802.11 . Αυτά τα δίκτυα καταναλώνουν λιγότερη μπαταρία και παρέχουν ευρεία περιοχή κάλυψης .

Η τεχνολογία LoRa ξεπερνά τα προβλήματα παρεμβολών ,απωλειών, θορύβου διαθέτοντας ένα ξεχωριστό δίκτυο. Το LoRa είναι ένα πρωτόκολλο δικτύου ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN) που αναπτύχθηκε από την Semtech.Οι (Addabbo et al., 2019) προτείνουν ένα δίκτυο αποτελούμενο από 5 κόμβους αισθητήρων, συνδεδεμένο σε μια πύλη LoRa, που υλοποιήθηκε στο ιστορικό κέντρο της Φλωρεντίας της Ιταλίας. Κάθε κόμβος αισθητήρα μετρά την τιμή κάθε 15 λεπτά και στη συνέχεια, τα δεδομένα μεταδίδονται κάθε ώρα αποστέλλοντας 4 τιμές για κάθε μετάδοση. Αυτός ο ρυθμός μετάδοσης επιτρέπει την επίτευξη θεωρητικού χρόνου ζωής για τον κόμβο του αισθητήρα έως και 500 ημέρες .

Η τεχνολογία LoRa απαιτεί από τις εταιρείες ή τους Δήμους να δημιουργήσουν τα δικά τους δίκτυα, το οποίο αυξάνει τις δαπάνες, αλλά ένα αυτόνομο δίκτυο εξασφαλίζει το απόρρητο των δεδομένων και αποτρέπει την διαρροή δεδομένων.

Το Sigfox είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας Ultra Narrow Band (UNB), ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, αλλά δεν μεταδίδει σε αδειοδοτημένο φάσμα , όπως κάνουν το LoRa και το NB-IoT , μπορεί να μεταδίδει μόνο σε ζώνες ραδιοσυχνότητας χωρίς άδεια που είναι μειονέκτημα γιατί δεν υπάρχει ανάπτυξη της τεχνολογίας (Jia et al., 2020).

Η τεχνολογία NB-IoT narrow band IOT εμφανίστηκε το 2016 από 3GPP υποστηρίζεται από παρόχους κινητής τηλεφωνίας, στην Ελλάδα από COSMOTE - VODAFONE και χρησιμοποιεί αδειοδοτημένο φάσμα δικτύου . Είναι ένα πρωτόκολλο τεχνολογίας LPWAN που είναι χτισμένο σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ,διαθέτει ευρεία κάλυψη, μεγάλη εμβέλεια και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας με δυνατότητα λειτουργίας εξοικονόμησης ενέργειας , που απενεργοποιεί την λήψη συχνοτήτων κατά την αδρανή λειτουργία χαμηλής ισχύος. Επιπλέον, το NB-IoT επιμηκώνει το χρόνο του κύκλου παρακολούθησης και της τακτικής ενημέρωσης εξοικονομώντας ενέργεια κατά την μετάδοση δεδομένων (Jia et al., 2020).

Το 5G θεωρείται ότι θα αναλάβει τη ζήτηση λειτουργιών IoT έως ότου τα δίκτυα NB-IoT και e MTC να είναι πλήρως διαθέσιμα για χρήση.

Στον πίνακα 2 ,στο τέλος ,γίνεται σύγκριση των διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας .

6. Λογισμικό

Πολλές διαφορετικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται με διαφορετικές προσεγγίσεις τόσο στη διαχείριση της φυσικής υποδομής (απορριματοφόρα -κάδοι) όσο και των δεδομένων που συλλέγονται και του λογισμικού που χρησιμοποιείται (Anagnostopoulos et al., 2017).

Συναντάμε, γενικά , τις παρακάτω κατηγορίες λογισμικού:

- Ενδιάμεσο λογισμικό , που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των υποτημημάτων
- Σχεδιασμού και βελτιστοποίησης της διαδρομής των απορριματοφόρων
- Λογισμικό διαχείρισης του συστήματος
- Λογισμικό αλληλεπίδρασης με τους πολίτες

Οι εφαρμογές IoT πρέπει να είναι σε θέση να χειριστούν ένα τεράστιο όγκο δεδομένων που παράγονται από πηγές IoT και να εξυπηρετούν εκατομμύρια αιτήματα προέρχονται από χρήστες σε σχεδόν πραγματικό χρόνο.

6.1. Ενδιάμεσο λογισμικό- Middleware

Το ενδιάμεσο λογισμικό εργάζεται για τη διασύνδεση των στοιχείων του IoT που δεν θα ήταν δυνατόν να επικοινωνούν μεταξύ τους διαφορετικά, δηλαδή, εργάζεται ως διερμηνέας. Το Middleware συνδέει διαφορετικά, περίπλοκα και ήδη υπάρχοντα προγράμματα που δεν είχαν αρχικά σχεδιαστεί για σύνδεση. Στη βιβλιογραφία, οι λύσεις μεσαίου λογισμικού IoT αναφέρονται μερικές φορές ως IoT πλατφόρμες, χωρίς όμως να είναι ο μόνος τύπος IoT πλατφόρμας. Υπάρχουν πολλές λύσεις ενδιάμεσου λογισμικού διαθέσιμες στη βιβλιογραφία και την αγορά. Ανάλογα με τις απαιτήσεις, μπορεί να γίνει επιλογή μεταξύ διαφορετικών μοντέλων πάντα στο Cloud, όπως υποδομή ως υπηρεσία IaaS όπου παρέχονται και οι αισθητήρες μαζί με την πλατφόρμα , πλατφόρμα ως υπηρεσία PaaS και λογισμικό ως υπηρεσία SaaS.

Στο IoT οι οργανισμοί και οι χρήστες χρησιμοποιούν πολλαπλά (και ασύμβατα) λογισμικά καθώς και διαφορετικές συσκευές από διαφορετικές μάρκες. Προς το παρόν, οι περισσότερες συσκευές IoT είναι μόνο συμβατές με συσκευές της ίδιας μάρκας ή μάρκας συνεργάτη. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν διάφορες πρωτοβουλίες τυποποίησης, όπως η IPSO Alliance, AllSeen Alliance, OneM2M, Openconnectivity, Fiware, OpenFog, OpenDaylight , IEEE, 3GPP και πολλές άλλες .

6.2. Λογισμικό σχεδιασμού και βελτιστοποίησης της διαδρομής

Η συλλογή των αποβλήτων αντιστοιχεί στο 80% του κόστους της συνολικής διαχείρισής τους και χρησιμοποιούνται στόλοι απορριματοφόρων που ταξιδεύουν πολλά χιλιόμετρα καθημερινά συλλέγοντας απόβλητα. Το λογισμικό σχεδιασμού και βελτιστοποίησης της διαδρομής ενός απορριματοφόρου , είναι ένα σύνολο ευφυών αλγορίθμων για να διευκολυνθεί η διαδικασία από τη συλλογή μέχρι την τελική διάθεση λαμβάνοντας υπόψη διάφορους τύπους πληροφοριών για την αύξηση της απόδοσης.

Έχουν αναπτυχθεί από νωρίς λογισμικά για την εύρεση της συντομότερης διαδρομής ενός οχήματος (Lu et al., 2012), και μετέπειτα λογισμικό που υπολογίζει την συντομότερη διαδρομή δυναμικά (Nayak & Narvekar, 2017), λαμβάνοντας υπόψη διάφορες καταστάσεις σε πραγματικό χρόνο όπως καιρικές συνθήκες, την ταχύτητα των οχημάτων (ανάλογα με την τρέχουσα ή την μέση ταχύτητα θα υπάρξει ή όχι καθυστέρηση στην άφιξη στον προορισμό) ,των οδικών ατυχημάτων και στοιχείων της κυκλοφορίας γενικά , που ανήκουν στην κατηγορία του λογισμικού διαχείρισης στόλου οχημάτων.

Όσον αφορά την συλλογή αποβλήτων έχουν αναπτυχθεί λογισμικά που επιπλέον λαμβάνουν υπόψη τους την πληρότητα των κάδων , ώστε να μην μεταβαίνουν τα απορριματοφόρα σε κάδους που δεν έχουν γεμίσει ακόμη ή να μην αφήνουν κάδους να υπερχειλίζουν με απορρίμματα. Για τον σχεδιασμό της διαδρομής μια αλγοριθμική προσέγγιση επιτρέπει σύνδεση με την βάση δεδομένων της πληρότητας των κάδων πριν από την έναρξη της διαδικασίας συλλογής σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση των κάδων απορριμμάτων που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της πιο αποτελεσματικής διαδρομής του απορριματοφόρου , μειώνοντας το κόστος και το χρόνο που απαιτείται.

Η επεξεργασία των δεδομένων πληρότητας των κάδων γίνεται σε ορισμένες χρονικές στιγμές ανάλογα με τον δυναμικό προγραμματισμό που έχει επιλεγεί και ξεκινά η δυναμική δρομολόγηση, η οποία λαμβάνει υπόψη της δεδομένα GPS των απορριματοφόρων προκειμένου να παρέχουν τις οδηγίες δρομολόγησης σε πραγματικό χρόνο.

Η ανάπτυξη λογισμικού για την εύρεση των βέλτιστων διαδρομών συλλογής αποτελεί το κύριο θέμα στις περισσότερες εργασίες σχετικά με την συλλογή απορριμμάτων με IoT, με ζητούμενο η συλλογή να είναι δυναμική ή on line, δηλαδή να προκύπτει από στοιχεία πληρότητας των κάδων και σε πραγματικό χρόνο.

Το λογισμικό σχεδιασμού της διαδρομής των απορριματοφόρων είναι ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support System DSS), βασισμένο στα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη ανά περίπτωση , πχ. κόστος, απόσταση, χρόνος ανταπόκρισης , την κατανάλωση καυσίμου, το είδος του αποβλήτου ,τον χαρακτηρισμό περιοχών ως περιοχές προτεραιότητας (Anagnostopoulos et al., 2015) .

Παραδοσιακά, οι κάδοι αποβλήτων αδειάζουν σε προκαθορισμένα διαστήματα ,αλλά η διαδικασία έχει πολλά μειονεκτήματα όπως (Reed et al., 2014):

- Ορισμένοι κάδοι απορριμμάτων γεμίζουν γρηγορότερα από το ρυθμό συλλογής και το να παραμένουν γεμάτοι περιμένοντας την προκαθορισμένη συλλογή ενέχει κινδύνους υγιεινής .
- Υπάρχουν μερικές ημέρες, για παράδειγμα, διακοπές, σαββατοκύριακα, φεστιβάλ, που σε ορισμένες περιοχές κάποιοι κάδοι απορριμμάτων γεμίζουν πολύ γρήγορα και απαιτούν συντομότερο διάστημα συλλογής, ή σε κάποιες περιοχές οι κάδοι δεν γεμίζουν.

Οι (Anagnostopoulos et al., 2018) χρησιμοποιούν ένα αυτό-εκπαιδευόμενο σύστημα , αξιοποιώντας ιστορικά στοιχεία συλλογής και καταλήγουν σε ένα πολυπαραγοντικό σύστημα για την δυναμική κατανομή των απορριματοφόρων σε σχέση με τη «συμπεριφορά» ,δηλαδή τι πληρότητες έχει δείξει στο παρελθόν, του κάθε κάδου.

Το λογισμικό συστήματος πληροφοριών (GIS), χρησιμοποιείται για να εμφανίζει τα οδικά δίκτυα και τις θέσεις καθώς και αποστάσεις μεταξύ των κόμβων, σε σχέση πάντα με το GPS που πρέπει να διαθέτουν τα απορριμματοφόρα για τον εντοπισμό της θέσης τους. Το GIS λογισμικό, τα τελευταία χρόνια διατίθεται σε online GIS πλατφόρμες, μερικές από τις οποίες το 2020 ήταν οι Esri ArcGIS, BatchGeo, Google Earth pro, ArcGIS On line, Google Maps API.

Πιο πρόσφατα, χρησιμοποιούνται υπηρεσίες έτοιμων χαρτών, όπως η υπηρεσία της Google maps, που διαθέτει στατικούς, με απεικόνιση των δρόμων αλλά και δυναμικούς χάρτες με στοιχεία κυκλοφορίας, ή άλλες open source πλατφόρμες δρομολόγησης όπως οι, JIRoutes, Osrn Backend, Graphhopper, Valhalla κλπ. Σε όλες τις πλατφόρμες αυτές υπάρχει χρέωση, είτε με συνδρομή είτε ανάλογα την χρήση.

Στον Πίνακα 3, στο τέλος, γίνεται σύγκριση των διαφόρων ενδιάμεσων πλατφορμών.

6.3. Λογισμικό διαχείρισης

Οι κύριες αρμοδιότητες που έχουν οι πλατφόρμες διαχείρισης είναι:

- Να ενσωματώνουν δεδομένα που λαμβάνονται από διαφορετικό είδος συνδεδεμένων συσκευών.
- Να επεξεργάζονται τα ληφθέντα δεδομένα.
- Να ελέγχουν τις συνδεδεμένες διατάξεις -συσκευές
- Να παρέχουν τα ληφθέντα δεδομένα σε διάφορες εφαρμογές.

Το καλύτερο θα ήταν οι πλατφόρμες IoT να υποστηρίζουν όλες τις αναφερόμενες απαιτήσεις.

Μπορούν γενικά να χωρισθούν σε πλατφόρμες διαχείρισης συσκευών, ανάπτυξης εφαρμογών και ενεργοποίησης εφαρμογών. Οι πλατφόρμες διαχείρισης συσκευών εστιάζονται σε απομακρυσμένη διαχείριση συσκευών και βελτιστοποίηση των πόρων του δικτύου. Η διαχείριση της συσκευής είναι η αρχική ρύθμιση/ αρχική διαμόρφωση, η αλλαγή παραμέτρων ή ρυθμίσεις (συντήρηση), η παράδοση ενημερώσεων (αναβάθμιση), η υποβολή ερωτημάτων κατάστασης συσκευής, τα διαγνωστικά, οι αναφορές σφαλμάτων και η επεξεργασία των συμβάντων.

Οι πλατφόρμες ανάπτυξης εφαρμογών εστιάζονται στην ανάπτυξη ασφαλών εφαρμογών που μπορούν να κλιμακωθούν σε πολλούς χρήστες και διαχειριστούν την ετερογένεια που υπάρχει στα περιβάλλοντα IoT.

Οι πλατφόρμες ενεργοποίησης εφαρμογών εστιάζουν στην ενεργοποίηση και ενσωμάτωση εξωτερικών εφαρμογών. Παρέχουν μέσα για διαχείριση και οπτικοποίηση των δεδομένων, τα οποία επιταχύνουν την ανάπτυξη εφαρμογών. Αυτός ο τύπος πλατφόρμας είναι επίσης αυτός που ονομάζεται πλατφόρμα ενδιάμεσου λογισμικού ή IoT Middleware. Σε αυτή συμβαίνει η ερμηνεία, η καταγραφή, η παρουσίαση και η διαθεσιμότητα των πληροφοριών που λαμβάνονται από τα έξυπνα συστήματα.

6.4. Λογισμικό αλληλεπίδρασης με τους πολίτες - Εφαρμογές σε κινητά

Συναντάμε πιο συχνά τελευταία εφαρμογές για κινητά Mobile App ταυτόχρονα με την Web μορφή. Μια πλατφόρμα διαχείρισης ενός συστήματος IoT συλλογής αποβλήτων εστιάζει στην αλληλεπίδραση των πολιτών, των φορέων με το

σύστημα διαχείρισης μέσω μιας εφαρμογής στο Web ή εφαρμογής για κινητά που επιτελεί διάφορες εργασίες ανάλογα με το επίπεδο του χρήστη. Για παράδειγμα για τον χρήστη σε επίπεδο Δήμου θα δείχνει τις θέσεις των κάδων συλλογής σε χάρτη, τα υλικά που συλλέγονται από κάθε κάδο, την πληρότητα των κάδων, τις ποσότητες των απορριμμάτων ανά κάδο, ανά συλλογή, ανά περιοχή, ανά χρονικά διαστήματα, θα λαμβάνει ειδοποιήσεις σχετικά με τις καταγραφές των αισθητήρων, θα κρατάει τα στοιχεία σε βάσεις δεδομένων και θα τα παρουσιάζει με πίνακες, γραφήματα κλπ. Σε επίπεδο πολίτη, δηλ. ο πιο απλός χρήστης θα μπορεί να βρίσκει τους πλησιέστερους κάδους στην τοποθεσία του, να βλέπει τα υλικά που μπορεί να απορρίψει στον κάδο, να βλέπει τις επιδόσεις του ως προς την ανακύκλωση.

Η συλλογή δεδομένων που δημιουργούνται από πολίτες γίνεται πιο βολική καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών smartphone και κινητών συσκευών. Τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω smartphone είναι ένα από τα κύρια στοιχεία των έξυπνων κοινοτήτων. (Anagnostopoulos et al., 2017). Τα δεδομένα είναι συχνά γεωαναφερόμενα που σημαίνει ότι τα δεδομένα μπορούν να συνδεθούν με μια συγκεκριμένη γεωγραφική τοποθεσία μέσω ενός ζεύγους συντεταγμένων και σχετίζονται με μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Τα γεωαναφερόμενα δεδομένα όχι μόνο είναι χρήσιμα για την κατανόηση της συμπεριφοράς των μεμονωμένων πολιτών αλλά και για την εξαγωγή τάσεων και χαρακτηριστικών της κοινότητας. Τα δεδομένα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ιδιωτικά κοινωνικά δεδομένα που παράγονται κυρίως από πολίτες και πληροφορίες σχετικές με τη δημόσια υποδομή που συλλέγονται για σκοπούς παρακολούθησης και διαχείρισης. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τους πολίτες έχουν αναλυθεί στη βιβλιογραφία για τους ακόλουθους σκοπούς:

- (1) πρόβλεψη των προτύπων και των μοντέλων συμπεριφοράς των πολιτών,
- (2) ανίχνευση των δεδομένων των πολιτών σε μεμονωμένα επίπεδα,
- (3) ανίχνευση της κοινωνικής σχέσης και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ πολιτών,
- (4) σύνδεση μεταξύ των χαρακτηριστικών της περιοχής και της συμπεριφοράς των κατοίκων κάθε περιοχής,
- (5) οπτικοποίηση πολύπλοκων δεδομένων και δυναμικής εξέλιξης της πόλης και
- (6) ζητήματα απορρήτου και προσωπικής ταυτότητα.

Τα τελευταία χρόνια, τα κινητά τηλέφωνα έχουν εξελιχθεί από απλές συσκευές που απλώς πραγματοποιούσαν την επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων σε ισχυρά κέντρα επεξεργασίας και εφαρμογών στα οποία είναι δυνατή οποιαδήποτε εργασία.

Οι σύγχρονοι χρήστες θα χρησιμοποιούσαν μια έξυπνη λύση διαχείρισης αποβλήτων, μέσω smartphone. Οι (Pardini et al., 2020) έχοντας αυτό κατά νου, σχεδίασαν την εφαρμογή My Waste. Είναι μια εφαρμογή για κινητά, συμβατή με τα λειτουργικά συστήματα Android και IOS. Οι πολίτες μπορούν να βρουν τους κάδους κοντά στο σπίτι τους, να γνωρίζουν το επίπεδο πληρότητάς τους, να βρουν άλλο διαθέσιμο αν δεν είναι διαθέσιμος ο πιο κοντινός, να δουν πότε θα γίνει η συλλογή των ΑΣΑ ώστε να αποφασίσουν που και πότε θα τα απορρίψουν.

Οι (Hassani et al.,2020) προτείνουν μια εφαρμογή για κινητά για να βοηθάει τους πολίτες να βρουν τον σωστό κάδο αποβλήτων .Η οθόνη εμφανίζει μια επιλογή είτε να βγάλεις μια φωτογραφία των σκουπιδιών είτε να επιλέξεις μια φωτογραφία από βιβλιοθήκη του συστήματος. Η εικόνα και η τοποθεσία του χρήστη θα αναρτηθούν στον server ο οποίος επεξεργάζεται το αίτημα και προτείνει όλους τους διαθέσιμους έξυπνους κάδους κοντά στη τοποθεσία του χρήστη για το απόβλητο που αναγνώρισε . Επιπλέον, σαρώνοντας QR κωδικό σε ένα δοχείο απορριμμάτων ανοίγει το καπάκι του κάδου.

7. Συμπεράσματα -Συζήτηση.

Η διαχείριση των αποβλήτων είναι ένα κρίσιμο στοιχείο στον μετασχηματισμό των παραδοσιακών πόλεων σε έξυπνες πόλεις, για την επίτευξη βιωσιμότητας, αποτελεσματικότητας στις δημόσιες δαπάνες, βελτίωσης της αστικής κινητικότητας και διατήρησης των φυσικών πόρων. Η ανάπτυξη υποδομών IoT μπορεί να επιτρέψει πολλές ευκαιρίες. Χρησιμοποιώντας IoT, είναι δυνατή η παρακολούθηση της θέσης και της πληρότητας των κάδων αποβλήτων, ο εντοπισμός τοποθεσιών με υψηλότερη ζήτηση, η εύρεση της συντομότερης διαδρομής για τη βελτιστοποίηση της συλλογής των στερεών αποβλήτων η διασύνδεση με τους πολίτες για την ενθάρρυνση της ορθής διάθεσης, προωθώντας έτσι σωστή συμπεριφορά όπως και η επιβράβευση των πολιτών, για την σωστή συμπεριφορά .Με ένα σύστημα IoT

είναι δυνατόν ακόμα να επιλυθούν και πιο σύνθετα προβλήματα σε σχέση με την συλλογή απορριμμάτων, όπως ο εντοπισμός συσσώρευσης απορριμμάτων εκτός κάδων, εντοπισμός βανδαλισμού των κάδων, όπως πτώση , πυρκαγιά, εντοπισμός αερίων αποσύνθεσης ,αναγνώριση των απορριμμάτων, κ.ά.

Ένα σύστημα IoT συλλογής αποβλήτων , μπορεί να συνεργαστεί με άλλα IoT συστήματα μέσα μια έξυπνη πόλη , για παράδειγμα να δίνει στοιχεία για την εξωτερική θερμοκρασία και την ποιότητα του αέρα, να συνεργάζεται με έξυπνο πάρκινγκ παρέχοντας την σχετική πληροφορία .Να αποτελεί μέσο προβολής και διαφήμισης ,για παράδειγμα οπτική διαφήμιση απευθείας πάνω στους έξυπνους κάδους ή ψηφιακή διαφήμιση μέσα από τις εφαρμογές για κινητά ή τις άλλες συσκευές με την οποία να ενημερώνονται οι πολίτες , αλλά και να προωθούνται μηνύματα ορθών πρακτικών ή να είναι απλή διαφήμιση .Όλα αυτά θα εντάσσονται σε ολοκληρωμένες λύσεις διαχείρισης αποβλήτων.

Παρόλο που τα συστήματα συλλογής αποβλήτων με IoT έχουν μεγαλύτερο επενδυτικό κόστος από ένα απλό σύστημα συλλογής, το όφελος από την εφαρμογή τους είναι μεγάλο και προωθεί ένα μοντέλο περισσότερο βιώσιμο. Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση πόρων από την βελτιστοποίηση των διαδρομών, την παρακολούθηση του είδους ,των ποσοτήτων και της ποιότητας των αποβλήτων, ώστε να κλείνει ο κύκλος , προωθώντας την δυνατότητα καλύτερης αξιοποίησης τους στο πλαίσιο μιας κυκλικής οικονομίας.

Πίνακας 2: Πίνακας σύγκρισης πρωτοκόλλων επικοινωνίας .
Sub GHz είναι συχνότητες 868 MHz στην Ευρώπη και 915 MHz στην Αμερική

Τεχνολογία	Συχνότητα λειτουργίας	Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	Εμβέλεια	Κατανάλωση ισχύος	Κόστος	Αριθμός συνδεδεμένων συσκευών	Πρότυπα
2G/3G	Κυψελοειδές δίκτυο	10 Mbps	Αρκετά Km	Υψηλή	Υψηλό		3GPP
Bluetooth/BLE	2.4 GHzMbps	1, 2, 3	~100 m	Χαμηλή	Χαμηλό	2 ΔΙΣ με BLE	IEEE 802.15.1
Bluetooth 802.15.4	2.4 GHz	1 Mbps	10 m	Χαμηλή	Χαμηλό	255	IEEE 802.15.1
	Sub GHz, 2.4GHz	40, 250 kbps	> 250 Km ²	Χαμηλή	Χαμηλό		
LoRa	Sub GHz	< 50 kbps	Έως 5 Km	Χαμηλή	Μέσο	Περισσότερες από 5000	LoRaWAN
NB-IoT	Κυψελοειδές δίκτυο	0.1-1 Mbps	Αρκετά Km	Μέση	Υψηλό		3GPP LTE Release 13
SigFox	Sub GHz	< 1 kbps	Αρκετά Km	Χαμηλή	Μέσο		
Wi-Fi	Sub GHz, 2.4 GHz, 5 GHz	0.1-54 Mbps	< 100 m	Μέση	Χαμηλό	Εξαρτάται από τον αριθμό των IP διευθύνσεων	IEEE 802.11
ZigBee	2.4 GHz	250 kbps	~100 m	Χαμηλή	Μέσο	Περισσότερες από 64000	IEEE 802.15.4
Z-Wave	Sub GHz	40 kbps	~100 m	Χαμηλή	Μέσο	232	Z-Wave Recommendation ITU G.9959

Πίνακας 3: Ενδιάμεσες πλατφόρμες IoT - βασικά χαρακτηριστικά .

Ενδιάμεσο λογισμικό	Πρόσβαση	Τύπος υπηρεσίας	Γλώσσες προγραμματισμού που υποστηρίζονται	Format δεδομένων	Συμβατά Hardware	Χρεώσεις
Amazon AWS	Open source SDK	PaaS , IaaS	Java, C, NodeJS, Javascript, Python, SDK for Arduino, iOS, Android	JSON	Broadcom, Marvell, Renesas, Texas Instruments, Microchip Intel	Κάθε φορά που εκτελούνται λειτουργίες γραμμένες από τον χρήστη
Microsoft Azure	Open Source API	IaaS	NET, UWP, Java, C, NodeJS, Ruby, Android, iOS	JSON	Intel, Raspberry, FreeScale, Texas Instrument	Ανάλογα με συσκευές και μηνύματα ανά ημέρα
IBM Watson	Open Source SDK	PaaS , IaaS	C#, C, Python, Java, NodeJS	JSON, CSV	ARM mbed, Texas Instruments, Raspberry Pi, Arduino Uno	Ανάλογα με συσκευές, χώρο αποθήκευσης και μετάδοση δεδομένων
Google	Open API	PaaS , IaaS	Go, Java, .NET, Node.js, php, Python, Ruby	JSON	Raspberry Pi	Τιμή ανά MB
Oracle	Open Source SDK	PaaS	Java, Javascript, Android, C, iOS	CSV, REST API	Raspberry Pi, iMX6 sabrelite	Συνδρομή
Kaa	Open SDK	IaaS	Java, C , C++	REST API, JSON	Udoo, Samsung Artik, Raspberry Pi, Intel edison	Δωρεάν
ThingSpeak	Open Source	PaaS	Matlab	ThingSpeak API, JSON, XML	Arduino, Particle photon, ESP8266 wifi, Raspberry Pi	Δωρεάν
Carriots	Open Source API	PaaS	Java	XML, JSON, REST API	Arduino, Raspberry Pi, Nanode, Beagle-Bone	Συνδρομή
Temboo	Open Source API	PaaS	C, Java, Python, iOS, Android, Javascript	Excel, CSV, XML, JSON	Texas Instrument, Arduino, Samsung artik	Συνδρομή
Samsara	Open API	-		JSON		
Particle Cloud	Open Source	PaaS , SaaS	Javascript, particle js	CSV	Electron, Photon, Raspberry Pi	Δωρεάν οι πρώτες 100 συσκευές, μετά πληρωμή με τη συσκευή

Bibliography

- Addabbo, T., Fort, A., Mecocci, A., Mugnaini, M., Parrino, S., Pozzebon, A., & Vignoli, V. (2019). LoRa-based IoT Sensor Node for Waste Management Based on a Customized Ultrasonic Transceiver. *SAS 2019 - 2019 IEEE Sensors Applications Symposium, Conference Proceedings*.
- Ali, T., Irfan, M., Alwadie, A. S., & Glowacz, A. (2020). IoT-Based Smart Waste Bin Monitoring and Municipal Solid Waste Management System for Smart Cities. *rabian Journal for Science and Engineering*.
- Al-Jabi & Diab . (2017). IoT-Enabled Citizen Attractive Waste Management System. *IT-DREPS Conference, Amman, Jordan Dec 6-8*.
- Anagnostopoulos, T., Kolomvatsos, K., Anagnostopoulos, C., Zaslavsky, A., & Hadjiefthymiades, S. (2015, September 8). Assessing dynamic models for high priority waste collection in smart cities. *Journal of Systems and Software*, pp. 178–192.
- Anagnostopoulos, T., Zaslavsky, A., Kolomvatsos, K., Medvedev, A., Amirian, P., Morley, J., & Hadjiefthymiades, S. (2017). Challenges and Opportunities of Waste Management in IoT-Enabled Smart Cities: A Survey. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, pp. 275–289.
- Anagnostopoulos, T., Zaslavsky, A., Sosunova, I., Fedchenkov, P., Medvedev, A., Ntalianis, K., Skourlas, C., Rybin, A., & Khoruznikov, S. (2018). stochastic multi-agent system for Internet of Things-enabled waste management in smart cities. *Waste Management and Research*, pp. 1113-1121.
- Catarinucci L ,Colella R, Consalvo S,Patrono L. (2020). IoT-Aware Waste Management System Based on Cloud Services and Ultra-Low-Power RFID Sensor-Tags. *IEEE Sensors Journal*, pp. 14873-14881.
- Esmailian, B., Wang, B., Lewis, K., Duarte, F., Ratti, C., & Behdad, S. (2018). The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper. *Waste Management*, pp. 177–195.
- Hassani, A., Medvedev, A., Zaslavsky, A., & Saravanan, A. (2020). IoT-enabled Smart Waste Disposal System: A Use Case for the Context Management Platform. *GIoTS 2020 - Global Internet of Things Summit, Proceedings*.
- Jia, G., Zhu, Y., Han, G., Chan, S., & Shu, L. (2020). an intelligent trash can system based on both NB-IoT and edge computing for smart cities. *Enterprise Information Systems*, pp. 1422–1438.
- Kumar N.S,Vuayalakshmi B, Prarthana R,Shankar A. (2016). IOT based smart garbage alert system using Arduino UNO. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, (pp. 1028-1034).
- Longhi S,Marzioni D,Alidori E,Di Buo G, Prist M,Grisostomi M,Pirro M,. (2012). Solid Waste Management Architecture using Wireless Sensor Network technology. *2012 5th International Conference on New Technologies, Mobility and Security - Proceedings of NTMS 2012 Conference and Workshops*.
- Lu, J., & Dong, C. (2012). Research of shortest path algorithm based on the data structure. *Proceedings of 2012 IEEE 3rd International Conference on Software Engineering and Service Science*, (pp. 108–110.).
- Nayak, S., & Narvekar, M. (2017). Real-time vehicle navigation using modified A* algorithm. *International Conference on Emerging Trends and Innovation in ICT*, (pp. 116–122.).
- Pardini K,Rodrigues J, Kozlov S,Kumar N,Furtado V. (2019, January 1). IoT-based solid waste management solutions: A survey. *Journal of Sensor and Actuator Networks*.
- Pardini, K., Rodrigues, J. J. P. C., Diallo, O., Das, A. K., de Albuquerque, V. H. C., & Kozlov, S. A. (2020). A smart waste management solution geared towards citizens. *Sensors*, pp. 1-15.
- Raaju A Meeran M, Sasidharan, M.,Premkumar, K. (2019). IOT based smart garbage monitoring system using ZigBee. *IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking, ICSCAN 2019*.
- Reed, M., Yiannakou, A.,Evering, R. (2014). An ant colony algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem. *Applied Soft Computing Journal*, pp. 69–176.
- Savla DV,Narvekar M, Parab A, Kekre K, Gala J,. (2020). oT and ML based smart system for efficient garbage monitoring: Real time AQI monitoring and fire detection for dump yards and garbage management system. *Proceedings of the 3rd International Conference on Smart Systems and Inventive Technology, ICSSIT 2020*.
- Shah J,Anagnostopoulos T,Zaslavsky A, Behdad S. (2018, 28 May). A stochastic optimization framework for planning of waste collection and value recovery operations in smart and sustainable cities. *Waste Management*, pp. 104-114.
- Sheng, T. J., Islam, M. S., Misran, N., Baharuddin, M. H., Arshad, H., Islam, M. R., Chowdhury, M. E. H., Rmili, H., & Islam, M. T. (2020, August 9). An Internet of Things Based Smart Waste Management System Using LoRa and Tensorflow Deep Learning Model. *IEEE Access*, pp. 148793-148811.
- Wen Z,Hua S,De Clercq D,Beck B, Zhang H, Zhang H. (2017, December 11). Design, implementation, and evaluation of an Internet of Things (IoT) network system for restaurant food waste management. *Waste Management*, pp. 26-38.