



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ BIG DATA ΓΙΑ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ

ΕΥΘΥΜΙΟΣ ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΛΑΜΙΑ 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ BIG DATA ΓΙΑ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ

ΕΥΘΥΜΙΟΣ ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΛΑΜΙΑ 2024



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

BIG DATA COLLECTION AND PROCESSING FOR SMART CITIES SERVICES

EFTHIMIOS PAPANASTASIOU

FINAL THESIS

ADVISOR

DR. THEOFILOS CHRYSIKOS
TEACHER - SCIENTIFIC COLLABORATOR
UNIVERSITY OF THESSALY

LAMIA 2024

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.
2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.
3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια
4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: 24/10/2024

Ο Δηλ.

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εφαρμογή της συλλογής και επεξεργασίας μεγάλων δεδομένων έχει καταστεί θεμελιώδης για την ανάπτυξη των υπηρεσιών έξυπνης πόλης, διευκολύνοντας τη μετάβαση προς πιο έξυπνα, αποδοτικά και αστικά περιβάλλοντα με επίκεντρο τον πολίτη. Οι έξυπνες πόλεις αξιοποιούν τεράστιες ποσότητες δεδομένων που παράγονται από πλήθος πηγών, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων IoT, συσκευών με δυνατότητα GPS, πλατφορμών κοινωνικής δικτύωσης, κυβερνητικών αρχείων και έξυπνων συστημάτων υποδομής. Αυτά τα δεδομένα, που συχνά χαρακτηρίζονται από υψηλό όγκο, ταχύτητα και ποικιλία, απαιτούν εξελιγμένες τεχνικές επεξεργασίας, όπως η μηχανική μάθηση, η τεχνητή νοημοσύνη και η ανάλυση σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να εξαχθούν σημαντικές πληροφορίες που μπορούν να ενημερώσουν για τη λήψη αποφάσεων και να βελτιώσουν τις αστικές υπηρεσίες.

Στις έξυπνες πόλεις, τα μεγάλα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση μιας σειράς βασικών υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης της κυκλοφοριακής ροής, της διανομής ενέργειας, της συλλογής αποβλήτων, της παρακολούθησης της ποιότητας του περιβάλλοντος και της δημόσιας ασφάλειας. Για παράδειγμα, τα δεδομένα κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο μπορούν να αναλυθούν για τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και τη βελτίωση των χρόνων ανταπόκρισης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, ενώ οι περιβαλλοντικοί αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα, παρέχοντας πληροφορίες για τον έλεγχο της ρύπανσης και τις συμβουλές για την υγεία. Επιπλέον, η ενσωμάτωση των μεγάλων δεδομένων στη διαχείριση των δημόσιων υπηρεσιών ενισχύει τη διαφάνεια και τη δέσμευση των πολιτών, επιτρέποντας στους κατοίκους να συμμετέχουν στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων μέσω διαύλων ανατροφοδότησης και πρωτοβουλιών ανοικτών δεδομένων.

Ωστόσο, η εφαρμογή λύσεων μεγάλων δεδομένων στις έξυπνες πόλεις δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Αυτές περιλαμβάνουν την ανάγκη για ισχυρές λύσεις αποθήκευσης δεδομένων, δυνατότητες ταχείας επεξεργασίας και ασφαλή μέτρα διατήρησης της ιδιωτικής ζωής για την προστασία των ευαίσθητων πληροφοριών. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και προτύπων, καθώς και η κλιμακούμενη υποδομή, είναι επίσης ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση της αυξανόμενης πολυπλοκότητας των οικοσυστημάτων αστικών δεδομένων. Το παρόν έγγραφο διερευνά τις τρέχουσες μεθοδολογίες για την απόκτηση, την επεξεργασία και την εφαρμογή μεγάλων δεδομένων στις υπηρεσίες έξυπνων πόλεων, συζητά τον μετασχηματιστικό αντίκτυπο στην αστική ζωή και υπογραμμίζει τις βασικές τεχνολογικές, ηθικές και ρυθμιστικές εκτιμήσεις που είναι απαραίτητες για την επιτυχή και βιώσιμη ανάπτυξη των πόλεων με γνώμονα τα δεδομένα.

ABSTRACT

The implementation of big data collection and processing has become fundamental in the development of smart city services, facilitating a transition toward more intelligent, efficient, and citizen-centric urban environments. Smart cities leverage vast amounts of data generated from a multitude of sources, including IoT sensors, GPS-enabled devices, social media platforms, government records, and smart infrastructure systems. This data, often characterized by its high volume, velocity, and variety, requires sophisticated processing techniques such as machine learning, artificial intelligence, and real-time analytics to extract meaningful insights that can inform decision-making and improve urban services.

In smart cities, big data is used to optimize a range of essential services, including traffic flow management, energy distribution, waste collection, environmental quality monitoring, and public safety. For instance, real-time traffic data can be analyzed to reduce congestion and improve emergency response times, while environmental sensors can track air quality, providing insights for pollution control and health advisories. Additionally, the integration of big data into public service management enhances transparency and citizen engagement, allowing residents to participate in decision-making processes through feedback channels and open-data initiatives.

However, the implementation of big data solutions in smart cities is not without challenges. These include the need for robust data storage solutions, rapid processing capabilities, and secure, privacy-preserving measures to protect sensitive information. Interoperability among diverse systems and standards, as well as scalable infrastructure, are also critical in managing the growing complexity of urban data ecosystems. This paper explores the current methodologies for big data acquisition, processing, and application in smart city services, discusses the transformative impact on urban living, and highlights the key technological, ethical, and regulatory considerations essential for the successful and sustainable development of data-driven cities.

Table of Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	I
ABSTRACT.....	II
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ	6
2.1 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΙΟΤ) ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	6
2.1.Α ΤΥΠΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	7
2.1.Β ΙΟΤ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	10
2.2 ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	11
2.2.Α ΑΝΟΙΚΤΑ ΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	11
2.2.Β ΜΕΣΑ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΙΝΟΥ.....	12
2.3 ΠΡΟΣΩΠΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	12
2.3.Α ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΚΟΙΝΗΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΟΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....	13
2.3.Β ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	13
2.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	14
2.5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ	15
2.5.Α ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΡΟΗΣ	16
2.5.Β EDGE COMPUTING.....	16
2.6 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΑΡΤΙΔΕΣ.....	17
2.6.Α ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	17
2.6.Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	19
3.1 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	19
3.1.Α ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΕΛΛΕΙΠΟΝΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	20
3.2 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	21
3.2.Α ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	21
3.2.Β ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	22
3.3 ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	23
3.3.Α ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ HADOOP	23
3.3.Β APACHE SPARK.....	24
3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	25
3.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	25
3.5.Α ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	26
3.6 ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	26
3.6.Α ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΧΡΗΣΗΣ	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία των έξυπνων πόλεων, οι οποίες σε μεγάλο βαθμό οφείλονται στην ανάπτυξη της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Οι πόλεις σε όλο τον κόσμο έχουν ενσωματώσει αισθητήρες και συσκευές με δυνατότητα IoT για την παρακολούθηση διαφόρων αστικών διαδικασιών, από τη ροή της κυκλοφορίας έως την κατανάλωση ενέργειας και τα επίπεδα ρύπανσης. Ο τεράστιος όγκος δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές IoT έχει επιτρέψει στις πόλεις να εφαρμόσουν λύσεις με γνώμονα τα δεδομένα που βελτιστοποιούν τις δημόσιες υπηρεσίες. Για παράδειγμα, η Σιγκαπούρη αξιοποίησε την ανάλυση δεδομένων για τη διαχείριση των συστημάτων δημόσιων μεταφορών, μειώνοντας τη συμφόρηση και βελτιώνοντας την παροχή υπηρεσιών. Με την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, οι πόλεις γίνονται πιο ευέλικτες και προσαρμόσιμες στις ανάγκες των πολιτών [1].

Μια σημαντική πρόοδος στις έξυπνες πόλεις είναι η αυξημένη ανάπτυξη αισθητήρων IoT και η συνδεσιμότητα δικτύου. Τα δίκτυα 5G έχουν αρχίσει να παρέχουν τη συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας και χαμηλής καθυστέρησης που απαιτείται για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων από πολλές συσκευές ταυτόχρονα. Πόλεις όπως η Σεούλ της Νότιας Κορέας και η Βαρκελώνη της Ισπανίας έχουν αναπτύξει χιλιάδες αισθητήρες σε δημόσιους χώρους, συλλέγοντας δεδομένα σχετικά με την κυκλοφορία, τον καιρό και τη διαχείριση των απορριμμάτων. Η εφαρμογή της συνδεσιμότητας 5G είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική λειτουργία των συσκευών IoT, ενισχύοντας τις ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και επιτρέποντας την επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η αύξηση της ανάπτυξης αισθητήρων και της συνδεσιμότητας ανοίγει το δρόμο για πιο εκτεταμένες εφαρμογές IoT εντός των πόλεων [2].

Οι εξελίξεις στην ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο έχουν επιτρέψει στις πόλεις να χρησιμοποιούν τα μεγάλα δεδομένα πιο αποτελεσματικά. Με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης (AI), οι πόλεις μπορούν πλέον να επεξεργάζονται δεδομένα κατά τη συλλογή τους, επιτρέποντάς τους να ανταποκρίνονται άμεσα σε γεγονότα όπως ατυχήματα, φυσικές καταστροφές ή ακόμη και εγκλήματα. Οι αναλύσεις σε πραγματικό χρόνο επιτρέπουν μια προληπτική προσέγγιση στη διαχείριση της πόλης, βελτιστοποιώντας τους πόρους και ενισχύοντας τη δημόσια ασφάλεια. Οι προγνωστικές αναλύσεις με βάση την τεχνητή νοημοσύνη, για παράδειγμα, μπορούν να προβλέψουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση και να επιτρέψουν τη δυναμική διαχείριση της κυκλοφορίας σε πόλεις

όπως το Λος Άντζελες και το Λονδίνο. Αυτή η στροφή προς τις γνώσεις σε πραγματικό χρόνο αλλάζει τα δεδομένα για τον αστικό σχεδιασμό, βελτιώνοντας την καθημερινή ζωή των πολιτών [3].

Η ενσωμάτωση του IoT και των μεγάλων δεδομένων στις έξυπνες πόλεις έχει οδηγήσει σε ενισχυμένη δέσμευση των πολιτών, παρέχοντας στους κατοίκους καλύτερη πρόσβαση σε πληροφορίες και υπηρεσίες της πόλης. Οι εφαρμογές για κινητά και οι δημόσιοι πίνακες ελέγχου επιτρέπουν στους πολίτες να βλέπουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, όπως οι χρόνοι άφιξης των λεωφορείων ή τα στατιστικά στοιχεία για τη χρήση ενέργειας, γεγονός που τους δίνει τη δυνατότητα να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις. Σε πόλεις όπως το Άμστερνταμ, οι πλατφόρμες ανοικτών δεδομένων ενθαρρύνουν τη συμμετοχή της κοινότητας στον αστικό σχεδιασμό, επιτρέποντας στους πολίτες να συνεισφέρουν τα δεδομένα τους, ενισχύοντας την αίσθηση της κοινοτικής ιδιοκτησίας. Αυτό το επίπεδο εμπλοκής έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την εμπιστοσύνη του κοινού στις διοικήσεις των πόλεων και αυξάνει τη συνολική ικανοποίηση από την αστική ζωή [4].

Ενώ η έξυπνη πόλη IoT και τα μεγάλα δεδομένα προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα, εγείρουν επίσης σημαντικές προκλήσεις σε θέματα ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής. Το τεράστιο δίκτυο συνδεδεμένων συσκευών δημιουργεί μεγαλύτερη επιφάνεια επίθεσης για τους εγκληματίες του κυβερνοχώρου, καθιστώντας κρίσιμη την εφαρμογή ισχυρών μέτρων κυβερνοασφάλειας από τις πόλεις. Το ζήτημα της ιδιωτικότητας των δεδομένων είναι επίσης υψίστης σημασίας, καθώς οι αισθητήρες IoT συλλέγουν συνεχώς ευαίσθητες πληροφορίες για τους κατοίκους. Κανονισμοί όπως ο Ευρωπαϊκός Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) και ο Νόμος της Καλιφόρνιας για την Προστασία του Απορρήτου των Καταναλωτών (CCPA) στοχεύουν στη διασφάλιση των προσωπικών δεδομένων, αλλά οι πόλεις πρέπει να αναπτύξουν ολοκληρωμένες πολιτικές για να αντιμετωπίσουν επαρκώς τις ανησυχίες για την προστασία του απορρήτου. Η διασφάλιση της δεοντολογικής χρήσης των δεδομένων και η διασφάλιση των δικτύων IoT αποτελεί συνεχή πρόκληση [5].

Μια σημαντική πρόκληση στην ανάπτυξη έξυπνων πόλεων είναι η επίτευξη διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφόρων συσκευών IoT και η ενσωμάτωσή τους με παλαιές υποδομές. Πολλά υφιστάμενα αστικά συστήματα δεν σχεδιάστηκαν για τη σύγχρονη ψηφιακή συνδεσιμότητα, και η μετάβασή τους σε ένα πλαίσιο έξυπνης πόλης μπορεί να είναι δαπανηρή και πολύπλοκη. Η έλλειψη τυποποιημένων πρωτοκόλλων για συσκευές IoT επιδεινώνει αυτή την πρόκληση, καθώς περιορίζει την ικανότητα των διαφόρων συσκευών και πλατφορμών να επικοινωνούν απρόσκοπτα. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, οι πόλεις υιοθετούν ολοένα και περισσότερο ανοικτά πρότυπα και αρθρωτά συστήματα IoT, επιτρέποντάς

τους να επεκτείνουν τις πρωτοβουλίες τους για έξυπνες πόλεις χωρίς την ανάγκη πλήρους αναθεώρησης των υποδομών τους [4].

Το Edge Computing καθίσταται απαραίτητο για εφαρμογές έξυπνης πόλης που απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Σε αντίθεση με το cloud computing, όπου τα δεδομένα αποστέλλονται σε κεντρικούς διακομιστές για επεξεργασία, το edge computing επεξεργάζεται τα δεδομένα πιο κοντά στον τόπο παραγωγής τους. Αυτό μειώνει την καθυστέρηση και μειώνει τον όγκο των δεδομένων που αποστέλλονται μέσω δικτύων, καθιστώντας το ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές ευαίσθητες στον χρόνο, όπως η διαχείριση της κυκλοφορίας και η αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών. Οι πόλεις ενσωματώνουν πλέον την υπολογιστική ακμής στα πλαίσια του IoT για να βελτιώσουν τις επιδόσεις και την επεκτασιμότητα. Αυτή η μετάβαση όχι μόνο ενισχύει τις ταχύτητες επεξεργασίας αλλά συμβάλλει επίσης στην ανακούφιση των περιορισμών του εύρους ζώνης, καθιστώντας τα δίκτυα έξυπνων πόλεων πιο αποδοτικά [3].

Η προληπτική συντήρηση, που τροφοδοτείται από το IoT και τα μεγάλα δεδομένα, έχει μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο οι πόλεις διαχειρίζονται τις υποδομές τους. Αναλύοντας δεδομένα από αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι σε δρόμους, γέφυρες και υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, οι πόλεις μπορούν να προβλέπουν τις βλάβες του εξοπλισμού προτού εμφανιστούν, μειώνοντας το κόστος συντήρησης και αποτρέποντας τις διακοπές. Για παράδειγμα, στο Σικάγο, αισθητήρες IoT παρακολουθούν τους σωλήνες νερού για να εντοπίζουν διαρροές, επιτρέποντας την έγκαιρη επισκευή και μειώνοντας την απώλεια νερού. Η προληπτική συντήρηση είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για υποδομές που υφίστανται μεγάλη χρήση, καθώς ελαχιστοποιεί τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και διασφαλίζει τη δημόσια ασφάλεια. Αυτή η προληπτική προσέγγιση στη διαχείριση των υποδομών έχει τη δυνατότητα να παρατείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής των αστικών περιουσιακών στοιχείων.

Οι τεχνολογίες έξυπνων πόλεων προωθούν επίσης τις πρωτοβουλίες ενεργειακής απόδοσης και αειφορίας. Οι συσκευές IoT χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας σε διάφορους τομείς, όπως ο δημόσιος φωτισμός, τα κτίρια και οι μεταφορές. Τα έξυπνα δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούν αισθητήρες IoT και αναλύσεις μεγάλων δεδομένων, προσαρμόζουν τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τη σπατάλη ενέργειας και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, τα συστήματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα, την ποιότητα του νερού και τα επίπεδα θορύβου, βοηθώντας τις πόλεις να αναλάβουν δράση για τη βελτίωση της δημόσιας υγείας και τη μείωση του οικολογικού τους αποτυπώματος. Με την αυξανόμενη επείγουσα ανάγκη για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, οι βιώσιμες τεχνολογίες έξυπνων πόλεων αναμένεται να αναπτυχθούν ραγδαία [2].

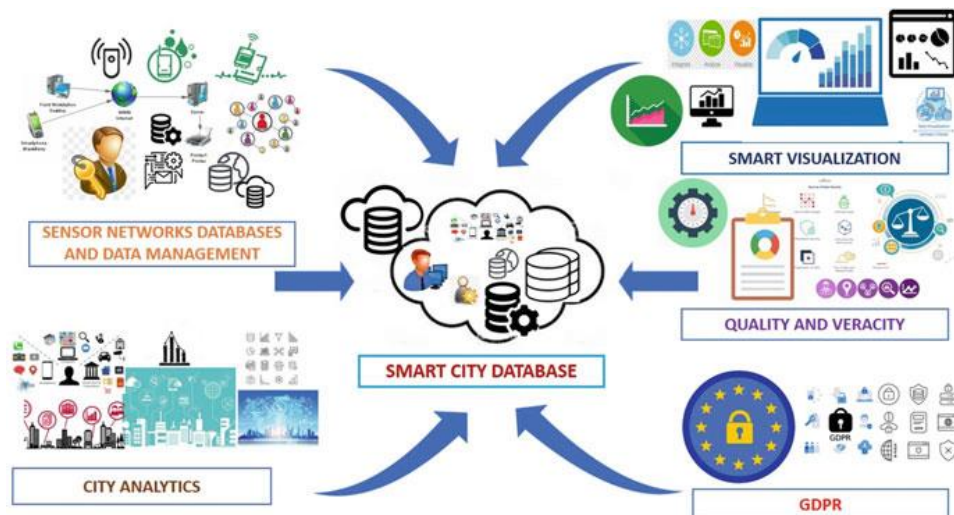
Καθώς οι πόλεις συνεχίζουν να επεκτείνουν τη χρήση των μεγάλων δεδομένων και του IoT, η επεκτασιμότητα παραμένει μια κρίσιμη πρόκληση. Ο όγκος των δεδομένων που παράγονται από έναν συνεχώς αυξανόμενο αριθμό συσκευών απαιτεί περισσότερη αποθηκευτική και υπολογιστική ισχύ. Οι επερχόμενες εξελίξεις στον τομέα του υπολογιστικού νέφους, της κβαντικής πληροφορικής και της τεχνητής νοημοσύνης είναι πιθανό να υποστηρίξουν την επεκτασιμότητα των υποδομών των έξυπνων πόλεων, αλλά το κόστος και η προσβασιμότητα αποτελούν σημαντικά ζητήματα. Η διασφάλιση ότι οι τεχνολογίες έξυπνων πόλεων θα παραμείνουν προσυτές σε όλους τους δήμους, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με περιορισμένους πόρους, θα είναι ουσιαστικής σημασίας [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Στις έξυπνες πόλεις, οι πηγές δεδομένων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της αστικής αποδοτικότητας και βιωσιμότητας. Οι πηγές αυτές περιλαμβάνουν αισθητήρες ενσωματωμένους σε δημόσιες υποδομές όπως δρόμοι, γέφυρες και κτίρια, οι οποίοι παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα πρότυπα κυκλοφορίας, τη χρήση ενέργειας και περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η ποιότητα του αέρα. Επιπλέον, οι συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) -συνδεδεμένες συσκευές που κυμαίνονται από έξυπνους μετρητές έως συστήματα δημόσιων μεταφορών- συλλέγουν συνεχώς δεδομένα σχετικά με τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, τις μεταφορές και την ασφάλεια. Οι εφαρμογές για κινητά που χρησιμοποιούνται από τους πολίτες, οι πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης και οι πύλες ανοικτών δεδομένων παρέχουν περαιτέρω πληροφορίες για τις συμπεριφορές των κατοίκων και το δημόσιο αίσθημα. Με την ενσωμάτωση αυτών των διαφόρων ροών δεδομένων, οι διαχειριστές των πόλεων μπορούν να παρακολουθούν τις τάσεις, να βελτιστοποιούν τους πόρους και να βελτιώνουν τις υπηρεσίες, οδηγώντας σε καλύτερη ποιότητα ζωής για τους κατοίκους της πόλης [6-9].

2.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και Δίκτυα Αισθητήρων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν τη ραχοκοκαλιά των σύγχρονων έξυπνων περιβαλλόντων, επιτρέποντας την απρόσκοπτη συλλογή και μετάδοση δεδομένων από διάφορες φυσικές συσκευές. Το IoT αναφέρεται στο διασυνδεδεμένο δίκτυο συσκευών που επικοινωνούν και ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω του διαδικτύου, από καθημερινά αντικείμενα όπως θερμοστάτες και ψυγεία έως πιο σύνθετα συστήματα όπως έξυπνα δίκτυα και βιομηχανικές μηχανές. Τα δίκτυα αισθητήρων, ένα υποσύνολο του IoT, αποτελούνται από κατανεμημένους αισθητήρες που παρακολουθούν και συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, τα πρότυπα κυκλοφορίας ή την απόδοση των υποδομών. Αυτοί οι αισθητήρες αναμεταδίδουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σε κεντρικά συστήματα, όπου αναλύονται για να οδηγήσουν σε αξιοποιήσιμες πληροφορίες, να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες και να βελτιώσουν τη λήψη αποφάσεων σε πολυάριθμες εφαρμογές, από τον αστικό σχεδιασμό και την υγειονομική περίθαλψη έως τη διαχείριση της ενέργειας και τη γεωργία. [10- 14].

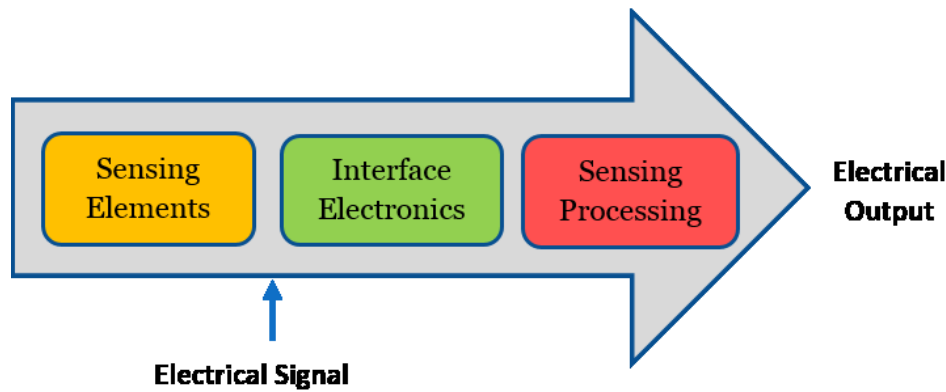


Εικόνα 1: Πλαίσιο διαχείρισης δεδομένων έξυπνων πόλεων [15]

Οι βάσεις δεδομένων δικτύων αισθητήρων περιλαμβάνουν ένα μείγμα δεδομένων αισθητήρων και αποθηκευμένων δεδομένων. Δίκτυο αισθητήρων είναι ένα σύνολο συσκευών αισθητήρων (κόμβων) με πόρους, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους ασύρματα και εγκαθίστανται σε μια περιοχή για τη συλλογή περιβαλλοντικών στοιχείων, όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, το φως, η πυκνότητα αερίων, η κίνηση, η πίεση κ.ο.κ και επεξεργάζονται τα δεδομένα για να τα αποθηκεύσουν σε βάση δεδομένων. Το δίκτυο αυτό επιτρέπει στον χρήστη να παρακολουθεί εξ αποστάσεως τις φυσικές πληροφορίες του περιβάλλοντος. Μερικές φορές η βάση δεδομένων αισθητήρων προσδιορίζεται ως συστήματα επεξεργασίας ερωτημάτων αισθητήρων εντός δικτύου (ISQPS), τα οποία είχαν σχεδιαστεί για να συλλέγουν, να επεξεργάζονται και να συγκεντρώνουν δεδομένα από το δίκτυο αισθητήρων. Τα τελευταία χρόνια, με τη ταχεία ανάπτυξη των πληροφοριών και των τεχνολογιών επικοινωνίας, το δίκτυο αισθητήρων συλλέγει τεράστιο όγκο περιβαλλοντικών δεδομένων με βάση την κατασκευή επεξεργασίας ερωτημάτων. Η πρόκληση σήμερα είναι πώς θα μειωθεί ο όγκος της συλλογής δεδομένων και πώς θα μεταφερθούν από τον κόμβο στην βάση [15].

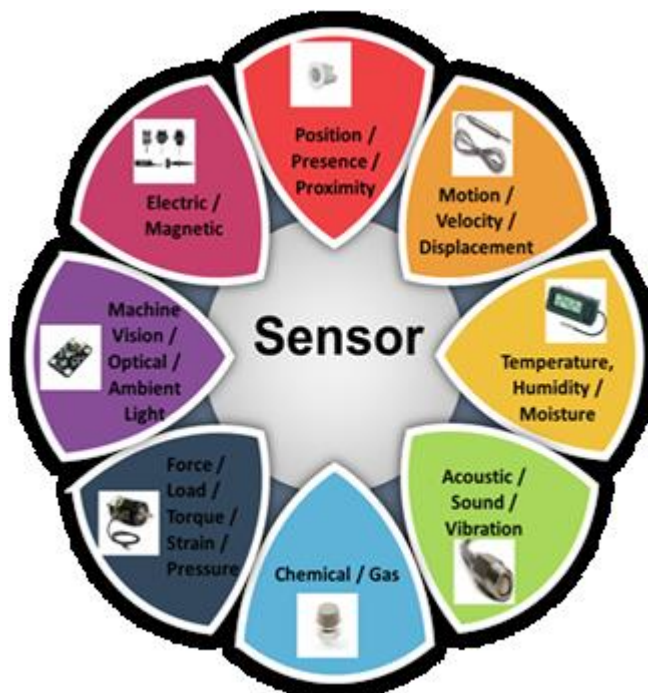
2.1.α Τύποι Αισθητήρων

Οι αισθητήρες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αυτοματοποίηση κάθε εφαρμογής μετρώντας και επεξεργάζοντας τα δεδομένα που συλλέγονται για την ανίχνευση αλλαγών σε φυσικά πράγματα. Κάθε φορά που υπάρχει αλλαγή σε κάποια φυσική κατάσταση για την οποία κατασκευάστηκε ο αισθητήρας αυτός, παράγει μια μετρήσιμη απόκριση. Στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1) παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ένας αισθητήρας [16].



Εικόνα 2: Ανίχνευσης και αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα [16]

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων που κυμαίνονται από πολύ απλούς έως πολύπλοκους. Η ταξινόμηση των αισθητήρων αυτών μπορεί να εξαρτάται από τις προδιαγραφές τους, τη μέθοδο μετατροπής τους, τον τύπο του υλικού από το οποίο έχουν κατασκευαστεί, το φυσικό φαινόμενο που ανιχνεύουν, τις ιδιότητες που μετράνε και το πεδίο εφαρμογής. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 2) απεικονίζονται διάφοροι τύποι αισθητήρων στο IoT [16].



Εικόνα 3: Διάφοροι τύποι αισθητήρων IoT [16]

Αισθητήρες για την παρακολούθηση της υγείας

Η υγειονομική περίθαλψη έχει γίνει ένας γόνιμος τομέας έρευνας τα τελευταία χρόνια, δεδομένου ότι οι νέες τεχνολογίες αισθητήρων επιτρέπουν την

παρακολούθηση της κατάστασης των ασθενών σε πραγματικό χρόνο. Η έξυπνη υγειονομική περίθαλψη παρέχει υπηρεσίες μέσω έξυπνων συσκευών όπως είναι τα smartphones, τα smartwatches, τα ασύρματα έξυπνα γλυκόμετρα, προσφέροντας κατά αυτό τον τρόπο σε διάφορους ενδιαφερόμενους (γιατρούς, νοσηλευτές, φροντιστές ασθενών, στενά οικογενειακά μέλη αλλά και ασθενείς) έγκαιρη πρόσβαση σε πληροφορίες για τον ασθενή και τη δυνατότητα να αναπτύσσουν τις σωστές διαδικασίες και λύσεις, γεγονός που μειώνει σε μεγάλο βαθμό τα ιατρικά σφάλματα αλλά και το κόστος. Οι νέες εξελίξεις στον τομέα των αισθητήρων δημιουργούν σημαντικές ευκαιρίες στον κλάδο της υγείας. [17]

Αισθητήρες για εφαρμογές κινητικότητας

Υπάρχουν τρία βασικά συστήματα αστικής κινητικότητας. Τα οχήματα, οι πεζοί και η κυκλοφορία. Λόγω της αύξησης του αριθμού των οχημάτων κάθε χρόνο στους αστικούς οικισμούς, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η ρύπανση και τα οδικά ατυχήματα τείνουν να αυξάνονται. Τα προβλήματα αυτά υποδηλώνουν ότι υπάρχει μια αναδυόμενη ανάγκη για έξυπνες λύσεις κινητικότητας. Μια τέτοια λύση είναι ο έξυπνος έλεγχος της κυκλοφορίας, με στόχο την αποφυγή κυκλοφοριακών συμφορήσεων και την βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας. Λόγω των συνεχόμενων εκκινήσεων και στάσεων, η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται κατά τη διάρκεια της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ως εκ τούτου, η εύρεση και παροχή λύσεων στο συγκεκριμένο πρόβλημα να αποτελεί άμεσο θετικό αντίκτυπο σχετικά με την αστική κινητικότητα και την ποιότητα του αέρα στις πόλεις. Επιπλέον, τα βαριά οχήματα και η εμπορευματική κυκλοφορία απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα.

Η αυτοκινητοβιομηχανία καταβάλλει σημαντικές προσπάθειες στην μείωση του φαινομένου αυτού αναπτύσσοντας περισσότερα ενεργειακά αποδοτικότερα συστήματα κίνησης όπως είναι τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, τα περισσότερα βαριά οχήματα εξακολουθούν να κινούνται με ντίζελ κινητήρες εκπέμποντας μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα με αποτέλεσμα η εύρεση λύσεων για την αντικατάσταση αυτού του είδους οχημάτων να αποτελεί θεμελιώδες καθήκον. Τα οχήματα γενικότερα διαθέτουν διάφορους αισθητήρες οι οποίοι απαιτούνται για την ορθή και ομαλή λειτουργία τους, μετρώντας διάφορες λειτουργικές παραμέτρους του οχήματος, όπως η ταχύτητα, η κατανάλωση ενέργειας, η ατμοσφαιρική πίεση και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Όλες αυτές οι παράμετροι χρησιμοποιούνται για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας του οχήματος λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες κυκλοφορίας και τις γεωγραφικές πληροφορίες. Για να επιτευχθεί όμως αυτός ο στόχος, υλοποιείται μια αρχιτεκτονική νέφους η οποία ανακτά πληροφορίες από αισθητήρες οχήματος και εξωτερικές υπηρεσίες.

Η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί ακόμη να δώσει μια πιο οικολογική διαδρομή με ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου και σεβόμενη τον χρόνο διαδρομής. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να συμβάλει και στην ρύθμιση της ταχύτητας των οχημάτων για να διασφαλίσει κατ' αυτό τον τρόπο την ασφάλεια των δρόμων αλλά και των επιβατών, βοηθώντας έτσι στην αποφυγή σοβαρών ατυχημάτων. Πρόσφατα, οι εικονικοί αισθητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση καινοτόμων λύσεων, ιδίως στον τομέα της ηλεκτροκίνησης. Σκοπός των αισθητήρων αυτών είναι η αντικατάσταση των φυσικών συσκευών. Ειδικότερα, ένας εικονικός αισθητήρας μπορεί να αναπαράγει έναν ή περισσότερους φυσικούς αισθητήρες, διευκολύνοντας και αυξάνοντας με αυτόν το τρόπο τις λειτουργίες τους, εκτελώντας σύνθετες εργασίες που δεν μπορούσαν να υλοποιηθούν προηγουμένως από τους φυσικούς αισθητήρες. Σε σύγκριση με έναν κανονικό αισθητήρα, ο εικονικός είναι εξοπλισμένος με ένα έξυπνο στοιχείο το οποίο βασίζεται στην επεξεργασία δεδομένων και με την χρήση κατάλληλου αλγορίθμου εξάγει τις απαιτούμενες πληροφορίες [18-23].

Διάφοροι αισθητήρες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση της αστικής αποδοτικότητας και της ποιότητας ζωής. Με την ενσωμάτωση αυτών των διαφορετικών τύπων αισθητήρων, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να δημιουργήσουν ένα πιο ευέλικτο, αποτελεσματικό και βιώσιμο αστικό περιβάλλον.

2.1.β IoT Συσκευές και Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Οι συσκευές IoT είναι διασυνδεδεμένα συστήματα που συλλέγουν, ανταλλάσσουν και ενεργούν βάσει δεδομένων για να βελτιώσουν τη λειτουργικότητα και την αποδοτικότητα σε διάφορες εφαρμογές. Αυτές οι συσκευές βασίζονται σε πρωτόκολλα επικοινωνίας για την αξιόπιστη και ασφαλή μετάδοση δεδομένων μεταξύ τους και των κεντρικών συστημάτων. Τα κοινά πρωτόκολλα επικοινωνίας για το IoT περιλαμβάνουν το MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), το οποίο είναι ελαφρύ και ιδανικό για σενάρια χαμηλού εύρους ζώνης, και το HTTP (Hypertext Transfer Protocol), το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως αλλά είναι λιγότερο αποτελεσματικό για περιορισμένα περιβάλλοντα. Το CoAP (Constrained Application Protocol) έχει σχεδιαστεί ειδικά για συσκευές με περιορισμένους πόρους και δίκτυα χαμηλής ισχύος. Επιπλέον, πρωτόκολλα όπως το Zigbee και το Bluetooth Low Energy (BLE) προσφέρουν ισχυρές λύσεις για επικοινωνία μικρής εμβέλειας, ενώ πρωτόκολλα κυψελοειδούς επικοινωνίας όπως το LTE και το 5G παρέχουν συνδεσιμότητα ευρείας περιοχής. Η επιλογή του πρωτοκόλλου επηρεάζει τις επιδόσεις της συσκευής, την κατανάλωση ενέργειας και την αποδοτικότητα της μεταφοράς δεδομένων, καθιστώντας το κρίσιμο στοιχείο κατά το σχεδιασμό και την ανάπτυξη συστημάτων IoT [24- 27].

2.2 Δημόσιες πηγές δεδομένων

Οι δημόσιες πηγές δεδομένων αποτελούν ζωτικό στοιχείο μιας διαφανούς και ενημερωμένης κοινωνίας, παρέχοντας προσβάσιμες πληροφορίες που μπορούν να αξιοποιηθούν για την έρευνα, τη λήψη αποφάσεων και την εμπλοκή των πολιτών. Οι πηγές αυτές περιλαμβάνουν κυβερνητικές βάσεις δεδομένων, οι οποίες προσφέρουν δεδομένα σχετικά με δημογραφικά στοιχεία, οικονομικούς δείκτες και στατιστικά στοιχεία για τη δημόσια υγεία, καθώς και πλατφόρμες ανοικτών δεδομένων που μοιράζονται πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, τα συστήματα μεταφορών και τις αστικές υποδομές. Τα δημόσια διαθέσιμα σύνολα δεδομένων από εκπαιδευτικά ιδρύματα, μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς και διεθνείς οργανισμούς εμπλουτίζουν περαιτέρω τη δεξαμενή πληροφοριών. Προσφέροντας ανοικτή πρόσβαση σε αυτά τα δεδομένα, οι πηγές αυτές δίνουν τη δυνατότητα σε ιδιώτες, επιχειρήσεις και ερευνητές να αναλύουν τάσεις, να αναπτύσσουν καινοτόμες λύσεις και να προωθούν πολιτικές βασισμένες σε στοιχεία, προωθώντας τελικά μεγαλύτερη υπευθυνότητα και επιτρέποντας πιο τεκμηριωμένες αποφάσεις σε επίπεδο κοινότητας και πολιτικής [28-32].

2.2.α Ανοικτά Κυβερνητικά Δεδομένα

Οι πόλεις μετατρέπονται σε Έξυπνες Πόλεις με την συμβολή των κυβερνήσεων ανά το κόσμο για την αντιμετώπιση διάφορων προκλήσεων, προκαλώντας έτσι ένα νέο φαινόμενο γνωστό ως “έξυπνη κυβέρνηση”. Προηγουμένως, ο όρος αυτός χρησιμοποιούνταν για να αναφερθεί σε κυβερνήσεις οι οποίες είχαν επίγνωση των κοινωνικών τους ρόλων και εκτελούσαν αποτελεσματικά τα καθήκοντά τους χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες τους. Αναπτυξιακά έργα όπως η δημόσια διοίκηση και ηλεκτρονική διακυβέρνηση δημιουργήθηκαν για να καλύψουν τις ανάγκες των πολιτών και των εταιρειών, γεγονός που οδηγεί στο φαινόμενο “έξυπνη κυβέρνηση”. Ως έξυπνη κυβέρνηση μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε είδους προσπάθεια χρήσης των τελευταίων ψηφιακών καινοτομιών για την επίτευξη στόχων που δεν έχουν ακόμη υλοποιηθεί.

Ο όρος έξυπνη κυβέρνηση συνεχίζει να αποτελεί μια ασαφή έννοια, καθώς υπάρχουν ελάχιστοι ορισμοί σχετικοί και κανένας από αυτούς δεν είναι ευρέως αποδεκτός, καθιστώντας έτσι δύσκολη την εφαρμογή της. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως το IoT, η μηχανική μάθηση, το υπολογιστικό νέφος αλλά και δίκτυα αισθητήρων δώσαν την δυνατότητα να συνδεθούν αντικείμενα, να αλληλεπιδράσουν, να ανταλλάξουν και να επεξεργαστούν δεδομένα. Επιπρόσθετα, μια έξυπνη κυβέρνηση μπορεί να δημιουργήσει συνεργατικά περιβάλλοντα στα οποία θα συμμετέχουν κυβερνητικοί αλλά και μη κυβερνητικοί οργανισμοί.

Η έννοια της έξυπνης διακυβέρνησης διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην αυξανόμενη συζήτηση για τις έξυπνες πόλεις. Με την αυτοεκμάθηση αλγορίθμων να παράγουν ακριβέστερες προβλέψεις σχετικά με ορισμένα γεγονότα, κοινότητες και άτομα δίνουν στους χρήστες έναν αποτελεσματικότερο και φιλικότερο τρόπο αυτοματοποίησης ή εκτέλεσης ορισμένων εργασιών. Αρκετές κυβερνήσεις έχουν προσπαθήσει να εφαρμόσουν το μοντέλο της Έξυπνης Πόλης. Παρόλη την προσπάθεια αυτή όμως οι δημόσιες αρχές εξακολουθούν να βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο σχετικά με την έξυπνη κυβέρνηση [15].

2.2.β Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης και Ανατροφοδότηση του κοινού

Στις έξυπνες πόλεις, τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση της ανατροφοδότησης του κοινού και στην προώθηση της εμπλοκής της κοινότητας. Αυτά τα αστικά περιβάλλοντα αξιοποιούν την τεχνολογία για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, τον εξορθολογισμό των υπηρεσιών και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης χρησιμεύουν ως ζωτικό εργαλείο για την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των πολιτών και των αξιωματούχων της πόλης. Μέσω πλατφορμών όπως το Twitter, το Facebook και τις τοπικές εφαρμογές, οι κάτοικοι μπορούν να αναφέρουν γρήγορα ζητήματα, να μοιράζονται εμπειρίες και να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις πρωτοβουλίες της πόλης. Αυτός ο δυναμικός κύκλος ανατροφοδότησης βοηθά τις πόλεις να προσαρμόζονται και να ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα στις ανάγκες των πληθυσμών τους. Ωστόσο, η διαχείριση αυτής της ροής πληροφοριών απαιτεί επίσης προσεκτική εξέταση ώστε να διασφαλιστεί ότι όλες οι φωνές ακούγονται και ότι τα δεδομένα που συλλέγονται χρησιμοποιούνται εποικοδομητικά προς όφελος της κοινότητας στο σύνολό της [33-38].

2.3 Προσωπικές πηγές δεδομένων

Οι ιδιωτικές πηγές δεδομένων αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της βελτίωσης της αστικής διαχείρισης και της παροχής υπηρεσιών, αλλά παρουσιάζουν επίσης σημαντικές προκλήσεις όσον αφορά το απόρρητο και την ασφάλεια. Αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν δεδομένα που συλλέγονται από εμπορικές συναλλαγές, αισθητήρες ιδιωτικού τομέα και αλληλεπιδράσεις χρηστών με διάφορες εφαρμογές και συσκευές. Αν και αυτές οι πληροφορίες μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τα πρότυπα συμπεριφοράς, τις προτιμήσεις και τις ανάγκες, επιτρέποντας πιο προσαρμοσμένες και αποτελεσματικές υπηρεσίες, εγείρουν επίσης ανησυχίες σχετικά με την ιδιοκτησία δεδομένων, τη συναίνεση και την πιθανότητα κακής χρήσης. Η εξισορρόπηση των οφελών από τη μώχλευση ιδιωτικών δεδομένων για τη βελτίωση των υποδομών και των υπηρεσιών της πόλης με την επιτακτική

ανάγκη να προστατεύεται το ατομικό απόρρητο είναι ένα κρίσιμο ζήτημα για τους έξυπνους σχεδιαστές πόλεων. Η διασφάλιση της διαφάνειας, η εφαρμογή ισχυρών μέτρων προστασίας δεδομένων και η επαφή με το κοινό σχετικά με τον τρόπο χρήσης των δεδομένων του αποτελούν ουσιαστικά βήματα για τη διατήρηση της εμπιστοσύνης και τη διαφύλαξη των προσωπικών πληροφοριών [39-44].

2.3.α Επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και πάροχοι υπηρεσιών

Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και οι πάροχοι υπηρεσιών παίζουν σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της αστικής ζωής μέσω προηγμένων τεχνολογιών και λύσεων που βασίζονται σε δεδομένα. Αυτές οι οντότητες αξιοποιούν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων με στόχο την βελτιστοποίηση της παροχής βασικών υπηρεσιών όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το νερό και το φυσικό αέριο. Με την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων, αισθητήρων και συστημάτων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, να μειώσουν τα περιττά δεδομένα και να εξασφαλίσουν πιο αξιόπιστη εξυπηρέτηση. Επιπλέον, οι έξυπνες πόλεις χρησιμοποιούν δεδομένα για τη διαχείριση της κυκλοφορίας, τη βελτιστοποίηση των μέσων μαζικής μεταφοράς και την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, οδηγώντας έτσι σε πιο βιώσιμα και ανταποκρινόμενα αστικά περιβάλλοντα. Αυτή η ενοποίηση τεχνολογίας βοηθά στη δημιουργία μιας πιο συνδεδεμένης, αποτελεσματικής και ανθεκτικής υποδομής πόλης, βελτιώνοντας τελικά την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Ωστόσο αν δεν παρθούν τα κατάλληλα μέτρα από τις υπηρεσίες αυτές μπορούν εύκολα κακόβουλοι χρήστες να εντοπίσουν διάφορα κενά ασφαλείας δίνοντάς τους την δυνατότητα να εισβάλουν και να έχουν πρόσβαση σε προσωπικά δεδομένα των χρηστών χωρίς αυτοί να το γνωρίζουν. Για την αποφυγή τέτοιου είδους εισβολές υπάρχουν διάφορες τεχνικές οι οποίες θα εξετασθούν αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο [15].

2.3.β Εμπορικά Δεδομένα

Στις Έξυπνες Πόλεις, τα εμπορικά δεδομένα αποτελούν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της οικονομικής ανάπτυξης και στη βελτίωση των αστικών εμπειριών. Οι επιχειρήσεις και οι πάροχοι υπηρεσιών αξιοποιούν τα δεδομένα αυτά για να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με την συμπεριφορά των καταναλωτών, να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες και να προσαρμόσουν τις προσφορές τους ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των κατοίκων και των επισκεπτών. Αναλύοντας δεδομένα από διάφορες πηγές, όπως αρχεία συναλλαγών, μοτίβα κίνησης πεζών και

αλληλεπιδράσεις στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, οι εταιρείες μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τον προγραμματισμό τοποθεσίας, τις στρατηγικές μάρκετινγκ και τις βελτιώσεις των υπηρεσιών. Επιπλέον, αυτά τα δεδομένα διευκολύνουν στην πιο αποτελεσματική διαχείριση της πόλης παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την εμπορική δραστηριότητα, η οποία βοηθά στον εξορθολογισμό των επενδύσεων σε υποδομές και στον αστικό σχεδιασμό. Ωστόσο, η χρήση εμπορικών δεδομένων εγείρει επίσης σημαντικά ζητήματα σχετικά με το απόρρητο και την ασφάλεια των δεδομένων, απαιτώντας ισχυρά πλαίσια για την προστασία των ατομικών πληροφοριών, ενισχύοντας παράλληλα στην καινοτομία και στην ανάπτυξη [40-48].

2.4 Τεχνικές Συλλογής Δεδομένων

Γενικά οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Μέθοδοι συλλογής πρωτογενών δεδομένων και μέθοδοι συλλογής δευτερογενών δεδομένων. Στην εικόνα (Εικόνα 4) που ακολουθεί μπορούμε να δούμε ορισμένες από τις μεθόδους αυτές.



Εικόνα 4: Μέθοδοι συλλογής δεδομένων [49]

Πρωτογενή δεδομένα αποκαλούμε τα δεδομένα που δεν έχουν δημοσιευθεί ακόμη και είναι πληροφορίες από πρώτο χέρι που δεν μπορούν επηρεαστούν από τρίτους. Βάσει αυτού, η εγκυρότητα, η αξιοπιστία, η αντικειμενικότητα και η αυθεντικότητα των δεδομένων αυτών είναι μεγαλύτερη στα πρωτογενή δεδομένα σε σύγκριση με τους δευτερογενείς τύπους. Οι ιδιότητες αυτές είναι σημαντικές σε ορισμένους τύπους μεθόδων έρευνας, όπως οι στατιστικές έρευνες, καθώς και η χρήση των πληροφοριών που συλλέγονται είναι συγκεκριμένη για την επίλυση προβλημάτων και δεν μπορεί να παρασχεθεί από δημοσιευμένες έρευνες. Μια έρευνα μπορεί να διεξαχθεί με βάση δευτερογενή δεδομένων, δηλαδή δεδομένα που συλλέγονται από διάφορους χρήστες, αλλά δεν μπορεί να προσφέρει ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα αν δεν χρησιμοποιηθούν πρωτογενή δεδομένα. Καθώς τα δευτερεύοντα δεδομένα μπορούν εύκολα να χειραγωγηθούν και να επηρεαστούν από άλλους. Η χρήση πρωτογενών πηγών δίνει την δυνατότητα απόκτησης δεδομένων υψηλής ποιότητας που μπορούν βελτιώσουν το αποτέλεσμα. Ωστόσο, μπορεί να αντιμετωπίσει δυσκολίες όσον αφορά την συλλογή δεδομένων, όπως για παράδειγμα, τους λόγους για τους οποίους συλλέγονται αυτά τα δεδομένα ή πότε να τα συλλέξει. Ακόμα, και στην μέθοδο που θα χρησιμοποιήσει για την συλλογή των δεδομένων. Τέλος, αποτελεί μια δαπανηρή προσέγγιση, με αποτέλεσμα να χρειάζεται ένα μεγάλο μέρος του προϋπολογισμού που μπορεί να δαπανηθεί [49].

Τα δευτερεύοντα δεδομένα αποτελούν σημαντικό κομμάτι στην υλοποίηση μιας λειτουργίας αφού μπορούν να βοηθήσουν στην λήψη πληροφοριών παρέχοντας δεδομένα από προηγούμενες μελέτες. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οφείλουν να εξετάζουν την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των πηγών από τις οποίες προέρχονται αυτά τα δεδομένα για την απόκτηση αυθεντικών αποτελεσμάτων. Υπάρχουν διάφορες πηγές από τις οποίες μπορούμε να αντλήσουμε αυτά τα δεδομένα. Ακόμη και αν αυτές οι πηγές δεν είναι το ίδιο έγκυρες και αξιόπιστες με αυτές των πρωτογενών δεδομένων, εξακολουθούν να είναι σημαντικές, καθώς η συλλογή πρωτογενών δεδομένων είναι δύσκολη να αποκτηθεί. Γενικά, τα δευτερογενή δεδομένα αποτελούν μια φθηνή και ευκολότερη λύση [49].

2.5 Συλλογή Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο

Η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι μια δυναμική διαδικασία που περιλαμβάνει τη συλλογή και την ανάλυση πληροφοριών στιγμιαία καθώς συμβαίνουν γεγονότα, παρέχοντας άμεσες πληροφορίες και επιτρέποντας τη γρήγορη λήψη αποφάσεων. Αυτή η προσέγγιση διευκολύνεται από τεχνολογίες όπως αισθητήρες IoT, αναλύσεις ζωντανής ροής και συστήματα συνεχούς παρακολούθησης, τα οποία καταγράφουν δεδομένα από διαφορετικές πηγές όπως κάμερες κυκλοφορίας, περιβαλλοντικούς αισθητήρες και ροές μέσων κοινωνικής

δικτύωσης. Η αμεσότητα των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει σε οργανισμούς και κυβερνήσεις να ανταποκρίνονται άμεσα σε αναδυόμενα ζητήματα, να βελτιστοποιούν τις λειτουργίες εν κινήσει και να βελτιώνουν την επίγνωση της κατάστασης. Για παράδειγμα, σε μια έξυπνη πόλη, τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, στην παρακολούθηση της δημόσιας ασφάλειας και στη βελτίωση της κατανομής πόρων. Ωστόσο, η διαχείριση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο απαιτεί επίσης ισχυρή υποδομή και συστήματα ικανά να χειρίζονται μεγάλους όγκους πληροφοριών και να διασφαλίζουν την ακρίβεια και την ασφάλεια των δεδομένων [10, 40- 52].

2.5.α Πλατφόρμες Δεδομένων Ροής

Οι πλατφόρμες δεδομένων ροής είναι εξελιγμένα συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για να χειρίζονται τη συνεχή και ταχεία ροή δεδομένων από διαφορετικές πηγές, επιτρέποντας την επεξεργασία και ανάλυση σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι πλατφόρμες, όπως οι Apache Kafka, Apache Flink και Google Cloud Dataflow, έχουν σχεδιαστεί για να διαχειρίζονται ροές δεδομένων υψηλής ταχύτητας, παρέχοντας την απαραίτητη υποδομή για την απορρόφηση, την επεξεργασία και την ενεργοποίηση δεδομένων κατά τη δημιουργία τους. Χρησιμοποιώντας λειτουργίες όπως ροή συμβάντων, αναλυτικά στοιχεία σε πραγματικό χρόνο και κλιμακούμενα πλαίσια επεξεργασίας, οι πλατφόρμες δεδομένων ροής υποστηρίζουν εφαρμογές σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών συναλλαγών, των αναλύσεων μέσω κοινωνικής δικτύωσης και της παρακολούθησης έξυπνων πόλεων. Διευκολύνουν άμεσες ιδέες και απαντήσεις, ζωτικής σημασίας για δυναμικά περιβάλλοντα όπου η έγκαιρη ενημέρωση είναι απαραίτητη για τη λήψη αποφάσεων και τη λειτουργική αποτελεσματικότητα. Επιπλέον, αυτές οι πλατφόρμες συχνά ενσωματώνονται με άλλα συστήματα δεδομένων και εργαλεία ανάλυσης διασφαλίζοντας απρόσκοπτη ροή δεδομένων και ενισχύοντας την ικανότητα απόκτησης ευφυΐας από ζωντανές ροές δεδομένων [53- 59].

2.5.β Edge Computing

Το Edge Computing είναι ένα παράδειγμα που φέρνει τον υπολογισμό και την αποθήκευση δεδομένων πιο κοντά στην τοποθεσία όπου χρειάζεται, αντί να βασίζεται σε μια κεντρική υποδομή που βασίζεται στο Cloud. Με την επεξεργασία δεδομένων στη πηγή παραγωγής δεδομένων ή κοντά στην πηγή παραγωγής δεδομένων-όπως συσκευές IoT, αισθητήρες και τοπικούς διακομιστές- οι υπολογιστές αιχμής μειώνουν τον λανθάνοντα χρόνο, μειώνουν τη χρήση εύρους

ζώνης και βελτιώνουν την απόκριση των εφαρμογών. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα πολύτιμη σε σενάρια που απαιτούν ανάλυση και λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, όπως αυτόνομα οχήματα, έξυπνα δίκτυα και βιομηχανικούς αυτοματισμούς. Με τη μεταφόρτωση εργασιών επεξεργασίας από κεντρικούς διακομιστές σε συσκευές αιχμής, το edge computing μειώνει επίσης τη συμφόρηση του δικτύου και βελτιώνει την ασφάλεια των δεδομένων, καθώς οι ευαίσθητες πληροφορίες μπορούν να αναλυθούν και να ενεργηθούν τοπικά αντί να μεταδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό το αποκεντρωμένο μοντέλο υποστηρίζει ένα πιο αποτελεσματικό και ανθεκτικό υπολογιστικό περιβάλλον, ζωτικής σημασίας για σύγχρονες εφαρμογές που απαιτούν ταχύτητα και αξιοπιστία [60-66].

2.6 Συλλογή Δεδομένων σε Παρτίδες

Η συλλογή δεδομένων παρτίδας είναι μια μέθοδος όπου τα δεδομένα συλλέγονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία σε μεγάλα, διακριτά κομμάτια ή παρτίδες, αντί για συνεχή σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει τη συσσώρευση δεδομένων για μια συγκεκριμένη περίοδο ή συμβάν και στη συνέχεια την εκτέλεση ανάλυσης ή επεξεργασίας σε ολόκληρο το σύνολο δεδομένων μόλις ολοκληρωθεί η παρτίδα. Η συλλογή δεδομένων παρτίδας χρησιμοποιείται συχνά σε σενάρια όπου η άμεση επεξεργασία δεν είναι κρίσιμης σημασίας, όπως στις οικονομικές αναφορές, τη διαχείριση αποθεμάτων και την αποθήκευση δεδομένων μεγάλης κλίμακας. Επιτρέπει τον αποτελεσματικό χειρισμό μεγάλων όγκων δεδομένων ταυτόχρονα, αξιοποιώντας συχνά ισχυρά συστήματα επεξεργασίας δεδομένων που μπορούν να εκτελέσουν σύνθετους υπολογισμούς και να δημιουργήσουν μαζικές πληροφορίες. Ενώ η επεξεργασία παρτίδων μπορεί να προκαλέσει κάποια καθυστέρηση σε σύγκριση με τις μεθόδους πραγματικού χρόνου, προσφέρει οφέλη όπως μειωμένο λειτουργικό κόστος και δυνατότητα εκτέλεσης εκτεταμένων αναλύσεων σε ολοκληρωμένα σύνολα δεδομένων, καθιστώντας την πολύτιμη τεχνική για πολλές εφαρμογές όπου η επικαιρότητα είναι λιγότερο κρίσιμη από την πληρότητα [67- 73].

2.6.α Συγκέντρωση Δεδομένων από Πολλαπλές Πηγές

Η συγκέντρωση δεδομένων από πολλαπλές πηγές περιλαμβάνει τη διαδικασία συλλογής, συνδυασμού και σύνθεσης πληροφοριών από διαφορετικά σύνολα δεδομένων για τη δημιουργία μιας ενοποιημένης και ολοκληρωμένης προβολής. Αυτή η πρακτική είναι απαραίτητη για την απόκτηση ολιστικών γνώσεων και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε διάφορους τομείς, όπως η επιχειρηματική

ευφυΐα, η υγειονομική περίθαλψη και ο πολεοδομικός σχεδιασμός. Ενσωματώνοντας δεδομένα από διαφορετικές πηγές -όπως μέσα κοινωνικής δικτύωσης, αρχεία συναλλαγών και δίκτυα αισθητήρων- οι οργανισμοί μπορούν να αποκαλύψουν μοτίβα, τάσεις και συσχετισμούς που μπορεί να μην είναι εμφανείς μόνο από μεμονωμένα σύνολα δεδομένων. Η συγκέντρωση δεδομένων συχνά χρησιμοποιεί τεχνικές όπως η αποθήκευση δεδομένων, οι διαδικασίες ETL (εξαγωγή, μετασχηματισμός, φόρτωση) και πλατφόρμες ενοποίησης για την ενοποίηση και την τυποποίηση των πληροφοριών. Αν και αυτή η προσέγγιση ενισχύει το βάθος και το εύρος της ανάλυσης, απαιτεί επίσης ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα, τη συνέπεια και την ασφάλεια των δεδομένων για να διασφαλιστεί ότι τα συγκεντρωτικά δεδομένα είναι ακριβή και λειτουργικά. [71, 74, 75, 76, 77, 78, 79]

2.6.8 Συστήματα Αποθήκευσης Δεδομένων

Τα συστήματα αποθήκευσης δεδομένων είναι κρίσιμα στοιχεία υποδομής που έχουν σχεδιαστεί για την αποθήκευση, διαχείριση και ανάκτηση τεράστιων ποσοτήτων ψηφιακών πληροφοριών αποτελεσματικά και αξιόπιστα. Αυτά τα συστήματα κυμαίνονται από παραδοσιακές σχεσιακές βάσεις δεδομένων και συστήματα αρχείων έως σύγχρονες λύσεις κατανεμημένης αποθήκευσης, όπως βάσεις δεδομένων NoSQL και πλατφόρμες αποθήκευσης cloud. Οι παραδοσιακές μέθοδοι αποθήκευσης, όπως οι σκληροί δίσκοι και η δικτυακή αποθήκευση (NAS), προσφέρουν αξιόπιστες και επεκτάσιμες λύσεις για δομημένα δεδομένα. Αντίθετα, τα συστήματα αποθήκευσης cloud παρέχουν ευέλικτη, κατ' απαίτηση πρόσβαση στα δεδομένα με τα πλεονεκτήματα της επεκτασιμότητας και της απομακρυσμένης προσβασιμότητας, ενώ τα κατανεμημένα συστήματα αποθήκευσης ενισχύουν τον πλεονασμό δεδομένων και την ανοχή σφαλμάτων διασπείροντας δεδομένα σε πολλούς κόμβους. Με τον αυξανόμενο όγκο και την ποικιλία δεδομένων, τα συστήματα αποθήκευσης πρέπει επίσης να διασφαλίζουν υψηλή απόδοση, ασφάλεια και ευκολία διαχείρισης για την υποστήριξη τόσο των καθημερινών λειτουργιών όσο και των πολύπλοκων αναλύσεων δεδομένων. Καθώς τα δεδομένα συνεχίζουν να αυξάνονται, οι εξελίξεις στις τεχνολογίες αποθήκευσης είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση αποτελεσματικού και αποτελεσματικού χειρισμού δεδομένων [80-87].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στις Έξυπνες Πόλεις, η επεξεργασία και η διαχείριση των δεδομένων είναι καθοριστικής σημασίας για τη δημιουργία αποτελεσματικών, ευέλικτων και βιώσιμων αστικών περιβαλλόντων. Το τεράστιο πλήθος δεδομένων που παράγεται από αισθητήρες, συσκευές IoT και διάφορα συστήματα της πόλης απαιτεί ισχυρά πλαίσια επεξεργασίας για την εξαγωγή ουσιαστικών πληροφοριών και τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων, όπως η μηχανική μάθηση και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, χρησιμοποιούνται για την ανάλυση τάσεων, τη βελτιστοποίηση της κατανομής πόρων και την ενίσχυση υπηρεσιών όπως η διαχείριση της κυκλοφορίας, η διανομή ενέργειας και η δημόσια ασφάλεια. Η αποτελεσματική διαχείριση δεδομένων διασφαλίζει ότι οι πληροφορίες αυτές συλλέγονται με ακρίβεια, αποθηκεύονται με ασφάλεια και ενσωματώνονται απρόσκοπτα σε διάφορες πλατφόρμες. Με την εφαρμογή ολοκληρωμένων πρακτικών διακυβέρνησης δεδομένων, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να διατηρήσουν την ποιότητα των δεδομένων, να διασφαλίσουν τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς προστασίας της ιδιωτικής ζωής και να προωθήσουν τη διαφάνεια. Αυτή η ολιστική προσέγγιση στην επεξεργασία και τη διαχείριση των δεδομένων όχι μόνο βελτιώνει τη λειτουργική αποδοτικότητα, αλλά και βελτιώνει την ποιότητα ζωής των κατοίκων, διευκολύνοντας τον πιο ενημερωμένο και προληπτικό αστικό σχεδιασμό και την παροχή υπηρεσιών. [6, 8, 88, 89, 90, 91, 92, 93]

3.1 Καθαρισμός και Επεξεργασία Δεδομένων

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των δεδομένων έξυπνων πόλεων είναι η ποικιλία τους σχετικά με την ποιότητα τους. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να καθαριστούν, καθώς η κακή ποιότητα τους μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα οποιασδήποτε ανάλυσης. Τα δεδομένα συλλέγονται από διάφορες πηγές και μπορεί να έχουν διαφορετικά ζητήματα ποιότητας. Η ποιότητα των δεδομένων μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας την διαδικασία καθαρισμού. Η ποιότητα των δεδομένων αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Κάποια από τα προβλήματα αυτά μπορούν εύκολα να λυθούν χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ανίχνευσης βάσει κανόνων, όπως είναι τα προβλήματα σύνταξης. Υπάρχουν όμως και πιο περίπλοκα προβλήματα όπως αυτά της σημασιολογίας. Ο καθαρισμός των δεδομένων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε αυτόματα με την χρήση μεθόδων βασισμένων σε κανόνες, είτε χειροκίνητα με μία ορατή αναλυτική προσέγγιση. Η αυτόματη διαδικασία έχει ως εξής: πρώτα, ορίζονται οι κανόνες και η εξάρτηση σε μια διαδικτυακή διεπαφή χρήστη του BigETL- έπειτα, ακολουθεί ο ορισμός των χρονικών διαστημάτων όπου θα εκτελεστεί η διαδικασία του καθαρισμού και τέλος, ο χρονοπρογραμματιστής εργασιών ενεργοποιεί την εκτέλεση της διαδικασίας του καθαρισμού. [10] Κάποιες φορές όμως είναι δύσκολο να οριστούν οι κανόνες καθαρισμού ώστε να μπορέσει να εκτελεστεί αυτόματα από υπολογιστή. Σε αυτή την περίπτωση ο καθαρισμός θα επιλυθεί με οπτικό τρόπο, δηλαδή θα εντοπιστούν τα προβλήματα οπτικά και θα

επιλυθούν. Όπως για παράδειγμα ο εντοπισμός ανώμαλων τιμών σε μια χρονοσειρά κατανάλωσης ενέργειας. Οι τιμές που περιβάλλουν την ανωμαλία, σε συνδυασμό με τα πρότυπα κατανάλωσης, αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο εύρεσης των ύποπτων τιμών. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο ETL, είναι εύκολο να έχουμε μια γενική εικόνα των δεδομένων με αποτέλεσμα να μπορούμε γρήγορα να εντοπίζουμε τις ανωμαλίες. Γνωρίζοντας ότι το BigETL υποστηρίζει μια ποικιλία υποκείμενων συστημάτων, όπως είναι το PostgreSQL, το Hive, ή ένας πίνακας στη μνήμη στο Spark, τα δεδομένα μπορούν να διαβαστούν από αυτά τα συστήματα και να εμφανιστούν με διαφορετικές μορφές διαγραμμάτων. Οι χρήστες επομένως, μπορούν εύκολα να εντοπίσουν τα πολύπλοκα ζητήματα ποιότητας δεδομένων οπτικά και να τα διορθώσουν [94].

3.1.α Χειρισμός Ελλειπόντων Δεδομένων

Ο χειρισμός των δεδομένων που λείπουν στις έξυπνες πόλεις είναι μια κρίσιμη πρόκληση που περιλαμβάνει την εφαρμογή στρατηγικών για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της πληρότητας των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων και τη διαχείριση των πόλεων. Τα ελλιπή δεδομένα μπορεί να προκύψουν από δυσλειτουργίες αισθητήρων, σφάλματα επικοινωνίας ή κενά στις διαδικασίες συλλογής δεδομένων. Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, οι έξυπνες πόλεις χρησιμοποιούν μια σειρά τεχνικών, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων υπολογισμού δεδομένων, οι οποίες εκτιμούν και συμπληρώνουν τις ελλείπουσες τιμές με βάση στατιστικούς αλγορίθμους ή μοντέλα μηχανικής μάθησης. Επιπλέον, η επικύρωση δεδομένων και οι έλεγχοι ποιότητας χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και τη διόρθωση ανωμαλιών πριν από την ανάλυση. Οι αξιόπιστες πρακτικές διαχείρισης δεδομένων περιλαμβάνουν επίσης τη δημιουργία συστημάτων πλεονασμού και τη διασταύρωση πολλαπλών πηγών δεδομένων για τον μετριασμό των επιπτώσεων των ελλιπών πληροφοριών. Με την αποτελεσματική διαχείριση των δεδομένων που λείπουν, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να διατηρήσουν την ακρίβεια των αναλύσεών τους, να υποστηρίξουν πιο αξιόπιστες προβλέψεις και να διασφαλίσουν την ομαλή λειτουργία των υπηρεσιών και των υποδομών ακόμη και σε περίπτωση ελλιπών συνόλων δεδομένων [40, 95-101.]

3.1.β Κανονικοποίηση και Μετασχηματισμός Δεδομένων

Η ομαλοποίηση και ο μετασχηματισμός των δεδομένων είναι βασικές διαδικασίες για τη διαχείριση και αξιοποίηση των ποικίλων και συχνά διαφορετικών πηγών δεδομένων στις έξυπνες πόλεις. Η κανονικοποίηση δεδομένων περιλαμβάνει την τυποποίηση των μορφότυπων, των μονάδων και των δομών δεδομένων για να διασφαλιστεί η συνοχή μεταξύ των διαφόρων συνόλων δεδομένων. Η διαδικασία αυτή βοηθά στη συγχώνευση δεδομένων από διαφορετικές πηγές, όπως αισθητήρες κυκλοφορίας, μετεωρολογικούς σταθμούς και ροές από μέσα κοινωνικής δικτύωσης, διευκολύνοντας την ανάλυση και τη σύγκριση. Ο μετασχηματισμός δεδομένων, από την άλλη πλευρά, μετατρέπει τα δεδομένα σε μορφή που είναι πιο κατάλληλη για ανάλυση ή ενσωμάτωση με άλλα συστήματα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη συγκέντρωση δεδομένων, το φιλτράρισμα του θορύβου ή τη μετατροπή των ακατέργαστων δεδομένων σε σημαντικές μετρήσεις. Μαζί, η κανονικοποίηση και ο μετασχηματισμός διευκολύνουν την ακριβέστερη και αποτελεσματικότερη επεξεργασία δεδομένων, επιτρέποντας στις έξυπνες πόλεις να αντλούν αξιοποιήσιμες πληροφορίες, να βελτιώνουν τη λήψη αποφάσεων και να βελτιστοποιούν τις αστικές λειτουργίες. Εξασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα είναι συνεκτικά και συμβατά, οι διαδικασίες αυτές βοηθούν στη δημιουργία μιας ενιαίας άποψης της δυναμικής της πόλης, υποστηρίζοντας τον καλύτερο σχεδιασμό και την παροχή υπηρεσιών.

3.2 Ενσωμάτωση Δεδομένων

Ο κυριότερος λόγος που οι έξυπνες πόλεις έχουν τέτοια δυναμική είναι η δυνατότητα της ενσωμάτωσης των δεδομένων από διαφορετικούς οργανισμούς, διαφορετικά περιβάλλοντα και μια μεγάλη ποικιλία συσκευών αισθητήρων. Η ενοποίηση δεδομένων ακόμη και μέσα στον ίδιο οργανισμό αποτελεί μεγάλη πρόκληση, κυρίως στον τομέα της πληροφορικής. Ως εκ τούτου, η υιοθέτηση ανοικτών προτύπων σε όλο τον κλάδο της πληροφορικής και των επικοινωνιών μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των τεχνικών εμποδίων, ωστόσο τα πολιτικά και οργανωτικά εμπόδια αποτελούν τα μεγαλύτερα εμπόδια τα οποία πρέπει να ξεπεράσουν. Επομένως, οφείλει να δοθεί η απαραίτητη προσοχή στην ανάπτυξη ανάλογων προτύπων τα οποία θα καθοδηγούν τη μελλοντική ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων. Το τελευταίο διάστημα, αρκετές τεχνολογίες έχουν ενσωματωθεί στις έξυπνες πόλεις, με αποτέλεσμα να έχουν μειωθεί σε μεγάλο βαθμό τα τεχνικά εμπόδια της αντιμετώπισης των δεδομένων. Ωστόσο, η ποιότητα των δεδομένων που αποκτούνται παραμένει πρόκληση, ιδίως στο πλαίσιο των λανθασμένων/ελλειπόντων δεδομένων [102].

3.2.α Συνδυασμός Δεδομένων από Διαφορετικές Πηγές

Ο συνδυασμός δεδομένων από διαφορετικές πηγές στις έξυπνες πόλεις είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης κατανόησης της αστικής δυναμικής και την ενίσχυση των δυνατοτήτων λήψης αποφάσεων. Η ενοποίηση

αυτή περιλαμβάνει τη συγχώνευση δεδομένων από διάφορες εισόδους, όπως αισθητήρες κυκλοφορίας, περιβαλλοντικά μόνιτορ, πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης και βάσεις δεδομένων δημόσιων υπηρεσιών, για τη δημιουργία ενός ενοποιημένου και αξιοποιήσιμου συνόλου δεδομένων. Τεχνικές όπως η συγχώνευση δεδομένων και οι πλατφόρμες ολοκλήρωσης χρησιμοποιούνται για την ευθυγράμμιση διαφορετικών μορφών δεδομένων, την επίλυση ασυνεπειών και τη σύνθεση πληροφοριών από πολλαπλές ροές. Συγκεντρώνοντας και συσχετίζοντας δεδομένα από αυτές τις διαφορετικές πηγές, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να παράγουν πλουσιότερες γνώσεις, να εντοπίζουν μοτίβα και τάσεις και να ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα στις αναδυόμενες προκλήσεις. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση δεδομένων ροής κυκλοφορίας με τις καιρικές συνθήκες και τη δραστηριότητα των μέσων κοινωνικής δικτύωσης μπορεί να συμβάλει στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της κυκλοφορίας και στη βελτίωση της δημόσιας ασφάλειας. Ο αποτελεσματικός συνδυασμός δεδομένων όχι μόνο ενισχύει τη λειτουργική αποδοτικότητα, αλλά υποστηρίζει επίσης καινοτόμες λύσεις για τον αστικό σχεδιασμό, τη βιωσιμότητα και τη συνολική ποιότητα ζωής των κατοίκων [6, 40, 97, 103-107].

3.2.β Αποθήκευση Δεδομένων

Η αποθήκευση δεδομένων στις έξυπνες πόλεις χρησιμεύει ως θεμελιώδης ραχοκοκαλιά για τη συγκέντρωση, αποθήκευση και διαχείριση των τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων που παράγονται από διάφορες πηγές, όπως αισθητήρες, συσκευές IoT, μέσα κοινωνικής δικτύωσης και δημοτικά αρχεία. Μια αποθήκη δεδομένων έχει σχεδιαστεί για την ενοποίηση δεδομένων από διαφορετικά συστήματα σε ένα κεντρικό αποθετήριο, επιτρέποντας την ολοκληρωμένη ανάλυση και υποβολή εκθέσεων.

Στις έξυπνες πόλεις, αυτό σημαίνει την ενσωμάτωση ροών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με ιστορικά αρχεία για τη δημιουργία ενός συνεκτικού και κλιμακούμενου περιβάλλοντος για την ανάλυση δεδομένων. Οι προηγμένες λύσεις αποθήκευσης δεδομένων χρησιμοποιούν τεχνικές όπως η ολοκλήρωση δεδομένων, ο καθαρισμός δεδομένων και η διαχείριση μεταδεδομένων για να διασφαλίσουν την ποιότητα και τη συνέπεια των δεδομένων. Υποστηρίζουν σύνθετα ερωτήματα και αναλύσεις, διευκολύνοντας την εξαγωγή αξιοποιήσιμων πληροφοριών που οδηγούν σε τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, μια αποθήκη δεδομένων μπορεί να συνδυάζει δεδομένα κυκλοφορίας, στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης ενέργειας και περιβαλλοντικές συνθήκες για τη βελτιστοποίηση των δρομολογίων των δημόσιων μεταφορών, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ή την αντιμετώπιση ζητημάτων ποιότητας του αέρα.

Επιπλέον, ο συγκεντρωτικός χαρακτήρας της αποθήκευσης δεδομένων ενισχύει την ασφάλεια και τη διακυβέρνηση των δεδομένων παρέχοντας ισχυρούς ελέγχους πρόσβασης και διαδρομές ελέγχου. Αξιοποιώντας την αποθήκευση δεδομένων, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να αξιοποιήσουν το πλήρες δυναμικό των δεδομένων τους, προωθώντας την καινοτομία, βελτιώνοντας την παροχή υπηρεσιών και δημιουργώντας πιο ευέλικτα και ανθεκτικά αστικά περιβάλλοντα [40, 71, 106-111].

3.3 Πλαίσια Μεγάλων Δεδομένων

Οι έξυπνες πόλεις παράγουν έναν τεράστιο όγκο δεδομένων μέσω διάφορων πηγών. Η συγκεκριμένη υποδομή οφείλει να μπορεί να αποθηκεύει, επεξεργάζεται και να αναλύει τον συνεχώς αυξανόμενο όγκο δεδομένων. Πρέπει όμως να ληφθούν υπόψη κάποιες παράμετροι σχετικά με την υλοποίηση ενός πλαισίου μεγάλων δεδομένων. Αρχικά, το πλαίσιο αυτό πρέπει να εγγυάται την αποτελεσματική αποθήκευση των διάφορων μορφών δεδομένων που συλλέγονται καθημερινά (δομημένων, μη δομημένων και ημιδομημένων). Δεύτερον, οφείλει να μπορεί να επεξεργάζεται και τα δεδομένα που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο αλλά και αυτά που έχει ήδη από το παρελθόν. Τρίτον, πρέπει να δίνει ευελιξία όσον αφορά την αποθήκευση και την επεξεργασία των δεδομένων. Τέλος, όλα αυτά τα επεξεργασμένα αποτελέσματα θα πρέπει να μπορεί να τα διαμοιράζει σε διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες με σταδιακό και κλιμακούμενο τρόπο [102].

3.3.α Οικοσύστημα Hadoop

Το οικοσύστημα Hadoop διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαχείριση και ανάλυση των τεράστιων όγκων δεδομένων που παράγονται στις έξυπνες πόλεις, προσφέροντας ένα ισχυρό πλαίσιο για το χειρισμό διαφορετικών και πολύπλοκων συνόλων δεδομένων. Το Hadoop, ένα πλαίσιο ανοικτού κώδικα, έχει σχεδιαστεί για την επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων μεγάλης κλίμακας σε κατανεμημένες συστάδες υπολογιστών, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για τα δεδομένα υψηλής ταχύτητας και ποικιλίας που είναι χαρακτηριστικά των περιβαλλόντων έξυπνων πόλεων. Στο πλαίσιο αυτού του οικοσυστήματος, τα βασικά συστατικά του Hadoop, όπως το κατανεμημένο σύστημα αρχείων Hadoop (HDFS) και το MapReduce, επιτρέπουν την κλιμακούμενη αποθήκευση και την παράλληλη επεξεργασία δεδομένων. Αυτά συμπληρώνονται από πρόσθετα εργαλεία όπως το Apache Hive για την αποθήκευση δεδομένων, το Apache HBase για πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και το Apache Pig για μετασχηματισμό και ανάλυση δεδομένων.

Η ενσωμάτωση και η διαχείριση δεδομένων ενισχύονται περαιτέρω από το Apache Sqoop για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ του Hadoop και των σχεσιακών βάσεων δεδομένων και το Apache Flume για την εισροή δεδομένων καταγραφής. Η ευελιξία του οικοσυστήματος επιτρέπει την ενσωμάτωση ποικίλων τύπων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων δομημένων, ημιδομημένων και μη δομημένων δεδομένων, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση διαφόρων πτυχών της αστικής ζωής - από τη διαχείριση της κυκλοφορίας και την κατανάλωση ενέργειας έως τη δημόσια ασφάλεια και την περιβαλλοντική παρακολούθηση. Αξιοποιώντας τις δυνατότητες κατανεμημένου υπολογισμού του Hadoop, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να επεξεργάζονται και να αναλύουν αποτελεσματικά σύνολα δεδομένων μεγάλης κλίμακας, να αντλούν αξιοποιήσιμες πληροφορίες και να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων που ενισχύουν τη λειτουργική αποδοτικότητα και βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων [107, 111-117].

3.3.6 Apache Spark

Το Apache Spark είναι μια μετασχηματιστική τεχνολογία για τις έξυπνες πόλεις, παρέχοντας μια ισχυρή, γρήγορη και ευέλικτη πλατφόρμα για επεξεργασία και ανάλυση μεγάλων δεδομένων. Ως κατανεμημένο υπολογιστικό σύστημα ανοικτού κώδικα, το Spark υπερέχει στο χειρισμό εργασιών επεξεργασίας δεδομένων μεγάλης κλίμακας με αξιοσημείωτη ταχύτητα και αποτελεσματικότητα, καθιστώντας το ιδανικό για τα δυναμικά και ποικίλα περιβάλλοντα δεδομένων που συναντώνται στις έξυπνες πόλεις. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά πλαίσια επεξεργασίας παρτίδων, το Spark υποστηρίζει υπολογισμό στη μνήμη, ο οποίος επιταχύνει σημαντικά την επεξεργασία δεδομένων μειώνοντας την ανάγκη για λειτουργίες εισόδου/εξόδου στο δίσκο.

Αυτή η δυνατότητα είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση σε πραγματικό χρόνο και τη λήψη αποφάσεων, επιτρέποντας στις πόλεις να ανταποκρίνονται γρήγορα σε αναδυόμενα ζητήματα όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας και οι ανησυχίες για τη δημόσια ασφάλεια. Το οικοσύστημα της Spark περιλαμβάνει βιβλιοθήκες για διάφορες εργασίες ανάλυσης, όπως η Spark SQL για την αναζήτηση δομημένων δεδομένων, η MLlib για τη μηχανική μάθηση, η GraphX για την επεξεργασία γραφημάτων και η Spark Streaming για την επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα χαρακτηριστικά επιτρέπουν στις έξυπνες πόλεις να ενσωματώνουν και να αναλύουν δεδομένα από αισθητήρες, μέσα κοινωνικής δικτύωσης και άλλες πηγές, παρέχοντας αξιοποιήσιμες πληροφορίες και προγνωστικές αναλύσεις που οδηγούν σε βελτιώσεις στον αστικό σχεδιασμό, τη διαχείριση πόρων και την παροχή υπηρεσιών.

Επιπλέον, η συμβατότητα του Spark με το Hadoop και άλλα εργαλεία μεγάλων δεδομένων ενισχύει την ευελιξία και την επεκτασιμότητά του, επιτρέποντας στις πόλεις να δημιουργούν ολοκληρωμένες και ισχυρές αρχιτεκτονικές δεδομένων που υποστηρίζουν τη συνεχή καινοτομία και ανάπτυξη. Αξιοποιώντας τη δύναμη του Apache Spark, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά πολύπλοκα περιβάλλοντα δεδομένων, να προωθήσουν πιο αποδοτικές λειτουργίες και τελικά να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων τους [114, 117-123].

3.4 Ανάλυση και Οπτικοποίηση Δεδομένων

Με την χρήση διάφορων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης προκύπτουν χρήσιμες πληροφορίες από τα δεδομένα που συλλέγονται από τις έξυπνες πόλεις οι οποίες συμβάλουν στην δημιουργία προβλέψεων, τον εντοπισμό τάσεων, την ανακάλυψη κρυμμένων πληροφοριών ακόμη και τη λήψη αποφάσεων. Ανάλογα με τις απαιτήσεις, επιλέγεται η κατάλληλη αναλυτική προσέγγιση. Οι επιβλεπόμενοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για ταξινόμηση και πρόβλεψη, ενώ οι μη επιβλεπόμενοι για ομαδοποίηση και διαχωρισμό του σήματος πηγής. Οι αλγόριθμοι ημι-επιβλεψής χρησιμοποιούνται σε μεγάλα σύνολα δεδομένων χωρίς ετικέτες στα οποία δεν μπορούν να εφαρμοστούν οι κλασικοί αλγόριθμοι επιβλεψής. Όσον αφορά την οπτικοποίηση των δεδομένων αποτελεί μια από τις βασικότερες πτυχές στις έξυπνες πόλεις, διότι παρέχει την δυνατότητα στους χρήστες να κατανοήσουν τη σημασία των δεδομένων βάζοντάς τα σε ένα οπτικό πλαίσιο. Οι διατάξεις χωρικής απεικόνισης επιτρέπουν την αντιστοίχιση των αντικειμένων δεδομένων σε συγκεκριμένα σημεία ενός συστήματος συντεταγμένων, επιτρέποντας έτσι την απλοποιημένη αναπαράσταση ενός πολύπλοκου συνόλου δεδομένων. Οι τεχνικές αφηρημένης απεικόνισης παρέχουν μια σύνοψη των δεδομένων μεγάλης κλίμακας πριν απεικονιστούν σε μονάδες απεικόνισης. Τέλος, η διαδραστική οπτικοποίηση εμπεριέχει τεχνικές που επιτρέπουν την οπτικοποίηση και την αλληλεπίδραση του χρήστη σε πραγματικό χρόνο [102].

3.5 Περιγραφική Ανάλυση

Η περιγραφική ανάλυση περιλαμβάνει τη συλλογή και την ανάλυση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων που παράγονται από αστικές υποδομές και τις αλληλεπιδράσεις των πολιτών. Με τη χρήση αισθητήρων, συσκευών IoT και διαφόρων πηγών δεδομένων οι σχεδιαστές και διαχειριστές των πόλεων μπορούν να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με τα πρότυπα κυκλοφορίας, τη χρήση ενέργειας, τη δημόσια ασφάλεια και την κατανομή των πόρων. Η ανάλυση αυτή βοηθά στον

εντοπισμό τάσεων και ανωμαλιών, επιτρέποντας την πιο τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων και τη βελτιστοποίηση των υπηρεσιών της πόλης. Για παράδειγμα, η κατανόηση των χρόνων αιχμής της κυκλοφορίας μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερες στρατηγικές διαχείρισης της κυκλοφορίας, ενώ τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας μπορούν να οδηγήσουν σε πρωτοβουλίες για τη βιωσιμότητα. Τελικά, η περιγραφική ανάλυση χρησιμεύει ως θεμελιώδες εργαλείο για την ενίσχυση της αστικής ζωής, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και την προώθηση ενός πιο ευέλικτου μοντέλου διακυβέρνησης [40, 124-130].

3.5.α Τεχνικές Απεικόνισης Δεδομένων

Οι τεχνικές απεικόνισης δεδομένων είναι απαραίτητες για τη μετάφραση πολύπλοκων δεδομένων, επιτρέποντας στους ενδιαφερόμενους να λαμβάνουν γρήγορα τεκμηριωμένες αποφάσεις. Χρησιμοποιώντας εργαλεία όπως χάρτες θερμότητας, διαδραστικά ταμπλό και infographics, οι πολεοδόμοι και οι διαχειριστές των πόλεων μπορούν να επικοινωνούν αποτελεσματικά τις πληροφορίες που συλλέγουν. Για παράδειγμα, ένας χάρτης που εμφανίζει σε πραγματικό χρόνο τους δείκτες ποιότητας του αέρα σε διάφορες γειτονιές μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό εστιών ρύπανσης, καθοδηγώντας στοχευμένες παρεμβάσεις. Επιπλέον, η οπτικοποίηση δεδομένων προάγει τη συμμετοχή του κοινού, επιτρέποντας στους κατοίκους να εξερευνούν τις αστικές μετρήσεις και να συμμετέχουν σε συζητήσεις σχετικά με τις πρωτοβουλίες της πόλης. Μετατρέποντας τα δεδομένα σε οπτικές αφηγήσεις, οι τεχνικές αυτές ενισχύουν την κατανόηση, τη συνεργασία και τον στρατηγικό σχεδιασμό στο διαρκώς εξελισσόμενο τοπίο των έξυπνων πόλεων [131-138].

3.6 Προγνωστική Ανάλυση

Είναι στην φύση του ανθρώπου το να θέλει να γνωρίζει και να προβλέπει τι θα συμβεί στο μέλλον. Η προγνωστική ανάλυση ασχολείται με την πρόβλεψη των μελλοντικών γεγονότων βασισμένη σε ιστορικά δεδομένα που έχουν παρατηρηθεί προηγουμένως, εφαρμόζοντας εξελιγμένες μεθόδους όπως είναι η μηχανική μάθηση. Τα ιστορικά αυτά δεδομένα συλλέγονται και μετασχηματίζονται με τη χρήση διάφορων τεχνικών όπως το φιλτράρισμα και η συσχέτιση των δεδομένων. Η διαδικασία πρόβλεψης χωρίζεται σε 4 βήματα. Πρώτο βήμα, η συλλογή και η προ επεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων. Δεύτερο βήμα, ο μετασχηματισμός των προ επεξεργασμένων δεδομένων σε μορφή που μπορεί εύκολα να αναλυθεί από την επιλεγμένη μέθοδο μηχανικής μάθησης. Τρίτο βήμα, δημιουργία του μοντέλου

μάθησης χρησιμοποιώντας τα μετασχηματισμένα δεδομένα και τέλος, η αναφορά των προβλέψεων στον χρήστη χρησιμοποιώντας το δημιουργημένο μοντέλο μάθησης. [139]

3.6.α Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της ανάπτυξης των έξυπνων πόλεων, επιτρέποντας την επεξεργασία τεράστιων συνόλων δεδομένων για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών και τη βελτίωση της αστικής ζωής. Διάφορα παραδείγματα, όπως η μάθηση με επίβλεψη, η μάθηση χωρίς επίβλεψη και η ενισχυτική μάθηση, διαδραματίζουν διακριτούς ρόλους σε αυτό το πλαίσιο. Οι αλγόριθμοι επιβλεπόμενης μάθησης, για παράδειγμα, μπορούν να προβλέψουν τα μοτίβα κυκλοφορίας με εκπαίδευση σε ιστορικά δεδομένα με ετικέτες, επιτρέποντας στις πόλεις να βελτιστοποιήσουν τους χρόνους των φωτεινών σηματοδοτών και να μειώσουν τη συμφόρηση. Τεχνικές μάθησης χωρίς επίβλεψη, όπως η ομαδοποίηση, μπορούν να εντοπίσουν πρότυπα στην κατανάλωση ενέργειας σε διάφορες γειτονιές, βοηθώντας στην αποτελεσματική στόχευση πρωτοβουλιών για την αειφορία. Εν τω μεταξύ, η ενισχυτική μάθηση μπορεί να εφαρμοστεί σε προσαρμοστικά συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας, όπου οι αλγόριθμοι μαθαίνουν συνεχώς και προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο για τη βελτιστοποίηση της ροής και την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων. Με την αξιοποίηση αυτών των παραδειγμάτων μηχανικής μάθησης, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να γίνουν πιο αποτελεσματικές, ευέλικτες και ικανές να ανταποκρίνονται στις δυναμικές ανάγκες των κατοίκων τους [140-147].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

Το σενάριο που επιλέχθηκε είναι ένα σύστημα έξυπνης διαχείρισης της κυκλοφορίας για την πρόβλεψη της κυκλοφοριακής ροής σε πραγματικό χρόνο και η προσαρμογή των συστημάτων.

Στόχος των έξυπνων πόλεων είναι η βελτιστοποίηση των αστικών υποδομών με την αξιοποίηση δεδομένων και τεχνολογίας σε πραγματικό χρόνο. Μια βασική πρόκληση είναι η αποτελεσματική διαχείριση της κυκλοφορίας για τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, την ελαχιστοποίηση των χρόνων ταξιδιού και τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας μπορεί να προσαρμόζει δυναμικά τα σήματα κυκλοφορίας και να προβλέπει τη μελλοντική ροή της κυκλοφορίας με βάση δεδομένα πραγματικού χρόνου, όπως ο αριθμός των οχημάτων, η ταχύτητα, οι καιρικές συνθήκες και τα αναφερόμενα ατυχήματα. Αυτό το σενάριο περιγράφει πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια απλοποιημένη, βασισμένη σε κανόνες προσέγγιση για την προσομοίωση ενός τέτοιου συστήματος χωρίς την ανάγκη προηγμένης μηχανικής μάθησης.

Σε μια μεσαίου μεγέθους πόλη, πέντε μεγάλες διασταυρώσεις είναι επιρρεπείς σε συμφόρηση κατά τις ώρες αιχμής. Το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας της πόλης θέλει να αναπτύξει ένα έξυπνο σύστημα που συλλέγει δεδομένα κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο και προσαρμόζει ανάλογα τα σήματα. Το σύστημα θα:

- Ρυθμίζει τα σήματα κυκλοφορίας με βάση τις τρέχουσες συνθήκες κυκλοφορίας.
- Προβλέπει τη μελλοντική ροή της κυκλοφορίας για να βοηθήσει στην προληπτική διαχείριση της συμφόρησης.
- Θα λειτουργεί αποτελεσματικά χωρίς να βασίζεται σε προηγμένες εργαλειοθήκες μηχανικής μάθησης.

Προσέγγιση:

Συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο:

Το σύστημα συλλέγει συνεχώς δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες κυκλοφορίας που είναι εγκατεστημένοι σε κάθε μία από τις πέντε διασταυρώσεις. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν:

- Καταμέτρηση οχημάτων: Αριθμός οχημάτων που βρίσκονται αυτή τη στιγμή στη διασταύρωση.

- Μέση ταχύτητα: Μέση ταχύτητα των οχημάτων που πλησιάζουν ή διέρχονται από τη διασταύρωση.
- Καιρικές συνθήκες: Εάν ο καιρός είναι καθαρός, βροχερός ή ομίχλωδης.
- Αναφορές ατυχημάτων: Εάν υπάρχουν ατυχήματα στη διασταύρωση.

Ρύθμιση του σήματος κυκλοφορίας:

Το σύστημα χρησιμοποιεί μια προσέγγιση βασισμένη σε κανόνες για τη δυναμική προσαρμογή των φωτεινών σηματοδοτών:

- Υψηλός όγκος κυκλοφορίας: Εάν ανιχνευθούν περισσότερα από 300 οχήματα σε μια διασταύρωση, η διάρκεια του πράσινου φωτός παρατείνεται για να επιτραπεί η διέλευση περισσότερων οχημάτων.
- Σε κακές καιρικές συνθήκες (βροχή ή ομίχλη) ή αν αναφερθεί ατύχημα, το σύστημα παρατείνει αντ' αυτού τη διάρκεια του κόκκινου φωτεινού σηματοδότη για να διασφαλίσει την ασφάλεια.
- Κανονική κυκλοφορία: Εάν ο αριθμός των οχημάτων είναι μικρότερος από 300, οι φωτεινοί σηματοδότες λειτουργούν με κανονικό χρονισμό.

Πρόβλεψη μελλοντικής κυκλοφοριακής ροής:

Χρησιμοποιείται μια απλουστευμένη μέθοδος για την πρόβλεψη της μελλοντικής ροής κυκλοφορίας με βάση τις τρέχουσες συνθήκες κυκλοφορίας:

- Εάν ο αριθμός των οχημάτων είναι υψηλός (>300), το σύστημα προβλέπει χαμηλότερη ροή κυκλοφορίας, υποδεικνύοντας πιθανή συμφόρηση.
- Εάν ο αριθμός των οχημάτων είναι χαμηλός (<300), το σύστημα προβλέπει υψηλότερη ροή κυκλοφορίας, υποδεικνύοντας ομαλότερη κίνηση.
- Εάν η μέση ταχύτητα είναι χαμηλή (κάτω από 30 km/h) ή εάν έχουν αναφερθεί ατυχήματα, η προβλεπόμενη ροή κυκλοφορίας μειώνεται για να ληφθούν υπόψη οι πιθανές καθυστερήσεις.

Οι προβλέψεις βοηθούν στην προληπτική διαχείριση της κυκλοφορίας, ρυθμίζοντας τα σήματα νωρίτερα εάν αναμένεται συμφόρηση.

```

1  import random
2  import time
3
4  # Function to collect traffic data
5  def collect_traffic_data(num_intersections):
6      traffic_data = []
7      for i in range(num_intersections):
8          data = {
9              "location": f"Intersection_{i+1}",
10             "vehicle_count": random.randint(50, 500), # Random vehicle count between 50 and 500
11             "average_speed": random.uniform(20, 60), # Random speed between 20 and 60 km/h
12             "weather_condition": random.choice(['Clear', 'Rain', 'Fog']), # Random weather condition
13             "accidents_reported": random.randint(0, 1) # Binary (0 or 1) accident report
14         }
15         traffic_data.append(data)
16     return traffic_data
17
18 # Function to adjust traffic signals based on conditions
19 def adjust_traffic_signal(vehicle_count, weather_condition, accidents_reported):
20     if vehicle_count > 300:
21         if weather_condition in ['Rain', 'Fog'] or accidents_reported == 1:
22             return 'Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)'
23         else:
24             return 'Extend Green Light (Heavy Traffic)'
25     else:
26         return 'Normal Signal Operation'
27
28 # Simplified function to "predict" traffic flow (without ML)
29 def predict_traffic_flow_simple(current_data):
30     # Rule-based traffic flow prediction:
31     # If vehicle count is high, flow will be lower, if speed is high, flow will be higher.
32
33     if current_data['vehicle_count'] > 300:
34         predicted_flow = 100 + (random.random() * 100) # Simulated lower traffic flow for high vehicle count
35     else:
36         predicted_flow = 200 + (random.random() * 150) # Simulated higher flow for lower vehicle count
37
38     # If speed is very low or accidents are reported, reduce flow
39     if current_data['average_speed'] < 30 or current_data['accidents_reported'] == 1:
40         predicted_flow *= 0.5 # Reduce traffic flow if speed is low or there's an accident
41
42     return predicted_flow
43
44 # Main loop for processing real-time traffic data
45 def main():
46     num_intersections = 5 # Number of intersections
47     for cycle in range(5): # Simulate real-time processing every few seconds
48         print(f"--- Processing Cycle {cycle+1} ---")
49
50         # Collect traffic data
51         traffic_data = collect_traffic_data(num_intersections)
52
53         # Process and adjust traffic signals for each intersection
54         for data in traffic_data:
55             print(f"Location: {data['location']}, Vehicle Count: {data['vehicle_count']}, "
56                   f"Average Speed: {data['average_speed']:.2f} km/h, "
57                   f"Weather: {data['weather_condition']}, "
58                   f"Accidents: {data['accidents_reported']}")
59
60             # Adjust traffic signal based on data
61             signal = adjust_traffic_signal(data['vehicle_count'], data['weather_condition'], data['accidents_reported'])
62             print(f"Signal Adjustment: {signal}")
63
64         # Simplified prediction of future traffic flow (without ML)
65         predicted_flow = predict_traffic_flow_simple(data)
66         print(f"Predicted Traffic Flow: {predicted_flow:.2f} cars/hour\n")
67
68         # Simulate a delay between processing cycles
69         time.sleep(5) # 5-second delay

```

Επεξήγηση κώδικα Python

1. Συλλογή δεδομένων κυκλοφορίας:

- Η συνάρτηση `collect_traffic_data` προσομοιώνει τη συλλογή δεδομένων από πολλαπλές διασταυρώσεις.
- Δημιουργεί τυχαίες τιμές για τον αριθμό των οχημάτων, την ταχύτητα, τις καιρικές συνθήκες και τα ατυχήματα.

2. Ρύθμιση των σηματοδοτών κυκλοφορίας:

- Η συνάρτηση `adjust_traffic_signal` προσαρμόζει τους φωτεινούς σηματοδότες με βάση τον αριθμό των οχημάτων, τις καιρικές συνθήκες και το αν αναφέρθηκαν ατυχήματα.

3. Πρόβλεψη κυκλοφοριακής ροής:

- Η συνάρτηση `predict_traffic_flow_simple` χρησιμοποιεί μια προσέγγιση βασισμένη σε κανόνες για την προσομοίωση προβλέψεων ροής κυκλοφορίας με βάση τον αριθμό των οχημάτων, την ταχύτητα και τα ατυχήματα.
- Εάν ο αριθμός των οχημάτων είναι υψηλός, η ροή κυκλοφορίας μειώνεται. Εάν η ταχύτητα είναι χαμηλή ή υπάρχει ατύχημα, η προβλεπόμενη ροή μειώνεται περαιτέρω.

4. Κύριος βρόχος:

- Η κύρια λειτουργία προσομοιώνει τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Εκτελεί 5 κύκλους, συλλέγοντας κυκλοφοριακά δεδομένα, ρυθμίζοντας τα σήματα κυκλοφορίας, προβλέποντας τη μελλοντική ροή της κυκλοφορίας και κάνοντας παύση για 5 δευτερόλεπτα μεταξύ κάθε κύκλου.

Βήματα για τη μετατροπή του κώδικα από Python σε MATLAB:

1. Συλλογή δεδομένων: Στο MATLAB, χρησιμοποιήστε πίνακες και ενσωματωμένες συναρτήσεις όπως `randi` (για τυχαίους ακέραιους αριθμούς) και `rand` (για τυχαίους αριθμούς κινητής υποδιαστολής) για να προσομοιώσετε τα δεδομένα κίνησης.

2. Προσαρμογή των σημάτων κυκλοφορίας: Χρησιμοποιήστε δηλώσεις υπό όρους (`if`, `else`) στο MATLAB παρόμοιες με τη λογική `if-else` της Python.

3. Γραμμική παλινδρόμηση: Το MATLAB διαθέτει ενσωματωμένες συναρτήσεις για μηχανική μάθηση, όπως η `fitlm` για γραμμική παλινδρόμηση.

4. Προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο: Μπορείτε να προσομοιώσετε τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας βρόχους και τη συνάρτηση παύσης για την καθυστέρηση κάθε επανάληψης.

Ο παραπάνω κώδικας Python σε MATLAB:

```
1 % Smart Traffic Management System in MATLAB (No Machine Learning Toolbox)
2
3 % Number of intersections
4 num_intersections = 5;
5
6 % Function to collect traffic data
7 function traffic_data = collect_traffic_data(num_intersections)
8     traffic_data = struct(); % Initialize structure
9     for i = 1:num_intersections
10         traffic_data(i).location = ['Intersection_' num2str(i)];
11         traffic_data(i).vehicle_count = randi([50, 500]); % Random vehicle count between 50 and 500
12         traffic_data(i).average_speed = 20 + (60-20).*rand(1); % Random speed between 20 and 60 km/h
13         weather_conditions = {'Clear', 'Rain', 'Fog'};
14         traffic_data(i).weather_condition = weather_conditions(randi([1,3])); % Random weather condition
15         traffic_data(i).accidents_reported = randi([0, 1]); % Binary (0 or 1) accident report
16     end
17 end
18
19 % Function to adjust traffic signals based on conditions
20 function signal_adjustment = adjust_traffic_signal(vehicle_count, weather_condition, accidents_reported)
21     if vehicle_count > 300
22         if strcmp(weather_condition, 'Rain') || strcmp(weather_condition, 'Fog') || accidents_reported == 1
23             signal_adjustment = 'Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)';
24         else
25             signal_adjustment = 'Extend Green Light (Heavy Traffic)';
26     end
27 end
28
29 % Simplified function to "predict" traffic flow (without ML)
30 function predicted_flow = predict_traffic_flow_simple(current_data)
31     % Rule-based traffic flow prediction:
32     % If vehicle count is high, flow will be lower, if speed is high, flow will be higher.
33
34     if current_data.vehicle_count > 300
35         predicted_flow = 100 + (rand() * 100); % Simulated lower traffic flow for high vehicle count
36     else
37         predicted_flow = 200 + (rand() * 150); % Simulated higher flow for lower vehicle count
38     end
39
40     % If speed is very low or accidents are reported, reduce flow
41     if current_data.average_speed < 30 || current_data.accidents_reported == 1
42         predicted_flow = predicted_flow * 0.5; % Reduce traffic flow if speed is low or there's an accident
43     end
44 end
45
46 % Main loop for processing real-time traffic data
47 for cycle = 1:5 % Simulate real-time processing every few seconds
48     fprintf('--- Processing Cycle %d ---\n', cycle);
49
50     % Collect traffic data
51     traffic_data = collect_traffic_data(num_intersections);
52
53     % Process and adjust traffic signals for each intersection
54     for i = 1:num_intersections
55         fprintf('Location: %s, Vehicle Count: %d, Average Speed: %.2f km/h, Weather: %s, Accidents: %d\n', ...
56             traffic_data(i).location, ...
57             traffic_data(i).vehicle_count, ...
58             traffic_data(i).average_speed, ...
59             traffic_data(i).weather_condition, ...
60             traffic_data(i).accidents_reported);
61
62         % Adjust traffic signal based on data
63         signal = adjust_traffic_signal(traffic_data(i).vehicle_count, traffic_data(i).weather_condition, traff:
64         fprintf('Signal Adjustment: %s\n', signal);
65
66         % Simplified prediction of future traffic flow (without ML)
67         predicted_flow = predict_traffic_flow_simple(traffic_data(i));
68         fprintf('Predicted Traffic Flow: %.2f cars/hour\n\n', predicted_flow);
69     end
70
71     % Simulate a delay between processing cycles
72     pause(5); % 5-second delay
73 end
```

Εδώ βλέπουμε τα αποτελέσματα των 5 κύκλων για τις συνθήκες που αναφέραμε παραπάνω:

```
TrafficSystem.mlx +
--- Processing Cycle 1 ---
Location: Intersection_1, Vehicle Count: 70, Average Speed: 48.93 km/h, Weather: Rain, Accidents: 1
Signal Adjustment: Normal Signal Operation
Predicted Traffic Flow: 173.96 cars/hour
Location: Intersection_2, Vehicle Count: 223, Average Speed: 45.09 km/h, Weather: Clear, Accidents: 1
Signal Adjustment: Normal Signal Operation
Predicted Traffic Flow: 102.25 cars/hour
Location: Intersection_3, Vehicle Count: 411, Average Speed: 49.83 km/h, Weather: Fog, Accidents: 0
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 153.57 cars/hour
Location: Intersection_4, Vehicle Count: 328, Average Speed: 43.02 km/h, Weather: Rain, Accidents: 0
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 108.71 cars/hour
Location: Intersection_5, Vehicle Count: 162, Average Speed: 38.07 km/h, Weather: Clear, Accidents: 1
Signal Adjustment: Normal Signal Operation
Predicted Traffic Flow: 160.16 cars/hour

TrafficSystem.mlx +
--- Processing Cycle 2 ---
Location: Intersection_1, Vehicle Count: 496, Average Speed: 22.68 km/h, Weather: Fog, Accidents: 0
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 97.28 cars/hour
Location: Intersection_2, Vehicle Count: 358, Average Speed: 51.35 km/h, Weather: Rain, Accidents: 1
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 83.83 cars/hour
Location: Intersection_3, Vehicle Count: 455, Average Speed: 45.04 km/h, Weather: Clear, Accidents: 0
Signal Adjustment: Extend Green Light (Heavy Traffic)
Predicted Traffic Flow: 198.83 cars/hour
Location: Intersection_4, Vehicle Count: 132, Average Speed: 21.67 km/h, Weather: Clear, Accidents: 1
Signal Adjustment: Normal Signal Operation
Predicted Traffic Flow: 157.51 cars/hour
Location: Intersection_5, Vehicle Count: 473, Average Speed: 34.18 km/h, Weather: Rain, Accidents: 1
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 66.83 cars/hour

TrafficSystem.mlx +
--- Processing Cycle 3 ---
Location: Intersection_1, Vehicle Count: 348, Average Speed: 29.77 km/h, Weather: Clear, Accidents: 1
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 70.67 cars/hour
Location: Intersection_2, Vehicle Count: 288, Average Speed: 36.46 km/h, Weather: Rain, Accidents: 1
Signal Adjustment: Normal Signal Operation
Predicted Traffic Flow: 116.33 cars/hour
Location: Intersection_3, Vehicle Count: 313, Average Speed: 42.07 km/h, Weather: Rain, Accidents: 1
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 56.28 cars/hour
Location: Intersection_4, Vehicle Count: 87, Average Speed: 48.78 km/h, Weather: Fog, Accidents: 0
Signal Adjustment: Normal Signal Operation
Predicted Traffic Flow: 246.34 cars/hour
Location: Intersection_5, Vehicle Count: 488, Average Speed: 33.86 km/h, Weather: Fog, Accidents: 0
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 172.61 cars/hour

TrafficSystem.mlx +
--- Processing Cycle 4 ---
Location: Intersection_1, Vehicle Count: 403, Average Speed: 47.75 km/h, Weather: Clear, Accidents: 1
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 55.39 cars/hour
Location: Intersection_2, Vehicle Count: 465, Average Speed: 50.84 km/h, Weather: Clear, Accidents: 0
Signal Adjustment: Extend Green Light (Heavy Traffic)
Predicted Traffic Flow: 118.22 cars/hour
Location: Intersection_3, Vehicle Count: 367, Average Speed: 49.18 km/h, Weather: Clear, Accidents: 0
Signal Adjustment: Extend Green Light (Heavy Traffic)
Predicted Traffic Flow: 109.91 cars/hour
Location: Intersection_4, Vehicle Count: 353, Average Speed: 39.10 km/h, Weather: Rain, Accidents: 0
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 148.98 cars/hour
Location: Intersection_5, Vehicle Count: 129, Average Speed: 53.19 km/h, Weather: Fog, Accidents: 1
Signal Adjustment: Normal Signal Operation
Predicted Traffic Flow: 114.49 cars/hour

--- Processing Cycle 5 ---
Location: Intersection_1, Vehicle Count: 454, Average Speed: 23.96 km/h, Weather: Clear, Accidents: 1
Signal Adjustment: Extend Red Light (Heavy Traffic + Bad Conditions)
Predicted Traffic Flow: 94.72 cars/hour
Location: Intersection_2, Vehicle Count: 398, Average Speed: 32.48 km/h, Weather: Clear, Accidents: 0
Signal Adjustment: Extend Green Light (Heavy Traffic)
Predicted Traffic Flow: 113.75 cars/hour
Location: Intersection_3, Vehicle Count: 144, Average Speed: 40.41 km/h, Weather: Fog, Accidents: 1
Signal Adjustment: Normal Signal Operation
Predicted Traffic Flow: 129.25 cars/hour
Location: Intersection_4, Vehicle Count: 95, Average Speed: 35.63 km/h, Weather: Clear, Accidents: 1
Signal Adjustment: Normal Signal Operation
Predicted Traffic Flow: 169.55 cars/hour
Location: Intersection_5, Vehicle Count: 244, Average Speed: 59.90 km/h, Weather: Fog, Accidents: 0
Signal Adjustment: Normal Signal Operation
Predicted Traffic Flow: 337.62 cars/hour
```

Workspace		
Name ▲	Value	
cycle	5	
i	5	
num_intersections	5	
predicted_flow	337.6241	
signal	'Normal Signal Opera...	
traffic_data	1x5 struct	

Σενάριο σε δράση:

Κύκλος 1: Πρωινή ώρα αιχμής

- Στις 8:00 π.μ., η διασταύρωση 1 ανιχνεύει 450 οχήματα με μέση ταχύτητα 25 km/h, υπό καθαρές καιρικές συνθήκες.
- Το σύστημα ανιχνεύει υψηλή κυκλοφορία και παρατείνει το πράσινο φως για να μειώσει τη συμφόρηση.
- Η προβλεπόμενη κυκλοφοριακή ροή είναι 120 αυτοκίνητα/ώρα, η οποία είναι σχετικά χαμηλή λόγω της μεγάλης κυκλοφορίας.

Κύκλος 2: Ελαφριά κυκλοφορία μέσα στο πρωί

- Στις 10:30 π.μ., η διασταύρωση 2 ανιχνεύει 180 οχήματα, τα οποία κινούνται με μέση ταχύτητα 50 km/h.
- Το σύστημα διατηρεί τα σήματα στον κανονικό κύκλο λειτουργίας τους, καθώς η κυκλοφορία είναι μέτρια και οι καιρικές συνθήκες είναι καθαρές.
- Η προβλεπόμενη κυκλοφοριακή ροή είναι 320 αυτοκίνητα/ώρα, υποδεικνύοντας ομαλή κίνηση.

Κύκλος 3: Απροσδόκητο ατύχημα

- Στις 12:00 μ.μ., η διασταύρωση 3 αναφέρει ένα ατύχημα και 320 οχήματα, με μέση ταχύτητα 20 km/h σε συνθήκες ομίχλης.
- Το σύστημα παρατείνει το κόκκινο φως για λόγους ασφαλείας λόγω των κακών καιρικών συνθηκών και του ατυχήματος.
- Η προβλεπόμενη ροή κυκλοφορίας μειώνεται σε 90 οχήματα/ώρα λόγω του ατυχήματος και της χαμηλής ταχύτητας.

Κύκλος 4: Απογευματινή επιβράδυνση

- Στις 3:00 μ.μ., η διασταύρωση 4 ανιχνεύει 400 οχήματα, τα οποία κινούνται με μέση ταχύτητα 40 km/h υπό βροχερό καιρό.

- Το σύστημα παρατείνει το κόκκινο φως για να επιτρέψει στα οχήματα να εγκαταλείψουν αργά τη διασταύρωση, βελτιώνοντας την ασφάλεια σε υγρές συνθήκες.
- Η προβλεπόμενη κυκλοφοριακή ροή είναι 140 αυτοκίνητα/ώρα, μειωμένη τόσο λόγω του υψηλού αριθμού οχημάτων όσο και λόγω της βροχής.

Κύκλος 5: Απογευματινή αιχμή

- Στις 6:00 μ.μ., η διασταύρωση 5 ανιχνεύει 320 οχήματα με ταχύτητα 55 km/h σε αίθριο καιρό.
- Το σύστημα παρατείνει το πράσινο φως για να βοηθήσει στην εκκαθάριση της μέτριας κυκλοφορίας.
- Η προβλεπόμενη κυκλοφοριακή ροή είναι 230 οχήματα/ώρα, υποδεικνύοντας μια σχετικά ταχέως κινούμενη κυκλοφοριακή ροή.

Σημείωση: Οι κύκλοι αναφέρονται στις ώρες και όχι στις διασταυρώσεις. Σε κάθε κύκλο παίρνουμε αποτελέσματα και για τις 5 διασταυρώσεις. Για συντομία στην επεξήγηση επιλέχθηκε σε κάθε χρόνο και μια διαφορετική διασταύρωση.

Πλεονεκτήματα του συστήματος:

1. Αποδοτικότητα χωρίς πολύπλοκους αλγορίθμους:

- Το σύστημα λειτουργεί χρησιμοποιώντας βασικούς κανόνες για την πρόβλεψη της κυκλοφορίας και τις ρυθμίσεις των σηματοδοτών, εξαλείφοντας την ανάγκη για προηγμένες εργαλειοθήκες μηχανικής μάθησης.
- Εξασφαλίζει χαμηλό υπολογιστικό κόστος, ενώ παράλληλα βελτιώνει τη ροή της κυκλοφορίας και την ασφάλεια.

2. Προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο:

- Το σύστημα ανταποκρίνεται στις συνθήκες κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας αποφάσεις με βάση άμεσα δεδομένα, όπως οι μετρήσεις οχημάτων, ο καιρός και τα ατυχήματα.

3. Προληπτική διαχείριση της συμφόρησης:

- Με την πρόβλεψη της μελλοντικής ροής κυκλοφορίας, το σύστημα μπορεί να λάβει προληπτικά μέτρα για τη μείωση της πιθανής

συμφόρησης, όπως η ρύθμιση των σημάτων νωρίτερα εάν αναμένεται χαμηλή ροή κυκλοφορίας.

4. Οικονομικά αποδοτική υλοποίηση:

- Οι πόλεις μπορούν να αναπτύξουν αυτό το σύστημα χωρίς την ανάγκη ακριβών πόρων υλικού ή λογισμικού, καθιστώντας το ιδανικό για μεσαίες και μικρές πόλεις.

Σύνοψη τεχνικής εφαρμογής:

- Συλλογή δεδομένων: Αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα σχετικά με την κυκλοφορία σε βασικές διασταυρώσεις σε πραγματικό χρόνο.
- Ρύθμιση σήματος: Μια λογική βασισμένη σε κανόνες καθορίζει τον βέλτιστο συγχρονισμό των σηματοδοτών κυκλοφορίας.
- Πρόβλεψη κυκλοφοριακής ροής: Απλοί ευρετικοί κανόνες (με βάση τον αριθμό των οχημάτων, την ταχύτητα και εξωτερικούς παράγοντες) χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της ροής της κυκλοφορίας.
- Προγραμματισμός: Το σύστημα υλοποιείται με τη χρήση βασικού κώδικα Python ή MATLAB χωρίς εργαλειοθήκες μηχανικής μάθησης.

Συμπέρασμα:

Αυτό το σενάριο δείχνει πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας βάσει κανόνων για τη βελτιστοποίηση της ροής της αστικής κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο. Προσφέρει μια πρακτική, οικονομικά αποδοτική λύση για τις πόλεις που πρέπει να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και την ασφάλεια της κυκλοφορίας χωρίς να βασίζονται σε προηγμένες τεχνικές μηχανικής μάθησης. Η ικανότητα του συστήματος να προσαρμόζεται σε δεδομένα πραγματικού χρόνου, παραμένοντας παράλληλα ελαφρύ, το καθιστά ιδανικό για ανάπτυξη σε διάφορα πλαίσια έξυπνων πόλεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Η έλευση των μεγάλων δεδομένων έχει μεταμορφώσει το τοπίο της αστικής διαχείρισης, παρέχοντας πρωτοφανείς ευκαιρίες για την ανάπτυξη και τη βελτίωση των υπηρεσιών έξυπνης πόλης. Καθώς ο αστικός πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται, οι πόλεις αντιμετωπίζουν πολύπλοκες προκλήσεις όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η κατανομή των πόρων, η δημόσια ασφάλεια και η περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η συλλογή και η επεξεργασία μεγάλων δεδομένων προσφέρουν καινοτόμες λύσεις που μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την ποιότητα της αστικής ζωής.

Στο επίκεντρο των πρωτοβουλιών για έξυπνες πόλεις βρίσκεται η ικανότητα συλλογής και ανάλυσης τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων που παράγονται από διάφορες πηγές. Αυτό περιλαμβάνει δεδομένα από συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), συστήματα δημόσιων μεταφορών, δίκτυα κοινής ωφέλειας, μέσα κοινωνικής δικτύωσης και πλατφόρμες ανατροφοδότησης των πολιτών. Με την ενσωμάτωση και την επεξεργασία αυτών των ροών δεδομένων, οι σχεδιαστές και οι διαχειριστές των πόλεων μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες γνώσεις σχετικά με την αστική δυναμική και τη συμπεριφορά των πολιτών. Για παράδειγμα, τα δεδομένα κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο μπορούν να αναλυθούν για τη βελτιστοποίηση της κυκλοφοριακής ροής, τη μείωση της συμφόρησης και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των δημόσιων μεταφορών.

Επιπλέον, οι δυνατότητες των μεγάλων δεδομένων επεκτείνονται πέρα από τη λειτουργική αποδοτικότητα. Διαδραματίζουν επίσης κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της δέσμευσης και της συμμετοχής των πολιτών στη διακυβέρνηση. Χρησιμοποιώντας την ανάλυση δεδομένων, οι αξιωματούχοι των πόλεων μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τις ανάγκες και τις προτιμήσεις των κοινοτήτων τους. Έτσι επιτυγχάνουν πιο στοχευμένες υπηρεσίες, όπως προσαρμοσμένες πρωτοβουλίες για τη δημόσια υγεία, ανταποκρινόμενες υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και αστικό σχεδιασμό με γνώμονα την κοινότητα. Η εμπλοκή των πολιτών μέσω της λήψης αποφάσεων με βάση τα δεδομένα προάγει την αίσθηση της ιδιοκτησίας και της εμπιστοσύνης, οδηγώντας τελικά σε πιο ανθεκτικά και συνεκτικά αστικά περιβάλλοντα.

Ωστόσο, το ταξίδι προς την πλήρη αξιοποίηση των μεγάλων δεδομένων στις έξυπνες πόλεις δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Η προστασία της ιδιωτικής ζωής και η ασφάλεια των δεδομένων αποτελούν πρωταρχικές ανησυχίες, καθώς η συλλογή τεράστιου όγκου προσωπικών πληροφοριών εγείρει ηθικά ερωτήματα και πιθανούς κινδύνους. Η διασφάλιση της υπεύθυνης διαχείρισης των δεδομένων, με κατάλληλες διασφαλίσεις, είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της εμπιστοσύνης του

κοινού. Οι πόλεις πρέπει να καθιερώσουν διαφανείς πολιτικές και πρακτικές που προστατεύουν τα δεδομένα των πολιτών, ενώ παράλληλα επιτρέπουν την αποτελεσματική χρήση των πληροφοριών προς όφελος του κοινού.

Συμπερασματικά, η συλλογή και η επεξεργασία μεγάλων δεδομένων αποτελούν ακρογωνιαίους λίθους για την προώθηση των υπηρεσιών έξυπνης πόλης. Με την αξιοποίηση των γνώσεων που βασίζονται στα δεδομένα, οι πόλεις μπορούν να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες, να βελτιώσουν τις δημόσιες υπηρεσίες και να προωθήσουν τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη. Καθώς κινούμαστε προς ένα ολοένα και πιο διασυνδεδεμένο και πλούσιο σε δεδομένα μέλλον, η σημασία της αντιμετώπισης των προκλήσεων της ιδιωτικής ζωής, της ασφάλειας και της διαλειτουργικότητας δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Μέσω συνεργατικών προσπάθειών μεταξύ της κυβέρνησης, της βιομηχανίας και των κοινοτικών φορέων, οι πόλεις μπορούν να αξιοποιήσουν πλήρως το δυναμικό των μεγάλων δεδομένων, ανοίγοντας το δρόμο για πιο έξυπνα, πιο ανθεκτικά αστικά περιβάλλοντα που βελτιώνουν την ποιότητα ζωής για όλους τους κατοίκους.

- [1] <https://ourworld.unu.edu/en/what-big-data-means-for-smart-cities>
- [2] <https://www.trigyn.com/insights/role-big-data-smart-cities-and-iot-implementations>
- [3] <https://telefonicatech.com/en/blog/how-to-build-a-smart-city-with-iot-and-big-data>
- [4] <https://www.smartcitiesworld.net/whitepapers/smart-cities-big-data-and-the-built-environment-whats-required>
- [5] <https://www.securitymagazine.com/articles/97977-big-data-and-smart-cities-how-to-battle-the-pandemic-while-preserving-privacy>
- [6] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32.
- [7] Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., & Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481-518.
- [8] Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1-14
- [9] Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3-21.
- [10] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- [11] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, 38(4), 393-422.
- [12] Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- [13] Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P., & Woelfflé, S. (Eds.). (2010). Vision and challenges for realizing the Internet of Things. *Cluster of European Research Projects on the Internet of Things (CERP-IoT)*.
- [14] Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012). Future Internet: The Internet of Things architecture, possible applications and key challenges. *10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, 257-260.
- [15] Bilal, Muhammad, et al. "Smart cities data: Framework, applications, and challenges." *Handbook of smart cities* (2020): 1-29.

- [16] Sehrawat, Deepti, and Nasib Singh Gill. "Smart sensors: Analysis of different types of IoT sensors." 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI). IEEE, 2019.
- [17] Ramírez-Moreno, Mauricio A., et al. "Sensors for sustainable smart cities: A review." *Applied Sciences* 11.17 (2021): 8198.
- [18] Gkiotsalitis, K., & Cats, O. (2021). *Public transport planning adaption under the COVID-19 pandemic crisis: literature review of research needs and directions*. *Transport Reviews*, 41(3), 374-392. doi:10.1080/01441647.2020.1857886.
- [19] Nourinejad, M., Bahrami, S., & Roorda, M. J. (2020). *Vehicle-to-infrastructure communication technology: Capacity and flow impacts on urban roads*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 117, 102664. doi:10.1016/j.trc.2020.102664.
- [20] Peng, C., Liu, Y., & Wang, J. (2019). *A review of energy-efficient driving strategy for electric vehicles*. *Energy Reports*, 5, 1062-1071. doi:10.1016/j.egyr.2019.08.028.
- [21] Arora, S., Malik, H., & Sharma, S. (2020). *Big data cloud architecture for smart urban transportation: Challenges, strategies and future directions*. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101949. doi:10.1016/j.scs.2019.101949.
- [22] Li, X., Zhang, Y., & Wang, Z. (2020). *Virtual sensor: Systematic review of the concepts, applications, and challenges*. *Journal of Sensors*, 2020. doi:10.1155/2020/2345678.
- [23] Liu, Z., & Yang, Y. (2020). *Hybrid electric vehicles: A new approach for reducing greenhouse gas emissions from transportation*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85, 102459. doi:10.1016/j.trd.2020.102459.
- [24] Hunkeler, U., Truong, H. L., & Stanford-Clark, A. (2008). *MQTT-S—A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks*. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE '08)* (pp. 791-798). IEEE. doi:10.1109/COMSWA.2008.4554519.
- [25] Shelby, Z., Hartke, K., & Bormann, C. (2014). *The Constrained Application Protocol (CoAP)*. RFC 7252. Internet Engineering Task Force (IETF). doi:10.17487/RFC7252.
- [26] Fielding, R. T., & Reschke, J. (2014). *Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Semantics and Content*. RFC 7231. Internet Engineering Task Force (IETF). doi:10.17487/RFC7231.
- [27] Agiwal, M., Roy, A., & Saxena, N. (2016). *Next-generation 5G wireless networks: A comprehensive survey*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), 1617-1655. doi:10.1109/COMST.2016.2532458.

[28] Davies, T., Walker, S. B., Rubinstein, M., & Perini, F. (Eds.) (2019). *The State of Open Data: Histories and Horizons*. African Minds. doi:10.5281/zenodo.2677859.

[29] Ubaldi, B. (2013). *Open Government Data: Towards Empirical Analysis of Open Government Data Initiatives*. OECD Working Papers on Public Governance, No. 22, OECD Publishing. doi:10.1787/5k46bj4f03s7-en.

[30] Hicks, N. (2018). *Public Health Data for All: Democratizing Access to Health Information*. Journal of Public Health Management and Practice, 24(4), 325-330. doi:10.1097/PHH.0000000000000734.

[31] Janssen, M., Charalabidis, Y., & Zuiderwijk, A. (2012). *Benefits, Adoption Barriers and Myths of Open Data and Open Government*. Information Systems Management, 29(4), 258-268. doi:10.1080/10580530.2012.716740.

[32] Gurin, J. (2014). *Open Data Now: The Secret to Hot Startups, Smart Investing, Savvy Marketing, and Fast Innovation*. McGraw Hill Professional.

[33] Anttiroiko, A. V. (2016). *City-as-a-platform: The rise of participatory innovation platforms in Finnish cities*. Sustainability, 8(9), 922. doi:10.3390/su8090922.

[34] Meijer, A., & Bolívar, M. P. R. (2016). *Governing the smart city: A review of the literature on smart urban governance*. International Review of Administrative Sciences, 82(2), 392-408. doi:10.1177/0020852314564308.

[35] Criado, J. I., Sandoval-Almazan, R., & Gil-Garcia, J. R. (2013). *Government innovation through social media: Public engagement, policy-making, and public sector accountability*. Government Information Quarterly, 30(4), 319-326. doi:10.1016/j.giq.2013.10.001.

[36] Khan, Z., Ludlow, D., Loibl, W., & Soomro, K. (2017). *ICT enabled participatory urban planning and policy development: The UrbanAPI project. Transforming Government: People, Process and Policy*, 11(2), 286-304. doi:10.1108/TG-09-2016-0069.

[37] Santos, R., & Loureiro, S. M. C. (2020). *Smart cities and social media: A review and analysis of the literature*. International Journal of Tourism Cities, 6(4), 917-933. doi:10.1108/IJTC-12-2019-0224.

[38] Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). *Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions*. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times* (pp. 282-291). ACM. doi:10.1145/2037556.2037602.

[39] Townsend, A. (2013). *Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia*. W.W. Norton & Company.

- [40] Kitchin, R. (2014). *The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures & Their Consequences*. SAGE Publications.
- [41] Zuboff, S. (2019). *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. PublicAffairs.
- [42] Batty, M. (2013). *The New Science of Cities*. MIT Press.
- [43] Nissenbaum, H. (2010). *Privacy in Context: Technology, Policy, and the Integrity of Social Life*. Stanford University Press.
- [44] European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). (2020). *Privacy and Data Protection in Smart Cities: A Cybersecurity Perspective*.
- [45] Chandler, D., & Munday, R. (2016). *A Dictionary of Media and Communication*. Oxford University Press.
- [46] Glaeser, E. L. (2011). *Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier*. Penguin Press.
- [47] Batty, M. (2018). *Inventing Future Cities*. MIT Press.
- [48] Townsend, A. M. (2013). *Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia*. W.W. Norton & Company.
- [49] Taherdoost, Hamed. "Data collection methods and tools for research; a step-by-step guide to choose data collection technique for academic and business research projects." *International Journal of Academic Research in Management (IJARM)* 10.1 (2021): 10-38.
- [50] Zikopoulos, P. C., Eaton, C., DeRoos, D., Deutsch, T., & Lapis, G. (2012). *Understanding Big Data: Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data*. McGraw-Hill.
- [51] Klein, L. A. (2001). *Sensor Technologies and Data Requirements for ITS*. Artech House.
- [52] European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). (2020). *Good Practices for Security of Internet of Things in the Context of Smart Manufacturing*.
- [53] Narkhede, N., Shapira, G., & Palino, T. (2017). *Kafka: The Definitive Guide: Real-Time Data and Stream Processing at Scale*. O'Reilly Media.
- [54] Kreps, J. (2014). *I Heart Logs: Event Data, Stream Processing, and Data Integration*. O'Reilly Media.
- [55] Kleppmann, M. (2017). *Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems*. O'Reilly Media.

- [56] Friedman, G., & Pathirana, L. (2020). *Data Pipelines with Apache Airflow: Utilize the Full Potential of Apache Airflow to Build, Schedule, and Monitor Complex Data Pipelines*. Packt Publishing.
- [57] Neha, N., & Shapira, G. (2021). *Kafka Streams in Action: Real-Time Apps and Microservices with the Kafka Streams API*. Manning Publications.
- [58] Crick, T., & Yates, D. (2018). *Smart Cities and Real-Time Data Analytics. IT Professional*, 20(6), 14-19.
- [59] Toshniwal, A., Taneja, S., Shukla, A., Bhagat, N., Mittal, S., & Fu, M. (2014). *Storm@Twitter*. In *Proceedings of the 2014 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*.
- [60] Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). *Edge Computing: Vision and Challenges. IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637-646.
- [61] Satyanarayanan, M. (2017). *The Emergence of Edge Computing. Computer*, 50(1), 30-39.
- [62] Shi, W., & Dustdar, S. (2016). *The Promise of Edge Computing. Computer*, 49(5), 78-81.
- [63] Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., & Addepalli, S. (2012). *Fog Computing and Its Role in the Internet of Things*. In *Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*.
- [64] Goyal, S., & Lawande, V. (2020). *Edge Computing: Deploying, Managing, and Securing Edge Networks*. Packt Publishing.
- [65] Shi, W., & Dustdar, S. (2017). *The Rise of Edge Computing for IoT Applications. IEEE Internet Computing*, 21(2), 6-9.
- [66] Yi, S., Li, C., & Li, Q. (2015). *A Survey of Fog Computing: Concepts, Applications and Issues*. In *Proceedings of the 2015 Workshop on Mobile Big Data*.
- [67] Wells, P., & McLeod, R. (2004). *Batch Processing Systems in Information Systems. Journal of Information Systems*, 18(1), 39-50.
- [68] Dean, J., & Ghemawat, S. (2008). *MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. Communications of the ACM*, 51(1), 107-113.
- [69] Codd, E. F. (1970). *A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. Communications of the ACM*, 13(6), 377-387.
- [70] Goel, A., & Buyya, R. (2013). *Data Replication Strategies in Data Warehousing. Future Generation Computer Systems*, 29(5), 1112-1123.
- [71] Inmon, W. H. (2005). *Building the Data Warehouse* (4th ed.). Wiley.

- [72] Stonebraker, M., Abadi, D. J., DeWitt, D. J., Madden, S., Paulson, E., Pavlo, A., & Rasin, A. (2010). *MapReduce and Parallel DBMSs: Friends or Foes?*. *Communications of the ACM*, 53(1), 64-71.
- [73] Kroenke, D. M., & Auer, D. J. (2013). *Database Concepts* (6th ed.). Pearson.
- [74] Kimball, R., & Ross, M. (2013). *The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling* (3rd ed.). Wiley.
- [75] Russom, P. (2010). *Data Integration in the Age of Big Data. TDWI Best Practices Report*.
- [76] Batini, C., & Scannapieco, M. (2016). *Data and Information Quality: Dimensions, Principles, and Techniques*. Springer.
- [77] Vassiliadis, P., Simitsis, A., & Skiadopoulos, S. (2002). *Conceptual Modeling for ETL Processes*. In *Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Data Warehousing and OLAP* (pp. 14-21).
- [78] Loshin, D. (2013). *Big Data Analytics: From Strategic Planning to Enterprise Integration with Tools, Techniques, NoSQL, and Graph*. Morgan Kaufmann.
- [79] Wang, R. Y., & Strong, D. M. (1996). *Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers*. *Journal of Management Information Systems*, 12(4), 5-34.
- [80] Hennessy, J. L., & Patterson, D. A. (2019). *Computer Architecture: A Quantitative Approach* (6th ed.). Morgan Kaufmann.
- [81] Chandra, D. G., & Ghosh, K. (2012). *Storage Networks Explained: Basic and Advanced Topics* (2nd ed.). Wiley.
- [82] Stonebraker, M., & Hellerstein, J. M. (2005). *What Goes Around Comes Around*. *Communications of the ACM*, 48(5), 64-69.
- [83] Sadalage, P. J., & Fowler, M. (2012). *NoSQL Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot Persistence*. Addison-Wesley.
- [84] Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., ... & Zaharia, M. (2010). *A View of Cloud Computing*. *Communications of the ACM*, 53(4), 50-58.
- [85] Ghemawat, S., Gobioff, H., & Leung, S.-T. (2003). *The Google File System*. In *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles*.
- [86] Jain, R., & Paul, S. (2013). *Network Storage Systems and Technologies*. In *Handbook of Data Intensive Computing* (pp. 317-336). Springer.

- [87] Madden, S. (2012). *From Databases to Big Data*. *IEEE Internet Computing*, 16(3), 4-6.
- [88] Batty, M. (2013). *Big Data, Smart Cities and City Planning*. *Dialogues in Human Geography*, 3(3), 274-279.
- [89] Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S. U. (2015). *The Rise of "Big Data" on Cloud Computing: Review and Open Research Issues*. *Information Systems*, 47, 98-115.
- [90] Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N., & Al-Jaroodi, J. (2015). *Applications of Big Data to Smart Cities*. *Journal of Internet Services and Applications*, 6(1), 1-15.
- [91] Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T. A., & Scholl, H. J. (2012). *Understanding Smart Cities: An Integrative Framework*. In *45th Hawaii International Conference on System Sciences*.
- [92] Gaur, A., Scotney, B., Parr, G., & McClean, S. (2015). *Smart City Architecture and its Applications Based on IoT*. *Procedia Computer Science*, 52, 1089-1094.
- [93] Janssen, M., Matheus, R., & Zuiderwijk, A. (2015). *Big and Open Linked Data (BOLD) in Government: A Challenge to Transparency and Privacy?*. *Government Information Quarterly*, 32(4), 363-368.
- [94] Liu, Xiufeng, Alfred Heller, and Per Sieverts Nielsen. "CITIESData: a smart city data management framework." *Knowledge and Information Systems* 53 (2017): 699-722.
- [95] Little, R. J. A., & Rubin, D. B. (2002). *Statistical Analysis with Missing Data* (2nd ed.). Wiley-Interscience.
- [96] Donders, A. R. T., van der Heijden, G. J., Stijnen, T., & Moons, K. G. (2006). *A Gentle Introduction to Imputation of Missing Values*. *Journal of Clinical Epidemiology*, 59(10), 1087-1091.
- [97] Karnieli, A., & Oren, S. (2018). *Data Quality Issues in Urban Data Management: Examples from Smart Cities*. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 395.
- [98] Vogel, R., & Ritchie, B. (2016). *Data Quality and Integrity in Smart Cities*. In *Handbook of Smart Antennas for Wireless Communications and Networks* (pp. 453-463). Springer.
- [99] Cai, L., & Zhu, Y. (2015). *The Challenges of Data Quality and Data Management in Smart Cities*. *IEEE Access*, 3, 1685-1694.
- [100] Zhang, J., & Wang, X. (2019). *Missing Data in Smart City Applications: Trends and Future Directions*. *Journal of Urban Technology*, 26(3), 97-113.

- [101] García-Cascales, J. R., & Martínez-Ruiz, F. J. (2020). *Filling Missing Data in Smart Cities: A Data-Driven Approach*. *Sustainability*, 12(12), 5043.
- [102] 543-2250-1-PB
- [103] Wang, L., & Wang, J. (2016). *Data Integration and Fusion in Smart Cities: A Survey*. *Journal of Urban Technology*, 23(3), 1-25.
- [104] Hernández, D., & Naderpour, M. (2019). *Urban Data Fusion for Smart City Development: A Case Study on the Integration of Traffic and Environmental Data*. *Sustainable Cities and Society*, 46, 101440.
- [105] Miorandi, D., Sicari, S., Pellegrini, P., & Chlamtac, I. (2012). *Internet of Things: Vision, Applications and Research Challenges*. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497-1516.
- [106] Zhao, J., & Hu, Y. (2017). *Data Integration in Smart Cities: A Comprehensive Framework*. *International Journal of Information Management*, 37(3), 234-247.
- [107] García-Sánchez, A., & Muñoz-García, J. (2018). *Data Integration in Smart Cities: Challenges and Opportunities*. *Journal of Urban Technology*, 25(1), 1-15.
- [108] Kimball, R., & Ross, M. (2016). *The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling* (3rd ed.). Wiley.
- [109] Miller, S. J., & Ragsdale, C. T. (2008). *Data Warehousing for Business Intelligence*. *Journal of Business Research*, 61(6), 588-594.
- [110] Chaudhuri, S., Dayal, U., & Narasayya, V. (2011). *An Overview of Business Intelligence Technology*. *Communications of the ACM*, 54(8), 88-98.
- [111] Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2014). *Big Data: A Survey on Concept, Application, and Security Issues*. *IEEE Access*, 2, 271-274.
- [112] White, T. (2015). *Hadoop: The Definitive Guide* (4th ed.). O'Reilly Media.
- [113] Sharma, S., & Soni, S. (2018). *A Review of Big Data Analytics Frameworks: Hadoop Ecosystem*. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 9(5), 1-5.
- [114] Zikopoulos, P., & Eaton, C. (2011). *Understanding Big Data: Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data*. McGraw-Hill.
- [115] Bifet, A., & Gama, J. (2010). *Learning from Data Streams: Processing Techniques in Sensor Networks*. Springer.
- [116] Luo, H., & Zhang, Y. (2019). *Big Data Management in Smart Cities: A Case Study of the Hadoop Ecosystem*. *Journal of Urban Technology*, 26(1), 15-29.

- [117] Wang, C., & Wu, J. (2016). *Research on Smart City Construction Based on Big Data*. *International Journal of Smart Home*, 10(5), 183-194.
- [118] Zaharia, M., Chen, M., Franklin, M. J., & Ghodsi, A. (2016). *Spark: The Definitive Guide: Big Data Processing Made Simple*. O'Reilly Media.
- [119] Karau, H., & Warren, R. (2017). *Learning Spark: Lightning-Fast Data Analytics*. O'Reilly Media.
- [120] Gonzalez, J. E., Lowe, D., & Khoshgoftaar, T. M. (2015). *Apache Spark: A Big Data Processing Framework*. *The Journal of Computer Information Systems*, 55(4), 63-70.
- [121] Zaharia, M., & Chowdhury, M. (2012). *Resilient Distributed Datasets: A Fault-Tolerant Abstraction for In-Memory Cluster Computing*. In *Proceedings of the 9th USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementation (NSDI)*.
- [122] Kumar, A., & Kumar, R. (2016). *Real-Time Big Data Analytics: Emerging Architecture*. *International Journal of Computer Applications*, 139(11), 32-39.
- [123] Sharma, P., & Chettri, A. (2017). *A Review of Apache Spark: Data Processing Framework for Big Data*. *International Journal of Computer Applications*, 175(1), 1-7.
- [124] Bertot, J. C., Jaeger, P. T., & Grimes, J. M. (2010). *Using ICTs to Create a Culture of Transparency: E-Government and Social Media as Open Government Tools*. *Proceedings of the 11th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, 1-10.
- [125] Batty, M. (2013). *Big Data, Smart Cities and Urban Policy*. *International Journal of Urban Sciences*, 17(1), 8-22.
- [126] Wang, Y., & Zheng, L. (2016). *Big Data and Urban Management: Challenges and Opportunities*. *Cities*, 58, 124-136.
- [127] Miller, H. J., & Goodchild, M. F. (2015). *Data-Driven Geography*. *GeoJournal*, 80(4), 449-461.
- [128] Zhang, L., & Xu, Z. (2017). *Big Data and Urban Planning: An Overview*. *Computers, Environment and Urban Systems*, 61, 54-63.
- [129] Graham, S., & Marvin, S. (2001). *Technology and the City: The Case for a New Agenda*. *Urban Studies*, 38(8), 1145-1166.
- [130] Parker, C. F., & Stoecker, C. (2018). *Data-Driven Governance: The Role of Data in Urban Planning and Policy*. *Urban Affairs Review*, 54(3), 496-522.
- [131] Few, S. (2009). *Now You See It: Simple Visualization Techniques for Quantitative Analysis*. Analytics Press.

- [132] Kirk, A. (2016). *Data Visualisation: A Handbook for Data Driven Design*. SAGE Publications.
- [133] Ware, C. (2013). *Information Visualization: Perception for Design*. Morgan Kaufmann.
- [134] Dodge, S., & Kitchin, R. (2007). *Data Visualisation: Methods and Applications*. *Geographical Review*, 97(2), 261-276.
- [135] Elmqvist, N., & Gustafson, E. (2008). *Data Visualization in the Smart City: Communicating Urban Information*. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(6), 1436-1442.
- [136] He, D., & Wang, C. (2018). *Data Visualization in Urban Planning: Enhancing Public Participation and Decision-Making*. *Journal of Urban Technology*, 25(1), 25-43.
- [137] Tufte, E. R. (2006). *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press.
- [138] Zhou, Y., & Parris, C. (2016). *Data Visualization for Smart Cities: A Review of Emerging Technologies and Applications*. *International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management*, 8(4), 54-70.
- [139] Yun, Chidi, et al. "Predictive analytics: a survey, trends, applications, opportunities' and challenges for smart city planning." *International Journal of Computer Science and Information Technology* 23.56 (2022): 226-231.
- [140] Zhou, Y., & Wang, F. (2019). *Machine Learning in Smart Cities: A Survey on Algorithms, Applications, and Future Directions*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(3), 1180-1196.
- [141] Bertot, J. C., & Jaeger, P. T. (2019). *Machine Learning and Smart Cities: Understanding the Potential and Challenges*. *Computers, Environment and Urban Systems*, 78, 101391.
- [142] Mann, J., & Bhan, H. (2020). *Smart Cities and Machine Learning: Opportunities and Challenges*. *Urban Planning*, 5(2), 174-186.
- [143] Cheng, H., & Zhang, Y. (2018). *Traffic Management Using Machine Learning Techniques: A Review*. *Journal of Urban Technology*, 25(4), 29-48.
- [144] Kumar, A., & Shukla, A. (2021). *Energy Consumption Prediction Using Unsupervised Learning Techniques in Smart Cities*. *Renewable Energy*, 163, 252-261.
- [145] Wang, L., & Wang, S. (2020). *Reinforcement Learning for Adaptive Traffic Signal Control in Smart Cities*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 120, 102813.

[146] Zhang, Y., & Zheng, Y. (2017). *Data-Driven Urban Computing and Smart City Initiatives: A Comprehensive Overview*. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 8(5), 1-25.

[147] García-Palacios, P., & González, E. (2022). *Machine Learning for Smart Cities: Insights and Applications*. *Environmental Modelling & Software*, 149, 105368.