



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΦΑΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΑΝΤΥΓΙΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ (Α.Μ. 7036)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΡΑΒΑΝΗΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2022

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί τη Διπλωματική Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και στην υλοποίηση και σύγκριση αλγορίθμων που στοχεύουν στη βελτίωση του τρόπου λειτουργίας των συστημάτων. Για την ορθή προσέγγιση του θέματος, απαιτείται η αντιμετώπιση του προβλήματος της επίτευξης συμμετρικής φόρτισης των φάσεων του ηλεκτρικού δικτύου. Η μελέτη των παραπάνω, καθώς και οι προτεινόμενοι τρόποι αντιμετώπισης που προκύπτουν, αποσκοπούν στην αναβάθμιση του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου και στην προώθηση των έξυπνων δικτύων και των έξυπνων πόλεων, στόχος των οποίων είναι, μεταξύ πολλών άλλων, η εξοικονόμηση ενέργειας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Θεοφάνη Αραβανή, Ακαδημαϊκό Υπότροφο του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, για το ιδιαίτερο θέμα που μου ανέθεσε και για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου. Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής, οι οδηγίες του ήταν ακριβείς και γεμάτες σαφήνεια, συμβάλλοντας σημαντικά με αυτόν τον τρόπο στην ολοκλήρωση της μελέτης μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω εγκάρδια την οικογένεια μου, η οποία κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων, ήταν ανέκαθεν υποστηρικτική και ενθαρρυντική, τόσο για το έργο μου ως φοιτητής αλλά και ως προς την εξέλιξη μου σαν άνθρωπος. Δηλώνω την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Θεοφάνη Αραβανή και στην οικογένεια μου.

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής

ΑΝΤΥΠΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάζει το πρόβλημα της συμμετρίας των φάσεων στα ηλεκτρικά δίκτυα, το οποίο ουσιαστικά αποτελεί το Ακέραιο Πρόβλημα Κατανομής (Integer Partitioning Problem). Μέσω εύρεσης αλγορίθμου από τη διεθνή βιβλιογραφία και ανάπτυξης κώδικα, αποσκοπούμε στη λύση του προβλήματος της συμμετρίας των φάσεων με στόχο την αναβάθμιση, εξέλιξη του ηλεκτρικού δικτύου. Η έλλειψη ανανέωσης του ηλεκτρικού δικτύου στην Ελλάδα δημιουργεί εμφανή προβλήματα στην ομαλή λειτουργία του, όπως μεγάλη κατανάλωση ενέργειας και συνεχόμενες διακοπές ρεύματος, επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο την καθημερινότητα των πολιτών. Το Ακέραιο Πρόβλημα Κατανομής παρουσιάζει προκλήσεις ως προς τη λύση του, όπως η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου, όμως με την κατάλληλη προσέγγιση συνιστά τον εκσυγχρονισμό του ηλεκτρικού δικτύου και προωθεί ένα νέο μοντέλο δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό των Έξυπνων Δικτύων (Smart Grids). Τα «Έξυπνα Δίκτυα», που θα απασχολήσουν τη χώρα μας στο άμεσο μέλλον, προσφέρουν αποδοτικότερη χρήση των παρόντων εγκαταστάσεων και ενσωματώνουν με σύγχρονο τρόπο όλους τους παράγοντες του ηλεκτρικού δικτύου. Με τον τρόπο αυτό, το δίκτυο βελτιώνεται σε κομβικό βαθμό και καθίσταται οικονομικά αποδοτικό, φιλικό προς το περιβάλλον, προσφέροντας υψηλής ποιότητας υπηρεσία και ελαχιστοποιώντας τις ενεργειακές απώλειες. Μέσα από την εφαρμογή των “Smart Grids”, προκύπτει και το μοντέλο των «Έξυπνων Πόλεων» (Smart Cities), δηλαδή ένα τεχνολογικά εξελιγμένο πρότυπο πόλεων που θα έχει καθολική εφαρμογή τα επόμενα χρόνια ανά τον κόσμο.

Η ανάπτυξη της εργασίας πραγματοποιείται σε 5 Κεφάλαια. Στο πρώτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται το Integer Partitioning Problem τόσο σαν μαθηματικό πρόβλημα, αλλά και ως πρόβλημα εφαρμογής στα ηλεκτρικά δίκτυα και γίνεται μια εισαγωγή στους αλγορίθμους.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο περιγράφονται τα έξυπνα δίκτυα και τα χαρακτηριστικά τους. Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στα πλεονεκτήματα και στις προκλήσεις ως προς την εφαρμογή τους, συγκρίνουμε το παραδοσιακό μοντέλο ηλεκτρικού δικτύου με το σύγχρονο και εξετάζουμε την ασφάλεια, αξιοπιστία των «Έξυπνων Δικτύων».

Στο τρίτο Κεφάλαιο αναλύεται ο όρος «Έξυπνη Πόλη» (Smart City) και παρουσιάζονται σύγχρονα παραδείγματα πόλεων ανά την Ελλάδα και ανά τον κόσμο, προβάλλοντας τα χαρακτηριστικά των έξυπνων πόλεων, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο συγκρίνουμε έναν αλγόριθμο από τη διεθνή βιβλιογραφία με τον αλγόριθμο που δημιουργήσαμε. Μέσα από το σχολιασμό και την επεξήγηση των αλγορίθμων, επιλέγεται η βέλτιστη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος μας και αναφέρονται πιθανές εφαρμογές τους στη Μηχανολογία.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο, δίνονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ... I

ΠΕΡΙΛΗΨΗ... III

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ... V

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ... VII

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ... VII

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ... VII

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ INTEGER PARTITIONING PROBLEM

1.1 Εισαγωγή και ορισμός του Integer Partitioning Problem.....	1
1.2 Η εφαρμογή του προβλήματος στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.....	2
1.3 Εισαγωγή στους αλγόριθμους και στις αλγοριθμικές τεχνικές.....	4
1.4 Αλγόριθμοι προσέγγισης.....	9
1.5 Προβλήματα απόφασης και κλάση P και NP.....	10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

2.1 Εισαγωγή στα Smart Grid – Ορισμός.....	12
2.2 Βασικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των Έξυπνων Δικτύων.....	14
2.3 Διαρθρωτικά στοιχεία των Έξυπνων Δικτύων και προκλήσεις.....	16
2.4 Σύγκριση συμβατικού δικτύου με σύγχρονο δίκτυο.....	18
2.5 Θέματα ασφάλειας και αξιοπιστίας στα Smart Grid.....	20
2.6 Πρωτόκολλα και μέτρα ασφαλείας στα σύγχρονα δίκτυα.....	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°: ΕΞΥΠΝΗ ΠΟΛΗ

3.1 Εισαγωγή στις έξυπνες πόλεις.....	24
3.2 Πώς ορίζεται η έξυπνη πόλη.....	25
3.3 Βασικά χαρακτηριστικά των Smart Cities.....	26
3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της Έξυπνης Πόλης.....	27
3.5 Οι έξυπνες πόλεις στην Ελλάδα.....	30
3.6 Οι έξυπνες πόλεις στο εξωτερικό.....	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ

4.1 Εισαγωγή.....	37
4.2 Παρουσίαση απλού αλγορίθμου.....	37
4.3 Επεξήγηση βημάτων Naive αλγορίθμου.....	39
4.4 Παρουσίαση σύνθετου αλγορίθμου (Advanced) και επεξήγηση.....	42
4.5 Σύγκριση αλγορίθμων και τελική επιλογή.....	44
4.6 Εφαρμογές των αλγορίθμων στη μηχανολογία.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

.....	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	51
ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Διαφορές μεταξύ συμβατικού και έξυπνου δικτύου.....	19
Πίνακας 2 : Σύγκριση χρόνων εκτέλεσης των αλγορίθμων.....	45

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Απεικόνιση τριφασικού συστήματος ισχύος με 4 καλώδια.....	3
Σχήμα 2: Απεικόνιση μονοφασικού σφάλματος.....	4

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Ο υπολογιστής Bombe του Alan Turing.....	7
Εικόνα 1.2: Γραφική απεικόνιση της τεχνικής Divide And Conquer.....	8
Εικόνα 1.3: Γραφική απεικόνιση αποκρίσιμου προβλήματος.....	10
Εικόνα 2.1: Απεικόνιση στοιχείων Smart Grid.....	13
Εικόνα 2.2: Αλλαγές μέσω των έξυπνων δικτύων.....	16
Εικόνα 2.3: Ενέργειες πρόληψης για τη θωράκιση του Έξυπνου Δικτύου.....	21
Εικόνα 2.4: Χαρακτηριστικά του SIEM.....	23
Εικόνα 3.1: Απεικόνιση στοιχείων Smart City.....	26
Εικόνα 3.2: Σύγκριση θετικών και αρνητικών στοιχείων μιας έξυπνης πόλης.....	29
Εικόνα 3.3: Ηλεκτρικό όχημα στη πόλη των Τρικάλων.....	31
Εικόνα 3.4 Βασικά στοιχεία της Έξυπνης Πόλης της Βαρκελώνης.....	34
Εικόνα 3.5: Απεικόνιση έξυπνων χαρακτηριστικών της πόλης του Τορίνο.....	36
Εικόνα 4.1: Γραφική απεικόνιση διαφοράς χρόνου για τους αλγόριθμους.....	47

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ INTEGER PARTITIONING PROBLEM

1.1 Εισαγωγή και ορισμός του Integer Partitioning Problem

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποτελεί συνδυασμό μελέτης και έρευνας με σκοπό την αναβάθμιση του τωρινού ηλεκτρικού δικτύου. Βασικό κίνητρο για τη μελέτη μας είναι η αναγκαία μετάβαση στη νέα εποχή της τεχνολογίας και η προσαρμογή των παλιότερων υποδομών στα νέα δεδομένα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της εξοικονόμησης ενέργειας, απαιτείται όχι μόνο η ατομική δράση, αλλά κυρίως η μαζική αλλαγή και η εξέλιξη των δικτύων και των πόλεων. Αυτή η αλλαγή μπορεί να προκύψει μέσα από τη δράση της Πολιτείας και τη χρηματοδότηση προγραμμάτων, τα οποία τόσο σε θεωρητικό αλλά και σε πρακτικό βαθμό μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών. Βασικό κίνητρο της έρευνας μας είναι η αντιμετώπιση πρωταρχικών μηχανικών προβλημάτων που προκύπτουν κατά τον εκσυγχρονισμό των υπαρχόντων εγκαταστάσεων, όπως το Integer Partitioning Problem που θα αναλυθεί σε αυτό το Κεφάλαιο. Μέσα από την εκτεταμένη μελέτη και κατανόηση του προκύπτουν πιθανές «έξυπνες» λύσεις που έχουν άμεση εφαρμογή στη λειτουργία των «Έξυπνων Δικτύων».

Το Integer Partitioning Problem χαρακτηρίζεται ως το πιο δύσκολο από τα εύκολα προβλήματα. Αποτελεί τη διαδικασία, κατά την οποία εξετάζεται αν ένα σύνολο θετικών ακέραιων αριθμών με πλήθος N , μπορεί να καταμεριστεί σε k υποσύνολα, έτσι ώστε το άθροισμα των αριθμών σε κάθε υποσύνολο να είναι ίσο. Συνδέεται άμεσα με δύο σχετικά προβλήματα, τα οποία είναι το Πρόβλημα Αθροίσματος Υποσυνόλου (Subset Sum Problem) και το δεύτερο, το πρόβλημα Πολλαπλής Κατανομής Αριθμών (Multiway Number Partitioning). Το πρώτο αποτελεί πρόβλημα απόφασης στην επιστήμη των υπολογιστών και το Multiway Number Partitioning είναι πρόβλημα κατανομής ενός συνόλου αριθμών σε συγκεκριμένο νούμερο υποσυνόλων, με τρόπο τέτοιο ώστε τα αθροίσματα των υποσυνόλων να είναι όσο πιο ίσα γίνεται. [2]

Στη μελέτη που πραγματοποιείται στην εργασία μας, εξετάζουμε το Three Way Integer Partitioning Problem (Ακέραιο Πρόβλημα Τριπλής Κατανομής). Αναλυτικότερα, περιγράφεται ως εξής: έστω ότι έχουμε ένα πολλαπλό σύνολο θετικών ακέραιων αριθμών. Σκοπός του προβλήματος είναι να καταμεριστούν οι ακέραιοι αριθμοί σε τρία υποσύνολα, έτσι ώστε το σύνολο των τριών υποσυνόλων να είναι ίσο. [3]

Στην επιστήμη των υπολογιστών και συγκεκριμένα στη θεωρία της υπολογιστικής πολυπλοκότητας, έχει αποδειχθεί από τον Garey και Johnson ότι το Three Way Integer Partitioning Problem είναι ολοκληρωμένο NP, έννοια που αναλύεται κατά τη διάρκεια του Κεφαλαίου. Το Ακέραιο Πρόβλημα Τριπλής Κατανομής έχει άμεση

εφαρμογή σε τομείς όπως η μηχανολογία, τα ηλεκτρικά δίκτυα, η κρυπτογράφηση αλλά και σε πιο απλούς και καθημερινούς τομείς όπως σε ψηφιακά παιχνίδια(πχ Tetris) και παζλ.

Για να γίνει πιο εύκολα κατανοητό το πρόβλημα που αναλύεται, θα δώσουμε ένα πρακτικό παράδειγμα με αριθμούς. Έστω ότι έχουμε το σύνολο $S = \{1,2,3,5,6,7\}$. Εφαρμόζοντας την τριπλή κατανομή, μπορούμε να χωρίσουμε το σύνολο S σε 3 υποσύνολα, δηλαδή σε $\{1,7\}$, $\{3,5\}$ και $\{2,6\}$. Το άθροισμα του κάθε νέου υποσυνόλου ισούται με 8.

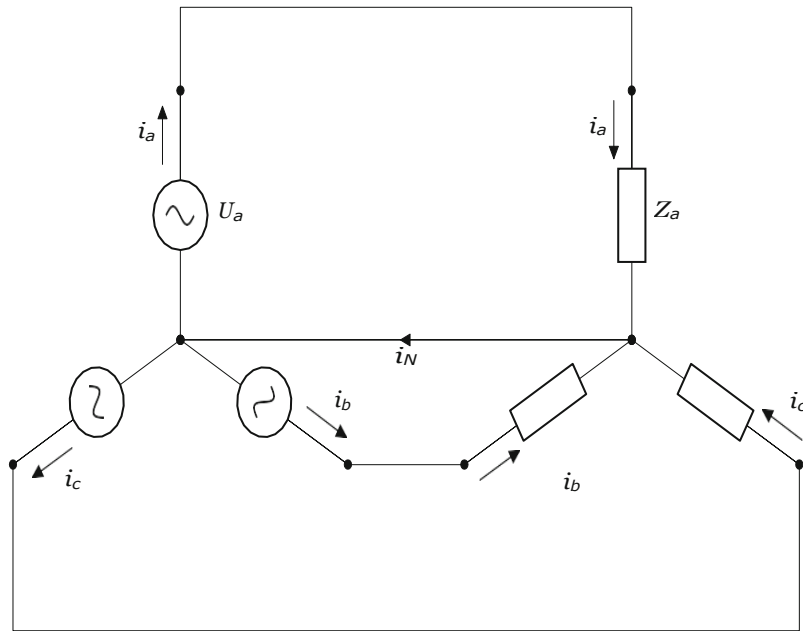
1.2 Η εφαρμογή του προβλήματος στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

Το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο στην Ελλάδα παρουσιάζει σοβαρές αυξομειώσεις στην απόδοση του και η αναβάθμιση του κρίνεται αναγκαία. Στόχος είναι η προώθηση ενός νέου μοντέλου ηλεκτρικού δικτύου, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τα σφάλματα και τις υπολειτουργίες του και δημιουργώντας ένα ασφαλές και αποδοτικό δίκτυο για τη μελλοντική κοινωνία. Κατά το πέρασμα των χρόνων, οι ανάγκες των ανθρώπων συνεχώς αυξάνονται, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση του ηλεκτρικού δικτύου. Πλέον η ανάγκη για εκσυγχρονισμό δεν αποτελεί επιλογή, αλλά υποχρέωση, ώστε να μην υποβιβάζονται οι ζωές των ατόμων. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και των αλγορίθμων για την επίλυση πολύπλοκων, αλλά και επίκαιρων προβλημάτων, είναι καίρια εργαλεία που πρέπει να χρησιμοποιούνται και να μην αναπτύσσονται μόνο σε θεωρητικό επίπεδο. Τα μέσα για την υλοποίηση και τη βελτίωση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας είναι διαθέσιμα και η άμεση εφαρμογή τους θα βελτιώσουν το παρόν και θα δημιουργήσουν ένα ασφαλές περιβάλλον για το μέλλον.

Τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας οφείλουν να παρουσιάζουν υψηλή αξιοπιστία, μέγιστη απόδοση και αποτελεσματικότητα. Κομβική προϋπόθεση για την ικανοποίηση των προηγούμενων απαιτήσεων είναι η αντιμετώπιση του προβλήματος της επίτευξης συμμετρικής φόρτισης των φάσεων του ηλεκτρικού δικτύου. Η έλλειψη ισορροπίας και ισοκατανομής των φάσεων του ηλεκτρικού δικτύου δημιουργεί πολλαπλές ανεπιθύμητες επιπτώσεις όπως συνεχείς διακοπές ρεύματος, μειωμένη ποιότητα ηλεκτρικού ρεύματος και βλάβη σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Ουσιαστικά, το πρόβλημα της επίτευξης συμμετρικής φόρτισης των φάσεων του ηλεκτρικού δικτύου ταυτίζεται με το Ακέραιο Πρόβλημα Τριπλής Κατανομής (Three Way Integer Partitioning Problem). Κάθε θετικός ακέραιος αριθμός αντιπροσωπεύει την ισχύς ενός εισερχόμενου φορτίου, ενώ τα τρία υποσύνολα αντιστοιχούν στις 3 φάσεις του ηλεκτρικού δικτύου. Για την ορθή προσέγγιση του προβλήματος, θα θεωρήσουμε ότι το δίκτυο μας είναι τριφασικό.

Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται ένα τυπικό τριφασικό σύστημα ισχύος, τεσσάρων καλωδίων. Ένα τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα πηγής (AC) τροφοδοτεί το σύστημα ισχύος με γραμμικό τρόπο. Κάθε ηλεκτρική εμπέδηση Z_a , Z_b και Z_c αντιπροσωπεύει ένα μονοφασικό φορτίο. Ο κανόνας του Kirchhoff ορίζει πως το άθροισμα των

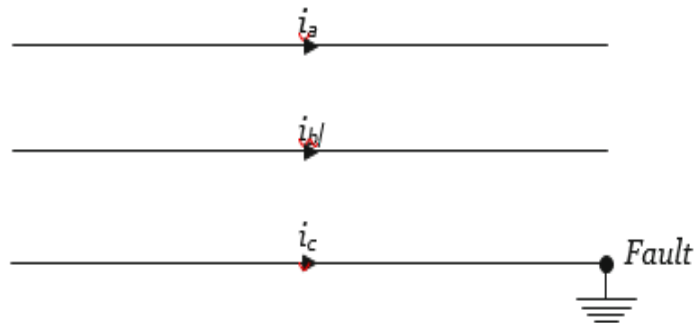
ρευμάτων i_a , i_b , i_c ισούται με το συνολικό ρεύμα i_N , δηλαδή $i_a + i_b + i_c = i_N$. Στο παράδειγμα μας, η ιδανική περίπτωση είναι το φορτίο να είναι πλήρως φορτισμένο συμμετρικά (ισορροπημένο), έτσι ώστε $Z_a = Z_b = Z_c$ και το τρέχον ρεύμα i_N να ισούται με μηδέν ($i_N = 0$). Το να επιτευχθεί συμμετρική φόρτιση αποτελεί δύσκολη διαδικασία, αφού η ηλεκτρική εμπέδηση της κάθε φάσης συχνά μεταβάλλεται, λόγω παραλλαγής του μονοφασικού φορτίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το σύστημα ισχύος να τείνει προς την ανισορροπία και προκύπτει ότι το άθροισμα των ρευμάτων είναι μη μηδενικό ($i_a + i_b + i_c \neq 0$). Στόχος μας είναι να γίνει ίση κατανομή του φορτίου, ώστε να παρουσιαστεί η μικρότερη πιθανή ασυμμετρία.



Σχήμα 1: Απεικόνιση τριφασικού συστήματος ισχύος με 4 καλώδια.

Η επίτευξη συμμετρίας των φάσεων γίνεται ακόμα πιο απαιτητική για να επιτευχθεί στην περίπτωση σε μία από τις φάσεις, εμφανιστεί σφάλμα. Για το χρονικό διάστημα που αυτή η φάση είναι εκτός λειτουργίας, οι άλλες 2 φάσεις επιβαρύνονται από το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο, δημιουργώντας συνθήκες μεγάλης ασυμμετρίας. Αυτή η περίπτωση είναι πολύ συνηθισμένη, αφού πλήθος των βλαβών οφείλεται κυρίως σε σφάλματα μονοφασικά. [7]

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η περίπτωση μονοφασικής βλάβης.



Σχήμα 2: Απεικόνιση μονοφασικού σφάλματος.

1.3 Εισαγωγή στους αλγόριθμους και αλγοριθμικές τεχνικές

Για την αντιμετώπιση του Integer Partition Problem, είναι απαραίτητη η γνώση αλγορίθμων. Σε αυτό το υποκεφάλαιο, θα γίνει σύντομη περιγραφή του ορισμού του αλγόριθμου, των χαρακτηριστικών του και θα παρουσιαστούν συνοπτικά κατηγορίες αλγορίθμων που έχουν εφαρμογή στο Πρόβλημα Κατανομής.

Ως αλγόριθμος ορίζεται μια πεπερασμένη σειρά ενεργειών, αυστηρά καθορισμένων και εκτελέσιμων σε πεπερασμένο χρόνο, που στοχεύουν στην επίλυση ενός προβλήματος. Δηλαδή, είναι η ταξινόμηση σε διακριτά βήματα, που εκτελούνται διαδοχικά, ώστε να βρεθεί η λύση σε ένα πρόβλημα. [8]

Για να αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος με το σωστό τρόπο και να αποφευχθούν περιττά σφάλματα, πρέπει να προηγηθούν κάποιες συγκεκριμένες ενέργειες. Οι ενέργειες αυτές είναι:

1. Ορθή διατύπωση του εξεταζόμενου προβλήματος.
2. Κατανόηση του προβλήματος.
3. Λύση του προβλήματος.
4. Διατύπωση του αλγορίθμου.
5. Έλεγχος της λύσης.

Επιπροσθέτως, οι αλγόριθμοι πρέπει να ικανοποιούν κάποια συγκεκριμένα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά είναι τα εξής:

1. Είσοδος δεδομένων (Input) : κατά την αφετηρία της εκτέλεσης του αλγορίθμου είναι αναγκαίο καμία, μία ή περισσότερες τιμές δεδομένων να δίνονται ως είσοδοι στον αλγόριθμο.

2. Περατότητα (Finiteness) : Κάθε εντολή είναι πεπερασμένη, δηλαδή τελειώνει ύστερα από ένα πεπερασμένο αριθμό διεργασιών. Μια διαδικασία, η οποία δεν λαμβάνει τέλος μετά από συγκεκριμένο αριθμό διεργασιών, περιγράφεται ως υπολογιστική διαδικασία και όχι ως αλγόριθμος.

3. Καθοριστικότητα (Definiteness) : Η διεργασία που εκτελείται ακολουθείται από συγκεκριμένους κανόνες που πρέπει να τηρούνται και είναι συγκεκριμένη. Κάθε εντολή πρέπει να καθορίζεται χωρίς ύπαρξη αμφιβολίας για τον τρόπο εκτέλεσης της Όλες οι πιθανές περιπτώσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

4. Αποτελεσματικότητα (Effectiveness) : Κάθε εντολή, εκτός από ορισμένη, πρέπει να είναι και εκτελέσιμη. Ο αλγόριθμος πρέπει να είναι μηχανιστικά αποτελεσματικός και όλες οι διεργασίες πρέπει να εκτελούνται με ακρίβεια και σε πεπερασμένο χρόνο.

5. Έξοδος αποτελεσμάτων (Output) : Ο αλγόριθμος πρέπει να δίνει τουλάχιστον μια τιμή δεδομένων ως αποτέλεσμα, το οποίο να έχει άμεση σχέση με την είσοδο δεδομένων. [9]

Ως προς την αναπαράσταση, περιγραφή των αλγορίθμων υπάρχουν οι παρακάτω μέθοδοι:

1. Φυσική γλώσσα μέσα από συγκεκριμένη ακολουθία. Δεν συνιστάται αυτή η μέθοδος, αφού είναι πιθανό να αθετηθεί το κριτήριο καθορισμού.

2. Ελεύθερο κείμενο. Αποτελεί τον πιο ανοργάνωτο τρόπο περιγραφής αλγόριθμου και παραβιάζεται το κριτήριο της αποτελεσματικότητας.

3. Διάγραμμα ροής. Είναι ο πιο γραφικός τρόπος περιγραφής του αλγορίθμου και δεν συνιστάται για χρήση σε σύνθετα προβλήματα.

4. Κωδικοποίηση (coding) του αλγορίθμου σε ψευδογλώσσα ή σε γλώσσα προγραμματισμού. Αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη μέθοδο αναπαράστασης αλγορίθμου και ικανοποιεί τις προϋποθέσεις του δομημένου προγραμματισμού. Είναι η μέθοδος που θα χρησιμοποιήσουμε στην παρούσα εργασία. Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για την αντιμετώπιση του I.P.P και αναλύεται στο 4^ο Κεφάλαιο συντάχθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού Python, όπως και ο αλγόριθμος που επιλέξαμε από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Κατά τη διάρκεια σύνταξης ενός αλγορίθμου, υπάρχουν τρεις βασικές εντολές που πρέπει να ακολουθούνται, ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία από τον υπολογιστή. Αυτές είναι οι: δομή ακολουθίας, δομή επιλογής και δομή επανάληψης.

Η δομή ακολουθίας ορίζεται ως η ταξινόμηση των διαδικασιών σε τέτοια μορφή, έτσι ώστε ο υπολογιστής να τις εκτελεί με σειρά και όχι τυχαία.

Η δομή επιλογής είναι η προγραμματιστική δομή που πραγματοποιεί συνεχώς έλεγχο σε μία συνθήκη ή σε ομάδα εντολών. Με τον όρο συνθήκη εννοούμε δύο όρους ίδιου τύπου και ανάμεσα τους έναν τελεστή σύγκρισης, ο οποίος συγκρίνει και προκρίνει τον όρο που ισχύει. Τελεστές σύγκρισης είναι τα σύμβολα <, >, <>, =, <=, >=. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη σύγκριση των όρων είναι η αλγεβρική τιμή

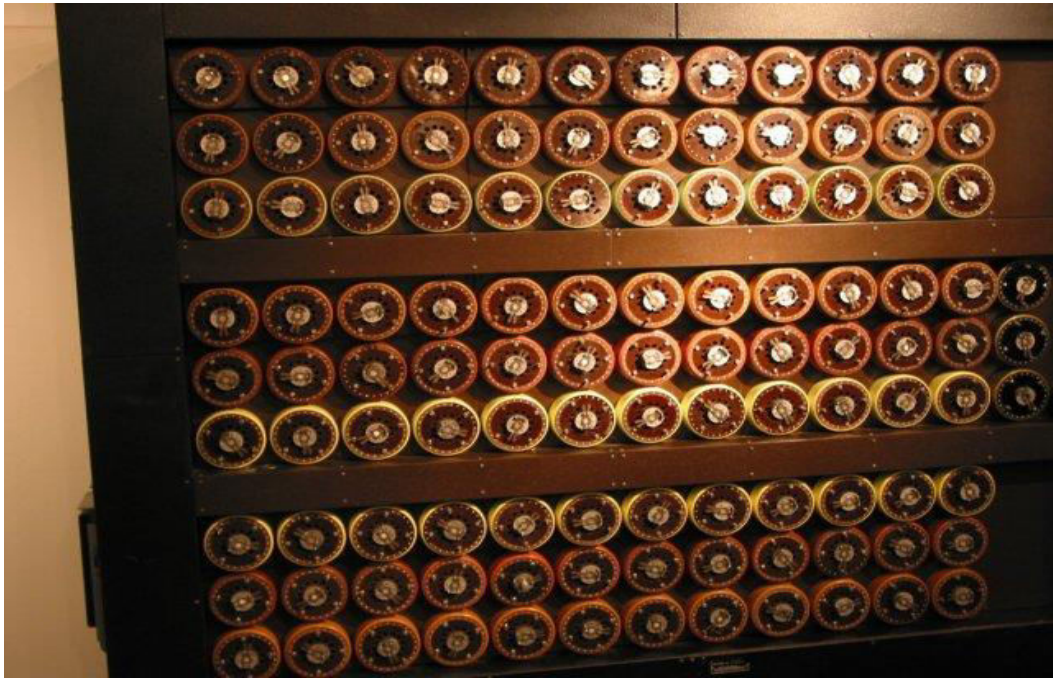
Αληθής (True) ή Ψευδής(False). Οι όροι που εξετάζονται μπορεί να είναι σταθερές ή μεταβλητές, όχι όμως να έχουν την τιμή 0 (null) .

Τέλος, η δομή επανάληψης είναι η προγραμματιστική δομή που συνεχώς πραγματοποιεί έλεγχο μιας συνθήκης ή μιας ομάδας εντολών. Υπάρχουν τρία είδη επανάληψης. Αναλυτικά:

1. Επανάλαβε εφόσον. Ελέγχεται πρώτα η συνθήκη και στην περίπτωση που είναι αληθής(True) εκτελείται η ομάδα εντολών.
2. Επανάλαβε μέχρι. Στην περίπτωση αυτή, εκτελείται η ομάδα εντολών, έπειτα ελέγχεται αν ισχύει η συνθήκη και εφόσον δεν ισχύει(False) επαναλαμβάνεται η εκτέλεση της ομάδας εντολών.
3. Για N φορές επανάλαβε, όπου N=αριθμός επαναλήψεων και θετικός ακέραιος αριθμός. Σε αυτήν τη δομή επανάληψης η ομάδα εντολών εκτελείται N φορές. [10]

Η επιρροή των αλγορίθμων είναι κομβική, αφού συνδέονται άμεσα με τον τρόπο που οι υπολογιστές επεξεργάζονται δεδομένα και παράγουν πληροφορίες. Κάθε πρόγραμμα υπολογιστών αποτελεί έναν αλγόριθμο που δίνει κατεύθυνση στον υπολογιστή για το ποια βήματα πρέπει να ακολουθήσει, ώστε να παραχθεί η έγκυρη λύση του προβλήματος. Κατά τον Alan Turing, ο οποίος θεωρείται ο πατέρας των ηλεκτρονικών υπολογιστών και της τεχνητής νοημοσύνης(Artificial Intelligence), «ένας αλγόριθμος μπορεί να θεωρηθεί οποιαδήποτε ακολουθία εντολών που μπορεί να εκτελεσθεί από μια υπολογιστική μηχανή.» Η μηχανή Bombe που είχε κατασκευάσει ο ίδιος, θεωρείται από τους πρώτους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και στόχευε στην αυτόματη αποκρυπτογράφηση μηνυμάτων κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, χρησιμοποιώντας πολύπλοκους αλγόριθμους. [13]

Κάθε εντολή του αλγορίθμου πρέπει να σχεδιάζεται προσεκτικά, γιατί μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχίες στο εφαρμοσμένο πρόβλημα. Για κάθε υπολογιστική διαδικασία τα κριτήρια πρέπει να είναι σαφή και υπολογίσιμα, καθώς και κάθε πιθανή περίπτωση που μπορεί να προκύψει πρέπει να έχει προβλεφθεί , ώστε να μην εμποδίζεται η ομαλή λειτουργία της εύρεσης λύσης. Παράλληλα, οι αλγόριθμοι δεν έχουν εφαρμογή μόνο ως προγράμματα υπολογιστών αλλά χρησιμοποιούνται και ως μέσα αντιμετώπισης προβλημάτων σε ηλεκτρονικά κυκλώματα και σε μηχανικές συσκευές.



Εικόνα 1.1: Ο υπολογιστής Bombe του Alan Turing.

Για την αλγοριθμική επίλυση ενός προβλήματος υπάρχουν κάποιες πρωταρχικές τεχνικές . Αυτές αποτελούν την κύρια πηγή για την επίλυση προβλημάτων και ακόμη και οι πιο προχωρημένες μέθοδοι είναι προσαρμοσμένες σε αυτές. Αναλυτικότερα:

1. Εξάντληση (Brute Force). Είναι ο πιο συχνός τρόπος επίλυσης ενός προβλήματος. Βασική ιδέα της μεθόδου αυτής είναι η παραγωγή όλων των πιθανών λύσεων και ο έλεγχος τους για το επιθυμητό αποτέλεσμα. [5]

2. Άπληστη μέθοδος (Greedy Method). Αποτελεί μια κυρίαρχη τεχνική που έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία αποδοτικών και μη περίπλοκων αλγορίθμων. Έχει εφαρμογή σε αρκετά προβλήματα, όχι όμως σε όλα. Κύρια ιδιότητα της είναι η αυξητική παραγωγή της λύσης, πραγματοποιώντας συνεχώς μια μη αντιστρεπτή άπληστη επιλογή ως προς κάποιο κριτήριο. Παραδείγματα αυτής της μεθόδου είναι ο αλγόριθμος Prim και Kruskal.

3. Διάρε και Βασίλευε (Divide and Conquer). Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι η διαίρεση του βασικού προβλήματος σε μικρότερα προβλήματα (υποπροβλήματα). Το κάθε υποπρόβλημα λύνεται και η τελική λύση προκύπτει από το συνδυασμό των λύσεων όλων των μικρών προβλημάτων. Κύριο παράδειγμα της αποτελεί ο αλγόριθμος της συγχώνευσης (Mergesort).

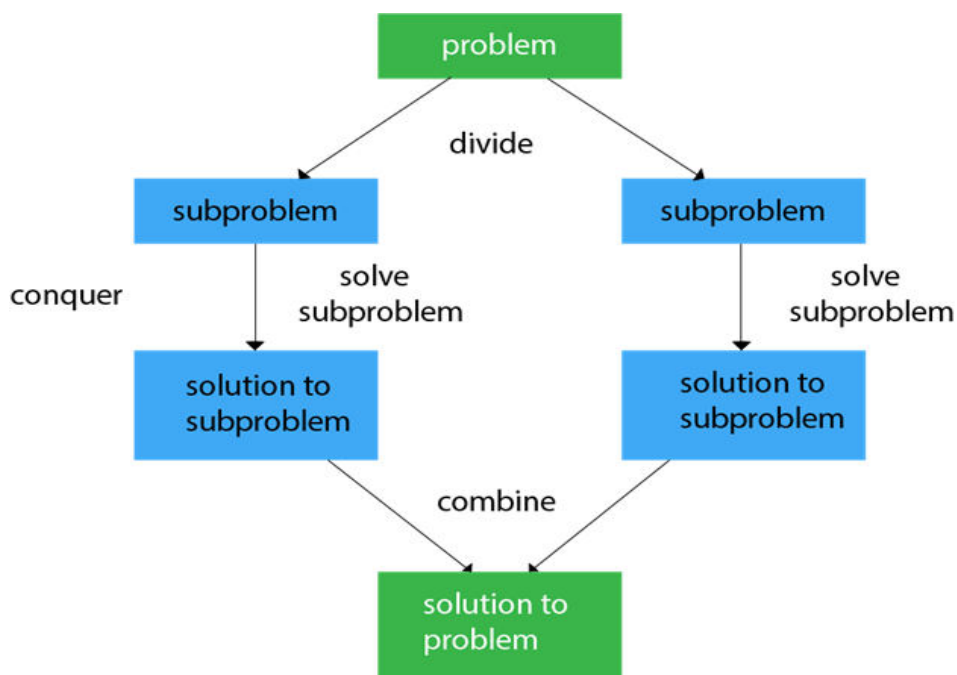
4. Οπισθοδρόμηση (Backtracking). Προορίζεται για εύρεση λύσεων κυρίως σε προβλήματα ικανοποίησης περιορισμών. Χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα αυξητικής κατασκευής των λύσεων, η οποία στοχεύει στον αποκλεισμό της κατασκευής μιας συνολικής λύσης, όταν η μερική λύση δεν ικανοποιεί το πρόβλημα. Πρόβλημα που συνδέεται άμεσα με αυτήν τη μέθοδο είναι αυτό της τοποθέτησης ογδόντα οκτώ βασιλισσών σε μια σκακιέρα διαστάσεων 8X8.

5. Διακλάδωση και Περιορισμός (Branch And Bound). Εφαρμόζεται σε συνδυαστικά προβλήματα βελτιστοποίησης. Ο αλγόριθμος απαριθμεί όλες τις υποψήφιες λύσεις

και εφαρμόζει αναζήτηση στο χώρο των λύσεων. Οι υποψήφιες λύσεις αναπαρίστανται με ένα δέντρο και η ρίζα του δέντρου αντιστοιχεί σε όλες τις δυνατές λύσεις. Για κάθε διακλάδωση (Branch) πραγματοποιείται έλεγχος συγκριτικά με ένα άνω ή και κάτω φράγμα που συνδέεται με τη βέλτιστη λύση (Bound). Στην περίπτωση που δεν βρεθεί λύση σε αυτή τη διακλάδωση που μπορεί να επιφέρει τη βέλτιστη, δεν συνεχίζεται η αναζήτηση στον ίδιο κλάδο και προωθείται ο επόμενος κλάδος για έλεγχο.

6. Δυναμικός Προγραμματισμός (Dynamic Programming). Μέθοδος που συνδυάζει την τεχνική Διάρε και Βασίλευε με την απομνημόνευση των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων. Χαρακτηρίζεται από συνεχής αλληλεπίδραση στην επίλυση των υποπροβλημάτων. [14]

Στην παρούσα Πτυχιακή Εργασία προτείνονται 2 αλγόριθμοι που στοχεύουν στην αντιμετώπιση του Integer Partitioning Problem. Αυτοί οι 2 αλγόριθμοι αποτελούν προσεγγιστικές λύσεις του προβλήματος, και όχι τις βέλτιστες. Οι βέλτιστες λύσεις σε ένα τόσο σύνθετο πρόβλημα, όπως αυτό που εξετάζουμε απαιτούν τα πλέον αξιόπιστα μέσα και εξειδικευμένη γνώση. Οι αλγόριθμοι που θα παρουσιαστούν στο Κεφάλαιο 4 ανήκουν στην τεχνική της Άπληστης Μεθόδου (Greedy Method) και στη μέθοδο της Εξάντλησης (Brute Force).



Εικόνα 1.2: Γραφική απεικόνιση της τεχνικής Divide And Conquer.

1.4 Αλγόριθμοι προσέγγισης

Σε πολύπλοκα προβλήματα, όπως το Ακέραιο Πρόβλημα Τριπλής Κατανομής (Three Way Integer Partitioning Problem), επιλέγουμε τους προσεγγιστικούς αλγορίθμους. Για να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση σε ένα τόσο σύνθετο πρόβλημα, ο χρόνος επίλυσης των αλγορίθμων αποτελεί μεγάλο εμπόδιο, αφού στην παρούσα έρευνα αντιμετωπίζουμε το I.P.P ως πρόβλημα πρακτικής εφαρμογής στα ηλεκτρικά δίκτυα. Κατά συνέπεια, είναι αναγκαίο ο τρόπος αντιμετώπισης που θα εφαρμόσουμε να ελαχιστοποιεί το πρόβλημα του χρόνου επίλυσης, αλλά και να προσφέρει μια λύση πολύ κοντά στη βέλτιστη. Η βέλτιστη λύση για το I.P.P. δεν συνιστάται, επειδή δεν έχει άμεση εφαρμογή. Προτιμούμε τους προσεγγιστικούς αλγορίθμους, ώστε να έχουμε τη σχεδόν βέλτιστη λύση για ένα πρακτικό ζήτημα (συμμετρική φόρτιση φάσεων δικτύου) και ταυτόχρονα να αντιμετωπίζεται το πρόβλημα του χρόνου επίλυσης του αλγορίθμου.

Στην έρευνα της επιστήμης των υπολογιστών και των λειτουργιών, οι αλγόριθμοι προσέγγισης αποτελούν αποτελεσματικούς αλγορίθμους που βρίσκουν κατά προσέγγιση λύσεις σε προβλήματα βελτιστοποίησης και υπολογίζουν σε πολυωνιμικό χρόνο. Η πιθανή επιστρεφόμενη λύση τείνει να πλησιάζει στη βέλτιστη με αποδεδειγμένες εγγυήσεις. Κομβικό στοιχείο των προσεγγιστικών αλγορίθμων είναι η αναλογία προσέγγισης (Approximation Ratio). Ορίζεται ως ο λόγος της λύσης που προκύπτει μέσα από την εφαρμογή του αλγορίθμου προς τη βέλτιστη λύση. Πιο αναλυτικά, είναι ο λόγος της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης που ορίζουμε για την έξοδο του αλγορίθμου, προς την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για τη βέλτιστη έξοδο.

Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι προσέγγισης για διαφορετικές εφαρμογές. Για το Multiway Integer Partitioning Problem και συγκεκριμένα για το Three Way Integer Partitioning Problem, υπάρχουν οι εξής μέθοδοι:

1. Ελαχιστοποίηση του μεγαλύτερου αθροίσματος (Minimizing the largest sum). Σε αυτήν την περίπτωση, το Approximation Ratio είναι το μεγαλύτερο άθροισμα στη λύση που επιστρέφει ο αλγόριθμος, διαιρούμενο από το μεγαλύτερο σύνολο της βέλτιστης λύσης. Το Approximation Ratio είναι μεγαλύτερο του ένα.

Σε αυτόν τον τομέα υπάρχουν 3 είδη αλγορίθμων που μας ενδιαφέρουν. Αυτά είναι:

A. Απληστη μέθοδος (Greedy Number Partitioning). Εξετάζει κάθε φορά τον αριθμό στην είσοδο του αλγορίθμου και ταξινομεί κάθε αριθμό στο σύνολο του οποίου το τρέχον άθροισμα είναι το μικρότερο.

B. Μέθοδος της μεγαλύτερης διαφοράς (Largest Differencing Method ή Karmarkar-Karp Algorithm). Κατατάσσει τους αριθμούς στην είσοδο κατά φθίνουσα σειρά και επαναλαμβάνονται αντικαθιστά τους αριθμούς με βάση τη διαφορά τους.

Γ. Αλγόριθμος Multifit (Multifit Algorithm). Χρησιμοποιεί συνδυασμό δυαδικής αναζήτησης και αλγορίθμου.

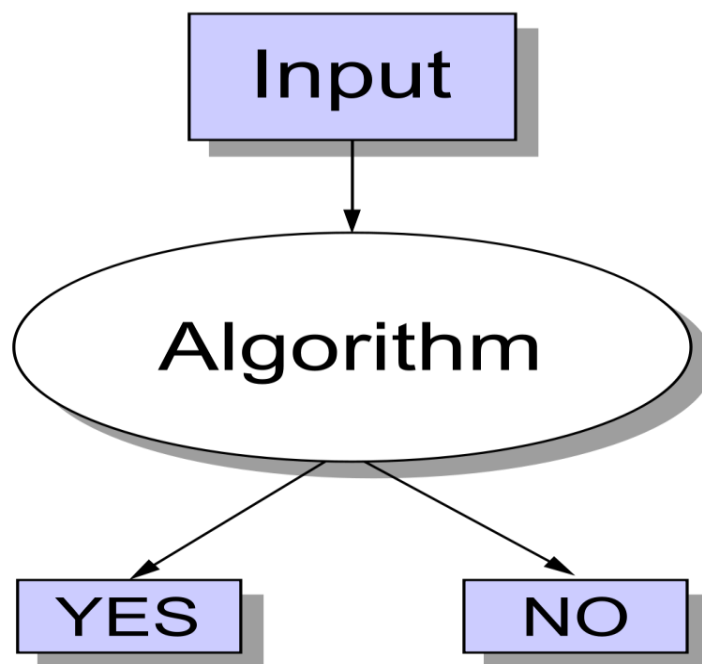
2. Μεγιστοποίηση του μικρότερου αθροίσματος (Maximizing the smallest sum). Το Approximation Ratio ισούται με το μικρότερο άθροισμα στη λύση του αλγορίθμου,

διαιρούμενο με το μικρότερο άθροισμα της βέλτιστης λύσης και είναι μικρότερο του ένα. [15]

1.5 Προβλήματα απόφασης και κλάση P και NP

Ένα πρόβλημα απόφασης αποτελεί μια ερώτηση σε κάποιο τυπικό σύστημα που επιτρέπει την απάντηση ναι ή όχι, εξαρτώμενο από τις τιμές συγκεκριμένων παραμέτρων της εισόδου. Αποτελούν κύριο θέμα μελέτης και ανάλυσης στη θεωρία υπολογισιμότητας και στη θεωρία πολυπλοκότητας και αναφέρονται σε μαθηματικά προβλήματα αποκρισιμότητας, δηλαδή προβλήματα που σχετίζονται με την ύπαρξη ή μη συγκεκριμένης μεθόδου για να καθοριστεί αν κάποιο στοιχείο ανήκει σε κάποιο σύνολο. [19]

Ένα πρόβλημα απόφασης που μπορεί να επιλυθεί μέσω αλγορίθμου, ονομάζεται αποκρίσιμο. Η έξοδος του αλγορίθμου είναι αποκλειστικά ναι ή όχι.



Εικόνα 1.3: Γραφική απεικόνιση αποκρίσιμου προβλήματος.

Τα προβλήματα απόφασης ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες με κριτήριο την πολυπλοκότητα τους. Η κλάση P(Polynomial) περιλαμβάνει τα προβλήματα που επιλύονται μέσω αλγορίθμου, εντός πολυωνιμικού χρόνου. Η κλάση NP(Non Deterministic Polynomial) περιλαμβάνει τα προβλήματα που μπορούν να επαληθευτούν εντός πολυωνιμικού χρόνου. Κάθε πρόβλημα που ανήκει στην κλάση P, ανήκει και στην κλάση NP. Το I.P.P. ανήκει στην κατηγορία NP. Ο όρος «Non Deterministic» αναφέρεται στις μηχανές Turing, ένα υποθετικό μέσο για το

σχεδιασμό αλγορίθμου αναζήτησης τύπου Brute Force. Ο όρος «Πολυωνιμικός Χρόνος» αναφέρεται σε ποσότητα χρόνου που θεωρείται αρκετά «γρήγορη» για έναν αλγόριθμο να ελέγξει μια λύση ή σε μια μηχανή Turing για να πραγματοποιήσει έρευνα. [6] [17] [18]

Κατά τη θεωρία υπολογιστικής πολυπλοκότητας, ένα πρόβλημα απόφασης Π θεωρείται NP ολοκληρωμένο (NP Complete) όταν ικανοποιούνται δύο συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτές είναι:

1. Το πρόβλημα ανήκει στην κλάση NP. Δηλαδή, η ορθότητα της κάθε λύσης μπορεί να επαληθευτεί εύκολα.

2. Κάθε πρόβλημα στην κλάση NP μπορεί να αναχθεί στο P σε πολυωνιμικό χρόνο. Με αυτήν την έννοια, το πρόβλημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσομοιώσει κάθε πρόβλημα, για το οποίο υπάρχει η άμεση και γρήγορη δυνατότητα επαλήθευσης της ορθής λύσης του. [4] [22]

Τα NP Complete προβλήματα χαρακτηρίζονται ως τα δυσκολότερα προβλήματα της κλάσης NP.

Συγκεφαλαιώνοντας, μια λύση σε ένα NP ολοκληρωμένο πρόβλημα μπορεί να επαληθευτεί γρήγορα, ωστόσο δεν υπάρχει αποδεδειγμένος τρόπος που να αποσκοπεί στην εύρεση λύσης με τον ίδιο ρυθμό. Ο χρόνος που απαιτείται για την αντιμετώπιση του προβλήματος, χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε αλγόριθμο, είναι ανάλογος του ρυθμού αύξησης του μεγέθους του προβλήματος. Κατά συνέπεια, το να καθορίσουμε αν είναι πιθανό να λύσουμε τέτοιου είδους προβλήματα γρήγορα (P εναντίον NP πρόβλημα) , αποτελεί το κύριο άλυτο πρόβλημα στην επιστήμη των υπολογιστών μέχρι και τη σύγχρονη εποχή.

2. ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

2.1 Εισαγωγή στα Smart Grid

Η μετάβαση από το τωρινό συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στα «Έξυπνα Δίκτυα» αποτελεί επιτακτική ανάγκη για την εξοικονόμηση ενέργειας και για την αναβάθμιση της ζωής των ανθρώπων. Τα «Έξυπνα Δίκτυα» ή αλλιώς “Smart Grids” είναι η εξέλιξη των σημερινών δικτύων ενέργειας και η υλοποίησή τους πρόκειται να ενώσει το παραδοσιακό δίκτυο ενέργειας με το «πράσινο» μέλλον. Στοχεύουν στην αποδοτικότερη χρήση της τωρινής εγκατεστημένης ισχύος και στη βελτίωση της μεταφοράς και διανομής ενέργειας, με σημαντική μείωση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ζωτικός παράγοντας στην καθημερινότητα μας και πηγή ζωής. Πολλαπλές βασικές ανάγκες καλύπτονται από το ηλεκτρικό δίκτυο και ο τρόπος που επηρεάζει άμεσα τις ζωές μας γίνεται φανερός στις περιπτώσεις που το δίκτυο εμφανίζει βλάβες, όπως η διακοπή παροχής ηλεκτρισμού. Η ζήτηση ενέργειας τα τελευταία χρόνια αυξάνεται σε ραγδαίο βαθμό, λόγω της ανάπτυξης των ηλεκτρικών συσκευών, είτε χαμηλής είτε υψηλής κατανάλωσης που κυριαρχούν στις κατοικίες των καταναλωτών. Συμπληρωματικά, η σύγχρονη βιομηχανία και οι γραμμές παραγωγής απαιτούν αδιάκοπη και ποιοτική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με το παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο να αδυνατεί να ακολουθήσει τους σύγχρονους ρυθμούς ζωής και με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να μην μπορεί να ακολουθήσει τους ρυθμούς ζήτησης. Πλέον, τα Έξυπνα Ηλεκτρικά Δίκτυα αποτελούν το παρόν και όχι το μέλλον και καλούνται να προσαρμόσουν το ελλιπές ηλεκτρικό δίκτυο στα νέα δεδομένα ενέργειας. Με ανάλογη σημασία, τα “Smart Grids” συμβάλλουν στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος σε παγκόσμια κλίμακα και περιορίζουν τις αρνητικές επιπτώσεις της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Επιτρέπουν την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλεκτρική και η αιολική, σε ένα σύγχρονο περιβάλλον και αποτρέπουν την ενίσχυση παραδοσιακών τρόπων παραγωγής ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα.

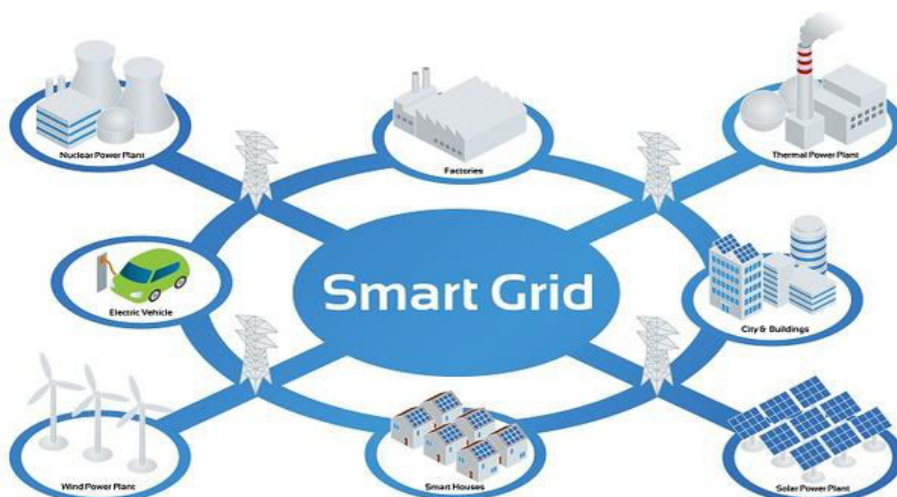
Για να επιτευχθεί ομαλά η μετάβαση στη νέα εποχή ενέργειας απαιτείται μια διαφορετική μορφή δικτύου από αυτή που υπάρχει σήμερα και η εγκατάλειψη της ιδέας της κεντρικής παραγωγής ενέργειας. Σε καθημερινή βάση, το τωρινό ηλεκτρικό δίκτυο δοκιμάζεται από τις αυξανόμενες ανάγκες και τα όρια λειτουργίας του απειλούνται. Τα Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας αποτελούν τη λύση, καθώς έχουν την ικανότητα και τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τα σημερινά προβλήματα, αλλά και να εισάγουν καινοτομίες στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η συμμετρική φόρτιση φάσεων των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας ανήκει στην αναβάθμιση του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου και έχει πρακτική εφαρμογή στη λειτουργία των “Smart Grids”.

Ορισμός

Ο όρος «Έξυπνο Δίκτυο Ενέργειας» δεν έχει έναν κοινώς αποδεκτό ορισμό και προσδιορίζεται ως η έννοια του εκσυγχρονισμού του υφιστάμενου ηλεκτρικού δικτύου. Περιλαμβάνει ένα σύνολο αλλαγών στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν ως σκοπό την ενσωμάτωση τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών μέσα σε ένα αυτοματοποιημένο πλαίσιο. Ο όρος “Smart Grid” μεταβάλλεται από παράγοντες που συνδέονται με τη λειτουργία τους όπως η χώρα, η περιοχή εφαρμογής και τα κίνητρα φορέων. [25] [26] [27]

Ακολούθως, παρουσιάζονται συγκεκριμένοι ορισμοί από αναγνωρισμένους φορείς:

- Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ορίζει το Έξυπνο Δίκτυο ως «ένα εξελεγμένο ηλεκτρικό δίκτυο, του οποίου αναπόσπαστο κομμάτι είναι η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγού και καταναλωτή και τα ευφυή συστήματα μέτρησης και παρακολούθησης της λειτουργίας του».
- Το Γραφείο Μεταφοράς και Διανομής Ενέργειας των ΗΠΑ (DoE) ορίζει το Έξυπνο Δίκτυο ως «τη λύση που «θα εξασφαλίσει την αξιοπιστία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα του ηλεκτρικού συστήματος μέσω ανταλλαγής πληροφοριών, καταναμημένης παραγωγής και αποθήκευσης της ενέργειας».
- Η Ευρωπαϊκή Πλατφόρμα Τεχνολογίας (European Technology Platform - ETP) περιγράφει το έξυπνο δίκτυο ως «ένα ηλεκτρικό δίκτυο που μπορεί έξυπνα να εννοποιήσει τις δράσεις όλων των χρηστών που συνδέονται σε αυτό - παραγωγών, καταναλωτών, και αυτών που είναι και τα δύο - με σκοπό να παρέχει αποτελεσματικά βιώσιμη, οικονομική και ασφαλή παροχή ηλεκτρισμού». [34]



Εικόνα 2.1: Απεικόνιση στοιχείων Smart Grid.

2.2 Βασικά Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των Έξυπνων Δικτύων

Οι εφαρμογές του Smart Grid συνιστούν τις προτεινόμενες απαντήσεις στις προκλήσεις του υπάρχοντος δικτύου και κυρίως στη δοκιμασία της παραγωγής και διανομής του ηλεκτρισμού. Σε αυτό το υποκεφάλαιο, θα παρουσιαστούν οι ιδιότητες που πρέπει να διέπουν ένα Έξυπνο Δίκτυο και πως αυτές υπόσχονται την εξέλιξη του δικτύου.

- Ποιότητα ενέργειας.

Για τις διαφορετικές ανάγκες και για την κατάλληλη εξυπηρέτηση των πελατών απαιτείται η υψηλή ποιότητας ενέργειας. Τα “Smart Grids” μπορούν να εγγυηθούν αυτό το είδος ποιότητας μέσω του αυτοματοποιημένου και εξελιγμένου εξοπλισμού που χρησιμοποιούν. Η συνεχής παρακολούθηση του δικτύου έχει ως αποτέλεσμα την έγκαιρη διάγνωση σφαλμάτων και την άμεση διόρθωση τους, διατηρώντας με αυτόν τον τρόπο σταθερά υψηλή την ποιότητα της προσφερόμενης ενέργειας.

- Αξιοπιστία (Reliability).

Κύριος στόχος του έξυπνου δικτύου είναι η ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας. Το σύγχρονο έξυπνο δίκτυο βρίσκεται αδιάκοπα σε αλληλεπίδραση με τις συνθήκες που το περιβάλλουν και έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται σε αυτές μέσω της τεχνολογίας που χρησιμοποιεί. Ο εντοπισμός πιθανών προβλημάτων και η ανακατεύθυνση της ροής της ενέργειας αποτελούν βασικές λειτουργίες του Smart Grid και στοχεύουν στη διόρθωση πιθανών βλαβών, περιορίζοντας την εξωτερική παρέμβαση (self healing system).

- Αποδοτικότητα (Efficiency).

Μέσα από την ανάπτυξη της τεχνολογίας των έξυπνων δικτύων, εμφανίζονται νέες τεχνικές που συμβάλλουν στη συνολική βελτίωση της αποτελεσματικότητας του δικτύου, όπως για παράδειγμα η αυτόματη μείωση της τάσης όταν αυτό είναι εφικτό και η εξισορρόπηση φορτίου. Με παρόμοιες τεχνικές, το κόστος στις εγκαταστάσεις καθώς και στις γραμμές μεταφοράς και διανομής μειώνεται σε σημαντικό βαθμό, καθιστώντας το δίκτυο πιο αποδοτικό και ευεργετικό.

- Αειφορία (Sustainability).

Τα κλασσικά δίκτυα σχεδιάστηκαν κυρίως για την απλή ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Όμως στην περίπτωση που ένα σύστημα παράγει περισσότερη ενέργεια απ’ ότι καταναλώνει, δημιουργούνται θέματα ασφάλειας και αξιοπιστίας. Το «Έξυπνο Δίκτυο» μπορεί να διαχειρίζεται πιθανές ροές

ενέργειας με εγγυημένη ασφάλεια και προσαρμοστικότητα στις συνθήκες που προκύπτουν. Το δίκτυο επόμενης γενιάς συνδέει και προστατεύει όλους τους παράγοντες που εμπλέκονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής και διανομής ενέργειας, όπως πηγές παραγωγής ενέργειας, πηγές αποθήκευσης ενέργειας και κεντρικοί σταθμοί παραγωγής.

- Ενεργοποίηση της αγοράς.

Οι καταναλωτές έχουν πλέον το δικαίωμα της επιλογής, της βέλτιστης για τις ανάγκες τους, παροχής υπηρεσιών. Νέες ευκαιρίες παρουσιάζονται για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις, αφού μέσω της έρευνας και της ανάπτυξης νέων καινοτόμων μεθόδων ο ανταγωνισμός αυξάνεται και το ενεργειακό μονοπώλιο περιθωριοποιείται.

- Φιλικό προς το περιβάλλον.

Η προώθηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η μείωση των απωλειών ενέργειας καθιστά το “Smart Grid” φιλικό προς το περιβάλλον και συμβάλλει σε καθολική κλίμακα στην προστασία του περιβάλλοντος.

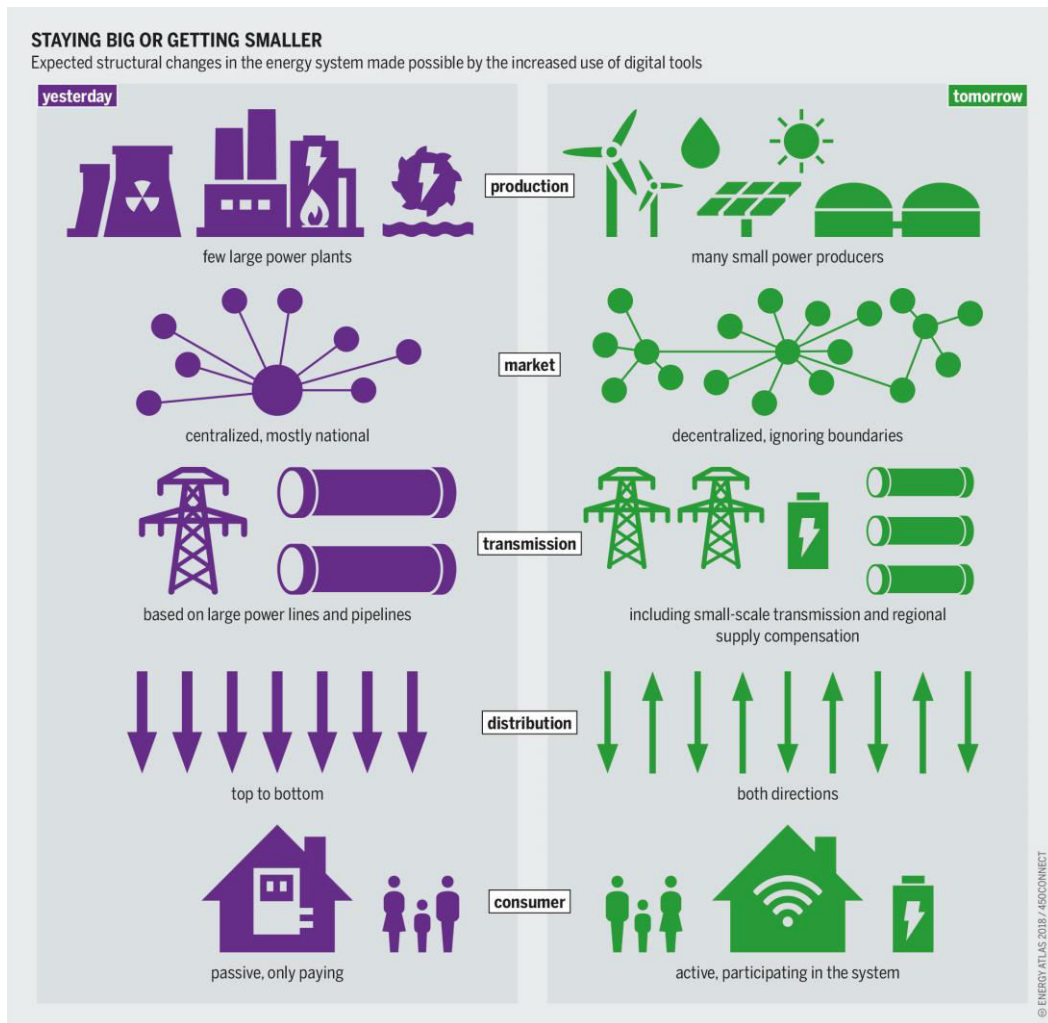
- Ενίσχυση του καταναλωτή.

Οι καταναλωτές μέσα από την ορθή ενημέρωση από φορείς και από την πολιτεία σχετικά με τη χρήση ενέργειας αφομοιώνονται σε μια νέα πραγματικότητα και προσαρμόζουν την κατανάλωση ενέργειας με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Έτσι, επηρεάζουν με θετικό πρόσημο το ισοζύγιο προσφοράς και ζήτησης ενέργειας, ενώ παράλληλα γίνονται πιο συνειδητοποιημένοι σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος. Δηλαδή, ο μέσος καταναλωτής έχει ενεργό συμμετοχή στην προσπάθεια για εξοικονόμηση ενέργειας με ποικίλες μεθόδους όπως τα προγράμματα demand-response και η δυναμική χρέωση της κιλοβατώρας.

- Ανάλυση δεδομένων.

Μέσω επεξεργασίας των υφιστάμενων δεδομένων και ανάλυσης προηγούμενων στοιχείων που λαμβάνονται από έξυπνους μετρητές, δίνεται η δυνατότητα της ακριβούς πρόβλεψης της ζήτησης, κάτι που σχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση ενέργειας.

Καταλήγοντας, τα βασικά χαρακτηριστικά των «Έξυπνων Δικτύων» αποτελούν και τα πλεονεκτήματά τους. Οι παραπάνω ιδιότητες προσφέρουν εκσυγχρονισμό και πηγή ελπίδας για το μέλλον του πλανήτη μας, όμως η ευαισθησία των “Smart Grid” σε ακραία φυσικά φαινόμενα και οι πιθανές ηλεκτρονικές επιθέσεις δημιουργούν ερωτηματικά για την εγκυρότητα των μελλοντικών δικτύων. [28] [30] [31] [32]



Εικόνα 2.2: Αλλαγές μέσω των έξυπνων δικτύων.

2.3 Διαρθρωτικά στοιχεία των Έξυπνων Δικτύων και Προκλήσεις

Το Έξυπνο Δίκτυο είναι ένας συνδυασμός λειτουργικών μονάδων με βασικά στοιχεία τις γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας, τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα κέντρα ελέγχου και διανομής και τους έξυπνες μετρητές. Αναλύοντας ένα “Smart Grid”, γίνεται κατανοητό πως τα παραπάνω στοιχεία κατηγοριοποιούνται σε τρία συγκεκριμένα έξυπνα συστήματα. Αυτά είναι:

1. Σύστημα υποδομής. Αποτελεί ίσως το πιο κομβικό από τα τρία συστήματα, αφού προορίζεται για κύριες λειτουργίες του ηλεκτρικού δικτύου, όπως η μετάδοση πληροφοριών και η επικοινωνία. Επιπροσθέτως, εφαρμόζει την παραγωγή και μεταφορά ενέργειας, καθώς και τις προηγμένες μεθόδους επικοινωνίας και παρακολουθεί την έξυπνη μέτρηση.

2. Σύστημα διαχείρισης. Ελέγχει και διαχειρίζεται την κατανάλωση ενέργειας με κριτήριο τη μέγιστη αποδοτικότητα, την ελαχιστοποίηση του κόστους και την προστασία του περιβάλλοντος.

3. Σύστημα Προστασίας. Στόχος του η προστασία και η ασφάλεια του δικτύου από πιθανές απειλές, όπως κυβερνοεπιθέσεις (cyberattacks). [33] [34]

Προκλήσεις

Η μετάβαση από το τωρινό δίκτυο σε αυτό της επόμενης γενιάς παρουσιάζει προκλήσεις που απαιτούν αντιμετώπιση. Για να υλοποιηθούν οι εφαρμογές της προηγμένης τεχνολογίας και να επέλθει η επόμενη μέρα στα ηλεκτρικά δίκτυα, ένα σύνολο προβλημάτων πρέπει να εξαλειφθεί. Αυτά τα προβλήματα αφορούν τεχνικής φύσεως ζητήματα, τωρινών εγκαταστάσεων και υποδομών, θέματα ασφάλειας και των αναγκών του μέσου καταναλωτή. Πρόκειται για τις προκλήσεις με τις οποίες έρχονται αντιμέτωπα τα Έξυπνα Δίκτυα και ουσιαστικά ισοδυναμούν με τα μειονεκτήματά τους. Χαρακτηριστικά, οι προκλήσεις και οι ανάγκες των Έξυπνων Δικτύων παρουσιάζονται εκτενέστερα παρακάτω.

- Περιβαλλοντικές προκλήσεις. Οι φυσικές καταστροφές και γενικότερα τα ακραία φυσικά φαινόμενα αποτελούν μεγάλη απειλή για την ομαλή λειτουργία των σύγχρονων δικτύων. Είναι η κύρια απειλή, αφού δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί άμεσα και η πιθανή ζημιά που θα κληρονομήσει το Έξυπνο Δίκτυο από τέτοιου είδους καταστροφές προβλέπεται μη αναστρέψιμη. Επίσης, κυρίως μετά τη Βιομηχανική Επανάσταση, η ανθρώπινη δράση με σκοπό την παραγωγή ενέργειας έχει αυξηθεί είναι η σημαντικότερη αιτία για την κλιματική αλλαγή. Η έλλειψη αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων είναι ορατή και νέοι τρόποι παραγωγής ενέργειας πρέπει να εξερευνηθούν.
- Ανάγκες αγοράς και καταναλωτών. Η διαφάνεια της ανταγωνιστικής αγοράς δοκιμάζεται και η θέσπιση νομοθεσίας και πολιτικών ως προς την υπεράσπιση της αποτελεί επιτακτικό μέτρο. Η άμεση αλληλεπίδραση των καταναλωτών με το έξυπνο δίκτυο, δημιουργεί την ανάγκη για ικανοποίηση των αναγκών των πρώτων, κάτι που επιτυγχάνεται μέσω της παροχής υψηλής ποιότητας ενέργειας και ορθή κοστολόγηση αυτής. Η εμφάνιση υψηλών κοστών αποτελεί κεντρική ανησυχία μιας και η υλοποίηση του δικτύου σε τεχνικό επίπεδο απαιτεί την ολοκληρωτική αντικατάσταση των σημερινών εγκαταστάσεων. Είναι εύκολα διακριτό πως η εφαρμογή των “Smart Grids” διαφέρει σε τεράστιο βαθμό από τη θεωρία στην πράξη. Στην πράξη οι οικονομικές συνέπειες κατά των καταναλωτών είναι τουλάχιστον καταπιεστικές και η Πολιτεία έχει την υποχρέωση για τη θέσπιση οικονομικών μέτρων για όλους τους πολίτες και κυρίως για τους αδύναμους, κατά τη διάρκεια της μετάβασης στα μελλοντικά δίκτυα.

- Προκλήσεις υποδομής. Η υπάρχουσα υποδομή παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχει αρχίσει να εκλείπει. Με τις ενεργειακές ανάγκες συνεχώς να αυξάνονται, η συμφόρηση του δικτύου χειροτερεύει, αντί να βελτιώνεται. Εργαλεία όπως η ανάλυση δεδομένων (Data Analysis) και η χρήση τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence) σε τομείς όπως ο έλεγχος, η άμεση προστασία και η παρακολούθηση των μετρήσεων και των δικτύων, μπορούν να είναι καθοριστικοί παράγοντες για την ομαλή λειτουργία και τη σταθερότητα των δικτύων.
- Καινοτόμες τεχνολογίες. Για το υπάρχον δίκτυο, οι νέες τεχνολογίες δεν έχουν πρακτική εφαρμογή λόγω έλλειψης συμβατότητας. Επίσης, δεν μπορεί να αγνοηθεί το γεγονός ότι τα προηγμένα εργαλεία και αναπτυσσόμενες τεχνολογίες επικοινωνιών δεν είναι εμπορικά διαθέσιμες για την υλοποίηση τους και τον ερχομό των Smart Grid. Η ανάπτυξη και η προώθηση αυτών των τεχνολογιών γεννάει ερωτήματα ως προς την ιδιωτικότητα, καθώς ο συνεχής έλεγχος και η ανάλυση (προσωπικών) δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά των καταναλωτών και οι ίδιοι να μετατραπούν σε ένα σύγχρονο προϊόν εκμετάλλευσης. [35] [36]
- Αξιοπιστία και ασφάλεια. Θα εστιάσουμε στο συγκεκριμένο ζήτημα στο υποκεφάλαιο 2.5.

2.4 Σύγκριση συμβατικού δικτύου με σύγχρονο

Το ηλεκτρικό δίκτυο με τη σημερινή του μορφή δοκιμάζεται συνεχώς από τις αυξανόμενες ανάγκες των καταναλωτών, με αποτέλεσμα οι αντοχές του να φτάνουν στα όρια του. Όπως και στη χώρα μας, αλλά και σε πολλές χώρες της Ευρώπης, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύχθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1950 με εντυπωσιακά γοργούς ρυθμούς. Ακολούθησε η εγκατάσταση των συστημάτων μεταφοράς και διανομής, τα οποία είναι αυτά που λειτουργούν και εξυπηρετούν τις ανάγκες του πληθυσμού μέχρι και σήμερα. Η ανάγκη για άμεση αναβάθμιση και αντικατάστασή τους μοιάζει επιτακτική, προτού δημιουργηθούν αξεπέραστα προβλήματα στη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος σε κατοικημένες (και μη) περιοχές. Ο εξοπλισμός έχει φθαρεί, λόγω της χρόνιας λειτουργίας του και καταπόνησης του. Με την πάροδο των χρόνων, οι μορφές ενέργειας αλλάζουν. Στη σημερινή εποχή, σαν κυρίαρχη μορφή ενέργειας εμφανίζονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η υλοποίησή τους δεν αποτελεί εύκολο στόχο, αφού οι υπάρχοντες εγκαταστάσεις εμποδίζουν την άμεση εγκατάστασή τους. Η συνεχής συντήρηση των τωρινών υποδομών αποτελεί ένα πρώτο βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση για τη μετάβαση στα Έξυπνα Δίκτυα. Εμφαντικά, η βέλτιστη αξιοποίηση και η κατάλληλη χρήση του δικτύου, μπορεί να αποτελέσει την εισαγωγή για την εποχή των “Smart Grids”.

Από τις αλλαγές που χρειάζονται για τη μετάβαση στα Έξυπνα Δίκτυα, κάποια βασικά στοιχεία του συμβατικού συστήματος παροχής ηλεκτρικού ρεύματος θα αλλοιωθούν. Ακολούθως, παρουσιάζονται τα στοιχεία αυτά.

- Οι πηγές παραγωγής ενέργειας.
- Η μιας κατεύθυνσης ροή ενέργειας. Κινείται σταθερά από την πηγή ενέργειας προς τους καταναλωτές.
- Η απαθής στάση των καταναλωτών και η μη επαρκής γνώση τους γύρω από το ενεργειακό δίκτυο.
- Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από εναλλακτικές πηγές σε κάποιο σημείο του δικτύου, κάτι που φανερώνει την έλλειψη ευελιξίας του συμβατικού δικτύου. [25] [29]

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά σχεδιάστηκαν σε εποχές διαφορετικών αναγκών και έχουν εξυπηρετήσει πλήρως το σκοπό τους. Ωστόσο, τα νέα ενεργειακά δεδομένα και οι σύγχρονες απαιτήσεις οδηγούν στην καθιέρωση ενός νέου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (Smart Grid) το οποίο θα φέρει ριζικές αλλαγές στα προαναφερθέντα στοιχεία.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται συνοπτικά, κάποια βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων και πως αυτά θα μεταβληθούν με τη μετάβαση στα Έξυπνα Δίκτυα.

Χαρακτηριστικό	Συμβατικό Δίκτυο	Έξυπνο Δίκτυο
Συμμετοχή καταναλωτών	Παθητική στάση καταναλωτών	Άμεσα ενημερωμένοι και εμπλεκόμενοι καταναλωτές
Ανθεκτικότητα σε επιθέσεις	Ανθεκτικό σε φυσικές καταστροφές, για την επαναφορά του απαιτεί πολλαπλές εργατωρές	Ευάλωτο σε ηλεκτρονικές επιθέσεις και φυσικές καταστροφές, πιο άμεση επαναφορά στην αρχική κατάσταση
Μορφή Παραγωγής	Συγκεντρωτική	Αποκεντρωμένη
Ροή ενέργειας	Κάθετη και μη προσαρμοσμένη ροή ενέργειας	Μεταβαλλόμενη και διαδραστική ροή ενέργειας
Συμπεριφορά	Συγκεκριμένη και ελεγχόμενη	Μη ελεγχόμενη και σε κατάσταση επίθεσης δύσκολα αναστρέψιμη

Έλεγχος	Έλεγχος αποκλειστικά από τον πάροχο	Έλεγχος από κάθε συμμετέχοντα
Λειτουργία	Μικρή χρήση δεδομένων και συνεχείς βλάβες σε περίπτωση πίεσης των ορίων του δικτύου	Συλλογή και ανάλυση δεδομένων και στοιχείων του δικτύου με έμφαση στην πρόληψη σφαλμάτων και στη μέγιστη αποδοτικότητα
Απόκριση σε βλάβες	Εμποδίζει περαιτέρω βλάβες	Αυτόματος εντοπισμός και επίλυση σφαλμάτων
Κατάσταση	Παθητική	Ενεργητική
Νέα προϊόντα και υπηρεσίες	Περιορισμένες υπηρεσίες και ευκαιρίες στους καταναλωτές, σμίκρυνση της αγοράς	Ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις και για τους καταναλωτές, άνοιγμα αγοράς
Ποιότητα ενέργειας	Αργή ανταπόκριση σε θέματα ποιότητας ενέργειας, συχνές διακοπές ρεύματος	Υψηλή ποιότητα ενέργειας με ελαχιστοποίηση σφαλμάτων

Πίνακας 1 : Διαφορές μεταξύ συμβατικού και έξυπνου δικτύου.

2.5 Θέματα ασφάλειας και αξιοπιστίας στα Smart Grid

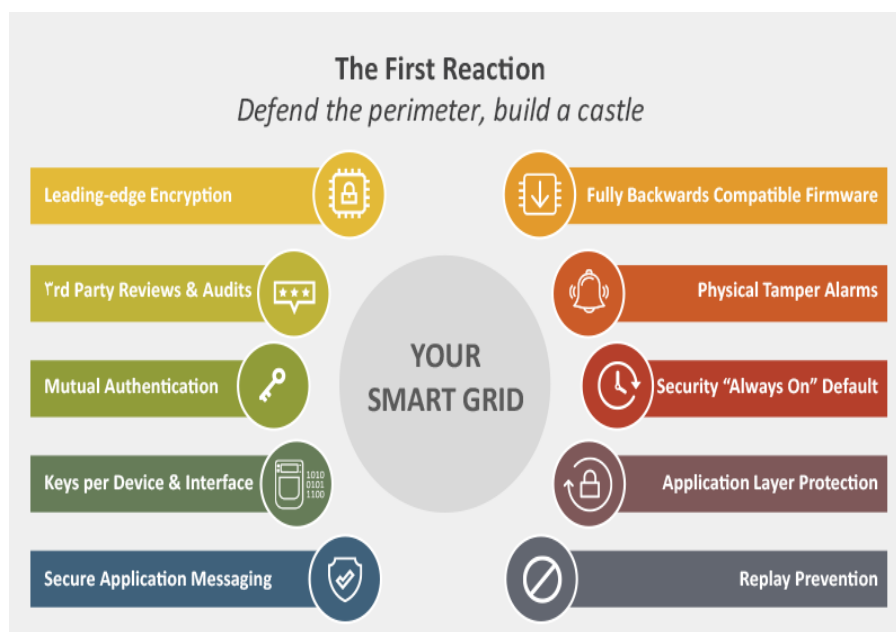
Βασική ανησυχία όσον αφορά τα Έξυπνα Δίκτυα, αποτελεί η πιθανότητα της μείωσης της ασφάλειας και της αξιοπιστίας του συστήματος, ειδικά από τη στιγμή που υπάρχει αλληλεπίδραση με συστήματα αναπτυσσόμενης τεχνολογίας. Η ασφάλεια του συστήματος κλονίζεται και η αξιοπιστία των Έξυπνων Δικτύων αποτελεί την κύρια πρόκληση και ίσως τη μεγαλύτερη απειλή που έρχονται αντιμέτωπα. Ένα σύγχρονο δίκτυο που βασίζεται στις επικοινωνίες και τις ψηφιακές συσκευές σε κάθε τομέα της λειτουργίας του, κινδυνεύει να αντιμετωπιστεί με τα ίδια ψηφιακά μέσα και να δεχτεί επιθέσεις από κακόβουλα λογισμικά (Hacking) ή κυβερνοεπιθέσεις (Cyber Attacks). Τέτοιου είδους επιθέσεις είναι πολύ συχνές στη σημερινή εποχή και η ζημιά που μπορούν να προκαλέσουν είναι δυνατόν να επιφέρει παγκόσμιες αρνητικές συνέπειες. Οι απειλές αυτές μπορούν να συμβούν λόγω σφάλματος ή ηθελημένης προσπάθειας από κακόβουλους φορείς ή από ψηφιακές τρομοκρατικές ομάδες. Ανταγωνιστικές εταιρείες και αντίπαλες κυβερνήσεις μπορούν να εφαρμόσουν τέτοιες επιθέσεις με σκοπό να προκαλέσουν αβεβαιότητα και αστάθεια είτε στο περιβάλλον της επιχείρησης, είτε σε μια ολόκληρη χώρα. [38] [40]

Σημαντικός παράγοντας αποτελεί ότι τα “Smart Grid” ευθύνονται για την παραγωγή και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το ηλεκτρικό δίκτυο κάθε περιοχής αποτελεί την πιο βασική υποδομή και η στοχοποίησή του με βεβαιότητα θα έχει καταστροφικές

συνέπειες. Επιπρόσθετος λόγος για την εκτέλεση μιας τέτοιας επίθεσης είναι η κλοπή ευαίσθητων πληροφοριών ή προσωπικών δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά του καταναλωτή και φυσικά χωρίς την έγκρισή του.

Μοναδικό θεμέλιο για την αντιμετώπιση απειλών κατά του Έξυπνου Δικτύου, είναι η ασφάλεια να έχει πρωτεύοντα ρόλο σε κάθε βήμα του σχεδιασμού ενός δικτύου. Προτιμάται η εγγύηση της ασφάλειας και αξιοπιστίας του συστήματος, παρά η μέγιστη απόδοση του συνδυαζόμενη με σημαντικά προβλήματα ασφάλειας. Τέλος, ένα μέτρο ασφαλείας είναι οι συνεχείς έλεγχοι για την αξιοπιστία των προτεινόμενων λύσεων και η σύνταξη περίπλοκων αλγορίθμων που συνεχώς να περιπολούν το Smart Grid.

Η ιδιωτικότητα συνιστά άλλο ένα μείζον πρόβλημα στον τομέα της ασφάλειας των Έξυπνων Δικτύων. Η χρήση έξυπνων μετρητών, αισθητήρων και η επικοινωνία μεταξύ κέντρου ελέγχου και των συσκευών αυτών συμβάλλει στην εύκολη διάσπαση του συστήματος και στην κλοπή προσωπικών πληροφοριών και δεδομένων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούν και επεξεργάζονται αυτές οι συσκευές για κάθε πελάτη, έχουν δυστυχώς τη δυνατότητα να αποκαλύψουν τις συνήθειες και τις χαρακτηριστικές συμπεριφορές του κάθε καταναλωτή, βάζοντας σε κίνδυνο με αυτόν τον τρόπο την προσωπική του ασφάλεια. Στην εποχή που ζούμε, τα προσωπικά δεδομένα αποτελούν «Μήλον της Έριδος» για ιδιωτικές εταιρείες μάρκετινγκ και είναι ταυτοχρόνως αποδεκτό και λυπητερό πως πολλές κυβερνήσεις παραχωρούν ευαίσθητες πληροφορίες και δεδομένα των πολιτών χωρίς καμία προσωπική συγκατάθεση. Η παραβίαση της ιδιωτικότητας και της προσωπικής ζωής είναι αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης κοινωνίας και ίσως το (ηθικό) τίμημα που πληρώνει ο μέσος καταναλωτής για να απολαμβάνει ενεργειακά προνόμια. Τα Έξυπνα Δίκτυα δεν πρέπει να ενισχύουν αυτήν την τάση και πρωταρχικός τους στόχος πρέπει να αποτελεί η προστασία των ίδιων των καταναλωτών και η πρόληψη για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων.



Εικόνα 2.3: Ενέργειες πρόληψης για τη θωράκιση του Έξυπνου Δικτύου.

2.6 Πρωτόκολλα και μέτρα ασφαλείας στα σύγχρονα δίκτυα

Για την αποφυγή επιθέσεων στα Έξυπνα Δίκτυα υπάρχουν συγκεκριμένα μέτρα ασφαλείας που μπορούν να υιοθετηθούν. Τα μέτρα ασφαλείας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη είναι η μέθοδος των καθιερωμένων τεχνολογιών ασφαλείας στον κυβερνοχώρο και περιλαμβάνει μέτρα όπως η κρυπτογράφηση, ο έλεγχος πρόσβασης και η αυθεντικοποίηση που θα αναλυθούν παρακάτω. Άλλοι καθιερωμένοι τρόποι ασφαλείας είναι η προστασία από κακόβουλο λογισμικό (Antimalware) , τα τείχη προστασίας (Firewalls) και τα Συστήματα Διαχείρισης Πληροφοριών και Συμβάντων Ασφαλείας, γνωστά ως SIEM (Security Information And Event Management), τα οποία μέσω συνεχής παρακολούθησης των δεδομένων και των εμπλεκόμενων συσκευών εντοπίζουν και ενημερώνουν σε πραγματικό χρόνο για πιθανή απειλή. Οι ειδικοί στη διαφύλαξη προστασίας στα δίκτυα προτείνουν οι πιθανοί τρόποι αντιμετώπισης των απειλών να βασίζονται σε κάποια συγκεκριμένα πρότυπα (Standards). Τα πρότυπα διευκολύνουν τη βέλτιστη επιλογή μεθόδων ασφάλειας, καθώς και τη σειρά που πρέπει να ακολουθήσουν οι ειδικοί ως προς τα βήματα υλοποίησής τους. Ο κομβικός ρόλος που κατέχουν τα πρότυπα γίνεται φανερός όταν ενεργοποιείται η δυνατότητα πιστοποίησης, τρόπος που δημιουργεί μεγάλη αξιοπιστία στους πελάτες και δίνει πλεονέκτημα στις πρακτικές που βασίζονται σε αυτή τη μέθοδο. Τα standards είναι προτιμότερο να επιλέγονται ως τη μεθοδολογία που βασίζονται τα αναπτυσσόμενα μέτρα ασφαλείας και όχι ως η αποκλειστική μέθοδο αντιμετώπισης, αφού από τη μία πλευρά προσφέρουν υψηλό βαθμό αξιοπιστίας, πληρότητας και ασφάλειας, από την άλλη όμως, έχουν γενικευμένο πεδίο εφαρμογής, δυσκολεύοντας με αυτόν τον τρόπο την πρόταση αναλυτικών βημάτων για την επίλυση ορισμένων προβλημάτων. Η κρυπτογράφηση, η αυθεντικοποίηση και ο έλεγχος πρόσβασης ανήκουν στην κατηγορία της ασφάλειας επικοινωνίας. [39] [40]

Η ασφάλεια επικοινωνίας διαδραματίζει ίσως τον πιο σπουδαίο ρόλο στο γενικό πλαίσιο της ασφάλειας του δικτύου, επειδή εξασφαλίζει την ασφαλή και ομαλή μετάδοση πληροφοριών και δεδομένων σε ένα σύγχρονο δίκτυο. Χωρίς αυτήν, η αλληλεπίδραση μεταξύ δεδομένων και ζητούμενων δεν θα ήταν εφικτή και τα δίκτυα δεν θα χαρακτηριζόντουσαν ως «έξυπνα». Η ασφάλεια επικοινωνίας ακολουθεί κάποια πρωτόκολλα ασφαλείας. Αυτά τα πρωτόκολλα δεν εξασφαλίζουν τον επαρκή βαθμό άμυνας και ασφάλειας σε περίπτωση επίθεσης και η ενίσχυση τους πραγματοποιείται μέσω των εξής μεθόδων:

1.Κρυπτογράφηση (Encryption): Επίπεδο ασφαλείας που πραγματοποιείται μέσω κρυπτογραφημένων εικονικών ιδιωτικών δικτύων (VPN). Στόχος των VPN είναι η προστασία της κίνησης του δικτύου με τον τρόπο της ενθυλάκωσης μέσα σε ένα πρωτόκολλο κρυπτογράφησης. Κατά το στάδιο της κρυπτογράφησης, τα μηνύματα και τα δεδομένα πρέπει να είναι καταλλήλως κρυπτογραφημένα και απροσπέλαστα ως προς την υποκλοπή τους μέσα στο χρονικό διάστημα που ορίζει ο χρόνος απόκρισης. Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι οι ανάγκες διαθεσιμότητας που απαιτεί με αποτέλεσμα ο χρόνος απόκρισης του δικτύου VPN να είναι δύσκολα διαχειρίσιμος. Ενδεικτικά πρωτόκολλα κρυπτογράφησης είναι τα ICCP και Modbus.

2.Αυθεντικοποίηση (Authentication) : Η αυθεντικοποίηση είναι η μέθοδος αποτροπής μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης. Πρόσβαση τέτοιου είδους μπορεί να επιτευχθεί μέσω αλγορίθμου και με την αυτόματη αναζήτηση πιστοποιητικών αυθεντικοποίησης, όπως οι κωδικοί. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα πρωτόκολλα ασφαλείας να γίνονται λιγότερο λειτουργικά και αποτελεσματικά. Η ανάπτυξη ανθεκτικών και προσαρμοστικών μηχανικών αυθεντικοποίησης αποτελεί πρωταρχική προτεραιότητα για το συγκεκριμένο τομέα προστασίας δικτύου. Ένας εξαιρετικά ισχυρός τρόπος αντιμετώπισης είναι ο αλγόριθμος ανανέωσης κλειδιών (Re-keying), ο οποίος αναδιαμορφώνει συνεχώς τα -υπό απειλή- και πιο ευάλωτα κλειδιά του δικτύου. [38] [41]

3.Έλεγχος πρόσβασης (Access Control) : Ο έλεγχος πρόσβασης ή έλεγχος προσπέλασης είναι ο ηλεκτρονικός έλεγχος ταυτότητας και εξουσιοδότησης του πιθανού χρήστη. Κάθε φορά που παρατηρείται ύποπτη δραστηριότητα, εγκρίνεται ή απορρίπτεται το αίτημα πρόσβασης με βάση τους παραπάνω ελέγχους. [42]



Εικόνα 2.4: Χαρακτηριστικά του SIEM.

3. ΕΞΥΠΝΗ ΠΟΛΗ

3.1 Εισαγωγή στις Έξυπνες Πόλεις

Τα «Έξυπνα Δίκτυα» που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της τεχνολογίας των «Έξυπνων Πόλεων» ή αλλιώς “Smart Cities”. Διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία των πόλεων και είναι τα εργαλεία, μέσω των οποίων οι απλές πόλεις μεταβάλλονται σε τεχνολογικά ανεπτυγμένες και έξυπνα λειτουργικές οντότητες. Τα προβλήματα εφαρμογής που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της μεταβολής αυτής, όπως το Integer Partitioning Problem που ερευνούμε σε αυτήν τη μελέτη, είναι το πρώτο βήμα προς την αναβάθμιση των δικτύων και την προώθηση των «Έξυπνων Πόλεων». Η χρήση ψηφιακών λύσεων στοχεύει στην καλύτερη αξιοποίηση πόρων και στην προστασία του περιβάλλοντος, εξοικονόμηση ενέργειας, κύριες ιδιότητες της λειτουργίας μια «Έξυπνης Πόλης».

Η κλιμάκωση του φαινομένου της αστικοποίησης κατά τον 21^ο αιώνα οδηγεί στην άμεση ανάγκη για την εύρεση ενός νέου μοντέλου διαβίωσης. Οι συνέπειες χρήζουν άμεση αντιμετώπιση αφού σταδιακά η ποιότητα ζωής των ανθρώπων χειροτερεύει, αντί να βελτιώνεται. Συνοπτικά τέτοιες συνέπειες αναφέρονται στην υπέρμετρη ενεργειακή κατανάλωση, στην παραγωγή αστικών απορριμμάτων, στην αύξηση της αστικής ρύπανσης και στην έλλειψη περιβαλλοντικής παιδείας από τους σύγχρονους πολίτες. Η διατύπωση βιώσιμων λύσεων και η δοκιμή νέων μοντέλων αποτελούν επιτακτική ανάγκη και σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της εξέλιξης που έχει προκύψει στον τομέα της Τεχνολογίας και Επικοινωνίας, προκύπτει το μοντέλο των έξυπνων πόλεων. Οι «Έξυπνες Πόλεις» με την υιοθέτηση της τεχνολογίας και την εφαρμογή πρωτοποριακών λειτουργιών, προωθούν την αστική ανάπτυξη και συμβάλλουν καθοριστικά στη λύση των σύγχρονων αστικών προβλημάτων, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα νέο μοντέλο ζωής, το οποίο ήρθε για να κυριαρχήσει και να αλλάξει σε ριζικό βαθμό τη ζωή του μέσου πολίτη. Τέλος, είναι σημαντικό να εξεταστούν οι κίνδυνοι και τα πιθανά μειονεκτήματα μιας τέτοιας αναβάθμισης πριν την εφαρμογή της, αφού οι επιπτώσεις μπορεί να μας φέρουν αντιμέτωπους με μια κατάσταση μη αναστρέψιμη και τα πιθανά οφέλη να αποδειχθούν καίριες αλλοιώσεις με μεγάλη σπατάλη τόσο οικονομικών και φυσικών πόρων αλλά και χρόνου. Συνοψίζοντας, πρέπει να βεβαιωθούμε πως η θετική πλευρά της ιδέας των έξυπνων πόλεων υπερκαλύπτει την αρνητική πλευρά, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για καθολική εφαρμογή, και όχι μεμονωμένη.

3.2 Πώς ορίζεται η Έξυπνη Πόλη

Η «Έξυπνη Πόλη» σαν ορισμός δεν έχει παγιωθεί. Υπάρχουν διαφορετικοί όροι που αποτυπώνουν την έννοια αυτή, η οποία μεταβάλλεται λόγω των παραγόντων γύρω από τους οποίους μια πόλη δομείται, όπως οι κοινωνικοί. Περιληπτικά ο όρος “Smart City” αναφέρεται στη μελλοντική μορφολογία των αστικών κέντρων μέσω της επιρροής της τεχνολογίας και έχει σαν στόχο την προσαρμοσμένη οργάνωση των πόλεων για τη βελτίωση της βιωσιμότητάς τους. [47]

Ακολούθως, παρουσιάζονται μερικοί ορισμοί της «Έξυπνης Πόλης»:

- « ..μια πόλη μπορεί να θεωρηθεί «έξυπνη» όταν οι επενδύσεις σε ανθρώπινο και κοινωνικό κεφάλαιο και οι παραδοσιακές και σύγχρονες υποδομές επικοινωνίας υποστηρίζουν τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη και την υψηλή ποιότητα ζωής, με μια συνετή διαχείριση των φυσικών πόρων, μέσω της συμμετοχικής δράσης και της ενεργούς συμμετοχής.» [44]
- Η πόλη που επιδιώκει τη βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων της μέσα από την παρακολούθηση, τον έλεγχο, αλλά και την ολοκλήρωση επιμέρους υποσυστημάτων, όπως ενέργεια και επικοινωνίες, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η παροχή υπηρεσιών προς τους πολίτες της (Hall, 2000).
- Η πόλη η οποία αξιοποιεί την τεχνολογία για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και την εξασφάλιση ενός βιώσιμου μέλλοντος, μέσα από τη διασύνδεση επιμέρους δικτύων ατόμων, υποδομών, τεχνολογιών, επιχειρήσεων, κατανάλωσης, ενέργειας και τόπων (Manville και άλλοι, 2014).
- Η πόλη η οποία, βασισμένη στην καινοτομία και τη διερεύνηση των μελλοντικών εξελίξεων, σημειώνει «καλές επιδόσεις» σε συγκεκριμένους τομείς, όπως η οικονομία, η εξυπηρέτηση των πολιτών, η διακυβέρνηση, η κινητικότητα, το περιβάλλον, η ποιότητα ζωής, κ.ά., μέσα από τον «έξυπνο» συνδυασμό των ικανοτήτων και των δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται από ενεργούς και συνειδητοποιημένους πολίτες (Giffinger και άλλοι, 2007).
- Η πόλη που συνδυάζει τις Τεχνολογίες Πληροφόρησης και Επικοινωνίας και το Web 2.0 με άλλες οργανωτικές και σχεδιαστικές προσπάθειες για την αναβάθμιση και την επιτάχυνση των γραφειοκρατικών διαδικασιών και τον προσδιορισμό νέων, καινοτόμων λύσεων για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας του αστικού χώρου και την επιδίωξη της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης (Torreeta, 2010).
- «Η έξυπνη πόλη σημαίνει να χρησιμοποιούμε όλη τη διαθέσιμη τεχνολογία και τους πόρους με έξυπνο και συντονισμένο τρόπο, για να αναπτύξουμε αστικά κέντρα που είναι ταυτόχρονα ολοκληρωμένα, κατοικήσιμα και βιώσιμα». (Barrionuevo et al. 2012)
- «Μια έξυπνη πόλη, σύμφωνα με το ICLEI, είναι μια πόλη που είναι έτοιμη να προσφέρει συνθήκες για μια υγιή και ευτυχισμένη κοινότητα υπό τις δύσκολες συνθήκες που μπορούν να επιφέρουν παγκόσμιες, περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές τάσεις». (Guan 2012)



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση στοιχείων Smart City.

3.3 Βασικά χαρακτηριστικά των Smart Cities

Τα χαρακτηριστικά των έξυπνων πόλεων έχουν ως κύριο στοιχείο την εξασφάλιση της ανάπτυξης και της βιωσιμότητας σε όλα τα επίπεδα ζωής. Η έξυπνη πόλη στοχεύει στην αναβάθμιση και στην ομαλή λειτουργία της με τη χρήση της τεχνολογίας, της πληροφορίας και της συνεχούς επικοινωνίας των δικτύων να έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο. Τα στοιχεία των πόλεων όπως είναι οι υποδομές, οι άνθρωποι και οι υπηρεσίες αντιμετωπίζουν την πρόκληση της προσαρμογής σε ένα νέο υπερσύγχρονο τεχνολογικό περιβάλλον. Μέσω της προσαρμογής αυτής βελτιώνεται σε κομβικό βαθμό η ποιότητα των υπηρεσιών, η ευημερία των πολιτών και η βιωσιμότητα των πόλεων. Η συλλογή δεδομένων από τα «Έξυπνα Δίκτυα» και η αλληλεπίδραση μεταξύ δεδομένων και νέων ζητούμενων αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό του μοντέλου των «Smart Cities». Παράλληλα, η χρήση αυτοματισμών και αναπτυγμένων συστημάτων πληροφορίας και τεχνολογίας είναι απαραίτητη για τη μέγιστη αποδοτικότητα των νέων υποδομών. [43]

Τα βασικά χαρακτηριστικά των «Έξυπνων Δικτύων» παρουσιάζονται παρακάτω:

- Έξυπνη Διαβίωση (Smart Living).

Αναφέρεται στις υπηρεσίες του κράτους που βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των πολιτών. Περιλαμβάνει τομείς όπως η υγεία και η στέγαση και στοχεύει στην κοινωνική συνοχή των πολιτών. Επίσης, γίνεται κατάλληλη χρήση των υποδομών, αναβαθμίζοντας την ποιότητα ζωής σε τομείς όπως ο πολιτισμός, ο τουρισμός και η ασφάλεια (Larré, 2015).

- Έξυπνη Κινητικότητα (Smart Mobility).

Αποτελεί την κινητικότητα της οποίας η διαχείριση βασίζεται στις τηλεπικοινωνίες και στην ασφαλή και ορθή διασύνδεση των μέσων μεταφοράς (Ambrosino, 2015).

- Έξυπνη Διακυβέρνηση (Smart Governance).

Σχετίζεται με την αναβάθμιση των δημόσιων υπηρεσιών με σκοπό τη μέγιστη αποτελεσματικότητα και την ενεργό συμμετοχή των πολιτών στη διοίκηση και στη λήψη αποφάσεων μέσω της συλλογής δεδομένων και με την εκτεταμένη χρήση πληροφοριών και τηλεπικοινωνιών (Ghosh & Mahesh, 2015).

- Έξυπνο Περιβάλλον (Smart Environment).

Αποτελεί το κυρίαρχο χαρακτηριστικό των “Smart Cities”. Μέσω της κατανόησης του οικοσυστήματος και της σημασίας που καταλαμβάνει στη ζωή των ανθρώπων, προωθείται η κατάλληλη χρήση της τεχνολογίας, ώστε να επέλθει η βιωσιμότητα και η προστασία του περιβάλλοντος (Manville et al.. 2014). Οι αστικές υπηρεσίες όπως η διαχείριση αστικών αποβλήτων και η μείωση της ρύπανσης ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

- Έξυπνοι Άνθρωποι (Smart People).

Οι άνθρωποι μιας έξυπνης πόλης χαρακτηρίζονται όχι μόνο από μορφωτικό επίπεδο αλλά και από ευελιξία. Το περιβάλλον που βρίσκονται, δηλαδή η «Έξυπνη Πόλη», τους διευκολύνει για την ορθή συμμετοχή τους στα κοινά και προωθείται ο κοινωνικός και εθνικός πλουραλισμός. Αναπτύσσεται ο κοινωνικός αλτρουισμός και η ατομική και η συλλογική ευθύνη για την προστασία του περιβάλλοντος. Χωρίς τους «Έξυπνους Άνθρώπους» δεν υπάρχουν «Έξυπνες Πόλεις», καθώς αυτοί είναι οι εμπνευστές αλλά και αυτοί που εφαρμόζουν το νέο μοντέλο ζωής. [45] [46]

3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της «Έξυπνης Πόλης»

Η μελέτη των «Έξυπνων Πόλεων» μας οδηγεί στην πρόκληση να εξετάσουμε εκτός από τη θετική πλευρά τους και τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις τους. Η άμεση μετάβαση στην εποχή των “Smart Cities” παρουσιάζει δυσκολίες τόσο σε θεωρητικό επίπεδο αλλά και σε επίπεδο υλοποίησης. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα

παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των πόλεων της επόμενης γενιάς και θα αναλυθεί μέσα από σύγκριση ποια στοιχεία και από τις δύο κατηγορίες είναι κυρίαρχα.

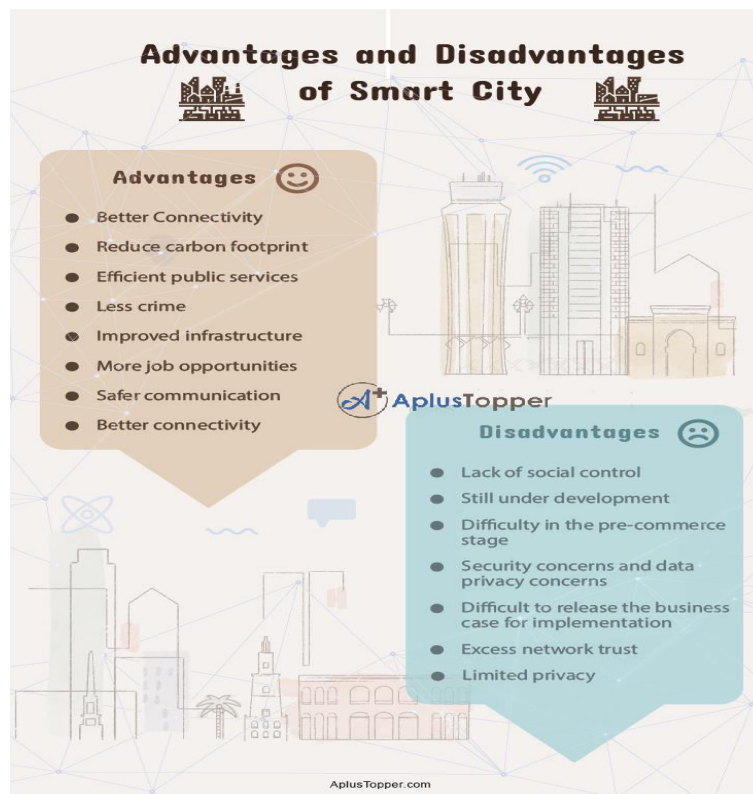
Τα κύρια πλεονεκτήματα των «Έξυπνων Πόλεων» είναι τα εξής:

- Αποτελεσματική λήψη αποφάσεων βασισμένη σε ανάλυση δεδομένων και συγκέντρωση πληροφοριών. Η λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπιση ενός προβλήματος γίνεται πιο εύκολη, αφού με τη χρήση ψηφιακών εργαλείων, όπως οι έξυπνοι μετρητές και οι αισθητήρες, τα δεδομένα παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια.
- Ανανεωμένο δίκτυο μεταφοράς φιλικό προς το περιβάλλον. Η μεταφορά μέσα στην πόλη διευκολύνεται σε σημαντικό βαθμό για τους πολίτες, αφού καταργείται το μοτίβο μηχανών εσωτερικής καύσης και προωθείται η χρήση εναλλακτικών μέσων μεταφοράς, όπως το ποδήλατο και τα ηλεκτρικά οχήματα. Η καθημερινή ποιότητα ζωής των ανθρώπων αναδιαμορφώνεται.
- Δημιουργία κοινοτήτων με στόχο την ατομική και συλλογική ευθύνη των πολιτών. Η «πράσινη» συνείδηση του πολίτη ενεργοποιείται.. Ο πολίτης αναγνωρίζει πως αποτελεί μέρος μιας κοινωνίας φιλικής προς το περιβάλλον και εναρμονίζεται με αυτό.
- Αυτοματοποιημένο σύστημα υποδομών και μείωση του κόστους εγκατάστασης και ανανέωσης των υποδομών.
- Βελτίωση του περιβάλλοντος μέσω ψηφιακής έρευνας και συλλογής δεδομένων. Η παρέμβαση στο περιβάλλον πραγματοποιείται αποτελεσματικά και αποτελεί προϊόν έρευνας. [46] [48]
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, αφού όλοι οι πολίτες έχουν την ίδια προσβασιμότητα σε πηγές, όπως το διαδίκτυο (Internet) και η μεταφορά. [48]

Τα κύρια μειονεκτήματα των “Smart Cities” είναι τα εξής:

- Έλλειψη δημόσιας ατομικής ευθύνης και κοινωνικής υπευθυνότητας. Ο μέσος πολίτης συμβιβάζεται με το σύγχρονο ψηφιακό περιβάλλον, αγνοώντας τη συνεχή προσπάθεια που απαιτείται για την προστασία του περιβάλλοντος.
- Η συνδεσιμότητα και η παροχή ενέργειας είναι απαραίτητο στοιχείο για την ορθή λειτουργία των «Έξυπνων Πόλεων». Απαιτείται μόνιμη συνδεσιμότητα, 24 ώρες το 24ώρο σε καθημερινή βάση.
- Προβλήματα ασφάλειας σχετικά με δημόσια δεδομένα αλλά και προσωπικά δεδομένα των πολιτών. Η πρόσβαση σε δεδομένα δεν είναι τόσο δύσβατη και το μόνο που απαιτείται είναι ένα χακάρισμα (hack). Οι συνέπειες μετά από κάτι τέτοιο, μπορεί να είναι καταστροφικές και σε ατομικό και σε συλλογικό επίπεδο. Η παραβίαση ιδιωτικότητας διευκολύνεται. [49] [50]
- Η κατασκευή και η συντήρηση των (ψηφιακών) νέων υποδομών παρουσιάζει προκλήσεις ως προς την εφαρμογή και είναι πολύ δαπανηρή.
- Εντείνεται η κοινωνική διάκριση μεταξύ των πολιτών. Ο κάτοχος(άτομο, υπηρεσία ή και εκτελεστική αρχή) καίριων δημόσιων ή ιδιωτικών στοιχείων αποκτάει άμεση εξουσία και μπορεί να χειραγωγήσει τη δημόσια γνώμη και να ελέγξει τα προσωπικά δεδομένα ενός ατόμου.

Συγκεφαλαιώνοντας, τα μειονεκτήματα των «Έξυπνων Πόλεων» αποτελούν αξιοσημείωτα ζητήματα. Προτού εφαρμοστεί το μοντέλο νέας τεχνολογίας στις πόλεις, είναι καίριο ζήτημα να αντιμετωπιστούν τα θέματα αξιοπιστίας και ιδιωτικής ασφάλειας των πολιτών, το οποίο είναι και το μείζων πρόβλημα. Τα πλεονεκτήματα σχετίζονται κυρίως με τεχνικά θέματα και η αναβάθμιση των παλιών υποδομών είναι επιτακτική ανάγκη. Όμως κάτι τέτοιο δεν μπορεί να υλοποιηθεί, χωρίς την εγγύηση του κράτους και της Πολιτείας, καθώς η ασφάλεια και η προστασία των πολιτών αποτελούν το βασικό χαρακτηριστικό κάθε αναπτυσσόμενης κοινωνίας. Η αναβάθμιση σε επίπεδο τεχνολογίας και υποδομών, παραβλέποντας την ομαλή λειτουργία της κοινωνίας και προκαλώντας ζητήματα ασφάλειας, μπορούν να οδηγήσουν σε μία μη αναστρέψιμη κατάσταση με καταστροφικές συνέπειες. Ο συνδυασμός των θετικών και η αντιμετώπιση των αρνητικών σημείων της «Έξυπνης Πόλης» αποτελεί τη μοναδική λύση για την άμεση εφαρμογή του μοντέλου. Μία τόσο βαρυσήμαντη απόφαση πρέπει να οδηγεί στη βελτίωση ποιότητας ζωής των ανθρώπων αποκλειστικά και όχι στη δημιουργία προβλημάτων ηθικής. Οι πολίτες πρέπει να συμβαδίζουν με το νέο μοντέλο ζωής, όχι όμως και να γίνουν «προϊόντα» και «θύματα» της σύγχρονης τεχνολογίας. Ο μέσος άνθρωπος πρέπει να χρησιμοποιεί την «Έξυπνη Πόλη» για τη διευκόλυνση του και όχι να συμβαίνει το αντίστροφο. [52] [54]



Εικόνα 3.2: Σύγκριση θετικών και αρνητικών στοιχείων μιας έξυπνης πόλης.

3.5 Οι Έξυπνες Πόλεις στην Ελλάδα

Ο γρήγορος ρυθμός ζωής, η ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η μη λειτουργικότητα των παλιών υποδομών είναι από τους βασικούς λόγους της ανάπτυξης των «Έξυπνων Πόλεων». Κατά τη διάρκεια των χρόνων και κυρίως τις τελευταίες δύο δεκαετίες, κάνουν την εμφάνιση τους τα πρώτα παραδείγματα των εξελιγμένων πόλεων τόσο στο εξωτερικό, αλλά και στον ελλαδικό χώρο. Στην Ελλάδα υπάρχουν πρώιμα δείγματα «Έξυπνων Πόλεων», τα οποία θα εξετάσουμε σε αυτό το υποκεφάλαιο. Να σημειωθεί πως εκτός από την πόλη των Τρικάλων, οι υπόλοιπες πόλεις που παρουσιάζονται βρίσκονται στα πρώτα βήματα υλοποίησης του μοντέλου και χαρακτηρίζονται ως αναδυόμενες. Αναλυτικά:

• Τρίκαλα

Τα Τρίκαλα αποτελούν την πρώτη έξυπνη πόλη της Ελλάδας και βρίσκονται στον κατάλογο των 21 πιο «έξυπνων» πόλεων ανά τον κόσμο. Η πόλη υποδέχθηκε τη νέα ψηφιακή εποχή, πραγματοποιώντας έργα που είχαν σαν στόχο την αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως η οικονομική ύφεση και η πληθυσμιακή αποψίλωση. Η ενεργοποίηση των πολιτών και η ενθάρρυνση τους για λήψη αποφάσεων οδήγησε στην ανοικοδόμηση και στην ανάπτυξη της πόλης τους, καθιστώντας τα Τρίκαλα καινοτόμα πόλη στον τομέα της τεχνολογίας (Stratigea και Panagiotopoulou, 2014). Τα σημαντικότερα έργα της πόλης είναι (www.e-trikala.gr):

-Μητροπολιτικό δίκτυο οπτικών ινών (MAN): συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ηλεκτρονικής διακυβέρνησης, με τη διασύνδεση όλων των δημόσιων υπηρεσιών της πόλης.

-Δωρεάν ασύρματο δίκτυο (Wi-Fi).

-Ολοκληρωμένο πληροφοριακό σύστημα ευφυών μεταφορών: διαχείριση κυκλοφοριακών δεδομένων, παρακολούθηση αστικών λεωφορείων και οδικού δικτύου, ενημέρωση πολιτών.

-Σύστημα ελεγχόμενης στάθμευσης mobiPARK: δυνατότητα χρήστη για προκράτηση, πληρωμή και επέκταση διάρκειας θέσης στάθμευσης.

-Χρήση Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS): διαχείριση χωροταξικών/πολεοδομικών δεδομένων και 'αναλυτικού οδηγού' σημείων ενδιαφέροντος της πόλης.

-Τηλεπρόνοια: υπηρεσίες υγείας σε ευπαθείς κοινωνικές ομάδες (ηλικιωμένοι, ΑΜΕΑ).

-ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ: σύστημα διαχείρισης παραπόνων πολιτών .

-e-dialogos: εργαλείο ηλεκτρονικής διακυβέρνησης: παρέχει τη δυνατότητα συμμετοχής πολιτών στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, συνεργασίας δημοτικών αρχών και πολιτών μέσα από τη συλλογή ηλεκτρονικών υπογραφών, συμμετοχής σε ηλεκτρονικές διαβουλεύσεις. πραγματοποίησης ηλεκτρονικών δημοσκοπήσεων, κ.ά.

- Τουριστική διαδικτυακή πύλη: παρέχει χρήσιμες πληροφορίες, προτάσεις, καιρικές προγνώσεις, κ.ά., καθώς και πληροφοριακούς χάρτες για τους επισκέπτες της πόλης.
- Xepagos: πλατφόρμα πληροφοριών για την πόλη και το Νομό Τρικάλων για επισκέπτες. [54]



Εικόνα 3.3: Ηλεκτρικό όχημα στην πόλη των Τρικάλων.

• Ηράκλειο Κρήτης

Μέσα από πρωτοβουλίες και έργα για τη μετάβαση της πόλης του Ηρακλείου σε «Έξυπνη Πόλη», βελτιώνεται η παροχή υπηρεσιών στους πολίτες και ενισχύεται η ποιότητα ζωής τους. Στόχος των έργων αυτών είναι η προώθηση και η προβολή της ταυτότητας της πόλης (place identity) και η προστασία των φυσικών πόρων της. Επιπρόσθετα, η συνύπαρξη τοπικών παραγόντων, όπως οι επιχειρήσεις, με την ψηφιακή εποχή αποτελεί βασικό σκοπό της όλης προσπάθειας, ώστε οι ψηφιακές υπηρεσίες να βρίσκουν την κατάλληλη ανταπόκριση από τους πολίτες. Συγκεκριμένα τα έργα που έχουν πραγματοποιηθεί:

- Μητροπολιτικό δίκτυο οπτικών ινών: διασυνδέει τις δημόσιες υπηρεσίες.

-Δημοτική διαδικτυακή πύλη παροχής υπηρεσιών ηλεκτρονικής διακυβέρνησης: παρέχει τη δυνατότητα στους πολίτες να υποβάλλουν αιτήματα για έκδοση εγγράφων, να κάνουν ηλεκτρονικές πληρωμές, να διατυπώνουν τη γνώμη τους σε ηλεκτρονικά δημοψηφίσματα.

-Ψηφιακή βιβλιοθήκη: ψηφιοποίηση αρχείων Δημοτικής Βιβλιοθήκης για την προστασία των ιστορικών κειμένων.

-Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών: ενημέρωση πολιτών για πολεοδομικά δεδομένα (όροι δόμησης, εξέλιξη πολεοδομικών μελετών, κ.ά.).

-Τουριστική διαδικτυακή πύλη: επικεντρώνεται στην προβολή και προώθηση των συγκριτικών πλεονεκτημάτων της πόλης, με στόχο την προσέλκυση τουριστικών ροών. [55]

• Κοζάνη

Η προσπάθεια της πόλης να ενταχθεί στο πλαίσιο της «Smart City» χαρακτηρίζεται από τις εξής ενέργειες:

-Διαχείριση χωρικών πληροφοριών με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών: αξιοποιούνται ψηφιακοί χάρτες για την εξυπηρέτηση διαφόρων στόχων.

-Ηλεκτρονικές υπηρεσίες: ηλεκτρονική εξυπηρέτηση πολιτών, πληρωμή προστίμων/φόρων, δημοσιοποίηση αποφάσεων Δημοτικού Συμβουλίου και δυνατότητα συμμετοχής σε δημοσκοπήσεις.

-Διαχείριση θέσεων στάθμευσης με χρήση πληροφοριακού συστήματος.

-Ανάπτυξη ηλεκτρονικής κοινότητας: δυνατότητα πληροφόρησης και συμμετοχής πολιτών σε διαλόγους/διαβουλεύσεις και διαδικτυακή παρακολούθηση συνεδριάσεων του Δημοτικού Συμβουλίου.

-e-δημότης: δυνατότητα ενημέρωσης δημοτικών υπηρεσιών από τους πολίτες για πιθανά προβλήματα στον αστικό χώρο.

-Τηλεργασία: προσφορά απασχόλησης από απόσταση.

-Τηλεκπαίδευση: υποστήριξη σύγχρονων εκπαιδευτικών σεμιναρίων και διαλέξεων από απόσταση. [56]

• Ιωάννινα

Τα Ιωάννινα έχουν πραγματοποιήσει τις εξής ενέργειες (www.ioannina.gr):

-Μητροπολιτικό δίκτυο οπτικών ινών και ασύρματο δίκτυο Wi-Fi.

-Ηλεκτρονική εξυπηρέτηση πολιτών: ηλεκτρονική υποβολή αιτήσεων και λοιπών αιτημάτων.

-Ξενάγηση: εφαρμογή υποστήριξης αναγκών των επισκεπτών της πόλης.

-Σύστημα μέτρησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας 'ΕΡΜΗΣ': μέτρηση/έλεγχος εκπομπών – δημοσιοποίηση αποτελεσμάτων.

-Ιστορικό αρχείο δημοτικών αποφάσεων: ψηφιοποίηση και δημοσιοποίηση αποφάσεων περιόδου 1911-1980.

-Ψηφιακή βιβλιοθήκη: ψηφιοποίηση και διάθεση υλικού Ζωσιμαίας Δημόσιας Κεντρικής Ιστορικής Βιβλιοθήκης.

-Καλλιτεχνική δημιουργία: καταγραφή τοπικών καλλιτεχνών, ψηφιοποίηση και δημοσιοποίηση δημιουργιών.

Πολιτιστικά και φυσικά αποθέματα: ψηφιοποίηση συλλογών Δημοτικής Πινακοθήκης, εικονικές περιηγήσεις Δημοτικού Μουσείου. [58]

3.6 Οι Έξυπνες Πόλεις στο εξωτερικό

Οι «Έξυπνες Πόλεις» που θα παρουσιαστούν σε αυτό το υποκεφάλαιο αποτελούν παραδείγματα πρωτοπόρων και αναπτυσσόμενων πόλεων. Έχουν προβεί σε συγκεκριμένες ενέργειες που τις καθιστούν πρότυπα έξυπνων πόλεων για όλες τις υπόλοιπες πόλεις του κόσμου και μοιάζουν έτοιμες να ανταπεξέλθουν στις προκλήσεις του αύριο, ικανοποιώντας τις περιβαλλοντικές, ενεργειακές και οικονομικές ανάγκες του σήμερα μέσω της τεχνολογίας και της καινοτομίας. Ειδικά:

• Βαρκελώνη

Η πόλη της Βαρκελώνης αποτελεί το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα «Έξυπνης Πόλης». Το βιομηχανικό και επιχειρηματικό της υπόβαθρο έχει συμβάλει στη διαμόρφωση μιας οικονομίας γνώσης, που βασίζεται στην προώθηση της επιχειρηματικότητας, της τεχνολογίας και της καινοτομίας, στοιχεία που συνδέονται άμεσα με την οικονομική ανάπτυξη και την παραγωγική διαδικασία (Schaffers και άλλοι, 2012). Η τακτική που ακολουθείται στο πλαίσιο του μετασχηματισμού της Βαρκελώνης σε μια έξυπνη πόλη επιδιώκει να την καταστήσει ένα 'ζωντανό οικοσύστημα' (living habitat), όπου οι νέες τεχνολογίες και η καινοτομία αποτελούν τα μέσα για: τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη, τη δημιουργία νέων καναλιών επικοινωνίας, την πρόσβαση σε πληροφορία, καθώς και την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας των δημόσιων υπηρεσιών. Τα παραπάνω υλοποιούνται σε ένα 'ανοιχτό' περιβάλλον, όπου κυριαρχεί η προώθηση ομάδων επιχειρήσεων (clusters) και ανοιχτών δεδομένων, η ανάπτυξη 'ζωντανών' εργαστηρίων (living labs), η ενεργός συμμετοχή των πολιτών για την παραγωγή έξυπνων ιδεών, τη δημιουργία προϊόντων/υπηρεσιών, και την ανάπτυξη και υλοποίηση έξυπνων σχεδίων (Schaffers και άλλοι, 2012). Το μοντέλο ανάπτυξης της Βαρκελώνης ως έξυπνης πόλης στηρίζεται σε τέσσερις θεμελιώδεις πυλώνες (Gavalda και Ribera-Fumaz, 2012):

-Υποδομές: επιτρέπουν την άμεση πρόσβαση σε δίκτυα, πληροφορίες και υπηρεσίες, μέσω μιας ολοκληρωμένης διαδικτυακής πλατφόρμας.

-Πληροφορία: ενισχύει την αποτελεσματικότητα των δημόσιων διαδικασιών και υπηρεσιών, ενθαρρύνει τη χρήση και επεξεργασία των δημόσιων δεδομένων από τους πολίτες.

-Έξυπνες υπηρεσίες: αξιοποίηση διαδικτυακών εφαρμογών για την παροχή και διαχείριση δημόσιων διαδικασιών και υπηρεσιών.

-Ανθρώπινο κεφάλαιο: ανάπτυξη δεξιοτήτων από τον τοπικό πληθυσμό για την ενίσχυση της οικονομίας.

Οι βασικοί τομείς που συνθέτουν το μοντέλο της έξυπνης πόλης της Βαρκελώνης είναι οι εξής: Έξυπνη Διακυβέρνηση, Έξυπνη Οικονομία, Έξυπνη Διαβίωση και Έξυπνοι Πολίτες. Η Έξυπνη Διακυβέρνηση σχετίζεται κατά κύριο λόγο με τα ανοιχτά δεδομένα, που επιτρέπουν την άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες κρατικών φορέων. Η Έξυπνη Οικονομία βασίζεται στη δημιουργία και την αλληλεπίδραση ομάδων επιχειρήσεων, πανεπιστημιακών και ερευνητικών ιδρυμάτων και πολιτών, για την ενίσχυση και διάχυση της καινοτομίας. Οι πρωτοβουλίες για την Έξυπνη Διαβίωση στοχεύουν στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών σε τομείς όπως η ασφάλεια και το περιβάλλον. Στον τομέα των Έξυπνων Πολιτών συμπεριλαμβάνονται προγράμματα εκπαίδευσης του πληθυσμού της πόλης στη νέα ψηφιακή πραγματικότητα. [60] [61]

1	Telecommunications networks		12	Citizenship	
2	Urban Platform		13	Open Government	
3	Smart Data		14	Barcelona in the pocket	
4	Smart Light		15	Smart Garbage Collection	
5	Energy self-sufficiency		16	Smart Regulation	
6	Smart Water		17	Smart Innovation	
7	Smart Mobility		18	Health and Social Services	
8	Renaturation		19	Education	
9	Urban Transformation		20	Smart Tourist Destination	
10	Smart Furnishings		21	Infrastructure and Logistics	
11	Urban Resilience		22	Leisure and Culture	

Εικόνα 3.4 Βασικά στοιχεία της Έξυπνης Πόλης της Βαρκελώνης.

• Λονδίνο

Η πόλη του Λονδίνου χαρακτηρίζεται κυρίως για το σύστημα μεταφορών της. Το υπόγειο αστικό δίκτυο μεταφορών έχει μετατραπεί με τη συμβολή της τεχνολογίας και καινοτομιών στο «εξυπνότερο» ανά τον κόσμο και εξυπηρετεί αποτελεσματικά περισσότερους από ένα δισεκατομμύριο επιβάτες το χρόνο. Καθοριστικό στοιχείο του δικτύου του Λονδίνου αποτελεί το Connected London, πρόγραμμα το οποίο παρέχει 5G στην πόλη μέσω οπτικών ινών σε πολύ υψηλή ταχύτητα. Η παροχή WiFi σε δημόσια κτήρια και δρόμους αποτέλεσε μία από τις πρωταρχικές ενέργειες προς τη μεταβολή της πόλης σε έξυπνη, ενώ οι λαμπτήρες της πόλης έχουν προσαρμοστεί, ώστε να είναι έτοιμοι για χρήση ως σημείο φόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα. [46] [63]

• Τορίνο

Από τα τέλη του 2011 η πόλη του Τορίνο, αξιοποιώντας την Ευρωπαϊκή πρωτοβουλία «Εξυπνες Πόλεις και Κοινότητες», έχει ξεκινήσει την υλοποίηση της ιδέας της έξυπνης πόλης, ιδρύοντας το Fondazione Torino Smart City, έναν οργανισμό υπεύθυνο για τη διαχείριση όλων των δράσεων που απαιτούνται για τη μετάβαση της πόλης στη νέα εποχή. Το μοντέλο της έξυπνης πόλης που υιοθετείται στηρίζεται στο πρόγραμμα SMILE (Smart Mobility, Inclusion, Life and health, Energy), που ξεκίνησε στις αρχές του 2013 και επικεντρώνεται σε πέντε τομείς (ενέργεια, κινητικότητα, κοινωνική ενσωμάτωση, περιβαλλοντική βιωσιμότητα, ψηφιακή πόλη και καινοτομία). Το σχέδιο διαμορφώνεται μέσα από διαδικασίες διαβούλευσης με ομάδες συμμετεχόντων και στοχεύει στον εκσυγχρονισμό και την εναρμόνιση των δραστηριοτήτων του δήμου για τη μετάβαση στην πραγματικότητα της έξυπνης πόλης. Οι σημαντικότερες πρωτοβουλίες που έχουν ληφθεί από την πόλη του Τορίνο είναι:

-Σχέδιο δράσης για τη βιώσιμη ενέργεια: στοχεύει στη μείωση εκπομπών CO₂ κατά 40% μέσα από τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της υφιστάμενης κτιριακής υποδομής, την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, την κατάρτιση ενός σχεδίου μεταφορών με ιδιαίτερη σημασία στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς.

-Έξυπνο σχολείο: πρόγραμμα δράσης για την ευαισθητοποίηση της σχολικής κοινότητας σε θέματα περιβαλλοντικής σημασίας και τη δράση της στη διαμόρφωση της έξυπνης πόλης.

-Ενεργειακό κέντρο: πρότυπο κέντρο ενεργειακών καινοτομιών που επιδρούν θετικά στην προστασία του περιβάλλοντος.

-BIP(Business Integrated Piedmont) : ηλεκτρονικό σύστημα έκδοσης εισιτηρίων που επιτρέπει την πρόσβαση σε οποιοδήποτε μέσο μαζικής μεταφοράς, σε οποιαδήποτε περιοχή της πόλης, με στόχο τη διευκόλυνση και βελτίωση του δημοσίου δικτύου συγκοινωνιών.

- Open: ανοιχτή διαδικτυακή πύλη, η οποία επιτρέπει την πρόσβαση σε δημόσια δεδομένα σε όλους τους χρήστες. [57] [64] [65]

- Geoportal: διαδικτυακή πύλη για πρόσβαση σε γεωγραφικές πληροφορίες της πόλης και προηγμένα εργαλεία χαρτογράφησης.



Εικόνα 3.5: Απεικόνιση έξυπνων χαρακτηριστικών της πόλης του Τορίνο.

4. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ-ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Το Ακέραιο Πρόβλημα Τριπλής Κατανομής (Three Way Integer Partitioning Problem) που εξετάζουμε σε αυτήν πτυχιακή, ταυτίζεται με το πρόβλημα της επίτευξης συμμετρικής φόρτισης των φάσεων του ηλεκτρικού δικτύου. Μέσω δύο αλγορίθμων που αναπτύξαμε θα εξετάσουμε ποιος είναι ο κατάλληλος για την πρακτική λύση του προβλήματος μας. Ο πρώτος αλγόριθμος ονομάζεται “Naive” και δημιουργήθηκε με σκοπό την αντιμετώπιση του προβλήματος μας με πολύ λιτό τρόπο. Ο δεύτερος αλγόριθμος ονομάζεται “Advanced”, η βάση του είναι από τη διεθνή βιβλιογραφία και πραγματοποιήθηκε παρέμβαση ως προς τον κώδικα του. Στο Κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστούν οι δύο αλγόριθμοι, θα αναλυθεί η λειτουργία τους βήμα προς βήμα και στο τέλος θα προκριθεί η βέλτιστη λύση.

Για την ορθή προσέγγιση του προβλήματος μας, θεωρούμε ότι το δίκτυο μας είναι τριφασικό. Κάθε θετικός ακέραιος αριθμός αντιπροσωπεύει την ισχύ ενός εισερχόμενου φορτίου. Τα τρία υποσύνολα, sum_1 , sum_2 , sum_3 , αντιστοιχούν στις τρεις φάσεις του ηλεκτρικού δικτύου. Αντικειμενικός στόχος των αλγορίθμων είναι να πραγματοποιήσουν όσο το δυνατόν πιο ίση κατανομή γίνεται. Δηλαδή, τα τρία υποσύνολα μετά την εξέταση κάθε πιθανής εισόδου(φορτίο) πρέπει να δίνουν ίσο άθροισμα, δηλαδή $sum_1=sum_2=sum_3$. Οι εισοδοί, δηλαδή οι τιμές ισχύς, είναι ενδεικτικές και εξετάζουμε ένα μεγάλο πλήθος αριθμών διαφορετικής δυναμικής. Το εύρος τιμών μας κυμαίνεται από 0 έως 100 [0, 100] και η μονάδα μέτρησης των τιμών αυτών είναι το κιλοβάτ (kW). Για να συγκρίνουμε τους δύο αλγορίθμους θα μετρήσουμε το χρόνο που κάνει ο κάθε αλγόριθμος να «τρέξει». Τέλος, εξετάζουμε τομείς της μηχανολογίας στους οποίους οι δύο αλγόριθμοι, καθώς και το Ακέραιο Πρόβλημα Τριπλής Κατανομής, βρίσκουν πιθανές εφαρμογές.

4.2 Παρουσίαση απλού αλγορίθμου

Ο πρώτος αλγόριθμος που αναπτύχθηκε, ο “Naive”, ανήκει στην κατηγορία αλγορίθμων Εξάντλησης (Brute Force) και αποτελεί τον πιο συχνό τρόπο επίλυσης ενός προβλήματος. Βασική ιδέα της μεθόδου αυτής είναι η παραγωγή όλων των πιθανών λύσεων και ο έλεγχος τους για το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο αλγόριθμος Naive έχει την παρακάτω μορφή:

```

def partition(list_input):
    initial_state = [[set() for _ in range(3)]]
    return auxiliary(list_input, initial_state)

def auxiliary(my_list, state):
    if not my_list:
        return state
    else:
        head = my_list.pop(0)

        new_state = []

        for elem in state:

            for k_idx in range(3):

                new_set = copy.deepcopy(elem)

                new_set[k_idx].add(head)

                new_state.append(new_set)
            else:
                return auxiliary(my_list, new_state)

def find_sums(partitions):
    min_sum = math.inf
    min_dist = math.inf
    closest_solution = None
    absolute_solution = None

    for part in partitions:
        sum_1 = sum(part[0])
        sum_2 = sum(part[1])
        sum_3 = sum(part[2])
        sums = [sum_1, sum_2, sum_3]

        if sum_1 == sum_2 == sum_3:
            if sum_1 < min_sum:
                min_sum = sum_1
                absolute_solution = part

        elif max(sums) - min(sums) < min_dist:
            closest_solution = part
            min_dist = max(sums) - min(sums)

    solution = absolute_solution or closest_solution

```

```

return [list(elem) for elem in solution]

def three_way_naive(inp):
    partitions = partition(inp)
    return find_sums(partitions)

```

Ο αλγόριθμος “Naive” υλοποιεί το Ακέραιο Πρόβλημα Τριπλής Κατανομής (Three Way Integer Partitioning Problem) στην πιο απλή του μορφή. Αρχικά, υπολογίζουμε όλα τα δυνατά partitions της εισόδου, δηλαδή τα πιθανά 3way σύνολα που μπορούν να προκύψουν από το αρχικό. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος ελέγχει εξαντλητικά αν το κάθε partition(σύνολο) αποτελεί και λύση. Εφόσον δημιουργούμε πρώτα όλες τις δυνατές λύσεις, ψάχνουμε μέσα σε αυτές την καλύτερη. Έτσι προκύπτει ο αλγόριθμος εξαντλητικής αναζήτησης (Brute Force).

Ο χρόνος εκτέλεσης του “Naive” ή αλλιώς η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου υπολογίζεται με τον εξής τρόπο:

Για την κατασκευή όλων των δυνατών partitions χρησιμοποιούμε μια αναδρομή, στην οποία παίρνουμε το πρώτο στοιχείο της εισόδου και το τοποθετούμε σε κάθε ήδη υπάρχον σύνολο. Με την προϋπόθεση ότι για κάθε υπάρχον σύνολο μπορούμε να βάλουμε το νέο στοιχείο σε τρεις θέσεις, το νέο σύνολο που θα προκύψει θα έχει τριπλάσιο αριθμό στοιχείων. Επομένως για n στοιχεία θα έχουμε 3^n δυνατά partitions(σύνολα) και η πολυπλοκότητα του παραπάνω βήματος είναι $O(3^n)$.

Για την εύρεση της λύσης θα πρέπει να διατρέξουμε όλα τα δυνατά σύνολα και να βρούμε το καλύτερο. Ουσιαστικά πρόκειται για μια γραμμική αναζήτηση σε μία λίστα μήκους 3^n και η πολυπλοκότητα του βήματος αυτού είναι επίσης $O(3^n)$.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως η συνολική πολυπλοκότητα του “Naive” αλγορίθμου είναι: $2 \cdot O(3^n)$. Για να «τρέξει» ο αλγόριθμος τοποθετούμε όπου input μία λίστα με τις τιμές που θέλουμε σαν είσοδο. Για έξοδο ο αλγόριθμος μας επιστρέφει μια λίστα με τα σύνολα που βρίσκει.

4.3 Επεξήγηση βημάτων Naive αλγορίθμου

```
def partition(list_input):
```

Τοποθετούμε τη λίστα εισόδων, όπου λίστα εισόδων είναι οι τιμές ισχύς του ηλεκτρικού φορτίου. Έτσι δημιουργείται μια αρχική κατάσταση, η οποία είναι μια λίστα, η οποία περιλαμβάνει τρία άδεια σύνολα.


```
initial_state = [[set() for _ in range(3)]]
return auxiliary(list_input, initial_state): Auxiliary είναι η συνάρτηση που εκτελεί τη βασική λειτουργία του αλγορίθμου.
```

`def auxiliary(my_list, state)`: Στην περίπτωση που η λίστα είναι άδεια επιστρέφεται η αρχική κατάσταση, η οποία είναι και το αποτέλεσμα. Αν η λίστα δεν είναι άδεια, το πρώτο στοιχείο της λίστας αποβάλλεται. Δημιουργείται μια νέα κατάσταση, η οποία θα κρατήσει όλα τα νέα σύνολα που προέκυψαν από την αρχική κατάσταση.

```
# If my_list is empty then return the state, which is the result
if not my_list:
    return state
else:
    # If my_list is not empty then we do the following steps

    # First, remove the first element from the list
    head = my_list.pop(0)

    # We create a new_state variable that will hold all the new states
    # generated from the state argument.
    new_state = []

    # We take each element of the given state
    for elem in state:

        # We put the head of the list that we popped before in each of the
        # 3 sets of the state's element and we insert these sets in the
        # new_state list
        for k_idx in range(3):

            # Copy the current state's element
            new_set = copy.deepcopy(elem)

            # Add the element in the k'th position of the current element
            new_set[k_idx].add(head)

            # Save the new set in the new_state
            new_state.append(new_set)
        else:
            # After all elements are taken, call the same function but give it
            # the reduced list and the new_state
            return auxiliary(my_list, new_state)
```

`def find_sums(partitions)`: Συνάρτηση σκοπός της οποίας είναι να βρει το καλύτερο partition (σύνολο). Τα σύνολα που προκύπτουν πρέπει να έχουν ίδιο άθροισμα ή τουλάχιστον όσο κοντινό άθροισμα γίνεται.

```

# Initializations. Give the min_sum and min_dist (minimum distance)
# variables the maximum value they can take which is infinity
min_sum = math.inf
min_dist = math.inf
closest_solution = None
absolute_solution = None

# For each partition we calculated, we examine if it is the best possible
# combination
for part in partitions:

# We calculate the sum of each subset
sum_1 = sum(part[0])
sum_2 = sum(part[1])
sum_3 = sum(part[2])

# We store them in a list
sums = [sum_1, sum_2, sum_3]

# If the 3 sums are equal then we have found a candidate solution
if sum_1 == sum_2 == sum_3:

# If this sum is less than the minimum
if sum_1 < min_sum:
# Set it as the minimum sum
min_sum = sum_1

# Keep this partition as the best absolute_solution
absolute_solution = part

# If the 3 sums are not equal then we will check if they are close
# enough
# We check if the difference between the maximum and the minimum sum
# is less than the minimum difference we have already calculated
elif max(sums) - min(sums) < min_dist:

# If yes, then we keep this partition as a candidate solution
closest_solution = part

# Set this difference as the minimum found
min_dist = max(sums) - min(sums)

# Solution is the absolute solution (if found any) or the closest solution
# otherwise
solution = absolute_solution or closest_solution

# Return the solution as a list of lists
return [list(elem) for elem in solution]

```

```
def three_way_naive(inp):

# Find all the possible partitions
partitions = partition(inp)

# Find the best set
return find_sums(partitions): επιστρέφει την τελευταία βέλτιστη λύση που βρήκε ο
αλγόριθμος στη λίστα των partitions(συνόλων).
```

Σημείωση: Οι σειρές με πράσινη γραμματοσειρά αποτελούν επεξηγηματικά σχόλια για τις συνθήκες που εκτελεί ο αλγόριθμος μας.

4.4 Παρουσίαση σύνθετου αλγορίθμου και επεξήγηση

Ο δεύτερος αλγόριθμος που αναπτύχθηκε, ο “Advanced”, ανήκει στην κατηγορία προσεγγιστικών αλγορίθμων. Ο “Advanced” συγκεκριμένα ανήκει στην κατηγορία αλγορίθμων της Άπληστης Μεθόδου (Greedy Method). Κύριο χαρακτηριστικό της είναι η αυξητική παραγωγή της λύσης, εκτελώντας συνεχώς μια αντιστρεπτή άπληστη επιλογή με βάση κάποιο συγκεκριμένο κριτήριο. Για την αντιμετώπιση του Three Way Integer Partitioning Problem ο αλγόριθμος μας καλεί μια συνάρτηση, η οποία είναι η ελαχιστοποίηση του μεγαλύτερου αθροίσματος. (Minimizing The Largest Sum). Ο αλγόριθμος “Advanced” έχει της εξής μορφή:

```
def reverse_insert(a, x, lo=0, hi=None):
    if lo < 0:
        raise ValueError('lo must be non-negative')
    if hi is None:
        hi = len(a)
    while lo < hi:
        mid = (lo+hi)//2
        if x > a[mid]: hi = mid
        else: lo = mid+1
    a.insert(lo, x)

def three_way(inp):
    number_of_groups = 3
    input_list = []
    groups = None
```

```

for element in inp:
    reverse_insert(input_list, element)

groups = [[] for _ in range(number_of_groups)]
for i in input_list:
    groups.sort(key=lambda x: sum(x))
    groups[0].append(i)

return groups

```

Για Είσοδο έχουμε: n αριθμοί, θετικοί ακέραιοι $A = \{ a_1, \dots, a_n \}$, όπου

$A_i = \{ a_1, \dots, a_i \}$.

Για Έξοδο έχουμε: για $i=1, \dots, n$:

Προκύπτουν τρία γκρουπ που διαμερίζουν το σύνολο A_i σε όσο το δυνατόν πιο ίσα μοιρασμένα κομμάτια. Δηλαδή το άθροισμα των στοιχείων του κάθε γκρουπ είναι όσο το δυνατόν πιο κοντινό. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε να ορίσουμε αυτήν την έννοια, προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσουμε το άθροισμα των στοιχείων του μεγαλύτερου εκ των τριών γκρουπ.

Συνάρτηση `reverse_insert`: Δέχεται ως είσοδο μια λίστα που είναι ανάποδα ταξινομημένη (κατά φθίνουσα σειρά) και ένα στοιχείο που θέλουμε να εισάγουμε στη λίστα με σκοπό αυτή να παραμείνει ανάποδα ταξινομημένη. Η εισαγωγή του στοιχείου στη λίστα γίνεται αξιοποιώντας την τεχνική της “Δυσιαδικής αναζήτησης”.

Αρχικά ορίζουμε το πλήθος των γκρουπ που θέλουμε να χωρίσουμε, δηλαδή τρία. Επίσης αρχικοποιούμε την (κενή αρχικά) λίστα με τα στοιχεία εισόδου στη μεταβλητή `input_list`. Ακολουθώς ορίζουμε από ποιο αρχείο θα διαβάσουμε τα στοιχεία εισόδου και σε ποιο αρχείο θα γράψουμε τα αποτελέσματα μας. «Τρέχουμε» τον αλγόριθμο μας n φορές, όσα και τα στοιχεία εισόδου, όπου στην i επανάληψη καλούμαστε να λύσουμε το πρόβλημα `Three Way Partition`, με είσοδο το σύνολο $A_i = \{ a_1, \dots, a_i \}$. Εισάγουμε το νέο στοιχείο στη λίστα των στοιχείων εισόδου, χωρίς να επηρεάσουμε την ιδιότητα της ανάποδης ταξινόμησης, αξιοποιώντας τη `reverse_insert`. Έπειτα, εισάγουμε διαδοχικά τα στοιχεία της λίστας στα γκρουπ, βάζοντας το τρέχων στοιχείο κάθε φορά στο γκρουπ ελαχίστου αθροίσματος. Τέλος, τυπώνουμε την έξοδο στο αρχείο `output.txt`.

Επιλέξαμε προσεγγιστικό αλγόριθμο για την αντιμετώπιση του `Three Way Integer Partitioning Problem`, αφού το πρόβλημα αυτό ανήκει αποδεδειγμένα στην κλάση προβλημάτων NP (Nondeterministic Polynomial-Time). Αυτό σημαίνει ότι το πρόβλημα μας είναι υπολογιστικά δύσκολο εντός πολυωνιμικού χρόνου. Για αυτής της κλάσης τα προβλήματα δεν ξέρουμε κάποιον αποδοτικό τρόπο λύσης για να έχουμε σαν αποτέλεσμα τη βέλτιστη απάντηση. Για να παρακαμφθεί αυτή η δυσκολία, επιλέγουμε την κατηγορία προσεγγιστικών αλγορίθμων. [66] [67]

Με αυτήν την επιλογή, το αποτέλεσμα, η έξοδος δηλαδή του “Advanced” αλγορίθμου, δεν είναι η βέλτιστη αλλά αποτελεί μια λύση εγγυημένα πολύ κοντά στη βέλτιστη, επιτρέποντας μας να λυθεί το πρόβλημα σε πολυωνιμικό χρόνο. Διευκρινιστικά, έχουμε εγγύηση ότι η λύση μας είναι αρκετά καλή, ανήκει δηλαδή στο σύνολο των καλύτερων προσεγγιστικών λύσεων. [68]

Η πολυπλοκότητα του προσεγγιστικού αλγορίθμου σε θεωρητικό επίπεδο είναι της τάξεως: $n \cdot \log n$, όπου n είναι το πλήθος στοιχείων που θέλουμε να μοιράσουμε στα τρία γκρουπ. Για να «τρέξει» ο αλγόριθμος τοποθετούμε όπου input μία λίστα με τις τιμές που θέλουμε σαν είσοδο. Για έξοδο ο αλγόριθμος μας επιστρέφει μια λίστα με τα σύνολα που βρίσκει.

4.5 Σύγκριση αλγορίθμων και τελική επιλογή

Για την αποτελεσματική λύση του προβλήματος μας είναι αναγκαίο να συγκρίνουμε τους δύο αλγόριθμους. Ειδικά, «τρέχουμε» και τους δύο αλγόριθμους και μετράμε το χρόνο εκτέλεσης. Το πλήθος ακέραιων αριθμών προς 3way κατανομή ισούται με δεκαπέντε (15).

Φτιάχνουμε μια λίστα με N τυχαίους ακέραιους αριθμούς στο εύρος $[0, 100]$. Αυτοί οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τις τιμές ισχύς φορτίου. Μετά τη σύγκριση, θα παρουσιαστεί αντίστοιχος πίνακας με τα αποτελέσματα χρόνου εκτέλεσης και μια γραφική παράσταση που θα απεικονίζει τη διαφορά μεταξύ των δύο πιθανών μας λύσεων. Η σύγκριση πραγματοποιείται μέσα από τον παρακάτω αλγόριθμο:

```
def generate_random_input(n):
    """
    Generate a random list of n integers between [0, 100]
    """
    return [randint(1, 100) for _ in range(n)]

def collect_stats(N):
    """
    Run both algorithm (Naive and Advanced) and compare their results
    """
    # Initializations
    # Lists to store the time of the algorithms
    adv_sol = []
    naive_sol = []

    # Repeat N times
    for n in range(1, N):

        # Create random integer list
        random_input = generate_random_input(n)

        # Start timer
        start = time.time()
```

```

three_way(random_input) # execute algorithm
adv_sol.append(time.time() - start) # store time

# Same but with naive
start = time.time()
three_way_naive(random_input)
naive_sol.append(time.time() - start)
else:

# Return both advanced and naive times
return adv_sol, naive_sol

```

Σημείωση: Οι σειρές με πράσινη και κόκκινη γραμματοσειρά αποτελούν επεξηγηματικά σχόλια.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι χρόνοι εκτέλεσης των δύο αλγορίθμων.

Πλήθος ακέραιων αριθμών N για 3way κατανομή	Χρόνος για Naive αλγόριθμο (seconds)	Χρόνος για Advanced αλγόριθμο (seconds)
1	4.00543212890625e-05	4.0531158447265625e-06
2	0.00020837783813476562	4.291534423828125e-06
3	0.0009348392486572266	7.3909759521484375e-06
4	0.0023734569549560547	1.049041748046875e-05
5	0.004160642623901367	1.4066696166992188e-05
6	0.014902591705322266	1.7881393432617188e-05
7	0.044561147689819336	2.9802322387695312e-05
8	0.15632200241088867	4.839897155761719e-05
9	0.4335618019104004	3.814697265625e-05
10	1.3215720653533936	4.57763671875e-05
11	4.392230749130249	6.4849853515625e-05
12	14.409930944442749	5.698204040527344e-05
13	46.242390871047974	5.984306335449219e-05
14	137.28688049316406	0.000141143798828125
15	434.19799733161926	7.939338684082031e-05

Πίνακας 2 : Σύγκριση χρόνων εκτέλεσης των αλγορίθμων.

Οι μεταβλητές μας για τη σύγκριση των αλγορίθμων στη γραφική παράσταση είναι οι εξής:

N: μέχρι τι μέγεθος λίστας «τρέχουμε» τη σύγκριση.

xlabel: τι γράφει ο οριζόντιος άξονας στο διάγραμμα.

ylabel: τι γράφει ο κατακόρυφος άξονας στο διάγραμμα.

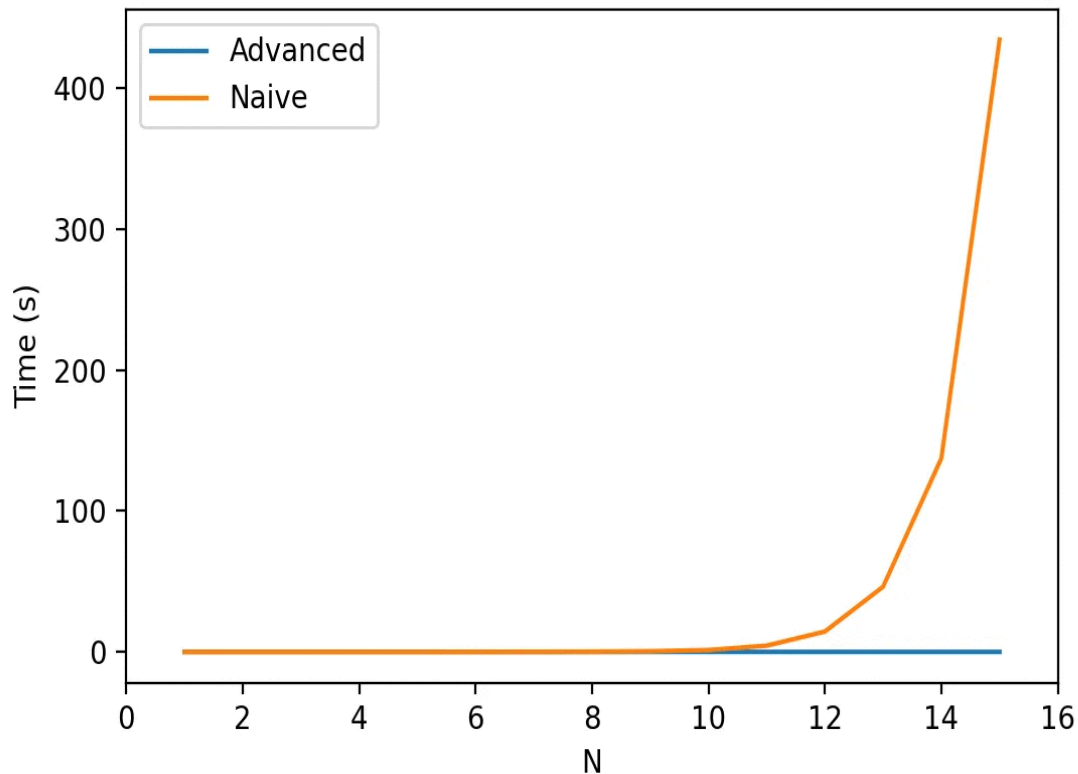
title: ο τίτλος του γραφήματος.

scale: η κλίμακα του κατακόρυφου άξονα. Στην περίπτωση μας επιλέξαμε “linear”, δηλαδή γραμμική, ώστε να αποτυπώνεται καλύτερα η διαφορά.

```
N = 16
title = 'Comparison between Advanced and Naive 3-
way Partition Algorithm'
xlabel = 'N'
ylabel = 'Time (s) '
scale = 'linear'
legend = True

save = True
savename = 'savename.png'
```

Comparison between Advanced and Naive 3-way Partition Algorithm



Εικόνα 4.1: Γραφική απεικόνιση διαφοράς χρόνου για τους αλγόριθμους.

Μελετώντας τον Πίνακα 2 και τη γραφική παράσταση, παρατηρούμε πως η διαφορά του χρόνου εκτέλεσης μεταξύ του Naive και του Advanced αλγορίθμου είναι πολύ μεγάλη. Συγκεκριμένα, από $N=1$ έως $N=12$, οι διαφορές χρόνου είναι σχετικά μικρές. Από $N=12$ μέχρι και για $N=15$, η εκθετική αύξηση του χρόνου που σημειώνει ο Naive αλγόριθμος είναι εντυπωσιακή. Παράλληλα, σημειώνουμε πως η επαναληψιμότητα του αλγορίθμου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο. Ο απλός αλγόριθμος μας καθυστερεί ακόμα περισσότερο για κάθε ακέραιο προς κατανομή, ενώ ο σύνθετος βελτιώνει το χρόνο εκτέλεσης του και διατηρείται σχετικά σταθερός. Ο αλγόριθμος Advanced είναι πολύ πιο αποτελεσματικός και γρήγορος, κάτι που επιβεβαιώνεται και από το θεωρητικό υπόβαθρο των δύο αλγορίθμων ως προς την πολυπλοκότητα (Πολυπλοκότητα Naive: 2^n έναντι Πολυπλοκότητα Advanced: $n \cdot \log^* n$). Όπως έχει επισημανθεί, το Three Way Integer Partitioning Problem το αντιμετωπίζουμε ως πρόβλημα εφαρμογής. Επομένως, ο χρόνος επίλυσης του αλγορίθμου πρέπει να ανταποκρίνεται στο πρόβλημα μας και να είναι όσο πιο χαμηλός γίνεται. Σε ένα τριφασικό δίκτυο, οι εισερχόμενες τιμές ισχύς είναι πολλαπλές και διαφορετικού μεγέθους και ο αλγόριθμος πρέπει να ανταποκρίνεται άμεσα και να πραγματοποιεί την κατάλληλη κατανομή, χωρίς περαιτέρω καθυστέρηση. Κατά συνέπεια, επιλέγουμε τον Advanced αλγόριθμο, αφού μας δίνει μια σχεδόν βέλτιστη λύση και μέσα σε ικανοποιητικό χρονικό διάστημα.[69]

Κομβικός παράγοντας για την επιλογή μας αποτελεί ότι εξετάζουμε το Ακέραιο Πρόβλημα Τριπλής Κατανομής ως πρακτικό ζήτημα που χρήζει αντιμετώπιση για

εφαρμογή σε ρεαλιστικό χρόνο. Καταλήγοντας, ο κάθε αλγόριθμος ουσιαστικά παράγει ένα και μοναδικό αποτέλεσμα ως λύση του προβλήματος. Όμως, υπάρχει το ενδεχόμενο το πρόβλημα να έχει δύο ή και περισσότερες λύσεις, το ίδιο καλές. Ο αλγόριθμος Advanced επιλέγει σαν έξοδο μία από αυτές τις λύσεις, όχι με βάση κάποιο συγκεκριμένο κριτήριο αλλά με τυχαία σειρά. Αντίθετα, ο αλγόριθμος Naive παράγει σαν λύση την τελευταία βέλτιστη που έχει βρει στα σύνολα.

4.6 Εφαρμογές των αλγορίθμων στη Μηχανολογία

Οι αλγόριθμοι που παρουσιάστηκαν σε αυτό το Κεφάλαιο έχουν την προοπτική για εφαρμογή σε διάφορους τομείς της Μηχανολογίας. Για την πρακτική υλοποίησή τους απαιτείται η λεπτομερής ανάλυση του προβλήματος που καλούνται να αντιμετωπίσουν, αφού οι παράγοντες κάθε προβλήματος διαφοροποιούν τον κώδικα των αλγορίθμων. Το πρόβλημα της επίτευξης συμμετρικής φόρτισης των φάσεων του ηλεκτρικού δικτύου ταυτίζεται με το Ακέραιο Πρόβλημα Τριπλής Κατανομής (Three Way Integer Partitioning Problem). Αντίστοιχα, και στον τομέα της Μηχανολογίας είναι αναγκαίο να υπάρξει ταύτιση του Προβλήματος Κατανομής με ένα παρόμοιο ζήτημα. Αυτό το ζήτημα προκύπτει από την έρευνα και την εμπειρική μελέτη σε τομείς της Μηχανολογίας, όπως η Μηχανική Ρευστών, η Θερμοδυναμική, ο Σχεδιασμός Μηχανολογικών Εγκαταστάσεων και τα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου. Στους παραπάνω τομείς, οι αλγόριθμοι μας έχουν άμεση εφαρμογή και μπορούν να αντιμετωπίσουν πρόβλημα (τριπλής) κατανομής, όπου αυτό χρειάζεται. Κομβικό παράγοντα αποτελεί η λεπτομερής εξέταση του τομέα, καθώς και η σχεδίαση του προβλήματος σε υποπροβλήματα, ώστε να προκύψει η ταύτιση του με τη γενική ιδέα των αλγορίθμων μας. Επιπροσθέτως, οι παράμετροι του αλγορίθμου, όπως η είσοδος μεταβάλλεται, επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο και το τελικό αποτέλεσμα του (έξοδος). Σαν παράδειγμα εφαρμογής των αλγορίθμων μας, μπορεί να δοθεί η ισότιμη κατανομή ρευστού σε δεξαμενές για αποθήκευση και χρήση.

Αναλόγως τη φύση του προβλήματος αλλά και τον τομέα της Μηχανολογίας που θέλουμε να εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο “Naive” και “Advanced”, προκύπτει και η βέλτιστη λύση. Είναι πιθανό ο απλός αλγόριθμος μας, ο Naive, να προκρίνεται σαν καλύτερη λύση σε ένα μηχανολογικό ζήτημα από το σύνθετο αλγόριθμο. Ο “Advanced” αλγόριθμος προτιμήθηκε στο πρόβλημα μας ύστερα από σύγκριση, αφού ταιριάζει με τις συνθήκες εφαρμογής (γρήγορος χρόνος επίλυσης, συνεχής ανακατανομή τιμών). Σε παρόμοιο ζήτημα κατανομής στη Μηχανολογία, οι συνθήκες εφαρμογής και τα κριτήρια επιλογής αλλάζουν, με αποτέλεσμα η σύγκριση των δύο αλγορίθμων να είναι αναγκαία και η τελική επιλογή να μην είναι η προφανής.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία μελετήθηκε εκτενώς το πρόβλημα Τριπλής Κατανομής (Three Way Integer Partitioning Problem) και η συσχέτιση αυτού με το πρακτικό ζήτημα της συμμετρικής φόρτισης φάσεων στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόκειται για ένα επιστημονικά σύνθετο ζήτημα, το οποίο με την κατάλληλη προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε άμεσα αποτελέσματα εφαρμογής σε πολυάριθμους επιστημονικούς κλάδους. Το πρόβλημα αναλύθηκε σε θεωρητικό επίπεδο και στη συνέχεια δόθηκαν δύο αλγόριθμοι που στοχεύουν στην αντιμετώπιση του σε επίπεδο εφαρμογής σε ρεαλιστικό χρόνο. Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 4, η αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων είναι ανάλογη της πολυπλοκότητάς τους και ενδεχομένως με περισσότερη διατριβή να καταλήγαμε σε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Οι δύο προτεινόμενες λύσεις δεν αποτελούν τις βέλτιστες, αφού κάτι τέτοιο απαιτεί εξειδίκευση και μέσα που οδηγούν σε έρευνα επαγγελματικών προδιαγραφών, ειδικά για ένα τόσο περίπλοκο μαθηματικό και υπολογιστικό πρόβλημα. Ο σύνθετος αλγόριθμος (Advanced) είναι η τελική επιλογή μας, αφού προσαρμόζεται στα δεδομένα του Προβλήματος Κατανομής και ανταποκρίνεται σε θεαματικό βαθμό στα ζητούμενα του.

Προβλήματα εφαρμογής, όπως αυτό που μελετήσαμε, αποτελούν το «συνδυαστικό κρίκο» ανάμεσα στην τεχνολογία του παρελθόντος και στην τεχνολογία του αύριο. Η μελέτη για τη λύση παρόμοιων ζητημάτων διευκολύνουν τη μετάβαση στη νέα εποχή της τεχνολογίας σε συλλογικό και παγκόσμιο επίπεδο. Η εξοικονόμηση ενέργειας, η προστασία του περιβάλλοντος και η συνεχής αύξηση ζήτησης στον ενεργειακό τομέα αποτελούν βασικούς λόγους για την προώθηση της νέας εποχής τεχνολογίας και την υιοθέτηση μοντέλων όπως αυτό των «Έξυπνων Δικτύων» και των «Έξυπνων Πόλεων». Σε κάθε τομέα οι εποχές αλλάζουν και η αναβάθμιση δεν αποτελεί πλέον επιλογή, αλλά ανάγκη. Το νέο μοντέλο ζωής, όπως αυτό έχει ήδη εφαρμοστεί σε πολλαπλές πόλεις ανά τον κόσμο, έχει σαν στόχο την αύξηση ποιότητας της ζωής των ανθρώπων και την προστασία του πλανήτη μας. Ειδοποιός διαφορά ανάμεσα στο «χθες» και στο «αύριο» είναι το όφελος που λαμβάνουν και οι δύο πλευρές, δηλαδή και ο άνθρωπος και το περιβάλλον. Μέχρι και τη σημερινή εποχή ο άνθρωπος επιλέγει να ζει εις βάρος του περιβάλλοντος, αγνοώντας πιθανούς κινδύνους που είναι πιθανό να έχουν καταστρεπτικές συνέπειες με άμεσο ή με έμμεσο τρόπο. Η τεχνολογία και τα μέσα είναι πλέον διαθέσιμα και η ολική προσπάθεια που θα οδηγήσει σε ένα καλύτερο μέλλον μπορεί να προχωρήσει άμεσα σε εφαρμογή.

Τα «Έξυπνα Δίκτυα», όπως παρουσιάστηκαν και στο Κεφάλαιο 2, χαρακτηρίζονται από εμφανή πλεονεκτήματα. Λειτουργικά προσφέρουν τη λύση σε πολλά από τα ζητήματα που προκύπτουν λόγω της πολυετούς χρήσης των ήδη υφιστάμενων εγκαταστάσεων, όμως το θέμα της ιδιωτικότητας και της ασφάλειας τους δημιουργεί έντονα ερωτήματα. Ουσιαστική πρόταση για την αντιμετώπιση του ζητήματος αυτού, αποτελεί η εξασφάλιση προστασίας για τα προσωπικά δεδομένα των πολιτών. Οι οργανισμοί και οι κυβερνήσεις οφείλουν να προβούν σε έρευνα και δράσεις, ώστε τα προβλήματα ασφαλείας να περιοριστούν στο μέγιστο βαθμό, ειδάλλως το νέο

μοντέλο ζωής αποτελεί ένα δρόμο χωρίς επιστροφή, αφού οι κοινωνικές συνέπειες θα είναι ολέθριες. Ο άνθρωπος οφείλει να χρησιμοποιεί την τεχνολογία προς το όφελός του και στις περιπτώσεις που ο άνθρωπος γίνεται το «προϊόν» και η παραβίαση ανθρωπίνων δικαιωμάτων γίνεται συνήθεια, απαιτείται παρέμβαση και αναθεώρηση της κατάστασης.

Οι «Έξυπνες Πόλεις» περιλαμβάνουν τα «Έξυπνα Δίκτυα» και η εφαρμογή τους προτείνεται να υλοποιείται τμηματικά και όχι συνολικά. Προηγμένες πόλεις, όπως το Τορίνο, έχουν προχωρήσει στη ριζική αλλαγή της πόλης και τα αποτελέσματα φαίνεται να είναι ενθαρρυντικά. Η λειτουργικότητα των πόλεων βελτιώνεται κομβικά και οι πολίτες υιοθετούν ένα νέο, πιο προηγμένο, τρόπο ζωής. Σε πιθανές βλάβες, η ανταπόκριση είναι άμεση και οι ζημιές περιορίζονται. Όμως, ο κίνδυνος παραβίασης παραμένει σταθερά υψηλός, υπενθυμίζοντας την ανάγκη για συνεχή έρευνα και βελτίωση στο συγκεκριμένο τομέα.

Με τη χρήση αλγορίθμων, πολύπλοκα προβλήματα εφαρμογής που αφορούν τα «Έξυπνα Δίκτυα» απλοποιούνται. Το νέο ανεπτυγμένο μοντέλο ζωής φέρνει την τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence) σε πρώτο πλάνο. Η αυτοματοποίηση και η εφαρμογή έξυπνων μηχανών και εφαρμογών προσφέρουν τη γρήγορη ανάλυση δεδομένων και την αύξηση του επιπέδου της λειτουργικότητας των δικτύων και των πόλεων στο μέγιστο, με στόχο τη διευκόλυνση των πολιτών και της καθημερινής ζωής. Όσα έχουν επιτευχθεί μέχρι τη σημερινή εποχή στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης θεωρούνται σπουδαία βήματα, αλλά η εξέλιξή της βρίσκεται ακόμα σε πρωταρχικά στάδια. Η ανάγκη για εκσυγχρονισμό, σε συνδυασμό με την προστασία και την ασφάλεια των πολιτών, καθώς και η ελαχιστοποίηση πιθανών κινδύνων όπως έχουν αναφερθεί, πρέπει να θεωρηθεί ως η μοναδική «οδός» που καλούμαστε να ακολουθήσουμε για ένα αρμονικό αποτέλεσμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://www.codeproject.com/Articles/1265125/Fast-and-Practically-perfect-Partition-Problem-Sol>
- [2] El-Hawary, M.E.: Electrical Energy Systems. CRC Press, Boca Raton (2018)
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/3-partition_problem
- [4] Garey, M.R., Johnson, D.S.: Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. W. H. Freeman, New York (1979)
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Brute-force_search
- [6] <https://arxiv.org/ftp/cond-mat/papers/0310/0310317.pdf>
- [7] An ASP-Based Approach for Phase Balancing in Power Electrical Systems Paper By Theofanis Aravanis, Andreas Petratos, and Georgia Douklia
- [8] THOMAS H. CORMEN LEISERSON CHARLES E. RIVEST RONALD L. STEIN CLIFFORD/ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ/Νέα έκδοση 2016. Μετάφραση της 3ης αμερικανικής έκδοσης
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/Algorithm>
- [10] <https://docplayer.gr/8175146-5-eisagogi-sti-theoria-algorithmon.html>
- [11] Σ. Ζάχος, Δ. Φωτάκης. «Μηχανές Turing και Υπολογισιμότητα» (PDF). Διαφάνειες μαθήματος στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [12] ΡΥΤΗΘΝ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ/ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΑΒΟΥΡΗΣ ΜΙΧΑΗΛ ΚΟΥΚΙΑΣ ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΛΙΟΥΡΑΣ ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΣΓΑΡΜΠΑΣ/4η αναθεωρημένη και επαυξημένη έκδοση
- [13] <https://www.digitallife.gr/how-alan-turing-broke-the-enigma-code-video-45029>
- [14] http://repfiles.kallipos.gr/html_books/4410/Ch6.html
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Multiway_number_partitioning
- [16] <https://www.geeksforgeeks.org/approximation-algorithms/>
- [17] <https://news.mit.edu/2009/explainer-pnp>
- [18] <https://danielmiessler.com/study/pvsnp/>
- [19] <https://en.wikipedia.org/wiki/NP-completeness>
- [20] https://www.cs.uoi.gr/~loukas/courses/Algorithms_and_Data_Structures/index.files/approximation_algorithms_1.pdf

- [21] http://www2.aueb.gr/users/douros/algorithms/tutorials_2012/14_frontistirio_compl_ete.pdf
- [22] https://en.wikipedia.org/wiki/NP-completeness#Formal_definition
- [23] <https://corporate.kafkas.gr/d/eksupna-diktua-i-ilektriki-energeia-tou-mellontos-1004.htm?lang=el&path=-889385663>
- [24] <https://www.e-mc2.gr/el/vivliothiki/eidikes-tehnologies-kai-efarmoges-special-technologies-and-innovative-applications-3>
- [25] <https://www.enisa.europa.eu/topics/critical-information-infrastructures-and-services/smart-grids>
- [26] https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html
- [27] <https://smartgrid.epri.com>
- [28] Cambell R, The Smart Grid : Status and Outlook, April 201
- [29] European Technology Platform. Frequently Asked Questions. URL: <http://www.smartgrids.eu/FAQ> (visited on Feb. 27, 2016).
- [30] <https://gre.answersexpress.com/smart-grid-concept-characteristics-17030>
- [31] <https://electrical-engineering-portal.com/smart-grid-concept-and-characteristics>
- [32] https://www.smartgrid.gov/files/documents/Active_Distribution_Management_Demonstration_in_UK_200908.pdf
- [33] Παντίσκα Λεονάρδου, Έξυπνα Ενεργειακά Δίκτυα και Εφαρμογές, Διπλωματική Εργασία, 2016
- [34] Μπέλλος Παναγιώτης, Μαντικός Αλέξανδρος, Έξυπνα Ηλεκτρικά Δίκτυα και η Επίδρασή τους Σε Μηχανολογικές Διατάξεις, Διπλωματική Εργασία, 2021
- [35] C. Li et al., "Grid architecture for future distribution system — A cyber-physical system perspective," IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2017, pp. 5235-5239
- [36] https://www.researchgate.net/figure/Todays-grid-comparison-with-smart-grid_tbl1_268001553
- [37] Electric Power Research Institute. Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap. 2009.
- [38] Tony Flick and Justin Morehouse. Securing the Smart Grid: Next Generation Power Grid Security. Syngress, 2010.
- [39] <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/magazine/securing-smart-grid>
- [40] Αग्रιμάκης Βασίλειος, Ανάλυση Ασφάλειας και Απειλών σε Smart Grid και Καλές Πρακτικές , Διπλωματική Εργασία, 2018
- [41] Γιαννόπουλος Δημήτριος, Ασφάλεια και Προστασία Προσωπικών Δεδομένων Στο Έξυπνο Δίκτυο, Διπλωματική Εργασία, 2020

[42][https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%88%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CF%87%CE%BF%CF%82_%CF%80%CF%81%CF%8C%CF%83%CE%B2%CE%B1%CF%83%CE%B7%CF%82_\(%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%82\)](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%88%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CF%87%CE%BF%CF%82_%CF%80%CF%81%CF%8C%CF%83%CE%B2%CE%B1%CF%83%CE%B7%CF%82_(%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%82))

[43] <https://www.researchgate.net>

[44] www.citybranding.gr

[45]: Μυλωνοπούλου Ζωή, Η έννοια της «έξυπνης πόλης» ως προσέγγιση της σύγχρονης αστικής ανάπτυξης μέσα από τη μελέτη επιλεγμένων διεθνών και ελληνικών παραδειγμάτων, Διπλωματική Εργασία, 2018

[46]: Παναγιωτοπούλου Μ, Στρατηγέα Α, Σωμαράκης Γ, Έξυπνες πόλεις και βιώσιμη αστική ανάπτυξη- Παραδείγματα από τη Μεσογειακή και την Ελληνική Εμπειρία

[47]:https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%88%CE%BE%CF%85%CF%80%CE%BD%CE%B7_%CF%80%CF%8C%CE%BB%CE%B7

[48]: Θωμαδάκη Μαρία, Χαρακτηριστικά «Έξυπνων Πόλεων», Διπλωματική Εργασία, 2019-2020

[49]:<https://www.urenio.org/wp-content/uploads/2008/11/2006-ceadcebecf85cf80cebdceb5cf82-cf80cf8ccebcbceb5ceb9cf82-ceb1cf81cf87ceb9cf84ceadcebacf84cebfcabdceb5cf82-1.pdf>

[50]: Λαγού Ουρανία, Τζανή Αθανασία, Εφαρμογές Έξυπνης Πόλης, Διπλωματική Εργασία, 2019

[51]: <https://www.bbva.ch/en/news/advantages-and-disadvantages-of-smart-cities/>

[52]: Germaine Halegoua, Smart Cities by The MIT Press Essential Knowledge series

[53]: <https://global.linyang.com/el/news/what-are-smart-meters/>

[54]: <https://www.aplustopper.com/smart-city-advantages-and-disadvantages/>

[55]: <https://www.globalsign.com/en/blog/benefits-and-drawbacks-smart-cities>

[56]: www.e-trikala.gr

[57]: <https://smartcity.heraklion.gr/el/our-vision/>

[58]: <https://smartcity.cityofkozani.gov.gr/>

[59]:<http://www.diavouleusi.eu/diabouleyseis/ioannnina-smart-city-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%B9%CF%81%CE%B7%CF%83%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C-%CF%83%CF%87%CE%AD%CE%B4%CE%B9%CE%BF-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B4%CE%AE%CE%BC%CE%BF%CF%85-%CE%B9/>

[60]: <https://www.asme.org/topics-resources/content/top-10-growing-smart-cities>

[61] <https://www.e-zigurat.com/blog/en/smart-city-barcelona-experience/>

[62]: <http://cityclimateleadershipawards.com/barcelona-barcelona-smart-city/>

[63]: <https://journals.openedition.org/factsreports/4367>

- [64]: <https://www.techerati.com/features-hub/opinions/how-smart-is-the-city-of-london/>
- [65]: [https://www.sas.com/content/dam/SAS/ru_ru/image/events/SAS-Forum-Russia/Presentation/Intelligence in the Public Sector/02 Torino Smart City practices current projects and initiatives-\(SFR2015\).pdf](https://www.sas.com/content/dam/SAS/ru_ru/image/events/SAS-Forum-Russia/Presentation/Intelligence%20in%20the%20Public%20Sector/02%20Torino%20Smart%20City%20practices%20current%20projects%20and%20initiatives-(SFR2015).pdf)
- [66]: <http://dailyenmoveme.com/en/smart-city/torino-smart-city>
- [67]: <https://pypi.org/project/partition/>
- [68]: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/800200.806205>
- [69]: <https://epubs.siam.org/doi/10.1137/0117039>
- [70]: <https://stackoverflow.com/questions/10035752/elegant-python-code-for-integer-partitioning>

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Κεφάλαιο 1°

Εικόνα 1.1: Ο υπολογιστής Bombe του Alan Turing, πηγή από: https://propaganda.gr/wp-content/uploads/2015/01/bombe1_640.jpg

Εικόνα 1.2: Γραφική απεικόνιση της τεχνικής Divide And Conquer, πηγή από: <https://static.javatpoint.com/tutorial/daa/images/divide-and-conquer-introduction.png>

Εικόνα 1.3: Γραφική απεικόνιση αποκρίσιμου προβλήματος, πηγή από: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/06/Decision_Problem.svg/300px-Decision_Problem.svg.png

Κεφάλαιο 2°

Εικόνα 2.1: Απεικόνιση στοιχείων Smart Grid, πηγή από: https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/defending-the-smart-grid-2013-how-to-protect-networks-and-devices-from-cyber-attacks/@_images/8a36aa49-4a47-4361-96cb-d23daa0df232.jpeg

Εικόνα 2.2: Αλλαγές μέσω των έξυπνων δικτύων, πηγή από: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/84/Staying_big_or_getting_smaller.jpg

Εικόνα 2.3: Ενέργειες πρόληψης για τη θωράκιση του Έξυπνου Δικτύου, πηγή από: <https://d346xxcyottdqx.cloudfront.net/wp-content/uploads/2020/03/4.png>

Εικόνα 2.4: Χαρακτηριστικά του SIEM, πηγή από: <https://www.manageengine.com/products/eventlog/images/siem-image-wp.jpg>

Κεφάλαιο 3°

Εικόνα 3.1: Απεικόνιση στοιχείων Smart City, πηγή από: <https://skywell.software/wp-content/uploads/2020/10/what-is-a-smart-city-1536x1536.jpg>

Εικόνα 3.2: Σύγκριση θετικών και αρνητικών στοιχείων μιας έξυπνης πόλης, πηγή από: <https://www.aplustopper.com/wp-content/uploads/2021/08/Smart-City-Advantages-and-Disadvantages-2.jpg>

Εικόνα 3.3: Ηλεκτρικό όχημα στην πόλη των Τρικάλων, πηγή από: <https://cdn.ethnos.gr/imgHandler/875/dc454cf6-904b-4e79-a033-3d34369665e7.jpg>

Εικόνα 3.4 Βασικά στοιχεία της Έξυπνης Πόλης της Βαρκελώνης, πηγή από: <https://journals.openedition.org/factsreports/docannexe/image/4367/img-3-small480.jpg>

Εικόνα 3.5: Απεικόνιση έξυπνων χαρακτηριστικών της πόλης του Τορίνο, πηγή από: https://turinschool.eu/files/turinschool/header/banner_smart_cities_2018_new_logo.png

Κεφάλαιο 4°

Εικόνα 4.1: Γραφική απεικόνιση διαφοράς χρόνου για τους αλγόριθμους, πηγή από: PyCharm

ΕΞΩΦΥΛΛΟ, πηγή από:

https://limassol-today.com/wp-content/uploads/2020/12/smart-4168483_1920-e1608217616544.jpg

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

NP: nondeterministic polynomial-time complete

Ηλεκτρική εμπέδηση: μέγεθος του ηλεκτρισμού που αναφέρεται σε κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος

Αλγόριθμος: μια πεπερασμένη σειρά ενεργειών, αυστηρά καθορισμένων και εκτελέσιμων σε πεπερασμένο χρόνο, που στοχεύουν στην επίλυση ενός προβλήματος (ορισμός από Μοχάμεντ ιμπν Μουσά αλ-Χουαρίζμι).

A.I. : Artificial Intelligence(Τεχνητή Νοημοσύνη)

Μηχανή Turing: υποθετική συσκευή που έχει την ικανότητα να προσαρμοστεί ώστε να προσομοιώνει τη λογική κάθε αλγόριθμου και σκοπός της είναι να εξηγεί τις λειτουργίες μιας κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (CPU) στο εσωτερικό του υπολογιστή.

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU) : κεντρικό εξάρτημα που επεξεργάζεται δεδομένα σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, ελέγχει τη λειτουργία του και εκτελεί βασικές λειτουργίες διασύνδεσης και μεταβίβασης εντολών.

Web 2.0: Η νέα γενιά του Παγκόσμιου Ιστού η οποία βασίζεται στην όλο και μεγαλύτερη δυνατότητα των χρηστών του Διαδικτύου να μοιράζονται πληροφορίες και να συνεργάζονται online. Αυτή η νέα γενιά είναι μια δυναμική διαδικτυακή πλατφόρμα στην οποία μπορούν να αλληλεπιδρούν χρήστες χωρίς εξειδικευμένες γνώσεις σε θέματα υπολογιστών και δικτύων.

ICLEI: Τοπικές κυβερνήσεις για την αειφορία είναι ένας διεθνής μη κυβερνητικός οργανισμός που προωθεί την αειφόρο ανάπτυξη.

Έξυπνος μετρητής: ένας από τους βασικούς εξοπλισμούς για την απόκτηση δεδομένων έξυπνου δικτύου ισχύος. Αναλαμβάνει τα καθήκοντα της απόκτησης δεδομένων, της μέτρησης και της μετάδοσης της αρχικής ηλεκτρικής ισχύος, και αποτελεί τη βάση για την ολοκλήρωση, την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση πληροφοριών και την παρουσίαση πληροφοριών.

