



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΒΛΕΨΗ
ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΣΤΑΥΡΟΣ ΚΑΤΣΙΑΒΡΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΒΑΡΒΑΡΙΓΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΒΛΕΨΗ
ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΣΤΑΥΡΟΣ ΚΑΤΣΙΑΒΡΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΒΑΡΒΑΡΙΓΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 5^η Ιουλίου 2023.

.....
κ. Βαρβαρίγος Εμμανουήλ
Καθηγητής

.....
κ. Βαρβαρίγου Θεοδώρα
Καθηγήτρια

.....
κ. Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής

Αθήνα, Ιούνιος 2023

.....

Σπυρίδων Σταύρος Α. Κατσιαβριάς.

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Σπυρίδων Σταύρος Κατσιαβριάς.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο 21^{ος} αιώνας χαρακτηρίζεται από την παγκόσμια στροφή στα θέματα της ενεργειακής πολιτικής, καθώς έχει γίνει αντιληπτό ότι η ενέργεια, απαραίτητη για τη ζωή, τις ανθρώπινες δραστηριότητες, την πρόοδο και την ευημερία των λαών, δεν είναι ανεξάντλητη.

Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, οι οποίες αξιοποιούν σε μεγάλο βαθμό τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας για την οριστική λύση αυτού του κρίσιμου ζητήματος δεν επαρκούν, εάν δεν αλλάξει ο σημερινός τρόπος ζωής, τα καταναλωτικά πρότυπα και κυρίως η στάση των ανθρώπων απέναντι στο περιβάλλον.

Η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων, συνέπεια της τεχνολογικής και οικονομικής ανάπτυξης που παρατηρήθηκε τα τελευταία χρόνια, έχει αποτελέσει σημαντικό παράγοντα αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας από τη λειτουργία των κτιρίων, τόσο ποσοτικά, όσο και ποιοτικά.

Σε αυτό το πλαίσιο, η μέτρηση των φορτίων των συσκευών, μέσω της διάσπασης της ενέργειας, τείνει να γίνει κυρίαρχη τάση, για την κατανόηση της κατανάλωσης και της εξοικονόμησης της ενέργειας. Πάνω σε αυτή την τάση έχει αναπτυχθεί μια ολόκληρη τεχνολογία και αυτή θα προσεγγίσουμε στην παρούσα εργασία μας.

Λέξεις – Κλειδιά

Διάσπαση Ενέργειας, Μη επεμβατική ανίχνευση φορτίου, NILM, NILMTK, Non-Intrusive Load Monitoring, Intrusive Load Monitoring, αλγόριθμος FHMM, αλγόριθμος CO, Fibaro Wall plugs, Qubino Smart Meter.

ABSTRACT

The 21st century is characterized by a global shift towards energy policy issues, as it has become evident that energy, essential for life, human activities, progress, and the well-being of nations, is not inexhaustible.

The development of new technologies that extensively utilize alternative forms of energy is not sufficient to provide a definitive solution to this critical issue unless the current way of life, consumption patterns, and most importantly, people's attitude towards the environment, change.

The improvement of people's living standards, resulting from technological and economic development observed in recent years, has been a significant factor in the increased energy consumption from building operations, both quantitatively and qualitatively.

In this context, the measurement of device loads through energy disaggregation tends to become a dominant trend for understanding energy consumption and energy savings. A whole technology has been developed based on this trend, which we will approach in our present work.

Key Words

Energy Disaggregation, NILM, NILMTK, Non-Intrusive Load Monitoring, Intrusive Load Monitoring, FHMM algorithm, CO algorithm, Fibaro Wall plugs, Qubino Smart Meter.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	9
1.1 Energy disaggregation (Διάσπαση της ενέργειας).....	11
1.2 Ο ρόλος της Διάσπασης της Ενέργειας στις Οικιακές εγκαταστάσεις	14
1.3 Οφέλη της χρήσης της διάσπασης της Ενέργειας στις οικιακές εγκαταστάσεις	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	21
2.1 NILMTK (Non-Intrusive Load Monitoring Toolkit).....	21
2.2 Intrusive Load Monitoring (ILM)	25
2.3 Αλγόριθμοι για την Energy disaggregation	28
2.4 Ανάλυση της χρησιμότητας και της λειτουργίας του NILM	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	35
3.1 Μελέτη Περίπτωσης	35
3.2 Περιγραφή Υλικών	35
3.3 Περιγραφή πειραματικής διάταξης.....	40
3.4 Αποτελέσματα	44
3.5 Συμπεράσματα – Προτάσεις	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	68
Συμπεράσματα	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70

Λίστα Σχημάτων:

Σχήμα 1: Συσχέτιση NILM και ILM 1.....	25
Σχήμα 2: Διαχωρισμένες Καταναλώσεις CO	46
Σχήμα 3: Διαχωρισμένες Καταναλώσεις Mean	47
Σχήμα 4: Διαχωρισμένες Καταναλώσεις FHMM	48
Σχήμα 5: Πραγματική Κατανάλωση Ψυγείου	49
Σχήμα 6: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Ψυγείου Κατά CO.....	49
Σχήμα 7: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Ψυγείου Κατά FHMM	50
Σχήμα 8: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Ψυγείου Κατά Mean	50
Σχήμα 9: Πραγματική Κατανάλωση Η/Υ	51
Σχήμα 10: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Η/Υ κατά CO	51
Σχήμα 11: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Η/Υ κατά FHMM	52
Σχήμα 12: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Η/Υ κατά Mean.....	52
Σχήμα 13: Πραγματική Κατανάλωση TV	53
Σχήμα 14: Προβλεπόμενη Κατανάλωση TV κατά CO.....	53
Σχήμα 15: Προβλεπόμενη Κατανάλωση TV κατά FHMM	54
Σχήμα 16: Προβλεπόμενη Κατανάλωση TV κατά Mean	54
Σχήμα 17: Πραγματική Κατανάλωση Φώτων	55
Σχήμα 18: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Φώτων κατά CO.....	55
Σχήμα 19: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Φώτων κατά FHMM	56
Σχήμα 20: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Φώτων κατά Mean	56
Σχήμα 21: Πραγματική Κατανάλωση Home Cinema	57
Σχήμα 22: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Home Cinema κατά CO.....	57
Σχήμα 23: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Home Cinema κατά FHMM	58
Σχήμα 24: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Home Cinema κατά Mean	58
Σχήμα 25: Πραγματική Κατανάλωση Air Conditioner.....	59
Σχήμα 26: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Air Conditioner κατά CO.....	59
Σχήμα 27: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Air Conditioner κατά FHMM.....	60
Σχήμα 28: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Air Conditioner κατά Mean	60
Σχήμα 29: Σύγκριση συνολικού διαμερισμού κατανάλωσης, με την πραγματική κατανάλωση, όπως προβλέφθηκε από τον αλγόριθμο CO	61
Σχήμα 30: Σύγκριση συνολικού διαμερισμού κατανάλωσης, με την πραγματική κατανάλωση, όπως προβλέφθηκε από τον αλγόριθμο FHMM	62
Σχήμα 31: Σύγκριση συνολικού διαμερισμού κατανάλωσης, με την πραγματική κατανάλωση, όπως προβλέφθηκε από τον αλγόριθμο Mean.....	63
Σχήμα 32: Αναλυτικός Πίνακας Καταναλώσεων	64

Λίστα Εικόνων:

Εικόνα 1: Fibaro Wall Plug	35
Εικόνα 2: Qubino Smart Meter	36
Εικόνα 3: Home Center 3 Lite	38

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο κύριος ενεργειακός πόρος του μέλλοντος μπορεί κάλλιστα να είναι η ενεργειακή απόδοση. Τα τελευταία χρόνια, η ευαισθητοποίηση της κοινωνίας για τις περιβαλλοντικές αλλαγές και το υψηλό ενεργειακό κόστος έχει αυξηθεί. Ωστόσο, η ακατάλληλη χρήση ηλεκτρικών συσκευών εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό κομμάτι της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η συνεχής και λεπτομερής παρακολούθηση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει αποδειχθεί ως βασικό εργαλείο για τη διασφάλιση ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια όπως στα σπίτια μας κ.α. Οι πληροφορίες που μπορούμε να πάρουμε για τις καταναλώσεις των συσκευών μπορούν να οδηγήσουν τους καταναλωτές σε συνειδητές επιλογές αλλαγής της συμπεριφοράς.

Τα συστήματα παρακολούθησης μη παρεμβατικού φορτίου (NILM), που στοχεύουν στην παρακολούθηση της ενέργειας, την πρόβλεψη φορτίου και τον βελτιωμένο έλεγχο των οικιακών συσκευών, είναι μια ελκυστική λύση για την παροχή λεπτομερούς κατανάλωσης σε επίπεδο συσκευής στους τελικούς χρήστες.

Χρησιμοποιώντας μόνο τα συγκεντρωτικά δεδομένα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνονται σε ένα μόνο σημείο, το NILM διακρίνει τα δεδομένα χρήσης ενέργειας των συσκευών χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μηχανικής εκμάθησης και αναγνώρισης προτύπων. Λόγω του πιθανού χαμηλού κόστους, της εύκολης εγκατάστασης και της εύκολης ενσωμάτωσής του στα μελλοντικά έξυπνα δίκτυα, τα οποία θα επέτρεπαν στους καταναλωτές να συμμετέχουν στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, το NILM έχει γίνει ένας ενεργός τομέας έρευνας.

Αυτή η εργασία ασχολείται με την ενεργειακή κατανομή ως το βασικό μέρος ενός πλαισίου NILM. Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα της ηλεκτρικής κατανάλωσης ολόκληρου του σπιτιού, στοχεύουμε στη διερεύνηση των μεθοδολογιών που δεν έχουν ακόμη εφαρμοστεί για την αντιμετώπιση της σωστής κατανομής αυτού του σήματος στη λεπτομερή χρήση κάθε συσκευής ή ομάδων συσκευών, που είναι συνδεδεμένες στο οικιακό ηλεκτρικό κύκλωμα.

Η προσέγγιση του ζητήματος της εξοικονόμησης της ενέργειας, γίνεται μέσα από την ανάπτυξη ενός νέου dataset για την εκπαίδευση των διαφόρων αλγορίθμων ανάλυσης

της ενέργειας που καταναλώνεται. Ένα θέμα που αναδύεται στην διαδικασία του Energy Disaggregation είναι το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του απαραίτητου εξοπλισμού που θα διευκόλυνε αυτή τη διαδικασία. Η ανάπτυξη του dataset θα βοηθήσει στην ελαχιστοποίηση του απαραίτητου εξοπλισμού για την επίτευξη αυτού του στόχου

Συνολικά, αυτή η εργασία συμβάλλει με προσεγγίσεις διαχωρισμού ηλεκτρικής ενέργειας, επικυρωμένες με επιτυχία σε δεδομένα πραγματικού κόσμου, οι οποίες - όπως ελπίζουμε - θα έχουν θετικό αντίκτυπο στην επίλυση προβλημάτων απόδοσης σε ένα έξυπνο σπίτι

Η παρούσα εργασία δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί, χωρίς τη βοήθεια, την υποστήριξη και τη συνδρομή, πολλών προσώπων, στα οποία θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου κο Εμμανουήλ Βαρβαρίγο, τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Δημήτρη Βέργαδο καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Κωνσταντίνο Κεχαγιά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν, αναθέτοντάς μου την παρούσα διπλωματική εργασία. Η βοήθειά τους υπήρξε πολύτιμη και ουσιαστική σε κάθε επίπεδο .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Energy disaggregation (Διάσπαση της ενέργειας)

Σήμερα, η εξοικονόμηση της ενέργειας αποτελεί μια πρόκληση λόγω της εκθετικής αύξησης των αναγκών του σύγχρονου κόσμου σε ενέργεια. Οι ερευνητές προσπαθούν να αναπτύξουν τεχνολογικές λύσεις για να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο η κατοικία μόνη της καταναλώνει το 30% της ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτό προκαλεί ανησυχία, καθώς οι ενεργειακοί πόροι είναι περιορισμένοι και προβλέπεται ότι οι παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες θα διπλασιαστούν έως το τέλος του 2030 με αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (π.χ. εκπομπές CO₂). Η ενεργειακή κρίση, η αλλαγή του κλίματος και η συνολική οικονομία ενός κράτους επηρεάζονται άμεσα από την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Μια σημαντική μείωση των απωλειών ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί μέσω της λεπτομερούς παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας και της μετάδοσης αυτής της πληροφορίας στους καταναλωτές .

Μελέτες των τελευταίων ετών υποδεικνύουν ότι η μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μηχανισμούς άμεσης ανατροφοδότησης (δηλαδή πληροφορίες κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο ανά ηλεκτρική συσκευή), αντί για έμμεσους μηχανισμούς ανατροφοδότησης (δηλαδή μηνιαίοι λογαριασμοί, εβδομαδιαίες συμβουλές για τη χρήση ενέργειας).

Σε αυτή την κατεύθυνση χρήσιμο όπλο αποτελεί η διάσπαση της ενέργειας , η οποία είναι μια ταχέως εξελισσόμενη τεχνολογία που αποσκοπεί στην απομόνωση και στον προσδιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας, για κάθε ηλεκτρική συσκευή ή ομάδα συσκευών, σε ένα καταναλωτικό σημείο όπως μια κατοικία, ένα γραφείο ή ένα κτίριο.

Από την μέτρηση αποκλειστικά της συνολικής κατανάλωσης ενός καταναλωτή, περνάμε στη διάσπαση της ενέργειας, που μας επιτρέπει να αποκτήσουμε λεπτομερή πληροφορία για την κατανάλωση κάθε συσκευής, προσφέροντας έτσι ένα νέο επίπεδο κατανόησης και ελέγχου της ενεργειακής κατανάλωσης.

Η ακαδημαϊκή ενασχόληση με την διάσπαση της ενέργειας ξεκίνησε από τους Hart και Sin, τις δεκαετίες του 1980 και 1990. Οι αρχικές τους προσεγγίσεις αντιστοιχούσαν σε διαδικασίες ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των συσκευών, με σήματα πραγματικής και άεργης ισχύος καθώς και με συσκευές συμπλέγματος.

Μεταγενέστερες έρευνες, χρησιμοποιούν πιο σύνθετα μοντέλα συσκευών, στα οποία ενσωματώνονται οι αναλύσεις της συχνότητας και άλλων χαρακτηριστικών των κυμάτων AC και η δυνατότητα μέτρησης εξωτερικών χαρακτηριστικών, όπως είναι π.χ οι ώρες της ημέρας και οι καιρικές συνθήκες. Είναι επομένως εύκολα αντιληπτό ότι αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για τον ακριβή και λεπτομερή προσδιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς χώρους.

Η διάσπαση της ενέργειας βασίζεται στη χρήση αισθητήρων και μετρητών που τοποθετούνται σε διάφορα σημεία του ηλεκτρικού δικτύου για την καταγραφή της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτοί οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα για την ισχύ και την τάση που καταναλώνουν οι συσκευές σε πραγματικό χρόνο. Στη συνέχεια, με τη χρήση αλγορίθμων και μηχανικής μάθησης, αυτά τα δεδομένα αναλύονται και επεξεργάζονται για να αναγνωρισθεί η κατανάλωση κάθε συσκευής ξεχωριστά.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της διάσπασης της ενέργειας είναι η δυνατότητα παροχής λεπτομερών πληροφοριών στους καταναλωτές σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας των συσκευών τους. Μέσω εφαρμογών και πλατφορμών διαχείρισης ενέργειας, οι καταναλωτές μπορούν να παρακολουθούν την ενεργειακή τους κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο, να ανιχνεύουν ανεπιθύμητες καταναλώσεις ή απώλειες ενέργειας και να λαμβάνουν μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης.

Επιπλέον, η διάσπαση της ενέργειας είναι χρήσιμη για την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης. Με τη συνδυασμένη χρήση δεδομένων από τη διάσπαση της ενέργειας και άλλων πηγών, όπως τις καιρικές συνθήκες και τα δεδομένα των καταναλωτών, μπορούν να αναπτυχθούν αλγόριθμοι πρόβλεψης και έξυπνες τεχνικές για την αυτόματη ρύθμιση της κατανάλωσης ενέργειας στο σπίτι ή στο γραφείο. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των ενεργειακών δαπανών και στην προαγωγή της βιωσιμότητας.

Πρόκειται για μια καινοτόμο τεχνολογία που επιτρέπει τον διαχωρισμό της ενεργειακής κατανάλωσης των μεμονωμένων συσκευών σε έναν καταναλωτικό χώρο. Αυτό

προσφέρει αναλυτική πληροφορία για την κατανάλωση ενέργειας και επιτρέπει την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης. Με αυτόν τον τρόπο, οι καταναλωτές μπορούν να γίνουν πιο ενημερωμένοι και να λαμβάνουν μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας, με το αποτέλεσμα να είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

1.2 Ο ρόλος της Διάσπασης της Ενέργειας στις Οικιακές εγκαταστάσεις

Ο διαχωρισμός ενέργειας ή η μη παρεμβατική παρακολούθηση φορτίου (NILM), στοχεύει στην εκτίμηση της ζήτησης ισχύος μεμονωμένων συσκευών από τη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός νοικοκυριού. Λόγω της αξιοσημείωτης αύξησης του αριθμού των εγκατεστημένων έξυπνων μετρητών και λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων αυτής της προσέγγισης έναντι των παρεμβατικών μεθόδων, η NILM έχει λάβει αυξανόμενη προσοχή τα τελευταία χρόνια.

Σε αυτή την εργασία, καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα της εξοικονόμησης ενέργειας και της βελτιστοποίησης στο οικιακό περιβάλλον και να παρέχουμε στους χρήστες χρήσιμες πληροφορίες ώστε να επιτύχουμε έτσι την αλλαγή της καταναλωτικής τους συμπεριφοράς.

Φροντίζοντας να περιορίσουμε σε μεγάλο βαθμό το κόστος εγκατάστασης και διαχείρισης, η εργασία μας προτείνει μια προσέγγιση μη παρεμβατικής παρακολούθησης φορτίου (NILM), η οποία συνίσταται στον διαχωρισμό της κατανάλωσης ενέργειας ολόκληρου του σπιτιού στα επιμέρους τμήματα που σχετίζονται με κάθε συσκευή.

Η επίτευξη μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης μέσω των τεχνολογιών των πληροφοριών και των επικοινωνιών, έχει γίνει ένα όλο και πιο συχνό ερευνητικό θέμα της τελευταίας δεκαετίας. Με τη σταθερή αύξηση της κατανάλωσης και τη μείωση της διαθεσιμότητας ενεργειακών πόρων, ο στόχος είναι, να υπάρχει όλο και περισσότερο αξιοσημείωτη επιβράδυνση της σπατάλης ενέργειας, ιδίως μέσω της ευρείας υιοθέτησης λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας.

Αναμένεται ότι, η σωστή χρήση των πληροφοριών και των επικοινωνιών (π.χ. δυνατότητες ανίχνευσης, επεξεργασίας και ενεργοποίησης) θα διευκόλυne την επίτευξη αυτού του στόχου, τόσο στον οικιακό όσο και στον βιομηχανικό τομέα. Ο τομέας της ιδιωτικής κατοικίας απορροφά ιδιαίτερα ένα μη αμελητέο ποσοστό της ζήτησης ενέργειας. Πράγματι, οι εγχώριες καταναλώσεις αντιπροσωπεύουν περίπου το ένα τρίτο της συνολικής χρήσης ενέργειας τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες .

Αρκετές μελέτες σχετικά με τις οικιακές καταναλωτικές συνήθειες, έχουν δείξει ότι συχνά οι χρήστες δεν γνωρίζουν πόση ενέργεια καταναλώνουν οι συσκευές που χρησιμοποιούν. Έχει αναγνωριστεί ότι αυτό μπορεί να λειτουργήσει αρνητικά στην κατανόηση και στην υιοθέτηση συμπεριφορών εξοικονόμησης ενέργειας. Με άλλα λόγια, εάν ο χρήστης ενημερωνόταν για το πόσο μια συγκεκριμένη συσκευή επηρεάζει τη συνολική κατανάλωση, μπορεί να άλλαζε την συμπεριφορά του και έτσι να εξοικονομούσε και ενέργεια αλλά και χρήματα.

Ως εκ τούτου, σε αυτό το πλαίσιο, η εισαγωγή τεχνικών που υποστηρίζουν τη συνεχή παρακολούθηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και τη συνακόλουθη ανάλυση των δεδομένων μέτρησης, μπορεί επίσης να βοηθήσει στην παροχή πληροφοριών και προτάσεων στους τελικούς χρήστες για τη βελτίωση της καταναλωτικής τους συμπεριφοράς.

Οι τεχνικές παρακολούθησης φορτίου περιλαμβάνουν :

- Την μη επεμβατική ανίχνευση φορτίου (Non-Intrusive Load Monitoring - NILM), η οποία είναι μια μέθοδος παρακολούθησης και ανάλυσης της κατανάλωσης ενέργειας που βασίζεται στη χρήση ενός μόνο μετρητή ενέργειας για την ανίχνευση και αποσύνθεση των φορτίων που χρησιμοποιούνται σε ένα σπίτι ή ένα κτίριο. Αντίθετα με τη μέθοδο ILM που απαιτεί την τοποθέτηση αισθητήρων σε κάθε συσκευή, η NILM χρησιμοποιεί έναν μόνο αισθητήρα που παρακολουθεί τη συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Ο στόχος του NILM είναι να αναλύσει το συνολικό ρεύμα που έχει καταναλωθεί και να αναγνωρίσει τα φορτία για να αποσυνθέσει την κατανάλωση ενέργειας σε επιμέρους συσκευές. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και αναγνώρισης προτύπων που εκπαιδεύονται με χρονοσειρές κατανάλωσης ενέργειας από διάφορες συσκευές. Οι αλγόριθμοι NILM λειτουργούν βασιζόμενοι σε διάφορες μεθόδους ανίχνευσης και αναγνώρισης προτύπων και άλλες προηγμένες τεχνικές μηχανικής μάθησης. Αυτοί οι αλγόριθμοι αναλύουν τις χρονοσειρές κατανάλωσης ενέργειας για να εντοπίσουν τα μοτίβα που σχετίζονται με συγκεκριμένες συσκευές. Οι προηγμένοι αλγόριθμοι NILM

μπορούν να αναγνωρίσουν με ακρίβεια τις συσκευές που χρησιμοποιούνται, να εκτιμήσουν την κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή και ακόμη και να παρακολουθούν τη λειτουργία και την απόδοση των συσκευών. Αυτή η ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την διαχείριση της ενέργειας, τον εντοπισμό βλαβών, την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας και την εφαρμογή στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας. Παρόλο που η NILM έχει προοπτικές και εφαρμογές, υπάρχουν και προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Οι περιορισμένες διαθέσιμες πληροφορίες, από τον μετρητή ενέργειας, μπορεί να καθιστούν δύσκολη την ακριβή αναγνώριση και ανάλυση των επιμέρους φορτίων. Επίσης, η αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών συσκευών και η παρουσία παράσιτων στην κατανάλωση ενέργειας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην ακρίβεια της αναγνώρισης. Συνολικά, η NILM αντιπροσωπεύει ένα ενθαρρυντικό πεδίο έρευνας και εξέλιξης για την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας. Με τη βελτίωση των αλγορίθμων και την ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων μηχανικής μάθησης, είναι δυνατόν να επιτευχθούν ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια και λειτουργικότητα στον τομέα της NILM.

- Τους έξυπνους μετρητές (Smart Meters): Οι έξυπνοι μετρητές είναι ηλεκτρονικοί μετρητές που μπορούν να μετρήσουν και να καταγράψουν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο ή με συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Οι έξυπνοι μετρητές παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση και μπορούν να επικοινωνήσουν τις μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο με άλλα συστήματα.
- Τους αισθητήρες φορτίου (Load Sensors): Οι αισθητήρες φορτίου είναι φυσικές συσκευές ή αισθητήρια που τοποθετούνται σε συσκευές ή σε ηλεκτρικές γραμμές για να μετρήσουν την κατανάλωση ενέργειας. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για το φορτίο που καταναλώνει μια συσκευή και να στέλνουν αυτές τις μετρήσεις σε ένα κεντρικό σύστημα για ανάλυση.

-
- Την ασύρματη ανίχνευση φορτίου (Wireless Load Sensing): Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί αισθητήρες που είναι ικανοί να ανιχνεύουν την κατανάλωση ενέργειας ασύρματα. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε συσκευές ή σε ηλεκτρικές γραμμές και να στέλνουν τις μετρήσεις τους μέσω ασύρματης επικοινωνίας σε ένα κεντρικό σύστημα για ανάλυση και παρακολούθηση.
 - Την μη επεμβατική ανίχνευση φορτίου (Non-Intrusive Load Sensing - NILS): Η μη επεμβατική ανίχνευση φορτίου είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί αισθητήρες που δεν απαιτούν τη φυσική επέμβαση στη συσκευή ή στην ηλεκτρική γραμμή. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν την κατανάλωση ενέργειας μέσω μετρήσεων που βασίζονται στην ανάλυση των ηλεκτρικών σημάτων που παράγονται από τη συσκευή.

Οι τεχνικές παρακολούθησης φορτίου, επιτρέπουν την ανάλυση και την καταγραφή της κατανάλωσης ενέργειας από συσκευές ή φορτία. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εντοπιστούν περιττές καταναλώσεις, να προσδιοριστούν τα φορτία που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια και να αναπτυχθούν στρατηγικές για την εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον, οι τεχνικές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εντοπισμό βλαβών ή προβλημάτων σε συσκευές και για την παροχή υπηρεσιών απομακρυσμένης παρακολούθησης φορτίου.

Οι τεχνικές παρακολούθησης φορτίου συνεχίζουν να αναπτύσσονται με τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και οι αλγόριθμοι μάθησης μηχανής, για να βελτιώσουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητά τους.

Αν και η υιοθέτηση έξυπνων συσκευών θα διευκόλυε τον χρήστη στην υλοποίηση δράσεων κόστους και ενέργειας, αυτή η προσέγγιση δεν είναι πιθανό να εφαρμοστεί βραχυπρόθεσμα. Επιπλέον, μόνο ένα υποσύνολο συσκευών είναι συνήθως διαθέσιμες ως «έξυπνες συσκευές», όπως τηλεοράσεις, πλυντήρια πιάτων και φούρνοι.

Οι πληροφορίες που παρέχονται από τη διάσπαση της ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα εξής:

-
- **Οικιακή Ενεργειακή Απόδοση:** Με τη διάσπαση της ενέργειας, μπορούμε να αναγνωρίσουμε τις συσκευές που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια και να εντοπίσουμε περιοχές που απαιτούν βελτίωση στην ενεργειακή απόδοση, επιτρέποντας την υιοθέτηση πιο αποδοτικών ενεργειακών πρακτικών.
 - **Προσφορά Ενέργειας:** Η διάσπαση της ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό της απαίτησης ενέργειας ανά συσκευή, προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και έξυπνων δικτύων ενέργειας.
 - **Παρακολούθηση Συμπεριφοράς:** Η διάσπαση της ενέργειας επιτρέπει την παρακολούθηση των καταναλωτικών προτύπων και την ανίχνευση ανωμαλιών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη διαχείριση της ενέργειας, την πρόληψη απωλειών και την ανίχνευση πιθανών προβλημάτων στο σύστημα.
 - **Συμμόρφωση με Πρότυπα:** Η διάσπαση της ενέργειας μπορεί να βοηθήσει τους καταναλωτές να συμμορφωθούν με τις προϋποθέσεις προτύπων και νομοθεσιών, όπως περιορισμούς κατανάλωσης ενέργειας και υπολογισμός της απόδοσης ενεργειακών πιστοποιητικών.

1.3 Οφέλη της χρήσης της διάσπασης της Ενέργειας στις οικιακές εγκαταστάσεις

Η διάσπαση της ενέργειας παρέχει μια νέα διάσταση στην κατανόηση και τη διαχείριση της ενεργειακής κατανάλωσης. Με την ακριβή παρακολούθηση και ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας ανά συσκευή, μπορούμε να επιτύχουμε μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, βελτιωμένη αναγνώριση ανωμαλιών και προσαρμογή στα πρότυπα και τους περιορισμούς που ορίζονται από τον τομέα της ενέργειας.

Επιπλέον, η διάσπαση της ενέργειας έχει σημαντική εφαρμογή στην προσφορά ενέργειας. Μέσω της ανάλυσης της απαίτησης ενέργειας ανά συσκευή, μπορούμε να προσδιορίσουμε τις ανάγκες ενέργειας για κάθε συσκευή και να σχεδιάσουμε και να αναπτύξουμε πιο αποδοτικά και έξυπνα δίκτυα ενέργειας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη διαχείριση της ενέργειας, πιο αποδοτική διανομή ενέργειας και αυξημένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Παράλληλα, η διάσπαση της ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς και την ανίχνευση δυσλειτουργιών των συσκευών. Μέσω της ανάλυσης των καταναλωτικών προτύπων, μπορούμε να ανιχνεύσουμε μη συνήθεις τάσεις ή πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας, που θα μπορούσαν να υποδεικνύουν προβλήματα ή ανωμαλίες στο σύστημα. Αυτό επιτρέπει την πρόληψη απωλειών, την ανίχνευση πιθανών προβλημάτων και την λήψη αποτελεσματικών μέτρων διαχείρισης.

Τέλος, με την βοήθεια της διάσπασης και την χρήση των πληροφοριών που αντλούμε από αυτήν διασφαλίζουμε τη συμμόρφωση με περιορισμούς κατανάλωσης ενέργειας, την υποβολή ενεργειακών πιστοποιητικών και την εκτέλεση απαιτούμενων ενεργειακών αξιολογήσεων.

Συνολικά, η διάσπαση της ενέργειας παρέχει ένα νέο επίπεδο κατανόησης και έλεγχου της ενεργειακής κατανάλωσης. Επιτρέπει την εξατομίκευση των πρακτικών ενεργειακής διαχείρισης, τη βελτίωση της απόδοσης ενέργειας, την ανίχνευση προβλημάτων και την απρόσκοπτη επίτευξη συμμόρφωσης με τα ενεργειακά πρότυπα και την νομοθεσία.

Ένα όμως από τα κυριότερα οφέλη της είναι η αλλαγή της νοοτροπίας των πολιτών, η ευαισθητοποίηση τα θέματα κατανάλωσης ενέργειας των συσκευών τους. Όταν οι

καταναλωτές έχουν πρόσβαση σε λεπτομερείς πληροφορίες για την κατανάλωση κάθε συσκευής, μπορούν να ευαισθητοποιηθούν περισσότερο και να γίνουν πιο συνειδητοποιημένοι σχετικά με την ενεργειακή τους συμπεριφορά. Αυτό οδηγεί σε μια γενικότερη αλλαγή στις συνήθειες και τις επιλογές τους ως προς την κατανάλωση ενέργειας, με απώτερο σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Επιπλέον η αναγνώριση ανωμαλιών στο σύστημα ενέργειας, η οποία είναι πλέον εύκολο να καταγραφεί αφού υπάρχει συνεχή παρακολούθηση και ανάλυση των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας, όπως αυξημένη κατανάλωση σε συγκεκριμένες ώρες ή περιοχές, υψηλές απώλειες ενέργειας, μπορεί να βοηθήσει στην έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων, στην πρόληψη απωλειών και στην έγκαιρη λήψη μέτρων αντιμετώπισης.

Σημαντική είναι και η συμβολή της στην ανάπτυξη έξυπνων δικτύων ενέργειας. Με τις πληροφορίες που παρέχονται από τη διάσπαση της ενέργειας, μπορούν να αναπτυχθούν δίκτυα που λειτουργούν πιο αποδοτικά και ευέλικτα. Αυτά τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες όπως τη δυναμική προσαρμογή της προσφοράς ενέργειας στη ζήτηση, η αποτελεσματική διανομή ενέργειας και την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τέλος, η διάσπαση της ενέργειας μπορεί να συμβάλει στην προστασία του περιβάλλοντος. Η αποτελεσματική χρήση ενέργειας, που επιτυγχάνεται μέσω της διάσπασης της ενέργειας, μειώνει την ανάγκη για παραγωγή ενέργειας από παραδοσιακές πηγές, οι οποίες συχνά συνδέονται με την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και την ανθρώπινη επιβάρυνση. Επιπλέον, η διάσπαση της ενέργειας ενθαρρύνει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς μπορούμε να παρακολουθήσουμε την αποτελεσματικότητα και την απόδοσή τους σε πραγματικό χρόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 NILMTK (Non-Intrusive Load Monitoring Toolkit)

Το NILMTK (Non-Intrusive Load Monitoring Toolkit) είναι ένα εργαλείο λογισμικού που χρησιμοποιείται για τη διάσπαση της ενέργειας και την αναγνώριση των φορτίων. Παρέχει ένα πλαίσιο εργασίας για την επεξεργασία, την ανάλυση και την ανάκτηση πληροφοριών από δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας. Ας εξετάσουμε λεπτομερώς τη λειτουργία και τη χρησιμότητα του NILMTK.

Λειτουργία του NILMTK: Ο βασικός στόχος του NILMTK είναι να διαχωρίσει την συνολική κατανάλωση ενός κτηρίου σε μεμονωμένα φορτία, χωρίς την ανάγκη για ειδικό εξοπλισμό ή αλλαγές στο σύστημα κατανάλωσης. Ακολουθεί μια ανάλυση των βασικών σταδίων της λειτουργίας του NILMTK:

- **Συλλογή δεδομένων:** Το NILMTK λειτουργεί με είσοδο τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας που συλλέγονται από ένα σύστημα μέτρησης (όπως έναν έξυπνο μετρητή ή από αισθητήρες) σε ένα καταναλωτή ή ένα κτήριο. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν τις μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια του χρόνου.
- **Προεπεξεργασία δεδομένων:** Στο επόμενο στάδιο, το NILMTK εκτελεί διάφορες διαδικασίες προεπεξεργασίας για την απομάκρυνση θορύβου, την εξομάλυνση των δεδομένων και την αντιμετώπιση των απουσιών δεδομένων. Αυτό βελτιώνει την ποιότητα των δεδομένων και εξασφαλίζει ότι οι αλγόριθμοι αναγνώρισης φορτίων λειτουργούν σωστά.
- **Ανίχνευση φορτίων:** Το NILMTK χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές ανίχνευσης φορτίων, όπως μοντέλα HMM (Hidden Markov Models), για την αναγνώριση των διάφορων φορτίων που συμβάλλουν στη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάλυση των μοτίβων της κατανάλωσης ενέργειας και τη σύγκρισή τους με προκαθορισμένα μοντέλα φορτίων.

-
- Εκτίμηση κατανάλωσης: Μετά την αναγνώριση των φορτίων, το NILMTK εκτιμά την κατανάλωση κάθε ενός φορτίου. Αυτό μπορεί να γίνει με την εφαρμογή μεθόδων όπως οι μέθοδοι χρονοσειρών ή οι μέθοδοι παλινδρόμησης.

Χρησιμότητα του NILMTK: Το NILMTK παρέχει πολλά οφέλη και χρησιμότητα στην έρευνα και τη βιομηχανία της ενεργειακής διάσπασης. Ορισμένες από τις κύριες χρήσεις του NILMTK περιλαμβάνουν:

- Αναγνώριση καταναλωτών: Το NILMTK επιτρέπει την αναγνώριση των φορτίων που χρησιμοποιούνται σε ένα κτήριο. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για την ανίχνευση προβλημάτων, όπως η παρατεταμένη λειτουργία ή τα φορτία υψηλής κατανάλωσης που προκαλούν αυξημένα έξοδα.
- Παρακολούθηση της ενεργειακής απόδοσης: Με το NILMTK, μπορούμε να παρακολουθούμε την κατανάλωση και την απόδοση των φορτίων με τον χρόνο. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να αναγνωρίσουν τις περιοχές υψηλής κατανάλωσης και να λάβουν μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.
- Σχεδιασμός ενεργειακών πολιτικών: Οι πληροφορίες που παρέχονται από το NILMTK μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση ενεργειακών πολιτικών. Αυτό περιλαμβάνει την αναγνώριση φορτίων μεγάλης κλίμακας και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.
- Έρευνα και ανάπτυξη: Οι ερευνητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το NILMTK για την ανάπτυξη νέων αλγορίθμων και τεχνικών στον τομέα της διάσπασης της ενέργειας. Το NILMTK παρέχει μια ευέλικτη πλατφόρμα για την ανάλυση και την αξιολόγηση νέων μεθόδων.

Συνοψίζοντας, το NILMTK παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για τη διάσπαση της ενέργειας και την αναγνώριση των φορτίων. Με τη χρήση του NILMTK, είναι δυνατή η αναγνώριση, η παρακολούθηση και η ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης σε ένα

κτήριο. Αυτό μπορεί να επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση, την παρακολούθηση του συστήματος και την υλοποίηση ενεργειακών πολιτικών.

Το API (Application Programming Interface) του NILMTK (Non-Intrusive Load Monitoring Toolkit) παρέχει ένα σύνολο λειτουργιών, μεθόδων και εργαλείων που επιτρέπουν στους χρήστες να χρησιμοποιήσουν και να αξιοποιήσουν τη λειτουργικότητα του NILMTK στις εφαρμογές και τα έργα τους. Ας εξετάσουμε αναλυτικά το API του NILMTK:

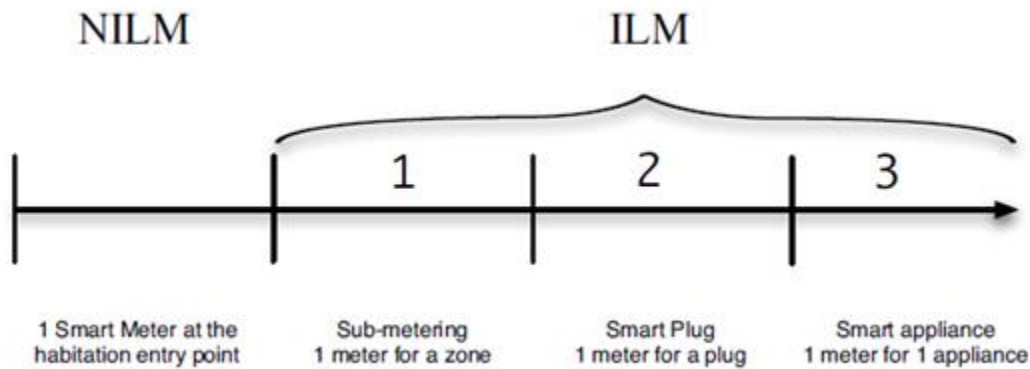
- **Φόρτωση και αποθήκευση δεδομένων:** Το API του NILMTK παρέχει μεθόδους για τη φόρτωση και την αποθήκευση δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας. Οι χρήστες μπορούν να φορτώσουν δεδομένα από διάφορες πηγές, όπως αρχεία CSV, αρχεία ιδιότητας HDF5 και πηγές δεδομένων απομακρυσμένης πρόσβασης.
- **Πρόσβαση και επεξεργασία δεδομένων:** Οι χρήστες μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στα φορτία και τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιώντας το API του NILMTK. Μπορούν να αποκτήσουν πληροφορίες για τη διαθεσιμότητα, τις χρονικές σφραγίδες, τις μετρήσεις και άλλες πληροφορίες που αφορούν τα δεδομένα.
- **Ανάλυση και εξόρυξη πληροφοριών:** Οι χρήστες μπορούν να εκτελέσουν αναλύσεις και εξόρυξη πληροφοριών στα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιώντας το NILMTK API. Αυτό περιλαμβάνει την εφαρμογή μεθόδων διάσπασης φορτίων, ανίχνευσης ανωμαλιών, αναγνώρισης μοτίβων και ανάκτησης πληροφοριών.
- **Οπτικοποίηση και απεικόνιση δεδομένων:** Το API του NILMTK παρέχει εργαλεία για την οπτικοποίηση και απεικόνιση των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν γραφήματα, διαγράμματα και άλλα είδη απεικόνισης για να αναπαραστήσουν και να ερμηνεύσουν τα δεδομένα κατανάλωσης.

-
- Αξιολόγηση αλγορίθμων: Οι χρήστες μπορούν να αξιολογήσουν την απόδοση αλγορίθμων διάσπασης φορτίων και αναγνώρισης που εφαρμόζονται με το NILMTK. Αυτό γίνεται μέσω μεθόδων αξιολόγησης, όπως οι μετρήσεις ακρίβειας, η παραμετρική αξιολόγηση και η διασταυρούμενη επικύρωση.

Το API του NILMTK παρέχει έναν εύκολο και ευέλικτο τρόπο προγραμματισμού και αλληλεπίδρασης με το λογισμικό. Οι χρήστες μπορούν να εκμεταλλευτούν την πλούσια λειτουργικότητα του NILMTK για να αναλύσουν, να εξάγουν πληροφορίες και να προσαρμόσουν τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας στις ανάγκες τους. Το API είναι καλά τεκμηριωμένο και παρέχει παραδείγματα κώδικα και οδηγίες που βοηθούν τους χρήστες να εκμεταλλευτούν πλήρως τη λειτουργικότητα του NILMTK.

2.2 Intrusive Load Monitoring (ILM)

ILM (Intrusive Load Monitoring): αποτελεί τη μέθοδο μέτρησης της ηλεκτρικής κατανάλωσης ενός ή λίγων συσκευών, χρησιμοποιώντας ένα φθινό μέτρο κατανάλωσης. Ο όρος "intrusive" σημαίνει ότι το μετρητικό όργανο είναι τοποθετημένο στην κατοικία, συνήθως κοντά στη συσκευή που παρακολουθείται.



Σχήμα 1: Συσχέτιση NILM και ILM 1

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, υπάρχει πραγματικά ένα συνεχές φάσμα ανάμεσα στο NILM και τον πλέον λεπτομερή ILM, όπου θα υπήρχε ένας μετρητής ανά εξοπλισμό. Για αυτόν τον λόγο προτείνουμε τον καθορισμό των 3 επιμέρους πεδίων :

ILM 1: Τέτοια συστήματα βασίζονται σε υπομετρητές που μετρούν την κατανάλωση μετά τον κύριο μετρητή της ενέργειας. Οι υπομετρητές συνήθως χρησιμοποιούνται για να παρακολουθήσουν μια ζώνη του σπιτιού και μπορούν να τοποθετηθούν στο επίπεδο του διακόπτη κυκλώματος.

ILM 2: Οι μετρητές βρίσκονται σε επίπεδο πρίζας. Οι συσκευές που συνδέονται στην πρίζα ή στο πολύπριζο παρακολουθούνται απευθείας.

ILM 3: Μεμονωμένες συσκευές παρακολουθούνται με μετρητές που είναι ενσωματωμένοι απευθείας στον εξοπλισμό ή στην πρίζα που συνδέεται στη συσκευή.

Ο ILM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλές εφαρμογές:

- Κατανόηση της τοπικής κατανάλωσης ενέργειας. Ο στόχος εδώ είναι να παρέχεται στο νοικοκυριό ενημέρωση για την ενέργεια που καταναλώνεται από μεμονωμένες συσκευές. Αυτή η ενημέρωση δίνεται συνήθως απευθείας στην πρίζα ή σε στατικές ή

κινητές οθόνες . Στενά συνδεδεμένες, οι εφαρμογές επιχειρούν επίσης να προβλέψουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας διάφορων συσκευών .

- Κατανόηση της γενικής κατανάλωσης ενέργειας. Σχετικά με τον πρώτο στόχο, μια άλλη σημαντική εφαρμογή είναι η ανάλυση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του νοικοκυριού. Αυτό συνδέεται με την πρόβλεψη της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες συσκευές .

- Παρακολούθηση συσκευών. Ο στόχος εδώ είναι η ανίχνευση ανώμαλης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, απόκλισης της κατανάλωσης ή ελαττωματικών συσκευών.

- Αξιολόγηση περιβαλλόντων NILM. Ο ILM μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των επιδόσεων αποδιαμόρφωσης NILM. Σε αυτήν την περίπτωση, ο αλγόριθμος αποδιαμόρφωσης εφαρμόζεται στα δεδομένα έξυπνων μετρητών NILM και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με την αναφερόμενη πληροφορία που παρέχεται από τα δεδομένα αισθητήρων ILM .

- Προσομοίωση περιβαλλόντων NILM. Τα δεδομένα που αποκτήθηκαν από αρκετούς αισθητήρες ILM μπορούν επίσης να συγκεντρωθούν τεχνητά για να προσομοιώσουν ένα περιβάλλον NILM και να πραγματοποιήσουν αξιολόγηση αλγορίθμων αποδιαμόρφωσης .

- Αναγνώριση ανθρώπινης δραστηριότητας. Ο ILM έχει επίσης επιδείξει τη δυνατότητά του για την έμμεση ανίχνευση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων μέσω της παρακολούθησης της ηλεκτρικής κατανάλωσης .

- Τοποθέτηση συσκευών. Η προέλευση της κατανάλωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση της συσκευής και η θέση του αισθητήρα ILM παρέχει μια ένδειξη για τη θέση της .

Γενικά, αυτές οι εφαρμογές ILM βασίζονται σε τεχνολογίες διαχείρισης δεδομένων, επεξεργασίας σήματος, στατιστικής και μηχανικής μάθησης. Ένας σημαντικός στόχος για τις περισσότερες εφαρμογές είναι η αντιστοίχιση των εισερχόμενων μη γνωστών σημάτων με τα προηγούμενα γνωστά σήματα.

Συνήθως, τα μοντέλα δημιουργούνται χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα εκπαίδευσης και, σύμφωνα με τις ετικέτες που συσχετίζονται με αυτά τα δεδομένα, μπορεί να γίνει αναγνώριση συσκευής, αναγνώριση μάρκας και αναγνώριση κατάστασης. Σε αυτήν την εργασία θα παρέχουμε περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την επεξεργασία σήματος και τις προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης που εφαρμόζονται σε αυτά τα πεδία, παραθέτοντας τις βέλτιστες πρακτικές σε αυτόν τον τομέα.

II. Σύγκριση μεταξύ NILM και ILM

Οι επιστημονικές δημοσιεύσεις για το NILM υπερτερούν σε αριθμό των δημοσιεύσεων για το ILM, αφού με δημοσιεύσεις που ξεκίνησαν τη δεκαετία του '90, το NILM είναι στην πραγματικότητα ένα παλαιότερο ερευνητικό θέμα από το ILM . Το NILM έχει επίσης αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με το ILM. Λόγω της φύσης του που βασίζεται σε έναν αισθητήρα, η εγκατάσταση είναι πιο εύκολη και η απόκτηση δεδομένων απλούστερη. Το ILM βασίζεται συνήθως σε φθηνότερους μετρητές, ωστόσο το κόστος του αυξάνεται γραμμικά με τον αριθμό των αισθητήρων.

Το ILM παρουσιάζει επίσης αρκετά πλεονεκτήματα έναντι του NILM. Πρώτον, αποκτάμε πιο λεπτομερείς πληροφορίες καθώς οι αισθητήρες είναι περισσότεροι. Συνήθως, οι συσκευές χαμηλής ισχύος ή οι συσκευές σε κατάσταση αναμονής είναι δύσκολο να αναγνωριστούν με το NILM , ενώ η ανίχνευσή τους είναι εφικτή χρησιμοποιώντας το ILM. Πρόσφατα, η ενεργειακή κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής έχει γίνει μία από τις μεγαλύτερες πηγές κατανάλωσης στις κατοικίες , αντιπροσωπεύοντας έως και 26% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης .

Ένα άλλο μειονέκτημα του NILM είναι η δυσκολία στην ανίχνευση συσκευών με πολλαπλές καταστάσεις κατανάλωσης ή συσκευών με συνεχώς μεταβαλλόμενη κατανάλωση ενέργειας.

2.3 Αλγόριθμοι για την Energy disaggregation

Το NILMTK (Non-Intrusive Load Monitoring Toolkit) είναι ένα εργαλείο λογισμικού που χρησιμοποιείται, για τη διάσπαση της ενέργειας και την ανίχνευση των φορτίων χωρίς παρέμβαση. Η λειτουργία του στηρίζεται στην εφαρμογή διαφόρων αλγορίθμων, οι οποίοι βοηθούν στην επίτευξη αυτού του σκοπού. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την energy disaggregation είναι ποικίλοι και περιλαμβάνουν:

- FHMM (Factorial Hidden Markov Models): Ο αλγόριθμος FHMM βασίζεται στη χρήση κρυφών μαρκοβιανών μοντέλων (Hidden Markov Models - HMM) για τη διάσπαση της ενέργειας. Αντιπροσωπεύει κάθε φορτίο ως ένα HMM και χρησιμοποιεί την πληροφορία της κατανάλωσης ενέργειας για να εκπαιδεύσει τα μοντέλα HMM. Ο FHMM αναγνωρίζει πρότυπα κατανάλωσης και μπορεί να προβλέψει την κατανάλωση ενός οικιακού φορτίου.
- CO (Combinatorial Optimization): Ο αλγόριθμος CO βασίζεται σε τεχνικές συνδυαστικής βελτιστοποίησης για τη διάσπαση της ενέργειας. Αναζητά τον καλύτερο συνδυασμό φορτίων που εξηγούν την κατανάλωση ενός οικιακού σημείου. Ο αλγόριθμος εκτελεί μια σειρά επαναλήψεων για τη βελτιστοποίηση της ακρίβειας της διάσπασης της ενέργειας.
- Non-Intrusive Load Monitoring (NILM): Είναι ένας αλγόριθμος που αναλύει τη συνολική κατανάλωση ενός κτιρίου και προσπαθεί να αναγνωρίσει την κατανάλωση των διαφορετικών συσκευών με βάση τα χαρακτηριστικά πρότυπα και τις χρονοσειρές κατανάλωσης.
- Αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης: Χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, όπως οι νευρωνικοί δικτύου, οι αλγόριθμοι k-nearest neighbors, οι αλγόριθμοι decision trees και άλλοι, για να αναγνωρίσουν τα μοτίβα κατανάλωσης που σχετίζονται με συγκεκριμένες συσκευές.
- Αποσύνθεση με τη χρήση μη γραμμικών μοντέλων: Αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν μη γραμμικά μοντέλα, όπως τα tensor μοντέλα, μπορούν να

χωρίσουν την κατανάλωση ενέργειας σε περισσότερες από δύο συσκευές και να αναγνωρίσουν περισσότερα από δύο μοντέλα κατανάλωσης.

Αυτοί είναι μερικοί από τους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται στο NILMTK για την εκτέλεση διάσπασης της ενέργειας και την ανίχνευση των φορτίων. Η επιλογή του αλγορίθμου εξαρτάται από τα δεδομένα που διατίθενται, την ακρίβεια που απαιτείται και τις συνθήκες εφαρμογής. Καθένας από αυτούς τους αλγορίθμους έχει τα δικά του πλεονεκτήματα, περιορισμούς και εφαρμογές, και η επιλογή τους εξαρτάται από τις απαιτήσεις της κάθε μελέτης ή εφαρμογής .

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε περισσότερο τους αλγόριθμους που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα εργασία:

Ο αλγόριθμος CO βασίζεται στην εφαρμογή τεχνικών συνδυαστικής βελτιστοποίησης για τη διάσπαση της ενέργειας. Ο στόχος του αλγορίθμου CO είναι να εντοπίσει τον καλύτερο συνδυασμό φορτίων που εξηγεί την κατανάλωση ενέργειας σε ένα οικιακό σημείο. Σε αντίθεση με τους αλγορίθμους που βασίζονται σε μοντέλα, ο CO επιλύει ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης για να βρει τον βέλτιστο συνδυασμό φορτίων.

Η διαδικασία λειτουργίας του αλγορίθμου CO περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Ορισμός του προβλήματος βελτιστοποίησης: Καταρχάς, πρέπει να οριστεί το πρόβλημα βελτιστοποίησης που περιγράφει τη διάσπαση της ενέργειας. Αυτό περιλαμβάνει τον καθορισμό της συνάρτησης κόστους ή απώλειας που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ή να μεγιστοποιηθεί, ανάλογα με το είδος του προβλήματος.
- Ορισμός των περιορισμών: Επίσης, πρέπει να οριστούν οι περιορισμοί που πρέπει να τηρηθούν κατά τη διάσπαση της ενέργειας. Αυτοί οι περιορισμοί μπορεί να περιλαμβάνουν περιορισμούς χωρητικότητας, χρονικούς περιορισμούς ή οποιουδήποτε άλλους περιορισμούς που σχετίζονται με τα φορτία.
- Εκτέλεση της βελτιστοποίησης: Μετά τον ορισμό του προβλήματος και των περιορισμών, ο αλγόριθμος CO χρησιμοποιεί μεθόδους συνδυαστικής

βελτιστοποίησης, όπως οι μέθοδοι εξερεύνησης, γενετικοί αλγόριθμοι ή αλγόριθμοι βελτιστοποίησης βασισμένοι σε διασταύρωση και μετάλλαξη, για να αναζητήσει τον βέλτιστο συνδυασμό φορτίων που ελαχιστοποιεί την απώλεια ή καλύπτει τις απαιτήσεις.

- **Επιστροφή των αποτελεσμάτων:** Τελικά, ο αλγόριθμος CO επιστρέφει τον βέλτιστο συνδυασμό φορτίων που επιλύει το πρόβλημα βελτιστοποίησης. Αυτός ο συνδυασμός μπορεί να παρέχει μια εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης ανά φορτίο.

Ο αλγόριθμος CO έχει ορισμένα πλεονεκτήματα. Είναι ευέλικτος και μπορεί να αντιμετωπίσει διάφορα είδη φορτίων και περιορισμούς. Επίσης, μπορεί να επιλύσει προβλήματα μεγάλης κλίμακας με ακρίβεια. Ωστόσο, ο αλγόριθμος CO μπορεί να απαιτεί αξιοσημείωτο χρόνο εκτέλεσης και υπολογιστικούς πόρους, ιδιαίτερα για πολύπλοκα προβλήματα.

Ο αλγόριθμος FHMM (Factorial Hidden Markov Models) είναι ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τη διάσπαση της ενέργειας σε περιπτώσεις Non-Intrusive Load Monitoring (NILM). Ο FHMM συνδυάζει την ανάλυση των κρυφών μαρκοβιανών μοντέλων (Hidden Markov Models - HMMs) με την πληροφορία της κατανάλωσης ενέργειας για την αναγνώριση και την πρόβλεψη των φορτίων.

Ο αλγόριθμος FHMM αναπαριστά κάθε φορτίο ως ένα ξεχωριστό HMM. Ένα HMM αποτελείται από ένα σύνολο καταστάσεων που αντιπροσωπεύουν τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του φορτίου και μια σειρά πιθανοτήτων μεταβάσεων ανάμεσα στις καταστάσεις. Σε κάθε χρονική στιγμή, ο FHMM εκτιμά την πιθανότητα ένα φορτίο να βρίσκεται σε κάθε κατάσταση βάσει των παρατηρήσεων της κατανάλωσης ενέργειας.

Η διαδικασία εκπαίδευσης του FHMM απαιτεί ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης που περιλαμβάνει τις μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας για κάθε φορτίο. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης, ο FHMM εκτιμά τις παραμέτρους των HMM για κάθε φορτίο, όπως οι πιθανότητες αρχικής κατάστασης, οι πιθανότητες μετάβασης και οι πιθανότητες εξόδου. Αυτές οι παράμετροι καθορίζουν τη συμπεριφορά του κάθε HMM και επομένως τον τρόπο λειτουργίας του συσκευής.

Μετά την εκπαίδευση, ο FHMM χρησιμοποιείται για τη διάσπαση της ενέργειας για νέες παρατηρήσεις κατανάλωσης ενέργειας. Κατά την εκτέλεση, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί την πληροφορία κατανάλωσης για να αναγνωρίσει τις καταστάσεις λειτουργίας των φορτίων και να προβλέψει την κατανάλωση ενός οικιακού φορτίου.

Ο FHMM παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα και ορισμένες προκλήσεις. Ένα πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα που έχει να ανιχνεύσει πρότυπα κατανάλωσης και να παράσχει εκτιμήσεις για την ενεργειακή κατανάλωση. Είναι ευέλικτος και μπορεί να αντιμετωπίσει διάφορα φορτία. Ωστόσο, ο FHMM αντιμετωπίζει και σημαντικές προκλήσεις όπως η ανάγκη για εκτεταμένη περίοδο εκπαίδευσης και η ευαισθησία στην αρχικοποίηση των HMMs.

Ανακεφαλαιώνοντας, ο αλγόριθμος FHMM είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη διάσπαση της ενέργειας και την αναγνώριση των φορτίων. Χρησιμοποιώντας μοντέλα HMM, αντιμετωπίζει την πολυπλοκότητα της κατανόησης και πρόβλεψης της ενεργειακής κατανάλωσης. Με τη βοήθεια του FHMM, είναι δυνατή η ανάλυση και η καταγραφή της ενεργειακής συμπεριφοράς και η λήψη μέτρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Ο αλγόριθμος "mean" (μέσος όρος) είναι ένας απλός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τη διάσπαση της ενέργειας σε περιπτώσεις όπου δεν είναι διαθέσιμες πιο προηγμένες τεχνικές ή πληροφορίες. Ο αλγόριθμος mean απλά υπολογίζει τον μέσο όρο της κατανάλωσης ενέργειας σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα.

Για να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος mean, τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας για ένα φορτίο (όπως ένα συγκεκριμένο ηλεκτρικό προϊόν ή συσκευή) συλλέγονται και χωρίζονται σε χρονικά διαστήματα (π.χ., ανά λεπτό, ανά ώρα ή ανά ημέρα). Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο μέσος όρος κατανάλωσης ενέργειας για κάθε χρονικό διάστημα.

Ο αλγόριθμος mean είναι απλός και ευανάγνωστος, αλλά έχει ορισμένους περιορισμούς. Είναι ευαίσθητος σε ακραίες τιμές (outliers) στα δεδομένα κατανάλωσης και δεν λαμβάνει υπόψη τις διακυμάνσεις και τα μοτίβα στην κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας ή των διαφόρων δραστηριοτήτων.

Ως εκ τούτου, ο αλγόριθμος mean συνήθως χρησιμοποιείται ως απλή αρχική προσέγγιση για τη διάσπαση της ενέργειας ή σε περιπτώσεις όπου η διαθέσιμη πληροφορία είναι περιορισμένη. Για πιο ακριβείς και αποδοτικές αποτελέσματα, συνήθως χρησιμοποιούνται πιο προηγμένοι αλγόριθμοι όπως οι προαναφερθέντες FHMM, CO και DSC, που αξιοποιούν περισσότερη πληροφορία και τεχνικές μοντελοποίησης.

2.4 Ανάλυση της χρησιμότητας και της λειτουργίας του NILM

Η ανάλυση της χρησιμότητας και της λειτουργίας του Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) αποτελεί ένα σημαντικό επιστημονικό θέμα στον τομέα της ενεργειακής ανάλυσης και διαχείρισης. Ο NILM αναφέρεται σε μια τεχνολογία που επιτρέπει τον ακριβή εντοπισμό και αναγνώριση των φορτίων που χρησιμοποιούνται σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο μέσω της ανάλυσης των χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Η χρησιμότητα του NILM απορρέει από την ικανότητά του να παρέχει αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σε συγκεκριμένα φορτία, χωρίς να χρειάζεται η εγκατάσταση πρόσθετου εξοπλισμού ή αισθητήρων σε κάθε φορτίο ξεχωριστά. Αυτό καθιστά το NILM ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιβάλλοντα όπου η εγκατάσταση επιπλέον αισθητήρων είναι δαπανηρή ή η εφαρμογή της γίνεται με δυσκολία .

Η λειτουργία του βασίζεται στην ανάλυση των παρεχόμενων δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας, όπως η τάση και ο ρεύμα που καταγράφονται από ένα μετρητή ή ένα σύστημα μέτρησης. Οι αλγόριθμοι του NILM επεξεργάζονται αυτά τα δεδομένα για να αναγνωρίσουν τα διάφορα φορτία με βάση τα χαρακτηριστικά της κατανάλωσής τους, όπως η συχνότητα, η διάρκεια, η παλμική φόρτιση και άλλα. Με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και αναγνώρισης προτύπων, ο NILM μπορεί να εντοπίσει και να διαχωρίσει τα φορτία με υψηλή ακρίβεια.

Μέσω της ανάλυσης της χρησιμότητας του NILM, είναι δυνατόν να επιτευχθούν διάφορα οφέλη. Πρώτον, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί αναλυτικά την κατανάλωση ενέργειας των φορτίων του και να αναγνωρίζει πιθανά προβλήματα, όπως υπερβολική κατανάλωση ενέργειας ή δυσλειτουργίες. Δεύτερον, ο NILM μπορεί να συμβάλει στην εφαρμογή πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της αναγνώρισης και απομόνωσης των φορτίων που καταναλώνουν τη μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας.

Ανακεφαλαιώνοντας θα θέλαμε να τονίσουμε ότι η ανάλυση της χρησιμότητας και της λειτουργίας του NILM αποκαλύπτει έναν αποτελεσματικό τρόπο για την

παρακολούθηση, τη διαχείριση και την εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Με την αναγνώριση των φορτίων και την ανάλυση της κατανάλωσής τους, μπορούν να ληφθούν πρακτικά μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και την επίτευξη πιο αποδοτικής χρήσης της ενέργειας.

Λαμβάνοντας υπόψη μας την παραπάνω ανάλυση της χρησιμότητας από την λειτουργία της NILM, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, όπως αυτή μπορεί να επιτευχθεί μέσα από την ανάπτυξη ενός νέου dataset για την εκπαίδευση των διαφόρων αλγορίθμων ανάλυσης της καταναλωμένης ενέργειας. Ένα από τα πάγια προβλήματα του Energy Disaggregation είναι το κόστος εγκατάστασης και αγοράς του απαραίτητου εξοπλισμού που θα διευκόλυνε τη διαδικασία αυτή. Με την ανάπτυξη του προαναφερθέντος dataset, γίνεται μια προσπάθεια ελαχιστοποίησης του απαραίτητου εξοπλισμού για την επίτευξη ανάλογων αποτελεσμάτων.

Η επιδίωξή μας είναι η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της ανάπτυξης ενός νέου dataset για την εκπαίδευση αλγορίθμων ανάλυσης της καταναλωμένης ενέργειας. Αυτή η προσέγγιση αποσκοπεί στη βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των αλγορίθμων στην αναγνώριση και αποσύνθεση των ενεργειακών φορτίων.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ανάπτυξης εξελιγμένων αλγορίθμων και τεχνικών που αξιοποιούν τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προηγμένες τεχνικές μηχανικής μάθησης και ευφυής ανάλυση δεδομένων για τη βελτίωση της ακρίβειας και της απόδοσης των αλγορίθμων.

Επιπλέον, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ανάπτυξης προηγμένων τεχνικών διαχείρισης ενέργειας. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να περιλαμβάνουν την αυτόματη ρύθμιση των συσκευών, την ανίχνευση ανεπάρκειας ενέργειας και την προτεραιοποίηση των ενεργειακά αποδοτικών λειτουργιών.

Συνολικά, η ανάπτυξη ενός νέου dataset και η χρήση προηγμένων τεχνικών ανάλυσης ενέργειας μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να μειώσουν το κόστος και την πολυπλοκότητα του απαιτούμενου εξοπλισμού και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και την ακρίβεια των αλγορίθμων ανάλυσης ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Μελέτη Περίπτωσης

Για την δημιουργία του συγκεκριμένου dataset, επιλέχθηκε μια κατοικία με 1 (έναν) κάτοικο. Αυτό οδήγησε σε μια αρκετά καθαρή και εύκολη παρακολούθηση της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας του ατόμου στην καθημερινότητα του, κάνοντας με αυτόν τον τρόπο πιο ακριβής την διαδικασία της επαλήθευσης των αποτελεσμάτων των αλγορίθμων.

3.2 Περιγραφή Υλικών

Για την συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μια σειρά αισθητήρων και εργαλείων σε διάφορα σημεία - κλειδιά του σπιτιού:

1. Fibaro Wall plugs:



Εικόνα 1: Fibaro Wall Plug

Χρησιμοποιήθηκαν για την καταμέτρηση επιμέρους καταναλώσεων για την ακριβέστερη εκπαίδευση των αλγορίθμων, για το Energy Disaggregation.

Ακολουθεί η περιγραφή του κατασκευαστή:

Το FIBARO Wall Plug είναι ένας universal, συμβατός Z-Wave διακόπτης ρελέ με τη μορφή πρίζας.

Η πρίζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία οποιασδήποτε συσκευής ισχύος μέχρι 2500W. Διαθέτει μέτρηση κατανάλωσης ενέργειας. Ο ενσωματωμένος κρυστάλλινος δακτύλιος LED, ενημερώνει για το τρέχον φορτίο της συνδεδεμένης συσκευής με αλλαγή του χρώματος του.

Η πρίζα μπορεί να λειτουργήσει χρησιμοποιώντας το κουμπί προγραμματισμού που βρίσκεται στο περίβλημα του ή μέσω οποιουδήποτε συμβατού ελεγκτή Z-Wave.

2. Qubino Smart Meter:



Εικόνα 2: Qubino Smart Meter

Χρησιμοποιήθηκε για την καταμέτρηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.

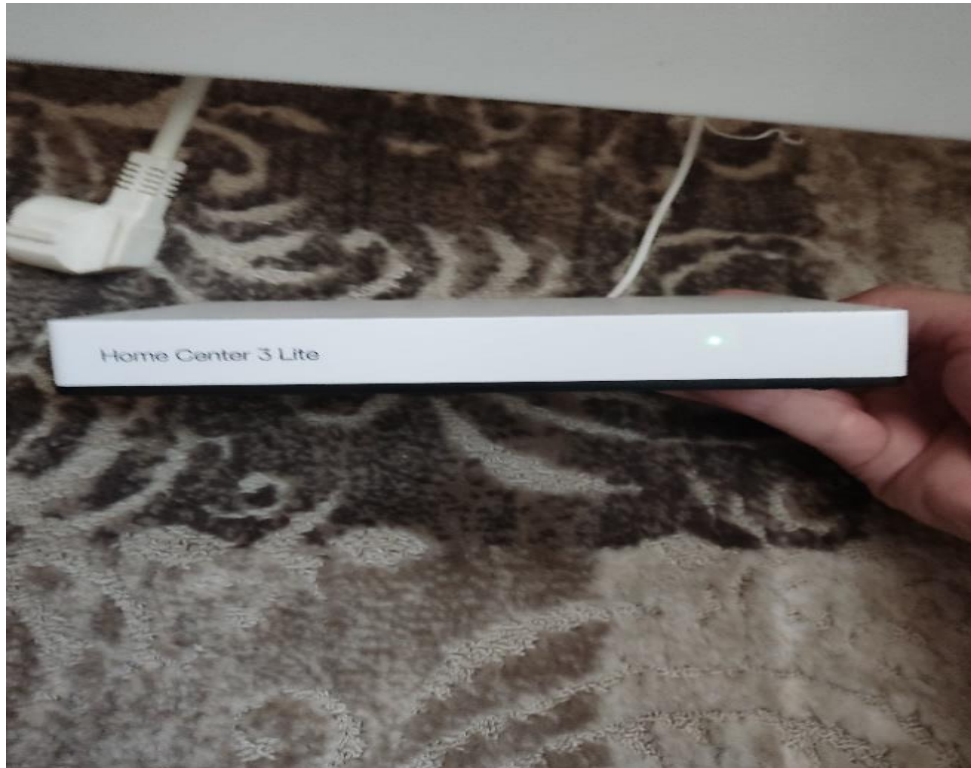
Ακολουθεί η περιγραφή του κατασκευαστή:

Ο μονοφασικός μετρητής χρησιμοποιείται για μετρήσεις ενέργειας σε δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι 65 A και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οικιακές, βιομηχανικές και άλλες εφαρμογές. Η συσκευή μετρά την ενέργεια απευθείας σε δίκτυα 4 συρμάτων, σύμφωνα με την αρχή της γρήγορης δειγματοληψίας των σημάτων τάσης και ρεύματος.

Είναι σχεδιασμένο για να τοποθετείται σε ράγα πίνακα.

Ο Έξυπνος μετρητής 1 φάσης υποστηρίζει το πιο πρόσφατο και ασφαλέστερο πρωτόκολλο επικοινωνίας για συσκευές Smart Home, το Security 2 (S2).

3. Home Center 3 Lite:





Εικόνα 3: Home Center 3 Lite

Χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή δεδομένων από τους μετρητές.

Ακολουθεί η περιγραφή του κατασκευαστή:

Το FIBARO Home Center 3 Lite είναι η μικρότερη έκδοση της πιο προηγμένης μονάδας έξυπνης διαχείρισης σπιτιού στον κόσμο. Η συσκευή έχει σχεδιαστεί με βάση το Home Center 3.

Αυτή η κεντρική μονάδα μπορεί να συνδεθεί με άλλες συσκευές Z-Wave, τις οποίες μπορείτε να χρησιμοποιήσετε για να κάνετε έλεγχο ηλεκτρονικών και οικιακών συσκευών, φωτισμού, ρολά, HVAC, συστήματα συναγερμού ή ποτίσματος.

Το Home Center 3 Lite συνιστάται για διαμερίσματα και μικρότερες έξυπνες οικιακές εγκαταστάσεις.

4. Home Assistant: Λογισμικό αυτοματισμού σπιτιού, που χρησιμοποιήθηκε για την ευκολία με την οποία μπορεί να αποθηκεύει τα δεδομένα.

5. NILM-TK: Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των καταναλώσεων από τα aggregated δεδομένα.

6.Google Sheets: Χρησιμοποιήθηκε για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων, καθώς είναι μια εύχρηστη και προσβάσιμη εφαρμογή.

3.3 Περιγραφή πειραματικής διάταξης

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης ο έξυπνος μετρητής συνδέθηκε στον ηλεκτρολογικό πίνακα του σπιτιού, σε σειρά μετά τον κεντρικό διακόπτη. Με αυτόν τον τρόπο, πετύχαμε να μετράει την συνολική καταναλωμένη ισχύ στο σπίτι. Επιπλέον, σε κάθε συσκευή του σπιτιού, για ένα μικρό χρονικό διάστημα, συνδέθηκε από ένα Wall plug.

Οι μετρητές αυτοί επικοινωνούν με τα όργανα συλλογής δεδομένων μέσω του πρωτοκόλλου Z-wave, το οποίο είναι μια low energy εναλλακτική για το Wi-Fi, αφού το πρωτόκολλο Z-wave δεν στέλνει πακέτα συνεχόμενα, αλλά μόνο όταν υπάρχουν αλλαγές στην κατάσταση της εκάστοτε συσκευής ή ανά προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα για να βεβαιώνεται το σύστημα πως δεν έχει χαθεί η επικοινωνία με κάποια συσκευή. Επιλέχθηκε για την αρχική συλλογή και απεικόνιση των δεδομένων το σύστημα Fibaro και συγκεκριμένα η συσκευή Home Center 3 Lite. Σύντομα, κρίθηκε απαραίτητη η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων, το οποίο οδήγησε στην ανάγκη χρήσης του λογισμικού Home Assistant, το οποίο και, εν τέλει, βοήθησε στην αποθήκευση των δεδομένων.

Σε δικτυακό επίπεδο, έγινε επικοινωνία του Home Assistant με το Home Center 3 Lite και το σύστημα Fibaro, για την αξιοποίηση του καλύτερου interface αλλά και των πολλών δυνατοτήτων για συνδυασμό πολλών συστημάτων, όπως είναι το Google Drive. Με αυτές τις επιλογές, φτιάχτηκε ένα σχεδόν καθαρά cloud-based σύστημα για την αποθήκευση των δεδομένων.

Ακολουθεί μια περιγραφή για τα: Wall plug, το πρωτόκολλο Z-wave, το λογισμικό Home Assistant αλλά και το σύστημα Fibaro.

Το wall plug είναι μια συσκευή που συνδέεται με μια ηλεκτρική πρίζα και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και τον έλεγχο της ηλεκτρικής κατανάλωσης μιας συσκευής ή μιας ομάδας συσκευών που είναι συνδεδεμένες σε αυτήν. Το wall plug παρέχει τη δυνατότητα να παρακολουθούμε την ισχύ που καταναλώνεται από τη συσκευή, την τάση του ηλεκτρικού ρεύματος και άλλες μετρήσεις που σχετίζονται με την ηλεκτρική κατανάλωση. Οι συσκευές αυτές, συνήθως είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες που μπορούν να ανιχνεύουν την ισχύ που καταναλώνεται από μια άλλη συσκευή.

Αυτές οι πληροφορίες στη συνέχεια μπορούν να μεταδοθούν σε ένα σύστημα ελέγχου ή σε μια εφαρμογή παρακολούθησης ενέργειας για ανάλυση και παρουσίαση. Οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν και να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας των συνδεδεμένων συσκευών, να προγραμματίζουν τη λειτουργία τους και να παίρνουν μετρήσεις για στατιστικούς και αναλυτικούς σκοπούς.

Το wall plug μπορεί να είναι χρήσιμο σε πολλές περιπτώσεις, όπως για την ενεργειακή παρακολούθηση και διαχείριση στο σπίτι, τη μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας σε εμπορικά κτίρια ή γραφεία, και για την ανίχνευση προβλημάτων στην ηλεκτρική κατανάλωση. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας και για τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας συγκεκριμένων συσκευών.

Συνολικά, το wall plug αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση, τη διαχείριση και την ανάλυση της ηλεκτρικής κατανάλωσης και μπορεί να συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη βελτίωση της αποδοτικότητας ενέργειας.

Το πρωτόκολλο Z-Wave είναι ένα ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για την αυτοματοποίηση και τον έλεγχο συσκευών σε έξυπνα σπίτια και κτίρια. Αναπτύχθηκε από την εταιρεία Z-Wave Alliance, η οποία είναι ένας σύνδεσμος πολλών εταιρειών που προωθούν και υποστηρίζουν την τεχνολογία Z-Wave.

Το πρωτόκολλο Z-Wave χρησιμοποιείται για την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ διάφορων έξυπνων συσκευών, όπως φώτα, θερμοστάτες, αισθητήρες ασφαλείας, κλειδαριές πόρτας και πολλές άλλες. Χρησιμοποιεί τη συχνότητα ραδιοκυμάτων 868,42 MHz στην Ευρώπη και 908,42 MHz στη Βόρεια Αμερική.

Η τεχνολογία Z-Wave χρησιμοποιεί το μοντέλο master-slave για την οργάνωση του δικτύου. Κάθε δικτυακή συσκευή έχει έναν master controller, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο και την επικοινωνία με τις συσκευές σκλάβους (slave devices). Ο μάστερ ελεγκτής μπορεί να είναι ένας υπολογιστής, ένα έξυπνο κέντρο ελέγχου ή ένας ειδικός ελεγκτής Z-Wave.

Το Z-Wave χρησιμοποιεί ένα μοναδικό πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών, το οποίο είναι βελτιστοποιημένο για την αποτελεσματική και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων σε ένα ασύρματο περιβάλλον. Αυτό επιτρέπει την αποδοτική λειτουργία του συστήματος, με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και μεγάλη απόσταση κάλυψης.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του Z-Wave είναι η συμβατότητα μεταξύ διαφορετικών εταιρειών και συσκευών. Οι συσκευές Z-Wave μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή, παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία και επιλογές στους χρήστες.

Επιπλέον, το Z-Wave προσφέρει ασφάλεια στην επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση για την προστασία των δεδομένων και την αποτροπή ανεπιθύμητων παρεμβάσεων. Έχει έτσι καθιερωθεί ως ένα από τα κύρια πρωτόκολλα για τον έξυπνο οικιακό αυτοματισμό και τυγχάνει ευρείας υποστήριξης από πολλούς κατασκευαστές και προμηθευτές συσκευών. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν ένα ευέλικτο σύστημα ελέγχου για το σπίτι τους, ενσωματώνοντας διάφορες συσκευές και λειτουργίες μέσω του Z-Wave πρωτοκόλλου.

Το Home Assistant είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα που παρέχει πλατφόρμα αυτοματισμού και ελέγχου για έξυπνα σπίτια. Σχεδιάστηκε για να ενοποιήσει και να διαχειριστεί τις διάφορες συσκευές και υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται στο σπίτι, όπως έξυπνα ηλεκτρικά συστήματα, φώτα, θερμοστάτες, αισθητήρες και πολλά άλλα.

Ο στόχος του Home Assistant είναι να παρέχει ένα ενιαίο περιβάλλον, όπου οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν και να αυτοματοποιούν τις συσκευές τους, χρησιμοποιώντας έναν κεντρικό χώρο ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι μπορείτε να ελέγχετε και να παρακολουθείτε τις συσκευές σας από οπουδήποτε, είτε από έναν υπολογιστή, από ένα κινητό τηλέφωνο, από ένα tablet ή μέσω φωνητικών βοηθών όπως ο Google Assistant ή ο Amazon Alexa.

Ο Home Assistant υποστηρίζει πολλές πλατφόρμες συσκευών και υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των πρωτοκόλλων HomeKit, Zigbee, Z-Wave, MQTT και πολλών άλλων. Επίσης, παρέχει ευέλικτες δυνατότητες προσαρμογής και επέκτασης μέσω πρόσθετων (add-ons) και προσαρμογής του κώδικα. Οι χρήστες μπορούν να

δημιουργήσουν αυτοματισμούς, να διαμορφώσουν σενάρια (scenes), να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας, να λαμβάνουν ειδοποιήσεις και να δημιουργήσουν ένα προσαρμοσμένο περιβάλλον αυτοματισμού που προσαρμόζεται στις ανάγκες τους. Το Home Assistant είναι προσβάσιμο μέσω μιας αλληλεπίδρασης χρήστη με γραφικό περιβάλλον, καθώς και μέσω καταχωρητή κειμένου YAML για προηγμένες ρυθμίσεις.

FIBARO είναι μια εταιρεία που παράγει έξυπνα συστήματα αυτοματισμού για το σπίτι, γνωστά και ως FIBARO Home Intelligence. Η εταιρεία προσφέρει μια πλατφόρμα αυτοματισμού για το σπίτι που επιτρέπει στους χρήστες να ελέγχουν και να διαχειρίζονται διάφορες συσκευές και λειτουργίες μέσω μιας εύχρηστης διασύνδεσης. Το σύστημα FIBARO χρησιμοποιεί ασύρματη τεχνολογία για την επικοινωνία με τις συσκευές και υποστηρίζει διάφορα πρωτόκολλα, όπως το Z-Wave και το HomeKit. Αυτό το καθιστά συμβατό με μια ευρεία γκάμα συσκευών, όπως φώτα, θερμοστάτες, αισθητήρες κίνησης, κάμερες ασφαλείας, πόρτες και παράθυρα, ήχο, συσκευές κουζίνας και πολλά άλλα. Με το σύστημα FIBARO, οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν τις συσκευές τους από οποιαδήποτε τοποθεσία, χρησιμοποιώντας μια εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα ή έναν ιστότοπο. Μπορούν να δημιουργήσουν σενάρια αυτοματισμού για να αλληλεπιδρούν οι συσκευές μεταξύ τους, όπως αυτόματος έλεγχος των φώτων ή του κλιματισμού, βάσει της παρουσίας των κατοίκων ή των χρονικών συνθηκών. Επιπλέον, το FIBARO προσφέρει λειτουργίες ασφαλείας, όπως ειδοποιήσεις για κατάσταση ασφάλειας, ανίχνευση κίνησης, πυρκαγιάς ή διαρροής νερού, και τη δυνατότητα πρόσβασης από απομακρυσμένες τοποθεσίες για να ελέγχουν και να παρακολουθούν την ασφάλεια του σπιτιού τους.

3.4 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα από την συλλογή και την επεξεργασία μέσω του training και του testing με την βοήθεια των αλγόριθμων παρουσιάζονται παρακάτω. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα είναι αποτέλεσμα συλλογής δεδομένων διάρκειας περίπου 60 ημερών, και με δοκιμές σε διαστήματα 2-3 ημερών.

Από τα στοιχεία των μετρήσεων μας και μετά από την επεξεργασία τους, παρατηρήσαμε ότι οι αλγόριθμοι CO και FHMM είχαν εξαιρετική ακρίβεια στις προβλέψεις κατανάλωσης ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος CO εμφάνισε ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τον αλγόριθμο FHMM. Η σύγκριση αυτή βασίστηκε σε μεμονωμένα δεδομένα κατανάλωσης που συλλέχθηκαν ανά ημέρα και ανά μετρητή.

Αντίθετα, ο αλγόριθμος Mean δεν παρουσίασε την ίδια ακρίβεια όσο οι προαναφερθέντες αλγόριθμοι. Κατά την εκτέλεση των προβλέψεων, ήταν αναμενόμενο ότι ο αλγόριθμος Mean δεν θα μπορούσε να παρέχει ακριβείς προβλέψεις για συγκεκριμένη χρήση ενέργειας σε συγκεκριμένο χρόνο. Αυτό οφείλεται στη απλότητα του αλγορίθμου, καθώς ο Mean υπολογίζει απλά τη μέση τιμή.

Συνολικά, τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης δείχνουν ότι οι αλγόριθμοι CO και FHMM είναι οι πιο ακριβείς και αποδοτικοί στον χώρο της πρόβλεψης κατανάλωσης ενέργειας. Αυτή η πληροφορία είναι σημαντική για την αποτελεσματική διαχείριση και εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα σπίτι ή σε οποιοδήποτε άλλο περιβάλλον, ωστόσο παρουσίασαν και κάποιες διαφορές μεταξύ τους :

Ο CO αλγόριθμος απαιτεί ένα σύνολο χαρακτηριστικών για κάθε συσκευή και αναζητεί τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών που είναι πιο πιθανό να αντιστοιχούν στην κατανάλωση της συσκευής.

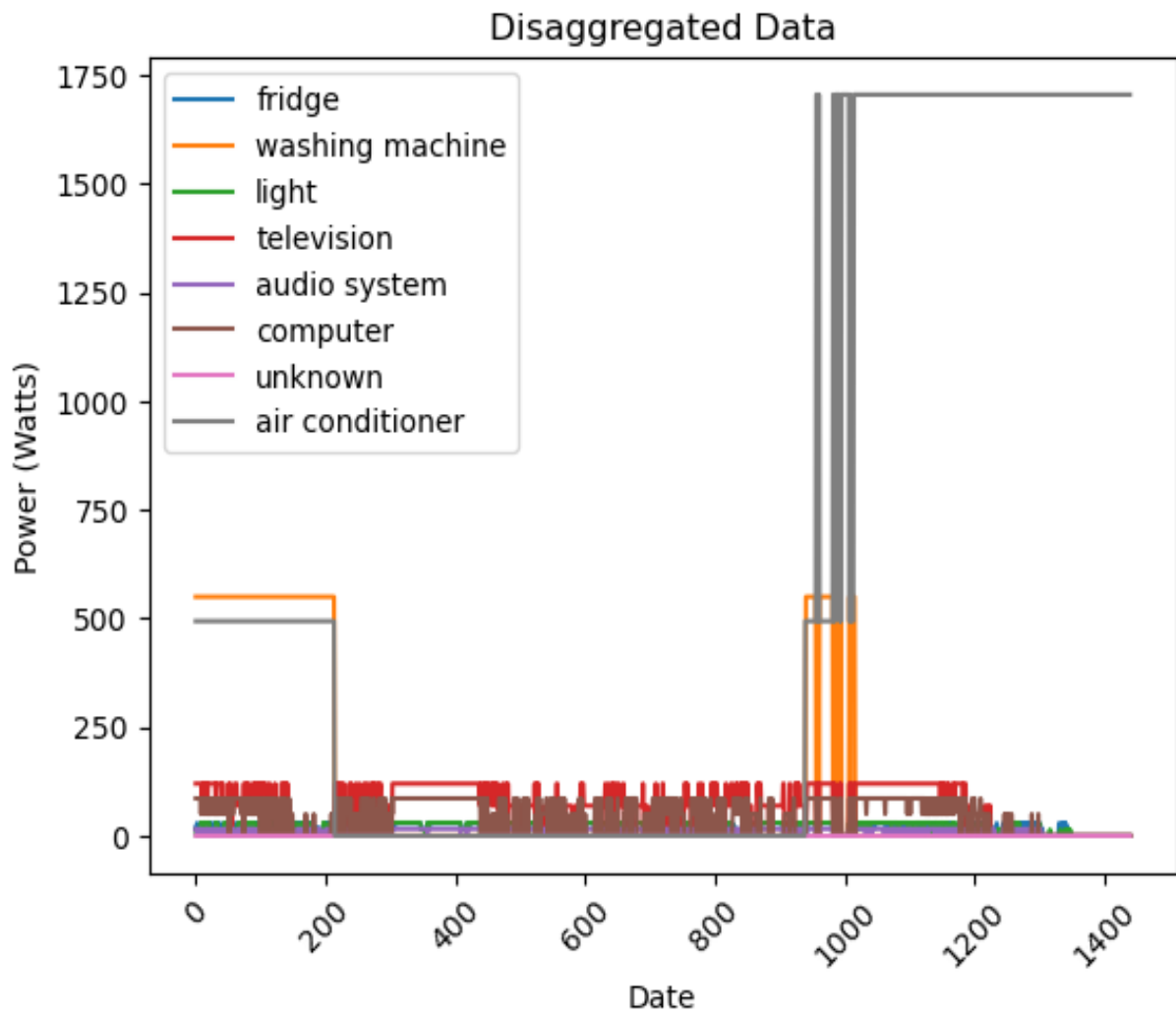
Ο CO αλγόριθμος μπορεί να παρέχει ακριβέστερα αποτελέσματα όταν υπάρχουν πολλές πηγές φορτίου με παρόμοιες καταναλωτικές συμπεριφορές.

Ο FHMM αλγόριθμος είναι σχετικά απλούστερος και γρηγορότερος από τον CO αλγόριθμο, αλλά μπορεί να είναι λιγότερο ακριβής όταν υπάρχει υψηλή ποικιλομορφία στις καταναλωτικές συμπεριφορές των συσκευών.

Οι δύο αυτοί αλγόριθμοι έχουν διαφορετικές προσεγγίσεις στη διασπασμένη ανίχνευση της ενέργειας και έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Η επιλογή μεταξύ τους εξαρτάται από το ειδικό περιβάλλον και τις απαιτήσεις του συστήματος NILM.

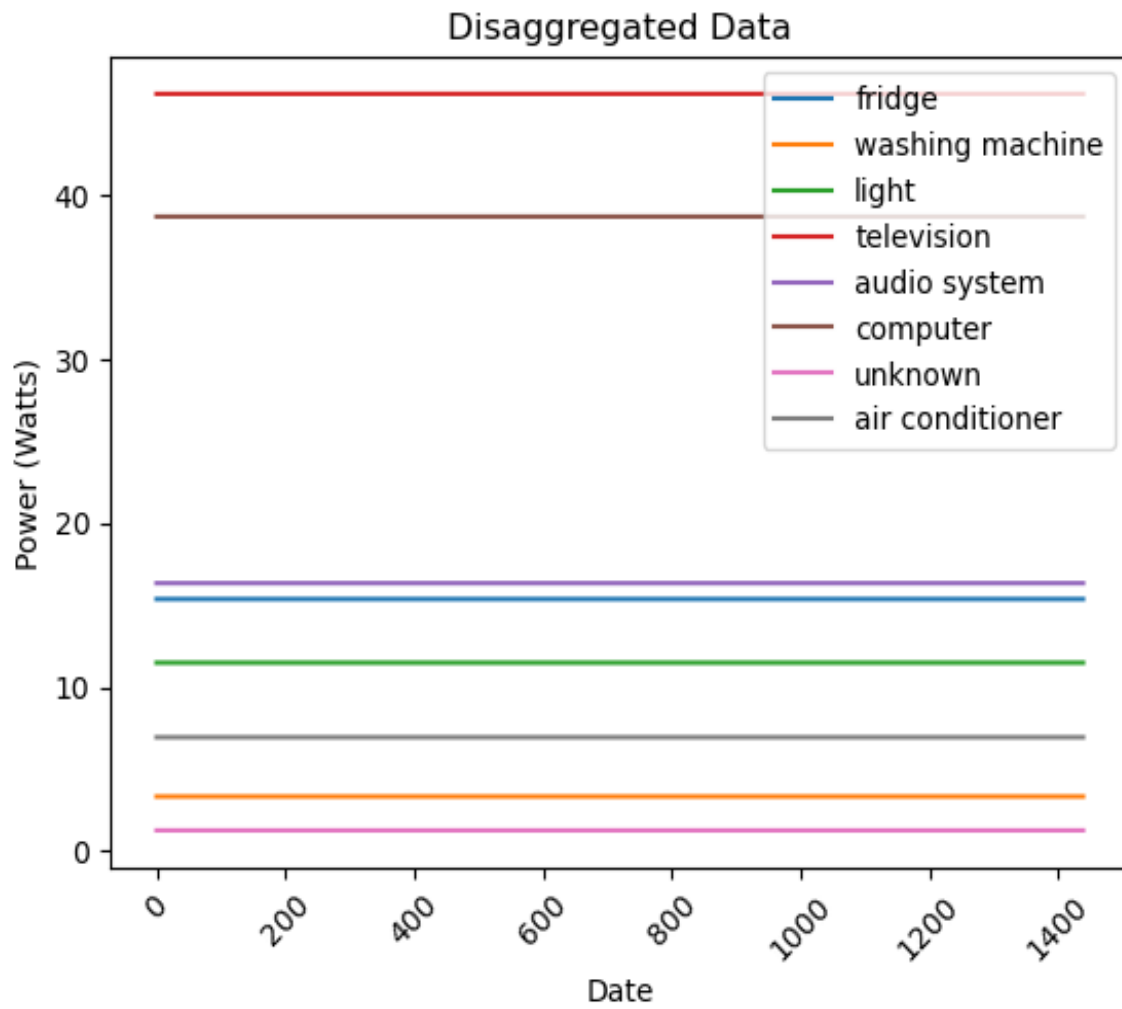
Γενικά, ο CO αλγόριθμος μπορεί να είναι προτιμότερος για περιβάλλοντα με παρόμοιες καταναλωτικές συμπεριφορές, ενώ ο FHMM αλγόριθμος μπορεί να είναι πιο κατάλληλος για περιβάλλοντα με μεγαλύτερη ποικιλομορφία στις καταναλωτικές συμπεριφορές.

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ CO:



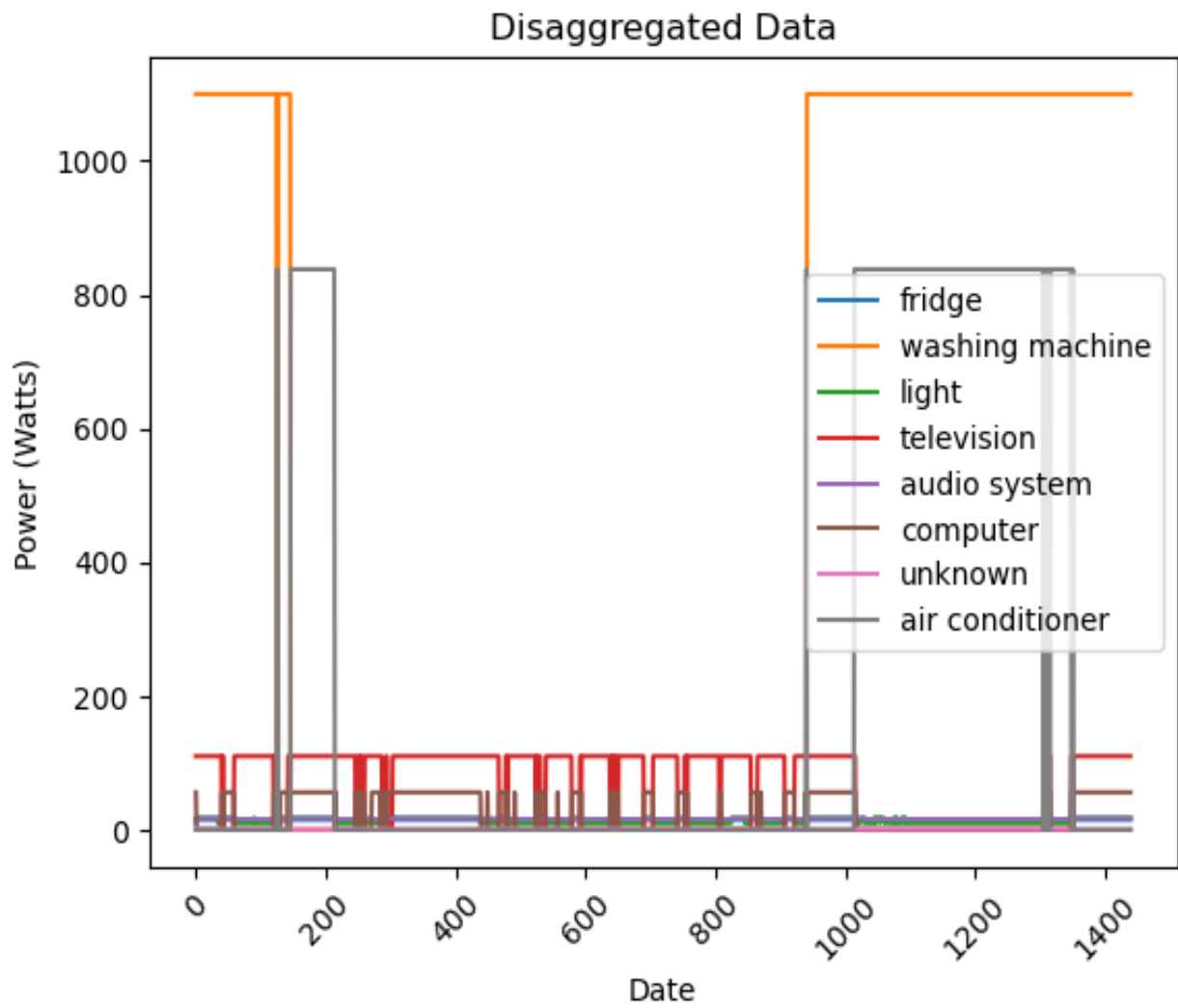
Σχήμα 2: Διαχωρισμένες Καταναλώσεις CO

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ Mean:



Σχήμα 3: Διαχωρισμένες Καταναλώσεις Mean

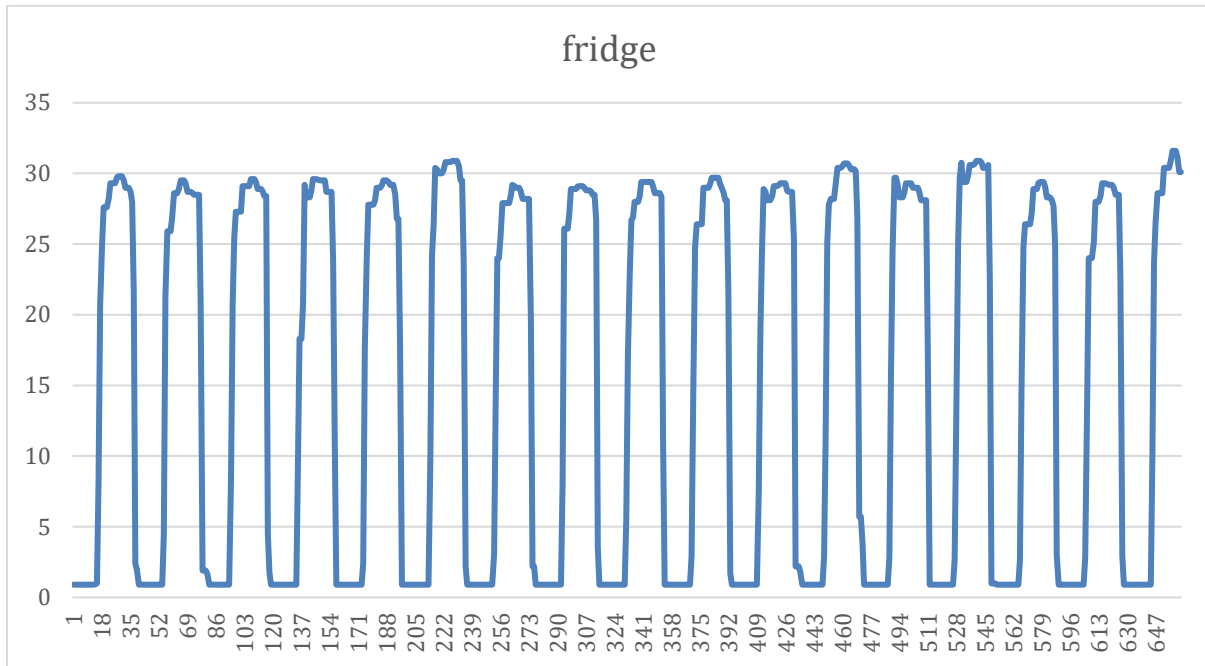
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ FHMM:



Σχήμα 4: Διαχωρισμένες Καταναλώσεις FHMM

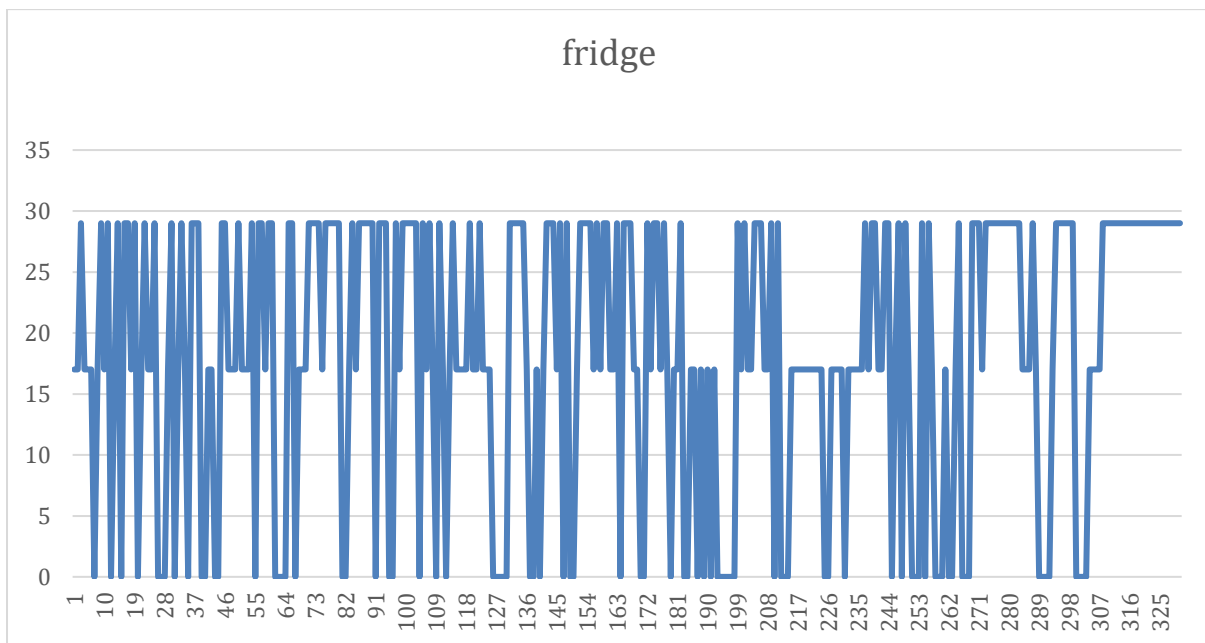
Παρακάτω παρατίθενται μερικά διαγράμματα, όπου συγκρίνονται η εκτιμώμενη με την καταναλωμένη ισχύ, στο ίδιο χρονικό διάστημα:

Πραγματική κατανάλωση:



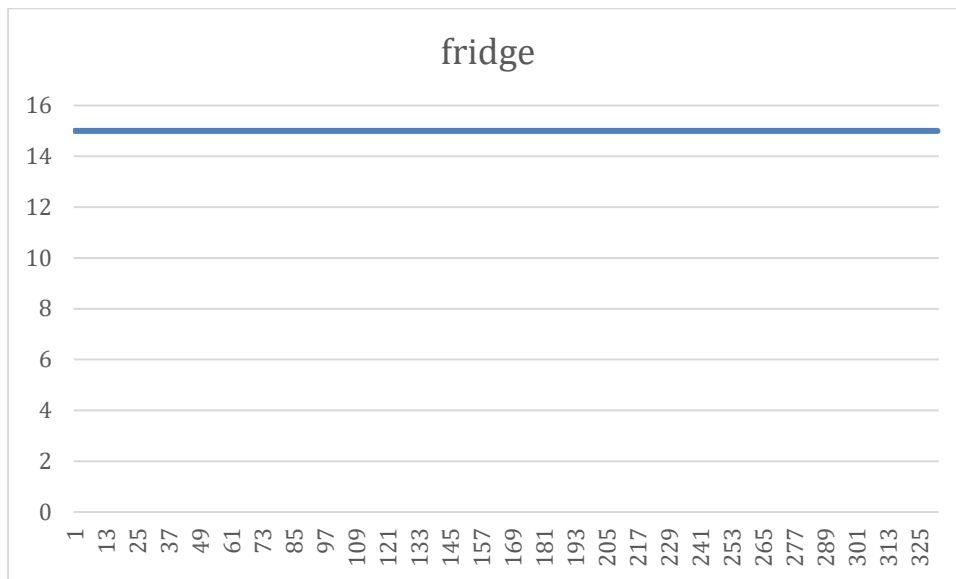
Σχήμα 5: Πραγματική Κατανάλωση Ψυγείου

Προβλεπόμενη κατανάλωση CO:



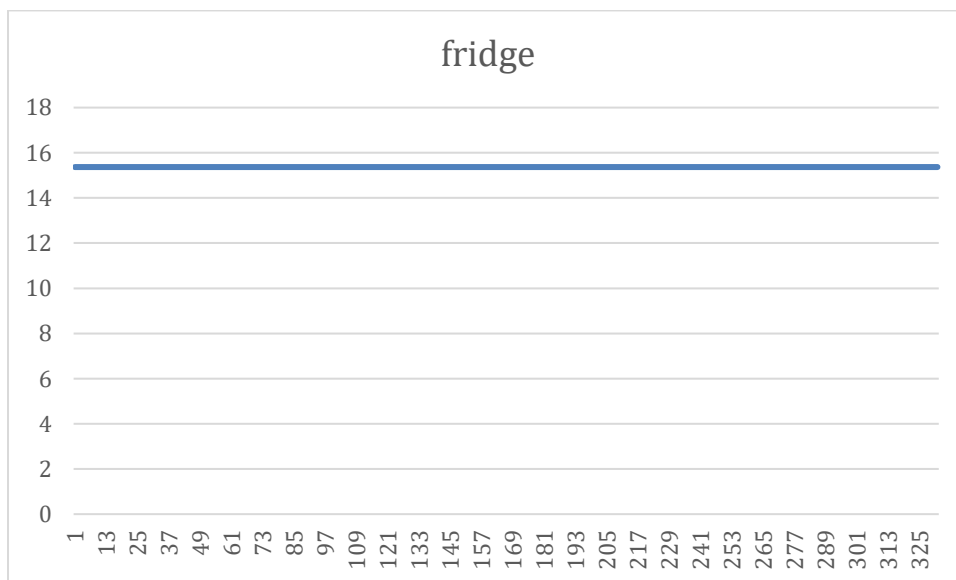
Σχήμα 6: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Ψυγείου Κατά CO

Προβλεπόμενη κατανάλωση FHMM:



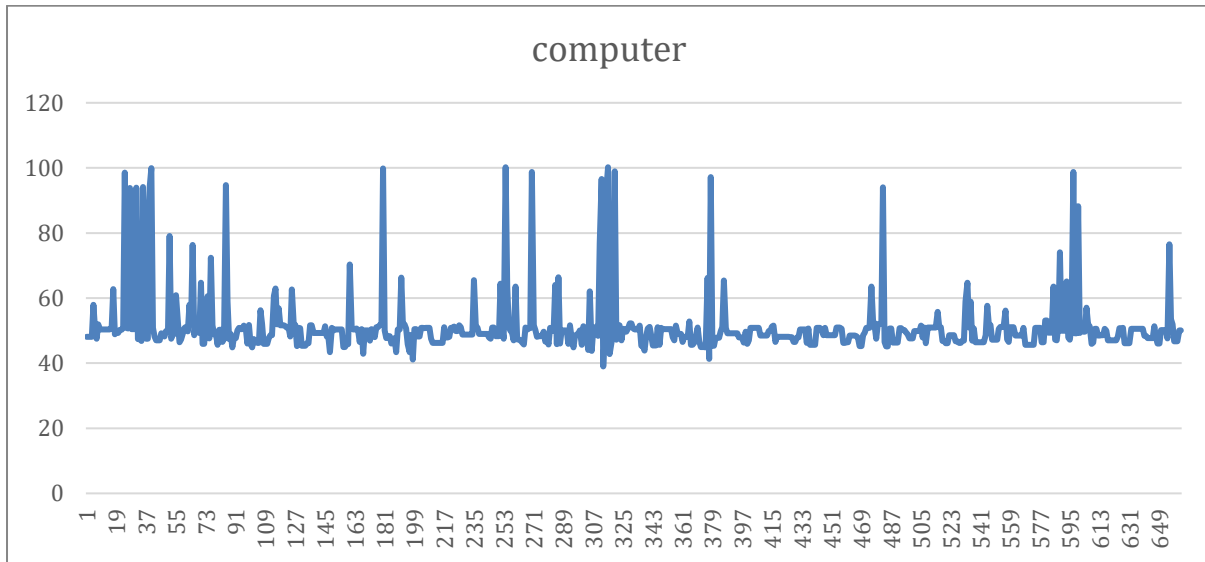
Σχήμα 7: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Ψυγείου Κατά FHMM

Προβλεπόμενη κατανάλωση Mean:



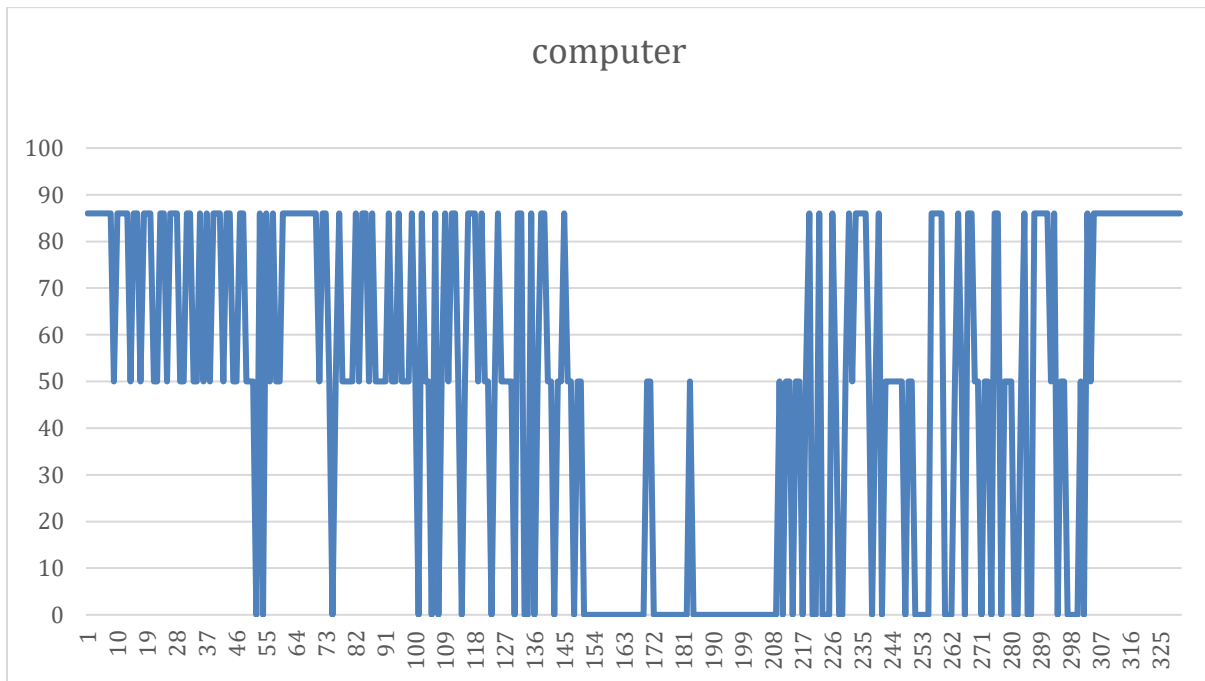
Σχήμα 8: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Ψυγείου Κατά Mean

Πραγματική κατανάλωση:



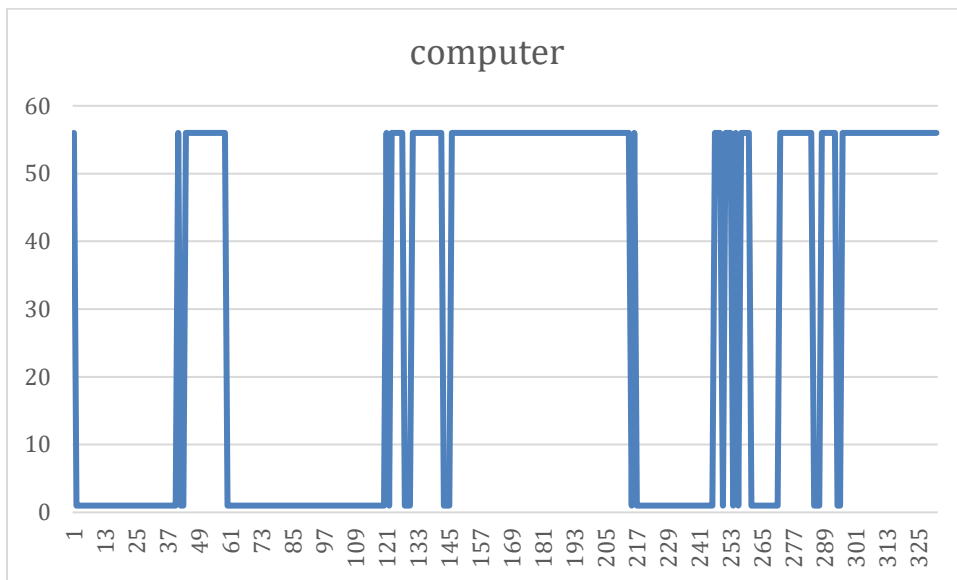
Σχήμα 9: Πραγματική Κατανάλωση Η/Υ

Προβλεπόμενη κατανάλωση CO:



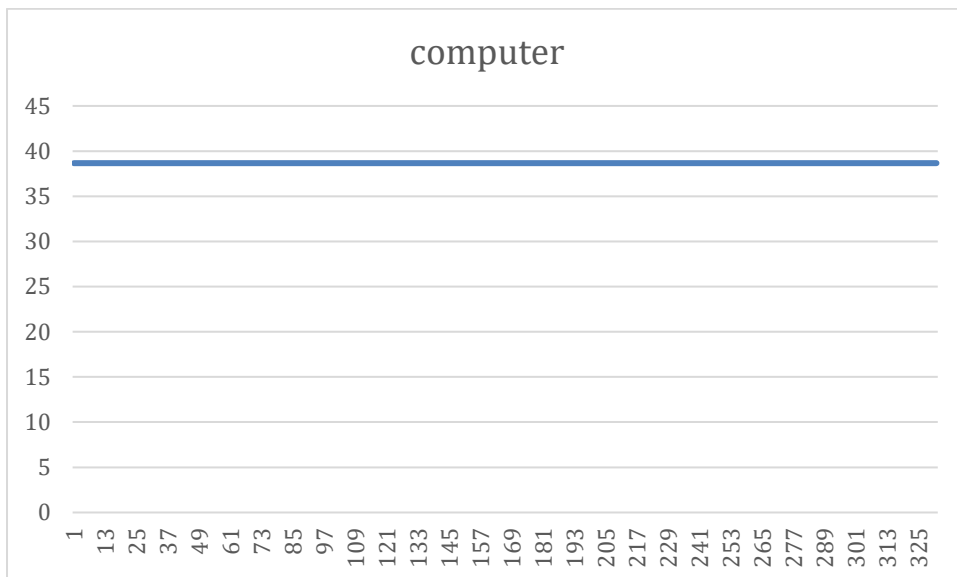
Σχήμα 10: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Η/Υ κατά CO

Προβλεπόμενη κατανάλωση FHMM:



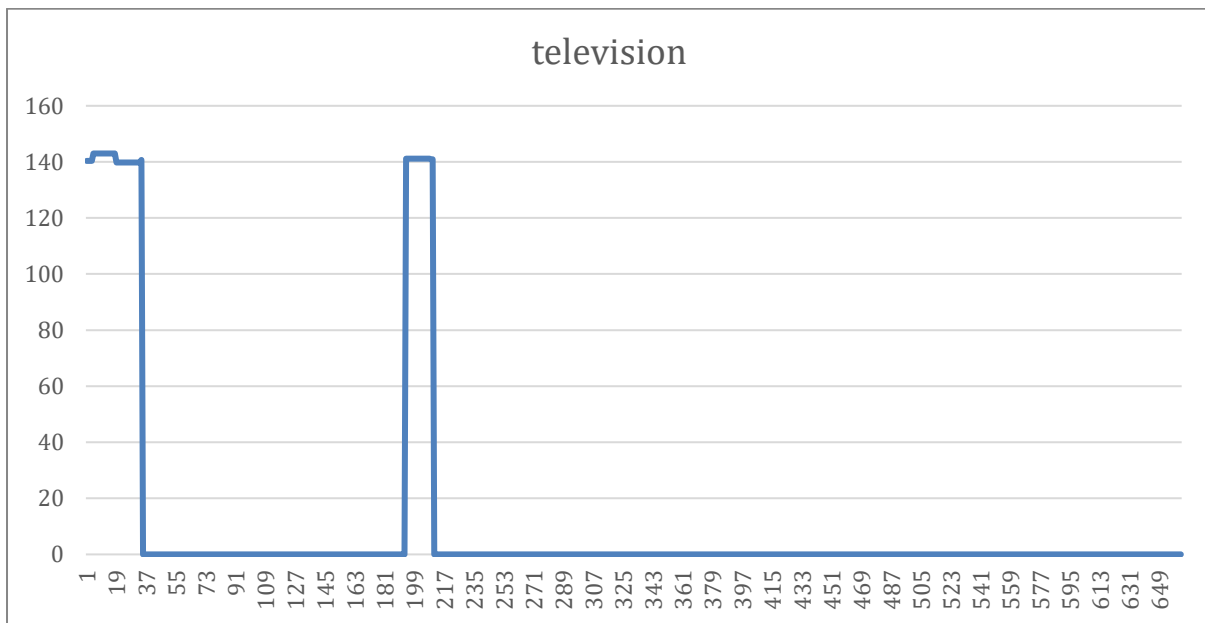
Σχήμα 11: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Η/Υ κατά FHMM

Προβλεπόμενη κατανάλωση Mean:



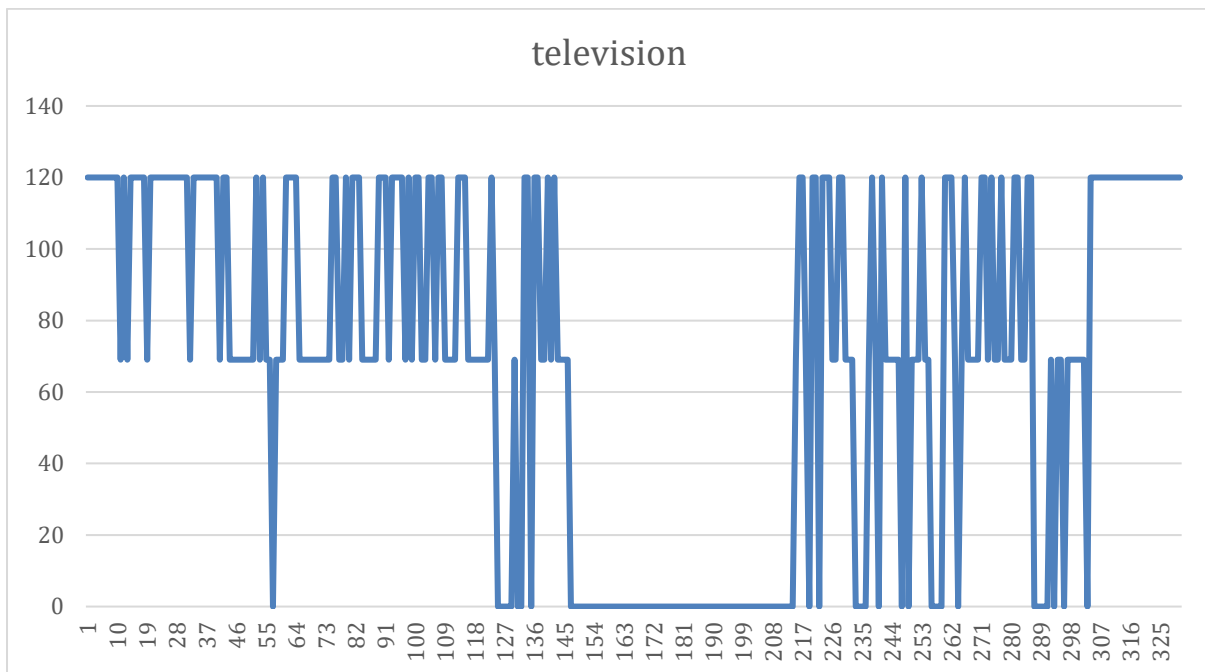
Σχήμα 12: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Η/Υ κατά Mean

Πραγματική κατανάλωση:



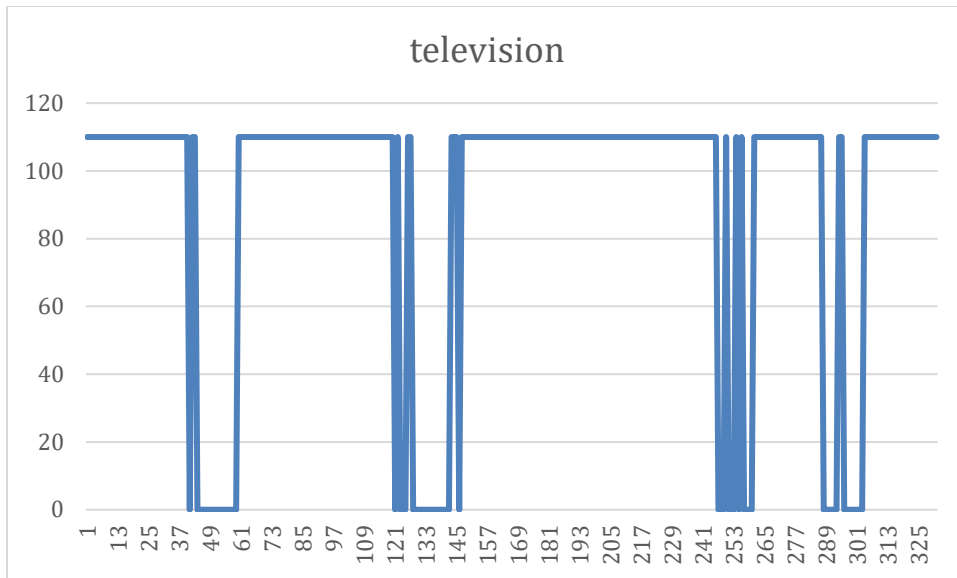
Σχήμα 13: Πραγματική Κατανάλωση TV

Προβλεπόμενη κατανάλωση CO:



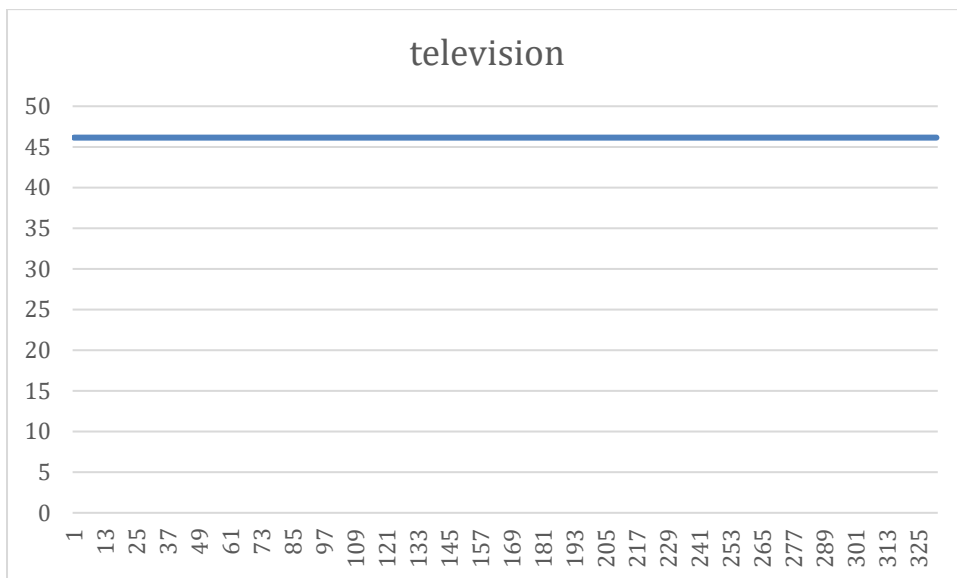
Σχήμα 14: Προβλεπόμενη Κατανάλωση TV κατά CO

Προβλεπόμενη κατανάλωση FHMM:



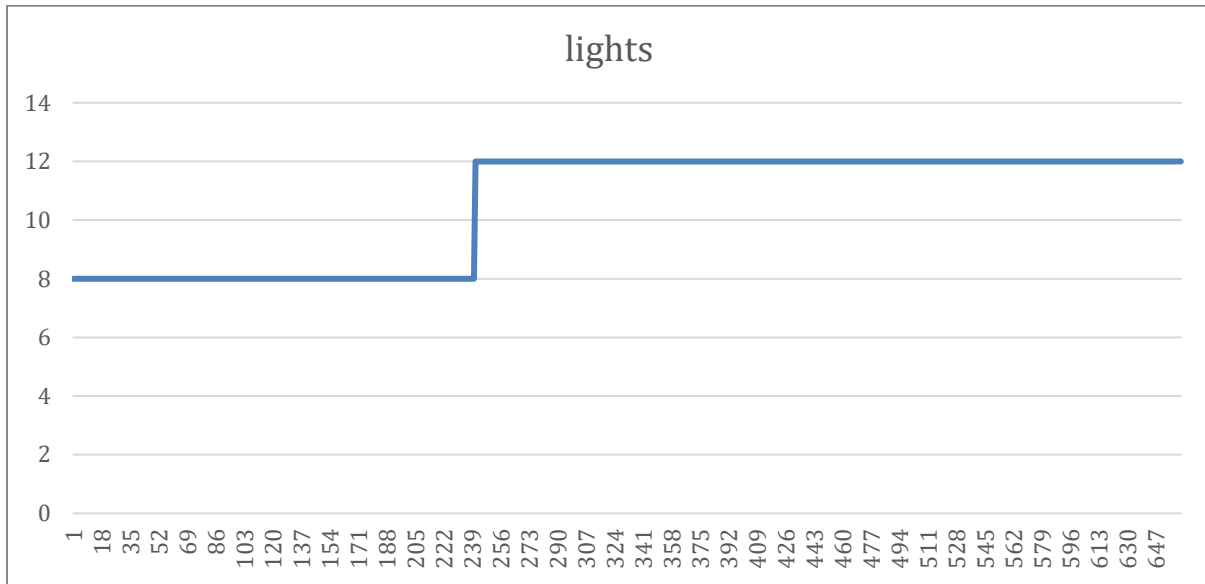
Σχήμα 15: Προβλεπόμενη Κατανάλωση TV κατά FHMM

Προβλεπόμενη κατανάλωση Mean:



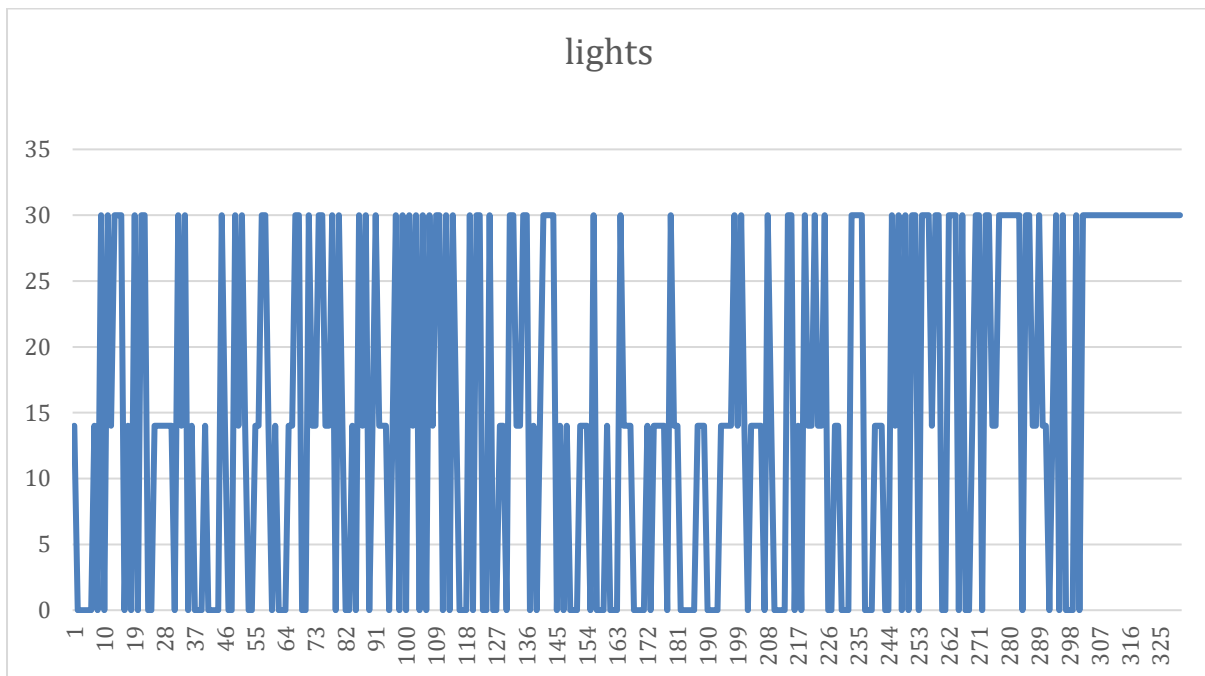
Σχήμα 16: Προβλεπόμενη Κατανάλωση TV κατά Mean

Πραγματική κατανάλωση:



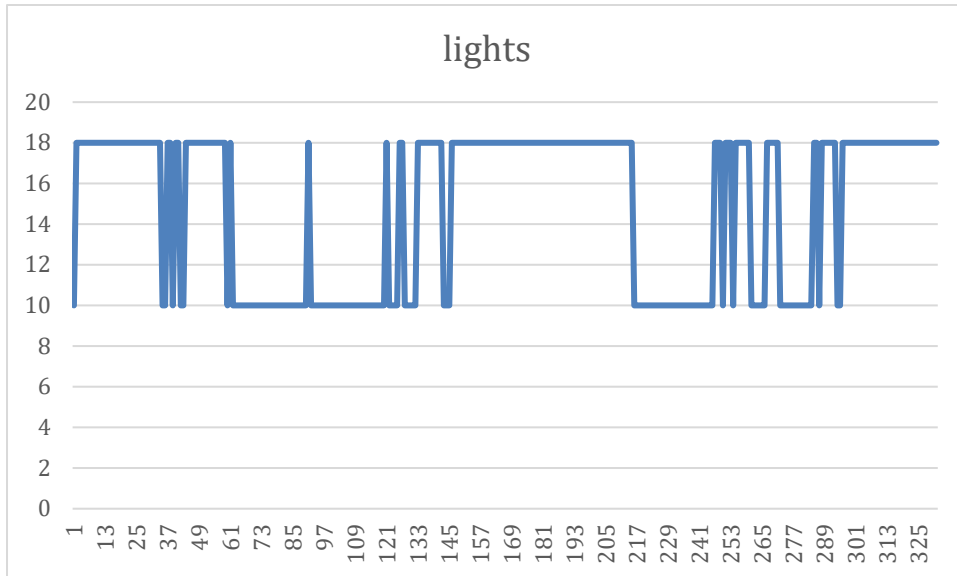
Σχήμα 17: Πραγματική Κατανάλωση Φώτων

Προβλεπόμενη κατανάλωση CO:



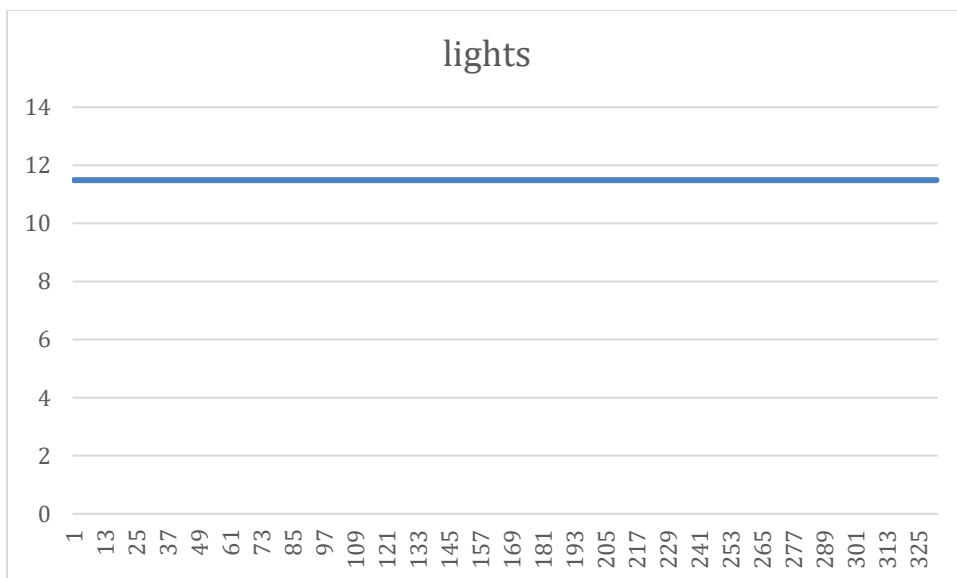
Σχήμα 18: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Φώτων κατά CO

Προβλεπόμενη κατανάλωση FHMM:



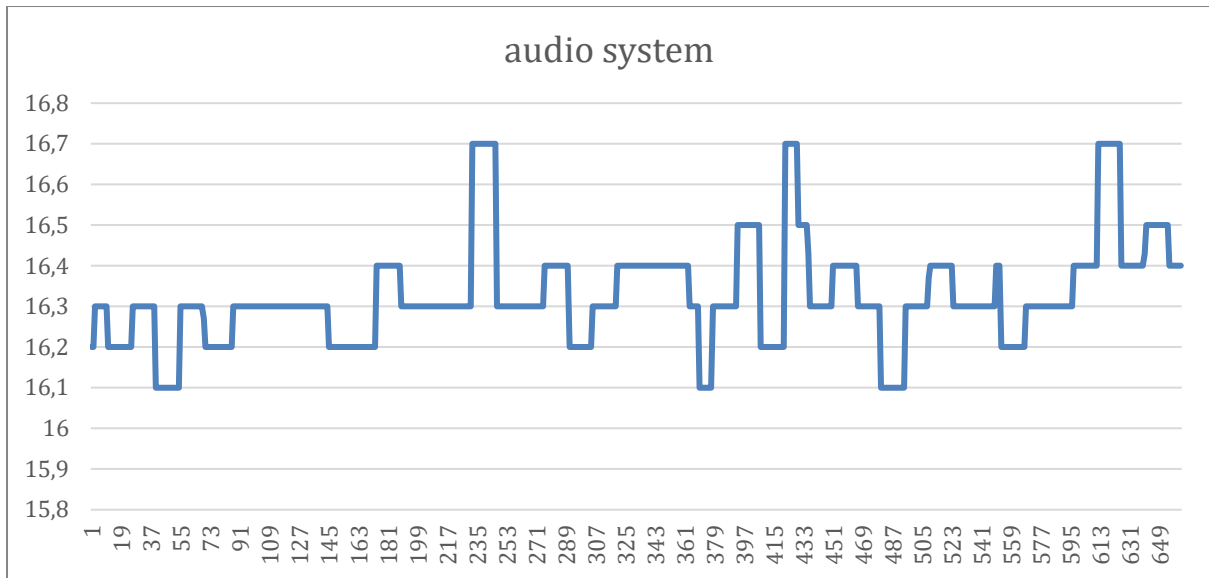
Σχήμα 19: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Φώτων κατά FHMM

Προβλεπόμενη κατανάλωση Mean:



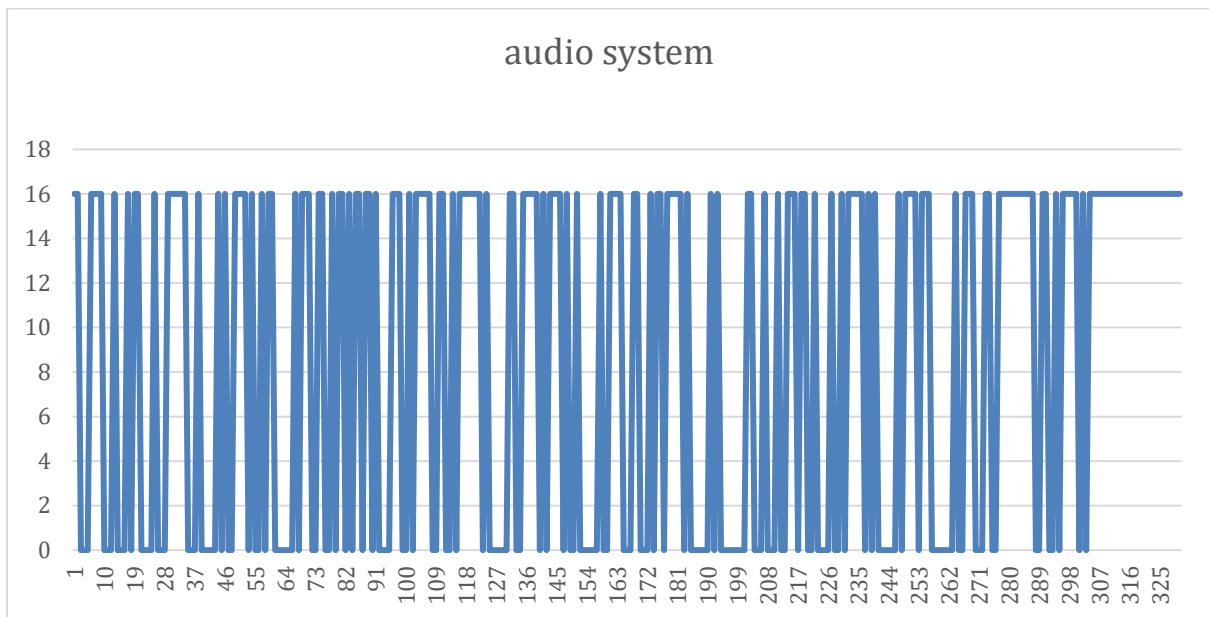
Σχήμα 20: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Φώτων κατά Mean

Πραγματική κατανάλωση:



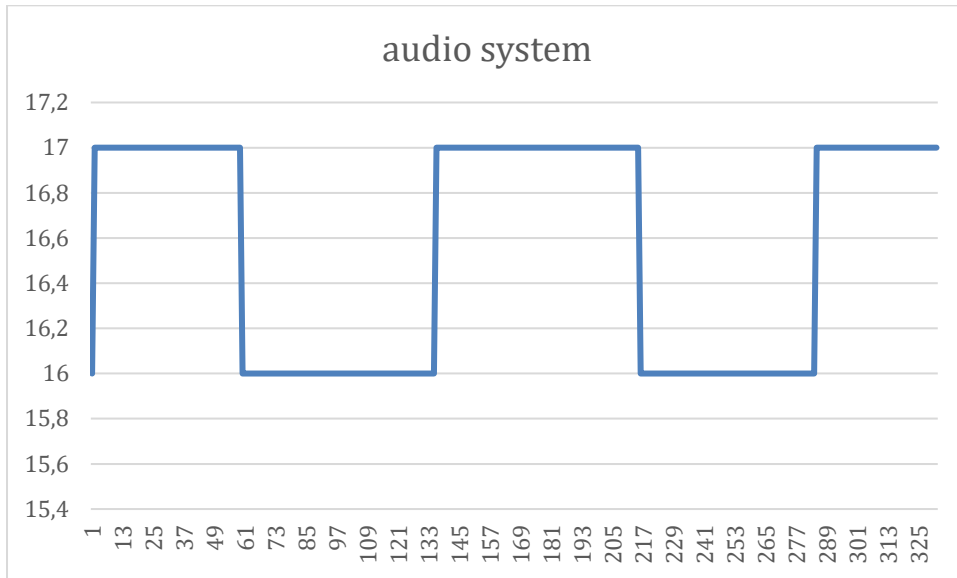
Σχήμα 21: Πραγματική Κατανάλωση Home Cinema

Προβλεπόμενη κατανάλωση CO:



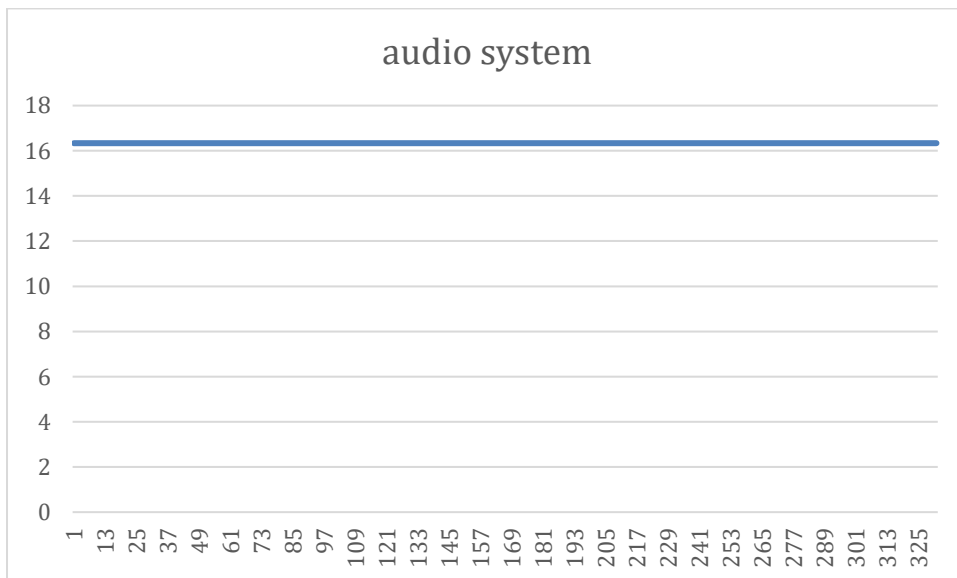
Σχήμα 22: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Home Cinema κατά CO

Προβλεπόμενη κατανάλωση FHMM:



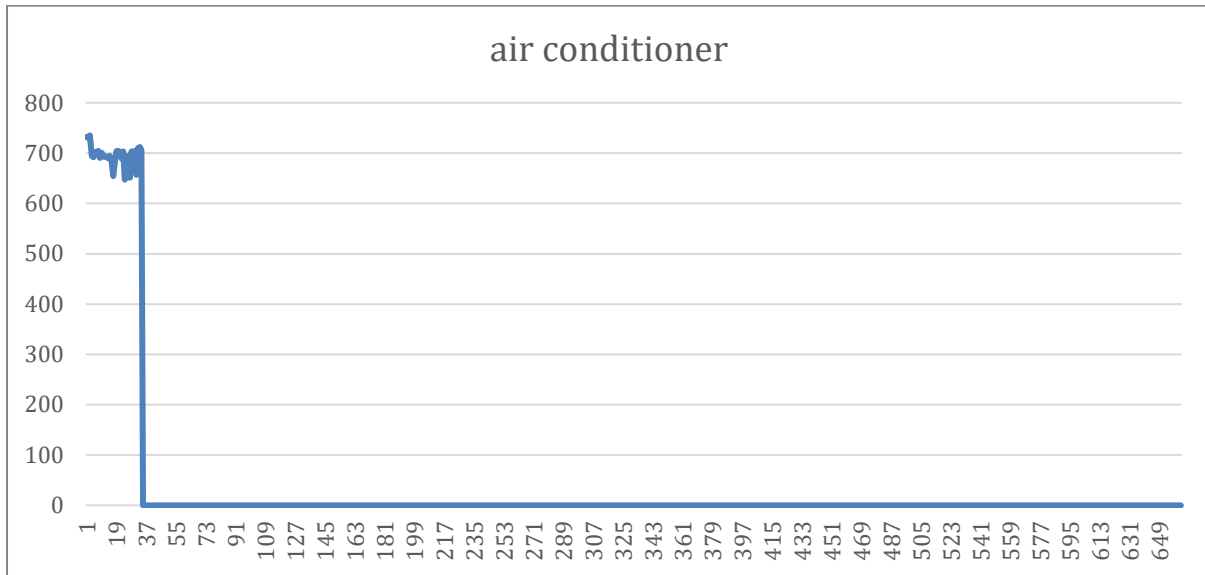
Σχήμα 23: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Home Cinema κατά FHMM

Προβλεπόμενη κατανάλωση Mean:



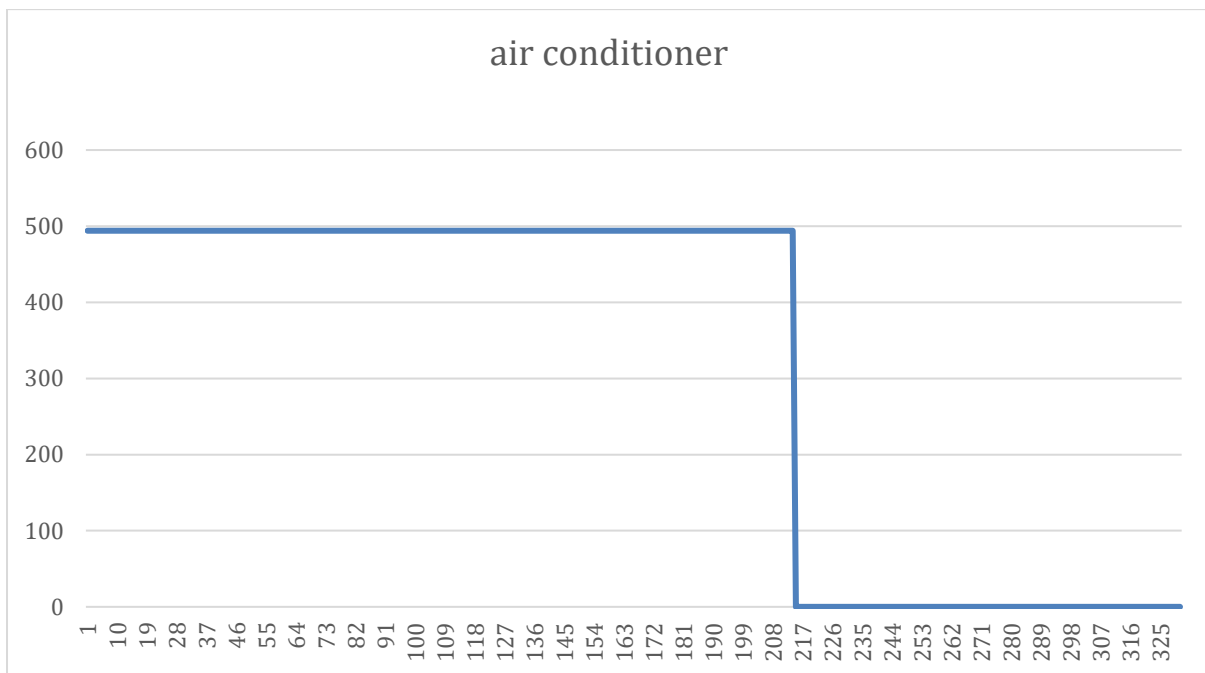
Σχήμα 24: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Home Cinema κατά Mean

Πραγματική κατανάλωση:



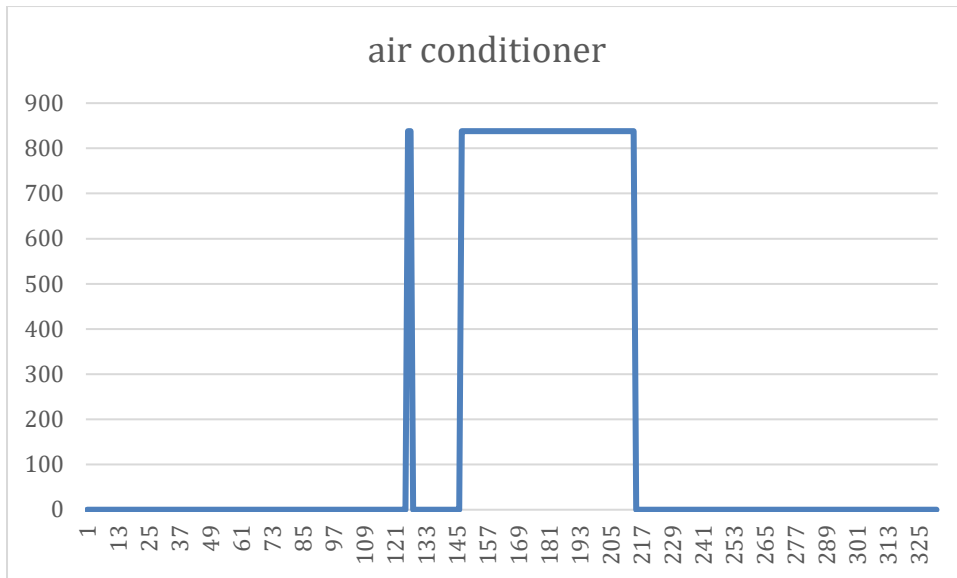
Σχήμα 25: Πραγματική Κατανάλωση Air Conditioner

Προβλεπόμενη κατανάλωση CO:



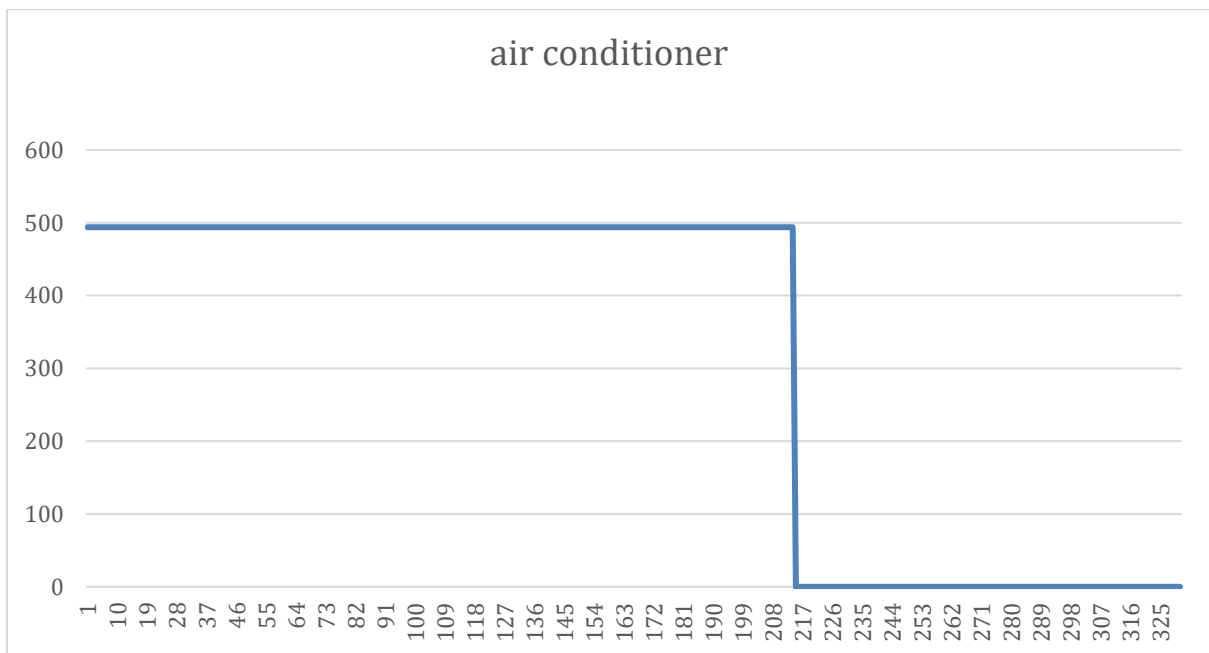
Σχήμα 26: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Air Conditioner κατά CO

Προβλεπόμενη κατανάλωση FHMM:



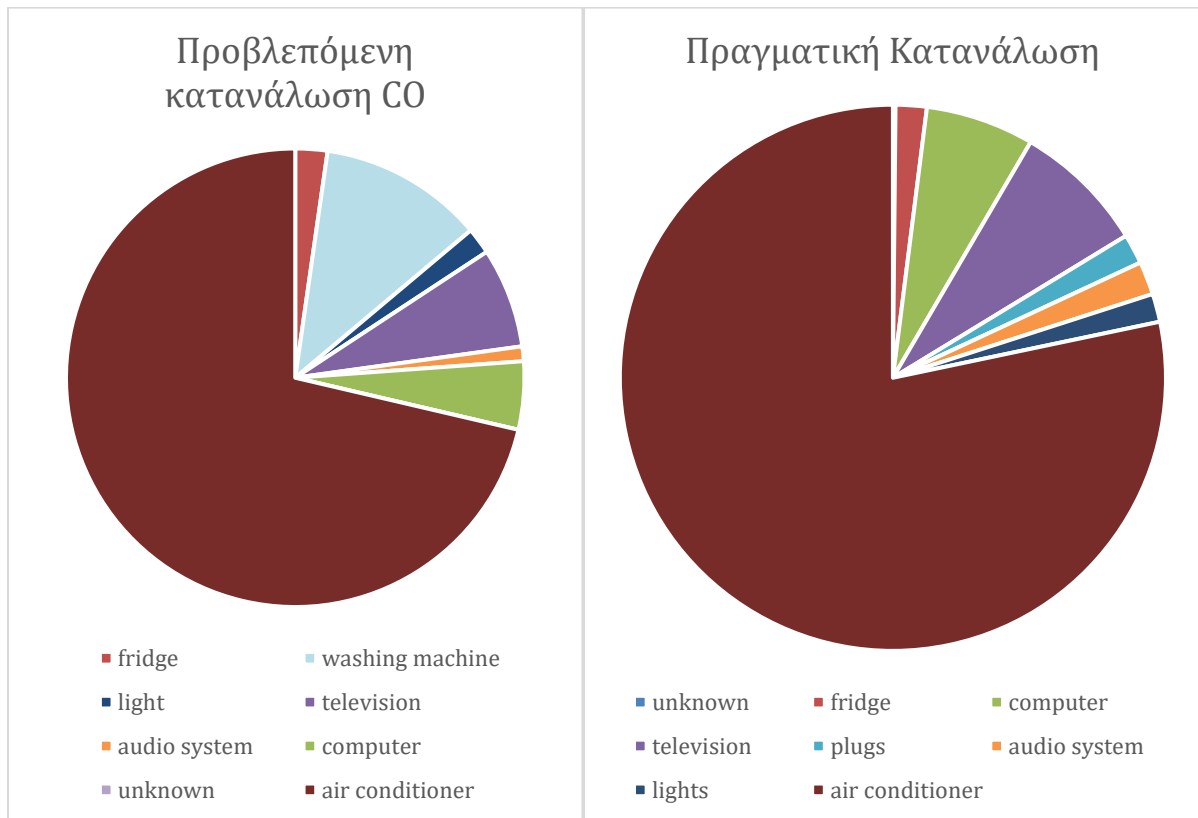
Σχήμα 27: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Air Conditioner κατά FHMM

Προβλεπόμενη κατανάλωση Mean:



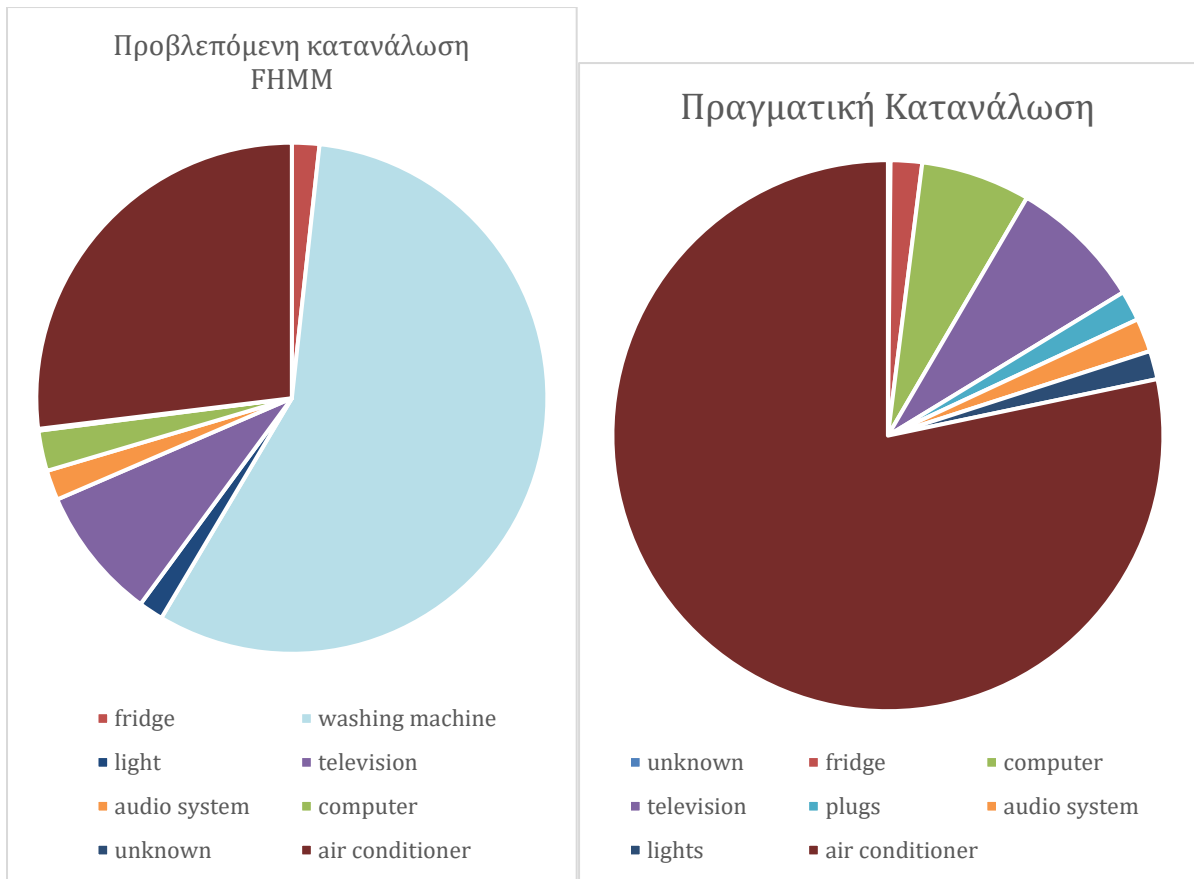
Σχήμα 28: Προβλεπόμενη Κατανάλωση Air Conditioner κατά Mean

Επιπλέον, παρατίθεται και μια σύγκριση των αποτελεσμάτων των αλγορίθμων που χρησιμοποιήσαμε με την πραγματική κατανάλωση που είχαμε στο σπίτι για την ίδια περίοδο:



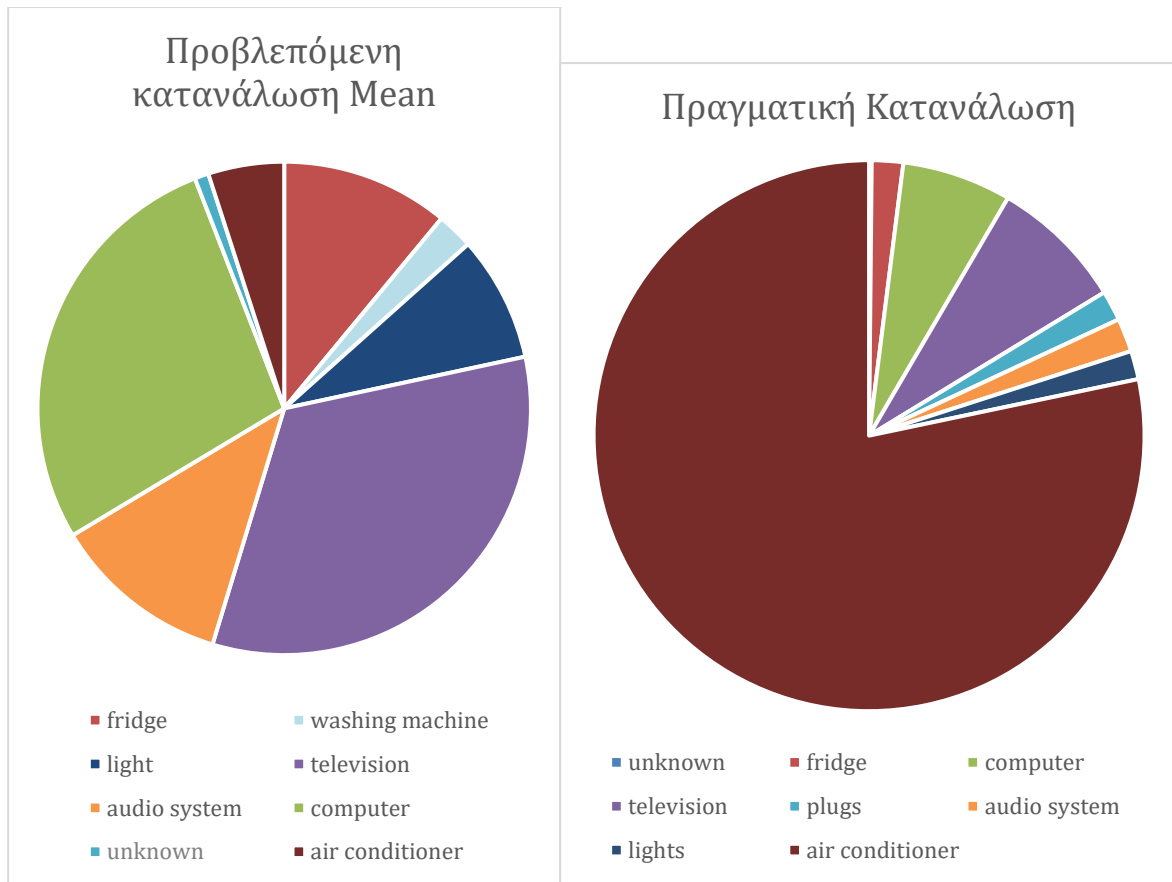
Σχήμα 29: Σύγκριση συνολικού διαμερισμού κατανάλωσης, με την πραγματική κατανάλωση, όπως προβλέφθηκε από τον αλγόριθμο CO

Στην περίπτωση του CO₂, παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος έχει αποδώσει με σχετικά μεγάλη ακρίβεια ποιες συσκευές κατανάλωσαν πόση ενέργεια, στο δοσμένο χρονικό διάστημα. Φυσικά, παρατηρούμε μια απόκλιση από το πραγματικό αποτέλεσμα, καθώς στην περίπτωση αυτή, ικανό κομμάτι της κατανάλωσης αποδόθηκε στο πλυντήριο ρούχων, το οποίο, όπως παρατηρούμε από τα δεδομένα πραγματικής κατανάλωσης, δεν είχε χρησιμοποιηθεί εκείνες τις μέρες.



Σχήμα 30: Σύγκριση συνολικού διαμερισμού κατανάλωσης, με την πραγματική κατανάλωση, όπως προβλέφθηκε από τον αλγόριθμο FHMM

Στην περίπτωση του FHMM, παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος έχει αποδώσει με αρκετά μεγάλη απόκλιση, ποιες συσκευές κατανάλωσαν, πόση ενέργεια στο δοσμένο χρονικό διάστημα. Εξαιρώντας το κομμάτι του πλυντηρίου ρούχων, όμως, οι υπόλοιπες προβλέψεις είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα.



Σχήμα 31: Σύγκριση συνολικού διαμερισμού κατανάλωσης, με την πραγματική κατανάλωση, όπως προβλέφθηκε από τον αλγόριθμο Mean

Στην περίπτωση του Mean, παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος δεν έχει προσφέρει κάποια χρήσιμη πληροφορία για το ποιες συσκευές κατανάλωσαν πόση ενέργεια στο δοσμένο χρονικό διάστημα. Το μόνο που μπορούμε να συμπεράνουμε από την χρήση του είναι, ποιες συσκευές βρισκονταν πιθανώς σε λειτουργία το δεδομένο χρονικό διάστημα.

Τέλος, παρατηρήθηκε πως, σε περίπτωση κακού ορισμού των πιθανών ανοικτών συσκευών, οι αλγόριθμοι θα έχουν μεγάλες αποκλίσεις από την πραγματικότητα, με αποτέλεσμα το disaggregation να μην έχει χρήσιμα αποτελέσματα.

Παρακάτω παρατίθενται με μορφή πίνακα οι μετρήσεις που φαίνονται σχηματικά από πάνω:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ

	Fridge	Washing Machine	Television	Audio System	Computer	Light	Air Conditioner	Unknown	Plugs
Real	22.053,46	0	94.198,90	23.536,33	76.845,22	20.005,50	936.818,30	1.842,60	21.215,53
CO	28.502,00	146.300,00	88.950,00	13.088,00	60.454,00	23.492,00	898.610,00	0	0
FHM M	21.600,00	707.300,00	104.940,00	23.585,00	31.855,00	19.432,00	335.200,00	1.440,00	0
Mean	22.128,05	4.808,77	66.444,16	23.522,00	55.678,88	16.543,42	10.006,95	1841,21	0

Σχήμα 32: Αναλυτικός Πίνακας Καταναλώσεων

3.5 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η χρήση του δεδομένου dataset για ανάλογες οικίες, μπορεί να διευκολύνει το NILM με την βοήθεια ενός κεντρικού μετρητή. Σε επόμενα βήματα, για να εξαχθούν ακόμα περισσότερα ασφαλή συμπεράσματα, θα πρέπει να υπάρξει μεγαλύτερο δείγμα δεδομένων με τρία βασικά χαρακτηριστικά:

1. Μεγαλύτερη χρονική διάρκεια: Για να είναι πιο ολοκληρωμένες οι καταγραφές του παραπάνω dataset, λόγω της διαφορετικής χρήσης των συσκευών, στις διάφορες εποχές του χρόνου.
2. Μεγαλύτερη ποικιλία συσκευών: Σε διάφορα δείγματα σπιτιών, με διαφορετικές κάποιες βασικές οικιακές συσκευές, όπως η κουζίνα, τα πλυντήρια και οι τηλεοράσεις, μπορεί να καταναλώνουν περισσότερη ή λιγότερη ισχύ από αυτή που παρατηρήθηκε στο υπό παρατήρηση σπίτι.
3. Μεγαλύτερο δείγμα σπιτιών: Επειδή οι καταναλώσεις διαφέρουν από σπίτι σε σπίτι και με βάση το πόσα άτομα μένουν σε αυτό, κρίνεται απαραίτητο να γίνει μελέτη σε μεγάλο εύρος σπιτιών.

Τα συστήματα που επιλέχθηκαν για την καταγραφή των αποτελεσμάτων αποδείχθηκαν επαρκή για την συλλογή των δεδομένων. Ωστόσο, λόγω κάποιων τεχνικών δυσκολιών που παρουσίασε το σύστημα Fibaro, σε επόμενο στάδιο κρίνεται απαραίτητο να γίνει αποφυγή ενδιάμεσου πομποδέκτη και να γίνει απευθείας σύνδεση του συστήματος Home Assistant με τους μετρητές, με κάποιο USB Z-Wave Stick, για πιο άμεση απόκριση και πιθανότατα λιγότερες απώλειες δεδομένων.

Σημαντική, επίσης, κρίνεται η ανάπτυξη μια εφαρμογής που θα έκανε απλή για τον οποιονδήποτε χρήστη την εισαγωγή δεδομένων, όπως συσκευές εν λειτουργία κλπ. Αυτή η εφαρμογή θα μπορεί να συσχετίζει και το κομμάτι της ανάλυσης και διαχωρισμού των συνολικών δεδομένων και, επομένως, θα μειώσει σημαντικά το πλήθος των διαφορετικών προγραμμάτων που θα πρέπει να εγκατασταθούν σε έναν υπολογιστή για να γίνει αυτή η διαδικασία.

Το σύστημα NILM μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα εμπορικό προϊόν μετά από περαιτέρω ανάπτυξη και προσαρμογή της τεχνολογίας. Η βασική πρόκληση είναι να

επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία στην αναγνώριση των φορτίων. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη σε αλγορίθμους που θα είναι ανθεκτικοί, ακριβείς και κλιμακούμενοι για μεγαλύτερο αριθμό συσκευών.

Επιπλέον, για την επιτυχή ενσωμάτωση της τεχνολογίας NILM σε ένα εμπορικό προϊόν, απαιτείται η ανάπτυξη ενός χρήσιμου περιβάλλοντος διαχείρισης και χρήσης δεδομένων. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός συστήματος για την αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων που συλλέγονται από το σύστημα NILM, καθώς και τη δημιουργία μιας διεπαφής χρήστη που θα είναι φιλική και εύκολη στη χρήση.

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας NILM σε ένα εμπορικό προϊόν απαιτεί περαιτέρω έρευνα, ανάπτυξη και προσαρμογή. Ωστόσο, αν υλοποιηθεί με επιτυχία, μπορεί να προσφέρει αξιόλογα οφέλη στους χρήστες. Η ενεργειακή ευπροσαρμοστικότητα και η διαχείριση ενέργειας μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά μέσω της τεχνολογίας NILM.

Οι χρήστες θα έχουν τη δυνατότητα να γνωρίζουν ποιες συσκευές καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια και να προσαρμόζουν τις συνήθειές τους, με απώτερο σκοπό την εξοικονόμηση της ενέργειας. Επιπλέον, η τεχνολογία NILM μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα ευέλικτο σύστημα διαχείρισης ενέργειας στο σπίτι, το οποίο θα παρείχε εξατομικευμένες συμβουλές για την ορθή χρήση ενέργειας και προβλέψεις που θα αφορούν την ορθολογική χρήση της ενέργειας από κάθε συσκευή.

Τέλος, η τεχνολογία NILM μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παρακολούθηση των δραστηριοτήτων εντός του σπιτιού, όπως έχει ήδη προταθεί σε πολλές μελέτες. Αυτό θα ήταν χρήσιμο τόσο για τη φροντίδα των ηλικιωμένων μελών όσο και για τους γονείς, που θα είχαν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τη χρήση των συσκευών από τα παιδιά τους για λόγους ασφάλειας.

Συνοψίζοντας, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας NILM σε ένα εμπορικό προϊόν απαιτεί περαιτέρω ανάπτυξη, προσαρμογή και έρευνα. Ωστόσο, μπορεί να προσφέρει αξιόλογα οφέλη στους χρήστες, βοηθώντας τους να βελτιώσουν την ενεργειακή τους απόδοση, να διαχειριστούν αποτελεσματικά την κατανάλωση ενέργειας και να έχουν ένα έξυπνο σπίτι που προσαρμόζεται τόσο στις ανάγκες τους όσο και στις ανάγκες του αύριο.

Ανακεφαλαιώνοντας θα πρέπει να τονίσουμε ότι η διάσπαση της ενέργειας είναι μια αλγοριθμική πρόκληση όπου οι προόδοι μπορούν να έχουν πραγματική επίδραση στην ενεργειακή αποδοτικότητα και βιωσιμότητα. Έχουμε περιγράψει την υλικοτεχνική και λογισμική διάταξη και έχουμε παρουσιάσει έναν τυπικό αλγόριθμο, το FHMM, για την αποσύνθεση της κατανομής ενέργειας.

Όμως, ο τελικός μας στόχος στην ανάπτυξη της διάσπασης της ενέργειας είναι να παρέχουμε ένα εύκολα προσβάσιμο σύνολο δεδομένων για ερευνητές που εργάζονται στον τομέα της εξόρυξης δεδομένων ή της μηχανικής μάθησης. Έτσι, τονίζουμε το γεγονός ότι, ενώ οι FHMM και CO επέδειξαν λογική απόδοση στις πειραματικές μας μελέτες, υπάρχει ακόμη πολύς χώρος για βελτίωση. Ειδικότερα, μας ενδιαφέρει πώς τέτοιες τεχνικές μπορούν να επεκταθούν για να γενικευτούν σε διάφορες συσκευές σε πολλά σπίτια.

Ενώ η διάσπαση της ενέργειας στοχεύει να είναι ένα μεγάλο εργαλείο, μπορούμε να εξοπλίσουμε μόνο έναν περιορισμένο αριθμό σπιτιών με τέτοιου είδους λεπτομερή αισθητήρια, και μια μεγάλη πρόκληση που παραμένει είναι να βρεθούν τρόποι για να συνδυαστεί αυτός ο τύπος υψηλής ακρίβειας μέτρησης με τις μαζικές ποσότητες δεδομένων έξυπνων μετρητών που παράγουν οι εταιρείες υπηρεσιών δημόσιας ωφέλειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Προτάσεις

Οι μελλοντικές ενεργειακές προκλήσεις και εξελίξεις πάνω στη διάσπαση της ενέργειας είναι πολλές και περιλαμβάνουν τα εξής:

- **Αυξημένη ακρίβεια:** Οι μελλοντικές τεχνικές διάσπασης της ενέργειας θα επιδιώξουν να επιτύχουν ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια στην αναγνώριση και τον χαρακτηρισμό των ενεργειακών φορτίων. Αυτό θα επιτρέψει στους χρήστες να έχουν ακριβέστερη πληροφόρηση για την κατανάλωσή τους και να λαμβάνουν ακριβέστερες αποφάσεις σχετικά με την ενεργειακή απόδοση.
- **Αυτόματη αναγνώριση:** Οι μελλοντικές τεχνικές θα επιδιώξουν να επιτύχουν αυτόματη αναγνώριση των ενεργειακών φορτίων χωρίς την ανάγκη για προηγούμενο προγραμματισμό ή επισήμανση. Αυτό θα καταστήσει τη διαδικασία πιο απλή και πρακτική για τους χρήστες.
- **Χρήση πολλαπλών δεδομένων:** Μελλοντικές τεχνικές μπορούν να εκμεταλλευτούν πληροφορίες από διάφορες πηγές, όπως έξυπνους μετρητές, αισθητήρες, δεδομένα από το διαδίκτυο και άλλες πληροφορίες από το περιβάλλοντος. Αυτή η προσέγγιση θα επιτρέψει τη δημιουργία πιο ολοκληρωμένης εικόνας της ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και την ακριβέστερη διάσπαση των φορτίων.
- **Χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης:** Οι μελλοντικές τεχνικές θα εξελιχθούν σε πιο εξελιγμένες μέθοδους με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης. Αυτό θα επιτρέψει τα συστήματα διάσπασης της ενέργειας σε πιο έξυπνα, ενώ θα μάθουν να προσαρμόζονται στις ατομικές συνήθειες και ανάγκες των χρηστών.

-
- Ενσωμάτωση σε έξυπνα συστήματα κατοικιών: Οι μελλοντικές τεχνικές διάσπασης της ενέργειας θα ενσωματωθούν σε έξυπνα συστήματα κατοικιών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ενεργειακής κατανάλωσης. Αυτό θα επιτρέψει στους χρήστες να έχουν πλήρη επισκόπηση και έλεγχο της κατανάλωσής τους , καθώς και να αυτοματοποιούν τις ενεργειακές διαδικασίες για μεγαλύτερη αποδοτικότητα και οικονομία.

Αυτές είναι μερικές από τις μελλοντικές εξελίξεις και προκλήσεις στον τομέα της διάσπασης της ενέργειας. Ο συνεχής συνδυασμός τεχνολογιών, έρευνας και καινοτομίας θα οδηγήσει στην ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών και έξυπνων λύσεων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ενέργειας στο μέλλον.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Kato, H. S. Cho, D. Lee, T. Toyomura, and T. Yamazaki. Appliance recognition from electric current signals for information-energy integrated network in home environments. In Proceedings of the International Conference on Smart Homes and Health Telematics: Ambient Assistive Health and Wellness Management in the Heart of the City, pages 150–157, 2009.
- 2) Kim, M. Marwah, M. F. Arlitt, G. Lyon, and J. Han. Unsupervised disaggregation of low frequency power measurements. In Proceedings of the SIAM International Conference on Data Mining, pages 747–758, 2011.
- 3) G. Kolda and B. W. Bader. Tensor decompositions and applications. *SIAM Review*, 51(3):455–500, 2009.
- 4) Z. Kolter. The Reference Energy Disaggregation Data Set. <http://redd.csail.mit.edu/>, 2011.
- 5) Z. Kolter and T. Jaakkola. Approximate inference in additive factorial hmms with application to energy disaggregation. *Journal of Machine Learning Research*, 22:1472–1482, 2012.
- 6) Z. Kolter and M. J. Johnson. REDD: A public data set for energy disaggregation research. In Proceedings of the SustKDD Workshop on Data Mining Applications in Sustainability, 2011.
- 7) J. Z. Kolter, S. Batra, and A. Ng. Energy disaggregation via discriminative sparse coding. In J. Lafferty, C. K. I. Williams, J. Shawe-Taylor, R.S. Zemel, and A. Culotta, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 23, pages 1153–1161. MIT Press, 2010.
- 8) H. Kruskal and W. A. Wallis. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260):583–621, 1952.
- 9) S. Kumar, R. Arumuganathan, K. Sivakumar, and C. Vimal. Removal of ocular artifacts in the EEG through wavelet transform without using an EOG reference channel. *International Journal of Open Problems in Computational Mathematics*, 1(3):188–200, 2008.
- 10) «Contributions to Electrical Energy Disaggregation in a Smart Home», Marisa Batalha Figueiredo, Coimbra, September 2013.

-
- 11) «A Public Data Set for Energy Disaggregation Research», J. Zico Kolter- Matthew J. Johnson .
 - 12) «Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing», Alexander Gluhak 1 , Muhammad Ali Imran 1 and Sutharshan Rajasegarar. 6 December 2012.
 - 13) «Americans should be warming to energy efficiency”, Financial Times, 21 Ιουνίου 2007, Diana Farrell - Ted Halstead .
 - 14) Περιοδικό «Building green», Αντώνης Γαβαλάς, 23-10-2012.
 - 15) <http://grbes.phys.uoa.gr>.
 - 16) <http://www.home-assistant.io/>.
 - 17) <http://www.fibaro.com/>.