



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων σε Έξυπνα Ηλεκτρικά
Δίκτυα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Σ. ΚΑΠΡΟΣ

Επιβλέπων: Γρηγόριος Μέντζας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων σε Έξυπνα Ηλεκτρικά Δίκτυα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Σ. ΚΑΠΡΟΣ

Επιβλέπων: Γρηγόριος Μέντζας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Απριλίου 2014.

.....
.....
Γ. Μέντζας
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
.....
Ι. Ψαρράς
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
.....
Δ. Ασκούνης
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

.....
ΝΙΚΟΛΑΟΣ Σ. ΚΑΠΡΟΣ

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

Copyright © Νικόλαος Σ. Κάπρος, 2014.

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.

Περίληψη

Το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα βρίσκεται τα τελευταία χρόνια σε μία διαδικασία έντονων αλλαγών. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση, η πολιτική χρήση τεχνολογιών πιο φιλικών προς το περιβάλλον καθώς και οι δυνατότητες των νέων τεχνολογιών ωθούν στην προσαρμογή και την εναρμόνιση της ελληνικής ενεργειακής αγοράς και του θεσμικού της πλαισίου με τις σύγχρονες διεθνείς τάσεις, αντιλήψεις και επιταγές. Στο επίκεντρο βρίσκονται οι τομείς της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, της αύξησης της ανταγωνιστικότητας, της επέκτασης και ενίσχυσης των εγχώριων και διακρατικών δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, της ανεξαρτητοποίησης και του διαχωρισμού της παραγωγής από την προμήθεια, της ελεύθερης επιλογής προμηθευτή, της αύξησης της παραγόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, της αντίστοιχης μείωσης της παραγόμενης ενέργειας από συμβατικές τεχνολογίες καύσης, της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας, της εξοικονόμησης της ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Για την επίτευξη των παραπάνω το ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο θα πρέπει να μετατραπεί σε Έξυπνο Ηλεκτρικό Δίκτυο, δηλαδή ένα σύγχρονο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο χρησιμοποιεί αναλογικές ή ψηφιακές μετρητικές τεχνολογίες και τεχνολογίες πληροφορικής ώστε να συλλέγει δεδομένα και να ενεργεί βάση αυτών. Τέτοια δεδομένα μπορεί να αναφέρονται στην συμπεριφορά των παραγωγών και των καταναλωτών καθώς και σε αυτοματοποιημένες λειτουργίες που ενισχύουν την αποδοτικότητα, την ασφάλεια, την οικονομία και την βιωσιμότητα της παραγωγής και μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η επεξεργασία σύνθετων συμβάντων (CEP) αποτελεί μια αρχιτεκτονική συστημάτων πληροφορικής. Το πλεονέκτημα της σε σχέση με άλλες αρχιτεκτονικές είναι η άμεση αντίδραση των συστημάτων αυτών σε ερεθίσματα του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε κρίσιμες επιχειρησιακές διαδικασίες οι οποίες απαιτούν τον λιγότερο δυνατό χρόνο διεκπεραίωσης. Σκοπός της είναι η εξαγωγή γνώσης από πολλαπλά γεγονότα. Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία η τεχνολογία αυτή αποτελεί ένα εξαιρετικό εργαλείο για την χρήση σε θέματα ενέργειας που έχει αποδεδειγμένα φέρει εξαιρετικά αποτελέσματα τόσο από τη χρήση της σε ακαδημαϊκές έρευνες όσο και σε εμπορικές εφαρμογές.

Με δεδομένο ότι αυτή η τεχνολογία βρίσκεται στα πρώτα στάδια ανάπτυξης της και πιστεύοντας πως στο μέλλον θα υπάρξουν πολύ περισσότερες περιπτώσεις χρήσης της σε ενεργειακά θέματα, μία αρχιτεκτονική τέτοιου τύπου υλοποιήθηκε και παρουσιάζεται, που έχει ως στόχο να συνδυάσει δεδομένα από τρεις ετερογενείς πηγές και να εξαγάγει χρήσιμες πληροφορίες για δύο κατηγορίες ενδιαφερομένων, οικιακούς καταναλωτές και φωτοβολταϊκούς παραγωγούς.

Λέξεις κλειδιά: Έξυπνα Ηλεκτρικά Δίκτυα, Ευφυή Δίκτυα, Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων, Αναγνώριση Προτύπων, Απόκριση Ζήτησης, Παρότρυνση Χρήσης, Συμπλοκή χρήση.

Abstract

The Greek power network has been in a process of intense changes in recent years. The ever increasing demand, the policy of using more environmental friendly technology as well as the enabling of the new technology lead to the adaptation and harmonization of the Greek energy market and its institutional framework to the modern international trends, perceptions and requirements. The main fields are the deregulation of energy market, the increase of competitiveness, the expansion and strengthening of the national power network, the separation of production from supply, the free choice of supplier, the increase of energy production from renewable sources, the corresponding reduction of energy production from fossil fuels, the improvement of energy efficiency, energy saving and the protection of the environment.

To achieve the above, the Greek power network has to turn into a Smart Grid, which means it has to become a modernized electrical grid that uses analog or digital information and communications technology to gather and act on information, such as information about the behaviors of suppliers and consumers, in an automated fashion to improve the efficiency, reliability, economics and sustainability of the production and distribution of electricity.

Complex Event Processing (CEP) is an information system architecture, which differs from the other architectures in that it responds immediately to environmental stimuli. Thus, it is getting increasingly used in critical business processes that require the least possible response time. Its goal is to extract knowledge from multiple events. According to the research, this information technology is an excellent tool to be used in the energy sector and great results have been achieved from its use.

Given the fact that this particular technology is in the early stages of a rapid development and the belief that in the near future it is going to be used in even more applications in the energy sector, an architecture of this kind is developed and presented in this thesis which aims at combining the data from three heterogeneous sources and identifies meaningful events for two categories of users, residential consumers and photovoltaic producers.

Keyword: *Smart Grid, Smart Metering, Complex Event Processing, CEP, Consumption Awareness, Consumption Assistant, Energy Management, Energy Assistant, Engagement, Internet of Things, Demand Response, DR.*

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Γρηγόριο Μένζτα, καθηγητή Ε.Μ.Π, για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Θα ήθελα να εκφράσω επίσης ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη στους κυρίους Μπάμπη Μαγούτα και Ευθύμιο Μπόθο, μεταδιδακτορικούς ερευνητές Ε.Μ.Π., για το χρόνο τους, το ενδιαφέρον τους, την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	11
1.1	Σκοπός της εργασίας	12
1.2	Οργάνωση κειμένου	13
2	Smart Grid	14
2.1	Ιστορικά στοιχεία	14
2.1.1	Η προέλευση του όρου Smart Grid	16
2.1.2	Ανάγκες και πορεία προς τον εκσυγχρονισμό	16
2.2	Οι ιδιότητες του Smart Grid	18
2.3	Η τεχνολογία του Smart Grid	19
2.4	Smart Meters	24
2.4.1	Σκοπός ανάπτυξης	24
2.4.2	Τεχνολογία	25
2.5	Demand – Response	26
2.5.1	Κατηγορίες απόκρισης ζήτησης	26
2.5.2	Πλεονεκτήματα χρήσης του DR	28
2.6	Internet of Things	29
2.6.1	Η τεχνολογία του IoT	30
2.6.2	Το IoT σε θέματα ενέργειας	32
2.7	Το ελληνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και η πορεία εξέλιξης	34
3	Επεξεργασία Συμβάντων	37
3.1	Αρχιτεκτονική Καθοδηγούμενη από Συμβάντα	37
3.2	Σχηματική αναπαράσταση της EDA Αρχιτεκτονικής	37
3.2.1	Βασικά Χαρακτηριστικά της EDA	39
3.3	Συστατικά στοιχεία της EDA	40
3.3.1	Συμβάντα	40
3.3.2	Γεννήτριες συμβάντων	41
3.3.3	Κανάλια και ροές συμβάντων	41
3.3.4	Επεξεργαστές συμβάντων	42
3.3.5	Παραλήπτες συμβάντων	42
3.4	Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων	43
3.4.1	Πρότυπα Σύνθετων Συμβάντων	44
3.4.2	Τύποι Προτύπων Σύνθετων Συμβάντων	44
3.4.3	Αντιστοίχιση Προτύπων Συμβάντων (Event Pattern Matching)	45
3.5	Η μηχανή Επεξεργασίας Σύνθετων Συμβάντων Esper	46

3.5.1	Δυνατότητες του Esper.....	46
4	Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων στον τομέα της ενέργειας	48
4.1	Επεξεργασία συμβάντων για την καλύτερη διαχείριση του δικτύου....	49
4.1.1	Οι υλοποιήσεις στο πιλοτικό πρόγραμμα του Έξυπνου Ηλεκτρικού Δικτύου του Λος Άντζελες.....	51
4.1.2	Υλοποιήσεις βασισμένες στο ισπανικό πρόγραμμα ENERGOS....	53
4.2	Επεξεργασία συμβάντων για την καλύτερη διαχείριση της κατανάλωσης	55
4.3	Επεξεργασία σύνθετων συμβάντων σε άλλους ενεργειακούς τομείς	60
5	Προτεινόμενη Προσέγγιση	62
5.1	Αρχιτεκτονική Συστήματος	62
5.2	Γεννήτριες συμβάντων	64
5.3	Διεπαφή ιστού.....	69
5.4	Βάση γνώσης	71
5.5	Κανάλια και ροές συμβάντων.....	72
5.6	Παραλήπτες συμβάντων	72
5.7	Σενάρια για οικιακούς καταναλωτές.....	73
5.7.1	Παραδοχές περίπτωσης.....	73
5.7.2	Πρότυπα ταυτοποίησης συμβάντων	73
5.7.3	Ανάλυση ροής συμβάντων.....	81
5.8	Σενάρια για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.....	83
6	Επίλογος.....	87
	Βιβλιογραφία	88
	Παράρτημα	92

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2-1 Smart Grid.....	14
Εικόνα 2-2 Εξέλιξη του δικτύου	16
Εικόνα 2-3 Επικοινωνία στα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα	20
Εικόνα 2-4 Μετρητές PMU.....	21
Εικόνα 2-5 Υπεραγώγιμα Υλικά	21
Εικόνα 2-6 Κέντρο Ελέγχου Δικτύου	22
Εικόνα 2-7 Εφαρμογή υπολογισμού έξυπνης παραγωγής.....	23
Εικόνα 2-8 Έξυπνοι Μετρητές.....	24
Εικόνα 2-9 Αναπαράσταση DR.....	26
Εικόνα 2-10 Internet of Things	29
Εικόνα 2-11 Εξέλιξη του IoT.....	30
Εικόνα 2-12 Ενεργειακές συσκευές στο IoT.....	32
Εικόνα 2-13 Εγκατεστημένη Ισχύς στο Ελληνικό Δίκτυο /πηγή.....	34
Εικόνα 3-1 Σχεδίαση EDA	38
Εικόνα 3-2 Δημιουργία σύνθετων συμβάντων από απλά	43
Εικόνα 3-3 Λογότυπο Esper.....	46
Εικόνα 4-1 Αρχιτεκτονική Pradeep, et al.....	49
Εικόνα 4-2 Ενεργειακό σενάριο	51
Εικόνα 4-3 Αρχιτεκτονική Simmhan, et al.	52
Εικόνα 4-4 Αναπαράσταση PGDIN	54
Εικόνα 4-5 Αναπαράσταση InSCEP.....	55
Εικόνα 4-6 Αρχιτεκτονική Chen και συν.	56
Εικόνα 4-7 Αρχιτεκτονική Vijayaraghavan & Dornfeld.....	57
Εικόνα 4-8 Αρχιτεκτονική Wen, et al.	58
Εικόνα 4-9 Αρχιτεκτονική Stojanovic, et al.	59
Εικόνα 5-1 Γενική Αρχιτεκτονική.....	63
Εικόνα 5-2 Λογότυπο on{X}.....	64
Εικόνα 5-3 Λογότυπο wUnderground.....	66
Εικόνα 5-4 Μετρητής Current Cost	68
Εικόνα 5-5 Καρτέλα παρουσίασης δεδομένων στη διεπαφή ιστού.....	70
Εικόνα 5-6 Καρτέλα επιλογών στη διεπαφή ιστού.....	71
Εικόνα 5-7 Δομή πίνακα βάσης γνώσης.....	72
Εικόνα 5-8 Πρότυπο προβλήματος λήψης από μετρητή	74
Εικόνα 5-9 Πρότυπο λανθασμένων μετρήσεων	75
Εικόνα 5-10 Πρότυπο αδικαιολόγητης αύξησης κατανάλωσης.....	76
Εικόνα 5-11 Πυραμίδα Σύνθετων Συμβάντων	78
Εικόνα 5-12 Πρότυπο επιβράβευσης χρήστη	79
Εικόνα 5-13 Πρότυπο νέου ρεκόρ κατανάλωσης	80
Εικόνα 5-14 Πρότυπο απόκλισης στόχου	81
Εικόνα 5-15 Αρχιτεκτονική 1 ^{ης} περίπτωσης	82
Εικόνα 5-16 Παραγωγή φ/β σταθμού 10kW, Μαρ 2014	83
Εικόνα 5-17 Κατηγοριοποίηση καιρικών συνθηκών	84
Εικόνα 5-18 Προτύπου αδικαιολόγητης μείωσης παραγωγής.....	84
Εικόνα 5-19 Πρότυπο χαμηλότερης παραγωγής σχετικά με άλλους.....	86

1 Εισαγωγή

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της ενέργειας, οι διαχρονικές περιβαλλοντικές επιταγές, τα διεθνή και ευρωπαϊκά πλαίσια συνεργασίας αλλά και άλλες διακρατικές συμφωνίες και πρωτόκολλα, επιτάσσουν την προσαρμογή και την εναρμόνιση της ελληνικής ενεργειακής αγοράς και του θεσμικού της πλαισίου με τις σύγχρονες διεθνείς τάσεις, αντιλήψεις και επιταγές. Για τον λόγο αυτό το ελληνικό ενεργειακό σύστημα βρίσκεται τα τελευταία χρόνια σε διαδικασία σημαντικών αλλαγών.

Στο επίκεντρο βρίσκονται οι τομείς της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, της αύξησης της ανταγωνιστικότητας, της επέκτασης και ενίσχυσης των εγχώριων και διακρατικών δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, της ανεξαρτητοποίησης και του διαχωρισμού της παραγωγής από την προμήθεια, της ελεύθερης επιλογής προμηθευτή, της αύξησης της παραγόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, της αντίστοιχης μείωσης της παραγόμενης ενέργειας από συμβατικές τεχνολογίες καύσης, της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας, της εξοικονόμησης της ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Ειδικότερα σύμφωνα με τις σύγχρονες προκλήσεις και τις σύγχρονες οικονομικές συνθήκες κρίνεται απαραίτητη η χάραξη μιας στρατηγικής για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών και την επίλυση του ενεργειακού ζητήματος στην Ελλάδα. Η στρατηγική αυτή επιτυγχάνεται με τη διαμόρφωση του αναγκαίου ρυθμιστικού και νομικού καθεστώτος, το οποίο επικεντρώνεται σήμερα στις ακόλουθες γενικές κατευθύνσεις:

- δυνατότητα χρήσης ποικίλων ενεργειακών πόρων.
- κατασκευή αγωγών μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου στα πλαίσια διεθνών δικτύων.
- αυξημένη εκμετάλλευση ενδογενών ενεργειακών πηγών και αποθεμάτων.
- απεξάρτηση από μεμονωμένες εισαγόμενες μορφές ενέργειας υψηλού ρίσκου.
- ανάπτυξη εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και παροχή κινήτρων.
- χρήση και διάδοση καθαρών και αποδοτικών τεχνολογιών που σέβονται το περιβάλλον.
- απελευθέρωση της αγοράς, διεύρυνση της ανταγωνιστικότητας, κατάργηση των μονοπωλίων στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου
- δημιουργία θετικού επενδυτικού κλίματος σε ιδιώτες και επιχειρήσεις στους τομείς παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας.
- εξοικονόμηση ενέργειας σε βιομηχανία, μεταφορές, κτίρια και κατοικίες.
- θέσπιση εθνικών στόχων για αύξηση της διείσδυσης της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ, την μείωση των αερίων θερμοκηπίου και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Για την επίτευξη των παραπάνω απαιτείται η χρήση νέων, εξελιγμένων τεχνολογιών τόσο στον τομέα των ηλεκτρικών συστημάτων, όσο και στον τομέα

των πληροφοριακών συστημάτων που στοχεύουν στη διαχείριση της πληροφορίας που μεταφέρεται μεταξύ του δικτύου και στην επιτήρηση και τον έλεγχό του. Μία τέτοια τεχνολογία πληροφοριακού συστήματος αποτελεί και η επεξεργασία σύνθετων συμβάντων στην οποία εστιάζει η παρούσα διπλωματική εργασία.

1.1 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι να γίνει μια εκτενής αναφορά στις προκλήσεις που επιβάλλει η εξέλιξη των σημερινών ηλεκτρικών δικτύων σε έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα στον τομέα των πληροφοριακών συστημάτων. Για να γίνει αυτό παρουσιάζονται αρχικά οι κύριες έννοιες που αναφέρονται στα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα, οι τεχνολογίες που ενσωματώνουν και τα σημεία στα οποία εστιάζουν ώστε να μπορούν να αποκαλούνται “έξυπνα”. Με την κατανόηση αυτών, γίνεται εύκολα αντιληπτή η ανάγκη χρήσης αρχιτεκτονικών συστημάτων πληροφορικής όπως αυτή της επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων με σκοπό να γίνει δυνατή η επεξεργασία του μεγάλου όγκου των δεδομένων που ανταλλάσσεται κατά την λειτουργία των έξυπνων δικτύων και να εξαχθούν χρήσιμα δεδομένα από αυτά. Οι αναφορές στην διεθνή βιβλιογραφία βοηθούν ακόμα περισσότερο στην κατανόηση αυτή και παράλληλα δίνουν μία πιο ολοκληρωμένη άποψη για πιθανούς τομείς στους οποίους θα μπορούσαν να εφαρμοστούν τέτοιες αρχιτεκτονικές και τι αποτελέσματα θα μπορούσαν να φέρουν.

Επόμενος και κύριος σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας αρχιτεκτονικής που καταφέρνει να συνδυάσει τα δεδομένα από τρεις διαφορετικές πηγές και με τη χρήση μιας βάσης γνώσης που προέρχεται από τον ίδιο το χρήστη να εξάγει σύνθετα συμβάντα που έχουν σημασία για τον ενδιαφερόμενο καταναλωτή – παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας. Η αντιμετώπιση των προκλήσεων τόσο από την μεριά της ενοποίησης του συστήματος ώστε να δέχεται τα δεδομένα από τους αισθητήρες με διαφορετικό τρόπο και να μπορεί να τα τροφοδοτεί στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων, η οποία στη συνέχεια τα συνδυάζει με την βάση γνώσης / διεπαφή με το χρήστη για να εξάγει τα χρήσιμα αποτελέσματα αποτελεί το πρώτο μεγάλο μέρος που έγινε προσπάθεια να καλυφθεί. Το δεύτερο επίσης σημαντικό κομμάτι είναι η παρουσίαση του τρόπου σκέψης για την ανάπτυξη σεναρίων σε Γλώσσα Επεξεργασίας Συμβάντων (EPL). Για τον σκοπό αυτό, παρουσιάστηκαν σενάρια που χρησιμοποιούν διαφορετικές δυνατότητες της επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων με σκοπό να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη κάλυψη των δυνατοτήτων της τεχνολογίας αυτής αλλά και να επισημανθούν οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την υλοποίησή τους.

1.2 Οργάνωση κειμένου

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη περιγραφή της παρούσας εργασίας. Παρουσιάζονται οι σύγχρονες προκλήσεις στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, οι λόγοι που επιβάλλουν τον εκσυγχρονισμό του ελληνικού δικτύου και πώς αποτέλεσαν αφορμή για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής αναφορά στα Έξυπνα Δίκτυα Ηλεκτρικής ενέργειας (Smart Grid), τις τεχνολογίες που ενσωματώνουν, τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν και τις πιλοτικές προσπάθειες που έχουν γίνει στο ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο για την ενσωμάτωση τέτοιων τεχνολογιών.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων ως αρχιτεκτονική πληροφοριακών συστημάτων, τα δομικά της στοιχεία, οι δυνατότητες της καθώς και τα πλεονεκτήματα της σε σχέση με άλλες αρχιτεκτονικές.

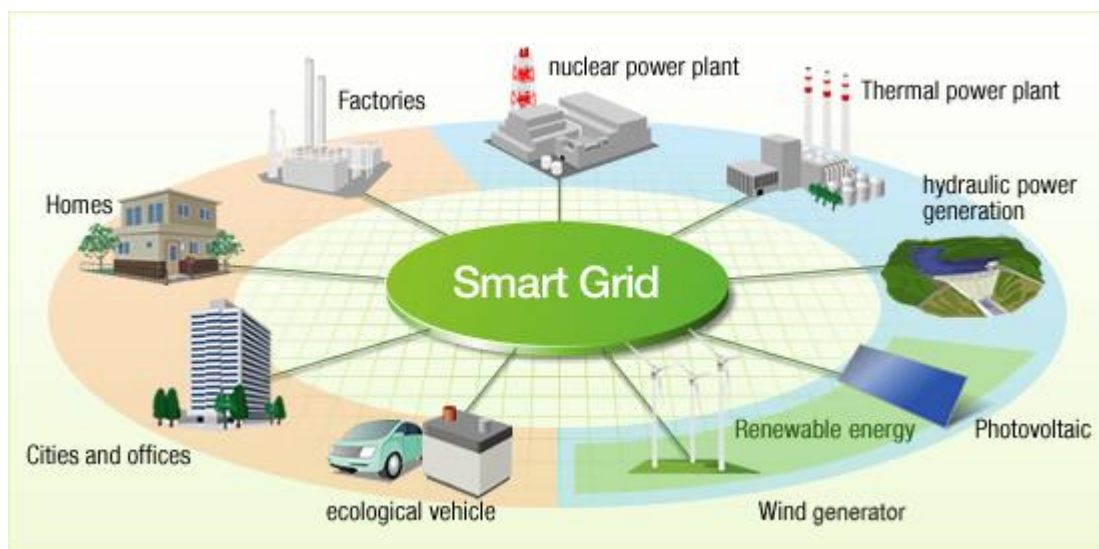
Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση στην διεθνή βιβλιογραφία και παρουσιάζονται προτεινόμενες αρχιτεκτονικές με βάση την Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων στον τομέα της ενέργειας. Παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της κάθε προσέγγισης και εξάγεται ένα γενικό συμπέρασμα για τα χαρακτηριστικά τα οποία καθιστούν τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας τόσο ελκυστική στον τομέα αυτό.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας και έχει ως στόχο την χρήση της Επεξεργασίας Σύνθετων Συμβάντων ώστε να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες από τον συνδυασμό των δεδομένων από τρεις διαφορετικές ετερογενείς πηγές. Παρουσιάζεται αναλυτικά κάθε σενάριο, τα αποτελέσματα που εξάγει, οι δυσκολίες υλοποίησης του, καθώς και ο κώδικας της Γλώσσας Επεξεργασίας Συμβάντων (EPL) που παράχθηκε.

Στο 6^ο κεφάλαιο γίνεται μία επισκόπηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τα συμπεράσματα καθώς και τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της. Προτείνονται επίσης τρόποι για την μελλοντική επέκτασή της, την δοκιμή της σε πραγματικές συνθήκες καθώς και την πλαισίωση της από βοηθητικές λειτουργίες.

Τέλος, στο παράρτημα παρουσιάζεται αναλυτικά ο κώδικας των αρχείων που αναπτύχθηκαν στο προγραμματιστικό περιβάλλον Visual Studio 2013 της Microsoft μαζί με τα απαραίτητα αποτυπώματα οθόνης που βοηθούν στην κατανόηση του.

2 Smart Grid



Εικόνα 2-1 Smart Grid

Ως Smart Grid (Έξυπνο Δίκτυο) ορίζουμε ένα σύγχρονο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο χρησιμοποιεί αναλογικές ή ψηφιακές μετρητικές τεχνολογίες και τεχνολογίες πληροφορικής ώστε να συλλέγει δεδομένα και να ενεργεί βάση αυτών. Τέτοια δεδομένα μπορεί να αναφέρονται στην συμπεριφορά των παραγωγών και των καταναλωτών καθώς και σε αυτοματοποιημένες λειτουργίες που ενισχύουν την αποδοτικότητα του δικτύου, την ασφάλεια, την οικονομία και την βιωσιμότητα της παραγωγής και μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας. (U.S. Department of Energy, 2014)

Η χρήση των τεχνολογιών του Smart Grid προϋποθέτει τον επανασχεδιασμό βασικών υπηρεσιών του κλάδου της ηλεκτρικής ενέργειας, παρόλο που η τυπική χρήση του όρου εστιάζει στην τεχνολογική υποδομή του. (Torriti, 2012)

2.1 Ιστορικά στοιχεία

Το πρώτο δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος δημιουργήθηκε το 1886. Αποτελούσε ένα δίκτυο συγκεντρωμένης παραγωγής μονής κατεύθυνσης όπου γινόταν η μεταφορά ισχύος, η διανομή και ο έλεγχος βασισμένος στη ζήτηση.

Τον 20^ο αιώνα τα τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα συνέχισαν να μεγαλώνουν σε ισχύ με αποτέλεσμα να αρχίσουν να διασυνδέονται μεταξύ τους για λόγους οικονομικούς και σταθερότητας. Τη δεκαετία του 1960 υπήρχαν ήδη σε αναπτυγμένες χώρες πολύ μεγάλα δίκτυα, αρκετά ώριμα τεχνολογικά και πλήρως διασυνδεδεμένα με χιλιάδες σταθμούς συγκεντρωμένης παραγωγής να μεταφέρουν την ισχύ σε περιοχές με υψηλό φορτίο μέσω γραμμών μεταφοράς υψηλής χωρητικότητας. Οι γραμμές στη συνέχεια χωρίστηκαν ώστε να παρέχεται

ενέργεια και σε μικρότερες βιομηχανίες αλλά και οικιακούς χρήστες σε ολόκληρη την περιοχή. Η τοπολογία των τότε δικτύων ήταν αποτέλεσμα των ισχυρών οικονομικών κλίμακας: μεγάλοι σταθμοί παραγωγής με πηγή των λιγνίτη, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο της τάξεως από 1GW ως 3GW ήταν αποδοτικοί.

Οι σταθμοί παραγωγής ήταν στοχευμένα εγκατεστημένοι κοντά στα αποθέματα ορυκτών καυσίμων. Οι χώροι εγκατάστασης υδροηλεκτρικών φραγμάτων κοντά σε βουνά, ήταν ένας ακόμα παράγοντας που επηρέασε την δομή των δικτύων. Η εγκατάσταση των πυρηνικών σταθμών παραγωγής γινόταν με γνώμονα την διαθεσιμότητα νερού για ψύξη. Τέλος, οι σταθμοί ορυκτών καυσίμων, επειδή ήταν ιδιαίτερα ρυπογόνους, εγκαθίστανται όσο το δυνατόν πιο μακριά από πολυπληθείς περιοχές στο πλαίσιο που αυτό ήταν οικονομικά εφικτό και μπορούσε να γίνει σωστά η διανομή. Στα τέλη του '60 το ηλεκτρικό δίκτυο κάλυπτε την συντριπτική πλειοψηφία του πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες, αφήνοντας μόνο πολύ απομακρυσμένες περιοχές εκτός σύνδεσης.

Η μέτρηση της κατανάλωσης ανά χρήστη έγινε αναγκαία ώστε να γίνεται διαφορετική χρέωση ανάλογα με το πόσο καταναλώνει ο καθένας. Επειδή η συγκομιδή των δεδομένων και οι δυνατότητες επεξεργασίας τους ήταν πολύ περιορισμένες την περίοδο ανάπτυξης του δικτύου οι συμβάσεις χρέωσης ήταν σταθερής τιμής ή δύο τιμών, με διαφορετική χρέωση τις βραδινές ώρες, μικρότερη από αυτή της πρωινής. Ο λόγος για την δημιουργία διαφορετικής νυχτερινής χρέωσης ήταν η χαμηλότερη ζήτηση ενέργεια σε αυτές τις ώρες. Η νυχτερινή χρέωση υποστήριξε την φθηνή χρήση ηλεκτρικού ρεύματος κατά τις βραδινές ώρες για χρήσεις όπως η παραγωγή και αποθήκευση θερμότητας κάτι οποίο είχε ως αποτέλεσμα την εξομάλυνση της ημερήσιας ζήτησης και την μείωση των γεννητριών που έπρεπε να απενεργοποιηθούν κατά τη διάρκεια της νύχτας συνεισφέροντας έτσι στην καλύτερη αξιοποίηση και την οικονομικότερη λειτουργία των παραγωγικών εγκαταστάσεων και των εγκαταστάσεων διανομής. Οι διαθέσιμες μετρητικές διατάξεις του 1960 επέβαλαν τεχνικά εμπόδια στον τρόπο που μεταδίδονταν τα σήματα αλλαγής τιμολογίου μέσα στο δίκτυο.

Από το 1970 ως το 1990, η αύξηση της ζήτησης επέβαλε την αύξηση των παραγωγικών μονάδων. Σε διάφορες περιοχές, η διαθέσιμη παραγωγή δεν ήταν ικανή να καλύψει την ζήτηση ιδιαίτερα σε περιόδους αιχμής προσφέροντας έτσι κακή ποιότητα ισχύος με διακοπές ρεύματος είτε αναγκαστικές είτε σκόπιμες. Όλο και περισσότεροι κλάδοι άρχισαν να βασίζονται στον ηλεκτρισμό όπως η θέρμανση, η επικοινωνία, ο φωτισμός, η ψυχαγωγία με αποτέλεσμα οι καταναλωτές να αναζητούν περισσότερη αξιοπιστία.

Προς το τέλος του 20^{ου} αιώνα, θεσπίστηκαν τα μοντέλα ηλεκτρικής ζήτησης: η θέρμανση και η ψύξη εσωτερικών χώρων οδήγησε στην εμφάνιση ημερήσιων αιχμών ζήτησης οι οποίες καλύπτονταν από μια σειρά «γεννητριών ορών αιχμής» που χρησιμοποιούνταν μόνο για λίγες ώρες την ημέρα. Η σχετικά περιορισμένη χρήση αυτών των γεννητριών (που ήταν κυρίως γεννήτριες αεροστροβίλων που συνδύαζαν σχετικά χαμηλό κόστος κεφαλαίου και γρήγορους χρόνους εκκίνησης) σε συνδυασμό με την μεγέθυνση των ηλεκτρικών δικτύων είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους παραγωγής για τις εταιρίες ηλεκτρισμού, το οποίο επέφερε και την αύξηση των τιμολογίων. Για την λύση αυτών των προβλημάτων κατά των 21^{ου} αιώνα αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία

και η Βραζιλία θεωρήθηκαν ως πρωτοπόρες στην υιοθέτηση τεχνολογιών του Smart Grid. (Creative Commons Attribution-ShareAlike License, 2014)

2.1.1 Η προέλευση του όρου Smart Grid

Ο όρος Smart Grid χρησιμοποιείται ήδη από τα τέλη του 2003, όπως εμφανίζεται στο άρθρο "Reliability demands will drive automation investments" του (Burr, 2003). Η πρώτη εμφάνιση του όρου όμως χρονολογείται αρκετά νωρίτερα. Υπάρχουν αρκετοί ορισμοί για το Smart Grid που εστιάζουν είτε στην λειτουργία του, είτε στην τεχνολογία του είναι στα προτερήματα που προσφέρει. Το κοινό σημείο όλων είναι η εφαρμογή της ψηφιακής επεξεργασίας και των επικοινωνιών στο ηλεκτρικό δίκτυο, με τη ροή των δεδομένων και την διαχείρισή τους να γίνεται από ένα κεντρικό σύστημα που λέγεται Smart Grid. Οι εταιρίες ηλεκτρισμού χρησιμοποιούν τρεις παραλλαγές του όρου: βελτιώσεις στην υποδομή, που γίνονται στην Κίνα με το όνομα «strong grid», βελτιώσεις σε ψηφιακό επίπεδο, που είναι και η ουσία του Smart Grid, και αλλαγές στις εταιρικές διαδικασίες, απαραίτητες για να επωφεληθούν από τις «έξυπνες» τεχνολογίες.

2.1.2 Ανάγκες και πορεία προς τον εκσυγχρονισμό

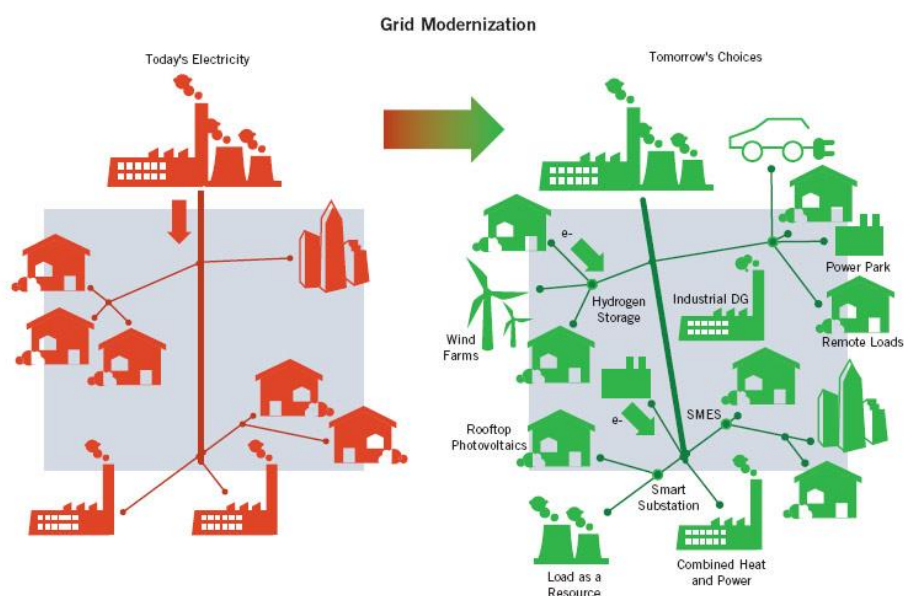


Fig. 1. The IEEE's version of the Smart Grid involves distributed generation, information networks, and system coordination, a drastic change from the existing utility configurations.

Εικόνα 2-2 Εξέλιξη του δικτύου

Από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα, είναι δυνατή η εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που παρέχει η ανάπτυξη στον τομέα των επικοινωνιών για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί και τα κόστη που θέτει το υπάρχον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Οι διαθέσιμες μετρητικές διατάξεις επιτρέπουν πλέον την αποφυγή της χρέωσης των αιχμών κατανάλωσης σε όλους του χρήστες ισόποσα. Παράλληλα, η επιτακτική

ανάγκη για την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος επιβάλλει την δημιουργία πιο εξελιγμένων συστημάτων ελέγχου. Η υψηλή μεταβλητότητα πηγών ενέργειας όπως η αιολική και η ηλιακή απαιτούν την χρήση ενός τέτοιου συστήματος που να διευκολύνει την σύνδεση των πηγών με το υπόλοιπο άκρως ελεγχόμενο δίκτυο. Τέλος, η αποφυγή τρομοκρατικών επιθέσεων σε κάποιες χώρες ωθεί στην δημιουργία ενός δικτύου πιο σταθερού που δεν εξαρτάται από κεντρικούς σταθμούς παραγωγής που ενδεχομένως αποτελούν πιθανούς στόχους. (Smart Grid Working Group, 2008)

Το Smart Grid είναι αποτέλεσμα ενεργειών που προηγήθηκαν στον προσπάθεια δημιουργίας ηλεκτρονικών διατάξεων ελέγχου, μετρητικών διατάξεων και συστημάτων παρακολούθησης. Το 1980, αυτόματες μετρητικές διατάξεις παρακολουθούσαν το φορτίο μεγάλων πελατών κάτι το οποίο εξελίχθηκε στην Εξελεγμένη Υποδομή Μετρήσεων του 1990, όπου οι μετρητές είχαν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν το πώς χρησιμοποιείται ο ηλεκτρισμός στις διάφορες στιγμές της ημέρας. Οι έξυπνοι μετρητές παρέχουν συνεχή παρακολούθηση καθώς επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πύλες επικοινωνίας για συσκευές που ενσωματώνουν την τεχνολογία demand-response και για “Έξυπνες Πρίζες” στο σπίτι. Οι πρώτες προσπάθειες για την ανάπτυξη τεχνολογιών διαχείρισης από τη μεριά την ζήτησης ήταν η δημιουργία συσκευών που μετέβαλαν τη ζήτηση δυναμικά κάνοντας μετρήσεις στις αλλαγές που παρατηρούνται στην συχνότητα της παρεχόμενης ισχύος. Επίσης, συσκευές για τον κλιματισμό οικιακών και βιομηχανικών κτηρίων προσάρμοζαν τον κύκλο λειτουργίας του έτσι ώστε να αποφεύγεται η ενεργοποίηση τους τις στιγμές που το δίκτυο υπέφερε από αιχμές ζήτησης. Το 2000, το Telegestore Project στην Ιταλία ήταν το πρώτο δίκτυο που συνδέσε ένα τεράστιο αριθμό, περίπου 21 εκατομμύρια, οικιακούς “έξυπνους μετρητές” μέσω μίας γραμμής ισχύος που επέτρεπε την επικοινωνία με χαμηλό εύρος ζώνης (National Energy Technology Laboratory, 2007). Σε άλλες παρόμοιες προσπάθειες χρησιμοποιήθηκε ο όρος “ευρυζωνική επικοινωνία μέσω γραμμών ισχύος”, ενώ άλλες χρησιμοποίησαν ασύρματες τεχνολογίες πλέγματος που αυξάνουν την αξιοπιστία των συνδέσεων μεταξύ ανόμοιων συσκευών.

Η επανάσταση στην παρακολούθηση και τον συγχρονισμό μεγάλων περιοχών του δικτύου ήρθε στις αρχές του 1990 όπου η εταιρία διαχείρισης δικτύου του Bonneville (Bonneville Power Administration) προχώρησε την έρευνα της στο Smart Grid χρησιμοποιώντας πιλοτικούς αισθητήρες που είχαν τη δυνατότητα να αναλύουν ταχύτητα τις παρατηρούμενες ανωμαλίες στην ποιότητα ισχύος πολύ μεγάλων περιοχών. Το αποτέλεσμα αυτής της δουλειάς ήταν το πρώτο Σύστημα Μετρήσεων Ευρείας Κάλυψης (Wide Area Measurement System (WAMS)) το 2000. Στη συνέχεια και άλλες χώρες ενσωμάτωσαν την τεχνολογία αυτή, όπως η Κίνα που έχει δημιουργήσει το δικό της εθνικό σύστημα WAMS.

Συγκεντρωτικά, από τις πιο πρώιμες υλοποιήσεις του Smart Grid ήταν στην Ιταλία το Telegestore (2005), το δίκτυο πλέγματος στο Austin του Texas (2003) και το smart grid του Boulder στο Colorado (2008).

2.2 Οι ιδιότητες του Smart Grid

Το Smart Grid αποτελεί μία πλήρη πλατφόρμα που έχει ως σκοπό να ανταπεξέλθει στις παρούσες αλλά και τις αναδυόμενες ανάγκες των δικτύων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Εξαιτίας των μεγάλης διαφοροποίησης μεταξύ των αναγκών που χρήζουν βελτίωσης υπάρχουν πολυάριθμες αντικρουόμενες πιυχές που δεν συγκλίνουν σε έναν ενιαίο ορισμό. Παρόλα αυτά μία κατηγοριοποίηση των ιδιοτήτων που προσφέρει γίνεται παρακάτω:

ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Το Smart Grid κάνει χρήση των διαθέσιμων τεχνολογιών με σκοπό την έγκαιρη ανίχνευση σφαλμάτων του δικτύου και την αυτοματοποίηση της διαδικασίας επούλωσής τους χωρίς να είναι απαραίτητη η ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτό υπόσχεται την πιο αξιόπιστη προσφορά ενέργειας και μειώνει την ευπάθεια του δικτύου σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών.

ΑΝΕΞΑΡΤΗΣΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η ανερχόμενη υποδομή στον τομέα της μεταφοράς και διανομής ενέργειας θα έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται καλύτερα την αμφίδρομη ροή φορτίου, επιτρέποντας την αύξηση της διεσπαρμένης παραγωγής από και προς πηγές όπως τα φωτοβολταϊκά, τις ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις με αντλητικές δυνατότητες και τις μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων.

Στα κλασσικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας που η ροή φορτίου είναι μονόδρομη, αν η παραγωγή υπερβαίνει την κατανάλωση σε ένα υποδίκτυο τότε παρουσιάζονται θέματα ασφάλειας και ευστάθειας. Το Smart Grid στοχεύει στην σωστή διαχείριση τέτοιων περιπτώσεων. (Tomoiagā, et al., 2013)

ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ

Μεγάλες προσδοκίες υπάρχουν από την ανάπτυξη των τεχνολογιών του Smart Grid και σχετικά με την αύξηση της αποδοτικότητας του δικτύου. Σε αυτό συμπεριλαμβάνεται και η δυνατότητα διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης, όπου για παράδειγμα επιτρέπει την απενεργοποίηση του κλιματισμού σε περιπτώσεις υψηλών αιχμών του δικτύου μικρής διάρκειας όπου η τιμή της ενέργειας αυξάνεται κατακόρυφα. Το αποτέλεσμα του συνόλου τέτοιων ενεργειών επιφέρει την ελάφρυνση των γραμμών μεταφοράς από μεγάλα ρεύματα, άρα και την μείωση των απωλειών τους και την καλύτερη χρησιμοποίηση των γεννητριών που επιφέρουν μείωση στην τιμή της παρεχόμενης ισχύος.

ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

Οι δυνατότητες ευελιξίας που προσφέρει το Smart Grid επιτρέπουν την καλύτερη αξιοποίηση των πηγών ενέργειας που παρουσιάζουν έντονη μεταβλητότητα όπως είναι η ηλιακή και η αιολική ενέργεια ακόμα και χωρίς τη βοήθεια διατάξεων αποθήκευσης ενέργειας. Η παρούσα υποδομή δεν έχει σχεδιαστεί να επιτρέπει μεγάλο αριθμό διεσπαρμένων σημείων προσφοράς ενέργειας και ακόμα και αν αυτό γίνεται εφικτό σε ένα περιορισμένο αριθμό σε τοπικό επίπεδο διανομής, σε επίπεδο μεταφοράς δεν μπορεί να υποστηρικθεί. Έντονες διακυμάνσεις στην διεσπαρμένη παραγωγή, λόγω παροδικής συννεφιάς

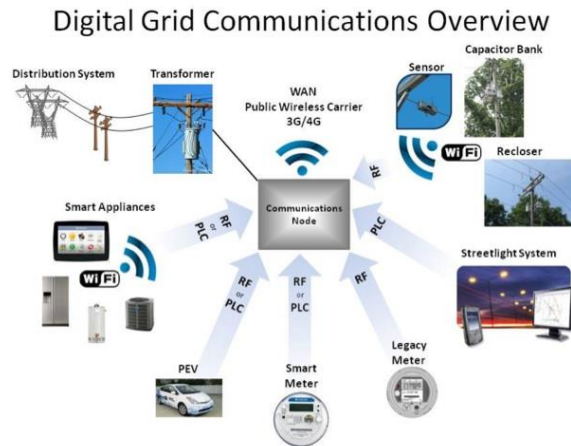
ή θυελλώδους καιρού, επιφέρουν έντονες προκλήσεις στους μηχανικούς ισχύος οι οποίοι πρέπει να εγγυηθούν την σταθερότητα του δικτύου μέσω της αυξομείωσης της παραγωγής των ελέγξιμων πηγών ενέργειας όπως του φυσικού αερίου και της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το Smart Grid είναι αναγκαίο για την διείσδυση περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο ακριβώς γι' αυτούς τους λόγους.

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ

Το Smart Grid συνδέει την προσφορά (οριακή τιμή πώλησης) και την ζήτηση (επιθυμητή τιμή αγοράς) επιτρέποντας και στους παραγωγούς και στους καταναλωτές να ορίζουν τις λειτουργικές τους συνήθειες πιο ευέλικτα και εξελιγμένα. Έτσι για παράδειγμα, οι καταναλωτές θα έχουν τη δυνατότητα να καταναλώνουν σε υψηλές τιμές μόνο για εξαιρετικά σημαντικούς λόγους και να διαμορφώνουν τον τρόπο κατανάλωσής τους ανάλογα με τις πληροφορίες που έχουν για την παρούσα τιμή κατανάλωσης. Παραγωγοί με μεγάλη ευελιξία θα μπορούν να διαμορφώνουν την τιμή πώλησης ώστε να μεγιστοποιούν το κέρδος τους, ενώ παραγωγοί χωρίς περιθώρια ευελιξίας όπως είναι οι γεννήτριες με τεχνικό ελάχιστο και οι ανεμογεννήτριες θα διαμορφώνουν την τιμή τους ανάλογα με την παρούσα ζήτηση και την παρούσα τιμή των υπολοίπων γεννητριών. Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας φιλοσοφίας στη λειτουργία του δικτύου είναι η αύξηση της αποδοτικότητάς του και η εξάρτηση της κατανάλωσης από την μεταβλητότητα της τιμής που αντιπροσωπεύει τις παρούσες δυνατότητες προσφοράς ενέργειας. Σε οικιακό επίπεδο, συσκευές αποθήκευσης ενέργειας ή θερμότητας-ψύξης (όπως ψυγεία, θερμικοί συσσωρευτές, και αντλίες θερμότητας) θα έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται στις διακυμάνσεις της αγοράς με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας τους. Αυτό είναι μια αρκετά μεγάλη εξέλιξη ουσιαστικά της ήδη υπάρχουσας ξεχωριστής τιμής αγοράς βραδινού και ημερήσιου ρεύματος που αναφέρθηκε νωρίτερα.

2.3 Η τεχνολογία του Smart Grid

Το μεγαλύτερο μέρος των τεχνολογιών που ενσωματώνει το Smart Grid για τις ανάγκες του υπάρχει ήδη διαθέσιμος για αντίστοιχες εφαρμογές στη βιομηχανία και τις τηλεπικοινωνίες, με τη διαφορά ότι τώρα προσαρμόζεται για τις ανάγκες του δικτύου. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε πέντε μεγάλες κατηγορίες:



Εικόνα 2-3 Επικοινωνία στα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα

Στον τομέα των επικοινωνιών οι τεχνολογίες είναι αρκετά σύγχρονες, παρόλα αυτά δεν υπάρχει ομοιομορφία καθώς η ανάπτυξη έγινε σταδιακά με σκοπό την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών και όχι με στόχο την δημιουργία ενός ενιαίου συστήματος. Τομείς οι οποίοι χρήζουν βελτίωσης είναι: οι αυτοματισμοί υποσταθμών, το demand response, οι αυτοματισμοί διανομής, τα συστήματα ελέγχου SCADA, τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας, τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος, οι επικοινωνίες μέσω γραμμών ισχύος και οι οπτικές ίνες. Ένα ενιαίο σύστημα επικοινωνιών θα επιτρέψει τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο και την ανταλλαγή πληροφοριών με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας, της ασφάλειας και την καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Βασικές αρμοδιότητες είναι η ανίχνευση της συμφόρησης και η σταθερότητα του δικτύου, η παρακολούθηση της καλής λειτουργίας του, η αποτροπή από προσπάθειες κλοπής ενέργειας και ο έλεγχος. Στις τεχνολογίες αυτές συμπεριλαμβάνονται: εξελεγχμένοι μετρητές (smart meters) και διατάξεις παρουσίασης των μετρήσεων, συστήματα παρακολούθησης μεγάλων περιοχών, δυναμική βαθμονόμηση των γραμμών μεταφοράς σχετικά με την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία, μέτρηση και ανάλυση ηλεκτρομαγνητικής ταυτότητας, εργαλεία τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο, εξελιγμένα switches και καλώδια και ψηφιακά ρελέ ασφάλειας.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Συγκριτικά με την παρούσα τεχνολογία που επιτρέπει μόνο την λειτουργία σε ονομαστικές τιμές συχνότητας, η δυνατότητα των συσκευών να λειτουργούν σε μεταβλητές τιμές συχνότητας μειώνει τον χρόνο λειτουργίας τους και την ενέργεια που καταναλώνουν.

ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΑΣΙΘΕΤΩΝ (PMU)



Εικόνα 2-4 Μειρητές PMU

Ταχύτατες μονάδες μέτρησης που ονομάζονται PMUs (Phasor measurement units) και εγκαθίστανται διάσπαρτα στο δίκτυο μεταφοράς χρησιμοποιούνται για να παρακολουθούν την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου. Το 1980, διαπιστώθηκε ότι οι ορολογιακοί παλμοί από τους δορυφόρους που εξυπηρετούν το GPS παρέχουν πολύ ακριβείς χρονικές πληροφορίες, οι οποίες είναι αναγκαίες για τη μέτρηση των διαφορών της φασικής γωνίας τάσης μεταξύ μακρινών αποστάσεων. Η έρευνα υπόσχεται ότι με την αύξηση των εγκατεστημένων PMU και η δυνατότητα να λαμβάνονται αυτές οι μετρήσεις από καίρια σημεία του δικτύου, θα φέρει επανάσταση στον τρόπο που τα συστήματα αυτοματισμού διαχειρίζονται τα συστήματα ισχύος σε διάφορες καταστάσεις με ταχύτατο και δυναμικό τρόπο.

Το Σύστημα Μέτρησης Μεγάλης Εμβέλειας (WAMS) είναι ένα δίκτυο από PMUs που επιτρέπει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο σε τοπικό ή εθνικό επίπεδο.

ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΡΗ



Example Superconductor cable design by Nexans

Εικόνα 2-5 Υπεραγωγίμα Υλικά

Καινοτομίες στα υπεραγωγίμα υλικά, στην ανοχή σε σφάλματα, στην αποθήκευση, στα ηλεκτρονικά ισχύος και στα διαγνωστικά στοιχεία αλλάζουν βασικές δυνατότητες και χαρακτηριστικά του δικτύου.

ΠΡΟΗΓΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

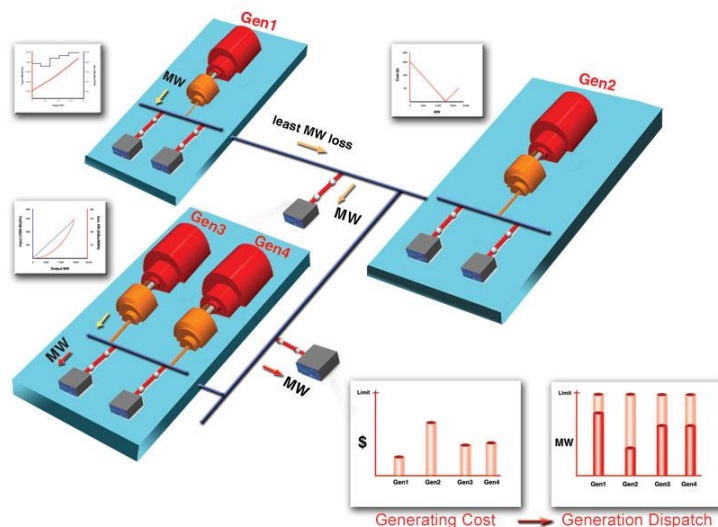


Εικόνα 2-6 Κέντρο Ελέγχου Δικτύου

Οι αυτοματισμοί στα ηλεκτρικά δίκτυα επιτρέπουν την ταχύτατη διάγνωση και την ακριβή αντιμετώπιση διαταραχών και διακοπών στο δίκτυο. Τρεις τεχνολογίες προηγμένου ελέγχου είναι: τα διεσπαρμένα έξυπνα μέσα (συστήματα ελέγχου), τα εργαλεία ανάλυσης (αλγόριθμοι και ταχύτατοι υπολογιστές) και οι λειτουργικές εφαρμογές (SCADA, αυτοματισμοί υποσταθμών, demand respons κ.α.) Η χρήση τεχνικών προγραμματισμού τεχνητής νοημοσύνης στο Smart Grid Fujian στην Κίνα δημιούργησε ένα σύστημα ασφάλειας μεγάλου εύρους με τη δυνατότητα να υπολογίζει και να υλοποιεί με ακρίβεια μια στρατηγική ελέγχου. Ακόμα, το λογισμικό Voltage Stability Monitoring & Control (VSMC) χρησιμοποιεί μια μέθοδο ακολουθίας γραμμικού προγραμματισμού κινητών βαρών ώστε να επιλέγει αξιόπιστα την καλύτερη λύση ελέγχου.

ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΕΣ ΔΙΕΠΑΦΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Τα βελτιωμένα πληροφοριακά συστήματα μειώνουν την πολυπλοκότητά τους, παρά την αύξηση των εισερχόμενων πληροφοριών και αποτελούν εργαλεία για τον αποδοτικό και αποτελεσματικό χειρισμό της λειτουργίας του δικτύου. Οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν τεχνικές απεικόνισης που ομαδοποιούν πολλά δεδομένα σε εύκολα κατανοητές μορφές, λογισμικό που παρέχει τις διαθέσιμες επιλογές όταν απαιτείται χειρισμός από τον διαχειριστή του δικτύου και προσομοιωτές για διάφορα σενάρια λειτουργίας και την ανάλυση εικονικών περιπτώσεων.



Εικόνα 2-7 Εφαρμογή υπολογισμού έξυπνης παραγωγής

Η έξυπνη παραγωγή αφορά την επιλογή του ιδανικού συνδυασμού των γεννητριών που θα λειτουργήσουν, θα ξεκινήσουν ή θα σταματήσουν στις συγκεκριμένες συνθήκες φορτίου ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση του συστήματος (Klimstra & Hotakainen, 2011). Η εξισορρόπηση της προσφοράς με την ζήτηση ισχύος, γνωστή με τα όνομα load balancing, είναι απαραίτητη για μία σταθερή και αξιόπιστη προσφορά ενέργειας. Διαταραχές μικρής διάρκειας στο ισοζύγιο επιφέρουν αλλαγές στην συχνότητα και λάθος εκτιμήσεις της ζήτησης προκαλούν διακοπές. Ο διαχειριστής του δικτύου μεταφοράς αναλαμβάνει την ευθύνη της διατήρησης του ισοζυγίου ισχύος, εξισορροπώντας την παραγωγή των γεννητριών με το φορτίο του δικτύου. Η διαδικασία αυτή γίνεται εξαιρετικά δύσκολη όταν αυξάνεται ο αριθμός των αβέβαιων και ευμετάβλητων γεννητριών όπως οι ανεμογεννήτριες και οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις και ωθεί τους υπόλοιπους παραγωγούς να προσαρμόζουν την παραγωγή τους πιο συχνά, απ' ότι συνηθίζονταν στο παρελθόν.

Τα πρώτα δύο εργοστάσια δυναμικής παραγωγής ισχύος για την αύξηση της ευστάθειας σχεδιάστηκαν από την Elering και θα εγκατασταθούν από την Wärtsilä στην Κίσα της Εσθονίας. Σκοπός τους είναι να προσαρμόζουν δυναμικά την παρεχόμενη ισχύ τους ώστε να αντιμετωπίζονται περιπτώσεις ξαφνικών και απρόσμενων ελλείψεων της παρεχόμενης ισχύος.

2.4 Smart Meters



Εικόνα 2-8 Έξυπνοι Μετρητές

Έξυπνος μετρητής είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που καταγράφει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά χρονικά διαστήματα μικρότερα ή ίσα της μίας ώρας και στέλνει τα δεδομένα τουλάχιστον μία φορά τη μέρα πίσω στην εταιρία παροχής ηλεκτρισμού για λόγους τιμολόγησης και καταγραφής. Οι μετρητές αυτοί υποστηρίζουν την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του κεντρικού συστήματος. Σε αντίθεση με τους οικιακά συστήματα παρακολούθησης ενέργειας, οι έξυπνοι μετρητές συλλέγουν δεδομένα με σκοπό αποστολή σε απομακρυσμένους δέκτες. Η υποδομή εξελιγμένης μέτρησης (Advanced Metering Infrastructure) διαφέρει από την παραδοσιακή αυτόματη ανάγνωση της μέτρησης (Automatic Meter Reading) στο ότι επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία με τον μετρητή.

Μετρητές με παρόμοια χαρακτηριστικά υπάρχουν για αρκετά χρόνια, αλλά κυρίως ο όρος smart meter αναφέρεται σε αισθητήρες πραγματικού χρόνου, ή σχεδόν πραγματικού χρόνου, με τη δυνατότητα να αναφέρουν διακοπές ρεύματος και την ποιότητα ισχύος.

2.4.1 Σκοπός ανάπτυξης

Η σταδιακή απελευθέρωση της ηλεκτρικής αγοράς ενέργειας οδήγησε στην ανάγκη της εύρεσης ενός τρόπου να συνδεθεί η παραγωγή με την κατανάλωση. Οι παραδοσιακοί μετρητές μετράνε μόνο την συνολική κατανάλωση χωρίς να παρέχουν πληροφορίες για το χρόνο που παρατηρήθηκε η κάθε κατανάλωση. Η τιμολόγηση έτσι γίνεται με ενιαίο τρόπο εκ των προτέρων. Με τους έξυπνους μετρητές παρέχονται οι απαραίτητες πληροφορίες της ανάπτυξης διαφορετικής τιμολογιακής πολιτικής για διαφορετικές ώρες και περιόδους. Επίσης, η καταγραφή κρουστικών τιμών τάσης από κεραυνούς και αρμονικών συνιστωσών, επιτρέπει τη διάγνωση προβλημάτων στην ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος.

Οι εταιρίες παροχής ενέργειας προωθούν τους έξυπνους μετρητές ισχυριζόμενοι ότι παρέχουν πιθανώς προνόμια και για τους οικιακούς χρήστες. Τέτοια προνόμια είναι η κατάργηση του έναντι τιμολογίου, που αποτελεί και τον κύριο λόγο παραπόνων και η παροχή ενός εργαλείου που μπορεί να βοηθήσει

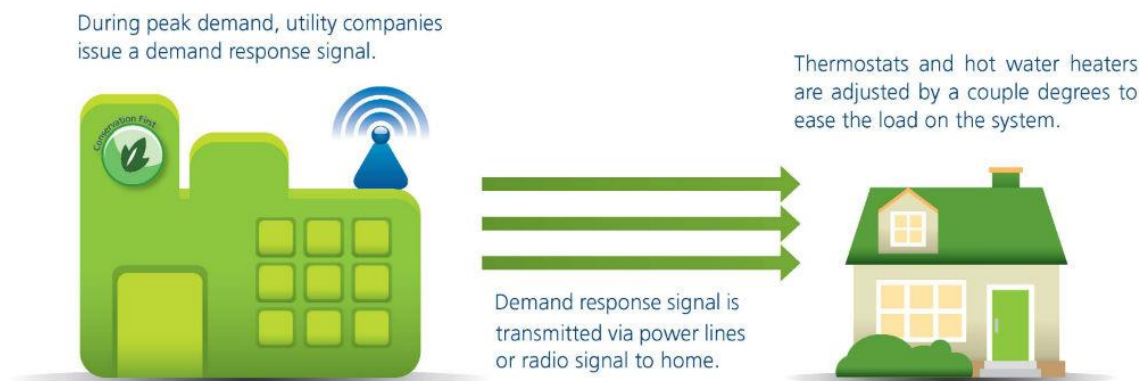
τους καταναλωτές να διαχειριστούν καλύτερα τις καταναλωτικές τους συνήθειες. Μία ακαδημαϊκή έρευνα έδειξε ότι σύμφωνα με δοκιμές οι οικιακοί καταναλωτές ύστερα από την χρήση τέτοιων μετρητών μείωσαν την ενεργειακή τους κατανάλωση κατά μέσο όρο από 3 – 5 %.

2.4.2 Τεχνολογία

Από τις τεχνολογίες που συνεργάζονται για την ανάπτυξη των smart meters η πιο κρίσιμη είναι αυτή της τεχνολογίας επικοινωνίας, ώστε να μεταφέρονται οι πληροφορίες με ασφάλεια και ακρίβεια. Μεταξύ των διάφορων δοκιμών υλοποίησης που έχουν γίνει, είναι η χρήση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, του δορυφορικού δικτύου, αδειοδοτημένων και μη ραδιοφωνικών συχνοτήτων και χρήση των γραμμών μεταφοράς ισχύος. Όμως πέρα από το μέσο επικοινωνίας, πολύ σημαντική είναι και η τοπολογία του δικτύου. Έτσι έχει χρησιμοποιηθεί η σταθερή ασύρματη δικτύωση, το δίκτυο πλέγματος αλλά και συνδυασμός των δύο. Για τη διαμόρφωση του δικτύου μπορεί να γίνεται χρήση του WiFi ή και άλλων τεχνολογιών του internet. Μέχρι σήμερα καμία τεχνολογία που έχει δοκιμαστεί δεν είναι καθολικά βέλτιστη καθώς οι ανάγκες επικοινωνίας είναι πολύ διαφορετικές σε κάθε εφαρμογή.

Η επόμενη πιο σημαντική τεχνολογία που χρίζει ανάπτυξης και ενσωματώνεται στους smart meters είναι αυτή της επιστήμης των υπολογιστών σε ότι αφορά την ενσωμάτωση των δικτύων με τις διαχειριστικές εφαρμογές τιμολόγησης και συλλογής πληροφοριών. Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνεται και το σύστημα Διαχείρισης των Δεδομένων Μέτρησης. Τα συστήματα αυτά πρέπει να διαχειρίζονται πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο κάτι το οποίο απαιτεί την χρήση εξειδικευμένων τεχνολογιών και την προσαρμογή τους στις συγκεκριμένες ανάγκες. Μία προσέγγιση της χρήσης του Complex Event Processing για την διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο γίνεται και στην παρούσα εργασία. Σχετικά projects έχουν τεθεί σε λειτουργία, όπως αυτό της Google με την ονομασία PowerMeter, το οποίο έδινε την δυνατότητα της καταγραφής και παρουσίασης της κατανάλωσης από smart meters, όπως και το Energy Engage της eMeter που αποτελεί μέρος του προγράμματος demand response της PowerCentsDC. Τέλος, σε ακόμα μεγαλύτερη κλίμακα αναπτύχθηκε η δυνατότητα διαχείρισης δεδομένων από διαφορετικές πηγές, όχι απαραίτητα smart meters. Το πιο γνωστό project ανοικτού κώδικα που λειτούργησε αποτελεσματικά είναι αυτό του Pachube, το οποίο μετονομάστηκε σε Cosm αμέσως πριν την εξαγορά του από εταιρία που το κατοχύρωσε με την ονομασία Xively. Η εξέλιξη του αποδεικνύει αφενός το ενδιαφέρον επενδυτών για την ανάπτυξη τέτοιων λύσεων διαχείρισης δεδομένων και αφετέρου την επιτυχία της μέχρι τώρα λειτουργίας του.

2.5 Demand – Response



Εικόνα 2-9 Αναπαράσταση DR

Ο όρος Demand Response (DR) ή αλλιώς Απόκριση Ζήτησης αναφέρεται σε ένα σύνολο χρονικά εξαρτώμενων προγραμμάτων και κοστολογήσεων που στοχεύουν στη μείωση ή μεταβολή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας του ηλεκτρικού δικτύου και τη καλύτερη διαχείριση του κόστους της ενέργειας. Οι διάφορες στρατηγικές του DR που χρησιμοποιούνται προσφέρουν μεθόδους ελέγχου για την «απόρριψη φορτίου» ή «μετακίνηση φορτίου» κατά τη διάρκεια χρονικών στιγμών που παρατηρούνται αιχμές στο ηλεκτρικό δίκτυο και οι χρεώσεις της ενέργειας είναι υψηλές.

Δύο από τα κύρια εμπόδια που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια για την ανάπτυξη της Απόκρισης Ζήτησης (Demand Response) είναι η ανελαστικότητα που παρατηρείται από τη μεριά της ζήτησης και το μικρό ποσοστό συμμετοχής εξαιτίας της μηδαμινής πληροφόρησης. (Albadi & El-Saadany, 2008)

2.5.1 Κατηγορίες απόκρισης ζήτησης

Η «Απόκριση ζήτησης» αναφέρεται στην μεταβολή του τρόπου χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας από τους τελικούς καταναλωτές σε σχέση με την συνηθισμένη τους κατανάλωση ως απόκριση στις μεταβολές της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η απόκριση ζήτησης μπορεί επίσης να χαρακτηριστεί ως τα οικονομικά κίνητρα τα οποία είναι σχεδιασμένα για να επιτύχουν χαμηλότερη ηλεκτρική κατανάλωση τις ώρες υψηλού κόστους παραγωγής της ενέργειας ή τις ώρες που η ευστάθεια του συστήματος κινδυνεύει. Περιλαμβάνει όλα τα μοντέλα τροποποίησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τελικούς καταναλωτές που στοχεύουν στο να μεταβάλουν το χρόνο και το ποσοστό στιγμιαίας ζήτησης ή συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Υπάρχουν διαφορετικών ειδών προγράμματα απόκρισης ζήτησης ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας και τα κίνητρα που χρησιμοποιούν:

A) Προγράμματα απόκρισης ζήτησης βασισμένα σε κίνητρα (Increased-block Pricing - IBP)

- Άμεσος έλεγχος φορτίου : ο διαχειριστής του συστήματος έχει ελεύθερη πρόσβαση σε κάποιες από τις συσκευές του καταναλωτή. Αυτές οι συσκευές συνήθως είναι air-condition και θερμοσίφωνες και ο διαχειριστής έχει την δυνατότητα απομακρυσμένης διακοπής ή μετακίνησης αυτού του φορτίου. Οι καταναλωτές ανταμείβονται για τη συμμετοχή τους σε αυτού του είδους τα προγράμματα.
- Διακοπόμενες τιμολογήσεις : Ζητείται από τους πελάτες με ειδικά συμβόλαια να μειώσουν την κατανάλωση τους σε προκαθορισμένες τιμές και ανάλογα με την συμμόρφωση τους ή όχι δέχονται οφέλη ή αντίστοιχα ποινές σύμφωνα με τους όρους του συμβολαίου.
- Προγράμματα επείγουσας απόκρισης ζήτησης : Οι πελάτες ανταμείβονται για εθελοντική ανταπόκριση σε επείγοντα σήματα του συστήματος.
- Προγράμματα αγοράς χωρητικότητας : Οι πελάτες εγγυώνται στο να συμβάλουν σε προκαθορισμένες μειώσεις φορτίου όταν προκύπτουν κίνδυνοι στο σύστημα. Σε αυτού του είδους τα προγράμματα δίνεται στους καταναλωτές ένα σήμα γεγονότων συνήθως σε χρόνο μιας μέρας μπροστά και δέχονται ποινές για την μη ανταπόκριση τους.
- Προγράμματα προσφοράς ζήτησης : οι πελάτες μπορούν να προσφερθούν για περικοπή ενός συγκεκριμένου ποσού φορτίου αλλιώς δέχονται ποινές.
- Επικουρική αγορά υπηρεσιών: επιτρέπουν στους καταναλωτές να υποβάλουν προσφορά για περικοπή φορτίου στην αγορά. Όταν οι προσφορές γίνονται δεκτές, οι συμμετέχοντες πληρώνονται με την τιμή της αγοράς για τη δέσμευση τους να είναι σε επιφυλακή και πληρώνονται με τιμή αγοράς ενέργειας, εάν απαιτείται περικοπή φορτίου.

B) Προγράμματα απόκρισης ζήτησης βασισμένα στη τιμή (Payback Period - PBP)

- Χρέωση χρόνου χρησιμοποίησης (Time of Use - TOU) : εφαρμόζεται ένα στατικό πρόγραμμα χρεώσεων, όπου η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει σε διαφορετικά διαστήματα χρόνου. Η τιμή κατά τη διάρκεια αιχμών είναι υψηλότερη από περιόδους χαμηλής ζήτησης. Η απλούστερη TOU κοστολόγηση χωρίζεται σε δύο μόνο διαστήματα χρόνου, το διάστημα αιχμών και το διάστημα χαμηλής ζήτησης.
- Κοστολόγηση Κρίσιμων Αιχμών (Critical Peak Pricing - CPP) : Μια παραλλαγή ενός λιγότερου προκαθορισμένου προγράμματος από το TOU. Οι CPP τιμές περιλαμβάνουν μια προκαθορισμένη υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας που ξεπερνά τις τιμές TOU και χρησιμοποιούνται μόνο κατά τη διάρκεια κινδύνων.
- Ακραίες τιμές ημέρας (Extreme Day Pricing - EDP) : Μοιάζει με την CPP χρέωση στο ότι έχει υψηλότερη τιμή ενέργειας, αλλά διαφέρει στο ότι η τιμή αυτή είναι σε ισχύ για 24 ώρες, δηλαδή για ολόκληρη τη μέρα που χαρακτηρίζεται «ακραία» και η οποία είναι γνωστή από την προηγούμενη μέρα.
- Κοστολόγηση σε πραγματικό χρόνο (Real Time Pricing - RTP) : Οι τιμές χονδρικής της αγοράς διαβιβάζονται στους τελικούς καταναλωτές. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται ωριαία ανακλώντας την πραγματική τιμή κόστους παραγωγής της και οι καταναλωτές ενημερώνονται για αυτές τις διακυμάνσεις σε βάθος χρόνου μίας ημέρας

ή και μιας ώρας μπροστά. Οι οικονομολόγοι ισχυρίζονται ότι αυτό το είδος των προγραμμάτων είναι το πιο αποτελεσματικό και κατάλληλο για ανταγωνιστικές αγορές ενέργειας. (Stromback, et al., 2011)

2.5.2 Πλεονεκτήματα χρήσης του DR

Οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε ένα πρόγραμμα «Απόκριση Ζήτησης» (DR) αναμένουν μειώσεις στο λογαριασμό της ενεργειακής τους κατανάλωσης, εάν μειώσουν την κατανάλωσή τους τις χρονικές στιγμές που παρατηρούνται αιχμές στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Είναι πιθανό, με κάποια προγράμματα DR, να παρατηρηθούν οφέλη στους λογαριασμούς των καταναλωτών, ακόμα κι αν δεν αλλάξουν την ενεργειακή τους κατανάλωση, με την προϋπόθεση η τελευταία να βρίσκεται σε χαμηλότερο επίπεδο από τη μέση τιμή της ατομικής τους καμπύλης κατά τη διάρκεια των αιχμών του δικτύου. Μερικοί καταναλωτές, ακόμα, μπορούν να αυξήσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση σε χρονικές περιόδους που το κόστος ενέργειας είναι χαμηλό, χωρίς επιπλέον οικονομική επιβάρυνση. Αρκετά προγράμματα DR προσφέρουν συγκεκριμένα κίνητρα χρηματοδότησης στους καταναλωτές. Πέρα από τα οικονομικά οφέλη το πρόγραμμα συμβάλει και στην άνεση του καταναλωτή καθώς υπάρχει η δυνατότητα διαχείρισης ορισμένων φορτίων κατ' ευθείαν από τον διαχειριστή του δικτύου στις βέλτιστες χρονικές στιγμές με σκοπό να επωφελείται και ο καταναλωτής και το δίκτυο. Σε κάθε περίπτωση όμως η συμμετοχή σε ένα πρόγραμμα επιφέρει οικονομικά οφέλη στους καταναλωτές ανάλογα με το πρόγραμμα το οποίο έχουν επιλέξει και τους όρους του συμβολαίου του κάθε καταναλωτή.

Οι παραγωγοί από ΑΠΕ, οι οποίες είναι διασυνδεδεμένες με το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας, θα επωφεληθούν από προγράμματα DR, καθώς θα μπορούν να έχουν επίγνωση της κατάστασης του Δικτύου κάθε χρονική στιγμή για να ξέρουν πότε μπορούν να πουλάνε ή να αγοράζουν ενέργεια.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η λειτουργία ενός προγράμματος DR αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος. Γίνεται δυνατή η έγκαιρη αναγνώριση των σφαλμάτων και των κινδύνων του συστήματος και την άμεση αντιμετώπισή τους, συνήθως με τη βοήθεια των καταναλωτών. Διάφορα προγράμματα επιδοτούν τους καταναλωτές εάν βοηθήσουν σε τέτοιες ακραίες περιπτώσεις για να μην υπάρξει ολική σβέση του συστήματος. (Βαρβαρέσος & Φακίτσα, 2013)

2.6 Internet of Things



Εικόνα 2-10 Internet of Things

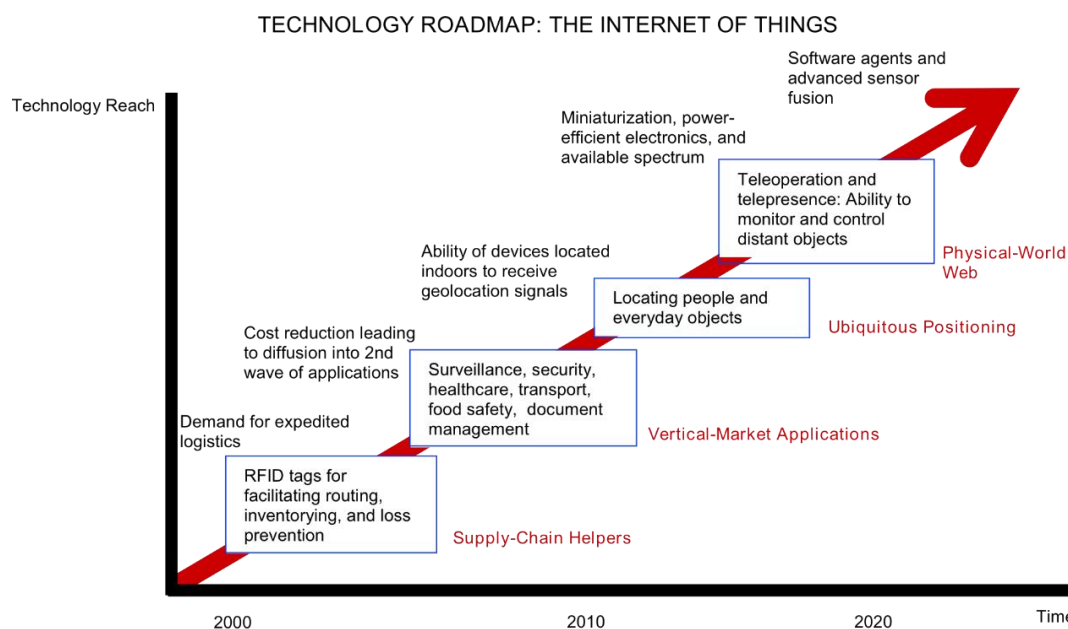
Το Internet of Things (IoT) αναφέρεται στην εικονική αναπαράσταση ενός μοναδικά αναγνωρίσιμου αντικειμένου σε μία διαδικτυακή μορφή. Ο όρος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Kevin Ashton το 1999 (Ashton, 2009) με την σημερινή του έννοια, ενώ υπάρχουν αναφορές στην βιβλιογραφία τουλάχιστον από το 1991 (Mattern & Floerkemeier, 2010). Σήμερα η έρευνα που γίνεται στο IoT βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, για το λόγο αυτό δεν υπάρχει κάποιος καθολικός ορισμός του όρου.

Τα ηλεκτρονικά αναγνωριστικά RFID θεωρήθηκαν ως απαραίτητη προϋπόθεση του IoT τα πρώτα χρόνια. Υπήρχε η πεποίθηση ότι αν όλα τα αντικείμενα και οι άνθρωποι στην καθημερινή ζωή είχαν αναγνωριστικά, μεγάλα υπολογιστικά συστήματα θα μπορούσαν να τους διαχειριστούν και να τους απογράψουν (Magrassi & Berg, 2002). Σήμερα, ο όρος χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη γενική ιδέα ότι ένα αντικείμενο, συνήθως καθημερινής χρήσης, μπορεί να αναγνωριστεί, να διαβαστεί, αν εντοπιστεί, να προσπελαστεί και/ή να ελεγχθεί μέσω του internet, είτε με τη χρήση RFID, είτε wireless LAN, είτε ευρυζωνικού δικτύου είτε οποιουδήποτε άλλου μέσου (SRI Consulting Business Intelligence, 2008).

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του τεχνολογικού ινστιτούτου Gartner της Αμερικής θα υπάρχουν σχεδόν 26 δισεκατομμύρια συσκευές στο IoT μέχρι το 2020 (Middleton, et al., 2013). Ο εξοπλισμός όλων των αντικειμένων με αισθητήρες και μικροσκοπικές συσκευές αναγνώρισης θα έφερνε έντονες αλλαγές στην καθημερινή ζωή. Η δυνατότητα ενός ατόμου να αλληλοεπιδρά με αντικείμενα, καθώς και ο τρόπος που γίνεται αυτό, θα μπορούσε να μεταβληθεί εξ' αποστάσεως με βάση τις παρούσες ανάγκες, βάση της συμφωνίας που έχει γίνει με τον τελικό χρήστη (Magrassi & Berg, 2002). Το IoT βρίσκει εφαρμογή σε διάφορες πτυχές της καθημερινής ζωής όπως η διαχείριση απορριμμάτων, η αστική δόμηση, η περιβαλλοντική ευαισθησία, οι συσκευές κοινωνικής

αλληλεπίδρασης, η συνεχής περίθαλψη, η αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, τα έξυπνα ψώνια, η έξυπνη διαχείριση των προϊόντων, οι smart meters, οι οικιακοί αυτοματισμοί και η έξυπνη οργάνωση εκδηλώσεων (2012).

2.6.1 Η τεχνολογία του IoT



Εικόνα 2-11 Εξέλιξη του IoT

Παρόλο που οι αναλυτές ορίζουν το IoT ως ένα τρόπο διασύνδεσης των αντικειμένων καθημερινής χρήσης, η φύση αυτής της σύνδεσης δεν έχει οριστικοποιηθεί. Μία αμφίδρομη επικοινωνία μέσω IP (Internet Protocol) αποτελεί ιδανική λύση, αλλά οι εισηγητές της έννοιας εστιάζουν σε ένα πιο απλό μοντέλο με RFIDs τα οποία δέχονται αιτήματα και παράγουν απαντήσεις. Το IoT δεν διαφέρει από τα υπάρχοντα δίκτυα αισθητήρων που καταγράφουν δεδομένα αλλά δεν κάνουν λαμβάνουν μέρος στον έλεγχο. Τόσο η διασύνδεση καθημερινών αντικειμένων, όσο και τα δίκτυα αισθητήρων επιβάλουν την επιμέρους ανάπτυξη των τεχνολογιών στον τομέα των μικροκυκλωμάτων, των αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης, των υπολογιστικών συστημάτων και των ασύρματων επικοινωνιών. Συχνά οι αναλυτές περιγράφουν δύο ξεχωριστούς τρόπους επικοινωνίας του IoT, την επικοινωνία αντικειμένου-ανθρώπου και την επικοινωνία αντικειμένου-αντικειμένου.

- Η επικοινωνία αντικειμένου-ανθρώπου (ή ανθρώπου-αντικειμένου) συνδυάζει τεχνολογίες και εφαρμογές όπου οι άνθρωποι επικοινωνούν με πράγματα και το αντίθετο, όπως είναι η απομακρυσμένη πρόσβαση σε αντικείμενα από τους ανθρώπους ή αντικείμενα (αποκαλούμενα και “bobjects”) τα οποία συνεχώς γνωστοποιούν την κατάστασή τους, την τοποθεσία τους και δεδομένα από αισθητήρες τους.
- Η επικοινωνία αντικειμένου-αντικειμένου συνδυάζει τεχνολογίες και εφαρμογές όπου αντικείμενα καθημερινής χρήσης και η υπάρχουσα

υποδομή αλληλοεπιδρούν χωρίς ο άνθρωπος να λειτουργεί ως εντολέας, παραλήπτης ή ενδιάμεσος. Τα αντικείμενα μπορούν να παρακολουθούν άλλα αντικείμενα, να κάνουν διορθωτικές ενέργειες και να ειδοποιούν ή να παρακινούν τους ανθρώπους όταν χρειάζεται. Η επικοινωνία machine-to-machine (m2m) αποτελεί μια υποενότητα της επικοινωνίας του IoT, αλλά επειδή συχνά χρησιμοποιείται και από πληροφοριακά συστήματα μεγάλου εύρους ενσωματώνει λειτουργίες που δεν χαρακτηρίζουν μόνο “καθημερινά αντικείμενα”.

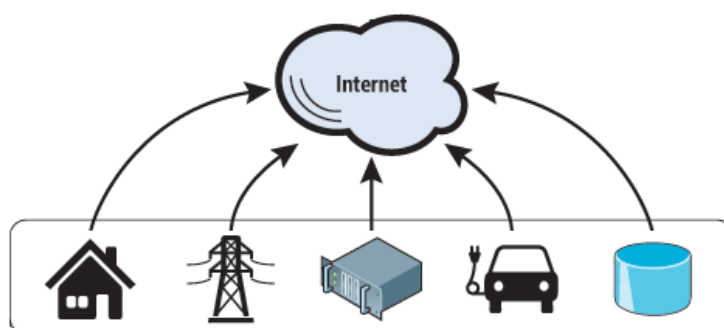
Πολλές καθημερινές συσκευές ήδη περιέχουν μικροελεγκτές και όλο και περισσότερες τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας. Οι συνήθεις μικροελεγκτές ενσωματώνουν μικροεπεξεργαστές, αποθηκευτικό χώρο, λογισμικό και διεπαφές για τους αισθητήρες και τους κινητήρες των συσκευών. Με την ανάπτυξη ενός δικτύου διασύνδεσης, οι άνθρωποι ή άλλα συστήματα έχουν την δυνατότητα να παρακολουθούν και να ελέγχουν τέτοια αντικείμενα εξ αποστάσεων, μέσω του διαδικτύου. Έτσι, το λογισμικό των κεντρικών συστημάτων και/ή τα συνδεδεμένα στο διαδίκτυο αντικείμενα μπορούν να προκαλέσουν μία αλληλουχία συμβάντων με ή χωρίς την ανθρώπινη μεσολάβηση. Ο συνδυασμός των ενσωματωμένων μικρουπολογιστών, των αισθητήρων και του δικτύου διασύνδεσης τους στο υπόλοιπο διαδίκτυο εξελίσσει το διαδίκτυο από ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων υπολογιστών σε ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων αντικειμένων.

Οι παρακάτω τεχνολογικές έννοιες μπορεί να αναπτύσσονται μεμονωμένα αλλά είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ανάπτυξη του IoT:

- Τα δίκτυα αισθητήρων παρόλο που υπάρχουν ήδη σε απομακρυσμένες εφαρμογές, σε οχήματα και σε κτήρια συνήθως δεν είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο. Οραματιστές χρησιμοποιούν τον όρο “smart dust” για να περιγράψουν ένα τεράστιο δίκτυο από πολλούς μικροσκοπικούς αισθητήρες που συνδέονται ασύρματα. Άλλοι πιστεύουν ότι η ανάπτυξη ενός τέτοιου δικτύου μπορεί να γίνει αφού αναπτυχθεί το IoT για αρκετό καιρό, καθώς αναμένεται να υπάρξουν αρκετές αλλαγές πριν καταφέρουν οι ασύρματη αισθητήρες να μικρύνουν στο μέγεθος ενός κόκκου.
- Η πάνια διαθέσιμη τοποθεσία αναφέρεται σε τεχνολογίες που στοχεύουν στον εντοπισμό αντικειμένων που μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε, συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών χώρων και υπόγειων τοποθεσιών όπου το δορυφορικό σήμα δεν είναι διαθέσιμο.
- Η χρήση βιομετρικών στοιχείων αναφέρεται στην χρήση τεχνολογιών με σκοπό την αναγνώριση/ταυτοποίηση των ανθρώπων ή άλλων έμβιων οργανισμών. Καθημερινές συσκευές και αντικείμενα μπορούν να αναγνωρίζουν εξουσιοδοτημένα άτομα μέσω του δακτυλικού αποτυπώματος, της φωνητικής αναγνώρισης και της σάρωσης της ίριδας του ματιού.
- Η μηχανική όραση αναφέρεται στη παρακολούθηση αντικειμένων τα οποία δεν έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες, μικροελεγκτές ή τη δυνατότητες διασύνδεσης. Για παράδειγμα, μέσω των αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας μπορούν να αναγνωριστούν αντικείμενα με τη χρήση μιας κάμερας ή να εξαχθούν πληροφορίες για αυτά.

Συμπερασματικά, τα διασυνδεδεμένα αντικείμενα μπορούν να έχουν ένα μεγάλο εύρος δυνατοτήτων, από ένα απλό αναγνωριστικό ή τη δυνατότητα να προσδιορίζουν την τοποθεσία τους, μέχρι να είναι μεγάλο ποσοστό αυτονομίας όπως είναι τα στρατιωτικά οχήματα DARPA που κινούνται χωρίς οδηγό. Γενικά, δεν υπάρχουν ακριβή όρια μεταξύ του τι είναι αναφέρεται στο IoT και τι είναι απλά μία τεχνολογία του διαδικτύου. Έτσι όπως το διαδίκτυο δεν βάζει όρια και συνδέει τις συσκευές, τους ανθρώπους, των οργανισμούς και τα έθνη, έτσι και το IoT αφαιρεί τον διαχωρισμό μεταξύ της πληροφορικής και των φυσικών αντικειμένων.

2.6.2 Το IoT σε θέματα ενέργειας



Εικόνα 2-12 Ενεργειακές συσκευές στο IoT

Το IoT εμπορευματοποιείται από διάφορες εταιρίες και υιοθετείται σε διάφορες εφαρμογές σχετικές με την ενέργεια, οι οποίες βοηθούν στην ανάπτυξη του.

Μία χαρακτηριστική εφαρμογή είναι αυτή της “έξυπνης δόμησης” ή αλλιώς της “πράσινης δόμησης”. Το IoT θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για την αύξηση της άνεσης, της ευκολίας, της ασφάλειας και της μείωσης του κόστους κατανάλωσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ήδη, η επιστήμη της πληροφορικής συμμετέχει ώστε να προσφέρονται λειτουργίες που αφορούν οικιακά, επαγγελματικά, βιομηχανικά και δημόσια κτήρια, όπως τα συστήματα συναγερμού, η έλεγχος πρόσβασης, ο εσωτερικός κλιματισμός, οι ανελκυστήρες κ.α. Σε συνέχεια αυτών των εφαρμογών αναμένεται η διάδοση της πληροφορικής και σε τομείς όπως ο φωτισμός, οι συσκευές και τα έπιπλα, ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί η απομακρυσμένη πρόσβαση στους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές τους από Η/Υ και κινητά τηλέφωνα.

Μία άλλη εφαρμογή είναι οι *ηλεκτρονικές πινακίδες και οι δείκτες* οι οποίοι βρίσκονται όλο και περισσότερο συνδεδεμένοι σε δίκτυα ώστε να μπορεί το μήνυμα που εκπέμπουν να αλλάζει εξ αποστάσεως. Πέρα από τις δικτυωμένες πινακίδες διαφημίσεων, υπάρχουν και οι λεγόμενες “οθόνες του περιβάλλοντος” (ambient displays) όπου υποδεικνύουν πληροφορίες όπως ο καιρός, η κίνηση, της συνθήκες της χρηματιστηριακής αγοράς κ.α. Επίσης, αναπτύσσονται τρόποι για την παρουσίαση των δεδομένων της ενεργειακής κατανάλωσης και της τιμής

πώλησης σε οικιακούς και εταιρικούς χρήστες που συλλέγονται από τους μετρητές του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας και από το διαδίκτυο.

Οι *τεχνολογίες συγκομιδής ενέργειας*, επίσης, έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν ένα μικρό αλλά χρήσιμο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας από το περιβάλλον. Σήμερα οι τεχνολογίες εστιάζουν στην απορρόφηση ενέργειας από τυχαίες μεταβολές της θερμοκρασίας, ήχους ή δονήσεις του περιβάλλοντος, και ραδιοκύματα. Σε αντίθεση με τα παθητικά RFIDs, τα οποία απλά ηχούν όταν φωτίζονται, ένας αισθητήρας με δυνατότητες συγκομιδής ενέργειας μπορεί να τροφοδοτήσει ένα μικροεπεξεργαστή, έναν αισθητήρα, μία διεπαφή δικτύου ή και το σύνολο τους.

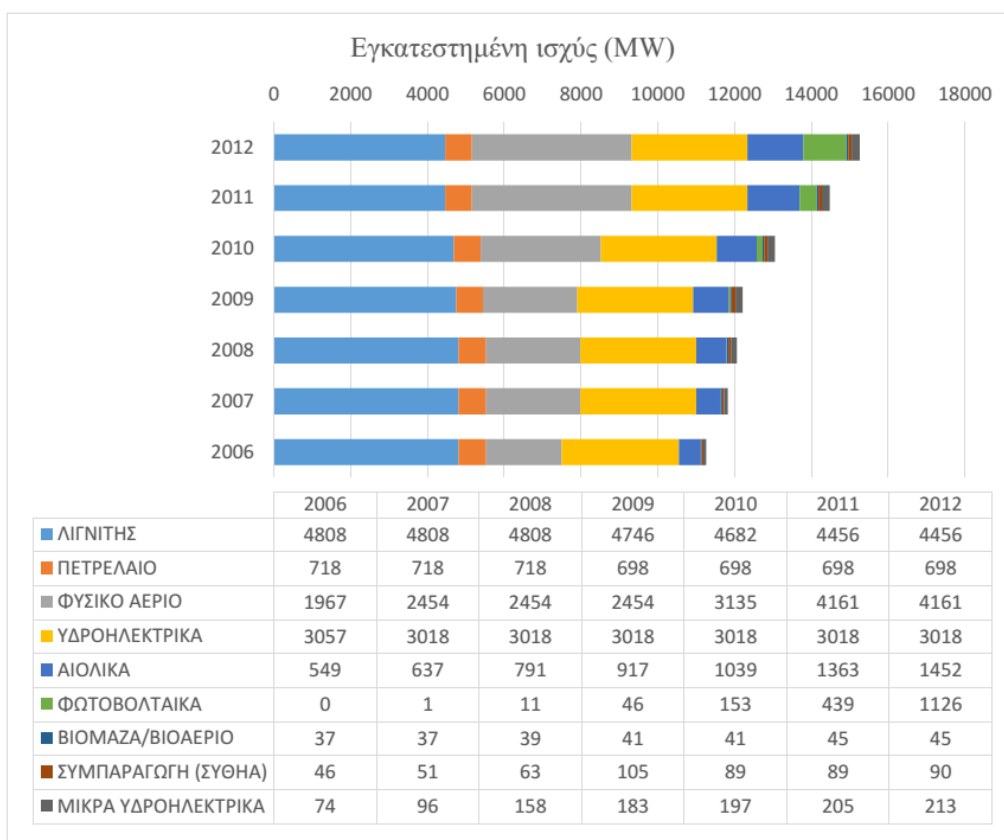
Η αύξηση των ενεργειακών εφαρμογών που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο θα αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη του IoT. Οι δικτυακοί μετρητές του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας, ο έλεγχος του κλιματισμού εσωτερικών χώρων, τα μπόιλερ νερού και οι αντλίες των πισίнов θα μπορούν να παρέχουν καλύτερους τρόπους για τον έλεγχο του κόστους και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, προσφέροντας παράλληλα την ίδια άνεση που λαμβάνουν οι χρήστες και σήμερα. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα οδηγήσει στην αύξηση της διεσπαρμένης αποθήκευσης και την διανομή ενέργειας, έτσι ώστε αρκετοί οικιακοί χρήστες και μικρές επιχειρήσεις να μπορούν μέσω του διαδικτύου να παρακολουθούν, να μειρούν και να προσφέρουν στην παραγωγή ηλεκτρισμού. (SRI Consulting Business Intelligence, 2008)

2.7 Το ελληνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και η πορεία εξέλιξης

Το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής αποτελείται από το διασυνδεδεμένο σύστημα παραγωγής της ηπειρωτικής χώρας με τα προς αυτό διασυνδεδεμένα νησιά και τα ανεξάρτητα συστήματα παραγωγής της Κρήτης, της Ρόδου και των υπολοίπων μικρότερων νησιών. Αποτελείται από θερμικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς καθώς επίσης και από ένα ποσοστό μονάδων, οι οποίες χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Το διασυνδεδεμένο σύστημα παραγωγής της ηπειρωτικής χώρας περιλαμβάνει κυρίως λιγνιτικούς σταθμούς, που αποτελούν τη βάση του συστήματος. Επιπλέον, υπάρχουν σταθμοί φυσικού αερίου, πετρελαϊκοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί καθώς και αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα διασπαρμένα σε όλη την επικράτεια της χώρας.

Στο Σχήμα 2.1 απεικονίζεται η εξέλιξη και η διάρθρωση της εγκατεστημένης ισχύος από το 2006 έως το 2012 στο ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα.



Εικόνα 2-13 Εγκατεστημένη Ισχύς στο Ελληνικό Δίκτυο / πηγή

Παρατηρώντας τα γραφήματα της εξέλιξης της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος στην Ελλάδα για το χρονικό διάστημα από το 2006 έως το 2012 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το μεγαλύτερο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος είναι βασισμένο στο λιγνίτη, διότι είναι εγχώριο προϊόν και

βρίσκεται σε αφθονία σε πολλά κοιτάσματα στην ηπειρωτική Ελλάδα. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια, για περιβαλλοντικούς λόγους, μόνο δύο (2) μονάδες έχουν κατασκευαστεί

- Το σταθερό παραγωγικό δυναμικό εγκατεστημένων υδροηλεκτρικών μονάδων, οι οποίες για την κατασκευή τους απαιτούν τεράστιες περιβαλλοντικές παρεμβάσεις για δημιουργία φραγμάτων και υδατικών ταμιευτήρων.
- Τη σταδιακή αύξηση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Φυσικού Αερίου
- Τη μικρή συνεχή αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων αιολικής ενέργειας, τη δυναμική είσοδο των φωτοβολταϊκών τη τελευταία 3-ετία και γενικότερα τη σηματοδότηση της νέας εποχής για τη διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή.

Οι υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής κατέχουν μεγάλο μερίδιο στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ της χώρας. Σε πολλούς μεγάλους αλλά και μικρότερους ποταμούς της χώρας είναι εγκατεστημένοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί με συνολική καθαρή ισχύ 2.967,7MW.

Η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα σημαντική και συνεχώς αυξανόμενη τα τελευταία 10 χρόνια. Επίσης, αναμένεται η αύξηση των επενδύσεων σε Α.Π.Ε. την επόμενη δεκαετία δεδομένου των περιβαλλοντικών δεσμεύσεων της χώρας που απορρέουν από διεθνείς συνθήκες καθώς και του έντονου ενδιαφέροντος για επενδύσεις από ξένους επενδυτές στον τομέα αυτό.

Πιο αναλυτικά, στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς (ΕΔΣΜ), έχει εκδοθεί από τη ΡΑΕ μεγάλος αριθμός αδειών παραγωγής για έργα ΑΠΕ. Οι άδειες αυτές αφορούν αιολικά πάρκα (Α/Π), μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς (ΜΥΗΣ), μονάδες καύσης βιομάζας και βιοαερίου (ΒΙΟ) και φωτοβολταϊκούς σταθμούς (Φ/Β) συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περίπου 9.000MW.

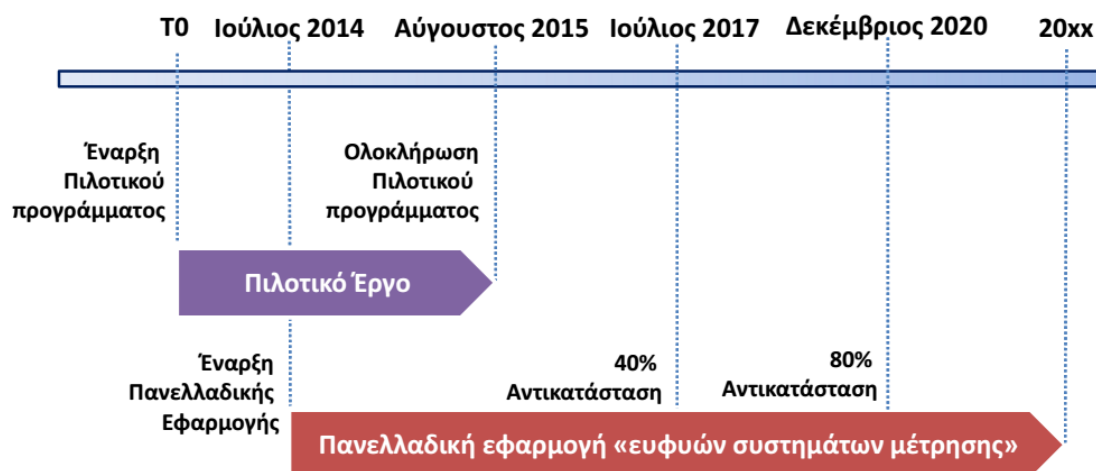
Επίσης, περιλαμβάνονται και σταθμοί συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) ισχύος 105MW. Στο διασυνδεδεμένο σύστημα της χώρας, σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο των Α.Π.Ε. του ΛΑΓΗΕ για τον Δεκέμβριο του 2012, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των Α.Π.Ε. και ΣΗΘΥΑ είναι 2.939,66MW και κατανέμεται ως εξής:

- Αιολικά πάρκα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1.465,82MW.
- Μικροί ΥΗΣ συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 212,93MW.
- Μονάδες βιοαερίου-βιομάζας συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 44,75MW.
- Μονάδες ΣΗΘΥΑ συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 90,07MW.
- Φωτοβολταϊκοί σταθμοί συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1.126,09MW

Να σημειωθεί ότι η συνολική συμβολαιοποιημένη ισχύς που αφορά φωτοβολταϊκούς σταθμούς τον Δεκέμβριο του 2012 είναι 2.978MW. (ΛΑΓΗΕ Α.Ε., 2012)

Τον Ιανουάριο του 2014 παρουσιάστηκε από τον διευθύνον σύμβουλο του ΔΕΔΗΕ το πρόγραμμα ανάπτυξης του ελληνικού δικτύου με την ενσωμάτωση

έξυπνων μετρητών σύμφωνα με τους κανόνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (Ανδρεάδης, 2014) Το χρονοδιάγραμμα της ανάπτυξης ορίζεται ως εξής:



Στο πιλοτικό πρόγραμμα θα εγκατασταθούν 160.000 έξυπνοι μετρητές ενώ σε συνέχεια αυτών αναμένεται η συνολική τοποθέτηση 7 εκατομμυρίων μετρητών στο δίκτυο. Το πιλοτικό πρόγραμμα θα γίνει στους νομούς Ξάνθης, Λευκάδας, Λέσβου, Αττικής και Θεσσαλονίκης με τη χρήση 2 κεντρικών συστημάτων λήψης δεδομένων, 130.000 μονοφασικών και 30.000 τριφασικών μετρητών, τεχνολογιών επικοινωνίας PLC και GPRS/3G/4G, συσκευών μέτρησης σε Υποσταθμούς Διανομής των υπόψιν περιοχών, οικιακών οθονών, web portal και εφαρμογών για την ενημέρωση των χρηστών.

Η μελέτη κόστους για την πανελλαδική εγκατάσταση των 7 εκατομμυρίων μετρητών σε ορίζοντα χρόνου 7 ετών δείχνει ότι είναι πιθανό να υπερβεί τα 800 εκατ. ευρώ, το οποίο όμως θα επιφέρει αποπληρωμή σε περίοδο 6 ετών σε εθνικό επίπεδο λόγω της ωφέλειας χρήσης.

Σε λειτουργία υπάρχουν ήδη μικρά πιλοτικά έργα όπου μεταφέρουν τις μετρήσεις μέσω PLC καθώς και πιλοτικές εφαρμογές Έξυπνων Ηλεκτρικών Δικτύων, όπως αυτές στη Λάρισα (Siemens), στο Λαύριο (ΕΜΠ) και στο Μελέμι.

3 Επεξεργασία Συμβάντων

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία περιγραφή της τεχνολογίας προγραμματισμού βασισμένης σε συμβάντα και θα δοθούν οι ορισμοί των βασικών στοιχείων ενός συστήματος που επεξεργάζεται συμβάντα.

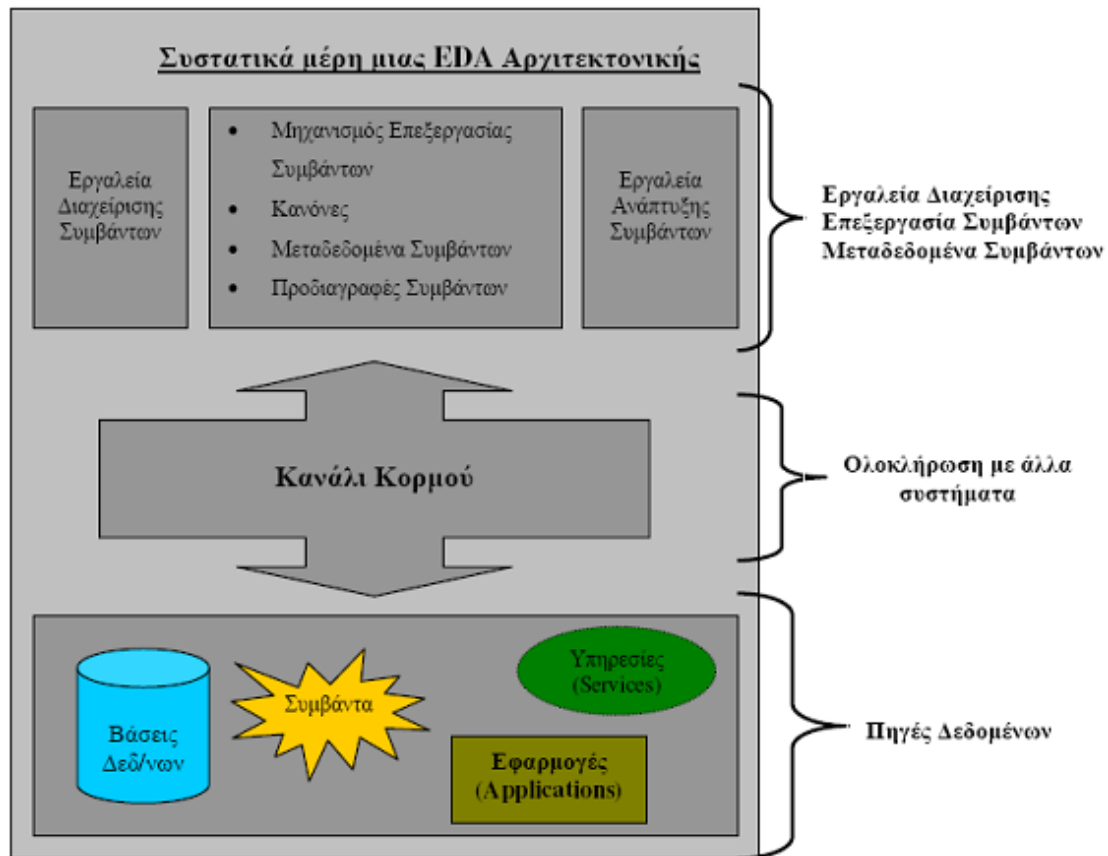
3.1 Αρχιτεκτονική Καθοδηγούμενη από Συμβάντα

Η αρχιτεκτονική καθοδηγούμενη από συμβάντα (EDA) αποτελεί μια αρχιτεκτονική συστημάτων επικεντρωμένη σε ασύγχρονες push-based επικοινωνίες. Το πλεονέκτημα της σε σχέση με άλλες αρχιτεκτονικές είναι η άμεση αντίδραση των συστημάτων αυτών σε ερεθίσματα του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε κρίσιμες επιχειρησιακές διαδικασίες οι οποίες απαιτούν τον λιγότερο δυνατό χρόνο διεκπεραίωσης. Οι διαδικασίες που είναι σχεδιασμένες με βάση την EDA είναι πιο εύκολο να παραμετροποιηθούν και να τροποποιηθούν σε σχέση με τις παραδοσιακές αρχιτεκτονικές.

Η επεξεργασία σύνθετων συμβάντων (CEP) αποτελεί εξελιγμένη μορφή της EDA. Σκοπός της είναι η εξαγωγή γνώσης από πολλαπλά γεγονότα. Η μετατροπή της πληροφορίας σε γνώση επιτυγχάνεται μέσω διαδικασίας αντιστοίχισης προτύπων (pattern matching). Τα συμβάντα, όταν αναγνωρισθούν ως πρότυπο κάποιου συγκεκριμένου γεγονότος ενεργοποιούν κάποιο μηχανισμό ή διαδικασία η οποία είναι υπεύθυνη για την προώθηση αυτού του γεγονότος στους κατάλληλους αποδέκτες. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ταχύτερες και αποτελεσματικότερες αποφάσεις και οι μικρότεροι χρόνοι απόκρισης.

3.2 Σχηματική αναπαράσταση της EDA Αρχιτεκτονικής

Στο σχήμα που ακολουθεί, *Εικόνα 3-1*, προβάλλονται τα τμήματα από τα οποία αποτελείται μια αρχιτεκτονική καθοδηγούμενη από τα γεγονότα.



Εικόνα 3-1 Σχεδίαση EDA

Μπορούμε να διαχωρίσουμε τα συστατικά μέρη σε πέντε βασικές κατηγορίες (Michelson, 2006):

1. ΜΕΤΑΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ

Μια καλή αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται από μια αυστηρή αρχιτεκτονική όσον αφορά στα Μεταδεδομένα. Τα μεταδεδομένα αυτά περιλαμβάνουν τις προδιαγραφές των γεγονότων και τους κανόνες επεξεργασίας των γεγονότων. Οι προδιαγραφές αυτές πρέπει να είναι διαθέσιμες στις γεννήτριες γεγονότων, στους event format transformers, στους μηχανισμούς επεξεργασίας γεγονότων και στους subscribers. Αυτή τη στιγμή δυστυχώς δεν έχει αναπτυχθεί κάποιο πρότυπο για τον ορισμό ενός γεγονότος καθώς επίσης και για τη σημειολογία της διαδικασίας επεξεργασίας, αλλά είναι κάτι που θα συμβεί στο προσεχές μέλλον.

2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ

Ο πυρήνας της διαδικασίας επεξεργασίας γεγονότων είναι ο μηχανισμός κανόνων και τα συμβάντα που έχουν καταχωρηθεί. Τα συμβάντα που είναι αποθηκευμένα είναι συνήθως συνεχή και διατηρούνται για έλεγχο και ανάλυση τάσεων.

3. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Τα εργαλεία ανάπτυξης για την επεξεργασία των γεγονότων είναι απαραίτητα για τον καθορισμό των προδιαγραφών των συμβάντων, των κανόνων επεξεργασίας και τον έλεγχο των συστημάτων που παραλαμβάνουν τα συμβάντα. Τα εργαλεία

διαχείρισης γεγονότων παρέχουν δυνατότητες διαχείρισης και ελέγχου της υποδομής επεξεργασίας γεγονότων, την παρακολούθηση των event flows, και την θέαση στην παραγωγή συμβάντων και στα στατιστικά επεξεργασίας.

4. ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΜΕ ΑΛΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η διασύνδεση των υποσυστημάτων της αρχιτεκτονικής υλοποιείται μέσω ενός βασικού καναλιού (backbone) ή καναλιού κορμού εάν χρησιμοποιήσουμε ορολογία δικτύων. Το κανάλι αυτό πρέπει να υποστηρίζει την προεργασία των συμβάντων (φίλτρα, δρομολογήσεις), την κλήση υπηρεσιών, την κλήση επιχειρησιακών διαδικασιών και την πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων και άλλες πηγές πληροφοριών της επιχείρησης.

5. ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Αποτελούν τους πόρους της επιχείρησης και περιλαμβάνουν τις εφαρμογές, τις επιχειρησιακές διαδικασίες, τις αποθήκες δεδομένων και τους μηχανισμούς παραγωγής και επεξεργασίας των λειτουργιών καθοδηγούμενων από συμβάντα. Η τοπολογία όλων αυτών των υποσυστημάτων διαφέρουν από επιχείρηση σε επιχείρηση ανάλογα με τη ροή των συμβάντων , το βασικό κανάλι (κορμό), τον όγκο των δεδομένων, τις υπηρεσίες που υποστηρίζει.

3.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά της EDA

Για να μπορεί μια αρχιτεκτονική να χαρακτηριστεί ως καθοδηγούμενη από συμβάντα (EDA) θα πρέπει να πληροί τις εξής προϋποθέσεις:

1. ΤΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΠΡΟΩΘΟΥΝΤΑΙ (PUSHED) ΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥΣ ΠΑΡΑΛΗΠΤΕΣ

Τα συμβάντα αποστέλλονται από την γεννήτρια συμβάντων στο κατάλληλο υποσύστημα που θα αναλάβει την επεξεργασία του μέσω κάποιου ασύγχρονου σήματος ή μηνύματος. Η επικοινωνία δε γίνεται μέσω polling σε καθορισμένες χρονικές στιγμές αλλά από τη στιγμή που ανιχνεύεται ένα συμβάν μεταδίδεται απευθείας στους κατάλληλους επεξεργαστές συμβάντων.

2. ΑΣΥΓΧΡΟΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Η επεξεργασία των συμβάντων γίνεται κατά την άφιξή τους. Σε κάθε στάδιο της διαδικασίας εκτελείται άμεσα η επεξεργασία του συμβάντος. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν υπάρχουν ούτε χρονικά καθορισμένες στιγμές που πραγματοποιείται η επεξεργασία ούτε μηχανισμοί μαζικής εκτέλεσης συγκεκριμένων ενεργειών. Ικανοποιείται με αυτή την έννοια η ασύγχρονη λειτουργία όλων των υποσυστημάτων που συνθέτουν την EDA αρχιτεκτονική.

3. ΤΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΔΕΝ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

Το ίδιο το συμβάν δεν πρέπει να προκαθορίζει τις ενέργειες που πρέπει να εκτελεστούν. Το υποσύστημα που παραλαμβάνει το συμβάν καθορίζει τις ενέργειες που πρέπει να εκτελεστούν. Στην αντίθετη περίπτωση θα μειωνόταν η χαλαρή σύνδεση μεταξύ της γεννήτριας συμβάντων και των ενεργοποιητών. Η γεννήτρια συμβάντων ανιχνεύει και ενημερώνει για την ύπαρξη ενός συμβάντος. Η λογική, η συνθήκη ή συνθήκες, που πρέπει να ικανοποιηθούν είναι ενσωματωμένη στον επεξεργαστή συμβάντων. Αυτή η δυνατότητα διαχωρισμού λογικής από το ίδιο το συμβάν καθιστά την αρχιτεκτονική αυτή ευέλικτη αφού επιτρέπει την εισαγωγή ή αλλαγή ενεργοποιητών χωρίς της αλλαγή της γεννήτριας συμβάντων.

3.3 Συστατικά στοιχεία της EDA

3.3.1 Συμβάντα

Η πρωταρχική έννοια που πρέπει να αναλυθεί είναι αυτή του συμβάντος. Στο λεξικό, ως συμβάν ορίζεται κάτι το οποίο γίνεται ή θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα. Στην επεξεργασία συμβάντων (event processing) η έννοια του συμβάντος έχει διπλή σημασία. Η πρώτη αφορά στα περιστατικά του πραγματικού κόσμου, ενώ η δεύτερη στις αναπαραστάσεις αυτών των περιστατικών. Δηλαδή ένα περιστατικό είναι κάτι που συμβαίνει και ταυτόχρονα αυτό το περιστατικό αναπαρίσταται σε κάποια μορφή την οποία μπορούμε να επεξεργαστούμε. Αυτή η αναπαράσταση χαρακτηρίζεται σαν συμβάν, το οποίο γίνεται αντιληπτό όταν η κατάσταση του υπό εξέταση συστήματος μεταβάλλεται από μία κατάσταση η οποία έχει χαρακτηριστεί ως σταθερή.

Συνήθως αναφέρονται δύο τύποι συμβάντων. Τα «απλά συμβάντα» (simple events) και τα «σύνθετα συμβάντα» (complex events). Ένα απλό συμβάν είναι ένα μοναδικό συμβάν το οποίο δεν αναπαριστά άλλα συμβάντα και ούτε αποτελείται ή είναι αποτέλεσμα σύνθεσης άλλων. Ένα σύνθετο συμβάν αποτελεί είτε αφαίρεση είτε άθροισμα άλλων συμβάντων, σύνθετων ή απλών.

Παραδείγματα συμβάντων θα μπορούσαν να είναι:

- Μια εντολή παραγγελίας (καταγραφή όλης της δραστηριότητας για την παραγγελία)
- Ένα απλό ηλεκτρονικό μήνυμα επιβεβαίωσης
- Ένα μήνυμα το οποίο να καταγράφει τις ενδείξεις ενός RFID αισθητήρα
- Ένα μήνυμα που να αναφέρει τη δραστηριότητα μιας μετοχής

Υπάρχει στη βιβλιογραφία μια σειρά ονομάτων που αναφέρονται στην επεξεργασία συμβάντων. Μερικά από αυτά είναι η επεξεργασία σύνθετων συμβάντων (complex event processing), η επεξεργασία ροής συμβάντων (event stream processing), η διαχείριση ροής δεδομένων (data stream management) κ.α.

Όσον αφορά την επεξεργασία συμβάντων υπάρχει μια γενικώς αποδεκτή κατηγοριοποίηση σε τρεις τύπους: απλή, ροής και σύνθετης. Στην αρχιτεκτονική καθοδηγούμενη από συμβάντα (Event – driven Architecture) που θα αναλυθεί σε επόμενες παραγράφους αναλύονται και οι τρεις τύποι επεξεργασίας.

Στη δομή του κάθε συμβάν αποτελείται από δύο μέρη, την κεφαλή (header) και το σώμα (body). Η κεφαλή περιέχει πληροφορίες όπως το όνομα του συμβάντος, το χρονικό προσδιορισμό του και τον τύπο του. Το σώμα του συμβάντος είναι το κομμάτι αυτό το οποίο περιγράφει το ίδιο το συμβάν. Δεν θα πρέπει να συγχέουμε το σώμα του συμβάντος με το πρότυπο ή τη λογική η οποία μπορεί να εφαρμοστεί ως αντίδραση σε αυτό καθαυτό το συμβάν.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί η έννοια των γεγονότων (facts) τα οποία διαφέρουν από τα συμβάντα (events). Σε ένα διάγραμμα καταστάσεων τα συμβάντα είναι οι μεταβάσεις και τα γεγονότα οι καταστάσεις. Τα γεγονότα έχουν θεωρητικά άπειρη διάρκεια ζωής. Διαγράφονται μόνο όταν ρητά αφαιρεθούν. Τα συμβάντα (events) από την άλλη έχουν συγκεκριμένο χρόνο ζωής τον οποίο καθορίζουν τα υποσυστήματα τα οποία τα παραλαμβάνουν προκειμένου να τα επεξεργαστούν και στη συνέχεια αυτομάτως αφαιρούνται.

3.3.2 Γεννήτριες συμβάντων

Η γεννήτρια συμβάντων (event generator) ανιχνεύει ένα συμβάν και το αναπαριστά. Για παράδειγμα μια γεννήτρια συμβάντων μπορεί να είναι ένας αισθητήρας. Η μετατροπή των διαφορετικών δεδομένων από ένα σύνολο αισθητήρων σε μια μορφή στην οποία να μπορεί να γίνει επεξεργασία από ένα υπολογιστικό σύστημα αποτελεί το αντικείμενο σχεδίασης και υλοποίησης αυτού του πρώτου σταδίου. Οι αισθητήρες αποτελούν συστήματα καταγραφής δεδομένων από το εξωτερικό περιβάλλον και από το εσωτερικό της επιχείρησης. Τα δεδομένα αυτά αναλύονται προκειμένου να ανιχνευθούν πρότυπα τα οποία μπορούν να ορισθούν ως συμβάντα. Υπάρχουν 2 τρόποι απόκτησης δεδομένων, είτε μέσω διαδικασίας προώθησης (push) των δεδομένων σε αυτά τα συστήματα, είτε τα συστήματα να «ανασύρουν» (pull) δεδομένα μέσω polling. Για παράδειγμα οι διακυμάνσεις μιας μετοχής μπορεί να τροφοδοτούν το σύστημα, χωρίς να απαιτείται από αυτό να αιτείται στοιχεία κάθε φορά που αλλάζει η τιμή μιας μετοχής. Η άλλη περίπτωση είναι σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα να αιτούνται τα συστήματα την αποστολή δεδομένων. Στις EDA αρχιτεκτονικές προτείνεται η πρώτη μέθοδος διότι η αρχιτεκτονική υποστηρίζει ασύγχρονη επικοινωνία επιτυγχάνοντας στιγμιαίους χρόνους απόκρισης.

3.3.3 Κανάλια και ροές συμβάντων

Το κανάλι συμβάντων (event channel) αποτελεί το μηχανισμό μεταφοράς της πληροφορίας από τη γεννήτρια συμβάντων στον επεξεργαστή συμβάντων. Ο μηχανισμός αυτός θα μπορούσε να είναι μια TCP/IP σύνδεση ή ένα αρχείο XML. Πολλά κανάλια συμβάντων μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα. Επειδή η

επεξεργασία των συμβάντων σε μια EDA αρχιτεκτονική είναι ασύγχρονη και εκτελείται σε πραγματικό χρόνο, το κανάλι συμβάντων λειτουργεί ασύγχρονα. Συνήθως τα συμβάντα καταλήγουν σε μια ουρά αναμονής μέχρι να προχωρήσουν στο στάδιο της επεξεργασίας. Συνήθως οι επικοινωνίες στην EDA αρχιτεκτονική αναπαρίστανται ως ένας κεντρικός δίαυλος μέσω του οποίου διοχετεύεται το σύνολο της πληροφορίας που διακινείται ή ως το επίπεδο επικοινωνίας σε μια αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής σε διάφορα επίπεδα. Επειδή ο όγκος της πληροφορίας από τους αισθητήρες, βάσεις δεδομένων είναι μεγάλος και περιέχει θόρυβο η τοπολογία των υποσυστημάτων και η κωρητικότητα του δίαυλου είναι κρίσιμα χαρακτηριστικά για τη συνολική απόδοση του συστήματος.

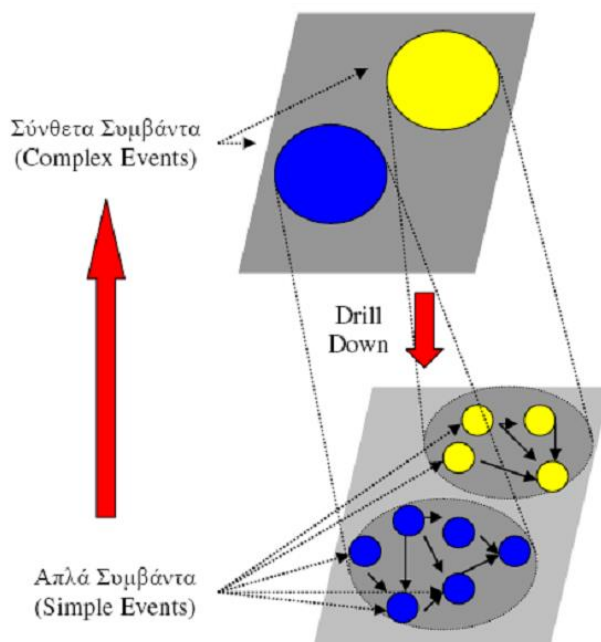
3.3.4 Επεξεργαστές συμβάντων

Η μηχανή επεξεργασίας συμβάντων (event processing engine) αναλαμβάνει να καθορίσει τις απαιτούμενες ενέργειες που πρέπει να ενεργοποιηθούν και να εκτελεστούν ως αποτέλεσμα αντίδρασης στην ανίχνευση του συμβάντος. Είναι το κύριο εργαλείο σε μία αρχιτεκτονική καθοδηγούμενη από συμβάντα. Σκοπός αυτού του υποσυστήματος είναι η συγκέντρωση πληροφοριών από πολλούς αισθητήρες και η ολοκλήρωση αυτών των πληροφοριών με δεδομένα και άλλων συστημάτων όπως βάσεις δεδομένων, αποθήκες δεδομένων. Στη συνέχεια από τον όγκο όλων αυτών των πληροφοριών ανιχνεύονται πρότυπα τα οποία «πυροδοτούν» τις κατάλληλες ενέργειες. Υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες οι επεξεργαστές συμβάντων μπορεί να αιτηθούν επιπλέον πληροφοριών από τους αισθητήρες δημιουργώντας έτσι ένα κλειστό κύκλωμα ανατροφοδότησης μεταξύ των δύο υποσυστημάτων.

3.3.5 Παραλήπτες συμβάντων

Στο τελικό στάδιο, η επεξεργασία των συμβάντων καταλήγει στην εκκίνηση μιας ή περισσότερων ενεργειών από τους παραλήπτες του συμβάντος. Οι παραλήπτες μπορεί να είναι υπολογιστικά συστήματα, βάσεις δεδομένων, αποθήκες δεδομένων, ευφυείς πράκτορες κ.α.. Το συμβάν μπορεί να προωθηθεί στους ενεργοποιητές των διαδικασιών συνήθως μέσω του καναλιού επικοινωνίας το οποίο αναλαμβάνει και την μετατροπή του συμβάντος από το πρότυπο στο οποίο επεξεργάστηκε στο πρότυπο επεξεργασίας του συστήματος-παραλήπτη. Μια τυπική ενέργεια είναι η εκκίνηση μιας επιχειρησιακής διαδικασίας. Άλλα παραδείγματα ενεργειών θα μπορούσαν να είναι η αποστολή ενός email, η ενεργοποίηση κάποιου συναγερμού και η ενημέρωση μιας εγγραφής μιας βάσης δεδομένων. Υπάρχει η πιθανότητα η εκτέλεση μιας διαδικασίας να αποτελέσει την αιτία για εκτέλεση μιας σειράς και άλλων διαδικασιών.

3.4 Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων



Εικόνα 3-2 Δημιουργία σύνθετων συμβάντων από απλά

Η Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων (CEP – Complex Event Processing), αποτελεί την πιο εξελιγμένη μορφή επεξεργασίας συμβάντων που σαν σκοπό έχει την εξαγωγή γνώσης από πολλαπλά δεδομένα το οποίο προέρχονται από διαφορετικές πηγές. Συγκεκριμένα η CEP μπορεί να εφαρμοστεί στην ανάλυση και εξόρυξη δεδομένων από οποιοδήποτε διεσπαρμένο σύστημα παραγωγής και ανταλλαγής μηνυμάτων το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από χαμηλού επιπέδου διαχείριση δικτύων μέχρι υψηλού επιπέδου εφαρμογές επιχειρησιακής ευφυΐας. Τα σύνθετα συμβάντα αποτελούν άθροισμα συσχετιζόμενων απλών συμβάντων. Μέσω μιας διαδικασίας drill down μπορούν να προσδιοριστούν τα συστατικά μέρη ενός σύνθετου συμβάντος όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί (Luckham, 2005):

Η όλη ιδέα της CEP βασίζεται στα πρότυπα συμβάντων (event patterns) και στην αντιστοίχιση προτύπων (pattern matching). Η CEP βασίζεται σε τεχνολογίες αναγνώρισης σύνθετων προτύπων από ένα νέφος δεδομένων, αναγνωρίζει συσχετισμούς και ιεραρχίες συμβάντων, εξαρτήσεις και σχέσεις μεταξύ συμβάντων όπως αιτιότητα, συμμετοχή, χρονισμός (σε ροές συμβάντων). Σήμερα αποτελεί μια ιδέα που συνεχώς εξελίσσεται και διευρύνεται το πεδίο εφαρμογών της και η οποία οφείλεται στον Dr David Luckham του Πανεπιστημίου του Stanford (Luckham, 2002).

Η CEP εφαρμόζεται στην διαχείριση επιχειρησιακών διαδικασιών (BPM), στη διαχείριση ρίσκου, στην ανάπτυξη πολιτικών ασφαλείας δικτύων και στην ανίχνευση κινδύνων στο τραπεζικό και ασφαλιστικό τομέα. Μια πολύ σημαντική εφαρμογή της CEP είναι στην παρακολούθηση της επιχειρησιακής δραστηριότητας (BAM – Business Activity Monitoring) των υπολογιστικών πόρων μιας επιχείρησης. Η επεξεργασία των συμβάντων που παράγονται από το σύνολο των υποσυστημάτων μιας επιχείρησης μπορεί να ανιχνεύσει έγκαιρα

οποιαδήποτε δυσλειτουργία η οποία μπορεί να θέσει σε κίνδυνο πληροφορίες ή κρίσιμες λειτουργίες της επιχείρησης.

Η CEP υλοποιείται βάσει της EDA αρχιτεκτονικής η οποία ανιχνεύει, επεξεργάζεται και αντιδρά στα συμβάντα. Ο συνδυασμός CEP με EDA προσφέρει ταχύτερες και αποτελεσματικότερες επιχειρησιακές αποφάσεις και καλύτερους χρόνοι απόκρισης. Η κεντρική ιδέα των Επεξεργασίας Σύνθετων Συμβάντων βασίζεται στην ανίχνευση και αντιστοίχιση προτύπων. Ακολουθεί ανάλυση μερικών βασικών εννοιών.

3.4.1 Πρότυπα Σύνθετων Συμβάντων

Τα Πρότυπα Σύνθετων Συμβάντων δημιουργούνται από ένα σύνολο απλών συμβάντων τα οποία παράγονται από διαφορετικές διαδικασίες και υπολογιστικά συστήματα μιας επιχείρησης. Τα συμβάντα αυτά δημιουργούνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, από διαφορετικά υποσυστήματα τα οποία σχετίζονται με άλλα συμβάντα που μπορεί να μην σχετίζονται άμεσα ή εννοιολογικά με την αυτή καθαυτή αντιστοίχιση στο πρότυπο του συμβάντος. Τα συμβάντα τα οποία προκαλούν την δημιουργία ενός σύνθετου συμβάντος είναι καθ'όλη τη διάρκεια ζωής του σύνθετου συμβάντος συσχετιζόμενα με αυτό. Και αυτό γιατί παρέχουν όλες τις πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την επεξεργασία και εκτέλεση των λειτουργιών που εκκινούνται από την ανίχνευση του συμβάντος. Οι πληροφορίες αυτές μεταφέρονται με τη μορφή παραμέτρων.

Τα πρότυπα CEP αποτελούν ιδανικές λύσεις για την υλοποίηση λύσεων σε προβλήματα τα οποία έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά και εμφανίζονται συχνά. Τα πλεονεκτήματα των προτύπων αυτών είναι ότι είναι προκαθορισμένα, επαναχρησιμοποιήσιμα και η δυνατότητά τους να παραμετροποιούνται δυναμικά επιτρέπει την χρήση μιας λύσης ως βάση για την υλοποίηση άλλων CEP λύσεων.

3.4.2 Τύποι Προτύπων Σύνθετων Συμβάντων

Έχουν προταθεί από τον Barros (Barros, et al., 2007), οι απαιτήσεις για την επεξεργασία σύνθετων συμβάντων σε επιχειρησιακές διαδικασίες και η καθιέρωση ενός πλαισίου αναφοράς για την αξιολόγηση συστημάτων και προτύπων. Παρά το γεγονός ότι η συγκεκριμένη εργασία αφορά μόνο σε ένα τμήμα εφαρμογής της CEP, στην επεξεργασία επιχειρησιακών διαδικασιών, η αποτύπωση και κατηγοριοποίηση των προτύπων βάσει των συγκεκριμένων αναγκών που καλούνται να ικανοποιήσουν αποτελεί μια καλή προσέγγιση την αντιμετώπιση γενικότερων προβλημάτων:

1. ΣΥΝ-ΕΜΦΑΝΙΖΟΜΕΝΑ ΠΡΟΤΥΠΑ (CO-OCCURRENCE PATTERNS)

Αυτό ο τύπος προτύπου περιγράφει περιπτώσεις χρήσης που πρέπει να ληφθούν υπόψη μια πλειάδα γεγονότων προκειμένου να αποφασισθεί εάν υπάρχει ή όχι ταυτοποίηση με το πρότυπο. Στη περίπτωση αυτή θα πρέπει να

ανιχνευθούν δύο ή περισσότερα συμβάντα προκειμένου να γίνει αντιστοίχιση. Μια διαφορετική περίπτωση θα ήταν η αντιστοίχιση να επιτυγχάνεται όταν απουσιάζει κάποιο συγκεκριμένο συμβάν.

2. ΧΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΑ ΠΡΟΤΥΠΑ (TIME RELATION PATTERNS)

Τα πρότυπα αυτά αφορούν περιορισμούς σχετικούς με το χρόνο. Παράδειγμα τέτοιων προτύπων είναι όταν δύο συμβάντα πραγματοποιούνται εντός ή εκτός ενός καθορισμένου χρονικού πλαισίου. Επίσης όταν συμβαίνουν μετά ή πριν από ένα καθορισμένο χρονικό σημείο ή όταν πραγματοποιούνται σε μια συγκεκριμένη χρονική σειρά.

3. ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΥ ΕΞΑΡΤΩΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (DATA DEPENDENCY PATTERNS)

Τα συμβάντα σε αυτή την περίπτωση εμπεριέχουν δεδομένα στα οποία διακρίνουμε σχέσεις αλληλεξάρτησης. Δηλαδή δύο συμβάντα μπορεί να αντιστοιχίζονται όταν τα δεδομένα τους σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Μπορεί επίσης τα δεδομένα ενός συμβάντος να αντιστοιχίζονται με τα δεδομένα ενός στιγμιότυπου μιας επιχειρησιακής διαδικασίας.

3.4.3 Αντιστοίχιση Προτύπων Συμβάντων (Event Pattern Matching)

Στην CEP η διαδικασία αντιστοίχισης προτύπου αφορά την αναγνώριση μέσα σε ένα νέφος συμβάντων αυτά τα πρότυπα τα οποία είναι σημαντικά για την επιχειρησιακή λειτουργία της επιχείρησης. Τα περισσότερα συστήματα επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων για την αντιστοίχιση προτύπου υποστηρίζουν:

- Την λογική και χρονική συσχέτιση των συμβάντων
- Τον κύκλο ζωής ενός συμβάντος (από τη στιγμή της ανίχνευσης μέχρι τη στιγμή που θα «αναλωθεί») ελέγχεται μέσω χρονικών τελεστών
- Την προώθηση των συμβάντων που ανάγονται σε πρότυπα στους κατάλληλους αποδέκτες

Μερικοί από τους πιο γνωστούς αλγόριθμους αντιστοίχισης προτύπου είναι οι εξής:

- Linear
- Rete
- Treat
- Leaps (Τσικερδής, 2012)

3.5 Η μηχανή Επεξεργασίας Σύνθετων Συμβάντων Esper



Εικόνα 3-3 Λογότυπο Esper

Το Esper είναι ένα στοιχείο για την επεξεργασία σύνθετων συμβάντων (CEP) και την ανάλυση ροών συμβάντων, διαθέσιμο για τη γλώσσα προγραμματισμού Java με το όνομα Esper και για το προγραμματιστικό περιβάλλον .NET με το όνομα NEsper.

Επιτρέπει την ραγδαία ανάπτυξη εφαρμογών που επεξεργάζονται μεγάλο πλήθος εισερχόμενων μηνυμάτων ή συμβάντων, ανεξάρτητα από το αν αυτά είναι ιστορικά δεδομένα ή μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο. Φιλτράρει και αναλύει τα συμβάντα με ποικίλους τρόπους και ανταποκρίνεται σε συνθήκες που μας ενδιαφέρουν.

Με τη χρήση της Γλώσσας Επεξεργασίας Συμβάντων (Event Processing Language) αποτελεί μία μηχανή επεξεργασίας ιστορικών δεδομένων ή δεδομένων που εισέρχονται με μέτρια ως μεγάλη ταχύτητα και μεγάλη ποικιλία με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Υψηλή προσαρμοστικότητα στο επεξεργαστικό περιβάλλον
- Αποδοτική χρήση της μνήμης
- Λειτουργία αποκλειστικά στην μνήμη
- Χρήση γλώσσας βασισμένης στην SQL
- Ελαχιστοποίηση του λανθάνοντα χρόνου, δυνατότητα διαχείρισης ροής σε πραγματικό χρόνο

3.5.1 Δυνατότητες του Esper

Παρακάτω θα αναφερθούν βασικές δυνατότητες του Esper που οδήγησαν στην χρήση του για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

Στην Επεξεργασία Ροής Δεδομένων

- Παράθυρα που ολισθαίνουν βάση: χρόνου, σταθερού μήκους, ταξινόμησης, βαθμολόγησης, συσσώρευσης, χρονικής σειράς, εξωτερικής χρονολόγησης, ομαδοποίησης βασισμένης σε εκφράσεις τερματισμού.
- Παράθυρα που αλληλοκαλύπτονται βάση: χρόνου, σταθερού μήκους, πολλαπλών κανόνων, εμφάνιση συμβάντος έναρξης, ομαδοποίησης βασισμένης σε εκφράσεις τερματισμού.

- Δυναμική συρρίκνωση και επέκταση των παραθύρων. Παράθυρα εξαρτούμενα από εκφράσεις τερματισμού.
- Ομαδοποίηση, άθροιση, ταξινόμηση, φιλτράρισμα, ένωση, χωρισμός και διπλασιασμός ροών συμβάντων
- Χρήση γλώσσας βασισμένη σε SQL
- Απόδοση ονομασίας στα παράθυρα
- Μέθοδοι μέτρησης, μέθοδοι ημερομηνίας-χρόνου, μαθηματικές εκφράσεις

Στην Ταυτοποίηση Προτύπων

- Λογική και χρονική συσχέτιση συμβάντων
- Ο χρόνος ζωής του προτύπου καθορίζεται χρονικά ή από συνθήκες
- Τα ταυτοποιημένα συμβάντα προωθούνται στους παραλήπτες

Στην απεικόνιση των Συμβάντων

- Υποστηρίζεται στους τύπους συμβάντων η κληρονομικότητα και ο πολυμορφισμός που παρέχουν οι κλάσεις της Java και του .NET
- Τα συμβάντα μπορεί να είναι Κλάσεις, XML αρχεία και πίνακες αντικειμένων
- Υποστηρίζεται η δυναμική αλλαγή των ιδιοτήτων του κάθε τύπου

Λοιπές δυνατότητες

- Χρήση όλων των δυνατοτήτων που παρέχουν οι γλώσσες Java και .NET
- Χρήση της επικοινωνίας μέσω HTTP
- Εύκολη επικοινωνίας με βάσεις δεδομένων
- Ταυτόχρονη επεξεργασία πολλών εντολών SQL

(EsperTech Inc., 2014)

4 Επεξεργασία Σύνθετων Συμβάντων στον τομέα της ενέργειας

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία παρουσίαση των προσπαθειών που έχουν γίνει για τη χρήση της αρχιτεκτονικής βασισμένης σε συμβάντα σε θέματα που απορούν τα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα και την διαχείριση ενέργειας. Μέσω της διεθνούς βιβλιογραφίας γίνεται αντιληπτό πως η συγκεκριμένη προγραμματιστική τεχνική προσφέρει κάποια χαρακτηριστικά που έχουν ωθήσει αρκετούς ερευνητές ανά τον κόσμο να προτείνουν αρχιτεκτονικές διαχείρισης ενέργειας βασισμένες στην επεξεργασία συμβάντων.

Ένα από τα κύρια σημεία στα οποία η προσέγγιση αυτή υπερισχύει είναι δυνατότητα της επεξεργασίας **τεράστιου όγκου δεδομένων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο** με τη χρήση συστημάτων σχετικά μικρής επεξεργαστικής ισχύος. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό σε ενεργειακές εφαρμογές όπου ο όγκος των χρηστών είναι πολύ μεγάλος και για την επίτευξη χρήσιμων αποτελεσμάτων απαιτείται η επεξεργασία δεδομένων από πολλές πηγές και σε όσο το δυνατόν πιο μικρά χρονικά διαστήματα.

Επιπλέον, η χρήση της επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας με ευκολία, χάρη στη δυνατότητα δημιουργίας πολλών **διεσπαρμένων μηχανών επεξεργασίας συμβάντων** όπου η κάθε μία μπορεί να προσαρμόζει την διαδικασία της αντιστοίχισης προτύπων στις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής που απευθύνεται. Μέσω αυτής της τμηματοποίησης του δικτύου επιτυγχάνεται και η πιο εύκολη διαχείριση του όγκου των δεδομένων αφού παρέχεται η δυνατότητα για ένα πρώτο φιλτράρισμα και αλλά και η προώθηση σύνθετων συμβάντων με μεγαλύτερη εννοιολογική σημασία και μικρότερο όγκο σε περαιτέρω επεξεργαστές συμβάντων.

Το τρίτο χαρακτηριστικό που συνδυάζει μία αρχιτεκτονική βασισμένη σε συμβάντα είναι η δυνατότητα δημιουργίας των κανόνων αντιστοίχισης προτύπων συμβάντων με τρόπο **δυναμικό**. Στον τομέα της ενέργειας η δυνατότητα αυτή έχει πολύ μεγάλη σημασία καθώς τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργεια και οι καταναλωτικές συμπεριφορές μεταβάλλονται συνεχώς με αποτέλεσμα η προσαρμοστικότητα των κανόνων αντιστοίχισης προτύπων συμβάντων να έχει μεγάλη σημασία στη λήψη χρήσιμων και αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Ακόμα, το μεγάλο πλήθος των πηγών και η ετερογένεια της πληροφορίας που χρησιμοποιείται κατά την ταυτοποίηση των προτύπων επιτάσσει την χρήση τεχνολογιών **σημασιολογικού ιστού** ώστε να μπορέσουν να αντληθούν οι πληροφορίες με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Τέτοιες τεχνολογίες μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε μία αρχιτεκτονική καθοδηγούμενη από συμβάντα και με την δυνατότητα της δυναμικής δημιουργία προτύπων ταυτοποίησης συμβάντων να εξαχθούν πολύ χρήσιμα αποτελέσματα. Επιπλέον, ...

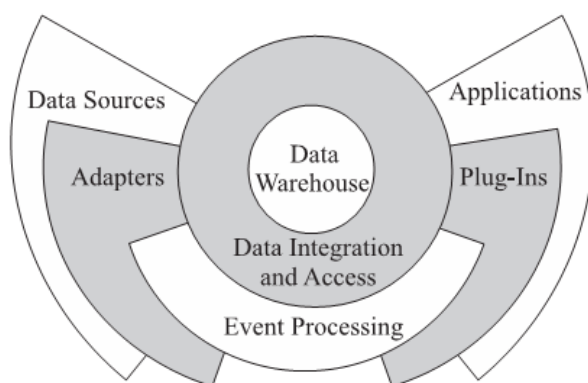
Τα συμπεράσματα αυτά έχουν προκύψει από τις μελέτες που παρουσιάζονται παρακάτω. Σε μία προσπάθεια προβολής της πορείας της χρήσης

της αρχιτεκτονικής βασισμένης σε συμβάντα στον ενεργειακό κλάδο έχει διατηρηθεί χρονολογική σειρά. Ωστόσο, γίνεται ένας διαχωρισμός ανάλογα με το αντικείμενο στο οποίο εστιάζει η κάθε προσέγγιση. Πιο συγκεκριμένα, έχουν χωριστεί σε αυτές που απευθύνονται στην καλύτερη διαχείριση του δικτύου από την μεριά του δημόσιου οργανισμού ηλεκτροδότησης και σε αυτές που απευθύνονται στην καλύτερη διαχείριση της κατανάλωσης από την μεριά του τελικού χρήστη. Μία παρατήρηση στην χρονολογία των δημοσιεύσεων καθιστά σαφές ότι τόσο οι αρχιτεκτονικές βασισμένες σε συμβάντα όσο και η ανάπτυξη των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων είναι τεχνολογίες που αναπτύσσονται για πολύ λίγα χρόνια και οι πρώτες αναφορές για την χρήση της μιας στην άλλη φαίνεται να ξεκίνησαν το 2009 και συνεχίζονται ως σήμερα. Η κοινή αυτή πορεία εξέλιξης έδωσε το έναυσμα για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς θεωρείται πως θα υπάρξει συνεχής εξέλιξη στην ανάπτυξη και των δυο στα επόμενα χρόνια καθώς και μεγαλύτερη εξειδίκευση της μίας στην άλλη.

4.1 Επεξεργασία συμβάντων για την καλύτερη διαχείριση του δικτύου

Στην κατηγορία αυτή εστιάζει το μεγαλύτερο μέρος των ερευνητικών δημοσιεύσεων που χρησιμοποιούν την επεξεργασία συμβάντων ως εργαλείο στα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα.

Ένα πληροφοριακό σύστημα για τα κέντρα ελέγχου των ηλεκτρικών δικτύων υλοποιήθηκε με τη χρήση ανοικτών πρότυπα πληροφορικής όπως το CIM (κοινό μοντέλο πληροφορίας). Ο σχεδιασμός έγινε με σκοπό να προσφέρει στο σύστημα διαλειτουργικότητα, ευελιξία, επεκτασιμότητα, ανεξαρτησία από τους κατασκευαστές και να είναι καθοδηγούμενο από συμβάντα.



Εικόνα 4-1 Αρχιτεκτονική Pradeep, et al.

Το σύστημα υποστηρίζει τόσο την ώθηση (push) όσο και έλξη (pull) των πληροφοριών. Ποικίλοι τύποι δεδομένων και ετικέτες δεδομένων CIM εισέρχονται στο σύστημα. Ένα σύνολο από τέτοιες ετικέτες και προσχεδιασμένοι τύποι συμβάντων χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση. Η ευφυής μηχανή επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων αυτοματοποιημένα κάνει την ταυτοποίηση προτύπων σε πραγματικό χρόνο με χρονικά παράθυρα που κυμαίνονται από

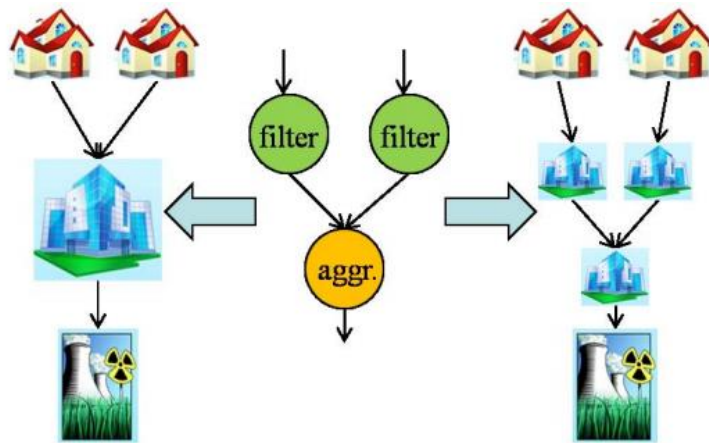
μερικά λεπτά ως αρκετές ώρες. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο να δρα έξυπνα στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον και σε πρωτοεμφανιζόμενους τύπους συμβάντων.

Ένα παράδειγμα χρήσης της αρχιτεκτονικής έχει δοθεί για τον ηλεκτρικό δίκτυο της Ινδίας. Σε αυτό η μηχανή επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων χρησιμοποιείται για να αναγνωρίσει σύνθετα συμβάντα που παρατηρούνται σε περιπτώσεις υπερανάληψης ή υποανάληψης ενέργειας από τους χρήστες του ινδικού ηλεκτρικού δικτύου. Με τον όρο υπερανάληψη εννοούμε ότι ο χρήστης καταναλώνει μεγαλύτερο ποσό ενέργειας από το σύστημα σε σχέση με αυτό που έχει προγραμματιστεί. Με τον όρο υποανάληψη το αντίθετο. Για το παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε η μηχανή Esper. Στο παράδειγμα ως βάση χρόνου ορίστηκε το λεπτό και τα χρονικά παράθυρα παρακολούθησης ορίστηκαν στα 45 λεπτά. Η μηχανή επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων λειτουργεί ως ένα **εργαλείο που υποστηρίζει την λήψη αποφάσεων** στα κέντρα ελέγχου του ηλεκτρικού δικτύου της Ινδίας, τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο. (Pradeep, et al., 2011)

Μία άλλη πληροφοριακή προσέγγιση για την βελτιστοποίηση του Εικονικού Ηλεκτρικού Σταθμού (VPP) χρησιμοποιεί, επίσης, την επεξεργασία σύνθετων συμβάντων. Με τον όρο VPP εννοούμε ένα σύνολο από διεσπαρμένους ηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας που λειτουργούν ως σύνολο υπό την εποπτεία μιας κεντρικής μονάδας ελέγχου. Το σύστημα βασίζεται στη λειτουργία με συμβάντα για την μοντελοποίηση της μεταφερόμενης πληροφορίας και την περιγραφή των αλγορίθμων βελτιστοποίησης. Τα συμπεράσματα δείχνουν ότι η βασισμένη σε συμβάντα προσέγγιση είναι πρωταρχικής σημασίας για την ανάπτυξη ενός συστήματος ελέγχου και **βελτιστοποίηση του Εικονικού Ηλεκτρικού Σταθμού**. (Sučić, et al., 2011)

Επεξεργασία σύνθετων συμβάντων χρησιμοποιήθηκε και για την αξιόπιστη διαχείριση των ενεργειακών συστημάτων σε μία υλοποίηση που εστιάζει στην παραγωγή και την μεταφορά ενέργειας. Το σύστημα προσαρμόζεται στις αλλαγές που παρουσιάζονται στο δίκτυο σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και είναι επεκτάσιμο σε ενδεχόμενη μεγέθυνσή του. Σε μία μελέτη περίπτωσης που παρουσιάστηκε πραγματοποιήθηκε αποτελεσματικά ο **έλεγχος του συντελεστή ισχύος και της διακύμανση της τάσης** στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τα δεδομένα εισέρχονταν από διάφορες πηγές όπως PMUs, βολτόμετρα κ.α. στους επεξεργαστές σύνθετων συμβάντων που βρίσκονταν σε κάθε κόμβο. Σύμφωνα με την έρευνα υπάρχει η δυνατότητα για περαιτέρω ανάπτυξη και χρήση μια τέτοιας προσέγγισης στην δημιουργία πιθανοτικών μοντέλων με μεγάλο ποσοστό ακρίβειας για την ανίχνευση σφαλμάτων. Επίσης, μπορεί να επεκταθεί ο έλεγχος και σε άλλα επίπεδα όπως η διανομή και η κατανάλωση, παρέχοντας για παράδειγμα προσαρμοζόμενα συστήματα αυτόματης διανομής και υπηρεσίες demand-response. (Srinivasagopalan, et al., 2012)

Τέλος, σε συνεργασία με το εργαστήριο της IBM στην Boblingen αναπτύχθηκε ένα ετερογενές διεσπαρμένο σύστημα επεξεργασίας συμβάντων με σκοπό να αντιμετωπίζει κάποια βασικά προβλήματα που αποτελούν τροχοπέδη στην αποδοχή της επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων σε διεσπαρμένα συστήματα. Το σύστημα αυτό δοκιμάστηκε στο παρακάτω ενεργειακό σενάριο.

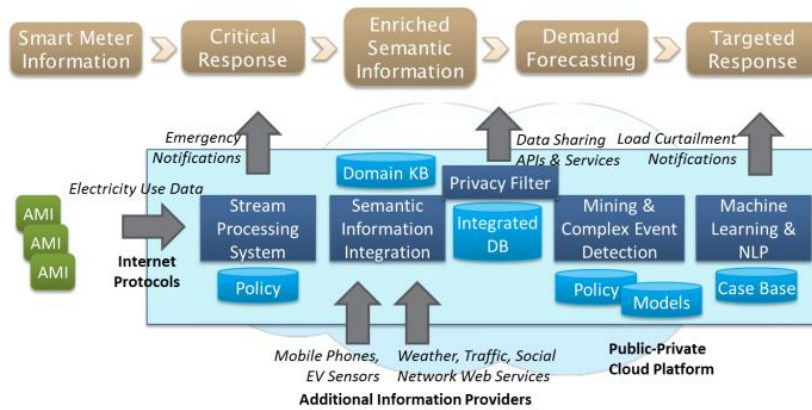


Εικόνα 4-2 Ενεργειακό σενάριο

Έξυπνοι μετρητές υπολογίζουν την ενεργειακή κατανάλωση οικιακών χρηστών και στέλνουν περιοδικά τα συμβάντα κατανάλωσης στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας. Ο πάροχος ελέγχει αν έχουν ξεπεραστεί ορισμένες προκαθορισμένες τιμές. Στη συνέχεια, τα συμβάντα αυτά αθροίζονται. Ο λόγος που δοκιμάζονται τόσο απλά σενάρια στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων είναι 1) για να υπάρξει μια εκτίμηση για τις υπολογιστικές δυνατότητες του συστήματος, δεδομένοι ότι χρησιμοποιήθηκαν οι πιο απλοί κανόνες αντιστοίχισης προτύπων, 2) με την επιλογή της τιμής της αποδεκτής κατανάλωσης ελέγχεται ο αριθμός των συμβάντων που θα συνεχίσουν στο άθροισμα και 3) ο μικρός αριθμός των κανόνων δυσχεραίνει την λειτουργία της κεντρικής εγκατάστασης καθώς δεν μπορεί να σπάσει ή να διανείμει το σύνολο των κανόνων. Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής: α) όσο πιο έντονο είναι το φιλτράρισμα, τόσο πιο πολλά συμβάντα προλαβαίνουν να επεξεργαστούν, β) το κατώτατο όριο εκτιμήθηκε πολύ κοντά στις πραγματικές τιμές που έδωσαν από τις δοκιμές, 3) τέλος, επωφεληθήκαμε από τη διεσπαρμένη υλοποίηση των κανόνων, παρόλο που το σενάριο φαίνεται να εξυπηρετεί καλύτερα μια κεντρική υλοποίηση. Τα αποτελέσματα γίνονται περισσότερο εμφανή όταν εφαρμόζονται σε μεγαλύτερα και πιο ρεαλιστικά οικονομικά σενάρια. (Schilling, et al., 2012)

4.1.1 Οι υλοποιήσεις στο πιλοτικό πρόγραμμα του Έξυπνου Ηλεκτρικού Δικτύου του Λος Άντζελες

Μία προσέγγιση από την σκοπιά της πληροφορικής παρουσιάστηκε που έχει ως στόχο την βελτιστοποίηση του demand – response στα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα. Έχοντας ως στόχο τη χρήση διαφόρων δεδομένων από μετρητές κτλ χρησιμοποιεί προγραμματιστικές τεχνικές όπως η επεξεργασία σύνθετων συμβάντων με σκοπό την πρόβλεψη της ζήτησης, την αντιμετώπιση των αιχμών ισχύος και την καλύτερη χρήση της ενέργειας από τους καταναλωτές. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιήθηκαν στο πιλοτικό πρόγραμμα του Έξυπνου Ηλεκτρικού Δικτύου του Λος Άντζελες.



Εικόνα 4-3 Αρχιτεκτονική Simmhan, et al.

Έτσι δημιουργήθηκε ένα σύστημα αναγνώρισης προτύπων που εξελίσσεται δυναμικά με τη βοήθεια της χρήσης του σημασιολογικού ιστού. Επιπλέον, δημιουργήθηκε μία πλατφόρμα νέφους που έχει ως στόχο να επιτρέψει την θέσπιση κανόνων ασφάλειας και την άσκηση ενέργειων. Η αρχιτεκτονική αυτή παρουσιάζεται στην *Εικόνα 4-3*. Τα σημεία στα οποία στοχεύει είναι:

- Στην δυνατότητα επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο της πληροφορίας από 2 εκατομμύρια έξυπνους μετρητές
- Στην διάγνωση ανωμαλιών με ελαχιστοποίηση του χρόνου απόκρισης για την αντιμετώπισή τους
- Στον εμπλουτισμό των δεδομένων από τους έξυπνους μετρητές με πληροφορίες από άλλες πηγές
- Στην δυναμική ανανέωση της πρόγνωσης της ζήτησης με βάση τα τελευταία δεδομένα
- Την αντιμετώπιση αιχμών ισχύος και άλλων συμβάντων που παρατηρούνται με την αλληλεπίδραση με τους καταναλωτές (Simmhan, et al., 2011)

Βασίζόμενοι και πάλι στο πιλοτικό πρόγραμμα του Λος Άντζελες οι (Simmhan, et al., 2011) παρουσίασαν το σύστημα που επιτρέπει την σημασιολογική επεξεργασία συμβάντων επιτρέποντας και στον καταναλωτή και στον διαχειριστή του δικτύου να θεσπίζει συνεχώς νέες ενεργειακές πολιτικές. Τονίζουν την αναγκαιότητα της χρήσης της επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων ως εργαλείο για την παρατήρηση και πράξη ενεργειών σε διάφορες συνθήκες κατανάλωσης. Ωστόσο, επισημαίνουν τον περιορισμό που θέτουν οι υπάρχουσες τεχνολογίες. Η αναγνώριση προτύπων μπορεί μόνο να οριστεί ως συνδυασμός των γνωρισμάτων που εμπεριέχονται στα συμβάντα. Αυτό απαιτεί την εκ των προτέρων ακριβή γνώση της δομής των συμβάντων και των πηγών τους. Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά η επεξεργασία σύνθετων συμβάντων θα πρέπει η μπορεί να παρακολουθήσει την αυξανόμενη πληθώρα των πληροφοριών που μεταφέρονται στα έξυπνα δίκτυα και να μπορεί να προσαρμόζεται ώστε να χρησιμοποιεί τις πληροφορίες από περιέχονται σε νέα, πρωτοεμφανιζόμενα συμβάντα. Επίσης θα πρέπει να παράγει αποτελέσματα χρήσιμα τόσο σε εξειδικευμένους χρήστες στα θέματα ενέργειας, όσο και σε

απλούς χρήστες. Τέλος, θα πρέπει να αναγνωρίζει αβεβαιότητες στα συμβάντα και στα πρότυπα ταυτοποίησης συμβάντων.

Ολοκληρώνοντας τις αναφορές στο πιλοτικό πρόγραμμα του Λος Άντζελες οι (Simmhan, et al., 2011) παρουσίασαν την δημιουργία ενός **συστήματος επεξεργασίας ροών συμβάντων προσαρμοσμένου ρυθμού** για την ανάπτυξη εφαρμογών έξυπνων δικτύων. Με τον έλεγχο του ρυθμού με τον οποίο παράγουν τα συμβάντα οι έξυπνοι μετρητές επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια στην μεταφορά των δεδομένων και μείωση του φόρτου της ευζωνικής σύνδεσης κατά 50%. Πιο συγκεκριμένα, τα εκπεμπόμενα συμβάντα στην αιχμή εκπομπής φτάνουν το 1KB/min από 1.4 εκατομμύρια χρήστες στο έξυπνο δίκτυο του Λος Άντζελες. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει 2TB/ημέρα να επεξεργαστούν και να αναλυθούν μέσω ενός διαύλου επικοινωνίας της τάξεως των 200Mbps. Η λύση που προτείνεται στην περίπτωση αυτή είναι η χρήση τεχνολογιών νέφους για την συλλογή των δεδομένων σε περίπτωση που απαιτείται η περαιτέρω επεξεργασία τους καθώς και η δυναμική αλλαγή του ρυθμού εκπομπής δεδομένων με τον ακόλουθο τρόπο: καθώς η συνολική ισχύς που καταναλώνεται πάει να φτάσει την συνολική διαθέσιμη ισχύ, ο ρυθμός εκπομπής των συμβάντων από τους μετρητές γίνεται πιο έντονος ώστε να εντοπιστεί/προγνωστεί μία ενδεχόμενη αιχμή ισχύος χωρίς μεγάλη καθυστέρηση. Ο ρυθμός ορίζεται ως το αντίστροφο της διαφοράς της διαθέσιμης ισχύος μείον την τρέχουσα ισχύ, με ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο ρυθμό.

4.1.2 Υλοποιήσεις βασισμένες στο ισπανικό πρόγραμμα ENERGO

Οι (de Mues, et al., 2011) πρότειναν μία διεσπαρμένη και έξυπνη αρχιτεκτονική υπολογιστικών συστημάτων για τα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα που χτίστηκε πάνω στο PGDIN (Έξυπνος Διεσπαρμένος Κόμβος Ηλεκτρικού Δικτύου) και ενσωματώνει μία υπηρεσία διανομής δεδομένων, μία μηχανή επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων, μία διεσπαρμένη μνήμη cache και μία OWL (Γλώσσα Οντολογίας Ιστού) για την μοντελοποίηση των προτύπων ισχύος. Σκοπός είναι η μετατροπή της σημερινής τοπολογίας των δικτύων με ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου (όπου οι άνθρωποι χειρίζονται τις πληροφορίες από συστήματα όπως τα SCADA, EMS κ.α) σε ένα διεσπαρμένο έξυπνο σύστημα που έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται σύνθετα συμβάντα, να προσομοιώνει και να εκτελεί υψηλού επιπέδου τεχνικούς και οικονομικούς κανόνες. Η επεξεργασία συμβάντων χρησιμεύει ως εργαλείο στην αναγνώριση προσαρμοζόμενων προτύπων που επιτρέπουν την διαχείριση σύνθετων ειδοποιήσεων σε πραγματικό χρόνο, την πρόγνωση περιστατικών, την νοθεία στην χρήση των ενεργειακών πόρων, στρατηγικών επιθέσεων στην υποδομή και άλλες κρίσιμες καταστάσεις.

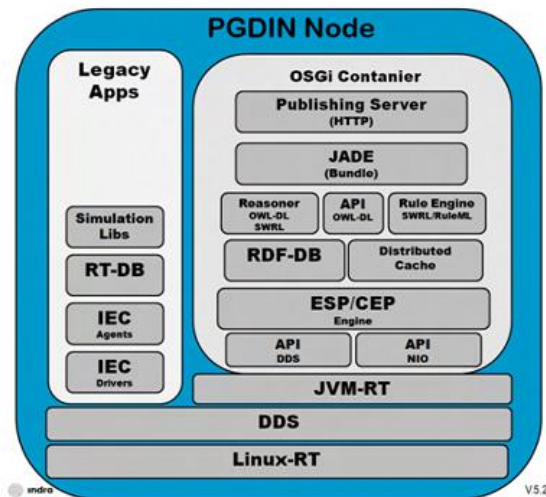


Fig.2. PGIDN software components.

Εικόνα 4-4 Αναπαράσταση PGDIN

Η αρχιτεκτονική ακολουθεί δύο βασικούς κανόνες: 1) Όλοι οι κόμβοι και ο καθένας μεμονωμένα στο δίκτυο είναι υπεύθυνοι για τις πληροφορίες που σχετίζονται με τη λειτουργία οποιουδήποτε μέρους του ηλεκτρικού δικτύου. 2) Όλοι οι κόμβοι και ο καθένας μεμονωμένα στο δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να αναπτύξουν και να αξιολογήσουν κάθε απόφαση που πρόκειται να παρθεί για τα στοιχεία που βρίσκονται υπό την ευθύνη του.

Για την ανάγκη της επαλήθευσης της πρότασης έγινε μία μελέτη περίπτωσης με τη χρήση της μηχανής Esper. Στην αρχή εξετάστηκαν δύο ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες φυσικού αερίου στην Ισπανία με βάση τους εξής κανόνες: 1) Έλεγχος την υπέρβαση ενός σταθερού πάνω ορίου και 2) Έλεγχος συνοχής της ενεργού ισχύος, της αέργου ισχύος, της τάσης και του έντασης του ρεύματος. Στην σημερινή εποχή τέτοιοι έλεγχοι γίνονται από τα συστήματα SCADA. Η 2^η μελέτη περίπτωσης έγινε σε ένα σύνολο οντολογιών με κανόνες μιας Γλώσσα Σηματολογικού Ιστού με τον ίδιο αλγόριθμο ελέγχου της συνοχής των ηλεκτρικών μεγεθών της περίπτωσης 1. Τα συμπεράσματα είναι ότι μέσω της επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων κατάφερε να πραγματοποιηθεί το φιλτράρισμα, ο χωρισμός σε τμήματα και το άθροισμα των συμβάντων. Όμως παρόλο που πρόκειται για μία τεχνολογία προσανατολισμένη για χρήση σε δεδομένα πραγματικού χρόνου, τα στοιχεία που κάνουν την σημασιολογική επεξεργασία δεν είναι σχεδιασμένα κατ' αυτόν τον τρόπο. Υπάρχουν, ωστόσο, προσπάθειες που ίσως στο μέλλον επιτρέψουν την χρήση αυτόν των δύο τεχνολογιών κατόπιν μιας ενιαίας προσέγγισης.

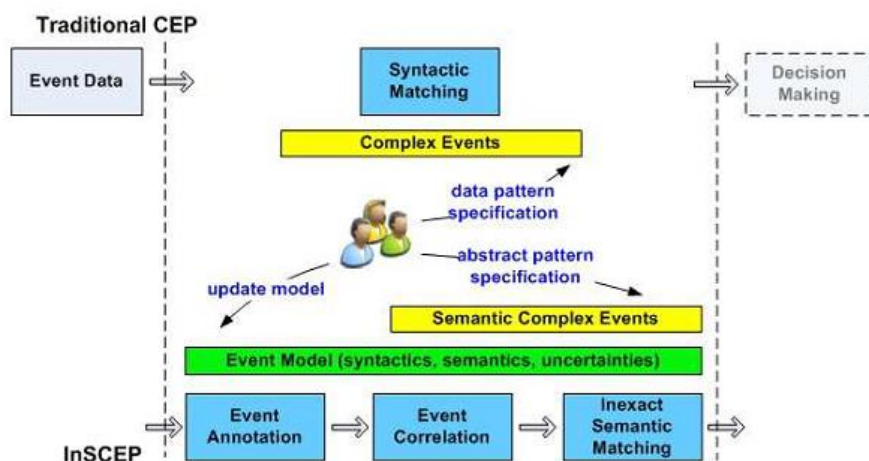
Η υλοποίηση ενός λογισμικού στο οποίο ορίζονται σημασιολογικά μοντέλα μέσω μιας ισχυρής γλώσσας οντολογιών και τα απαραίτητα επεξεργαστικά στοιχεία ως μέσα μετατροπής των δεδομένων και εξαγωγής κρυφών πληροφοριών στηρίχθηκε και πάλι στο πρόγραμμα ENERGO (Penya, et al., 2011) και στα PGDIN. Στη μελέτη περίπτωσης που πραγματοποιείται φαίνεται πως είναι πιθανή η ανίχνευση ανωμαλιών σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο. Στο ισπανικό δίκτυο όπου έλαβε χώρα η μελέτη μέχρι τότε οι ανιχνεύσεις γίνονταν σε χρονικό ορίζοντα μίας ημέρας. Έτσι τα συστήματα προσομοίωσης και λειτουργίας του δικτύου μπορούν διαδραστικά να δέχονται συμβάντα και να

προχωρούν στην λήψη αποφάσεων για την αποκατάσταση ανωμαλιών ταχύτατα. (Espinoza, et al., 2011)

4.2 Επεξεργασία συμβάντων για την καλύτερη διαχείριση της κατανάλωσης

Στις Η.Π.Α. το 35% των συνολικών δαπανών για την ενέργεια πάει στην ηλεκτρική παραγωγή και το 21% της ενέργειας καταναλώνεται στα οικιακά και επαγγελματικά κτήρια. Έτσι η σωστή διαχείριση της ενέργειας των κτηρίων είναι υποχρεωτική για μια αποτελεσματική πολιτική μείωσης των ενεργειακών δαπανών. Με αυτά τα δεδομένα και επιλέγοντας ως αντικείμενο εξέτασης την πανεπιστημιούπολη του πανεπιστημίου της νότιας Καλιφόρνιας (USC) αναπτύχθηκε ένα σύστημα καθοδηγούμενο από συμβάντα που αποσκοπεί στην βελτιστοποίηση του demand-response. Ένα μέρος του συστήματος αυτού αποτελεί η ανίχνευση προτύπων σύνθετων συμβάντων με σκοπό την επισήμανση ευκαιριών για την περικοπή φορτίου. Για παράδειγμα, ένα πρότυπο που ανιχνεύει ότι η μία μονάδα A/C ψύχει το δωμάτιο χωρίς να προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας του με το πέρασμα του χρόνου, άρα μια πόρτα ή ένα παράθυρο είναι ανοικτό, επιτρέποντας το κλείσιμο του κλιματιστικού ή την ειδοποίηση του ευρισκόμενου. (Simmhan, et al., 2011)

Μία άλλη μελέτη περίπτωσης για την χρήση έμμεσης και σημασιολογικής επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων (InSCEP) εστιάζει στους περιορισμούς που θέτει η υπάρχουσα τεχνολογία επεξεργασίας συμβάντων κατά την χρήση της στα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα.



Εικόνα 4-5 Αναπαράσταση InSCEP

Θεωρώντας το μικρό δίκτυο της ίδιας πανεπιστημιούπολης, η εφαρμογή του demand – response επεξεργάζεται δεδομένα προερχόμενα από μετρητές και λοιπό εξοπλισμό που αναφέρουν τις μετρήσεις τους ή τις λειτουργίες τους. Έτσι κάποια ενδεικτικά πρότυπα είναι:

- Πρόβλεψη φορτίου: ένα κτήριο διδασκαλίας καταναλώνει το 90% του μέγιστου που μπορεί να καταναλώσει, περισσότερες από 5 τάξεις

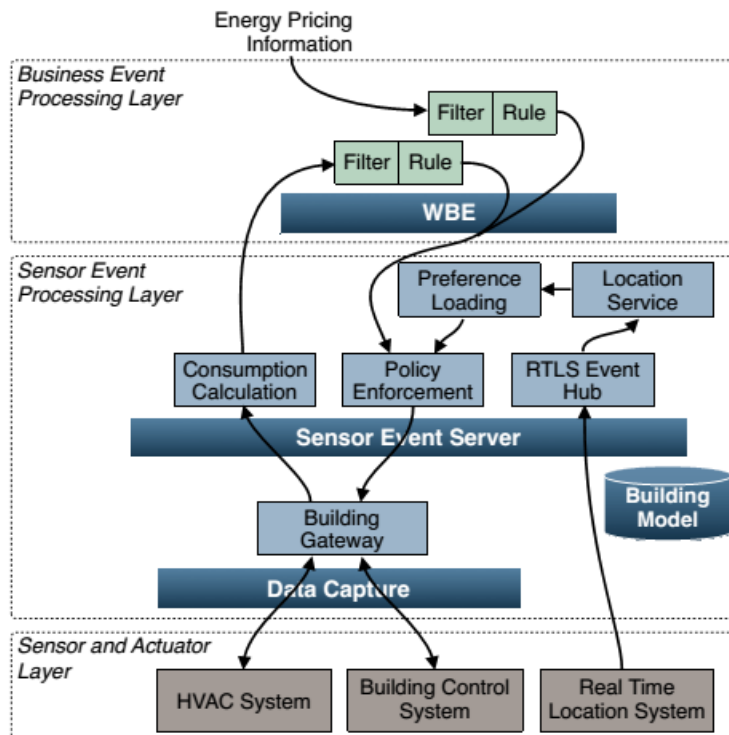
έχουν πιθανότητα να αυξήσουν την κατανάλωσή τους από την ελάχιστη δυνατή, πρόγραμμα διδασκαλίας και καιρικές συνθήκες.

- Περικοπή φορτίου: Ο θερμοστάτης σε ένα δωμάτιο ρυθμίστηκε 5 βαθμούς κάτω από τον μέσο όρο των τιμών των υπόλοιπων θερμοστατών του ίδιου τύπου δωματίων που άναψαν τα τελευταία 30 λεπτά.
- Παρακολούθηση φορτίου: επαναλαμβανόμενα πρότυπα περικοπών εφαρμόστηκαν, ακολουθούμενα από μια σειρά μετρήσεων που υποδηλώνουν ότι το φορτίο παραμένει ίδιο ή αυξάνεται.

Από τα παραπάνω σενάρια φαίνεται η ανάγκη για χρήση σημασιολογικών και ευέλικτων προτύπων. (Zhou, et al., 2011)

Αρκετά χρόνια πριν, μια υψηλού επιπέδου αρχιτεκτονική αναπτύχθηκε στοχεύοντας στην βελτίωση του ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και παρουσιάζεται παρακάτω. Οι κύριες αρχές της αρχιτεκτονικής είναι τρεις

- Η ιεραρχική αίσθηση και απόκριση, που σημαίνει πως η διαχείριση και η βελτιστοποίηση γίνεται σε διαφορετικό επίπεδο για κάθε δωμάτιο, όροφο, κτήριο, υποδίκτυο κτλ.
- Η χρήση σημασιολογικού μοντέλου αναφορών κατά την διάδοση των πληροφοριών
- Χρήση υπηρεσιών νέφους για την λειτουργία του συστήματα, αντί για την μεμονωμένη ανάπτυξη.

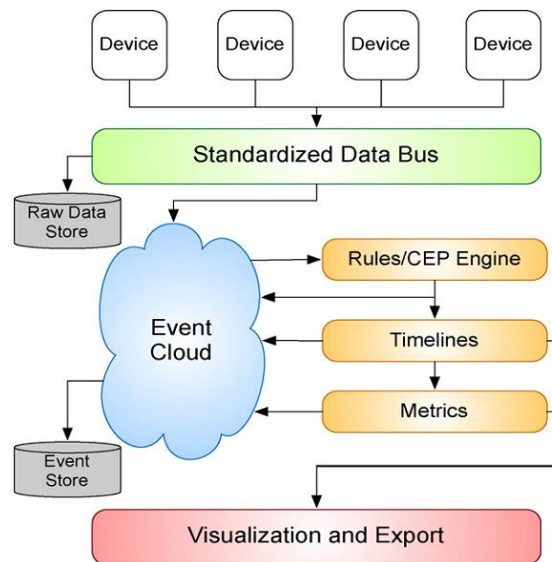


Εικόνα 4-6 Αρχιτεκτονική Chen, et al.

Η αρχιτεκτονική έχει δοκιμαστεί στη χρήση πολιτικών προστασίας που απευθύνονται στο κτήριο λαμβάνοντας υπόψη την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο καθώς και τις προτιμήσεις και την τοποθεσία των ευρισκόμενων. Η θεώρηση που έγινε είναι πως υπάρχει ένα **επαγγελματικό κτήριο με πολλά**

γραφεία στα οποία απασχολούνται άνθρωποι της εταιρίας XYZ. Κάθε γραφείο έχει έναν ελεγκτή που ελέγχει τον φωτισμό και τον κλιματισμό. Στην εταιρία όλοι οι εργαζόμενοι είναι κινητοί, που σημαίνει δεν έχουν σταθερό γραφείο εργασίας. Σε μία τυπική ημέρα ένας κινητός εργάτης επιλέγει το γραφείο που θα δουλέψει ανάλογα με την τοποθεσία του πελάτη του, έτσι υπογράφει στο κτήριο και κάνει κράτηση σε ένα διαθέσιμο δωμάτιο για όλη τη μέρα. Στο σενάριο αυτό χρησιμοποιείται η επεξεργασία σύνθετων συμβάντων με τον εξής τρόπο. Ο ελεγκτής κάθε δωματίου στέλνει την κατάσταση του σε επεξεργαστή συμβάντων. Η συνολική πληροφορία των καταστάσεων χρησιμοποιείται για να οριστικοποιηθεί η παρούσα κατάσταση ολόκληρου του ορόφου και κατ' επέκταση ολόκληρου του κτηρίου. Επίσης, η πληροφορία της παρούσας τιμολόγησης μαζί την παρούσα κατανάλωση καταφθάνουν στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων, όπου οι κανόνες επιχειρησιακής ανάλυσης υπολογίζουν αν απαιτούνται περικοπές ενέργειας σύμφωνα πολιτική εξόδων που έχει οριστεί. (Chen, et al., 2009)

Τεχνολογίες επεξεργασίας συμβάντων κατανάλωσης για την αυτοματοποιημένη παρακολούθηση και ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης σε **παραγωγικές μονάδες** προτάθηκε και από τους (Vijayaraghavan & Dornfeld, 2010). Η προσέγγιση τους αποτελεί ένα λογισμικό για τον ενεργειακό συλλογισμό, το οποίο υποστηρίζει την λήψη αποφάσεων σε πολλαπλά χρονικά επίπεδα. Βασιζόμενο στις ανάγκες της παραγωγικής διαδικασίας προσφέρει τις ακόλουθες δυνατότητες: ταυτόχρονη παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης με την επεξεργασία δεδομένων, τυποποιημένες πηγές δεδομένων, κλιμακούμενη αρχιτεκτονική για μεγάλο όγκο δεδομένων, αρθρωτή αρχιτεκτονική για την ανάλυση σε διαφορετική παραγωγική κλίμακα.



Εικόνα 4-7 Αρχιτεκτονική Vijayaraghavan & Dornfeld

Ένα παράδειγμα αναγνώρισης ενός σύνθετου συμβάντος από απλά συμβάντα που αφορούν το εργαλείο είναι: η θέση του εργαλείου, η στιγμιαία κατανάλωση ενέργειας και η κατάσταση συναγερμού του εργαλείου. Ο συνδυασμός αυτών θα μπορούσε να υποδεικνύει ότι ο άξονας του εργαλείου έχει συντριβεί. Στη μελέτη περίπτωσης που παρουσιάζεται χρησιμοποιούνται πραγματικά δεδομένα από το τελικό φρεζάρισμα αλουμινίου με τη χρήση 2πτερου κοπτικού εργαλείου από

καρβίδιο σε φρέζα ακριβείας τριών αξόνων. Τα συμβάντα που αναγνωρίστηκαν είναι

- Αδρανής μηχανή
- Αναμενόμενη αιχμή κατανάλωσης
- Σταθερή κατανάλωση αδράνειας
- Ανώμαλη αιχμή κατανάλωσης
- Αύξηση κατανάλωσης αδράνειας
- Αύξηση κατανάλωσης περιόδου
- Αυξητική τάση κατανάλωσης αδράνειας

και θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην λήψη αποφάσεων με σκοπό την βελτίωση της λειτουργική και περιβαλλοντική συμπεριφοράς του εργαλείου.

Μία τρίτη αρχιτεκτονική επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων που συνδέει μετρητικά δίκτυα σε ένα σύστημα ενεργειακής διαχείρισης που προτάθηκε για μια **αλυσίδα καταστημάτων**. Το σύστημα επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με σκοπό να παράγει άμεσες αλλά και μελλοντικές εφαρμογές και ιδέες λειτουργίας. Επίσης, ενεργοποιεί την άμεση απόκριση σε απλούς ενεργειακούς και οικονομικούς κανόνες βασισμένο σε προϋπολογισμένους τύπους συμβάντων όπως τα προγνωστικά και ταξινομημένα συμβάντα.

Στην αρχιτεκτονική που αναπτύχθηκε διαχωρίστηκαν τρεις βασικοί τύπου συμβάντων, α) τα απλά συμβάντα: που είναι συμβάντα δεδομένων κατανάλωσης που παράγονται ανά μια σταθερή συχνότητα, β1) Προϋπολογισμένα συμβάντα-πρόγνωσης: που είναι συμβάντα που εκφράζουν την πιθανότητα να εμφανιστούν μελλοντικές προβλέψεις βασισμένες σε απλά συμβάντα, β2) Προϋπολογισμένα συμβάντα- ταξινομημένα: που είναι συμβάντα που προκύπτουν από μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης βασισμένες σε απλά συμβάντα και γ) Προερχόμενα συμβάντα: που είναι αποτέλεσμα δηλωτικών κανόνων που θέτονται πάνω σε απλά και προϋπολογισμένα συμβάντα.

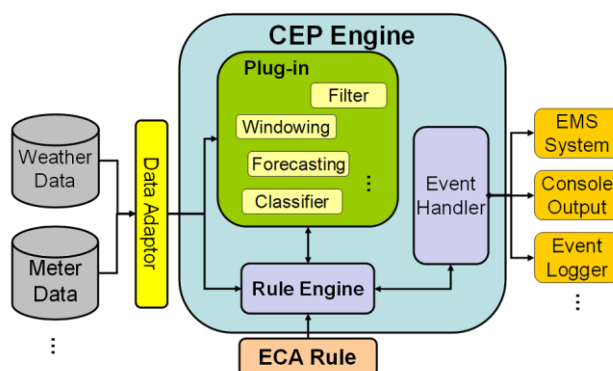


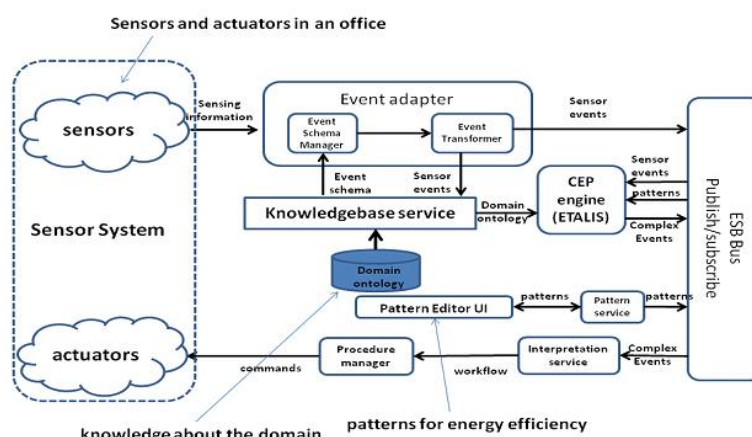
Figure 1: CEP platform for EMS system.

Εικόνα 4-8 Αρχιτεκτονική Wen, et al.

Η αποτελεσματικότητα την αρχιτεκτονικής απεικονίζεται στα πλαίσια της ελαχιστοποίησης της μέγιστης συμφωνημένης ζήτησης (με τον διαχειριστή του

δικτύου) από την αλυσίδα καταστημάτων. Ωστόσο, ένα πρακτικό σύστημα διαχείρισης ενέργειας δεν μπορεί να έχει ως στόχο μόνο την μείωση της ενεργειακής του κατανάλωσης, για παράδειγμα για την συγκεκριμένη αλυσίδα καταστημάτων ίσως ο όγκος των πωλήσεων να είναι πολύ πιο σημαντικός. Έτσι οι προσπάθειες δεν εστιάζει στην ανάπτυξη μιας γενικής μηχανής επεξεργασίας συμβάντων, αλλά στην ανάπτυξη ενός συστήματος για την σωστή ενεργειακή διαχείριση. Το πρόγραμμα που υλοποιήθηκε δουλεύει με χρονικό παράθυρα του λεπτού, δεδομένου ότι τα αισθητήρες σε μια πιο συχνή δειγματοληψία εισάγουν μεγαλύτερο θόρυβο στα δεδομένα και απλά επιβαρύνουν την επεξεργασία και επειδή στα συμβάντα που περιγράφουν ανθρώπινες δραστηριότητες ταιριάζει περισσότερο η χρήση διαστημάτων της κλίμακας του λεπτού. Δοκιμές που έγιναν σε καταστήματα σε έξι τοποθεσίες δίνουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα για την χρήση της μελλοντική χρήση της αρχιτεκτονικής. (Wen, et al., 2011)

Εξαιρετικά ενδιαφέροντα αποτελέσματα έδωσε και η χρήση του iCEP λογισμικού που συνδυάζοντας δεδομένα από “φθηνούς” συμβατικούς μετρητές κατάφερε να υποστηρίξει την βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης **επαγγελματικών κτηρίων**. Η μελέτη περίπτωσης που παρουσιάστηκε, έγινε στα γραφεία ενός πραγματικού εργασιακού χώρου.



Εικόνα 4-9 Αρχιτεκτονική Stojanovic, et al.

Η αρχιτεκτονική δέχεται συμβάντα από τους αισθητήρες (sensors) τα οποία στη συνέχεια προσαρμόζονται (Event transformer) σε τέτοια μορφή ώστε να είναι αναγνωρίσιμα από την μηχανή επεξεργασίας συμβάντων (CEP). Ταυτόχρονα γίνεται η παραγωγή σημασιολογικών συμβάντων (Event Schema) από την βάση γνώσεων (Domain Ontology) για τον συγκεκριμένο τομέα. Τέλος υπάρχει ένας δίαυλος υπηρεσιών (EMS Bus) που επιτρέπει την είσοδο των κανόνων στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων και προωθεί τα σύνθετα συμβάντα στον διερμηνέα (Interpretation service) που τα μετατρέπει σε κατάλληλη μορφή ώστε να γίνουν οι απαραίτητες τελικά ενέργειες από τους ενεργοποιητές (actuators).

Στη δοκιμή που έγινε υλοποιήθηκαν απλά σενάρια όπως το: “όταν κάποιος φύγει από γραφείο του, η λάμπα πρέπει να σβήσει σε 5 δευτερόλεπτα”. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η εν λόγω προσέγγιση και προκύπτουν από τα απλά αυτά παράδειγματα είναι:

- Χρησιμοποιήθηκε μία μόνο εντολή στο ETALIS για όλες τις πιθανές περιπτώσεις του σεναρίου
- Μόνο εξειδικευμένοι στο ETALIS μπορούν να γράψουν νέες εντολές.
- Στις 10 μέρες λειτουργίας του προγράμματος σε πραγματικό εργασιακό περιβάλλον εντοπίστηκαν 903 περιπτώσεις προτύπων σύμφωνα με τη λίστα των (Erickson, et al., 2009). Από αυτές η ETALIS ανίχνευσε τις 734 (περισσότερο από το 80%). Υπήρξαν ακόμα 42 περιπτώσεις που δεν ανιχνεύτηκαν εξαιτίας λαθών στις αναγνώσεις των αισθητήρων.
- Υπήρξαν 135 περιπτώσεις που η ETALIS δεν κατάφερε να ανιχνεύσει εξαιτίας της έλλειψης ορισμένων δυνατοτήτων στους αισθητήρες.
- Κατά μέσω όρο υπήρξε εξοικονόμηση ενέργειας στο 34.3% του χρόνου της ημέρας, όπου λάμβαναν χώρα 62 ανοιγο-κλεισίματα διακοπών από τα οποία τα 13 ήταν λανθασμένα (ποσοστό σφάλματος 18.3%)
- Η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας ήταν περίπου 30%
- Ο συνολικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε δεν ξεπέρασε τα 300€. (Stojanovic, et al., 2011)

4.3 Επεξεργασία σύνθετων συμβάντων σε άλλους ενεργειακούς τομείς

Οι προτάσεις χρήσης όμως της επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων δεν σταματάνε στις δύο παραπάνω κατηγορίες, παρόλο που η μεγαλύτερη πλειοψηφία των ερευνών εστιάζει σε αυτές.

Τα οχήματα επισημαίνουν οι (Haller, et al., 2009) πως θα γίνουν τελείως αυτόνομα και ευφυή, έχοντας τη δυνατότητα να κάνουν λογικούς υπολογισμούς βασισμένα σε συμβάντα. Οι εφαρμογές ασφαλείας των αυτοκινήτων θα έχουν τη δυνατότητα να αισθάνονται αυτόνομα την κατάσταση του δρόμου, να παράγουν κατάλληλες ειδοποιήσεις, να της διανέμουν σωστά σε παροδικά και μεταβαλλόμενα Ad hoc δίκτυα, αξιολογώντας τες συνεχώς για την παρούσα ισχύ τους. Εξελιγμένη νοημοσύνη θα υπάρξει έτσι στην ανάπτυξη των δικτύων μεταξύ των οχημάτων, ακολουθώντας το όραμα του Internet of Vehicles (Διαδίκτυο Οχημάτων).

Ακόμα, μία **υπηρεσία νέφους**, η οποία επιτρέπει την ψηφιακή απεικονίζει διαφόρων συσκευών και μετρητών που είναι συνδεδεμένα στο Internet of Things βασίστηκε στην επεξεργασία σύνθετων συμβάντων. Το σύστημα δέχεται δεδομένα από διάφορες πηγές και τα παρέχει ως εικονικές υπηρεσίες για την ανάπτυξη εφαρμογών. Επειδή όλο το IoT είναι βασισμένο σε συμβάντα ο πυρήνας του συστήματος έχει σχεδιαστεί κι αυτός με την ίδια λογική. Η επιλογή αυτή επιτρέπει την χρήση των δυνατοτήτων IoT που λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο και την αίσθηση και απόκριση σε διάφορα συμβάντα έναυσης (trigger events) από διαφορετικά αντικείμενα συνδεδεμένα στο νέφος. Όπως είναι φυσικό, μία τέτοια εικονική υπηρεσία λήψης δεδομένων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί

τόσο από τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας για άντληση πληροφοριών όσο και από τελικούς καταναλωτές. (Alam, et al., 2010)

Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφερθούν και **εμπορικά διαθέσιμες εφαρμογές** οι οποίες έχουν ενσωματώσει την επεξεργασία σύνθετων συμβάντων ως εργαλείο για να παρέχουν συγκεκριμένες δυνατότητες στους πελάτες τους. Ενδεικτικά αναφέρεται η πλατφόρμα νέφους που δημιουργήθηκε από την εταιρία Intelen και έχει ως στόχο να δημιουργήσει ένα ενεργειακό προφίλ σε κτήρια, κυρίως επαγγελματικά. Με τη βοήθεια της επεξεργασίας συμβάντων παράγονται ειδοποιήσεις, αναλύσεις και προβλέψεις της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτηρίων προς τους ενδιαφερομένους. Επίσης, η εταιρία Information Builders που απευθύνεται σε εταιρικούς πελάτες κάνει χρήση της επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων για να παράγει αναλύσεις και να παρέχει μια σειρά δυνατοτήτων σε πραγματικό χρόνο (Information Builders, 2014). Το λογισμικό της αυτό βρίσκει εφαρμογή και σε πελάτες της που δραστηριοποιούνται στο χώρο της ενέργειας, όπως εταιρίες διαχείρισης σταθμός παραγωγής και εταιρίες διαχείρισης ηλεκτρικών δικτύων. (Information Builders, 2014)

5 Προτεινόμενη Προσέγγιση

Παρατηρώντας τους τομείς στους οποίους εστιάζουν οι παραπάνω εφαρμογές, ακολουθεί μία προτεινόμενη προσέγγιση για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος βασισμένου στην επεξεργασία σύνθετων συμβάντων το οποίο θα συνδυάζει τις πληροφορίες από τρεις διαφορετικές ετερογενείς πηγές με σκοπό να παράγει γνώση για δύο κατηγορίες ενδιαφερομένων, οικιακών χρηστών και φωτοβολταϊκών παραγωγών.

Αρχικά, το σημείο στο οποίο υπερέχει η παρακάτω προσέγγιση είναι ότι αναφέρεται σε δύο κατηγορίες ενδιαφερομένων που αποτελούν ένα πολύ μεγάλο μέρος των συμβαλλόμενων στο ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδος για τους οποίους δεν έχει γίνει κάποια αντίστοιχη προσέγγιση. Επιπλέον, ιδιαίτερα για τους οικιακούς χρήστες, η προσέγγιση δεν γίνεται με βασικό στόχο την περικοπή της κατανάλωσης όπως στις εφαρμογές που παρουσιάστηκαν, αλλά γίνεται με σκοπό την συνεχή παρότρυνση του χρήστη (engagement) ώστε να συνεχίσει να χρησιμοποιεί την εφαρμογή. Αυτό είναι κάτι που θεωρήθηκε σημαντικό, καθώς ειδικά σε οικιακό επίπεδο αυτό που έχει αξία πολλές φορές δεν είναι η ίδια η εξοικονόμηση αλλά το συναίσθημα που δημιουργείται από την επίτευξη στόχων και την επιβράβευση για την αποδοτικότερη καταναλωτική συμπεριφορά.

Τέλος, στην παρακάτω προσέγγιση έχει γίνει προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν στα διάφορα πρότυπα που αναπτύχθηκαν όσο πιο πολλές δυνατότητες γίνεται της επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων, ώστε να γίνουν αντιληπτοί οι τομείς στους οποίους μπορούμε να εξάγουμε αξιόλογα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιήθηκαν σενάρια με χρονικά παράθυρα παρακολούθησης και μάλιστα σε διαφορετικά χρονικά επίπεδα. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν παράθυρα που ανοίγουν και κλείνουν με συμβάντα έναυσης και τερματισμού και τέλος και πιο σημαντικό, χρησιμοποιήθηκαν παράθυρα που εξετάζουν τη γεωγραφική κατάσταση των συμβάντων.

5.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

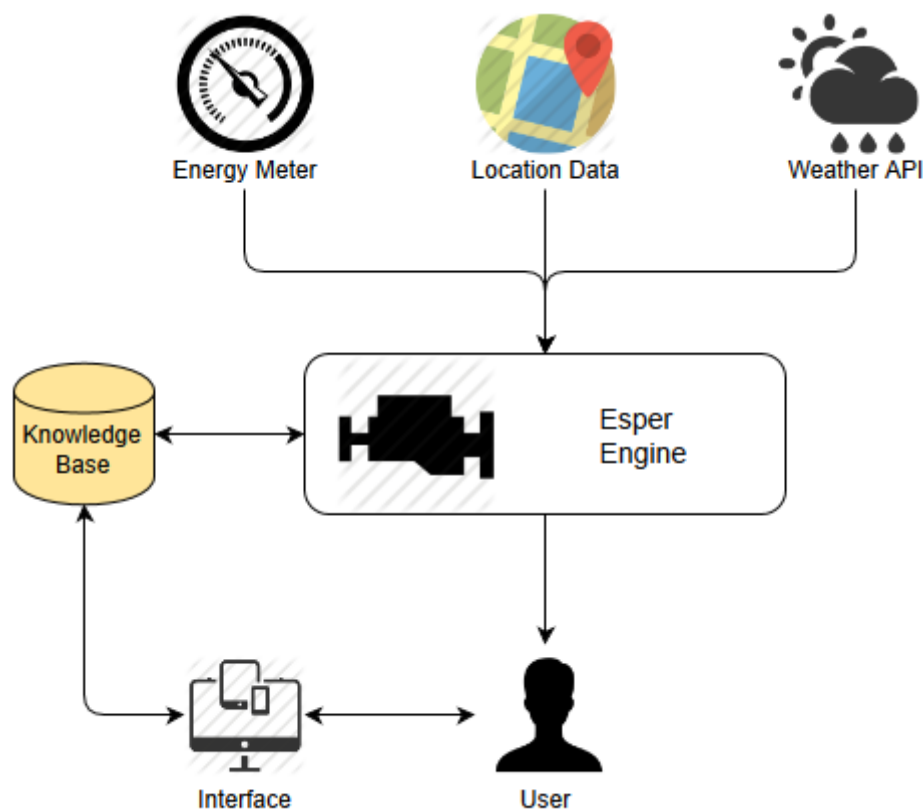
Η αρχιτεκτονική που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5-1*. Αποτελείται από τρεις πηγές που παράγουν τα συμβάντα, την μηχανή επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων, μία βάση γνώσης και μία διεπαφή ιστού.

Οι τρεις πηγές τροφοδοτούν με συμβάντα την μηχανή επεξεργασίας συμβάντων. Η μεταφορά των δεδομένων είναι μονόδρομη (push-based λειτουργία) και πανομοιότυπη και για τις τρεις περιπτώσεις και γίνεται μέσω διαδικτυακού πρωτοκόλλου.

Η μηχανή επικοινωνεί με την βάση γνώσης. Η επικοινωνία στην περίπτωση αυτή είναι αμφίδρομη. Η βάση γνώσης δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες στην μηχανή για την σωστή επεξεργασία των συμβάντων, ταυτόχρονα όμως αποθηκεύει και νέα δεδομένα που προκύπτουν από τα σύνθετα συμβάντα που

παράγει η μηχανή. Επίσης, η μηχανή έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί και κατευθείαν με τον χρήστη, για την άμεση ειδοποίησή του μέσω email. Η επικοινωνία αυτή είναι μονόδρομη και γίνεται μέσω διαδικτυακού πρωτοκόλλου.

Η βάση γνώσης, εκτός από την μηχανή επεξεργασίας συμβάντων, είναι άμεσα συνδεδεμένη και με την διεπαφή ιστού. Για την ακρίβεια, είναι η καρδιά της διεπαφής ιστού αφού όλα τα δεδομένα της διεπαφής από εκεί πηγάζουν και εκεί αποθηκεύονται. Η επικοινωνία τους είναι αμφίδρομη και άμεση και γίνεται μέσα από το ίδιο υπολογιστικό σύστημα που τα φιλοξενεί.



Εικόνα 5-1 Γενική Αρχιτεκτονική

Η διεπαφή ιστού συνδέεται επίσης με τον τελικό χρήστη. Ουσιαστικά αποτελεί τον τρόπο με τον οποίο ο τελικός χρήστης λαμβάνει τα δεδομένα από τη βάση γνώσης σε μία μορφή που μπορεί να την αντιληφθεί και επίσης εισάγει δεδομένα σε αυτήν με εύκολο και κατανοητό τρόπο. Η επικοινωνία τους είναι αμφίδρομη και άμεση, μέσω του προγράμματος περιήγησης ιστού (browser). Ακολουθεί λεπτομερής ανάλυση του κάθε μέρους της αρχιτεκτονικής στις επόμενες παραγράφους.

5.2 Γεννήτριες συμβάντων

ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ

Το συμβάν ενημέρωσης για την παρούσα τοποθεσία του χρήστη επιλέχθηκε να παράγεται από το προσωπικό του κινητό τηλέφωνο. Για την κάλυψη αυτής της ανάγκης χρησιμοποιήθηκε η πιλοτική πλατφόρμα της Microsoft που ονομάζεται on{X}.



Εικόνα 5-2 Λογότυπο on{X}

Η εν λόγω πλατφόρμα πέραν του ότι καλύπτει της ανάγκες μας με σχετικά απλό και απόλυτα λειτουργικό τρόπο, παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς η λογική της είναι βασισμένη στην αυτοματοποίηση ενεργειών ύστερα από την ικανοποίηση κανόνων. Οι κανόνες αυτοί προγραμματίζονται από τον χρήστη και είναι βασισμένοι σε συμβάντα.

Ο χρήστης πρέπει να εισάγει, στον διαμορφωμένο κανόνα του on{X}, δύο βασικά στοιχεία: το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της οικίας όπου διαμένει και είναι τοποθετημένος ο μετρητής καθώς και τον κωδικό χρήστη που έχει στο σύστημα.

Για την παραγωγή του event χρησιμοποιούμε τα Regions του on{X} ώστε να οριοθετήσουμε την περιοχή γύρω από την οικία. Η περιοχή ορίζεται με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της οικίας ως κέντρο και με μία ακτίνα 500μ γύρω από αυτό. Η τιμή αυτή ύστερα από δοκιμές έχει διαπιστωθεί ότι είναι «ασφαλής» ώστε να μην βγαίνει κάνει κάποιος εκτός περιοχής όταν κινείται εντός του σπιτιού αλλά και πολύ κοντά σε αυτό.

Η αποστολή του συμβάντος γίνεται μέσω ενός Ajax request που στέλνει το κινητό στην διεύθυνση IP όπου είναι εγκατεστημένη η μηχανή του Esper ώστε το event να εισαχθεί στους αντίστοιχους επεξεργαστές συμβάντων.

```
// create a region around my house

var region = device.regions.createRegion({
  name : "home",
  latitude : 38.02722,
  longitude : 23.85612,
  radius: 500});
// subscribe the callback to the trigger
region.on('exit', function(hybrid){
  var reminder = "You left home";
  // show a notification with reminder
  device.notifications.createNotification(reminder).show();
  // send request
  sendNotification(false);
```



```

});
region.on('enter', function(hybrid){
    var reminder2 = "You are back home";
    // show a notification with reminder
    device.notifications.createNotification(reminder2).show();
    // send request
    sendNotification(true);
});
// start monitoring the region
device.regions.startMonitoring(region);

function sendNotification(isHome)
{
    var notification = device.notifications.createNotification('sending event');
    device.ajax(
        {
            url: 'http://smarteca.tk/',
            type: 'POST',
            headers: {
                'Content-Type': 'application/json'
            }
            data: {
                '{ "user" : "user234", "isHome" : ' + isHome + '}'
            }
        },
        function onSuccess(body, textStatus, response) {
            var parsedBody;
            if(!(body && (parsedBody = JSON.parse(body)))) {
                var error = {};
                error.message = 'invalid body format';
                error.content = body;
                console.error('error: ',error);
            }
            console.info('successfully sent http POST!');
            notification.content = 'successfully sent http POST!';
            notification.show();
        },
        function onError(textStatus, response) {
            var error = {};
            error.message = textStatus;
            error.statusCode = response.status;
            console.error('error: ',error);
        });
}

```

ΓΕΝΗΤΡΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΚΑΙΡΟΥ

Τα συμβάντα που περιέχουν πληροφορίες για τον καιρό στις τοποθεσίες ενδιαφέροντος παράγονται από εξωτερικό πρόγραμμα που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής. Σε αυτή τη λύση οδήγησε η αδυναμία εύρεσης έτοιμης λύσης που να καλύπτει τις ανάγκες μας.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δεν ενσωμάτωναν κυρίως οι πάροχοι πληροφοριών καιρού ήταν η δυνατότητα αποστολής (push) των δεδομένων στη μηχανή επεξεργασίας συμβάντων ανά συγκεκριμένη χρονική περίοδο και η εγγραφή μέσω του API για τη λήψη των δεδομένων βάση των συντεταγμένων του κάθε νέου χρήστη. Η επιλογή του Weather Underground έγινε καθώς έχει ένα από τα πιο πλούσια API σε σύγκριση με άλλες υπηρεσίες παροχής δεδομένων καιρού, είναι δωρεάν και ανταποκρίθηκε σε όλες μας τις απαιτήσεις αξιόπιστα.


```

},
"estimated" : {},
"station_id" : "I727",
"observation_time" : "Last Updated on March 28, 1:26 AM EET",
"observation_time_rfc822" : "Fri, 28 Mar 2014 01:26:56 +0200",
"observation_epoch" : "1395962816",
"local_time_rfc822" : "Fri, 28 Mar 2014 01:27:22 +0200",
"local_epoch" : "1395962842",
"local_tz_short" : "EET",
"local_tz_long" : "Europe/Athens",
"local_tz_offset" : "+0200",
"weather" : "Partly Cloudy",
"temperature_string" : "58.5 F (14.7 C)",
"temp_f" : 58.5,
"temp_c" : 14.7,
"relative_humidity" : "83%",
"wind_string" : "Calm",
"wind_dir" : "NNW",
"wind_degrees" : 335,
"wind_mph" : 0.0,
"wind_gust_mph" : "2.2",
"wind_kph" : 0,
"wind_gust_kph" : "3.5",
"pressure_mb" : "1010",
"pressure_in" : "29.83",
"pressure_trend" : "0",
"dewpoint_string" : "53 F (12 C)",
"dewpoint_f" : 53,
"dewpoint_c" : 12,
"heat_index_string" : "NA",
"heat_index_f" : "NA",
"heat_index_c" : "NA",
"windchill_string" : "NA",
"windchill_f" : "NA",
"windchill_c" : "NA",
"feelslike_string" : "58.5 F (14.7 C)",
"feelslike_f" : "58.5",
"feelslike_c" : "14.7",
"visibility_mi" : "6.2",
"visibility_km" : "10.0",
"solarradiation" : "--",
"UV" : "0",
"precip_1hr_string" : "0.00 in ( 0 mm)",
"precip_1hr_in" : "0.00",
"precip_1hr_metric" : " 0",
"precip_today_string" : "0.00 in (0 mm)",
"precip_today_in" : "0.00",
"precip_today_metric" : "0",
"icon" : "partlycloudy",
"icon_url" : "http://icons-ak.wxug.com/i/c/k/nt_partlycloudy.gif",
"forecast_url" : "http://www.wunderground.com/global/stations/16715.html",
"history_url" :
"http://www.wunderground.com/weatherstation/WXDailyHistory.asp?ID=I727",
"ob_url" : "http://www.wunderground.com/cgi-bin/findweather/getForecast?query=38.016193,23.836794"
}
}

```

Το οποίο μετατρέπεται σε ένα συμβάν καιρού ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά από την μηχανή επεξεργασίας συμβάντων :

```

{ "user" : "user234",
  "location" : {
    "latitude" : "38.020000",

```

```

"longitude" : "23.850000"},
"observation_time" : "Fri, 28 Mar 2014 01:26:56 +0200",
"condition" : 1,
"temp" : 14.7
}

```

ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ/ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Τα συμβάντα που περιέχουν τα δεδομένα κατανάλωσης/παραγωγής του κάθε χρήστη παράγονται από έναν μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας που έχει τη δυνατότητα να αποστέλλει τα δεδομένα του στο διαδίκτυο. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν μετρητές της εταιρίας Current Cost.



Εικόνα 5-4 Μετρητής Current Cost

Ο λόγος για την αγορά των συγκεκριμένων μετρητών ήταν η εύκολη ενσωμάτωσή τους με την πλατφόρμα Xively (πρώην Pachube). Η πλατφόρμα προσφέρει ένα πλήθος υπηρεσιών που βοηθάει ιδιαίτερα στις ανάγκες της ανάπτυξης του συστήματος επεξεργασίας συμβάντων.

Τα δεδομένα έρχονται και πάλι ως δεδομένα σε μορφή JSON και ακολουθείται μια διαδικασία παρόμοια με αυτή των δεδομένων καιρού, όπου αναλύονται, αφαιρούνται πληροφορίες που δεν χρησιμεύουν στην δική μας υλοποίηση και στη συνέχεια παράγεται ένα συμβάν κατανάλωσης το οποίο διοχετεύεται στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων.

Ένα παράδειγμα της μορφής του JSON που στέλνει το Xively είναι:

```

{
  "environment": {
    "description": "user's 234 datastream",
    "feed": "https://api.xively.com/v2/feeds/234",
    "id": 234,
    "location": {
      "lat": 55.74479,
      "lng": -3.18157,
      "name": "location description"
    },
    "title": "Home"
  },
  "id": 1,
  "threshold_value": 9.0,
  "timestamp": "2009-09-07T12:16:02.001403Z",
  "triggering_datastream": {

```

```

    "id": "0",
    "url": "https://api.xively.com/v2/feeds/234/datastreams/0",
    "at": "2009-09-07T12:16:02.000063Z",
    "value": {
      "current_value": "9.07624035140473",
      "max_value": 9.99650150341,
      "min_value": 0.00471012639984
    }
  },
  "type": "gte",
  "url": "https://api.xively.com/v2/triggers/1"
}

```

Το οποίο μετατρέπεται σε ένα συμβάν κατανάλωσης ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά από την μηχανή επεξεργασίας συμβάντων.

```

{ "user" : "user234",
  "location" : {
    "latitude" : "38.020000",
    "longitude" : "23.850000"},
  "observation_time" : "Fri, 28 Mar 2014 01:26:56 +0200",
  "consumption" : 1250,
  "temp" : 21.6
}

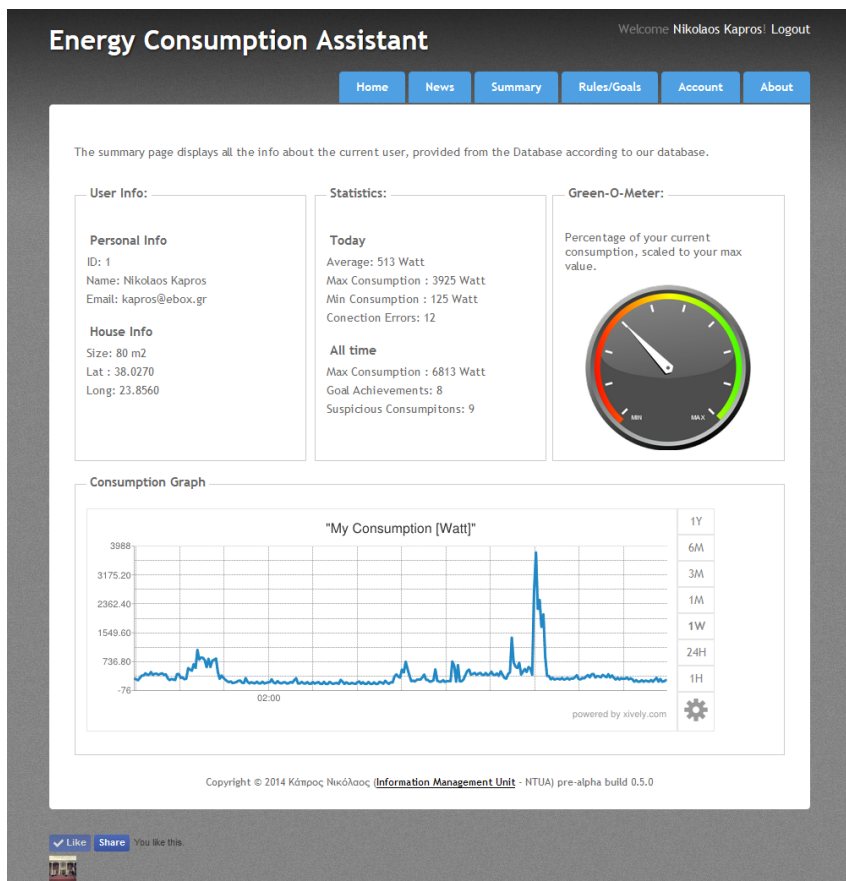
```

5.3 Διεπαφή ιστού

Η διεπαφή ιστού αναπτύχθηκε με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού PHP και του προτύπου HTML και αποτελεί μία εφαρμογή ιστού (web application) που φιλοξενείται σε έναν διακομιστή διαδικτύου ο οποίος μπορεί να προσπελαστεί από την διεύθυνση <http://smarteca.tk>. Σκοπός της διεπαφής είναι να παρέχει τρεις βασικές λειτουργίες:

- Την παρουσίαση των ιστορικών δεδομένων και άλλων δεδομένων ενδιαφέροντος από την βάση γνώσης
- Την παροχή της δυνατότητας στον χρήστη να επιλέγει σε ποιες περιπτώσεις θέλει να ειδοποιείται και να θέτει στόχους
- Την αρχική είσοδο όλων των απαραίτητων δεδομένων για την παραγωγή σωστών σύνθετων συμβάντων αλλά και τη συσχέτιση των δεδομένων από τις διάφορες πηγές με τον εκάστοτε χρήστη που αναφέρονται.

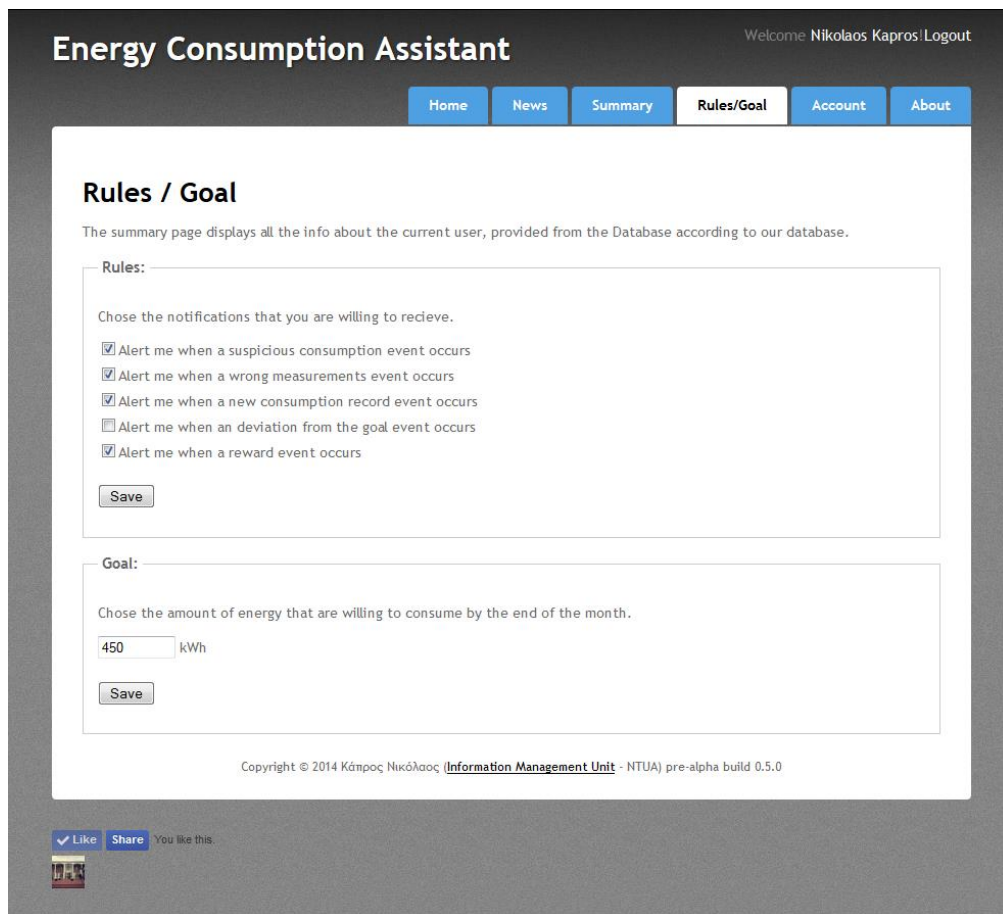
Η παρουσίαση των δεδομένων γίνεται μέσω της καρτέλας που παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 5-5). Η καρτέλα έχει τέσσερα βασικά στοιχεία στα οποία παρουσιάζονται διαφορετικά δεδομένα και με διαφορετικό τρόπο. Το πρώτο στοιχείο παρουσιάζει δεδομένα που αφορούν τον χρήστη (τον αύξοντα αριθμό του, όνομα, ηλεκτρονική διεύθυνση) καθώς και στοιχεία για την εγκατάσταση στην οποία γίνονται οι μετρήσεις (τοποθεσία, μέγεθος) σε μορφή λίστας.



Εικόνα 5-5 Καρτέλα παρουσίασης δεδομένων στη διεπαφή ιστού

Στο δεύτερο στοιχείο παρουσιάζονται στατιστικά μετρήσεων και συμβάντων από την λειτουργία του προγράμματος. Τα στατιστικά αφορούν είτε μετρήσεις που έγιναν στη διάρκεια της τρέχουσας ημέρας (μέση κατανάλωση ημέρας, μέγιστη κατανάλωση ημέρας, ελάχιστη κατανάλωση ημέρας) είτε μετρήσεις που γίνεται από την εκκίνηση του προγράμματος / εγγραφή του χρήστη (Ρεκόρ κατανάλωσης, συνολικές επιτεύξεις στόχου, συνολικές απρόσμενες καταναλώσεις που παρατηρήθηκαν). Στο τρίτο στοιχείο παρουσιάζεται η τρέχουσα κατανάλωση στην μορφή που θα την αναπαριστούσε και ένας αναλογικός μετρητής με κλίμακα από το μηδέν μέχρι τη μέγιστη κατανάλωση που έχει παρατηρηθεί ποτέ στον συγκεκριμένο χρήστη. Τέλος, στο τέταρτο στοιχείο παρουσιάζεται ένα γράφημα της κατανάλωσης, σε σχέση με τον χρόνο. Ο χρήστης έχει την επιλογή να μεταβάλλει το χρονικό διάστημα για το οποίο δημιουργείται το γράφημα. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας το γράφημα λαμβάνεται από την υπηρεσία Xively η οποία μας παρέχει και τα δεδομένα κατανάλωσης, όμως θα μπορούσε να δημιουργηθεί και μέσω της τοπικής βάσης γνώσης που αναπτύξαμε με κατάλληλα εργαλεία. Η ανάπτυξη όμως αυτή δεν θεωρήθηκε σκόπιμη από την στιγμή που δεν αποτελεί κύριο αντικείμενο της εργασίας.

Οι επιλογές στον χρήστη δίνονται μέσω μια άλλης καρτέλας η οποία παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5-6*. Οι επιλογές που παρέχει στον χρήστη είναι δύο: να διαλέγει σε ποιες περιπτώσεις θέλει να ενημερώνεται μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου για την παραγωγή ενός σύνθετου συμβάντος από τα σενάρια που παρουσιάζονται στην 5.7.2 και να θέτει ο ίδιος τον στόχο που επιθυμεί για την συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά τον τρέχοντα μήνα.



Εικόνα 5-6 Καρτέλα επιλογών στη διεπαφή ιστού

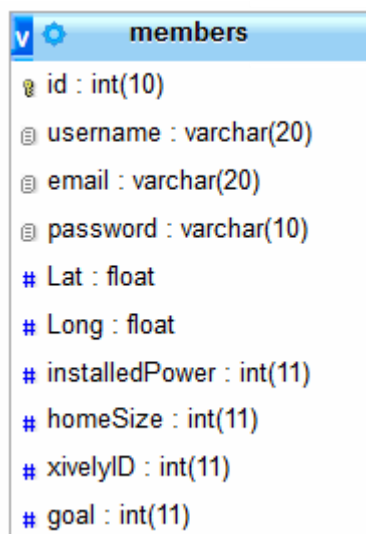
Οι συσχετίσεις και όλα τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάζεται να αποθηκευτούν στην βάση γνώσης γίνονται κατά την αρχική εγγραφή του χρήστη. Ο χρήστης δηλώνει τα παρακάτω στοιχεία για την αρχικοποίηση της βάσης δεδομένων:

- Όνομα
- Διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (email)
- Τοποθεσία οικίας/μετρητή (γεωγραφικές συντεταγμένες)
- Συνολική ισχύς εγκατάσταση οικίας
- Τετραγωνικά οικίας
- Αναγνωριστικό λογαριασμού στο Xively
- Στόχος κατανάλωσης

5.4 Βάση γνώσης

Η βάση γνώσης δημιουργήθηκε με το σύστημα βάσεων δεδομένων ανοικτού κώδικα MySQL. Η ανάγνωση και εγγραφή σε αυτήν γίνεται μέσω της διεπαφής ιστού και μέσω της μηχανής επεξεργασίας συμβάντων. Η δομή της για τις ανάγκες της παρούσας υλοποίησης είναι πάρα πολύ απλή και περιέχει

ουσιαστικά ένα πίνακα από χρήστες με τις απαραίτητες τιμές των μεταβλητών που τους αφορούν (Εικόνα 5-7).



Εικόνα 5-7 Δομή πίνακα βάσης γνώσης

5.5 Κανάλια και ροές συμβάντων

Η μεταφορά των συμβάντων που προέρχονται από τους παραπάνω παραγωγούς γίνεται και στις τρεις περιπτώσεις μέσω του διαδικτύου δηλαδή με χρήση του πρωτοκόλλου TCP/IP και συγκεκριμένα ως HTTP request τα οποία λαμβάνονται από το κεντρικό σύστημα επεξεργασίας συμβάντων που υλοποιήσαμε. Πολύ σημαντική δουλειά κατά την μεταφορά αυτή κάνουν οι προσαρμογείς συμβάντων, οι οποίοι αποτελούν λογισμικό που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της παρούσας υλοποίησης και έχουν ως στόχο αφού λάβουν τα εισερχόμενα συμβάντα να τα μετατρέψουν σε μορφή τέτοια ώστε να είναι αναγνωρίσιμα από την μηχανή επεξεργασίας συμβάντων, αλλά ταυτόχρονα να διατηρηθούν οι χρήσιμες πληροφορίες τους και να εμπλουτιστούν με νέες. Η υλοποίηση αυτή έγινε με χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Visual Studio 2013 της Microsoft σε γλώσσα C#. Αποτελούνται ουσιαστικά από μία υπηρεσία που τρέχει στα Windows και δέχεται εισερχόμενα HTTP POST requests που μεταφέρουν το συμβάν και την υπηρεσία σε μορφή Json. Στη συνέχεια αναλαμβάνουν να αναλύσουν το αρχείο αυτό, να εξάγουν τις πληροφορίες του και να δημιουργήσουν αντικείμενα (objects) κατάλληλου τύπου τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν από την μηχανή του Esper.

5.6 Παραλήπτες συμβάντων

Ο παραλήπτης των συμβάντων στην παρούσα υλοποίηση είναι σε όλες τις περιπτώσεις μία συνάρτηση που αναπτύχθηκε και πάλι στο προγραμματιστικό περιβάλλον Visual Studio και αναλαμβάνει να παραλάβει τα τελικά σύνθετα συμβάντα που παράγει η μηχανή επεξεργασίας συμβάντων, να ελέγξει αν ο χρήστης έχει επιλέξει να ενημερώνεται γι' αυτόν τον τύπο συμβάντων και αν ναι, στη συνέχεια να προωθήσει με email στον ενδιαφερόμενο το συμβάν.

5.7 Σενάρια για οικιακούς καταναλωτές

Η πρώτη κατηγορία σεναρίων αφορά τους οικιακούς καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Για την περίπτωση αυτή συνδυάζονται τα συμβάντα από τις δύο διαφορετικές πηγές με στόχο την ειδοποίηση του χρήστη, είτε ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, είτε άμεσα, για την ικανοποίηση των σεναρίων-προτύπων που έχουν υλοποιηθεί. Οι ειδοποιήσεις αυτές έχουν είτε αποθαρρυντικό είτε ενθαρρυντικό χαρακτήρα σχετικά με την ενεργειακή του συμπεριφορά.

Για τις ανάγκες των παραπάνω υλοποιήσεων έχουν γίνει ορισμένες παραδοχές απλούστευσης που δεν βλάπτουν την γενικότητα αλλά έχουν ως σκοπό να αποφευχθεί η άσκοπη και χρονοβόρα αποσφαλμάτωση λεπτομερειών υλοποίησης.

5.7.1 Παραδοχές περίπτωσης

Για της ανάγκες της υλοποίησης θεωρούμε πως κάθε οικιακός καταναλωτής έχει τον δικό του μοναδικό μετρητή, το δικό του μοναδικό κινητό τηλέφωνο και αποτελεί τον μοναδικό κάτοικο του οικήματος. Με τις ακόλουθες παραδοχές καταφέρνουμε να αποφύγουμε τα εξής:

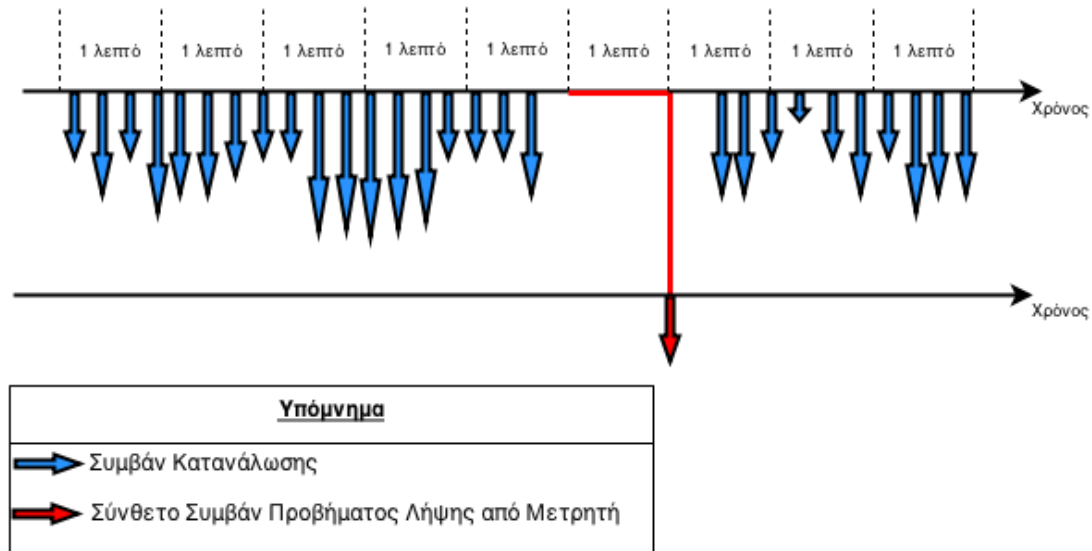
- Θεωρούμε πως τα εισερχόμενα συμβάντα που αναφέρονται στον προς εξέταση χρήστη εισέρχονται από το ίδιο κανάλι στους επεξεργαστές συμβάντων αποφεύγοντας έτσι την ενασχόληση με τον διαχωρισμό των συμβάντων ανά χρήστη κάτι το οποίο δεν έχει ιδιαίτερη σημασία στα σενάρια ενεργειακής συμπεριφοράς που εξετάζουμε αλλά θεωρείται λεπτομέρεια υλοποίησης.
- Τις άσκοπες λογικές εκφράσεις στις περιπτώσεις όπου θα είχαμε δύο ή περισσότερους χρήστες να κατοικούν στο ίδιο σπίτι, για παράδειγμα να λείπει ΚΑΙ ο ένας ΚΑΙ ο άλλος, οι οποίες επίσης δεν αποτελούν αντικείμενο εστίασης της παρούσας εργασίας και δεν θεωρείται σκόπιμη η ενασχόληση με την συγκεκριμένη λεπτομέρεια υλοποίησης.

5.7.2 Πρότυπα ταυτοποίησης συμβάντων

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα πρότυπα που δημιουργήθηκαν. Σκοπός της ανάπτυξης αυτών των προτύπων είναι να γίνει κατανοητή η λογική της ανάπτυξης προτύπων, μέσα από απλά σενάρια. Η προσπάθεια που έχει γίνει εστιάζει στη χρήση απλών προτύπων ώστε να γίνει εύκολα κατανοητή τόσο η λειτουργία τους όσο και η διαδικασία δημιουργίας τους, αλλά ταυτόχρονα έχει γίνει μία προσπάθεια παρουσίασης σεναρίων που χρησιμοποιούν όσο το δυνατόν περισσότερες δυνατότητες μας δίνει η επεξεργασία σύνθετων συμβάντων.

Πρότυπο 1^ο : Πρόβλημα λήψης από μετρητή

Το πρότυπο αυτό έχει ως στόχο την αποσφαλμάτωση προβλημάτων λήψης των συμβάντων κατανάλωσης. Μπορεί αρχικά να φαίνεται απλό και μικρότερης σημασίας, ωστόσο η δημιουργία ενός συμβάντος που ενημερώνει ότι δεν λαμβάνονται συμβάντα μετρήσεων για ένα χρονικό διάστημα είναι απαραίτητη και πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στα πρότυπα υψηλότερου επιπέδου, ώστε να παράγονται σωστά αποτελέσματα.



Εικόνα 5-8 Πρότυπο προβλήματος λήψης από μετρητή

Όπως φαίνεται από την αναπαράσταση *Εικόνα 5-8* με την πάροδο του χρόνου εισέρχονται στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων συμβάντα κατανάλωσης. Για τις ανάγκες του παρόντος σεναρίου το παράθυρο παρακολούθησης έχει οριστεί εξ' αρχής να διαρκεί ένα λεπτό και με τη λήξη του παραθύρου να δημιουργείται απ' ευθείας νέο παράθυρο ίδιας διάρκειας (κυλιόμενο, χωρίς αλληλοκάλυψη). Στο τυχαίο παράδειγμα που αναλύεται παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια ενός λεπτού, το οποίο είναι σημειωμένο με κόκκινο χρώμα, δεν έγινε λήψη κανενός συμβάντος κατανάλωσης. Αυτό οδηγεί στην παραγωγή ενός σύνθετου συμβάντος προβλήματος λήψης από μετρητή το οποίο παράγεται ακριβώς τη στιγμή που τερματίζεται το παράθυρο παρακολούθησης.

Η έκφραση του σεναρίου σε γλώσσα EPL ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί από την μηχανή του Esper παρουσιάζεται παρακάτω:

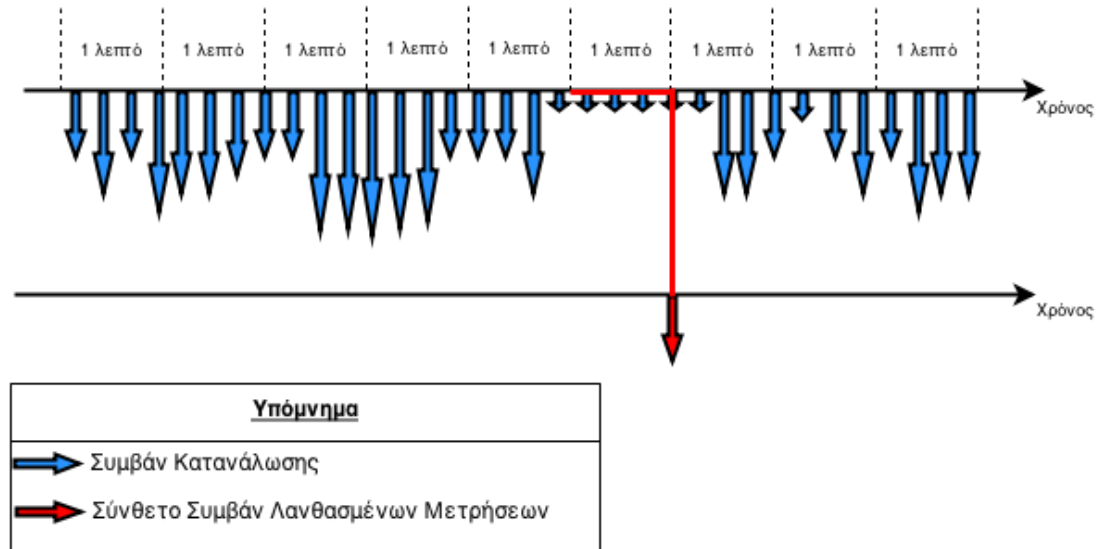
“

```
select count(*) from Consumption.win:time(1 min) having count(*) < 1
```

”

Πρότυπο 2^ο : Αναγνώριση λανθασμένων μετρήσεων

Το πρότυπο αυτό μοιάζει αρκετά με το πρώτο και ως στόχο τον εντοπισμό λανθασμένων μετρήσεων από τον μετρητή. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η διασφάλιση ότι τα δεδομένα κατανάλωσης που λαμβάνονται είναι σωστά και λογικά είναι απαραίτητη πριν από την συνέχεια σε οποιοδήποτε άλλο στάδιο υπολογισμών.



Εικόνα 5-9 Πρότυπο λανθασμένων μετρήσεων

Όπως φαίνεται από την αναπαράσταση *Εικόνα 5-9* με την πάροδο του χρόνου εισέρχονται στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων συμβάντα κατανάλωσης. Για τις ανάγκες του παρόντος σεναρίου το παράθυρο παρακολούθησης έχει οριστεί και πάλι εξ' αρχής να διαρκεί ένα λεπτό και με τη λήξη του παραθύρου να δημιουργείται απ' ευθείας νέο παράθυρο ίδιας διάρκειας (κυλιόμενο, χωρίς αλληλοκάλυψη). Στο τυχαίο παράδειγμα που αναλύεται παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια ενός λεπτού, το οποίο είναι σημειωμένο με κόκκινο χρώμα, έγινε λήψη συμβάντων κατανάλωσης με μηδενική τιμή κάτι το οποίο δεν είναι φυσιολογικό καθώς σε κάθε σπίτι υπάρχει σίγουρα ένα ελάχιστο φορτίο που καταναλώνεται από συσκευές ακόμα και σε κατάσταση αδράνειας. Αυτό οδηγεί στην παραγωγή ενός σύνθετου συμβάντος λανθασμένων μετρήσεων το οποίο παράγεται ακριβώς τη στιγμή που τερματίζεται το παράθυρο παρακολούθησης.

Η έκφραση του προτύπου σε γλώσσα EPL ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί από την μηχανή του Esper παρουσιάζεται παρακάτω:

“

```
“select avg(Value) from ConsumptionEvent.win:time(1 min) having  
avg(Value) < ” + BaseLoad
```

”

Η δήλωση αυτή λέει στη μηχανή να επιλέξει την μέση τιμή (**avg(Value)**) από τα συμβάντα κατανάλωσης (*Thesis.ConsumptionEvent*) που έχουν μέση τιμή μικρότερη από την τιμή ελαχίστου φορτίου (*BaseLoad*) στο παράθυρο ενός λεπτού (**time(1 min)**). Όπως παρατηρείται η τιμή ελαχίστου φορτίου αποτελεί εξωτερική

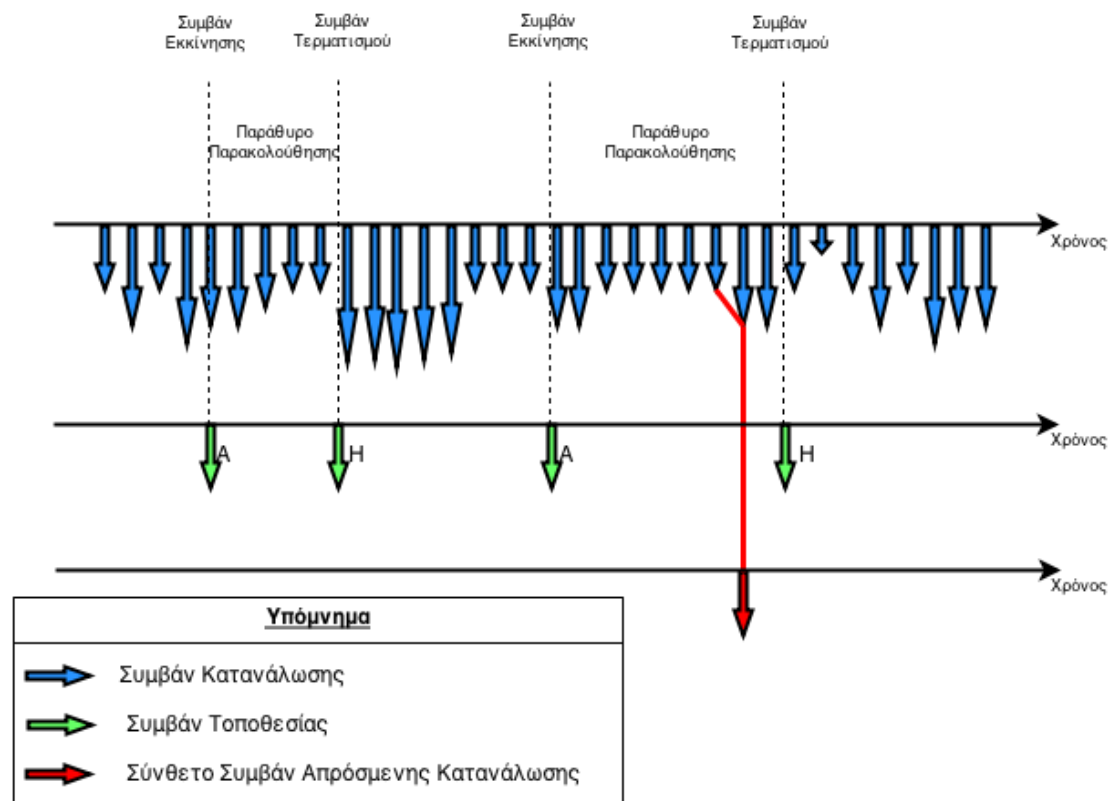
μεταβλητή που προέρχεται από μία βάση δεδομένων (“βάση γνώσης”) και γι’ αυτό το λόγο προστίθεται κατ’ αυτόν τον τρόπο στη συμβολοσειρά (string) της δήλωσης.

Όπως γίνεται αντιληπτό, παρόλο που το σενάριο μοιάζει πολύ με το πρώτο, για την υλοποίησή του απαιτείται διαφορετική προσέγγιση. Έτσι, η αναφορά του κρίθηκε σημαντική τόσο για την παρουσίαση του τρόπου αυτής της προσέγγισης όσο και για να τονιστεί πως φαινομενικά εύκολα σενάριο απαιτούν την άριστη κατανόηση των ιδιαιτεροτήτων και του τρόπου λειτουργίας της μηχανής.

Με την ίδια ακριβώς λογική θα μπορούσαν να εντοπιστούν και λανθασμένες μετρήσεις κατανάλωσης θέτοντας ανώτατα όρια. Για παράδειγμα, σε ένα σπίτι δεν θα μπορούσε να παρατηρηθεί κατανάλωση που να ξεπερνά την αντίστοιχη τιμή της μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος των συσκευών του σπιτιού.

Πρότυπο 3^ο : Αδικαιολόγητη αύξηση κατανάλωσης κατά την απουσία

Το πρότυπο αυτό έχει σκοπό τη δημιουργία ενός συμβάντος στην περίπτωση που κάποιος χρήστης βρίσκεται εκτός της οικίας του και παρατηρείται αύξηση της τιμής της κατανάλωσης. Ο κανόνας αυτός υλοποιήθηκε με τη λογική ότι συσκευές όπως ο θερμοσίφωνας και τα A/C εάν έχουν μείνει σε κατάσταση λειτουργίας θα ενεργοποιηθούν μετά από κάποια λεπτά και θα υπάρξει αύξηση της παρατηρούμενης κατανάλωσης.



Εικόνα 5-10 Πρότυπο αδικαιολόγητης αύξησης κατανάλωσης

Όπως φαίνεται από την αναπαράσταση της Εικόνα 5-104 με την πάροδο του χρόνου εισέρχονται στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων συμβάντα από δύο ροές, της ροής των συμβάντων κατανάλωσης και της ροής των συμβάντων

τοποθεσίας. Για τις ανάγκες του παρόντος σεναρίου το παράθυρο παρακολούθησης δημιουργείται με την λήψη ενός συμβάντος τοποθεσίας με την πληροφορία ότι ο χρήστης απουσιάζει και τερματίζει με τη λήψη ενός συμβάντος τοποθεσίας πάλι, με την πληροφορία ότι ο χρήστης επέστρεψε σπίτι. Έτσι λοιπόν στο τυχαίο παράδειγμα που αναλύεται παραπάνω κατά το πρώτο διάστημα απουσίας του χρήστη δεν παρατηρήθηκε αύξηση στην μετρούμενη κατανάλωση, έτσι δεν υπήρξε η δημιουργία κάποιου σύνθετου συμβάντος. Κατά το δεύτερο διάστημα απουσίας όμως παρατηρείται αύξηση στην μετρούμενη κατανάλωση στα δύο συμβάντα που υποδεικνύει η κόκκινη γραμμή με αποτέλεσμα να έχουμε την άμεση παραγωγή του σύνθετου συμβάντος απρόσμενης κατανάλωσης.

Η έκφραση του προτύπου σε γλώσσα EPL ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί από την μηχανή του Esper παρουσιάζεται παρακάτω:

“

```
create context isAway start Location (isHome=false) end Location  
(isHome=true);
```

```
context isAway select * from pattern [every a=Consumption ->  
b=Consumption(value > a.value)];
```

”

Με την χρήση της εντολής “context” φτιάχνουμε το παράθυρο παρακολούθησης και του δίνουμε την ονομασία “isAway”. Το παράθυρο αυτό ξεκινάει (**start**) όταν έρθει ένα συμβάν τοποθεσίας όπου περιέχει στην παράμετρο του isHome την τιμή **false** και τερματίζει όταν έρθει ένα συμβάν τοποθεσίας όπου περιέχει στην παράμετρο του isHome την τιμή **true**. Στην συνέχεια λέμε στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων να επιλέξει τα συμβάντα κατανάλωσης από το παράθυρο αυτό τα οποία έχουν τιμή κατανάλωσης μεγαλύτερη από την τιμή κατανάλωσης του συμβάντος που προηγείται.

Πρότυπο 4^ο : Επιβράβευση χρήση

Το πρότυπο αυτό έχει ως στόχο την παραγωγή ενός συμβάντος επιβράβευσης στην περίπτωση που ο χρήστης βρίσκεται αρκετές ώρες στο σπίτι του μέσα στην ημέρα και η ημερήσια κατανάλωση του είναι χαμηλότερη από την μέση παρατηρηθείσα ημερήσια κατανάλωση που λαμβάνεται από τη βάση γνώσης.

Για την δημιουργία του σύνθετου αυτού συμβάντος απαιτείται πρώτα η παραγωγή του Σύνθετου Συμβάντος Χρόνου Απουσίας καθώς και του Σύνθετου Συμβάντος Ημερήσιας Κατανάλωσης. Έτσι το Σύνθετο Συμβάν Επιβράβευσης αποτελεί σύνθετο συμβάν δευτέρου επιπέδου (Εικόνα 5-11). Με το σενάριο αυτό γίνεται σαφής η κατανόηση της δυνατότητας που παρέχει αυτή η προσέγγιση. Η παραγωγή του σύνθετου συμβάντος χρόνου απουσίας που χρησιμοποιείται για εδώ θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη και για άλλα σενάρια είτε του ίδιου είτε ακόμα μεγαλύτερου επιπέδου.

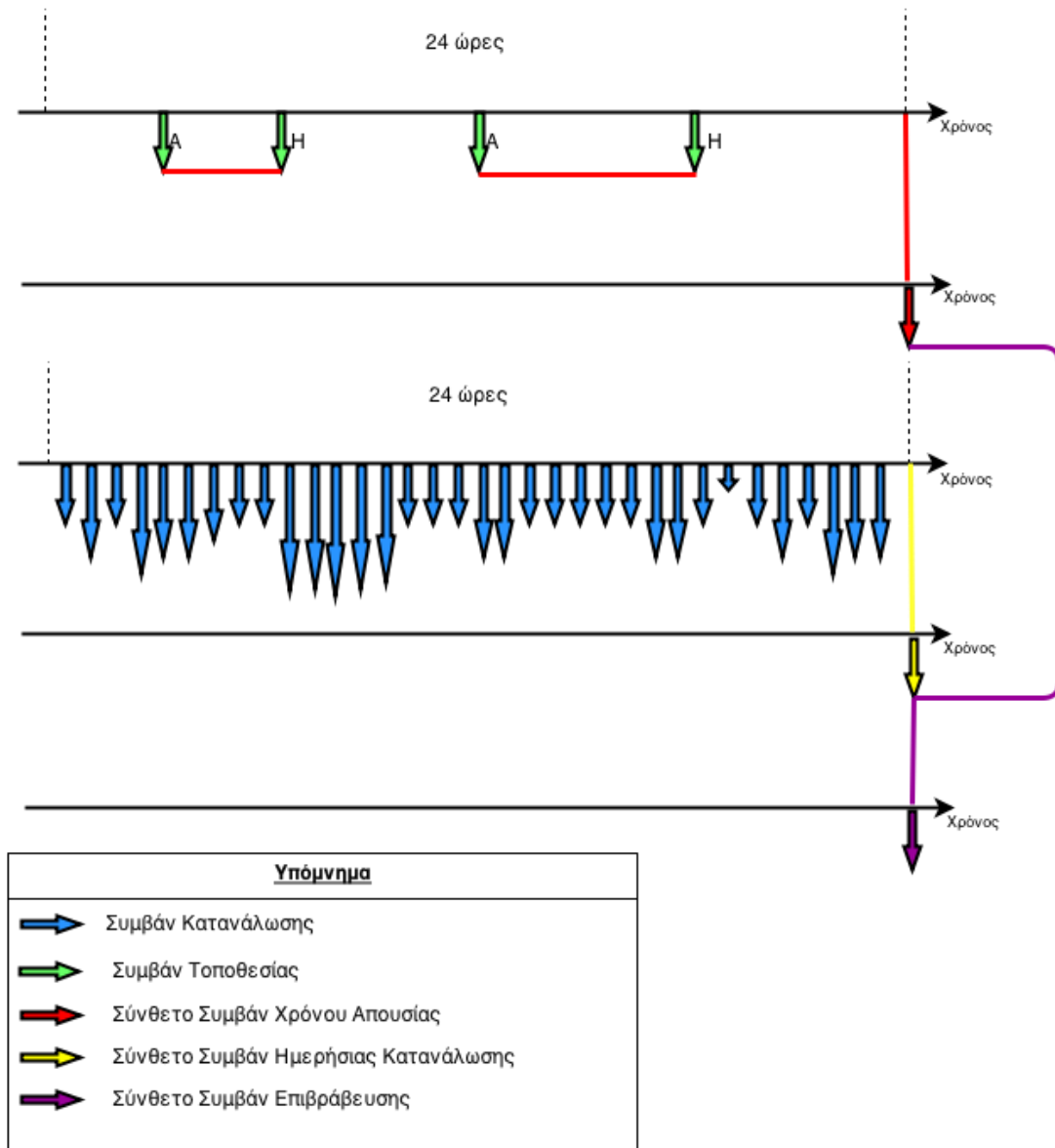


Εικόνα 5-11 Πυραμίδα Σύνθετων Συμβάντων

Όπως φαίνεται από την αναπαράσταση της *Εικόνα 5-12* με την πάροδο του χρόνου εισέρχονται στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων συμβάντα από δύο ροές, τη ροή συμβάντων τοποθεσίας και τη ροή συμβάντων κατανάλωσης. Για τις ανάγκες του παρόντος σεναρίου το παράθυρο παρακολούθησης των συμβάντων τοποθεσίας έχει οριστεί εξ' αρχής να διαρκεί 24 ώρες. Στο διάστημα αυτό η μηχανή ανιχνεύει την διαδοχική λήψη συμβάντων τοποθεσίας με την πληροφορία “εκτός” σπιτιού και “εντός” σπιτιού και υπολογίζει το άθροισμα της διαφοράς σε λεπτά που έχουν οι χρόνοι πραγματοποίησης αυτών των δύο διαδοχικών συμβάντων. Στο παρακάτω παράδειγμα υπάρχουν δύο τέτοια διαστήματα που είναι σημειωμένα με κόκκινη γραμμή. Κατά το κλείσιμο του παραθύρου παράγεται ένα Σύνθετο Συμβάν Χρόνου Απουσίας που περιέχει την τιμή του συνολικού χρόνου απουσίας του χρήστη.

Για τα συμβάντα τοποθεσίας, το παράθυρο παρακολούθησης έχει οριστεί να διαρκεί και πάλι 24 ώρες και σύμφωνα με τον κανόνα με το κλείσιμο που παραθύρου υπολογίζεται το άθροισμα των τιμών της κατανάλωσης για όλο το διάστημα και παράγεται το Σύνθετο Συμβάν Ημερήσιας Κατανάλωσης που περιέχει την τιμή της συνολικής ημερήσιας κατανάλωσης.

Τέλος για την παραγωγή του Σύνθετου Συμβάντος Επιβράβευσης παρακολουθούνται οι δύο ροές σύνθετων συμβάντων πρώτου επιπέδου, του Χρόνου Απουσίας και της Ημερήσιας Κατανάλωσης. Από την πρώτη ροή επιλέγονται τα Σύνθετα Συμβάντα Χρόνου Απουσίας όπου η τιμή τους είναι μικρότερη από την τιμή που έχουμε ορίσει ως όριο για να κριθεί αν κάποιος λείπει παραπάνω ώρες από το σπίτι του απ' το φυσιολογικό (η περαιτέρω ανάλυση της τιμή αυτής δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας και δεν κρίθηκε σκόπιμο να αναλυθεί). Από την δεύτερη ροή επιλέγονται τα Σύνθετα Συμβάντα Ημερήσιας Κατανάλωσης όπου η τιμή τους είναι μικρότερη από την μέση παρατηρηθείσα ημερήσια κατανάλωση που λαμβάνεται από τη βάση γνώσης. Αν κατά το παράθυρο παρακολούθησης υπάρχουν συμβάντα και από τις δύο ροές που ικανοποιούν τους περιορισμούς τότε παράγεται το Σύνθετο Συμβάν Επιβράβευσης.



Εικόνα 5-12 Πρότυπο επιβράβευσης χρήστη

Η έκφραση του προτύπου σε γλώσσα EPL ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί από την μηχανή του Esper παρουσιάζεται παρακάτω:

“

```
“insert into totalAwayTimeStream select sum(b.Time-a.Time) as total from
pattern [every a=Location(isHome="No") -> (b=Location(isHome="Yes") and not
a=Location(isHome="No"))];
```

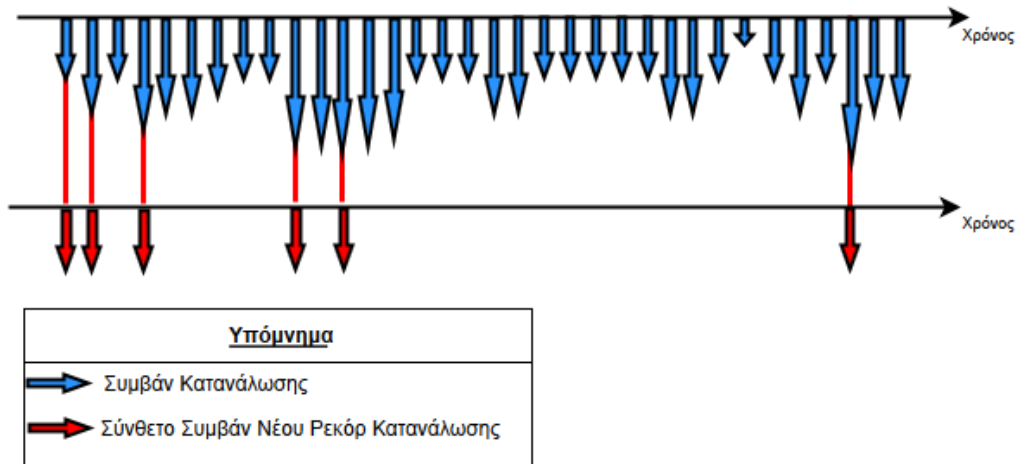
```
insert into dailyConsumptionStream select sum(value) as total from
Consumption.win:time_batch(30 sec);
```

```
select * from totalAwayTimeStream.std:lastevent() as O,
dailyConsumptionStream.std:lastevent() as C where totalAwayTimeStream.total
<” + maxAcceptableAwayTime + “ and dailyConsumptionStream.total < ” +
averageDailyConsumption
```

”

Πρότυπο 5ο : Νέο ρεκόρ κατανάλωσης

Το πρότυπο αυτό έχει ως στόχο την δημιουργία ενός Σύνθετου Συμβάντος Νέου Ρεκόρ Κατανάλωσης στην περίπτωση που παρατηρείται για πρώτη φορά τόσο υψηλή στιγμιαία κατανάλωση. Η μέχρι τώρα μέγιστη τιμή με την οποία γίνεται η σύγκριση λαμβάνεται από τη βάση γνώσης.



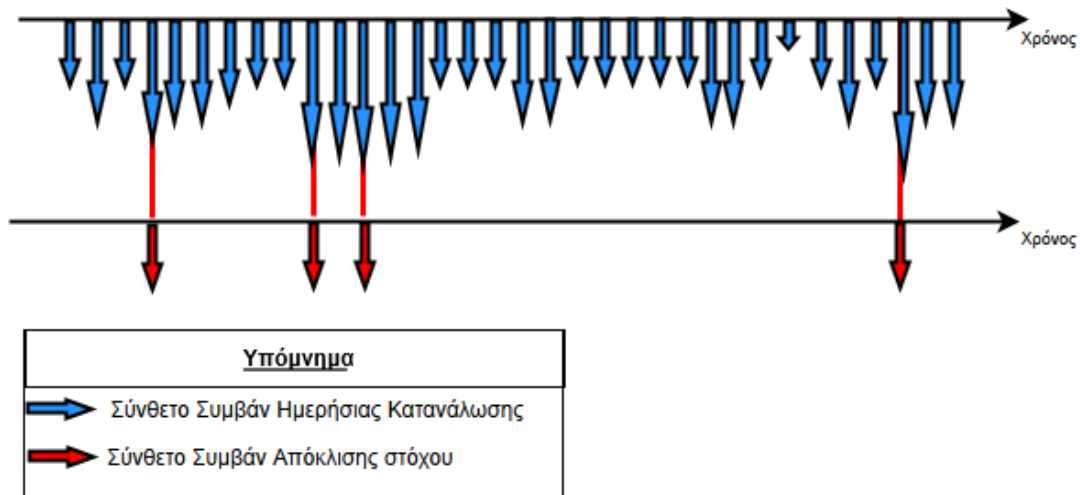
Εικόνα 5-13 Πρότυπο νέου ρεκόρ κατανάλωσης

Όπως φαίνεται από την αναπαράσταση της *Εικόνα 5-13* με την πάροδο του χρόνου εισέρχονται στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων συμβάντα κατανάλωσης. Για κάθε νέο συμβάν η μηχανή εξετάζει αν η τιμή της κατανάλωσης που περιέχει είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη μέγιστη τιμή που έχει παρατηρηθεί. Η προηγούμενη μέγιστη τιμή λαμβάνεται από τη βάση γνώσης. Σε περίπτωση που η συνθήκη ικανοποιηθεί η μηχανή παράγει ένα Σύνθετο Συμβάν Νέου Ρεκόρ Κατανάλωσης όπου περιέχει την τιμή της νέας μέγιστης τιμής. Η νέα αυτή τιμή αποθηκεύεται με τη σειρά της στη βάση γνώσης ώστε να χρησιμοποιηθεί για τις μελλοντικές συγκρίσεις.

```
“ insert into dailyConsumption select sum(value) from  
Consumption.win:time_batch(24 hours);  
  
select max(*) from dailyConsumption; ”
```

Πρότυπο 6ο : Αναγνώριση απόκλισης από τον στόχο

Το πρότυπο αυτό έχει ως στόχο την δημιουργία ενός Σύνθετου Συμβάντος Απόκλισης Στόχου σε περίπτωση που ο χρήστης τείνει να αποκλίνει από τον στόχο που έχει θέσει για την κατανάλωση του στο τέλος του μήνα. Η παραγωγή του συμβάντος συμβαίνει όταν η μέχρι τώρα κατανάλωση του υποδηλώνει πως αν συνεχίσει να καταναλώνει με τον ίδιο ρυθμό θα επιφέρει απόκλιση από τον στόχο του.



Εικόνα 5-14 Πρότυπο απόκλισης στόχου

Όπως φαίνεται από την αναπαράσταση της *Εικόνα 5-13* με την πάροδο του χρόνου εισέρχονται στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων Σύνθετα Συμβάντα Ημερήσιας Κατανάλωσης. Για κάθε νέο συμβάν η μηχανή εξετάζει αν η τιμή του αθροίσματος των καταναλώσεων που έχουν ληφθεί είναι μεγαλύτερη από την ακόλουθη έκφραση

$$\frac{\Sigma(\text{τιμών_κατανάλωσης}) * \text{διάρκεια_τρέχοντος_μήνα}}{\text{διάρκεια_αρχής_μήνα_ως_σήμερα}} > \text{στόχος_κατανάλωσης}$$

η οποία ανάγει αναλογικά την τιμή του αθροίσματος στην διάρκεια του μήνα. Ο υπολογισμός των τιμών `διάρκεια_τρέχοντος_μήνα` και `διάρκεια_αρχής_μήνα_ως_σήμερα` μπορεί να γίνει με τη χρήση μαθηματικών συναρτήσεων και μεθόδων αποκοπής και άθροισης συμβολοσειρών που παρέχει η γλώσσα προγραμματισμού.

Η έκφραση του προτύπου σε γλώσσα EPL ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί από την μηχανή του Esper παρουσιάζεται παρακάτω:

```

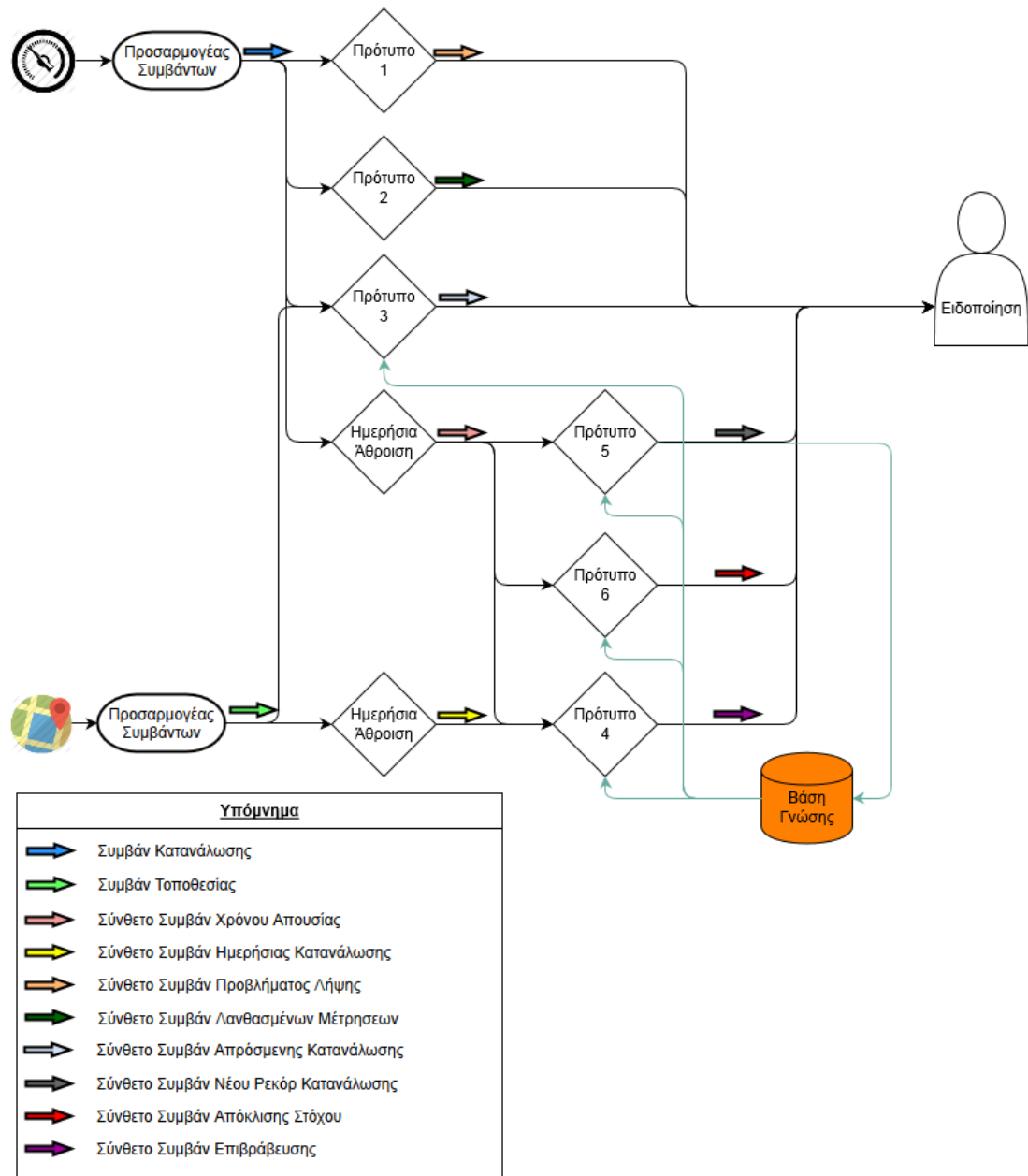
“ insert into dailyConsumption select sum(value) from
  Consumption.win:time_batch(24 hours);

select sum(*) from dailyConsumption having sum(*) > " + goal +
  "*" (timestamp - (timestamp.substring(1,
6)).add('00T00:00:00.000000Z')) / (timestamp.substring(1,
6).add('00T00:00:00.000000Z'))+ -(timestamp.substring(1,
6)).add('30T00:00:00.000000Z')) ;
”

```

5.7.3 Ανάλυση ροής συμβάντων

Στην *Εικόνα 5-15* παρουσιάζεται η αναλυτική ροή των συμβάντων στο σύστημα που ικανοποιεί όλα τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν και αναφέρθηκαν στην *ενότητα 5.4*.



Εικόνα 5-15 Αρχιτεκτονική 1^{ης} περίπτωσης

5.8 Σενάρια για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται σενάρια που έχουν ως στόχο την παρακολούθηση της παραγωγής φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων και την ενημέρωση του χρήστη σε περιπτώσεις που η τιμή της παραγόμενης ισχύος του παρουσιάζει ανορθολογικές συμπεριφορές.









Η αρχιτεκτονική του συστήματος παραμένει η ίδια, ωστόσο στην περίπτωση αυτή δεν λαμβάνονται υπόψιν δεδομένα τοποθεσίας. Και πάλι μέσω της διεπαφής ιστού ο χρήστης αρχικοποιεί τη βάση γνώσης για την σωστή λειτουργία των προτύπων και μπορεί να δει ιστορικά στοιχεία της παραγωγής του (διάγραμμα), την τρέχουσα παραγωγή του (εικόνα τύπου μετρητή) και διάφορα στατιστικά στοιχεία για τα σύνθετα συμβάντα που προκύπτουν. Οι επιλογές ειδοποίησης και στόχου στην διεπαφή ιστού είναι απενεργοποιημένες για φωτοβολταϊκούς χρήστες.

Για την παραγωγή των προτύπων εξετάστηκαν τα δεδομένα παραγωγής από μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 10kW στην περιοχή Περιστερίου, Αττικής. Από τα δεδομένα αυτά προέκυψε ότι οι έντονες μειώσεις στην παραγωγή ήταν πάντα αποτέλεσμα της αλλαγής των καιρικών καταστάσεων. Παρακάτω παρουσιάζεται η παραγωγή ανά ημέρα παραγωγή του εν λόγω φωτοβολταϊκού σταθμού για τον μήνα Μάρτιο του 2014 (Εικόνα 5-16). Στις ημέρες όπου η παραγωγή είναι πολύ μειωμένη (1^η, 3^η, 9^η, 24^η ημέρα του μήνα) όλη η μέρα ήταν βροχερή, ενώ στις ημέρες που η παραγωγή παρουσιάζει έντονα “δόντια” απότομης μείωσης υπήρξαν παροδικές επιδεινώσεις του καιρού, βροχές από ασθενείς μέχρι ισχυρές ή και έντονες συννεφίες.



Εικόνα 5-16 Παραγωγή φ/β σταθμού 10kW, Μαρ 2014

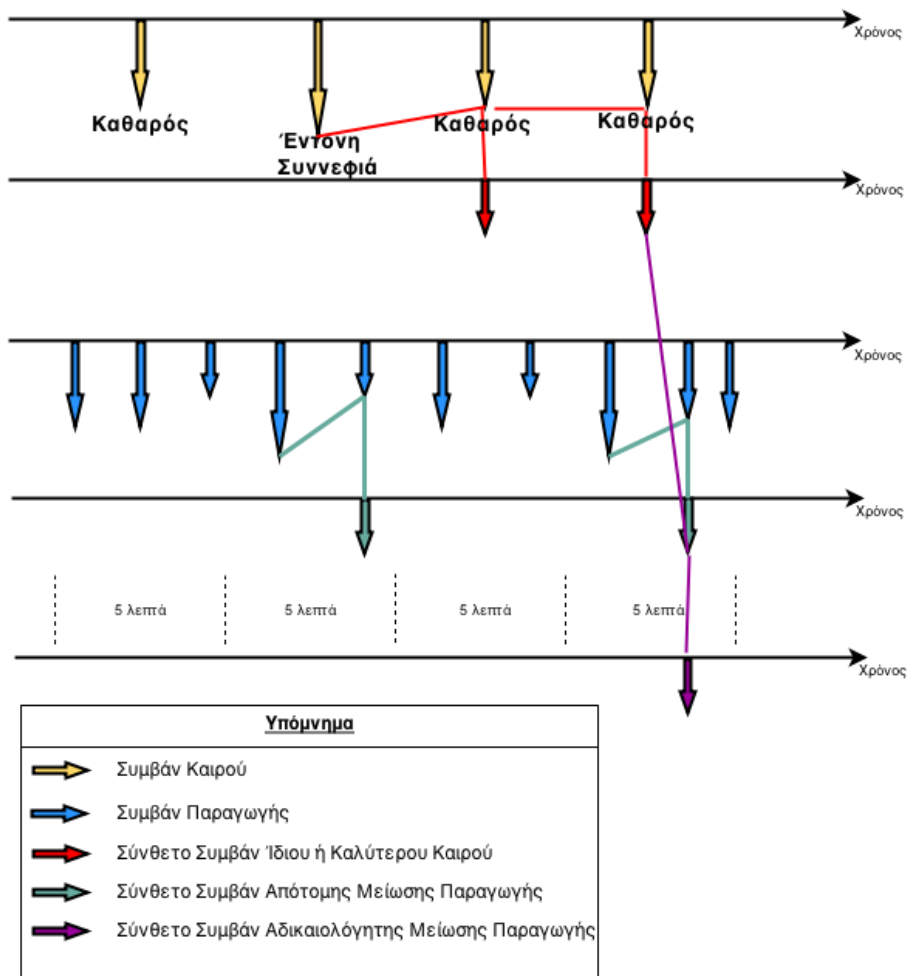
Για τις ανάγκες των προτύπων οι καταστάσεις του καιρού που μας δίνει η υπηρεσία wUnderground χωρίστηκαν σε κατηγορίες ανάλογα με το πόσο επιδεινώνουν την κατανάλωση. Η κατηγοριοποίηση έγινε με βάση το αποτέλεσμα που είχε η εμφάνιση της κάθε κατάστασης στην μείωση της παραγωγής του συγκεκριμένου φ/β σταθμού. Έτσι προκύπτει η παρακάτω κατηγοριοποίηση (Εικόνα 5-17), όπου τα 1,2,3 δείχνουν τον βαθμό στον οποίο τα παρακάτω οι παρακάτω συνθήκες βρέθηκε να επηρεάζουν την παραγωγή.

Clear	Scattered Clouds	Partly Cloudy	Mostly Cloudy	Overcast	Drizzle	Lighth Rain	Rain	Thunderstorm	Snow
									
1		2			3				

Εικόνα 5-17 Κατηγοριοποίηση καιρικών συνθηκών

Πρότυπο 1^ο : Αδικοιολόγητη μείωση της παραγωγής

Το πρότυπο αυτό έχει ως στόχο να αναγνωρίσει απότομες μειώσεις στην τιμή της μετρούμενης παραγωγής του φωτοβολταϊκού συστήματος οι οποίες δεν συνοδεύονται και από αντίστοιχη χειροτέρευση του καιρού. Με τον όρο χειροτέρευση εννοούμε για παράδειγμα την αλλαγή του καιρού από μία κατάσταση που ανήκει στην κατηγορία 1 σε μία κατάσταση που ανήκει στις κατηγορίες 2 ή 3.



Εικόνα 5-18 Πρότυπο αδικοιολόγητης μείωσης παραγωγής

Όπως προκύπτει από την αναπαράσταση της *Εικόνα 5-18* στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων εισέρχονται με την πάροδο του χρόνου συμβάντα καιρού και συμβάντα παραγωγής. Για τις ανάγκες του σεναρίου η μηχανή εξετάζει σε πρώτο στάδιο την αλλαγή ή όχι των καιρικών καταστάσεων. Στην περίπτωση που οι καιρικές καταστάσεις παραμένουν ίδιες ή γίνονται καλύτερες παράγεται ένα σύνθετο συμβάν ίδιου ή καλύτερου καιρού. Στην περίπτωση που η παραγωγή μειωθεί απότομα κατά 20% και πάνω τότε παράγεται ένα σύνθετο συμβάν απότομης μείωσης παραγωγής. Για τις ανάγκες του προτύπου εξετάζεται αν σε χρονικό διάστημα πέντε λεπτών έχει παρατηρηθεί και συμβάν απότομης μείωσης παραγωγής και συμβάν ίδιου ή καλύτερου καιρού. Στην περίπτωση αυτή παράγεται ένα σύνθετο συμβάν αδικαιολόγητης μείωσης της παραγωγής.

Η έκφραση του προτύπου σε γλώσσα EPL ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί από την μηχανή του Esper παρουσιάζεται παρακάτω:

“

```
insert into prodReduced select * from pattern [every
a=Production -> b=Production (value < a.value * 0,8) ];

insert into condChanged select * from pattern [every a=Conds
-> b=Conds (value <= a.value)];

create context Every5Minute start @now end after 5 minutes;

context Every5Minute select * from
prodReduced.std:lastervent() , condChanged.std:lastervent() ;
```

”

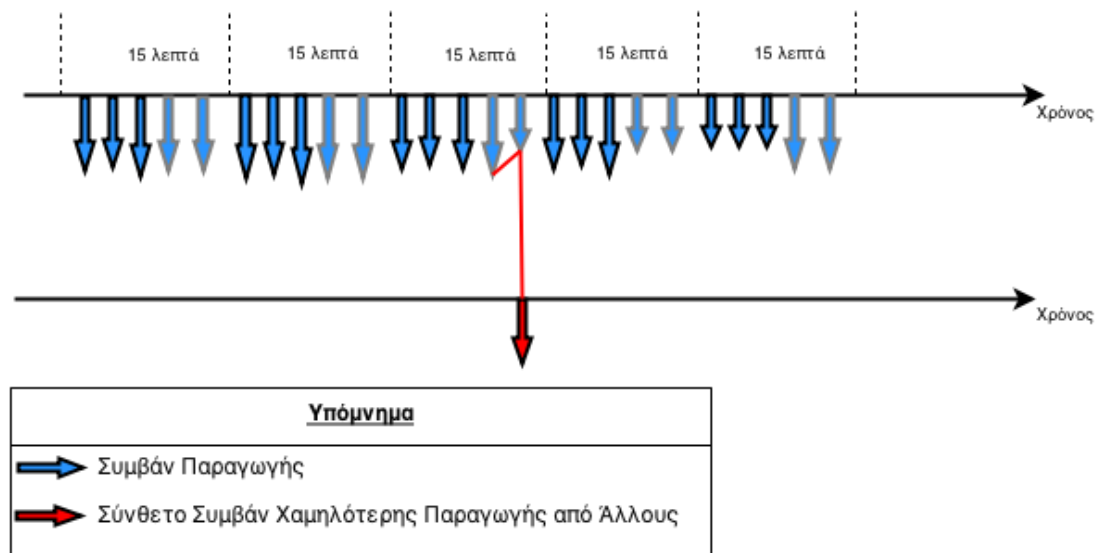
Σύμφωνα με την παραπάνω δημιουργείται μία νέα ροή συμβάντων με την ονομασία `prodReduced` στην οποία μπαίνουν συμβάντα απότομης μείωσης παραγωγής όταν η παραγωγή του τελευταίου συμβάντος σε σχέση με το προηγούμενο έχει μειωθεί κατά 20% (`a=Production -> b=Production (value < a.value * 0,8)`). Αντίστοιχα δημιουργείται μία νέα ροή συμβάντων με την ονομασία `condChanged` στην οποία μπαίνουν σύνθετα συμβάντα ίδιου ή καλύτερου καιρού όταν η κατηγορία της κατάστασης του τελευταίου είναι ίδια ή μικρότερη της κατηγορίας του προηγούμενου συμβάντος καιρού (`a=Conds -> b=Conds (value <= a.value)`). Επίσης, δημιουργείται ένα χρονικό πλαίσιο ενός λεπτού (`create context Every1Minute start @now end after 1 minutes`). Τέλος στο χρονικό πλαίσιο αυτό εξετάζεται αν υπάρχει συνδυασμός συμβάντων και των δύο τύπων.

Πρότυπο 2^ο : Μειωμένη παραγωγή συγκριτικά με άλλους

Το πρότυπο αυτό έχει ως στόχο να συγκρίνει την τιμή της παραγωγής ανά εγκατεστημένη ισχύ σε φωτοβολταϊκούς σταθμούς που βρίσκονται στην ίδια περιοχή και άρα επικρατούν οι ίδιες καιρικές συνθήκες με σκοπό να αναγνωρίσει προβλήματα στην παραγωγή κάποιου σταθμού και να ειδοποιηθεί έγκαιρα ο ενδιαφερόμενος παραγωγός.

Όπως προκύπτει από την αναπαράσταση της *Εικόνα 5-19* στην μηχανή επεξεργασίας συμβάντων εισέρχονται με την πάροδο του χρόνου συμβάντα

παραγωγής από διάφορες φωτοβολταϊκές μονάδες. Για τις ανάγκες του παρόντος σεναρίου η μηχανή αναζητά περιπτώσεις στις οποίες παρατηρείται μειωμένη παραγωγή ανά εγκατεστημένη ισχύ σε σχέση με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις στην ίδια περιοχή. Στην αναπαράσταση αυτό παρατηρείται μία μόνο φορά στα περίπτωση που είναι σημειωμένη με κόκκινη γραμμή καθώς στο συγκεκριμένο δεκαπεντάλεπτο παράθυρο παρακολούθησης η διαφορά στην τιμή της παραγωγής που περιέχουν τα συμβάντα διαφέρει κατά 15% και όπως έχει σημειωθεί αυτά τα συμβάντα έχουν σημειωθεί με ανοικτό περίγραμμα, για να γίνει κατανοητό ότι σύμφωνα με τις πληροφορίες που μεταφέρουν αυτά τα δύο βρίσκονται σε κοντινές τοποθεσίες. Ενώ παρατηρούνται και άλλες περιπτώσεις όπου οι παραγωγές παρουσιάζουν διαφορά μεγαλύτερη του 15%, παρατηρείται ότι συμβαίνουν σε όλα τα συμβάντα της ίδιας περιοχής ταυτόχρονα και έτσι δεν έχουμε την παραγωγή άλλου σύνθετου συμβάντος χαμηλότερης παραγωγής από άλλους.



Εικόνα 5-19 Πρότυπο χαμηλότερης παραγωγής σχετικά με άλλους

Η έκφραση του προτύπου σε γλώσσα EPL ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί από την μηχανή του Esper παρουσιάζεται παρακάτω:

“

```
create context Every15Minute start @now end after 15 minute;

context Every15Minute select * from pattern [every a=Production ->
b=Production(Math.abs(lat-a.lat) < 0.045 and Math.abs(long-a.long)
< 0.045 and value/size < (a.value/a.size*0,85) ];
```

”

Σύμφωνα με την παραπάνω έκφραση δημιουργείται ένα παράθυρο παρακολούθησης που έχει διάρκεια 15 λεπτά. Από το παράθυρο αυτό επιλέγονται τα συμβάντα παραγωγής όπου ακολουθούν άλλα συμβάντα παραγωγής και έχουν διαφορά στις γεωγραφικές τους συντεταγμένες μικρότερη από 0,045 μοίρες, δηλαδή 5 χιλιόμετρα και η τιμή τους σε σχέση με το άλλο συμβάν είναι μικρότερη κατά 15%.

6 Επίλογος

Συμπερασματικά, στην παρούσα εργασία αναλύσαμε τη λειτουργία της επεξεργασίας σύνθετων συμβάντων, των δυνατοτήτων της και τονίσαμε τα σημεία τα οποία καθιστούν ιδιαίτερα σημαντική τη χρήση της σε τεχνολογίες που αφορούν την ανάπτυξη των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων. Καταφέραμε να δημιουργήσουμε μία αρχιτεκτονική που συνδυάζει τα εισερχόμενα συμβάντα από τρεις διαφορετικές πηγές (τοποθεσία, καιρό, κατανάλωση) και προχωράει στην αναγνώριση προτύπων που βοηθούν είτε στη ενημέρωση του χρήστη για την καταναλωτική του συμπεριφορά, είτε στην ενημέρωση του παραγωγού για την πιθανώς αδικαιολόγητη απώλεια ενέργειας.

Σε συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα θέλαμε να γίνει μια δοκιμή των σεναρίων που παρουσιάστηκαν σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ώστε να εξελιχθούν οι κανόνες και να γίνει περαιτέρω αποσφαλμάτωση. Επίσης, πολύ σημαντικό θα ήταν να ενσωματωθούν δεδομένα και από άλλες πηγές/αισθητήρες ώστε να μπορέσουν να δημιουργηθούν πιο εξελιγμένοι και έξυπνοι κανόνες. Σε αυτό θα βοηθούσε ιδιαίτερα και μία έρευνα πάνω στην άντληση πληροφοριών από σημασιολογικές οντολογίες που θα μπορούσαν να γίνουν διαθέσιμες στο σύστημα.

Πέρα, από την εξέλιξη της ευφυίας των συστημάτων είναι απαραίτητο να δοκιμαστούν και οι δυνατότητες που έχουν τα υπολογιστικά συστήματα να διαχειριστούν σωστά τα δεδομένα υπό αυτούς τους κανόνες. Σε περίπτωση αύξησης του αριθμού των χρηστών είναι πολύ πιθανό μερικοί κανόνες να καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα υπολογιστικών πόρων που να καθίσταται απαγορευτική για την δυνατότητα χρήσης τους.

Τέλος, θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική και η ανάλυση μιας σειράς τρόπων ειδοποίησης του χρήστη και του αποτελέσματος που θα είχε ο καθένας. Η προτροπή των ανθρώπων στην χρήση συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας συνήθως δεν έρχεται λόγω της αξίας της ίδιας της εξοικονόμησης, έτσι το κομμάτι της τελικής ειδοποίησης και της συμπλοκής (engagement) του χρήστη σε τέτοιες προσπάθειες με τη χρήση έξυπνων μεθόδων (π.χ. gamification) θεωρείται εξαιρετικά σημαντικό.

Βιβλιογραφία

Alam, S., Chowdhury, M. M. & Noll, J., 2010. Senaas: An event-driven sensor virtualization approach for internet of things cloud.. *Networked Embedded Systems for Enterprise Applications (NESEA), 2010 IEEE International Conference*.

Albadi, M. H. & El-Saadany, E. F., 2008. A summary of demand response in electricity markets.. *Electric Power Systems Research* 78.

Ashton, K., 2009. That 'Internet of Things' Thing, in the real world things matter more than ideas. *RFID Journal*, 22 June.

Barros, A., Decker, G. & Grosskopf, A., 2007. Complex Events in Business Processes., *Springer Berlin Heidelberg*.

Burr, M. T., 2003. Reliability demands drive automation investments. *Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor department*.

Chen, H. et al., 2009. The design and implementation of a smart building control system.. *e-Business Engineering, 2009. ICEBE'09. IEEE International Conference*.

Creative Commons Attribution-ShareAlike License, 2014. *Smart grid*. [Online] Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid

de Mues, M. O., Alvarez, A., Espinoza, A. & Garbajosa, J., 2011. Towards a distributed intelligent ICT architecture for the smart grid.. *Industrial Informatics (INDIN), 2011 9th IEEE International Conference*.

EsperTech Inc., 2014. *Esper - Complex Event Processing*. [Online] Available at: <http://esper.codehaus.org/index.html> [Accessed Μάρτιος 2014].

Espinoza, A. et al., 2011. oftware-intensive systems interoperability in smart grids: A semantic approach.. *Industrial Informatics (INDIN), 2011 9th IEEE International Conference*, pp. 739-744.

Godfrey, T. et al., 2010. Modeling smart grid applications with co-simulation.. *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference*, pp. 291-296.

Haller, S., Karnouskos, S. & Schroth, C., 2009. The internet of things in an enterprise context.. *Future Internet-FIS 2008*.

Information Builders, 2014. *Information Builders*. [Online] Available at: <http://www.informationbuilders.com/products/integration/suite/cep> [Accessed 3 Μάρτιος 2014].

Information Builders, 2014. *Information Builders*. [Online] Available at: <http://www.informationbuilders.com/solutions/energy> [Accessed Μάρτιος 2014].

- IoT-i, 2012. *The IoT Comic Book*. s.l.:Mirko Presser, the Alexandra Institute.
- Klimstra, J. & Hotakainen, M., 2011. *Smart Power Generation*. Helsinki: Avain Publishers.
- Luckham, D., 2002. *The Power of Events: An Introduction to Complex Event Processing*. Addison-Wesley Professional, 1st edition.
- Luckham, D. C., 2005. Why we need a new technology to manage Event Driven Systems. In: s.l.:s.n.
- Magrassi, . P. & Berg, T., 2002. *A World of Smart Objects: The Role of Auto-Identification Technologies*, s.l.: Gartner.
- Mattern, F. & Floerkemeier, C., 2010. From the Internet of Computers to the Internet of Things. *Informatik- Spektrum*.
- Michelson, B. M., 2006. Event-Driven SOA Is Just Part of the EDA Story. In: P. S. G. 2, ed. *Event-driven architecture overview..* s.l.:s.n.
- Middleton, P., Kjeldsen, P. & Tully, J., 2013. *Forecast: The Internet of Things, Worldwide, 2013.*, s.l.: Gartner.
- National Energy Technology Laboratory, 2007. NETL Modern Grid Initiative — Powering Our 21st-Century Economy. *United States Department of Energy Office of Electricity Delivery and Energy Reliability*.
- Niblett, O. E. a. P., 2009. *Event Processing In Action*. s.l.:Manning Publications.
- Penya, Y. K., Garbajosa, J., Ortega, M. & González., E., 2011. ENERGOS: Integral smart grid management.. *Industrial Informatics (INDIN), 2011 9th IEEE International Conference*.
- Pradeep, Y., Seshuraju, P., Khaparde, S. A. & Joshi, R. K., 2011. Flexible open architecture design for power system control centers.. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*.
- Savio, D., Karlik, L. & Karnouskos., S., 2010. Predicting energy measurements of service-enabled devices in the future smartgrid.. *Computer Modelling and Simulation (UKSim), 2010 12th International Conference*.
- Schilling, B., Koldehofe, B., Pletat, U. & Rothermel, K., 2012. Distributed Heterogeneous Event Processing. *DEBS*.
- Schilling, B., Koldehofe, B., Pletat, U. & Rothermel, K., 2012. Distributed Heterogeneous Event Processing.. *DEBS*.
- Simmhan, Y. et al., 2011. An informatics approach to demand response optimization in smart grids.. *NATURAL GAS 31*.
- Simmhan, Y., Cao, B., Giakkoupis, M. & Prasanna., V. K., 2011. Adaptive rate stream processing for smart grid applications on clouds.. *Proceedings of the 2nd international workshop on Scientific cloud computing*, pp. 33-38.
- Simmhan, Y. et al., 2011. Toward data-driven demand-response optimization in a campus microgrid.. *Proceedings of the Third ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*.

Simmhan, Y., Zhou, Q. & Prasanna, V., 2011. Semantic Information Integration for Smart Grid Applications.. *Green IT: Technologies and Applications*, pp. 361-380.

Simonov, M., Zich, R. & Mussetta, M., 2011. Information processing in smart grids and consumption dynamics.. *Information retrieval and mining in distributed environments*, pp. 267-286.

Smart Grid Working Group, 2008. Challenge and Opportunity: Charting a New Energy Future, Appendix A: Working Group Reports.

SRI Consulting Business Intelligence, 2008. *Internet of Things Europe*. [Online] Available at: <http://www.internet-of-things.eu/resources/documents/appendix-f.pdf>

Srinivasagopalan, S., Mukhopadhyay, S. & Bharadwaj, R., 2012. A complex-event-processing framework for smart-grid management.. *Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA), 2012 IEEE International Multi-Disciplinary Conference*.

Stojanovic, N. et al., 2011. An intelligent event-driven approach for efficient energy consumption in commercial buildings: smart office use case.. *Proceedings of the 5th ACM international conference on Distributed event-based system*.

Stromback, J., Dromacque, C., Yassin, M. H. & VaasaETT, G. E. T. T., 2011. The potential of smart meter enabled programs to increase energy and systems efficiency: a mass pilot comparison Short name: Empower Demand.. *Vaasa ETT*.

Sučić, S., Dragičević, T., Capuder, T. & Delimar, M., 2011. Economic dispatch of virtual power plants in an event-driven service-oriented framework using standards-based communications.. *Electric power systems research 81*, pp. 2108-2119.

Tomoiagă, B. et al., 2013. Pareto Optimal Reconfiguration of Power Distribution Systems Using a Genetic Algorithm Based on NSGA-II. *Energies*.

Torriti, J., 2012. Demand Side Management for the European Supergrid: Occupancy variances of European single-person households. *Energy Policy Volume 44*.

U.S. Department of Energy, 2014. *energy.gov*. [Online] Available at: <http://energy.gov/oe/technology-development/smart-grid>

Vijayaraghavan, A. & Dornfeld, D., 2010. Automated energy monitoring of machine tools.. *CIRP Annals-Manufacturing Technology 59*, pp. 21-24.

Wen, J. Y.-C. et al., 2011. A complex event processing architecture for energy and operation management: industrial experience report.. *Proceedings of the 5th ACM international conference on Distributed event-based system*, pp. 313-316.

Zhou, Q., Natarajan, S., Simmhan, Y. & Prasanna, V., 2012. Semantic information modeling for emerging applications in smart grid.. *Information Technology: New Generations (ITNG), 2012 Ninth International Conference* .

Zhou, Q., Simmhan, Y. & Prasanna, V., 2011. Towards an inexact semantic complex event processing framework.. *Proceedings of the 5th ACM international conference on Distributed event-based system*, pp. 401-402.

Ανδρεάδης, Κ., 2014. ΔΕΔΔΗΕ. [Online] Available at: <http://www.deddie.gr/Documents2/HMERIDA%20IEEE/%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%9F%CE%A5%CE%A3%CE%99%CE%91%CE%A3%CE%97%20IEEE%20%CE%A0%CE%91%CE%A4%CE%A1%CE%91%20final.pdf> [Accessed Μάρτιος 2014].

Βαρβαρέσος, Ι. & Φακίτσα, Μ., 2013. *Βελτιστοποίηση Ζήτησης Ισχύος σε κοινωνικές ομάδες καταναλωτών Χαμηλής Τάσης*. Θεσσαλονίκη: s.n.

Erickson, V. L. et al., 2009. Energy efficient building environment control strategies using real-time occupancy measurements.. *Proceedings of the First ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*.

ΛΑΓΗΕ Α.Ε., 2012. *Μηνιαίο δελτίο ΑΠΕ Δεκέμβριος 2012*. [Online] Available at: http://www.lagie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/RES/2012_12_GR_MOMT_HLY_RES.pdf [Accessed 26 Μάρτιος 2014].

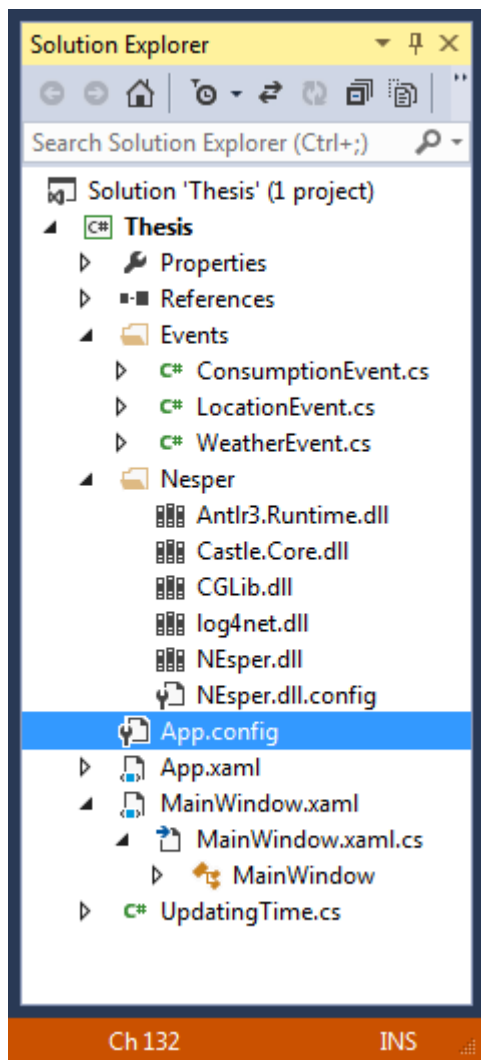
Τουκερδής, Δ. Σ., 2012. *Ανάλυση της διαχείρισης σύνθετων συμβάντων (complex event processing) στη λήψη αποφάσεων και εφαρμογή της σε χαρακτηριστικές μελέτες περίπτωσης*. s.l.:s.n.

Παράρτημα

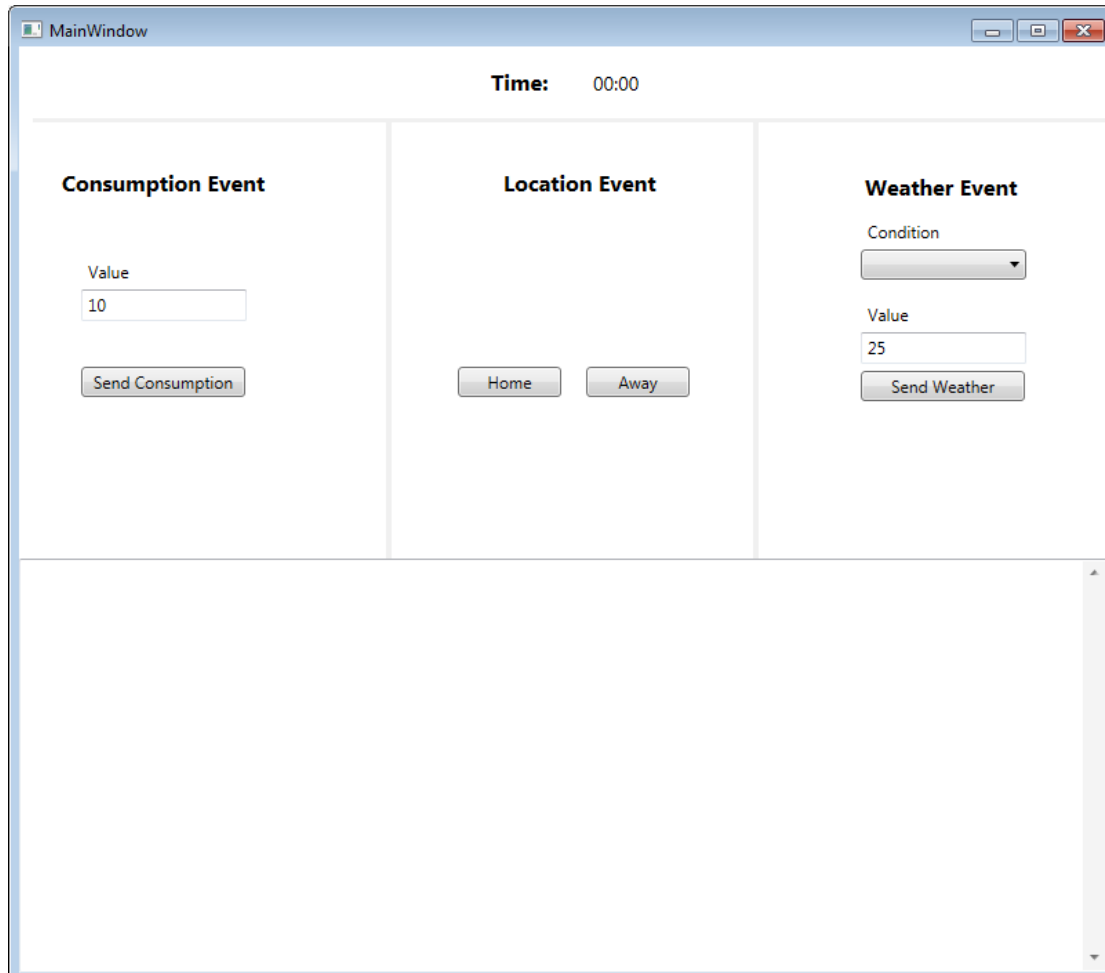
Στο παράρτημα επισυνάπτεται ο κώδικας που αναπτύχθηκε στο προγραμματιστικό περιβάλλον Visual Studio 2013 της Microsoft για την λειτουργία και δοκιμή της μηχανής Esper καθώς και ο κώδικας της διεπαφής ιστού σε PHP.

Μηχανή Επεξεργασίας Συμβάντων

Η δομή των αρχείων:



Στιγμιότυπο οθόνης που φαίνεται το περιβάλλον δοκιμής. Το περιβάλλον δοκιμής παράγει συμβάντα κατανάλωσης, τοποθεσίας και καιρού όπως αυτά που έρχονται από τις πραγματικές πηγές για λόγους δοκιμών. Αποτελείται από ένα ρολόι, κουμπιά αποστολής συμβάντων με τις αντίστοιχες πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τις δοκιμές, καθώς και ένα πεδίο κειμένου όπου εμφανίζονται χρήσιμες πληροφορίες που παράγει η μηχανή Esper :



Ο κώδικας του αρχείου MainWindow.xaml.cs:

```
namespace Thesis
{
    /// <summary>
    /// Interaction logic for MainWindow.xaml
    /// </summary>
    public partial class MainWindow : Window
    {
        EPRuntime CepEngineRuntime;
        #region Initialization
        public MainWindow()
        {
            InitializeComponent();
            //initialize time
            UpdatingTime updateTime = new UpdatingTime();
            lbClock.DataContext = updateTime;
            //Initialize CEP engine
            var CEPEngine = SetupEngine();
            CepEngineRuntime = CEPEngine.EPRuntime;
        }
    }
}
```

```

    }
    private static EPServiceProvider SetupEngine()
    {
        //Initialize CEP service
        EPServiceProvider epService =
        EPServiceProviderManager.GetDefaultProvider();

        // Rule 1
        String NoEvent = "select count(*) from Thesis.ConsumptionEvent.win:time(1
min) having count(*) < 1";
        EPStatement NoEventStatement =
        epService.EPAdministrator.CreateEPL(NoEvent);
        NoEventStatement.AddEventHandlerWithReplay((sender, e) =>
        {
            email(e.User, e);
        });

        // Rule 2
        String MeteringProblem = "select avg(Value) from
ConsumptionEvent.win:time(1 min) having avg(Value) < " + BaseLoad;
        EPStatement MeteringProblemStatement =
        epService.EPAdministrator.CreateEPL(MeteringProblem);
        MeteringProblemStatement.AddEventHandlerWithReplay((sender, e) =>
        Console.WriteLine(e.NewEvents[0].Get("sum(Value)")));
        {
            email(e.User, e);
        });

        // Rule 3
        String unexpectedCons = "create context isAway start Location
(isHome=false) end Location (isHome=true); context isAway select * from pattern [every
a=Consumption -> b=Consumption(value > a.value)];";
        EPStatement unexpectedConsStatement =
        epService.EPAdministrator.CreateEPL(unexpectedCons);
        unexpectedConsStatement.AddEventHandlerWithReplay((sender, e) =>
        Console.WriteLine(e.NewEvents[0].Get("sum(Value)")));
        {
            email(e.User, e);
        });

        // Rule 4
        String achievement = "insert into totalAwayTimeStream select sum(b.Time-
a.Time) as total from pattern [every a=Location(isHome="No") ->
(b=Location(isHome="Yes") and not a=Location(isHome="No"))];insert into
dailyConsumptionStream select sum(value) as total from Consumption.win:time batch(30
sec); select * from totalAwayTimeStream.std:lastevent() as O,
dailyConsumptionStream.std:lastevent() as C where totalAwayTimeStream.total < " +
maxAcceptableAwayTime + " and dailyConsumptionStream.total < " +
averageDailyConsumption";
        EPStatement achievementStatement =
        epService.EPAdministrator.CreateEPL(achievement);
        achievementStatement.AddEventHandlerWithReplay((sender, e) =>
        Console.WriteLine(e.NewEvents[0].Get("sum(Value)")));
        {
            email(e.User, e);
        });

        //Rule 5
        String NewConsumptionRecord = "insert into dailyConsumption select
sum(value) from Consumption.win:time_batch(24 hours); select max(*) from
dailyConsumption; ";
        EPStatement NewConsumptionRecordStatement =
        epService.EPAdministrator.CreateEPL(NewConsumptionRecord);
        NewConsumptionRecordStatement.AddEventHandlerWithReplay((sender, e) =>
        {
            email(e.User, e);
        });

        // Rule 6
        String NewConsumptionRecord = "insert into dailyConsumption select
sum(value) from Consumption.win:time batch(24 hours); select sum(*) from
dailyConsumption having sum(*) > " + goal + "* (timestamp - (timestamp.substring(1,
6)).add('00T00:00:00.000000Z')) / (timestamp.substring(1,

```

```

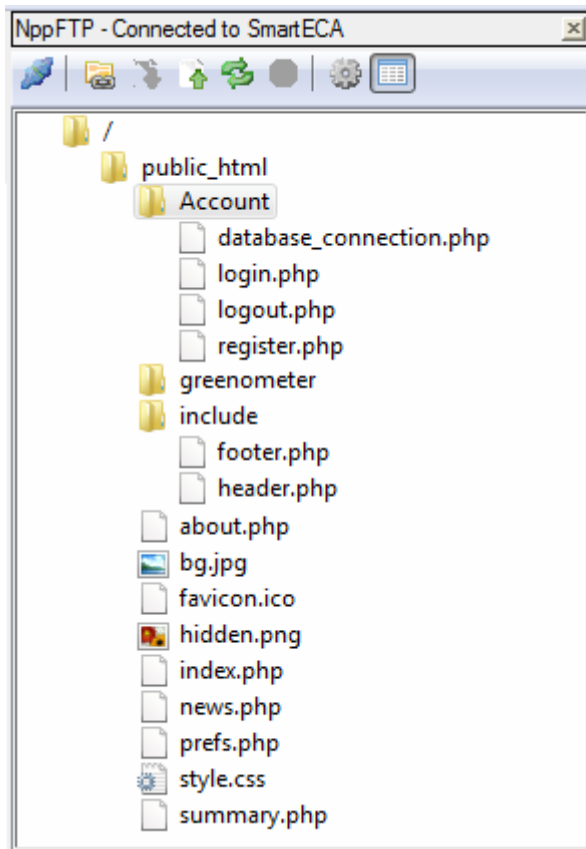
6).add('00T00:00:00.000000Z')+ -(timestamp.substring(1,
6)).add('30T00:00:00.000000Z")); ";
    EPStatement NewConsumptionRecordStatement =
epService.EPAdministrator.CreateEPL(NewConsumptionRecord);
    NewConsumptionRecordStatement.AddEventHandlerWithReplay((sender, e) =>
    {
        email(e.User, e);
    });

    return epService;
}
#endregion
#region Send Events from buttons
private void btnSendConsumption Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    CepEngineRuntime.SendEvent(new ConsumptionEvent { Occured = DateTime.Now,
Value = Convert.ToDouble(txtConsumption.Text) });
}
private void btnHome Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    CepEngineRuntime.SendEvent(new LocationEvent { Occured = DateTime.Now,
IsHome = true });
}
private void btnAway Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    CepEngineRuntime.SendEvent(new LocationEvent { Occured = DateTime.Now,
IsHome = false });
}
private void btnSendWeather Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    CepEngineRuntime.SendEvent(new WeatherEvent { Occured = DateTime.Now,
Temperature = Convert.ToDouble(txtTemperature.Text), Cloud =
cbWeather.SelectedValue.ToString() });
}
#endregion
public static void LogEvent(object sender, UpdateEventArgs e)
{
    Console.WriteLine(e.NewEvents[0].Get("sum(Value)"));
    return;
    if (e.NewEvents != null)
    {
        if (e.NewEvents[0].EventType.UnderlyingType ==
typeof(ConsumptionEvent))
        {
            ConsumptionEvent evnt =
(ConsumptionEvent)e.NewEvents[0].Underlying;
            Console.WriteLine("{0} consumption {1}", evnt.Occured,
evnt.Value);
        }
        else if (e.NewEvents[0].EventType.UnderlyingType ==
typeof(WeatherEvent))
        {
        }
    }
}
}
}

```

Διεπαφή Ιστού

Η δομή των αρχείων:



Κώδικας του αρχείου Summary.php:

```
<?php
    $pageTitle = "";
    include("include/header.php");
    if (!isset($_SESSION['username']) || $_SESSION['username']==''){
header("Location: /Account/login.php");
    }
    function getPage($url, $timeout=30, $header=array(")){
    $curl = curl_init();
    curl_setopt ($curl, CURLOPT_REFERERER, "google.com");
    curl_setopt ($curl, CURLOPT_URL, $url);
    curl_setopt ($curl, CURLOPT_TIMEOUT, $timeout);
    curl_setopt ($curl, CURLOPT_USERAGENT, sprintf("Mozilla/%d.0", rand(4,5)));
    curl_setopt ($curl, CURLOPT_RETURNTRANSFER, 1);
    curl_setopt ($curl, CURLOPT_SSL_VERIFYPEER, 0);
        curl_setopt ($curl, CURLOPT_HTTPHEADER, $header);
    $html = curl_exec ($curl);
    curl_close ($curl);
    return $html;
    }
    $json =
    json_decode(getPage("https://api.xively.com/v2/feeds/106184/datastreams/1", '',
    array("X-APIKey: QkcBGYcW-4Wcg2XHmC5Ttn_Cg5jsw9u4WVCek7rAC_8")));
    $green = round((($json->{'current value'})*100/($json->{'max value'}-$json->{'min value'}));
    ?>
<p>
```


The summary page displays all the info about the current user, provided from the Database according to our database.

```
</p>
<fieldset class="userinfo">
  <legend>User Info:</legend>
  <div>
    <ol>
      <legend>Personal Info</legend>
      <li>ID: <?php echo $_SESSION['id'] ?></li>
      <li>Name: <?php echo $_SESSION['username'] ?></li>
      <li>Email: <?php echo $_SESSION['email'] ?></li>
    </ol>
  </div>
  <div>
    <ol>
      <legend>House Info</legend>
      <li>Size: <?php echo $_SESSION['homeSize'] ?></li>
      <li>Lat: <?php echo $_SESSION['lat'] ?></li>
      <li>Long: <?php echo $_SESSION['long'] ?></li>
    </ol>
  </div>
</fieldset>
<fieldset class="greenometer">
  <legend>Green-O-Meter:</legend>
  <p>Percentage of your current consumption, scaled to your max value.</p>
  <?php //echo $green?>
  <div id="greenometer"></div>
</fieldset>
<fieldset class="statistics">
  <legend>Statistics:</legend>
  <div>
    <ol>
      <legend>Today</legend>
      <li>Average: <?php echo $_SESSION['id'] ?></li>
      <li>Max Consumption : <?php echo $_SESSION['max_cons'] ?></li>
      <li>Min Consumption : <?php echo $_SESSION['min_cons'] ?></li>
      <li>Conection Errors: <?php echo $_SESSION['ce'] ?></li>
    </ol>
    <ol>
      <legend>All time</legend>
      <li>Max Consumption : <?echo round($json->{'max_value'})?> Watt</li>
      <li>Goal Achievements: <?php echo $_SESSION['GA'] ?></li>
      <li>Suspicious Events: <?php echo $_SESSION['SE'] ?></li>
    </ol>
  </div>
</fieldset>
<fieldset class="graph">
  <legend>Consumption Graph</legend>
  
  <ul id="graph-control">
    <li><a href="javascript:void(0)" onclick="Graph('1Y') "
id="Y1">1Y</a></li>
    <li><a href="javascript:void(0)" onclick="Graph('6M') "
id="M6">6M</a></li>
    <li><a href="javascript:void(0)" onclick="Graph('3M') "
id="M3">3M</a></li>
    <li><a href="javascript:void(0)" onclick="Graph('1M') "
id="M1">1M</a></li>
    <li><a href="javascript:void(0)" onclick="Graph('1W') " id="W1"
class="selected">1W</a></li>
    <li><a href="javascript:void(0)" onclick="Graph('24H') "
id="H24">24H</a></li>
    <li><a href="javascript:void(0)" onclick="Graph('1H') "
id="H1">1H</a></li>
    <li><a href="javascript:void(0)" onclick=""></a></li>
  </ul>
</fieldset>
<?php include("include/footer.php") ?>
```

Κώδικας του αρχείου Prefs.php:

```
<?php
    $pageTitle = "Rules / Goal";
    include("include/header.php");

    if (!isset($_SESSION['username']) || $_SESSION['username']==''){
        header("Location: /Account/login.php");
    }
?>

<p>    The summary page displays all the info about the current user, provided
from the Database according to our database.</p>

<fieldset class="Rules Select">
    <legend>Rules:</legend>
    <p>Chose the notifications that you are willing to recieve.</p>
    <div>
        <ol>
            <li><input type="checkbox" name="SCEO" <?php if
$_SESSION['SCEO_checked'] echo "checked" ?>>Alert me when a suspicious consumption
event occurs<br></li>
            <li><input type="checkbox" name="WMEO" <?php if
$_SESSION['WMEO_checked'] echo "checked" ?>>Alert me when a wrong measurements event
occurs<br></li>
            <li><input type="checkbox" name="NCR" <?php if
$_SESSION['NCR_checked'] echo "checked" ?>>Alert me when a new consumption record
event occurs<br></li>
            <li><input type="checkbox" name="DFG" <?php if
$_SESSION['DFG_checked'] echo "checked" ?>>Alert me when an deviation from the goal
event occurs<br></li>
            <li><input type="checkbox" name="RE" <?php if $_SESSION['RE_checked']
echo "checked" ?>>Alert me when a reward event occurs<br></li>
            <br>
            <button type="button" type="submit">Submit</button>
        </ol>
    </div>
</fieldset>

<fieldset class="Rules Select">
    <legend>Goal:</legend>
    <p>Chose the amount of energy that are willing to consume by the end of the
month.</p>
    <div>
        <ol>
            <li><input type="number" name="goal" align="right" value="450"
style="width: 70px;" kWh<br></li>
            <br>
            <button type="button" type="submit">Submit</button>
        </ol>
    </div>
</fieldset>

<?php include("include/footer.php") ?>
```