

Πανεπιστήμιο Πατρών
Πολυτεχνική Σχολή - Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

**ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΕΞΥΠΝΩΝ
ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΕ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ**

ΣΠΥΡΟΣ ΛΙΒΑΘΙΝΟΣ

Διπλωματική εργασία - ΜΔΕ Επιστήμης και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Επιβλέπων: Καθηγητής κ. Ιωάννης Γαροφαλάκης

Συνεπιβλέπων: Αν. Καθηγητής Ιωάννης Χατζηγιαννάκης

Τριμελής Επιτροπή: Καθηγητής κ. Ιωάννης Γαροφαλάκης, Καθηγητής κ. Χρήστος
Κακλαμάνης, Αν. Καθηγητής κ. Σπύρος Κοντογιάννης

Φεβρουάριος 2014

Σπυρος Λιβαθινός: Δυναμικές λήψης αποφάσεων στα πλαίσια εξυπνών κτηριών με υποδομές δικτύων αισθητήρων, Διπλωματική εργασία - ΜΔΕ Επιστήμης και Τεχνολογίας Υπολογιστών, © Φεβρουάριος 2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η αξιολόγηση ενός συστήματος υπολογισμού προτιμήσεων περιβαλλοντικών τιμών σε έξυπνα κτήρια. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί προϋπάρχουσα υποδομή δικτύου αισθητήρων και υπηρεσιών οι οποίες λειτουργούν με βάση αυτό επεκτείνοντάς την με την χρήση κινητών συσκευών και μιας επιπλέον υπηρεσίας υπολογισμού, προκειμένου να διευκολύνει την έκφραση της άποψης των ατόμων που ζουν μέσα στο κτήριο σχετικά με τις τιμές φωτισμού, θερμοκρασίας και θορύβου που αυτοί προτιμούν στον χώρο εργασίας τους. Στα πλαίσια της διπλωματικής εστιάζουμε αρχικά στις τεχνολογίες διαχείρισης έξυπνων κτηρίων και ενεργειακής διαχείρισης, καθώς και τεχνικών για τον προσδιορισμό της θέσης του χρήστη μέσα στον χώρο. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε το σύστημα που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής, με ανάλυση της εφαρμογής Android αλλά και της υπηρεσίας τύπου REST η οποία ενεργεί σαν ενδιάμεσος κρίκος μεταφοράς και υπολογισμού τιμών προτιμήσεων προς τα κατώτερα στρώματα της έξυπνης υποδομής του κτηρίου. Επίσης, γίνεται ανάλυση θεωρητικών προσεγγίσεων σε θέματα δυναμικών άποψης. Τέλος, για την αξιολόγηση του συστήματος διενεργήθηκε έρευνα σε έναν αριθμό εργαζομένων έτσι ώστε να αποσαφηνιστεί εάν οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό κοινών τιμών περιβάλλοντος αποφέρουν κάποιο συμφέρον στον μέσο χρήστη.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή μου. Ιωάννη Γαροφαλάκη, τον οποίο ευχαριστώ ιδιαίτερος για την καθοδήγηση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτωντάς μου το συγκεκριμένο θέμα. Επίσης, ευχαριστώ τον Δρ. Ιωάννη Χατζηγιαννάκη για την συνεχή και αδιάκοπη υποστήριξη, την ορθή καθοδήγηση και την κατανόησή του κατά τη διάρκεια ενασχόλησής μου με το θέμα αυτό.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, το οικείο μου περιβάλλον, για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας. Τέλος, την Δέσποινα, για την υπομονή της και την συμπαράστασή της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΩΝ ΚΤΗ- ΡΙΩΝ	1
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1	Κινητρο και σημασία του θεματος	2
1.2	Στοχοι της διπλωματικής εργασίας	2
1.3	Συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας	3
1.4	Δομή της διπλωματικής εργασίας	3
2	OPINION DYNAMICS	5
2.1	Προηγούμενη μελέτη πάνω στις δυναμικές αποψης	5
2.2	Δυναμικές αποψης σε περιβαλλοντα εξυπνων κτηριων	5
2.2.1	Παραγοντες που επηρεάζουν την μεταβολη γνωμης	7
2.2.2	Ενα παραδειγμα περιβαλλοντος	8
2.2.3	Μαθηματικη αναλυση	9
3	ΕΞΥΠΝΑ ΚΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ	12
3.1	Συστηματα διαχειρισης κτηριων - BMS	12
3.1.1	Honeywell	13
3.1.2	Metasys	15
3.1.3	Can2Go	16
3.2	Συστηματα ενεργειακης διαχειρισης	16
3.3	Συστηματα εντοπισμου σε πραγματικο χρονο - RTLS	19
3.3.1	Χρήσεις RTLS	20
3.3.2	Υλοποιήσεις	21
3.3.3	Στρατηγικές βασισμένες στην ισχύ σήματος	22
3.3.4	Στρατηγικές βασισμένες στον χρόνο	22
11	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	24
4	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	25
4.1	Γενικότερη αρχιτεκτονική	25
4.1.1	Αναπαράσταση πόρων	25
4.1.2	Ανταλλαγή και αποθήκευση δεδομένων	26
4.2	Αρχιτεκτονική συστήματος	26
4.2.1	Εφαρμογή κινητής συσκευής	26
4.2.2	Υπηρεσία λήψης αποφάσεων	27

4.2.3	Ανταλλαγή δεδομένων	29
4.2.4	Περιπτώσεις χρήσης	31
4.3	Δυσκολίες	31
5	ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	34
5.1	DecisionMap	34
5.1.1	JSON	37
5.1.2	MongoDB	38
5.1.3	Rack & Grape	40
5.1.4	Apache & Passenger application server	41
5.2	uClient	41
5.2.1	Android & the Android SDK	42
III	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
6	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	48
6.1	Μετρήσεις σε πραγματικό περιβάλλον	48
6.2	Υπολογισμοί τιμών με χρήση των μετρήσεων	52
6.2.1	Υπολογισμός χωρίς βάρη	52
6.2.2	Υπολογισμοί τιμών με βάρη	53
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ	57
7.1	Συμπεράσματα	57
7.2	Μελλοντική επέκταση	59
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60

Μέρος Ι

ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΚΙΝΗΤΡΟ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

Οι εξελίξεις στο μέτωπο των έξυπνων κτηρίων και ως προέκταση αυτών, των δικτύων αισθητήρων έχουν ως αποτέλεσμα τα μοντέρνα κτήρια να χαρακτηρίζονται από επαυξημένες ανάγκες για ενέργεια. Σε μια προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί το κόστος της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και παράλληλα διατήρησης ενός συγκεκριμένου επιπέδου ζωής, τα δίκτυα και οι υπηρεσίες αισθητήρων έχουν αποδειχτεί πολύ χρήσιμα εργαλεία για την επίτευξη αυτών των στόχων. Συστήματα ελέγχου θέρμανσης χώρων, ανανέωσης και κυκλοφορίας του αέρα που χρησιμοποιούνται σε σχεδόν όλα τα εμπορικά κτήρια ή γραφεία, ευθύνονται για ένα ποσοτό της τάξης του 43% των εξόδων αυτών. Σε ένα περιβάλλον πολλαπλών γραφείων, όπου οι κάτοικοι αναγκαστικά συνυπάρχουν σε συγκεκριμένες περιοχές (κοινόχρηστα γραφεία, δωμάτια, χώροι γευμάτων και αναψυχής κ.α.), η κατανάλωση είναι ακόμα μεγαλύτερη, καθώς τα συστήματα Θέρμανσης, Ψύξης και Φωτισμού (HVAC) δεν είναι επικεντρωμένα στην παροχή των κατάλληλων συνθηκών για συγκεκριμένους χρήστες ή ομάδες χρηστών, παρά τα χαρακτηρίζουν διακριτές καταστάσεις on/off.

Το πρόβλημα του να οριστούν οι προτιμήσεις μιας ομάδας χρηστών για κάποιο ζήτημα, πρόβλημα ή κατάσταση έχει μελετηθεί από σειρά ερευνών στο πεδίο των δυναμικών άποψης (opinion dynamics). Σε ένα παιχνίδι με πολλαπλούς παίκτες και διαφορετικές απόψεις, μεγάλο μέρος των ερευνητών λαμβάνουν ως δεδομένη την ανικανότητα όλων των πλευρών να καταλήξουν σε μια κοινή άποψη και επικεντρώνονται στη μελέτη του κόστους της διαφωνίας (cost of disagreement).

1.2 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα εργασία θα περιγραφεί ένα σύστημα ανάλυσης των απόψεων μιας ομάδας χρηστών πάνω σε ζητήματα μεταβολής των περιβαλλοντολογικών συνθηκών των χώρων στους οποίους κινούνται μέσα σε ένα έξυπνο κτήριο. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο για την επερώτηση χρηστών σχετικά με τις προτιμήσεις τους συγκεκριμένα πάνω στις συνθήκες φωτισμού, υπολογίζοντας έναν δίκαιο μέσο όρο από το πλήθος των διανυσμάτων προτιμήσεων των χρηστών που δρουν μέσα σε έναν

κοινόχρηστο χώρο και εφαρμόζοντας την υπολογισμένη κοινή άποψη μέσω ενός συστήματος διαχείρισης αυτοματισμών κτηρίου (Building Management System). Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, κατασκευάστηκε ένα ΑΠΙ, χρησιμοποιώντας το μοντέλο αρχιτεκτονικής REpresentational State Transfer (REST)[9], έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση υπηρεσιών που συνεργάζονται με κόμβους αισθητήρων καθώς και μια εφαρμογή κινητής συσκευής η οποία δρα σαν διάμεσος επικοινωνίας του χρήστη με τις υπηρεσίες αυτές. Κύριος στόχος της εργασίας είναι η εφαρμογή του παραπάνω συστήματος σε ένα πραγματικό περιβάλλον γραφείων με πολλούς χρήστες, έτσι ώστε να αξιολογηθεί το κατά πόσο η χρήση υπολογισμένων καθολικών προτιμήσεων για ένα δωμάτιο θα ικανοποιήσουν τους ανθρώπους που δουλεύουν μέσα σε αυτό.

1.3 ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετάται σε βάθος η έννοια των RESTful υπηρεσιών και ο σχεδιασμός API όταν υπάρχει σκοπός διασύνδεσης αυτών με ετερογενείς τεχνολογικά υπηρεσίες, συστήματα διαχείρισης κτηρίων καθώς και κινητές συσκευές. Επίσης μελετώνται οι μη σχεσιακές βάσεις μέσω της χρήσης της MongoDB, και κατά πόσο η μη σχεσιακή φύση τους κάνει την υλοποίηση και την χρήση των υπηρεσιών που αναφέρονται παραπάνω ευκολότερη ή δυσκολότερη. Τέλος, η αξιολόγηση που διεξάχθηκε, μας έδωσε την ευκαιρία να κατανοήσουμε το κατά πόσο θεωρητικές έννοιες όπως οι δυναμικές άποψης και οι προσωπικές προτιμήσεις των χρηστών είναι δυνατό να μοντελοποιηθούν με ακρίβεια και αν τελικά υπάρχουν κάποιες πρακτικές χρήσεις των παραπάνω εννοιών σε ένα περιβάλλον γραφείου.

1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε τρεις κύριες θεματικές ενότητες, με επιμέρους κεφάλαια η κάθε μια να περιγράφουν ειδικότερα θέματα μέσα σε αυτές. Η πρώτη θεματική ενότητα με τίτλο 'Λήψη αποφάσεων στα πλαίσια δικτύων αισθητήρων και έκυπνων κτηρίων' ασχολείται με μια συνολική παρουσίαση της θεωρίας των δυναμικών άποψης καθώς και των πιο γνωστών συστημάτων διαχείρισης κτηρίων. Τα κεφάλαια που περικλύονται σε αυτήν είναι:

- Κεφάλαιο 1 Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η πρώτη εισαγωγή στο θέμα της διπλωματικής εργασίας, ενώ στην συνέχεια περιγράφονται οι στόχοι που προ-

σπαθούμε να επιτύχουμε μέσω αυτής καθώς και η συνεισφορά και η δομή της.

- **Κεφάλαιο 2** Εδώ γίνεται ανάλυση της θεωρίας δυναμικών άποψης από την σκοπιά ενός κτηρίου με πολλαπλούς κατοίκους και μια προσπάθεια συσχέτισης της άποψης του κάθε ατόμου με τις προτιμήσεις που έχει αυτός για τον περιβάλλοντα φωτισμό.
- **Κεφάλαιο 3** Γίνεται μια περιγραφή τριών συστημάτων διαχείρισης κτηρίων καθώς και συστημάτων εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο.

Η δεύτερη θεματική ενότητα με τίτλο 'Αρχιτεκτονική και λεπτομέρειες υλοποίησης' έχει σαν θέμα της την παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του συστήματος που κατασκευάστηκε και των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν γι' αυτό το σκοπό. Χωρίζεται στα εξής κεφάλαια :

- **Κεφάλαιο 4** Ανάλυση της γενικότερης αρχιτεκτονικής του συστήματος σε υψηλό επίπεδο και παρουσίαση της διαδικασίας και των πολιτικών ανταλλαγής και αποθήκευσης δεδομένων μέσα σε αυτό.
- **Κεφάλαιο 5** Τεχνικές λεπτομέρειες της υλοποίησης με παρουσίαση των συγκεκριμένων τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν, και ανάλυση των επιμέρους λογισμικών που απαρτίζουν το συνολικό σύστημα.

Η τρίτη και τελευταία ενότητα με τίτλο 'Αξιολόγηση και συμπεράσματα' έχει σαν θέμα την περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση του συστήματος και τα αποτελέσματα που προήλθαν από αυτήν, καθώς και τα συμπεράσματα στα οποία φτάσαμε μέσω συγκεκριμένων υπολογισμών.

- **Κεφάλαιο 6** Περιγραφή της αξιολόγησης μέσω μετρήσεων που πάρθηκαν από πραγματικούς χρήστες και παρουσίαση των αποτελεσμάτων καθώς και των υπολογισμών που έγιναν πάνω σε αυτά.
- **Κεφάλαιο 7** Τα συμπεράσματα που βγήκαν μέσω της αξιολόγησης καθώς και ιδέες που προέκυψαν από την έρευνα για μελλοντική επέκταση της εργασίας.

OPINION DYNAMICS

Το πεδίο των δυναμικών άποψης παίζει σημαντικό ρόλο στα κοινωνικοοικονομικά δίκτυα. Παραδείγματα αποτελούν ο σχηματισμός πολιτικών απόψεων πάνω σε ζητήματα ψήφων, μάθησης περί ποιότητας προϊόντων, η συσσώρευση πληροφορίας σε οικονομικά δίκτυα και περιπτώσεις πολιτικών αντιπαραθέσεων.[18]

2.1 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΝΩ ΣΤΙΣ ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΠΟΨΗΣ

Η μελέτη του σχηματισμού απόψεων και των μοντέλων που περιγράφουν την διαδικασία της διαφοροποίησης απόψεων μεταξύ οντοτήτων είναι ένα πεδίο με ευρύτερο ενδιαφέρον, ειδικά στην εποχή της διασύνδεσης μέσω κοινωνικών και άλλων δικτύων. Η πιο κοινές προσεγγίσεις, από μαθηματικής οπτικής, στο σχηματισμό άποψης, οι οποίες βασίζονται είτε σε Bayesian είτε σε non-Bayesian ιδέες επίτευξης ομοφωνίας, προβλέπουν ότι οι δυναμικές άποψης θα πρέπει να συγκλίνουν σε κοινή συμφωνία (ομοφωνία). Στην πραγματικότητα αυτού του είδους το αποτέλεσμα δεν παρατηρείται. Αντ' αυτού οι περισσότερες κοινωνίες φαίνεται να παρουσιάζουν συνεχή διαφωνία, ακόμα και σε θέματα στα οποία υφίσταται συχνή επικοινωνία μεταξύ των μελών που θα διαμορφώσουν άποψη.[4]

2.2 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΠΟΨΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΕΞΥΠΝΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ορισμένες περιστάσεις όπως η οριοθέτηση λογικής(bounded rationality) ή η έλλειψη πληροφορίας δύνανται να θέσουν μια οντότητα σε θέση όπου οι ενέργειές της μεταβάλλονται και επηρεάζονται από απλές απόψεις. Παρακάτω θα μας απασχολήσει το θέμα της έξυπνης διαχείρισης συστημάτων φωτισμού. Η διαχείριση αυτή στην πραγματικότητα γίνεται από πολλαπλές εγωιστικές οντότητες οι οποίες λειτουργούν σε κοινούς χώρους, για παράδειγμα σε έναν μεγάλο χώρο εργασίας με πολλά γραφεία με ανεξάρτητα συστήματα φωτισμού, κάθε εργαζόμενος i έχει προτίμηση για ένα επίπεδο s_i φωτισμού.

Στην πραγματικότητα, η ρύθμιση από κάποιον εργαζόμενο της κλίμακας φωτισμού του γραφείου του θα επηρεάσει άμεσα τις εργασιακές συνθήκες των γειτονικών γραφείων. Γι'αυτό το λόγο, δημιουργείται μια νέα τιμή z_i , η οποία είναι πλέον

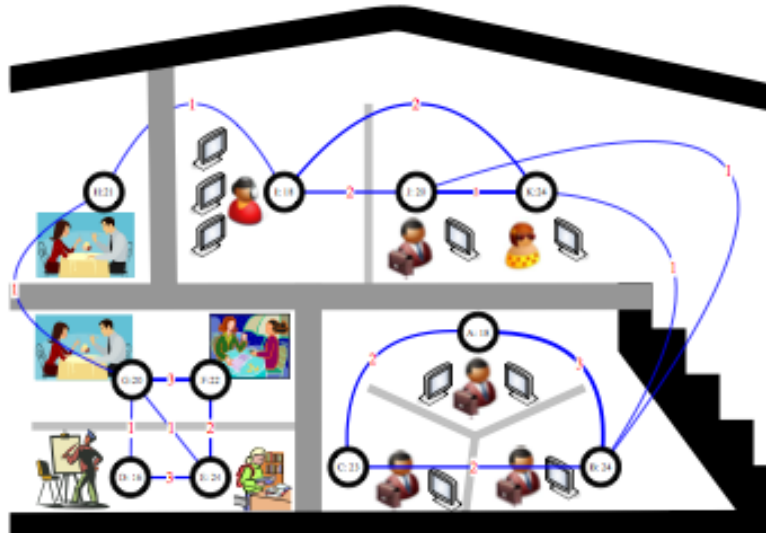
και η πραγματική τιμή στην οποία θα ρυθμιστεί ο φωτισμός, λαμβάνοντας υπ' όψιν (μέχρι ενός βαθμού) τις προτιμήσεις και των γειτονικών γραφείων.

Επομένως, παρατηρείται μια προσπάθεια εύρεσης μιας ισορροπίας μεταξύ των αναγκών και της επιθυμίας του συγκεκριμένου ατόμου, των προτιμήσεων που ξέρει (ή ίσως πιστεύει) ότι έχουν οι συνάδελφοί του σε γειτονικά γραφεία καθώς και της τήρησης τυχόντων ενεργειακών πολιτικών που είναι πιθανό να εφαρμόζονται στην συγκεκριμένη εταιρεία. Για παράδειγμα, σε ένα γραφείο με δυο εργαζομένους, ένας ισχυρογνώμων υπάλληλος θα επέμενε στο να ρύθμιζε την δική του συσκευή σε μια προκαθορισμένη τιμή s_i , ενώ αντίθετα ένας υπάλληλος περισσότερο αλτρουιστής, θα υπολόγιζε την δική του επιθυμία σε συνάρτηση με την ρύθμιση που έχει ανακοινώσει ο συνάδελφός του προσδοκώντας να πετύχει έναν συμβιβασμό στις ρυθμίσεις φωτεινότητας, έτσι ώστε να είναι σχετικά ικανοποιημένος με την τιμή που έχει η δική του συσκευή, και παράλληλα να μην ενοχλήσει όσο το δυνατόν τον συνάδελφο με τις διαφορετικές προτιμήσεις. Επίσης, η εταιρεία θα μπορούσε να παρέμβει σε αυτή την περίπτωση και να θέσει τις τιμές που προσδιορίζονται από κάποια πολιτική εξοικονόμησης ενέργειας για τις συσκευές φωτισμού των υπαλλήλων.

Ο βαθμός ευαισθησίας ενός ατόμου ως προς τις αποφάσεις άλλων ατόμων στον ίδιο χώρο εξαρτάται από τις σχετικές τοποθεσίες τους και την "κοινωνική τους δομή". Από την άλλη, άσχετα με τις προτιμήσεις τους, αν δύο εργαζόμενοι βρίσκονται αρκετά μακριά ο ένας από τον άλλο, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι προτιμήσεις και οι πράξεις που βασίζονται σε αυτές να μην έχουν καμία κοινή συνισταμένη επιρροής, με άλλα λόγια, η ρύθμιση τους ενός να μην επηρεάζει στο ελάχιστο τις συνθήκες εργασίας του άλλου.

Έστω ένα κτήριο το οποίο στεγάζει αρκετών ειδών εγκαταστάσεις, όπως γραφεία, δωμάτια αναψυχής κλπ. Οι ένοικοι αυτού του κτηρίου έχουν συγκεκριμένες απόψεις και προτιμήσεις σχετικά με τις εργασιακές τους συνθήκες όπως πχ. τα επίπεδα φωτισμού στα γραφεία τους. Κάθε άτομο (μαζί με τη συσκευή φωτισμού του) αντιστοιχίζεται σε έναν κόμβο ενός γράφου και υφίσταται μια μη κατευθυνόμενη ακμή μεταξύ δυο κόμβων εάν και μόνο αν τα αντίστοιχα άτομα ενδιαφέρονται ο ένας για τις προτιμήσεις του άλλου (όσον αφορά το επίπεδο φωτισμού). Ακόμα, μπορεί να δημιουργηθεί η κατάσταση όπου οι ακμές είναι κατευθυνόμενες εάν τυγχάνει η εξάρτηση μεταξύ των δυο ατόμων και των προτιμήσεών τους να μην είναι συμμετρική. Το βάρος κάθε ακμής αντικατοπτρίζει την *σημασία* αυτής της αμφίδρομης συμπάθειας ως προς την άποψη των δυο αυτών ατόμων. Με άλλα λόγια, δυο άνθρωποι οι οποίοι δουλεύουν στο ίδιο γραφείο, θα πρέπει να ενδιαφέρονται αρκετά ο ένας για την προτίμηση του άλλου, μιας και αυτή θα έχει άμεσο αντίκτυπο στο εργασιακό περιβάλλον του κοινόχρηστου μεταξύ τους χώρου. Επίσης, πολύ πιθανό

να τους ενδιαφέρουν οι προτιμήσεις ατόμων που εργάζονται σε γειτονικά γραφεία, και προτιμήσεις άλλων συναδέλφων τους οι οποίοι μπορεί μεν να εργάζονται σε πιο μακρινά γραφεία άλλων ορόφων αλλά να τους συνδέει κοινό κλιμακοστάσιο (οπότε και επηρεάζονται από τις αποφάσεις των μακρινών τους γειτόνων, αν και ελάχιστα).



(α') Παράδειγμα γράφου που δημιουργείται σε ένα δίκτυο εργαζομένων μέσα σε κτήριο

2.2.1 Παραγοντες που επηρεάζουν την μεταβολή γνώμης

Ένας σημαντικός παράγοντας στην εξέλιξη μιας γνώμης είναι η επίδραση των "διακεκριμένων πρακτόρων" οι οποίοι έχουν μια δυσανάλογη επίπτωση στην μεταβολή της γνώμης άλλων είτε λόγω της κοινωνικής τους θέσης είτε λόγω των απόπειρών τους να επηρεάσουν άλλους. Στο περιβάλλον του χώρου εργασίας, [1][27] ένας προϊστάμενος ή μάνατζερ έχει μια συγκεκριμένη θέση στην ιεραρχία της εταιρείας, η οποία του δίνει την δυνατότητα να αγνοήσει τις προτιμήσεις άλλων εργαζομένων ακόμα και αν αυτό συμβαίνει ακούσια, π.χ. το άτομο που προϊσταται δεν προσπαθεί ενεργά να επιβάλλει την άποψή του, αλλά λόγω της θέσης του, θα είναι πιο πιθανό οι υπόλοιποι εργαζόμενοι να συμβιβαστούν με τις δικές του προτιμήσεις, μεταβάλλοντας τις δικές τους.

Από τα παραπάνω μπορεί εύκολα να βγει το συμπέρασμα ότι η τελική απόφαση ενός ατόμου πάνω σε ένα θέμα επηρεάζεται ενεργά από το επίπεδο ευαισθησίας τους απέναντι σε άλλους ανθρώπους του περιβάλλοντός τους. Η ευαισθησία αυτή με

τη σειρά της εξαρτάται από την κοινωνική θέση και την τοποθεσία άλλων ατόμων. Για παράδειγμα σε έναν χώρο εργασίας, ένας εργαζόμενος μπορεί να βλέπει με θετικό τρόπο τις προτιμήσεις ενός άλλου εργαζομένου που συμπαθεί, μεταβάλλοντας την δικές του προτιμήσεις ώστε να συγκλίνουν περισσότερο με αυτές του άλλου. Από την άλλη, ασχέτως με την συμπάθεια ή την άποψη που μπορεί να έχει ο ίδιος εργαζόμενος για κάποιον συναδέλφό του ο οποίος κάθεται μακριά από αυτόν (π.χ. σε διαφορετικό γραφείο, όπου οι προτιμήσεις στον φωτισμό δεν επηρεάζουν το περιβάλλον του πρώτου), αυτή δεν πρόκειται να επηρεάσει την απόφασή του στο ελάχιστο. Ακόμη, είναι πιθανό ένας εργαζόμενος να μην έχει καν πρόσβαση στις αποφάσεις συναδέλφων οι οποίοι βρίσκονται μακριά του.

2.2.2 Ένα παραδειγμα περιβαλλόντος

Σαν παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι υπάρχει ένα κτήριο με πλειάδες χρήσεων, το οποίο στεγάζει διάφορες εγκαταστάσεις (γραφεία, δωμάτια διασκέδασης κλπ.). Μέσα στο κτήριο, οι κάτοικοί του έχουν "εσωτερικές προτιμήσεις" σχετικά με το περιβάλλον εργασίας τους, π.χ. σε σχέση με το επίπεδο φωτισμού του γραφείου τους. Κάθε άτομο (μαζί με την συσκευή φωτισμού που του αναλογεί), αντιστοιχούν σε έναν κόμβο ενός γράφου και υφίσταται μια (μη-κατευθυνόμενη) ακμή μεταξύ δυο κόμβων αν και μόνο αν δυο άτομα νοιάζονται για τις μεταξύ τους απόψεις σχετικά με το επίπεδο φωτισμού. Υπάρχει επίσης η περίπτωση οι ακμές να είναι κατευθυνόμενες, εάν για παράδειγμα η εξάρτηση μεταξύ δυο διανυσμάτων προτίμησης δεν είναι συμμετρική. Το βάρος κάθε ακμής αντιπροσωπεύει την *σημασία* αυτής της αμοιβαίας επίδρασης πάνω στις προτιμήσεις του άλλου. Άτομα που βρίσκονται στο ίδιο δωμάτιο (θα έπρεπε) να νοιάζονται αρκετά για τις προτιμήσεις των άλλων στο ίδιο δωμάτιο, καθώς αυτές θα τους επηρεάσουν και τους ίδιους. Επίσης, μπορεί να ενδιαφέρονται (αν και λιγότερο) για τις επιλογές άλλων ατόμων σε γειτονικά δωμάτια (πχ. χωρισμένα με γυάλινους τοίχους) ή ακόμα και σε διαφορετικούς ορόφους στην περίπτωση που τους χωρίζει μια κοινόχρηστη σκάλα της οποίας ο φωτισμός επηρεάζει τον συνολικό φωτισμό που υπάρχει στο γραφείο τους.[22]

Εξετάζουμε την περίπτωση όπου ο κάθε εργαζόμενος προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την απόσταση από την δική του προτίμηση για την επίτευξη ενός ιδανικού (για τον ίδιο) επιπέδου φωτισμού στο γραφείο του αλλά και από τις προτιμήσεις των γειτόνων του των οποίων οι προτιμήσεις έχουν σημασία για τον ίδιο. Οι βέλτιστες και Nash λύσεις (με σεβασμό προς την μετρική "απόστασης από προτίμηση") σε αυτό το παράδειγμα είναι:

ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΠΟΨΗ	ΑΝΑΚΟΙΝΩΜΕΝΗ ΑΠΟΨΗ
Ιδιοτελής	s_i	z_i
Αλτρουιστής	s_i	z_i επηρεάζεται από την άποψη των άλλων

Πίνακας 1: Παράγοντες που επηρεάζουν την άποψη ενός εργαζομένου. [Κνυτη](#)

$$\begin{aligned}
 x_{\text{opt}} &= [21.1017, 21.3920, 21.4416, 20.1723, \\
 &\quad 20.7209, 20.7782, 20.6127, 20.7548, \\
 &\quad 20.7742, 21.0206, 21.2311] \\
 x_{\text{nash}} &= [20.9991, 21.5777, 21.6307, 19.8170, \\
 &\quad 20.8341, 20.9027, 20.5826, 20.7189, \\
 &\quad 20.5742, 20.9815, 21.3815]
 \end{aligned} \tag{1}$$

Για παράδειγμα, με σεβασμό προς το μέτρο κοινωνικής ευημερίας “απόσταση από προτίμηση” (το μητρώο W αντιπροσωπεύει τα βάρη των ακμών):

$$sc(z) = \sum [(z_i - s_i)^2 + \sum W_{i,j}(z_i - z_j)^2]$$

ήδη παρατηρούμε την ασυμφωνία μεταξύ του κόστους Nash και του βέλτιστου κόστους σε αυτό το απλό παράδειγμα:

$$\frac{sc(x^{\text{nash}})}{sc(x^{\text{opt}})} = 74.2514/70.4291 = 1.0543$$

(μια απόκλιση της τάξης του 5% πάνω από το βέλτιστο κόστος λόγω ιδιοτέλειας). Αξίζει να σημειωθεί ότι (όσον αφορά τον συγκεκριμένο στόχο), η αναλογία Nash προς βέλτιστο (αλλιώς, το κόστος *αναρχίας*) είναι αποδεδειγμένα φραγμένο προς τα άνω στο 12,5% στην περίπτωση συμμετρικών συσχετίσεων, αλλά πολύ απλές περιπτώσεις δείχνουν την έλλειψη δυνατότητας επιβολής φράγματος περίπτωση ασυμμετρίας [;].

2.2.3 Μαθηματική αναλυση

Εξετάζεται η περίπτωση ενός γράφου $G = (V, E)$ στην οποία κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει συγκεκριμένο ατζέντη $i \in V$, ο οποίος συνοδεύεται από μια ιδιωτική, πολύ πιθανόν μυστική άποψη (πραγματικό αριθμό) s_i . Κάθε τόξο $e \in E$ συνοδεύεται από

μια μη αρνητική τιμή (το επίπεδο επίδρασης) $W(e)$ της ανακοινωμένης απόφασης του κόμβου $\text{head}(e)$ προς την ανακοινωμένη απόφαση του κόμβου $\text{tail}(e)$. Κάθε κόμβος, εκτός από την ιδιωτική του άποψη s_i κρατάει και την ανακοινωμένη του απόφαση z_i . Το διάνυσμα $z_i \in V$ αντιπροσωπεύει την *περιγραφή κατάστασης* του συστήματος. Το ίδιο το σύστημα μπορεί να επέμβει και να θέσει πολιτικές κατανάλωσης (μια ανά άτομο). Από τη στιγμή που έχουμε να κάνουμε με κόστη φωτισμού, υποθέτουμε ότι αυτές οι πολιτικές είναι γραμμικές συναρτήσεις $a_i \cdot z_i + b_i$. Αυτές οι συναρτήσεις θα προστεθούν σε μια ποσότητα *επιπέδου διαφωνίας* του κάθε ατόμου. Ξεκινώντας από μια αυθαίρετη κατάσταση, το σύστημα ανανεώνεται διακριτά. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε διακριτή χρονική τιμή $t \in \mathbb{N}$, λαμβάνει χώρα η παρακάτω ανανέωση σε κάθε κόμβο:

$$z_i(t+1) = \frac{(s_i - \frac{a_i}{2}) + \sum_{j \in \text{OUT}(i)} W(ij) \times z_j(t)}{1 + \sum_{j \in \text{OUT}(i)} W(ij)} \quad (2)$$

όπου $\text{OUT}(i)$ είναι η έξω-γειτονιά του i στο G . Πρόκειται για μια αρκετά απλή διαδικασία, της οποίας οι ανανεώσεις εκτελούνται σε επίπεδο κόμβου, χρησιμοποιώντας μόνο τοπική πληροφορία. Είναι γνωστό ότι γραμμικές διακριτές δυναμικές μπορούν να ιδωθούν σαν βέλτιστες περιπτώσεις για τα παρακάτω *convex pragmatic* προγράμματα:

$$\forall i \in V, z_i \in \arg\min_{x_i \in \mathbb{R}} (x_i - s_i)^2 + \sum W(ij)(x_i - z_j(t))^2 + a_i \times x_i + b_i \quad (3)$$

Παρατηρούμε ότι λόγω

1. της ύπαρξης εσωτερικών απόψεων
2. του κόστους κατανάλωσης

το σύστημα δεν θα φτάσει σε ομοφωνία ή αλλιώς ένα κοινό επίπεδο φωτισμού αποδεκτό από όλα τα άτομα. Παρ' όλα αυτά, δύναται να συγκλίνει σε ένα μοναδικό σημείο Nash ισορροπίας. Η τιμή της συνάρτησης προσωπικής ευημερίας $C_i(x_i|z_{-i}) = (x_i - s_i)^2 + \sum_{j \in \text{OUT}(i)} W_{ij}(x_i - z_j(t))^2$ ονομάζεται *επίπεδο ενόχλησης*.

Ενώ η *φυσική συνάρτηση ευημερίας* θα οριστεί ως το μέσο των ενοχλήσεων για όλους τους παίκτες:

$$SC(z) = \sum_{i \in V} C_i(z_i|z_{-i}) = \sum_{i \in V} [(z_i - s_i)^2 + \sum_{j \in \text{OUT}(i)} W(ij)(z_i - z_j)^2 + a_i \cdot z_i + b_i] \quad (4)$$

Πρόκειται λοιπόν για μια περίπτωση convex optimization προβλήματος, επομένως η βέλτιστη λύση μπορεί να υπολογιστεί σε πολυωνυμικό χρόνο. Από την άλλη, πρέπει κανείς να αναλογιστεί τις εσωτερικές απόψεις των ατόμων οι οποίες δεν είναι γνωστές στο σύστημα. Το σύστημα όμως έχει στην διάθεσή του τις πολιτικές οι οποίες ελέγχουν το σχέδιο ενεργειακής κάλυψης του κτηρίου. Είναι λοιπόν αρκετά ενδιαφέρον να μελετηθεί το πως το σύστημα δύναται να επηρεάσει το συνολικό επίπεδο ενόχλησης μέσω σωστών επιλογών αυτών των σχεδίων διαχείρισης κόστους. Στις περιπτώσεις άλλων κοινωνικών συναρτήσεων ευημερίας, ίσως να μπορούν να συνδυαστούν τα επίπεδα ενόχλησης και τα καταναλωτικά κόστη με μη γραμμικό τρόπο, ή ακόμα και να εξεταστούν λύσεις Pareto για το αντίστοιχο πολυαντικειμενικό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Σε τέτοιες περιπτώσεις πάντως, οι πολυ φυσικές και απλές δυναμικές των καλύτερων αποκρίσεων υπάρχει περίπτωση να χάσουν την γραμμικότητά τους ή ακόμα και τον κύκλο τους, εμποδίζοντας έτσι το σύστημα από το να φτάσει σε μια ισορροπία Nash.

Το μοντέλο που περιγράφηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατευθυνόμενους και μη κατευθυνόμενους γράφους - η μόνη διαφορά έγκειται στο αν το σύνολο γειτόνων $N(i)$ του i αντιπροσωπεύει τους κόμβους οι οποίοι συνδέονται με τον i μέσω μη κατευθυνόμενων ακμών ή στους οποίους συνδέεται ο i μέσω κατευθυνόμενων ακμών. Όμως, η συμπεριφορά του κόστους αναρχίας είναι πολύ διαφορετική μεταξύ κατευθυνόμενων και μη κατευθυνόμενων γράφων.

Μερικά πολύ ενδιαφέροντα ερωτήματα που προκύπτουν από την παραπάνω έρευνα και θα μπορούσαν να μελετηθούν περαιτέρω και να ελεγχθούν πειραματικά, είναι τα παρακάτω:

- * Πώς η επίδραση της κοινωνικής δομής του γράφου G επηρεάζει την αναλογία της κοινωνικής ευημερίας όταν βρισκόμαστε σε ισορροπία Nash σε σύγκριση με την βέλτιστη λύση;
- * Πώς κανείς μπορεί να επηρεάσει αυτή την αναλογία μέσω της αναδιάταξης της κοινωνικής δομής του γράφου, πχ. με το να μετακινηθούν εργαζόμενοι οι οποίοι φαίνεται να αντιμετωπίζουν δυσκολίες συνεργασίας όσον αφορά τις εργασιακές τους συνθήκες στο ίδιο γραφείο;
- * Πώς κανείς μπορεί να επηρεάσει αυτή την αναλογία επιλέγοντας σωστές πολιτικές κοστολόγησης;

ΕΞΥΠΝΑ ΚΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ

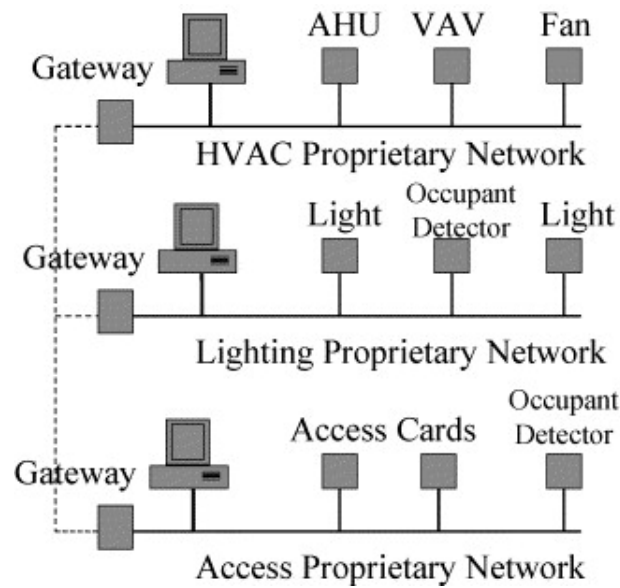
Ο αυτοματισμός κτηρίων και τα συστήματα εύρεσης τοποθεσίας σε πραγματικό χρόνο (real time locating systems) είναι δυο τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα έξυπνων κτηρίων, χαρτογράφηση εσωτερικών χώρων και σε εφαρμογές οδήγησης/εντοπισμού χρηστών. Ενώ τα αυτοματοποιημένα συστήματα διαχείρισης κτηρίων υφίστανται εδώ και πολλά χρόνια, ο εξελιγμένος έλεγχος αυτών των συστημάτων και η αυτοματοποίηση της δράσης τους είναι ένα πεδίο το οποίο απασχολεί ιδιαίτερα την ερευνητική κοινότητα. Το ίδιο ισχύει για τα συστήματα εντοπισμού πραγματικού χρόνου, μιας και ο εντοπισμός θέσης σε εσωτερικούς χώρους με παράγοντες όπως είναι η ανάγκη για εύρεση ιδιαίτερα ακριβούς τοποθεσίας, η ύπαρξη εμποδίων κ.α. το καθιστούν ένα δύσκολο πρόβλημα.

3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ - BMS

Η ανάγκη για την εξεύρεση έξυπνων στρατηγικών σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας έχουν δημιουργήσει αγορά για συστήματα διαχείρισης εμπορικά και έξυπνων κτηρίων. Η έννοια του ελέγχου από συστήματα διαχείρισης κτηρίων μιας πλειάδας δικτύων διαχείρισης συνθηκών περιβάλλοντος έχει υιοθετηθεί τα τελευταία 20 χρόνια [23]. Η επικοινωνία μεταξύ αυτών των συστημάτων είναι πολύ σημαντική για την ομαλή τους συνεργασία και την δυνατότητα να συνδέονται πολλαπλά ανεξάρτητα συστήματα διαχείρισης κτηρίων από μια μεγάλη γκάμα κατασκευαστών.

Τα παλιότερα BMS χρησιμοποιούσαν ιδιόκτητα δίκτυα με ιδιόκτητα και προστατευμένα πρωτόκολλα [26]. Απαιτείται ο σχεδιασμός και η κατασκευή ειδικών εισόδων πυλών για την ενσωμάτωση συσκευών ελέγχου από διαφορετικούς κατασκευαστές, κάτι το οποίο προκαλεί προβλήματα λόγω των ιδιαίτερων διαφορών στα ιδιόκτητα πρωτόκολλα της κάθε συσκευής [11].

Συσκευές από διαφορετικούς κατασκευαστές αναγκαστικά πρέπει να χρησιμοποιούν τα ίδια πρωτόκολλα δικτύων, με τα μηνύματα μεταξύ τους να μεταφέρονται μέσω μονοπατιών ροής πληροφορίας επεξεργασμένα από στοιχεία αρχιτεκτονικής. Η χρήση συστημάτων υποβοήθησης που βασίζονται σε διαφορετικά πρωτόκολλα είναι ένα μοντέλο από το οποίο αρχίζουν και απομακρύνονται τα μοντέρνα BMS



(α') Ενσωμάτωση σε ιδιόκτητα δίκτυα μέσω πυλών

και αντ' αυτού χρησιμοποιούν ένα ομογενοποιημένο δίκτυο βελτιστοποιημένων συστημάτων για όλες τις υπηρεσίες (πυροπροστασίας, HVAC, ελέγχου πρόσβασης κλπ.).

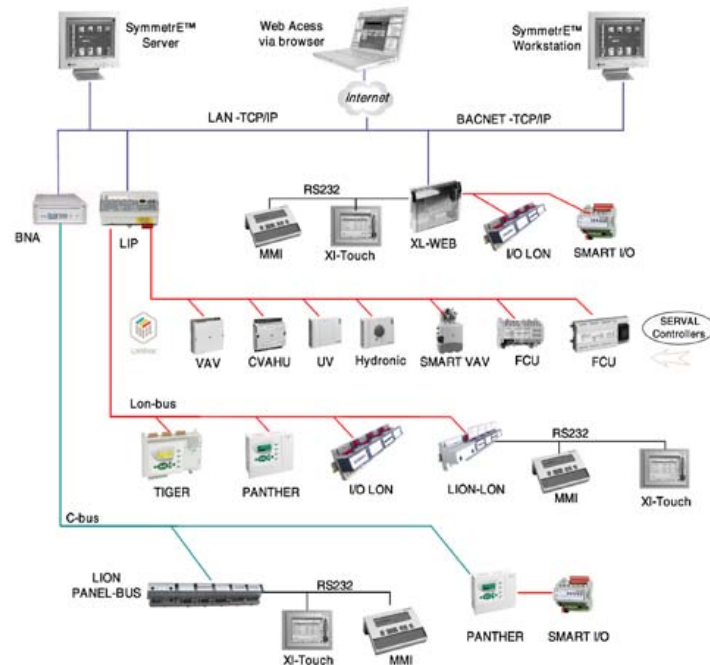
Σήμερα, υφίστανται μια σειρά από εμπορικές λύσεις όπως τα Honeywell[24], Johnson Controls' Metasys[15] και Can2Go[2]. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των αρχιτεκτονικών και χαρακτηριστικών τους.

3.1.1 Honeywell

Τα συστήματα ελέγχου Honeywell παρέχουν υποσυστήματα διαχείρισης θέρμανσης, ανανέωσης αέρα, ύγρανσης και καυστήρα. Ο διαχειριστής κτηρίου της Honeywell είναι μια επιχειρησιακή λύση η οποία παρέχει παρακολούθηση των ζωτικών σημείων ρύθμισης περιβάλλοντος από ένα σημείο. Παρέχει επίσης πρόσβαση σε σύστημα διαχείρισης πρόσβασης το οποίο κάνει χρήση ζωνών και σημείων ελέγχου ασφαλείας με συσκευές ανάγνωσης έξυπνων καρτών για την παροχή άδειας σε χρήστες οι οποίοι έχουν στην κατοχή τους ειδικές κάρτες πρόσβασης RFID. Το σύστημα υπόσχεται μείωση στα κόστη λειτουργίας της τάξης του 20% τουλάχιστον.

Τα συστήματα Honeywell συνεργάζονται με το λογισμικό SymmetrE Workstation, ένα κεντριοποιημένο διαχειριστικό και εποπτικό πακέτο το οποίο χρησιμο-

ποιείται για την όλα τα προαναφερόμενα υποσυστήματα ψύξης, θέρμανσης κλπ. Μερικά από τα χαρακτηριστικά του είναι:

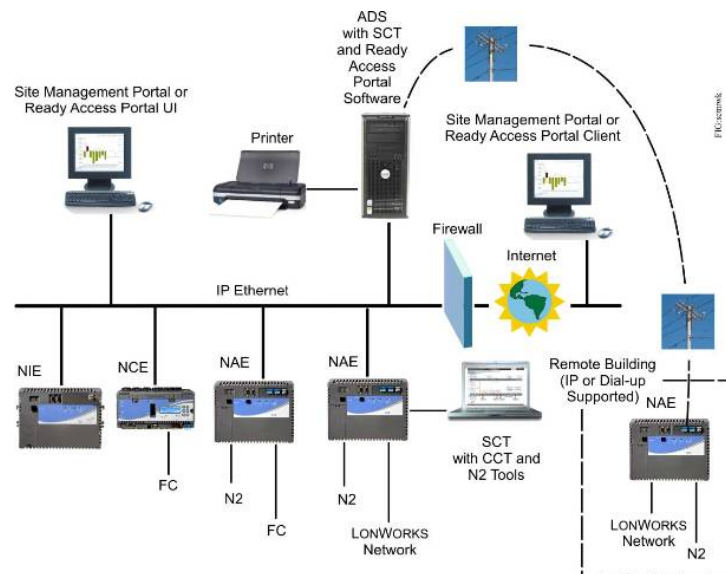


(α') Ενδεικτική αρχιτεκτονική ενός συστήματος BMS με χρήση του Honeywell

1. Σύστημα διαχείρισης κτηρίου σε θέματα κλιματισμού, θέρμανσης, κυκλοφορίας αέρα
2. Ενσωμάτωση με μια μεγάλη γκάμα συνόλων συσκευών, πηγών Internet και Intranet
3. Υποστηρίζει ανοικτά standards όπως BACnet, LONMARK, ODBC, OPC, AdvanceDDE, Modbus
4. Περιβάλλον διαχείρισης web
5. Σχεδιασμός και ανάπτυξη που υπόκεινται στα Διεθνή standard ISO 9001:2000

3.1.2 Metasys

Το Johnson's Metasys BMS είναι μια ακόμη λύση η οποία παρέχει ενσωμάτωση με τα συστήματα ελέγχου περιβάλλοντος. Ένα ενοποιημένο σύστημα διεπαφής για την παρακολούθηση HVAC, φωτισμού και ελέγχου πρόσβασης. Το σύστημα χρησιμοποιεί τις παρακάτω τεχνολογίες:



(α') Ενδεικτική αρχιτεκτονική ενός συστήματος BMS με χρήση του Metasys

1. *Εξυπηρετητής δικτυακών εφαρμογών και δεδομένων:* Φιλοξενεί πολλαπλές συσκευές και χρήστες και παρέχει επεκτασιμότητα σε περίπτωση που πρέπει να αυξηθεί ο αριθμός των υποβοηθητικών συστημάτων με το πέρασμα του χρόνου.
2. *Μονάδα ελέγχου δικτύου (NCM):* Παρέχει ένα N2 ή LonWorks δικτυακό κορμό ο οποίος παρέχει επίβλεψη και διαχείριση συσκευών HVAC.
3. *Μηχανές ενσωμάτωσης δικτύου (NIE):* Γεφυρώνει το κενό μεταξύ του λογισμικού και των δικτυακών πρωτοκόλλων.
4. *Ενσωματωτής Metasys:* Αυτή η συσκευή δίνει τη δυνατότητα σε εξοπλισμό τρίτων ώστε να λειτουργήσουν σαν καίριο κομμάτι του συστήματος. Από τη στιγμή της σύνδεσής τους, αυτές οι συσκευές μπορούν να ελεγχθούν από το σύστημα διαχείρισης.

5. *N30 Ελεγκτής εποπτείας*: Επόπτης παλαιότερης γενιάς συσκευών HVAC και εξοπλισμού κτηρίου.
6. *Ελεγκτές και μηχανές αυτοματισμού δικτύου*: Εξασφαλίζουν την συνδεσιμότητα, συμβατότητα και κινητικότητα των συστημάτων διαχείρισης μέσω διεπαφής ιστού.
7. *Αισθητήρες και ελεγκτές με δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης*: Απλά κομμάτια υλικού που τοποθετούνται σαν πρόσθετα πάνω σε παλαιότερες συσκευές και τους δίνουν την δυνατότητα να λειτουργούν μέσω ασύρματων πρωτοκόλλων επικοινωνώντας πλέον με αυτό τον τρόπο με αισθητήρες και μηχανές δικτύου.
8. *Ελεγκτής βιωσιμότητας*: Η πλατφόρμα ελέγχου βιωσιμότητας του Metasys δίνει τη δυνατότητα σε συστήματα διαχείρισης κτηρίων να επικοινωνούν με open protocol IT συστήματα για την καλύτερη διαχείριση ενέργειας, συντήρησης και φυσικής ασφάλειάς τους, με αποτέλεσμα την αρμονικότερη λειτουργία τους μέσα στο οικοσύστημα του BMS.

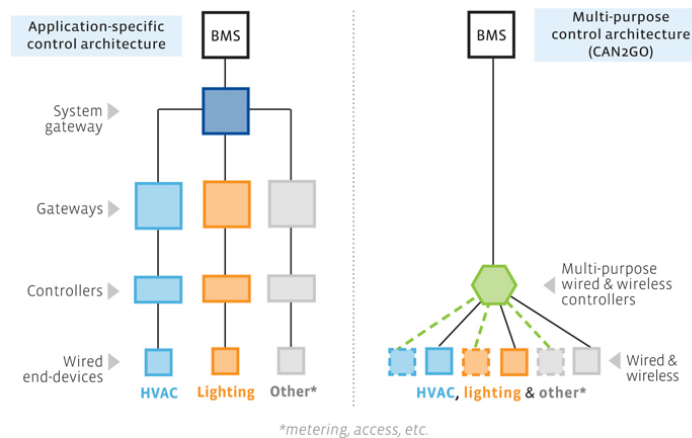
3.1.3 Can2Go

Το Can2Go είναι ένα Σύστημα Διαχείρισης Κτηρίων με σκοπό την ενσωμάτωση πολλαπλών τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας, δικτύων πλέγματος, αισθητήρες μέτρησης ενέργειας και έλεγχος μέσω web για να προσφέρει ενός είδους καινοτόμα αρχιτεκτονική στον χώρο των BMS. Ο κύριος στόχος είναι τα μικρότερου μεγέθους κτήρια και εταιρείες σε αντίθεση με τις προηγούμενες δύο λύσεις οι οποίες είναι περισσότερο προσανατολισμένες σε μεγάλου μεγέθους επιχειρήσεις.

Το σύστημα BMS χρησιμοποιεί ασύρματους ελεγκτές για τον έλεγχο διαφόρων συσκευών του δικτύου. Οι ελεγκτές έχουν προερατικά ενσωματωμένες ασύρματες μονάδες EnOcean και ZigBee. Μπορούν επίσης να επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα χρησιμοποιώντας τις παραπάνω υπομονάδες. Τέλος, ένα web interface ονόματι BEMS παρέχεται για τον έλεγχο των διάφορων συσκευών και των περιοχών αυτοματισμού του δικτύου.

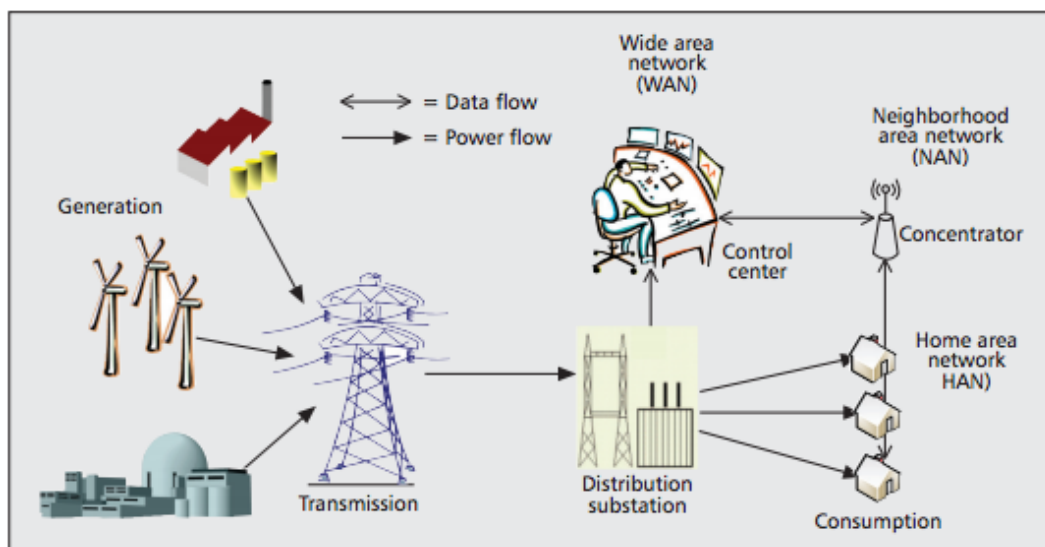
3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ένα όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον σχετικά με την εξέλιξη ενός έξυπνου δικτύου ηλεκτροδότησης. Πρόκειται για ένα μοντέρνο δίκτυο ηλεκτροδότησης το οποίο παρέχει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των



(α') Διαφορά αρχιτεκτονικής Can2Go σε σχέση με άλλα συστήματα

παρόχων ηλεκτρισμού και των καταναλωτών, με αποτέλεσμα καλύτερο ενεργειακό έλεγχο και την βελτιστοποίηση της χρήσης οικιακών συσκευών.[19]



(α') Αρχιτεκτονική ενός έξυπνου δικτύου ηλεκτροδότησης.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης (Energy Management Systems/EMS), είναι η ορθή διαχείριση ενεργειακών πόρων και η δυνατότητα ενσωμάτωσής τους με τα συστήματα διαχείρισης κτηρίων. Τα συστήματα αυτά παρέχουν στον καταναλωτή εργαλεία για την διαχείριση και την βελτιστοποίηση ενεργειακής χρήσης μέσα στο σπίτι τους. Για παράδειγμα, ένα EMS μπορεί να βοηθήσει τον χρήστη να αποφύγει την άσκοπη χρήση συσκευών τις νυχτερινές

ώρες ή τον προγραμματισμό για χρήση τους σε συγκεκριμένα ωράρια που η εταιρεία παροχής ρεύματος έχει ορίσει ως εκπαιωτικά έτσι ώστε να έχει οικονομικά οφέλη.

Αν και τα EMS υφίστανται εδώ και τρεις δεκαετίες [8], υπήρχαν προβλήματα με την εφαρμογή τους σε κοινά περιβάλλοντα λόγω της απαίτησης χειρονακτικής παραμετροποίησης και συνεχούς επικοινωνίας με τον χρήστη. Αυτά τα εμπόδια αφομοίωσής τους από τον περισσότερο κόσμο άρχισαν τα τελευταία χρόνια να ξεπερνιούνται λόγω τεχνολογικών αλμάτων που έχουν γίνει στον τομέα.

Συγκεκριμένα, η εξέλιξη των τεχνικών non-intrusive load monitoring (NILM) μας δίνει πλέον την δυνατότητα να συλλέγουμε δεδομένα για την κατανάλωση ενέργειας σε επίπεδο οικοσκευής με αποτέλεσμα οι πληροφορίες που μπορεί να παραχθεί να είναι πολύ πιο χρήσιμη στον καταναλωτή.

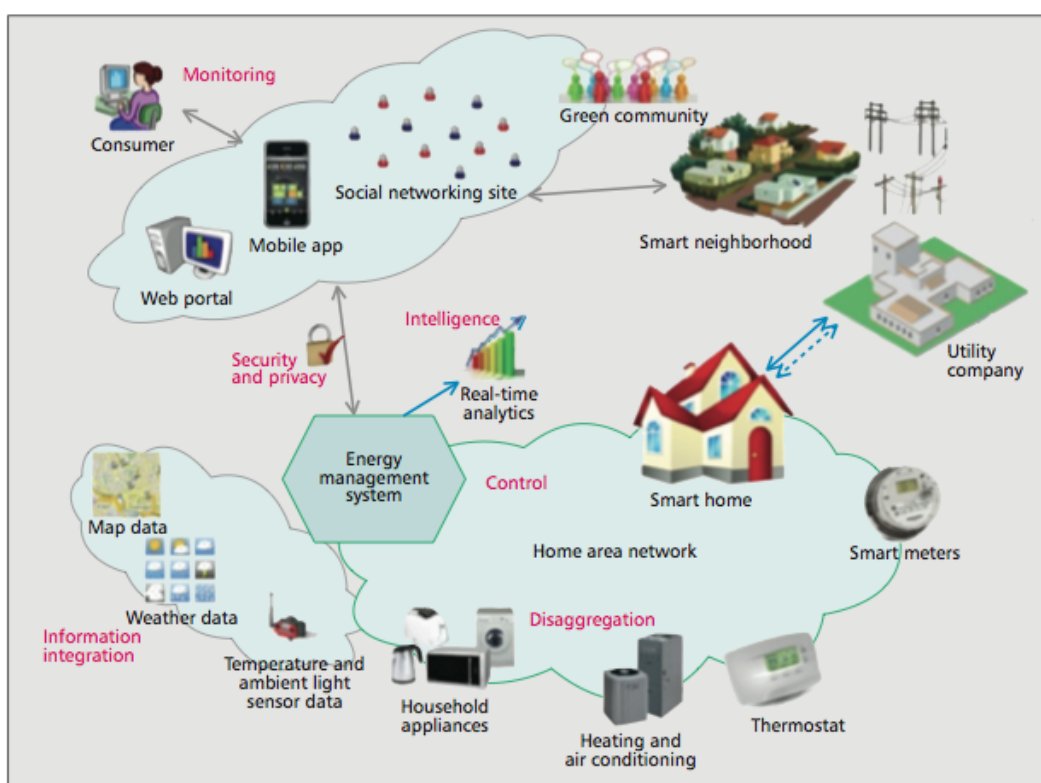
Επίσης, η όλο και πιο συχνή χρήση αισθητήρων για τον έλεγχο περιβαλλοντικών τιμών όπως η υγρασία, η θερμοκρασία και ο φωτισμός, αφήνουν αρκετό περιθώριο στην καταγραφή διαφορετικού τύπου δεδομένων για την χρήση τους από συστήματα ενεργειακής διαχείρισης προκειμένου να παρέχουν μια συνολική εικόνα για το πως επηρεάζεται το περιβάλλον του χρήστη από την μικρότερη ή μεγαλύτερη κατανάλωση ρεύματος στον χώρο του.

Τρίτον, οι πλατφόρμες cloud computing και κινητών συσκευών δίνουν πλέον τη δυνατότητα για ανάλυση δεδομένων μεγάλου όγκου σε πραγματικό χρόνο. Αυτό έχει σαν θετικό την δυνατότητα παροχής στον χρήστη συστημάτων διαχείρισης δικτυακού τύπου έτσι ώστε να ενημερώνονται ανά πάσα στιγμή για την κατάσταση του δικτύου και την κατανάλωση που έχει ο χώρος τους.

Τέλος, η συστηματική χρήση κοινωνικών δικτύων όπως το Facebook παρέχει τα δεδομένα σε εταιρείες παροχής ενέργειας για την συσχέτιση συμπεριφορών του χρήστη με την ενεργειακή κατανάλωση μέσα στο σπίτι του.[19]

Η διασύνδεση του έξυπνου δικτύου ηλεκτροδότησης με τα συστήματα διαχείρισης κτηρίων σε περιβάλλοντα έξυπνων σπιτιών, γίνεται διαμέσω των οικιακών συστημάτων διαχείρισης ενέργειας (Home Energy Management Systems/HEMS). Παραδείγματα υπηρεσιών που ξεκίνησαν να λειτουργούν με αυτό το σκοπό και πλέον έχουν μετονομαστεί ή αποσυρθεί είναι τα Google Powermeter[17], Microsoft Hohm[12] και Apple Smart-Home-Energy Management[14]. Με την χρήση τέτοιων υπηρεσιών οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν την κατανάλωση ενέργειας στο σπίτι τους και να παρατηρούν τρόπους με τους οποίους μπορούν να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση αλλάζοντας τις συνήθειές τους.

Ένα HEMS συλλέγει πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας και την ανάγκη για περαιτέρω ηλεκτροδότηση χρησιμοποιώντας έξυπνους μετρητές. Με την χρήση



(α) Η διάρθρωση ενός έξυπνου δικτύου ηλεκτροδότησης με σύστημα ενεργειακής διαχείρισης.

κατάλληλων αλγορίθμων, μπορεί να βρεθεί βέλτιστη λύση για την παραμετροποίηση της κατανάλωσης του κάθε σπιτιού, οδηγώντας έτσι σε μια όσο το δυνατόν καλύτερη και οικονομικά συμφέρουσα ενεργειακή κάλυψη.[7]

3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ - RTLS

Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο δίνει τη δυνατότητα του καθορισμού θέσης, καθώς και της διαχείρισης και ανάλυσης πληροφορίας τοποθεσίας ατόμων ή συσκευών σε πραγματικό χρόνο και σε ένα προκαθορισμένο σύνολο κλειστών χώρων. Τα RTLS είναι μια μορφή συστήματος καθορισμού τοποθεσίας σαν GPS και την διαδικασία καθορισμού θέσης από κινητές συσκευές. Αρκετές τεχνικές έχουν προταθεί για την χρήση και την υλοποίηση RTLS συστημάτων. Μερικές από αυτές είναι η μέτρηση της απόστασης από κομβικά σημεία, η ανίχνευση κίνησης μέσα σε ένα κτήριο κλπ. [25]

Τα κύρια χαρακτηριστικά των RTLS περιγράφονται παρακάτω:

Πραγματικός χρόνος: Πληροφορίες αναφορικά με το σχετικό αντικείμενο-/άτομο παρέχονται σε οποιοδήποτε χρονικό σημείο με πολύ μικρή καθυστέρηση μεταξύ μετρήσεων.

Τοποθεσία: Το σύστημα παρέχει πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία ενός αντικειμένου/ατόμου σε μια μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρεθεί η σχετική θέση του μέσα σε ένα σύνολο από πεπρασμένους κλειστούς χώρους.

Σύστημα: Η πληροφορία αυτή συγκεντρώνεται, αναλύεται και παρέχεται από ένα σύνολο τεχνολογιών υλικού και λογισμικού με οργανωμένο και δομημένο τρόπο.

Τα συστήματα RTLS βασίζουν τις μετρήσεις εντοπισμού τους στα εξής βασικά στοιχεία:

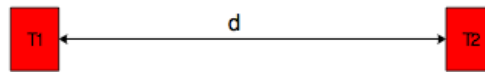
1. "Κόμβοι" ή "tags" προσαρτημένοι ή ενσωματωμένοι στις οντότητες προς εντοπισμό,
2. "Δέκτες" οι οποίοι λαμβάνουν ασύρματα σήματα από αυτά τα tags για να προσδιορίσουν την τοποθεσία τους.

3.3.1 Χρήσεις RTLS

Ο όρος "πραγματικός χρόνος" μπορεί να αντιπροσωπεύει μια σειρά από έννοιες ανάλογα με την μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να προσδιοριστεί η θέση ενός ατόμου ή αντικειμένου. Πλήθους ερευνών έχουν διενεργηθεί και εξακολουθούν να μελετώνται πάνω στο ζήτημα, με αποτέλεσμα την ύπαρξη μιας πλειάδας στρατηγικών που μπορούν να ακολουθηθούν για την απόκτηση της απαραίτητης πληροφορίας.

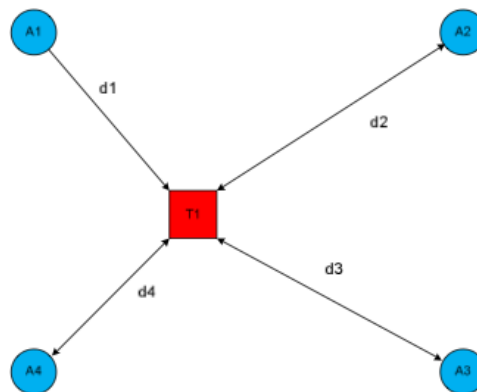
Με βάση την εγγύτητα: Όντας η απλούστερη αρχιτεκτονική συστήματος προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο, η απαίτηση για ανάγνωση πληροφορίας περιορίζεται στον εντοπισμό της απόστασης μεταξύ δυο αντικειμένων. Οι κόμβοι ορίζουν πόσο μακριά βρίσκονται ο ένας από τον άλλο και ενεργούν αναλόγως. Η μέθοδος αυτή μπορεί να υλοποιηθεί σε διοδιάστατο και τρισδιάστατο χώρο.

Καθορισμός απόλυτης θέσης με χρήση σταθερής υποδομής: Η θέση ενός αντικειμένου στον χώρο καθορίζεται από την απολύτως ορισμένη τοποθεσία του

**Figure 1: Proximity**

(α') Εγγύτητα

σε σχέση με δυο ή περισσότερους σταθερούς κόμβους οι οποίοι βρίσκονται σε γνωστές τοποθεσίες. Αυτές οι μονάδες μπορεί να ενσωματωθούν σε ασύρματα access points ή είναι ανεξάρτητες οντότητες.

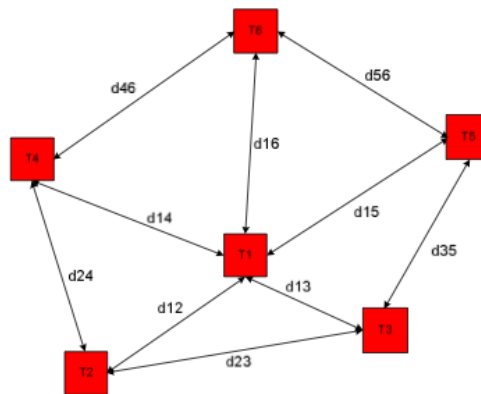
**Figure 2: RTLS with fixed infrastructure**

(α') Απόλυτη θέση

Σχετική τοποθέτηση με χρήση μιας ομάδας κόμβων: Η θέση ενός αντικειμένου στον χώρο καθορίζεται από την θέση του σχετικά με συγκεκριμένους κόμβους οι οποίοι δεν μένουν απαραίτητα σταθεροί στον χώρο παρά μπορεί να είναι κινητοί. Αυτού του είδους η μεθοδολογία μπορεί να παρατηρηθεί σε περιπτώσεις επείγουσας απόκρισης όπου είναι πολύ χρήσιμη η γνώση του που βρίσκεται το προσωπικό μέσα στο κτήριο ενόσω το περιστατικό είναι εν εξελίξει.

3.3.2 Υλοποιήσεις

Οι παραπάνω μεθοδολογίες χρησιμοποιούνται σε RTLS συστήματα και μπορεί να υλοποιηθούν με μια ποικιλία σχημάτων βασισμένων στην ισχύ σήματος ή και τον χρόνο. Γενικά, υφίστανται διαφορετικές μέθοδοι οι οποίες εναπόκεινται σε δυο βασικούς τύπους σχημάτων - αυτούς που βασίζονται στην ισχύ του ραδιο-σήματος,



(α') Σχετική θέση

κοινώς γνωστού ως Received Signal Strength Indication - RSSI και αυτών βασισμένων στην μέτρηση του χρόνου, όπως χρόνος άφιξης, χρόνος αναχώρησης και γωνία άφιξης.

3.3.3 Στρατηγικές βασισμένες στην ισχύ σήματος

Οι στρατηγικές αυτές εμπλέκουν την μέτρηση της ισχύος του ραδιο-σήματος που καταφθάνει στον δέκτη. Έχοντας γνώση της ισχύος με την οποία εστάλη το σήμα από τον πομπό, των χαρακτηριστικών διάδοσης του σήματος και μια *a priori* γνώση του περιβάλλοντος στο οποίο αυτό θα ταξιδέψει, είναι δυνατόν να υπολογιστεί με αρκετή ακρίβεια η τοποθεσία από την οποία προέρχεται αυτό και πόσο εξασθενημένο έφτασε στον δέκτη.

3.3.4 Στρατηγικές βασισμένες στον χρόνο

Στην περίπτωση μας, το RTLS κάνει χρήση ενός υβριδικού συστήματος σταθερής τοποθεσίας και μέτρησης χρόνου όπου η θέση του χρήστη μέσα σε έναν κλειστό χώρο όπως ένα δωμάτιο ή ένα γραφείο προσδιορίζεται από το αν ο χρήστης αυτός θα εισάγει τα δεδομένα του στο μηχάνημα της δουλειάς του ή αν θα σκανάρει κάποιο από τα πολλά QR αυτοκόλλητα τα οποία βρίσκονται κοντά σε αντικείμενα σημασίας, όπως είναι οι υπολογιστές, οι λάμπες γραφείου και οι εισοδοί στο δωμάτιο. Η αυτοματοποίηση του συστήματος βασίζεται στην προϋπόθεση ότι ο χρήστης που θα μεταφερθεί από το ένα δωμάτιο στο άλλο, θα κάνει αισθητή την παρουσία του στο σύστημα, σκανάροντας κάποιο QR code μέσα σε αυτό, έτσι ώστε να διαγραφεί η

παρουσία του από το άλλο γραφείο και να μπει στο διάνυσμα των ενεργών χρηστών μέσα σε αυτό και να υπολογιστούν εκ νέου οι κοινές προτιμήσεις φωτισμού σε αυτό από το σύστημα υπολογισμού.

Μέρος II

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΉ

Το σύστημα που περιγράφουμε εδώ επικεντρώνεται στην υλοποίηση μιας υπηρεσίας λήψης αποφάσεων πραγματικού χρόνου σε ένα πολυχρηστικό περιβάλλον αισθητήρων με τον σκοπό ορισμού “δίκαιων” ρυθμίσεων φωτισμού και θέρμανσης του περιβάλλοντα χώρου. Θα ασχοληθούμε με τον σχεδιασμό και την αρχιτεκτονική του συστήματος, το οποίο αποτελείται από μια εφαρμογή κινητών συσκευών (η οποία χρησιμοποιείται από τους επισκέπτες ή εργαζόμενους ενός κτηρίου), την υπηρεσία και το σύστημα που επικοινωνούν με και λαμβάνουν τιμές από ένα δίκτυο αισθητήρων. Ο σχεδιασμός μας εξαρτάται από αντικείμενα τα οποία καλούνται Σημεία Ενδιαφέροντος (Features of Interest).

4.1 ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

4.1.1 Αναπαράσταση πόρων

Ένα Σημείο Ενδιαφέροντος ορίζεται σαν ένα αντικείμενο το οποίο συνοδεύεται από κάποια χαρακτηριστικά, έχει κάποια επίπτωση στο περιβάλλον του χρήστη, είναι μετρήσιμο και ελεγχίμο από το δίκτυο αισθητήρων του κτηρίου και μπορεί να περιέχει ή να αποτελεί σύνολο από άλλα Σημεία Ενδιαφέροντος. Στην περίπτωση μας, ορίζουμε ένα ΣΕ σαν το δωμάτιο ενός κτηρίου ή το ίδιο το κτήριο (για παράδειγμα ένα μικρό διαμέρισμα). Το δωμάτιο είναι ένα υπερσύνολο από μεμονομένα ΣΕ (λάμπες γραφείου, μονάδες φωτισμού οροφής κλπ.) τα οποία μπορεί να είναι ελέγξιμα από το δίκτυο.

Η πρόθεσή μας είναι να είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε ΣΕ με ένα συγκεκριμένο αριθμό ταυτοποίησης (πχ. τον αριθμό δωματίου) και έτσι να παρέχουμε στον χρήστη με έναν τρόπο να προσδιορίζει την θέση του μέσα στο κτήριο. Η εύρεση τοποθεσίας του χρήστη μέσα στο κτήριο είναι φυσικά μια απαραίτητη διαδικασία έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να αλλάζουμε τις ρυθμίσεις των προσωρινών περιβαλλόντων στα οποία αυτός κινείται.

Ακολουθώντας το παράδειγμα και τις νόρμες της αρχιτεκτονικής εφαρμογών τύπου REST (Representational State Transfer), θεωρούμε όλα τα ΣΕ σαν κανονικοποιημένα URLs.

4.1.2 Ανταλλαγή και αποθήκευση δεδομένων

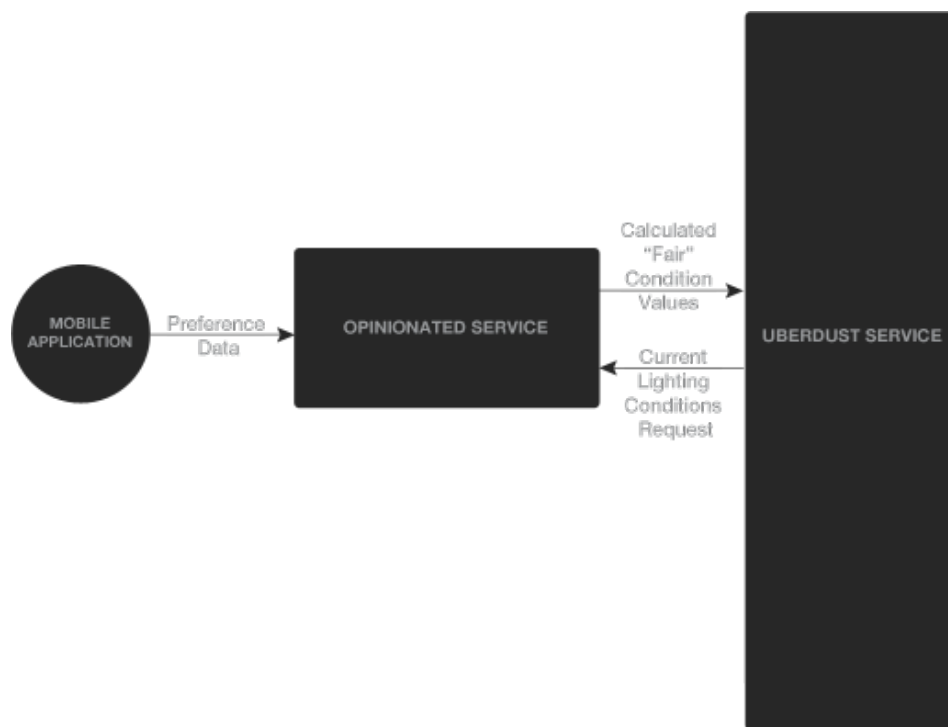
Ακολουθώντας μια προσέγγιση από το υψηλό στο χαμηλό επίπεδο παρατήρησης του συστήματος, έχουμε ένα σύστημα βάσεων δεδομένων το οποίο θα αποθηκεύει τα διανύσματα προτιμήσεων των χρηστών και τις υπολογισμένες τιμές προτιμήσεων. Η κατανεμημένη φύση του συστήματος καθώς και η χρήση των κινητών συσκευών και εφαρμογών προσθέτουν μια ευελιξία στην αρχιτεκτονική, παρέχοντας τον χώρο για υλοποιήσεις οι οποίες είναι εύκολο να συγχρονιστούν μεταξύ πολλαπλών διαφορετικών περιβαλλόντων (πχ. σπίτι, δουλειά).

4.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το προτεινόμενο σύστημα επικεντρώνεται σε τρεις κύριες πτυχές: την διεπαφή του χρήστη, την υπηρεσία αποθήκευσης και υπολογισμών και την υπηρεσία ελέγχου και ανάγνωσης του δικτύου αισθητήρων. Σε ένα κτήριο με πολλούς χρήστες, αυτοί μπορούν να έρθουν σε επαφή με μια υπηρεσία, να στείλουν τις προτιμήσεις τους για τον φωτισμό και την τοποθεσία τους στην υπηρεσία, η οποία θα αποθηκεύσει τα δεδομένα, θα υπολογίσει ποιές πρέπει να είναι οι τιμές φωτισμού στον περιβάλλοντα χώρο του χρήστη και επικοινωνεί με το δίκτυο αισθητήρων ενημερώνοντάς το για τις αλλαγές που πρέπει να γίνουν.

4.2.1 Εφαρμογή κινητής συσκευής

Κάθε χρήστης και μέλος του περιβάλλοντος του κτηρίου έχει εγκατεστημένη μια εφαρμογή στο κινητό του τηλέφωνο. Η εφαρμογή αυτή ενεργεί σαν μια διεπαφή μεταξύ ενός φυσικού προσώπου και της τεχνικής υποδομής του συστήματος, καθώς ο ρόλος της είναι να συλλέγει τις προτιμήσεις του χρήστη και να τις στέλνει σαν ένα διάνυσμα τιμών στην υπηρεσία λήψης αποφάσεων όποτε αυτός μπαίνει στο δωμάτιο. Για να μπορέσει το σύστημα να προσδιορίσει την τοποθεσία του χρήστη, έχουν εγκατασταθεί κωδικοί QR και αναγνώστες τύπου NFC στα δωμάτια/γραφεία του κτηρίου. Ο χρήστης σκανάρει τον κωδικό στην πόρτα ή σε οποιοδήποτε Σημείο Ενδιαφέροντος με την κινητή του συσκευή και ανακοινώνει με αυτό τον τρόπο την τοποθεσία του. Από τη στιγμή που ο χρήστης κάνει check-in στο δωμάτιο, η εφαρμογή στέλνει τις προτιμήσεις του σε σχέση με το δωμάτιο (τιμές φωτισμού συν τον μοναδικό αριθμό δωματίου) στην υπηρεσία σε μορφή JSON.



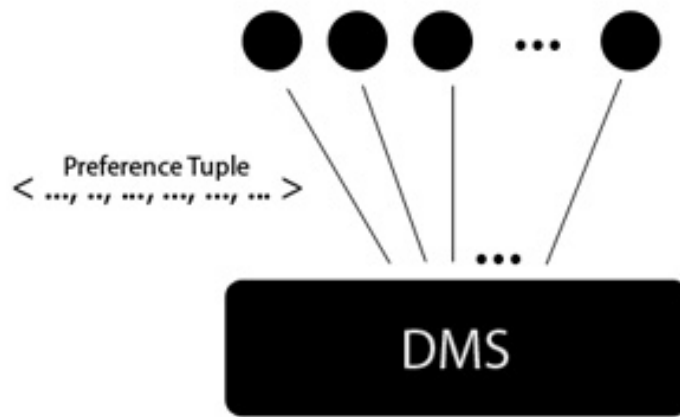
(α') Άσια περσωνας δυο.

4.2.2 Υπηρεσία λήψης αποφάσεων

Η υπηρεσία αυτή ενεργεί σαν ενδιάμεσος μεταξύ της εφαρμογής κινητής συσκευής η οποία καταγράφει και αποστέλλει τις προτιμήσεις του χρήστη και του συστήματος ελέγχου περιβαλλοντικών συνθηκών του κτηρίου. Υπολογίζει ποιές τιμές θα πρέπει να αποσταλούν στο σύστημα ελέγχου εκτελώντας έναν αλγόριθμο εύρεσης ισορροπιών και τελικά απαιτεί τις τιμές που πρέπει να τεθούν στο σύστημα φωτισμού του δωματίου.

Όταν οι προτιμήσεις και το νούμερο του δωματίου αποσταλούν στην υπηρεσία, αποθηκεύεται μια νέα γραμμή δεδομένων στην βάση. Εάν ο χρήστης δεν υπάρχει ακόμα στο σύστημα (είναι η πρώτη φορά που χρησιμοποιεί την υπηρεσία), μια νέα γραμμή δεδομένων αποθηκεύεται στον πίνακα Users με το όνομα χρήστη και τον μοναδικό αριθμό κινητής συσκευής του. Αυτό είναι και το τελευταίο βήμα στον κύκλο επικοινωνίας μεταξύ υπηρεσίας και κινητής συσκευής.

Στη συνέχεια, η υπηρεσία DecisionMap θα ελέγξει εάν ένας ή περισσότεροι χρήστες βρίσκονται μέσα στο δωμάτιο. Σύμφωνα με την απάντηση σε αυτό το ερώτημα, ένα από δύο πράγματα θα συμβούν:



(α') Άσια περσυνας δυο.

1. Ο χρήστης εισέρχεται σε ένα άδειο δωμάτιο. Η υπηρεσία στέλνει ένα αίτημα σε μορφή JSON με τις προτιμήσεις φωτισμού που ο χρήστης θέλει να εφαρμόσει στο δωμάτιο στην υπηρεσία Uberdust. Την επόμενη φορά που θα ανανεωθούν οι τιμές φωτισμού του δωματίου από το αυτόματο σύστημα ελέγχου του κτηρίου, οι τιμές που εισήγαγε ο χρήστης θα εφαρμοστούν ως έχουν στο δωμάτιο και ο χρήστης θα δει την αλλαγή μπροστά του.
2. Ο χρήστης εισέρχεται σε ένα δωμάτιο το οποίο έχει άλλους n χρήστες, οι k από τους οποίους έχουν κάνει check-in στην υπηρεσία DecisionMap. Η υπηρεσία θα πρέπει να υπολογίσει τις τιμές φωτισμού προσπαθώντας να ικανοποιήσει μια όσο το δυνατόν δίκαιη ισορροπία μεταξύ των προτιμήσεων των $k+1$ χρηστών. Όταν υπολογιστούν οι τιμές και η ισορροπία αυτή, ένα αίτημα JSON αποστέλλεται στην υπηρεσία Uberdust με τα δεδομένα αυτά. Την επόμενη φορά που θα ανανεωθούν οι τιμές φωτισμού του δωματίου από το αυτόματο σύστημα ελέγχου του κτηρίου, το ισορροπημένο διάνυσμα τιμών θα εφαρμοστεί στο δωμάτιο και όλοι οι χρήστες μέσα σε αυτό θα δουν την αλλαγή στον φωτισμό σύμφωνα με αυτό.

Κατά τη διαδικασία επιλογής τεχνολογιών για την υλοποίηση της παραπάνω υπηρεσίας web, έπρεπε να λάβουμε υπ' όψιν μας αρκετά προκαθορισμένα χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες του προβλήματος που αυτή θα κληθεί να αντιμετωπίσει:

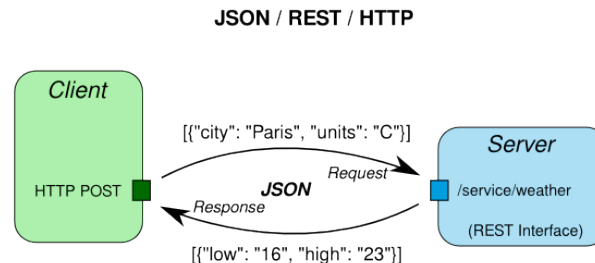
1. Ο ρόλος της υπηρεσίας είναι αυτός του ενδιάμεσου ή μιας υπηρεσίας τύπου proxy, τοποθετημένης μεταξύ μιας εφαρμογής κινητής συσκευής και άλλης μιας υπηρεσίας (Uberdust).

2. Η υπηρεσία θα πρέπει να είναι ταχείας απόκρισης. Έστω ένα μέσου μεγέθους γραφείο με 200 εργαζομένους. Κατά τις ώρες αιχμής, οι άνθρωποι τείνουν να μεταφέρονται μεταξύ γραφείων για παρουσιάσεις, συναντήσεις και συνεργασίες με άλλους συναδέλφους τους. Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να απαντάει σε ερωτήματα άμεσα όταν υπάρχει ξαφνική κίνηση.
3. Η υπηρεσία θα πρέπει να είναι ελαφριά και απλή στο πρόσωπο που δείχνει προς τα έξω, κατά προτίμηση με ένα απλό API format, και να επικοινωνεί με τις κινητές συσκευές και την υπηρεσία Uberdust μέσω ενός κανονικοποιημένου μέσου αναπαράστασης όπως είναι το JSON.
4. Αναγκαίο χαρακτηριστικό της θα πρέπει να είναι η δυνατότητα να αποθηκεύει προτιμήσεις, με άλλα λόγια η υποδομή μας χρειάζεται ένα σύστημα αποθήκευσης δεδομένων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η εφαρμογή θα πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλα κτήρια με διάφορες ώρες αιχμής και κινδύνους απότομης μεταβολής του φόρτου (πχ. κατά την πρωινή προσέλευση των εργαζομένων), πρέπει να υποθέσουμε ότι θα χρειαστούμε ένα σύστημα βάσεων υψηλής διαθεσιμότητας και χαμηλής απόκρισης.
5. Από την στιγμή που το σύστημά μας θα αποθηκεύει προσωπικά δεδομένα του κάθε χρήστη (όπως είναι οι προτιμήσεις του), η ασφάλεια είναι άλλο ένα ζήτημα το οποίο θα πρέπει να αντιμετωπιστεί. Η πληροφορία όχι μόνο πρέπει να μπορεί να αποθηκεύεται με ασφάλεια, αλλά θα πρέπει και να μεταφέρεται με ασφάλεια από σημείο σε σημείο.
6. Τέλος, από τη στιγμή η προσπάθεια που γίνεται εδώ έχει να κάνει με την αξιολόγηση της χρήσης αλγορίθμων εύρεσης ισορροπιών, το κομμάτι εκτέλεσης των υπολογισμών αυτών θα πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτο έτσι ώστε να μπορεί να επιδέχεται τροποποιήσεις στο μέλλον. Ακόμα και η αλλαγή ή αντικατάσταση αλγορίθμων ενώ λειτουργεί το σύστημα θα πρέπει να είναι κάτι εφικτό να γίνει, χωρίς να επηρεάζει την λειτουργία του συστήματος.

4.2.3 Ανταλλαγή δεδομένων

Το JSON (JavaScript Object Notation) είναι ένα βασισμένο σε κείμενο μορματ αναπαράστασης και ανταλλαγής πληροφορίας και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την μετάδοση δομημένης πληροφορίας πάνω από ένα δίκτυο μεταξύ διακομιστή και εφαρμογών web. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε JSON σαν μέσο ανταλλαγής πληροφορίας είναι ότι σαν ένα μέσο το οποίο είναι ανεξάρτητο της γλώσσας που

χρησιμοποιείται για την υλοποίηση των συστημάτων, οι υπάρχουσες βιβλιοθήκες λογισμικού για την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση JSON δεδομένων είναι άμεσα διαθέσιμες για μια πληθώρα προγραμματιστικών γλωσσών.



(α') Παράδειγμα επικοινωνίας client server μέσω HTTP, REST και JSON

Ένα παράδειγμα του προφίλ του χρήστη για ένα Σημείο Ενδιαφέροντος σε αναπαράσταση JSON φαίνεται παρακάτω:

```

{
  "profile": "default",
  "timestamp": "2012-30-10 12:53:00",
  "foi_type": "room",
  "foi_id": "3.I.3",
  "username": "livathinos",
  "illumination": "312",
  "bypass": "false"
}
  
```

(α') Ένα JSON αντικείμενο που αναπριστά ένα Σημείο Ενδιαφέροντος.

Όντας ένα σύστημα βάσεων δεδομένων βασισμένο σε έγγραφα, η MongoDB έχει το άμεσο πλεονέκτημα ότι μπορεί με πολύ αποδοτικό τρόπο να διαχειριστεί JSON έγγραφα, επομένως είναι μια πολύ συνετή επιλογή για το σύστημά μας. Με την MongoDB, μπορούμε να διαχειριστούμε δεδομένα με πιο φυσικό τρόπο, καθώς η πληροφορία μπορεί να εμφωλευθεί μέσα σε πολύπλοκες ιεραρχίες και να διατηρεί παρ' όλα αυτά τα χαρακτηριστικά ευρετηρίασης και εύκολης επερώτησης για τα δεδομένα που περιέχει. Επίσης, η ευελιξία του συγκεκριμένου συστήματος βάσεων

όσον αφορά την επέκταση χαρακτηριστικών που προσκολλώνται σε κάθε αντικείμενο πληροφορίας είναι επίσης ένα πολύ σημαντικό προσόν, ειδικά όταν γίνει η σύγκριση με παραδοσιακές σχεσιακού τύπου συστήματα βάσεων δεδομένων όπως είναι η MySQL ή η Postgres.

4.2.4 Περιπτώσεις χρήσης

Όπως συζητήσαμε και παραπάνω, μια προφανής περίπτωση χρήσης του προτεινόμενου συστήματος θα ήταν ένα περιβάλλον πολλαπλών γραφείων. Οι εργαζόμενοι που χρησιμοποιούν κοινά γραφεία θα είναι σε θέση να ορίσουν τις προτιμήσεις τους όσον αφορά τον φωτισμό και την θέρμανση και να αφήσουν τον υπολογισμό μιας βέλτιστης λύσης και αυτόματης εφαρμογής της πάνω στο σύστημα.

Άλλη μια περίπτωση που έχει ενδιαφέρον είναι μια εκτός του χώρου της διαχείρισης του περιβαλλοντος χώρου. Η διαφήμιση για παράδειγμα σε ένα δωμάτιο με αρκετούς χρήστες θα μπορούσε να είναι περισσότερο στοχευμένη με βάση τα κοινά ενδιαφέροντα του συνόλου των χρηστών του δωματίου. Για παράδειγμα, σε ένα δωμάτιο με 2 άτομα τα οποία παρακολουθούν τηλεόραση και μοιράζονται ένα χόμπι όπως πχ το ψάρεμα, κάτι που έχουν μοιραστεί με την υπηρεσία μέσω του κινητού τους τηλεφώνου, θα μπορούσε το διάλλειμα των διαφημίσεων να αποτελείται με μηνύματα σχετικά με αλιευτικά είδη, κάτι που θα απευθυνόταν στις ανάγκες και το ενδιαφέρον των χρηστών που την παρακολουθούν.

Στην ουσία, η φιλοσοφία του προτεινόμενου συστήματος περιγράφεται σαν μια προσέγγιση στόχευσης χαρακτηριστικών που περιγράφουν πολλούς χρήστες σαν μια κοινή οντότητα που αποτελείται από πολλά κομμάτια και κρατιέται συνδεδεμένη από κοινές προτιμήσεις ή αποδέχεται έναν διπλωματικό μέσο όρο των προτιμήσεων αυτών.

4.3 ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της υλοποίησης του συστήματος προέκυψαν διάφορα ζητήματα και δυσκολίες, τα σημαντικότερα από τα οποία παρατίθενται παρακάτω.

Ανίχνευση τοποθεσίας και αδράνεια: Ένα από τα προβλήματα που έγιναν άμεσα εμφανή ήταν το κατά πόσο το σύστημα θα ήταν σε θέση να αναγνωρίσει τις δραστηριότητες ενός χρήστη σε ένα συγκεκριμένο δωμάτιο μετά από μια περίοδο αδράνειας. Για παράδειγμα, έστω ότι ο χρήστης εισέρχεται στο δωμάτιο και σκανάρει τον QR κωδικό του υπολογιστή του, το πρίλ του είτε σώζεται εκείνη την στιγμή

στην βάση είτε υφίσταται ήδη και η υπηρεσία απλά ενημερώνεται για την παρουσία του. Πώς θα μπορούσαμε να γνωρίζουμε πότε ο χρήστης έχει φύγει από τον σταθμό εργασίας του και έχει εξέλθει από το σύστημα; Η απάντηση σε αυτή την ερώτηση ήταν να επερωτάται η τιμή που παρέχεται από τους αισθητήρες της υπηρεσίας Uberdust [16][6] που είναι γνωστή σαν session time-out. Όταν ο χρήστης εξέλθει από τον σταθμό εργασίας του (κάνοντας logout από το μηχάνημα), αποστέλεται ένα μήνυμα στην υπηρεσία Uberdust το οποίο ακούει και το DecisionMap. Μόλις ο χρήστης απομακρυνθεί, το διάνυσμα προτιμήσεων του σημειώνεται σαν ανενεργό από το σύστημα, με αποτέλεσμα έναν νέο υπολογισμό τιμών για τον φωτισμό από την υπηρεσία.

Εμπειρία και ευκολία χρήσης σε ένα πραγματικό σύστημα: Η διαδικασία του σχεδιασμού παραμετροποιήθηκε πολλαπλές φορές έτσι ώστε να βγάξει νόημα σαν υπηρεσία που θα χρησιμοποιούνταν περισσότερες φορές την ημέρα σε καθημερινή βάση. Μερικά σημαντικά στοιχεία που άπτονται της χρησιμότητας και της με κέντρο τον χρήστη προσέγγισης είναι η ανάγκη για εισαγωγή των προτιμήσεων μια μόνο φορά και του αυτόματου εντοπισμού απουσίας από το σύστημα. Ο χρήστης που εισέρχεται σε ένα δωμάτιο θα ερωτηθεί μια φορά για τις προτιμήσεις του, και όταν αυτός τις αποστείλει στην υπηρεσία αυτές θα συνδεθούν με τον λογαριασμό του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ποιαδήποτε στιγμή εισέλθει ξανά στον ίδιο χώρο οι προτιμήσεις του απλά να ενεργοποιούνται, εκτός φυσικά αν θέλει να τις ανανεώσει με νέες τιμές. Σε συνδυασμό με το σύστημα συντονισμού σε σχέση με την χρήση ή όχι του σταθμού εργασίας του χρήστη και τις αγνόησης των προτιμήσεων του εάν δεν είναι παρών στον χώρο δημιουργείται ένα πρακτικό και χρηστικό σύστημα το οποίο μπορεί να εισαχθεί στην καθημερινότητα ενός χρήστη χωρίς επιβάρυνση μεγαλύτερη από αυτήν του να πάταγε έναν διακόπτη για να ανοίξει τα φώτα του γραφείου του.

Ενσωμάτωση σε προϋπάρχουσα υποδομή: Η υπηρεσία DecisionMap και η συνοδευτική εφαρμογή κινητής συσκευής απαιτούν να λειτουργήσουν μέσα σε ή να κάνουν χρήση μιας υποδομής δικτύου αισθητήρων. Προκειμένου να μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα υπάρχον σύστημα με κάποια χάρη πάρθηκαν αποφάσεις στον σχεδιασμό του για την κατασκευή ενός συστήματος το οποίο θα γνώριζε όσο το δυνατόν λιγότερα για την υποδομή αλλά και τις τεχνολογίες που αυτή χρησιμοποιεί. Η αφαιρετικότητα αυτή την κάνει ευέλικτη και πιθανόν επαναχρησιμοποιήσιμη σε άλλες υποδομές με παρόμοια αρχιτεκτονική. Για παράδειγμα, το σύστημα χρησιμοποιεί το παράδειγμα ενός REST API για την έξοδο πληροφορίας από αυτό αλλά και την ανταλλαγή δεδομένων σε μια από τις πιο διαδεδομένες μορφές, του JSON.

Προτιμήσεις και δυναμικές άποψης: Ενώ μεταφέρονται προτιμήσεις χρηστών στην υπηρεσία λήψης αποφάσεων, δεν είναι σαφές πώς ακριβώς θα γίνει ένας δίκαιος υπολογισμός ο οποίος θα προέρχεται από τα διανύσματα προτιμήσεων αυτά. Όπως είναι φυσικό, πολλά ερωτήματα προέκυψαν πάνω στο ζήτημα όπως “τι θεωρούμε δίκαιο; Είναι ένας αλγόριθμος υπολογισμού ενός απλού μέσου όρου δίκαιος για ένα δωμάτιο γεμάτο χρήστες με διαφορετικές προτιμήσεις;”, “σε ένα περιβάλλον εργασίας θα πρέπει να δίνεται η δυνατότητα σε έναν επιβλέπων να μπορεί να καταπατήσει τις προτιμήσεις των υπολοίπων;”. Έχει γίνει αρκετή συζήτηση και έρευνα πάνω στο θέμα των δυναμικών άποψης σε πραγματικά ή εικονικά κοινωνικά δίκτυα. Αυτό μας έδωσε το έναυσμα να συζητηθεί η πιθανότητα πρόσθεσης βαρών στις προτιμήσεις του κάθε χρήστη. Ενώ τα βάρη τα οποία αντικατοπτρίζουν την οικειότητα και την σχέση του ενός χρήστη με τον άλλο θα έδιναν την ευκαιρία για περισσότερο λεπτομερή και ρεαλιστική αντιμετώπιση του θέματος του δίκαιου μέσου, θα προσέθεταν επίσης την ανάγκη να συσχετιστεί το πρόβλημα με ασταθείς παράγοντες όπως είναι οι συνεχείς μεταβολές στις απόψεις των χρηστών, η πιθανότητα κάποιος χρήστης να προσπαθήσει να εξαπατήσει την υπηρεσία κλπ. Θα είχε αντίκτυπο ακόμα και στην χρηστικότητα της εφαρμογής καθώς ο χρήστης με κάποιον τρόπο θα έπρεπε να μπορεί να κάνει γνωστή τη σχέση του με τους υπόλοιπους συνεργάτες κάθε φορά που έμπαινε σε ένα δωμάτιο. Παρ’ όλα αυτά, πάρθηκε η απόφαση στα πλαίσια της ευελιξίας του συστήματος για μελλοντικές εργασίες και μελετη επί του ζητήματος να προστεθούν ουδέτερα βάρη σε κάθε προτίμηση αυτόματα από το σύστημα κάθε φορά που ένας χρήστης εισέρχεται σε ένα δωμάτιο.

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Το σύστημα που υλοποιήθηκε με σκοπό την επιβεβαίωση του θεωρητικού βασκ-γρουνδ της διπλωματικής αυτής εργασίας, αποτελείται από δύο κύρια κομμάτια: τον διακομιστή web του DecisionMap και την εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα Android, uClient.

5.1 DECISIONMAP

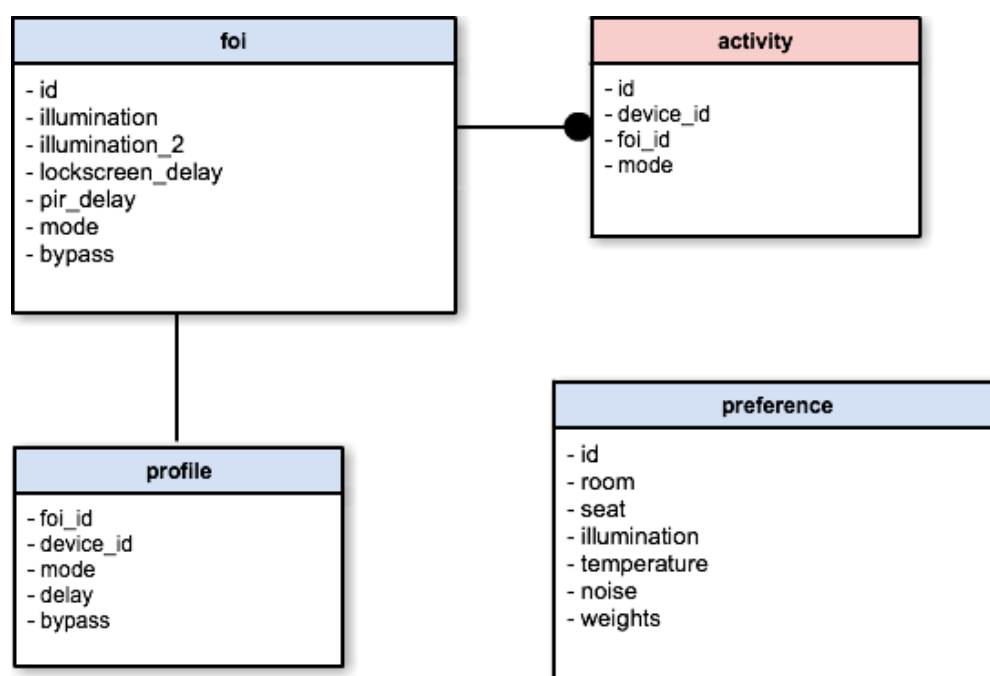
Το DecisionMap είναι ένα RESTful web service επικεντρωμένο στην λήψη της απόφασης του πώς οι τιμές περιβαλλοντολογικών στοιχείων ενός χώρου, όπως είναι ο φωτισμός, η θέρμανση και η υγρασία, θα πρέπει να τροποποιηθούν έτσι ώστε να εξισορροπηθεί μια πλειάδα από προτιμήσεις των χρηστών του χώρου αυτού. Η υπηρεσία που περιγράφεται παρέχει ένα REST API προς τους εσωτερικούς της πόρους, δίνοντας την δυνατότητα για POST και GET κλήσεις από πελάτες οι οποίοι επιθυμούν να εισάγουν, ανανεώσουν ή να διαβάσουν τιμές πόρων. Για την ανάπτυξη του DecisionMap χρησιμοποιήθηκε το Grape API framework, ένα σύνολο βιβλιοθηκών γραμμένο σε Ruby το οποίο παρέχει συντομεύσεις και διευκολύνσεις για την πιο σωστή και αποδοτική ανάπτυξη REST APIs, με καλύτερο έλεγχο των πόρων που εκτίθενται αλλά και χαρακτηριστικά όπως version control.

Η είσοδος δεδομένων στο σύστημα παρέχεται μέσω κινητών συσκευών οι οποίες τρέχοντας μια εφαρμογή, έχουν την δυνατότητα να συλλέγουν τις προτιμήσεις του κάθε χρήστη και στη συνέχεια τις στέλνουν στην υπηρεσία DecisionMap στη μορφή αντικειμένων τύπου JSON. Το σύστημα διαχειρίζεται επίσης μια βάση δεδομένων από πλειάδες προτιμήσεων και χρησιμοποιεί συγκεκριμένους αλγορίθμους εύρεσης ισορροπιών για να παράξει τις τελικές περιβαλλοντικές τιμές για ένα δωμάτιο. Προκειμένου να έχουμε στην διάθεσή μας ένα μεγάλης διαθεσιμότητας data store, επιλέξαμε να κάνουμε χρήση της NoSQL βάσης δεδομένων MongoDB ως το κυρίαρχο μέσο αποθήκευσης.

Η βάση δεδομένων του συστήματος αποτελείται από τέσσερις πίνακες.

- * **Φοι:** Περιέχει τις εγγραφές οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα σημεία ενδιαφέροντος σε ένα κτήριο. Αυτά μπορεί να είναι λαμπτήρες, θέσεις εργασίας ή ολόκληρα δωμάτια.

- * **Profile:** Περιέχει τις εγγραφές οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα προφίλ των χρηστών οι οποίοι χρησιμοποιούν την υπηρεσία. Έχει πληροφορίες όπως το `device_id` του χρήστη, την καθυστέρηση η οποία θέλει να υπάρχει πριν την εφαρμογή των προτιμήσεών του κα.
- * **Activity:** Περιέχει τις εγγραφές οι οποίες δηλώνουν την ύπαρξη χρήστη κοντά σε κάποιο FOI. Αυτό προσδιορίζεται όταν ο χρήστης σκανάρει ένα QR code με το τηλέφωνό του και γνωστοποιεί την παρουσία του στο σύστημα.
- * **Preference:** Περιέχει λεπτομερείς πληροφορίες για τις τιμές που προτιμά ο χρήστης για κάθε δωμάτιο. Φωτισμός, θερμοκρασία, θόρυβος καθώς και μια κατάταξη των προτιμήσεων των υπολοίπων χρηστών.



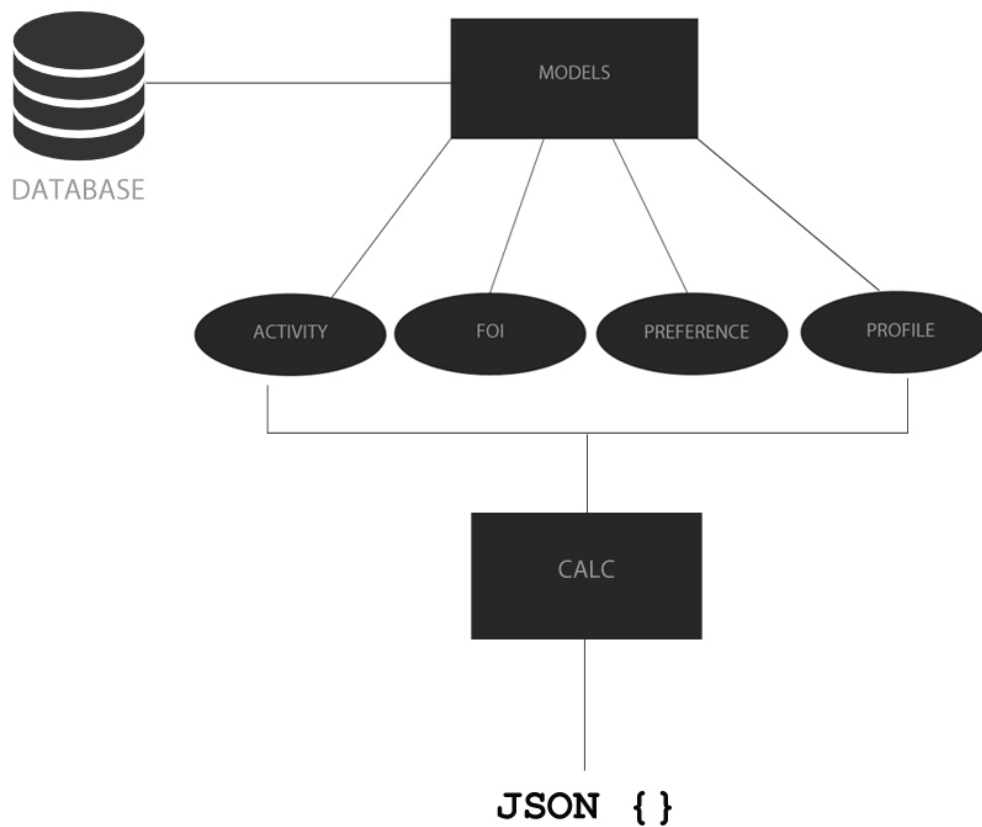
(α') Σχήμα της βάσης της υπηρεσίας web

Οι πίνακες που περιγράφηκαν παραπάνω αντιστοιχίζονται σε μοντέλα στον κώδικα του συστήματος με χρήση της γλώσσας Ruby. Κάθε μοντέλο έχει τις δικές του μεθόδους που εκθέτουν στοιχεία του μοντέλου προς τον έξω κόσμο. Σε πιο υψηλά επίπεδα, αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται από το API προκειμένου ο χρήστης να μπορεί να κάνει επρωτήματα προς το εσωτερικό του συστήματος χωρίς να έχει επίγνωση του πως αυτό είναι δομημένο στον πυρήνα του.

Για παράδειγμα εάν κάνουμε ένα GET request στην διεύθυνση `api/v1/profile` με την παρακάτω εντολή

```
curl -v -H "Accept: application/json" -H "Content-type: application/json" -X GET -d '{"foi_id":"3.I.2", "device_id":"11112", "mode":"room"}' http://46.105.49.245/decisionmap/api/v1/profile
```

θα εμφανιστεί στην οθόνη μας το προφίλ του χρήστη με `device_id 11112` με τις προτιμήσεις του για το δωμάτιο 3.I.2.



(α) Οργάνωση της υπηρεσίας

DecisionMap

This is version 0.0.2 generated on January 16, 2014.

Data Models

FOI Model

```
{
  "identifier",
  "mode",
  "illumination",
  "illumination2",
  "lockscreen delay",
  "pir delay",
  "bypass"
}
```

Profile Model

```
{
  "foi id",
  "device id",
  "mode",
  "illumination",
  "illumination2",
  "delay",
  "bypass"
}
```

Data

Data lists currently in the DB:

- [FOI record list](#)
- [Profile record list](#)

Resources

Other than the available API calls in this document, more info about DecisionMap, the mobile application that goes with it and their respective implementations can be found here:

- [DecisionMap on Github](#)
Latest code
- [uClient on Github](#)
Latest code

(α) Το frontend του DecisionMap όπου μπορούν να εμφανιστούν τα αποτελέσματα των επερωτημάτων προς την υπηρεσία.

5.1.1 JSON

JSON (ή αλλιώς JavaScript Object Notation) είναι ένα βασισμένο σε κείμενο πρότυπο ανταλλαγής δεδομένων, το οποίο οφείλει την προέλευση και το όνομά του στον τρόπο που η JavaScript απεικονίζει σχεσιακά μητρώα και δομές δεδομένων. Πρόκειται για ένα ανεξάρτητο γλώσσας και τεχνολογίας πρότυπο, χαρακτηριστικό το οποίο, μαζί με την ευκολία αναπαράστασης της πληροφορίας που παρέχει, το έχουν καταστήσει ένα από τα κύρια μέσα μεταφοράς πληροφορίας σε NoSQL βάσεις και όχι μόνο.

Η αρχιτεκτονική της υπηρεσίας DecisionMap σχεδιάστηκε έτσι ώστε να είναι αγνωστική ως προς τα πρωτόκολλα και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται από το BMS σύστημα. Η διαχείριση των εισόδων και εξόδων της υπηρεσίας γίνεται μέσα από καθαρά JSON αντικείμενα και HTTP κλήσεις POST, PUT, GET, DELETE. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι οποιαδήποτε συσκευή ή υπηρεσία υποστηρίζει ένα JSON συντεταγμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας θα είναι σε θέση να επικοινωνεί

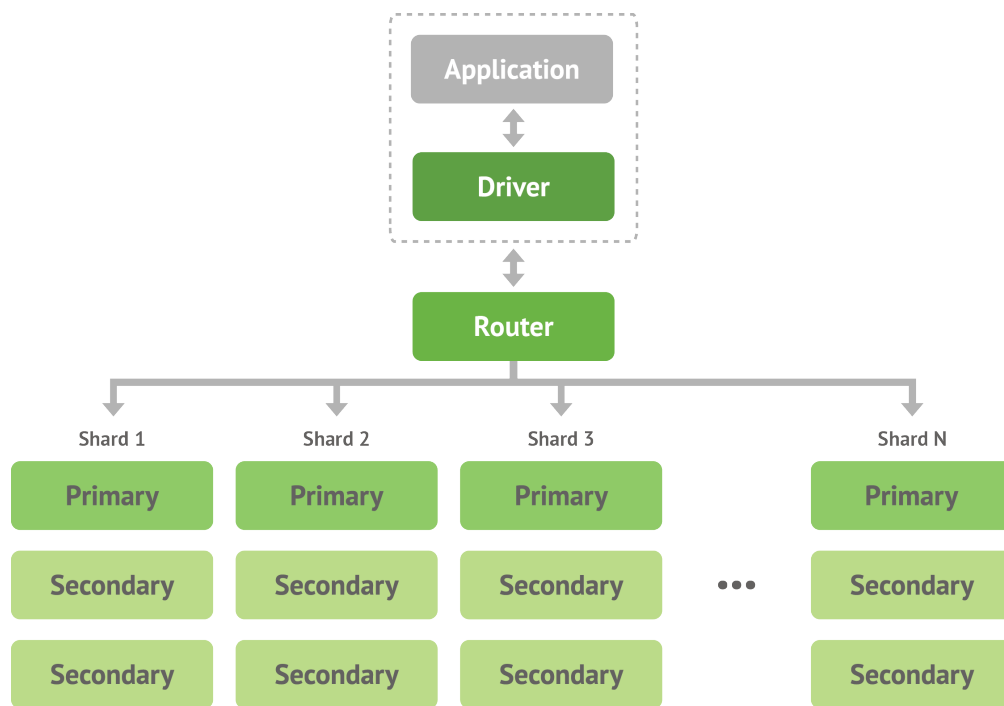
με το DecisionMap API. Αυτές οι αρχιτεκτονικές επιλογές έχουν επίσης άμεσο αντίκτυπο στις δυναμικές απόδοσης της υπηρεσίας. Οι RESTful web υπηρεσίες που έχουν κατασκευαστεί για να υπηρετούν ένα μεγάλο αριθμό από πελάτες και χρησιμοποιούν το πρότυπο JSON σαν το μέσο ανταλλαγής πληροφορίας, έναντι για παράδειγμα του XML, παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα απόδοσης λόγω τεχνικών όπως είναι η εγγενής υποστήριξη σε caching τεχνικές που παρέχει το πρωτόκολλο REST.

5.1.2 MongoDB

Η μεταφορά από την αρχιτεκτονική σχεσιακών βάσεων δεδομένων σε μια NoSQL αρχιτεκτονική θεωρείται ένα μεγάλο βήμα αλλαγής κατεύθυνσης όσον αφορά τον σχεδιασμό της βάσης δεδομένων. Οι μη σχεσιακές βάσεις δεδομένων όπως είναι η MongoDB έχουν το χαρακτηριστικό ότι προτιμούν να αποθηκεύουν δεδομένα χωρίς την ύπαρξη κάποιου σχήματος βάσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένα key-value store. Κάθε κομμάτι δεδομένων το οποίο εισέρχεται στην βάση δέχεται να περιγραφεί από ένα κλειδί, και όταν κάποιος αναζητήσει αυτό το κλειδί, θα πάρει πίσω τα δεδομένα που αντιστοιχούν στον στον σώρο που αυτό αντιστοιχεί. Αυτή η απλότητα έχει τα πλεονεκτήματά της, αφού βοηθάει υπηρεσίες με κίνηση να πετύχουν μικρούς χρόνους απόκρισης, ακόμα και κάτω από μεγάλο φόρτο εργασίας, όταν η χρήση NoSQL βάσης συνοδεύεται από μεγάλο αριθμό από διακομιστές και ένα γρήγορο δίκτυο. Η απλοητία του μοντέλου κλειδιού-αποθήκευσης έχει επίσης θετικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη εφαρμογών. Αλλαγές στον κώδικα που θα επέφεραν μετατροπές του σχήματος μιας παραδοσιακής βάσης δεδομένων, εδώ γίνονται χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες με την απλά πρόσθεση ή αφαίρεση πεδίων. Επίσης, ο ενστερνισμός της ύπαρξης διπλότυπων εγγραφών με παραπάνω ή λιγότερα χαρακτηριστικά από τις εγγραφές που αντιγράφουν, κάνουν την απουσία συνδέσμων να μην θεωρείται πρόβλημα.

Ένα βήμα πέραν του να έχουμε απλά κλειδιά και τιμές αποθήκευσης είναι οι λεγόμενες βάσεις εγγραφών. Ένα έγγραφο σε αυτή την περίπτωση είναι μια συλλογή από πεδία πληροφορίας. Κάθε έγγραφο μπορεί να έχει διαφορετικό αριθμό από πεδία με διαφορετικά μήκη το καθένα. Στην περίπτωση του DecisionMap, αυτή η μέθοδος της αντιμετώπισης της βάσης δεδομένων σαν περιοχής αποθήκευσης αντικειμένων, απλοποιεί τις διαδικασίες αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων.

Η MongoDB αποθηκεύει σε δυαδική μορφή JSON έγγραφα. Οι σχεσιακές βάσεις επιβάλλουν επίπεδα, μη ευέλικτα σχήματα σε ολόκληρους πίνακες δεδομένων. Εν αντιθέσει, η MongoDB αφήνει τα σχήματα να διαφέρουν από έγγραφο σε έγγραφο.



(α') MongoDB Αρχιτεκτονική

φο και να έχουν την δύναμη γρήγορων μετατροπών όσο οι εφαρμογές εξελίσσονται, διατηρώντας όμως και την χορήγηση δυνατοτήτων που θα περίμενε κάποιος προγραμματιστής από μια σχεσιακή βάση, όπως δευτερεύοντα ευρετήρια και μια πλήρη γλώσσα επερωτημάτων. Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι:

- * JSON μοντέλο δεδομένων με δυναμικά σχήματα
- * Αυτόματος θρυμματισμός για καλύτερη οριζόντια κλιμάκωση
- * Εγγενής διαδικασία αντιγράφων και υψηλή διαθεσιμότητα
- * Υποστήριξη για ευέλικτα, πλήρη ευρετήρια
- * Πλούσια επερωτήματα με βάση έγγραφα
- * Ταχείς ενημερώσεις δεδομένων
- * Aggregation framework και Map-Reduce
- * GridFS για αποθήκευση μεγάλων αρχείων

Η MongoDB είναι φτιαγμένη με σκοπό την ορθή κλιμάκωση εφαρμογών με χρήση πολλαπλών διακομιστών και την επίτευξη υψηλής διαθεσιμότητας. Το χαρακτηριστικό του αυτόματου θρυμματισμού δίνει την δυνατότητα σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν το εν λόγω σύστημα μη-σχεσιακών βάσεων δεδομένων να κλιμακώνουν την απόδοσή τους είτε πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μια απλοϊκή αρχιτεκτονική ενός μόνο διακομιστή, είτε για την χρήση πολύπλοκων κατανεμημένων σχημάτων με πολλαπλούς κόμβους και χιλιάδες χρήστες. Η ενσωματωμένη δυνατότητα δημιουργίας αντιγράφων με αυτόματο failover παρέχει ευελιξία και σοβαρή διαθεσιμότητα. Η MongoDB παρέχει επίσης ένα περιβάλλον εκτέλεσης εντολών shell για την διεπαφή με την βάση ακόμα και όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο κάποιο γραφικό περιβάλλον καθώς και drivers για τις περισσότερες σύγχρονες γλώσσες προγραμματισμού και frameworks έτσι ώστε η ανάπτυξη λογισμικού να γίνεται αποδοτική να μην παράγει εμπόδια στον προγραμματιστή. Στην περίπτωση μας, ο Ruby driver της MongoDB παρέχει μια διεπαφή για την σύνδεση και την εκτέλεση επερωτημάτων στην βάση μέσω του Grape.

5.1.3 Rack & Grape

Το Rack είναι ένα πακέτο ανάπτυξης λογισμικού τύπου middleware για εφαρμογές γραμμένες σε Ruby. Σκοπός του είναι η παροχή μιας απλής και ευέλικτης διεπαφής για την ανάπτυξη Ruby applications. Ο όρος middleware περιγράφει λογισμικό το οποίο τοποθετείται ανάμεσα στο λειτουργικό σύστημα και την υπό ανάπτυξη εφαρμογή και προσφέρει στον προγραμματιστή διευκολύνσεις και αφαιρετικά πλαίσια ώστε να γίνεται όσο το δυνατό λιγότερο επίπονη η διαδικασία ανάπτυξης. Για παράδειγμα, το λειτουργικό σύστημα για κινητές συσκευές Ανδροειδ χρησιμοποιεί τον πυρήνα του Linux και προσφέρει ένα πλαίσιο ανάπτυξης λογισμικού (framework) το οποίο οι προγραμματιστές ενσωματώνουν στις εφαρμογές τους. Εκτός αυτού όμως, προσφέρει και ένα επίπεδο middleware συμπεριλαμβανομένων βιβλιοθηκών οι οποίες παρέχουν υπηρεσίες όπως data storage, screen display, multimedia και web browsing. Οι βιβλιοθήκες middleware υλοποιούν και χαρακτηριστικά τα οποία είναι μοναδικά για κάθε συσκευή και θα έκαναν την διαδικασία ανάπτυξης δύσκολη όσο κάποιος θα μεταφερόταν από συσκευή σε συσκευή.

Το Rack υποστηρίζει μια πληθώρα από διακομιστές web. Το σύστημα DecisionMap παρέχεται μέσω του λογισμικού διακομιστή Phusion Passenger, το οποίο υποστηρίζει Rack εφαρμογές με χρήση του Apache mod_rack module. Το εν λόγω λογισμικό έχει την δυνατότητα να παραμετροποιηθεί χρησιμοποιώντας

middle-ware όπως το Rack::URLMap το οποίο επιτρέπει την δρομολόγηση πολλαπλών εφαρμογών μέσα στην ίδια διεργασία, το Rack::Common-Logger το οποίο δημιουργεί log files της μορφής που δημιουργεί και ο Apache Web Server κλπ.

Το Grape είναι ένα micro-framework για την δημιουργία REST-like προγραμματιστικών διεπαφών (APIs). Αν και αρχικά σχεδιάστηκε για την χρήση του σε συνάρτηση με frameworks όπως Ruby on Rails και Sinatra, μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί μόνο του για την κατασκευή εφαρμογών που στηρίζονται στο Rack. Παρέχει ενσωματωμένη υποστήριξη για κοινά αποδεκτές λύσεις σε θέματα σχεδιασμού APIs, συμπεριλαμβανομένων αιτημάτων πολλαπλών φορμά, subdomain/prefix restrictions, content negotiation, versioning και άλλα.

5.1.4 *Apache & Passenger application server*

Ο Apache HTTP Server είναι ένα λογισμικό διακομιστή σχεδιασμένο για εφαρμογές web και υπηρεσίες. Έχει παίξει καθοριστικό ρόλο στην αρχική επέκταση του Παγκόσμιου Ιστού και γρήγορα έγινε το πρώτο λογισμικό διακομιστών το οποίο ξεπέρασε το όριο χρήσης από πάνω από 100 εκατομμύρια web sites και εφαρμογές. Ο Apache είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα και πλέον υφίστανται αμέτρητα modules τα οποία επεκτείνουν τις λειτουργικότητές του.

Ο Phusion Passenger είναι ένας διακομιστής εφαρμογών γραμμένος σε C++ για Ruby (Rack) και Python (WSGI) εφαρμογές. Με την σημαντική αύξηση της χρήσης του Ruby on Rails framework στον χώρο ανάπτυξης εφαρμογών web τα τελευταία χρόνια, έχουν υπάρξει ένας μεγάλος αριθμός από υπηρεσίες, gems και διακομιστές web που αναπτύχθηκαν με βάση αυτή την πλατφόρμα. Ο Phusion Passenger είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί σε συνάρτηση με τον Apache HTTP Server ή τον nginx web server αλλά παρέχει και τρόπο λειτουργίας ο οποίος δεν εξαρτάται από άλλον web server.

5.2 UCLIENT

Η εφαρμογή κινητής συσκευής παίζει τον ρόλο της διεπαφής μεταξύ του χρήστη και της υπηρεσίας web. Η διαδικασία περιλαμβάνει την εισαγωγή τιμών οι οποίες έχουν να κάνουν με τον φωτισμό και την θερμοκρασία δωματίου από τον χρήστη στην εφαρμογή, οι οποίες στη συνέχεια αποστέλλονται στο DecisionMap service. Εκεί, εκτελούνται υπολογισμοί σε πραγματικό χρόνο πάνω στα διανύσματα προτιμήσεων του κάθε χρήστη που αυτή τη στιγμή έχει κάνει γνωστή την παρουσία του στον χώρο, χρησιμοποιώντας κάποιο αντικείμενο μέσα στο κτήριο το οποίο έχει δηλωθεί

σαν Σημείο Ενδιαφέροντος. Η εφαρμογή αναπτύχθηκε με χρήση του Android SDK, αρχικά με χρήση του PhoneGap SDK για λόγους συμβατότητας μεταξύ συσκευών.

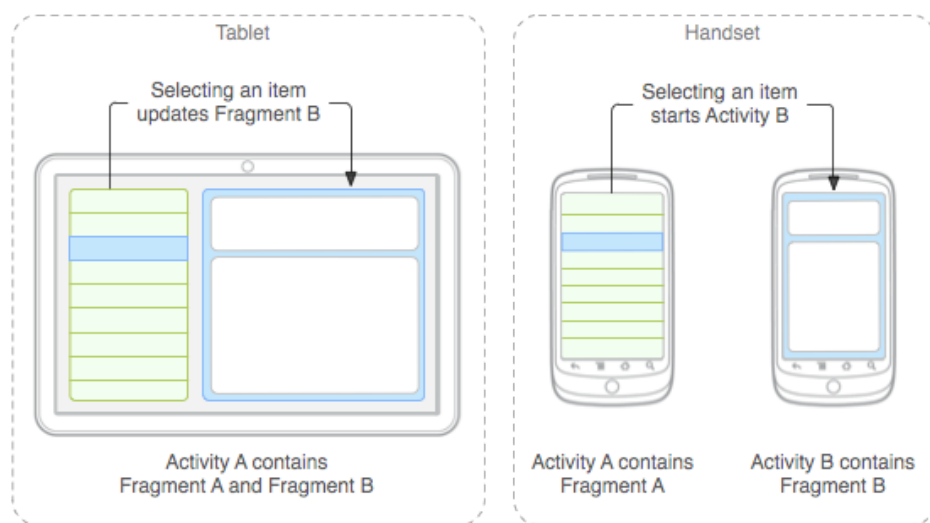
5.2.1 *Android & the Android SDK*

Το Android αποτελεί ένα software stack για κινητές συσκευές ή αλλιώς ένα σύνολο λογισμικών τα οποία φτιάχνουν ένα ολοκληρωμένο λειτουργικό σύστημα. Ο πλατφόρμα αυτή παρέχει τα θεμέλια για την χρήση εφαρμογών σε κινητές συσκευές και επεκτείνεται συνεχώς, όντας λογισμικό ανοιχτού κώδικα, από τρίτους και από την Γοογλε που το ανέπτυξε.

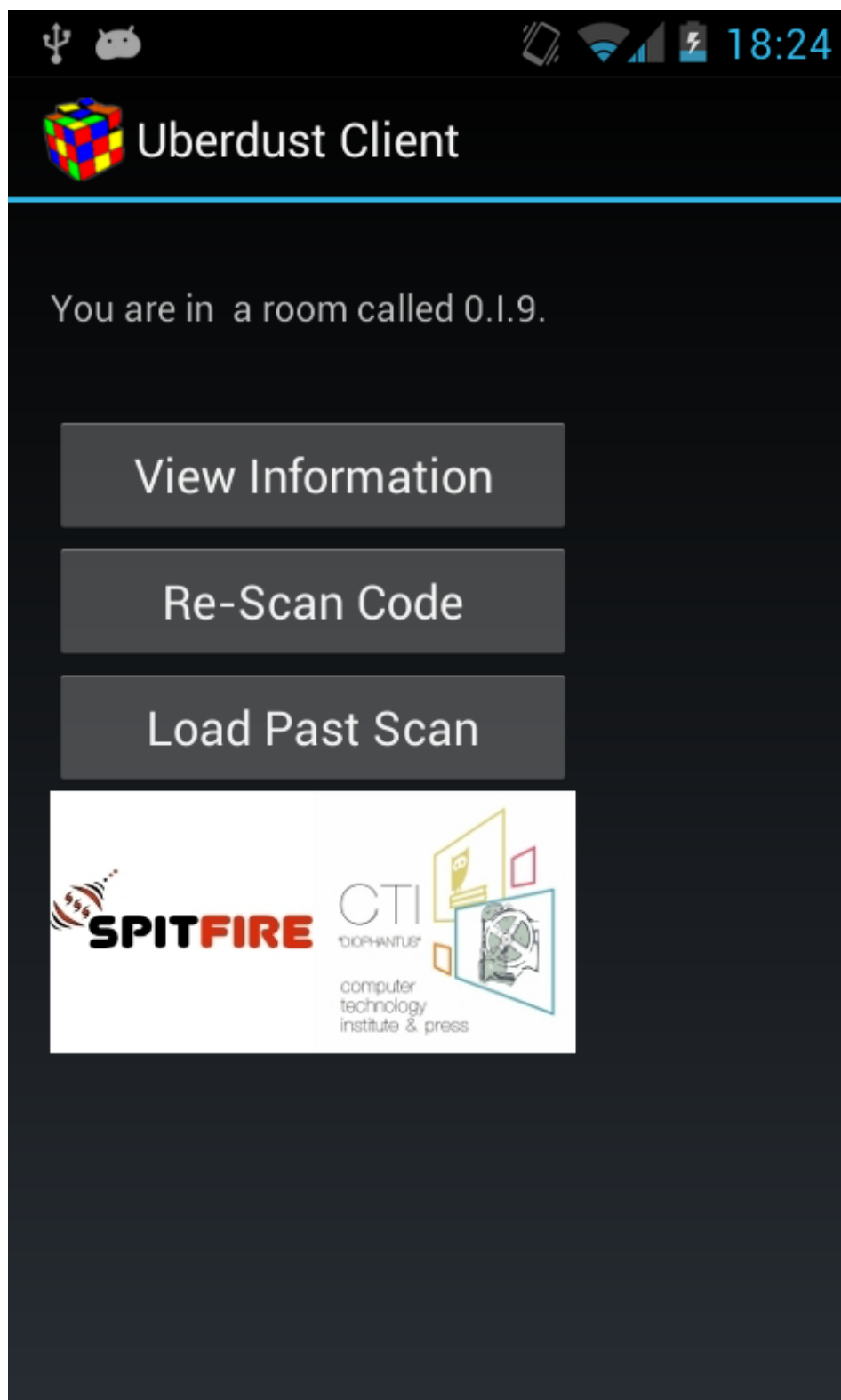
Το λειτουργικό είναι χωρισμένο σε διαφορετικά επίπεδα, τα οποία παράγουν πέντε διαφορετικές ομάδες: Το επίπεδο εφαρμογών, το επίπεδο framework εφαρμογών, και τα επίπεδα βιβλιοθηκών, εκτέλεσης και πυρήνα.

Η εφαρμογή uClient αναπτύχθηκε με χρήση του Android SDK v2.3 αρχικά, και στη συνέχεια αναβαθμίστηκε έτσι ώστε να υποστηρίζει όλες τις συσκευές από το Android 3.0 (API level 11) μέχρι και το Android 4.1. Μια αξιοσημείωτη νέα λειτουργία η οποία εισήχθη στο Android 3 και της οποίας γίνεται χρήση κατά κόρον στην εφαρμογή είναι τα fragments. Τα fragments αποτελούν ουσιαστικά έναν τρόπο απεικόνισης διεπαφής χρήστη με λογική θρυμματισμού της συνολικής εικόνας σε κομμάτια. Κάθε τέτοιο κομμάτι (fragment) έχει την δυνατότητα εκτέλεσης δικών του λειτουργιών, έχει τον δικό του κύκλο ζωής, τα δικά του γεγονότα εισόδου/εξόδου τα οποία μπορούν να προσθαφαιρούνται από τον προγραμματιστή ενώ η δραστηριότητα ακόμη εκτελείται. Η ύπαρξη και ο τρόπος χρήσης των fragments έχει προφανή πλεονεκτήματα τα οποία περιλαμβάνουν την αποδόμηση σε μικρότερα κομμάτια της δραστηριότητας που τρέχει, έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη προγραμματιστικά η ανάπτυξή της, καθώς και η χρήση κομματιών σε περισσότερα από ένα μέρη, το οποίο ικανοποιεί συνθήκες βέλτιστων πρακτικών για επαναχρησιμοποίηση του κώδικα.

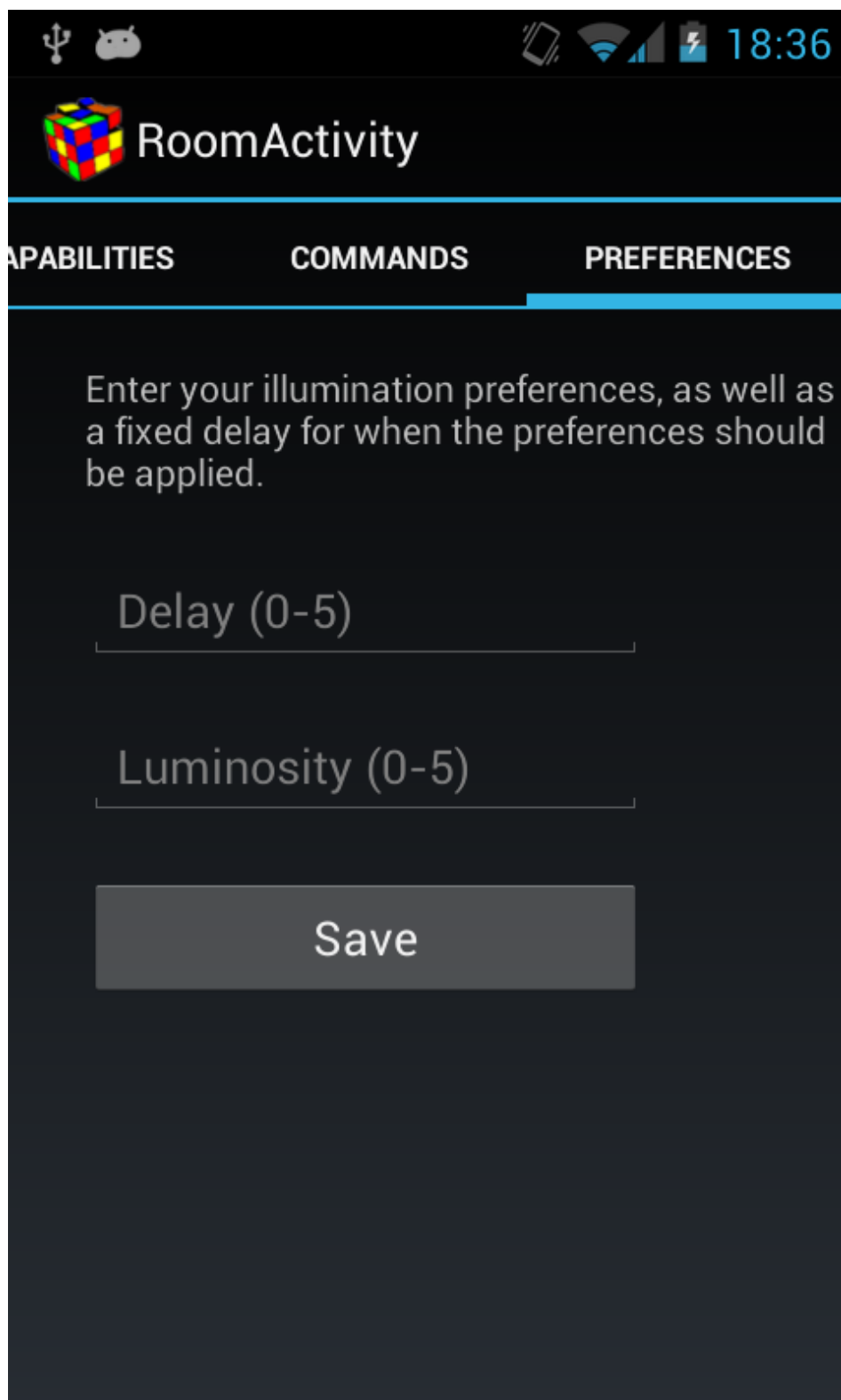
Η εφαρμογή uClient χρησιμοποιεί fragments για την απεικόνιση δεδομένων περιβάλλοντος ενός δωματίου καθώς και για την απεικόνιση της διεπαφής εισαγωγής δεδομένων από τον χρήστη για ένα συγκεκριμένο Σημείο Ενδιαφέροντος.



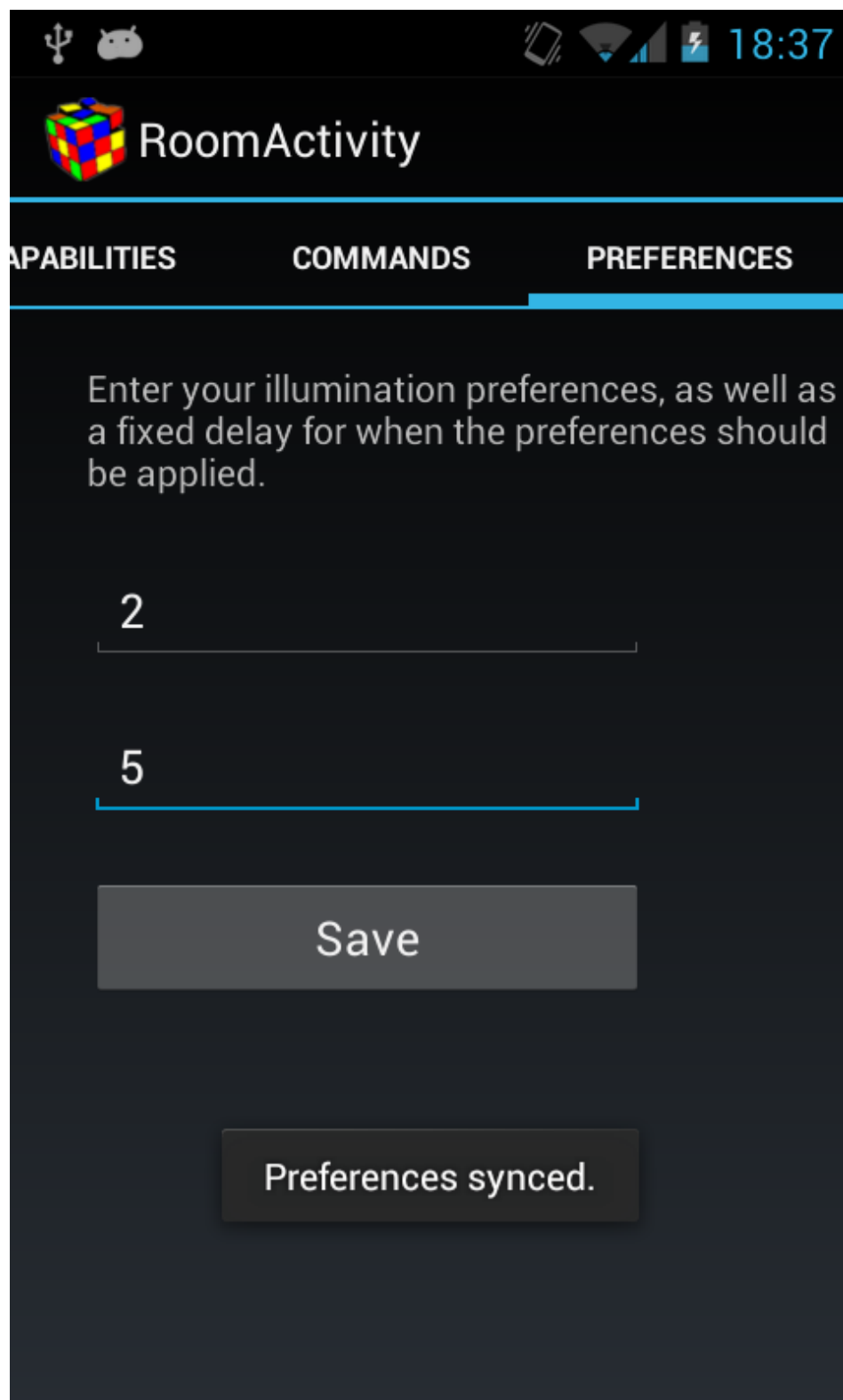
(α') Ένα παράδειγμα του πώς δυο κομμάτια της διεπαφής χρήστη που έχουν οριστεί σαν fragments μπορούν να συνδυαστούν σε μια δραστηριότητα για εκτέλεση σε tablets, διατηρώντας τον τρόπο που απεικονίζονται σε smartphones.



(α) Η εφαρμογή κινητής συσκευής uClient



(α') Το κομμάτι της εφαρμογής όπου ο χρήστης εισάγει τις προτιμήσεις φωτισμού και την διάρκεια μετά την οποία θέλει οι ρυθμίσεις του να ληφθούν υπ' όψιν από το σύστημα.



(α') Το κομμάτι της εφαρμογής όπου ο χρήστης εισάγει τις προτιμήσεις φωτισμού και την διάρκεια μετά την οποία θέλει οι ρυθμίσεις του να ληφθούν υπ' όψιν από το σύστημα.

Μέρος III

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Έχοντας περιγράψει την αρχιτεκτονική του συστήματος και των επι μέρους τεχνολογιών που το απαρτίζουν, είμαστε έτοιμοι να αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής σε ένα πραγματικό περιβάλλον.

6.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Για την αξιολόγηση των επιμέρους αλγορίθμων υπολογισμού μιας μέσης τιμής σε σχέση με την φωτεινότητα του κάθε δωματίου, έγινε μια σύντομη έρευνα σε σχέση με τις προτιμήσεις 30 ατόμων επιμερισμένων σε 7 διαφορετικά γραφεία του κτηρίου του Ινστιτούτου Τεχνολογίας και Υπολογιστών Διόφαντος. Τα γραφεία επιλέχθηκαν τυχαία όσον αφορά την τοποθεσία τους μέσα στο κτήριο, αλλά με κριτήριο να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν διαφορετικούς τύπους χώρων, όπως για παράδειγμα, γραφεία των 2 ατόμων, 3 ατόμων, 4 ατόμων και 6 ατόμων, έτσι ώστε να υπάρχει ποικιλία στην μορφή των απαντήσεων και πιθανότατα των συμπερασμάτων που θα μπορούσαμε να βγάλουμε μετά την λήξη της έρευνας.

Γι' αυτό τον σκοπό χρησιμοποιήθηκε ερωτηματολόγιο το οποίο περιείχε ερωτήματα σε σχέση με αυτό που κάθε άτομο θεωρεί ιδανικό περιβάλλον στον χώρο εργασίας του. Το ερωτηματολόγιο περιείχε μόνο 4 ερωτήσεις, έτσι ώστε να είναι σύντομη και όσο το δυνατόν αυθόρμητη η διαδικασία για τους συμμετέχοντες. Έγιναν ερωτήσεις σε σχέση με την φωτεινότητα, την θερμοκρασία, το επίπεδο θορύβου, καθώς και μια προσπάθεια κατάταξης της προτίμησης του κάθε χρήστη μέσα στο δωμάτιο. Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα και δίνουν μια διαφορετική οπτική στο πως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το σύστημα που περιγράψαμε παραπάνω.

Ο στόχος του ερωτηματολογίου ήταν η απεικόνιση των προτιμήσεων όσον αφορά τις συνθήκες περιβάλλοντος, που έχουν άνθρωποι οι οποίοι δουλεύουν σε ποικίλου μεγέθους και ποικίλου αριθμού ατόμων γραφεία. Ουσιαστικά, προσπαθήσαμε να εξομοιώσουμε την χρήση του συστήματος που αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, μέσω απλών ερωτήσεων. Αν και η συγκεκριμένη μέθοδος δεν μας αφήνει με κάποιο συμπέρασμα για το πόσο χρηστικό μπορεί να είναι ένα τέτοιο σύστημα, παρ' όλα αυτά θα μας δώσει τη δυνατότητα να αποφασίσουμε εάν τελικά οι προ-

τιμήσεις ενός συνόλου ατόμων σε παρόμοιους χώρους εργασίας είναι τόσο διαφορετικές μεταξύ τους ώστε να δικαιολογήσουν μια ενδεχόμενη περαιτέρω ανάπτυξη και εν συνεχεία χρήση του συστήματος αυτού. Ο στόχος αυτός, όπως θα δούμε και παρακάτω επιτεύχθηκε, καθώς διαφαίνεται μια σαφής διακύμανση στις τιμές που προτιμάει ο καθένας μας όσον αφορά το φως, την θερμοκρασία και τον θόρυβο μέσα στον χώρο που δουλεύει και πέραν αυτού μας οδηγούν να βγάλουμε συμπεράσματα θετικά ως προς τις πιθανές χρήσεις του συστήματός μας.

Πιο συγκεκριμένα, παρακάτω παραθέτουμε τον πίνακα με τις ιδανικές συνθήκες των 30 ατόμων που ερωτήθηκαν όσον αφορά τις ιδανικές για αυτούς περιβαλλοντικές τιμές.

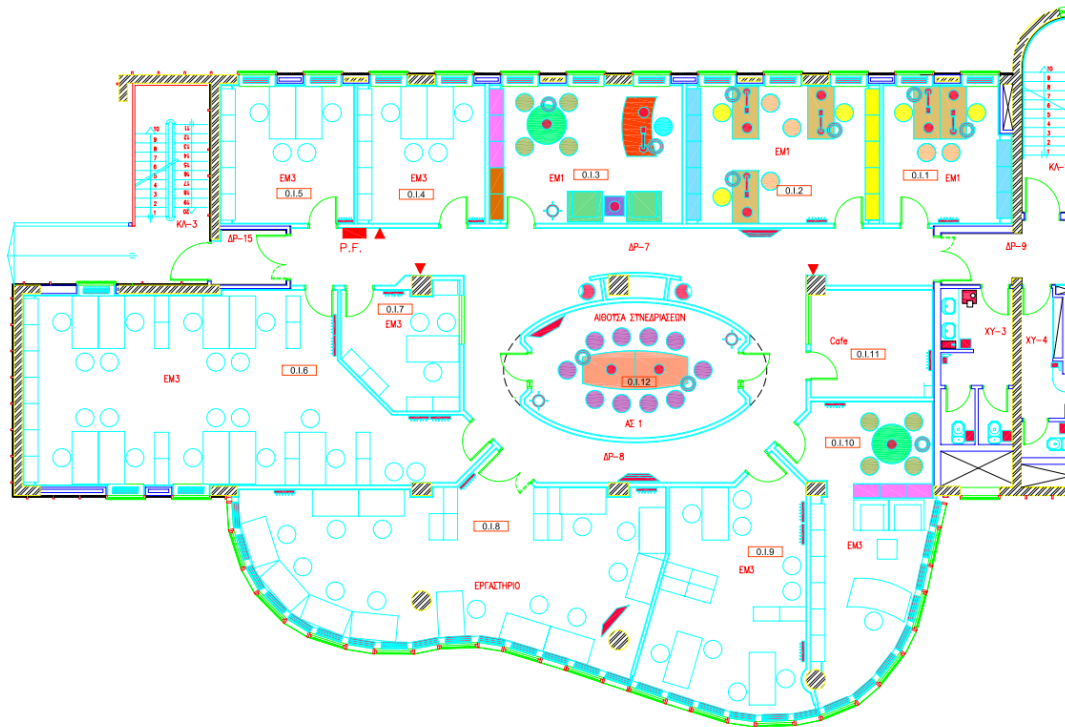
Τα ερωτήματα που τέθηκαν και αντιστοιχούν σε κάθε στήλη ήταν:

- * Ποια είναι η ιδανική τιμή φωτεινότητας για τον χώρο στον οποίο εργάζεστε, εάν υποθέσουμε μια κλίμακα 0 - 5, με το 0 να υποδηλώνει όλα τα φώτα του γραφείου κλειστά, η τιμή 1 να δηλώνει ανοιχτή μόνο την λάμπα που είναι τοποθετημένη ακριβώς πάνω από το γραφείο σας και το 5 να αντιστοιχεί σε όλα τα φώτα του δωματίου ανοιχτά.
- * Ποια είναι η ιδανική τιμή θερμοκρασίας για τον χώρο στον οποίο εργάζεστε, εάν υποθέσουμε μια κλίμακα από 19 έως 27 βαθμούς Κελσίου ;
- * Ποια είναι το ιδανικό επίπεδο θορύβου για εσάς, υποθέτοντας κλίμακα από 0 - 5, με το 0 να υποδηλώνει απόλυτη ησυχία, τηλέφωνα σε αθόρυβη λειτουργία και καθόλου συνομιλίες στον χώρο.
- * Πως θα ιεραρχούσατε τις προτιμήσεις των υπολοίπων ατόμων μέσα στο γραφείο σας, γράφοντας τα νούμερα των γραφείων στα οποία κάθονται με μεγαλύτερη βαρύτητα στα νούμερα που γράφονται πρώτα ;

Η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για την διεξαγωγή της έρευνας είχε ως εξής. Επισκεφθήκαμε ένα ένα τα δωμάτια και κάναμε μια μικρή εισαγωγή στους παρόντες του κάθε δωματίου, περιγράφοντας το αντικείμενο της έρευνας καθώς και τον σκοπό της. Στην συνέχεια αριθμούσαμε τα γραφεία του δωματίου ξεκινώντας από δεξιά και πάντα με κατεύθυνση αντίθετη με αυτήν των δεικτών του ρολογιού. Πηγαίνοντας από εργαζόμενο σε εργαζόμενο, κάναμε τις ίδιες ερωτήσεις μεγάλοφωνα, έτσι ώστε όταν φτάναμε στην δεύτερη ή τρίτη θέση να μην ήταν αναγκαία η επανάληψη των ερωτήσεων σε βάθος. Οι συμμετέχοντες ήταν ελεύθεροι να συμπληρώσουν τις προτιμήσεις τους μόνοι τους, ή να τις υπαγορεύσουν. Υπήρξαν μόνο 2 περιπτώσεις στις 30 όπου ο εργαζόμενος επέλεξε να γράψει μόνος του τις απαντήσεις (ένα ποσοστό 6.6%).

ΔΩΜΑΤΙΟ	ΘΕΣΗ	ΦΩΤΙΣΜΟΣ [0-5]	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ [19-27]	ΘΟΡΥΒΟΣ [0-5]	ΒΑΡΥΤΗΤΑ
0.I.2	1	4	22	1	2,3,4
0.I.2	2	3	19	0	3,4,1
0.I.2	3	1	20	0	4,2,1
0.I.2	4	4	22	1	1,3,2
0.I.8	1	2	20	2	2,6,3,5,4
0.I.8	2	4	25	1	5,1,3,4,6
0.I.8	3	5	19	0	Ισάξια
0.I.8	4	3	22	0	3,5,2,1,6
0.I.8	5	4	22	1	6,4,5,2,1,7
0.I.8	6	2	23	2	Ισάξια
0.I.9	1	1	20	0	2,3
0.I.9	2	1	22	0	1,3
0.I.9	3	1	22	0	1,3
0.II.5	1	1	24	0	Ισάξια
0.II.5	2	0	22	3	Ισάξια
0.II.5	3	1	23	3	2,1
0.II.6	1	5	22	1	2,3
0.II.6	2	1	20	3	3,1
0.II.6	3	5	20	3	2,1
0.II.7	1	5	26	2	3,2
0.II.7	2	5	22	2	3,1
0.II.7	3	4	19	1	2,1
3.I.2	1	3	22	0	2
3.I.2	2	4	19	0	1
3.I.3	1	4	19	0	3,2,4
3.I.3	2	5	22	2	4,3,1
3.I.3	3	3	20	1	4,1,2
3.I.3	4	4	20	1	1,2,3
3.I.6	1	4	21	3	2
3.I.6	2	4	26	3	1

Πίνακας 2: Ιδανικές τιμές περιβάλλοντος συμμετεχόντων στο ερωτηματολόγιο



(α) Ο όροφος με τα γραφεία 0.I.2, 0.I.6, 0.I.8, 0.I.9 του κτηρίου του ΙΤΥΕ Διόφαντος

Οι ερωτήσεις σε γενικές γραμμές απαντήθηκαν με ευκολία από τους περισσότερους χρήστες. Διευκρινίσεις χρειάστηκαν να δοθούν στην τελευταία ερώτηση περί ιεράρχησης των προτιμήσεων των υπολοίπων χρηστών μέσα στον χώρο. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότεροι χρήστες δεν μπορούσαν να κατανοήσουν τι εννοούνταν με τον όρο ιεράρχηση των προτιμήσεων. Το παραπάνω θέμα επεξηγήθηκε ως μια έκφραση της βαρύτητας που θα έδινε το συγκεκριμένο άτομο στην προτίμηση πχ του συναδέλφου του στο διπλανό γραφείο σε σχέση με την προτίμηση ενός ατόμου που καθόταν δυο γραφεία μακριά του. Για να υποβοηθηθεί το κάθε άτομο, του παρουσιάζονταν μερικά σενάρια σύμφωνα με τα οποία θα μπορούσε να κρίνει και να συσχετίσει μια ιεραρχία με τα γραφεία (και ως εκ τούτου στην άποψη του κάθε ατόμου που καθόταν σε αυτά) στον χώρο. Μερικά από αυτά τα κριτήρια ήταν η απόσταση από την δική του θέση, η παλαιότητα του ατόμου σε σχέση με τους υπολοίπους, η θέση του και ο τίτλος του κλπ. Για παράδειγμα έχοντας υπ' όψιν μας ότι στον ίδιο χώρο μπορεί να κάθονται τρεις υπάλληλοι με τον υπεύθυνό τους, η

άποψη του υπευθύνου πολύ πιθανό να είναι ψηλά στην ιεραρχία και των τριών, με τις προτιμήσεις των άλλων δυο συναδέλφων τους να ακολουθούν.

Στην τελευταία ερώτηση, μερικοί (5) χρήστες απάντησαν ότι δεν τους ενδιαφέρει η ιεράρχιση των προτιμήσεων του χρήστη. Με μια πρώτη ματιά στο ζήτημα του κατά πόσο έχει νόημα να ρωτήσει κανείς τα άτομα που δουλεύουν σε δωμάτια 2 θέσεων, φαίνεται να μην υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον όσον αφορά στα βάρη, διότι το κάθε άτομο έχει σαν γνώμονα την δική του άποψη αρχικά και βάζει σε δεύτερη μοίρα την άποψη του άλλου ατόμου. Αν ξανασκεφτούμε το ζήτημα και τα πιθανά κριτήρια όμως, είναι δυνατόν να έχουμε παράγοντες όπως την παλαιότητα και την θέση του κάθε ατόμου που μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτή την ιεράρχιση και ως εκ τούτου κάποιος να θέλει να τοποθετήσει ακόμα και την δική του προτίμηση χαμηλότερα από την προτίμηση για παράδειγμα του προϊσταμένου του.

6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΙΜΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μετά την λήξη της διαδικασίας λήψης τιμών από πραγματικούς χρήστες, ήταν πλέον δυνατό να χρησιμοποιηθεί το web service που αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Για την λήψη αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκαν 3 αλγόριθμοι υπολογισμών: μέσου όρου, standard deviation και pareto frontiers. Να σημειωθεί εδώ ότι ο τρόπος που είναι δομημένο το API είναι ιδανικός για την επέκταση της χρήσης κι άλλων αλγορίθμων με εύκολο τρόπο και χωρίς αλλαγές ούτε στην βάση δεδομένων, αλλά ούτε και στα προγραμματιστικά μοντέλα που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Κάτω από το namespace calc και με την χρήση της παραμέτρου method μπορεί κανείς να βρει τα αποτελέσματα που υπολογίζονται σε πραγματικό χρόνο από το service.

6.2.1 Υπολογισμος χωρις βαρη

Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε, έτσι ώστε να έχουμε ένα σημείο αναφοράς, είναι η απλή μέθοδος του να υπολογίσουμε τον μέσο όρο των τιμών για ένα δωμάτιο αγνοώντας την άποψη κάθε χρήστη για την κατάταξη των προτιμήσεων των υπολοίπων συναδέλφων του μέσα στο δωμάτιο.

ΔΩΜΑΤΙΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΟΜΩΝ
0.I.2	3.0	2.0	1.22	4
0.I.8	3.33	4.0	1.11	6
0.I.9	1.0	1.0	0.0	3
0.II.5	0.67	0.0	0.47	3
0.II.6	3.67	1.0	1.89	3
0.II.7	4.67	5.0	0.47	3
3.I.2	3.5	3.5	0.5	2
3.I.3	4.0	4.0	0.71	4
3.I.6	4.0	4.0	0.0	2

Πίνακας 3: Υπολογισμός μέσου όρου, διάμεσου και τυπικής απόκλισης των τιμών που συγκεντρώθηκαν, ανά δωμάτιο.

Με άλλα λόγια, η τελική μέση τιμή φωτεινότητας, είναι το άθροισμα των επιμέρους προτιμήσεων δια τον αριθμό των ατόμων μέσα στο δωμάτιο, ή:

$$m_{\text{room}}(k) = \frac{\sum_{j=1}^{n_k} \Pi_j}{n_k} \quad (5)$$

Με n τον αριθμό των ατόμων μέσα στο δωμάτιο k , και Π_j την προτίμηση του χρήστη j . Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 3.

6.2.2 Υπολογισμοί τιμών με βάρη

Στην παραπάνω διαδικασία υπολογισμού των μέσων τιμών δεν έχουν χρησιμοποιηθεί καθόλου οι απόψεις του κάθε ατόμου σχετικά με το πως ιεραρχεί τις προτιμήσεις των υπολοίπων ατόμων μέσα στο γραφείο του. Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τις ιεραρχίες αυτές, αποφασίστηκε να χρησιμοποιήσουμε ένα σύστημα με βάρη, έτσι ώστε να μπορούμε να εκφράσουμε την σημαντικότητα της κάθε προτίμησης για τον χρήστη.

Επίσης κάνουμε μια παραδοχή: Η προσωπική προτίμηση του χρήστη είναι πάντα πιο σημαντική από τις υπόλοιπες μέσα στο δωμάτιο. Αυτό γίνεται διότι έτσι παρουσιάστηκε η δομή στα άτομα τα οποία συμμετείχαν στην έρευνα. Εάν είχαν

την δυνατότητα, μερικοί χρήστες μπορεί να έβαζαν την δική τους προτίμηση πιο κάτω από την προτίμηση κάποιου άλλου συναδέφλου τους μέσα στο δωμάτιο (όπως για παράδειγμα του προϊσταμένου τους). Ιεραρχώντας λοιπόν τις προτιμήσεις των χρηστών, υποθέτουμε πάντα ότι η σειρά έχει ως εξής:

$$\Pi_x \rightarrow \Pi_1 \rightarrow \Pi_2 \rightarrow \dots \rightarrow \Pi_n \quad (6)$$

όπου Π_x η προτίμηση του χρήστη που εκφράζει την άποψη και $\Pi_1, \dots, \Pi_n$ οι προτιμήσεις των υπολοίπων χρηστών μέσα στο δωμάτιο.

Από την καταγραφή που έχει γίνει παρατηρούμε ότι υπάρχουν δυο πιθανά σεναρία για την ιεράρχηση των προτιμήσεων:

- * Ο χρήστης έχει εκφράσει την άποψή του και έχει ιεραρχήσει τις προτιμήσεις των υπολοίπων.
- * Ο χρήστης έχει εκφράσει την άποψή του αλλά δηλώνει τις υπόλοιπες προτιμήσεις ως ισάξιες (δεν υπάρχει συγκεκριμένα κατάταξη).

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τον μέσο όρο τιμών που θα πρέπει να εφαρμοστούν στο κάθε γραφείο, θα πρέπει να αναπτύξουμε ένα σύστημα βαρών το οποίο να μας επιτρέπει να λαμβάνουμε υπ' όψιν μας και την προσωπική προτίμηση του εκφράζοντος την άποψη χρήστη, αλλά και τις προτιμήσεις των υπολοίπων από την σκοπιά του χρήστη αυτού (μέσω της κατάταξης που μας έχει εκφράσει). Έτσι θα δημιουργείται ουσιαστικά μια υποκειμενική πραγματικότητα για τον κάθε χρήστη, που στο τέλος θα πρέπει να συμψηφιστεί σε έναν μέσο όρο για όλο το δωμάτιο.

Προτείνουμε τα εξής απλά συστήματα βαρών, αναλόγως το σενάριο:

- * Με υφιστάμενη κατάταξη: Ξεκινώντας με την προτίμηση του χρήστη που εκφράζει την άποψη, δίνουμε στην κάθε προτίμηση ιεραρχικά βάρος ίσο με τον αριθμό των γραφείων μέσα στο δωμάτιο μείον την απόσταση της εκάστοτε προτίμησης από την πρώτη σε σειρά τιμή. Δηλαδή:

$$(n_k - a_1) * \Pi_1 \rightarrow (n_k - a_2) * \Pi_2 \rightarrow \dots \rightarrow (n_k - a_{n_k}) * \Pi_{n_k} \quad (7)$$

όπου $a_1 = 0, a_2 = 1, \dots, a_{n_k} = n_k - 1$ και n ο αριθμός των εργαζομένων στο δωμάτιο k .

Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε ένα δωμάτιο τριών χρηστών, και η σειρά που κατέταξε ο εργαζόμενος που κάθεται στο γραφείο 1 τα υπόλοιπα γραφεία όσον αφορά τις προτιμήσεις τους είναι 2, 3. Τότε θα έχουμε:

$$(3 - 0) * \Pi_x \rightarrow (3 - 1) * \Pi_2 \rightarrow (3 - 2) * \Pi_3$$

- * Ο χρήστης έχει εκφράσει την άποψή του αλλά δηλώνει τις υπόλοιπες προτιμήσεις ως ισάξιες (δεν υπάρχει συγκεκριμένα κατάταξη). Δίνουμε στον χρήστη που εκφράζει την άποψη βάρος ίσο με το μισό του μεγέθους του γραφείου και στις προτιμήσεις των υπολοίπων βάρος 1. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε ένα δωμάτιο τριών χρηστών και η σειρά που κατέταξε ο εργαζόμενος που κάθεται στο γραφείο 1 του είναι αδιάφορη. Τότε θα έχουμε:

$$(3/2) * \Pi_x \rightarrow 1 * \Pi_2 \rightarrow 1 * \Pi_3$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για να κατασκευάσουμε την υποκειμενική μέση τιμή ενός χρήστη j που κάθεται στο δωμάτιο k (δηλαδή την μέση τιμή η οποία προέρχεται από την δική του προτίμηση και τον τρόπο που αυτός ιεραρχεί τις προτιμήσεις των υπολοίπων),

$$m_{\text{subjective}}(j, k) = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} (n_k - a_i) * \Pi_i}{\sum_{i=1}^{n_k} n_k - a_i} \quad (8)$$

Στην συνέχεια, και υπολογίζοντας όλες τις υποκειμενικές μέσες τιμές, βγάζουμε τον μέσο όρο τιμών του δωματίου k :

$$m_{\text{room}}(k) = \frac{\sum_{j=1}^{n_k} m_{\text{subjective}}(j, k)}{n_k} \quad (9)$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 4.

ΔΩΜΑΤΙΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΟΜΩΝ
0.Ι.2	2.48	2.0	1.33	4
0.Ι.8	3.26	4.0	1.11	6
0.Ι.9	1.0	1.0	0.0	3
0.ΙΙ.5	0.56	0.0	0.48	3
0.ΙΙ.6	3.07	1.0	1.98	3
0.ΙΙ.7	3.4	5.0	1.35	3
3.Ι.2	3.0	3.5	0.71	2
3.Ι.3	3.41	4.0	0.92	4
3.Ι.6	3.33	4.0	0.67	2

Πίνακας 4: Υπολογισμός μέσου όρου, διάμεσου και τυπικής απόκλισης των τιμών που συγκεντρώθηκαν, ανά δωμάτιο με χρήση βαρών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ

7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα υπολογισμών μέσων όρων και standard deviation μας δίνουν την δυνατότητα να βγάλουμε μερικά συμπεράσματα όσον αφορά τις πιθανές χρήσεις του συστήματός μας σε ένα πραγματικό περιβάλλον.

Το πρώτο ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι όντως, οι χρήστες ενός τέτοιου συστήματος θα είχαν ποικίλες προτιμήσεις με αρκετές αποκλίσεις ο ένας από τον άλλο, ακόμα και όταν μιλάμε για το ίδιο δωμάτιο. Επίσης βλέπουμε ότι υφίστανται γραφεία στα οποία οι απόψεις συγκλίνουν αρκετά, οπότε θα ήταν ίσως πιο εύκολο να βρεθεί μια αρμονική λύση στο πρόβλημα της επιβολής μιας μοναδικής και καθολικής τιμής σε κάθε δωμάτιο. Βέβαια, το ζήτημα περιπλέκεται όταν/εάν συνυπολογίσουμε τον αυτόνομο έλεγχο κάθε πηγής φωτεινότητας στο δωμάτιο. Σαν παράδειγμα για να γίνει κατανοητό το παραπάνω, ας πάρουμε την περίπτωση του γραφείου 0.I.9. Παρατηρούμε ότι και οι τρεις εργαζόμενοι προτιμούν φωτεινότητα με τιμή 1. Πιο συγκεκριμένα, οι εργαζόμενοι αυτοί προτιμούν να έχουν ενεργή μόνο μια πηγή φωτισμού η οποία βρίσκεται ακριβώς πάνω από το γραφείο τους. Τυχαίνει εδώ και υφίστανται 4 λαμπτήρες μέσα στο γραφείο, με έναν λαμπτήρα πάνω από κάθε γραφείο και έναν επιπλέον. Επομένως εάν επιπόλαια σκεφτόταν κάποιος ότι από τη στιγμή που και οι τρεις προτιμούν φωτεινότητα 1, το δωμάτιο θα έπρεπε να έχει ενεργή μόνο μια πηγή φωτισμού, δεν θα δημιουργούνταν το επιθυμητό αποτέλεσμα για κάθε έναν χρήστη, αλλά θα παρερμηνευόταν η επιθυμία τους. Αντιθέτως, για να δημιουργηθεί το ιδανικό περιβάλλον για τον έναν από τους τρεις, θα έπρεπε να είναι ανοιχτή μόνο η δική του λάμπα, και όλες οι άλλες σβηστές. Αυτό θα ερχόταν σε άμεση σύγκρουση με τις προτιμήσεις των υπολοίπων στο δωμάτιο.

Βλέπουμε από τα παραπάνω ότι για μικρές τιμές φωτισμού, όπου ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει σύμφωνα με την εγγύτητα της πηγής φωτισμού από το γραφείο του, η επιβολή ενός μέσου όρου δεν έχει τα καλύτερα αποτελέσματα για την επίτευξη ενός ιδανικού περιβάλλοντος. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν περιπτώσεις που ο μέσος όρος θα μας αρκούσε, και δεν θα ήταν απαραίτητο να πάμε σε άλλου είδους υπολογισμούς για να ευχαριστήσουμε όλους τους χρήστες του δωματίου. Συγκεκριμένα, ας πάρουμε σαν παράδειγμα το δωμάτιο με αριθμό 0.II.7. Παρατη-

ΔΩΜΑΤΙΟ	ΑΠΛΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕ ΒΑΡΗ	ΜΕΙΩΣΗ (ΕΠΙ ΤΟΙΣ ΕΚΑΤΩ)
0.I.2	3.0	2.48	↓ 17.33%
0.I.8	3.33	3.26	↓ 0.02%
0.I.9	1.0	1.0	↓ 0.00%
0.II.5	0.67	0.56	↓ 16.41%
0.II.6	3.67	3.07	↓ 16.34%
0.II.7	4.67	3.4	↓ 27.19%
3.I.2	3.5	3.0	↓ 14.28%
3.I.3	4.0	3.41	↓ 14.75%
3.I.6	4.0	3.33	↓ 16.75%

Πίνακας 5: Τιμές φωτεινότητας που υπολογίζονται από τους δυο αλγορίθμους και διαφορές επί τοις εκατώ

ρούμε ότι έχουμε σχεδόν την αντίθετη άποψη περί φωτεινότητας από τους χρήστες του πρώτου δωματίου. Εάν χρησιμοποιούσαμε την μέση τιμή εδώ σαν καθολική τιμή για το δωμάτιο, οι χρήστες του θα ήταν ευχαριστημένοι. Ο λόγος φυσικά είναι ότι επειδή δεν υπάρχει θέληση για άμεση αντιστοίχιση πηγής φωτισμού με κάθε άτομο, μπορούμε απλά να έχουμε ανοιχτές όλες τις πηγές φωτισμού στο δωμάτιο και να επιτύχουμε απόλυτη ικανοποίηση για 2 από τους 3 χρήστες.

Συγκρίνοντας τις μεθόδους υπολογισμού μέσου όρου παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση στις τιμές οι οποίες τελικά θα επιβληθούν στο δωμάτιο. Παρόλα αυτά, παρατηρείται ότι οι τιμές που προκύπτουν *όσον αφορά όλα τα δωμάτια* είναι μικρότερες, και ενώ η απόκλιση είναι μεγαλύτερη, μπορούμε να βγάλουμε ένα χρήσιμο συμπέρασμα:

Συμπέρασμα. *Με χρήση του αλγορίθμου με βάρη, μειώνεται η ενεργειακή κατανάλωση.*

Οι τιμές της κανονικής απόκλισης παρατηρούμε ότι στα περισσότερα δωμάτια αυξάνονται όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος με βάρη. Μεμονωμένες περιπτώσεις έχουν καλύτερα αποτελέσματα, αλλά σε γενικές γραμμές δεν βλέπουμε κάποια σημαντική διαφορά στις τιμές. Έτσι μπορεί κανείς να βγάλει το συμπέρασμα ότι με μικρό κόστος στην “δικαιοσύνη” των τιμών (και το κατά πόσο οι χρήστες τελικά θα είναι ευχαριστημένοι ή όχι), μειώνουμε το ενεργειακό κόστος σε κάθε δωμάτιο

όταν επιλέξουμε τον αλγόριθμο με βάρη και όχι την απλή μέθοδο υπολογισμού μέσης τιμής.

7.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ

Έχοντας λάβει τιμές από ένα πραγματικό περιβάλλον και κατανοώντας πλέον τις διαφορές που μπορεί να έχουν οι προτιμήσεις των χρηστών σε έναν κοινόχρηστο χώρο, είναι λογικό να γεννούνται διάφορες ιδέες για το πως θα μπορούσε να συνεχιστεί η έρευνα που έχει γίνει μέχρι στιγμής και να χρησιμοποιηθεί το σύστημα που έχει υλοποιηθεί για να λύσει θέματα όπως αυτό της βέλτιστης ενεργειακής κατανάλωσης.

Μια κατεύθυνση που θα μπορούσε να πάρει μια ενδεχόμενη μελλοντική επέκταση της δουλειάς που έχει γίνει σε αυτή την διπλωματική εργασία θα μπορούσε να είναι η χρήση του service για τον υπολογισμό ανακατανομής των υπαλλήλων σε ένα κτήριο, σύμφωνα με τις προτιμήσεις που έχουν όσον αφορά τον φωτισμό, την θερμοκρασία ή τον θόρυβο. Είναι λογικό ένας άνθρωπος που του αρέσει να δουλεύει με 26 βαθμούς κελσίου σε ένα δωμάτιο με άλλα τρία άτομα στα οποία αρέσουν οι χαμηλές θερμοκρασίες να μην αισθάνεται τόσο άνετα αλλά και να ανεβάζει πολύ τον μέσο όρο θερμοκρασίας του δωματίου.

Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα θα μπορούσε να επεκταθεί με ένα recommendation system το οποίο να οπτικοποιεί τις ελάχιστες δυνατές ανακατανομές για να φτάσουμε σε ένα όσο το δυνατόν βέλτιστο περιβάλλον και από την άποψη των συνθηκών για τους ανθρώπους που δουλεύουν στο δωμάτιο, αλλά και από άποψη ενεργειακής κατανάλωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Francisco Bullo Anahita Mirtabatabaei. On opinion dynamics in heterogeneous networks. 2011.
- [2] Can2Go Building automations. <http://www.can2go.com/>. 2014.
- [3] Jon Bentley. *Programming Pearls*. Addison-Wesley, Boston, MA, USA, 2nd edition, 1999.
- [4] Jon Kleinberg David Bindel and Sigal Oren. How bad is forming your own opinion? 2011.
- [5] Stephen Dawson-Haggerty, Xiaofan Jiang, Gilman Tolle, Jorge Ortiz, and David Culler. smap – a simple measurement and actuation profile for physical information. 2011.
- [6] Amaxilatis Dimitrios Dimakopolos Dimitrios Akribopoulos Orestis and Chazigiannakis Ioannis. Smart energy monitoring and management in large multi-office building environments. pci 2013. 2013.
- [7] Lu Xiao Dusit Niyato and Ping Wang. Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid. 2011.
- [8] Schmitz et al. Energy management system, 05 1979. URL http://www.patentlens.net/patentlens/patent/US_4153936/.
- [9] Roy Thomas Fielding. Architectural styles and the design of network-based software architectures. 2000.
- [10] B. Firner, R. Moore, R. Howard, R. Martin, and Y. Zhang. Poster: Smart buildings, sensor networks, and the internet of things. 2011.
- [11] P. Mehta G. Clark. Artificial intelligence and networking in integrated building management systems. 1997.
- [12] Microsoft Hohm. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hohm>. 2012.
- [13] Donald E. Knuth. Big Omicron and Big Omega and Big Theta. *SIGACT News*, 8(2):18-24, April/June 1976.

- [14] Apple Smart-Home-Energy Management. <http://www.patentlyapple.com/patently-apple/2010/01/apple-reveals-smart-home-energy-management-dashboard-system-1.html>. 2011.
- [15] Johnson Controls' Metasys. http://www.johnsoncontrols.com/content/us/en/products/building_efficiency/products-and-systems/building_management/metasys.html. 2014.
- [16] Anastasia Protopapa Orestis Akribopoulos, Vasileios Georgitzikis and Ioannis Chatzigiannakis. Building a platform-agnostic wireless network of interconnected smart objects. in 15th panhellenic conf. on informatics with international participation, pci'11. 2011.
- [17] Google Powermeter. <http://www.google.com/powermeter/about/>. 2011.
- [18] Ulrich Krause Rainer Hegelsmann. Opinion dynamics and bounded confidence models, analysis and simulation. 2002.
- [19] Yogesh Simmhan Saima Aman and Viktor K. Prasanna. Energy management systems: State of the art and emerging trends. 2013.
- [20] Lars Schor, Philipp Sommer, and Roger Wattenhofer. Towards a zero-configuration wireless sensor network architecture for smart buildings. 2008.
- [21] Steven S. Skiena. The algorithm design manual, 2nd edition. 2009.
- [22] Ioannis Chatzigiannakis Spyros Kontogiannis. Spitfire use case: Selfishness in smart illumination systems. 2011.
- [23] J. Celements-Croome T. Derek. What do we mean by intelligent building? 2001.
- [24] Honeywell Global technology leader in Energy Efficiency. <http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>. 2014.
- [25] Gwenn Englebienne Tim van Kasteren, Athanasios Noulas and Ben Kroese. Accurate activity recognition in a home setting. 2011.

- [26] R. Wilkinson. Become a bas master. 2000.
- [27] Ercan Yildiz, Daron Acemoglu, Asuman Ozdaglar, Amin Saberi, and Anna Scaglione. Discrete opinion dynamics with stubborn agents. 2011.