



# **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

## **ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

### **ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

#### **Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών**

#### **Ειδίκευση Δίκτυα Επικοινωνιών και Κατανεμημένων Συστημάτων ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Επεξεργαστές σύγχρονης Τεχνολογίας για Edge Computing**

**Μαρία Σκάρου  
Α.Μ. 19009**

**Εισηγητής: Αντώνιος Μπόγρης , Καθηγητής**

**(Κενό φύλλο)**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Επεξεργαστές σύγχρονης Τεχνολογίας για Edge Computing**

**Μαρία Σκάρου  
Α.Μ. 19009**

**Εισηγητής: Αντώνιος Μπόγρης , Καθηγητής**

**Εξεταστική Επιτροπή: Ιωάννα Καντζάβελου , Βασίλειος Μάμαλης**

**Ημερομηνία εξέτασης : 31/05/2022**

**(Κενό φύλλο)**

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Σκάρου Μαρία του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 19009 φοιτητής/τρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο/Η Δηλών/ούσα



**(Κενό φύλλο)**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Στη προσπάθειά μου αυτή για την ολοκλήρωση της εργασίας μου σημαντική υποστήριξη προσέφερε η μητέρα μου που είναι πάντα δίπλα μου και είναι ο μοναδικός άνθρωπος που έχω στον κόσμο .

**(Κενό φύλλο)**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**



Οι υπολογιστές αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της καθημερινότητας των ανθρώπων της εποχής μας. Πλέον, μεγάλος αριθμός υπολογιστών λειτουργεί αυτόνομα, έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον του, συλλέγει στοιχεία και τα αποστέλλει σε μια δομή υπολογιστικής νέφους για επεξεργασία, αποθήκευση και επιπλέον διάθεση στους χρήστες της υπηρεσίας. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών αποτελούν κάμερες τύπου IP, συσκευές παρακολούθησης δραστηριότητας, συστήματα εγκατεστημένα σε οχήματα καθώς και άλλα.

Ο όγκος των δεδομένων που παράγουν οι συσκευές αυτές είναι ιδιαίτερα εκτενής και σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα δεδομένα που διακινούνται μέσω δικτύου δημιουργείται ένας μεγάλος φόρτος εργασίας ο οποίος φέρνει τόσο τις ικανότητες του δικτύου αλλά και των εξυπηρετητών στα όρια τους. Μεταξύ των προτάσεων για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού επικρατέστερη εμφανίζεται η υπολογιστική άκρου. Σύμφωνα με τη τεχνική αυτή οι συσκευές στα άκρα του δικτύου θα πρέπει να επεξεργάζονται οι ίδιες τα δεδομένα που παράγουν και να αποστέλλουν στην υπολογιστική δομή νέφους αισθητά μικρότερο όγκο δεδομένων που θα αναπαριστά έννοιες με περισσότερο νόημα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την μελέτη της τεχνολογίας αυτής. Για το σκοπό αυτό στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται συνοπτικά η τεχνολογία, τα οφέλη που έχει να προσφέρει και τους λόγους που την καθιστούν απαραίτητη σε συνδυασμό με τη τεχνολογία Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Το κεφάλαιο κλείνει με μια αναφορά για τα οφέλη της τεχνολογίας στα δίκτυα πέμπτης γενιάς. Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται κάποια από τα προβλήματα που η τεχνολογία έρχεται να αντιμετωπίσει καθώς και παραδείγματα εφαρμογών. Τέλος στα επόμενα δύο κεφάλαια γίνεται μια αναφορά στις ιδιαίτερες λεπτομέρειες της τεχνολογίας όπως οι αισθητήρες, επεξεργαστές και θέματα ασφάλειας. Η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα.

**Λέξεις Κλειδιά:** Υπολογιστική Άκρου, Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Υπολογιστική Νέφους,

Computers are an integral part of everyday life. Now, a large number of computers operate autonomously, interact with their environment, collect data and send it to a cloud computing structure for processing, storage and additional distribution to service users. Examples of such applications are IP cameras, activity monitoring devices, on-board systems and more.

The volume of data produced by these devices is very extensive and in combination with the rest of the data that travels through the network, a large workload is created which brings, both the capabilities of the network and the servers to their limits. Among the proposals for dealing with this phenomenon, the most prominent is the Edge Computing. According to this technique, the devices at the ends of the network will have to process the data they produce themselves and send to the cloud computing structure a significantly smaller amount of data that will represent more meaningful concepts.

The present dissertation deals with the study of this technology. In order to accomplish this, the first chapter summarizes the technology, the benefits it has to offer and the reasons that make it necessary in conjunction with the Internet of Things technology. The chapter concludes with a report on the benefits of technology in fifth generation networks. The second chapter of the paper presents some of the problems that technology comes to face as well as examples of applications. Finally in the next two chapters a reference is made to the particular details of the technology such as sensors, processors and security issues. The work is completed with the conclusions.

**Keywords:** Edge Computing, Internet Of Things, Cloud Computing

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	12
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	13
1.2 Η Τεχνολογία Υπολογιστικής Άκρης .....	14
1.3 Πλεονεκτήματα Υπολογιστικής Άκρης.....	15
1.4 Η τεχνολογία ΙοΤ χρειάζεται την Υπολογιστική Άκρη.....	16
1.5 Εδραίωση του δικτύου 5G χάρη στη Edge Computing.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	19
2.1 Αναγκαιότητα Υπολογιστικής Άκρων .....	19
2.2 Εφαρμογές Υπολογιστικής Άκρων .....	20
2.2.1 Γεωργία ακριβείας.....	20
2.2.2 Έξυπνη Παρακολούθηση Υγείας.....	22
2.2.3 Συστήματα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	24
2.2.4 Υπηρεσίες διαχείρισης καταστροφών.....	26
2.2.5 Περιβαλλοντολογικοί Αισθητήρες.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	33
3.1 Αισθητήρας, απαραίτητο υλικό για το Edge Computing.....	33
3.2 Αισθητήρας MEMS .....	34
3.3 Τεχνική συμπίεσης με αισθητήρα .....	37
3.4 Πρότυπα Συμπίεσης - Ανίχνευσης.....	39
3.5 Παλμικό σύστημα επικοινωνίας UWB.....	42
3.6 Από την αρχιτεκτονική ενός πυρήνα σε αρχιτεκτονική πολλών πυρήνων .....	44
3.7 Επεξεργαστής PULP .....	47
3.8 Επεξεργαστές HPC .....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	55
4.1 Εστίαση στην Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας.....	55
4.2 Κύριες Πηγές Κατανάλωσης Ενέργειας στη Προσέγγιση Edge Computing.....	57
4.3 Ο σχεδιασμός των απαιτήσεων υλικού καθορίζεται από τη μείωση κατανάλωσης.....	60
4.4 Αδιαπραγμάτευτη προϋπόθεση της υλοποίησης EC η ασφάλεια.....	61
4.5 Επίλυση του προβλήματος της ασφάλειας μέσω κρυπτογράφησης επικοινωνίας .....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	71
5.1 Συμπεράσματα.....	71

(Κενό φύλλο)

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Εικόνα 1: Edge Computing. Πηγή: IEEE.....	15
Εικόνα 2: IoT σε Edge. Πηγή: medium.com .....	17
Εικόνα 3: Γεωργία Ακριβείας. Πηγή: akira.ai .....	21
Εικόνα 4: EdgeComputing στη παρακολούθηση υγείας. Πηγή: IEEE .....	24
Εικόνα 5: Προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Πηγή: dl.acm.org.....	26
Εικόνα 6: Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του MECServer. Πηγή: ieeexplore.ieee.org .....	28
Εικόνα 7: Αρχιτεκτονική Υπηρεσίας Διαχείρισης Καταστροφών. Πηγή: ieeexplore.ieee.org .....	30
Εικόνα 8: Περιβαλλοντικοί αισθητήρες στην υπολογιστική ακμής. Πηγή: ieeexplore.ieee.org .....	32
Εικόνα 9: Αισθητήρες. Πηγή: Α. Πετρόπουλος, 2011. Τεχνολογία των αισθητήρων. ΤΕΙ Αθήνας .....	34
Εικόνα 10: Επιφάνεια μικρομηχανικού MEMS επιταχυνσιόμετρου. Πηγή: ieeexplore.ieee.org.....	36
Εικόνα 11: Ασύρματη μετάδοση μέσω UWB. Πηγή: AIP .....	44
Εικόνα 12: Η απόδοση των επεξεργαστών. Πηγή: prashing.com.....	47
Εικόνα 13: Αρχιτεκτονική PULP. Πηγή: ieeexplore.ieee.org [22].....	50
Εικόνα 14: Διάγραμμα του GAP8. Πηγή: www.microcontrollertips.com .....	52
Εικόνα 15: Επεξεργαστές της εταιρίας Intel για HPC. Πηγή: www.titancomputers.com.....	54
Εικόνα 16: Ο σταθμός που εντοπίζει κίνδυνο ενημερώνει τους υπόλοιπους. Πηγή: researchgate.net.....	59
Εικόνα 17: Κατανάλωση ενέργειας δικτύου από συσκευή EdgeComputing. Πηγή : researchgate.net .....	59
Εικόνα 18: Συμμετρική Κρυπτογραφία. Πηγή: www.websiterating.com .....	66
Εικόνα 19: Ασύμμετρη Κρυπτογραφία. Πηγή: www.websiterating.com .....	67
Εικόνα 20: Το SSL στη στοίβα πρωτοκόλλων. Πηγή: wikipedia .....	68
Εικόνα 21: Εικονικό Ιδιωτικό Δίκτυο. Πηγή: itianworld.com.....	70
Εικόνα 22: Κρυπτογράφηση δεδομένων EdgeComputing. Πηγή: dergipark.org.tr .....	70

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μια εισαγωγή στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας που είναι η μελέτη της υπολογιστικής άκρης και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα της. Παράλληλα παρουσιάζεται η σχέση της με την τεχνολογία IoT καθώς και με την εδραίωση του δικτύου 5<sup>ης</sup> γενιάς.

### 1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η έννοια του υπολογιστή που βασίζεται στο δίκτυο έχει τις ρίζες της στη δεκαετία του 1960, μία όμως από τις πρώτες αναφορές στον όρο 'Υπολογιστική Νέφος', με τη σύγχρονη έννοια του, έγινε το 2006 από τον CEO της Google Eric Schmidt. Η υπολογιστική νέφος επιτρέπει στα δεδομένα να αποθηκεύονται και να επεξεργάζονται από κεντρικούς υπερ υπολογιστές, ενώ αντίθετα οι υπολογιστές των τελικών χρηστών που χρησιμοποιούν τα δεδομένα αυτά διαθέτουν περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους και συνεπώς διατίθενται σε χαμηλό κόστος. Με τον τρόπο αυτό, μια συσκευή εφοδιασμένη με μνήμη ελάχιστης χωρητικότητας μπορεί να προσφέρει στο χρήστη της απεριόριστα δεδομένα.

Φυσικά η τεχνολογία, πέρα από τα σημαντικά της πλεονεκτήματα, γρήγορα άρχισε να παρουσιάζει και τις αδυναμίες της. Με το πέρασμα του χρόνου και καθώς όλο και περισσότερες συσκευές προστίθενται στο δίκτυο, τα δεδομένα που πρέπει να μεταφερθούν όλο και αυξάνονται σε όγκο με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή τους σε ένα κεντρικό σημείο να δημιουργεί αρκετά προβλήματα. Σημαντικό τμήμα των συσκευών αυτών, που αποτελούν το διαδίκτυο των πραγμάτων (InternetOfThings)[1], περιορίζονται από τις ιδιαιτερότητες του δικτύου, καθώς ένα αργό δίκτυο έχει σημαντική επίδραση στην απόδοσή τους. Επιπλέον, μια αστοχία στο δίκτυο θα τις θέσει εντελώς εκτός υπηρεσίας αφού δεν είναι δυνατόν να λειτουργήσουν χωρίς δίκτυο, αφού το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιούν βρίσκεται στον απομακρυσμένο κεντρικό υπολογιστή, ο οποίος είναι προσβάσιμος μόνο μέσω δικτύου.

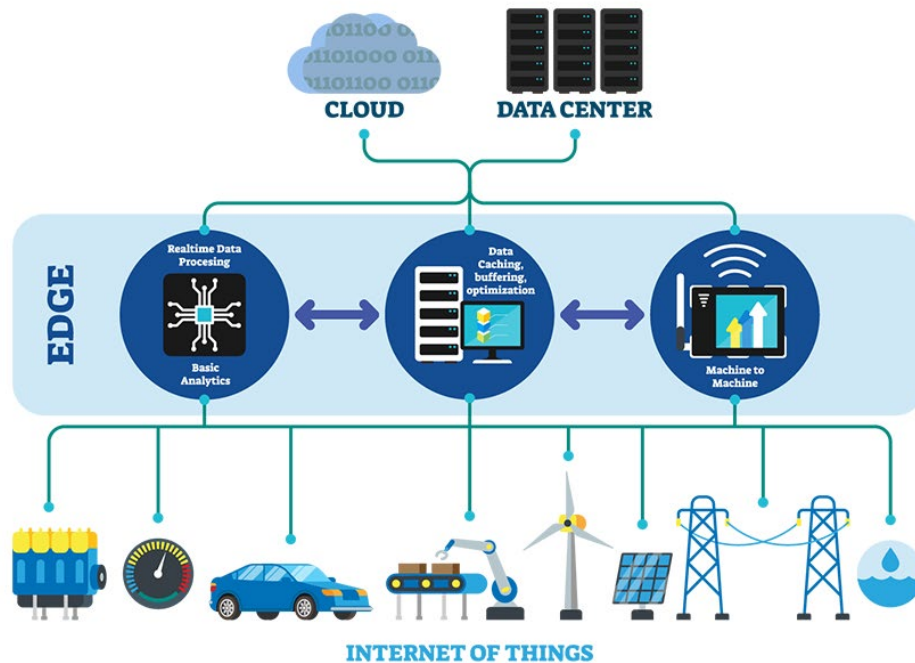
## 1.2 Η Τεχνολογία Υπολογιστικής Άκρης

Λύση στο φαινόμενο αυτό έρχεται να δώσει μια νέα τεχνολογία, η Υπολογιστική Άκρων (Edge Computing). Σύμφωνα με τον ορισμό του δημοφιλούς ισότοπου Wikipedia, ο όρος αναφέρεται σε μια κατανεμημένη τεχνολογία η οποία αναλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων στη πηγή αυτών, από συσκευές που διαθέτουν αρκετούς πόρους για το σκοπό αυτό, σε αντίθεση με την υπολογιστική νέφους, όπου όλα τα δεδομένα θα πρέπει να μεταφερθούν σε μια κεντρική τοποθεσία προκειμένου να επεξεργασθούν [2]. Η πρόταση είναι εφικτή, τα τελευταία χρόνια, καθώς η τεχνολογία κατασκευής ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει εξελιχτεί αρκετά και επιτρέπει την κατασκευή υπολογιστών που διαθέτουν αρκετούς υπολογιστικούς πόρους ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν τα δεδομένα, ενώ παράλληλα είναι αρκετά μικροί σε διαστάσεις, καταναλώνουν αρκετά χαμηλή ενέργεια ενώ το κόστος κατασκευής τους είναι ικανοποιητικό. Το μικρό τους μέγεθος αλλά και οι χαμηλές σε ενέργεια απαιτήσεις, τους επιτρέπουν να ενσωματωθούν σε μεγάλη γκάμα συσκευών και να λειτουργήσουν ακόμα και σε απομακρυσμένα περιβάλλοντα με ενέργεια που ανακτούν από διάφορες πηγές (όπως ένα φωτοβολταϊκό σύστημα) και να αποστέλλουν τα δεδομένα που παράγουν μέσω Wifi.

Οι συσκευές που αποτελούν την Υπολογιστική Άκρης, λαμβάνουν, επεξεργάζονται τα δεδομένα και ακολούθως αποστέλλουν σε μια κεντρική Υπολογιστική Νέφους τα συμπεράσματα τους οδηγώντας με τον τρόπο αυτό σε μια συντριπτική μείωση του όγκου των δεδομένων που διακινούνται μέσω δικτύου, καθώς και σε μια αξιοσημείωτη μείωση του όγκου εργασίας που θα πρέπει να εκτελέσει το κεντροποιημένο σύστημα. Με τον τρόπο αυτό η τεχνολογία της υπολογιστικής νέφους έρχεται πιο κοντά στον τελικό χρήστη ενώ παράλληλα χαρακτηρίζεται από ταχύτατη επεξεργασία των δεδομένων αλλά και χαμηλούς χρόνους απόκρισης του όλου συστήματος, αφού πλέον δεν εξαρτάται από το ευαίσθητο δίκτυο.

Καθίσταται προφανές στον αναγνώστη ότι η τεχνολογία Υπολογιστικής Άκρης δεν μπορεί να αντικαταστήσει την Υπολογιστική Νέφους καθώς τα συστήματα που την υλοποιούν δεν μπορούν να διαθέτουν τους πόρους (υπολογιστικούς, ενεργειακούς, ανθρώπινου δυναμικού) που τα συστήματα νέφους διαθέτουν. Η χρήση τους όμως συνδυαστικά με την άνω τεχνολογία μπορεί να επιφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα.

# Edge Computing



Εικόνα1: EdgeComputing. Πηγή: IEEE

## 1.3 Πλεονεκτήματα Υπολογιστικής Άκρης

Το βασικότερο ίσως πλεονέκτημα της τεχνολογίας είναι η μείωση των δεδομένων που διακινούνται μέσω του δικτύου. Τα επίσημα στοιχεία [3] [4] μαρτυρούν πως ο αριθμός των συσκευών που έχει συνδεθεί στο διαδίκτυο, το 2020, ξεπερνούν τα 50 δισεκατομμύρια, καθιστώντας αδύνατη την μεταφορά και επεξεργασία των δεδομένων που παράγουν. Όσο ισχυρός και να είναι ο διακομιστής του νέφους, δεν είναι σε θέση να εξυπηρετήσει το σύνολο των δεδομένων που του αποστέλλονται [5]. Από την άλλη πλευρά, ο υπολογιστής που βρίσκεται κατεστημένος στο σημείο που παράγονται τα δεδομένα εκμεταλλεύεται πλήρως το σύνολο των πόρων που του έχουν δοθεί, μιας και είναι σχεδιασμένος ειδικά για το σκοπό τον οποίο επιτελεί, επεξεργάζεται τα δεδομένα και αποστέλλει στο κεντρικό υπολογιστή για επεξεργασία ένα μικρό μόνο κλάσμα του αρχικού όγκου. Για παράδειγμα, μια έξυπνη κάμερα θα μπορούσε να επεξεργάζεται τις εικόνες που παράγει και να αποστέλλει στον ιδιοκτήτη μια ειδοποίηση ότι κάποιο άτομο εισήλθε στο χώρο που επιτηρεί, αντί να αποστέλλει σε κάποιο υπολογιστή νέφους το σύνολο του βίντεο που παράγει διαρκώς και να περιμένει από αυτόν να το επεξεργαστεί και να ενημερώσει αυτός τον ιδιοκτήτη.



Αξιοσημείωτη είναι παράλληλα και η βελτίωση της απόδοσης του όλου συστήματος καθώς η συσκευή εκμεταλλεύεται πλήρως τους διαθέσιμους πόρους που διατίθενται μεταξύ του τελικού χρήστη και οποιουδήποτε άλλου σημείου, με αποτέλεσμα να αξιοποιούνται όλοι οι κοινόχρηστοι πόροι [6]. Με τον τρόπο αυτό, οποιαδήποτε συσκευή είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο, όπως ένας σκληρός δίσκος, ένας υπολογιστής με αρκετά υπολογιστική ισχύ, μια κάμερα, μπορούν να αξιοποιηθούν από τον υπολογιστή ακτής και να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους.

Σημαντικός είναι και ο παράγοντας της ευελιξίας που τα συστήματα προσφέρουν, καθώς το κόστος απόκτησης και εγκατάστασης είναι σχετικά χαμηλό με αποτέλεσμα να καθίσταται εύκολη η εγκατάσταση νέου εξοπλισμού προκειμένου να καλυφθούν νέες ανάγκες που πιθανόν να προκύψουν.

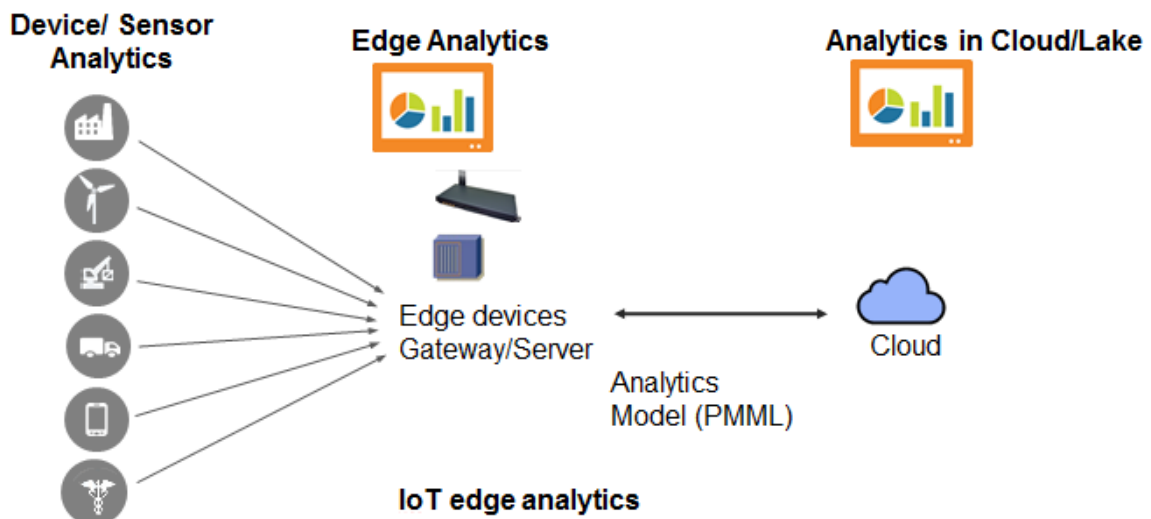
Τέλος, μιας και οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι πλέον πιο έντονες από ποτέ, στην οποία συντελεί κατά μεγάλο ποσοστό η μόλυνση του περιβάλλοντος που προκαλείται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η υπολογιστική ακτής μειώνει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας από τους υπολογιστές νέφους. Αυτό επιτυγχάνεται μιας και οι συσκευές ακτής επεξεργάζονται τα δεδομένα, οπότε οι υπολογιστές νέφους έχουν μικρότερο φόρτο εργασίας να εκτελέσουν και παράλληλα μειώνεται και ο όγκος των δεδομένων που διακινούνται, πράγμα που οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και από τις συσκευές του δικτύου [7].

#### **1.4 Η τεχνολογία IoT χρειάζεται την Υπολογιστική Άκρη**

Η τεχνολογία του IoT έχει ενσωματωθεί σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών της καθημερινότητας των σύγχρονων ανθρώπων. Πράγματι συσκευές όπως δικτυακές κάμερες, διάφοροι αισθητήρες, οικιακές συσκευές κλπ, παράγουν συνεχώς δεδομένα και ανταλλάσσουν μηνύματα με άλλους υπολογιστές μέσω περίπλοκων δικτύων, υποστηρίζοντας την επικοινωνία μεταξύ των συστημάτων, παρακολουθούν και ελέγχουν βασικές υποδομές του έξυπνου κόσμου. Σε μια προσπάθεια μετριασμού της κλιμάκωσης της συμφόρησης, που προκαλείται από τον τεράστιο αυτό όγκο των δεδομένων που παράγονται από το IoT, στοχεύει η τεχνολογία της υπολογιστικής άκρης η οποία προέκυψε, τα τελευταία χρόνια, χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας. Μέσω της τεχνολογίας αυτής, η συνολική απόδοση του IoT βελτιώνεται, καθώς η μείωση του όγκου των δεδομένων που

διακινούνται αντιμετωπίζει τα προβλήματα καθυστέρησης που βίωναν οι συσκευές του IoT. Τα δεδομένα πλέον επεξεργάζονται στην πηγή και όχι σε κάποιο απομακρυσμένο εξυπηρετητή με αποτέλεσμα να είναι άμεσα διαθέσιμα τόσο στη συσκευή αλλά όσο και στο τελικό χρήστη.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί, ότι οι συσκευές IoT μπορούν να διαφέρουν μεταξύ τους σε πολλούς τομείς, αφού η κάθε συσκευή προορίζεται για διαφορετικό σκοπό. Για παράδειγμα, χάρη στη τεχνολογία αυτή, μια συσκευή IoT, θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε κάποιο απομακρυσμένο και απομονωμένο περιβάλλον (όπως για παράδειγμα σε κάποιο σιλό), όπου θα διαθέτει πρόσβαση σε ελάχιστες ποσότητες ενέργειας. Η συσκευή αυτή, λόγω των συνθηκών θα μπορούσε να εκτελεί βασικές εργασίες, όπως την απλή συλλογή δεδομένων από κάποιο αισθητήρα και ακολούθως να τα αποστέλλει, μέσω ασύρματου δικτύου, σε παρακείμενη συσκευή η οποία θα έχει πρόσβαση σε αρκετή ενέργεια και συνεπώς θα διαθέτει και αρκετούς πόρους ώστε να επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτά, προτού αποστείλει τα συμπεράσματα της σε μια υποδομή νέφους. Συνεπώς, η τεχνολογία ακμής διευρύνει τα πεδία εφαρμογής της IoT και επιτρέπει στους ανθρώπους να εγκαταστήσουν συσκευές και να παρακολουθούν υποδομές ακόμα και στα πλέον αφιλόξενα για υπολογιστές περιβάλλοντα [8].



Εικόνα 1: IoT σε Edge. Πηγή: medium.com

### **1.5 Εδραίωση του δικτύου 5G χάρη στη τεχνολογία Edge Computing**

Η ανάπτυξη και εδραίωση του δικτύου 5<sup>ης</sup> γενιάς κρίνεται αναγκαία ώστε να ικανοποιήσει τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών, ελαχιστοποιώντας την καθυστέρηση στη διάδοση της πληροφορίας καθώς και επιτυγχάνοντας τη μέγιστη δυνατή ρυθμοαπόδοση. Παράλληλα, τα δίκτυα αυτά έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιήσουν την υπολογιστικής νέφους, μέσω της τεχνολογίας εικονικοποίησης του δικτύου καθώς επίσης και την Κινητή υπολογιστική στα άκρα του δικτύου. Από την αντίπερα όχθη και η τεχνολογία του IoT απαιτεί μια πιο αξιόπιστη αλλά και επεκτάσιμη συνδεσιμότητα που θα επιτρέπει στις επιμέρους συσκευές που αποτελούν το IoT να λειτουργούν απρόσκοπτα, κάτι που η προηγούμενη γενιά του δικτύου (LTE) δεν μπορούσε να το εξασφαλίσει επαρκώς.

Η τεχνολογία που προσφέρει η υπολογιστική άκρης θα αποτελέσει ένα σημαντικό παράγοντα εδραίωσης των δικτύων της νέας γενιάς καθώς η μείωση του όγκου των δεδομένων που προκαλούν οδηγούν στη μείωση της καθυστέρησης που η κίνηση αυτή επέφερε στο δίκτυο, συνεπώς θα βοηθήσουν στην βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Παράλληλα, η ενσωμάτωση των έξυπνων αυτών συσκευών στους κόμβους του δικτύου, επιτρέπει στους παρόχους να παρακολουθούν και να προσαρμόζουν άμεσα τις παραμέτρους του δικτύου, ώστε να ανταποκρίνονται γρηγορότερα στις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες. Αποτέλεσμα αυτού είναι το γεγονός ότι οι παροχοί είναι πλέον σε θέση, ενός ολίγων λεπτών, να μπορούν να θέτουν σε λειτουργία νέες υπηρεσίες και να καλύπτουν τις ανάγκες των πελατών, διαδικασία η οποία χωρίς τη συνδρομή της υπολογιστικής άκρης απαιτούσε διάστημα ημερών για να υλοποιηθεί.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Εφαρμογές Υπολογιστικής Άκρων

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μια βαθύτερη ανάλυση της τεχνολογίας μέσω της παρουσίασης της αναγκαιότητας της καθώς και των διαφόρων εφαρμογών που μπορεί να έχει. Στόχος να εξοικειωθεί περισσότερο ο αναγνώστης με την έννοια και να αποκτήσει μια εικόνα των τομέων που μπορεί να εφαρμοστεί.

#### 2.1 Αναγκαιότητα Υπολογιστικής Άκρων

Όπως περιληπτικά αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η υπολογιστική άκρων ήρθε για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που παρουσιάζει η υπολογιστική νέφους. Μέσω της τεχνολογίας αυτής βελτιώνεται η απόδοση των συστημάτων, χάρη στην μείωση της καθυστέρησης που επιφέρει το δίκτυο και αυξάνεται η ασφάλεια των δεδομένων, αφού αυτά πλέον δεν μεταφέρονται σε επισφαλείς τοποθεσίες και δεν εκτίθενται σε τρίτους μέσω του δικτύου. Παράλληλα νέες μέθοδοι αυτοματοποίησης των διαφόρων διεργασιών δημιουργούνται αλλά και βελτιώνεται σημαντικά η διαθεσιμότητα των υπηρεσιών αφού πλέον δεν εξαρτάται από την διαθεσιμότητα του δικτύου. Η δυνατότητα που προσφέρει στα δεδομένα να επεξεργάζονται στην πηγή τους, επιτρέπει στις επιχειρήσεις να αποκτήσουν τη δική τους ευφυΐα και να μπορούν άμεσα να προσαρμόζονται στις νέες ανάγκες που προκύπτουν.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα ευκίνητο επιχειρηματικό σύστημα το οποίο είναι σαφώς αποδοτικότερο, πράγμα που οδηγεί σε σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους. Παράλληλα, το σύστημα χαρακτηρίζεται από μειωμένους χρόνους απόκρισης καθώς και είναι αρκετά πιο εύκολο να συντηρηθεί, αφού πολλές από τις απαραίτητες διεργασίες διεκπεραιώνονται αυτόματα, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Συνεπώς το υπάρχων προσωπικό θα μπορεί να εστιάσει σε άλλους τομείς όπου είναι πιο απαραίτητο και να μην αναλώνεται σε εργασίες οι οποίες μπορούν να αντιμετωπιστούν από την τεχνολογία.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι τα πλεονεκτήματα που η τεχνολογία έχει να προσφέρει θα αυξάνονται με το πέρασμα του χρόνου και καθώς αυτή θα εδραιώνεται. Το σκεπτικό αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι καθώς όλο και

περισσότερες εταιρίες υιοθετούν την τεχνολογία και εγκαθιστούν υπολογιστές άκρου, οι υπολογιστές αυτοί θα επικοινωνούν μεταξύ τους με αποτέλεσμα να έχουν μεγαλύτερη αλλά και ευκολότερη πρόσβαση σε δεδομένα, με τη χρήση των οποίων θα αυξάνεται η αποδοτικότητα τους. Συνεπώς, καθώς η τεχνολογία εδραιώνεται θα αποδίδει περισσότερο.

## **2.2 Εφαρμογές Υπολογιστικής Άκρων**

Στη διεθνή βιβλιογραφία θα εντοπίσει κανείς πληθώρα άρθρων για τις εφαρμογές που η υπολογιστική άκρων μπορεί να βρει. Στο σημείο αυτό θα γίνει μια παρουσίαση των πλέον περιγραφικών εφαρμογών.

### **2.2.1 Γεωργία ακριβείας**

Ο όρος αναφέρεται σε μια συλλογή από τεχνολογίες οι οποίες συνδυάζουν διαφόρους αισθητήρες, συστήματα πληροφοριών και ενισχυμένα μηχανήματα που στοχεύουν στο να αυξήσουν την απόδοση των γεωργικών μηχανημάτων. Μια κατηγοριοποίηση των συστημάτων αυτών [9] ορίζει πέντε ομάδες τεχνολογιών.

Αρχικά οι τεχνολογίες GPS που είναι απαραίτητες για τον εντοπισμό της ακριβής τοποθεσίας. Η ακρίβεια εκατοστού είναι απαραίτητη για την γεωργία ακριβείας και για το λόγο αυτό το σήμα θα πρέπει και να ενισχυθεί αλλά και να εγκαθιστούν επιπλέον συστήματα που θα επιτρέπουν την τόσο ακριβή πληροφορία. Ακολούθως αυτή θα χρησιμοποιηθεί για να οδηγήσει τα διάφορα μηχανήματα με ακρίβεια ώστε να μην σπαταλούνται καύσιμα αλλά και να αποφεύγονται τα ατυχήματα.

Άλλη ομαδοποίηση περιλαμβάνει τους αισθητήρες που θα πρέπει να εγκατασταθούν στη φάρμα και από αυτούς θα προκύπτουν οι απαραίτητες πληροφορίες που στη συνέχεια θα αποτελέσουν αντικείμενο μελέτης. Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να βρίσκονται είτε επί του εδάφους και να μεταδίδουν τιμές υγρασίας για παράδειγμα ή ακόμα και σε ιπτάμενες συσκευές που θα παρακολουθούν τη φάρμα από ψηλά παρέχοντας πληροφορίες. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν και οι δορυφόροι καθώς και αυτοί μπορούν να παρέχουν πληροφορίες που αφορούν την καλλιέργεια, όπως ο καιρός.

Τα συστήματα που θα αναλύσουν τις πληροφορίες περιλαμβάνονται στην επόμενη κατηγορία. Οι πληροφορίες αυτές που γρήγορα μπορούν να αυξηθούν

σε μέγεθος θα πρέπει να τροποποιηθούν ώστε να είναι κατάλληλες για χρήση. Για παράδειγμα οι πληροφορίες αυτές μπορεί να αποτελούν εικόνες από κάποιο δορυφόρο, οι οποίες θα πρέπει να δοθούν σαν είσοδο σε κάποια εφαρμογή επεξεργασίας εικόνων η οποία, χρησιμοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης θα εξάγει τις απαραίτητες πληροφορίες.

Η επόμενη κατηγορία περιλαμβάνει τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων τα οποία θα αναλύσουν το σύνολο των πληροφοριών που λαμβάνουν από τις εφαρμογές της προηγούμενης ομάδας και θα προτείνουν τα διάφορα σενάρια. Οι προτάσεις αυτές ακολούθως μπορούν να εκτιμηθούν από τους χειριστές και να τους συνδράμουν στις αποφάσεις τους.

Στη τελευταία κατηγορία εντάσσονται οι αυτοματισμοί καθώς και τα ρομπότ που θα εκτελέσουν τις διάφορες εργασίες, όπως τη σπορά, τον ψεκασμό καθώς και τη συγκομιδή. Οι εργασίες αυτές εκτελούνται από βαριά μηχανήματα, ενισχυμένα με την υπολογιστική άκρων, τα οποία όμως, λόγω του βάρους τους δημιουργούν προβλήματα στο χώμα και για αυτό γίνονται μελέτες ώστε να αντικατασταθούν με άλλες, ελαφρύτερες λύσεις.



Εικόνα 2: Γεωργία Ακριβείας. Πηγή: akira.ai

### 2.2.2 Έξυπνη Παρακολούθηση Υγείας

Στη σημερινή εποχή οι άνθρωποι έχουν την ανάγκη ενός νεότερου και σύγχρονου συστήματος υγείας το οποίο θα χρησιμοποιεί τις νέες τεχνολογίες και θα επωφελείται από αυτά που έχουν να προσφέρουν. Τα δεδομένα της υγείας τους θα πρέπει να παρακολουθούνται στο σύνολο τους, να επεξεργάζονται διαρκώς ώστε να προλαμβάνονται οι καταστάσεις οι οποίες χρήζουν παρέμβασης. Η υπολογιστική άκρου σε συνδυασμό με τα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς είναι μια απάντηση στις προκλήσεις αυτές καθώς έρχονται να συμπληρώσουν τις αδυναμίες των προηγούμενων προσεγγίσεων. Πιο συγκεκριμένα, με την απουσία της υπολογιστικής άκρων οι εφαρμογές περιοριζόντουσαν σε απλούς αισθητήρες, οι οποίοι μετέδιδαν τις διάφορες τιμές που ανακτούσαν σε μια κεντρική υπολογιστική δομή νέφους, χωρίς να μπορούν να διαχειριστούν θέματα όπως της ασφάλειας της μεταδιδόμενης πληροφορίας, ταυτοποίησης του ατόμου ή απόδοσης του συστήματος. Με τη χρήση της νέας τεχνολογίας τα δεδομένα μπορούν να κρυπτογραφηθούν ώστε να μεταδοθούν με ασφάλεια, οι χρήστες μπορούν να ταυτοποιούνται χρησιμοποιώντας σύγχρονες και αναγνωρισμένες μεθόδους και τα δεδομένα να επεξεργάζονται στην πηγή επιτρέποντας με αυτό την άμεση απόκριση.

Η χρήση των συστημάτων αυτών θα μειώσει τις επισκέψεις των ατόμων στα νοσοκομεία αφού η χρήση των συσκευών είναι απλούστερη και μπορεί να γίνει από τους ίδιους τους ασθενείς. Τα δεδομένα τους θα επεξεργάζονται και θα αποστέλλονται μέσω δικτύου λιγότερα με αποτέλεσμα να είναι πιο αποδοτική η χρήση του δικτύου. Επιπλέον καθίσταται ευκολότερη η διαδικασία και για τους γιατρούς που τους παρακολουθούν οδηγώντας σε επιπλέον μείωση των επισκέψεων σε νοσοκομεία, αλλά και αμεσότερη την αντιμετώπιση των προβλημάτων, αφού οι γιατροί θα έχουν άμεσα πληθώρα δεδομένων ώστε να εκτιμήσουν την υγεία του ασθενούς.

Η αρχιτεκτονική [10] της υπολογιστικής άκρων αποτελείται από τις συσκευές του χρήστη, τους διάφορους αισθητήρες ή συσκευές IoT, ένα έξυπνο κινητό τηλέφωνο καθώς και τη συσκευή υπολογιστικής άκρης ή τη δομή του νέφους. Η επεξεργασία των δεδομένων διαμοιράζεται μεταξύ του υπολογιστή νέφους αλλά και αυτού της άκρης με την μεταξύ τους σχέση να αποτελεί μια σημαντική παράμετρο της αρχιτεκτονικής. Πιο συγκεκριμένα η συσκευή άκρης, λόγω ακριβώς των περιορισμών σε πόρους που ενδεχομένως να διαθέτει, εστιάζει

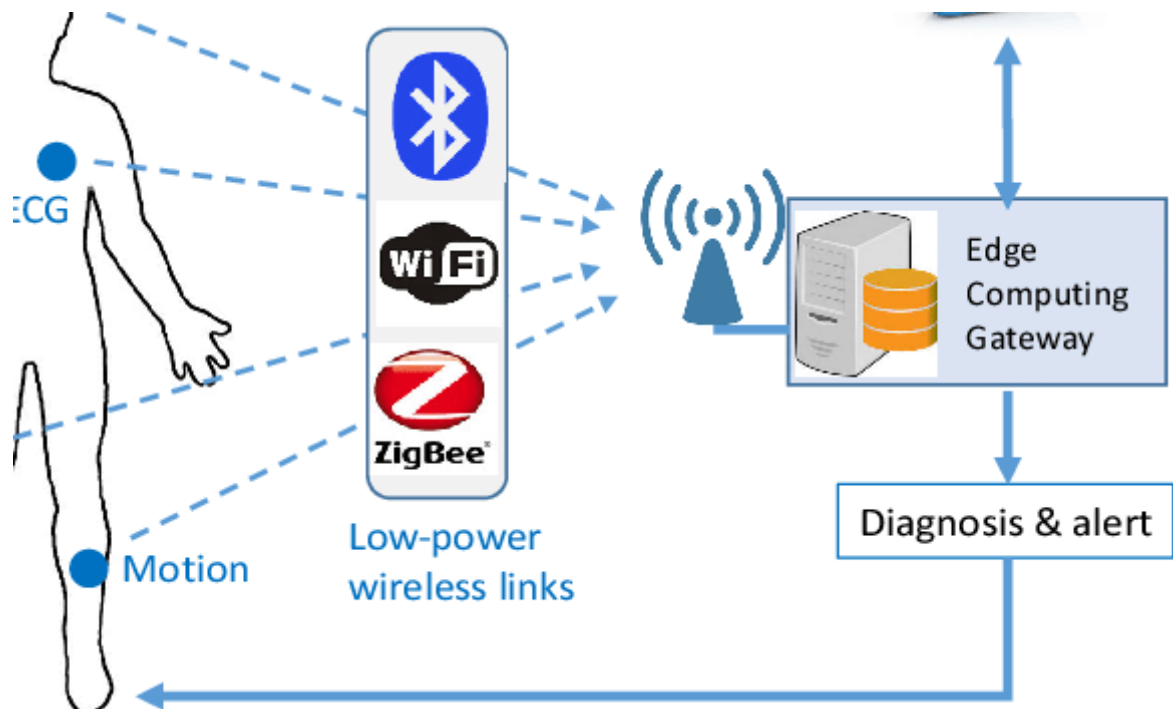
κυρίως στην άμεση παρέμβαση για την αντιμετώπιση των καταστάσεων ενώ αντίθετα η υπολογιστική νέφους καλείται να εκτιμήσει δεδομένα που δημιουργήθηκαν με την πάροδο μεγάλων χρονικών διαστημάτων.

Οι συσκευές του χρήστη είναι αυτές που βρίσκονται στο άκρο του δικτύου και αποτελούν την υπολογιστική άκρης. Αυτές θα εκτελέσουν μια πρώτη επεξεργασία των δεδομένων προτού αναλάβουν δράση οι ισχυροί εξυπηρετητές του νέφους. Οι συσκευές χρήστη μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες όπου η πρώτη περιλαμβάνει τις έξυπνες συσκευές, η επόμενη τις ιατρικές συσκευές και τέλος τις συσκευές IoT. Οι αρχικές υλοποιήσεις υπολογιστικής άκρων πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση οικονομικών κινητών τηλεφώνων αλλά και PDA, όμως η εξέλιξη της τεχνολογίας γρήγορα κατέστησε τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα οικονομικά προσιτά ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν. Τα τηλέφωνα αυτά περιλαμβάνουν αισθητήρες και μικρόφωνα μέσω των οποίων μπορούν να παρακολουθούν διάφορες τιμές όπως τους καρδιακούς παλμούς. Από την άλλη πλευρά οι ιατρικές συσκευές, που διαθέτουν αρκετά μεγαλύτερο αριθμό αισθητήρων, έχουν τη δυνατότητα να παράξουν αλλά και να χειριστούν πολύ μεγαλύτερο όγκο δεδομένων πράγμα που οδηγεί σε ακριβέστερες διαγνώσεις. Οι συσκευές IoT από την άλλη πλευρά, έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται και να επικοινωνούν με άλλες συσκευές ή αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται στα διάφορα μέρη του σώματος παρέχοντας τις δικές τους πληροφορίες. Με τον τρόπο αυτό η συσκευή IoT συγκεντρώνει τα δεδομένα από τα διάφορα μέρη του σώματος παρέχοντας στον επόμενο κόμβο της αρχιτεκτονικής μια ολοκληρωμένη εικόνα.

Οι επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων συστημάτων διακρίνεται στα συστήματα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες όπως το Bluetooth και σε αυτά που βρίσκονται μακρύτερα όπως τη δομή του νέφους. Συνεπώς τα δεδομένα συγκεντρώνονται στον υπολογιστή του άκρου μέσω μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ των αισθητήρων και ακολούθως, αφού επεξεργαστούν από τη συσκευή να σταλούν στον αρμόδιο ιατρό μέσω δικτύου 5G. Τα δεδομένα, προτού αποσταλούν θα ταξινομηθούν ώστε να είναι ευκολότερα διαχειρίσιμα από την εφαρμογή του κεντρικού εξυπηρετητή και θα συμπιεστούν ώστε να γίνεται αποδοτικότερα η χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης.



Οι συσκευές άκρης αναλαμβάνουν να διεκπεραιώσουν και άλλες διαδικασίες όπως της κρυπτογράφησης των δεδομένων ώστε αυτά να ταξιδέψουν με ασφάλεια στο δίκτυο. Η αυθεντικοποίηση των χρηστών είναι άλλη μια διαδικασία με διάφορα πρωτόκολλα να έχουν προταθεί με μια προσπάθεια να κάνουν τη διαδικασία όσο το δυνατόν αποδοτικότερη.



Εικόνα 3: Edge Computing στη παρακολούθηση υγείας. Πηγή: IEEE

### 2.2.3 Συστήματα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

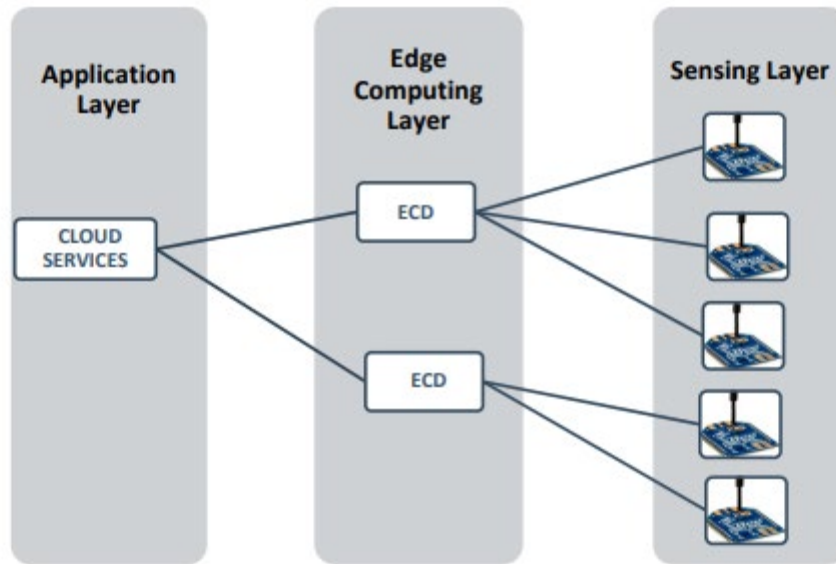
Η ποιότητα του αέρα αποτελεί ένα βασικό παράγοντα της ανθρώπινης υγείας, ασφάλειας αλλά και άνεσης στα σύγχρονα αστικά περιβάλλοντα και για το λόγο αυτό θα πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς. Στις σύγχρονες πόλεις έχουν θεσπιστεί πολιτικές αλλά και διάφορα στάνταρτ ώστε να παρακολουθούνται τα επίπεδα της μόλυνσης και να λαμβάνονται δράσεις όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Στη πλειονότητα τους τα ήδη εγκατεστημένα συστήματα λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές από μετρήσεις στον εξωτερικό χώρο αυτό όμως πλέον δεν είναι αρκετό καθώς η ποιότητα του αέρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η ταχύτητα του ανέμου, η πυκνότητα του πληθυσμού και η κατανομή του καθώς και το αν το δείγμα προέρχεται από εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο.

Οι παραδοσιακές τεχνικές παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα βασίζονται σε σταθμούς μεγάλου μεγέθους, οι οποίοι συνοδεύονται από υψηλό κόστος εγκατάστασης αλλά και διαχείρισης, χωρίς όμως να προσφέρουν υψηλής ποιότητας πληροφορία. Σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών η τεχνολογία του IoT αλλά και του Edge Computing μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα αποδοτική και για το λόγο αυτό έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον των ερευνητών.

Τα νέα συστήματα θα μπορούσαν να αποτελούνται από τρία διαφορετικά επίπεδα [11], το επίπεδο των αισθητήρων, της υπολογιστικής άκρων και τέλος το επίπεδο εφαρμογών.

- **Επίπεδο Αισθητήρων:** Το επίπεδο αυτό αποτελεί τη βάση ολόκληρου του συστήματος και η βασική του αρμοδιότητα αποτελεί η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα. Αποτελείται από ένα αριθμό κόμβων οι οποίοι αποτελούν τις βασικές οντότητες του επιπέδου και μπορούν να διανεμηθούν σε μια έκταση ώστε να συγκεντρώνουν πληροφορίες από το σύνολο της. Κάθε κόμβος αποτελείται από το σύνολο των εξαρτημάτων που απαιτούνται και πιο συγκεκριμένα τους αισθητήρες, τη κεντρική μονάδα επεξεργασίας, τα συστήματα επικοινωνίας και τέλος τη μονάδα ενέργειας.
- **Επίπεδο Edge Computing:** Στη κατηγορία αυτή εντάσσονται οι συσκευές που διεκπεραιώνουν την επικοινωνία μεταξύ του προηγούμενου αλλά και του επόμενου επιπέδου, αυτό των εφαρμογών. Τα δεδομένα όμως προτού αποσταλούν θα πρέπει αρχικά να συλλεχθούν από τους επιμέρους κόμβους, να υποβληθούν σε κατάλληλη επεξεργασία και ακολούθως να αποσταλούν. Διαθέτουν κάρτα μνήμης για προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων ώστε να μπορούν να τα επεξεργαστούν και ακολούθως να αποστείλουν. Παράλληλα διαθέτουν και διαχειρίζονται την απαραίτητη πηγή ενέργειας.
- **Επίπεδο Εφαρμογών:** Το επίπεδο αυτό συγκεντρώνει το σύνολο των δεδομένων, τα αποθηκεύει στις βάσεις δεδομένων και ακολούθως τα διαθέτει στους χρήστες μέσω των διαφόρων εφαρμογών. Στο επίπεδο αυτό οι χρήστες έχουν αυξημένες δυνατότητες, όπως να ορίσουν

κανόνες που θα ενεργοποιούνται υπό συγκεκριμένες συνθήκες, όπως για παράδειγμα να ενημερώνονται όταν συγκεκριμένες τιμές παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούν να λαμβάνουν άμεσα μέτρα για την αντιμετώπιση του προβλήματος ή την προστασία του πληθυσμού.



Εικόνα 4: Προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Πηγή: dl.acm.org

#### 2.2.4 Υπηρεσίες διαχείρισης καταστροφών

Η 4η Βιομηχανική επανάσταση που σχετίζεται με το IoT, οδηγεί στην ανάπτυξη έξυπνων πόλεων, οι οποίες πλαισιώνονται από ένα συνεχώς αυξανόμενο δίκτυο έξυπνων συσκευών, όπως ατομικές συσκευές και διάφορους αισθητήρες. Βασικός στόχος των πόλεων αυτών είναι να εξασφαλίσουν ένα ανώτερης ποιότητας βιοτικό επίπεδο για τους πολίτες τους, ενσωματώνοντας τα τεχνολογικά επιτεύγματα των διαφόρων τομέων όπως της κινητικότητας, της διαχείρισης ενέργειας, του δικτύου υπηρεσιών, της κοινωνικής συμμετοχής αλλά και της βελτίωσης της ασφάλειας αλλά και της αύξησης των διαθέσιμων θέσεων εργασίας. Ειδικότερα για τον τομέα της ασφάλειας, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη διαχείριση φυσικών ή ανθρώπινων καταστροφών, παρέχοντας οδηγίες αλλά και ενέργειες που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο αντίκτυπος των καταστροφών αυτών, βάση του σχεδίου διαχείρισης καταστροφών που διαθέτουν.

Οι φορείς που είναι αρμόδιοι για την διαχείριση των καταστροφών θα έχουν στη διάθεση τους στοιχεία από μεγάλο αριθμό πηγών όπως κάμερες, συσκευές χρηστών και οχήματα, οι οποίες συνδέονται σε ένα δίκτυο το οποίο εποπτεύει την περιοχή γύρω από αυτές. Με τον τρόπο αυτό παράγεται ένας μεγάλος όγκος πληροφοριών από ετερογενείς εφαρμογές και συσκευές οι οποίες συμβάλουν στην συλλογή δεδομένων ακριβείας αλλά και επαρκώς ενημερωμένα, δίνοντας στους αρμόδιους μια σαφή εικόνα της επικρατούσας κατάστασης, βοηθώντας τους με τον τρόπο αυτό στη λήψη των αποφάσεων.

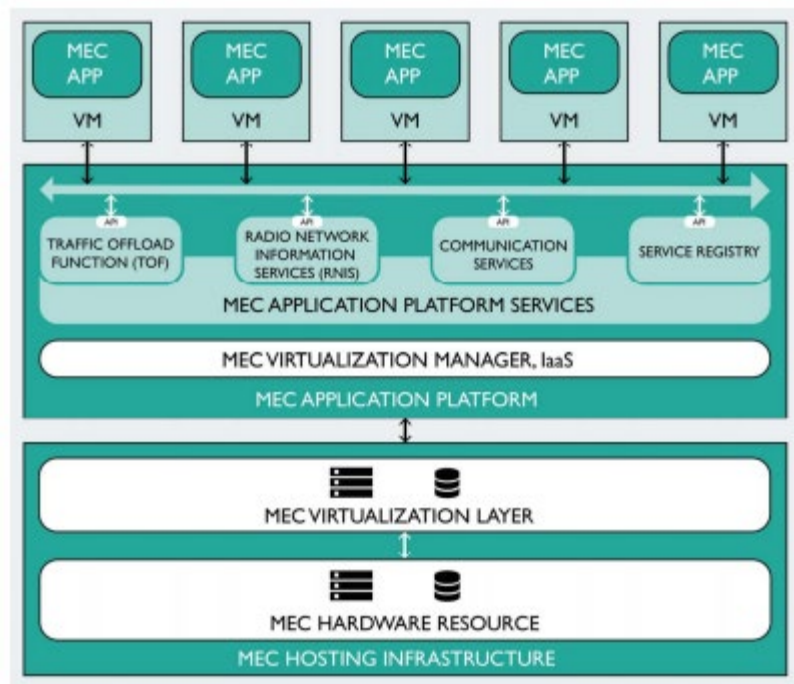
Οι πηγές αυτές που δημιουργούν τα δεδομένα αποτελούν τους κόμβους του IoT το οποίο τους επιτρέπει να επικοινωνούν παρόλο που είναι διαφορετικές. Μέσω της επικοινωνίας αυτής οι συσκευές μπορούν να γίνουν εξυπνότερες καθώς θα ενσωματώνουν πλήθος νέων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων. Πιο συγκεκριμένα το IoT επιτρέπει τη χρήση ετερογενών ενσωματωμένων συστημάτων, όπως διαφόρων αισθητήρων και εξελίσσει τις ήδη υπάρχουσες δομές ώστε να ενσωματώσουν ένα νέο δίκτυο. Χάρη σε αυτή την εξέλιξη, όλες οι συσκευές που είναι τοποθετημένες μέσα στη πόλη, όπως έπιπλα, δημόσια κτήρια, μουσεία κλπ, αποκτούν ένα ενεργό ρόλο και μετατρέπονται σε συλλέκτες αλλά και αναμεταδότες πληροφοριών που αφορούν την κινητικότητα, την κατανάλωση ενέργειας, τις υπηρεσίες κ.α, βοηθώντας με τον τρόπο αυτό τους πολίτες.

Στο σημείο αυτό ο αναγνώστης εύκολα αντιλαμβάνεται τα πλεονεκτήματα της προσέγγισης και για το λόγο αυτό η προσέγγιση αναμένεται να επικρατήσει. Σύμφωνα με την Cisco [12], ο αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών IoT θα αυξάνεται εκθετικά το 2020, οδηγώντας σε μια ανάλογη αύξηση των δεδομένων που παράγονται και θα πρέπει να διακινηθούν μέσω του δικτύου. Αυτό προφανώς θα δημιουργήσει προβλήματα στους υπολογιστές του νέφους καθώς θα κλιθούν να επεξεργαστούν ένα μεγάλο όγκο δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές. Συνέπεια αυτού θα είναι η μείωση του διαθέσιμου εύρους ζώνης και η αύξηση της καθυστέρησης του δικτύου, πράγμα που θα οδηγήσει σε καθυστέρηση της διαχείρισης αλλά και αντίδρασης διαδικασιών που απαιτούν άμεση απόκριση.

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών προτείνεται, μεταξύ άλλων και η τεχνολογία της υπολογιστικής άκρων και πιο συγκεκριμένα η τεχνολογία Κινητής Υπολογιστικής Άκρων [13] (MobileEdgeComputing). Η τεχνολογία αυτή στοχεύει στο να μεταφέρει τμήμα της υπολογιστικής διαδικασίας από τη δομή

νέφους σε κόμβους του δικτύου, όπως τοπικούς δρομολογητές, άλλες συσκευές του πεδίου ή ακόμα και συσκευές των χρηστών. Με τον τρόπο αυτό κάθε κόμβος του δικτύου επεξεργάζεται τα δεδομένα συγκεκριμένης ομάδας χρηστών που βρίσκεται εντός της ακτίνας δράσης του (BaseTransceiverStation) αντιμετωπίζοντας με τον τρόπο αυτό τα προβλήματα που δημιουργούνται από την ανάγκη επεξεργασίας του συνόλου των δεδομένων από την απομακρυσμένη υπολογιστική νέφους.

Η ιδέα πίσω από την Κινητή Υπολογιστική Άκρων συνίσταται στη δημιουργία ενός τυποποιημένου και ανοικτού περιβάλλοντος το οποίο θα προσφέρει υπηρεσίες όπως υπολογιστικούς πόρους, δυνατότητες αποθήκευσης δεδομένων, συνδεσιμότητας καθώς και άλλες. Βασικό συστατικό της αρχιτεκτονικής αποτελεί ένας κεντρικός εξυπηρετητής ο οποίος ενσωματώνεται σε ένα κόμβο πρόσβασης τύπου LTE είναι σε ομάδα δικτύων (είτε 3G είτε LTE).



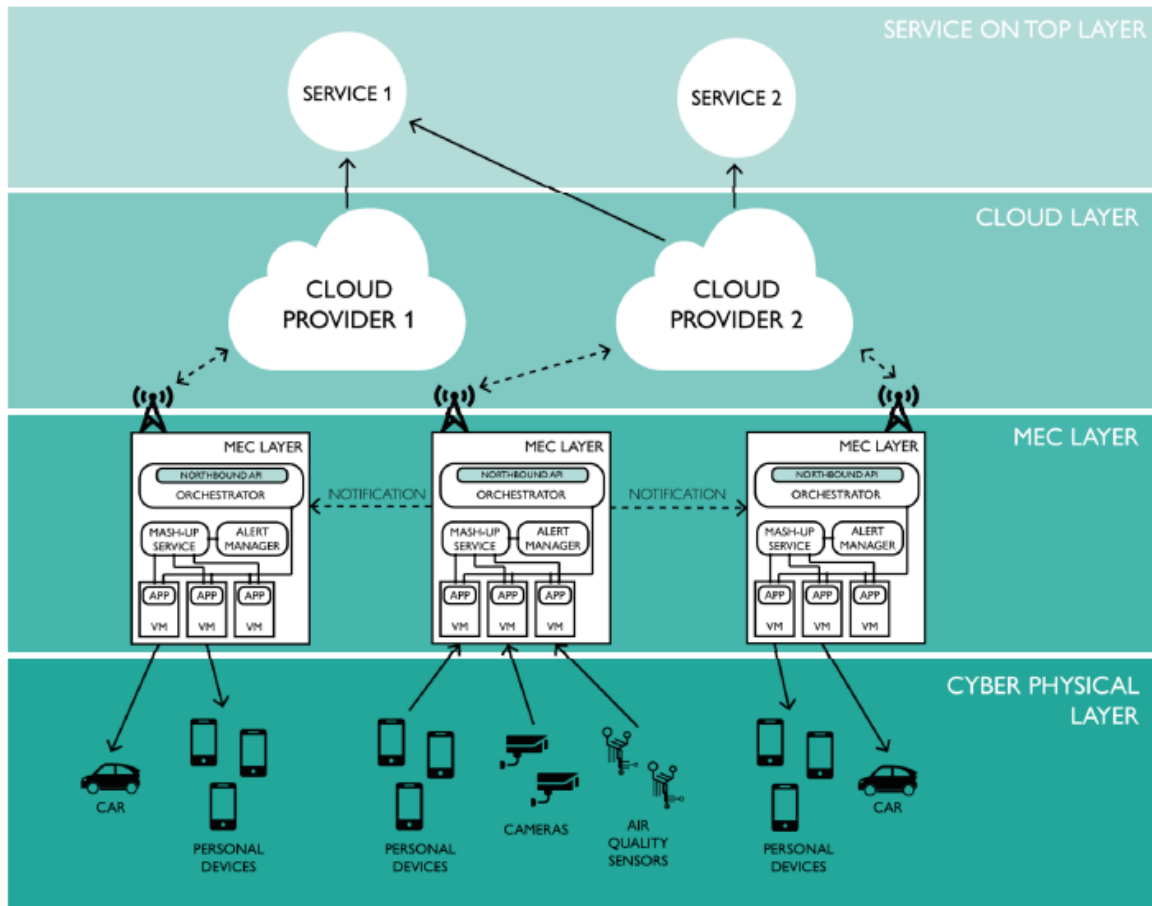
Εικόνα 5: Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του MECServer. Πηγή: ieeexplore.ieee.org

Ο εξυπηρετητής αποτελείται αρχικά από το επίπεδο εφαρμογών το οποίο παρέχει τις δυνατότητες στις εφαρμογές και αποτελείται από τον διαχειριστή εικονικοποίησης τους καθώς και τις υπηρεσίες των εφαρμογών της συγκεκριμένης πλατφόρμας. Η μορφή της υπηρεσίας που παρέχεται είναι του τύπου Δομή σαν Υπηρεσία (InfrastructureasaService) και προσφέρει ένα περιβάλλον ευέλικτο, αποδοτικό και ικανό να εκτελεί και να φιλοξενεί διάφορων τύπων εφαρμογές. Πιο

συγκεκριμένα παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών προς εφαρμογές καθώς και υπηρεσίες δομής (InfrastructureServices) στις εφαρμογές που φιλοξενούνται από την υποδομή. Συνεπώς, στα εικονικά μηχανήματα που εκτελούνται μπορούν να φιλοξενηθούν πληθώρα εφαρμογών από διάφορες πηγές όπως παρόχους υπηρεσιών, πωλητές κα.

Το δεύτερο επίπεδο που διαθέτει ο εξυπηρετητής είναι το επίπεδο υποδομής το οποίο αποτελείται από τους υπολογιστικούς πόρους καθώς και το επίπεδο εικονικοποίησης το οποίο αναλαμβάνει την επικοινωνία των επιπέδων.

Με τον τρόπο αυτό ο κόμβος της υπολογιστικής άκρου εκτελεί συγκεκριμένο λογισμικό τοπικά, απομονωμένο από το υπόλοιπο δίκτυο. Το χαρακτηριστικό αυτό χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα σημαντικό για εφαρμογές τύπου Μηχανή προς Μηχανή (MachinetoMachine) όπως συστήματα ασφάλειας που απαιτούν υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας. Η κοντινή απόσταση καθιστά εφικτή την απευθείας πρόσβαση στις συσκευές οι οποίες μπορούν εύκολα να αξιοποιηθούν για συγκεκριμένες εφαρμογές. Παράλληλα η καθυστέρηση του δικτύου διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα αφού οι διαδικασίες ολοκληρώνονται στην άκρη του δικτύου και επίσης υπάρχει και ακριβής γνώση της τοποθεσίας πράγμα που επιτρέπει επιπλέον πληρέστερη παροχή υπηρεσιών.



Εικόνα 6: Αρχιτεκτονική Υπηρεσίας Διαχείρισης Καταστροφών. Πηγή: [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org)

### 2.2.5 Περιβαλλοντολογικοί Αισθητήρες

Η μέτρηση της ανθρώπινης πληρότητας έχει αναδειχθεί σε ένα θέμα με αυξανόμενο ενδιαφέρον, τα τελευταία χρόνια, λόγω του σημαντικού ρόλου που διαδραματίζει στον έλεγχο ενός αριθμού εφαρμογών που οδηγούνται από τη ζήτηση, όπως για παράδειγμα ο έξυπνος φωτισμός, η έξυπνη θέρμανση καθώς επίσης και η βελτίωση της απόδοσης των εφαρμογών αυτών σε γενικότερη κλίμακα. Ειδικότερα, η καταμέτρηση των ατόμων σε συγκεκριμένους χώρους, όπως γραφεία εμπορικών κτιρίων μπορεί να οδηγήσει σε αξιοσημείωτη εξοικονόμηση χρημάτων καθώς επίσης και βελτίωση της ποιότητας του αέρα, της ορατότητας αλλά και της αίσθησης θερμοκρασίας. Η προσπάθεια βρίσκει απέναντι της αρκετά εμπόδια με το μεγαλύτερο εξ αυτών να αποτελεί η έλλειψη αρκετών αλλά και αξιόπιστων πληροφοριών. Μία πρόταση [14] για την αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτών παρουσιάζει τη χρήση οικονομικών

αισθητήρων θερμοκρασίας αλλά και υγρασίας η οποία παρουσιάζει βελτίωση της ακρίβειας της τάξης του 87%.

Οι μέθοδοι μέτρησης πληρότητας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες που διακρίνονται από το είδος της ανίχνευσης, το στόχο της ή την υποδομή της.

Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι ανίχνευσης οι οποίες περιλαμβάνουν είτε την ενεργητική είτε την παθητική μέθοδο. Η ενεργητική περιλαμβάνει περιπτώσεις που το άτομο θα πρέπει να εκτελέσει κάποια ενέργεια προκειμένου να καταμετρηθεί όπως τη χρήση καρτών για την είσοδο σε κάποιο χώρο. Η μέθοδος παρέχει υψηλό επίπεδο ακρίβειας, συχνά εξαρτάται όμως από την πρόθεση του ατόμου που στη περίπτωση που δεν επιθυμεί, μπορεί να μην μετρηθεί. Από την άλλη πλευρά η παθητική μέθοδος δεν απαιτεί κάποια ενέργεια από το χρήστη και η μειωμένη αξιοπιστία που παρουσιάζει μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση περισσότερων του ενός αισθητήρων.

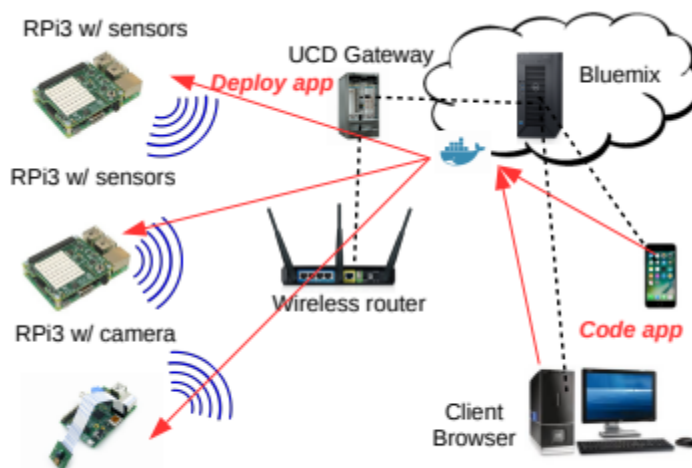
Η κατηγορία που περιλαμβάνει τις μετρήσεις ανάλογα με το σκοπό τους, περιλαμβάνει εφαρμογές των οποίων ο στόχος είναι είτε να εντοπίσουν την παρουσία ή απουσία ατόμων, είτε τον αριθμό τους, είτε την περιοχή στην οποία βρίσκονται, την κίνηση τους αλλά και πληροφορίες σχετικά με τις δραστηριότητες τους. Πιο αναλυτικά, στη περίπτωση παρουσίας ή απουσίας παρέχονται πληροφορίες τύπου αληθές ή ψευδές, που έχουν να κάνουν με το εάν κάποιος χώρος είναι κατειλημμένος ή όχι. Οι μετρήσεις που έχουν να κάνουν με τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται στο χώρο απαντούν στο ερώτημα του πόσα είναι τα άτομα αυτά. Οι γεωγραφικές μετρήσεις, από την άλλη πλευρά, επιτρέπουν στα συστήματα θέρμανσης και ψύξης να λειτουργήσουν ανάλογα με το αν υπάρχουν άνθρωποι σε κάποιο συγκεκριμένο χώρο του κτιρίου ή όχι. Οι μετρήσεις της κινητικότητας των ατόμων παρέχουν ιστορικά στοιχεία αναφορικά με την κίνηση των ατόμων. Τέλος, οι μετρήσεις δραστηριότητας καταγράφουν το τι κάνει το άτομο μετρώντας διάφορες τιμές όπως για παράδειγμα τη ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που εκπνέει το κάθε άτομο πράγμα που υποδηλώνει το πόσο έντονα προσπαθεί.

Στη τελευταία κατηγορία κατατάσσονται οι εφαρμογές ανάλογα με το εάν απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός για να λειτουργήσουν ή οι ήδη εγκατεστημένες συσκευές μπορούν να εκτελέσουν τη λειτουργία ως μια επιπλέον δραστηριότητα. Για παράδειγμα ένα σύστημα ασφάλειας που χρησιμοποιεί κάμερες θα μπορούσε



να χρησιμοποιήσει τις εικόνες για να αποφασίσει αν υπάρχουν άνθρωποι στο χώρο, μέσο ενός λογισμικού ανάλυσης εικόνας, ενώ από την άλλη ένα σύστημα που διαθέτει αισθητήρες για συγκεκριμένες μετρήσεις πιθανόν να χρειάζεται νέο εξοπλισμό.

Στην υλοποίησή τους οι ερευνητές [14] τοποθέτησαν συσκευές RaspberryPi, οι οποίες απαρτίζουν τους κόμβους της υπολογιστικής άκρων, σε ένα κλειστό γραφείο. Οι συσκευές τοποθετήθηκαν επί των γραφείων των υπαλλήλων, ενισχυμένες με το πρόσθετο SenseHat, το οποίο περιέχει αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, βαρομετρικής πίεσης καθώς και άλλους. Μία επιπλέον συσκευή, ενισχυμένη με κάμερα, για την οπτική επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων, τοποθετήθηκε σε σημείο έτσι ώστε να καλύπτει την είσοδο στο χώρο, πράγμα που επέτρεπε στους ερευνητές να μελετήσουν το βίντεο και να επιβεβαιώσουν την παρουσία ή όχι των ατόμων. Οι συσκευές Raspberry, μέσω δικτύου Wi-Fi επικοινωνούν με ένα δρομολογητή ο οποίος τους παρέχει πρόσβαση στο ίντερνέτ. Παράλληλα, μέσω του IBM Bluemix οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν την υποδομή είτε μέσω κινητού τηλεφώνου, είτε μέσω υπολογιστή.



Εικόνα 7: Περιβαλλοντικοί αισθητήρες στην υπολογιστική ακμή. Πηγή:ieeexplore.ieee.org

Στα συμπεράσματά τους, οι ερευνητές αναφέρουν ότι η πρότασή τους, η οποία λαμβάνει υπόψη της δεδομένα από τον αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας παρέχει δεδομένα ακριβείας έως 87%. Επίσης, επειδή τα δεδομένα επεξεργάζονται τοπικά, από τις συσκευές Raspberry, καθιστούν την όλη διαδικασία αρκετά αποδοτική.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 Αισθητήρας, απαραίτητο υλικό για το EdgeComputing

Ο όρος αισθητήρες περιλαμβάνει τις συσκευές εκείνες οι οποίες μετρούν μια φυσική ποσότητα και τη μετατρέπουν σε ένα μέγεθος ή σήμα το οποίο μπορεί να διαβάσει ένας παρατηρητής [15]. Το φυσικό μέγεθος το οποίο μετρά ο αισθητήρας ονομάζεται ερέθισμα ή μετρούμενο μέγεθος. Φυσικά στους αισθητήρες περιλαμβάνονται μόνο δημιουργήματα του ανθρώπου αλλά και όργανα ζωντανών οργανισμών, όπως το ανθρώπινο μάτι. Στη πλειονότητα τους, οι αισθητήρες μετατρέπουν το φυσικό μέγεθος εισόδου σε μια τιμή ηλεκτρικού ρεύματος και συνεπώς ο αισθητήρας μπορεί να θεωρηθεί και ένας μεταφραστής που μεταφράζει μια μη ηλεκτρική τιμή σε ηλεκτρική.

Η λειτουργία του αισθητήρα μπορεί να διακριθεί σε δύο διαφορετικές φάσεις, τη φάση της μεταφοράς ενέργειας και στη μετατροπή αυτής. Κατά την πρώτη φάση, όπου πραγματοποιείται η μεταφορά της ενέργειας από το αντικείμενο μέτρησης προς τη συσκευή υλοποιείται και η μεταφορά της πληροφορίας που μετρά ο αισθητήρας. Ακολούθως, εκτελείται η μετατροπή της ενέργειας, στην οποία μετατρέπεται το ερέθισμα (υγρασία, θερμοκρασία, ταχύτητα, πίεση, κλπ) σε κάποιου είδους ηλεκτρικό σήμα.

Οι αισθητήρες εντάσσονται σε μία ευρύτερη κατηγορία συσκευών που ονομάζονται μετατροπείς (transducers) και η αποστολή τους είναι η μετατροπή της ενέργειας από κάποια μορφή σε κάποια άλλη. Παράδειγμα τέτοιας συσκευής αποτελεί το ηχείο το μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο και ακολούθως σε ακουστικά κύματα. Στη κατηγορία αυτή εντάσσονται και οι ενεργοποιητές (actuators) που στόχο έχουν την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε κάποιο άλλο είδος ενέργειας.

Οι αισθητήρες δεν δεσμεύονται στην αποκλειστική μέτρηση ενός μεγέθους αλλά μπορούν να περιέχουν περισσότερους του ενός μετατροπείς και να αποτελούν σύνθετους μηχανισμούς που παρακολουθούν διάφορα μεγέθη. Για παράδειγμα ένας χημικός αισθητήρας μπορεί να διαθέτει ένα αισθητήρα μπορεί να μετατρέψει την ενέργεια μιας θερμικής αντίδρασης σε θερμότητα και άλλος να μετατρέψει τη θερμότητα αυτή σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Πέρα από την κατηγοριοποίηση με βάση την αποστολή τους οι αισθητήρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τη λειτουργία τους και πιο συγκεκριμένα το αν είναι ενεργοί ή παθητικοί. Οι παθητικοί αντλούν το σύνολο της ενέργειας που χρειάζονται για να λειτουργήσουν από το αντικείμενο που παρατηρούν και δεν χρειάζονται κάποια επιπλέον πηγή ενέργειας προκειμένου να λειτουργήσουν και να παράξουν το απαιτούμενο ηλεκτρικό σήμα. Συνεπώς, μετατρέπουν την ενέργεια του ερεθίσματος απευθείας σε σήμα εξόδου. Παραδείγματα τέτοιων αισθητήρων αποτελούν το θερμοζεύγος, ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας και η φωτοδίοδος. Οι ενεργοί αισθητήρες από την πλευρά τους προκειμένου να λειτουργήσουν θα πρέπει να διαθέτουν κάποια εξωτερική πηγή ενέργειας.



Εικόνα 8: Αισθητήρες. Πηγή:Α. Πετρόπουλος, 2011. Τεχνολογία των αισθητήρων. ΤΕΙ Αθήνας

### 3.2 Αισθητήρας MEMS

Οι αισθητήρες συναντώνται σε διάφορες κλίμακες όπως τη Μακροκλίμακα που περιλαμβάνει τη δομές του μακρόκοσμου όπου οι τάξεις μεγέθους είναι ανάλογες της μέσης ανθρώπινης δραστηριότητας, της Μικροκλίμακας όπου οι διατάξεις είναι της τάξης των μερικών δεκάδων μικρομέτρων ( $\mu\text{m}$ ), αλλά και της Νανοκλίμακας της τάξης των νανόμετρων ( $\text{nm}$ ).

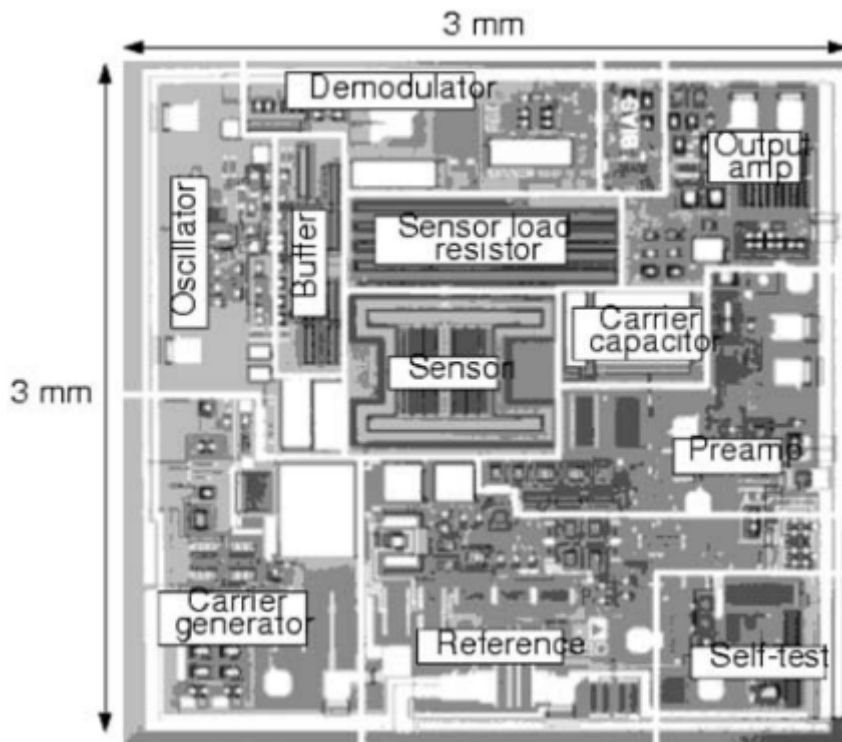
Στη κατηγορία της Μικροκλίμακας εντάσσονται οι αισθητήρες MEMS (Microelectromechanical Systems) οι οποίοι θα αποτελέσουν αντικείμενο έρευνας της παρούσας παραγράφου. Η προέλευση του όρου έχει μακρά ιστορία και πρωτοεμφανίστηκε στο μακρινό 1954 στην εργασία του Charles Smith [17], το

διάστημα που εργαζόταν στην εταιρία BellTelephoneLaboratories. Στην εργασία αυτή περιγραφόταν για πρώτη φορά διάφορες αντιδράσεις του πυριτίου και του γερμανίου και αποτέλεσε αφορμή ώστε περισσότεροι ερευνητές να εξερευνήσουν το κατά πόσον η τεχνολογία αυτή, που δημιούργησε το τρανζίστορ, θα μπορούσε να εφαρμοστεί στους αισθητήρες. Το ενδιαφέρον αυτό οδήγησε στην εξέλιξη της τεχνολογίας και τελικά στη δημιουργία των πρωταρχικών MEMS αισθητήρων, τη δεκαετία του 1970.

Ο όρος παραμένει κατά κάποιο τρόπο παρεξηγημένος καθώς δεν είναι όλες οι συσκευές που ονομάζονται MEMS ηλεκτρομηχανικές και ελάχιστες αποτελούν συστήματα [17]. Παρόλα αυτά ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλων των ειδών τις μικροσυσκευές, μικροδομές τριών διαστάσεων των οποίων τη πρώτη ύλη αποτελεί το πυρίτιο και κατασκευάζονται με τεχνικές που προέρχονται από την μικροηλεκτρονική βιομηχανία. Τις τεχνικές αυτές αποτελούν για παράδειγμα η ισότροπη και ανισότροπη εκτύπωση, η εναπόθεση λεπτού φιλμ, η ανοδική συγκόλληση καθώς και άλλες.

Η τεχνολογία αποδείχθηκε ιδιαίτερα επιτυχημένη στους αισθητήρες και συνεπώς οδήγησε στη κατασκευή ενός ευρέως φάσματος συσκευών, μικρών σε διαστάσεις, ανθεκτικών και οικονομικών όπως επιταχυόμετρα, αισθητήρες ήχου, μετρητές πυκνότητας αέρα, ατμοσφαιρικής πίεσης κλπ. Αυτού του τύπου οι αισθητήρες κατασκευάζονται με συγκεκριμένες προδιαγραφές ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν σε οχήματα και χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση του κινητήρα, την ενεργοποίηση των αερόσακων καθώς και στα συστήματα αποφυγής ανατροπής, τη σταθεροποίηση του οχήματος, στον σύστημα γεωεντοπισμού (GPS) καθώς και σε αρκετές άλλες περιπτώσεις.

Πλέον η τεχνολογία παραγωγής τους έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό και είναι σε θέση να παράξει αισθητήρες υψηλής ακρίβειας με ελάχιστο μέγεθος οι οποίοι μπορούν να διαθέτουν ενσωματωμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο επεξεργάζεται τα δεδομένα εισόδου και παράγει ψηφιακά σήματα στην έξοδο. Πέρα από το ολοκληρωμένο μπορούν, ανάλογα με την εφαρμογή, να διαθέτουν επιπλέον ηλεκτρονικά συστήματα όπως προστατευείς τάσεων ( over – rangestops), λειτουργίες αυτό έλεγχου (self-testfunctions) , καθώς και άλλα.



Εικόνα 9: Επιφάνεια μικρομηχανικού MEMS επιταχυνσιόμετρου. Πηγή: [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org)

Με το πέρασμα των χρόνων, την εμφάνιση των έξυπνων κινητών τηλεφώνων, του IoT αλλά και του Edge Computing, οι πωλήσεις αισθητήρων MEMS έχουν αυξηθεί δραματικά καθώς οι συσκευές αυτού του τύπου περιέχουν πληθώρα αισθητήρων MEMS όπως για παράδειγμα μικρόφωνα, γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα, κλπ. Πεδία εφαρμογής συνεχώς προκύπτουν νέα όπως για παράδειγμα οχήματα, οπλικά συστήματα, κάμερες αλλά και παιχνιδομηχανές όπως η Nintendo Revolution και η Sony Playstation. Ακολούθως, η ενσωμάτωση περισσότερων λειτουργιών ανάληψη οδήγησαν στη δημιουργία συσκευών τύπου εργαστήριο στο ολοκληρωμένο (lab on chip) οι οποίες είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν με ακρίβεια σύνθετες αναλύσεις όπως υγρή χρωματογραφία, φασματοφωτομετρία, ηλεκτροφόρηση καθώς και άλλες από συσκευές κατασκευασμένες σε ιδιαίτερα μικρή κλίμακα. Οι συσκευές αυτού του τύπου παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις που έχουν να κάνουν με την φορητότητα, τη ταχύτητα ανάλυσης, την αποδοτικότητα, τη κατανάλωση και το χαμηλό κόστος παραγωγής.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί μια νέα κατηγορία αισθητήρων οι BioMEMS, οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή στους τομείς της Βιοϊατρικής αλλά και της υγείας

γενικότερα. Οι αισθητήρες αυτοί περιλαμβάνουν βιοϊατρικά συστήματα και αισθητήρες με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα το In – Check της STMicroelectronics. Το συγκεκριμένο σύστημα περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες που απαιτούνται για την απομόνωση και το πολλαπλασιασμό μιας αλληλουχίας DNA, μέσω της ενζυμικής αναπαραγωγής του DNA, χωρίς να απαιτείται η χρήση ζωντανού οργανισμού.

### 3.3 Τεχνική συμπίεσης με αισθητήρα

Η έκταση των δεδομένων που παράγονται είναι τόσο μεγάλη ώστε η ανάγκη της συμπίεσής τους είναι απαραίτητη, προκειμένου να γίνει μια ορθή διαχείριση του διαθέσιμου εύρους ζώνης αλλά και να μειωθεί το κόστος μεταφοράς των δεδομένων αυτών. Ναι μεν η τεχνολογία τόσο της μετάδοσης όσο και της αποθήκευσης των δεδομένων έχει εξελιχθεί σημαντικά και επιτρέπει πλέον τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, σύμφωνα όμως με τον πρώτο νόμο του Parkinson, η ανάγκη αποθήκευσης και μετάδοσης της πληροφορίας θα αυξάνεται σε διπλάσιο ρυθμό σε σχέση με τις δυνατότητες της. Παράλληλα, δεν σπανίζουν οι εφαρμογές όπου το μέσο διαθέτει πεπερασμένες δυνατότητες οι οποίες δεν μπορούν να ξεπεράσουν κάποιο ορισμένο επίπεδο, όπως για παράδειγμα η ατμόσφαιρα της οποίας τα χαρακτηριστικά περιορίζουν τον όγκο των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν.

Η ιδέα της συμπίεσης των δεδομένων εμφανίστηκε αρκετά νωρίς και στις πρώτες μορφές μετάδοσης όπως για παράδειγμα στο κώδικα Morse, που αναπτύχθηκε από τον Samuel Morse, στα μέσα της δεκαετίας του 1830. Ο Morse παρατήρησε ότι κάποιοι χαρακτήρες εμφανίζονται αρκετά πιο συχνά από άλλους και για το λόγο αυτό τους κωδικοποίησε με μικρότερες ακολουθίες στοχεύοντας στη μείωση του χρόνου που απαιτείται για την μετάδοση του μηνύματος. Για παράδειγμα ο αγγλικός χαρακτήρας επου εμφανίζεται αρκετά συχνά κωδικοποιείται μόνο από την τελεία (.) και ο χαρακτήρας απου επίσης εμφανίζεται συχνά από τους δύο χαρακτήρες τελεία ακολουθούμενη με παύλα (.-). Αντίθετα, οι χαρακτήρες που δεν εμφανίζονται συχνά έχουν μεγαλύτερες ακολουθίες όπως ο χαρακτήρας j που αποτελείται από τέσσερεις χαρακτήρες(.-.-) όπως επίσης και ο z (--..). Η ιδέα αυτή της συμπίεσης, δηλαδή της χρήσης μικρότερων ακολουθιών για τους πιο συχνά εμφανιζόμενους χαρακτήρες

χρησιμοποιείται ευρέως στη σύγχρονη εποχή, όπως για παράδειγμα στη κωδικοποίηση Huffman.

Η ιδέα της συμπίεσης των δεδομένων γρήγορα αναδείχτηκε σε επιστήμη μέσω της οποίας εξελίσσονται οι μέθοδοι που εφαρμόζονται στα δεδομένα ώστε αυτά να καταλαμβάνουν όσο το δυνατόν μικρότερο χώρο. Πιο συγκεκριμένα, στόχος είναι να μετατραπούν τα δεδομένα εισόδου σε μία διαφορετική μορφή η οποία θα έχει μικρότερο μέγεθος και για να επιτευχθεί αυτό μια συνάρτηση εφαρμόζεται σε κάθε δεδομένο και αναλαμβάνει τη μετατροπή. Ακολούθως μπορεί να ακολουθηθεί η αντίστροφη διαδικασία και μια συνάρτηση να δεχθεί τα τροποποιημένα δεδομένα και να τα επαναφέρει στη αρχική τους μορφή.

Οι διαδικασίες συμπίεσης των δεδομένων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες, όπως για παράδειγμα τους απωλεστικές ή τις μη απωλεστικές. Στη πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται τεχνικές στις οποίες τα δεδομένα κατά την αποσυμπίεση τους διαφέρουν από τα αρχικά ενώ στη δεύτερη τα δεδομένα ταυτίζονται. Ο διαχωρισμός αυτός είναι εφικτός καθώς υπάρχουν εφαρμογές οι οποίες είναι ανεκτικές στις αλλοιώσεις των δεδομένων με στόχο να επιτευχθεί υψηλότερος βαθμός συμπίεσης ή ακόμα και να απλοποιηθεί η διαδικασία ώστε να εκτελείται γρηγορότερα ή από λιγότερο ισχυρές συσκευές. Τέτοιες εφαρμογές αποτελούν αυτές που έχουν να κάνουν με το χειρισμό εικόνων για παράδειγμα, όπου η εικόνα μπορεί να συμπιεστεί αρκετά χωρίς το ανθρώπινο μάτι να αντιλαμβάνεται τις αλλαγές. Από την άλλη πλευρά υπάρχουν εφαρμογές που απαιτούν τα δεδομένα αναλλοίωτα και δεν μπορούν να λειτουργήσουν στη περίπτωση που αυτά δεν επανέλθουν στην αρχική τους μορφή.

Η επικράτηση της τεχνολογίας IoT αλλά και Edge Computing, καθιστά αναγκαία τη συμπίεση των δεδομένων στη πηγή αυτών και πιο συγκεκριμένα στον αισθητήρα. Με τον τρόπο αυτό αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματα που η τεχνολογία του Edge Computing έχει να προσφέρει αφού η μείωση του όγκου των δεδομένων που διακινούνται οδηγεί σε μείωση του κόστους μεταφοράς, μείωση της επιβάρυνσης του δικτύου αλλά και αποδοτικότερη διαχείριση της ενέργειας. Συνεπώς η συσκευή του αισθητήρα θα μπορεί να λειτουργήσει με αρκετά λιγότερη ενέργεια και θα μπορεί να βασιστεί στα ήδη υπάρχοντα μέσα διάδοσης, όπως το Bluetooth και το Bluetooth Smart, τα οποία χαρακτηρίζονται από περιορισμένο εύρος ζώνης.

Παραδοσιακά, η έρευνα πάνω στα θέματα συμπίεσης δεδομένων αισθητήρων εστίαζε σε μεθόδους απωλεστικούς, επεξεργασίας συγκεκριμένου ρυθμού (compressed sampling) καθώς και προσαρμοστικούς ή συνεχόμενου ρυθμού δειγματοληψίας (adaptive/continuous sampling), κυρίως λόγω του γεγονότος ότι οι μέθοδοι αυτοί παρέχουν υψηλότερο βαθμό συμπίεσης της τάξης του 2 με 15 σε σχέση με τις μη απωλεστικές μεθόδους οι οποίες αγγίζουν 1 με 3. Παράλληλα οι απώλειες που παρουσιάζουν είναι αρκετά χαμηλές ώστε να είναι κατάλληλες ακόμα και για ιατρική χρήση. Πολλές χώρες όμως έχουν θεσπίσει κανόνες που δεν εγκρίνουν ρητώς τη χρήση των μεθόδων αυτών σε εμπορικές συσκευές υγείας καθώς διατηρούν αμφιβολίες για το πόσο είναι ικανές να διαχειριστούν τα δεδομένα. Παράλληλα, αρκετές μέθοδοι, που δεν ανήκουν στις μη απωλεστικές μεθόδους, έχουν περισσότερες απαιτήσεις σε υλικά, όπως για παράδειγμα να αποθηκεύονται τοπικά τα δεδομένα για μεταγενέστερη χρήση, πράγμα που ανεβάζει αρκετά το κόστος της συσκευής ή ακόμα και να μην είναι δυνατή η εγκατάσταση του υλικού αυτού. Για τους λόγους αυτούς, η έρευνα έχει εστίασει σε απωλεστικές μεθόδους οι οποίες επιτυγχάνουν υψηλό βαθμό συμπίεσης και ικανοποιητική ενεργειακή απόδοση. Καθώς όμως η τεχνολογία εξελίσσεται πρόοδος σημειώνεται και για τις άλλες μεθόδους συμπίεσης [18].

### 3.4 Πρότυπα Συμπίεσης - Ανίχνευσης

Οι τεχνικές συμπίεσης δεδομένων που ονομάζονται πρότυπα διακρίνονται ανά εφαρμογή, συνεπώς διατίθενται διαφορετικά πρότυπα για τις εικόνες, για το βίντεο, τον ήχο κλπ. Τα πρότυπα αυτά συνεχώς ανανεώνονται και με το πέρασμα του χρόνου είτε αντικαθίστανται με νέες εκδόσεις του υπάρχοντος είτε με εντελώς νέα πρότυπα. Με τον τρόπο αυτό, σταδιακά, επιτυγχάνονται μεγαλύτερες τάξεις συμπίεσης και παράλληλα αυξάνεται και η αξιοπιστία.

Στη κατηγορία των εικόνων ένα από τα πλέον διαδεδομένα πρότυπα είναι το JPEG που ανήκει στην ομάδα ISO και σχεδιάστηκε από την Joint Photographic Expert Group σε συνεργασία με τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών το 1992. Το πρότυπο έχει αποδειχτεί ιδιαίτερα αποδοτικό στη συμπίεση εικόνας και είναι κατάλληλο για εφαρμογές πολυμέσων. Η μέθοδος που χρησιμοποιεί είναι απωλεστική και χρησιμοποιείται για την συμπίεση εικόνων συνεχούς τόνου είτε ασπρόμαυρων είτε έγχρωμων. Ο βαθμός των απωλειών



σχετίζεται με το λόγο συμπίεσης και πιο συγκεκριμένα όσο αυξάνεται η συμπίεση τόσο αυξάνονται και οι απώλειες.

Το πρότυπο TIFF (TaggedImageFile) αποτελεί άλλο ένα αρκετά διαδεδομένο πρότυπο συμπίεσης εικόνων το οποίο αναπτύχθηκε από την Aldus σε συνεργασία με τη Microsoft και κυκλοφόρησε το 1987. Παράγει αρχεία ιδιαίτερα μεγάλου μεγέθους και για το λόγο αυτό δεν θεωρείται τόσο αποδοτικό. Κατά τη συμπίεση υπάρχει η δυνατότητα επιλογής αλγόριθμου συμπίεσης όπου μεταξύ των διαθέσιμων επιλογών βρίσκεται και ο JPEG. Τέλος, προσφέρει ανεξαρτησία από το υλικό αλλά και το λογισμικό πράγμα που το καθιστά κατάλληλο για τη μεταφορά αρχείων μεταξύ διαφορετικών πλατφόρμων.

Το GIF (GraphicsInterchangeFormat) αποτελεί το πρότυπο με το οποίο θα ολοκληρωθεί η παρουσίαση προτύπων συμπίεσης εικόνων. Παρουσιάστηκε το 1987 από την εταιρία Comuserve και έγινε ιδιαίτερα δημοφιλές στους κόλπους λόγω της ικανοποιητικής συμπίεσης που το χαρακτήριζε, της φορητότητας σε διαφορετικές πλατφόρμες αλλά και της υποστήριξης που έλαβε. Για τη συμπίεση βασίζεται στο πρότυπο Lempel – Ziv – Welch το οποίο είναι μη απωλεστικό και επιτυγχάνει υψηλό βαθμό συμπίεσης. Υποστήριζε εικόνες των 8bit χρωμάτων ανα εικονοστοιχείο και άρα έως 256 χρώματα πράγμα που περιορίζει το πεδίο εφαρμογών του. Παρέχει όμως τη δυνατότητα αποθήκευσης κινούμενων εικόνων, συμπλεγμένων, διαφάνεια κάποιου χρώματος αλλά και αποθήκευση κειμένου ξεχωριστά από τη εικόνα.

Για την συμπίεση του ήχου θα πρέπει αρχικά να έχει προηγηθεί η ψηφιοποίηση του και ποιο συγκεκριμένα η μετατροπή του από αναλογικό σε ψηφιακό. Η διαδικασία αυτή διεκπεραιώνεται με τη χρήση μετατροπέων και περιλαμβάνει τη φάση της δειγματοληψίας του αρχικού σήματος, τον κβαντισμό των τιμών που προκύπτουν από τη δειγματοληψία και τέλος τη κωδικοποίηση του. Ένα από τα πλέον γνωστά πρότυπα, το οποίο αποτελεί οικογένεια προτύπων, είναι το MPEG, το οποίο χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση του ήχου αλλά και οπτικών δεδομένων. Το πρότυπο που είναι αφιερωμένο στον ήχο είναι το MPEG-1 AudioLayer 3 το οποίο είναι γνωστό ως MP3 και δόθηκε στη κυκλοφορία το 1991. Είναι προϊόν μιας ομάδας Γερμανών μηχανικών που εργαζόντουσαν για το ίδρυμα Fraunhofer. Τέλος αποτελεί εξέλιξη του προτύπου MP2 το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο ψηφιακό ραδιόφωνο, προσφέροντας συμπίεση της τάξης

του 4:1. Αντίθετα το MP3 επιτυγχάνει συμπίεση της τάξης του 12:1 και χρησιμοποιήθηκε για την αποθήκευση των δεδομένων σε CD.

Το πρότυπο AAC (AdvancedAudioCoding) σχεδιάστηκε ώστε να αποτελέσει το διάδοχο του MP3 και για το λόγο αυτό παράγει μικρότερου μεγέθους αρχεία προσφέροντας υψηλότερης ποιότητας ήχο. Κυκλοφόρησε το 1997 ως MPEG-2 Part 7 και χρησιμοποιεί τεχνικές που παράγουν αρχεία που διαφέρουν από τα αρχικά. Για την επιλογή των δεδομένων που θα απορριφτούν βασίζεται στις αρχές της ανθρώπινης ηχητικής αντίληψης και απορρίπτει ήχους που το ανθρώπινο αυτί δεν μπορεί να αντιληφτεί. Τέλος προσφέρει τρία διαφορετικά προφίλ και ποιο συγκεκριμένα το χαμηλής πολυπλοκότητας, το βασικό και το κλιμακούμενο. Τα προφίλ αυτά επιτρέπουν στο πρότυπο να εφαρμοστεί σε μεγάλη ποικιλία συσκευών όπου αυτές που διαθέτουν περιορισμένους πόρους θα χρησιμοποιήσουν το προφίλ της χαμηλής πολυπλοκότητας ενώ ισχυρότερες το βασικό ή το κλιμακούμενο.

Η εξάπλωση της χρήσης των πολυμεσικών εφαρμογών, που συνδυάζουν την εικόνα με τον ήχο καθώς και με άλλες πληροφορίες έκαναν απαραίτητη την αναζήτηση μεθόδων για τη συμπίεση των δεδομένων αυτών. Ένα από τα πρώτα και ευρέως διαδεδομένα πρότυπα αποτέλεσε το MPEG, το οποίο όπως προαναφέρθηκε αποτελεί μια οικογένεια προτύπων που συνεχώς εξελίσσεται. Η ανάπτυξη του έγινε από την εταιρία MovingPicturesExpertsGroup(MPEG) η οποία συστάθηκε το 1988. Η αρχική πρώτη έκδοση στόχευε στην κωδικοποίηση κινούμενης εικόνας σε συνδυασμό με τον ήχο της, η ποιότητα που μπορούσε να επιτύχει ήταν αντίστοιχη του VHSVideo ενώ ο ρυθμός ήταν της τάξης του 1,5 Mbit/s. Η εξέλιξη του ήταν το MPEG-2 το οποίο θα έβρισκε εφαρμογή στη ψηφιακή καλωδιακή τηλεόραση αλλά και στη δορυφορική, παρουσίαζε καλύτερη ανάλυση στα 704x480 NTSC και ο ρυθμός μετάδοσης κυμαίνεται από 3 έως 10 Mbits/sec. Αντίθετα το MPEG-4 σχεδιάστηκε για να επιτρέψει τη μεταφορά κινούμενων εικόνων και ήχου από τις περιορισμένου εύρους συνδέσεις του ιντερνέτ και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούσε χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης της τάξης του 4.8 με 64Kbit/s. Η ανάλυση εικόνας που πρόσφερε ήταν αρκετά χαμηλότερη από τα προηγούμενα και πιο συγκεκριμένα ήταν της τάξης του 176x 144 εικονοστοιχεία.

Το πρότυπο H.261 αποτελεί πρόγονο του MPEG και κυκλοφόρησε το Νοέμβριο του 1988. Η ανάπτυξη του έγινε από τον Διεθνή Οργανισμό Τηλεπικοινωνιών

(International Telegraph and Telephone Consultative Committee) και είχε ξεκινήσει από την πρώτη έκδοση H.120 το 1984. Το H.261 ήταν το πρώτο πρότυπο της οικογένειας H.26x το οποίο κατάφερε να βρει πρακτική εφαρμογή. Στόχος του προτύπου ήταν να συμπίεσει το βίντεο ώστε αυτό να μπορεί να μεταφερθεί μέσω των ISDN γραμμών, οι οποίες υποστήριζαν εύρος ζώνης της τάξης των 64 kbit/s. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιούσε μπορούσε να λειτουργήσει σε ρυθμούς της τάξης από 40 kbit/s έως τα 2 Mbit/s, ενώ διατηρούσε συμβατότητα και με τις προηγούμενες εκδόσεις αφού μπορούσε να μεταφέρει εικόνες με τις κατάλληλες διαστάσεις.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, τα δεδομένα συμπιέζονται ώστε να μπορούν να μεταφερθούν από κάποιο μέσο στο προορισμό τους. Κατά τη μεταφορά τους τα δεδομένα διασπώνται σε πακέτα τα οποία ταξιδεύουν μέσω δρομολογητών, καλωδίων και άλλων δικτυακών μέσων. Στη διαδρομή τους αυτή κάποια δεδομένα μπορεί να αλλοιωθούν ή και να χαθούν. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να εφαρμοστούν μέθοδοι που να επιτρέπουν στον αποδέκτη να μπορεί να διαχειριστεί τις καταστάσεις αυτές. Για την αντιμετώπιση των φαινομένων αυτών χρησιμοποιούνται οι κωδικοί ανίχνευσης σφαλμάτων, μέσω των οποίων εισάγονται στα πακέτα επιπλέον bit πληροφορίας. Από την επιπλέον αυτή πληροφορία ο αποδέκτης είναι σε θέση να καταλάβει ότι το πακέτο έχει αλλοιωθεί ή ότι κάποιο πακέτο έχει χαθεί. Στη περίπτωση που το πακέτο έχει χαθεί ο αποδέκτης μπορεί να ζητήσει από τον αποστολέα να του το στείλει εκ νέου, ενώ στη περίπτωση που έχει αλλοιωθεί μπορεί είτε να το διορθώσει είτε να ζητήσει εκ νέου την αποστολή του. Η απόφαση του αν το πακέτο θα διορθωθεί ή θα σταλεί εκ νέου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες άλλα και την ίδια την εφαρμογή. Για παράδειγμα η προσθήκη στο πακέτο δεδομένων, που θα χρησιμοποιηθούν στη διόρθωση του αλλοιωμένου πακέτου αυξάνει το μέγεθος του πακέτου με αποτέλεσμα να μειώνεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Στη περίπτωση που αυτό δεν είναι αποδεκτό, η επανααποστολή μόνο του πακέτου που έχει χαθεί αποτελεί αποδοτικότερη λύση.

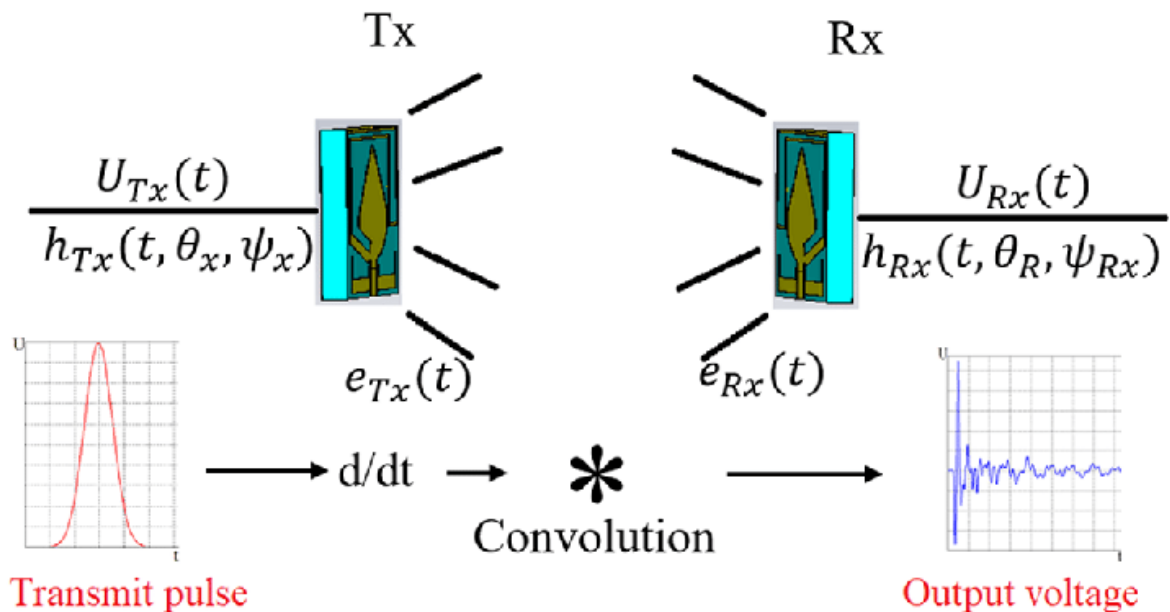
### **3.5 Παλμικό σύστημα επικοινωνίας UWB**

Το παλμικό σύστημα επικοινωνίας αποτελεί μια μέθοδο επικοινωνίας των υπολογιστικών συστημάτων που στόχο έχει τη μεταφορά δεδομένων σε μικρή

απόσταση χρησιμοποιώντας ελάχιστη ενέργεια. Αρχικά είχε σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιηθεί σε εμπορικά συστήματα ραντάρ και η ανάπτυξη του είχε ξεκινήσει από το τμήμα ερευνών του Αμερικανικού στρατού (U.S. ArmyResearchLaboratory) στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Βασική διαφορά του συστήματος αυτού με τα παραδοσιακά συστήματα ασύρματης επικοινωνίας είναι ότι τα παραδοσιακά συστήματα μεταδίδουν τη πληροφορία εναλλάσσοντας την ένταση, τη συχνότητα καθώς και τη φάση του ημιτονοειδούς σήματος. Το παλμικό σύστημα από την άλλη πλευρά μεταδίδει την πληροφορία παράγοντας παλμούς σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, καταλαμβάνοντας ένα ευρύ φάσμα.

Η τεχνική αυτή του επιτρέπει να μεταφέρει πληροφορία με υψηλό εύρος ζώνης της τάξης των 480 Mbps έως και τα 1.6 Gbps. Τα δεδομένα μεταδίδονται ταυτόχρονα μέσω ενός μεγάλου αριθμού καναλιών που συνήθως ξεπερνούν τα 500 MHz. Για παράδειγμα, όταν ένας σταθμός μεταδίδει στα 5 GHz, το σήμα εκτείνεται από τα 4 GHz έως και τα 6 GHz. Οι υψηλοί όμως αυτοί ρυθμοί μετάδοσης επιτυγχάνονται σε περιορισμένες όμως αποστάσεις που φτάνουν τα μερικά μέτρα. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις η ταχύτητα μετάδοσης μειώνεται σημαντικά και για το λόγο αυτό η χρήση του είναι κατάλληλη για συσκευές IoT που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους.

Η τεχνολογία βρίσκει εφαρμογή σε αρκετές περιπτώσεις όπως το ασύρματο USB, την ασύρματη μεταφορά βίντεο υψηλής ανάλυσης, τις ασύρματες οθόνες, την ασύρματη εκτύπωση καθώς και άλλες. Μάλιστα, η τεχνολογία του ασύρματου USB, στα μέσα της δεκαετίας του 2000, μπορούσε να χειριστεί πολύ μεγαλύτερους όγκους δεδομένων από το Wi-Fi της εποχής, μιας και επιτύχανε ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 110 Mbps και 480 Mbps, ανάλογα με την απόσταση. Η εξαιρετικά χαμηλές απαιτήσεις που είχε σε ενέργεια καθιστούσε την τεχνολογία κατάλληλη για συσκευές Bluetooth και για το λόγο αυτό έγιναν έντονες προσπάθειες από τη βιομηχανία να εντάξει την τεχνική στο Bluetooth 3. Το περιορισμένο όμως εύρος σημάτων που μπορούσε να προσφέρει δεν επιτρέπει τη χρήση για άμεσες συνδέσεις τύπου hotspot. Το Wi-Fi από την άλλη πλευρά εξελίχθηκε αρκετά ώστε να ξεπεράσει το παλμικό σύστημα και να επικρατήσει τελικά.



Εικόνα 10: Ασύρματη μετάδοση μέσω UWB. Πηγή: AIP

### 3.6 Από την αρχιτεκτονική ενός πυρήνα σε αρχιτεκτονική πολλών πυρήνων

Η ενσωμάτωση περισσότερων του ενός πυρήνων σε ένα επεξεργαστή τροφοδοτήθηκε από την ανάγκη να αυξηθεί η υπολογιστική ικανότητα των υπολογιστικών συστημάτων. Η υπολογιστική ικανότητα μπορεί να αυξηθεί με την βελτίωση και άλλων παραμέτρων όπως την αύξηση του μεγέθους της πληροφορίας που ο υπολογιστής μπορούσε να επεξεργαστεί σε κάθε κύκλο ρολογιού, την εκτέλεση περισσότερων εντολών παράλληλα και την εκτέλεση σε νήματα.

Η αύξηση του μεγέθους της λέξης που ο υπολογιστής μπορεί να χειριστεί έχει σαν συνέπεια τη μείωση του αριθμού των εντολών που απαιτούνται για να εκτελεστεί μια λειτουργία πάνω σε δεδομένα που έχουν μέγεθος μεγαλύτερο της λέξης αυτής. Η μείωση αυτή του αριθμού των εντολών που πρέπει να εκτελέσει οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης αφού ο υπολογιστής πλέον ολοκληρώνει το πρόγραμμα σε μικρότερο χρόνο. Η τεχνική αυτή οδήγησε στην εξέλιξη των υπολογιστών όπου αρχικά το μέγεθος που μπορούσαν να επεξεργαστούν ήταν 4bit και στη συνέχεια αυξήθηκε στα 8, στα 16, στα 32 και σήμερα πλέον είναι στα 64 bit.

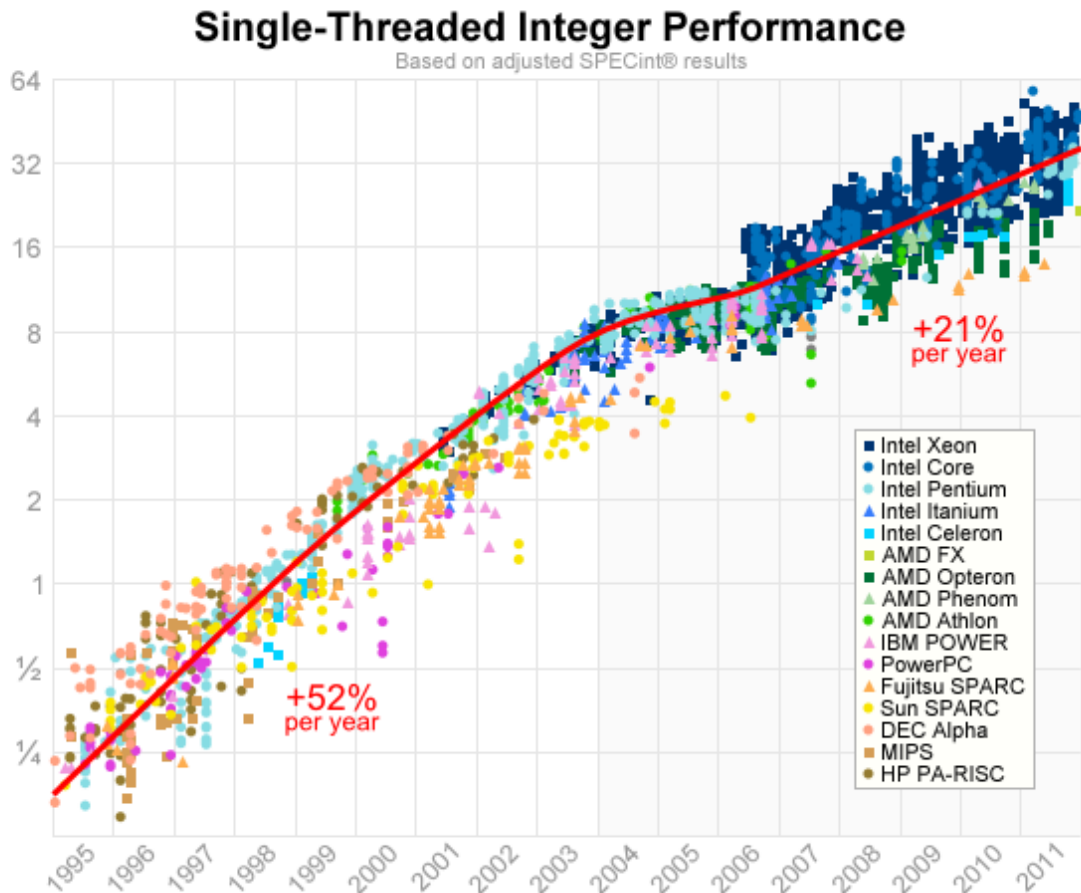
Ο παραλληλισμός σε επίπεδο εντολής από την άλλη πλευρά επιτρέπει στον επεξεργαστή να εκτελεί ταυτόχρονα διαφορετικές εντολές και συνεπώς να

ολοκληρώνει τη διαδικασία σε αρκετά συντομότερο χρονικό διάστημα. Οι εντολές αυτές αποτελούν τα τμήματα κώδικα ενός προγράμματος και μπορούν να είναι είτε διαδοχικές είτε όχι, θα πρέπει όμως να μην προκαλούνται λάθη στην εκτέλεση. Η ιδέα προέκυψε από τον τρόπο που λειτουργούσαν οι υπολογιστές, σύμφωνα με τον οποίο η εκτέλεση της κάθε εντολής περιλάμβανε διάφορα στάδια, ανάλογα με την αρχιτεκτονική του επεξεργαστή. Τα στάδια αυτά ήταν για παράδειγμα το διάβασμα της εντολής, η αποκωδικοποίηση, η εκτέλεση και τέλος η εγγραφή και κάθε ένα από αυτά τα στάδια απαιτούσε ένα κύκλο ρολογιού για να εκτελεστεί. Συνεπώς η κάθε εντολή διαρκούσε περισσότερους του ενός κύκλους ρολογιού για να ολοκληρωθεί. Με τη χρήση της τεχνικής, η οποία ονομάζεται σωλήνωση (Pipelining) σε κάθε στάδιο βρίσκεται και μία εντολή, συνεπώς οι εντολές εκτελούνται παράλληλα. Ακολούθως, καθώς οι επεξεργαστές εξελίσσονταν και αποκτούσαν περισσότερους πόρους (αριθμητικές και λογικές μονάδες, καταχωρητές) μπορούσαν να υποστηρίξουν την παράλληλη εκτέλεση επιπλέον εντολών που χρειαζόντουσαν του πόρους αυτούς αυξάνοντας ακόμα περισσότερο την απόδοση.

Από την άλλη πλευρά η παράλληλη εκτέλεση νημάτων επιτρέπει σε ένα επεξεργαστή να εκτελεί εντολές διαφορετικών νημάτων. Η ιδέα του νήματος προέρχεται από το γεγονός ότι ένα πρόγραμμα, που καλείται διεργασία, έχει να εκτελέσει διάφορων ειδών εργασίες ώσπου να ολοκληρωθεί. Για παράδειγμα θα μπορούσε, σε κάποια φάση της εκτέλεσης του να αναζητήσει ένα αρχείο από το ιντερνέτ ή να αποθηκεύσει ένα αρχείο σε κάποιο αργό μέσο μαγνητικής αποθήκευσης. Τα τμήματα αυτά του προγράμματος θα μπορούσαν να αποτελέσουν ξεχωριστές διαδικασίες και να εκτελούνται ξεχωριστά ώστε να μην επιβραδύνουν την εκτέλεση του προγράμματος. Για παράδειγμα ο χρήστης θα μπορούσε να εκτελεί μια άλλη διαδικασία όσο θα περιμένει το αρχείο να κατέβει από το ιντερνέτ. Οι διεργασίες αυτές καλούνται νήματα χρειάζονται του πόρους που διαθέτει ο επεξεργαστής για να λειτουργήσουν. Το κάθε νήμα όμως είναι πιθανό να μην απαιτεί ταυτόχρονα το σύνολο των πόρων που διαθέτει ο επεξεργαστής και συνεπώς, το χρονικό διάστημα που αυτό εκτελείται, τμήμα των πόρων να μην αξιοποιείται. Η τεχνική της παράλληλης εκτέλεσης νημάτων επιτρέπει στον επεξεργαστή να αναθέτει τους πόρους του σε περισσότερα του ενός νήματα οδηγώντας με τον τρόπο αυτό σε μια σημαντική αύξηση της απόδοσης.

Η τεχνική της ενσωμάτωσης περισσότερων του ενός πυρήνων συνίσταται στην τοποθέτηση περισσότερων μονάδων επεξεργασίας στον ίδιο επεξεργαστή. Με τον τρόπο αυτό ο κάθε πυρήνας μπορεί να διαβάσει και να εκτελέσει τις δικές του εντολές επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό την εκτέλεση πολλών εντολών την ίδια χρονική στιγμή. Οι πυρήνες μπορούν να μοιράζονται θέσης μνήμης, ώστε να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα ή και να ανταλλάσσουν μηνύματα μεταξύ τους με στόχο την ολοκλήρωση του προγράμματος.

Η ανάπτυξη του IoT αλλά και του Edge προϋποθέτει ότι οι επεξεργαστές θα μειωθούν σε μέγεθος και θα γίνουν και ενεργειακά αποδοτικότεροι ώστε να μπορούν να εγκατασταθούν ακόμα και σε συσκευές με ιδιαίτερα μικρό μέγεθος και να λειτουργούν με όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια. Το γεγονός αυτό δημιούργησε ένα όριο στο πόσο μπορεί να αυξηθούν οι επιδόσεις των επεξεργαστών βασιζόμενοι σε τεχνικές όπως η αύξηση της ταχύτητας του ρολογιού ή η προσθήκη επιπλέον εξαρτημάτων στον επεξεργαστή. Πιο συγκεκριμένα, όταν το μέγεθος του επεξεργαστή έφτασε τα 90nm, προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες που έχουν δημιουργηθεί, δεν επιτρέπει την επιπλέον αύξηση της ταχύτητας, καθώς δημιουργούνται προβλήματα που έχουν να κάνουν με την έκλυση ισχύος. Επιπλέον, η προσθήκη νέων πόρων γίνεται δυσκολότερα, αυξάνει το κόστος παραγωγής σε σημείο που αυτό πλέον δεν είναι βιώσιμο. Το γεγονός αυτό οδήγησε τους ερευνητές να αυξήσουν τον αριθμό των πυρήνων ανά επεξεργαστή καθώς η μέθοδος παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα αυξάνεται η απόδοση του συστήματος χωρίς να αυξάνεται το μέγεθος του καθώς οι πολλαπλοί πυρήνες έχουν μεγαλύτερη απόδοση στο ίδιο εμβαδόν με τον επεξεργαστή μονού πυρήνα, το κόστος σχεδίασης μειώνεται αφού πλέον χρησιμοποιούνται σαν δομικό στοιχείο ο απλός πυρήνας που είναι αρκετά απλούστερος και τέλος είναι πιο ανεκτικό σε αστοχίες, αφού εύκολα μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας ένας πυρήνας αν αποτύχει, χωρίς αυτό θα θέσει εκτός λειτουργίας το σύνολο της δομής.



Εικόνα 11: Η απόδοση των επεξεργαστών. Πηγή: preshing.com

### 3.7 Επεξεργαστής PULP

Η πλειοψηφία των σύγχρονων έξυπνων συσκευών υπολογιστικής άκρου, που χαρακτηρίζονται ιδιαίτερα χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, είναι σε θέση να λειτουργήσουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα με τη χρήση μόνο μίας μικρής μπαταρίας. Τέτοια συστήματα αποτελούν για παράδειγμα αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν σε απομακρυσμένα ή δυσπρόσιτα περιβάλλοντα και να λειτουργήσουν χωρίς υποστήριξη για αρκετό καιρό. Λόγο ακριβώς του γεγονότος ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν ισχυρές πηγές ενέργειας έχουν ιδιαίτερα περιορισμένο πεδίο εφαρμογής, όπως οι αισθητήρες που προαναφέρθηκαν οι οποίοι δεν έχουν υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις και παράγουν μικρό όγκο δεδομένων προς μετάδοση. Αυτός όμως είναι και ο αρχικός σχεδιασμός τους, δηλαδή να μπορούν να λειτουργήσουν με την ελάχιστη δυνατή ενεργεία, αποδεχόμενοι συμβιβασμούς στην απόδοση. Προς την κατεύθυνση αυτή έχουν γίνει αρκετές έρευνες σε μια



προσπάθεια να μειωθεί όσο το δυνατόν η κατανάλωση ενέργειας στα ενσωματωμένα συστήματα. Οι προσπάθειες αυτές κυρίως επικεντρώνονται στο σχεδιασμό επεξεργαστών που λειτουργούν σε συχνότητες της τάξης μερικών δεκάδων kHz έως μερικών MHz.

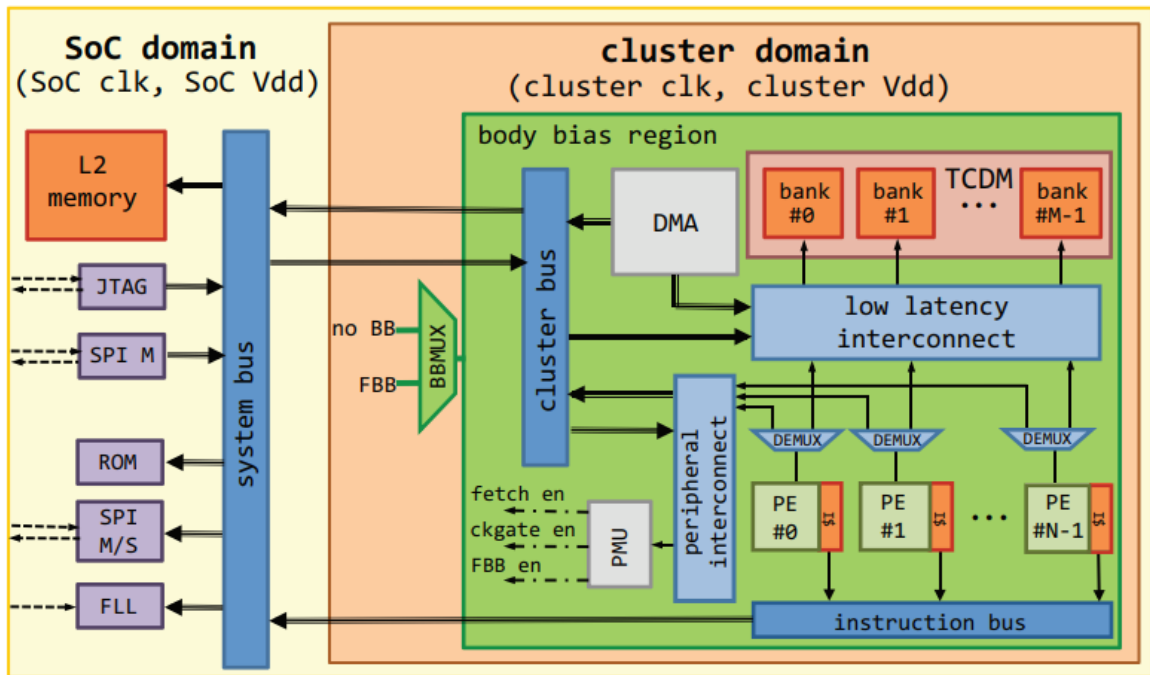
Προκειμένου να σχεδιαστούν συστήματα που ελαχιστοποιούν την κατανάλωση ενέργειας έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις όπως για παράδειγμα την μερική απενεργοποίηση του συστήματος, ώστε τα τμήματα που δεν χρησιμοποιούνται να τίθενται εκτός λειτουργίας ή τις βελτιώσεις σε επίπεδο κυκλωμάτων του συστήματος. Από την άλλη πλευρά όμως η μεταφορά τμήματος της επεξεργασίας των δεδομένων στον ίδιο τον αισθητήρα, από το νέφος, δύναται να εμφανίσει σημαντικά πλεονεκτήματα αφού θα του επιτρέπει, αντί πλήθους τιμών να μεταφέρει κλάσεις ή να εκτελέσει συγκεκριμένες ενέργειες. Το σημαντικό όμως πλεονέκτημα αυτό δημιουργεί νέες προκλήσεις καθώς η επεξεργαστική ισχύς που απαιτείται αυξάνει την ανάγκη για ενέργεια.

Οι προσπάθειες για την αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτών, τα τελευταία χρόνια, έχουν εστιάσει σε δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη βασίζεται στην επέκταση της λειτουργίας του επεξεργαστή χαμηλής κατανάλωσης ώστε να λειτουργούν σε υψηλότερες ταχύτητες όταν αυτό απαιτείται, ενώ να διατηρούν χαμηλή κατανάλωση για εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή υπολογιστική ισχύς. Η πρόταση δεν χαρακτηρίζεται ικανοποιητική διότι λόγω του γεγονότος ότι οι περιορισμοί της απόδοσης είναι υψηλοί η ενεργειακή απόδοση του συστήματος μειώνεται. Η δεύτερη προσέγγιση βασίζεται στην εξειδίκευση των συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα ο σταθμός ενισχύεται με συσκευές οι οποίες είναι σχεδιασμένες να εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες, βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό την ενεργειακή απόδοση του συστήματος για τις συγκεκριμένες εργασίες και αφήνοντας τον λοιπό εξοπλισμό να εκτελέσει τις υπόλοιπες. Η μεθοδολογία αυτή έχει εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία στους επεξεργαστές τεχνικής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται στις συσκευές ενίσχυσης, στα Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα (Convolutional Neural Network), για την επεξεργασία των δεδομένων αλλά και κρυπτογράφησης αυτών.

Την απάντηση στα ερωτήματα [19] αυτά έρχεται να δώσει η πλατφόρμα PULP (Parallel Ultra Low Power) [20] η οποία ξεκίνησε σαν μια κοινή προσπάθεια του Εργαστηρίου Ενσωματωμένων Συστημάτων (IIS) του Ελβετικού Ομοσπονδιακού Ινστιτούτου Ζυρίχης και της ομάδας Ενεργειακά Αποδοτικά Ενσωματωμένα

Συστήματα (EEES) του πανεπιστημίου της Μπολόνιας στην Ιταλία το 2013. Στόχος της συνεργασίας αυτής ήταν ο σχεδιασμός νέων και αποδοτικότερων αρχιτεκτονικών που θα είναι σε θέση να εκτελούν επεξεργασία δεδομένων με ιδιαίτερα χαμηλές ενεργειακές ανάγκες. Πιο συγκεκριμένα έχει ως αποστολή την ανάπτυξη μιας ανοιχτής, επεκτάσιμης πλατφόρμας που θα επιτρέπει την έρευνα αλλά και ανάπτυξη λογισμικού αλλά και υλικού που θα καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από τις παραδοσιακές συσκευές ενώ παράλληλα θα ικανοποιεί τις υπολογιστικές ανάγκες του IoT, οι οποίες απαιτούν την ευέλικτη επεξεργασία των δεδομένων που παράγονται από το μεγάλο αριθμό αισθητήρων που διαθέτουν, όπως επιταχυσίόμετρα, κάμερες, μικρόφωνα και άλλα.

Η πλατφόρμα ενσωματώνει συστήματα μικροελεγκτών τελευταίας τεχνολογίας καθώς και μια πλατφόρμα πολλαπλών πυρήνων ικανή να επιτύχει κορυφαία ενεργειακή απόδοση καθώς και μεγάλου εύρους υπολογιστική απόδοση. Η αρχιτεκτονική παράλληλης επεξεργασίας που διαθέτει ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις επεξεργασίας των εφαρμογών του IoT χωρίς να παραβιάζει τα περιορισμένα όρια κατανάλωσης ενέργειας που οι συσκευές αυτές έχουν. Παράλληλα παραμένει ανοιχτού κώδικα και έχει καταφέρει να δημιουργήσει αποδοτικά συστήματα 32 αλλά και 64bit αρχιτεκτονικής, βασισμένα στην ομάδα εντολών του RISC-V. Τα συστήματα της πλατφόρμας περιλαμβάνουν από απλούς μικροελεγκτές (micro – controllers) έως τους τελευταίας τεχνολογίας OPENPULP οι οποίοι θέτουν νέα όρια για πολύ πύρινους επεξεργαστές χαμηλής κατανάλωσης εφαρμογών τύπου IoT. Τέλος η πλατφόρμα στοχεύει να παράξει υποστήριξη για πολλαπλά υπολογιστικά περιβάλλοντα όπως OpenMP, OpenCL, και OpenVX, τα οποία επιτρέπουν την εύκολη μεταφορά, ανάπτυξη, και αποσφαλματοποίηση των εφαρμογών καθώς και την διαχείριση της απόδοσής τους.



Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική PULP. Πηγή:ieeexplore.ieee.org [22]

Η αρχιτεκτονική ενσωματώνεται σε ένα σύστημα σε ολοκληρωμένο (SystemonChip) του οποίου η βασική δομή ενός Cluster του συστήματος, εμφανίζεται στην προηγούμενη εικόνα. Το σύστημα περιλαμβάνει μια μνήμη τύπου L2, έκτασης από 32kB έως τα 128kB η οποία είναι προσβάσιμη από όλα τα cluster μέσω ενός δίαυλου επικοινωνίας. Πέρα από τη μνήμη, το σύστημα περιλαμβάνει μια ομάδα από περιφερειακές συσκευές, μεταξύ αυτών δύο σειριακές περιφερειακές διασυνδέσεις (SerialPeripheralInterfaces), πύλες γενικού σκοπού (GeneralPurposeInput – Output), μνήμη ROM για εκκίνηση της συσκευής καθώς και μια διασύνδεση τύπου JTAG για την πραγματοποίηση των διάφορων ελέγχων. Μέσω των σειριακών περιφερειακών συνδέσεων το σύστημα μπορεί να συνδεθεί με άλλες συσκευές όπως μνήμη, μετασχηματιστές τάσης, κάμερες κλπ.

Λόγω ακριβώς της φύσης αυτής των περιφερειακών η συσκευή μπορεί να λειτουργήσει σε δύο καταστάσεις, στη κατάσταση εργάτη (slavemode) και στην μεμονωμένη λειτουργία (stand-alonemode). Στη κατάσταση εργάτη το σύστημα λειτουργεί ως πολύ πύρινος ενισχυτής ενός εξυπηρετητή, όπως για παράδειγμα ενός ARM CortexM μικροελεγκτή χαμηλής κατανάλωσης, ο οποίος είναι αρμόδιος για το φόρτωμα της εφαρμογής στη μνήμη του PULP, μέσω της σειριακής περιφερειακής διασύνδεσης. Πέρα από το φόρτωμα της εφαρμογής ο εξυπηρετητής θα εκκινήσει τη διαδικασία της επεξεργασίας, καθώς και θα τη συγχρονίσει μέσω μηνυμάτων αλλά και μέσω των GPIOs. Αντίθετα, στη

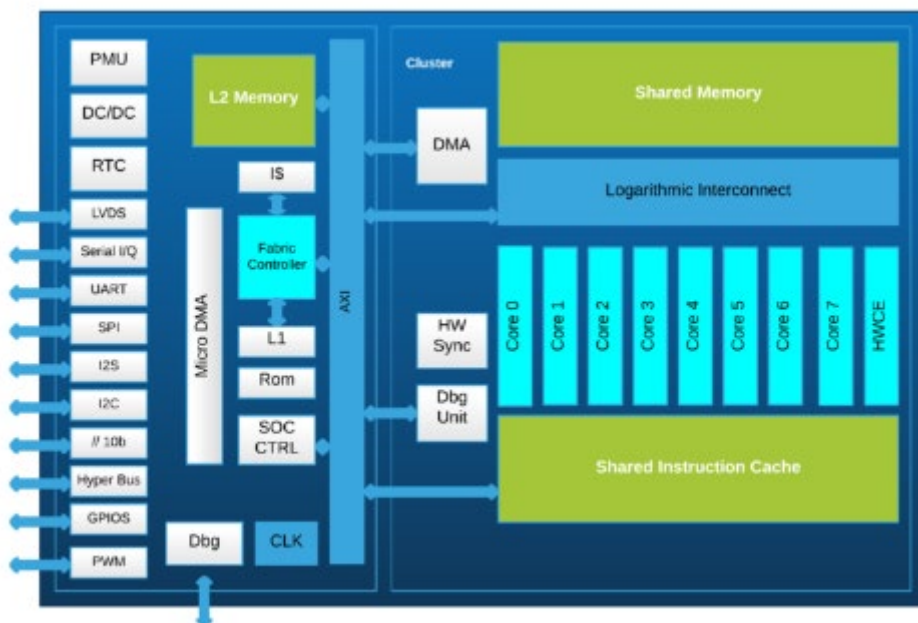
κατάσταση μεμονωμένης λειτουργίας το σύστημα θα ανιχνεύσει την ύπαρξη ή όχι μιας κάρτας μνήμης τύπου FLASH στη σειριακή περιφερειακή διασύνδεση και αν η κάρτα υπάρχει θα διαβάσει τις εντολές της προκειμένου να ξεκινήσει, διαφορετικά θα ξεκινήσει από τη μνήμη L2.

Η αρχιτεκτονική τύπου συστάδα (Cluster), περιλαμβάνει ένα σύνολο από στοιχεία επεξεργασίας (ProcessingElements) που αποτελούνται από ένα ισχυρό μικρό ελεγκτή βασισμένου στον OpenRISCαρχιτεκτονικής 32bit. Το κάθε στοιχείο διατηρεί το δικό του ξεχωριστό σετ εντολών. Με τον τρόπο αυτό το σύνολο των σετ εντολών συγκεντρώνεται σε μια συστάδα μέσω κοινού δίαυλου επικοινωνίας. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται αρκετά υψηλές επιδόσεις επεξεργασίας σε πολλές εφαρμογές. Παράλληλα η χαμηλή κατανάλωση επιτυγχάνεται μέσω της τεχνικής σωλήνωσης που μειώνει τη πίεση στους καταχωρητές αλλά και στη ταχύτητα του επεξεργαστή.

Τέλος για τη μείωση της κατανάλωσης κάθε συστάδα μπορεί να λειτουργεί στη δική της διαφορετική τάση αλλά και συχνότητα. Για να επιτευχτεί η διαχείριση της συχνότητας θα πρέπει να εγκατασταθεί στο σύστημα σαν περιφερειακό μια συσκευή τύπου Frequency-LockedLoop. Παράλληλα, για κάθε συσκευή (μια για το σύστημα γενικά και μία για κάθε συστάδα) θα πρέπει να εγκατασταθεί μια ομάδα από Clockdividers, οι οποίοι θα αναλάβουν να διαιρέσουν επιπλέον τους χρόνους που δημιουργήσαν οι FrequencyLockedLoops.Για την περεταίρω μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ο κάθε επεξεργαστής μπορεί να απενεργοποιηθεί μεμονωμένα καθώς και να συγχρονιστεί μέσω των κοινόχρηστων καταχωρητών.Με τον τρόπο αυτό, η κάθε συστάδα, ανάλογα με το όγκο εργασίας που έχει να διεκπαιρεύσει, μπορεί να λειτουργήσει με διαφορετικό αριθμό στοιχείων επεξεργασίας και αυτά που δεν είναι απαραίτητα να μην καταναλώνουν καθόλου ενέργεια.

Αρκετές εταιρίες προσφέρουν συστήματα βασισμένα στην αρχιτεκτονική αυτή, μεταξύ αυτών και η εταιρία GreenWavesTechnologies, η οποία διαθέτει τον GAP8 AP, ο οποίος προσφέρει ιδιαίτερα χαμηλή κατανάλωση σε συνδυασμό με υψηλή απόδοση και επιτρέπει την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης σε συσκευές IoT. Η εταιρία αποτελεί βασικό συντελεστή στη πλατφόρμα PULP, που βασίζεται στον RISC-V, η οποία αποτελεί τη βάση για τον επεξεργαστή GAP8. Ο επεξεργαστής είναι ένας επεξεργαστής εφαρμογών IoT, ο οποίος επιτρέπει τη μαζική ανάπτυξη χαμηλού κόστους αλλά και ενεργειακά αποδοτικών συσκευών οι οποίες

συλλαμβάνουν, αναλύουν, ταξινομούν αλλά και ενεργούν κατάλληλα πάνω σε δεδομένα που τους παρέχονται από εικόνες, ήχους, δεδομένα από ραντάρ αλλά και δονήσεις. Είναι σχεδιασμένος να εκτελεί ένα μεγάλο εύρος αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας αλλά και ήχου, μεταξύ αυτών Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα (Convolutional Neural Networks) καθώς και επεξεργασία σήματος. Τέλος επιτρέπει τόσο στους βιομηχανικούς όσο και στους εμπορικούς κατασκευαστές προϊόντων να ενσωματώσουν την επεξεργασία σημάτων, τη τεχνητή νοημοσύνη και την ταξινόμηση σε χαμηλής κατανάλωσης συσκευές IoT δημιουργώντας συστήματα αναγνώρισης εικόνας, καταμέτρησης ατόμων ή αντικειμένων, συσκευές παρακολούθησης υγείας, συστήματα ασφάλειας, αναγνώρισης ομιλίας και έξυπνα παιχνίδια.



Εικόνα 13: Διάγραμμα του GAP8. Πηγή: [www.microcontrollertips.com](http://www.microcontrollertips.com)

### 3.8 Επεξεργαστές HPC

Το λεξικό του πανεπιστημίου της Οξφόρδης περιγράφει τον όρο υπέρ υπολογιστής ως ένας υπολογιστής ή μια σειρά υπολογιστών με εξαιρετικά υψηλή υπολογιστική δύναμη και ταχύτητα. Στη πραγματικότητα όμως δεν υπάρχει επίσημος όρος για να περιγράψει τους υπολογιστές υψηλής απόδοσης. Παραδοσιακά χρησιμοποιείται για να περιγράψει τους εξυπηρετητές, πράγμα που

δεν ανταποκρίνεται επαρκώς στη πραγματικότητα καθώς τα συστήματα υψηλής απόδοσης διαφέρουν από τους συμβατικούς υπολογιστές σε αρκετά σημεία.

Πιο συγκεκριμένα, τα παραδοσιακά υπολογιστικά συστήματα αποτελούνται από ένα σύνολο συστημάτων τα οποία συνδέονται μεταξύ τους και αποτελούν μια ενιαία οντότητα. Οι υπολογιστές υψηλής απόδοσης από την άλλη πλευρά, αποτελούνται από μια συλλογή πολλαπλών συστημάτων τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με διάφορους τρόπους και οι πόροι που διαθέτουν διαχειρίζονται από ένα σύστημα που εκτελεί το ρόλο του διαχειριστή [22].

Ο διαχειριστής αυτός φροντίζει για την ολοκλήρωση των διαφόρων εργασιών από τα επιμέρους συστήματα χωρίς να απαιτείται ένα σύστημα να αναλάβει μία εργασία αλλά είναι επίσης εφικτό η εργασία να ανατεθεί σε περισσότερα του ενός συστήματα. Συνεπώς μια ομάδα πόρων του συστήματος αποτελεί μια ξεχωριστή ομάδα και καλείται κόμβος (node) και το όλο σύστημα που αποτελείται από ένα αριθμό κόμβων καλείται συστάδα (Cluster). Τους κόμβους αυτούς μπορούν να αποτελούν συσκευές όπως σκληροί δίσκοι τύπου SSD, συσκευές FLASHμνήμης τυχαίας προσπέλασης, επεξεργαστές γραφικών αλλά και συσσωρευτές για τους κεντρικούς επεξεργαστές. Η αρχιτεκτονική αυτή επιτρέπει στις συσκευές αυτές να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης εργασίας επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό σημαντική μείωση του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Για τη διασύνδεση των κόμβων μεταξύ τους χρησιμοποιούνται συσκευές τύπου μεταγωγής πακέτων, οι οποίοι συνδέονται με τους κόμβους μέσω ενός εσωτερικού δικτύου υπέρ υψηλής ταχύτητας, σχηματίζοντας με τον τρόπο αυτό τη συστάδα. Η συστάδα αυτή μπορεί να συνδέεται και με επιπλέον συστήματα καθώς και με άλλα εξωτερικά δίκτυα. Παράλληλα, για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών σε ψύξη, αλλά και σε ενέργεια, τα συστήματα αυτά διαθέτουν σύνθετα συστήματα ψύξης αλλά και παροχής ενέργειας.

Επεξεργαστές για τα συστήματα αυτά προσφέρουν στη πλειονότητα οι κατασκευαστές επεξεργαστών, όπως η Intel, η AMD, η Fujitsu και άλλες. Η Intel, συγκεκριμένα, διαθέτει τον 3<sup>ης</sup> γενιάς Xeon Platinum και Gold, οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με δυνατότητες που τους επιτρέπουν τη βέλτιστη απόδοση ανά πυρήνα, εφαρμογών για τα συστήματα αυτά όπως στο τομέα των κατασκευών, των οικονομικών υπηρεσιών, ενέργειας, κλίματος και άλλα. Η πρόταση της

ΑΜDονομάζεται ΕΡΥC, προσφέρει βελτιωμένη απόδοση αλλά και επεκτασιμότητα μέσω τεχνικών τύπου die – to – die.



Εικόνα 14: Επεξεργαστές της εταιρίας Intel για HPC. Πηγή: [www.titancomputers.com](http://www.titancomputers.com)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 Εστίαση στην Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους η κατανάλωση ενέργειας σε συσκευές τοποθετημένες στα άκρα αποτελεί ένα σημαντικό θέμα που χρειάζεται την προσοχή των ερευνητών. Ο συσσωρευτής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί τον πολυτιμότερο πόρο των συσκευών που βρίσκονται στην άκρη του δικτύου [23]. Το ερώτημα που τίθεται είναι το κατά πόσον η επεξεργασία των δεδομένων (του συνόλου ή τμήματος αυτών) θα γίνει στην συσκευή του άκρου ή θα μεταφέρεται σε κάποια άλλη ισχυρότερη υπολογιστική δομή η οποία θα έχει πρόσβαση σε ισχυρότερη πηγή ενέργειας. Το ζήτημα αυτό προκύπτει από την ιδιαιτερότητα που ενδεχόμενος να χαρακτηρίζει τη συσκευή άκρου η οποία μπορεί να είναι μια συσκευή ιδιαίτερα μικρού μεγέθους τοποθετημένη στο σώμα ενός ασθενούς και επιφορτισμένη να παρακολουθεί κάποιες τιμές. Τις τιμές αυτές ακολούθως τις αποστέλλει σε κάποια άλλη υπολογιστική δομή την οποία παρακολουθεί ενδεχομένως ο ιατρός και προβαίνει στις απαραίτητες ενέργειες. Η συσκευή αυτή, που βρίσκεται μέσα στο σώμα του ασθενούς, προφανώς λαμβάνει την απαιτούμενη ενέργεια από κάποιο ενσωματωμένο συσσωρευτή του οποίου η αντικατάσταση να απαιτεί χειρουργική επέμβαση στον ασθενή. Καθίσταται εύκολα κατανοητό στον αναγνώστη ότι σε μια τέτοια εφαρμογή, η κατανάλωση ενέργειας τη συσκευής αποτελεί ίσως τη σημαντικότερη πρόκληση που έχουν να αντιμετωπίσουν οι ερευνητές.

Τα δεδομένα που παράγει η συσκευή αυτή μπορούν είτε να επεξεργάζονται εντός της συσκευής και ακολούθως να αποστέλλονται οι πληροφορίες που προκύπτουν από τα δεδομένα, είτε να αποστέλλονται αυτούσια. Η πρώτη περίπτωση οδηγεί σε μεγάλη κατανάλωση ενέργειας από τον επεξεργαστή της συσκευής, καθώς θα πρέπει να διαθέτει τους απαραίτητους υπολογιστικούς πόρους για να την διεκπεραιώσει. Για παράδειγμα θα πρέπει να είναι σε θέση να εκτελέσει κάποιο αλγόριθμο ταξινόμησης ή ομαδοποίησης των δεδομένων και ακολούθως να αποστείλει τις κλάσεις που έχουν προκύψει. Συνεπώς θα πρέπει να είναι ένας επεξεργαστής ο οποίος λειτουργεί σε μια ικανοποιητική ταχύτητα ώστε να μπορεί να εκτελέσει τη διαδικασία πράγμα που συνοδεύεται με αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Παράλληλα, ενδεχομένως να πρέπει να πλαισιωθεί και με



επιπλέον συσκευές όπως μέσα αποθήκευσης, ώστε να μπορεί να αποθηκεύσει κάποια δεδομένα προτού τα επεξεργαστεί ή τα αποστείλει, τα οποία επίσης απαιτούν ενέργεια για να λειτουργήσουν. Από την άλλη πλευρά η αποστολή των δεδομένων αυτούσια συνοδεύεται με αύξηση της κατανάλωσης της συσκευής δικτύου, η οποία πλέον έχει να αποστείλει ένα αρκετά μεγαλύτερο όγκο δεδομένων.

Η απάντηση στα ερωτήματα αυτά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και διαφέρει από εφαρμογή σε εφαρμογή. Σε γενικές γραμμές όμως το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να διερευνηθεί είναι οι ενεργειακές απαιτήσεις της επεξεργασίας και πιο συγκεκριμένα το κατά πόσο απαιτούνται υψηλές υπολογιστικές δυνατότητες για να επεξεργασθούν και πόση ενέργεια θα απαιτηθεί αν η διαδικασία αυτή ολοκληρωθεί από τη συσκευή άκρου. Παράλληλα, θα πρέπει να μελετηθούν και τα χαρακτηριστικά της δικτυακής επικοινωνίας όπως η απόσταση στην οποία θα πρέπει να σταλούν τα δεδομένα, η οποία όσο αυξάνετε αυξάνει και την ενέργεια που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί με συνέπεια. Επίσης το διαθέσιμο εύρος ζώνης καθώς και το μέγεθος του κάθε πακέτου αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για την μετάδοση. Συνεπώς θα προτιμηθεί η επεξεργασία των δεδομένων να ολοκληρωθεί τοπικά μόνο στη περίπτωση που αυτό είναι ενεργειακά αποδοτικότερο.

Τέλος σημαντικός παράγοντας αποτελεί και το πόσο σημαντική είναι η κατανάλωση ενέργειας της συνολικής δομής και όχι μόνο του μεμονωμένου κόμβου. Η περίπτωση αυτή βρίσκει εφαρμογή σε κατανεμημένες περιπτώσεις όπου για παράδειγμα απαιτείται ένα σύνολο από αισθητήρων να επικοινωνεί με ένα κόμβο και αυτός με άλλους κόμβους και όλοι μαζί να συνεργάζονται για την παραγωγή των δεδομένων. Στη περίπτωση αυτή η συνολική κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται αθροίζοντας την ενέργεια που απαιτεί ο κάθε αισθητήρας ξεχωριστά με την ενέργεια που απαιτείται για να σταλεί η πληροφορία στο κεντρικό κόμβο. Τέτοιου είδους εφαρμογές εγείρουν νέες προκλήσεις καθώς για παράδειγμα η αποστολή δεδομένων από ένα αισθητήρα μπορεί να αποτύχει καθώς ο κεντρικός κόμβος θα είναι απασχολημένος με άλλη λήψη και συνεπώς η αποστολή θα πρέπει να επαναληφτεί καταναλώνοντας επιπλέον ενέργεια. Συγκρινόμενη με την επεξεργασία τοπικά, η αποστολή δεδομένων από

πολλαπλούς σταθμούς, είναι πιθανό να αυξήσει δραματικά την κατανάλωση ενέργειας.

## **4.2 Κύριες Πηγές Κατανάλωσης Ενέργειας στη Προσέγγιση Edge Computing**

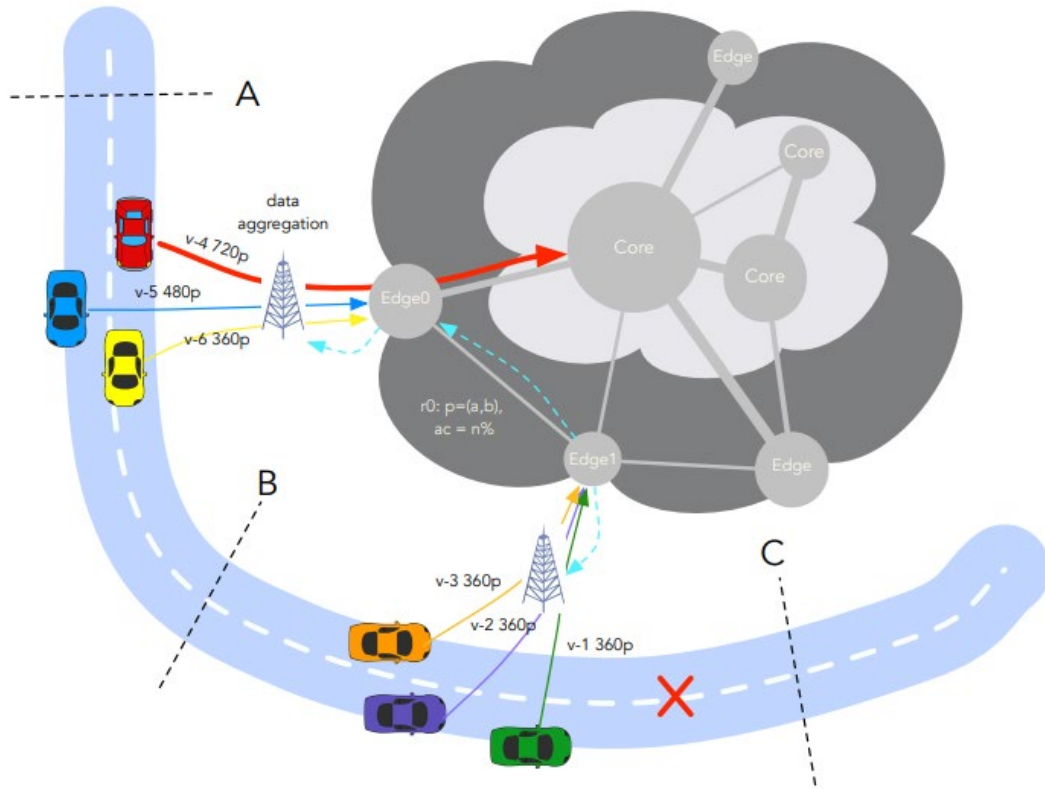
Οι κύριες πηγές κατανάλωσης ενέργειας στην υπολογιστική άκρων έχουν αναφερθεί σε διάφορα σημεία της εργασίας και στη παράγραφο αυτή θα επιχειρηθεί μια συγκέντρωση τους ώστε να μελετηθούν πιο ειδικά. Όπως αναφέρθηκε η κάθε υλοποίηση υπολογιστικής άκρων είναι στοχευόμενη σε συγκεκριμένη εργασία και για το λόγο αυτό τα συστήματα αυτά δεν είναι εύκολο να κατηγοριοποιηθούν ώστε να διευκολυνθεί η μελέτη τους. Οι κυρές πηγές κατανάλωσης ενέργειας μπορούν όμως να ομαδοποιηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες που είναι ο επεξεργαστής και η μετάδοση των δεδομένων. Άλλες πηγές κατανάλωσης που ενδεχομένως να διαθέτει η συσκευή αποτελούν τους διάφορους αισθητήρες που πιθανό να είναι εφοδιασμένη, τα μέσα αποθήκευσης των δεδομένων κ.α. Αυτά όμως αποτελούν θέματα της εφαρμογής και δεν αποτελούν της κύριες πηγές κατανάλωσης ενέργειας.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την ενέργεια που θα καταναλώσει ο επεξεργαστής είναι η ταχύτητα του και ο αριθμός των πυρήνων του. Καθώς αυξάνεται ταχύτητα του αυξάνεται και η κατανάλωση ενέργειας. Χαρακτηριστικό είναι ότι στη πλειονότητα των συσκευών υπολογιστικής άκρου, οι οποίες έχουν περιορισμένη πρόσβαση σε ενέργεια, οι επεξεργαστές τους λειτουργούν σε συχνότητες της τάξης μερικών δεκάδων kHz έως μερικών MHz. Παράλληλα, η ανάγκη μείωσης του μεγέθους των επεξεργαστών έθεσε ένα όριο στην ταχύτητα καθώς η επιπλέον αύξηση της ταχύτητας δημιουργούσε προβλήματα διαχείρισης της θερμότητας που τη συνόδευε. Συνεπώς οι κατασκευαστές, κατά το σχεδιασμό των κυκλωμάτων, βασίζονταν στο νόμο του Μοογεσύμφωνα με τον οποίο η αύξηση του αριθμού των πυρήνων ανά ολοκληρωμένο οδηγεί στη μείωση της συχνότητας του ρολογιού.

Ένας τρίτος, αλλά εξίσου σημαντικός παράγοντας που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας του επεξεργαστή είναι το σύνολο των εντολών του. Τα συστήματα που έχουν πρόσβαση σε ισχυρές πηγές ενέργειας καθώς και τα συστήματα HPC που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη παράγραφο χρησιμοποιούν αρχιτεκτονική τύπου CISC (Complex Instruction Set Computing).

Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική αυτή το υλικό θα είναι πάντα πιο γρήγορο από το λογισμικό και συνεπώς ένα σύνολο εντολών πολλών κύκλων θα αποδίδει περισσότερο, δεδομένου ότι οι επεξεργαστές θα διαθέτουν περισσότερα τρανζίστορ. Η πρακτική αυτή οδηγεί σε μείωση και του όγκου του κώδικα αφού κάθε εντολή είναι πιο σύνθετη ενώ παράλληλα εκτελούνται περισσότερες εντολές ανά κύκλο. Αντίθετα τα συστήματα που θα πρέπει να είναι ενεργειακά αποδοτικά θα πρέπει να χρησιμοποιούν πιο απλές αρχιτεκτονικές και συνεπώς απαιτούν από τους κατασκευαστές την ανάπτυξη αποδοτικότερων και υψηλής απόδοσης επεξεργαστές τύπου RISC (ReducedInstructionSetComputing). Τα συστήματα αυτά έχουν ένα απλό σύνολο εντολών το οποίο αποτελεί σύνθεση βελτιστοποιημένων εντολών οι οποίες εκτελούνται μία ανά κύκλο ρολογιού. Η αρχιτεκτονική προϋποθέτει τη χρήση αρκετών καταχωρητών γενικού σκοπού, όμως οι πολύπλοκες εντολές μπορούν να εκτελεστούν από τον μεταγλωτιστή ελαχιστοποιώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη συμπληρωματικών τρανζίστορ. Η προσέγγιση αυτή οδηγεί στη κατασκευή απλούστερων συστημάτων και ενεργειακά αποδοτικότερων.

Από την πλευρά του δικτύου η ενέργεια που καταναλώνεται συνδέεται με το είδος της εργασίας που εκτελείται. Για τον τομέα αυτό θα εντοπίσει κανείς αρκετές μελέτες στη διεθνή βιβλιογραφία. Μία εξ αυτών [25] υλοποιεί ένα σύστημα ενημέρωσης των οχημάτων για τη κατάσταση της κυκλοφορίας. Πιο συγκεκριμένα τα οχήματα εφοδιάζονται με κάμερες καθώς και εξοπλισμό με κατάλληλο λογισμικό για την ανάλυση των εικόνων αυτών. Οι εικόνες αναλύονται εντός του οχήματος και σε περίπτωση που εντοπιστεί κάποιο εμπόδιο στο δρόμο που θα αποτελέσει κίνδυνο για τους άλλους οδηγούς η συσκευή ενημερώνει τα κοντινά οχήματα. Παράλληλα μπορεί να μεταδίδει και πληροφορίες κίνησης ώστε τα υπόλοιπα οχήματα να αναπροσαρμόζουν την κατεύθυνση τους.



Εικόνα 15: Ο σταθμός που εντοπίζει κίνδυνο ενημερώνει τους υπόλοιπους. Πηγή:researchgate.net

Κατά τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας από τη συσκευή Edge Computing οι προσημειώσεις έγιναν με το λογισμικό NetworkSimulator 3 με το οποίο υπολογίστηκε η κατανάλωση ενέργειας ανά διαφορετική κατάσταση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η ελάχιστη κατανάλωση εντοπίζεται όταν η συσκευή είναι σε κατάσταση αναμονής (Sleepmode) και είναι στα 0.033A ενώ η μέγιστή σε κατάσταση αποστολής δεδομένων στα 0.38 A.

Parameter	Value
Voltage	3.3 V
Idle current	0.273 A
CCA Busy State current	0.273 A
Tx current	0.38 A
Rx current	0.313 A
Channel Switching current	0.273 A
Sleep current	0.033 A

Εικόνα 16: Κατανάλωση ενέργειας δικτύου από συσκευή EdgeComputing. Πηγή : researchgate.net

#### **4.30 σχεδιασμός των απαιτήσεων υλικού καθορίζεται από τη μείωση κατανάλωσης**

Η μείωση της κατανάλωσης ισχύος αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο σχεδιασμό των συστημάτων Edge Computing μιας και όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, τα συστήματα αυτά, στη πλειοψηφία τους δεν διαθέτουν πρόσβαση σε ισχυρές πηγές ενέργειας. Φυσικά το αντικείμενο της εξοικονόμησης ενέργειας δεν απασχολεί μόνο τους σχεδιαστές των συσκευών Edge Computing, αλλά την πλειονότητα των σχεδιαστών, μιας και τα ενεργειακά αποδοτικά συστήματα έχουν πολλαπλά οφέλη.

Η κατανάλωση ενέργειας από ένα σύστημα υπολογίζεται από την ενέργεια που καταναλώνει πολλαπλασιασμένη με το χρονικό διάστημα για το οποίο καταναλώνει. Συνεπώς η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας οδηγεί σε ουσιαστική μείωση μόνο όταν δεν αυξάνει το χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, ένα σύστημα μπορεί να καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από κάποιο άλλο, αλλά αν μπορεί να εκτελέσει μια συγκεκριμένη διεργασία σε μικρότερο χρόνο μπορεί να είναι ενεργειακά αποδοτικότερο. Συνεπώς η ενεργειακή απόδοση ενός συστήματος δεν είναι απαραίτητα συνδεδεμένη με την υλοποίηση καθώς είναι δυνατόν να υπάρχουν υλοποιήσεις πιο ενεργοβόρες οι οποίες όμως να είναι ενεργειακά πιο αποδοτικές αφού ολοκληρώνουν τη διεργασία γρηγορότερα.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος περιλαμβάνει διάφορα αφαιρετικά επίπεδα. Όταν ένα σύστημα σχεδιάζεται με έμφαση στην μείωση της κατανάλωσης ως κεντρικός στόχος, τότε ο σχεδιασμός θα πρέπει να περιλαμβάνει βελτιώσεις σε όλα του τα επίπεδα. Γενικά, υπάρχουν τρία βασικά επίπεδα στα οποία μπορεί να ενσωματωθεί η μείωση της κατανάλωσης, το επίπεδο του συστήματος, της λογικής και το τεχνολογικό. Πιο συγκεκριμένα στο επίπεδο συστήματος θα μπορούσε να προστεθεί η λειτουργία της απενεργοποίησης τμημάτων που δεν είναι απαραίτητα ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας. Στο λογικό επίπεδο θα μπορούσαν να ενταθούν τεχνικές ασύγχρονου σχεδιασμού και τέλος στο τεχνολογικό επίπεδο μπορούν να ενσωματωθούν διάφορες τεχνικές στο σχεδιασμό του ολοκληρωμένου, στη διασύνδεση του με τις λοιπές περιφερειακές συσκευές κλπ.

Δεδομένων των προδιαγραφών του σχεδίου ο σχεδιαστής της αρχιτεκτονικής έχει στη διάθεση του αρκετές επιλογές στα διάφορα επίπεδα του σχεδιασμού. Θα πρέπει να επιλέξει τον κατάλληλο αλγόριθμο, μεταξύ των διαθέσιμων αλγορίθμων, να καταλήξει στην αρχιτεκτονική την οποία θα χρησιμοποιήσει και τέλος να καθορίζει τους διαφόρους παράγοντες του συστήματος όπως την τάση καθώς και τη συχνότητα του επεξεργαστή. Ένας τέτοιος πολυδιάστατος χώρος προσφέρει μια μεγάλη ποικιλία επιλογών και οι επιλογές των πρώτων και υψηλότερων επιπέδων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το αποτέλεσμα. Συνεπώς οι πλέον αποδοτικές επιλογές σχεδιασμού προκύπτουν από τις επιλογές αλγορίθμων αλλά και αρχιτεκτονικών των αρχικών επιπέδων. Μάλιστα, έχει αποδειχθεί από αρκετούς ερευνητές [26] ότι οι αποφάσεις στα επίπεδα του συστήματος αλλά και της λογικής μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη κατανάλωση του συστήματος. Παρόλα αυτά, κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος, δεν είναι εύκολο να προβλεφτεί ο αντίκτυπος αλλά και η αποδοτικότητα των αποφάσεων που λήφθηκαν στα υψηλότερα επίπεδα καθώς οι λεπτομέρειες υλοποιήσεις δεν μπορούν να εκτιμηθούν ή να μοντελοποιηθούν σε άλλα επίπεδα εκτός του τεχνολογικού. Τέλος οι διάφορες τεχνικές μείωσης της ενέργειας που παρέχονται στα χαμηλότερα επίπεδα μπορούν να αποδειχθούν αποδοτικές μόνο στη περίπτωση που στα ανώτερα στρώματα υπάρχει η απαιτούμενη γνώση των τεχνικών αυτών.

#### **4.4 Αδιαπραγμάτευτη προϋπόθεση της υλοποίησης EC η ασφάλεια**

Στην άκρη του δικτύου η ιδιωτικότητα αλλά και η ασφάλεια των δεδομένων αποτελούν τις σημαντικότερες υπηρεσίες που θα πρέπει να παρέχονται. Οι όροι μπορεί εκ πρώτης όψης να φαίνονται όμοιοι στον άπειρο αναγνώστη, στη πραγματικότητα όμως αφορούν διαφορετικά πράγματα. Ο όρος ιδιωτικότητα των δεδομένων αναφέρεται στο δικαίωμα ενός ατόμου (ή μιας ομάδας ατόμων) να αποφασίζουν για το αν τρίτο πρόσωπο (ή οργανισμός ) θα έχει πρόσβαση στα δεδομένα τους. Το δικαίωμα αυτό έχει αναγνωριστεί ως θεμελιώδες ανθρώπινο δικαίωμα και στις δημοκρατικές κοινωνίες θα πρέπει να προστατεύεται. Αντίθετα ο όρος ασφάλεια των δεδομένων περιλαμβάνει όλες αυτές τις ενέργειες που έχουν

σαν στόχο την προστασία των δεδομένων από απώλεια, μη εξουσιοδοτημένη αλλαγή, ή διαγραφή τους.

Στη περίπτωση της υπολογιστικής άκρων, οι έννοιες αυτές αποκτούν ιδιαίτερο νόημα. Για να γίνει αυτό καλύτερα αντιληπτό από τον αναγνώστη θα μπορούσε στο σημείο αυτό να παρουσιαστεί ένα παράδειγμα εφαρμογής έξυπνου σπιτιού. Το σπίτι, το οποίο αποτελεί πηγή ιδιαίτερα ευαίσθητων δεδομένων, θα μπορούσε να πλαισιωθεί με κάμερες, διάφορους αισθητήρες, μετρητές διαφόρων ποσών (όπως ενέργειας ή νερού), ενεργοποιητές καθώς και πληθώρα άλλων συσκευών IoT. Τα δεδομένα που παράγουν οι συσκευές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλούς σκοπούς και συνεπώς θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για τη διαχείριση τους.

Διάφορες προσεγγίσεις έχουν κατά καιρούς προταθεί για την αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτών. Μία πρόταση είναι να αφαιρούνται τα ευαίσθητα δεδομένα από τη μεταφορά και στο δίκτυο να μεταφέρονται μόνο δεδομένα που δεν μπορούν να προκαλέσουν βλάβη. Η σκέψη αυτή φαίνεται αποδοτική εκ πρώτης όψεως, όμως η κατηγοριοποίηση των δεδομένων σε ευαίσθητα και όχι δεν αποτελεί μια εύκολη διαδικασία. Για παράδειγμα οι ενδείξεις κατανάλωσης ενέργειας, οι οποίες αποτελούν σημαντικό στοιχείο στη διαχείριση ενέργειας ενός έξυπνου σπιτιού, μπορούν, αφού πρώτα υποβληθούν σε κάποια επεξεργασία, να μετατραπούν σε μη ευαίσθητα δεδομένα και να αποσταλούν μέσω δικτύου. Από τα δεδομένα αυτά όμως εύκολα μπορεί κανείς να καταλάβει αν το σπίτι κατοικείται ή όχι και να προβεί ενδεχομένως σε κακόβουλες ή εγκληματικές ενέργειες. Από την άλλη η διατήρηση των δεδομένων στη πηγή και η επεξεργασία τους εκεί ενδεχομένως να αποτελεί μια ιδανικότερη προσέγγιση. Συνεπώς η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα των δεδομένων που δημιουργούνται στην υπολογιστική άκρου είναι ένας τομέας που εμπεριέχει αρκετές προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπισθούν.

Το πρώτο και βασικότερο θέμα που θα πρέπει να αντιμετωπισθεί είναι να ενημερωθεί το κοινό για το πρόβλημα και να κατευθυνθεί ώστε να λάβει τα κατάλληλα μέτρα για να προστατευθεί. Το δίκτυο Wi-Fi του σπιτιού αποτελεί ένα πρώτο βήμα προς τη κατεύθυνση αυτή. Μελέτες [23] έχουν δείξει ότι το 49% των οικιακών Wi-Fi δικτύων δεν είναι ασφαλή και το 80% δεν έχει αλλάξει τον εργοστασιακό κωδικό ασφαλείας του δρομολογητή. Τα δημόσια Wi-Fi δίκτυα από την άλλη πλευρά είναι κατά 89% μη ασφαλή. Συνεπώς το σύνολο των δομών του

δικτύου (πάροχοι υπηρεσιών, προγραμματιστές εφαρμογών, διαχειριστές υποδομών καθώς και ο τελικός χρήστης) θα πρέπει να λάβουν υπόψη ότι η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα των δεδομένων του χρήστη βρίσκεται σε κίνδυνο αν δεν ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα στην υπολογιστική άκρου. Για παράδειγμα μια κάμερα τύπου IP, μια συσκευή παρακολούθησης υγείας, ή ακόμα και κάποιο αθώο παιχνίδι που διαθέτει σύνδεση Wi-Fi, θα μπορούσε να αποτελέσει πύλη εισόδου κάποιου τρίτου και να του επιτρέψει με τον τρόπο αυτό πρόσβαση στα δεδομένα.

Το δεύτερο ζήτημα αποτελεί η ιδιοκτησία των δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές στην υπολογιστική άκρων. Για παράδειγμα, τα δεδομένα που παράγονται από τις εφαρμογές των έξυπνων κινητών τηλεφώνων, αποθηκεύονται και αναλύονται από τον πάροχο της υπηρεσίας. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την τοπική αποθήκευση στη συσκευή και επεξεργασία από αυτή καθώς επιτρέπει να διατηρούνται τα δεδομένα ακόμα και σε περιπτώσεις αντικατάστασης της συσκευής. Αν τα δεδομένα διατηρούνταν μόνο στη συσκευή η απώλεια της συσκευής ή η καταστροφή της, θα σήμαινε και την καταστροφή των δεδομένων. Η μεταφορά και διατήρηση όμως των δεδομένων στον υπολογιστή του παρόχου βελτιώνει σημαντικά την ασφάλεια τους. Από την άλλη πλευρά, η διατήρηση τους στη συσκευή του χρήστη καθιστά τον χρήστη αποκλειστικό ιδιοκτήτη των δεδομένων αυτών. Συνεπώς, όπως γίνεται με τα δεδομένα υγείας, όπου τα δεδομένα παραμένουν στο χρήστη και όχι στο πάροχο, θα πρέπει να γίνεται και με τα υπόλοιπα δεδομένα που παράγονται από την δομή. Στη περίπτωση που κάποιος τρίτος απαιτηθεί να αποκτήσει πρόσβαση σε αυτά θα πρέπει, κατά τη διαδικασία της αυθεντικοποίησης του, να αποκρύπτονται τα δεδομένα που χαρακτηρίζονται ευαίσθητα. Τέλος στην υπολογιστική δομή θα πρέπει να μεταφερθούν και οι λειτουργίες που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια των δεδομένων, που μέχρι πρότινος εκτελούνταν στον πάροχο, ώστε να εξασφαλίζεται ότι τα δεδομένα δεν θα χαθούν σε περίπτωση αστοχίας.

Τρίτο και εξίσου σημαντικό ζήτημα που απαιτεί την προσοχή των ερευνητών αποτελεί η έλλειψη αποδοτικών αλλά και αποτελεσματικών εργαλείων προστασίας της ιδιωτικότητας αλλά και της ασφάλειας των δεδομένων στο άκρο. Στο πέρασμα των χρόνων έχουν γίνει αρκετά βήματα στο τομέα αυτό με έμφαση όμως στο υπολογιστές γραφείου αλλά και εξυπηρετητές. Ποιο συγκεκριμένα, υπάρχουν



αρκετές εταιρίες στο χώρο που παράγουν προϊόντα υψηλής ποιότητας τα οποία χρησιμοποιούν την πλειονότητα των μέσων που διατίθενται (τεχνικές μηχανικής μάθησης, εξελιγμένους αλγόριθμους ταξινόμησης – ομαδοποίησης) με αποτέλεσμα να είναι σε θέση να διακρίνουν μια απειλή και να την αντιμετωπίσουν ικανοποιητικά. Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια, με την έκρηξη των έξυπνων κινητών τηλεφώνων, έχουν γίνει αρκετά βήματα και στο τομέα αυτό είτε από λογισμικό εγκατεστημένο στη συσκευή του έξυπνου κινητού τηλεφώνου αλλά και από τους παρόχους που έχουν πλέον την ικανότητα να παρακολουθούν το σύνολο των δεδομένων που διακινούνται και να λαμβάνουν δράσεις όταν αυτό απαιτείται.

Οι συσκευές που αναφέρθηκαν όμως δεν αποτελούν αντιπροσωπευτικό παράδειγμα των συσκευών του άκρου. Οι συσκευές αυτές έχουν κατά βάση, άμεση πρόσβαση σε ισχυρές πηγές ενέργειας και διαθέτουν περίσσεια πόρων όπως υπολογιστική ισχύς, αποθηκευτικούς χώρους και εύρος ζώνης. Η περίσσεια όμως αυτή δεν εμφανίζεται στους υπολογιστές άκρου οι οποίοι, όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, διαθέτουν ιδιαίτερα περιορισμένους πόρους και από πλευράς ενέργειας και υπολογιστικής ισχύος αλλά και εύρους ζώνης. Συνεπώς η ανάπτυξη ικανοποιητικών εργαλείων για το σκοπό αυτό αποτελεί μια ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία. Τα εργαλεία αυτά, στη πλειονότητα τους χαρακτηρίζονται από τις υψηλές απαιτήσεις τους σε υπολογιστική ισχύ αλλά και σε ενέργεια αφού για κάθε ενέργεια που γίνεται στη συσκευή, το εργαλείο θα πρέπει να την συγκρίνει με άλλες ενέργειες ώστε να συμπεράνει αν είναι κακόβουλη ή όχι.

Παράλληλα, το γεγονός ότι στη πλειονότητα τους, οι συσκευές άκρου, είναι σχεδιασμένες για ειδικούς σκοπούς που έχουν να κάνουν με την εφαρμογή έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται συσκευές οι οποίες διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό καθιστά πρακτικά αδύνατη τη δημιουργία ενός εργαλείου – λογισμικού που θα μπορεί να εκτελείται στις συσκευές αυτές. Το φαινόμενο αυτό προφανώς δεν εντοπίζεται στους υπολογιστές ή στις έξυπνες συσκευές τηλεφώνων μιας και οι συσκευές αυτές μεταξύ τους πληρούν τις προδιαγραφές που απαιτούν οι εφαρμογές αυτού του τύπου.

Η διαφορετικότητα αυτή δεν χαρακτηρίζει μόνο τις συσκευές αλλά, όπως εύκολα αντιλαμβάνεται ο αναγνώστης αφορά και τα ίδια τα δεδομένα που παράγονται, αφού διαφορετικές συσκευές παράγουν αντίστοιχα διαφορετικά

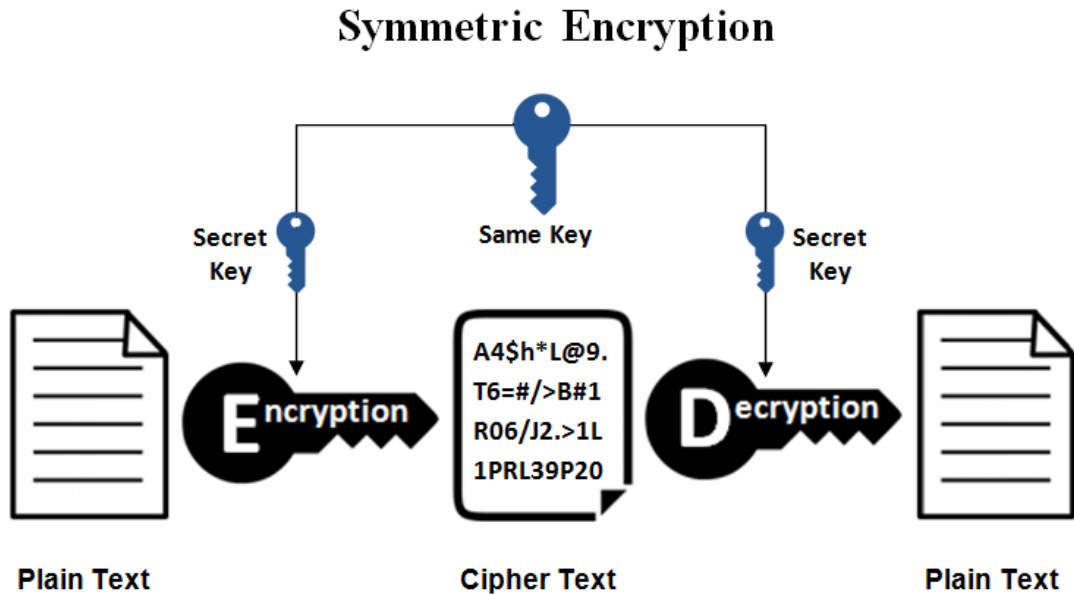
δεδομένα. Πράγματι τα δεδομένα που παράγει μια κάμερα και ένας αισθητήρας κατανάλωσης ενέργειας, για παράδειγμα, δεν είναι εύκολο να ομαδοποιηθούν και να ελεγχθούν από το ίδιο εργαλείο. Πιο συγκεκριμένα η ευρεία διαφορετικότητα που χαρακτηρίζει το δίκτυο της υπολογιστικής άκρων το καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτο σε επιθέσεις και δύσκολο να προστατευθεί. Η πλατφόρμα OpenmHealth [24] προτείνει την μοντελοποίηση των δεδομένων υγείας και ακολούθως την αποθήκευσή τους σε μια προσπάθεια να ομαδοποιηθούν και να γίνει εφικτή η ανάπτυξη εργαλείων που θα μπορούν να τα προστατέψουν. Είναι προφανές όμως ότι ο χώρος χρειάζεται την εντονότερη προσοχή των ερευνητών ώστε να διερευνηθούν περισσότερες δυνατότητες για την προστασία των ευαίσθητων δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές του άκρου.

#### **4.5 Επίλυση του προβλήματος της ασφάλειας μέσω κρυπτογράφησης επικοινωνίας**

Η κρυπτογραφία είναι ένας από του δύο κλάδους της κρυπτολογίας η οποία περιλαμβάνει και την κρυπτανάλυση και στόχος της είναι η διερεύνηση των τεχνικών με τις οποίες μπορεί να αποκρυφτεί το περιεχόμενο ενός μηνύματος. Η απόκρυψη αυτή επιτυγχάνεται με τη μετατροπή του κειμένου του μηνύματος από απλό κείμενο σε ένα κρυπτογραφημένο και συνεπώς μη κατανοητό μήνυμα από οποιοδήποτε τρίτο. Ο αποδέκτης του μηνύματος έχει τη δυνατότητα να αποκρυπτογραφήσει το κείμενο και να το διαβάσει με τη χρήση κάποιου κλειδιού, ανάλογα με το είδος της κρυπτογράφησης. Μέσω της διαδικασίας αυτής επιτυγχάνεται πρώτον η εμπιστευτικότητα των δεδομένων, με την έννοια ότι τα δεδομένα που αποστέλλονται είναι προσβάσιμα μόνο από τα εξουσιοδοτημένα για το σκοπό αυτό άτομα. Παράλληλα επιτυγχάνεται και η ακεραιότητα των δεδομένων αφού αυτά δεν είναι δυνατόν να τροποποιηθούν χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό. Η μη απάρνηση των δεδομένων αποτελεί άλλη μια λειτουργία καθώς ο αποστολέας των δεδομένων δεν μπορεί να αρνηθεί ότι εκείνος έστειλε τα δεδομένα αυτά. Τέλος παρέχεται και η διαδικασία της πιστοποίησης καθώς όλες οι πλευρές που συμμετάσχουν στην επικοινωνία μπορούν να ταυτοποιηθούν.

Η διαδικασία της κρυπτογράφησης και από κρυπτογράφησης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια διαφόρων αλγορίθμων. Οι πλέον απλούστεροι ονομάζονται συμμετρικοί και χρησιμοποιούν το ίδιο κλειδί για την κρυπτογράφηση αλλά και αποκρυπτογράφηση. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει πλεονεκτήματα όσο αφορά τις

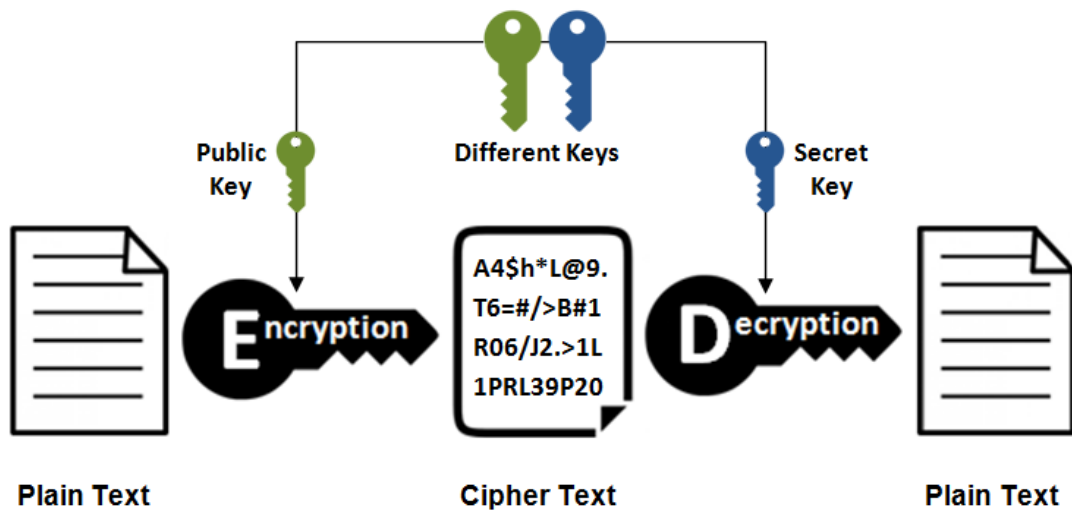
απαιτήσεις της σε υπολογιστικούς πόρους αλλά και αδυναμίες όπως τον μεγάλο αριθμό κλειδιών για πολλούς χρήστες καθώς και το ζήτημα της μεταφοράς τους.



Εικόνα 17: Συμμετρική Κρυπτογραφία. Πηγή: [www.websiterating.com](http://www.websiterating.com)

Τις αδυναμίες αυτές, με κόστος όμως σε υπολογιστικούς πόρους έρχεται να αντιμετωπίσει η ασύμμετρη κρυπτογραφία. Οι αλγόριθμοι της ομάδας αυτής βασίζονται στην ύπαρξη δύο κλειδιών για την κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα ο κάθε χρήστης έχει στη κατοχή του ένα δημόσιο και ένα ιδιωτικό κλειδί. Το δημόσιο είναι ευρέως γνωστό ενώ το ιδιωτικό το γνωρίζει μόνο ο ίδιος. Η διαδικασία της κρυπτογράφησης ολοκληρώνεται με την κρυπτογράφηση του μηνύματος χρησιμοποιώντας το δημόσιο κλειδί του παραλήπτη, το οποίο είναι γνωστό. Ακολουθώντας το μήνυμα αποστέλλεται στο δίκτυο, ο παραλήπτης το λαμβάνει και με το ιδιωτικό του κλειδί το αποκρυπτογραφεί.

## Asymmetric Encryption



Εικόνα 18: Ασύμμετρη Κρυπτογραφία. Πηγή: [www.websiterating.com](http://www.websiterating.com)

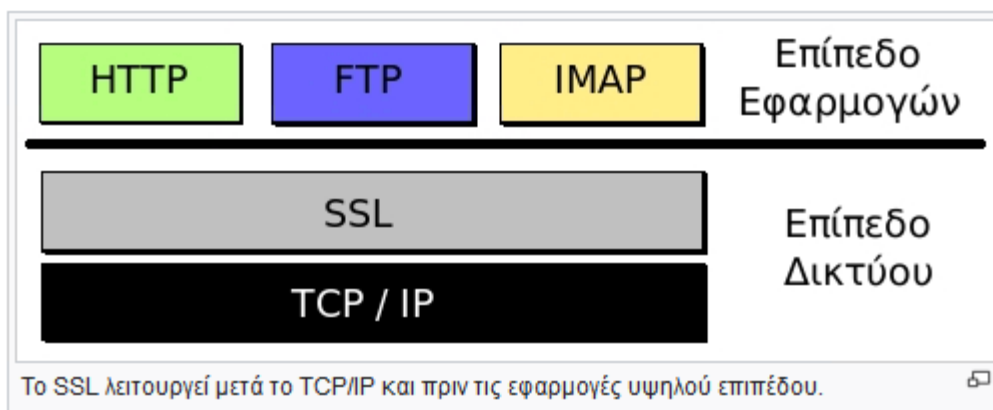
Οι συναρτήσεις κατακερματισμού αποτελούν μια τρίτη ομάδα μεθόδων κρυπτογράφησης οι οποίες χρησιμοποιούνται περισσότερο κατά την αυθεντικοποίηση των χρηστών και όχι τόσο κατά τη μεταφορά μηνυμάτων. Οι συναρτήσεις αυτές έχουν σαν χαρακτηριστικό ότι λαμβάνουν δεδομένα μεταβλητού μήκους στην είσοδο τους και στη έξοδο παράγουν δεδομένα συγκεκριμένου μήκους. Τα ίδια δεδομένα στην είσοδο θα παράγουν πάντα τα ίδια δεδομένα στην έξοδο, ενώ η διαδικασία δεν είναι δυνατόν να αντιστραφεί. Δηλαδή από τα δεδομένα εξόδου δεν μπορούν να παραχθούν τα δεδομένα εισόδου. Με τον τρόπο αυτό μια εφαρμογή μπορεί να αποθηκεύει το κωδικό του χρήστη σε μια βάση δεδομένων αφού πρώτα τον περάσει από μια συνάρτηση κατακερματισμού. Στη συνέχεια, προκειμένου να πιστοποιήσει το χρήστη θα συγκρίνει τον κωδικό που εισήγαγε στο σύστημα, αφού τον περάσει από την ίδια συνάρτηση, με το κείμενο που έχει στη βάση. Αν τα δύο ταυτίζονται πρόκειται για τον ίδιο χρήστη και ο κωδικός του δεν είναι δυνατόν να εντοπισθεί ούτε από τον διαχειριστή της βάσης που έχει πρόσβαση στα δεδομένα.

Πέρα από τις παραδοσιακές μεθόδους υπάρχουν και οι υβριδικές οι οποίες συνδυάζουν διαφορετικές μεθόδους ώστε να δημιουργηθεί ένας μηχανισμός που θα περιέχει τα πλεονεκτήματα των συμπεριλαμβανομένων μεθόδων. Για παράδειγμα μια μέθοδος χρησιμοποιεί την ασύμμετρη κρυπτογράφηση για να κρυπτογραφήσει το συμμετρικό κλειδί μιας επικοινωνίας και με τον τρόπο αυτό

εξοικονομεί τους πόρους που θα απαιτούνταν για τη κρυπτογράφηση του συνόλου της επικοινωνίας ασύμμετρα ενώ παράλληλα αντιμετωπίζει το πρόβλημα της μεταφοράς του συμμετρικού κλειδιού.

Οι συσκευές υπολογιστικής άκρης, για την διασφάλιση των δεδομένων που διακινούν μέσω δικτύου βασίζονται στις παραδοσιακές τεχνικές και ποιο συγκεκριμένα, ανάλογα με την εφαρμογή επιλέγουν μεταξύ των πρωτοκόλλων SSL (SecureSocketsLayer), TLS (TransportLayerSecurity), SSH (SecureShellProtocol) αλλά και τη δημιουργία Εικονικών Ιδιωτικών Δικτύων (VirtualPrivateNetworks) για τη μετάδοση των δεδομένων τους.

Το SSL αποτελεί ένα από τα πρώτα εμπορικά πρωτόκολλα που βρήκε μεγάλη απήχηση, ειδικότερα η έκδοση 3.0 που κυκλοφόρησε το 1996 από την εταιρία Netscape. Το πρωτόκολλο λειτουργεί στο επίπεδο δικτύου της στοίβας πρωτοκόλλων OSI, λαμβάνει τα δεδομένα από τα υψηλότερα επίπεδα, τα κρυπτογραφεί και ακολούθως τα προωθεί στο επόμενο επίπεδο, στο TCP/IP ώστε να τα μεταδώσει.



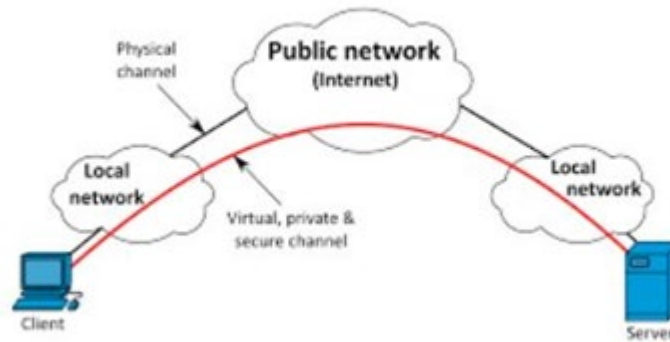
Εικόνα 19: Το SSL στη στοίβα πρωτοκόλλων. Πηγή: wikipedia

Για την κρυπτογράφηση των δεδομένων το πρωτόκολλο βασίζεται στην υβριδική κρυπτογράφηση και ποιο συγκεκριμένα σε ένα συνδυασμό κρυπτογράφησης δημοσίου και συμμετρικού κλειδιού. Η επικοινωνία μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη αποτελείται από διάφορα στάδια όπου στο πρώτο ανταλλάσσονται κάποια μηνύματα που αφορούν τις λεπτομέρειες της επικοινωνίας καθώς και την ταυτότητα των συναλλασσόμενων μερών. Λεπτομέρειες αυτού του τύπου περιλαμβάνουν την έκδοση του SSL που υποστηρίζουν, τα πρωτόκολλα κρυπτογράφησης που επίσης υποστηρίζουν και τα ψηφιακά πιστοποιητικά που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση της

ταυτότητας. Στη συνέχεια ο αποστολέας δημιουργεί ένα συμμετρικό κλειδί και το κρυπτογραφεί με το δημόσιο κλειδί του παραλήπτη το οποίο περιλαμβάνεται στο πιστοποιητικό του. Ακολούθως το αποστέλλει και πλέον η κρυπτογραφημένη επικοινωνία μπορεί να ξεκινήσει. Η όλη αυτή διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται επιπλέον κίνηση στο δίκτυο μιας και απαιτούνται επιπλέον μηνύματα κατά την εγκαθίδρυση της επικοινωνίας αλλά και το μέγεθος των κρυπτογραφημένων μηνυμάτων είναι μεγαλύτερο από το αρχικό. Επιπλέον η διαδικασία της κρυπτογράφησης έχει αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους.

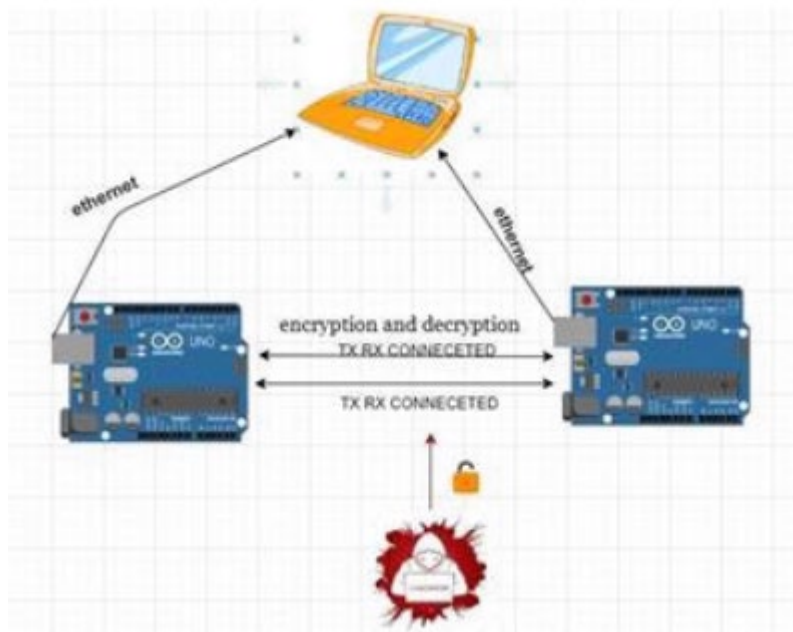
Ο αντικαταστάτης του παρωχημένου πλέον SSL αποτελεί το TLS, το οποίο προτάθηκε από τον οργανισμό InternetEngineeringTaskForce το 1999 και πλέον βρίσκεται στην έκδοση 1.3. Το πρωτόκολλο είναι λειτουργεί με όμοιο τρόπο όπως και ο προκάτοχος του SSL. Τοποθετείται και αυτό στο επίπεδο εφαρμογών της στοίβας πρωτοκόλλων OSI, παραλαμβάνει τα δεδομένα από το προηγούμενο επίπεδο, τα κρυπτογραφεί και τα αποστέλλει στο επόμενο TCP/IP. Για την εγκαθίδρυση της επικοινωνίας ανταλλάσσονται αρχικά μηνύματα που περιέχουν τις διάφορες λεπτομέρειες της επικοινωνίας και ακολούθως η επικοινωνία κρυπτογραφείται. Για την κρυπτογράφηση χρησιμοποιεί και αυτό συνδυασμό ασύμμετρης με συμμετρική κρυπτογραφία.

Μια τεχνική διασφάλισης της επικοινωνίας που έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα επιτυχημένη αποτελούν τα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα, τα οποία έκαναν την εμφάνισή τους το 1999. Μέσω της τεχνολογίας αυτής είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ένα κλειστό δίκτυο το οποίο θα επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ συγκεκριμένων μελών. Το δίκτυο αυτό δημιουργείται με την καθίδρυση εικονικών συνδέσεων τύπου σημείο προς σημείο ( virtualPointtoPointConnections) χρησιμοποιώντας όμως τις κοινόχρηστες δομές του δικτύου. Οι κόμβοι που συνδέονται στο δίκτυο δεν αντιλαμβάνονται ότι επικοινωνούν μέσω των κόμβων του δικτύου αλλά σαν να ήταν απευθείας συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Εντός του δικτύου τα δεδομένα μπορούν να κρυπτογραφηθούν με τη βοήθεια διαφόρων πρωτοκόλλων όπως του IPSec, του IKE καθώς και άλλων.



Εικόνα 20: Εικονικό Ιδιωτικό Δίκτυο. Πηγή: itianworld.com

Για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που δημιουργούν οι περιορισμένοι πόροι που διαθέτουν οι συσκευές άκρων έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις κατά καιρούς. Η πλέον επικρατέστερη δείχνει αυτή που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό μοντέλο [27] όπου οι διάφοροι σταθμοί αποστέλλουν τα δεδομένα που παράγουν σε μια ισχυρότερη δομή του δικτύου η οποία βρίσκεται σε κοντινή απόσταση. Τα δεδομένα αποστέλλονται από τους επιμέρους σταθμούς μη κρυπτογραφημένα και η ισχυρή δομή αναλαμβάνει να τα κρυπτογραφήσει και να τα αποστείλει στο δίκτυο.



Εικόνα 21: Κρυπτογράφηση δεδομένων EdgeComputing. Πηγή: dergipark.org.tr

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.1 Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση της τεχνολογίας υπολογιστικής άκρου. Για το λόγο αυτό η εργασία ξεκινά με μια παρουσίαση των βασικών εννοιών της τεχνολογίας, τα πλεονεκτήματα που έχει να προσφέρει καθώς και τη σχέση της με την τεχνολογία του διαδικτύου των πραγμάτων. Ακολούθως, στο επόμενο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται βασικοί τομείς όπου η τεχνολογία βρίσκει εφαρμογές. Τέλος, στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται διάφορα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας όπως οι αισθητήρες, η αρχιτεκτονική της καθώς και θέματα ασφάλειας των δεδομένων.

Από την εργασία αυτή ο αναγνώστης θα μπορεί πλέον να κατανοήσει το ρόλο που η τεχνολογία μπορεί να επιτελέσει στη καθημερινότητα της ανθρωπότητας καθώς και τη σημαντικότητα αυτής. Η υπολογιστική άκρων έρχεται να συμπληρώσει τις τεχνολογίες υπολογιστικής νέφους και διαδίκτυο των πραγμάτων γεφυρώνοντας τα κενά που υπάρχουν ανάμεσα τους, καθώς και να αντιμετωπίσει σημαντικά τις αδυναμίες τους. Μέριμνα όμως θα πρέπει να ληφθεί ώστε να προστατευτούν τα ευαίσθητα δεδομένα του ατόμου, πράγμα που σημαίνει ότι στο χώρο υπάρχουν θέματα που χρίζουν την προσοχή των ερευνητών.



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] The Future of Edge Computing. (2020). Freshconsulting.com.  
<https://www.freshconsulting.com/wp-content/uploads/2019/08/The-Future-of-Edge-Computing.pdf>.
- [2] Wikipedia contributors. (2020, November 9). Edge computing. Wikipedia.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Edge\\_computing](https://en.wikipedia.org/wiki/Edge_computing)
- [3] NCTA, “Behind The Numbers: Growth in the Internet of Things, Aug. 2015. [Online]. Available: <https://www.ncta.com/whats-new/behind-the-numbers-growth-in-the-internet-of-things-2>.
- [4] D. Evans, “The Internet of Things: How the next evolution of the Internet is changing everything,” Apr. 2011. [Online]. Available: [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL).
- [5] V. Gezer, J. Um, and M. Ruskowski, “An Extensible Edge Computing Architecture: Definition, Requirements and Enablers,” in Proc. UBIComm-2017, Barcelona, Spain, 2017.
- [6] Shi, W.; Dustdar, S. The promise of edge computing. Computer 2016, 49, 78–81.
- [7] Tang, B., Chen, Z., Hefferman, G., Pei, S., Wei, T., He, H. and Yang, Q., 2017. Incorporating intelligence in fog computing for big data analysis in smart cities. IEEE, Transactions on Industrial Informatics, vol. 13, no. 5, pp. 2140-2150, October 2017.
- [8] Yu, W., Liang, F., He, X., Hatcher, W.D., Lu, C., Lin, J. and Yang, X., 2017. A Survey on the Edge Computing for the Internet of Things, IEEE, vol. 6, pp. 6900-6919, November 2017.
- [9] M.J. O'Grady, D. Langton, G.M.P. O'Hare, Edge computing: A tractable model for smart agriculture, Artificial Intelligence in Agriculture, Volume 3, 2019, Pages 42-51, ISSN 2589-7217.
- [10] Hartmann, Morghan & Hashmi, Umair & Imran, Ali. (2019). Edge computing in smart health care systems: Review, challenges, and research directions. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. 10.1002/ett.3710.
- [11] Rita Tse, Davide Aguiari, Ka-Seng Chou, Su-Kit Tang, Daniele Giusto, and Giovanni Pau. 2018. Monitoring cultural heritage buildings via low-cost edge computing/sensing platforms: the Biblioteca Joanina de Coimbra case study. In Proceedings of the 4th EAI International Conference on Smart Objects and

Technologies for Social Good (Goodtechs '18). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 148–152.  
DOI:<https://doi.org/10.1145/3284869.3284876>

- [12] Cisco, C. V. N. I. (2015). Global Mobile Data Traffic Forecast Update. 2014–2019 (white paper).
- [13] Patel, M., Naughton, B., Chan, C., Sprecher, N., Abeta, S., & Neal, A. (2014). Mobile-Edge Computing Introductory Technical White Paper. White Paper, Mobile-edge Computing (MEC) industry initiative.
- [14] S. Zemouri, D. Magoni, A. Zemouri, Y. Gkoufas, K. Katrinis and J. Murphy, "An Edge Computing Approach to Explore Indoor Environmental Sensor Data for Occupancy Measurement in Office Spaces," 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), 2018, pp. 1-8, doi: 10.1109/ISC2.2018.8656753
- [15] Α. Πετρόπουλος. 2011. Τεχνολογία των αισθητήρων. ΤΕΙΑθήνας.
- [16] Smith, C. (1954), "Piezoresistive effects in silicon and germanium", Physical Review, Vol. 94 No. 1.
- [17] Bogue, Robert. (2007). MEMS sensors: Past present and future. Sensor Review - SENS REV. 27. 7-13. 10.1108/02602280710729068.
- [18] C. J. Deepu, C. -H. Heng and Y. Lian, "A Hybrid Data Compression Scheme for Power Reduction in Wireless Sensors for IoT," in IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, vol. 11, no. 2, pp. 245-254, April 2017, doi: 10.1109/TBCAS.2016.2591923.
- [19] A. Pullini, D. Rossi, I. Loi, G. Tagliavini and L. Benini, "Mr.Wolf: An Energy-Precision Scalable Parallel Ultra Low Power SoC for IoT Edge Processing," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 54, no. 7, pp. 1970-1981, July 2019, doi: 10.1109/JSSC.2019.2912307.
- [20] <https://pulp-platform.org/projectinfo>
- [21] F. Conti, D. Rossi, A. Pullini, I. Loi and L. Benini, "Energy-efficient vision on the PULP platform for ultra-low power parallel computing," 2014 IEEE Workshop on Signal Processing Systems (SiPS), 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/SiPS.2014.6986099
- [22] Dodd, J.A.L.D.. "The application of high performance computing in rock art documentation and research." (2018).

- [23]**W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li and L. Xu, "Edge Computing: Vision and Challenges," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637-646, Oct. 2016, doi: 10.1109/JIOT.2016.2579198
- [24]**Open mhealthplatform, [www.openmhealth.org](http://www.openmhealth.org)
- [25]**Li, Yunbo & Orgerie, Anne-Cécile & Rodero, Ivan & Amersho, Betsegaw Lemma & Parashar, Manish & Menaud, Jean-Marc. (2017). End-to-end Energy Models for Edge Cloud-based IoT Platforms: Application to Data Stream Analysis in IoT. *Future Generation Computer Systems*. 87. 10.1016/j.future.2017.12.048.
- [26]**Sheng S., Chandrakasan A., Brodersen R.W.: "A Portable Multimedia Terminal", *IEEE Communications Magazine*, pp. 64-75, vol. 30, no. 12, Dec., 1992.
- [27]**Beyda N., Kars, "Edge Computing Security with an IoT device", *Journal of Emerging Computer Technologies*, 2021.