

INTERNET OF THINGS

Πάνος Φιτσιλής

Contents

9. Το διαδίκτυο των αντικειμένων	2
9.1. Το διαδίκτυο των αντικειμένων	3
9.1.1. Οι προκλήσεις του IoT	5
9.2. Τα έξυπνα αντικείμενα	8
9.3. Η αρχιτεκτονική του IoT	13
9.2.1. Επικοινωνία έξυπνων συσκευών	18
9.4. Οι τεχνολογίες του IoT	22
9.4.1. Ταυτοποίηση των αντικειμένων	23
9.4.2. Αισθητήρες	27
9.4.3. Ενεργοποιητές	33
9.4.4. Έξυπνοι μορφοτροπέες	34
9.4.5. Συστήματα ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFIDs)	35
9.4.6. Τεχνολογίες διασύνδεσης συσκευών στο δίκτυο IoT	37
9.5. Σχεδιασμός και πρωτοτυποποίηση εφαρμογών IoT	41
9.5.1. Η πλατφόρμα Arduino	41
9.5.2. Η πλατφόρμα Raspberry Pi	43
9.6. Εφαρμογές IoT	44
9.7. Η Βιομηχανία 4.0.	47
9.7.1. Αρχιτεκτονική αναφοράς για τη Βιομηχανία 4.0	49
9.7.2. Βασικές τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0	50
Βιβλιογραφία/Αναφορές	59
Ερωτήσεις ανακεφαλαίωσης, συζήτησης και αναζήτησης	61
Ερώτηση 1	61
Απάντηση/Λύση	61
Ερώτηση 2	61
Απάντηση/Λύση	61
Ερώτηση 3	62
Απάντηση/Λύση	62
Ερώτηση 4	63
Απάντηση/Λύση	63
Ερώτηση 5	64
Απάντηση/Λύση	65
Ερώτηση 6	65
Απάντηση/Λύση	65
Ερώτηση 7	66
Απάντηση/Λύση	67
Ερώτηση 8	68
Απάντηση/Λύση	68
Ερώτηση 9	68

DRAFT

9. Το διαδίκτυο των αντικειμένων

Σύνοψη

Το διαδίκτυο των αντικειμένων ή το *Internet of Things (IoT)* είναι μια από τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της πληροφορικής, αφού οδηγεί σε σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές αλλαγές. Στο IoT τα καταναλωτικά προϊόντα, τα μέσα μεταφοράς, οι αισθητήρες και άλλα καθημερινά αντικείμενα συνδέονται με άμεσο τρόπο, μέσω του διαδικτύου, σε ένα ενιαίο πληροφοριακό σύστημα, το οποίο μεταβάλλει τον τρόπο εργασίας μας αλλά και την καθημερινή μας ζωή. Οι προβλέψεις για τον αντίκτυπο του IoT στο Διαδίκτυο και στην οικονομία είναι εντυπωσιακές.

Η νέα αυτή δυνατότητα, δηλαδή η διασύνδεση όλων των αντικειμένων σε ένα ενιαίο πληροφοριακό σύνολο, δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις σε τεχνικό, επιχειρηματικό και κοινωνικό επίπεδο, όπως για παράδειγμα: α) στην ανάπτυξη τεχνικών λύσεων για τη διασύνδεση των συσκευών καθώς και προτύπων για τη συμβατότητα αυτών, β) στη διασφάλιση της ασφάλειας των συστημάτων IoT και της ιδιωτικότητας των χρηστών, γ) στην ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων κ.λπ.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε αναλυτικά τις βασικές έννοιες, την τεχνολογία, τις εφαρμογές του IoT, καθώς και τις προκλήσεις που θέτει η νέα αυτή τεχνολογία-προσέγγιση. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο δύο σημαντικές κατηγορίες εφαρμογών, και πιο συγκεκριμένα αυτή του βιομηχανικού IoT (Industry 4.0).

Προαπαιτούμενη γνώση

Το κεφάλαιο απαιτεί κατανόηση των βασικών αρχών λειτουργίας των πληροφοριακών επιχειρήσεων, της τεχνολογίας λογισμικού, καθώς και του τρόπου που οι νέες τεχνολογίες εντάσσονται στις επιχειρήσεις ώστε να μπορούν να καινοτομήσουν παράγοντας νέα προϊόντα ή παρέχοντας νέες προηγμένες υπηρεσίες.

Στόχοι του κεφαλαίου

Αφού θα έχετε ολοκληρώσει τη μελέτη αυτού του κεφαλαίου θα μπορείτε:

1. Να γνωρίζετε τα συστήματα IoT καθώς και τις προκλήσεις που αυτά θέτουν.
2. Να κατανοείτε τις έννοιες και τη δομή των έξυπνων αντικειμένων, των αισθητήρων, των ενεργοποιητών, των μορφοτροπέων, καθώς και των RFID.
3. Να κατανοείτε τη δομή των συστημάτων IoT και την αρχιτεκτονική τους.
4. Να γνωρίζετε πώς τα έξυπνα αντικείμενα συνδέονται μεταξύ τους, καθώς και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεσή τους.
5. Να γνωρίζετε τα εργαλεία σχεδιασμού και πρωτοτυποποίησης εφαρμογών IoT, όπως τις πλατφόρμες Arduino και Raspberry Pi.
6. Να γνωρίζετε πού εφαρμόζεται η τεχνολογία IoT.

9.1. Το διαδίκτυο των αντικειμένων

Στις αρχές του 1926 ο διάσημος Nikola Tesla οραματίστηκε έναν "συνδεδεμένο κόσμο", αναφέροντας:

Όταν οι ασύρματες επικοινωνίες εφαρμοστούν σε ολόκληρη τη Γη, αυτή θα μετατραπεί σε έναν τεράστιο εγκέφαλο, στον οποίο όλα τα αντικείμενα θα είναι μέρη ενός αρμονικά συνεργαζόμενου συνόλου ... που θα είναι σε θέση να κάνει ό,τι και το τηλέφωνο σήμερα, με έναν εκπληκτικά πιο απλό σε σύγκριση με το παρόν τρόπο.

Ένας άνδρας θα μπορεί να μεταφέρει το τηλέφωνο στην τσέπη του.

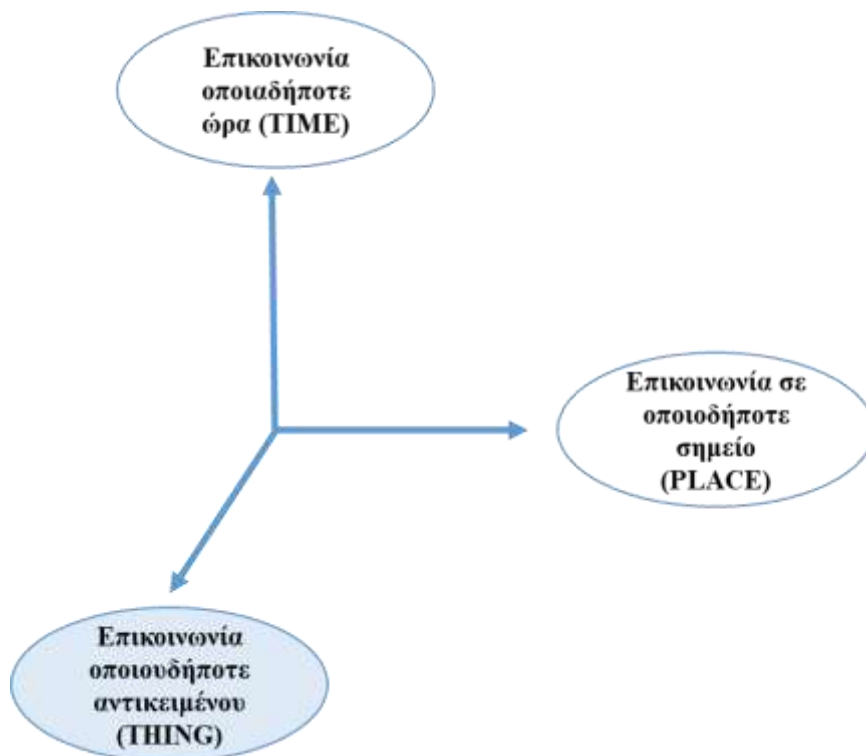
Πολλά χρόνια αργότερα, η έννοια του διαδικτύου των αντικειμένων (Internet of Things – IoT) χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε μια ομιλία του Kevin Ashton το 1999. Σύμφωνα με τον Ashton «οι άνθρωποι δεν είναι και πολύ καλοί στην καταγραφή των δεδομένων σχετικά με το τι συμβαίνει στον πραγματικό κόσμο με βάση την ακρίβεια και την προσοχή... Αν είχαμε υπολογιστές που ήξεραν τα πάντα για τα αντικείμενά τους θα ήμασταν σε θέση να παρακολουθήσουμε και να μετρήσουμε τα πάντα. Θα γνωρίζαμε πότε χρειάζονται συντήρηση ή επισκευή. Επομένως πρέπει να ενισχύσουμε τους υπολογιστές με τα δικά τους μέσα για τη συλλογή πληροφοριών ώστε να μπορούν να δουν, να ακούσουν και να γευτούν τον κόσμο για τον εαυτό τους».

Αυτή αποτελεί τη βασική ιδέα του IoT, το οποίο πιστεύεται από πολλούς ότι είναι η επερχόμενη εξέλιξη του σημερινού διαδικτύου των υπηρεσιών. Πρόκειται για ένα δίκτυο όχι μόνο υπολογιστών αλλά και διασυνδεδεμένων αντικειμένων. Τα αντικείμενα αυτά περιέχουν ενσωματωμένα ηλεκτρονικά συστήματα και μπορούν να είναι διάφορες οικιακές συσκευές, μέσα μεταφοράς, μέσα τηλεπικοινωνίας, βιβλία, αυτοκίνητα, ακόμα και τρόφιμα. Πέρα από την εξασφάλιση της καλής λειτουργίας των διασυνδεδεμένων αυτών αντικειμένων, θα γίνει προσπάθεια να επιτευχθεί και συνεργασία μεταξύ των συστημάτων αυτών. Σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό International Telecommunication Union (ITU, 2012), το διαδίκτυο των αντικειμένων είναι ένα μακροπρόθεσμο όραμα που έχει τεχνολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις, αφού μπορεί να θεωρηθεί ως μια παγκόσμια υποδομή για την κοινωνία της πληροφορίας, επιτρέποντας προηγμένες υπηρεσίες μέσω διασύνδεσης (φυσικών και εικονικών) αντικειμένων βασισμένες σε υπάρχουσες και εξελισσόμενες διαλειτουργικές τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών.

Επιπλέον, το IoT είναι η κορύφωση της προσπάθειας για την ολοκλήρωση και αυτοματοποίηση των υπηρεσιών που παρέχουν τα ενσωματωμένα συστήματα παντός είδους. Το διαδίκτυο θα γίνει διαδραστικό, ένα τεράστιο ιεραρχικά οργανωμένο «νευρικό σύστημα» που θα απολήγει σε συσκευές με αισθητήρες και ενεργοποιητές που θα συνεργάζονται με σκοπό την παροχή έξυπνων υπηρεσιών στις επιχειρήσεις, στην υγεία, στις μεταφορές, στη διανομή και κατανάλωση ενέργειας κ.λπ.

Επομένως, το IoT είναι ένα αναπτυσσόμενο δίκτυο των καθημερινών αντικειμένων -από βιομηχανικές μηχανές έως και καταναλωτικά αγαθά- που μπορούν να μοιράζονται πληροφορίες ώστε να ολοκληρώνουν εργασίες. Αποτελούμενο από εκατομμύρια αισθητήρες και συσκευές που παράγουν συνεχείς ροές δεδομένων, το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση των επιχειρηματικών διεργασιών αλλά και να αποτελέσει αφορμή για σημαντική επιχειρηματική καινοτομία.

Είναι εμφανές, λοιπόν, ότι το IoT προσθέτει στις δυνατότητες που υπήρχαν έως τώρα τη διάσταση "**Επικοινωνία οποιουδήποτε αντικειμένου**", τη δυνατότητα δηλαδή να επικοινωνούμε από οποιοδήποτε σημείο οποιαδήποτε ώρα. Η δυνατότητα αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.1.



Εικόνα 9.1 Επικοινωνία οποιοδήποτε αντικείμενου, οποιαδήποτε ώρα και σε οποιοδήποτε σημείο.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του IoT είναι τα εξής ITU (2012):

Διασυνδεσιμότητα (Interconnectivity): Οποιοδήποτε έξυπνο αντικείμενο μπορεί να διασυνδεθεί με το διαδίκτυο.

Υπηρεσίες που σχετίζονται με τα έξυπνα αντικείμενα (Things-related services): Το IoT είναι ικανό να παρέχει υπηρεσίες σχετικές με τα έξυπνα αντικείμενα στο πλαίσιο των περιορισμών που έχουν αυτά τα αντικείμενα, όπως η προστασία της ιδιωτικότητας και η σημασιολογική συνοχή μεταξύ των φυσικών και των αντίστοιχων εικονικών αντικειμένων.

Διαχείριση της ετερογένειας (Heterogeneity): Οι συσκευές στο IoT είναι ετερογενείς, καθώς κατασκευάζονται από διάφορους κατασκευαστές και έχουν διαφορετική λειτουργία και παράγουν διαφορετικά δεδομένα. Με τη χρήση του IoT μπορούν να αλληλεπιδρούν με άλλες συσκευές ή πλατφόρμες υπηρεσιών μέσω διαφορετικών δικτύων.

Υποστηρίζει δυναμικές αλλαγές: Η κατάσταση των συσκευών αλλάζει δυναμικά όσον αφορά:

1. την κατάσταση των αντικειμένων, π.χ. ενεργό/ανενεργό, συνδεδεμένο/αποσυνδεδεμένο αντικείμενο,
2. τη θέση των συσκευών στο χώρο,
3. την ταχύτητα σύνδεσης, καθώς και
4. τον αριθμό των αντικειμένων που συμμετέχουν στο συγκεκριμένο σενάριο λειτουργίας.

Το IoT είναι τεράστιας κλίμακας: Ο αριθμός των συσκευών που συμμετέχουν και θα πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους θα είναι τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από τις συνδεδεμένες συσκευές του τρέχοντος διαδικτύου. Σύμφωνα με μία από τις πιο συντηρητικές εκτιμήσεις, προερχόμενη από την εταιρεία Gartner (2017), το 2020 αναμένεται να είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο 20 δισεκατομμύρια έξυπνες συσκευές (smart objects). Από αυτές τις 20 δισεκατομμύρια συσκευές, το μεγαλύτερο ποσοστό

αφορούν καταναλωτικές συσκευές, ενώ οι υπόλοιπες αναφέρονται σε επαγγελματική χρήση (βλέπε Εικόνα 9.2). Επιπλέον, η επικοινωνία που ξεκινά έχοντας ως πηγή τα ερεθίσματα που δημιουργούν τα αντικείμενα (π.χ. ένα αυτοκίνητο που περνά από ένα σημείο της πόλης με υπερβολική ταχύτητα) σε σύγκριση με την επικοινωνία που ξεκινά μετά από αίτημα ενός χρήστη (π.χ. προβολή μιας ιστοσελίδας στο διαδίκτυο) είναι σημαντικά πιο συχνή και συνεπώς ο όγκος των δεδομένων σημαντικά πιο μεγάλος. Ακόμη πιο σημαντική θα είναι η διαχείριση των δεδομένων που παράγονται από τα αντικείμενα/συσκευές του ΙΟΤ, καθώς και η ερμηνεία αυτών για εξαγωγή συμπερασμάτων.



Εικόνα 9.2 Αριθμός συνδεδεμένων αντικειμένων στο ΙοΤ και η πρόβλεψη για το άμεσο μέλλον (σε εκατομμύρια).

Το ΙοΤ αποτελείται από:

- Τα έξυπνα αντικείμενα (smart objects).
- Τα δίκτυα επικοινωνιών που τα συνδέουν.
- Τα υπολογιστικά συστήματα που χρησιμοποιούν τα δεδομένα που ρέουν προς και από τα αντικείμενα.

Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιάσουμε αναλυτικά κάποια από τα παραπάνω χαρακτηριστικά.

9.1.1. Οι προκλήσεις του ΙοΤ

Η ανάπτυξη του ΙοΤ συνδέεται με την επίλυση ενός σημαντικού αριθμού προβλημάτων-προκλήσεων, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες (Banafa, 2016; Narayanan, 2017):

- α) τεχνικές,
- β) επιχειρηματικές-οικονομικές και
- γ) κοινωνικές προκλήσεις.

Οι σημαντικότερες από αυτές είναι οι παρακάτω:

Τεχνολογικές προκλήσεις

Οι τεχνολογικές προκλήσεις αναφέρονται στην επίλυση προβλημάτων που αφορούν την ομαλή λειτουργία των IoT συστημάτων, είτε ως αυτόνομες λύσεις είτε ως μέρος των υφιστάμενων συστημάτων. Οι προκλήσεις αυτές σχετίζονται με την ασφάλεια, τη συνδεσιμότητα, τη συμβατότητα, την ανάλυση και την ανάδραση των συσκευών σε εξωτερικά ερεθίσματα. Πιο συγκεκριμένα:

Ασφάλεια. Η εφαρμογή της τεχνολογίας IoT έχει δημιουργήσει σοβαρές ανησυχίες για την ασφάλεια αυτών των συστημάτων. Αντίστοιχα, το θέμα αυτό απασχολεί μεγάλες τεχνολογικές εταιρείες, καθώς και κυβερνητικές υπηρεσίες σε ολόκληρο τον κόσμο. Καθημερινά αναφέρονται περιπτώσεις κακόβουλων/εγκληματικών χρηστών (hackers) που αποκτούν παράνομα πρόσβαση σε μόνιτορ μωρών, σε έξυπνα ψυγεία, σε θερμοστάτες, σε κάμερες κ.λπ. Τα παραπάνω καταδεικνύουν ότι το πρόβλημα της ασφάλειας είναι ιδιαίτερα σημαντικό, αφού η ύπαρξη όλων αυτών των έξυπνων συσκευών προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες στους κακόβουλους χρήστες που πυροδοτούν έναν εφιάλτη ασφάλειας που υποσκάπτει το μέλλον του διαδικτύου. Αυτή η απειλή θα ενταθεί τα επόμενα χρόνια, αφού οι κίνδυνοι δεν θα αφορούν μόνο τα περιουσιακά στοιχεία των ατόμων, αλλά και την ατομική τους ασφάλεια.

Διασύνδεση των αντικειμένων: Η διασύνδεση της πληθώρας των αντικειμένων του IoT αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του IoT, αφού θα οδηγήσει στον ανασχεδιασμό των υφιστάμενων δικτύων, τα οποία αρχικά δεν είχαν σχεδιαστεί για την υποστήριξη εκατομμυρίων αντικειμένων. Συνεπώς, θα απαιτηθούν επενδύσεις για την ανάπτυξη και λειτουργία υπολογιστικών νεφών, ικανών να χειριστούν πολύ μεγάλο όγκο πληροφοριών. Επιπλέον, θα απαιτηθεί κατανομή των υπολογιστικών πόρων σε διάφορα σημεία του δικτύου (fog computing), καθώς και άμεση, ομότιμη επικοινωνία υπολογιστών (peer-to-peer).

Συμβατότητα των αντικειμένων: Το IoT αναπτύσσεται σε πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις, καθώς και με τη χρήση πολλών νέων διαφορετικών τεχνολογιών. Αυτό σημαίνει ότι σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχουν διαθέσιμα ακόμη πρότυπα, το οποίο στην αρχική αυτή φάση ανάπτυξης του IoT θέτει μια σημαντική δυσκολία αναφορικά με τη διασύνδεση των συσκευών. Επιπλέον, ο ταχύτατος ρυθμός ανάπτυξης οδηγεί στην πολύ γρήγορη αναβάθμιση με νέα χαρακτηριστικά και λειτουργίες τόσο του χρησιμοποιούμενου λογισμικού όσο και των συσκευών, γεγονός που αποτελεί μια επιπλέον δυσκολία. Αυτό σημαίνει ότι δεν αρκεί να επιλύσουμε τα προβλήματα συμβατότητας, αλλά απαιτείται ιδιαίτερη προσπάθεια ώστε τα συστήματα να παραμείνουν επικαιροποιημένα και συμβατά. Επισημαίνεται ότι ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες θα καταστούν παρωχημένες μέσα στα επόμενα χρόνια, γεγονός που θα καταστήσει τις συσκευές που τις εφαρμόζουν άχρηστες. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι, σε αντίθεση με τους υπολογιστές που έχουν διάρκεια ζωής μόνο λίγων ετών, οι συσκευές IoT (όπως τα έξυπνα ψυγεία ή οι τηλεοράσεις) χρησιμοποιούνται για πολύ περισσότερο χρόνο (π.χ. 10 χρόνια) και συνεπώς απαιτείται να λειτουργούν ακόμη και αν ο κατασκευαστής τους δεν είναι διαθέσιμος.

Ανάπτυξη προτύπων: Θα πρέπει να αναπτυχθούν νέα τεχνολογικά πρότυπα δικτύου, επικοινωνίας, συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες, χειρισμού μη δομημένων δεδομένων (δεδομένα που δεν είναι αποθηκευμένα σε σχεσιακή βάση δεδομένων) κ.λπ.

Ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων: Η συλλογή και η ανάλυση των δεδομένων του IoT αποτελεί μια σημαντική τεχνική πρόκληση, ιδιαίτερα όταν απαιτείται να γίνει σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης είναι βέβαιο ότι θα βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα των αποτελεσμάτων, αλλά ταυτόχρονα θα δώσει και νέες δυνατότητες.

Επιχειρηματικές προκλήσεις

Η βιωσιμότητα των συστημάτων IoT, και κατ' επέκταση η ανάπτυξη της τεχνολογίας IoT, είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ύπαρξη κερδοφόρων επιχειρηματικών μοντέλων, καθώς και ενός υγιούς, νομικά αποσαφηνισμένου και σταθερού επιχειρησιακού περιβάλλοντος. Η εξασφάλιση αυτών των προϋποθέσεων είναι αναγκαία, διότι σε πολλές περιπτώσεις καινοτόμες ιδέες και εφαρμογές απέτυχαν είτε λόγω αδυναμίας της επιχείρησης να έχει έσοδα και κέρδη, είτε επειδή ήταν θύματα ενός αβέβαιου ή περιοριστικού κανονιστικού και νομικού πλαισίου. Γενικότερα, το IoT μπορεί να χωριστεί σε τρεις (3) κατηγορίες, ανάλογα με τη χρήση του από τους πελάτες:

Το καταναλωτικό IoT που περιλαμβάνει τις συνδεδεμένες συσκευές, όπως τα έξυπνα αυτοκίνητα, τηλέφωνα, ρολόγια, τα συστήματα ψυχαγωγίας κ.λπ.

Το εμπορικό IoT που περιλαμβάνει IoT αντικείμενα κατάλληλα για ελέγχους απογραφής, συσκευές παρακολούθησης μηχανών, συνδεδεμένες ιατρικές συσκευές κ.λπ.

Το βιομηχανικό IoT που καλύπτει συσκευές όπως συνδεδεμένοι ηλεκτρικοί μετρητές, συστήματα διαχείρισης αποβλήτων, παρακολούθηση αγωγών, βιομηχανικά ρομπότ κ.λπ.

Κοινωνικές προκλήσεις

Η κατανόηση του IoT από τους πολίτες και τους ρυθμιστικούς φορείς δεν είναι εύκολη για τους εξής λόγους:

- Οι απαιτήσεις των καταναλωτών αλλάζουν διαρκώς.
- Δημιουργούνται νέες χρήσεις για συσκευές, καθώς και νέες συσκευές, με ταχύτατους ρυθμούς.
- Υπάρχει έλλειψη εμπιστοσύνης των καταναλωτών στο να αγοράσουν διασυνδεδεμένα προϊόντα, το οποίο εμποδίζει το IoT να εκπληρώσει το πραγματικό του δυναμικό.
- Υπάρχει έλλειψη κατανόησης ή εκπαίδευσης εκ μέρους των καταναλωτών.

Το IoT δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις για την προστασία της ιδιωτικής ζωής των ατόμων, οι οποίες πολλές φορές ξεπερνούν τα ζητήματα προστασίας των προσωπικών δεδομένων με τον τρόπο που τίθενται σήμερα. Επιπλέον, πολλές φορές οι καταναλωτές δεν κατανοούν ή δεν γνωρίζουν ότι τα αντικείμενα έχουν ενσωματωμένες συσκευές, όπως επίσης τις απειλές που ενέχουν. Για παράδειγμα, στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιάσουμε τα e-passports, όπου μόνο πολύ λίγοι κάτοχοι συνειδητοποιούν ότι έχουν ενσωματωμένη τεχνολογία IoT.

Το πρόβλημα γίνεται πολύ πιο σημαντικό σε καταναλωτικές συσκευές, όπως συσκευές παρακολούθησης, τηλέφωνα, αυτοκίνητα, καθώς και έξυπνες τηλεοράσεις, όπου οι προηγμένες δυνατότητες των συσκευών αυτών θέτουν τους χρήστες τους σε σημαντικούς κινδύνους σε επίπεδο ιδιωτικότητας. Για παράδειγμα, η ενσωματωμένη δυνατότητα αναγνώρισης φωνής, σημαίνει ότι κάποιος εισβολέας θα μπορούσε να ακούει συστηματικά συζητήσεις ή να παρακολουθεί τις δραστηριότητες των χρηστών και να μεταδίδει επιλεκτικά αυτά τα δεδομένα στο ΥΝ για επεξεργασία.

Είναι φανερό λοιπόν ότι υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις που αφορούν την ασφάλεια αλλά και την ιδιωτικότητα των χρηστών, οι οποίες θα πρέπει να αντιμετωπιστούν όχι μόνο με την ανάπτυξη τεχνολογίας αλλά και με την διαμόρφωση του κατάλληλου κανονιστικού και νομικού πλαισίου.

9.2. Τα έξυπνα αντικείμενα

Τα έξυπνα αντικείμενα έχουν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες, όπως (Sundmaeker, 2010):

Είναι είτε **φυσικά** αντικείμενα είτε εικονικές οντότητες. Τα φυσικά αντικείμενα υπάρχουν στον φυσικό κόσμο και μπορούν να ανιχνευθούν, να ενεργοποιηθούν και να συνδεθούν μεταξύ τους. Παραδείγματα φυσικών αντικειμένων είναι το περιβάλλον, τα βιομηχανικά ρομπότ, τα προϊόντα, ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός κ.λπ. Τα **εικονικά** αντικείμενα υπάρχουν στον κόσμο των υπολογιστών και μπορούν να αποθηκεύονται, να υποβάλλονται σε επεξεργασία και να είναι ψηφιακά προσπελάσιμα. Για παράδειγμα, εικονικές οντότητες μπορεί να είναι το περιεχόμενο πολυμέσων (βίντεο, εικόνες, ήχος κ.λπ.), όπως επίσης και λογισμικό εφαρμογών. Επίσης, τα έξυπνα αντικείμενα:

α) Έχουν ταυτότητα και παρέχουν λειτουργικότητα για τον αυτόματο εντοπισμό τους. β) Έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες ώστε να μπορούν να αντιλαμβάνονται και να καταγράφουν την κατάσταση των φυσικών παραμέτρων. γ) Έχουν δυνατότητα να επεξεργάζονται την πληροφορία που συλλέγουν, καθώς και να την αποθηκεύουν, τουλάχιστον προσωρινά. δ) Έχουν μία πηγή ενέργειας η οποία βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με τις δυνατότητές τους. ε) Είναι ασφαλή για το περιβάλλον, που σημαίνει ότι δεν μπορεί να είναι κακόβουλα. στ) Σέβονται την ιδιωτικότητα (privacy) και την ασφάλεια (security) άλλων έξυπνων αντικειμένων ή των ατόμων με τα οποία αλληλεπιδρούν. ζ) Μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους καθώς και με την πληροφοριακή υποδομή του συστήματος στο οποίο ανήκουν. η) Κάθε έξυπνο αντικείμενο, ανάλογα με την πολυπλοκότητά του, είναι δυνατόν να υλοποιεί ένα σύνολο προαιρετικών χαρακτηριστικών, όπως (Hernández, & Reiff-Marganiec, 2014):

Εσωτερικές δυνατότητες: Τα αντικείμενα έχουν την ικανότητα να ανακαλύπτουν τα δικά τους χαρακτηριστικά (plug and play) και να γνωρίζουν την εσωτερική τους κατάσταση. Πιο συγκεκριμένα, τα αντικείμενα έχουν:

α) Ικανότητα καταγραφής των συμβάντων τόσο των εσωτερικών, που αναφέρονται στην κατάσταση του αντικειμένου, όσο και των εξωτερικών, που ανιχνεύονται από τους αισθητήρες του αντικειμένου (event logging).

β) Ικανότητα αναγνώρισης εσωτερικής κατάστασης (Self-Awareness), που αναφέρεται στην ικανότητα ενός αντικειμένου να γνωρίζει τη δική του κατάσταση, τη δομή του, τα συστατικά του, καθώς και τη γνώση των αλλαγών που έχουν επέλθει από την ενεργοποίησή του.

γ) ικανότητα αυτοδιαχείρισης, που περιλαμβάνει λειτουργίες για τη χρήση των πληροφοριών που συλλέγονται προκειμένου το αντικείμενο από μόνο του να διαχειριστεί τον κύκλο ζωής του. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται λειτουργίες που αφορούν τη διαχείριση των πόρων του αντικειμένου, των υπηρεσιών που παρέχει, την αντίδραση του αντικειμένου σε διάφορα συμβάντα, την έκδοση νέων εκδόσεων λογισμικού ή δεδομένων (π.χ. καινούργιο αρχείο με υπογραφές ιών - virus signatures) ή ακόμη την αυτοεπισκευή. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει επίσης την ικανότητα του αντικειμένου να μαθαίνει.

Περιβαλλοντικές ικανότητες: Οι ικανότητες αυτές επιτρέπουν στα αντικείμενα να αποκτήσουν και να βελτιώσουν τη γνώση τους τόσο για το φυσικό όσο και για το ψηφιακό περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν. Αυτό περιλαμβάνει, εκτός από τη βασική ικανότητα επίγνωσης των κοντινών αντικειμένων και γεγονότων (αισθητήρες), τις ικανότητες:

α) Της επίγνωσης των προτιμήσεων και της συμπεριφοράς του ανθρώπου (Human-awareness) με τον οποίο αλληλοεπιδρά, με σκοπό τη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη (user experience). Παράδειγμα ρύθμισης της συμπεριφοράς του αντικειμένου είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας στο κλιματιστικό μηχάνημα με βάση τις ρυθμίσεις που έκανε ο χρήστης σε παλαιότερες στιγμές και σε αντίστοιχες καιρικές συνθήκες.

β) Της κοινωνικής ετοιμότητας (social readiness) του αντικειμένου, η οποία σχετίζεται με την ικανότητα του αντικειμένου να επιδεικνύει κοινωνική συμπεριφορά, να συνδέεται σε κοινωνικά δίκτυα, να δημιουργεί διάφορα είδη σχέσεων με άλλα αντικείμενα ή άτομα, ανταλλάσσοντας πληροφορίες για την

επίτευξη του σκοπού του.

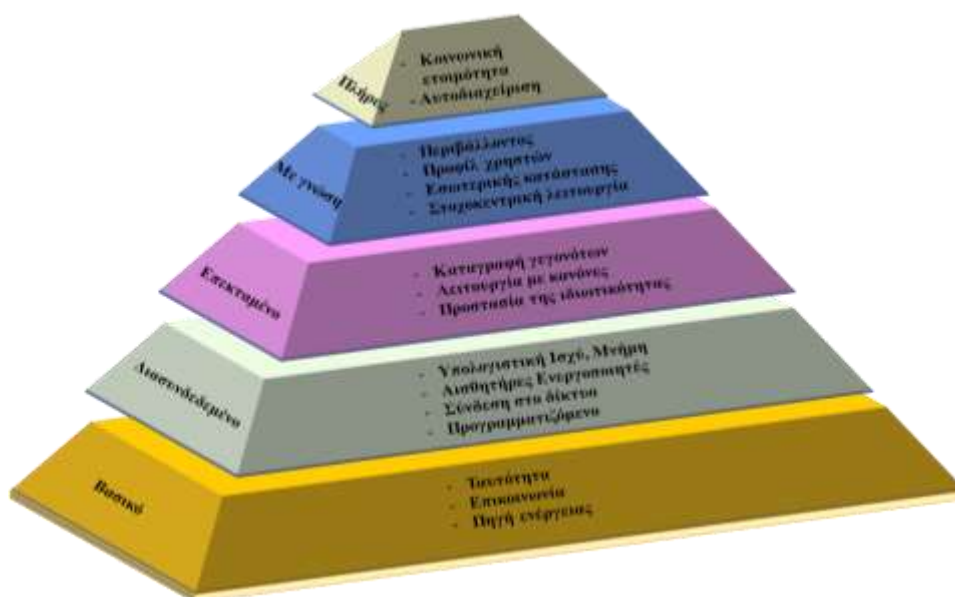
Τεχνικές Ικανότητες: Οι ικανότητες αυτές σχετίζονται με τη δυνατότητα προσαρμογής του αντικειμένου μέσω προγραμματισμού και γενικότερα με τον τρόπο που οι μηχανικοί λογισμικού αλληλεπιδρούν με το αντικείμενο. Οι δυνατότητες αυτές ποικίλλουν από τη μη ύπαρξη δυνατότητας προγραμματισμού μέχρι και την πλήρη ρύθμιση όλων παραμέτρων, όπου μπορούμε να ελέγξουμε κάθε πτυχή της λειτουργίας. Οι ικανότητες αυτές είναι:

α) Προγραμματισμού των έξυπνων αντικειμένων. Υπάρχουν περιπτώσεις που ο προγραμματισμός μπορεί να γίνει μόνο μία φορά ή δυναμικός, όπου γίνεται πολλές φορές ώστε να υπάρχει δυνατότητα αναβάθμισης του λογισμικού ή ακόμη και ύπαρξη περιβάλλοντος ανάπτυξης λογισμικού με χρήση διάφορων γλωσσών προγραμματισμού.

β) Λειτουργίας με βάση κανόνες (rule based). Αναφέρεται στην ικανότητα των αντικειμένων να λειτουργούν με βάση ένα σύνολο κανόνων.

γ) Στοχοκεντρικής λειτουργίας (goal orientation). Αναφέρεται στην ικανότητα των αντικειμένων να λειτουργούν με βάση ένα σύνολο κανόνων υψηλού επιπέδου. Σε αυτή την περίπτωση, οι μηχανικοί λογισμικού θέτουν τους στόχους, και το αντικείμενο είναι στη συνέχεια σε θέση να δημιουργήσει το καλύτερο σχέδιο εκτέλεσης (Plan) για την επίτευξη αυτών των στόχων. Αυτή η συμπεριφορά δίνει περισσότερη αυτονομία στα αντικείμενα.

Στην Εικόνα 9.3 παρουσιάζονται με γραφικό τρόπο τα βασικά και τα προαιρετικά χαρακτηριστικά ενός έξυπνου αντικειμένου.

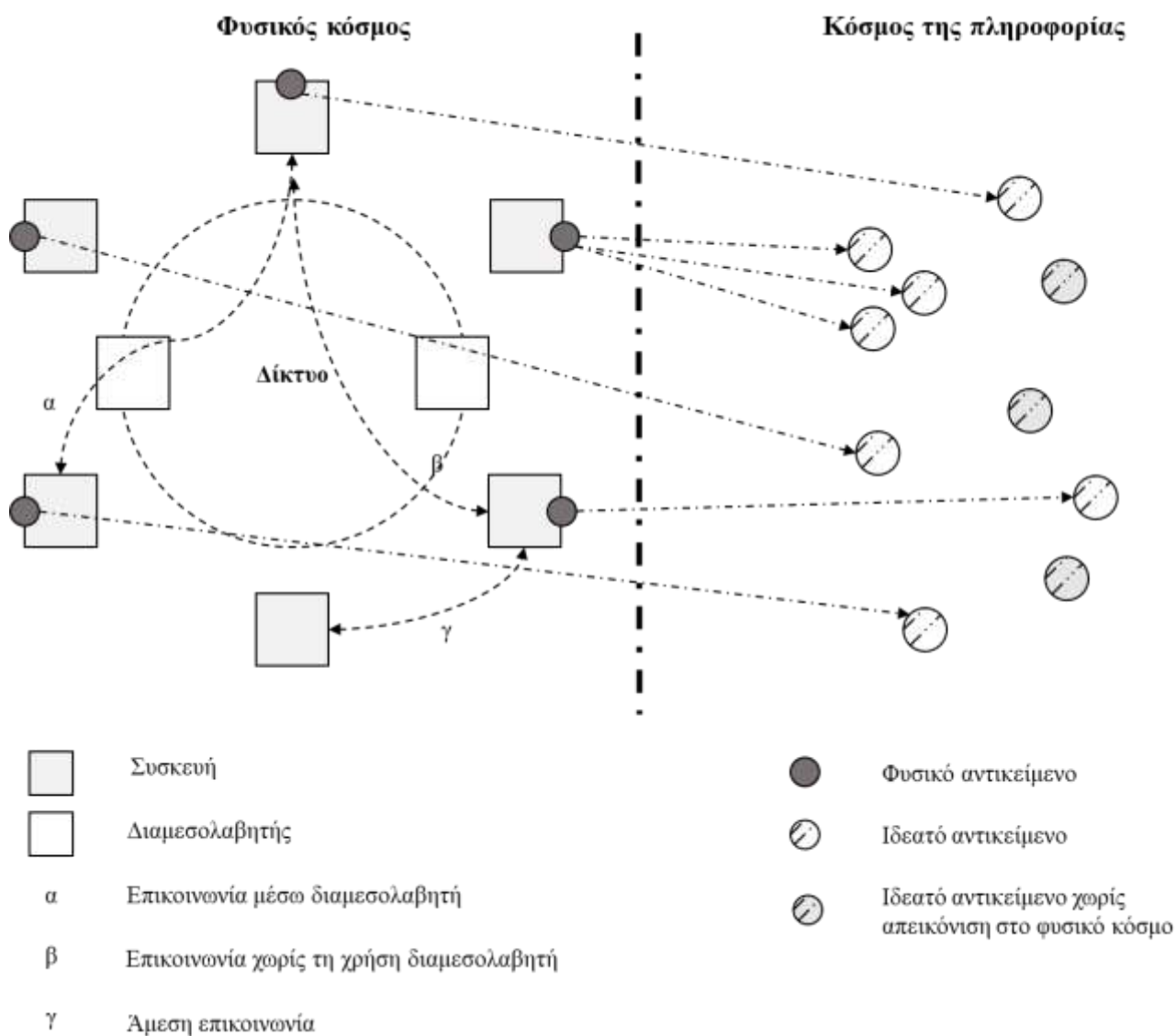


Εικόνα 9.3 Τα χαρακτηριστικά ενός έξυπνου αντικειμένου.

Τα έξυπνα αντικείμενα, όταν απαιτείται, μπορούν να είναι αυτόνομα, που σημαίνει ότι μπορούν να κινούνται ή να είναι σε θέση, με βάση τις πληροφορίες που συλλέγουν από το περιβάλλον και τους κανόνες που πρέπει να εφαρμόζουν, να παίρνουν αποφάσεις, ακόμη και να εξελίσσονται με βάση τη γνώση που έχουν συλλέξει.

Όπως προαναφέρθηκε, τα φυσικά αντικείμενα υπάρχουν στον φυσικό κόσμο και μπορούν να ανιχνευθούν, να ενεργοποιηθούν και να συνδεθούν, ενώ τα εικονικά αντικείμενα υπάρχουν στον κόσμο της πληροφορίας. Για τη λειτουργία του IoT είναι λοιπόν απαραίτητο να δημιουργήσουμε ένα ενιαίο μοντέλο

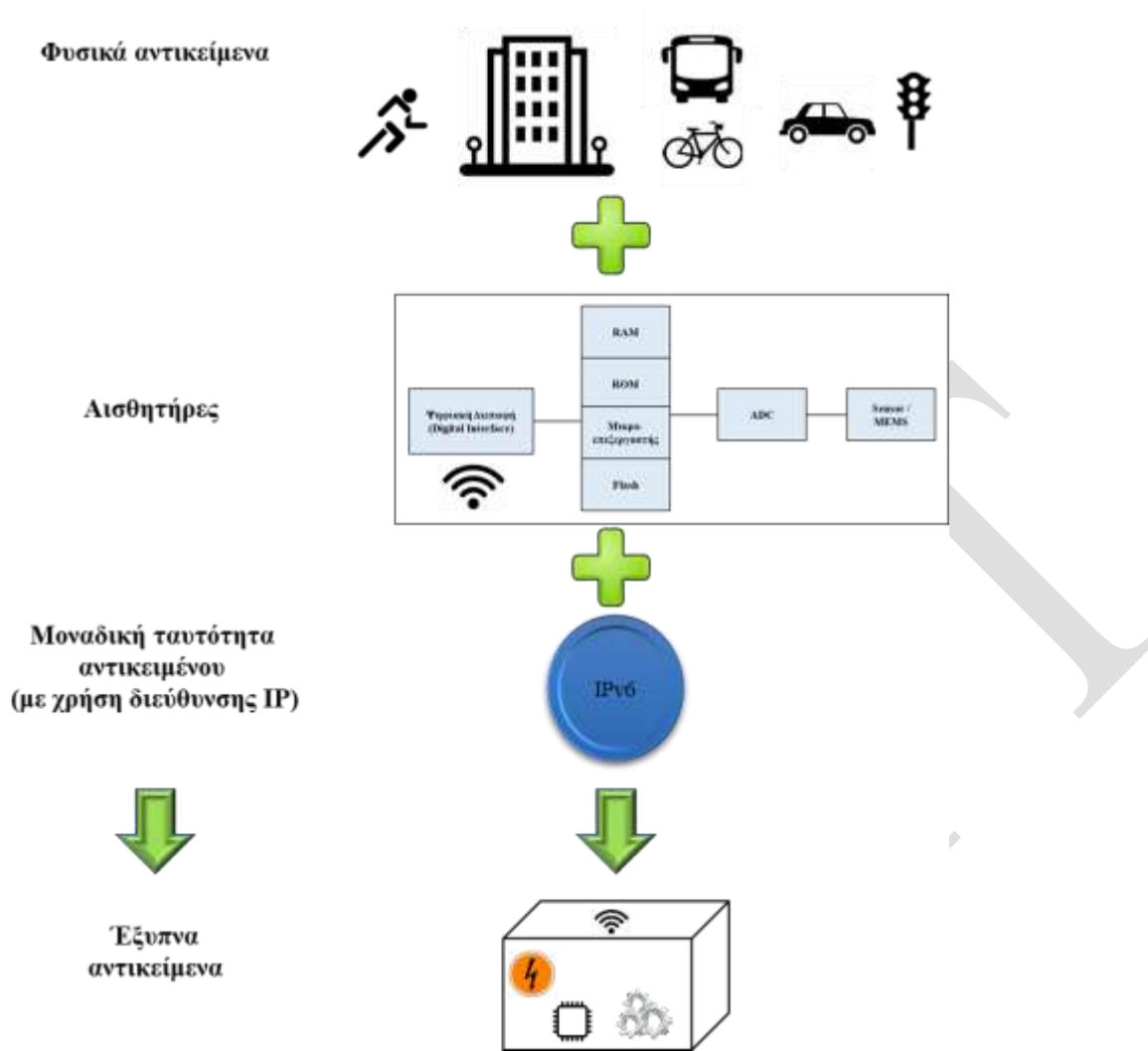
στον ιδεατό κόσμο της πληροφορίας, όπου εκεί θα απεικονιστούν τόσο τα πραγματικά όσο και τα εικονικά αντικείμενα. Η ιδέα αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.4.



Εικόνα 9.4 Ενιαίο μοντέλο αντικειμένων στο IoT.

Ένα φυσικό αντικείμενο μπορεί να εκπροσωπείται στον κόσμο της πληροφορίας μέσω ενός ή περισσότερων εικονικών αντικειμένων, ενώ ένα εικονικό αντικείμενο μπορεί επίσης να υπάρχει χωρίς οποιοδήποτε αντίστοιχο φυσικό αντικείμενο.

Ωστόσο, η αναμενόμενη πανταχού παρουσία του ψηφιακού κόσμου δεν υλοποιείται με την τοποθέτηση υπολογιστών στις γωνίες κάθε δρόμου. Αντί αυτού, οι ψηφιακές λειτουργίες ενσωματώνονται σε αντικείμενα και χώρους με τη χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και επεξεργαστών πολύ μικρού μεγέθους, οι οποίοι επιτρέπουν την ψηφιοποίηση του αντικειμένου. Αυτή η πολύ βασική έννοια παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.5.

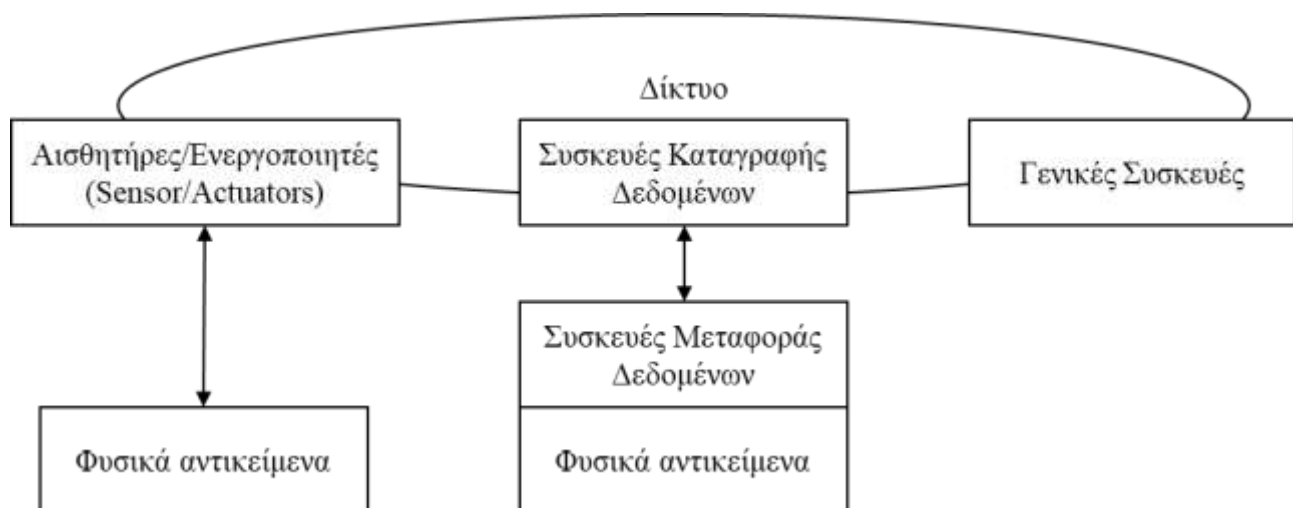


Εικόνα 9.5 Η δομή των έξυπνων αντικειμένων.

Επομένως, κάθε αντικείμενο συνδέεται με μια **ψηφιακή συσκευή** που συνήθως είναι ένα κομμάτι του φυσικού αντικειμένου, το οποίο περιέχει την υποχρεωτική δυνατότητα επικοινωνίας καθώς και τις προαιρετικές δυνατότητες ανίχνευσης, ενεργοποίησης, συλλογής, αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων. Οι συσκευές συλλέγουν πληροφορίες και στη συνέχεια τις προωθούν στο δίκτυο για περαιτέρω επεξεργασία.

Οι συσκευές επικοινωνούν με άλλες συσκευές μέσω του δικτύου και με τη χρήση ενός διαμεσολαβητή (gateway) (περίπτωση α), μέσω του δικτύου χωρίς χρήση διαμεσολαβητή (περίπτωση β) ή απευθείας, δηλαδή χωρίς τη χρήση του δικτύου επικοινωνίας (περίπτωση γ). Επίσης, είναι δυνατόν να γίνει συνδυασμός των περιπτώσεων α και γ, ή των περιπτώσεων β και γ. Για παράδειγμα, οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν με άλλες συσκευές χρησιμοποιώντας απευθείας επικοινωνία μέσω ενός τοπικού δικτύου (δηλαδή ένα τοπικό δίκτυο παρέχει τοπική σύνδεση μεταξύ των συσκευών και μεταξύ συσκευών και πύλης) (περίπτωση γ) και στη συνέχεια επικοινωνία μέσω του δικτύου μέσω διαμεσολαβητή (περίπτωση α).

Οι συσκευές μπορούν να είναι διαφορετικών ειδών, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.6.



Εικόνα 9.6 Κατηγορίες συσκευών/αντικειμένων.

Η ελάχιστη απαίτηση για μια συσκευή είναι να έχει δυνατότητα επικοινωνίας. Οι συσκευές κατηγοριοποιούνται σε συσκευές μεταφοράς δεδομένων, αισθητήρες, ενεργοποιητές και γενικές συσκευές, και περιγράφονται ως εξής:

- **Συσκευή μεταφοράς δεδομένων:** Μια συσκευή μεταφοράς δεδομένων συνδέεται έμμεσα με ένα φυσικό αντικείμενο και έχει ως στόχο τη σύνδεση του φυσικού αντικειμένου με το δίκτυο.
- **Αισθητήρες και ενεργοποιητές.** Οι συσκευές αυτές θα παρουσιάσουν αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο.
- **Γενική συσκευή:** Μια γενική συσκευή διαθέτει ενσωματωμένες δυνατότητες επεξεργασίας και επικοινωνίας και μπορεί να επικοινωνεί με τα δίκτυα επικοινωνιών μέσω ενσύρματου ή ασύρματου δικτύου. Οι γενικές συσκευές περιλαμβάνουν εξοπλισμό και δυνατότητες για διαφορετικές IoT εφαρμογές, όπως βιομηχανικά μηχανήματα, οικιακές ηλεκτρικές συσκευές και έξυπνα τηλέφωνα κ.λπ.

9.3. Η αρχιτεκτονική του IoT

Η αρχιτεκτονική του IoT θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις παρακάτω υψηλού επιπέδου απαιτήσεις. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να είναι ικανή να προσφέρει (ITU, 2012):

- **Μοναδικό τρόπο ταυτοποίησης των έξυπνων αντικειμένων (Identification based connectivity).**
- **Διαλειτουργικότητα (Interoperability):** Πρέπει να εξασφαλιστεί διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερογενών και κατακευματισμένων συστημάτων παροχής και κατανάλωσης ποικίλων πληροφοριών και υπηρεσιών.
- **Αυτόνομη δικτύωση (Autonomic networking):** Το IoT θα πρέπει να υποστηρίζει αυτόνομη δικτύωση (συμπεριλαμβανομένων των μηχανισμών αυτοδιαχείρισης, αυτοδιαμόρφωσης,

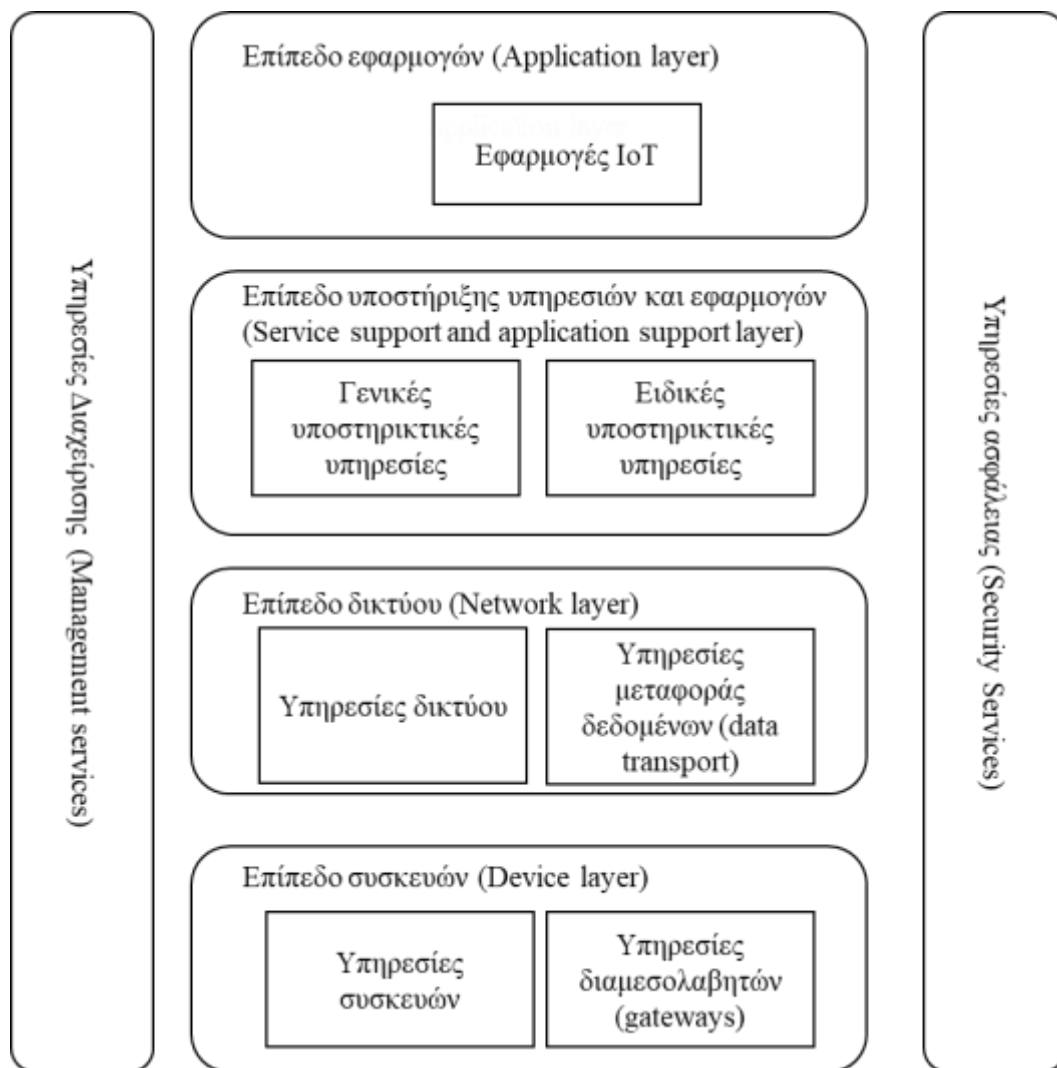
αυτοθεραπείας, αυτοβελτιστοποίησης και αυτοπροστασίας) σε διαφορετικούς τομείς εφαρμογών, με διαφορετικά περιβάλλοντα επικοινωνίας και σε μεγάλους αριθμούς και τύπους αντικειμένων.

- **Αυτόνομη παροχή υπηρεσιών (Autonomic services provisioning):** Οι παρεχόμενες υπηρεσίες θα πρέπει να είναι σε θέση να συλλέγουν τα αναγκαία δεδομένα, να επικοινωνούν μεταξύ τους, να επεξεργάζονται αυτόματα τα δεδομένα των αντικειμένων ακολουθώντας τους απαιτούμενους κανόνες και να διαχειρίζονται από χειριστές ή να προσαρμόζονται άμεσα από τους συνδρομητές (self service).
- **Ικανότητες βάσει της τοποθεσίας (Location-based capabilities):** Οι δυνατότητες των IoT αντικειμένων θα πρέπει να εξαρτώνται από την τοποθεσία που βρίσκονται και να μην είναι πάντα οι ίδιες. Οι υπηρεσίες που εξαρτώνται από την τοποθεσία ενδέχεται να υπόκεινται σε περιορισμούς σύμφωνα με το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο ώστε να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις ασφάλειας.
- **Ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικότητας (Security and privacy protection):** Η δυνατότητα σύνδεσης κάθε αντικειμένου στο IoT έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σημαντικών απειλών για την ασφάλεια, όπως απειλές κατά της εμπιστευτικότητας, της αυθεντικότητας και της ακεραιότητας τόσο των δεδομένων όσο και των υπηρεσιών.
- **Υψηλής ποιότητας και ασφαλείς υπηρεσίες σχετικές με την υγεία των ατόμων:** Το IoT θα πρέπει να υποστηρίζει υψηλή ποιότητα και υψηλή ασφάλεια υπηρεσιών που σχετίζονται με τον ανθρώπινο οργανισμό και την υγεία. Οι υπηρεσίες αυτές υπόκεινται σε διαφορετικούς νόμους και κανονισμούς ανάλογα με τη χώρα.
- **Άμεση λειτουργία (Plug and play):** Το IoT θα πρέπει να υποστηρίζει τη δυνατότητα "Plug and Play". Το IoT πρέπει να υποστηρίζει την άμεση και χωρίς διακοπή ενεργοποίηση, συνεργασία και διασύνδεση των αντικειμένων με τις εφαρμογές.
- **Διαχειρισσιμότητα (Manageability):** Το IoT θα πρέπει να είναι διαχειρίσιμο ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του διαδικτύου. Οι εφαρμογές του IoT λειτουργούν συνήθως αυτόματα χωρίς τη συμμετοχή ανθρώπων, αλλά η όλη διαδικασία λειτουργίας τους πρέπει να είναι διαχειρίσιμη από τα ενδιαφερόμενα μέρη.

Η πολυπλοκότητα του IoT μας αναγκάζει να οργανώσουμε ένα τέτοιο σύστημα σε επίπεδα. Στην Εικόνα 9.7 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική αναφοράς (reference model) που έχει προταθεί από τον διεθνή οργανισμό ITU (2012). Το μοντέλο αναφοράς αποτελείται από τέσσερα επίπεδα, δομημένα το ένα πάνω στο άλλο, και δύο κάθετες λειτουργίες που αφορούν τη διαχείριση του IoT και τη διαχείριση της ασφάλειας. Οι κάθετες αυτές λειτουργίες συνδέονται και με τα τέσσερα επίπεδα.

Τα τέσσερα επίπεδα είναι τα εξής:

- το επίπεδο εφαρμογών (application layer),
- το επίπεδο υποστήριξης υπηρεσιών και εφαρμογών (service support and application support layer),
- το επίπεδο του δικτύου (network layer),
- το επίπεδο των συσκευών (device layer).



Εικόνα 9.7 Αρχιτεκτονική αναφοράς IoT σύμφωνα με το ITU-T Y.2060.

- Το επίπεδο εφαρμογών περιέχει τις εφαρμογές IoT και είναι το ανώτερο επίπεδο του μοντέλου αναφοράς.
- Το επίπεδο υποστήριξης υπηρεσιών και εφαρμογών (service support and application support layer) στην ουσία αποτελεί ένα προκαταρκτικό επίπεδο για τις τελικές εφαρμογές που ανήκουν στο επόμενο επίπεδο. Το επίπεδο αυτό παρέχει γενικές δυνατότητες που χρησιμοποιούνται από όλες τις εφαρμογές, όπως η επεξεργασία και η αποθήκευση δεδομένων. Στο ίδιο επίπεδο παρέχονται και πιο εξειδικευμένες δυνατότητες για την εξυπηρέτηση διαφοροποιημένων εφαρμογών (ITU-T-Y.2060, 2016). Μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες αυτού του επιπέδου είναι η διαχείριση της παραγόμενης δικτυακής κίνησης (με τον όρο δικτυακή κίνηση εννοούμε το σύνολο των δεδομένων-data που μεταφέρονται). Ορισμένες από τις πληροφορίες απαιτούν φιλτράρισμα ή δρομολόγηση σε άλλα συστήματα για περαιτέρω επεξεργασία της πληροφορίας. Επίσης, υπάρχουν εφαρμογές που, λόγω κρισιμότητας, απαιτούν άμεση αποκρισιμότητα και προτεραιότητα στην επεξεργασία έναντι των υπολοίπων, για παράδειγμα εφαρμογές που σχετίζονται με την ασφάλεια των ατόμων. Το επίπεδο αυτό έχει τη δυνατότητα να ελέγχει όλες αυτές τις ροές δεδομένων και να εφαρμόζει κανόνες προτεραιότητας, να δρομολογεί υπηρεσίες και να φιλτράρει γεγονότα (events) με σκοπό την αποτελεσματικότερη συνολική εξυπηρέτηση (Patel

et al., 2016). Το επίπεδο υποστήριξης υπηρεσιών και εφαρμογών εμπεριέχει δύο βασικές κατηγορίες δυνατοτήτων:

- Γενικές δυνατότητες υποστήριξης: Οι γενικές δυνατότητες υποστήριξης είναι κοινές δυνατότητες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διαφορετικές εφαρμογές IoT, όπως επεξεργασία ή αποθήκευση δεδομένων. Αυτές οι δυνατότητες αποτελούν τη βάση για την υλοποίηση νέων δυνατοτήτων υποστήριξης υψηλότερου επιπέδου. Ειδικές δυνατότητες υποστήριξης: Οι συγκεκριμένες δυνατότητες υποστήριξης είναι ιδιαίτερες δυνατότητες που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις διαφορετικών εφαρμογών.
- Το επίπεδο του δικτύου (network layer). Προσφέρει συνδεσιμότητα για την πρόσβαση στις υπηρεσίες και για τη μεταφορά των δεδομένων τόσο των εφαρμογών όσο και των πληροφοριών που σχετίζονται με τη διαχείριση και τον έλεγχο του δικτύου (control and management). Η μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων δημιουργεί την απαίτηση για ένα δίκτυο υψηλών αποδόσεων, αφού απαιτείται η εξυπηρέτηση ενός ευρύτερου φάσματος υπηρεσιών και εφαρμογών IoT, όπως υπηρεσίες συναλλαγών υψηλής ταχύτητας, εφαρμογές συμβατές με το περιβάλλον κ.λπ. Το επίπεδο του δικτύου εμπεριέχει δύο κατηγορίες δυνατοτήτων:
 - Δυνατότητες δικτύωσης: εμπεριέχει υπηρεσίες ελέγχου διασυνδεσιμότητας του δικτύου, όπως λειτουργίες ελέγχου πρόσβασης και μεταφοράς πόρων, διαχείριση της κινητικότητας ή έλεγχο ταυτότητας, εξουσιοδοτήσεων κ.λπ.
 - Δυνατότητες μεταφοράς δεδομένων.
- Το επίπεδο των συσκευών (device layer), το οποίο περιλαμβάνει το υλικό (hardware) και αναφέρεται στα φυσικά αντικείμενα. Οι αισθητήρες εμπεριέχονται στα αντικείμενα και έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν μετρήσεις, όπως η θερμοκρασία, η ποιότητα του αέρα, η ταχύτητα, η υγρασία, η πίεση, η ροή, η κίνηση, η ηλεκτρική ενέργεια κ.λπ. Όταν εμπεριέχουν μνήμη και υπολογιστική δυνατότητα, όπως έχουμε αναφέρει, ονομάζονται έξυπνοι αισθητήρες. Η κατηγορία αυτή εμπεριέχει δύο κατηγορίες δυνατοτήτων:
 - Δυνατότητες συσκευών: Οι δυνατότητες μιας συσκευής περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε:
 - Άμεση αλληλεπίδραση με το δίκτυο επικοινωνίας: Οι συσκευές είναι σε θέση να συγκεντρώνουν και να ανεβάζουν πληροφορίες, χωρίς τη χρήση διαμεσολαβητή, στο δίκτυο, όπως επίσης και να λαμβάνουν απευθείας πληροφορίες (π.χ. εντολές) από το δίκτυο.
 - Έμμεση αλληλεπίδραση με το δίκτυο επικοινωνίας: Οι συσκευές είναι σε θέση να συγκεντρώνουν και να ανεβάζουν πληροφορίες στο δίκτυο έμμεσα, δηλαδή με τη χρήση διαμεσολαβητή. Επίσης, οι συσκευές μπορούν να λαμβάνουν έμμεσα πληροφορίες (π.χ. εντολές) από το δίκτυο.
 - Ad-hoc δικτύωση: Οι συσκευές ενδέχεται να είναι σε θέση να κατασκευάζουν δίκτυα με ad-hoc τρόπο σε περιπτώσεις που απαιτείται αυξημένη επεκτασιμότητα και γρήγορη ανάπτυξη.
 - Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση: Οι συσκευές μπορούν να υποστηρίζουν δυνατότητες απενεργοποίησης και ενεργοποίησης με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας.

- Δυνατότητες διαμεσολαβητή-πύλης (gateway): Οι δυνατότητες του διαμεσολαβητή περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε αυτές:
 - Υποστήριξη πολλαπλών διεπαφών και πολλών συσκευών ταυτόχρονα. Οι συσκευές μπορεί να συνδέονται με τη χρήση διαφόρων τύπων ενσύρματων ή ασύρματων τεχνολογιών, π.χ. Bluetooth ή Wi-Fi. Αντίστοιχα, ο διαμεσολαβητής μπορεί να συνδέεται στο δίκτυο μέσω διαφόρων τεχνολογιών, όπως μέσω του κοινού τηλεφωνικού δικτύου (PSTN), με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας τρίτης ή τέταρτης γενιάς (3G ή 4G), με χρήση του πρωτοκόλλου Ethernet ή με τη χρήση ψηφιακών συνδρομητικών γραμμών (DSL) κ.λπ.
 - Μετατροπή πρωτοκόλλου: Ένας διαμεσολαβητής θα πρέπει να παρέχει δυνατότητες μετατροπής μεταξύ διαφορετικών πρωτοκόλλων.
- Επίπεδο διαχείρισης (management layer). Όπως και στα παραδοσιακά δίκτυα, θα πρέπει να υπάρχουν δυνατότητες διαχείρισης ασφαλιμάτων, διαμόρφωσης του δικτύου (IoT configuration), οικονομικής διαχείρισης των πόρων (accounting), διαχείρισης της απόδοσης (performance management) και διαχείρισης της ασφάλειας. Οι δυνατότητες διαχείρισης IoT μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε γενικές δυνατότητες διαχείρισης και σε ειδικές δυνατότητες διαχείρισης.
 - Οι γενικές δυνατότητες διαχείρισης του IoT δικτύου περιλαμβάνουν:
 - τη διαχείριση συσκευών, όπως απομακρυσμένη ενεργοποίηση και απενεργοποίηση, απομακρυσμένο έλεγχο και διάγνωση βλαβών, ενημέρωση νέων εκδόσεων λογισμικού και firmware, διαχείριση κατάστασης λειτουργίας συσκευής,
 - τη διαχείριση της τοπολογίας των τοπικών δικτύων,
 - τη διαχείριση της απόδοσης του δικτύου,
 - τη δυνατότητα δέσμευσης πόρων για περιπτώσεις εφαρμογών πραγματικού χρόνου υψηλής προτεραιότητας.
 - Οι ειδικές δυνατότητες διαχείρισης συνδέονται στενά με τις ειδικές απαιτήσεις των εφαρμογών, π.χ. απαιτήσεις για την παρακολούθηση της γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ενός έξυπνου δικτύου.
- Δυνατότητες ασφάλειας. Υπάρχουν δύο κατηγορίες δυνατοτήτων ασφάλειας: οι γενικές δυνατότητες ασφάλειας και οι ειδικές δυνατότητες ασφάλειας.
 - Οι γενικές δυνατότητες ασφάλειας είναι ανεξάρτητες από εφαρμογές. Περιλαμβάνουν:
 - στο επίπεδο εφαρμογής: εξουσιοδοτήσεις χρηστών, έλεγχο ταυτότητας, εμπιστευτικότητα δεδομένων εφαρμογής, την προστασία της ακεραιότητας των δεδομένων, την προστασία της ιδιωτικής ζωής, τον έλεγχο ασφάλειας και την καταπολέμηση των ιών,
 - στο επίπεδο δικτύου περιλαμβάνουν: εξουσιοδοτήσεις χρηστών, έλεγχο ταυτότητας, έλεγχο χρήσης των δεδομένων κ.λπ.,
 - στο επίπεδο της συσκευής περιλαμβάνουν: τον έλεγχο της ταυτότητας των χρηστών, τις εξουσιοδοτήσεις, την επικύρωση της ακεραιότητας της

συσκευής, τον έλεγχο της πρόσβασης, την εμπιστευτικότητα των δεδομένων και την προστασία της ακεραιότητας των δεδομένων.

- Οι ειδικές δυνατότητες ασφάλειας συνδέονται στενά με ειδικές απαιτήσεις των εφαρμογών, π.χ. πληρωμή μέσω κινητού τηλεφώνου, απαιτήσεις ασφάλειας.

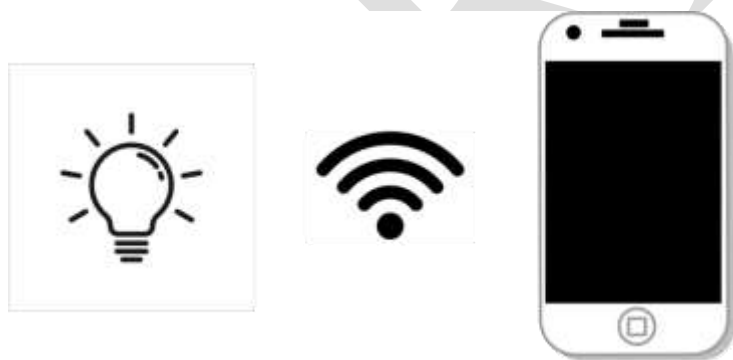
9.2.1. Επικοινωνία έξυπνων συσκευών

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του IoT είναι ότι τα έξυπνα αντικείμενα μπορούν να συνδεθούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους. Το 2015, η Επιτροπή Αρχιτεκτονικής Διαδικτύου (Internet Architecture Board - IAB) εξέδωσε ένα έγγραφο αρχιτεκτονικής για τη δικτύωση των έξυπνων αντικειμένων (RFC 7452), που περιγράφει τέσσερα επικοινωνιακά πρότυπα (communication patterns) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από έξυπνες συσκευές (Tschofenig, et al., 2015). Τα μοντέλα αυτά, μαζί με τα χαρακτηριστικά τους, παρουσιάζονται παρακάτω.

Μοντέλο επικοινωνίας από συσκευή σε συσκευή (Device-to-Device Communication)

Το μοντέλο επικοινωνίας (device-to-device) εφαρμόζεται όταν δύο ή περισσότερες συσκευές συνδέονται και επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς να χρησιμοποιούν έναν ενδιάμεσο εξυπηρετητή. Στην Εικόνα 9.8 παρουσιάζεται η επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών που κατασκευάζονται από διαφορετικούς κατασκευαστές και επιθυμούν να διαλειτουργούν και να επικοινωνούν άμεσα. Παραδείγματα τέτοιων συσκευών μπορεί να είναι ένας διακόπτης φωτός ο οποίος επικοινωνεί με έναν λαμπτήρα που έχει κατασκευαστεί από διαφορετική εταιρεία. Τέτοια παραδείγματα μπορούμε να βρούμε πολλά: π.χ. όργανα γυμναστικής με αισθητήρες καρδιακού ρυθμού, θερμοστάτες, κλειδαριές.

Οι έξυπνες οικιακές συσκευές, όπως λαμπτήρες, διακόπτες φωτών, θερμοστάτες και κλειδαριές, συνήθως στέλνουν «μικρά» μηνύματα το ένα στο άλλο (π.χ. μια κλειδαριά πόρτας όταν ξεκλειδώνεται στέλνει μήνυμα εντολής ενεργοποίησης στα φώτα).



Εικόνα 9.8 Device-to-Device Communication.

Προκειμένου να μπορέσει να υλοποιηθεί η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών θα πρέπει να υπάρξει συμφωνία μεταξύ των κατασκευαστών σχετικά με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να υπάρξει συμφωνία:

- Για το πρωτόκολλο επικοινωνίας σε φυσικό επίπεδο (π.χ. Bluetooth Smart, IEEE 802.15.4).

- Αν υποστηρίζεται μόνο το πρωτόκολλο IPv6 ή πρέπει επιπλέον να υποστηρίζεται για λόγους συμβατότητας και το IPv4.
- Ποιες αρχιτεκτονικές επικοινωνιών θα υποστηριχθούν; Ποιες συσκευές είναι περιορισμένες και ποιοι είναι αυτοί οι περιορισμοί;
- Υπάρχει ανάγκη για μηχανισμό εντοπισμού υπηρεσιών (service discovery) που θα επιτρέπει στους χρήστες να ανακαλύψουν τις διαθέσιμες υπηρεσίες στο δίκτυο (π.χ. τους λαμπτήρες που έχουν στο σπίτι ή στο γραφείο τους);
- Ποιο πρωτόκολλο μεταφοράς (π.χ. User Datagram Protocol - UDP) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των ενδείξεων/εντολών του αισθητήρα;
- Ποιο μοντέλο δεδομένων χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση πληροφοριών;
- Η ασφάλεια και η προστασία της ιδιωτικής ζωής απαιτεί προσεκτική μελέτη, η οποία περιλαμβάνει τον εντοπισμό και την ανάλυση των απειλών ασφαλείας, το σχεδιασμό των υπηρεσιών ασφαλείας και την αντιμετώπιση των απειλών, όταν αυτές συμβούν.

Ο παραπάνω κατάλογος δεν είναι εξαντλητικός, αλλά αποσκοπεί στο να καταδείξει ότι για κάθε σενάριο χρήσης θα πρέπει να υπάρξουν πολλές αποφάσεις σχεδιασμού, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι περιορισμοί της κάθε συσκευής σε κάθε συγκεκριμένο σενάριο χρήσης.

Το μοντέλο επικοινωνίας device-to-device παρουσιάζει πολλά τεχνικά προβλήματα διότι οι συσκευές αυτές συχνά χρειάζεται να έχουν άμεση σχέση και να έχουν ενσωματωμένα μοντέλα ασφαλείας. Επιπλέον, τα device-to-device μοντέλα επικοινωνίας χρησιμοποιούν ειδικά μοντέλα δεδομένων που απαιτούν επιπλέον προσπάθειες ανάπτυξης λογισμικού (από τους κατασκευαστές συσκευών). Από τη μεριά του χρήστη, αυτό συχνά σημαίνει ότι το βασικό πρωτόκολλο επικοινωνίας device-to-device δεν είναι συμβατό μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστών, υποχρεώνοντας το χρήστη να επιλέξει μια οικογένεια συσκευών που χρησιμοποιούν ένα κοινό πρωτόκολλο. Για παράδειγμα, η οικογένεια συσκευών που χρησιμοποιεί το Z-Wave πρωτόκολλο, το οποίο χρησιμοποιείται για αυτοματισμό κτηρίων (<https://www.z-wave.com/>), δεν είναι εγγενώς συμβατό με το ZigBee πρωτόκολλο. Οι ασυμβατότητες αυτές περιορίζουν την επιλογή του χρήστη σε συσκευές μέσα στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Ο χρήστης επομένως επωφελείται όταν γνωρίζει ότι τα προϊόντα μιας συγκεκριμένης οικογένειας έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν σωστά μεταξύ τους.

Μοντέλο επικοινωνίας από Συσκευή στο YN (Device-to-Cloud Communication)

Η Device-to-Cloud επικοινωνία επιτρέπει την σύνδεση IoT συσκευών μέσα από μια διαδικτυακή υπηρεσία YN η οποία επιβλέπει την ανταλλαγή δεδομένων και ελέγχει τη ροή των μηνυμάτων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση εκμεταλλεύεται υπάρχοντα πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως το Ethernet ή το Wi-fi.

Το μοντέλο αυτό επικοινωνίας χρησιμοποιείται σε αρκετές εμπορικές εφαρμογές. Η πιο γνωστή των IoT εφαρμογών είναι ο “έξυπνος” θερμοστάτης από την Nest Labs (<https://nest.com/>). Η συσκευή αυτή, πέρα από τον παραδοσιακό τρόπο χρήσης της, στηρίζεται στην επικοινωνία με μια βάση δεδομένων σε YN πλατφόρμα όπου αποθηκεύονται οι πληροφορίες που συλλέγει η συσκευή με βάση τις ώρες χρήσης της, την θερμοκρασία δωματίου, την θερμοκρασία που ορίστηκε από τον χρήστη, καθώς και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ώστε να γίνει ανάλυση των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας μιας οικίας. Η cloud αυτή σύνδεση επιτρέπει στον χρήστη να αποκτήσει απομακρυσμένη πρόσβαση στην διαχείρισή της.

Αντίστοιχα γίνεται και η επικοινωνία στην περίπτωση των SmartTV της Samsung. Η τηλεόραση χρησιμοποιεί τη σύνδεση στο διαδίκτυο για να μεταδώσει στον χρήστη πληροφορίες για την κατάσταση της έξυπνης τηλεόρασης, όπως και επίσης επιτρέπει την αμφίδρομη φωνητική αναγνώριση. Στις περιπτώσεις αυτές το μοντέλο επικοινωνίας cloud-to-device δίνει νέες προοπτικές στον χρήστη, επεκτείνοντας τις δυνατότητες της συσκευής πέρα από τα βασικά χαρακτηριστικά της.

Ωστόσο, αρκετές είναι οι προκλήσεις διαλειτουργικότητας που μπορούν να προκύψουν όταν προσπαθούμε να ενσωματώσουμε συσκευές από διάφορους κατασκευαστές. Πολύ συχνά, οι υπηρεσίες της συσκευής και του ΥΝ προέρχονται από τον ίδιο προμηθευτή, περιορίζοντας ή εμποδίζοντας με τεχνικό τρόπο τη χρησιμοποίηση εναλλακτικών παρόχων. Αυτό συνήθως αναφέρεται ως "vendor lock in", ένας όρος που περιγράφει τις άλλες πτυχές της σχέσης της με τον πάροχο υπηρεσιών, όπως η ιδιοκτησία και η πρόσβαση σε αυτά τα δεδομένα. Από την άλλη πλευρά, οι χρήστες μπορούν να είναι σίγουροι ότι οι συσκευές που χρησιμοποιούν έχουν σχεδιαστεί για τη συγκεκριμένη πλατφόρμα και συνεπώς μπορούν να λειτουργούν απρόσκοπτα. Στην Εικόνα 9.9 παρουσιάζεται το συγκεκριμένο μοντέλο επικοινωνίας.



Εικόνα 9.9 Επικοινωνία Device-to-Cloud .

Μοντέλο επικοινωνίας με χρήση διαμεσολαβητών (Device-to-Gateway Communication)

Στο μοντέλο επικοινωνίας device-to-gateway, η έξυπνη συσκευή συνδέεται μέσω υπηρεσίας διαμεσολαβητή σε ένα ΥΝ. Η υπηρεσία αυτή δρα ως ενδιάμεσος μεταξύ της συσκευής και του ΥΝ και παρέχει συμπληρωματικές υπηρεσίες ασφάλειας, μετατροπής δεδομένων κ.λπ.

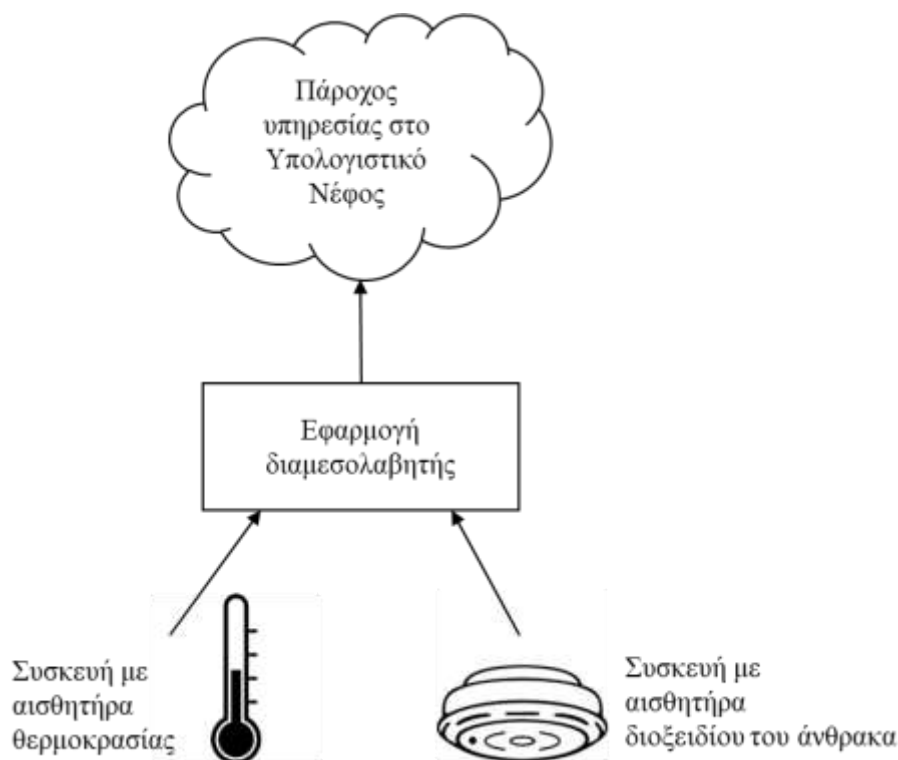
Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως στις καταναλωτικές συσκευές, όπου το ρόλο του ενδιάμεσου παίζει ένα έξυπνο τηλέφωνο, το οποίο, χρησιμοποιώντας μια εφαρμογή (app), αναμεταδίδει τα δεδομένα στο ΥΝ. Για παράδειγμα, σε μια εφαρμογή τύπου personal fitness trackers, οι αισθητήρες του έξυπνου τηλεφώνου συλλέγουν τα δεδομένα, τα οποία συγκεντρώνονται από την εφαρμογή και στη συνέχεια αποθηκεύονται στο ΥΝ.

Η άλλη μορφή αυτού του μοντέλου είναι όταν ένα σύνολο αισθητήρων/συσκευών αποστέλλουν τα δεδομένα που συλλέγονται σε ένα κεντρικό σημείο (hub), το οποίο στη συνέχεια αναμεταδίδει αυτά τα

δεδομένα στο ΥΝ.

Το μοντέλο αυτό είναι πολύ επιτυχημένο και δημοφιλές, καθώς βοηθά πολύ στην αντιμετώπιση των προκλήσεων της διαλειτουργικότητας μεταξύ των έξυπνων συσκευών.

Στην Εικόνα 9.10 παρουσιάζεται σχηματικά αυτό το μοντέλο επικοινωνίας.



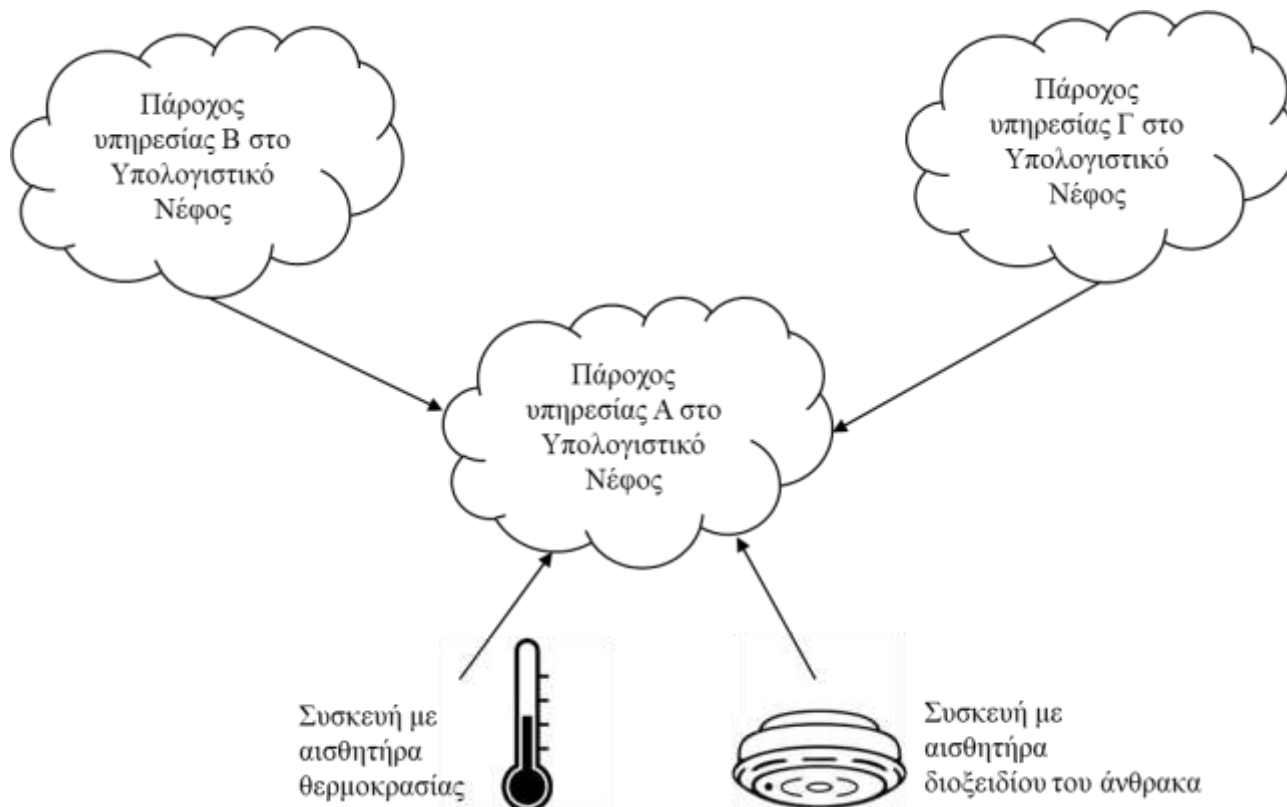
Εικόνα 9.10 Επικοινωνία Device-to-Gateway.

Μοντέλο επικοινωνίας Back-End και διαμοιρασμού δεδομένων Data-Sharing

Το μοντέλο επικοινωνίας Συσκευής-σε-ΥΝ (Device-to-Cloud) οδηγεί συχνά στη δημιουργία υπολογιστικών σιλό. Στην περίπτωση αυτή, οι συσκευές IoT μεταφορτώνουν δεδομένα μόνο σε έναν πάροχο ΥΝ. Ωστόσο, συχνά οι χρήστες έχουν ανάγκη εξαγωγής και ανάλυσης δεδομένων σε συνδυασμό με δεδομένα από άλλες πηγές. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαία η χορήγηση πρόσβασης στα δεδομένα των αισθητήρων σε τρίτους. Το μοντέλο αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.11. Αυτό το μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί στην ανάπτυξη εφαρμογών Web, και ειδικά στις περιπτώσεις αρχιτεκτονικών mashups. Ένα mashup επιτρέπει την ενσωμάτωση προϊόντων και υπηρεσιών από διαφορετικούς παρόχους, π.χ. Microsoft, Google, Amazon, με σκοπό τη δημιουργία νέων υπηρεσιών. Ο όρος “mashup” είναι δανεισμένος από τη μουσική βιομηχανία, όπου χρησιμοποιείται για να περιγράψει το συνδυασμό των φωνητικών ενός τραγουδιού με τη μουσική υπόκρουση ενός άλλου.

Επιπλέον, με σκοπό την εξοικείωση των προγραμματιστών στη χρήση του, συνήθως προσφέρεται μαζί με ένα RESTful API, γεγονός που επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του κώδικα και γενικότερα την ευκολότερη χρήση του.

Για παράδειγμα, ένας χρήστης σ' ένα συγκρότημα γραφείων χρειάζεται τη συνολική κατανάλωση του κτηρίου με σκοπό την ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης. Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα παράγονται από τους αισθητήρες των έξυπνων συσκευών του κτηρίου. Η χρήση της αρχιτεκτονικής back-end data sharing επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση και ανάλυση των δεδομένων των συσκευών σε όλο το κτήριο.



Εικόνα 9.11 Μοντέλο επικοινωνίας Back-End Data-Sharing.

9.4. Οι τεχνολογίες του IoT

Από τεχνικής άποψης, το IoT δεν είναι μια νέα ενιαία τεχνολογία (Sachs et al., 2010). Αντίθετα, πρόκειται για ένα σύνολο πολλών συμπληρωματικών τεχνολογιών που συμβάλλουν στο τελικό αποτέλεσμα. Πρόκειται για τεχνολογίες:

Τηλεπισκόπησης – αισθητήρων (sensing): Τα αντικείμενα συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον τους με τη χρήση αισθητήρων και αλληλεπιδρούν με αυτό.

Ενεργοποίησης (Actuation): Τα αντικείμενα περιέχουν ενεργοποιητές που είναι ικανοί να χειραγωγήσουν το περιβάλλον τους (για παράδειγμα, η μετατροπή ηλεκτρικών σημάτων σε μηχανική κίνηση). Τέτοιοι ενεργοποιητές μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο εξ αποστάσεως του πραγματικού κόσμου μέσω του διαδικτύου.

Ενσωματωμένη επεξεργασία πληροφοριών: Τα έξυπνα (smart) αντικείμενα διαθέτουν επεξεργαστή ή μικροελεγκτή, με δυνατότητες αποθήκευσης πληροφοριών. Αυτοί οι υπολογιστικοί πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για παράδειγμα, για να επεξεργάζονται και να ερμηνεύουν τις πληροφορίες του αισθητήρα ή για να δώσουν στα αντικείμενα αυτά «μνήμη».

Επικοινωνίας και συνεργασίας: Τα αντικείμενα έχουν τη δυνατότητα να δικτυωθούν με άλλους πόρους του διαδικτύου ή ακόμα και μεταξύ τους, κάνοντας χρήση τεχνολογιών όπως GSM, UMTS, Wi-Fi,

Bluetooth, καθώς και άλλα διάφορα ασύρματα πρότυπα δικτύωσης.

Διευθυνσιοδότηση (Addressability) και ταυτότητα (Identity): Μέσα στο IoT, τα αντικείμενα έχουν ταυτότητα και συνεπώς μπορούν να εντοπιστούν, να ερωτηθούν και να απαντήσουν παρέχοντας τις πληροφορίες τις οποίες έχουν σχεδιαστεί να παρέχουν. Τα αντικείμενα είναι μοναδικά και αναγνωρίσιμα. Για αντικείμενα που είναι παθητικά και δεν έχουν ενσωματωμένους ενεργειακούς πόρους (π.χ. μπαταρίες) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις τεχνολογίες RFID ή NFC (Near Field Communication) ή απλούς οπτικά αναγνώσιμους γραμμωτούς κώδικες.

Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης (positioning): Τα έξυπνα αντικείμενα, δηλαδή αυτά που έχουν υπολογιστικές ικανότητες, έχουν επίγνωση της φυσικής τους θέσης στο χώρο, ικανότητα που επιτυγχάνεται με τη χρήση συσκευών GPS ή μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας ή με άλλες κατάλληλες τεχνολογίες.

Ανακάλυψης και σύνθεσης νέων υπηρεσιών (service discovery and composition).

Διεπαφές χρήστη (user interfaces): Τα έξυπνα αντικείμενα μπορούν να επικοινωνούν και με τους ανθρώπους με κατάλληλους τρόπους.

Προφανώς η παραπάνω λίστα δεν είναι εξαντλητική, αφού η αναλυτική παρουσίαση αυτών θα ξέφευγε από τους σκοπούς αυτού του βιβλίου. Για μια πιο αναλυτική παρουσίαση ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στα έργα των Čolaković & Hadžialić, 2018 και Al-Fuqaha et al., 2015.

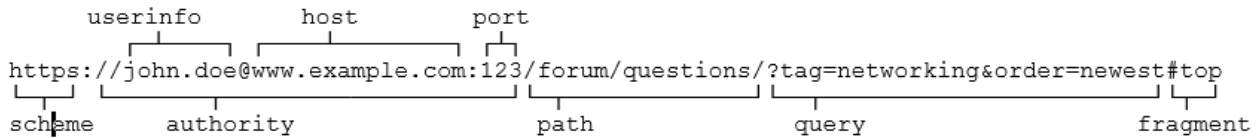
9.4.1. Ταυτοποίηση των αντικειμένων

Στο μέλλον προβλέπεται ότι το IoT θα έχει δισεκατομμύρια διασυνδεδεμένα αντικείμενα, τα περισσότερα από τα οποία θα είναι αντικείμενα της καθημερινής μας ζωής. Σε ένα τέτοιο τεράστιο δίκτυο διασυνδεδεμένων αντικειμένων, το ζήτημα της αναγνώρισης ενός συγκεκριμένου αντικειμένου και της διεύθυνσής του διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο που επηρεάζει όλες τις άλλες πτυχές του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της συνολικής αρχιτεκτονικής του συστήματος, αλλά και της ιδιωτικότητας, της ασφάλειας, της διακυβέρνησης κ.λπ.

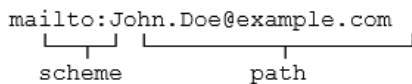
Είναι σημαντικό να διαχωρίσουμε την έννοια της ταυτοποίησης από αυτή της διευθυνσιοδότησης. Η ταυτότητα, το αναγνωριστικό του αντικειμένου, αναφέρεται στο όνομά του, π.χ. "T1" για έναν συγκεκριμένο αισθητήρα θερμοκρασίας, ενώ η διεύθυνση του αντικειμένου αναφέρεται στη διεύθυνση που έχει αυτό μέσα σε ένα δίκτυο επικοινωνιών.

Για το IoT διατίθενται πολλές μέθοδοι αναγνώρισης, όπως Uniform Resource Identifier (URI), οι διάχυτοι κωδικοί (Ubiquitous Codes - uCodes), ηλεκτρονικοί κωδικοί προϊόντων (Electronic Product Codes - EPC) κ.λπ.

Ένα **Uniform Resource Identifier (URI)** είναι μια μοναδική ακολουθία χαρακτήρων με τη μορφή ενός συνδέσμου ιστού που αναφέρεται σε κάποιο αφηρημένο ή φυσικό πόρο. Αυτά τα αναγνωριστικά χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την αλληλεπίδραση με τους πόρους του δικτύου (συμπεριλαμβανομένων των κόμβων IoT) με τη χρήση ενός ονόματος δομημένου φιλικά προς το χρήστη. Το αναγνωριστικό URI περιγράφει τόσο τον πόρο, όσο και το σχήμα (schema) που θα χρησιμοποιηθεί για την προσπέλαση του πόρου. Τα σχήματα μπορεί να είναι κάποιο από τα πρωτόκολλα http, https, ftp, mailto, file κ.λπ. Για παράδειγμα:



ή



Οι **διάχυτοι κωδικοί** είναι ένα αριθμητικό σύστημα αναγνώρισης που προσδιορίζει μοναδικά τα φυσικά αντικείμενα του πραγματικού κόσμου. Χρησιμοποιώντας το uCode τα φυσικά αντικείμενα σχετίζονται με πληροφορίες που μπορούν να ανακτηθούν από το δικτυακό τόπο www.uidcenter.org. Ένα παράδειγμα uCode είναι: 00001C000000000000001000285E7A6E3.

Το uCode μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκτύπωση ετικετών σε πολλές μορφές, π.χ. QR, bar codes, se RFID.

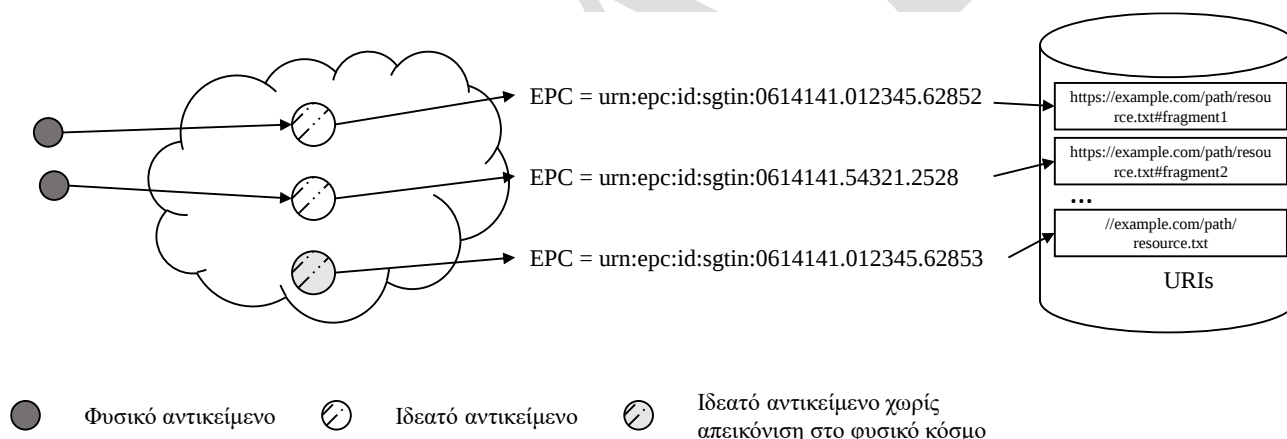
Αντίστοιχα, **οι κωδικοί EPC** (Generation, 2017) είναι κωδικοί που παράγονται από το EPCglobal Network (<https://www.gs1.org/epcglobal>), ένα δίκτυο που καθιστά δυνατή την άμεση, μονοσήμαντη και αυτόματη αναγνώριση προϊόντων μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα, αλλά και τον διαμοιρασμό των δεδομένων τους. Το παρακάτω παράδειγμα δείχνει την ανάγκη τόσο για την ύπαρξη μιας μοναδικής ταυτότητας των αντικειμένων, δηλαδή για ένα κωδικό EPC, όσο και για το ρόλο που παίζει το EPC ως μοναδικό αναγνωριστικό για οποιοδήποτε φυσικό αντικείμενο. Στο παράδειγμα αυτό υπάρχει ένα δωμάτιο αποθήκευσης σε ένα νοσοκομείο που περιέχει, μεταξύ άλλων, ραδιενεργά υλικά. Ο υπεύθυνος ασφάλειας του νοσοκομείου πρέπει να γνωρίζει ποια υλικά είναι αποθηκευμένα στην αποθήκη και για πόσο χρονικό διάστημα, προκειμένου να διασφαλίσει ότι η έκθεση στη ραδιενέργεια παραμένει εντός αποδεκτών ορίων. Κάθε φυσικό αντικείμενο που εισέρχεται στην αποθήκη έχει έναν μοναδικό EPC, ο οποίος κωδικοποιείται σε μια ετικέτα RFID που είναι επικολλημένη στο αντικείμενο. Στην πόρτα του αποθηκευτικού χώρου βρίσκεται τοποθετημένος ένας αναγνώστης RFID ο οποίος ελέγχει τα εισερχόμενα και τα εξερχόμενα αντικείμενα, όπως απεικονίζεται παρακάτω.

Σε τεχνικό επίπεδο, ο κωδικός EPC είναι ένας μοναδικός αριθμός ταυτοποίησης προϊόντος και αποτελείται από 64 έως 256 bits. Κάθε κωδικός EPC αντιστοιχεί σε ένα Internet Uniform Resource Identifier - URI, το οποίο αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, ένας κωδικός EPC έχει δύο τμήματα:

- α) το τμήμα που δημιουργείται από τον οργανισμό EPCglobal και αποτελείται από την επικεφαλίδα και ένα αριθμό,
- β) το τμήμα που δημιουργείται από τον συγκεκριμένο κατασκευαστή προϊόντος και περιέχει το είδος του αντικειμένου και τον σειριακό κωδικό του.

Στην Εικόνα 9.12 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας των κωδικών EPC.

Εκτός από τον κωδικό EPC, ο οποίος προσδιορίζει μοναδικά ένα προϊόν, όλες οι υπόλοιπες χρήσιμες πληροφορίες του προϊόντος περιγράφονται με τη χρήση της γλώσσας Physical Markup Language – PML. Η PML βασίζεται στην eXtensible Markup Language - XML και κατασκευάστηκε για να αποτελέσει ένα παγκόσμιο πρότυπο για την περιγραφή φυσικών αντικειμένων, διαδικασιών και άλλων δεδομένων για όλους τους βιομηχανικούς κλάδους. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να είναι δεδομένα για το προϊόν τα οποία δεν μεταβάλλονται (όπως π.χ. τα συστατικά του προϊόντος), δεδομένα τα οποία αλλάζουν συνεχώς (η θερμοκρασία ενός φορτίου με φρούτα ή τα επίπεδα δονήσεων σε ένα μηχάνημα), αλλά και χρονικά δεδομένα (temporal data) που αλλάζουν με διακριτό τρόπο και περιοδικά κατά τη διάρκεια της ζωής του αντικειμένου (π.χ. η θέση του αντικειμένου στο χώρο). Γενικά, για κάθε προϊόν αποθηκεύονται σε ένα αρχείο PML πληροφορίες, όπως είναι το όνομα του προϊόντος και η γενική κατηγορία του (αναψυκτικό, εξάρτημα αυτοκινήτου, ενδύματα κ.λπ.), πότε και πού κατασκευάστηκε, η παρτίδα παραγωγής, η ημερομηνία λήξης, η τρέχουσα τοποθεσία του, ακόμα και η θερμοκρασία του, αν αυτό απαιτείται (π.χ. ευπαθή προϊόντα). Επιπλέον, τα αρχεία PML είναι εξαιρετικά χρήσιμα, αφού μπορούν αφενός να παρέχουν πληροφορίες σε επιχειρησιακές εφαρμογές, αφετέρου να παρέχουν οδηγίες για το πού θα πρέπει να μεταφερθεί μια παλέτα, ή οδηγίες προς σε έναν χειριστή καταστήματος ώστε να μειωθεί η τιμή του προϊόντος όταν πλησιάζει η ημερομηνία λήξης του, στον έξυπνο φούρνο για τον χρόνο που χρειάζεται ένα κατεψυγμένο ώστε να ψηθεί.



Εικόνα 9.12 Παράδειγμα λειτουργίας EPC.

Στόχος του δικτύου είναι κάθε αντικείμενο να είναι ορατό στην εφοδιαστική αλυσίδα, αφού θα έχει έναν μοναδικό κωδικό ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή του. Επίσης, το δίκτυο EPCglobal διαχειρίζεται δυναμικές πληροφορίες που αφορούν αντικείμενα και την κίνηση του αντικειμένου καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Το δίκτυο υλοποιεί τις ακόλουθες υπηρεσίες:

- Υπηρεσίες ονομασίας αντικειμένων (Object Naming Service - ONS). Το ONS είναι μια υπηρεσία που επιτρέπει την εύρεση πληροφοριών για αντικείμενα βάσει του κωδικού EPC. Ο κωδικός EPC ανακτάται από μια βάση δεδομένων και στη συνέχεια οι πληροφορίες που αντιστοιχούν σε αυτόν τον κωδικό EPC αποστέλλονται πίσω στον αιτούντα.
- Υπηρεσίες ανακάλυψης (EPC Discovery Services - EPCDS). Υλοποιούν την αναζήτηση

αντικειμένων με βάση τους κωδικούς EPC.

- Υπηρεσίες πληροφοριών (EPC Information Services - EPCIS). Το EPCIS είναι ένα πρότυπο που έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων που σχετίζονται με το EPC μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών μεταξύ διαφορετικών επιχειρήσεων. Αυτή η ανταλλαγή δεδομένων στοχεύει στην ομοιόμορφη διαχείριση των πληροφοριών για φυσικά ή ψηφιακά αντικείμενα μεταξύ των συμμετεχόντων στο δίκτυο EPCglobal.
- Υπηρεσίες ασφάλειας, που επιτρέπουν την ασφαλή πρόσβαση στις πληροφορίες του δικτύου EPCglobal σύμφωνα με τα δικαιώματα πρόσβασης των συμμετεχόντων.

Για τη διευκόλυνση των εμπορικών συναλλαγών, οι εταιρείες μοιράζονται με τους συνεργάτες τους διάφορες στατικές πληροφορίες, όπως τα χαρακτηριστικά των προϊόντων και τις τοποθεσίες των εγκαταστάσεων της εταιρείας. Έτσι, στην περίπτωση που μεταβληθεί κάποιο χαρακτηριστικό ενός προϊόντος, οι νέες πληροφορίες θα πρέπει να μεταδοθούν σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Το ίδιο θα πρέπει να γίνει και στην περίπτωση που κάποιος μεταφέρει τα κεντρικά γραφεία του σε νέα τοποθεσία. Για την εξασφάλιση της απαίτησης ότι οι πληροφορίες είναι σωστές και ενημερωμένες, έχει δημιουργηθεί το Παγκόσμιο Δίκτυο Συγχρονισμού Δεδομένων (Global Data Synchronization Network - GDSN) που εξασφαλίζει ακριβώς αυτό, δηλαδή σωστές πληροφορίες μεταξύ των εμπορικών συνεργατών.

Ο παγκόσμιος αριθμός τοποθεσίας (Global Location Number - GLN) και ο παγκόσμιος αριθμός εμπορίας αντικειμένου (Global Trade Item Number - GTIN) είναι οι παγκόσμιοι αριθμοί αναγνώρισης που χρησιμοποιούνται στο GDSN. Ο GLN είναι το αναγνωριστικό που χρησιμοποιείται για όλες τις επιχειρήσεις, τα καταστήματα, τα κέντρα παραγωγής, τις αποθήκες, τα γραφεία πωλήσεων κ.λπ. Αντίστοιχα, το GTIN είναι το αναγνωριστικό που χρησιμοποιείται για τα εμπορικά αντικείμενα (trade items), συμπεριλαμβανομένων των προϊόντων και των υπηρεσιών. Κάθε εταιρεία διαθέτει τα δικά της GTINs και GLNs, τα οποία βασίζονται στο πρόθεμα της εταιρείας.

Εκτός των GLN και των GTIN υπάρχει ένα σύνολο διαφορετικών κωδικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες περιπτώσεις. Στον Πίνακα 9.1 παρουσιάζονται οι διαφορετικές κατηγορίες κωδικών.

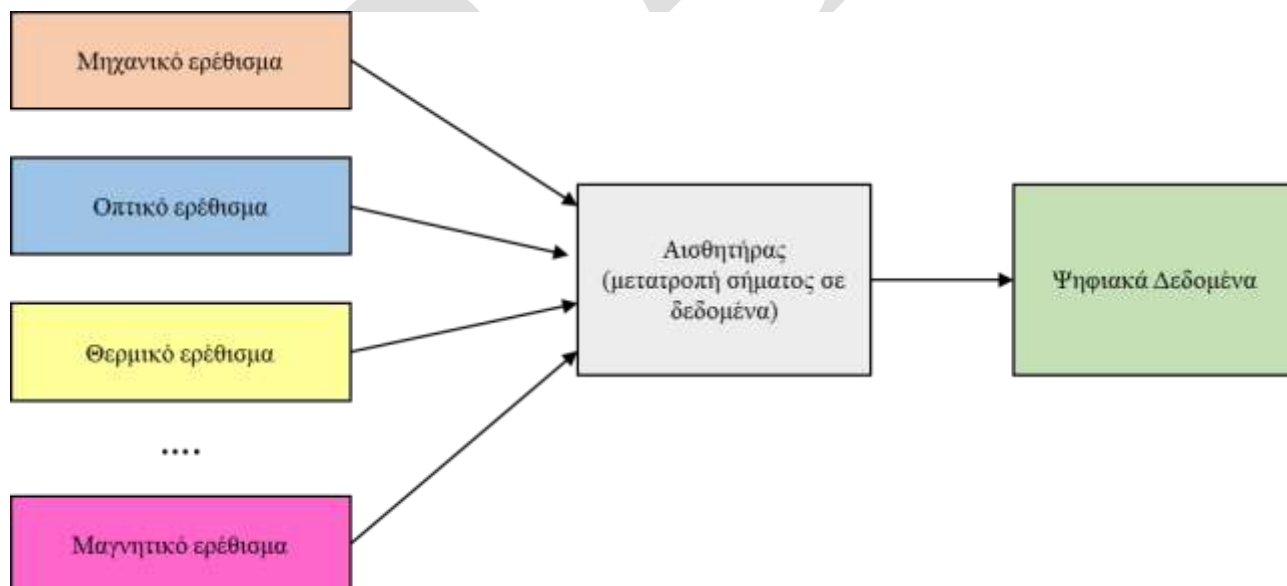
Κωδικός	Χρησιμοποιείται για να ταυτοποιήσει	Παράδειγμα
Παγκόσμιος αριθμός εμπορίας αντικειμένου (Global Trade Item Number - GTIN)	Προϊόντα και υπηρεσίες	Οποιοδήποτε προϊόν, π.χ. σοκολάτα, κονσέρβα, μηχανή κ.λπ.
Παγκόσμιος αριθμός τοποθεσίας (Global Location Number - GLN)	Μέρη και τοποθεσίες	Εταιρείες, αποθήκες, εργοστάσια, καταστήματα
Σειριακός κωδικός εμπορευματοκιβωτίου αποστολής (Serial Shipping Container Code - SSCC)	Μονάδες εφοδιαστικής	Φορτία μονάδων σε παλέτες, κλουβιά, κυλίνδρους, δέματα
Παγκόσμιος αριθμός επιστρέψιμων στοιχείων ενεργητικού (Global Returnable Asset Identifier - GRAI)	Επιστρέψιμα στοιχεία ενεργητικού	Επιστρέψιμες θήκες, παλέτες, κιβώτια, container
Παγκόσμιος αριθμός ατομικού παγίου (Global Individual Asset Identifier - GIAI)	Περιουσιακά στοιχεία	Ιατρικά μηχανήματα, μηχανές κατασκευής, οχήματα μεταφοράς, εξοπλισμός πληροφορικής
Παγκόσμιος αριθμός σύνδεσης με υπηρεσία (Global Service Relation Number - GSRN)	Φορέας παροχής υπηρεσιών	Τα μέλη μιας ομάδας, ενός νοσοκομείου, μιας βιομηχανίας, ενός πανεπιστημίου
Παγκόσμιος αριθμός τύπου εγγράφου (Global Document Type Identifier - GDTI)	Τύπος εγγράφου	Φορολογικές δηλώσεις, φόρμες αποστολής, άδειες οδήγησης

Παγκόσμιος αριθμός αναγνώρισης για την αποστολή (Global Identification Number for Consignment - GINC)	Αποστολές	Μονάδες εφοδιαστικής που μεταφέρονται μαζί κατά τη θαλάσσια μεταφορά
Παγκόσμιος αριθμός ταυτοποίησης αποστολής (Global Shipment Identification Number - GSIN)	Αποστολές	Μονάδες εφοδιαστικής που παρέχονται μαζί σε έναν πελάτη
Παγκόσμιος αριθμός κουπονιού (Global Coupon Number - GCN)	Κουπόνια	Ψηφιακά κουπόνια
Παγκόσμιος αριθμός εξαρτήματος (Component/Part Identifier - CPID)	Συστατικά/εξαρτήματα	Εξαρτήματα αυτοκινήτου
Παγκόσμιος αριθμός μοντέλου (Global Model Number - GMN)	Μοντέλο	Ιατρικές συσκευές, αυτοκίνητα

Πίνακας 9.1 Πίνακας κωδικών ταυτοποίησης κατά GS1 (πηγή: <https://www.gs1.org/standards/id-keys>).

9.4.2. Αισθητήρες

Ένας αισθητήρας (sensor) είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους και τη μετατροπή αυτού του φυσικού μεγέθους σε ηλεκτρικό σήμα εξόδου. Ένας αισθητήρας ανιχνεύει και ανταποκρίνεται σε κάποιο είδος εισόδου από το φυσικό περιβάλλον. Η συγκεκριμένη είσοδος μπορεί να είναι το φως, η θερμότητα, η κίνηση, η υγρασία, η πίεση ή οτιδήποτε από έναν μεγάλο αριθμό άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων. Η έξοδος είναι γενικά ένα σήμα το οποίο μετατρέπεται σε αναγνώσιμη από άνθρωπο μορφή στη διεπαφή χρήστη, στη θέση του αισθητήρα ή μεταδίδεται ηλεκτρονικά μέσω ενός δικτύου για ανάγνωση ή περαιτέρω επεξεργασία. Η λειτουργία των αισθητήρων φαίνεται και στην Εικόνα 9.13.

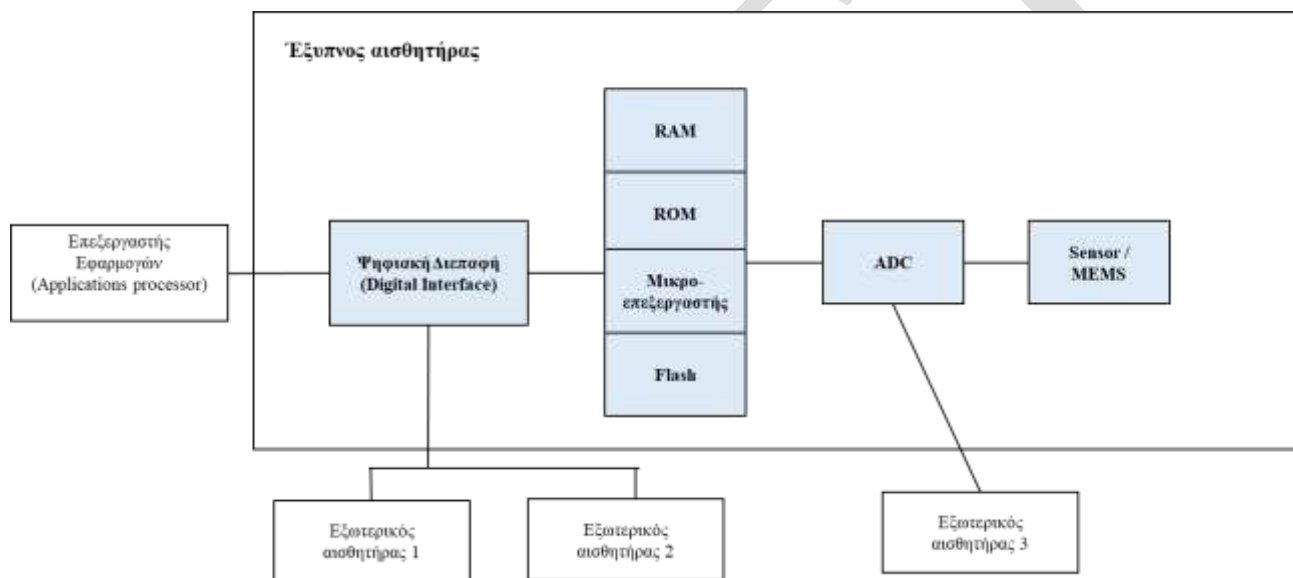


Εικόνα 9.13 Η λειτουργία ενός αισθητήρα.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να διαφοροποιήσουμε την έννοια του αισθητήρα από αυτή του έξυπνου αισθητήρα (smart sensor). Ένας έξυπνος αισθητήρας είναι μια συσκευή πάνω στην οποία υπάρχουν, ολοκληρωμένα, ένα αισθητήριο στοιχείο μαζί με ένα κύκλωμα επεξεργασίας σήματος. Σύμφωνα με το

πρότυπο της IEEE 1451 (Song & Lee, 2008), ένας έξυπνος αισθητήρας είναι ένας αισθητήρας που διαθέτει μνήμη με σκοπό την αποθήκευση των πληροφοριών του αισθητήρα καθώς και μια διεπαφή (interface) επικοινωνίας. Ο ορισμός αυτός θα πρέπει να επεκταθεί όταν αναφερόμαστε στο IoT, έτσι ώστε να συμπεριλάβει και υπολογιστική δυνατότητα η οποία επιτρέπει την τοπική επεξεργασία των δεδομένων. Ένας έξυπνος αισθητήρας στο IoT περιλαμβάνει τον αισθητήρα, τη μνήμη, την υπολογιστική δυνατότητα, τους αλγόριθμους επεξεργασίας, όπως και μια λειτουργία αυτόματης βαθμονόμησης ή αυτόματης αντιστάθμισης, κατά την οποία ο αισθητήρας ανιχνεύει και εξαλείφει τις μη κανονικές ή τις ακραίες τιμές, καθώς και δυνατότητα επικοινωνίας με το διαδίκτυο μέσω μιας σειράς τυποποιημένων δικτυακών πρωτοκόλλων.

Στην Εικόνα 9.14 παρουσιάζεται η δομή ενός έξυπνου αισθητήρα. Στην Εικόνα αυτή παρουσιάζεται ο επεξεργαστής εφαρμογών που είναι η εφαρμογή που συνεργάζεται με τον αισθητήρα και ανταλλάσσει δεδομένα. Ο αισθητήρας έχει μνήμη RAM, ROM, flash καθώς και μικροεπεξεργαστή. Το MEMS αναφέρεται στο Micro Electro Mechanical υποσύστημα του αισθητήρα, ενώ το υποσύστημα ADC κάνει τη μετατροπή του αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (Analog to Digital Conversion).



Εικόνα 9.14 Η δομή ενός έξυπνου αισθητήρα.

Όπως αναφέραμε, υπάρχει μεγάλος αριθμός αισθητήρων. Δεν θα ήταν υπερβολή να αναφέρουμε ότι υπάρχουν εκατοντάδες διαφορετικοί τύποι (https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_sensors). Θα μπορούσαμε να αναφέρουμε κάποιες βασικές κατηγορίες από τους πιο συνηθισμένους τύπους, όπως:

- Αισθητήρες ταχύτητας-επιτάχυνσης
- Αισθητήρες κίνησης
- Αισθητήρες θερμοκρασίας
- Αισθητήρες πίεσης
- Αισθητήρες παραμόρφωσης-δύναμης
- Αισθητήρες μετακίνησης-θέσης
- Αισθητήρες ροής και στάθμης

- Μαγνητικούς αισθητήρες κ.λπ.

Κάθε αισθητήρας έχει ένα σύνολο χαρακτηριστικών, τα οποία προσδιορίζουν τον τρόπο λειτουργίας και την ποιότητα των μετρήσεών του. Πιο συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.2 (Elgar, 2003):

Χαρακτηριστικό	Ορισμός
Εύρος (range)	Τα όρια στα οποία ο αισθητήρας λειτουργεί αξιόπιστα.
Πιστότητα (accuracy)	Η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς την τιμή εισόδου. Δίνεται ως ποσοστό επί του εύρους λειτουργίας του αισθητήρα (π.χ. ένας αισθητήρας πίεσης που έχει περιοχή λειτουργίας από 0 έως 20 bar και έχει πιστότητα $\pm 1\%$ συνεπάγεται ότι θα έχουμε μέγιστη αβεβαιότητα αισθητήρα 0,1 bar).
Σφάλμα	Η διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και στην πραγματική τιμή.
Ανοχή	Το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να δείξει ο αισθητήρας.
Διακριτική ικανότητα	Η μικρότερη αλλαγή τιμής εισόδου που μπορεί να ανιχνεύσει.
Ευαισθησία	Η σχέση της αλλαγής εξόδου προς την αλλαγή εισόδου είναι ίση με τη διαφορά των τιμών της εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών εισόδου.
Νεκρή ζώνη	Το μέγιστο ποσό αλλαγής της εισόδου που δεν επιφέρει αλλαγή στην έξοδο.
Γραμμικότητα	Ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου είναι γραμμική.
Απόκριση	Ο χρόνος που απαιτείται για να λάβει την τελική τιμή η έξοδος. Ιδανικά θα πρέπει να είναι μηδέν ή όσο το δυνατόν μικρότερος.
Καθυστέρηση	Η καθυστέρηση της αλλαγής της εξόδου ως προς την είσοδο.
Ευστάθεια	Η μεταβολή της εξόδου σε μεγάλη χρονική περίοδο, χωρίς μεταβολή της εισόδου και των συνθηκών.
Υστέρηση	Η διαφορά στην έξοδο όταν η κατεύθυνση της μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί.
Επαναληψιμότητα	Η παραγωγή του ίδιου αποτελέσματος, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, με την ίδια είσοδο.
Ολίσθηση	Η μεταβολή των χαρακτηριστικών του αισθητήρα με τον χρόνο και το περιβάλλον. Ολίσθηση μηδενός (zero drift) είναι η περίπτωση που έχουμε ένα μη μηδενικό σήμα εξόδου όταν το σήμα εισόδου είναι μηδέν, ενώ ολίσθηση ευαισθησίας (sensitivity drift) είναι το ποσό μεταβολής της ευαισθησίας ενός αισθητήρα λόγω μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών.
Συστηματικό σφάλμα (bias)	Συστηματικό σφάλμα σε όλο το εύρος λειτουργίας, το οποίο μπορεί να αντισταθμιστεί μέσω βαθμονόμησης.

Πίνακας 9.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα.

Ακολουθούν τρία παραδείγματα δημοφιλών αισθητήρων, αυτών της επιτάχυνσης, της κίνησης και της θερμοκρασίας:

Αισθητήρες επιτάχυνσης

Ένα **επιταχυνσιόμετρο** (accelerometer) είναι ένας ηλεκτρομηχανικός μετατροπέας ο οποίος παράγει στους ακροδέκτες της εξόδου του μια τάση ή ένα φορτίο που είναι ανάλογο προς την επιτάχυνση στην οποία υποβάλλεται. Αποτελείται από πιεζοηλεκτρικά στοιχεία (μοιάζουν με μικρά κρύσταλλα) που έχουν την ιδιότητα να παράγουν ένα ηλεκτρικό φορτίο το οποίο είναι ανάλογο προς την καταπόνηση που υφίστανται, και συνεπώς την εφαρμοζόμενη δύναμη. Οι εφαρμογές του επιταχυνσιόμετρου περιλαμβάνουν τη μέτρηση της επιτάχυνσης, γωνιακής επιτάχυνσης, ταχύτητας, θέσης, γωνιακής συχνότητας, συχνότητας, κλίσης και προσανατολισμού, ανίχνευσης κίνησης κ.λπ. Τα επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της κίνησης και της δόνησης μιας δομής που εκτίθεται σε δυναμικά φορτία. Τα δυναμικά φορτία που ανιχνεύουν τα επιταχυνσιόμετρα μπορεί να προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως:

- Ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως περπάτημα, τρέξιμο ή χορός
- Κραδασμούς μέσα σε ένα κτίριο ή στη γύρω περιοχή
- Μετακίνηση φορτίων σε γέφυρες
- Συγκρούσεις οχημάτων
- Φορτία σε πτώση
- Εκρήξεις
- Δύναμη ανέμου
- Πίεση αέρα
- Απώλεια στήριξης
- Σεισμούς

Όπως είναι κατανοητό, οι εφαρμογές των επιταχυνσιόμετρων είναι δεκάδες, και για το λόγο αυτό αποτελούν έναν τυποποιημένο αισθητήρα που υπάρχει σε όλα τα έξυπνα τηλέφωνα (smart phones).

Για παράδειγμα, σε ένα έξυπνο τηλέφωνο το επιταχυνσιόμετρο μετρά την επιτάχυνση σε m/sec^2 που εφαρμόζεται στη συσκευή στους τρεις άξονες (x , y , z) αφού ληφθεί υπόψη και η δύναμη της βαρύτητας. Σε μια τέτοια συσκευή:

- Όταν το διάνυσμα των $\langle x, y, z \rangle$ έχει τιμές 0 ή κοντά στο 0, η συσκευή βρίσκεται σε ελεύθερη πτώση.
- Όταν η συσκευή είναι επίπεδη σε ένα τραπέζι και ωθείται από τα αριστερά προς τα δεξιά, η τιμή επιτάχυνσης x είναι θετική.
- Όταν η συσκευή είναι επίπεδη σε ένα τραπέζι, η τιμή επιτάχυνσης είναι $+9,81 \text{ m/sec}^2$, που αντιστοιχεί στην επιτάχυνση της συσκευής (0 m/sec^2) μείον τη δύναμη βαρύτητας ($-9,81 \text{ m/sec}^2$).
- Όταν η συσκευή είναι επίπεδη σε ένα τραπέζι και ωθείται προς τα επάνω, η τιμή επιτάχυνσης είναι μεγαλύτερη από $+9,81 \text{ m/sec}^2$, που αντιστοιχεί στην επιτάχυνση της συσκευής ($+A$

m/sec²) μείον τη δύναμη της βαρύτητας (-9,81 m/sec²). Στην Εικόνα 9.15 παρουσιάζεται ενδεικτικά η τιμή της επιτάχυνσης σε ένα έξυπνο τηλέφωνο τύπου android όταν αυτό βρίσκεται σε διάφορες θέσεις.

Θέση	X	Y	Z
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΟΘΟΝΗΣ ΕΠΑΝΩ 	0	9,81 m/sec ²	0
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΟΘΟΝΗΣ ΑΡΙΣΤΕΡΑ 	9,81 m/sec ²	0	0
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΟΘΟΝΗΣ ΚΑΤΩ 	0	-9,81 m/sec ²	0
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΟΘΟΝΗΣ ΔΕΞΙΑ 	-9,81 m/sec ²	0	0
ΟΘΟΝΗ ΠΡΟΣ ΤΑ ΕΠΑΝΩ 	0	0	9,81 m/sec ²

Εικόνα 9.15 Οι τιμές του επιταχυνσίόμετρου σε διάφορες θέσεις ενός έξυπνου τηλεφώνου.

Αισθητήρες Κίνησης

Ένας ηλεκτρονικός ανιχνευτής κίνησης περιέχει έναν οπτικό ή έναν μικροκυματικό ή έναν ακουστικό αισθητήρα και σε πολλές περιπτώσεις έναν πομπό για φωτισμό. Η βασική του χρήση είναι η ανίχνευση της κίνησης των αντικειμένων στο χώρο. Προφανώς υπάρχουν δεκάδες διαφορετικές περιπτώσεις και συνδυασμοί κίνησης-χώρων και συνεπώς και κατηγορίες αισθητήρων κίνησης που εξειδικεύονται σε αυτούς τους διαφορετικούς συνδυασμούς. Έτσι, για παράδειγμα, ένας παθητικός αισθητήρας κίνησης ανιχνεύει ένα κινούμενο αντικείμενο μέσω εκπομπής ή ανάκλασης, η οποία εκπέμπεται από το αντικείμενο ή από κάποιον άλλον εκπομπό του περιβάλλοντος (π.χ. ήλιος). Αλλαγές στο οπτικό, μικροκυματικό ή ακουστικό πεδίο στην εγγύτητα της συσκευής ερμηνεύονται από τον αισθητήρα ως κινούμενα αντικείμενα. Οι περισσότεροι ανιχνευτές κίνησης χαμηλού κόστους μπορούν να ανιχνεύσουν έως και αποστάσεις τουλάχιστον 10 μέτρων. Τα συστήματα αισθητήρων τομογραφικής κίνησης μπορούν να καλύψουν πολύ μεγαλύτερες επιφάνειες, επειδή τα ραδιοκύματα βρίσκονται σε συχνότητες που μπορούν να διαπερνούν τα περισσότερα τοιχώματα και εμπόδια και να ανιχνεύονται σε πολλαπλές τοποθεσίες, και όχι μόνο στη θέση του πομπού.

Οι ανιχνευτές κινήσεων έχουν ευρεία χρήση σε οικιακές και εμπορικές εφαρμογές. Η πιο κοινή εφαρμογή αυτής της κατηγορίας αισθητήρων είναι τα αυτόματα μηχανήματα ανοίγματος θυρών σε επιχειρήσεις και δημόσια κτίρια. Οι αισθητήρες κίνησης χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως για την ενεργοποίηση του φωτισμού δρόμων ή εσωτερικών φωτών σε πεζόδρομους ή και σε κλιμακοστάσια.

Υπάρχουν πολλοί τύποι αισθητήρων ανίχνευσης κίνησης. Οι βασικότερες κατηγορίες είναι :

- Αισθητήρες παθητικής υπέρυθρης ακτινοβολίας (Passive InfraRed - PIR). Οι αισθητήρες παθητικής υπέρυθρης ακτινοβολίας (PIR) είναι ευαίσθητοι στη θερμοκρασία του σώματος ενός ατόμου που εκπέμπεται, σε αντίθεση με τη θερμοκρασία των αντικειμένων του χώρου που συνήθως σε θερμοκρασία δωματίου δεν είναι τόσο θερμά. Ο αισθητήρας δεν εκπέμπει κάποια ενέργεια ή σήμα, και για το λόγο αυτό θεωρείται παθητικός.
- Αισθητήρες μικροκυμάτων (microwaves), που ανιχνεύουν την κίνηση μέσω του φαινομένου Doppler και που βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας στην οποία βασίζεται και ένα όπλο ταχύτητας ραντάρ (speed gun). Οι αισθητήρες αυτοί εκπέμπουν ένα συνεχές κύμα ακτινοβολίας μικροκυμάτων και οι μετατοπίσεις φάσεων στα ανακλώμενα μικροκύματα, λόγω της κίνησης ενός αντικειμένου προς (ή μακριά) από τον δέκτη, οδηγούν σε ένα σήμα ετεροδύνης (heterodyne), σε χαμηλή ηχητική συχνότητα.
- Αισθητήρας βασισμένος σε υπερήχους. Ένας υπερηχητικός μορφοτροπέας εκπέμπει ένα υπερηχητικό σήμα (ήχος με συχνότητα υψηλότερη από αυτή που μπορεί να ακούσει το ανθρώπινο αυτί) και δέχεται αντανάκλασεις από κοντινά αντικείμενα. Το μειονέκτημα των αισθητήρων υπερήχων είναι ότι ο αισθητήρας μπορεί να είναι ευαίσθητος στην κίνηση σε περιοχές όπου η κάλυψη είναι ανεπιθύμητη, για παράδειγμα λόγω των ανακλάσεων των ηχητικών κυμάτων γύρω από τις γωνίες.

Αισθητήρες θερμοκρασίας

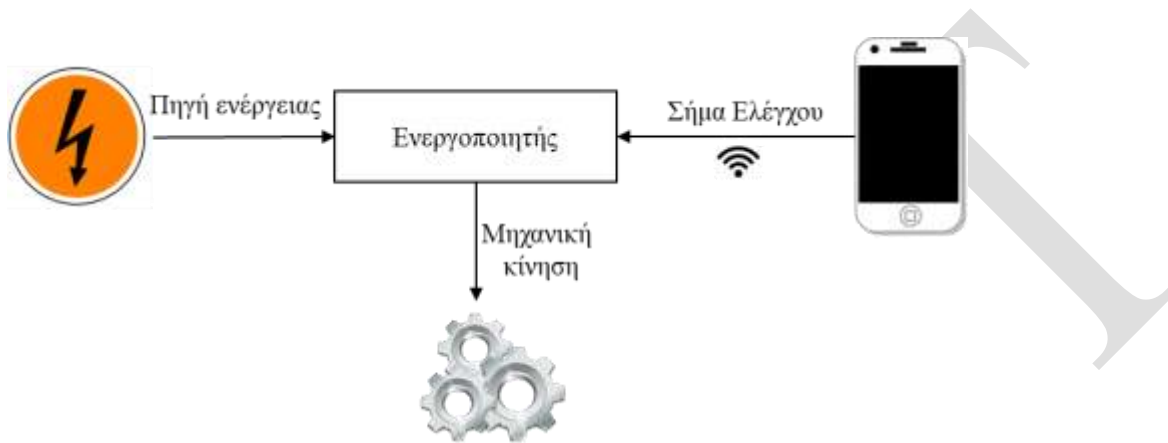
Η θερμοκρασία είναι ένα από τα συνηθέστερα μετρούμενα φυσικά μεγέθη. Η μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει με αισθητήρες επαφής ή και με αισθητήρες υπέρυθρων σημάτων. Οι πιο διαδεδομένες κατηγορίες αισθητήρων μέτρησης θερμοκρασίας είναι οι ακόλουθες:

- Αισθητήρες με θερμοζεύγη (thermocouples)
- Αισθητήρες θερμόμετρα υγρού ή αερίου (Filled system thermometers)
- Αισθητήρες με μεταλλικά θερμόμετρα
- Αισθητήρες με διμεταλλικά θερμόμετρα
- Αισθητήρες με θερμίστορ (thermistor)

Για παράδειγμα, τα θερμίστορ είναι οι πιο δημοφιλείς αισθητήρες θερμοκρασίας και αποτελούνται από μια αντίσταση με μεγάλο θερμικό συντελεστή αντίστασης. Όταν η αντίσταση ζεσταίνεται (αυξάνει η θερμοκρασία) ή ψύχεται, αντίστοιχα, αλλάζει ο θερμικός συντελεστής της αντίστασης. Κατασκευάζονται από υλικά πολύ ευαίσθητα στις μεταβολές της θερμοκρασίας, όπως μίγματα μεταλλικών οξειδίων, και περιέχουν συνήθως μαγγάνιο, νικέλιο, χρώμιο και κοβάλτιο.

9.4.3. Ενεργοποιητές

Ένας ενεργοποιητής (actuator) είναι ένα στοιχείο ενός φυσικού αντικειμένου που είναι υπεύθυνο για τη μετακίνηση και τον έλεγχο ενός μηχανισμού ή συστήματος, για παράδειγμα το άνοιγμα ενός διακόπτη. Ένας ενεργοποιητής απαιτεί ένα σήμα ελέγχου και μια πηγή ενέργειας. Το σήμα ελέγχου μπορεί να είναι ηλεκτρική τάση ή πνευματική (βλέπε Εικόνα 9.17) ή υδραυλική πίεση. Όταν ο ενεργοποιητής λαμβάνει ένα σήμα ελέγχου, αποκρίνεται μετατρέποντας την ενέργεια του σήματος σε μηχανική κίνηση. Το σύστημα ελέγχου του ενεργοποιητή μπορεί να είναι απλό (σταθερό μηχανικό ή ηλεκτρονικό σύστημα) ή βασισμένο σε λογισμικό (π.χ. οδηγός εκτυπωτή, σύστημα ελέγχου ρομπότ) (<http://www.thomasnet.com/about/actuators-301168.html>) (βλέπε Εικόνα 9.16).



Εικόνα 9.16 Τρόπος λειτουργίας ενεργοποιητή.

Στην Εικόνα 9.17 παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι ενεργοποιητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ρομπότ.

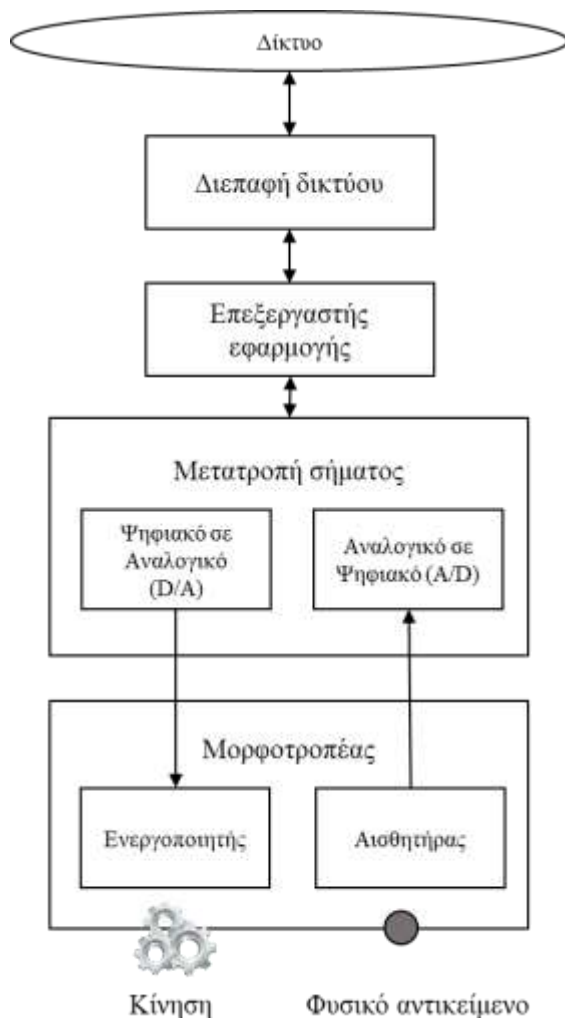


Εικόνα 9.17 Διάφοροι τύποι ενεργοποιητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ρομπότ.

9.4.4. Έξυπνοι μορφοτροπέες

Γενικά, ένας μορφοτροπέας (transducer) είναι ένας μηχανισμός που μετατρέπει έναν τύπο ενέργειας σε κάποιον άλλο. Καθώς αισθητήρες και ενεργοποιητές βρίσκονται σήμερα παντού σε μια τεράστια ποικιλία εφαρμογών, αγγίζοντας καθημερινά τις ζωές των ανθρώπων, από το βιομηχανικό αυτοματισμό έως την

παρακολούθηση και τον έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών σε ευφυή συστήματα, είναι αναγκαίο πολλές φορές ένας αισθητήρας να συνυπάρχει και να συνεργάζεται με έναν ενεργοποιητή. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι έχουμε έναν μορφοτροπέα. Ένας μορφοτροπέας είναι επομένως η ολοκλήρωση αισθητήρων, ενεργοποιητών, σε συνδυασμό με δυνατότητα υπολογιστικής επεξεργασίας και επικοινωνίας στο δίκτυο (Elmenreich & Pitzek, 2003). Στην Εικόνα 9.18 παρουσιάζεται σχηματικά η δομή ενός μορφοτροπέα.



Εικόνα 9.18 Τρόπος λειτουργίας μορφοτροπέα.

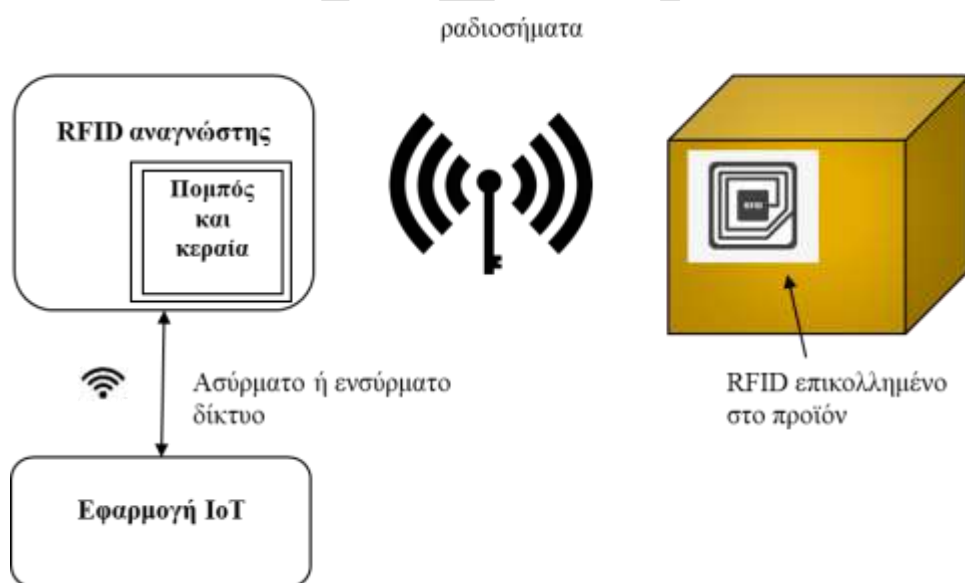
9.4.5. Συστήματα ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFIDs)

Τα συστήματα ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency IDs – RFIDs), RFIDs όπως θα τα αναφέρουμε εφεξής, χρησιμοποιούν μικροσκοπικές ετικέτες με ενσωματωμένα μικροτσίπ και περιέχουν συνήθως μια μικρή σε μέγεθος μνήμη υπολογιστή ώστε να μπορούν να μεταδίδουν το περιεχόμενό τους μέσω ραδιοσημάτων σε μικρή απόσταση. Τα ραδιοσήματα αυτά αναγνωρίζονται από συσκευές που ονομάζονται αναγνώστες RFID (RFID readers). Ο αναγνώστης, αφού λάβει αυτά τα δεδομένα, τα αποκωδικοποιεί και τα στέλνει σε έναν κεντρικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία μέσω ενσύρματου ή ασύρματου δικτύου. Ο αναγνώστης RFID αποτελείται από μια κεραία και έναν ραδιοφωνικό πομπό με λειτουργία αποκωδικοποίησης και είναι συνδεδεμένος σε μια σταθερή ή φορητή συσκευή. Συνήθως ο αναγνώστης εκπέμπει ραδιοκύματα σε απόσταση μεταξύ 2,5 cm και 30 m. Στην Εικόνα 9.19 παρουσιάζεται η φωτογραφία μιας ετικέτας RFID καθώς και το μέγεθός της σε σύγκριση με έναν συνδετήρα.



Εικόνα 9.19 Μια ετικέτα RFID (Πηγή: Wikimedia Commons, File: RFID_Chip_005.JPG).

Στην πραγματικότητα, οι ετικέτες RFID μπορούν να θεωρηθούν ηλεκτρονικοί γραμμωτοί κώδικες. Η βασική διαφορά είναι ότι, σε αντίθεση με τους γραμμωτούς κώδικες (bar codes), οι ετικέτες RFID δεν απαιτούν οπτική επαφή για να διαβαστούν. Ο τρόπος λειτουργίας τους βασίζεται στην εκπομπή ραδιοκυμάτων από τον αναγνώστη. Μόλις το RFID λάβει το σήμα, ενεργοποιείται και αρχίζει με τη σειρά του να αποστέλλει δεδομένα πίσω στον αναγνώστη, δηλαδή αποστέλλει τον προεγκατεστημένο αριθμό της ετικέτας, δηλαδή τον κωδικό του. Επιπλέον, ένα RFID μπορεί να έχει αποθηκευμένα και άλλα δεδομένα, όπως για παράδειγμα τα φυσικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου κ.λπ. Οι ετικέτες RFID επικολλώνται στα αντικείμενα και με τον τρόπο αυτό συνδέονται φυσικά με ένα αντικείμενο. Συνήθως το αντικείμενο αυτό μπορεί να αναγνωριστεί αυτόματα και χωρίς επαφή. Εξαιτίας αυτού του χαρακτηριστικού τα RFIDs θεωρούνται βασική τεχνολογία, αφού γεφυρώνουν το φυσικό με τον εικονικό κόσμο. Στην Εικόνα 9.20 παρουσιάζεται σχηματικά ο τρόπος λειτουργίας ενός RFID.



Εικόνα 9.20 Τρόπος λειτουργίας RFID.

Οι ετικέτες RFID κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των ετικετών και των αναγνωστών. Οι τύποι αυτοί είναι :

- Τα παθητικά RFID. Το στιγμιαίο ηλεκτρικό σήμα που επάγεται στην κεραία του παθητικού

RFID από την εισερχόμενη ραδιοσυχνότητα παρέχει την απαραίτητη ισχύ στο ολοκληρωμένο κύκλωμα του RFID για να επανεκπέμψει ένα σήμα (backscattering). Το παθητικό RFID μπορεί να περιέχει μνήμη για αποθήκευση δεδομένων και έτσι να επανεκπέμψει περισσότερες πληροφορίες από ένα απλό ID number (αριθμός σειράς). Μη έχοντας ηλεκτρική τροφοδοσία, το RFID είναι μικρό ώστε να μπορεί να μπει ακόμη και κάτω από την επιδερμίδα (ζώων ή ανθρώπων). Οι πιο συνηθισμένες διαστάσεις τέτοιων RFID είναι 0,15 mm x 0,15 mm και έχουν πάχος λεπτότερο από ένα φύλλο χαρτιού (7,5 μm). Τα παθητικά RFIDs διαβάζονται από αποστάσεις 2 mm έως μερικά μέτρα (ISO 18000-6), ανάλογα με την κατασκευή, το μέγεθος της κεραίας τους και την χρησιμοποιούμενη συχνότητα. Έχουν θεωρητικά άπειρο χρόνο ζωής (αφού δεν χρειάζονται μπαταρία).

- Τα ενεργά RFID. Αυτά έχουν τη δική τους πηγή ενέργειας (μπαταρία) και εκπέμπουν δικό τους σήμα (ονομάζονται και beacons). Έχουν μεγαλύτερη ζώνη κάλυψης (μεγαλύτερες αποστάσεις – δεκάδες μέτρα) και μεγαλύτερη μνήμη από ό,τι τα παθητικά RFIDs. Το μέγεθός τους σήμερα είναι παρόμοιο με ένα νόμισμα και η μπαταρία τους έχει χρόνο ζωής μέχρι 5 χρόνια.
- Τα ημι-παθητικά RFID έχουν ενσωματωμένη πηγή ενέργειας, όπως και τα ενεργά. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του κυκλώματος του RFID και όχι για να εκπέμπεται το σήμα στον αναγνώστη.

Οι χρήσεις των RFIDs είναι πάρα πολλές:

■ Σε αποθήκες εμπορευμάτων, όπου τα RFIDs χρησιμοποιούνται για την καταγραφή και τη διαχείριση των εμπορευμάτων.

- Σε βιομηχανίες για την παρακολούθηση της παραγωγής των προϊόντων.
- Σε βιβλιοθήκες για τη διαχείριση του δανεισμού των βιβλίων.
- Για πληρωμή διοδίων στις εθνικές οδούς. Για παράδειγμα, το σύστημα «e-Pass» που χρησιμοποιείται για την πληρωμή διοδίων στην Αττική Οδό βασίζεται σε ετικέτες RFID.
- Για διαβατήρια. Τα νέου τύπου διαβατήρια έχουν δεδομένα RFIDs, τα οποία περιλαμβάνουν τα προσωπικά δεδομένα του κατόχου τους (π.χ. ονοματεπώνυμο, ημερομηνία γέννησης, ύψος, χρώμα μαλλιών κ.λπ., καθώς επίσης και μια ψηφιακή φωτογραφία).
- Για τις ανέπαφες οικονομικές συναλλαγές με χρήση πιστωτικών και χρεωστικών καρτών.

Όμως η χρήση των RFIDs εμπεριέχει κινδύνους, καθώς τα δεδομένα μπορούν να διαβαστούν πολύ εύκολα από κακόβουλους χρήστες οι οποίοι δρουν από απόσταση. Επομένως, ο κίνδυνος διαρροής εμπιστευτικών πληροφοριών ή αντιγραφής (κλωνοποίησης) των RFIDs είναι υπαρκτός.

9.4.6. Τεχνολογίες διασύνδεσης συσκευών στο δίκτυο IoT

Σήμερα υπάρχει πληθώρα τεχνολογιών διασύνδεσης συσκευών IoT, οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν με πληθώρα τρόπων κάνοντας τον σχεδιασμό, αλλά και τη λειτουργία, ενός IoT συστήματος ιδιαίτερα σύνθετη. Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας ή του συνδυασμού τεχνολογιών είναι π.χ. η εμβέλεια, οι απαιτήσεις μεταφοράς δεδομένων, οι απαιτήσεις ασφάλειας και ισχύος

κ.λπ. (Rehman1et al., 2013).

Υπάρχουν πολλές δημοφιλείς τεχνολογίες, όπως WiFi, Bluetooth, ZigBee και 3G/4G, αλλά και πολλές νέες αναδυόμενες επιλογές δικτύωσης, όπως η Thread ως εναλλακτική λύση για οικιακές εφαρμογές ή οι τεχνολογίες Whitespace TV (κενές συχνότητες μεταξύ των τηλεοπτικών συχνοτήτων) που βρίσκουν χρήση σε πόλεις, παρέχοντας λειτουργίες παρόμοιες του WiFi, αλλά με πολύ μεγαλύτερη γεωγραφική κάλυψη. Μερικές από τις σημαντικότερες τεχνολογίες επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στο IoT παρουσιάζονται εν συντομία παρακάτω, δίνοντας έμφαση στη χρήση τους. Οι τεχνολογίες παρουσιάζονται ταξινομημένες με βάση την απόσταση λειτουργίας τους (Hassan, 2018):

- **Επικοινωνία πλησίον πεδίου (Near Field Communication – NFC)** (<http://www.nfc-forum.org>). Είναι ένα σύνολο πρωτοκόλλων που επιτρέπουν απλές και ασφαλείς αμφίδρομες συναλλαγές μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών, και ιδιαίτερα έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphones), επιτρέποντας στους καταναλωτές να πραγματοποιούν συναλλαγές χωρίς επαφή, να έχουν πρόσβαση σε ψηφιακό περιεχόμενο και να συνδέουν ηλεκτρονικές συσκευές. Ουσιαστικά επεκτείνει την ικανότητα της τεχνολογίας RFID και επιτρέπει στις συσκευές να μοιράζονται πληροφορίες σε απόσταση έως 20 εκατοστά. Το NFC χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές IoT, όπως έξυπνες πληρωμές και πρόσβαση σε συστήματα ελέγχου κ.λπ.
- **Z-Wave** (<https://www.z-wave.com>). Το Z-Wave είναι μια τεχνολογία επικοινωνιών χαμηλής ισχύος που έχει σχεδιαστεί κυρίως για οικιακό αυτοματισμό για προϊόντα όπως ελεγκτές λαμπτήρων και αισθητήρες. Είναι βελτιστοποιημένη για αξιόπιστη επικοινωνία μικρών πακέτων δεδομένων με ταχύτητες δεδομένων μέχρι 100 kbit/sec, ενώ λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων κάτω του 1 GHz. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν να υπάρξουν παρεμβολές από WiFi ή άλλες ασύρματες τεχνολογίες που λειτουργούν στην περιοχή των 2,4 GHz, όπως Bluetooth ή ZigBee. Επίσης, υποστηρίζει πλήρη κατακεντημένα δίκτυα (mesh networks) χωρίς την ανάγκη ύπαρξης ενός κόμβου συντονιστή και επιτρέπει τον έλεγχο έως και 232 συσκευών. Λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων των 900 MHz, ενώ η εμβέλεια επικοινωνίας είναι 30 μέτρα.
- **Bluetooth**. Είναι μια ιδιαίτερα δημοφιλής τεχνολογία επικοινωνίας μικρής εμβέλειας. Είναι η τεχνολογία κλειδί για συσκευές φορητού υπολογισμού και ιδιαίτερα για συσκευές που φοριούνται (wearables), καθώς και για προϊόντα που συνδέονται στο IoT μέσω ενός smartphone. Στην ίδια οικογένεια πρωτοκόλλων ανήκει και το νέο πρωτόκολλο Bluetooth Low Energy (BLE) το οποίο, παρόλο που προσφέρει παρόμοια εμβέλεια με το Bluetooth, έχει σχεδιαστεί για μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που το κάνει κατάλληλο για συσκευές IoT. Ωστόσο, το BLE δεν είναι σχεδιασμένο για μεταφορά αρχείων και είναι πιο κατάλληλο για μικρό όγκο δεδομένων. Λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων των 2,4 GHz, ενώ η εμβέλεια επικοινωνίας για συσκευές Bluetooth είναι 50-150 μέτρα (Smart / BLE).
- **Zigbee** (<https://www.zigbee.org/>). Το ZigBee είναι ανταγωνιστική τεχνολογία του Bluetooth και είναι ιδιαίτερα δημοφιλές σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Το ZigBee είναι κατάλληλο για ενσωματωμένες εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ρεύματος και χρειάζονται χαμηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Συνήθως οι συσκευές που υλοποιούν το

πρωτόκολλο Zigbee, για να πιστοποιηθούν, θα πρέπει να έχουν διάρκεια ζωής τουλάχιστον δύο ετών. Τυπικά πεδία εφαρμογής περιλαμβάνουν: αυτοματισμούς σπιτιών (έξυπνος φωτισμός, προηγμένος έλεγχος θερμοκρασίας κ.λπ.), ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, βιομηχανικό έλεγχο, συλλογή ιατρικών δεδομένων. Λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων των 2,4 GHz και η απόσταση λειτουργίας του πρωτοκόλλου Zigbee είναι 100 μέτρα.

- **WiFi.** Η πλέον διαδεδομένη τεχνολογία δικτύωσης, αφού υπάρχει σαφώς μια ευρεία υφιστάμενη υποδομή που προσφέρει γρήγορη μεταφορά δεδομένων καθώς και την ικανότητα χειρισμού μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων. Λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων των 2,4 GHz και η απόσταση λειτουργίας είναι περίπου 50 μέτρα.
- **Επικοινωνία μέσω γραμμής ισχύος (Power Line Communication - PLC).** Περιλαμβάνει ένα σύνολο πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούν καλωδιώσεις γραμμής ισχύος για ταυτόχρονη μετάδοση τόσο των δεδομένων όσο και ηλεκτρικού ρεύματος. Με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας μπορούμε τόσο να τροφοδοτήσουμε συσκευές όσο και να μεταφέρουμε δεδομένα με τη χρήση του ηλεκτρικού δικτύου. Η συνηθισμένη απόσταση δικτύωσης είναι 300 μέτρα, αλλά θα πρέπει οι συνδεδεμένες συσκευές να βρίσκονται στο ίδιο ηλεκτρικό δίκτυο. Χρησιμοποιείται σε IoT περιβάλλοντα όπου υπάρχουν παρεμβολές, σε έξυπνα οχήματα, έξυπνα πλέγματα (smart grids), σε έξυπνα σπίτια (smart homes), όπως επίσης και σε περιπτώσεις που δεν είναι εφικτό να τοποθετηθεί νέα καλωδίωση (χρησιμοποιείται η υπάρχουσα καλωδίωση του ηλεκτρικού δικτύου).
- **Sigfox** (<https://www.sigfox.com>). Είναι μια εναλλακτική τεχνολογία για περιπτώσεις που απαιτείται ευρεία εμβέλεια, η οποία από άποψη εμβέλειας βρίσκεται μεταξύ WiFi και δικτύων κινητών τηλεφώνων. Χρησιμοποιεί συχνότητες μικρότερες του 1MHz, οι οποίες είναι ελεύθερες για χρήση χωρίς αδειοδότηση για τη μετάδοση δεδομένων σε πολύ στενό φάσμα συχνοτήτων (ultra narrow band) από και προς τα συνδεδεμένα αντικείμενα. Σε πολλές IoT εφαρμογές, τα αντικείμενα έχουν μια μικρή μπαταρία, χρειάζεται να μεταφέρουν μικρό όγκο δεδομένων, ενώ είναι διεσπαρμένα σε μεγάλη έκταση. Στην περίπτωση αυτή, η εμβέλεια του WiFi είναι πολύ μικρή, ενώ η χρήση δικτύων κινητών τηλεφώνων είναι δαπανηρή και επίσης καταναλώνει μεγάλη ισχύ, που δεν είναι διαθέσιμη από τα αντικείμενα. Η τεχνολογία Sigfox με τη χρήση τεχνολογίας Ultra Narrow Band (UNB) υλοποιεί ακριβώς αυτές τις προδιαγραφές: χαμηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων από 10 έως 1.000 bits/sec και 50 microwatts κατανάλωση (σε σύγκριση με 5.000 microwatts στο κινητό τηλέφωνο), που σημαίνει ότι μια μπαταρία διαρκεί πολλά χρόνια. Δίκτυα βασιζόμενα στην τεχνολογία Sigfox έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλη κλίμακα στο Ηνωμένο Βασίλειο (σε δέκα πόλεις), συνδέοντας εκατομμύρια συσκευές (που λειτουργούν με μπαταρία). Οι συσκευές αυτές περιλαμβάνουν έξυπνες συσκευές μέτρησης, συσκευές παρακολούθησης ασθενών, συσκευές ασφαλείας, συσκευές φωτισμού οδών, καθώς και περιβαλλοντικούς αισθητήρες. Η τεχνολογία Sigfox λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων των 900 MHz και η απόσταση λειτουργίας στην περίπτωση αστικών συσκευών είναι 3-10 Km, ενώ στην ύπαιθρο μπορεί να φτάσει έως 50 Km.
- **Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (3G/4G/5G).** Κάθε εφαρμογή IoT που απαιτεί λειτουργία σε μεγαλύτερες αποστάσεις μπορεί να επωφεληθεί από τις δυνατότητες των δικτύων κινητής τηλεφωνίας (3G/4G). Μια κυψέλη κινητής τηλεφωνίας έχει ικανότητα αποστολής μεγάλων

ποσοτήτων δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες, ειδικά για δίκτυα 4G/5G. Το εύρος λειτουργίας από την κυψέλη της κινητής τηλεφωνίας είναι 35 χιλιόμετρα.

Ο Πίνακας 9.3 παρουσιάζει συγκριτικά τις παραπάνω τεχνολογίες:

Τεχνολογία	Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	Απόσταση κάλυψης	Συχνότητα	Εφαρμογές σε κινητές συσκευές
NFC	106, 212, 424 και 848 kbps	~20 cm	13,56 MHz	Ναι
Z-Wave	9,6, 40 και 100 Kbps	~ 30 m	900 MHz	Ναι
Bluetooth Low Energy	1 Mbps	~ 30 m	2,4 GHz	Ναι
Zigbee	20, 40 και 250 Kbps	~100 m	2,4 GHz	Ναι
WiFi	11 Mbps, 54 Mbps, 600 Mbps, 1300 Mbps και 6,9 Gbps	~200 m	2,4 και 5,8 GHz	Ναι
PLC	10 Mbps	~300 m	Στενής ζώνης (Narrowband) (3-500 KHz) Ευρυζωνικές (broadband) (1,8-250 MHz)	Όχι
Sigfox	100 bps upload, 600 bps download	Πόλεις 3-10 Km, Ύψαιθος 50 Km	< 1 GHz	Ναι
3G	144–400 kbps	Εξαρτάται, μέχρι 35 Km	800 MHz-2600 MHz	Ναι
4G	1 Gbps (συνήθως 100 Mbps)	Εξαρτάται, μέχρι 35 Km	800 MHz-2600 MHz	Ναι
5G	1-10 Gbps (θεωρητικό όριο)	2 Km	30-300 GHz	Ναι

Πίνακας 9.3 Συγκριτικός πίνακας τεχνολογιών σύνδεσης IoT.

9.5. Σχεδιασμός και πρωτοτυποποίηση εφαρμογών IoT

Η ανάγκη για ανάπτυξη εφαρμογών IoT οδήγησε στη δημιουργία ειδικά προσχεδιασμένων πακέτων

(κιτ), τα οποία συνδυάζουν επεξεργαστές, μικροελεγκτές, πίνακες συνδεσμολογίας (breadboard), δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας, καθώς και άλλα εξαρτήματα έτοιμα προς χρήση. Είναι διαθέσιμα σε διαφορετικές διαμορφώσεις και περιλαμβάνουν μια ποικιλία περιφερειακών για τη σύνδεση αισθητήρων, καθώς και τη διασύνδεση με άλλα εξαρτήματα ή συσκευές για το σχεδιασμό και τη δημιουργία πρωτότυπων συσκευών IoT.

Η ανάγκη για συνεχή ανάπτυξη IoT εφαρμογών οδήγησε στην ύπαρξη πληθώρας πλατφορμών ανάπτυξης IoT εφαρμογών και στην ανάπτυξη ισχυρού ανταγωνισμού στο χώρο αυτό. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι πλατφόρμες ανάπτυξης και το υλικό είναι πλέον λιγότερο δαπανηρά, απαιτούν ελάχιστο χρόνο για τη διαμόρφωση του συστήματος, έχουν περισσότερη μνήμη και μεγαλύτερη δυνατότητα επεξεργασίας, υποστηρίζουν μια σειρά από γλώσσες προγραμματισμού και έρχονται με ενσωματωμένες και άλλες λειτουργίες, όπως ενσωματωμένα χαρακτηριστικά ασφάλειας και δυνατότητες ασύρματης σύνδεσης. Κατά συνέπεια, οι πλατφόρμες ανάπτυξης εφαρμογών IoT είναι πιο φιλικές προς τον χρήστη, σε βαθμό που ακόμη και άτομα με λίγες τεχνικές δεξιότητες μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν.

Οι πλατφόρμες ανάπτυξης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την αρχιτεκτονική τους:

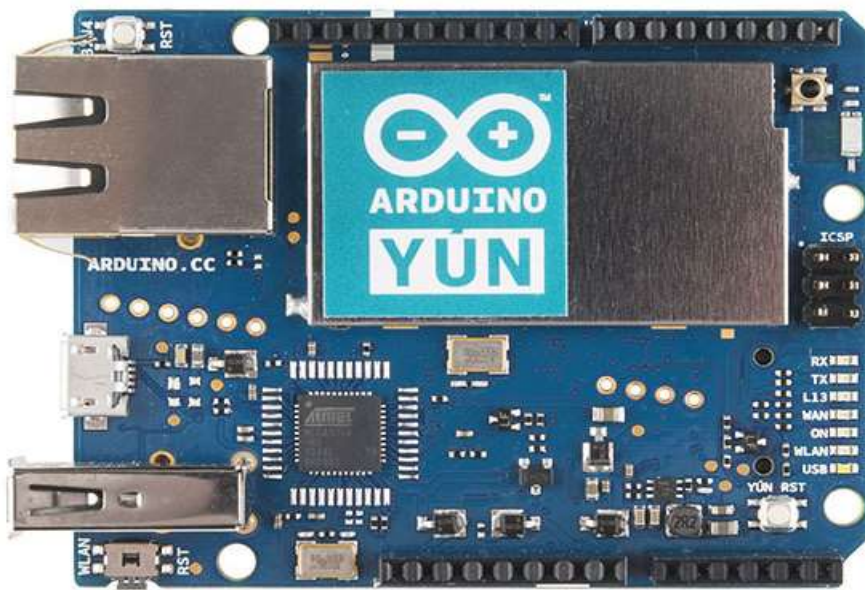
- πλατφόρμες ανάπτυξης με μικροελεγκτές (π.χ. Arduino, Particle Photon και Bluefruit FeatherAdafruit), καθώς και σε
- πλατφόρμες ανάπτυξης με Single Board Computer - SBCs (computer σε ένα chip) (π.χ. Raspberry Pi, BeagleBone Black και C.H.I.P.).

Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιάσουμε τις δύο πιο διαδεδομένες πλατφόρμες: α) το Arduino και β) το Raspberry Pi.

9.5.1. Η πλατφόρμα Arduino

Το Arduino είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα ανοικτού κώδικα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατασκευάσουμε εφαρμογές IoT (<https://www.arduino.cc/>). Η σχεδίαση του υλικού και του λογισμικού του Arduino είναι ελεύθερη και ανοιχτή προς όλους, πράγμα που σημαίνει πως οποιοσδήποτε μπορεί να κατασκευάσει την δική του πλακέτα Arduino ελεύθερα. Το Arduino αποτελείται από μια απλή μητρική πλακέτα, με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους (βλέπε Εικόνα 9.21), η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Processing. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάπτυξη IoT αντικειμένων, λαμβάνοντας δεδομένα από μια ποικιλία αισθητήρων, να ελέγχει ενεργοποιητές και να επικοινωνεί με διάφορες άλλες συσκευές. Οι εφαρμογές μπορεί να είναι αυτόνομες ή να επικοινωνούν με λογισμικό που τρέχει στον υπολογιστή σας.

Το Arduino προσφέρεται σε μια μεγάλη ποικιλία παραλλαγών που καλύπτουν ποικιλία αναγκών (IoT, wearables κ.λπ.). Επίσης, υπάρχει μια μεγάλη κοινότητα ερευνητών και φοιτητών που αναπτύσσουν μια ποικιλία εφαρμογών, ενώ πολλά προγράμματα εκμάθησης είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο. Για την υποστήριξη εφαρμογών IoT, υπάρχει το Arduino Yun, το οποίο περιλαμβάνεται στην πλακέτα Wi-Fi (IEEE 802.11 b / g / n) και Ethernet (IEEE 802.3 10/100 Mb/sec). Ο επεξεργαστής είναι ο ATmega32u4 με ταχύτητα ρολογιού 16 Mhz και ένα Atheros AR9331 (MIPS @ 400 MHz). Το Arduino Yun υποστηρίζει μια διανομή Linux που ονομάζεται OpenWrt-Yun. Η πλακέτα έχει επίσης μια υποδοχή κάρτας micro-SD, μια θύρα USB-A, επτά ακροδέκτες PWM, 12 αναλογικές εισόδους και μια σύνδεση μικρο-USB.



Εικόνα 9.21 Η πλακέτα του Arduino.

Η γλώσσα προγραμματισμού του Arduino είναι η γλώσσα Wiring (<http://processing.org>), η οποία στην ουσία είναι μια παραλλαγή της γλώσσας προγραμματισμού C++, τροποποιημένη και προσαρμοσμένη στις ανάγκες του, ενώ μέσα από τις βιβλιοθήκες του δημιουργούνται καθημερινά περισσότερες λειτουργίες και δυνατότητες.

Η πλατφόρμα Arduino έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, που είναι:

- 1) Το χαμηλό κόστος, αφού το κόστος μιας πλακέτας ανέρχεται σε μερικά ευρώ.
- 2) Είναι ανεξάρτητη της πλατφόρμας ανάπτυξης (cross-platform). Το πρόγραμμα του Arduino εκτελείται και στα τρία πιο δημοφιλή λειτουργικά συστήματα (windows, macintosh και linux).
- 3) Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα του Arduino είναι η απλότητά του. Μέσα σε λίγες ώρες, ακόμη και ένας άπειρος χρήστης μπορεί να δημιουργήσει την πρώτη του κατασκευή. Αποτελεί ιδανικό δημιουργικό εργαλείο για την απόκτηση ηλεκτρονικών και μηχανικών δεξιοτήτων.
- 4) Το Arduino είναι μια οικογένεια από πλακέτες μικροελεγκτών που σκοπό έχουν να κάνουν ευκολότερη την κατασκευή IoT αντικείμενων. Κάθε έκδοση καλύπτει διαφορετικές ανάγκες και έχει διαφορετικές δυνατότητες. Εκτός από τις διαφορετικές εκδόσεις, υπάρχουν και οι πλακέτες επέκτασης (shield's) που έρχονται να ενισχύσουν και να δώσουν νέες δυνατότητες στις πλατφόρμες του Arduino.

9.5.2. Η πλατφόρμα Raspberry Pi

Αναπτύχθηκε το Φεβρουάριο του 2012 στο Ηνωμένο Βασίλειο από το Raspberry Pi Foundation (<https://www.raspberrypi.org/>) σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο του Cambridge. Το Raspberry Pi είναι μια μικρή και φτηνή υλοποίηση ενός υπολογιστή πλήρως παραμετροποιήσιμη και αποτελεί μια ιδανική πλατφόρμα για τη διασύνδεση πολλών συσκευών.

Με την πάροδο των ετών και την ανάπτυξη της τεχνολογίας αναπτύχθηκαν συνολικά οκτώ Raspberry Pi μοντέλα. Αρχικά παρουσιάστηκαν τα μοντέλα Raspberry Pi Model A, Raspberry Pi Model A+, Raspberry Pi Model B και Raspberry Pi Model B+. Στη συνέχεια εμφανίστηκε το Raspberry Pi 2 Model B, το Raspberry Pi Zero, το Raspberry Pi 3 Model B, που κυκλοφόρησε το Φεβρουάριο του 2016, και τέλος το Raspberry Pi 3 model B+.

Το Raspberry Pi 3 Model B κυκλοφόρησε με επεξεργαστή τετραπλού πυρήνα 64 bit, ενσωματωμένο WiFi, Bluetooth και USB boot capabilities. Το επόμενο μοντέλο, 3B+, εμφανίστηκε με έναν ταχύτερο επεξεργαστή 1,4 GHz, διασύνδεση στο δίκτυο σε gigabit Ethernet (300 Mbit/sec) ή Wi-Fi διπλής ζώνης (100 Mbit/s) 2,4/5 GHz. Επίσης υποστηρίζει: Power over Ethernet – PoE (που σημαίνει ότι δεν χρειάζεται τροφοδοσία), εκκίνηση μέσω USB και εκκίνηση δικτύου (δεν απαιτείται πλέον κάρτα SD). Αυτό επιτρέπει τη χρήση του Pi σε σημεία που δεν είναι διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Σε σύγκριση με το Arduino, το Raspberry Pi έχει ταχύτερους επεξεργαστές, μεγαλύτερη μνήμη και μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης. Στην Εικόνα 9.22 παρουσιάζεται η πλακέτα Raspberry Pi 3 model B+.

Το Raspberry Pi χρησιμοποιεί λειτουργικό σύστημα που είναι βασισμένο στο Linux και ονομάζεται Raspbian. Το λειτουργικό σύστημα είναι ανοικτού λογισμικού και παρέχεται τεχνική υποστήριξη από την κοινότητα των χρηστών του. Ένα βασικό πλεονέκτημα του Raspberry Pi είναι η χαμηλή ανάγκη για ηλεκτρική ισχύ που του επιτρέπει να τροφοδοτείται ακόμα και από μπαταρίες ή ηλιακά πάνελ φόρτισης.



9.6. Εφαρμογές IoT

Το IoT περιλαμβάνει ένα ευρύ πεδίο θεμάτων και επηρεάζει έναν μεγάλο αριθμό επιστημονικών κλάδων. Επομένως, κατά την υλοποίηση του IoT προκύπτουν όχι μόνο τεχνικά ζητήματα αλλά και οικονομικά, καθώς και κοινωνικά ζητήματα. Με στόχο τη διάρθρωση των διαστάσεων του IoT, στην Εικόνα 9.23 παρουσιάζονται τα τέσσερα επίπεδα στα οποία το IoT θα πρέπει να μελετηθεί (Laudon et al, 2016).

Στον πυρήνα του IoT βρίσκονται οι σύγχρονες ΤΠΕ οι οποίες αποτελούν τη βάση του IoT. Το IoT δημιουργεί ένα δίκτυο αναγνωρίσιμων φυσικών αντικειμένων (πράγματα). Συνεπώς, η δικτύωση και η ικανότητα επικοινωνίας δεν αναφέρονται μόνο στους ανθρώπινους συμμετέχοντες, αλλά και στα αντικείμενα που εμπλέκονται. Αυτά τα αντικείμενα είναι εξοπλισμένα με μικροσκοπικούς επεξεργαστές και ενεργοποιητές, για παράδειγμα μηχανικά στοιχεία, ρυθμιστές θερμοκρασίας, συσκευές εξόδου ήχου ή εικόνας, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των αντικειμένων και του περιβάλλοντος.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων υπηρεσιών, νέων προϊόντων ή νέων επιχειρηματικών μοντέλων (επίπεδο 3). Για παράδειγμα, τα καταναλωτικά προϊόντα μπορούν να ενημερώνουν τους καταναλωτές για τη λειτουργία τους, τα χαρακτηριστικά τους και γενικότερα να παρέχουν έναν μεγάλο αριθμό πληροφοριών οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσφέρουμε στους πελάτες πρόσθετες εξειδικευμένες υπηρεσίες. Για παράδειγμα, ένα προϊόν μπορεί να ενημερώνει τον χρήστη του για το πότε θα χρειαστεί συντήρηση. Το IoT παρέχει επίσης υψηλότερο επίπεδο ποιότητας δεδομένων, επιτρέποντας στους οργανισμούς να ανταποκρίνονται πιο γρήγορα και πιο σωστά σε γεγονότα που συμβαίνουν (π.χ. η αναχώρηση ενός λεωφορείου από τη στάση, ώστε να ενημερώνονται οι επιβάτες σε επόμενες στάσεις με ακρίβεια για το χρόνο άφιξης του λεωφορείου).

Αυτός ο δυναμικός τρόπος λειτουργίας των αντικειμένων οδηγεί στη δημιουργία νέων προϊόντων και υπηρεσιών, αλλά και σε καινοτομίες σε επιχειρηματικά μοντέλα. Καθώς αυτές οι καινοτομίες επηρεάζουν την καθημερινότητά μας, έχουν ευρύ αντίκτυπο στα άτομα, στην κοινωνία, στις αγορές και στις επιχειρήσεις (επίπεδο 4). Έτσι, αφενός οι παλαιές επιχειρήσεις υπόκεινται σε συνεχή πίεση για προσαρμογή και δημιουργία νέων προϊόντων και υπηρεσιών, αφετέρου δίνεται η ευκαιρία σε καινοτόμες εταιρείες να αναπτύξουν νέα προϊόντα, διαδικασίες και επιχειρηματικά μοντέλα που τους επιτρέπουν να ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες των πελατών τους.

Τα αποτελέσματα είναι σημαντικά και πολλαπλά, αλλά όχι πάντα θετικά, αφού το IoT δημιουργεί σοβαρές προκλήσεις για τις επιχειρήσεις, τα άτομα και τις κοινωνίες γενικότερα. Σημαντικά είναι τα ζητήματα που τίθενται για:

- την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα, τη διαλειτουργικότητα και τα πρότυπα,
- το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο, και
- την κατάργηση θέσεων εργασίας και τη δημιουργία νέων προσαρμοσμένων στη νέα πραγματικότητα.

Συνεπώς το IoT θα επιφέρει πολλαπλές αλλαγές σε διαφορετικά επίπεδα, όπως αυτές παρουσιάζονται στην Εικόνα 9.23.



Εικόνα 9.23 Επίπεδα αλλαγών που επιφέρει το IoT.

Όπως είπαμε, το IoT αποτελεί σημαντική ευκαιρία καινοτομίας, αφού τα δεδομένα συνεχούς ροής θα δημιουργήσουν νέες αγορές, θα εμπνεύσουν θετικές αλλαγές ή θα βελτιώσουν υφιστάμενες υπηρεσίες. Ας δούμε μερικά παραδείγματα από κλάδους που βρίσκονται στο επίκεντρο αυτών των εξελίξεων (http://www.sas.com/el_gr/insights/big-data/internet-of-things.html):

Έξυπνες λύσεις στον κλάδο των μεταφορών επιτυγχάνουν μείωση της κίνησης στους δρόμους, μείωση της κατανάλωσης καυσίμων, θέτουν προτεραιότητες στα προγράμματα επισκευής των οχημάτων και σώζουν ζωές.

Έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα που ενσωματώνουν περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, βελτιώνουν την αξιοπιστία των συστημάτων και μειώνουν τις χρεώσεις των καταναλωτών, προσφέροντας έτσι φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια.

Απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών, που παρέχει εύκολη πρόσβαση στην ιατροφαρμακευτική περίθαλψη, βελτιώνοντας την ποιότητα των υπηρεσιών, αυξάνοντας τον αριθμό των ατόμων που εξυπηρετούνται και εξοικονομώντας χρήματα.

Αισθητήρες σε σπίτια και αεροδρόμια ή ακόμη και στα παπούτσια σας ή τις πόρτες βελτιώνουν την ασφάλεια, στέλνοντας σήματα όταν μένουν αχρησιμοποίητα για ορισμένο χρονικό διάστημα ή όταν χρησιμοποιούνται σε λάθος στιγμή.

Αισθητήρες μηχανών παρακολούθησης, που εντοπίζουν και προβλέπουν ζητήματα συντήρησης, αναπλήρωσης αποθεμάτων, οι οποίοι θέτουν ακόμη και προτεραιότητες στα χρονοδιαγράμματα των εργασιών συντήρησης για επισκευές και περιφερειακές εργασίες.

Ο Πίνακας 9.4 συνοψίζει τις περιοχές εφαρμογής στις οποίες αναμένουμε σημαντικές αλλαγές από τη

χρήση της τεχνολογίας IoT σύμφωνα με το McKinsey Global Institute (Manyika et al., 2015).

Περιοχή	Περιγραφή	Παραδείγματα
Άνθρωποι	Συσκευές προσκολλημένες ή ενσωματωμένες στο ανθρώπινο σώμα	Συσκευές φορητές ή ενσωματωμένες στο ανθρώπινο σώμα, για την παρακολούθηση της υγείας, τη διαχείριση ασθενειών, τη βελτίωση της ευεξίας (fitness), τη βελτίωση της παραγωγικότητας, τη μείωση των εργατικών ατυχημάτων κ.λπ.
Κτήρια	Κτήρια για κατοικία	Συστήματα ελέγχου ενέργειας, συστήματα ελέγχου συσκευών, προσαρμογή του περιβάλλοντος στις προδιαγραφές των χρηστών, συστήματα ασφαλείας κ.λπ.
Καταστήματα	Σημεία πώλησης, καταστήματα κ.λπ.	Ένας καταναλωτής μπορεί σε καταστήματα, τράπεζες, εστιατόρια, στάδια και γενικότερα οπουδήποτε να αγοράσει αγαθά, να ενημερωθεί για προσφορές, ενώ διευκολύνει την αυτόματη πληρωμή, τη βελτιστοποίηση στην καταγραφή εμπορευμάτων κ.λπ.
Γραφεία	Κτήρια γραφείων	Συστήματα ελέγχου ενέργειας, συστήματα ελέγχου συσκευών, προσαρμογή του περιβάλλοντος στις προδιαγραφές των χρηστών, συστήματα ασφαλείας, βελτίωση της παραγωγικότητας των εργαζομένων κ.λπ.
Εργοστάσια	Χώροι παραγωγής προϊόντων ή παροχής υπηρεσιών	Βελτίωση της παραγωγικότητας, βελτιστοποίηση της χρήσης εξοπλισμού, αυτόματος προγραμματισμός παραγωγής, αυτοματισμοί συντήρησης κ.λπ.
Εργοτάξια	Περιβάλλοντα παραγωγής ειδικών προδιαγραφών	Αυτοματοποίηση διεργασιών εξόρυξης, κατασκευής κ.λπ.
Μέσα μεταφοράς	Συστήματα ενσωματωμένα σε οχήματα	Εφαρμογές για αυτοκινούμενα οχήματα, όπως αυτοκίνητα, φορτηγά, πλοία, αεροσκάφη και τρένα, αυτοματοποιημένη συντήρηση, διαμοιραζόμενα μεταφορικά μέσα κ.λπ.
Πόλεις	Αστικά περιβάλλοντα	Δημόσιοι χώροι και υποδομές σε αστικά περιβάλλοντα, προσαρμοσμένος έλεγχος κυκλοφορίας, έξυπνοι μετρητές, παρακολούθηση περιβάλλοντος, διαχείριση περιβαλλοντικών πόρων
Εξωτερικοί χώροι	Ανάμεσα σε αστικά περιβάλλοντα.	Αυτοματισμοί στη διαχείριση σιδηροδρομικών γραμμών, αυτόνομων οχημάτων εκτός πόλεων, αυτοματοποιημένοι πλοηγοί, χρονοδρομολόγηση σε πραγματικό χρόνο, εντοπισμός φορτίων κ.λπ.

Πίνακας 9.4 Εννέα περιοχές στις οποίες αναμένεται σημαντική επίδραση από την τεχνολογία IoT (πηγή <https://www.mckinsey.com>).

9.7. Η Βιομηχανία 4.0

Μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές του IoT στις επιχειρήσεις αποτελεί η στρατηγική της Βιομηχανίας 4.0. Σύμφωνα με τον οργανισμό GTAI (Germany Trade and Invest) (<https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/industrie-4-0.html>), ο όρος **Βιομηχανία 4.0 (Industrie 4.0)** αναφέρεται στην τεχνολογική εξέλιξη από τα ενσωματωμένα (embedded) στα κυβερνοφυσικά (cyber-physical) συστήματα, με στόχο τη δημιουργία έξυπνων βιομηχανιών (smart factory), η οποία αντιπροσωπεύει την επερχόμενη 4η βιομηχανική επανάσταση προς την κατεύθυνση του IoT. Ουσιαστικά, η Βιομηχανία 4.0

εστιάζεται στην ψηφιοποίηση της βιομηχανικής παραγωγής εντός του πλαισίου της στρατηγικής υψηλής τεχνολογίας της Γερμανίας, βασιζόμενο στην ανάπτυξη της τεχνολογίας της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Η στρατηγική της Βιομηχανία 4.0 εστιάζεται στην ψηφιοποίηση:

1. της παραγωγής προϊόντων με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών σχεδίασης και παραγωγής,
2. της αλυσίδας αξίας,
3. των καναλιών διάθεσης προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και
4. στη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων.

Πολλοί παρατηρητές πιστεύουν ότι η Ευρώπη βρίσκεται στην αρχή μιας νέας βιομηχανικής επανάστασης, της 4ης βιομηχανικής επανάστασης. Ανατρέχοντας στο παρελθόν θα μπορούσαμε να πούμε ότι η πρώτη βιομηχανική επανάσταση βασίστηκε στη χρήση του ατμού και του νερού για την κίνηση των μηχανών παραγωγής αγαθών. Η ενέργεια που παραγόταν από τον ατμό ή το νερό οδήγησε στο μετασχηματισμό της κοινωνίας με τη χρήση των ατμομηχανών για μεταφορές, μηχανοποίηση της παραγωγής κ.λπ.

Η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση βασίστηκε στην ηλεκτρική ενέργεια καθώς και σε νέα μοντέλα οργάνωσης της γραμμής παραγωγής, τεχνολογίες που επέτρεψαν τη μαζική παραγωγή των προϊόντων και τη διάθεσή τους σε μεγάλα τμήματα του πληθυσμού.

Η τρίτη βιομηχανική επανάσταση σχετίστηκε με την είσοδο των υπολογιστών, τη διασύνδεσή τους σε δίκτυα υπολογιστών, το διαδίκτυο, τη χρήση ρομπότ στην παραγωγική διαδικασία κ.λπ., που οδήγησε στην εξειδίκευση της παραγωγής, την αυτοματοποίηση αυτής και τελικά στην αύξηση της παραγωγικότητας.

Στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, στη Βιομηχανία 4.0, μεταβαίνουμε από το μοντέλο χρήσης υπολογιστών και του διαδικτύου στην εποχή του διάχυτου υπολογισμού, όπου όλα τα αντικείμενα διαθέτουν υπολογιστική ισχύ, επικοινωνούν αυτόνομα μεταξύ τους, μπορούν να αποφασίζουν κ.λπ. Η χρήση αυτών των τεχνολογιών άρει τη διάκριση μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου, οδηγώντας στη δημιουργία αυτόνομων κυβερνητικών-φυσικών (κυβερνοφυσικών) συστημάτων (Cyber Physical Systems – CPS).

Αντίθετα με την τρίτη βιομηχανική επανάσταση, στην οποία η βασική καινοτομία ήταν η χρήση τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ) για τον αυτόματο έλεγχο των μηχανημάτων παραγωγής, η επερχόμενη τέταρτη βιομηχανική επανάσταση χαρακτηρίζεται από την υιοθέτηση της τεχνολογίας των CPS. Τα CPS είναι κατακευκτωμένα έξυπνα συστήματα-μικροσυστήματα ή MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) που αποτελούνται από ηλεκτρονικά, μηχανικά και πιθανώς οπτικά υποσυστήματα. Αυτά έχουν επίσης τη δυνατότητα αντίληψης του περιβάλλοντος με τη χρήση ποικιλίας αισθητήρων, τη δυνατότητα επεξεργασίας πληροφοριών, καθώς επίσης και δυνατότητες λήψης αποφάσεων με τη χρήση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης. Η Βιομηχανία 4.0 χαρακτηρίζεται λοιπόν από την εφαρμογή τέτοιων συστημάτων στη βιομηχανική παραγωγή.

Η παραπάνω ιστορική αναδρομή και εξέλιξη παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.24.



Εικόνα 9.24 Βιομηχανία 4.0 – η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση.

Σύμφωνα με τη μελέτη της εταιρεία PricewaterhouseCoopers (2016), η Βιομηχανία 4.0 θα αποφέρει σημαντικά οφέλη στη μείωση του κόστους, την αποδοτικότητα και τα κέρδη των επιχειρήσεων, ενώ η ζήτηση για ειδικούς στην πληροφορική και την ασφάλεια δεδομένων θα αποτελέσει μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις.

9.7.1. Αρχιτεκτονική αναφοράς για τη Βιομηχανία 4.0

Η πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονικής της Βιομηχανίας 4.0 απαιτεί τη μελέτη όλων των απαιτήσεων και των αναγκαίων τεχνολογιών σε ένα ενιαίο πλαίσιο αρχιτεκτονικής. Μια τέτοια αρχιτεκτονική αναφοράς (reference architecture) παρουσιάζει την οργάνωση των διεργασιών και την πληροφορική υποδομή της επιχείρησης σε επίπεδα και διευκολύνει την κατανόηση των απαιτήσεων αλλά και την τυποποίηση των υποσυστημάτων.

Το μοντέλο αρχιτεκτονικής αναφοράς για τη Βιομηχανία 4.0 ονομάζεται RAMI, από τα αρχικά των λέξεων Reference Architecture Model Industrie 4.0 – RAMI. (Adolphs et al., 2015; Deutsches Institut für Normung, 2016).

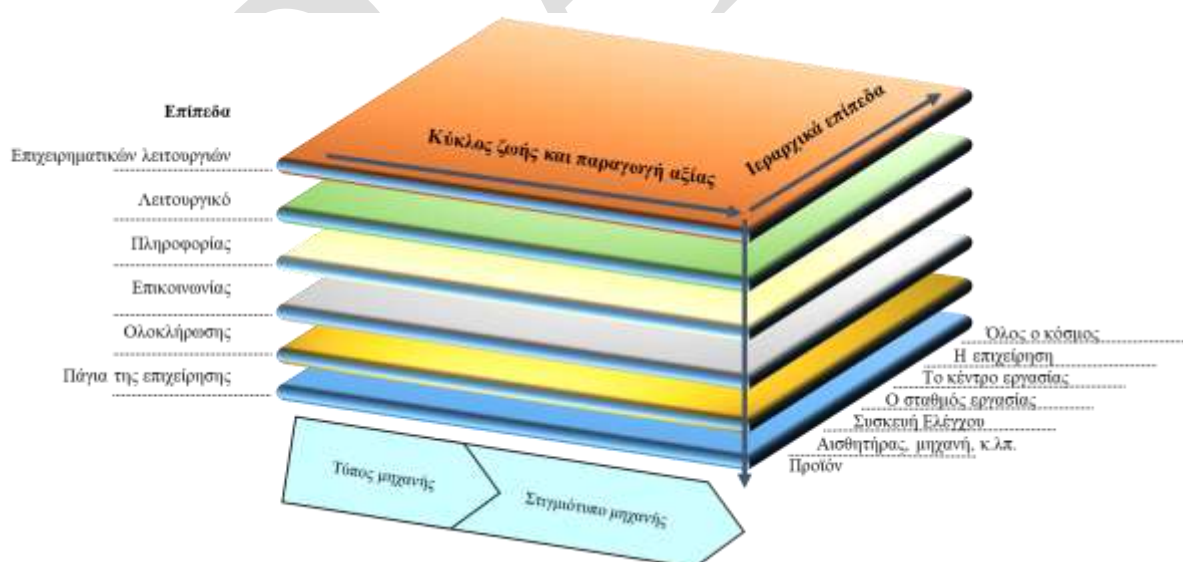
Η αρχιτεκτονική αναφοράς RAMI είναι δομημένη σε τρεις διαστάσεις και είναι η βάση για τη συστηματική ταξινόμηση των συστημάτων που βασίζονται στη Βιομηχανία 4.0. Επιπλέον, βασίζεται σε πρότυπα της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (International Electrotechnical Commission - IEC), ήτοι IEC 62890, IEC 62264 και IEC 61512. Το RAMI ορίζει έξι διαφορετικά επίπεδα (layers), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 9.25.

Το χαμηλότερο επίπεδο είναι αυτό των **παγίων της επιχείρησης**, το οποίο περιλαμβάνει τα φυσικά αντικείμενα, τις μηχανές, τα έγγραφα, ακόμη και τους ανθρώπινους πόρους της επιχείρησης. Το **επίπεδο της ολοκλήρωσης** έχει ως στόχο τη συλλογή της πληροφορίας από τα φυσικά αντικείμενα και τη διάθεση αυτής σε υψηλότερα επίπεδα. Το **επίπεδο της επικοινωνίας** προσφέρει τυποποίηση της επικοινωνίας μεταξύ των διαφορετικών υποσυστημάτων, ενώ στο **επίπεδο της πληροφορίας** γίνεται ο χειρισμός των γεγονότων

(events) και ο έλεγχος της ποιότητας και της ακεραιότητας των δεδομένων. Το **λειτουργικό επίπεδο** είναι αυτό που εμπεριέχει τις υποστηρικτικές λειτουργίες που επιτρέπουν την ολοκλήρωση των επιχειρηματικών διεργασιών, τις υπηρεσίες μοντελοποίησης των επιχειρησιακών διαδικασιών, καθώς επίσης και το περιβάλλον εκτέλεσης αυτών. Τέλος, στο ανώτερο επίπεδο, αυτό των **επιχειρηματικών λειτουργιών**, γίνεται η σύνθεση των επιχειρηματικών διεργασιών σε ένα επιχειρηματικό μοντέλο και η δημιουργία της αλυσίδας αξίας.

Ο οριζόντιος άξονας στο μοντέλο RAMI είναι ο άξονας του κύκλου ζωής και της παραγωγής αξίας. Ο άξονας αυτός χωρίζεται σε δύο τμήματα: α) του ορισμού του τύπου (type) και β) των στιγμιotypών (instance). Η λογική είναι απλή. Ο τύπος κάθε προϊόντος, μηχανής, λογισμικού ή υλικού αντιπροσωπεύει μια κατηγορία, μια διαφορετική περίπτωση συσκευής με διαφορετικές απαιτήσεις λειτουργίας, συντήρησης και ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι πριν χρησιμοποιήσουμε μια π.χ. ηλεκτρική μηχανή σε ένα σύστημα Βιομηχανίας 4.0 θα πρέπει να είμαστε σε θέση να την προδιαγράψουμε, να την αναπτύξουμε ή να την προμηθευτούμε, να την ελέγξουμε ώστε να είμαστε σίγουροι για τη σωστή της λειτουργία πριν αυτή μπει στην παραγωγή. Μετά από όλες τις δοκιμές και την επικύρωση της καλής λειτουργίας, ο τύπος αυτός π.χ. της ηλεκτρικής μηχανής είναι έτοιμος να χρησιμοποιηθεί για (μαζική) παραγωγή. Αντίστοιχα, κάθε μηχανή αυτού του τύπου όταν χρησιμοποιείται πλέον στην παραγωγή είναι ένα στιγμιότυπο του αντίστοιχου τύπου που κληρονομεί τα αρχικά χαρακτηριστικά, δηλαδή τις απαιτήσεις λειτουργίας και συντήρησης. Προφανώς, για κάθε τύπο μπορούμε να έχουμε πολλά στιγμιότυπα, δηλαδή να χρησιμοποιούμε πολλές μηχανές του ίδιου τύπου.

Ο τρίτος άξονας περιγράφει την ιεραρχική πυραμίδα παραγωγής και οργάνωσης μιας επιχείρησης, ξεκινώντας από τη διασύνδεσή της με άλλες επιχειρήσεις (όλος ο κόσμος) μέχρι το χαμηλότερο επίπεδο που είναι οι μηχανές και οι αισθητήρες.



Εικόνα 9.25 Η αρχιτεκτονική αναφοράς RAMI.

9.7.2. Βασικές τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0

Αρκετές από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη Βιομηχανία 4.0 έχουν ήδη παρουσιαστεί, όπως για παράδειγμα το YN και το IoT. Οι Εικόνα 9.26 παρουσιάζει εποπτικά αυτές τις τεχνολογίες

(Geissbauer, 2016). Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζουμε σύντομα κάποιες από αυτές τις νέες τεχνολογίες που δεν έχουν ακόμη αναφερθεί.



Εικόνα 9.26 Οι τεχνολογίες στις οποίες βασίζεται η Βιομηχανία 4.0.

Προσθετική κατασκευή αντικειμένων

Ο όρος **προσθετική κατασκευή (additive manufacturing)** ή, εναλλακτικά, στρωματική κατασκευή (layer manufacturing) καθιερώθηκε σταδιακά για την περιγραφή αυτής της σχετικά νέας ομάδας κατασκευαστικών τεχνολογιών και μεθόδων παραγωγής, γιατί προσδιορίζει το ουσιαστικό κοινό γνώρισμα όλων αυτών των τεχνολογιών, το οποίο είναι η κατασκευή αντικειμένων-κομματιών μέσω διαδικασιών ελεγχόμενης πρόσθεσης υλικού. Η τεχνολογία είναι επίσης γνωστή στο ευρύ κοινό ως τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing). Η προσθετική κατασκευή προϋποθέτει την ύπαρξη και την κατασκευή ενός ψηφιακού μοντέλου με βάση το οποίο κατασκευάζεται το τελικό προϊόν. Η ανάπτυξη του ψηφιακού μοντέλου γίνεται με τη βοήθεια υπολογιστή και με τη χρήση τεχνολογιών CAD/CAM – Computer-Aided Design/Manufacturing, ενώ η φυσική κατασκευή των αντικειμένων γίνεται με χρήση ειδικών τρισδιάστατων

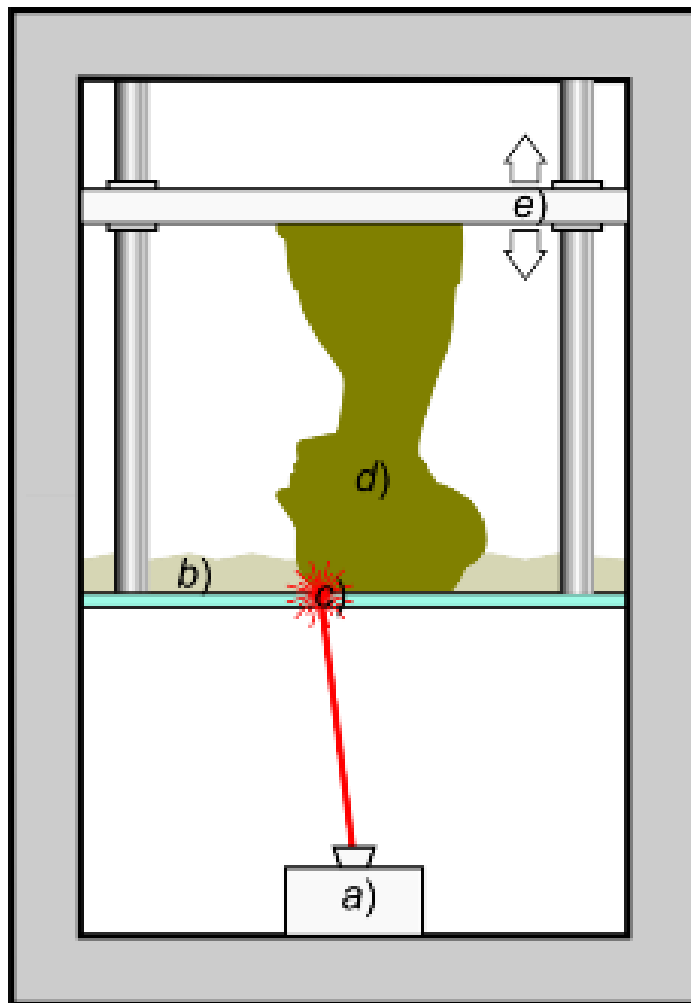
εκτυπωτών. Η τεχνολογία των τρισδιάστατων εκτυπωτών στηρίζεται σε αρχές παρόμοιες με εκείνες των εκτυπωτών ψεκασμού μελάνης (ink-jet). Ο όρος τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την περιγραφή της μεθόδου η οποία αναπτύχθηκε στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT).

Αναλόγως της τεχνολογίας χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών υλικά (φωτοπολυμερή, μέταλλα, θερμοπλαστικά πολυμερή, κεραμικά ή χαρτί) σε διάφορες μορφές (υγρή, σε κόκκους, νήματα ή φύλλα), τα οποία διαμορφώνονται συνήθως σε λεπτά στρώματα που προστίθενται σταδιακά μέχρι να «χτιστεί» το αντικείμενο (εκ του οποίου και ο όρος Στρωματική Κατασκευή) (Γιαννατσής et al., 2015).

Στις πιο γνωστές τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής συγκαταλέγονται:

- η Στερεολιθογραφία (Stereolithography-SL),
- η Επιλεκτική Συσσωμάτωση με Λείζερ (Selective Laser Sintering - SLS),
- η Συγκόλληση Κόκκων με Ψεκασμό (Powder Bed Inkjet Printing),
- η Κατασκευή με Πολλαπλό Ψεκασμό (Multi-jet Modelling - MJM) και
- η Κατασκευή με Εναπόθεση Υλικού (Fused Deposition Modelling -FDM) κ.λπ.

Στην Εικόνα 9.27 παρουσιάζεται σχηματικά η κατασκευή ενός αντικειμένου με τη χρήση της τεχνικής της στερεολιθογραφίας. Το κατασκευαζόμενο αντικείμενο είναι η προτομή ενός ατόμου (d). Μια συσκευή εκπομπής φωτός, π.χ. λέιζερ (α), φωτίζει επιλεκτικά τον πυθμένα μιας δεξαμενής η οποία είναι γεμάτη με υγρή ρητίνη φωτοπολυμερισμού (b). Στο σημείο φωτισμού η ρητίνη στερεοποιείται δίνοντας το επιθυμητό σχήμα στο αντικείμενο (d). Η όλη κατασκευή συμπληρώνεται από έναν μηχανισμό μετακίνησης, ανύψωσης στη συγκεκριμένη περίπτωση (e), η οποία μετακινεί, εκτός του δοχείου της ρητίνης, το ήδη σχηματισμένο αντικείμενο, ώστε το λέιζερ να σχηματίσει την επόμενη στρώση υλικού (Scorigno et al., 2017).



Εικόνα 9.27 Προσθετική κατασκευή αντικειμένων με χρήση στερεολιθογραφίας (Πηγή: Wikimedia Commons, File: Schematic representation of Stereolithography.png).

Τα βασικά πλεονεκτήματα της προσθετικής κατασκευής είναι αφενός η μεγάλη επιτάχυνση της όλης διαδικασίας σχεδιασμού ενός προϊόντος, αφετέρου η μείωση των σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας. Άσχετα με την πολυπλοκότητα του κομματιού που πρόκειται να κατασκευαστεί, η κατασκευή στη μηχανή προσθετικής κατασκευής πραγματοποιείται σε ένα και μοναδικό βήμα. Οι περισσότερες από τις άλλες κατασκευαστικές διεργασίες θα απαιτούσαν την εκτέλεση πολλαπλών και επαναληπτικών βημάτων.

Η τεχνολογία αυτή έχει ήδη αλλάξει σημαντικά τον τρόπο σχεδιασμού, αλλά και παραγωγής, των προϊόντων. Υπάρχουν εκτιμήσεις ότι η παραγωγή προϊόντων όπως γίνεται σήμερα σταδιακά θα αντικατασταθεί από παραλλαγές των τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής, δίνοντας νέες δυνατότητες για παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων που θα καλύπτουν επακριβώς τις ανάγκες των χρηστών τους, αλλά και αντίστοιχα θα εισάγει νέα καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα.

Βιομηχανικά ρομπότ

Σύμφωνα με το ISO 8373:2012 (2012), ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι ένας αυτόματα ελεγχόμενος, επαναπρογραμματιζόμενος, πολλαπλός βραχίονας κατασκευασμένος με τρεις ή περισσότερους άξονες, ο

οποίος χρησιμοποιείται για την αυτόματη εκτέλεση διάφορων εργασιών συναρμολόγησης, μορφοποίησης και επεξεργασίας στην παραγωγή προϊόντων. Συχνά ένα ρομπότ διαθέτει αισθητήρες, δυνατότητα επικοινωνίας με άλλες μηχανές και δυνατότητα λήψης αποφάσεων. Εάν απαιτείται, ένα ρομπότ διαθέτει και δυνατότητα αυτόνομης κίνησης στο χώρο. Ο συνδυασμός των παραπάνω χαρακτηριστικών δίνει την ευελιξία στα ρομπότ να εκτελούν μια ποικιλία καθηκόντων και εξηγεί γιατί η ρομποτική τεχνολογία θεωρείται για πολλούς η βάση για τον σχεδιασμό μιας μελλοντικής μηχανής που θα μπορεί να αντικαταστήσει τον άνθρωπο σε νοητικά και σωματικά πολύπλοκες εργασίες. Στην Εικόνα 9.28 παρουσιάζεται ένα ρομπότ συναρμολόγησης σε γραμμή παραγωγής αυτοκινήτων.



Εικόνα 9.28 Βιομηχανικά ρομπότ σε γραμμή συναρμολόγησης αυτοκινήτων (Πηγή: Wikimedia Commons, File:Industriemuseum Chemnitz-moderne Karosserieschweißanlage_mit_Industrierobotern.jpg).

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ρομπότ είναι τα αρθρωτά, τα SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm), και τα ρομπότ που χρησιμοποιούν τις καρτεσιανές συντεταγμένες (γνωστά και ως ρομπότ πίνακα ή ρομπότ X Y Z). Στο πλαίσιο της γενικής ρομποτικής, τα περισσότερα είδη ρομπότ εμπίπτουν στην κατηγορία των ρομποτικών βραχιόνων, συνυφασμένων με τη χρήση της λέξης βραχίονας όπως αυτή ορίζεται στο πρότυπο ISO 8373:2012. Ανάλογα με τον απαιτούμενο βαθμό αυτονομίας, τα ρομπότ μπορεί να προγραμματίζονται για την πιστή εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών ξανά και ξανά (επαναλαμβανόμενες πράξεις) χωρίς μεταβολές και με υψηλό βαθμό ακρίβειας, ή να είναι πιο ευέλικτα ως προς τον προσανατολισμό του αντικείμενου το οποίο λειτουργούν, ή ακόμα και την εργασία που πρέπει να εκτελεστεί στο ίδιο το αντικείμενο, το οποίο μπορεί ακόμα και να χρειαστεί να προσδιοριστεί από το ίδιο το ρομπότ.

Για να φτάσει ένα ρομπότ σε οποιοδήποτε σημείο ενός επιπέδου χρειάζεται να μπορεί να κινηθεί σε δύο άξονες. Για τον πλήρη έλεγχο του προσανατολισμού, στην άκρη του βραχίονα (δηλαδή τον καρπό), απαιτούνται τρεις ακόμη άξονες (εκτροπής, λαβής και κύλισης). Μερικές από τις παραμέτρους λειτουργίας ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι οι ακόλουθες (Γιαννατσής et al., 2015):

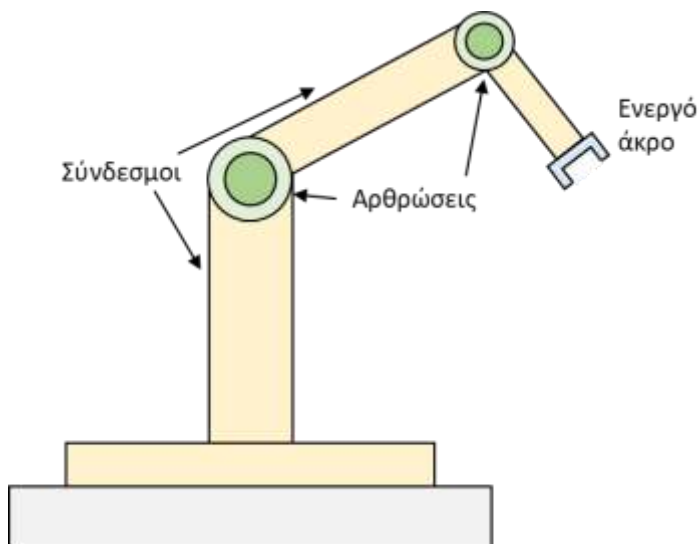
- Βαθμός ελευθερίας - ο αριθμός των αξόνων του ρομπότ.
- Χώρος εργασίας - η επιφάνεια στην οποία κινείται το ρομπότ.
- Κινηματική - η ρύθμιση των άκαμπτων μελών και αρθρώσεων του ρομπότ, που ορίζει τις δυνατές κινήσεις. Οι υπάρχουσες κατηγορίες κινηματικής στα ρομπότ είναι: τα αρθρωτά, τα καρτεσιανά, τα παράλληλα και τα SCARA.
- Φέρουσα ικανότητα. Το βάρος του αντικειμένου που μπορεί να διαχειριστεί και να μετακινήσει ένα ρομπότ.
- Ταχύτητα - Η γωνιακή ή γραμμική ταχύτητα των αξόνων του ρομποτικού βραχίονα.
- Επιτάχυνση - Η επιτάχυνση των αξόνων του ρομποτικού βραχίονα.
- Ακρίβεια - Η απόσταση στην οποία προσεγγίζει το ρομπότ την απαιτούμενη θέση-στόχο.
- Επαναληψιμότητα - Η δυνατότητα μετακίνησης σε μια προγραμματισμένη θέση. Αυτό δεν ταυτίζεται με την ακρίβεια.

Προφανώς οι παραπάνω παράμετροι αποτελούν, σε συνδυασμό με το κόστος, τα βασικά κριτήρια επιλογής ενός βιομηχανικού ρομπότ. Ένας ρομποτικός βραχίονας μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικά τμήματα: το σύστημα κορμού-βραχίονα και το σύστημα του καρπού (wrist). Στην άκρη του καρπού είναι προσαρμοσμένο το ενεργό άκρο (end effector), το εργαλείο δηλαδή που είναι σχεδιασμένο να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον. Το υποσύστημα βραχίονα-κορμού χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση του ενεργού άκρου στο επιθυμητό σημείο και το υποσύστημα του καρπού για τον προσανατολισμό του άκρου (βλέπε Εικόνα 9.29).

Το ενεργό άκρο μπορεί να είναι μια λαβίδα ή ένα εργαλείο. Υπάρχουν τέσσερις γενικές κατηγορίες ρομποτικών λαβών, οι οποίες είναι (Monkman et al., 2007):

- Σιαγόνες ή άκρα (μηχανικά δάκτυλα) που πιάνουν το αντικείμενο.
- Καρφίτσες ή βελόνες ή μανδάλια τα οποία διεισδύουν φυσικά στην επιφάνεια του αντικειμένου και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή π.χ. κλωστοϋφαντουργικών ινών, ινών άνθρακα.
- Μηχανισμοί αναρρόφησης που εφαρμόζουν δυνάμεις στην επιφάνεια των αντικειμένων είτε με τη δημιουργία κενού, είτε μαγνητικά.
- Συνεχούς επαφής, που ασκούν συνεχή επαφή και πίεση στο αντικείμενο με σκοπό τη συγκόλληση αυτού με τρίτη επιφάνεια.

Η ακριβής φύση αυτής της συσκευής εξαρτάται από την εφαρμογή του ρομπότ.



Εικόνα 9.29 Οι αρθρώσεις και οι σύνδεσμοι σε ένα βιομηχανικό ρομπότ.

Τα τελευταία χρόνια συναντάμε όλο και πιο συχνά αυτόνομα ρομπότ. Ένα **αυτόνομο ρομπότ** είναι ένα ρομπότ που εκτελεί τα καθήκοντά του με υψηλό βαθμό αυτονομίας, αυτονομία η οποία υποστηρίζεται από λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης. Τα αυτόνομα ρομπότ είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε τομείς όπως οι μεταφορές (drones), η συντήρηση των νοικοκυριών (όπως ο καθαρισμός), η επεξεργασία λυμάτων κ.λπ.

Σε ορισμένα περιβάλλοντα εργασίας τα ρομπότ είναι "αυτόνομα" μέσα στα αυστηρά όρια του άμεσου περιβάλλοντός τους, ενώ σε άλλα έχουν μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας αφού μπορούν να κινούνται σε χώρους όπου ενδέχεται να ανακύψουν απρόβλεπτα συμβάντα.

Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται συνεργασία μεταξύ ανθρώπου-ρομπότ (Human Robot Collaboration - HRC) για την εκτέλεση μιας εργασίας. Στην περίπτωση αυτή το ρομπότ βοηθά τον άνθρωπο-χειριστή εκτελώντας επίπονες/επικίνδυνες δραστηριότητες, όπως εναέρια εργασία ή ανύψωση βαρέων φορτίων. Στο εργοστάσιο του μέλλοντος δεν θα υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ αυτοματοποιημένων και μη σταθμών εργασίας, ενώ οι άνθρωποι και τα ρομπότ θα συνεργάζονται απρόσκοπτα.

Επαυξημένη πραγματικότητα

Η **επαυξημένη πραγματικότητα** (augmented reality) είναι η σε πραγματικό χρόνο άμεση ή έμμεση θέαση ενός φυσικού, πραγματικού περιβάλλοντος του οποίου τα στοιχεία επαυξάνονται από στοιχεία αναπαραγόμενα από συσκευές υπολογιστών, όπως ήχος, βίντεο, γραφικά ή δεδομένα τοποθεσίας. Ο όρος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τους Cuadell και Mizell το 1992, ώστε να περιγράψει ένα σύστημα για την υποβοήθηση εργατών στη συναρμολόγηση αεροσκαφών.

Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την επαυξημένη πραγματικότητα είναι (Μουστάκας et al., 2015):

- Συνδυάζει το πραγματικό με το εικονικό.
- Είναι διαδραστική σε πραγματικό χρόνο.
- Η πληροφορία χωροθετείται στις τρεις διαστάσεις.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας βασίζεται στις τεχνολογίες χωροθέτησης GPS (Global Positioning System), αισθητήρων κίνησης, αδράνειας και διεύθυνσης, καμερών ενσωματωμένων σε συσκευές και αισθητήρων βάθους.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι ο όροι εικονική πραγματικότητα (virtual reality) και επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality), που συγχέονται από πολλούς, δεν είναι ταυτόσημοι. Η εικονική πραγματικότητα στοχεύει στην αντικατάσταση του πραγματικού περιβάλλοντος του χρήστη με ένα εικονικό που παράγεται και ελέγχεται πλήρως από τον υπολογιστή. Αντίθετα, η επαυξημένη πραγματικότητα έχει στόχο την επαύξηση και όχι την αντικατάσταση των στοιχείων του πραγματικού περιβάλλοντος με συνθετικές πληροφορίες από το εικονικό, μέσω της χρήσης αισθητήρων ήχου, εικόνας, βίντεο και άλλων πολυμέσων που παράγονται από ένα υπολογιστικό σύστημα. Με τον τρόπο αυτό, τα στοιχεία του πραγματικού περιβάλλοντος δεν αποκρύπτονται εντελώς, αλλά διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στην τελική απεικόνιση.

Τα συστήματα βασισμένα στην επαυξημένη πραγματικότητα υποστηρίζουν ήδη πολλές υπηρεσίες, όπως την επιλογή εξαρτημάτων σε μια αποθήκη, την καθοδήγηση των τεχνικών για συναρμολόγηση εξαρτημάτων σε εργασίες συντήρησης και ποιοτικού ελέγχου κ.λπ. Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι μειώνουν τον απαιτούμενο χρόνο εργασίας καθώς και την πιθανότητα λαθών, αφού παρουσιάζουν στο σωστό σημείο και χρόνο τις απαιτούμενες πληροφορίες, αλλά και τις γνώσεις που απαιτούνται, για την ολοκλήρωση μιας εργασίας. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας ελέγχου ποιότητας προϊόντων, ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας επιτρέπει στους χρήστες να δούνε όλο το ιστορικό αρχείο των δειγμάτων, ακόμη και εβδομάδες πριν. Αυτό μας επιτρέπει να βλέπουμε τις διαφαινόμενες τάσεις εντός της γραμμής παραγωγής, όχι μόνο σε μία μηχανή αλλά και σε αρκετούς σταθμούς εργασίας. Η πρόσβαση σε ακριβή δεδομένα βοηθά στη σωστή και ευκολότερη διαδικασία λήψης αποφάσεων και γενικότερα στη βελτίωση της παραγωγικότητας. Επιπλέον, μπορεί να αποτελέσει ένα βασικό εργαλείο για την εκπαίδευση των εργαζομένων.

Οριζόντια και κάθετη ολοκλήρωση

Η υλοποίηση της στρατηγικής Βιομηχανία 4.0 απαιτεί την κάθετη αλλά και την οριζόντια ολοκλήρωση των διεργασιών μιας επιχείρησης.

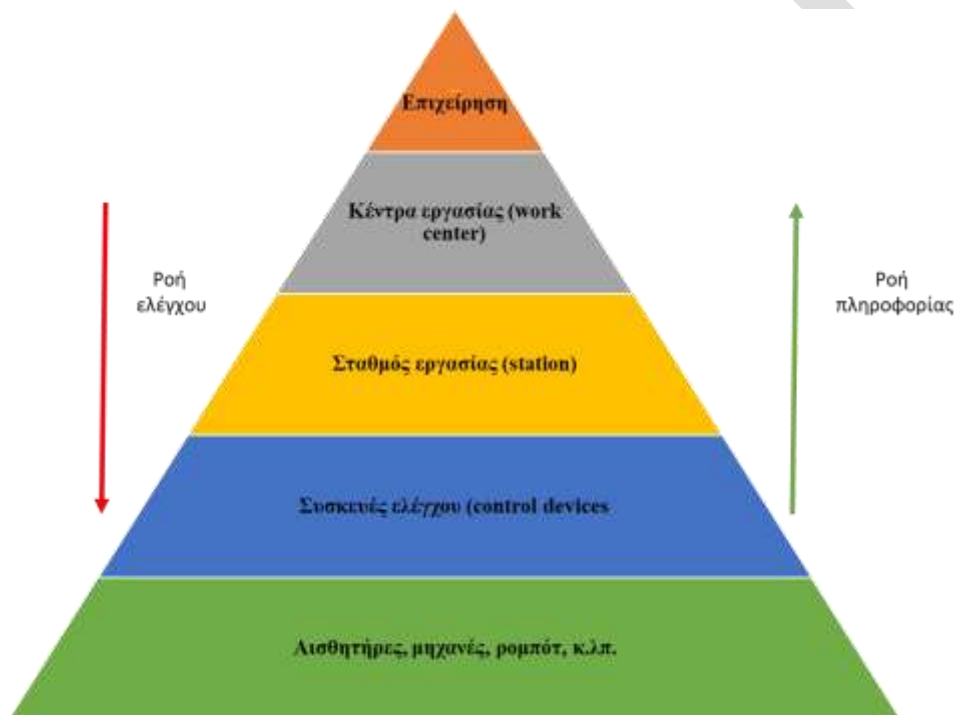
Η **κάθετη ολοκλήρωση** (vertical integration) αφορά την ολοκλήρωση των διεργασιών διοίκησης παραγωγής, προγραμματισμού προμηθειών, προγραμματισμού παραγωγής, χρονοπρογραμματισμού παραγωγής, αλλά και του χαμηλού επιπέδου συστημάτων (π.χ. PLC, sensors κ.λπ.). Επίσης, παραδοσιακά, όταν λέμε ότι μια επιχείρηση είναι κάθετα ολοκληρωμένη, εννοούμε ότι εκτελεί δύο αλληλένδετα στάδια της παραγωγής ή της διαδικασίας της αξιακής αλυσίδας (π.χ. παράγει ένα προϊόν και έχει σημεία πώλησης αυτού του προϊόντος).

Στην περίπτωση της Βιομηχανίας 4.0, η κάθετη ολοκλήρωση δίνει έμφαση στην πληροφοριακή υποδομή της επιχείρησης και αφορά τα παρακάτω:

- Ολοκλήρωση των πληροφοριακών συστημάτων σε όλα τα βήματα της παραγωγικής και της

διοικητικής διαδικασίας (από την παραγωγή των προϊόντων έως και τη διαχείριση των πελατών). Η ροή της πληροφορίας συνήθως είναι από τα παραγωγικά συστήματα, όπου παράγεται και ο μεγαλύτερος όγκος πληροφορίας, προς τη διοίκηση, ενώ η ροή ελέγχου ακολουθεί αντίστροφη πορεία (βλέπε Εικόνα 9.30). Στην περίπτωση της Βιομηχανίας 4.0 είναι επιθυμητό, στο μέγιστο δυνατό βαθμό, τα συστήματα να είναι αυτόνομα και επιπλέον να υπάρχει επικοινωνία peer-to-peer, όπου απαιτείται, με σκοπό την αποκέντρωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων.

- Την επεξεργασία με ολιστικό τρόπο των δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων και την αξιοποίησή τους σε επιχειρηματικές εφαρμογές κ.λπ. Τα δεδομένα προέρχονται τόσο από τους αισθητήρες, τα ημερολόγια των εφαρμογών (logs), όσο και από τις παραδοσιακές συναλλαγές (transactions) που εκτελούνται μέσα στην επιχείρηση.
- Τη χρήση ΥΝ για την αποθήκευση και τη διαχείριση τόσο των δεδομένων όσο και των εφαρμογών.
- Το συνεχή μετασχηματισμό/βελτίωση των διεργασιών της επιχείρησης με βάση τα συμπεράσματα που εξάγονται (operational efficiency 2.0).



Εικόνα 9.30 Η ιεραρχία των συστημάτων στη Βιομηχανία 4.0.

Η **οριζόντια ολοκλήρωση** (horizontal integration) παραδοσιακά αφορά τη συγχώνευση/συνεργασία εταιρειών οι οποίες έχουν σχέση προμηθευτή-πελάτη ή προμηθευτή-διανομέα και βρίσκονται σε διαφορετικό σημείο της κοινής εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain). Στην περίπτωση της Βιομηχανίας 4.0 θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τα παρακάτω:

- Βελτιστοποίηση ή υιοθέτηση νέων επιχειρηματικών μοντέλων. Η χρήση μιας πλειάδας νέων

τεχνολογιών επιβάλλει την αναθεώρηση του επιχειρηματικού μοντέλου που χρησιμοποιεί η επιχείρηση. Το επιχειρηματικό μοντέλο είναι αυτό που καθορίζει τη θέση της επιχείρησης στην αλυσίδα αξίας και συνεπώς και τη θέση της επιχείρησης στην αγορά και στον ανταγωνισμό.

- Η ψηφιοποίηση της αλυσίδας αξίας. Η ύπαρξη τεχνολογιών που επιτρέπουν την αυτόματη ταυτοποίηση των προϊόντων, την αυτόματη παραγγελία υλικών, οι δυνατότητες συνεχούς παρακολούθησης των αποθεμάτων, καθώς και των γεωγραφικών σημείων που βρίσκονται τα αντικείμενα, οι δυνατότητες παραγγελίας εξατομικευμένων προϊόντων από τους πελάτες κ.λπ. δίνουν εντελώς διαφορετικές δυνατότητες συνεργασίας μεταξύ των επιχειρήσεων και συνεπώς η συνολική ψηφιοποίηση της αλυσίδας αξίας αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για την επιτυχή πορεία των επιχειρήσεων.
- Νέα φορολογικά μοντέλα. Η δυνατότητα παραγωγής προϊόντων (3D – printing) σε διαφορετικά γεωγραφικά σημεία οδηγεί στην υιοθέτηση νέων πολιτικών με σκοπό την ελαχιστοποίηση της φορολογικής επιβάρυνσης.

Βιβλιογραφία/Αναφορές

- Γιαννατσής, Ι., Δεδούσης, Β., Κανελλίδης, Β. (2015). Σύγχρονες τεχνολογίες κατασκευής με τη βοήθεια H/Y. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4521>
- Μουστάκας, Κ., Παλιόκας, Ι., Τζοβάρας, Δ., Τσακίρης, Α. (2015). Γραφικά και εικονική πραγματικότητα. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4491>
- Adolphs, P., Bedenbender, H., Dirzus, D., Ehlich, M., Epple, U., Hankel, M., & Koziolk, H. (2015). Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0). ZVEI and VDI, Status Report.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- Baranchuk, A., Refaat, M. M., Patton, K. K., Chung, M. K., Krishnan, K., Kutyla, V., Upadhyay, G., Fisher, J., Lakkireddy, D. (2018). Cybersecurity for Cardiac Implantable Electronic Devices: What Should You Know?. *Journal of the American College of Cardiology*.
- Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on* (Vol. 2, pp. 659-669). IEEE.
- Čolaković, A., & Hadžialić, M. (2018). Internet of Things (IoT): A Review of Enabling Technologies, Challenges, and Open Research Issues. *Computer Networks*. Dean, J. & Ghemawat, S. (2008). MapReduce: simplified data processing on large clusters. *Communications of the ACM*, 51(1), 107-113.
- Deutsches Institut für Normung (2016). Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). Technical report SPEC 91345. DIN, April.
- Elgar, P. (2003). Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου, Εκδόσεις TZIOΛΑ.
- Elmenreich, W., & Pitzek, S. (2003). Smart transducers-principles, communications, and configuration. Ανακτήθηκε 22/06/2018 από http://www.wu.ac.at/welmenre/papers/elmenreich_Smart_Transducers_Principles_Communications_and_Configuration.pdf.

- European Commission (2014). EU Skills Panorama. Advanced manufacturing Analytical Highlight, ICF GHK and Cedefop.
- Fitsilis, P., Tsoutsas, P., & Gerogiannis, V. (2018, June). Industry 4.0: Required Personnel Competences, In 3rd International Scientific Conference on Industry 4.0. Varna, Bulgaria.
- Hassan, Q. (2018). Internet of Things A to Z: Technologies and Applications. IEEE Press, Wiley.
- Hernández, M. E. P., & Reiff-Marganiec, S. (2014). Classifying smart objects using capabilities. In Smart Computing (SMARTCOMP), 2014 International Conference on (pp. 309-316). IEEE.
- Gartner (2017). Gartner Says 8.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2017, Up 31 Percent From 2016 Ανακτήθηκε 22/06/2018 από <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-02-07-gartner-says-8-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2017-up-31-percent-from-2016>.
- Generation, E. P. C. (2017). EPC Tag Data Standard. Version 1.11 EPCglobal, Standard Specification.
- ITU-T Y.2060 Recommendation (2012). Overview of the Internet of Things. ITU-T Study Group 13.
- ICAO Doc 9303 (2015). Machine readable travel documents. Introduction, part 1, 7th Edition.
- ISO 8373:2012 (2012). Robots and robotic devices – Vocabulary.
- Monar, D., Juels, A., & Wagner, D. (2005). Security and privacy issues in e-passports. Cryptology ePrint Archive, Report 2005/095.
- Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin J., & Aharon D. (2015) “The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype”. McKinsey Global Institute.
- Marketsandmarkets.com (2017). Industry 4.0 Market by Technology (Industrial Robotics, Cyber Security, Internet of Things, 3D Printing, Advanced Human-Machine Interface, Big Data, Augmented Reality & Virtual Reality, Artificial Intelligence), Vertical, Region - Global Forecast to 2022, marketsandmarkets.com
- Mehmood, K., & Baksh, A. (2013). Communication technology that suits IoT-a critical review. In Wireless Sensor Networks for Developing Countries (pp. 14-25). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Monkman, G. J., Hesse, S., Steinmann, R., & Schunk, H. (2007). Robot grippers. John Wiley & Sons.
- Narayanan, K. (2017). Addressing The Challenges Facing IoT Adoption. MICROWAVE JOURNAL, 60(1), 110-118.
- Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. Int. J. Eng. Sci. Comput, 6(5).
- Pricewaterhousecoopers (2016), Global Industry 4.0 Survey. Available at <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. Retrieved from PwC Website: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>.
- Scopigno, R., Cignoni, P., Pietroni, N., Callieri, M., & Dellepiane, M. (2017). Digital fabrication techniques for cultural heritage: a survey. In Computer Graphics Forum (Vol. 36, No. 1, pp. 6-21).
- Song, E. Y., & Lee, K. (2008). Understanding IEEE 1451-Networked smart transducer interface standard-What is a smart transducer?. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 11(2).
- Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P. & Woelfflé, S. (2010). Vision and challenges for realising the Internet of Things. European Commission.
- Tschofenig, H., Arkko, J., Thaler, D., & McPherson, D. (2015). Architectural considerations in smart object networking (No. RFC 7452).

Ερωτήσεις ανακεφαλαίωσης, συζήτησης και αναζήτησης

Ερώτηση 1

Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά ενός έξυπνου αντικειμένου;

Απάντηση/Λύση

Τα βασικά χαρακτηριστικά των έξυπνων αντικειμένων είναι:

- Έχουν ταυτότητα και παρέχουν λειτουργικότητα για τον αυτόματο εντοπισμό τους.
- Έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες ώστε να μπορούν να αντιλαμβάνονται και να καταγράφουν την κατάσταση των φυσικών παραμέτρων.
- Έχουν δυνατότητα να επεξεργάζονται την πληροφορία που συλλέγουν καθώς και να την αποθηκεύουν, τουλάχιστον προσωρινά.
- Έχουν μια πηγή ενέργειας η οποία βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με τις δυνατότητές τους.
- Είναι ασφαλή για το περιβάλλον, που σημαίνει ότι δεν μπορεί να είναι κακόβουλα.
- Σέβονται την ιδιωτικότητα (privacy) και την ασφάλεια (security) άλλων έξυπνων αντικειμένων ή των ατόμων με τα οποία αλληλεπιδρούν.
- Μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους καθώς και με την πληροφοριακή υποδομή του συστήματος στο οποίο ανήκουν.

Ανάλογα με την πολυπλοκότητα κάθε έξυπνου αντικειμένου, αυτό είναι δυνατόν να υλοποιεί ένα σύνολο προαιρετικών δυνατοτήτων, όπως:

Εσωτερικές δυνατότητες: α) έχουν ικανότητα καταγραφής των συμβάντων, β) ικανότητα αναγνώρισης εσωτερικής κατάστασης (Self-Awareness), γ) ικανότητα αυτοδιαχείρισης.

Περιβαλλοντικές ικανότητες: α) έχουν επίγνωση των προτιμήσεων και της συμπεριφοράς του ανθρώπου (Human-awareness), β) έχουν κοινωνική ετοιμότητα (social readiness).

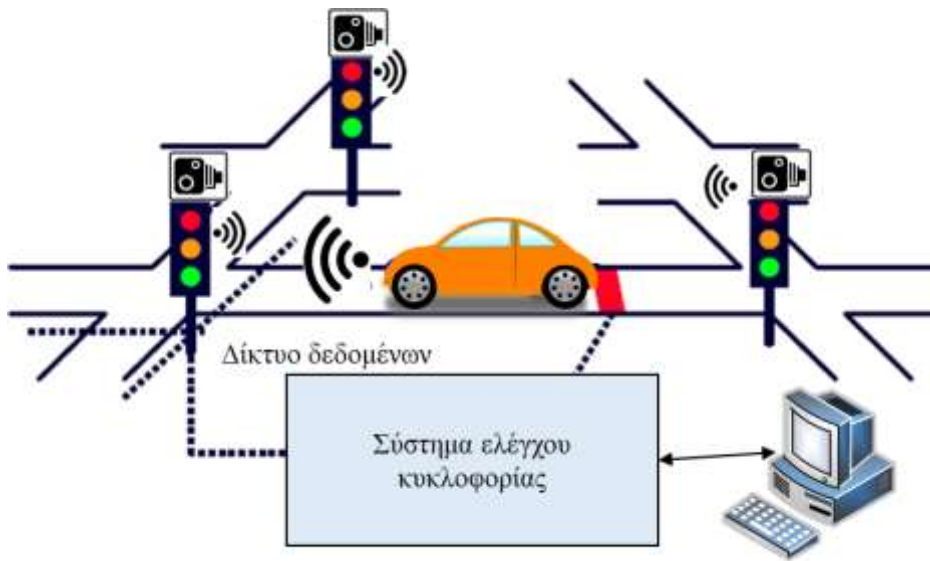
Τεχνικές Ικανότητες: Έχουν δυνατότητα α) προγραμματισμού, β) λειτουργίας με βάση κανόνες (rule based) και γ) στοχοκεντρικής λειτουργίας (goal orientation).

Ερώτηση 2

Δώστε μερικά παραδείγματα έξυπνων αντικειμένων.

Απάντηση/Λύση

Το πρώτο παράδειγμα αφορά τους **έξυπνους φωτεινούς σηματοδότες** (smart traffic lights), οι οποίοι χρησιμοποιούν αισθητήρες για την ανίχνευση της κίνησης των αυτοκινήτων με σκοπό να ρυθμίζουν ανάλογα τους χρονομετρητές των σηματοδοτών. Αυτό συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής των οδηγών, γεγονός που έχει πολλαπλά οφέλη: μείωση της κατανάλωσης καυσίμων, μείωση της ρύπανσης, ταχύτερη και ασφαλέστερη κυκλοφορία του πληθυσμού κ.λπ. Οι φωτεινοί σηματοδότες συνήθως συνδέονται σε ένα δίκτυο με σκοπό να διασφαλισθεί, γενικότερα στην πόλη, η ομαλή ροή της κυκλοφορίας. Στην περίπτωση αυτή το πρόβλημα της βελτιστοποίησης της κυκλοφορίας γίνεται ιδιαίτερα σύνθετο διότι θα πρέπει να διασφαλισθεί, εκτός από τη βέλτιστη ροή των αυτοκινήτων, η κίνηση των πεζών, των ποδηλάτων, καθώς και των οχημάτων έκτακτης ανάγκης (π.χ. ασθενοφόρα, πυροσβεστική) (Εικόνα 9.31).



Εικόνα 9.31 Σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας με έξυπνους σηματοδότες.

Ένα άλλο καλό παράδειγμα είναι οι έξυπνες πρίζες (smart plugs), οι οποίες παρακολουθούν την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να ελέγχονται από μακρινή απόσταση μέσω ενός δικτύου Wi-Fi με σκοπό την ενεργοποίηση, την απενεργοποίηση ή τη ρύθμιση της λειτουργίας τους. Αντίστοιχα λειτουργούν και οι έξυπνοι ηλεκτρικοί διακόπτες. Η διαφορά είναι ότι οι έξυπνες πρίζες ενσωματώνονται σε κτήρια, ενώ οι έξυπνοι ηλεκτρικοί διακόπτες ενσωματώνονται σε κινητά αντικείμενα (π.χ. μηχανήματα θέρμανσης/ψύξης).

Βεβαίως, τα παραπάνω παραδείγματα είναι ενδεικτικά αφού κυκλοφορούν στο εμπόριο δεκάδες έξυπνα αντικείμενα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην καθημερινή μας ζωή. Η παρακάτω λίστα είναι ενδεικτική:

- Έξυπνα ρολόγια
- Έξυπνες κλειδαριές
- Έξυπνα κράνη
- Έξυπνα παπούτσια
- Έξυπνες οικιακές συσκευές κ.λπ.

Ερώτηση 3

Μεταβείτε στην ιστοσελίδα <https://www.gs1us.org/tools/epc-encoder-decoder> ώστε να παράγετε έναν κωδικό GS1 για ένα προϊόν.

Απάντηση/Λύση

Οι κωδικοί EPC μπορούν να έχουν πολλές μορφές. Ο κωδικός που πρέπει να παραχθεί για ένα προϊόν σύμφωνα με τον Πίνακα 9.1 είναι ο κωδικός GTIN. Γενικά, κάθε αναγνωριστικός κωδικός GS1 (GTIN, GLN, SSCC, GRAI, GIAI, GSRN, GDTI κ.ά.) μπορεί να κωδικοποιηθεί σε μια δομή EPC, τυπικά για χρήση σε μια ετικέτα RFID. Η μορφή "Pure Identity" του EPC είναι η κύρια μορφή που χρησιμοποιούν οι επιχειρησιακές εφαρμογές και τα πληροφοριακά συστήματα όταν θέλουν να αναφερθούν σε οποιοδήποτε αντικείμενο με τη χρήση του αναγνωριστικού EPC.

Το EPC "Tag URI" και "EPC Binary Encoding" εξειδικεύεται για χρήση σε συστήματα RFID. Εάν κάποιος θέλει να δημιουργήσει για κάποιο προϊόν έναν κωδικό EPC, θα πρέπει να γνωρίζει των κωδικό GTIN-13. Ο

Το συγκεκριμένο εργαλείο που βρίσκεται στην ιστοσελίδα <https://www.gs1us.org/tools/epc-encoder-decoder> βοηθά στη μετάφραση του GTIN σε EPC (βλέπε Εικόνα 9.32).

Εικόνα 9.32 Η παραγωγή του ΕΡC με βάση το GTIN.

Με τη βοήθεια του διαδικτύου βρείτε τον κατασκευαστή αισθητήρων κίνησης και περιγράψτε τις τεχνικές προδιαγραφές τους.

Μία από τις πιο γνωστές εταιρείες κατασκευής αισθητήρων είναι η γερμανική εταιρεία Bosch (<https://www.bosch-sensortec.com/>). Στη σχετική σελίδα στο διαδίκτυο μπορούμε να δούμε ενδεικτικά ότι η εταιρεία κατασκευάζει:

Αισθητήρας	Άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά	Χρήσεις
Επιταχυσίόμετρα (accelometer) Μετρά την επιτάχυνση	Διαστάσεις: 0,95 mm x 2 mm x 2 mm Μέτρηση σε τρεις άξονες Ενσωματωμένες λειτουργίες: - Μέτρηση βημάτων - Αναγνώριση κίνησης - Αναγνώριση κτυπήματος - Αναγνώριση κατεύθυνσης	- Έξυπνες συσκευές Βιομηχανικές εφαρμογές (π.χ. πρόβλεψη συντήρησης, παρακολούθηση πακέτων) - Διαχείριση ενέργειας καταναλωτικών συσκευών με βάση την κίνηση
Γυροσκοπία	Διαστάσεις: 0,83 mm x 2 mm x 2,5	- Εφαρμογές

Αισθητήρας	Άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά	Χρήσεις
(gyroscopes) Μετρά τον ρυθμό περιστροφής	mm Μέτρηση σε τρεις άξονες	επαυξημένης πραγματικότητας - Οπτική ή ηλεκτρονική σταθεροποίηση εικόνας - Πανοραμική πλοήγηση - Πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους - Τρισδιάστατη σάρωση - Αναγνώριση χειρονομιών - Παιχνίδια - Ανίχνευση κίνησης σε τρεις άξονες
Γεομαγνητικούς αισθητήρες (geomagnetic sensor) Μετρά το μαγνητικό πεδίο της γης	Διαστάσεις: 0,6 mm x 1,56 mm x 1,56 mm Μέτρηση σε τρεις άξονες Ισχύς μαγνητικού πεδίου 0,3 μ T	- Drones - Εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας - Πλοήγηση σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους - Παιχνίδια - Συσκευές κατάδειξης
Σύνθετοι αισθητήρες		
- Αισθητήρες αδράνειας (inertial measurement unit)	Διαστάσεις: 0,95 mm x 4,5 mm x 3,00 mm Συσκευή που συνδυάζει δύο αισθητήρες: α) ένα επιταχυσιόμετρο και β) ένα γυροσκόπιο	- Εφαρμογές επαυξημένης ή ιδεατής πραγματικότητας - Πλοήγηση - Κίνηση - Παιχνίδια υψηλής πιστότητας - Σταθεροποίηση εικόνας και βίντεο
- Αισθητήρας προσανατολισμού (absolute orientation sensor)	Διαστάσεις: 0,95 mm x 2,5 mm x 3,00 mm Συσκευή που συνδυάζει τρεις αισθητήρες: α) ένα επιταχυσιόμετρο β) ένα γυροσκόπιο και γ) έναν γεομαγνητικό αισθητήρα Τυπική κατανάλωση ενέργειας: 5,15 mA	- Εφαρμογές επαυξημένης ή ιδεατής πραγματικότητας - Πλοήγηση - 3D scanning - Παιχνίδια υψηλής πιστότητας - Σταθεροποίηση εικόνας και βίντεο

Πίνακας 9.5 Αισθητήρες κίνησης (Πηγή: <https://www.bosch-sensortec.com/>).

Ερώτηση 5

Με τη χρήση του διαδικτύου αναζητήστε περιπτώσεις παραβίασης της ιδιωτικότητας των χρηστών ή κυβερνοεπίθεσης σε συσκευές IoT. Παρουσιάστε το πρόβλημα και τις πιθανές λύσεις.

Απάντηση/Λύση

Για πάνω από μια δεκαετία, οι ιατρικές συσκευές υπήρξαν στόχοι κυβερνοεπιθέσεων. Τον τελευταίο καιρό οι επιθέσεις αυτές έλαβαν δημοσιότητα, καθώς υπήρξαν περιπτώσεις επιθέσεων σε καρδιακές συσκευές, και πιο συγκεκριμένα σε βηματοδότες και απινιδωτές. Οι επιθέσεις αυτές δεν ήταν οι μόνες, αφού έχουν αναφερθεί και άλλες περιπτώσεις επιθέσεων, όπως σε ψηφιακές αντλίες ινσουλίνης ή γενικότερα ψηφιακές αντλίες έκχυσης φαρμάκων.

Ο αυξανόμενος αριθμός ιατρικών συσκευών που χρησιμοποιούν λογισμικό έχει δημιουργήσει νέα δεδομένα για την κυβερνοασφάλεια στην ιατρική βιομηχανία, δηλαδή πώς μπορούμε να προστατεύσουμε τις ιατρικές συσκευές από σκόπιμες επιβλαβείς παρεμβολές στην κανονική τους λειτουργία.

Πιο συγκεκριμένα, η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των παρόχων υγειονομικής περίθαλψης (ιατρών) και των συσκευών που ελέγχουν την υγεία των ασθενών, οι οποίες πολλές φορές είναι εμφυτευμένες στο σώμα του ασθενή (π.χ. βηματοδότης), δημιουργούν έναν δυνητικό κίνδυνο για τον ασθενή, καθώς μια κυβερνοεπίθεση θα μπορούσε να έχει ως στόχο την παρεμβολή και τον έλεγχο της συσκευής, με σκοπό την εκβίαση ή ακόμη και τη δολοφονία του ατόμου-ασθενή (Baranchuk et al., 2018).

Αυτό θα μπορούσε να συμβεί είτε εφάπαξ, π.χ. με την απενεργοποίηση της συσκευής, είτε με τη διαρκή παρεμβολή και τη λανθασμένη λειτουργία της συσκευής. Δηλαδή, ο κυβερνοεγκληματίας επιχειρεί να τροποποιήσει τη δοσολογία χορήγησης του φαρμάκου ή του προγράμματος λειτουργίας της συσκευής.

Τέτοιες είδους επιθέσεις είτε σε ιατρικές συσκευές είτε σε άλλου είδους αντικείμενα (π.χ. κάμερες ασφαλείας) παρουσιάζονται στην ιστοσελίδα <https://www.iotforall.com/5-worst-iot-hacking-vulnerabilities/>. Αντίστοιχα, κυβερνητικοί οργανισμοί, όπως ο Οργανισμός Ελέγχου Τροφίμων και Φαρμάκων των Η.Π.Α., έχουν εκδώσει σχετικές οδηγίες για την αποφυγή του φαινομένου και την προστασία των καταναλωτών – ασθενών (<http://www.fda.gov/downloads/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/UCM482022.pdf>).

Ερώτηση 6

Με τη χρήση του διαδικτύου αναζητήστε και μελετήστε το περιεχόμενο των RFID στην περίπτωση των νέων βιομετρικών διαβατηρίων. Ποια είναι τα αποθηκευμένα δεδομένα; Ποιοι είναι οι κίνδυνοι ασφαλείας από την παράνομη ανάγνωση αυτών των δεδομένων και πώς μπορούν να αντιμετωπιστούν;

Απάντηση/Λύση

Στο δικτυακό τόπο <http://www.passport.gov.gr/npc-periexomeno/npc-periexomeno/viometrika-xarakteristika-diavatiirou.html> παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των βιομετρικών διαβατηρίων. Οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε ένα RFID, όπως ακριβώς αποθηκεύονται διάφορες πληροφορίες στις έξυπνες κάρτες (smartcards). Το RFID χρησιμοποιείται επίσης προκειμένου να εξασφαλιστεί η ακεραιότητα του διαβατηρίου καθώς και των βιομετρικών δεδομένων του.

Ο διεθνής οργανισμός ICAO (International Civil Aviation Organization) που δραστηριοποιείται στο πλαίσιο του Ο.Η.Ε. δημιούργησε τις διεθνείς προδιαγραφές για όλες τις χώρες που προτίθενται να υιοθετήσουν τα νέα RFID διαβατήρια, τα λεγόμενα e-passports. Ο ICAO έχει ορίσει την αναγνώριση προσώπου ως το πρωτεύον βιομετρικό χαρακτηριστικό. Εκτός της εικόνας, τα βιομετρικά διαβατήρια αποθηκεύουν και όλα τα προσωπικά στοιχεία του ατόμου (π.χ. όνομα, επίθετο, ημερομηνία γέννησης, φύλο, εθνικότητα), καθώς επίσης υπάρχει και η προαιρετική δυνατότητα χρήσης δακτυλικού αποτυπώματος. (ICAO, 2015). Επιπλέον, οι προδιαγραφές των διαβατηρίων είναι δημόσια διαθέσιμες και μπορούν να βρεθούν στη σελίδα <https://www.icao.int/publications/pages/publication.aspx?docnum=9303>. Στην Εικόνα 9.32 φαίνεται ένα ελληνικό e-passport.



Εικόνα 9.32 Ένα έξυπνο ελληνικό διαβατήριο.

Η υποκλοπή των δεδομένων των διαβατηρίων είναι μια ιδιαίτερα σημαντική και αυξανόμενη απειλή. Η υποκλοπή γίνεται με σκοπό τη δημιουργία πλαστών ταξιδιωτικών εγγράφων και μπορεί να γίνει με δύο βασικά τρόπους (Molnar et al., 2005):

- Skimming (ξάφρισμα), που συμβαίνει όταν ένας εισβολέας με έναν αναγνώστη βρίσκεται στην ίδια περιοχή με αυτή του κατόχου διαβατηρίου. Ο εισβολέας, ο οποίος μπορεί να βρίσκεται σε απόσταση έως και 10 μέτρα, διαβάζει το περιεχόμενο του διαβατηρίου χωρίς ο κάτοχός του να υποψιαστεί τίποτα. Η απόσταση ανάγνωσης έχει άμεση σχέση με την ισχύ που εκπέμπει ο αναγνώστης. Μερικοί αναγνώστες έχουν μεγάλη ισχύ και μπορούν να στείλουν το σήμα τους, το οποίο θα μπορεί να διαβαστεί από RFID, ακόμη και πολύ μακριά (π.χ. 100 μέτρα).
- Eavesdropping (κρυφάκουσμα), που συμβαίνει όταν ένας εισβολέας υποκλέπτει τα δεδομένα, τα οποία εκπέμπονται από το RFID του διαβατηρίου προς έναν κανονικό αναγνώστη.

Για το λόγο αυτό το ICAO δημιούργησε προδιαγραφές για μια διαδικασία ασφαλείας που ονομάζεται BAC (Basic Access Control). Ο μηχανισμός BAC δουλεύει ως εξής: Τα δεδομένα που αποθηκεύονται στο RFID του διαβατηρίου είναι κρυπτογραφημένα. Ο αστυνομικός στον χώρο ελέγχου διαβατηρίων για να πάρει το κλειδί αποκρυπτογράφησης και για να διαβάσει τα βιομετρικά δεδομένα του διαβατηρίου θα πρέπει να σκανάρει ηλεκτρονικά το κείμενο που βρίσκεται κάτω από την φωτογραφία του κατόχου του και περιλαμβάνει τις παρακάτω πληροφορίες:

- Ημερομηνία γέννησης
- Αριθμός διαβατηρίου
- Ημερομηνία λήξης του διαβατηρίου.

Στη συνέχεια, μετά την ανάγνωση των παραπάνω δεδομένων, ο αναγνώστης δημιουργεί ένα μοναδικό κλειδί (με μηχανισμό κατακερματισμού) με το οποίο στη συνέχεια ξεκλειδώνει τα δεδομένα του RFID του διαβατηρίου. Με τον τρόπο αυτό η διαδικασία BAC δεν επιτρέπει το skimming, δηλαδή απαγορεύει σε απομακρυσμένους εισβολείς να ανακτήσουν τα δεδομένα του διαβατηρίου. Επίσης απαγορεύει το eavesdropping, αφού το κανάλι επικοινωνίας μεταξύ του RFID και του αναγνώστη είναι κρυπτογραφημένο.

Ερώτηση 7

Με τη χρήση του διαδικτύου, συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά για την έκδοση του Arduino Uno ή άλλης αντίστοιχης έκδοσης. Γιατί το Arduino συνδυάζει και ψηφιακές και αναλογικές εξόδους;

Υποσύστημα	Τιμή
Μικροεπεξεργαστής	
Τάση λειτουργίας	
Τάση Εισόδου	
Αριθμός ψηφιακών ακροδεκτών για Είσοδο/Εξοδο	
Αριθμός αναλογικών ακροδεκτών εισόδου	
Συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη Εισόδου/Εξόδου	

Συνεχές ρεύμα για ακροδέκτη 3,3 Volt	
Μνήμη Flash:	
SRAM:	
EEPROM:	
Ταχύτητα ρολογιού	
Μήκος πλακέτας	
Πλάτος πλακέτας	
Βάρος	

Πίνακας 9.6 Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino.

Απάντηση/Λύση

Με βάση τη δικτυακή εγκυκλοπαίδεια Wikipedia, οι τιμές των χαρακτηριστικών είναι οι ακόλουθες:

Υποσύστημα	Τιμή
Μικροεπεξεργαστής	Microchip ATmega328P
Τάση λειτουργίας	5 Volt
Τάση Εισόδου	7 έως 20 Volts
Αριθμός ψηφιακών ακροδεκτών για Είσοδο/Εξόδο	14 ακροδέκτες (από τους οποίους οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έξοδο αναλογικού σήματος)
Αριθμός αναλογικών ακροδεκτών εισόδου	6
Συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη Εισόδου/Εξόδου	20 mA
Συνεχές ρεύμα για ακροδέκτη 3,3 Volt	50 mA
Μνήμη Flash:	32 KB
SRAM:	2 KB
EEPROM:	1 KB
Ταχύτητα ρολογιού	16 MHz
Μήκος πλακέτας	68,6 mm
Πλάτος πλακέτας	53,4 mm
Βάρος	25 gr

Το Arduino βασίζεται στον ATmega328, έναν 8-bit μικροελεγκτή, ο οποίος λειτουργεί στα 16 MHz και διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων:

- 2 Kb μνήμης SRAM, που είναι η μνήμη που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματα.
- 1 Kb μνήμης EEPROM, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα προγράμματα, η οποία όμως δεν χάνει τα περιεχόμενά της όταν διακοπεί η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, και
- 32 Kb μνήμης Flash, από τα οποία τα 2 Kb χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Η μνήμη flash δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset.

Το Arduino υποστηρίζει 14 ακροδέκτες, αριθμημένους από 0 ως 13, που μπορούν να λειτουργήσουν ως ψηφιακές εισοδοί και εξοδοί. Λειτουργούν στα 5 V και καθένας μπορεί να παρέχει ή να δεχτεί το πολύ 40 mA.

Μερικοί από αυτούς τους 14 ακροδέκτες, εκτός από τις ψηφιακές εισόδους/εξόδους, έχουν και δεύτερη λειτουργία, π.χ. για να δέχονται εξωτερικές διακοπές (interrupt), για σειριακή επικοινωνία κ.λπ.

Οι αναλογικές εξοδοί (ακροδέκτες 3, 5, 6, 9, 10 και 11) λειτουργούν με το σύστημα PWM (Pulse Width Modulation), δηλαδή το ίδιο σύστημα που διαθέτουν οι μητρικές των υπολογιστών για να ελέγχουν τις ταχύτητες των ανεμιστήρων. Έτσι, μπορούμε να συνδέσουμε ένα LED σε κάποιον από αυτούς τους ακροδέκτες και να ελέγξουμε πλήρως τη φωτεινότητά του με 256 καταστάσεις (από 0-σβηστό ως 255-πλήρως αναμμένο). Στην άλλη πλευρά του Arduino, με τη σήμανση ANALOG IN, υπάρχουν 6 ακόμη ακροδέκτες, οι οποίοι μπορούν να δεχτούν μια τάση από 0 έως 5 V.

Η ύπαρξη αναλογικών εισόδων και εξόδων επιτρέπει την απευθείας σύνδεση του Arduino με πληθώρα συσκευών με πολύ απλό τρόπο, χωρίς να χρειάζονται σύνθετες διεπαφές.

Ερώτηση 8

Πού οφείλεται η μεγάλη δημοφιλία του Arduino; Ποια είναι τα βασικά του πλεονεκτήματα;

Απάντηση/Λύση

Η δημοφιλία του Arduino στηρίζεται σε πολλούς παράγοντες:

- Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες είναι ότι οι φραγμοί εισόδου για τη χρήση του Arduino είναι πολύ χαμηλοί. Αυτό σημαίνει ότι ο μέσος χρήστης χρειάζεται μόλις μερικά λεπτά για να δημιουργήσει την πρώτη του εφαρμογή, π.χ. να κάνει ένα LED να αναβοσβήνει.
- Το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino, καθώς και η ίδια η γλώσσα του, είναι εύκολο να κατανοηθούν ακόμη και από ανθρώπους που δεν έχουν εμπειρία στον προγραμματισμό, χωρίς όμως αυτό να περιορίζει τους πιο έμπειρους χρήστες.
- Υπάρχει αφθονία εκπαιδευτικού υλικού, μαθήματα, βίντεο, παραδείγματα, ασκήσεις που καλύπτουν όλες τις ανάγκες και όλα επίπεδα, από αρχάριους μέχρι ειδικούς, καθώς και μια πολύ ζωντανή κοινότητα χρηστών, η οποία είναι πρόθυμη να απαντήσει σε κάθε απορία.
- Το Arduino χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται από πολλούς ανθρώπους με καλλιτεχνικό ή δημιουργικό υπόβαθρο. Αυτοί οι άνθρωποι είναι συνήθως καλύτερα συνδεδεμένοι στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης και αυτό το γεγονός βοήθησε σημαντικά στην ευρεία αποδοχή του Arduino.

Επιπλέον, επιγραμματικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι το Arduino:

- Είναι ιδιαίτερα προσιτό από άποψη τιμής.
- Είναι συμβατό με μια τεράστια ποικιλία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, αισθητήρων, ενεργοποιητών.
- Είναι απλό και προάγει σημαντικά την καινοτομία, διότι οι χρήστες εστιάζονται στην ιδέα τους και όχι στην επίλυση τεχνικών προβλημάτων.
- Είναι πολύ αξιόπιστο (δεν χαλά εύκολα).

Ερώτηση 9

Ποιες θα είναι οι επιπτώσεις της εφαρμογής της στρατηγικής Βιομηχανίας 4.0 στην αγορά εργασίας; Τεκμηριώστε τις απόψεις σας με σχετικές μελέτες.

Απάντηση/Λύση

Η στρατηγική της Βιομηχανίας 4.0 δεν θα έχει επιπτώσεις μόνο στη μετατροπή της γραμμής παραγωγής και στον τρόπο που παράγουμε. Περιλαμβάνει επίσης τον ψηφιακό μετασχηματισμό ολόκληρης της επιχείρησης. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να επανεξετάσουμε: α) την ψηφιοποίηση και ολοκλήρωση των κάθετων και οριζόντιων αλυσίδων αξίας και β) του επιχειρηματικού μοντέλου γενικά, βελτιστοποιώντας την αλληλεπίδραση και την πρόσβαση των πελατών.

Επιπλέον, σύμφωνα με τις διαθέσιμες κλαδικές εκθέσεις μελέτης της αγοράς της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0), το μέγεθός της εκτιμάται σε 66,67 δισεκατομμύρια δολάρια για το έτος 2016 και αναμένεται να φτάσει στα 152,31 δισεκατομμύρια δολάρια Η.Π.Α. έως το 2022. Αυτό δείχνει μια ετήσια αύξηση 14,72% για τα επόμενα πέντε χρόνια (Marketsandmarkets.com, 2017).

Παρόμοιες τάσεις αναφέρονται στο "Πανόραμα δεξιοτήτων της ΕΕ για το 2014" (European Commission, 2014). Σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat, το 2013 περισσότεροι από 32 εκατομμύρια εργαζόμενοι εργάζονταν στον μεταποιητικό τομέα σε ολόκληρη την Ε.Ε. Παρόλο που η απασχόληση σε όλον τον μεταποιητικό τομέα στην Ε.Ε. αναμένεται να μειωθεί κατά 4% έως το 2025, στους τομείς της υψηλής τεχνολογίας αναμένεται να δημιουργηθούν περισσότερες από 2 εκατομμύρια θέσεις εργασίας, δημιουργώντας τελικά ένα θετικό ισοζύγιο θέσεων εργασίας.

Επιπλέον, ο ψηφιακός μετασχηματισμός των επιχειρήσεων που απορρέει από τη Βιομηχανία 4.0 παρουσιάζει πλήθος προκλήσεων για το σύνολο της αγοράς εργασίας, τόσο από την πλευρά των εργοδοτών, όσο και των εργαζομένων. Οι σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις επιβάλλουν, με συνεχώς αυξανόμενη βαρύτητα, την

ανάπτυξη νέων δεξιοτήτων που αφορούν, πέραν των τεχνικών, ικανότητες συμπεριφοράς αλλά και γνώσης του επιχειρηματικού περιβάλλοντος (Fitsilis et al., 2018).

DRAFT