



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
HAROKOPIO UNIVERSITY

Supply Chain Management

Αναπλ. Καθηγήτρια Κλεοπάτρα Μπαρδάκη

cleobar@hua.gr



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
HAROKOPIO UNIVERSITY

IoT-enabled SCM



**Physical
objects**



**Data
capture**



**Operational
actions**

Core question

**How can connected objects improve visibility, control,
and decision quality across supply chains?**

Ορισμός

Το **Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT)** αποτελεί το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας **συσκευών**, οικιακών συσκευών, αυτοκινήτων καθώς και κάθε **αντικειμένου** που ενσωματώνει **ηλεκτρονικά μέσα**, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο ώστε να επιτρέπεται η **σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων**.

Απλούστερα, η φιλοσοφία του IoT είναι η σύνδεση όλων των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους ([τοπικό δίκτυο](#)) ή με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο ([παγκόσμιο ιστό](#)).

(Wikipedia)

Ορισμός

Το IoT φέρνει/ πραγματοποιεί:

- Συνδεσιμότητα (**connectivity**) μεταξύ 'things' σε κάθε χώρο και κάθε στιγμή,
- Αυτόνομη και Ασφαλής **ανταλλαγή δεδομένων** μεταξύ συσκευών και εφαρμογών/ συστημάτων,
- Διασυνδεδεμένη οικονομική και κοινωνική ζωή,
- Φυσικές δραστηριότητες στον **ιδεατό χώρο** (virtual space)
- Απεριόριστες εφαρμογές για **«έξυπνη» ζωή και «έξυπνες» επιχειρήσεις.**







Ουσιαστικά, το IoT παρέχει για τα αντικείμενα

- Μοναδική αναγνώριση
- Πληροφορία σε πραγματικό χρόνο (real time) για
 - **Θέση**
 - **Κατάσταση**
 - **Περιεχόμενο**
- Ιδεατό/ ψηφιακό αποτύπωμα (**digital footprint**)
- Συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο
- Δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων

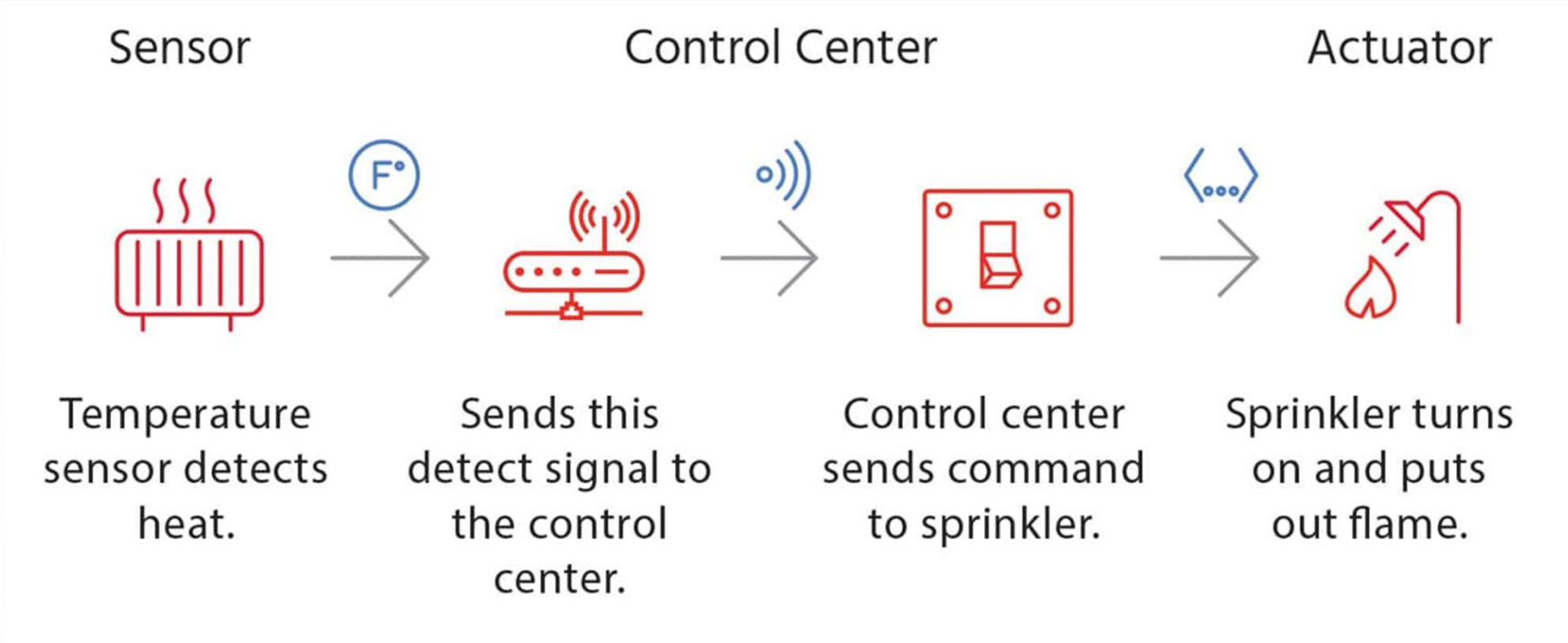


IoT is driven by:

Sensors

Light sensor	Motion sensor	Sound sensor
		
Temperature humidity sensor	Weight sensor	Water sensor
		

Sensor to Actuator flow



Sensor to Actuator flow

Sensor

Measures the physical world and converts it into digital data.

- Input to the information system
- Examples: temperature, humidity, GPS, vibration, weight, optical sensor
- SCM use: monitor product condition, asset location, machine status

Example: a sensor detects that a refrigerated container has exceeded 8°C.

Actuator

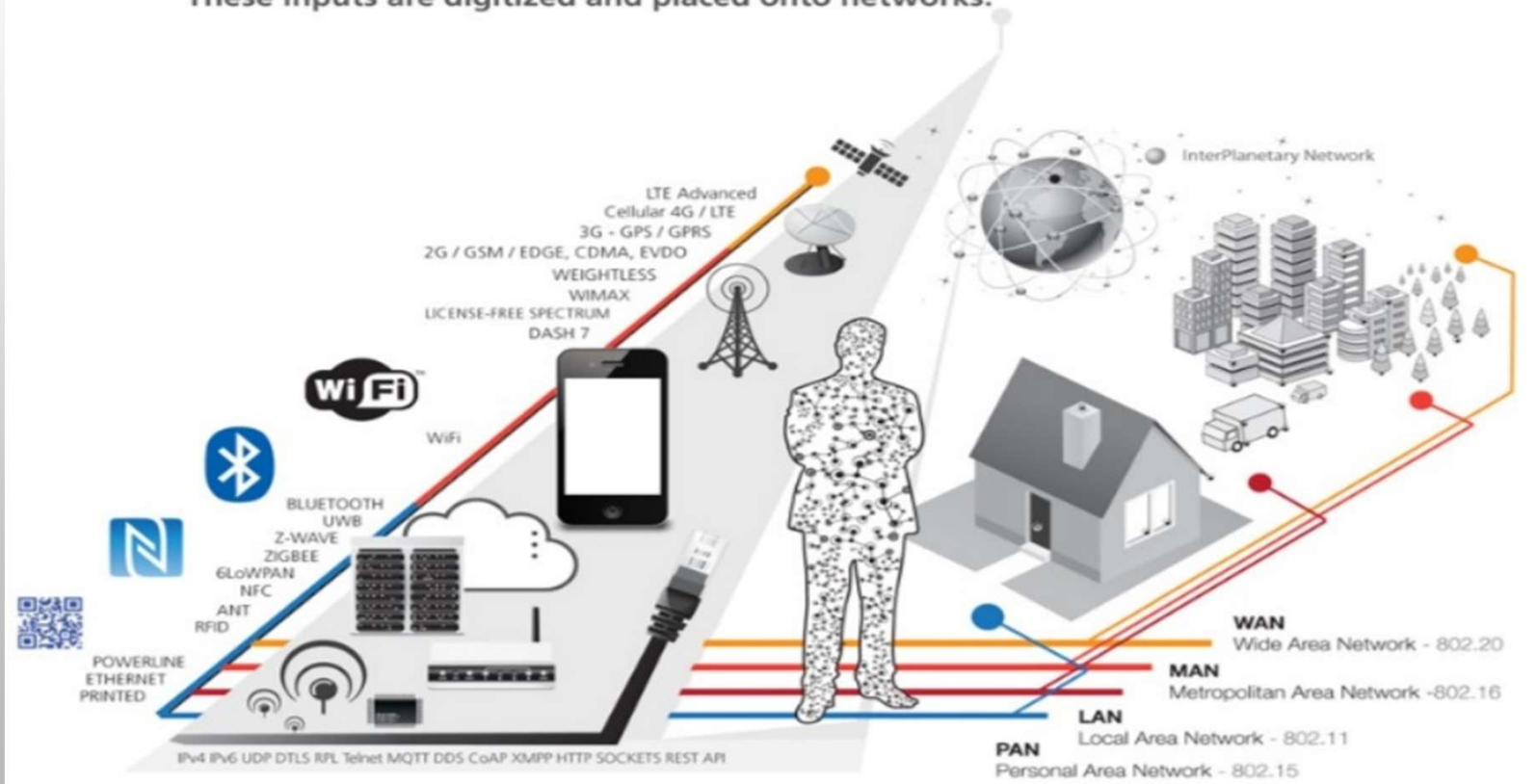
Receives a command and changes the physical world.

- Output from the information system
- Examples: valve, motor, robot arm, smart lock, relay, cooler controller
- SCM use: sort, route, lock, release, adjust, stop, move

Example: an actuator increases cooling or locks a dock door after an alert.

2 CONNECTIVITY

These inputs are digitized and placed onto networks.



Source:
<https://www.postscapes.com/what-exactly-is-the-internet-of-things-infographic/>

RFID as an IoT enabling technology



- Passive tags: low-cost, no battery, powered by the reader signal; common for items, cases, pallets, and retail inventory.
- Active tags: battery powered; longer range and richer sensing, useful for containers, high-value assets, and yard operations.
- EPC standards assign unique identifiers to physical objects, logistics units, locations, and other supply chain entities.
- Compared with barcodes, RFID can read many tagged items rapidly and does not require direct line-of-sight.

Typical RFID events

Seen at receiving gate
Moved into storage
Picked for order
Loaded on trailer
Returned or recycled

RFID gives objects a machine-readable identity and supports automatic event capture

RFID (Radio Frequency Identification)

- **Automatic Scanning** – requires no line of sight.
- **Unique object Identification** (e.g. pallet, case, product item)
- **Components**

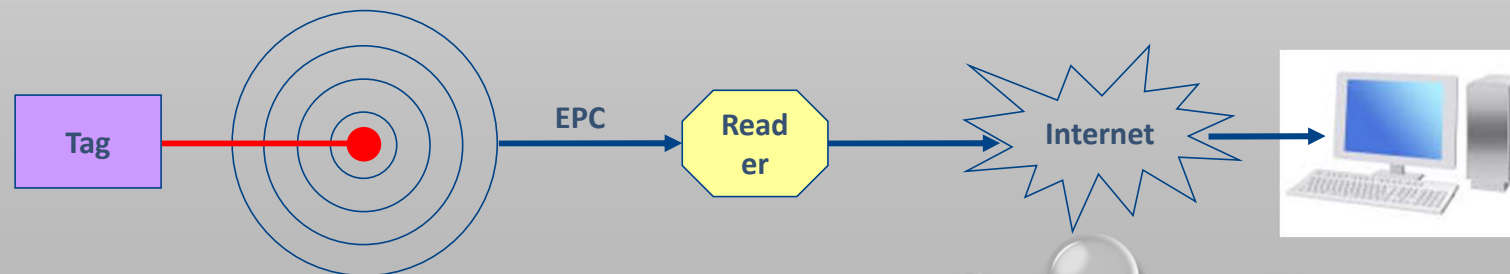
✓ RFID Tag: Chip + Antenna

✓ Reader

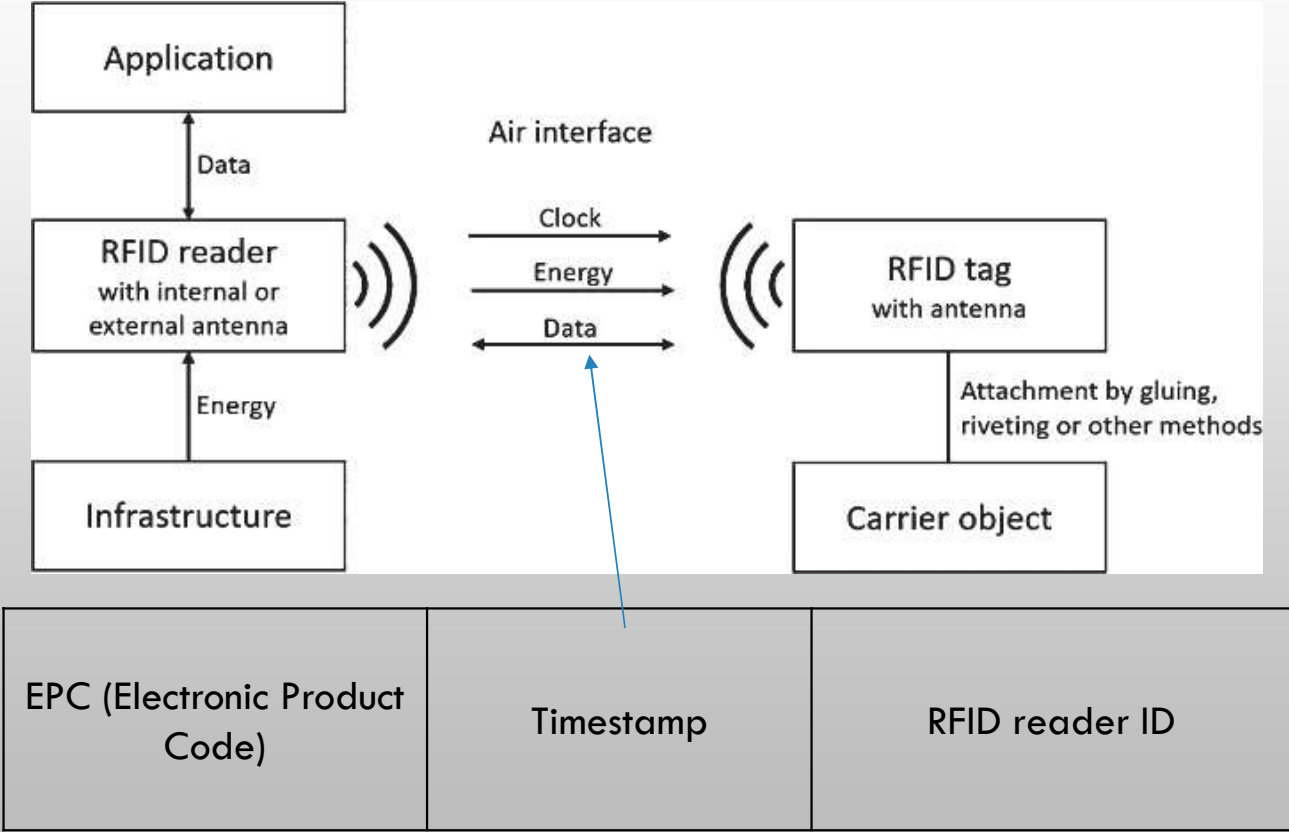


chip

Antenna



RFID data



RFID installations



RFID gate

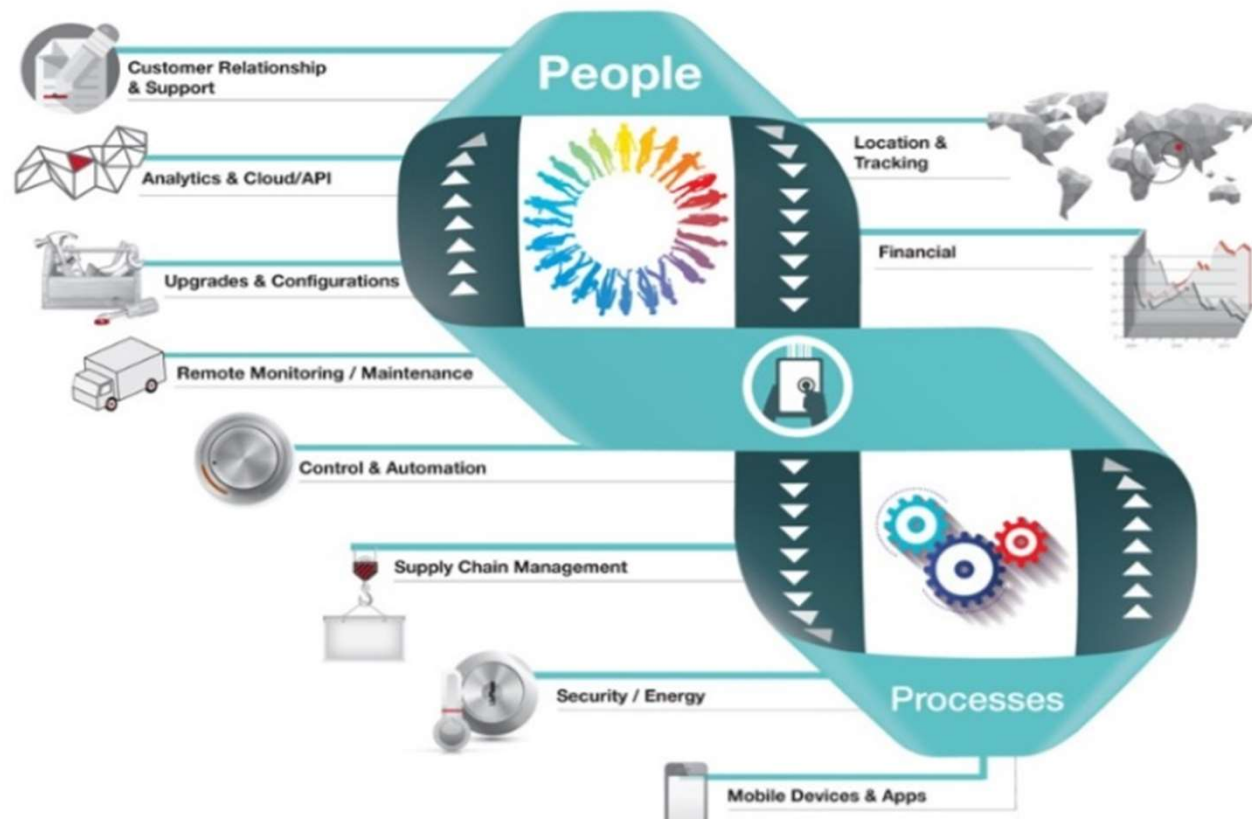


RFID στην οροφή



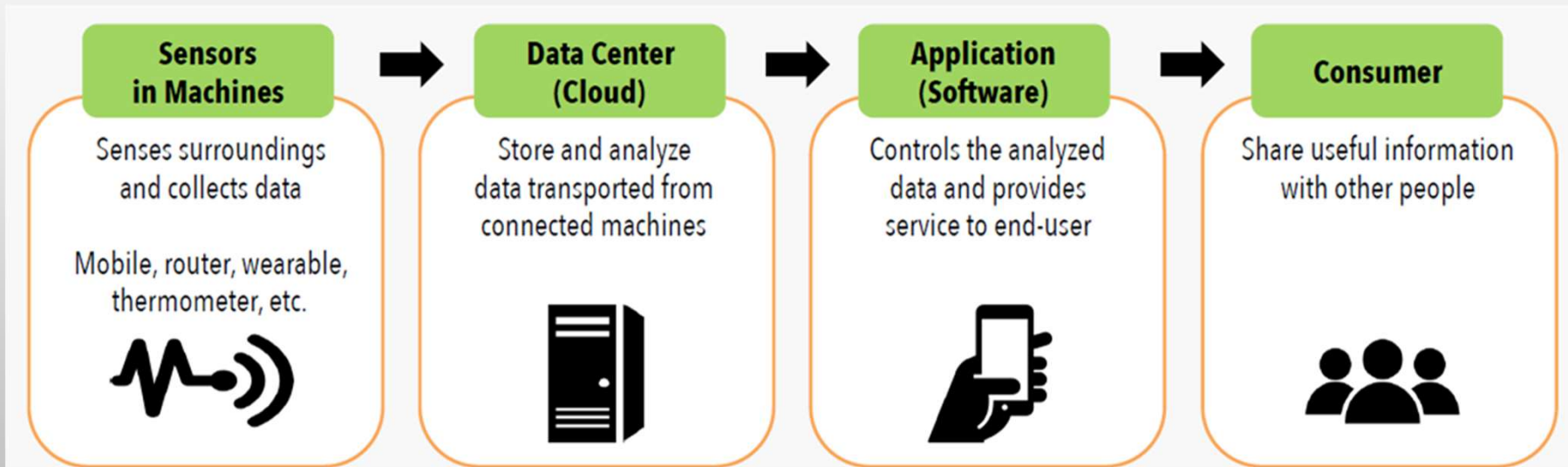
3 PEOPLE & PROCESSES

These networked inputs can then be combined into bi-directional systems that integrate data, people, processes and systems for better decision making.

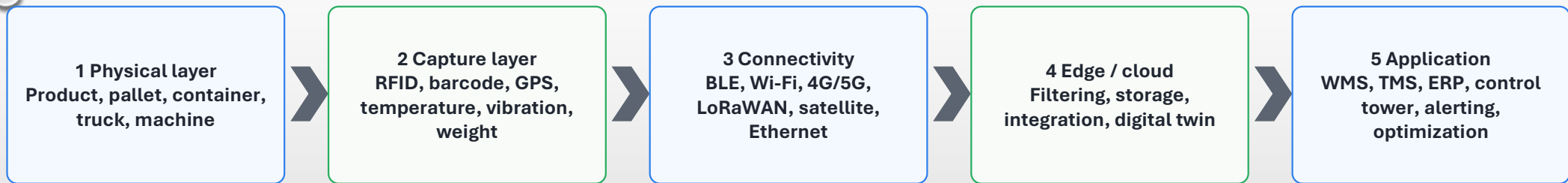


Source:
<https://www.postscapes.com/what-exactly-is-the-internet-of-things-infographic/>

IoT Data flow



IoT architecture: how an event becomes a decision



- A temperature sensor on a pallet records 8.5°C for a product that must stay between 2°C and 8°C.
- The gateway forwards the event to the cloud; the application links it to shipment ID, route, carrier, customer, and SLA.
- The control tower triggers an alert, suggests diversion or replacement, and records evidence for quality compliance.

Advantages for SCM

Visibility

Track location and condition of products, pallets, vehicles, and equipment in near real time.

Inventory accuracy

Reduce manual counts, mis-scans, misplaced stock, and stockout surprises.

Faster operations

Automate receiving, put-away, picking, loading, yard checks, and proof-of-delivery events.

Quality and compliance

Record chain-of-custody, cold-chain history, shock exposure, and tamper evidence.

Predictive management

Detect equipment degradation, route delays, demand changes, and replenishment exceptions earlier.

Sustainability

Reduce waste, empty miles, spoilage, excess inventory, and unnecessary safety stock.

Disadvantages and implementation risks

Cost and ROI

Tags, readers, sensors, gateways, software, integration, maintenance, training, and process redesign.

Integration complexity

Legacy ERP/WMS/TMS data models may not handle high-volume event streams or item-level identity.

Data quality

False reads, missed reads, sensor drift, battery failure, calibration errors, and duplicate events.

Security and privacy

Connected devices expand the attack surface and may expose sensitive location or customer data.

Interoperability

Different standards, suppliers, protocols, frequencies, and data formats can block scaling.

Operational disruption

People may bypass systems when workflows are slow, alerts are noisy, or accountability is unclear.



Paper

IoT-based tracking and tracing platform for prepackaged food supply chain

Li, Z., Liu, G., Liu, L., Lai, X. and Xu, G. (2017), "IoT-based tracking and tracing platform for prepackaged food supply chain", *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 117 No. 9, pp. 1906-1916.

<https://doi.org/10.1108/IMDS-11-2016-0489>



Introduction

- Research purpose / Research question(s)

Proposing an effective **IoT-enabled real-time tracking and tracing platform** for **prepackaged food supply chain** in order to ensure safe food consumption

- How to design an economically solution to realize item-level real-time tracking and tracing?
- • How to build an integrated tracking and tracing platform for prepackaged food during the whole supply chain?
- How to support the identification of the casual factors when safety incidents appear?
- How to facilitate the decision-making processes based on the mass real-time data collected?

Introduction

- Research motivation

Prepackaged food plays a more and more important role in modern lives as it could bring many benefits, for example, it is much more convenient for usage and storage.

However, with the booming of prepackaged food industry, the **food safety incidents increase** accordingly -> **decrease the confidence of consumers** and even bring about severe public health impact.

- Research approach - Design and development of the platform, **case study**

Introduction

- Summary of results

the **platform** is proved highly effective and beneficial for all the stakeholders involved

the **integration of the QR code and RFID technologies** is proved to be economical and enables real-time data collection

- Contribution

the technical architecture of the IoT-based tracking and tracing platform

integration of QR code and RFID technologies -> cost decrease

information sharing between stakeholders -> guaranteeing the quality and safety of prepackaged food

Related work / Background

Food supply chain refers to the processes from food production, processing, distribution,

to consumption and disposal.

A lot of research has been made through using various emerging technologies to guarantee the food safety and maximize the economic benefits in a specific food supply chain process.

- Thakur and Hurburgh (2009) proposed a **system for bulk grain supply chain traceability**.
- Kong et al. (2013) presented the **quality traceability system for bee products**.
- Bechini and Cimino (2008) developed a prototype of **traceability web information system** for the food supply chain to track and trace product units.

Related work / Background

Qiao et al. (2013) proposed a [vegetable safety traceability model](#) by integrating two-dimensional barcode technology and web service technology.

Tavares et al. (2012) designed a [tracking and tracing solution in supply chains by using a quick response code](#).

Hsu et al. (2008) proposed an [RFID-enabled traceability system for live fish supply chain](#) where the RFID tag is put on each live fish and is regarded as the mediator which links the live fish logistic center, retail restaurants, and consumers for identification.

Azuara et al. (2012) implemented a [secure traceability system](#) with a cryptographic operator. The system could identify fakes and potential counterfeits, which could significantly reduce the cost of security management.

Related work / Background

QR code - quick response code













a two-dimensional version of the barcode
conveys a wide variety of information almost instantly with the scan of a mobile device.

stores up to 7089 digits or 4296 characters, including punctuation marks and special characters,

it can encode words and phrases such as internet addresses.

the more data, the bigger size increases and the more complex structure

Related work / Background

 <h2>RFID Tags</h2>	<h2>vs QR Codes</h2> 
 <p>RFID uses radio technology, using a combination of frequencies that each have their own use cases.</p>	<p>QR codes use optics technology (lasers), which are easier to generate on a mobile device or for temporary usage.</p> 
 <p>Depending on the RFID frequency, read distances can range from centimetres to long-range (100+ meters)</p>	<p>QR code technology requires a camera to recognise the code - limiting read distances to directly in front of a reader</p> 
 <p>Utilises radio technology to be able to be tracked and give real-time information and updates.</p>	<p>Quick Response (QR) code is static and information is only transferred once it is manually scanned.</p> 
 <p>Real-time data can be captured at multiple stages, with the ability to scan multiple RFID tags in a short space of time.</p>	<p>QR codes have no limit of information being transferred as they normally transfer to a URL, meaning lots of data can be 'stored' on a QR code</p> 

Proposing an IoT-based tracking and tracing platform

SOA

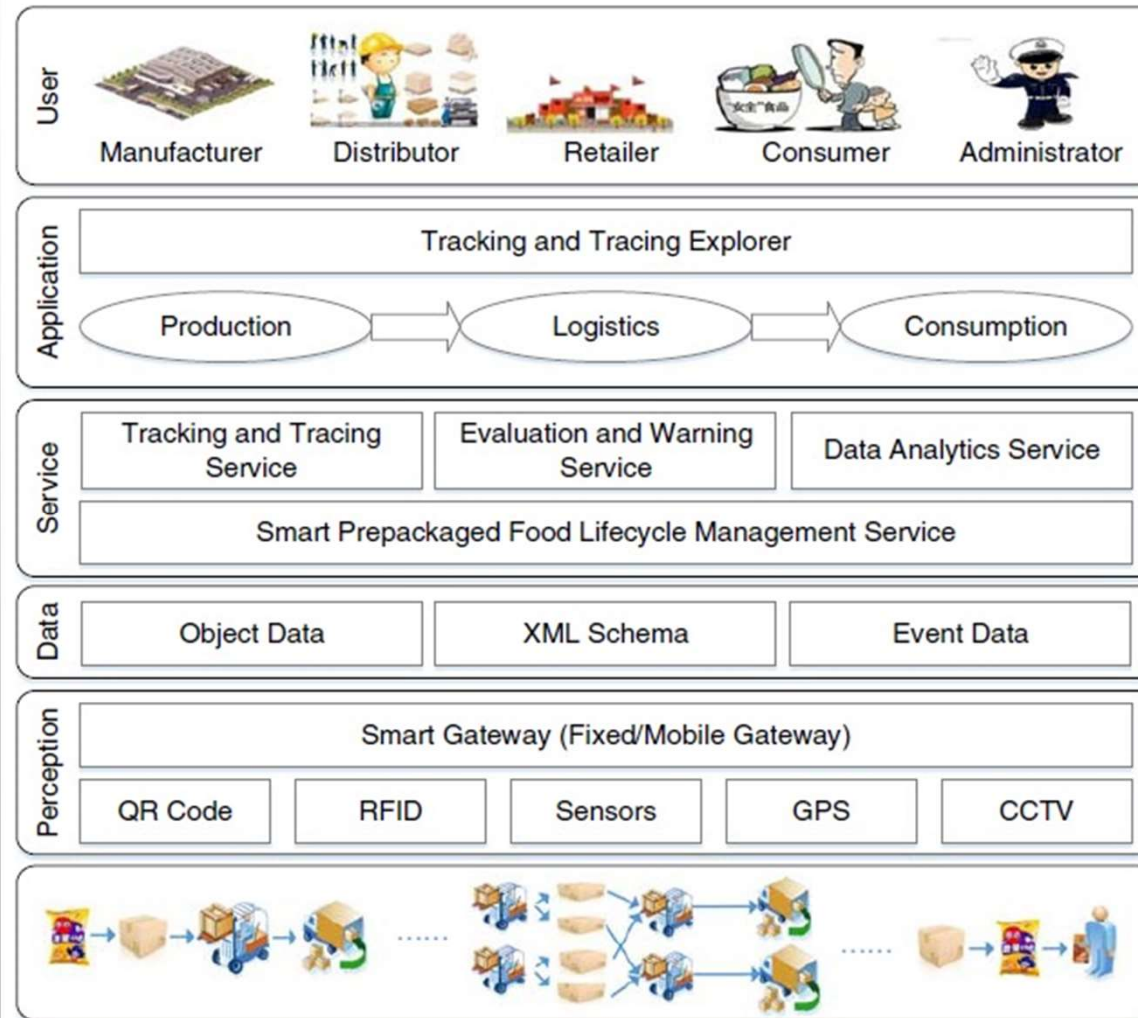
5 layers

- perception layer
- data layer
- service layer
- application layer
- users layer

XML schema facilitates the data exchange among various heterogeneous systems

XML - one of the most widely-used formats for sharing structured information today: between programs, between people, between computers and people, both locally and across networks.

Dr. C. Bardaki



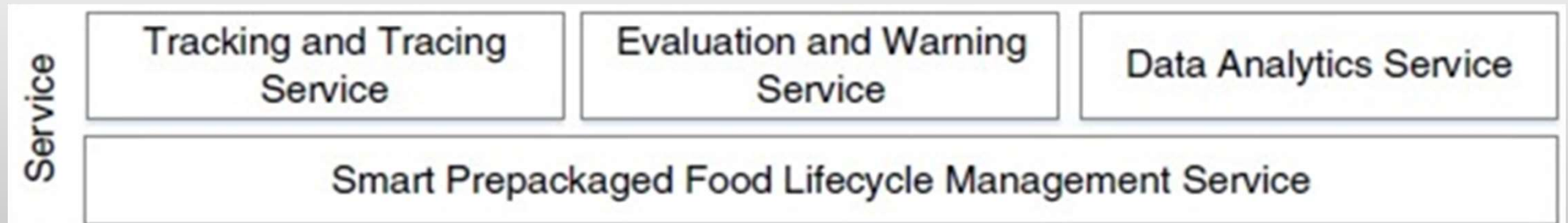
QR code for every prepackaged food item

RFID tag for different levels of packaging

Key services

Consumers can scan the QR code by their smart phones to capture the safety information of the prepackaged food.

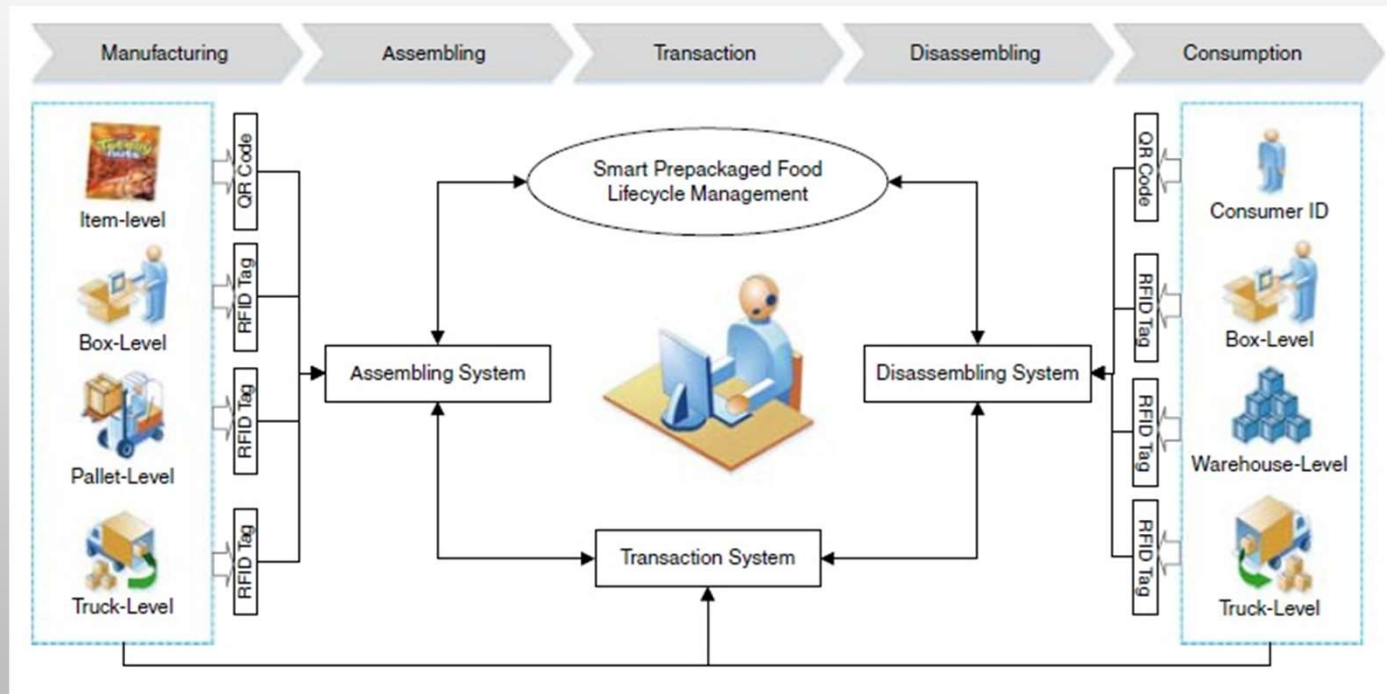
provide warning information for potential problems.



Mining useful information from historical data

- Regional consumption analysis
- Anti-counterfeiting analysis
- Quality analysis

Smart prepackaged food lifecycle management service



Case study

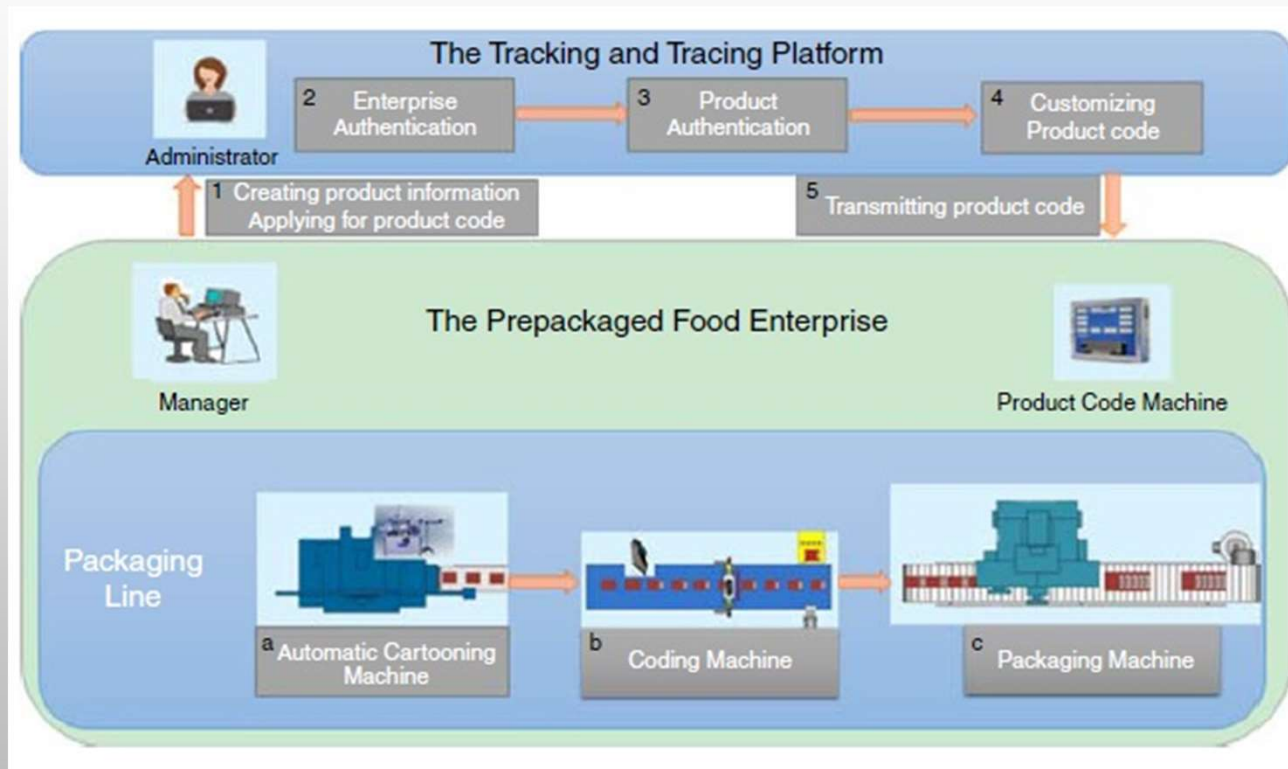
Guangxi Wuzhou Double Coins Industrial Co. Ltd (GWDCI) - one of the largest prepackaged food producers in South China.

Annual production of its representative product, tortoise jelly, has already exceeded 1,000 tons.

Several Challenges:

- very difficult to control the quality through the whole supply chain
- when safety incidents occur, it is difficult for GWDCI to identify the casual
- Factors
- lacks an effective method to get feedbacks from consumers.

Case study - implementation



A middle-level package - 24 boxes of tortoise jelly.

RFID tag - 0.66 dollar

QR code - 0.0003 dollars.

Case study – management processes



Circulation management

records the transactions of the prepackaged food -> depicts their routes.

Consumption management

After purchase, consumers can scan the QR code on the prepackaged food to check its detailed information, as well as tracing its logistics processes.

Discussion and Conclusions

Several **benefits** of the platform

- Enables the company to **monitor the whole process** of prepackaged food supply chain.
- The **implementation cost** could be greatly reduced through adopting the integrated QR/RFID solution.

Example: 1,000 boxes per day -> combination method = **28.02** dollars, RFID only = **660** dollars

- Builds an effective **consumers' feedback channel** for companies -> great help to improve the quality of the products
- **Identification of causal factors** when food incidents occur.



Stock visibility for retail using an RFID robot

Περίληψη

- **Σκοπός** - προτείνει ένα **αυτόνομο ρομπότ για απογραφή αποθεμάτων με τη χρήση RFID** (αναγνώριση σε επίπεδο τεμαχίου) με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα από την παραδοσιακή μέθοδο με τη χρήση ανθρώπινων χειριστών με φορητούς αναγνώστες RFID.
- **Πρωτοτυπία/αξία** - Το ρομπότ καλείται να αποτελέσει βασική πηγή δεδομένων απογραφής που συμμορφώνονται με τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και το λιανικό εμπόριο παντός καναλιού.
- **Αποτελέσματα** - ένα αυτόνομο ρομπότ για την απογραφή αποθεμάτων είναι εφικτό. Με την εφαρμογή ενός **κατάλληλου συστήματος πλοήγησης**, σε συνδυασμό με τη ροή των ταυτοποιήσεων, η ακρίβεια, η συνέπεια και **ο χρόνος ολοκλήρωσης απογραφής είναι σημαντικά καλύτερος από την εκτέλεση της ίδιας εργασίας χειροκίνητα.**

Εισαγωγή

Σύμφωνα με τους Hofmann και Rüsck (2017), υποστηρίζεται ότι η χρήση Τεχνολογίας Πληροφορικής και Επικοινωνιών καθώς και τεχνολογίας RFID φέρνει **τρεις συνιστώσες αξίας** για τους πελάτες στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM)

1

Αξία Διαθεσιμότητας

Η οποία αναφέρεται στη διαθεσιμότητα των αγαθών ή των υπηρεσιών

2

Αξία Ψηφιακής Ολοκλήρωσης

Η οποία επιτρέπει την ιχνηλασιμότητα κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού όπου με τη σειρά της επιτρέπει απρόσκοπτο και αποτελεσματικό χειρισμό παραγγελιών και γενικά διαδικασιών

3

Αξία Ψηφιακής Εξυπηρέτησης

Μια πρόσθετη αξία που δημιουργείται με την προσθήκη ψηφιακής διάστασης σε φυσικά αντικείμενα

Πτυχές Εφοδιαστικής Αλυσίδας(SCM)

Διαχείριση Αποθεμάτων

Από τις διάφορες πτυχές της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM), η **διαχείριση των αποθεμάτων αποτελεί κλειδί**. Η **ανακριβής καταγραφή των αποθεμάτων (IRI)**, δηλαδή η ασυμφωνία μεταξύ καταγεγραμμένου και φυσικού αποθέματος, συνεπάγεται απώλεια στην αξία των στοιχείων της αλυσίδας εφοδιασμού.

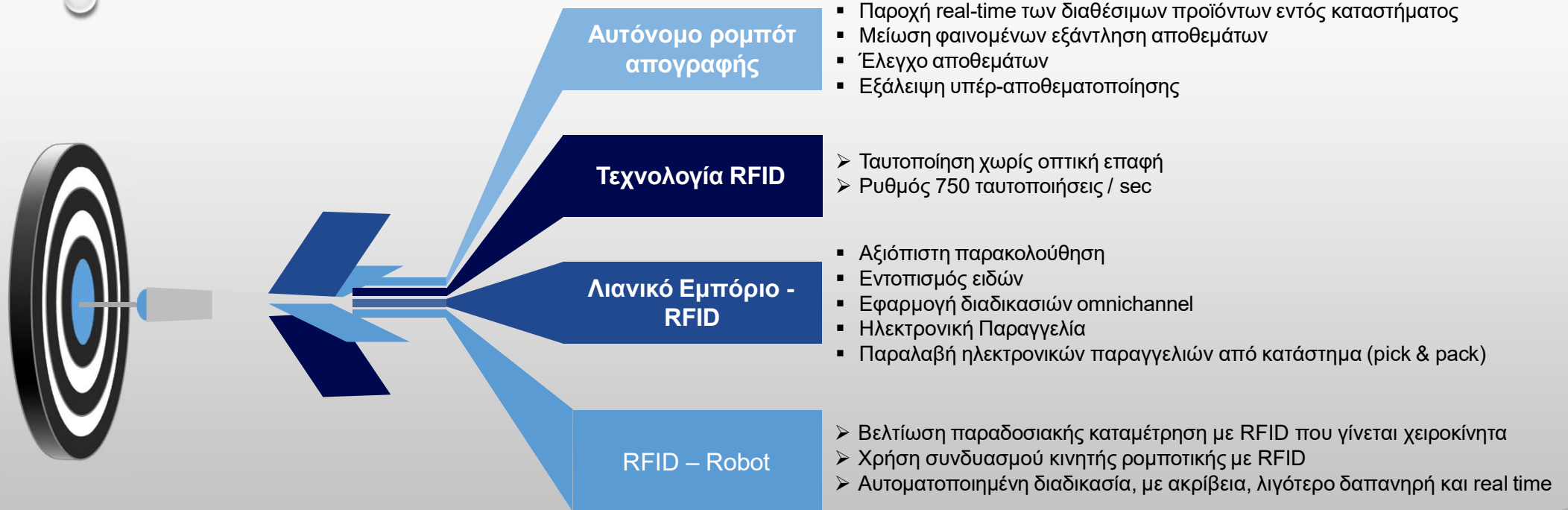
Λιανικό Εμπόριο

Στο λιανικό εμπόριο, η απροσδόκητη μη διαθεσιμότητα ενός προϊόντος αποτελεί κύρια πηγή απογοήτευσης των πελατών. η πηγή της IRI βρίσκεται κυρίως στους χώρους των καταστημάτων, παρά στις αποθήκες. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από: σφάλματα συναλλαγών, μια λανθασμένη ταμειακή εξόφληση ή επιστροφή, λανθασμένες τοποθετήσεις και μείωση αποθέματος που προκύπτει από κλοπή, αλλοίωση ή φθορά των ειδών.

Στρατηγική μετριασμού της IRI

Η συνήθης στρατηγική - διόρθωση των αποθεμάτων με χειροκίνητη απογραφή χρησιμοποιώντας είτε barcodes είτε την τεχνολογία RFID. Ακόμη και η απογραφή αποθεμάτων με βάση την τεχνολογία RFID είναι τόσο ενεργοβόρα όσο και ανακριβής. Η χρήση ρομπότ για την αυτοματοποίηση απογραφής αποθεμάτων με τη χρήση τεχνολογίας RFID μπορεί να απαλλάξει τους ανθρώπους από ένα επαναλαμβανόμενο και κουραστικό έργο που είναι εγγενώς επιρρεπές σε λάθη και να αυξήσει τη συχνότητα των απογραφών.

Μετριάσμός της IRI



Background

Gu (2007)

- Λειτουργικά προβλήματα αποθηκών
- Έλλειψη συνεργασίας ακαδημαϊκής έρευνας – βιομηχανίας
- **Λύσεις απλές , διαισθητικές αξιόπιστες**

Schairer (2008)

- Ρομπότ με RFID για ανάγνωση προϊόντων σε μακέτα για super market.
- Δεδομένα RFID αποτυπώνονται σε τρισδιάστατο περιβάλλον
- **Σύστημα πολλά υποσχόμενο αλλά με ελλείψεις σε πειραματισμούς και λεπτομερήs ανάλυσης των στοιχείων απογραφής**

Thirumurugan (2010)

- Ρομπότ που ακολουθεί γραμμή – διαβάζει barcodes σε βιβλιοθήκη

Lim (2013)

- RFID σε αποθήκη εμπεριέχει ευκαιρίες και εμπόδια για την υιοθέτηση της
- **Μία αβέβαιη απόδοση επένδυσης (ROI) συνδέεται με μία αντιληπτή αποτυχία απόδοσης**

Bertolini (2015)

- RFID vs Barcode με συσκευή χειρός σε πραγματικό κατάστημα.
- Συμπέρασμα :
- Απογραφή με RFID πιο αξιόπιστη από χρήση -> **Ακρίβεια : 90,6% - 98,7%**

Rizzi &
Romagnoli (2017)

- Απόδοση των εναέριων κεραιών RFID που είναι εγκατεστημένες στην οροφή ενός καταστήματος λιανικής
- **Μέση ακρίβεια 93%**

Advan Robot (2018)

- Παρουσιάζει αρχιτεκτονική και αλγόριθμους που βασίζονται τα ρομπότ.
- 2 διαθέσιμα εμπορικά ρομπότ απογραφής RFID είναι διαθέσιμα
- Η στρατηγική πλοήγησης και οι επιδόσεις τους δεν έχουν αποκαλυφθεί μέχρι σήμερα

Πρόταση – Σχεδιασμός robot



Πρόταση - Σχεδιασμός

Σύστημα RFID

- Αναγνωρίζει αντικείμενα έως 6 μέτρα
- Κεραία τοποθετημένη στο ρομπότ στραμμένη πλάγια
- Ταυτοποίηση αντικειμένων και στις 2 πλευρές του διαδρόμου
- 6 κεραίες / πλευρά -> μεγιστοποίηση ρυθμού ανάγνωσης -> ελαχιστοποίηση χαμένων ανιχνεύσεων
- 3 αναγνώστες RFID τροφοδοτούν τις κεραίες (1 αναγνώστης – 4 κεραίες)

Σύστημα κίνησης

- Robotnik's RB-1 commercial autonomous base (Guzman et al., 2016) με customizations specified by our team.
- Sensors, actuators (laser rangefinder, RGBD cameras, IMU and motors);
- CPU, the brain of the robot και battery

Πλοήγηση

- Η πλοήγηση εκτελείται σε τμήματα (ένας μεγάλος χώρος αποθήκευσης χωρίζεται σε μικρότερες υποπεριοχές ή τμήματα) για αποτελεσματικότητα και επεκτασιμότητα.
- Η πλοήγηση λαμβάνει υπόψη της την πυκνότητα των μη αναγνωρισμένων tags.

Έλεγχος πλοήγησης – Απογραφή

1ο Στάδιο : Αναγνώριση (χαρτογράφηση)

- Οδήγηση ρομπότ για αποτύπωση περιβάλλοντος και αποτύπωση/δημιουργία χάρτη
- Παρέμβαση από ανθρώπινη παρουσία

2ο Στάδιο : Απογραφή

- Ρομπότ πλοηγείτε αυτόνομα
- Χωρίς παρέμβαση από ανθρώπινη παρουσία
- Με πληροφορίες που συλλέγονται κατά το στάδιο της αναγνώρισης

Κατάσταση πλοήγησης

- Το ρομπότ κινείται προς τα μπρος κατά την σάρωση εφόσον η ποσότητα των γύρω αντικειμένων είναι αρκετά χαμηλή ώστε να μπορούν να αναγνωριστούν ενώ κινείται.

Κατάσταση Twist

- Το ρομπότ σταματά και στρίβει στη θέση του προκειμένου να διαφοροποιήσει το προσανατολισμό σάρωσης, μια λογική συμπεριφορά εάν η ποσότητα των αντικειμένων είναι τόσο υψηλή που δεν μπορούν να διαβαστούν όλα ενώ προχωράμε μπροστά.

Έλεγχος πλοήγησης – Απογραφή

Μήκος διαδρόμων

Αν και το ρομπότ μπορεί να αναγνωρίσει αντικείμενα έως και 6 μέτρα η παρουσία μεταλλικών ραφιών μπορούν να μπλοκάρουν το σήμα RFID. Επομένως το ρομπότ δεν βασίζεται στην εμβέλεια αναγνώρισης και προτιμά να επισκέπτεται όλους τους διαδρόμους. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιούνται τα απρόβλεπτα μπλοκαρίσματα σήματος και αυξάνεται η ακρίβεια

Μήκος διαδρόμων θεωρούμε το συνολικό μήκος διαδρόμων σε δεδομένη περιοχή εκφρασμένο σε μέτρα. Δίνει μια ιδέα για την έκταση της εργασίας απογραφής, καθώς δίνει την πραγματική απόσταση που πρέπει να διανύσει το ρομπότ για να αναγνωρίσει όλα τα στοιχεία.

Διάρκεια εργασίας απογραφής του ρομπότ ανάλογη με το μήκος των διαδρόμων

Έλεγχος πλοήγησης – Απογραφή

Ταχύτητα

Η ταχύτητα ενός ρομπότ που κινείται σε έναν δεδομένο χώρο εξαρτάται από την απόσταση του από τα εμπόδια και από το είδος και το πλήθος των στροφών που περιλαμβάνει. Όταν τα εμπόδια βρίσκονται κοντά και σε στροφές, η ταχύτητα του ρομπότ μειώνεται. Επομένως, μια πλήρης πλοήγηση σε ευρύ και ευθύ διάδρομο είναι ταχύτερη από ό,τι μία αντίστοιχη σε στενό διάδρομο με πολλές στροφές. Κατά συνέπεια, η διάρκεια της απογραφής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της διάταξης.

Πολυπλοκότητα

Η πολυπλοκότητα υπολογίζεται ως το μήκος των διαδρόμων ανά μονάδα επιφάνειας. Μπορεί να θεωρηθεί ως η απόσταση που πρέπει να διανυθεί για τη σάρωση ενός τετραγωνικού μέτρου, δίνοντας μια ιδέα της πολυπλοκότητας της διάταξης, αφού όσο περισσότερα μέτρα σε μια δεδομένη περιοχή, τόσο περισσότερες στροφές αναμένονται..

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πολυπλοκότητα είναι ένα μέτρο που είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος του καταστήματος, αρα αν το μέγεθος του καταστήματος αυξηθεί αλλά διατηρήσει τον ίδιο τύπο διάταξης, το ποσοστό περιπλοκότητας θα παραμείνει σταθερό.

Αριθμητικά Στοιχεία

Ακρίβεια Απογραφής ορίζεται ως το ποσοστό των θετικών αναγνωρίσεων ενός αποθέματος σε σχέση με το baseline ενώ το **IRI** είναι η ανακρίβεια μεταξύ του του πραγματικού αποθέματος σε σχέση με τις καταγραφές

Αποτελεσματική Ταχύτητα

Ένα ρομπότ που πλοηγείται σε ακατάστατα και μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα αντιμετωπίζει διαρκώς καταστάσεις στις οποίες πρέπει να αλλάξει πορεία, όπως για παράδειγμα απροσδόκητων εμποδίων ή απαγορευτικών στενών διαδρομών. Αποτέλεσμα, οι διανυόμενες αποστάσεις είναι γενικά μεγαλύτερες από τη βέλτιστη διαδρομή. Αντίθετα, ένα άτομο σε παρόμοιες καταστάσεις τις περισσότερες φορές μπορεί να κάνει ελιγμούς χωρίς να αυξήσει τη διαδρομή του. Για την σύγκριση των ταχυτήτων απογραφής πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν το πλεόνασμα του χρόνου που προκύπτει από την επιπλέον απόσταση. Για το σκοπό αυτό, αντί να εξετάζεται η πραγματική απόσταση που διανύεται, εξετάζεται η πραγματική ταχύτητα η οποία προκύπτει από το μήκος των διαδρομών.

Μελέτη περίπτωσης

- Πανεπιστημιακή βιβλιοθήκη
 - κωδικοποίηση και τοποθέτηση RFID ετικετών σε βιβλία
 - 3.000 βιβλία με ετικέτες.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα	αξία
Τύπος αντικειμένου	Βιβλία
Έκταση (m ²)	12,0
Αριθμός αντικειμένων	3,115
Πλάτος διαδρόμου (m)	1,05
Πυκνότητα (στοιχεία/m ²)	260 5,0
Μήκος διαδρόμων (m)	0,42
Πολυπλοκότητα (m/m ²)	

Πειραμα - αξιολογηση

Στοχος ακρίβειας $\geq 99\%$. – οι διαχειριστές logistics και επιχειρήσεων λιανικής πώλησης θεωρούν ότι αυτή είναι η ελάχιστη ακρίβεια ώστε τα αποτελέσματα της απογραφής να είναι αξιοποιήσιμα.

Πραγματοποιείται **μια σειρά δοκιμών** προκειμένου να επαληθευτεί η συνάφεια των παραμέτρων.



Αποτελέσματα

	Robot	Handheld
Accuracy (%)	99.3	99.3
Duration (s)	235	598

- Τα αποτελέσματα της δοκιμής (i) δείχνουν ότι **το κατώτερο όριο του 99 %** δεν μπορεί να επιτευχθεί με τη ρύθμιση του ρομπότ να πλοηγείται χωρίς αλληλεπίδραση με την πρόοδο των ταυτοποιήσεων RFID, ακόμη και μετά από τέσσερα **(4)** περάσματα.
- Τα αποτελέσματα της δοκιμής (ii) αποκαλύπτουν ότι με την εφαρμογή ενός ελέγχου που βασίζεται στο πλήθος των ταυτοποιήσεων, μετά από ένα δεύτερο πέρασμα **η μέση ακρίβεια φτάνει το 99 %**, αν και το ποσοστό 99 % δεν είναι εγγυημένο σε όλες τις επαναλήψεις, εκτός αν χρησιμοποιηθούν τέσσερα περάσματα.
- Τα αποτελέσματα της δοκιμής (iii) δείχνουν ότι η προσθήκη μιας περιστροφής είναι κρίσιμη για να αποδίδεται σταθερή ακρίβεια άνω του απαιτητού. Στην (iii) δοκιμή οι μέσοι όροι ακρίβειας είναι **πάνω από 99,5 %** με δύο ή περισσότερα περάσματα και είναι **πάνω από το όριο του 99%** στις περισσότερες επαναλήψεις με **ένα μόνο πέρασμα**.
- Συμπερασματικά, η καλύτερη ρύθμιση όσον αφορά την ακρίβεια είναι η ρύθμιση που περιλαμβάνει περιστροφή και τουλάχιστον δύο περάσματα. Ως εκ τούτου, καταδεικνύεται η σημασία των παραμέτρων, δεδομένου ότι το ρομπότ μπορεί να επιτύχει σταθερά ακρίβεια άνω του 99 % μόνο εάν χρησιμοποιούνται η περιστροφή και τα thresholds.

Αξιολόγηση σε πραγματικό κατάστημα

Μεθοδολογία

Σύγκριση ανάλυσης απόδοσης Ρομπότ και χειροκίνητης συσκευής.

Το ρομπότ υπερτερεί σε ακρίβεια αποδίδοντας **άνω του 99,4% ακρίβειας** από όλα τα περάσματα ξεπερνώντας τη φορητή συσκευή

	Section A	Section B	Section C
Robot (%)	<i>99.9</i> (99.9–100)	<i>99.9</i> (99.8–99.9)	<i>99.6</i> (99.4–99.9)
Handheld (%)	<i>96.2</i> (88.4–99.0)	<i>81.6</i> (68.0–85.2)	<i>75.3</i> (60.0–81.5)

Note: Average values in italic and extreme values in parenthesis

	Section A	Section B	Section C
Merchandise	Jeans	Men's dresses	Women's underwear
Area (m ²)	140	262	232
Number of items	2,300	6,000	16,500
Typical aisle width (m)	0.95	0.80	0.65
Density (items/m ²)	16	21	71
Aisles length (m)	72	160	149
Intricacy (m/m ²)	0.51	0.57	0.64

