



TANDEM

Ενσωμάτωση λειτουργιών και
συσκευών σε υπηρεσίες νέφους
στις παρυφές του δικτύου

Παραδοτέο Π3.1: Υλοποίηση και Σχεδιασμός Πειραμάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκά Διαρθρωτικά
και Επενδυτικά Ταμεία



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΠΠΑ, ΤΣ & ΕΚΤ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑνΕΚ

ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Έργο:	TANDEM
Κωδικός Έργου:	T2ΕΔΚ-02825
Ενότητα Εργασίας :	Ολοκλήρωση, Έλεγχος και Πειραματική Αξιολόγηση Συστήματος
Συντονιστής Ενότητας:	INTRACOM TELECOM
Συντονιστής Παραδοτέου:	INTRACOM TELECOM
Έκδοση Παραδοτέου:	1.0
Ημερομηνία:	28/03/2023

Ακρωνύμια

Ακρωνύμιο	Ορισμός
AR	Augmented Reality (Επαυξημένη Πραγματικότητα)
API	Application Programming Interface (Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών)
AWS	Amazon Web Service
BaaS	Backend-as-a-Service (Το Backend ως Υπηρεσία)
BPMN	Business Process Model and Notation (Μοντέλο Επιχειρηματικής Διαδικασίας και Συμβολισμοί)
CDA	Confirmatory Data Analysis (Ανάλυση Επιβεβαιωτικών Δεδομένων)
CDN	Content Delivery Networks (Δίκτυο Διανομής Περιεχομένου)
CFS	Customer Facing Service (Εξυπηρέτηση πελατών)
CP	Connection Point (Σημείο Σύνδεσης)
CSP	Communication Service Provider (Πάροχος Υπηρεσιών Επικοινωνιών)
CV	Computer Vision (Μηχανική, Υπολογιστική ή Τεχνητή Όραση)
DAG	Directed Acyclic Graph (Κατευθυνόμενος Ακυκλικός Γράφος)
DC	Datacenter (Κέντρο δεδομένων)
DMN	Decision Model and Notation (Μοντέλο απόφασης και Συμβολισμοί)
DPI	Deep Packet Inspection (Εις βάθος εξέταση πακέτων)
EC	Edge Computing (Υπολογιστική στα άκρα του δικτύου)
EDA	Exploratory Data Analysis (Διερευνητική Ανάλυση Δεδομένων)
ETL	Extract-Transform-Load (Εξαγωγή-μετασχηματισμός-φόρτωση)
FaaS	Function-as-a-Service (Η Λειτουργία ως Υπηρεσία)
FQDN	Fully Qualified Domain Name (Πλήρως αναγνωρισμένο όνομα τομέα)
GTP	GPRS Tunneling Protocol (Πρωτόκολλο σήραγγας GPRS)
GUI	Graphical User Interface (Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη)
HLS	HTTP Live Streaming (Ζωντανή μετάδοση HTTP)
ICN	Information-Centric Network (Δίκτυο προσανατολισμένο στην πληροφορία)
IOPS	Input/Output Operations Per Second (Αριθμός εισόδων/εξόδων ανά δευτερόλεπτο)
IoT	Internet of Things (Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων)
ISP	Internet Service Provider (Πάροχος Υπηρεσιών Διαδικτύου)
KPI	Key Performance Indicator (Δείκτης απόδοσης)
μDC	Micro-datacenter (Μικρο-κέντρο δεδομένων)

MANO	Management and orchestration (Διαχείριση και ενορχήστρωση)
MCDM	Multi-criteria decision making (Λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων)
MEC	Multi-access edge computing (Υπολογιστική άκρων)
MIME	Multipurpose Internet Mail Extension (Επέκταση για πολλαπλές χρήσεις σε αλληλογραφία μέσω διαδικτύου)
NFV	Network Function Virtualization (Εικονικοποίηση δικτυακών λειτουργιών)
NFVO	Network Function Virtualization Orchestration (Ενορχήστρωση εικονικοποιημένων δικτυακών λειτουργιών)
NSD	Network Service Descriptor (Περιγραφέας δικτυακής υπηρεσίας)
NST	Network Slice Template (Πρότυπο δικτυακού τεμαχίου)
NSI	Network Slice Instance (Στιγμιότυπο δικτυακού τεμαχίου)
NSSI	Network Slice Subnet Instance (Στιγμιότυπο υποδικτύου δικτυακού τεμαχίου)
OS	Operating System (Λειτουργικό Σύστημα)
OU	Organizational Units (Οργανωτικές Μονάδες)
PNF	Physical network function (Φυσική δικτυακή λειτουργία)
POP	Point of Presence (Σημείο Πρόσβασης)
PPDR	Public protection and disaster relief (Δημόσια προστασία και ανακούφιση από καταστροφές)
QCI	QoS Class Identifier (Αναγνωριστικό κλάσης ποιότητας υπηρεσίας)
QoE	Quality of Experience (Ποιότητα Εμπειρίας Χρήστη)
QoS	Quality of Service (Ποιότητα Παροχής Υπηρεσίας)
PaaS	Platform as a Service (Πλατφόρμα ως Υπηρεσία)
PLC	Programmable Logic Controller (Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής)
RaaS	Robot as a Service (Ρομπότ ως Υπηρεσία)
RAN	Radio Access Network (Δίκτυο Πρόσβασης Ραδιοεπικοινωνίας)
SaaS	Software as a Service (Λογισμικό ως Υπηρεσία)
SDN	Software-defined networking (Δίκτυα οριζόμενα μέσω λογισμικού)
SLA	Service Level Agreement (Συμφωνητικό Παροχής Υπηρεσίας)
SLAM	Simultaneous localization and mapping (Ταυτόχρονος εντοπισμός και χαρτογράφηση)
SR	Source Routing (Πηγαία δρομολόγηση)
TCAM	Ternary Content Addressable Memory (Τριαδική μνήμη αναζήτησης περιεχομένου)
TTL	Time-to-Live (Χρόνος ζωής)
UML	Unified Modelling Language (Ενοποιημένη γλώσσα σχεδιασμού)

URL	Uniform Resource Locator (Ενιαίος εντοπιστής πόρων)
vCache	Virtual cache (Εικονικοποιημένη κρυφή μνήμη)
VDU	Virtual Deployment Unit (Μονάδα Εικονικής Ανάπτυξης)
VIM	Virtualized Infrastructure Manager (Διαχειριστής Εικονικοποιημένης Υποδομής)
VLD	Virtual Link Descriptor (Περιγραφέας εικονικής σύνδεσης)
VNF	Virtual Network Function (Εικονικοποιημένη δικτυακή λειτουργία)
VNFD	Virtual Network Function Descriptor (Περιγραφέας εικονικοποιημένης δικτυακής λειτουργίας)
VoD	Video on Demand (Βίντεο κατά απαίτηση)
VNO	Virtual Network Operator (Εικονικός χειριστής δικτύου)
VR	Virtual Reality (Εικονική Πραγματικότητα)

Βασικές Έννοιες

Έννοια	Περιγραφή
Αναγνώριση Αντικειμένων (Object Recognition)	Είναι μια υπολογιστική τεχνολογία που σχετίζεται με την Τεχνητή Όραση (Computer Vision) και την Επεξεργασία Εικόνων (Image Processing) και ασχολείται με την ανίχνευση παρουσιών σημασιολογικών αντικειμένων μιας συγκεκριμένης κατηγορίας (όπως ανθρώπους, οχήματα, ζώα) σε ψηφιακές εικόνες και βίντεο. Έχει εφαρμογές σε πολλούς τομείς όπως στην Επιτήρηση Χώρου (Surveillance) και στην Ρομποτική βιομηχανία.
Ανίχνευση - Εντοπισμός Αντικειμένων (Object Detection)	Εκτός από τον εντοπισμό παρουσιών και την ταξινόμηση αντικειμένων σε μια εικόνα ή ένα βίντεο που παρέχει η Αναγνώριση Αντικειμένων, παρέχει και τις πληροφορίες σχετικά με τον περιγραφικό πλαίσιο (bounding box) που περικλείει κάθε εντοπισμένο αντικείμενο. Δηλαδή, στο Object Detection, το σύστημα πρέπει να εντοπίσει όλα τα αντικείμενα και να τα ταξινομήσει, επιστρέφοντας επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τη θέση τους.
Εφαρμογή (Application)	Μία οργανωμένη ενότητα συνεργαζόμενων λειτουργιών που ικανοποιούν μια συγκεκριμένη ανάγκη του τελικού χρήστη (π.χ. εφαρμογή επιτήρησης χώρου ή ελέγχου λειτουργίας Data Room). Μπορεί να αντιστοιχεί σε μία Υπηρεσία Εφαρμογής ή να αποτελεί τη σύνθεση υπηρεσιών του TANDEM που μπορεί να λειτουργούν και σε διαφορετικούς κόμβους. Η εφαρμογή μπορεί να παρέχει ή να καταναλώσει υπηρεσίες του TANDEM. Λειτουργεί ως εικονικοποιημένη εφαρμογή (οι υπηρεσίες-συστατικά της υλοποιούνται σε εικονικές μηχανές (VMs) ή containers), πάνω από την υποδομή εικονικοποίησης που παρέχεται από το TANDEM. Μπορεί να έχει συσχετισμένους κανόνες και απαιτήσεις, όπως απαιτούμενους πόρους, μέγιστη καθυστέρηση, απαιτούμενες ή χρήσιμες υπηρεσίες κ.λπ. για κάθε συστατικό της. Αυτές οι απαιτήσεις επικυρώνονται από τη διαχείριση επιπέδου συστήματος TANDEM. Στην περίπτωση που αποτελεί το αποτέλεσμα σύνθεσης υπηρεσιών προδιαγράφεται με ένα δομημένο αρχείο κειμένου (με όλη τη λογική σύνδεσης των υπηρεσιών και των συσκευών) που περιέχει τις οδηγίες προς τις επιλεγμένες μηχανές διαχείρισης γεγονότων και ροών εργασιών (event & workflow engines) για την υλοποίηση της λογικής της εφαρμογής. Η ιεραρχία είναι: Εφαρμογή (Application)→Υπηρεσία(Service)→Function (Δομο-ενότητα ή Στοιχειώδης Υπηρεσία)
Διαδίκτυο των Αντικειμένων (Internet of Things – IoT)	Αποτελεί το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας φυσικών συσκευών και κάθε αντικείμενου που ενσωματώνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων με άλλες συσκευές μέσω του Διαδικτύου
Δομο-ενότητα (function)	Μια σειρά από λειτουργίες με συγκεκριμένο σκοπό που συνθέτουν τη μικρότερη δυνατή εγκαταστάσιμη μονάδα λογισμικού. Αντιστοιχεί στην έννοια της Εικονικοποιημένης Δικτυακής Λειτουργίας (Virtual Network Function) του NFV MANO. Σε αυτό το κείμενο χρησιμοποιείται ισοδύναμα με τον όρο Υπηρεσία (Service) και περιγράφει μια υπηρεσία που μπορεί να αποτελέσει δομική ενότητα άλλων πιο σύνθετων υπηρεσιών ή εφαρμογών (Στοιχειώδης Υπηρεσία). Η σύνθεση δομο-ενοτήτων μπορεί να οδηγήσει σε υπηρεσίες με τον ίδιο τρόπο που η σύνθεση απλών υπηρεσιών μπορεί να οδηγήσει σε πιο πολύπλοκες υπηρεσίες.

	Λειτουργεί ως εικονικοποιημένη υπηρεσία (σε εικονικές μηχανές (VMs) ή containers), πάνω από την υποδομή εικονικοποίησης που παρέχεται από το TANDEM. Μπορεί να έχει συσχετισμένους κανόνες και απαιτήσεις, όπως απαιτούμενους πόρους, μέγιστη καθυστέρηση, απαιτούμενες ή χρήσιμες υπηρεσίες κ.λπ. Αυτές οι απαιτήσεις επικυρώνονται από τη διαχείριση επιπέδου συστήματος TANDEM.
Εικονικοποιημένη Υποδομή (Virtualized Infrastructure)	Η εικονικοποιημένη υποδομή είναι μία συλλογή από συνιστώσες IT υπολογιστικού περιβάλλοντος που υλοποιούνται σε επίπεδο κώδικα. Μία τέτοια συνιστώσα που δημιουργείται με τη χρήση κατάλληλου κώδικα έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον αντίστοιχο “χειροπιαστό” εξοπλισμό. Το πλεονέκτημα που έχει ένας διαχειριστής εικονοποιημένου συστήματος είναι η απεξάρτηση του από συγκεκριμένους κατασκευαστές και προϊόντα. Όμως το μεγαλύτερο όφελος είναι η καλύτερη χρήση των διαθέσιμων υποδομών - ελαχιστοποίηση του χρόνου όπου ακριβός εξοπλισμός βρίσκεται σε αχρηστία. Συνήθως ένα εικονοποιημένο υπολογιστικό κέντρο αποτελείται από τις ακόλουθες συνιστώσες: • Εικονικές Μηχανές (Virtual Machines) - προσφέρουν γενικά χαρακτηριστικά με συμβατικές δυνατότητες σε επεξεργασία, αποθήκευση και δίκτυο. • Εικονικές Επεξεργαστικές Μονάδες (Virtual Compute) - προσφέρουν servers με εξαιρετικές επεξεργαστικές ικανότητες που ξεπερνάνε τις δυνατότητες ενός μόνο μηχανήματος. • Εικονικές Αποθηκευτικές Μονάδες (Virtual Storage) - προσφέρουν servers με εξαιρετικές αποθηκευτικές ικανότητες που ξεπερνάνε τις δυνατότητες ενός μόνο μηχανήματος. • Εικονικά Δίκτυα (Virtualized Networks) - προσφέρουν δυνατότητες διασύνδεσης μεγάλης πολυπλοκότητας αποφεύγοντας την αγορά ακριβού εξοπλισμού.
Επιτήρηση (επίβλεψη) Χώρου (Surveillance)	Η Επιτήρηση-Χώρου είναι ένα ευρύ πεδίο-εφαρμογής υπολογιστών και προγραμματισμού με τη συμμετοχή πολύπλευρου εξοπλισμού. Συγκεκριμένα συνεργάζονται οι ακόλουθες οντότητες: • Κάμερες που βιντεοσκοπούν μία περιοχή με ιδιαίτερο ενδιαφέρον • Υπολογιστές που λαμβάνουν το σήμα της κάμερας και το επεξεργάζονται Το ζητούμενο είναι η εξαγωγή συμπεράσματος σε πραγματικό χρόνο για παράνομη παρουσία μη-εξουσιοδοτημένου προσωπικού σε ελεγχόμενο χώρο. Στη συνέχεια θα ενεργοποιηθεί άμεσα ένας μηχανισμός αντιμετώπισης περιστατικών. Η επεξεργασία του σήματος βίντεο στηρίζεται σε αλγόριθμους τεχνητής-όρασης. Το τελευταίο καιρό χρησιμοποιούνται με επιτυχία μέθοδοι μηχανικής-ευφυΐας που επιτρέπουν την εκπαίδευση μοντέλων για αναγνώριση πολύπλοκων αντικειμένων σε “πολυσύχναστους” χώρους.
Κόμβος TANDEM (TANDEM Node)	Κάθε υπολογιστική πλατφόρμα που μπορεί να φιλοξενήσει μία ή περισσότερες από τις μικρουπηρεσίες (microservices) του TANDEM.
Πράγμα /Αντικείμενο (Thing/Object)	Κάθε συσκευή που διασυνδέεται με άλλες στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων
Πύλη IoT (IoT Gateway)	Αποκαλείται η γέφυρα που διασυνδέει τα δεδομένα από τις διαφορετικές συσκευές με το υπολογιστικό νέφος και ενδεχομένως ενσωματώνει και κάποια υπολογιστική ευφυΐα για επεξεργασία των δεδομένων.

IoT Διεπαφή χρήστη (IoT User interface)	Πρόκειται για γραφικό περιβάλλον που προβάλλει στους χρήστες τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις συσκευές και τους επιτρέπει να ζητήσουν ενέργειες προς εκτέλεση από την συσκευή
Πακέτο Υπηρεσίας (Service Package)	Αποτελείται από (α) έναν Περιγραφέα Ανάπτυξης (Deployment Descriptor) που είναι ένα δομημένο αρχείο κειμένου με όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για τη δημιουργία στιγμιότυπου της υπηρεσίας στην πλατφόρμα του TANDEM, συμπεριλαμβανομένου ενός περιγραφέα εφαρμογής (κανόνες της εφαρμογής και απαιτήσεις από την πλατφόρμα TANDEM), πληροφοριών δήλωσης (manifest) και του URI της Εικόνας Λογισμικού (Software Image) και (β) της εικόνας λογισμικού (software image) εναλλακτικά της χρήσης του URI στο deployment descriptor.
Προϊόν (product)	Η υπηρεσία ή ο πόρος (υπολογιστικός, δικτυακός ή αποθήκευσης) με την προσθήκη των επιχειρηματικών πτυχών που σχετίζονται με το πως η υπηρεσία ή ο πόρος προσφέρεται στον πελάτη. Έτσι μια (στοιχειώδης) υπηρεσία ή ένας πόρος μετασχηματίζεται σε εμπορεύσιμη υπηρεσία ή πόρο (δηλαδή προϊόν) με την προσθήκη στοιχείων όπως τιμολόγησης, άδειας χρήσης και Service Level Agreement (SLA).
Συνεργατική ή Ομοσπονδιακή Μάθηση (Federated Learning).	Είναι ένα σχήμα Μηχανικής Μάθησης στο οποίο ένα κοινό μοντέλο μπορεί να εκπαιδευτεί από κοινού από έναν αριθμό κατανεμημένων κόμβων χρησιμοποιώντας τα τοπικά αποθηκευμένα δεδομένα. Μπορεί να παρέχει καλύτερο απόρρητο δεδομένων, επειδή τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση δεν μεταφέρονται σε κεντρικό διακομιστή. Η ομοσπονδιακή εκμάθηση είναι κατάλληλη για εφαρμογές υπολογιστικών άκρων και μπορεί να αξιοποιήσει την υπολογιστική ισχύ των διακομιστών στα άκρα και τα δεδομένα που συλλέγονται σε ευρέως διασκορπισμένες συσκευές στα άκρα
Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)	Πρόκειται για αλγόριθμους που προσφέρουν μία μορφή ευφυΐας σε μηχανές. Συγκεκριμένα ένα συγκεκριμένο πρόβλημα διατυπώνεται σε ένα πλαίσιο που επιτρέπει σε ένα υπολογιστή να εκπαιδευτεί στην επίλυση του και στη συνέχεια να αξιολογηθεί. Όταν οι επιδόσεις του κριθούν ικανοποιητικές, μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα πραγματικό περιβάλλον - διαφορετικό από αυτό όπου έγινε η εκπαίδευση του. Η έννοια της Τεχνητής-Νοημοσύνης (AI) είναι αρκετά γενική και αποτέλεσε τη βάση για πιο συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως: • Πρόβλεψη (Forecasting) • Εντοπισμός Ανωμαλιών (Anomaly Detection) • Κατανόηση φυσικής ομιλίας (Natural Language Processing) •
Τεχνητή Όραση (Machine-Vision)	Υπολογιστικό σύστημα που έχει ως στόχο τη κατανόηση του πραγματικού κόσμου μέσα από την επεξεργασία διαδοχικών εικόνων που παράγουν οι κάμερες. Χρησιμοποιεί Επεξεργασία Εικόνας (Image Processing) και Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) . Η Αναγνώριση Αντικειμένων (Object Recognition) είναι μία από τις λειτουργίες της Τεχνητής Όρασης.
Υπηρεσίες (Services)	Παραπομπή στην έννοια Δομο-ενότητα (function)
Υποστηρικτικές Υπηρεσίες (Supporting Services)	Οι υπηρεσίες που απαιτούνται για τη λειτουργία Υπηρεσιών Εφαρμογής ή στη δημιουργία Εφαρμογών (Applications), για παράδειγμα πρέπει να έχουμε την βοηθητική υπηρεσία πρόσβασης σε δεδομένα από εξωτερικές συσκευές, για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε την υπηρεσία ανάλυσης αυτών των δεδομένων.

Υπηρεσίες Εφαρμογής (Application Services)	Οι βασικές υπηρεσίες προς τον πελάτη σε αντιδιαστολή με τις υποστηρικτικές υπηρεσίες. Είναι οι υπηρεσίες που θέλει να χρησιμοποιήσει ο πελάτης αλλά πολλές φορές μπορεί να χρειάζεται να συνδυαστούν με υποστηρικτικές υπηρεσίες για να προσφερθούν και να αποτελέσουν Εφαρμογή (Application) προς τον πελάτη.
Υπηρεσίες Εφαρμογής Χρήστη (User Application Services)	Υπηρεσίες που εγκαθιστά ο Τελικός Χρήστης στις Υποδομές Τρίτου (π.χ. στις υποδομές του παρόχου του TANDEM). Οι υπηρεσίες αυτές μπορούν να επικοινωνήσουν με τις άλλες υπηρεσίες της υποδομής για να χρησιμοποιούν λειτουργίες τους ή μπορούν να προσφέρουν λειτουργίες.
Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου (Edge Computing)	Κατανεμημένη υπολογιστική αρχιτεκτονική που φέρνει την επεξεργασία και την αποθήκευση δεδομένων πιο κοντά στην τοποθεσία όπου απαιτείται, για τη βελτίωση των χρόνων απόκρισης και την εξοικονόμηση εύρους ζώνης
Υπολογιστικά Νέφη στα Άκρα του Δικτύου (Edge Clouds)	Ένα σύστημα cloud που περιλαμβάνει πόρους αποθήκευσης και επεξεργασίας που βρίσκονται στα άκρα του δικτύου, διασυνδέονται μεταξύ τους, και μπορούν να επεκταθούν και να προσαρμοστούν άμεσα σε μεταβαλλόμενες ανάγκες. Ένα Edge Cloud μπορεί να συνδέεται με την περιοχή που εξυπηρετεί και οι πόροι του να διαχειρίζονται από έναν Διαχειριστή Εικονικοποιημένης Υποδομής

Μεταφράσεις Βασικών Όρων

Όρος στα Αγγλικά	Όρος στα Ελληνικά
Agent	Πράκτορας
Alert	Συναγερμός
Bandwidth	Εύρος Ζώνης
Backend	Η πλευρά του εξυπηρετητή
Cloud Computing	Υπολογιστική Νέφους, Νεφοϋπολογιστική,
Cluster	Συστάδα
Edge	Άκρο, Παρυφή
Edge Computing	Υπολογιστική Άκρων, Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου, Παρυφοϋπολογιστική
Descriptor	Περιγραφέας
Federated Learning	Συνεργατική ή Ομοσπονδιακή Μάθηση
Interface	Διεπαφή
Instance	Στιγμιότυπο, παρουσία
Metadata	Μεταδεδομένα
Load Balancing	Εξισορρόπηση Φορτίου
Microservices	Μικροϋπηρεσίες
Notification	Ειδοποίηση
Orchestrator	Ενορχηστρωτής
Portal	Πύλη
Process	Διεργασία
Provider	Πάροχος
Scaling	Κλιμάκωση, Επέκταση
Scalability	Επεκτασιμότητα
Server	Εξυπηρετητής, Διακομιστής
Service	Υπηρεσία

Scheduling	Χρονοπρογραμματισμός
Timestamp	Χρονοσφραγίδα
Virtual Machine	Εικονική Μηχανή
Virtualized	Εικονικοποιημένη
Virtualization	Εικονικοποίηση
Visualization	Οπτικοποίηση

Σύνοψη Παραδοτέου

Το παραδοτέο αυτό περιγράφει τα σενάρια των πειραμάτων, καθώς και τη μεθοδολογία για την εκτίμηση της απόδοσης του προτεινόμενου συστήματος TANDEM και των επιμέρους μηχανισμών του.

Το σύστημα TANDEM έχει ως στόχο να αποτελέσει μια ολοκληρωμένη λύση για την υποστήριξη νέων μοντέλων υπολογιστικού νέφους στα άκρα του δικτύου που θα επιτρέπουν στους πελάτες - χρήστες του TANDEM να αναπτύσσουν, να εκτελούν και να διαχειρίζονται υπηρεσίες χωρίς το κόστος και την πολυπλοκότητα της οικοδόμησης και της συντήρησης της υποδομής ενώ παράλληλα μπορούν να αξιοποιούν και τις παρεχόμενες υπηρεσίες του TANDEM. Η ανάπτυξη και η λειτουργία των εφαρμογών φιλοξενείται σε υποδομές στα άκρα των δικτύων.

Τα σενάρια αυτά βασίζονται στα σενάρια χρήσης που περιγράφηκαν στο παραδοτέο Π1.1. και χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των λειτουργικών και τεχνικών απαιτήσεων για την υλοποίηση του συστήματος, καθώς και τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του.

Ο στόχος των σεναρίων των πειραμάτων που επιλέχθηκαν είναι να ελέγξουν ότι η προσέγγιση του TANDEM επιτυγχάνει τη δραστική απλοποίηση των διαδικασιών ανάπτυξης, διαχείρισης, επόπτευσης και επέκτασης υπηρεσιών σε εικονικοποιημένες υποδομές, που βρίσκονται στα άκρα του δικτύου.

Βάσει των σεναρίων των πειραμάτων, το σύστημα θα αξιολογηθεί συνολικά ενώ θα γίνει και αξιολόγηση των επιμέρους συστατικών του συστήματος βάσει των λειτουργικών και μη λειτουργικών απαιτήσεων που αναλύθηκαν στο παραδοτέο Π1.1. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης θα καταγραφούν στο παραδοτέο Π.3.2.

Τα τρία βασικά σενάρια αφορούν:

1. την αυτοματοποιημένη επιτήρηση χώρου με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης για ανάλυση βίντεο και αναγνώριση αντικειμένων στα άκρα του δικτύου. Σχεδιάστηκαν δυο συσχετιζόμενα πειράματα που φορούν την επιτήρηση χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων και πιο συγκεκριμένα τον χώρο στάθμευσης του κτιρίου A5 της INTRACOM TELECOM S.A. Το πρώτο χρησιμοποιεί την υπηρεσία Επεξεργασίας-Βίντεο στα άκρα για επιτήρηση χώρου για λόγους ασφαλείας (εντοπισμός και παρακολούθηση αντικειμένων). Το συγκεκριμένο πειραματικό σενάριο επικεντρώνεται στον έγκαιρο εντοπισμό ανθρώπων (με προσθήκη μάσκας ώστε να μη διακρίνονται τα χαρακτηριστικά τους) που εισέρχονται χωρίς εξουσιοδότηση και σε ώρες που δεν δικαιολογούνται (π.χ. που η εταιρεία είναι κλειστή). Το δεύτερο πειραματικό σενάριο αφορά τον εντοπισμών των διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης.

2. την προσωρινή αποθήκευση περιεχομένου βίντεο στα άκρα του δικτύου (edge content caching), για να μη χρειάζεται να αναζητείται κάθε φορά από κεντρικό εξυπηρετητή. Το σενάριο αφορά έναν CDN Service Provider που δε μπορεί να καλύψει με τις υποδομές του την αυξανόμενη ανάγκη για περιεχόμενο βίντεο σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Η αύξηση της ζήτησης για περιεχόμενο βίντεο μπορεί να είναι σε μόνιμη βάση (π.χ. λόγω της συνεχούς αύξησης της πελατειακής βάσης) ή περιοδική λόγω κάποιας εκδήλωσης (π.χ. ενός μουσικού γεγονότος ή ενός κρίσιμου ποδοσφαιρικού αγώνα). Οι υποδομές του αρχίζουν να μην επαρκούν. Στην περίπτωση αυτή, ο CDN Service Provider χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες ενός TANDEM Service Provider για να κάνει εγγραφή σε αυτόν της δικής του υπηρεσίας για προσωρινή αποθήκευση στα άκρα του δικτύου (Edge Caching Service), πραγματοποιεί την παραμετροποίησή της και ζητά την αυτοματοποιημένη διανομή και ενεργοποίησή της στην συγκεκριμένη περιοχή όπου υπάρχει αυξημένη ζήτηση. Το TANDEM ενεργοποιεί το Edge Caching Service στις υποδομές που έχει στην συγκεκριμένη περιοχή και το νέο Edge Caching Service γίνεται μέρος της CDN λύσης του CDN Service Provider. Οι αιτήσεις των χρηστών για περιεχόμενο βίντεο πλέον μπορούν να εξυπηρετούνται και από την νέα Edge Cache. Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου πειραματικού σεναρίου χρησιμοποιήθηκε η CDN υπηρεσία της INTRACOM TELECOM S.A. με όνομα **fs|cdn™ Anywhere (Full Service Content Delivery Network) [FSCDN]**, και
3. την αξιοποίηση ρομπότ στο πλαίσιο εφαρμογών Βιομηχανίας 4.0. Τα ρομπότ ελέγχονται από το σύστημα TANDEM και αποτελούν κόμβους άκρων του συστήματος. Με χρήση του TANDEM συνθέτουμε και αποστέλλουμε διαφορετικές εργασίες προς εκτέλεση από ρομπότς. Υλοποιήθηκαν τέσσερις συνεργαζόμενες ρομποτικές υπηρεσίες, οι οποίες καταχωρήθηκαν στον κατάλογο υπηρεσιών του TANDEM και οι οποίες συνδυάζονται χρησιμοποιώντας το εργαλείο Ενορχηστρωτή Αλυσίδων Υπηρεσιών του TANDEM για να δημιουργηθούν δύο διαφορετικά σενάρια. Το πρώτο περιλαμβάνει οπτικό έλεγχο ποιότητας τελικών προϊόντων με χρήση τεχνητής νοημοσύνης, και ύστερα αρπαγή και τοποθέτηση των αντικειμένων σε κατάλληλη θέση, προσομοιώνοντας έτσι τη λειτουργικότητα του ρομπότ σε μια βιομηχανική γραμμή παραγωγής, ενώ στο δεύτερο σενάριο το ρομπότ διαχωρίζει τύπους συσκευασιών φαρμάκων.

Ένα τέταρτο σενάριο υλοποιήθηκε στις πρώτες φάσεις του έργου, για να ελεγχούν οι βασικές ιδέες του και η προσέγγισή του. Μελετήθηκε και πραγματοποιήθηκε σενάριο επιτήρησης λειτουργίας Data Room της εταιρείας στο οποίο το έργο είχε τοποθετήσει αισθητήρες. Εγινε πειραματική υλοποίηση, με μηχανισμούς του TANDEM, αλυσίδας υπηρεσιών που ξεκινά από συγκέντρωση των μετρήσεων από αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας και καταλήγει στη γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο, στην αποστολή ειδοποιήσεων στον διαχειριστή όταν οι μετρήσεις υπερβούν κάποιες τιμές (ή γίνει πρόβλεψη με λειτουργίες τεχνητής νοημοσύνης ότι στο μέλλον θα ξεπεράσουν κάποιες τιμές) και στην ενεργοποίηση συναγερμού όταν οι μετρήσεις υπερβούν κάποια άλλα (υψηλότερα) όρια τιμών.

Πίνακας Περιεχομένων

Ακρωνύμια	3
Βασικές Έννοιες	6
Μεταφράσεις Βασικών Όρων	9
Σύνοψη Παραδοτέου	10
1 Εισαγωγή	15
1.1 Το έργο TANDEM.....	15
1.2 Αντικείμενο του Παραδοτέου	17
1.3 Δομή Παραδοτέου.....	17
2 Σενάρια Πειραμάτων Συστήματος	19
2.1 Επιτήρηση Χώρου με χρήση υπηρεσιών ανάλυσης βίντεο στα άκρα του δικτύου	20
2.1.1 Εισαγωγή	20
2.1.2 Περιγραφή Πειραμάτων Επιτήρησης Χώρου με χρήση υπηρεσιών ανάλυσης βίντεο στα άκρα του δικτύου	23
2.1.3 Ανάδειξη Χρησιμότητας TANDEM μέσω των Πειραμάτων.....	23
2.1.4 Μεθοδολογία και Αναλυτικά Βήματα Πειραμάτων.....	25
2.2 Προσωρινή Αποθήκευση βίντεο (video caching) στα άκρα του δικτύου σε Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (CDN)	27
2.2.1 Εισαγωγή	27
2.2.2 Περιγραφή Πειραμάτων Χρήσης Προσωρινής Αποθήκευσης Βίντεο στα Άκρα	28
2.2.3 Μεθοδολογία και Αναλυτικά Βήματα Πειραμάτων.....	30
2.2.4 Μεθοδολογία και Αναλυτικά Βήματα Πειραμάτων.....	31
2.3 Σενάριο Πειραμάτων Χρήσης Βιομηχανίας 4.0.....	32
2.3.1 Εισαγωγή	32
2.3.2 Περιγραφή Πειραμάτων Βιομηχανίας 4.0: Ρομποτς και Βιομηχανικό Δίκτυο των Αντικειμένων	32
2.3.3 Ανάδειξη Χρησιμότητας TANDEM μέσω των Πειραμάτων.....	34
2.3.4 Μεθοδολογία και Αναλυτικά Βήματα Πειραμάτων.....	35
2.4 Επίβλεψη Λειτουργίας Data Room και του εξοπλισμού του	43
3 Συμπεράσματα	46
4 Αναφορές	48
5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Διαγράμματα ροής για το σενάριο με το ρομπότ	49
6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – Ρομποτική: Μοντέλα και Λογισμικό	56
6.1 Κριτήρια επιλογής μοντέλου ρομπότ.....	56

6.2	Χαρακτηριστικά Μοντέλου ρομπότ που επιλέχθηκε.....	57
6.3	Πίνακες με χαρακτηριστικά άλλων υποψήφιων μοντέλων ρομπότς	58
6.4	Ενημέρωση για Εγκατάσταση, Βασικές Έννοιες και Αλληλεπίδραση με ROS	62
6.4.1	Εγκατάσταση	62
6.4.2	Ο ρόλος των πακέτων στο ROS	62
6.4.3	Ο ρόλος των εφαρμογών στο ROS	63
6.4.4	Ο ρόλος των κόμβων (Nodes) στο ROS	63
6.4.5	Τρόποι επικοινωνίας των κόμβων μεταξύ τους – Ο ρόλος των μηνυμάτων (Messages):.....	63
6.4.6	Τα χαρακτηριστικά των μηνυμάτων	63
6.4.7	Δημοσίευση μηνυμάτων από την κονσόλα	64
6.4.8	Ανάπτυξη ROS-Εφαρμογών.....	64
6.4.9	Log Messages.....	65
6.4.10	Τρόποι Συσχέτισης ROS & Docker	65

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1 - Δοκιμαστική Χρήση της Υπηρεσίας Smart Parking στο parking του κτιρίου A5 της INTRACOM TELECOM	27
Εικόνα 2 - Η πειραματική εφαρμογή σε κινητό για την εύρεση διαθέσιμων χώρων στάθμευσης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του TANDEM (Smart Parking Application).....	27
Εικόνα 3-Η Λύση fs cdn Anywhere της INTRACOM TELECOM που θα χρησιμοποιηθεί για τα πειράματα προσωρινής αποθήκευσης	29
Εικόνα 4 - Το κεντρικό σύστημα του fs cdn και οι caches που μπορούν να εγκατασταθούν στα edges μέσω TANDEM	30
Εικόνα 5 -Έλεγχος ποιότητας με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης στο edge: Το ρομπότ εντοπίζει την προβληματική συσκευασία αναψυκτικού(τσαλακωμένη), την γραπώνει και την μεταφέρει στην περιοχή των προβληματικών συσκευασιών	33
Εικόνα 6 - Διάγραμμα υπηρεσιών ρομπότ.....	37
Εικόνα 7: LoCoBot WX200.....	40
Εικόνα 8: Βραχίονας WidowX200 Εικόνα 9: Create3 Base	40
Εικόνα 10 - Τοποθετημένη η κάμερα του Ρομπότ	41
Εικόνα 11 - Η κάμερα βάθους του Ρομπότ	41
Εικόνα 12 - Ο Υπολογιστής του Ρομπότ	41
Εικόνα 13: Ultralytics is the company that created the YOLOv8 models.....	41
Εικόνα 14: Dataset Labeling	43
Εικόνα 15: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 1 ^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Εκπαίδευσης Μοντέλου Αναγνώρισης Αντικειμένων.....	50
Εικόνα 16: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 2 ^ο - Καταχώρηση Ρομπότ ως κόμβου TANDEM	50
Εικόνα 17: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 3 ^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Διεπαφής Υλικού (Hardware Controller)	51
Εικόνα 18: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 4 ^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Σχεδιασμού Κίνησης του βραχίονα (Motion Planning).....	51
Εικόνα 19: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 5 ^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Αναγνώρισης Αντικειμένων (για έλεγχο ποιότητας σε συσκευασίες αναψυκτικών)	52
Εικόνα 20: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 6 ^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Pick and Place.....	52
Εικόνα 21: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 7 ^ο - Δημιουργία προϊόντων από τις παραπάνω υπηρεσίες.....	53
Εικόνα 22: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 8 ^ο - Δημιουργία της Αλυσίδας Υπηρεσιών (Service Chain) για το ρομπότ («Αναγνώριση Προβληματικών Συσκευασιών Αναψυκτικών»)	54
Εικόνα 23: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 9 ^ο - Έναρξη Robot Service Chain 1 «Αναγνώριση Προβληματικών Συσκευασιών Αναψυκτικών».....	54
Εικόνα 24: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 10 ^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Αναγνώρισης αντικειμένων για διαχωρισμό φαρμάκων	55
Εικόνα 25: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 11 ^ο – Δημιουργία Robot Service Chain 2 («Διαχωρισμός Συσκευασιών Φαρμάκων»)	55
Εικόνα 26: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 12 ^ο - Εκκίνηση του νέου Service Chain	56

1 Εισαγωγή

1.1 Το έργο TANDEM

Το έργο έχει ως στόχο τη διαμόρφωση μιας ολοκληρωμένης λύσης για την υποστήριξη νέων **BaaS/FaaS/PaaS** μοντέλων υπολογιστικού νέφους, στα άκρα του δικτύου. Το έργο θα επικεντρωθεί στο σχεδιασμό, υλοποίηση και αξιολόγηση μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας που θα επιτυγχάνει τη δραστική απλοποίηση των διαδικασιών ανάπτυξης, διαχείρισης, επόπτευσης και επέκτασης υπηρεσιών σε περιβάλλοντα εγγενώς κατανεμημένα.

Κεντρικό ρόλο κατέχουν:

- (i) η δυνατότητα ενσωμάτωσης προϋπάρχοντων και προσαρμοζόμενων δομο-ενοτήτων λογισμικού σε ευρύτερες, σύνθετες αλυσίδες λειτουργίας (function chains), και
- (ii) η απλοποιημένη διασύνδεσή τους με τις τοπικές, σε επίπεδο κόμβου άκρων, συσκευές και πηγές δεδομένων.

Το κύριο αντικείμενο του έργου είναι τυπικά περιβάλλοντα υπολογιστικών νεφών στα άκρα του δικτύου, με έμφαση στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων, όπου η διασύνδεση και διαχείριση συσκευών αλλά και η υποστήριξη συγκεκριμένων τύπων επεξεργασίας δεδομένων, αποτελούν συχνή πρόκληση.

Τυπικά παραδείγματα επεξεργασίας αποτελούν η ανάλυση δεδομένων μετρήσεων π.χ., μέσοι όροι τιμών, παρεκκλίνουσες τιμές, καθώς και η χρήση τεχνολογιών **Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning – ML)** και **Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence – AI)** για την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών σε μετρήσεις από αισθητήρες (Time Series Forecasting) καθώς και ο εντοπισμός αντικειμένων σε ροές video π.χ., παρουσία ανθρώπων, αυτοκινήτων, όπλων, κ.λπ. Σκοπός του έργου είναι να δώσει ώθηση στην ανάπτυξη αντίστοιχων υπηρεσιών μέσω της διευκόλυνσης των παρόχων, τόσο στην τοπική διαχείριση και διασύνδεση τοπικών συσκευών και υπολογιστικών πόρων, όσο και στην εύκολη επαναχρησιμοποίηση λογισμικού για συγκεκριμένες, μεμονωμένες λειτουργίες, με άμεσο αντίκτυπο στην ευελιξία και ταχύτητα ανάπτυξης των επιθυμητών υπηρεσιών.

Η πλατφόρμα TANDEM βασίζεται σε δύο πυλώνες, τους κόμβους άκρων και την πλατφόρμα διαχείρισης:

Κόμβοι άκρων

Παρέχουν υπολογιστικούς πόρους, ο διαμοιρασμός των οποίων θα βασίζεται στην τεχνολογία εικονικοποίησης Docker Containers [docker]. Έμφαση θα δοθεί στην υποστήριξη διαφόρων τεχνολογιών διασύνδεσης τοπικών συσκευών π.χ., μέσω Bluetooth, Zigbee, LoRa, WiFi.

Επιδιωκόμενες λειτουργίες:

- Αυτόματη ανακάλυψη και ενσωμάτωση τοπικών συσκευών, όπως αισθητήρες, κάμερες, κ.λπ..
- Τοπική διαχείριση υπηρεσιών και αντίστοιχων πόρων. Περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την αρχικοποίηση, κατάργηση, τροποποίηση, διασύνδεση και επόπτευση δομο-ενοτήτων λογισμικού, και αντίστοιχων πόρων.

Πλατφόρμα διαχείρισης

Περιλαμβάνει διαδικασίες για τη διαμόρφωση, διαχείριση, επόπτευση και επέκταση υπηρεσιών

Επιδιωκόμενες λειτουργίες:

1. **Λειτουργίες διαχείρισης και ενορχήστρωσης υπολογιστικού περιβάλλοντος** που περιλαμβάνουν λειτουργίες διαχείρισης κύκλου ζωής υπηρεσιών, τηλεμετρίας, διαχείρισης ευρωστίας και ελαστικότητας/κλιμακωσιμότητας, παροχής (γραφικών) διεπαφών σε επίπεδο διαχειριστή πόρων ή υπηρεσιών, αυτοματοποιημένης αναπαραγωγής ή διαφοροποίησης υπηρεσιών στους διαθέσιμους κόμβους, διασύνδεσης υπηρεσιών τόσο εντός του ίδιου κόμβου όσο και μεταξύ κόμβων, κ.λπ.
2. **Λειτουργίες διαχείρισης και ενορχήστρωσης δομο-ενοτήτων**, που περιλαμβάνουν:
 - **Κατάλογο δομο-ενοτήτων/υπηρεσιών (function/service catalogue).** Περιλαμβάνει λειτουργίες για τη διάθεση, αναζήτηση, διαχείριση και προβολή δομο-ενοτήτων σε επίπεδο container images. Το έργο θα υλοποιήσει συγκεκριμένες δομο-ενοότητες με σκοπό: (i) την ολοκληρωμένη υλοποίηση και αξιολόγηση της πλατφόρμας σε ρεαλιστικές περιπτώσεις χρήσης, (ii) την αρχικοποίηση καταλόγου που θα διατεθεί στην κοινότητα για χρήση και επέκταση. Οι δομο-ενοότητες αυτές θα είναι: (1) Επεξεργασία ροών δεδομένων του Διαδικτύου των Αντικειμένων, π.χ., υπολογισμός μέσων όρων, ειδοποιήσεις, κ.λπ., και πρόβλεψη μελλοντικών τιμών (2) Ανάλυση ροών video, για την αναγνώριση αντικειμένων, (3) Ουρές μηνυμάτων, περιλαμβάνοντας ευρέως διαδεδομένες λύσεις ανοιχτού-κώδικα π.χ. Kafka, κ.λ.π.
 - **Προσαρμογή δομο-ενοτήτων** στις ανάγκες της εκάστοτε υπηρεσίας, μέσω αντίστοιχων διεπαφών.
 - **Ενορχήστρωση δομο-ενοτήτων**, που θα βασίζεται (i) στην ανάπτυξη ενός πληροφοριακού μοντέλου για τη δομημένη περιγραφή των παρεχόμενων λειτουργιών καθώς και το σαφή ορισμό των διεπαφών, (ii) στην υποστήριξη γραφικού περιβάλλοντος για την τελική σύνθεση αλυσίδων λειτουργίας από τους διαχειριστές υπηρεσιών, (iii) στον έλεγχο και επικύρωση συμβατότητας των εμπλεκόμενων δομο-ενοτήτων σύνθετων υπηρεσιών. Η σύνθεση των δομοενοτήτων σε αλυσίδες, θα υποστηρίζει και το επίπεδο δικτύου και το επίπεδο εφαρμογής καθώς και τη διαχείριση του κύκλου ζωής τόσο των αρχικοποιημένων δομο-ενοτήτων όσο και των διαμορφωμένων αλυσίδων.

Υποστηρίζονται δύο σενάρια λειτουργίας:

1. Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν εκτελούμενες διεργασίες (processes) για όλες τις υπηρεσίες αλλά αυτές δημιουργούνται μετά από αίτημα εφαρμογής πελάτη. Οι χρήστες μπορεί να πληρώνουν μόνο για το χρόνο εκτέλεσης των λειτουργιών επιτυγχάνοντας έτσι χαμηλότερο κόστος και υπάρχει δυναμικά προσαρμοζόμενη επεκτασιμότητα, με το κόστος της καθυστέρησης κάθε φορά για την ενεργοποίηση της αντίστοιχης διεργασίας. Γι' αυτό οι υπηρεσίες FaaS πρέπει να είναι στοιχειώδεις και σχεδιασμένες για να κάνουν μόνο μία ενέργεια σε απάντηση μιας αίτησης. Ο σκοπός του κώδικα πρέπει να είναι περιορισμένος, και ο κώδικας αποδοτικός και ελαφρύς (lightweight), ώστε οι λειτουργίες να φορτώνονται και να εκτελούνται γρήγορα (μοντέλο **Function-as-a-Service-FaaS**, η **Λειτουργία ως Υπηρεσία**)

2. Οι υπηρεσίες φιλοξενίας εφαρμογών έχουν τουλάχιστον μία διεργασία διακομιστή (στιγμιότυπο) που απαντά σε εξωτερικά αιτήματα πελατών. Η κλιμάκωση επιτυγχάνεται με την εκκίνηση περισσότερων διεργασιών διακομιστή, για τις οποίες μπορεί να χρεώνεται άμεσα ο πελάτης (μοντέλο **Platform as a Service-PaaS**, η **Πλατφόρμα ως Υπηρεσία**).

Επιπλέον οι πελάτες θα μπορούν να αναπτύξουν εφαρμογές στο Web ή στα κινητά καλώντας το API υπηρεσιών του TANDEM ή υπηρεσιών που φιλοξενούνται στην πλατφόρμα του TANDEM. Ο πελάτης θα μπορούσε να πληρώσει με βάση τον αριθμό των κλήσεων API (μοντέλο **Backend as a Service-PaaS**, το **Backend ως Υπηρεσία**).

1.2 Αντικείμενο του Παραδοτέου

Το παραδοτέο αυτό περιγράφει τα τρία βασικά σενάρια των πειραμάτων που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του συστήματος TANDEM. Τα σενάρια αυτά βασίζονται στα σενάρια χρήσης που περιγράφηκαν στο παραδοτέο Π1.1. και χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό των λειτουργικών και τεχνικών απαιτήσεων για την υλοποίηση του συστήματος, καθώς και τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του. Τα τρία σενάρια πειραμάτων αφορούν τρεις διαφορετικούς τομείς δραστηριότητας (verticals), οι οποίοι είναι η επιτήρηση χώρου, η προσωρινή αποθήκευση περιεχομένου βίντεο και η Βιομηχανία 4.0., και στόχο έχουν να αξιολογήσουν τα οφέλη της χρήσης του TANDEM τόσο με τους μηχανισμούς εγκαθίδρυσης υπηρεσιών στα άκρα του δικτύου, όσο και με τους μηχανισμούς σύνθεσης υπηρεσιών και εφαρμογών με τη χρήση υπηρεσιών που λειτουργούν στα άκρα του δικτύου. Μέσα από τα τρία αυτά σενάρια πειραμάτων θα γίνει η αξιολόγηση ικανοποίησης των βασικών λειτουργικών και μη-λειτουργικών απαιτήσεων του συστήματος, οι οποίες καταγράφονται στο παραδοτέο Π.1.1.

1.3 Δομή Παραδοτέου

Το παραδοτέο Π3.1. περιγράφει τα σενάρια των πειραμάτων, καθώς και τη μεθοδολογία για την εκτίμηση της απόδοσης του προτεινόμενου συστήματος TANDEM και των επιμέρους μηχανισμών του. Ο στόχος των σεναρίων των πειραμάτων είναι να επιβεβαιωθεί ότι το σύστημα TANDEM επιτυγχάνει τη δραστική απλοποίηση των διαδικασιών ανάπτυξης, διαχείρισης, επόπτευσης και επέκτασης υπηρεσιών σε εικονικοποιημένες υποδομές, που βρίσκονται στα άκρα του δικτύου. Η δομή του παραδοτέου είναι η εξής.

Η Ενότητα 2 περιγράφει τα τρία βασικά σενάρια των πειραμάτων που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του συστήματος TANDEM. Τα σενάρια αυτά βασίζονται στα σενάρια χρήσης που περιγράφηκαν στο παραδοτέο Π1.1. και χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό των λειτουργικών και τεχνικών απαιτήσεων για την υλοποίηση του συστήματος, καθώς και τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του. Τα σενάρια αφορούν την αυτοματοποιημένη επιτήρηση χώρου με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης για ανάλυση βίντεο στα άκρα του δικτύου, την προσωρινή αποθήκευση περιεχομένου βίντεο στα άκρα (edge content caching) και της Βιομηχανίας 4.0. (αποστολή διαφορετικών εργασιών προς εκτέλεση από ρομπότ που λειτουργούν ως συσκευές άκρων). Σε κάθε σενάριο περιγράφεται η ανάδειξη την χρησιμότητας του συστήματος TANDEM, η μεθοδολογία αξιολόγησης και τα αναλυτικά βήματα εκτέλεσης των πειραμάτων και χρήσης λειτουργιών του TANDEM. Ο στόχος είναι η αξιολόγηση ικανοποίησης των βασικών λειτουργικών και μη-λειτουργικών απαιτήσεων του συστήματος, οι οποίες καταγράφονται στο παραδοτέο Π.1.1

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων και η αξιολόγηση του συστήματος θα αναλυθούν στο Παραδοτέο Π3.2.

Το κεφάλαιο 3 παρέχει τα συμπεράσματα ενώ στο κεφάλαιο 4 συγκεντρώνονται οι αναφορές του παραδοτέου.

Στο παράρτημα Α (κεφάλαιο 5) παρουσιάζονται σε μία σειρά από σχήματα τα βήματα των ενεργειών που πραγματοποιούνται και οι αλληλεπιδράσεις με τα διάφορα συστατικά του συστήματος TANDEM στο πειραματικό σενάριο της Βιομηχανίας 4.0.

Στο παράρτημα Β (κεφάλαιο 6) παρουσιάζονται τα κριτήρια επιλογής μοντέλου ρομπότ, τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που επιλέχθηκε καθώς και πίνακας των χαρακτηριστικών των μοντέλων ρομπότς που εξετάστηκαν για χρήση στο έργο. Επίσης παρουσιάζονται οδηγίες για εγκατάσταση, βασικές έννοιες και αλληλεπίδραση με το Robot Operating System (ROS) που μελετήθηκαν στα πλαίσια υλοποίησης του πειράματος με χρήση Robot.

2 Σενάρια Πειραμάτων Συστήματος

Η ενότητα αυτή περιγράφει τα σενάρια των πειραμάτων που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος TANDEM και των επιμέρους μηχανισμών του. Τα σενάρια αυτά βασίζονται στα σενάρια χρήσης που περιγράφηκαν στο παραδοτέο Π1.1. και χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των λειτουργικών και τεχνικών απαιτήσεων για την υλοποίηση του συστήματος, καθώς και τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του.

Στην επιλογή των σεναρίων χρήσης και των πειραμάτων λήφθηκε υπόψη και η παρακάτω λίστα υπηρεσιών, οι οποίες σύμφωνα με το ETSI MEC [ETSIMEC], εκμεταλλεύονται την υπολογιστική στα άκρα του δικτύου:

1. Υπηρεσίες Ανάλυσης Βίντεο (Video Analytics)
2. Υπηρεσίες Τοποθεσίας (Location Services)
3. Διαδίκτυο των Αντικειμένων (Internet-of-Things - IoT)
4. Υπηρεσίες Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality)
5. Υπηρεσίες βελτιστοποιημένης διανομής τοπικού περιεχομένου (Optimized Local Content Distribution) και
6. Υπηρεσίες Προσωρινής Αποθήκευσης Δεδομένων (Data Caching)

Στο παραδοτέο Π1.2. ορίστηκε η τελική αρχιτεκτονική και οι κοινές υπηρεσίες που πρέπει να υποστηρίζονται από μία βασική πλατφόρμα Υπολογιστικής στα Ακρα του Δικτύου

Η αρχιτεκτονική και οι υπηρεσίες του TANDEM θα αξιολογηθούν με τη υλοποίηση των παρακάτω πειραματικών σεναρίων χρήσης που αξιολογήθηκαν ότι καλύπτουν όλες τις πτυχές του συστήματος TANDEM:

1. Επιτήρηση Χώρου με χρήση υπηρεσιών ανάλυσης βίντεο στα άκρα του δικτύου
2. Προσωρινή Αποθήκευση βίντεο (video caching) στα άκρα του δικτύου σε Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (CDN)
3. Σενάριο Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0)

Μια τεχνολογία με τεράστια ζήτηση, η οποία χρησιμοποιείται στα πειραματικά σενάρια του έργου είναι η επεξεργασία βίντεο με **μηχανισμούς τεχνητής-νοημοσύνης**. Σήμερα, οι οργανισμοί, χάρη στην εξέλιξη του IoT, είναι σε θέση να συγκεντρώνουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων από ένα κατανεμημένο δίκτυο καμερών.

Η κλασική προσέγγιση στο πρόβλημα της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence-AI) εκτελεί τους υπολογισμούς σε ισχυρούς εξυπηρετητές (Servers) που βρίσκονται πιο κεντρικά. Το αποτέλεσμα είναι η μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων από τοπικές εγκαταστάσεις σε κεντροποιημένα υπολογιστικά κέντρα και αποτελεί μια πραγματική πρόκληση για την απόδοση και την ασφάλεια του συστήματος.

Η πλατφόρμα TANDEM έχει σχεδιαστεί για τη φιλοξενία και διαχείριση **νεφών-στα-άκρα (edge clouds)**. Το αποτέλεσμα είναι η απαραίτητη εικονικοποιημένη υποδομή (CPU, memory, και storage) να μεταφέρεται από μεγάλα υπολογιστικά κέντρα σε μικρότερα που βρίσκονται κοντύτερα στα σημεία συλλογής δεδομένων και πολύπλοκα υπολογιστικά έργα, όπως «μηχανικής όρασης με αρχές τεχνητής-ευφυΐας» να ολοκληρώνονται ταχύτερα, με μεγαλύτερη ακρίβεια και ασφάλεια. Αυτά τα οφέλη αναδεικνύονται στα πειραματικά σενάρια του έργου

2.1 Επιτήρηση Χώρου με χρήση υπηρεσιών ανάλυσης βίντεο στα άκρα του δικτύου

2.1.1 Εισαγωγή

Μία διαδεδομένη υπηρεσία με μεγάλη σημασία είναι η **Επιτήρηση Χώρου (Surveillance)** που στηρίζεται στη χρήση καμερών για τον οπτικό έλεγχο. Αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να εκπαιδευτούν να αναγνωρίζουν ιδιάζοντα περιστατικά όπως παραβιάσεις χώρου από ανθρώπους ή οχήματα. Το ζητούμενο για κάθε υπηρεσία ασφάλειας είναι η εξαγωγή γρήγορων και σωστών συμπερασμάτων για την αποτροπή παραβίασης του εκάστοτε πρωτόκολλου ασφάλειας. Σε δικτυακό επίπεδο η μεταφορά βίντεο υψηλής ανάλυσης απαιτεί σημαντική δέσμευση διαθέσιμων πόρων. Επιπλέον δεν πρέπει να παραβιάζεται το κανονιστικό πλαίσιο για τη μεταφορά βίντεο που εμφανίζει με ευκρίνεια πρόσωπα ανθρώπων - θεωρείται ευαίσθητη πληροφορία και δεν μπορεί να διακινηθεί ελεύθερα.

2.1.1.1 Η λύση που προσφέρει η πλατφόρμα TANDEM

Υπάρχουν δύο κατηγορίες από κάμερες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις υπηρεσίες “Επιτήρησης Χώρου”. Η μια κατηγορία περιλαμβάνει τις δικτυακές κάμερες (network / IP cameras) και η άλλη τις εγκιβωτισμένες (embedded). Οι δικτυακές κάμερες είναι εφοδιασμένες με δυνατότητα διασύνδεσης Ethernet οπότε είναι έτοιμες να προσδεθούν στο νέφος-άκρου και να αρχίσουν να στέλνουν βίντεο από το χώρο επόπτευσής τους. Αντίθετα οι εγκιβωτισμένες δεν έχουν δυνατότητες επικοινωνίας και για αυτό το λόγο συνεργάζονται με ένα μικροεπεξεργαστή. Εντός του περιβλήματος προστασίας για λειτουργία σε εξωτερικό χώρο συστεγάζεται και μία πλακέτα. Με αυτό το τρόπο η εγκιβωτισμένη κάμερα αποκτάει επιπλέον δυνατότητες που τις δανείζεται από το συνοδευτικό εξοπλισμό. Τονίζεται ότι με αυτό τον τρόπο η εγκιβωτισμένη κάμερα μπορεί να ξεπεράσει στον υπερθετικό βαθμό τις μητρικές δυνατότητες σε κρίσιμους παράγοντες λειτουργίας όπως η επεξεργαστική ισχύ, η μνήμη, η αποθηκευτική ικανότητα και οι τρόποι επικοινωνίας με κοντινές συσκευές.

Κάθε φορά που συνδέεται μία καινούργια κάμερα, η πρώτη ενέργεια που κάνει το κοντινότερο τοπικό νέφος είναι η καταγραφή της στο μητρώο των διαθεσίμων συσκευών (registration). Το αποτέλεσμα είναι η συσχέτιση της καινούργιας κάμερας με ένα κεντρικό ελεγκτή (controller) που γνωρίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας με τη κάμερα και μπορεί να στείλει εντολές για εξατομίκευση της λειτουργίας της. Επιπλέον ο ελεγκτής φροντίζει να διατηρεί ανοιχτό δίαυλο επικοινωνίας για τη διακίνηση εντολών και βίντεο. Όταν αυτή η υποστηρικτική υποδομή εδραιωθεί σε επίπεδο οικοσυστήματος TANDEM, τότε ξεκινάει η συνεργασία της κάμερας με την υπηρεσία “Επιτήρησης-Χώρου”. Το παραγόμενο περιεχόμενο οδεύει στο γειτονικό τοπικό υπολογιστικό νέφος όπου γίνεται η επεξεργασία του και εξάγονται συμπεράσματα για την ασφάλεια χώρου.

Μία παρεχόμενη υπηρεσία αποτελείται από πολλούς containers (θύλακες) που ο καθένας είναι επιφορτισμένος με ένα μικρό αλλά απαραίτητο έργο. Για την εξασφάλιση ασφάλειας και ευρυθμίας της υπηρεσίας οι θύλακες λειτουργούν σε ένα περιβάλλον **Kubernetes** που προσφέρει πληθώρα εργαλείων για επίβλεψη (monitoring), κατανομή φορτίου (load-balancing), αυτόματη επανεκκίνηση σε περίπτωση αστοχίας, κοκ.

Αυτοί οι δύο τρόποι εξασφαλίζουν τη βέλτιστη αξιοποίηση των παρεχόμενων πόρων με διακριτοποίηση σε όλα τα επίπεδα και την εφαρμογή κανόνων συνεκμετάλλευσης χωρίς να δημιουργούνται συνθήκες ασφυξίας. Η πλατφόρμα TANDEM για τον έλεγχο αυτής της πολυεπίπεδης εικονικοποίησης στα νέφη-άκρων προσφέρει μία κεντρική κονσόλα (TANDEM Portal). Ο διαχειριστής με τη βοήθεια του γραφικού εργαλείου και τρόπο κατανοητό και φιλικό μπορεί να παρατηρεί τη λειτουργία των προσφερόμενων υπηρεσιών και να αντιλαμβάνεται προβληματικές καταστάσεις πριν γιγαντωθούν.

2.1.1.2 Ευφυής Υπηρεσίες Επεξεργασίας Βίντεο στα άκρα του δικτύου

Τα προηγούμενα χρόνια οι προσφερόμενες ηλεκτρονικές υπηρεσίες είχαν ένα στατικό χαρακτήρα. Ο μηχανικός-ανάπτυξης (software developer) προχωρούσε στη συγγραφή κώδικα αποτυπώνοντας μια απλή λογική που εφαρμοζόταν απaráλαχτη σε όλα τα προβλήματα. Για παράδειγμα σε προβλήματα εντοπισμού αντικειμένων σε εικόνες, εφαρμόζονταν μία σειρά από προδιαγεγραμμένους αλγόριθμους τεχνητής-όρασης ανεξάρτητα από το ζητούμενο αντικείμενο.

Τα ευφυή συστήματα προσομοιάζουν τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου και είναι σε θέση να μαθαίνουν και να βελτιώνουν τις επιδόσεις τους με τη πάροδο του χρόνου. Επίσης μπορούν να αναπτύξουν διαφορετικά κριτήρια επιλογής ανάλογα με το εξεταζόμενο πρόβλημα (εντοπισμός ανθρώπου VS αυτοκινήτου σε εικόνα), γεγονός που τονίζει το δυναμικό χαρακτήρα τους. Για την προσθήκη «Ευφυΐας» σε υπηρεσίες-επιτήρησης χρησιμοποιούνται πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα που απαιτούν για την επίλυση τους καινούργιες γενιές επεξεργαστών (CPU & GPU) που συγκεντρώνουν τεράστια υπολογιστική ισχύ σε πολύ μικρά μεγέθη.

Όπως συμβαίνει και με τους ανθρώπους, ένα ευφυές σύστημα υλοποιείται σε τρία στάδια. Στο πρώτο και σημαντικότερο από άποψη όγκου εργασίας αλλά και ποιότητας τελικού αποτελέσματος, πραγματοποιείται η εκπαίδευση του μοντέλου (model training). Χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός από δείγματα που περιγράφουν όλες τις εκφάνσεις του ζητούμενου αντικειμένου και προχωράει σταδιακά η ποσοτικοποίηση του μαθηματικού μοντέλου. Όσο μεγαλύτερο είναι το δείγμα τόσο αυξάνεται η εγκυρότητα της εκπαίδευσης με αποτέλεσμα καλύτερα ποσοστά επιτυχίας στη πράξη με άγνωστες εικόνες.

Στην περίπτωση της «Ευφυούς Υπηρεσίας Επιτήρησης» το ζητούμενο είναι η αναγνώριση αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, συνήθως ανθρώπων (με χρήση λογισμικού μάσκας-κάλυψης για την προστασία της ιδιωτικότητας) που εισέρχονται σε έναν ελεγχόμενο χώρο. Το μοντέλο πρέπει να είναι αξιόπιστο και να λειτουργεί εξίσου καλά και σε σκοτεινούς χώρους, όπου η ορατότητα είναι περιορισμένη. Για αυτό το λόγο απαιτείται η χρήση μεγάλου αριθμού από φωτογραφίες που περιγράφουν όλα τα πιθανά σενάρια εμφάνισης του ενδιαφέροντος αντικειμένου. Όμως, όσο μεγαλώνει το δείγμα τόσο επεκτείνεται η χρονική διάρκεια της φάσης εκπαίδευσης και οι υπόλοιπες υπηρεσίες αντιμετωπίζουν προβλήματα εξαιτίας των περιορισμένων υπολογιστικών πόρων.

Στη δεύτερη φάση υλοποίησης του ευφυούς συστήματος γίνεται αξιολόγηση του προτεινόμενου μοντέλου και σύγκριση των επιδόσεων του με κάποια αποδεκτά επίπεδα λειτουργίας. Στην περίπτωση μίας έξυπνης υπηρεσίας «Επιτήρησης Χώρου», τροφοδοτείται το κέντρο λήψης αποφάσεων με μία προσεχτικά επιλεγμένη αλληλουχία από βίντεο που απεικονίζουν τόσο κανονική κίνηση στον ελεγχόμενο χώρο αλλά και περιπτώσεις παραβατικότητας. Εάν η απόδοση του συστήματος επίβλεψης είναι προβληματική με πολλές λάθος αναγνωρίσεις τότε το προτεινόμενο μοντέλο κρίνεται ανεπαρκές και επιστρέφει για

επανεκπαίδευση. Διαφορετικά θεωρείται αξιόπιστο και προωθείται για ανάρτηση πλησίον του χώρου επίβλεψης. Τότε, στην τρίτη φάση, αρχίζει η τροφοδοσία του με «ζωντανό» σήμα βίντεο που πρέπει να επεξεργασθεί για αναγνώριση συγκεκριμένων αντικειμένων, κυρίως ανθρώπων.

Η πολυπλοκότητα της όλης διαδικασίας υποδηλώνεται από τα πολλά στάδια που διέρχεται αλλά και την ύπαρξη βρόγχων ανάδρασης όπου ο έλεγχος επιστρέφει σε προηγούμενη φάση, υπό συνθήκες. Η υλοποίηση της σε επίπεδο επεξεργαστών, μνήμης και δικτύων είναι εξαιρετικά σύνθετη και απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και γλώσσες προγραμματισμού όπως GPU και CUDA.

Για τη βελτίωση της απόδοσης της ευφυούς υπηρεσίας, το αρχικό σήμα βίντεο που περνάει υφίσταται μία προ-επεξεργασία με γνωστούς αλγορίθμους που βρίσκονται σε όλες τις βιβλιοθήκες επεξεργασίας-εικόνas. Η ουσιαστική συμβολή αυτού του βήματος είναι η μετατροπή της αρχικής εικόνας σε μία λιτή απεικόνιση που περιλαμβάνει μόνο τις περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Η υπηρεσία-επιτήρησης της πλατφόρμας TANDEM μπορεί να διαχειριστεί ένα μεγάλο πλήθος από κάμερες όλων των ειδών. Ο αριθμός και η ανομοιογένεια των συνεργαζόμενων συσκευών είναι δύο παράμετροι που δεν προβληματίζουν την λειτουργία του συστήματος. Επιπλέον ο σχεδιασμός έγινε με γνώμονα να καλυφθούν πολλά διαφορετικά σενάρια εργασίας.

Ένα υπολογιστικό έργο Τεχνητής Νοημοσύνης περιλαμβάνει την «Εκπαίδευση και Εφαρμογή» ενός ευφυούς-μοντέλου επιτήρησης. Η πρώτη φάση που περιλαμβάνει την εκπαίδευση είναι σύνθετη σε λογική και απαιτητική σε υπολογιστικούς πόρους με αποτέλεσμα να διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντίθετα, η αξιοποίηση ενός μοντέλου για την επεξεργασία «ζωντανού» σήματος-βίντεο από παρακείμενες κάμερες είναι απλούστερη και ολοκληρώνεται σε πραγματικό χρόνο. Η υπηρεσία-επιτήρησης του TANDEM μπορεί να καλύψει αυτό το σενάριο με τα ακόλουθα βήματα:

1. Μία κάμερα στέλνει το σήμα-βίντεο στο παρακείμενο νέφος-άκρων όπου εδράζονται οι περισσότερες υπηρεσίες του TANDEM.
2. Το σήμα-βίντεο καταλήγει στην υπηρεσία-επιτήρησης που έχει προετοιμάσει ένα υπολογιστικό-έργο εκπαίδευσης ευφυούς μοντέλου.
3. Επειδή η εκπαίδευση του μοντέλου γίνεται αποκλειστικά στα άκρα του δικτύου η απόσταση που καλύπτει το βίντεο από τη κάμερα στο σημείο επεξεργασίας είναι μικρή – γεγονός που εξασφαλίζει την ιδιωτικότητα της πληροφορίας και την μικρή κατανάλωση δικτυακών πόρων.
4. Όταν ολοκληρωθεί η εκπαίδευση, η υπηρεσία-επιτήρησης κάνει «ανάρτηση» του καινούργιου μοντέλου αναγνώρισης αντικειμένων σε μία «δημόσια» διεύθυνση της πλατφόρμας TANDEM.
5. Οι κάμερες αρχίζουν να στέλνουν τα «άγνωστα» βίντεο που πρέπει να ελεγχθούν για ύπαρξη συγκεκριμένων αντικειμένων στη «δημόσια» διεύθυνση του παρακείμενου νέφους-άκρων για επεξεργασία από το καινούργιο μοντέλο.
6. Η απόφαση για ύπαρξη ή μη ελεγχόμενων αντικειμένων εξάγεται σε πραγματικό χρόνο – εάν εντοπιστούν αλλαγές στο χώρο επιτήρησης ενεργοποιούνται άμεσα διορθωτικές κινήσεις.

2.1.2 Περιγραφή Πειραμάτων Επιτήρησης Χώρου με χρήση υπηρεσιών ανάλυσης βίντεο στα άκρα του δικτύου

Σχεδιάστηκαν δυο συσχετιζόμενα πειράματα που φορούν την επιτήρηση χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων και πιο συγκεκριμένα τον χώρο στάθμευσης του κτιρίου A5 της INTRACOM TELECOM S.A.. Το πρώτο χρησιμοποιεί την υπηρεσία Επεξεργασίας-Βίντεο στα άκρα για επιτήρηση χώρου για λόγους ασφαλείας (εντοπισμός και παρακολούθηση αντικειμένων). Το συγκεκριμένο πειραματικό σενάριο επικεντρώνεται στον έγκαιρο εντοπισμό ανθρώπων (με προσθήκη μάσκας ώστε να μη διακρίνονται τα χαρακτηριστικά τους) που εισέρχονται χωρίς εξουσιοδότηση και σε ώρες που δεν δικαιολογούνται (π.χ. που η εταιρεία είναι κλειστή). Το δεύτερο πειραματικό σενάριο αφορά τον εντοπισμών των διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης.

Ο χώρος επίδειξης (χώρος στάθμευσης) του κτιρίου A5 της INTRACOM TELECOM S.A. αποτελείται από ένα μεγάλο ορθογώνιο με δυνατότητα φιλοξενίας περίπου 80 αυτοκινήτων και ένα μικρότερο των 40 αυτοκινήτων. Για τη πρώτη ζώνη με τις περισσότερες θέσεις χρησιμοποιούνται τέσσερις (4) κάμερες ενώ για τη δεύτερη δύο (2). Όλες οι κάμερες έχουν πανοραμική θέα και υπάρχει καθαρή αποτύπωση των κενών και των δεσμευμένων θέσεων. Αυτό οφείλεται στη τοποθέτηση του εποπτικού μηχανισμού σε υψηλές θέσεις (ταράτσες γειτονικών κτιρίων) αλλά και την απουσία εμποδίων όπως δένδρα.

Τα πειράματα αφορούν το βασικό σενάριο εργασίας στο οποίο η ίδια η κάμερα δεν είναι έξυπνη συσκευή και η υλοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης γίνεται αποκλειστικά στο νέφος άκρων.

2.1.3 Ανάδειξη Χρησιμότητας TANDEM μέσω των Πειραμάτων

Οι υπάρχουσες υλοποιήσεις για “Ευφυή Επιτήρηση Χώρου” είναι εστιασμένες σε κεντροποιημένες (centralized) εγκαταστάσεις με την υπολογιστική μονάδα να βρίσκεται σε κάποιο απομακρυσμένο εξυπηρετητή σε ένα παγκόσμιο νέφος (Amazon, Google, Microsoft... Cloud). Αυτό το γεγονός τις καθιστά προβληματικές λόγω της μεγάλης απόστασης που χωρίζει τα άκρα του δικτύου όπου είναι εδρασμένες οι κάμερες από το κεντρικό σημείο όπου γίνεται η επεξεργασία του παραγόμενου βίντεο. Η κατάσταση δυσχεραίνει όσο μεγαλώνει η ανάλυση του σήματος βίντεο, καθώς πολλαπλασιάζεται ο όγκος των διακινούμενων δεδομένων με γεωμετρική πρόοδο.

Αναγνωρίζοντας αυτά τα προβλήματα η πλατφόρμα TANDEM «κατεβάζει» τον όγκο-εργασίας τοπικά με την δημιουργία υπολογιστικών πόρων στα άκρα του δικτύου κοντά στις κάμερες επιτήρησης. Με αυτό τον τρόπο η απόσταση που χωρίζει το σημείο συλλογής της πληροφορίας από το σημείο διαχείρισής της είναι μικρή και επιτυγχάνονται αποκρίσεις της υπηρεσίας «Ευφυούς Επιτήρησης» σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, η προσωποποιημένη πληροφορία κινείται σε τοπικό επίπεδο και η έκθεση της σε κακόβουλες ενέργειες είναι μικρή.

Η καίρια συμβολή της πλατφόρμας TANDEM συνίσταται στην απλοποίηση των διαδικασιών για τη δημιουργία και διαχείριση ευφυών υπηρεσιών. Προσφέρει μία πληθώρα από φιλικά εργαλεία που «απελευθερώνουν» τον τελικό-χρήστη από λεπτομέρειες που απαιτούν χρόνο και εξοικείωση. Υπάρχει μία κεντρική κονσόλα που καλύπτει όλον τον κύκλο ζωής μίας «Ευφυούς Υπηρεσίας Επιτήρησης»:

- Διανομής της υπηρεσίας σε όλα ή μερικά από τα νέφη-άκρων

- Άμεση αντίληψη της λειτουργικής κατάστασης της υπηρεσίας σε μία εγκατάσταση της - δυνατότητα διάθεσης καινούργιων υποδομών σε περίπτωση αστοχίας ή κορεσμού υπαρχόντων
- Ενημέρωση με καινούργιες εκδόσεις της υπηρεσίας με τρόπο ομαλό χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητα εξυπηρέτησης του συνδρομητή

Σε όλα τα ευφυή συστήματα προέχει η εκπαίδευση τους και η εξαγωγή ενός μοντέλου λήψης αιτιολογημένων αποφάσεων.

Στην κατεύθυνση της απλοποίησης της διαδικασίας ανάπτυξης μιας υπηρεσίας επεξεργασίας βίντεο, η πλατφόρμα TANDEM προσφέρει έτοιμους μηχανισμούς:

- Αυτόματη διασύνδεση των καμερών ασφάλειας με παρακείμενο νέφος-άκρων για την αποστολή βίντεο και την παραλαβή εντολών λειτουργίας
- Νέφη-άκρων (edge clouds) που προσφέρουν υποδομές και υπηρεσίες κοντά στα σημεία συλλογής περιεχομένου – αυτή η εγγύτητα εξασφαλίζει ταχύτητες απόκρισης πραγματικού χρόνου άρα καλύτερη ποιότητα προσφερόμενων υπηρεσιών στο τελικό χρήστη
- Μηχανισμός ενορχήστρωσης υπολογιστικών έργων για υπηρεσίες ευφυούς-επιτήρησης με δυνατότητα προετοιμασίας, εκπαίδευσης, αξιολόγησης, βελτιστοποίησης και διανομής μοντέλων αναγνώρισης αντικειμένων σε εικόνες. Οι μονάδες αυτές μπορεί να βρίσκονται:
 1. Σε ένα εξυπηρετητή του παρόχου της υπηρεσίας – πιθανόν σε ασφαλές data-room σε απομονωμένο κτίριο.
 2. Στο νέφος-άκρου σε απόλυτη γειτνίαση με κάμερες με ελάχιστη απόσταση ανάμεσα στο σημείο παραγωγής και το σημείο επεξεργασίας του περιεχομένου.
- κεντρική κονσόλα ελέγχου που είναι προσβάσιμη από σημεία με σήμα κινητής τηλεφωνίας για εποπτικό έλεγχο της υπηρεσίας επόπτευσης και των υποστηρικτικών υποδομών.

Η μεγαλύτερη χρησιμότητα της πλατφόρμας TANDEM είναι η μεταφορά σύνθετων υπηρεσιών από κεντρικές υποδομές σε τοπικές κοντά στα σημεία όπου γίνεται η συλλογή των δεδομένων. Ειδικά στην περίπτωση της ευφυούς υπηρεσίας αναγνώρισης αντικειμένων σε βίντεο η κλασική προσέγγιση θέλει οι συνιστώσες που είναι επιφορτισμένες με την εκπαίδευση ενός μαθηματικού μοντέλου να τοποθετούνται κεντρικά λόγω του υπερβολικού φόρτου εργασίας. Αυτή η χωροταξική διευθέτηση έχει σοβαρές επιπτώσεις στη ταχύτητα απόκρισης (καθυστέρηση), στην δέσμευση υποδομών (ειδικά δικτυακών) και στην ασφάλεια (το βίντεο μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις με κίνδυνο υποκλοπής). Η πλατφόρμα TANDEM προτείνει μία διαφορετική προσέγγιση που υλοποιεί όλη την υπηρεσία επεξεργασίας βίντεο τοπικά με θετικό επακόλουθο τις κοντινές διαμεταγωγές περιεχομένου. Για να μπορέσει να συγκεράσει το μεγάλο υπολογιστικό φορτίο με τους περιορισμένους πόρους στα άκρα του δικτύου, το TANDEM επιλέγει τη λύση των προ-εκπαιδευμένων μοντέλων που έχουν περάσει από μία ολοκληρωμένη διαδικασία εκπαίδευσης με πολύ μεγάλο αριθμό από εικόνες σε ισχυρούς επεξεργαστές.

Μία άλλη ουσιαστική λειτουργική παράμετρος είναι οι συνοδευτικές βιβλιοθήκες που προσφέρονται με κάθε μοντέλο κάμερας. Πολλές φορές έρχονται εφοδιασμένες με κατάλληλο λογισμικό που επιτρέπει στην κάμερα αυτοτέλεια σε δύσκολα προβλήματα

τεχνητής-όρασης. Για παράδειγμα μπορεί να είναι σε θέση να αναγνωρίσει χωρίς εξωτερική βοήθεια την παρουσία ανθρώπων ή αυτοκινήτων. Η αυτόματη επεξεργασία μπορεί να προχωρήσει ένα βήμα παραπέρα και να μετρήσει τον αριθμό των ανθρώπων που απεικονίζονται σε ένα βίντεο. Με αυτό τον τρόπο, η υπηρεσία επιτήρησης του TANDEM που συνεργάζεται με μία «έξυπνη» κάμερα επωφελείται από την ενκιβωτισμένη λειτουργικότητα και δεν χρειάζεται να την καλύψει.

Η λειτουργία ευφυούς επεξεργασίας βίντεο αποσκοπεί στον αυτοματοποιημένο εντοπισμό προκαθορισμένων αντικειμένων όπως άνθρωποι, αυτοκίνητα και άλλα. Συνήθως ο εντοπισμός του εξεταζόμενου αντικειμένου στο χώρο επόπτευσης δεν είναι το συνηθισμένο σενάριο λειτουργίας και συνεπάγεται απόκλιση από τις κανονικές συνθήκες. Οι περιπτώσεις απόκλισης είναι σποραδικές με μικρή συχνότητα εμφάνισης. Άρα ένα σύστημα επιτήρησης που έχει τα κέντρα επεξεργασίας σε απομακρυσμένα σημεία και είναι υποχρεωμένο να διακινεί τη πληροφορία-βίντεο σε μεγάλες αποστάσεις εμφανίζει άσκοπη χρήση των δικτυακών πόρων αφού τις περισσότερες φορές το εξεταζόμενο αντικείμενο δεν εμφανίζεται. Αντίθετα μία υπηρεσία με υλοποίηση στα άκρα πλησίον των καμερών κάνει πιο ορθολογική χρήση της πλατφόρμας με καλύτερους συντελεστές απόδοσης και πιο δημοκρατική χρήση των υποδομών.

Ένα άλλο πλεονέκτημα της υπηρεσίας-επιτήρησης είναι η δυνατότητα αξιοποίησης των αυξημένων υπολογιστικών δυνατοτήτων που προσφέρουν οι κάμερες τελευταίας γενιάς. Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας TANDEM είναι πλήρως εναρμονισμένη με τη σύγχρονη τάση να μεταφέρονται υπολογιστικά φορτία από κεντροποιημένες υποδομές σε τοπικές – ακόμα και σε έξυπνες συσκευές. Όσον αφορά τις κάμερες υπάρχει μία πανσπερμία από καινούργιες δυνατότητες, όλες στη κατεύθυνση της τεχνητής νοημοσύνης. Εκτός από τις IP-κάμερες υπάρχουν και οι «ενσωματωμένες» (embedded) που γνωρίζουν τεράστια ανάπτυξη. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι η διασύνδεση με ένα ισχυρό μικρο-υπολογιστή που είναι βελτιστοποιημένος για την εκτέλεση (ML) υπολογιστικών έργων και έχει προ-εγκατεστημένες γνωστές πλατφόρμες όπως το **TensorFlow** και **PyTorch**.

2.1.4 Μεθοδολογία και Αναλυτικά Βήματα Πειραμάτων

1. *Πρώτο Σενάριο Πειραμάτων Χρήσης TANDEM: Επίβλεψη χώρου*

Στην εγκατάσταση προστίθενται IP-κάμερες που αναγνωρίζονται αυτόματα από το τοπικό νέφος και αποκτούν τη δυνατότητα χρήσης των διαύλων επικοινωνίας της πλατφόρμας TANDEM. Το αποτέλεσμα είναι η απρόσκοπτη μεταφορά του σήματος-βίντεο από τις κάμερες προς τις υπηρεσίες-επιτήρησης που εδράζονται στο νέφος αλλά και το αντίστροφο, δηλαδή η μεταφορά εντολών τροποποίησης λειτουργίας από τη πλατφόρμα TANDEM προς τη κάμερα.

Η πλατφόρμα προσφέρει ολοκληρωμένη υπηρεσία αναγνώρισης αντικειμένων σε εικόνες με μοντέλα νευρωνικών δικτύων. Επειδή η υποδομή θα τρέχει σε τοπικά συστήματα με περιορισμένους πόρους, χρησιμοποιούνται προ-εκπαιδευμένα μοντέλα. Τέλος, υπάρχει μία δεξαμενή όπου αποθηκεύονται όλα τα μοντέλα και ανά πάσα στιγμή μπορεί να γίνει η επιλογή του καταλληλότερου.

Όταν ο χρήστης ξεκινάει να χρησιμοποιεί την υπηρεσία για ένα καινούργιο πρόβλημα εντοπισμού αντικειμένων επιλέγει ένα προ-εκπαιδευμένο μοντέλο με καλές επιδόσεις σε παρόμοια προβλήματα. Στη συνέχεια σχηματίζει μία αντιπροσωπευτική συλλογή από εικόνες που περιγράφουν τις αποκλίσεις του δικού του σεναρίου έναντι του γενικού που έγινε η προ-

εκπαίδευση. Το γενικό μοντέλο περνάει από μία δεύτερη φάση εκπαίδευσης για να αποκτήσει εμπειρία στην υποκειμενικότητα του τρέχοντος προβλήματος αναγνώρισης αντικειμένου στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Εάν το ανανεωμένο μοντέλο εμφανίσει αποδεκτές επιδόσεις με πολλές σωστές αποφάσεις και μικρό χρόνο απόκρισης τότε είναι έτοιμο για χρήση. Για την ενεργοποίησή του δημιουργείται container όπου τοποθετείται το μοντέλο μαζί με όλες τις απαραίτητες βιβλιοθήκες. Η συγκεκριμένη δομή είναι απόλυτα αυτόνομη και ό,τι χρειάζεται η υπηρεσία για να επεξεργαστεί μία άγνωστη εικόνα βρίσκεται στο εσωτερικό της. Ο container της υπηρεσίας αναγνώρισης δημοσιοποιείται σε ένα προσβάσιμο σημείο του τοπικού νέφους και οι κάμερες επίβλεψης αρχίζουν να στέλνουν το περιεχόμενο για επεξεργασία.

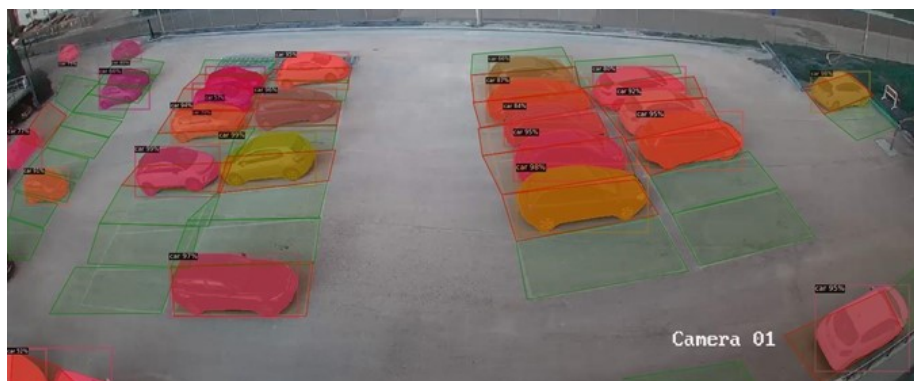
Ανά τακτά χρονικά διαστήματα ο χρήστης κάνει επανεκτίμηση του ενεργού μοντέλου και όταν αποφασίσει ότι χρειάζεται ανανέωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τότε επαναλαμβάνει τη συλλογή αντιπροσωπευτικού φωτογραφικού υλικού και ξεκινάει ένα καινούργιο κύκλο εκπαίδευσης. Η νέα έκδοση του ευφυούς μοντέλου στέλνεται για αποθήκευση στη δεξαμενή και οι ενεργές υπηρεσίες αναγνώρισης που τρέχουν στα άκρα του δικτύου μπορούν να το παραλάβουν και να αναβαθμίσουν τις επιδόσεις τους.

2. Δεύτερο Σενάριο Πειραμάτων Χρήσης TANDEM: Παρακολούθηση Διαθέσιμων Θέσεων Στάθμευσης ανοιχτού χώρου πάρκινγκ

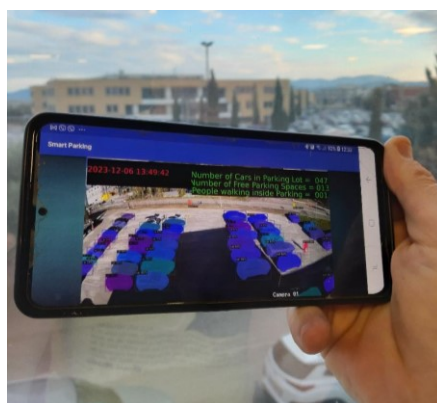
Οι κάμερες είναι τεχνολογίας ασφάλειας χώρου και είναι συνδεδεμένες σε τοπικό Ethernet δίκτυο. Στο ίδιο δίκτυο είναι συνδεδεμένη και η πλατφόρμα TANDEM που προσφέρει την υπηρεσία **Αναγνώρισης Αντικειμένου (Object Detection)** - σε αυτή τη περίπτωση ΚΕΝΗΣ θέσης - στις συνεργαζόμενες κάμερες. Η υπηρεσία είναι δομημένη με στοιχεία τεχνητής νοημοσύνης και τα μοντέλα νευρωνικών δικτύων μπορούν να βελτιστοποιούνται, για παράδειγμα όταν υποβαθμίζεται η ακρίβεια τους με τη πάροδο του χρόνου.

Το σήμα από κάθε κάμερα επεξεργάζεται με στόχο α) τον εντοπισμό ύποπτων κινήσεων ανθρώπων σε ώρες που δεν δικαιολογούνται (π.χ. που η εταιρεία είναι κλειστή) και (β) τον εντοπισμών των διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης (δηλαδή η απουσία οχημάτων ή άλλων αντικειμένων, από οριοθετημένες περιοχές). Η τελική εικόνα για το πόσες θέσεις παραμένουν ακόμα διαθέσιμες προκύπτει από τη σύνθεση των δεδομένων από όλες τις κάμερες που εποπτεύουν τον ίδιο χώρο. Όταν φεύγει ένα σταθμευμένο όχημα η υπηρεσία Αναγνώρισης Αντικειμένου αντιλαμβάνεται την απελευθέρωση θέσης και στέλνει μήνυμα μέσω της υποδομής TANDEM σε μία κεντρική εφαρμογή για την αλλαγή.

Υπάρχει η κεντρική κονσόλα διαχείρισης που αποτυπώνει σε ένα χάρτη/κάτοψη τη διαθεσιμότητα των χώρων στάθμευσης κάθε στιγμή και δέχεται alerts για θέματα ασφαλείας του χώρου στάθμευσης. Προσφέρεται στον διαχειριστή του συστήματος η δυνατότητα χαρακτηρισμού και αποχαρακτηρισμού θέσεων. Για παράδειγμα κάποιες θέσεις μπορούν να δεσμευτούν (προκράτηση ή για επίσημους επισκέπτες) και ενώ είναι κενές να μην εμφανίζονται σαν διαθέσιμες. Επίσης προσφέρεται στο κάτοχο αυτοκινήτου δικαίωμα απλής επισκόπησης για να δει τις ελεύθερες θέσεις με δυναμική ενημέρωση και να επιλέξει που θα κατευθύνει το αυτοκίνητο του. Η δεύτερη υπηρεσία θα προσφέρεται μέσω μία εφαρμογής για κινητές συσκευές.



Εικόνα 1 - Δοκιμαστική Χρήση της Υπηρεσίας Smart Parking στο parking του κτιρίου Α5 της INTRACOM TELECOM



Εικόνα 2 - Η πειραματική εφαρμογή σε κινητό για την εύρεση διαθέσιμων χώρων στάθμευσης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του TANDEM (Smart Parking Application)

Η Εικόνα 1 δείχνει τη δοκιμαστική χρήση της υπηρεσίας Smart Parking στο parking του κτιρίου Α5 της INTRACOM TELECOM ενώ η Εικόνα 2 την αντίστοιχη πειραματική εφαρμογή σε κινητό για την εύρεση διαθέσιμων χώρων στάθμευσης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του TANDEM (Smart Parking Application)

2.2 Προσωρινή Αποθήκευση βίντεο (video caching) στα άκρα του δικτύου σε Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (CDN)

2.2.1 Εισαγωγή

Η συνεχής ροή βίντεο καταλαμβάνει τη μερίδα του λέοντος στη σημερινή συνολική κίνηση στο Διαδίκτυο. Αυτό θέτει κάτω από σοβαρή πίεση όχι μόνο τους παρόχους περιεχομένου αλλά και τους χειριστές δικτύου. Για την ελάττωση αυτού του φόρτου, διαδεδομένες τεχνικές όπως Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου (Content Delivery network - CDN) και αποθήκευση σε κρυφή μνήμη ή μνήμη προσωρινής αποθήκευσης (cache) έχουν χρησιμοποιηθεί σε σύγχρονες υποδομές δικτύων. Ωστόσο, το 5G φέρνει ακόμα περισσότερες δυνατότητες, επιτρέποντας την προσφορά δικτυακών υπηρεσιών ως Εικονικών Δικτυακών Λειτουργιών (VNF) εγκατεστημένων σε μικρο-Κέντρα Δεδομένων (μDC) κατά μήκος (των άκρων) των δικτυακών υποδομών.

Αξιοποιώντας τις νέες λειτουργίες 5G, οι χειριστές δικτύων μπορούν να αναπτύξουν τις δικές τους (εικονικές) υπηρεσίες αποθήκευσης σε εικονικοποιημένη κρυφή μνήμη (vCache) πολύ πιο κοντά στον τελικό χρήστη.

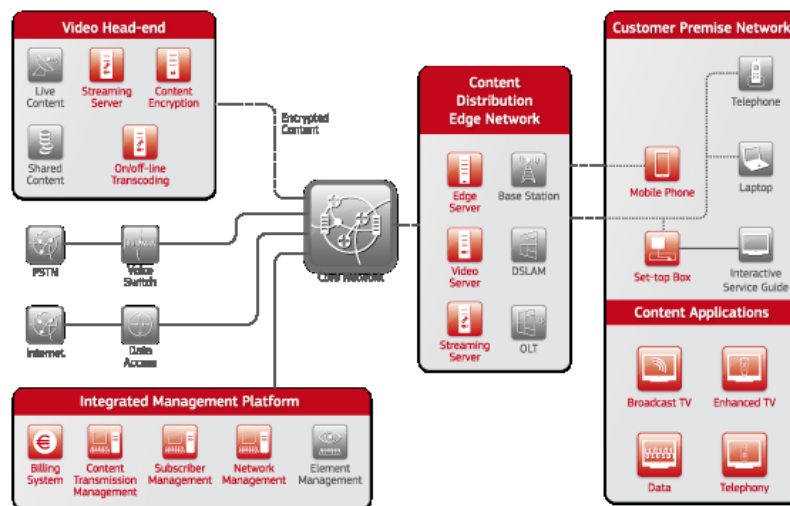
Η χρήση της κρυφής μνήμης μπορεί να οδηγήσει σε αποδοτικότερη χρήση της φυσικής υποδομής και να μειώσει την εξερχόμενη κίνηση από το δίκτυο κορμού. Υπάρχουν θετικά αποτελέσματα όχι μόνο για τους πελάτες, αλλά και για τους διακομιστές περιεχομένου και τους χειριστές δικτύων. Από την πλευρά του πελάτη, η μέση αντιληπτή καθυστέρηση θα μειωθεί, καθώς αυξάνονται οι πιθανότητες να είναι διαθέσιμο το βίντεο σε μια κρυφή μνήμη κοντά στα άκρα του δικτύου. Επιπλέον, το φορτίο στο διακομιστή προέλευσης θα μειωθεί, εξαιτίας της διανομής περισσότερων βίντεο από κρυφές μνήμες στην άκρη του δικτύου. Αυτό πιθανότατα δεν θα επηρεάσει το εισόδημα των παρόχων περιεχομένου, καθώς τα «ελαφρά» (lightweight) αιτήματα HTML για τις σελίδες που περιέχουν τα βίντεο (και πιθανές διαφημίσεις) μπορούν να επισημανθούν ως μη αποθηκεύσιμα σε κρυφές μνήμες και να διανέμονται από αυτούς, ενώ μόνο το βίντεο που αποτελεί την πλειοψηφία της κίνησης θα ανακτάται από τις κρυφές μνήμες μεταξύ τους. Τέλος, οι χειριστές δικτύων θα επωφεληθούν από την αποδοτικότερη χρήση της υποκείμενης υποδομής και θα είναι σε θέση να ελαχιστοποιήσουν τόσο τους πόρους που αφιερώνουν στην υπηρεσία προσωρινής αποθήκευσης όσο και το κόστος κίνησης δικτύου, δεδομένου ότι λιγότερα αιτήματα θα προωθούνται στον κορμό του δικτύου.

2.2.2 Περιγραφή Πειραμάτων Χρήσης Προσωρινής Αποθήκευσης Βίντεο στα Άκρα

Το σενάριο αφορά έναν CDN Service Provider που δε μπορεί να καλύψει με τις υποδομές του την αυξανόμενη ανάγκη για περιεχόμενο βίντεο σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Η αύξηση της ζήτησης για περιεχόμενο βίντεο μπορεί να είναι σε μόνιμη βάση (π.χ. λόγω της συνεχούς αύξησης της πελατειακής βάσης) ή περιοδική λόγω κάποιας εκδήλωσης (π.χ. ενός μουσικού γεγονότος ή ενός κρίσιμου ποδοσφαιρικού αγώνα). Οι υποδομές του αρχίζουν να μην επαρκούν. Στην περίπτωση αυτή, ο CDN Service Provider χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες ενός TANDEM Service Provider για να κάνει εγγραφή σε αυτόν της δικής του υπηρεσίας για προσωρινή αποθήκευση στα άκρα του δικτύου (Edge Caching Service), πραγματοποιεί την παραμετροποίησή της και ζητά την αυτοματοποιημένη διανομή και ενεργοποίησή της στην συγκεκριμένη περιοχή όπου υπάρχει αυξημένη ζήτηση. Το TANDEM ενεργοποιεί το Edge Caching Service στις υποδομές που έχει στην συγκεκριμένη περιοχή και το νέο Edge Caching Service γίνεται μέρος της CDN λύσης του CDN Service Provider. Οι αιτήσεις των χρηστών για περιεχόμενο βίντεο πλέον μπορούν να εξυπηρετούνται και από την νέα Edge Cache.

Παρόμοια λογική έχει και το σενάριο που ο CDN Service Provider επιθυμεί να εξυπηρετήσει και μια νέα περιοχή που δεν έχει ως τώρα παρουσία. Με τη χρήση του TANDEM, ο CDN Service Provider μπορεί να προσαρμόζεται άμεσα στη μεταβαλλόμενη ανάγκη για πόρους χωρίς να χρειάζεται να έχει προληπτικά επιπλέον πόρους που άμεσα δε χρησιμοποιούνται.

Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου πειραματικού σεναρίου χρησιμοποιήθηκε η CDN υπηρεσία της INTRACOM TELECOM S.A. με όνομα **fs|cdn™ Anywhere (Full Service Content Delivery Network) [FSCDN]** (Εικόνα 1). Είναι ένα από τα στρατηγικά προϊόντα της εταιρίας που το συνοδεύουν χρόνια εξέλιξης και εγκαταστάσεις σε πολλά σημεία της Γης.



Εικόνα 3-Η Λύση fs|cdn Anywhere της INTRACOM TELECOM που θα χρησιμοποιηθεί για τα πειράματα προσωρινής αποθήκευσης

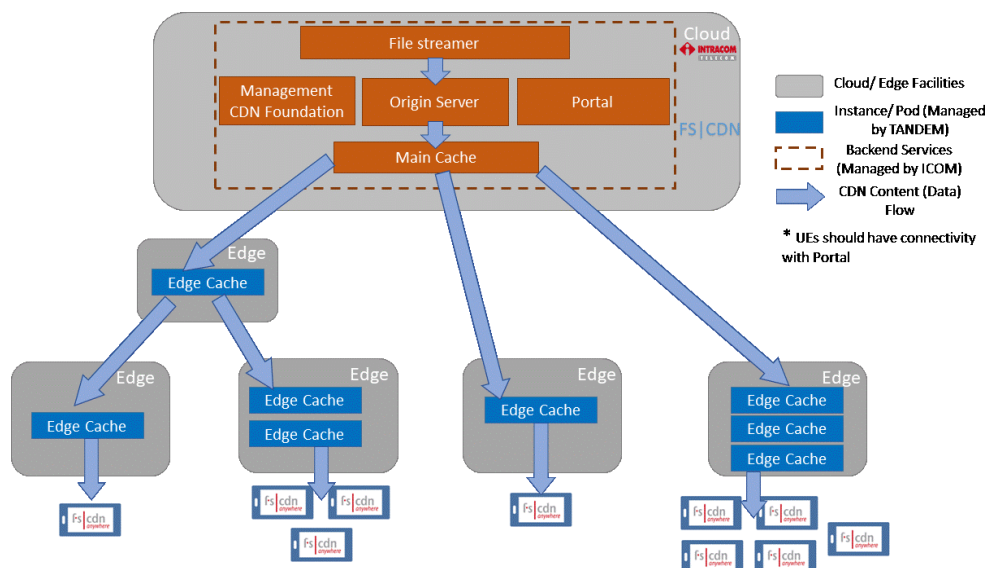
Πρόκειται για μια υπηρεσία που προσφέρει “ζωντανή” τηλεόραση με κανάλια, και αποθηκευμένες ταινίες μέσω δικτύου. Επίσης υπάρχει δυνατότητα για ενημερώσεις και επιπλέον υπηρεσίες όπως ο καιρός και η ηλεκτρονική αλληλογραφία. Όλη η υλοποίηση στηρίζεται στην ανταλλαγή πληροφοριών μέσω του διαύλου IP.

Τα τελευταία χρόνια έχει κυκλοφορήσει μία νέα έκδοση του fs|cdn™ Anywhere με δυνατότητα να αλληλοεπιδρά με κινητές συσκευές, όπως κινητά Android.

Σε μία επιγραμματική ανάλυση, αποτελείται από τα ακόλουθα δομικά στοιχεία (modules):

- **File-Streamer:** Στη γενική του μορφή είναι μία πηγή από σήμα-video που το αναμεταδίδει στο ιδιωτικό-υποδίκτυο της κατανεμημένης υποδομής της υπηρεσίας.
- **HLS-Segmenter:** Μετατρέπει τις αναμεταδόσεις σε μία μορφή συμβατή με τις κινητές συσκευές. Δηλαδή φροντίζει ώστε η πολυμεσική πληροφορία να μπορεί να αναπαραχθεί από τους players των συνδρομητών.
- **Origin-Server:** Κεντρικό σημείο συλλογής της πληροφορίας από όπου θα διαμοιραστεί σε πολλούς τοπικούς εξυπηρετητές. Για παράδειγμα η Αθήνα θα έχει ένα ισχυρό data-room που θα δημιουργεί όλη τη “βεντάλια” από τα κανάλια που θα προσφέρει στους συνδρομητές. Αντίστοιχα σε κάθε περιοχή θα υπάρχει μία μικρογραφία της παραπάνω υποδομής που θα φέρνει τη πληροφορία κοντύτερα στο τελικό χρήστη ώστε να επιτυγχάνεται σημαντική οικονομία δικτυακών πόρων.
- **Main-Cache:** Πρόκειται για ένα σημείο συλλογής υπεύθυνο για μία γεωγραφική περιοχή. Συγκεντρώνει από το κεντρικό data-room ένα υποσύνολο που αντιστοιχεί στα κανάλια που παρακολουθούν οι τοπικοί συνδρομητές.
- **Edge-Cache:** Συνήθως μπαίνει σε απόλυτη γειτνίαση με τις κινητές συσκευές όπου προβάλλονται τα video / κανάλια. Ενδεικτικά σημεία εγκατάστασης μεγάλα σπίτια με πολλούς ενοίκους, πολυκατοικίες, ξενοδοχεία και μέσα μεταφοράς. Η αρχική του κατάσταση είναι άδειος χώρος αποθήκευσης αλλά σταδιακά αρχίζει να γεμίζει με τα πρώτα αιτήματα των συνδρομητών για τηλεόραση στη συσκευή τους

- **Anywhere Edge/ Portal:** Ο εξυπηρετητής αιτημάτων που έρχεται σε επικοινωνία με τις επιλογές του χρήστη για προβολή. Συγκεκριμένα όταν προβληθεί το πρόγραμμα της τηλεόρασης στη συσκευή και επιλεγθεί κανάλι στέλνεται ένα αίτημα στο Portal που αναλαμβάνει την απάντηση με το ζητούμενο πολυμεσικό περιεχόμενο.



Εικόνα 4 - Το κεντρικό σύστημα του fs|cdn και οι caches που μπορούν να εγκατασταθούν στα edges μέσω TANDEM

Η Εικόνα 4 δείχνει το κεντρικό σύστημα του fs|cdn και τις caches που μπορούν να εγκατασταθούν στο edge μέσω TANDEM. Οι edge caches αντλούν το περιεχόμενο από την Main Cache και μπορούν να το αποθηκεύσουν τοπικά, ώστε αν και άλλοι χρήστες το ζητήσουν να μην χρειαστεί να επικοινωνήσουν με την main cache.

2.2.3 Μεθοδολογία και Αναλυτικά Βήματα Πειραμάτων

Το σενάριο χρήσης του fs|cdn™ Anywhere στη πλατφόρμα TANDEM αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- Σε ένα Linux-Server ξεκινάνε Native-Containers με τα ακόλουθα modules που έχουν κεντρικό ρόλο και εμφανίζεται μία μόνο εγκατάστασή τους:
 - File-Streamer
 - HLS-Segmenter
 - Origin-Server
 - Main-Cache
 - AnywhereEdge/ Portal
- Στον ίδιο Linux-Server, ή σε κάποιον άλλο με δικτυακή διασύνδεση, εγκαθίσταται ο ενορχηστρωτής Kubernetes με δύο ή περισσότερους κόμβους-εργασίας
- Η Edge Cache υλοποιείται για τις ανάγκες του σεναρίου σε Docker Container και εγγράφεται στον Κατάλογο Υπηρεσιών του TANDEM για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί. Στον κατάλογο μεταξύ άλλων δηλώνονται οι απαιτήσεις σε πόρους της Edge Cache καθώς και το Software Image που θα χρησιμοποιηθεί

- Αξιοποιώντας τους μηχανισμούς του TANDEM, γίνεται αυτοματοποιημένη διανομή της υπηρεσίας **Edge Cache** σε ένα κόμβο-εργασίας:
 - Ανάμεσα στις προδιαγραφές λειτουργίας καθορίζονται και κάποιοι κανόνες για fail-over, scaling και load-balancing
- Η υποδομή **fs|cdn™ Anywhere** είναι έτοιμη προς χρήση
- Στην αρχή εξυπηρετείται ένας μικρός όγκος χρηστών που δεν δημιουργούν συνθήκες υπερφόρτωσης
- Σταδιακά ο όγκος αυξάνεται και ενεργοποιούνται οι οδηγίες fail-over και load-balancing:
 - Ο ενορχηστρωτής ξεκινάει ένα καινούργιο στιγμιότυπο (instance) της Edge Cache που συνεπικουρεί το πρώτο
 - Στέλνεται ένα μήνυμα στο module Anywhere Edge Portal που γνωστοποιεί την ύπαρξη μιας καινούργιας Edge Cache
 - Το επόμενο αίτημα από συνδρομητή για να παρακολουθήσει κάποιο κανάλι θα δρομολογηθεί στην καινούργια Edge Cache αποφεύγοντας την υπερφορτωμένη.
- Ο διαχειριστής του **fs|cdn™ Anywhere** δεν χρειάζεται συνεχώς να παρακολουθεί τις ανάγκες σε Edge Caches ούτε αν κάποια δεν λειτουργεί ικανοποιητικά. Επίσης δε χρειάζεται ο ίδιος να φροντίζει για εγκαταστάσεις και παραμετροποιήσεις των Edge Caches στους διάφορους κόμβους άκρων.

2.2.4 Μεθοδολογία και Αναλυτικά Βήματα Πειραμάτων

Η πραγματοποίηση των πειραμάτων περιλαμβάνει τα επόμενα βήματα:

1. Μετατροπή του Edge Cache Service του συστήματος fs|cdn™ Anywhere σε μορφή container.
2. Εγγραφή του Edge Cache Service στην πλατφόρμα του TANDEM χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη λειτουργία του TANDEM. Η Εγγραφή περιλαμβάνει τη δήλωση απαιτήσεων σε πόρους καθώς και τα APIs της υπηρεσίας.
3. Δημιουργία προϊόντος από το Edge Cache Service χρησιμοποιώντας τη λειτουργία του TANDEM για τη δημιουργία προϊόντος από υπηρεσία. Περιλαμβάνει τη δήλωση της περιοχής που επιθυμείτε να εξυπηρετεί καθώς και πληροφορίες που αφορούν το SLA (όπως για παράδειγμα την κλιμακωσιμότητα). Η περιοχή μπορεί να είναι μια περιοχή που ήδη εξυπηρετεί ο fs|cdn™ Anywhere Service Provider αλλά η υποδομή σε Edge Caches μπορεί να είναι υπερφορτωμένη ή μια νέα περιοχή στην οποία ο fs|cdn™ Anywhere Service Provider θέλει να επεκταθεί.
4. Ενεργοποίηση του προϊόντος. Το TANDEM εγκαθιστά και ενεργοποιεί το Edge Cache Service στο κατάλληλο edge που εξυπηρετεί την περιοχή που επιλέχθηκε. Το ίδιο το Edge Cache Service στέλνει μήνυμα στο module Anywhere Edge Portal του fs|cdn™ Anywhere και του γνωστοποιεί την ύπαρξη μιας καινούργιας Edge Cache (εγγραφή καινούργιας Edge Cache στο fs|cdn™ Anywhere σύστημα).
5. Το επόμενο αίτημα από συνδρομητή από μια περιοχή του fs|cdn™ Anywhere Service για να παρακολουθήσει κάποιο κανάλι θα δρομολογηθεί στην καινούργια Edge Cache αποφεύγοντας την υπερφορτωμένη της περιοχής του. Οι συνδρομητές από

καινούργια περιοχή εξυπηρέτησης του fs|cdn™ Anywhere, θα χρησιμοποιούν την Edge Cache που παρέχεται μέσω του συστήματος TANDEM.

6. Μέσω του συστήματος TANDEM, ο fs|cdn™ Anywhere Service Provider και ο διαχειριστής του TANDEM μπορούν να παρακολουθούν συνεχώς την λειτουργία της νέας υπηρεσίας.

2.3 Σενάριο Πειραμάτων Χρήσης Βιομηχανίας 4.0

2.3.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια τα βιομηχανικά συστήματα μέσω της χρήσης τεχνολογιών του IoT και σύγχρονων δικτύων (όπως ασύρματων τεχνολογιών 5G) οδηγούν στη **Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0)**, η οποία επιτρέπει την αυτοματοποιημένη λήψη αποφάσεων από τα βιομηχανικά συστήματα και ταυτόχρονα κάνει τις γραμμές παραγωγής πιο αποτελεσματικές [MZ16].

Το πειραματικό σενάριο του TANDEM στοχεύει στην χρήση ρομποτικών συσκευών για τον έλεγχο μίας γραμμής παραγωγής. Οι ρομποτικές συσκευές διαθέτουν ενσωματωμένους αισθητήρες και μπορούν να επικοινωνούν με ασύρματο τρόπο. Η επικοινωνία αυτή αντικαθιστά τον υπάρχοντα σειριακό και ενσύρματο τρόπο και δίνει τη δυνατότητα μία συσκευή να αναλαμβάνει τη λειτουργία μίας άλλης συσκευής που έχει υποστεί βλάβη. Η δυνατότητα διάγνωσης και αυτοελέγχου της κατάστασης της γραμμής παραγωγής επιτρέπει την ανάληψη συνεργατικής δράσης βελτιώνοντας έτσι την ικανότητα γρήγορης ανάκαμψης από πιθανές βλάβες και άρα τη διαθεσιμότητα της γραμμής παραγωγής. Επιπλέον, οι ρομποτικές συσκευές λειτουργούν και ως κόμβοι στα άκρα του δικτύου και χρησιμοποιούν την πλατφόρμα του TANDEM με σκοπό την ανάλυση των δεδομένων, την λήψη αποφάσεων στην γραμμή παραγωγής (π.χ. την τοποθέτηση τελικών προϊόντων σε συγκεκριμένες θέσεις ανάλογα με τα αποτελέσματα του ελέγχου ποιότητας) αλλά και τη διασύνδεση των διαφόρων τμημάτων της παραγωγής.

Η αυτοματοποίηση στη λήψη αποφάσεων γίνεται μέσω της χρήσης τεχνικών μηχανικής μάθησης (machine learning), οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν σε κεντρικό ή κατακευματισμένο επίπεδο σε κάθε ρομπότ. Στην πρώτη περίπτωση η κεντρική πλατφόρμα επικοινωνεί τις αποφάσεις στις ρομποτικές συσκευές, ενώ στην δεύτερη τεχνικές Μηχανικής Μάθησης/Τεχνητής Νοημοσύνης εκτελούνται απευθείας στις ρομποτικές συσκευές και οι αποφάσεις λαμβάνονται τοπικά. Η χρήση τεχνικών Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning) επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση σφαλμάτων στην παραγωγή μέσω της παρακολούθησης των δεδομένων από τους ρομποτικούς αισθητήρες. Στα πειράματα του TANDEM θα συγκριθεί η εκτέλεση λειτουργιών Τεχνητής Νοημοσύνης στα άκρα του δικτύου (στο ίδιο το ρομπότ) σε σχέση με την εκτέλεσή της κεντρικά.

2.3.2 Περιγραφή Πειραμάτων Βιομηχανίας 4.0: Ρομπότς και Βιομηχανικό Δίκτυο των Αντικειμένων

2.3.2.1 Περιγραφή Πειραματικού Σεναρίου

Το σενάριο περιλαμβάνει τη διαχείριση και έλεγχο έξυπνων συσκευών (robots), την ανάλυση των μετρήσεων από τους αισθητήρες τους, καθώς και υπηρεσίες Μηχανικής Μάθησης για τον εντοπισμό αντικειμένων (Object Detection).

Σκοπός του πειράματος αυτού είναι να υλοποιηθεί σε ένα ρομποτικό σύστημα ένα από τα πιο διαδεδομένα σενάρια στη βιομηχανία (ποιοτικός έλεγχος προϊόντων και Pick and Place αντικειμένων), και στη συνέχεια να ενσωματωθεί στην πλατφόρμα του TANDEM, ώστε να υπογραμμιστούν τα οφέλη της πλατφόρμας και σε ένα τέτοιο περιβάλλον.

Η γενική ιδέα είναι ότι στην γραμμή παραγωγής μίας βιομηχανίας υπάρχει μία κυλιόμενη ταινία που προσκομίζει τα τελικά προϊόντα έτοιμα προς διανομή. Τα συσκευασμένα προϊόντα έχουν εναποτεθεί με τυχαίους προσανατολισμούς στη ταινία και υπολείπεται ένας τελευταίος οπτικός έλεγχος και η μεταφορά τους στην αίθουσα φόρτωσης.

Στον ίδιο χώρο κινείται ένα ρομπότ το οποίο, αξιοποιώντας την κάμερά και το ρομποτικό βραχίονά του, πραγματοποιεί έλεγχο ποιότητας στα αντικείμενα και τα τοποθετεί στην κατάλληλη θέση.

Στο συγκεκριμένο πείραμα, το σύστημά μας αποτελείται από ένα ρομπότ, ένα αριθμό αισθητήρων, και ένα σύνολο από τυχαία τοποθετημένα αντικείμενα πάνω σε μια επιφάνεια (η οποία αναπαριστά μια ταινία σε μια γραμμή παραγωγής ενός εργοστασίου).

Το ρομπότ περιλαμβάνει ένα ρομποτικό βραχίονα για την αρπαγή και μεταφορά των αντικειμένων, και μια κινούμενη βάση (πάνω στην οποία υπάρχει ο βραχίονας και ο υπολογιστής του ρομπότ), η οποία προσθέτει τη δυνατότητα κίνησης του ρομπότ στο χώρο.



Εικόνα 5 -Έλεγχος ποιότητας με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης στο edge: Το ρομπότ εντοπίζει την προβληματική συσκευασία αναψυκτικού(τσαλακωμένη), την γραπώνει και την μεταφέρει στην περιοχή των προβληματικών συσκευασιών

Σε αυτό το σενάριο επίδειξης του TANDEM σε βιομηχανικό περιβάλλον, το ρομπότ μας βρίσκεται μπροστά από την επιφάνεια με τα αντικείμενα (εικονική γραμμή παραγωγής). Χρησιμοποιώντας την κάμερα που βρίσκεται πάνω στο ρομπότ, παίρνουμε δύο εκδοχές της ίδιας εικόνας, μία δισδιάστατη, την οποία χρησιμοποιούμε για αναγνώριση αντικειμένων με χρήση μοντέλου μηχανικής μάθησης, και μια τρισδιάστατη (Point Cloud), από το οποίο παίρνουμε την ακριβή θέση και προσανατολισμό του αντικειμένου στο χώρο.

Στη συνέχεια, αφού το μοντέλο αναγνώρισης αντικειμένων μας δώσει το bounding box και την κλάση του αντικειμένου (Ελαττωματικό ή Προς παράδοση), το ρομπότ χρησιμοποιεί το βραχίονά του για να το «αρπάξει» και να το μεταφέρει στην κατάλληλη θέση (για παράδοση ή επανέλεγχο).

Ο οπτικός έλεγχος των αντικειμένων γίνεται με τεχνολογίες Μηχανικής Όρασης χρησιμοποιώντας την εφαρμογή οπτικής διάκρισης σωστών και ελαττωματικών συσκευασιών προϊόντων. Η εφαρμογή χρησιμοποιεί την υπηρεσία Εκτέλεσης Μοντέλου Αναγνώρισης Αντικειμένων του TANDEM με μοντέλο το οποίο εκπαιδεύτηκε χρησιμοποιώντας την κατάλληλη υπηρεσία του TANDEM για εκπαίδευση σχετικών μοντέλων. Η εκπαίδευση πραγματοποιείται με την ανάρτηση μίας σειράς εικόνων που μπορεί να έχουν χαρακτηριστεί ως προς το αν απεικονίζουν σωστές (ή ελαττωματικές) συσκευασίες προϊόντων.

2.3.3 Ανάδειξη Χρησιμότητας TANDEM μέσω των Πειραμάτων

Σκοπός του σεναρίου αυτού είναι να αναδείξει τη χρησιμότητα του συστήματος TANDEM σε εφαρμογές ρομποτικής και βιομηχανικού IoT. Θα καταδείξει τους αυτοματισμούς που προσφέρει το TANDEM σε μία εταιρία με γραμμή παραγωγής για:

- Να φτιάξει μία φάρμα από αυτοκινούμενα ρομπότ με κεντρική διαχείριση αλλά που μπορούν να λαμβάνουν τα ίδια αυτόνομα αποφάσεις.
- Να τα προγραμματίσει εύκολα και γρήγορα αποφεύγοντας χειροκίνητες ενέργειες για το κάθε ένα
- Να εγκαταστήσει μηχανισμούς επικοινωνίας των ρομπότ με ένα κεντρικό σημείο ελέγχου ώστε να λειτουργούν συντεταγμένα σαν ομάδα
- Το κυριότερο είναι ότι παρέχει υπηρεσίες που προσθέτουν νοημοσύνη στις συσκευές (Τεχνητή Νοημοσύνη) για να υλοποιούν πολύπλοκες εργασίες.

Βασικός στόχος του πειράματος είναι να αναδείξει την εύκολη και χωρίς φυσική πρόσβαση εναλλαγή ανάμεσα σε διαφορετικές υπηρεσίες/λειτουργίες του ρομπότ με χρήση του συστήματος TANDEM.

Βασικό πλεονέκτημα χρήσης του TANDEM σε τέτοιου είδους εφαρμογές, αποτελεί το γεγονός ότι αντί για μεγάλες υπηρεσίες μοναδικού σκοπού, στοχεύουμε στην ανάπτυξη πολλών στοιχειωδών υπηρεσιών. Έτσι, έχουμε τη **δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των ιδίων υπηρεσιών** ώστε να συνθέτουμε πολλά διαφορετικά σενάρια που αποστέλλονται για εκτέλεση στα ρομπότς. Με αυτόν τον τρόπο, αφενός μεγιστοποιούμε την ευελιξία του συστήματος, αφετέρου μας δίνεται η δυνατότητα **καλύτερου διαμοιρασμού των υπολογιστικών πόρων**, αφού στο ίδιο σενάριο μπορούμε να τρέχουμε υπηρεσίες σε περισσότερα διασυνδεδεμένα μηχανήματα.

Το σημαντικότερο όμως όφελος από αυτό το σενάριο είναι η επίδειξη του πόσο γρήγορα και χωρίς φυσική επέμβαση στη συσκευή μπορεί ο στόλος των συνεργαζόμενων συσκευών να αλλάξει μοντέλο τεχνητής νοημοσύνης και να εφοδιαστεί με ένα καταλληλότερο για ένα καινούργιο λειτουργικό σενάριο.

Τα κύρια οφέλη από την χρήση της πλατφόρμας του TANDEM στον συγκεκριμένο χώρο που θα ελέγχουν και ποσοτικοποιηθούν με τα πειράματα είναι:

Μείωση Χρόνου Απόκρισης: Έχοντας τη δυνατότητα αποστολής και τοπικής εκτέλεσης των υπηρεσιών (στο μηχάνημα του ρομπότ), η επεξεργασία των δεδομένων και οι αποφάσεις λαμβάνονται τοπικά χωρίς να μεσολαβεί δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο εκτιμάτε μειώνεται σημαντικά ο χρόνος απόκρισης των υπηρεσιών, επιτρέποντας εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Μείωση Φόρτου Δικτύου: Τα frames του βίντεο δεν αποστέλλονται για ανάλυση με λειτουργίες Τεχνητής νοημοσύνης σε κεντρικό server, αλλά επεξεργάζονται τοπικά σε κάθε edge node (ρομπότ)..

Ανοχή σε σφάλματα (Fault Tolerance): Εφόσον κάθε υπηρεσία τρέχει τοπικά και σε κάθε ρομπότ ξεχωριστά, ένα πιθανό σφάλμα σε κάποια από τις υπηρεσίες που εκτελείται δεν επηρεάζει τις υπόλοιπες edge συσκευές, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται οι εκάστοτε επιπτώσεις από ένα πιθανό σφάλμα.

Μείωση Φόρτου Κεντρικής Υποδομής: Η εκτέλεση των υπηρεσιών σε κόμβους άκρων που επιτρέπει το TANDEM σημαίνει ότι ο υπολογιστικός φόρτος δεν επιβαρύνει τον κεντρικό server αλλά διαμοιράζεται στους κόμβους άκρων. Και εδώ, επίσης, διακρίνεται σημαντικό το όφελος του edge computing αφού επιτρέπει την κλιμακωσιμότητα του συστήματος και την ταυτόχρονη λειτουργία μας φάρμας από ρομπότ, χωρίς να χρειάζεται να αυξήσουμε τους πόρους του κεντρικού εξυπηρετητή.

Μείωση Χρόνου Δημιουργίας Νέας Αποστολής για τα Ρομπότ: Χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη υπηρεσιών του TANDEM, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να επιλέξει μια από τις διαθέσιμες ή/και να συνθέσει πιο πολύπλοκες, χωρίς να αναγκαστεί να προγραμματίσει από την αρχή την εργασία του ρομπότ. Με την ίδια λογική, διευκολύνεται και επιταχύνεται και η εναλλαγή ανάμεσα σε υπηρεσίες του ρομπότ. Έτσι ο χρήστης γλιτώνει πολύτιμο χρόνο, αφού αντί να εγκαταστήσει χειροκίνητα κάθε υπηρεσία σε κάθε ρομπότ, χρησιμοποιώντας το εργαλείο του TANDEM, επιλέγει τις υπηρεσίες που χρειάζεται από τον κατάλογο του TANDEM, και μπορεί να εκκινήσει στη συσκευή σε μόλις λίγα λεπτά.

Μείωση Χρόνου Εγκατάστασης και Ενεργοποίησης Νέας Αποστολής σε Ρομπότ: Στην περίπτωση που έχουμε, όχι μια μεμονωμένη συσκευή, αλλά μία φάρμα από ρομπότ, θα χρειαζόταν η φυσική πρόσβαση και επέμβαση σε κάθε ένα από αυτά για την εγκατάσταση των απαραίτητων εργαλείων και λογισμικών, κάτι που θα έκανε την διαδικασία απίστευτα χρονοβόρα και δαπανηρή. Χρησιμοποιώντας το TANDEM, η εγκατάσταση των υπηρεσιών γίνεται απομακρυσμένα και αυτόματα, καθιστώντας το σύστημα πολύ πιο κλιμακώσιμο από ότι θα ήταν.

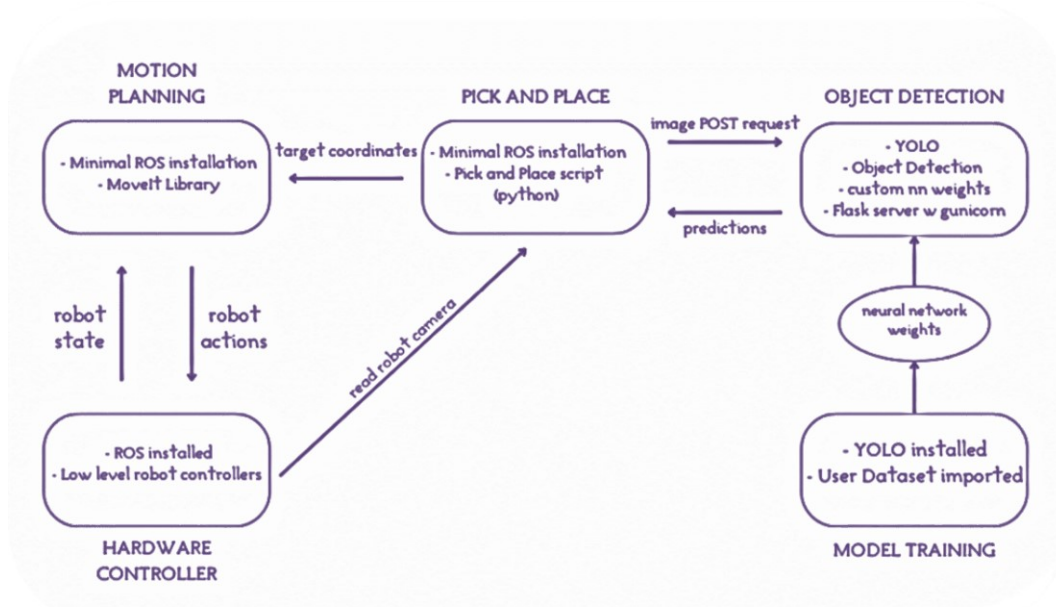
2.3.4 Μεθοδολογία και Αναλυτικά Βήματα Πειραμάτων

Για την πραγματοποίηση του πειραμάτων, αρχικά έγινε ο προγραμματισμός των βασικών επιμέρους τμημάτων λογισμικού, και έπειτα η δημιουργία docker containers με αυτά ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτόνομες υπηρεσίες TANDEM.

Συγκεκριμένα, το σύστημα αποτελείται από τις εξής συνεργαζόμενες υπηρεσίες:

- **Διεπαφή Υλικού (hardware-controller)**
 - Τρέχει τοπικά στον υπολογιστή του ρομπότ
 - Οι μετρήσεις των αισθητήρων και η κατάσταση του ρομπότ κοινοποιείται σε όλο το δίκτυο μέσω **rostopics**, τα οποία είναι ουρές μηνυμάτων, βάσει των οποίων γίνεται η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων ROS.
 - Το ρομπότ είναι σε κατάσταση αναμονής για λήψη εντολών κίνησης
- **Σχεδιασμός Κίνησης Βραχίονα (motion-planning)**
 - Πραγματοποίηση του σχεδιασμού κίνησης του βραχίονα με χρήση της βιβλιοθήκης **Movelit**
 - Δέχεται τις επιθυμητές συντεταγμένες της αρπάγης και υπολογίζει τις γωνίες του βραχίονα και τη διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει
- **Αρπαγή και Τοποθέτηση Αντικειμένων (pick-and-place)**
 - Λήψη θέσης ρομπότ και εικόνας κάμερας μέσω των **rostopics**
 - **Επεξεργασία (3D) εικόνων** από την κάμερα του ρομπότ
 - Αποστολή εικόνας σε TANDEM υπηρεσία **Αναγνώρισης Αντικειμένων**, όπου γίνεται και η διάκριση των αντικειμένων σε αποδεκτά και ελαττωματικά. '
 - Προγραμματισμός **αλληλουχίας κινήσεων** του ρομπότ
 - **Αποστολή εντολών στο βραχίονα** για εκτέλεση του Pick and Place σεναρίου
- **Αναγνώριση Αντικειμένων (object-detection)**
 - **Εντοπισμός θέσης και Αναγνώριση κλάσης Αντικειμένων** σε εικόνα
 - Ο χρήστης εφοδιάζει αυτήν την υπηρεσία με προεκπαιδευμένο μοντέλο αναγνώρισης αντικειμένων
 - Χρήση νευρωνικού δικτύου Yolov8[**Yolo**]
 - Η υπηρεσία λειτουργεί ως server ο οποίος αναμένει *Post requests* με αρχεία εικόνας και στέλνει πίσω τις προβλέψεις ως απάντηση.

Οι υπηρεσίες και ο τρόπος που αυτές διασυνδέονται φαίνεται καλύτερα στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 6 - Διάγραμμα υπηρεσιών ρομπότ

Μετά την υλοποίηση των υπηρεσιών, (και αφού καταχωρήσουμε το ρομπότ και τις υπηρεσίες μας στην πλατφόρμα του TANDEM) χρησιμοποιούμε τον **Service Chain Orchestrator** του Tandem για να δημιουργήσουμε την επιθυμητή **αλυσίδα υπηρεσιών** (όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα). Το πρώτο service chain (αλυσίδα υπηρεσιών) που σχεδιάζουμε περιλαμβάνει την εκτέλεση του Pick and Place σε προϊόντα που έχουν περάσει από **έλεγχο ποιότητας** (εδώ, συσκευασίες αναψυκτικών), και στέλνουμε την αλυσίδα υπηρεσιών για εκτέλεση στο ρομπότ. Για να δείξουμε την ευκολία και απλότητα στην εναλλαγή των λειτουργιών/υπηρεσιών του ρομπότ, αντικαθιστούμε την υπηρεσία **Αναγνώρισης Αντικειμένων για Έλεγχο Ποιότητας** σε συσκευασίες αναψυκτικών, με διαφορετική υπηρεσία **Αναγνώρισης Αντικειμένων για διαχωρισμού συσκευασιών φαρμάκων**. Αφού εγγράψουμε τη νέα υπηρεσία στον κατάλογο του TANDEM, δημιουργούμε νέα αλυσίδα υπηρεσιών την οποία στέλνουμε κατευθείαν (και χωρίς φυσική επέμβαση) για εκτέλεση στο ρομπότ.

Πιο αναλυτικά, το σενάριο χρήσης του ρομπότ στο πλαίσιο της πλατφόρμας του TANDEM αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

1. **Καταχώρηση υπηρεσίας Εκπαίδευσης Μοντέλου Αναγνώρισης Αντικειμένων:**
Αφού έχουμε δημιουργήσει την υπηρεσία εκπαίδευσης και επανεκπαίδευσης του μοντέλου αναγνώρισης αντικειμένων, την καταχωρούμε στην πλατφόρμα του TANDEM. Η υπηρεσία αυτή δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να εισάγει το δικό του σύνολο από εικόνες, με βάση το οποίο γίνεται εκπαίδευση μοντέλου μηχανικής μάθησης, καθώς και τη δυνατότητα για αυτόματη αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του χρήστη.
2. **Καταχώρηση Ρομπότ ως κόμβου TANDEM:** Δεύτερο βήμα είναι να εντάξουμε τον υπολογιστή του ρομπότ ως κόμβο της πλατφόρμας του TANDEM. Αυτό θα παρέχει

τη δυνατότητα της άμεσης εκκίνησης υπηρεσιών του ρομπότ, αλλά και της άμεσης επικοινωνίας του ρομπότ με τους υπόλοιπους κόμβους του TANDEM.

3. **Καταχώρηση υπηρεσίας Διεπαφής Υλικού (Hardware Controller):** Αφού έχουμε κάνει το ρομπότ κόμβο του TANDEM, καταχωρούμε τις βασικές υπηρεσίες που αποτελούν το σενάριό μας. Πρώτη υπηρεσία είναι ο Hardware Controller, ή Διεπαφή Υλικού. Η υπηρεσία αυτή φροντίζει για τη διασύνδεση ανάμεσα στις συσκευές που αποτελούν το ρομπότ (βραχίονα και αισθητήρες) και τις υπόλοιπες υπηρεσίες του σεναρίου. Πιο συγκεκριμένα, ο Hardware Controller τρέχει πάντα στον υπολογιστή του ρομπότ και περιέχει τα προγράμματα (drivers) των ενεργοποιητών και αισθητήρων του ρομπότ.
4. **Καταχώρηση υπηρεσίας Σχεδιασμού Κίνησης του βραχίονα (Motion Planning):** Στη συνέχεια καταχωρούμε στην πλατφόρμα του TANDEM την υπηρεσία Σχεδιασμού Κίνησης του βραχίονα. Αυτή η υπηρεσία εμπεριέχει τα απαραίτητα λογισμικά και βιβλιοθήκες ώστε με βάση την επιθυμητή τελική θέση του βραχίονα να υπολογίζεται το έγκυρο μονοπάτι που πρέπει να ακολουθήσει ο βραχίονας.
5. **Καταχώρηση υπηρεσίας Αναγνώρισης Αντικειμένων (για έλεγχο ποιότητας σε συσκευασίες αναψυκτικών):** Η τρίτη υπηρεσία που καταχωρούμε στο TANDEM είναι η υπηρεσία αναγνώρισης αντικειμένων. Για να δημιουργήσουμε αυτήν την υπηρεσία, έχουμε χρησιμοποιήσει την υπηρεσία Εκπαίδευσης Μοντέλου Αναγνώρισης Αντικειμένων που αναφέρθηκε παραπάνω, για να πάρουμε το κατάλληλο μοντέλο μηχανικής μάθησης, εκπαιδευμένο ειδικά για το σενάριό μας. Στη δική μας περίπτωση, η υπηρεσία Αναγνώρισης Αντικειμένων διακρίνει ανάμεσα σε χρήσιμα, και ελαττωματικά κουτάκια αναψυκτικών (συγκεκριμένης μάρκας) και επιστρέφει την κατάλληλη εκτίμηση και τη θέση του εντοπιζόμενου αντικειμένου στο στην εικόνα.
6. **Καταχώρηση υπηρεσίας Pick and Place:** Σε αυτό το βήμα καταχωρούμε την υπηρεσία Pick and Place, με την οποία ολοκληρώνεται το πρώτο σενάριο χρήσης του ρομπότ. Σε αυτήν την υπηρεσία υλοποιείται η λογική του σεναρίου, όπως η επεξεργασία των εικόνων που διαβάζει η κάμερα του ρομπότ, ο υπολογισμός της θέσης των αντικειμένων, και οι διαδοχικές εντολές που πρέπει να δοθούν στο βραχίονα για την εκτέλεση της εργασίας.
7. **Δημιουργία προϊόντων από τις παραπάνω υπηρεσίες και επιλογή του κόμβου του ρομπότ για την εκτέλεσή τους.**
8. **Δημιουργία της Αλυσίδας Υπηρεσιών (Service Chain) για το ρομπότ «Αναγνώριση Προβληματικών Συσκευασιών Αναψυκτικών»:** Έχοντας καταχωρήσει όλες τις επιμέρους υπηρεσίες/προϊόντων, δημιουργούμε μια αλυσίδα υπηρεσιών (Service Chain), ώστε να υλοποιηθεί το συνολικό σενάριο. Στο πρώτο ρομποτικό σενάριο, αφού πάρουμε την εικόνα από την κάμερα του ρομπότ, παίρνουμε τις θέσεις και τις κλάσεις των αντικειμένων (που θα μας υποδείξει η υπηρεσία αναγνώρισης αντικειμένων), και χρησιμοποιούμε τον βραχίονα για να τοποθετήσουμε κάθε αντικείμενο στο προκαθορισμένο μέρος ανάλογα με το αν είναι ελαττωματικό ή χρήσιμο.
9. **Έναρξη Robot Service Chain 1 «Αναγνώριση Προβληματικών Συσκευασιών Αναψυκτικών»:** Σε αυτό το στάδιο εκκινούμε το service chain από την πλατφόρμα του TANDEM, και βλέπουμε όλες τις επιμέρους υπηρεσίες να εκκινούν σε

πραγματικό χρόνο, τόσο εκείνες που εκκινούν στον υπολογιστή του ρομπότ, όσο και σε άλλους τοπικούς εξυπηρετητές για διαμοιρασμό υπολογιστικών πόρων.

10. **Καταχώρηση υπηρεσίας Αναγνώρισης αντικειμένων για διαχωρισμό φαρμάκων:**
Για να αναδείξουμε την ευελιξία της πλατφόρμας και την ταχύτητα αλλαγής της εργασίας του ρομπότ, θα καταχωρήσουμε μια ακόμα υπηρεσία, με σκοπό να γίνει αλλαγή της εργασίας του ρομπότ σε πραγματικό χρόνο. Συγκεκριμένα, έχουμε μια δεύτερη υπηρεσία αναγνώρισης αντικειμένων, η οποία διαχωρίζει συσκευασίες φαρμάκων, αντί για συσκευασίες αναψυκτικών. Δημιουργία προϊόντος από την υπηρεσία αυτή και επιλογή του κόμβου του ρομπότ για την εκτέλεσή της
11. **Έναρξη Robot Service Chain 2 «Διαχωρισμός Συσκευασιών Φαρμάκων»:** Σε αυτό το βήμα, κάνοντας μια απλή επεξεργασία στο service chain που έχουμε δημιουργήσει από τον Service Chain Orchestrator του TANDEM, αντικαθιστούμε την υπάρχουσα υπηρεσία (διαχωρισμός συσκευασιών αναψυκτικών) με τη νέα (διαχωρισμός συσκευασιών φαρμάκων).
12. **Εκκίνηση του νέου Service Chain:** Έχοντας δημιουργήσει το νέο service chain στο προηγούμενο βήμα, τερματίζουμε το προηγούμενο και το θέτουμε σε λειτουργία. Αναδεικνύουμε έτσι την εύκολη, ταχεία και χωρίς φυσική πρόσβαση αλλαγή του στόχου λειτουργίας του ρομπότ, μέσα από την πλατφόρμα του TANDEM.
13. **Επιλογή κεντρικού κόμβου (αντί για το ρομπότ) για την εκτέλεση της Υπηρεσίας Αναγνώρισης Αντικειμένων.** Επανεκκίνηση του νέου Service Chain.

Στο Παράρτημα Α αυτού του παραδοτέου υπάρχει μια σχηματική ανάλυση των παραπάνω βημάτων (Ενότητα 5).

2.3.4.1 Επιλογή Ρομπότ για τα πειράματα

Τα κριτήρια με βάση τα οποία έγινε η επιλογή του ρομπότ ήταν τα ακόλουθα:

- Δυνατότητα αρπαγής αντικειμένων
 - Για την προσομοίωση του βιομηχανικού βραχίονα που πραγματοποιεί το pick and place του σεναρίου
- Κινούμενη Βάση
 - Για να μας επιτρέπει να κινούμαστε στο χώρο
 - Για να υλοποιήσουμε σενάρια με χαρτογράφηση και πλοήγηση σε άγνωστο περιβάλλον
- Ποιοτική κάμερα βάθους
 - Αναγνώριση αντικειμένων
 - Λήψη Point Cloud του περιβάλλοντος για να υπολογισμό ακριβούς θέσης και προσανατολισμού του αντικειμένου στο χώρο
- Χρήση ROS (Robot Operating System) **[ROS]** για την καλύτερη δυνατή διασύνδεση των επιμέρους ενεργοποιητών και αισθητήρων του συστήματος σε επίπεδο λογισμικού και δικτύου
 - Μεγάλη κοινότητα στην ερευνητική ρομποτική
 - Σταδιακά εισέρχεται και στους βιομηχανικούς βραχίονες
- Λειτουργικό σύστημα Ubuntu **[Ubuntu]**
 - Κρίθηκε απαραίτητο το λειτουργικό σύστημα του ρομπότ να μπορεί να συνδυάσει λογισμικά όπως το ROS **[ROS]**, το Docker **[Docker]** και το Kubernetes **[Kubernetes]**

- Καλή υποστήριξη και αρκετά παραδείγματα χρήσης του ρομπότ



Εικόνα 7: LoCoBot WX200

Το ρομπότ που επιλέξαμε ήταν το **LoCoBot WX200** [LOCOBOT], το οποίο είναι ένα ερευνητικό ρομπότ σχεδιασμένο για εφαρμογές όπως η **Χαρτογράφηση**, η **Πλοήγηση** και ο **Χειρισμός (Manipulation)** αντικειμένων, πράγμα που το κάνει ιδανικό για εφαρμογές όπως η δική μας, σε πολύ μικρό κόστος συγκριτικά με βιομηχανικά ρομπότ. Πρόκειται για ένα συνδυασμό του Ρομποτικού βραχίονα **WidowX200** και της κινούμενης βάσης **Create3** της iRobot, καθώς και των απαραίτητων αισθητήρων (όπως κάμερα βάθους και LiDar) αλλά και της επιπλέον υπολογιστικής μονάδας.



Εικόνα 8: Βραχίονας WidowX200



Εικόνα 9: Create3 Base

Βασική προϋπόθεση για την επιλογή μας ήταν η χρήση του μετά-λειτουργικού συστήματος **ROS (Robot Operating System)** [ROS], το οποίο στην ουσία είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των επιμέρους δομικών μερών του ρομπότ, αλλά και του λογισμικού που τα ελέγχει. Όντας κυρίαρχο στην ερευνητική ρομποτική για την ευελιξία και τη διαλειτουργικότητά του, το ROS έχει συγκεντρώσει μεγάλη κοινότητα χρηστών, και εισέρχεται σταδιακά και στην βιομηχανία, με όλο και περισσότερους βιομηχανικούς βραχίονες να υποστηρίζουν ROS.



Εικόνα 11 - Η κάμερα βάθους του Ρομπότ

Κριτήριο για την επιλογή μας ήταν και η Κάμερα Βάθους που φέρει το ρομπότ. Συγκεκριμένα, το LoCoBot χρησιμοποιεί μια **Intel® RealSense™ Depth Camera D435**, η οποία μας παρέχει τόσο τις (δισδιάστατες) εικόνες για την αναγνώριση εμποδίων, όσο και την τρισδιάστατη

πληροφορία (**Point Cloud**) την οποία χρειαζόμαστε για το υπολογισμό της ακριβούς θέσης και προσανατολισμού του ρομπότ. Ο χρήστης μπορεί να χειρίζεται τον προσανατολισμό και την κλίση της κάμερας με τον pan/tilt μηχανισμό πάνω στον οποίο βρίσκεται η κάμερα, προσαυξάνοντας έτσι τις δυνατότητές της.



Εικόνα 10 - Τοποθετημένη η κάμερα του Ρομπότ

Ως προς το λειτουργικό σύστημα, κρίθηκε απαραίτητο να μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα λογισμικά όπως το **ROS**, για την επικοινωνία με το ρομπότ, καθώς και τα **Docker** και **Kubernetes** για την επικοινωνία με το TANDEM. Το LoCoBot είναι εφοδιασμένο με υπολογιστή ο οποίος χρησιμοποιεί το λειτουργικό **Ubuntu 20.04**, το οποίο καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες αυτές.



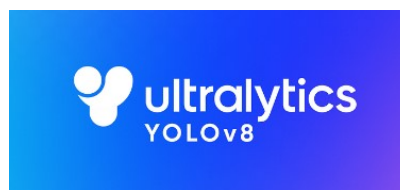
Εικόνα 12 - Ο Υπολογιστής του Ρομπότ

Ο υπολογιστής που χρησιμοποιεί το LoCoBot είναι ένα **Intel NUC NUC8i3BEH Mini PC**, ο οποίος συνδυάζει τις μικρές διαστάσεις που απαιτούνται για ένα ρομπότ με τους υπολογιστικούς πόρους που απαιτούνται για πιο «βαριές» λειτουργίες όπως τα νευρωνικά δίκτυα και η επεξεργασία εικόνων.

2.3.4.2 Μοντέλα Αναγνώρισης Αντικειμένων

Ένα σημαντικό σκέλος των πειραμάτων είναι τα μοντέλα εντοπισμού και αναγνώρισης αντικειμένων στις εικόνες που διαβάζει η κάμερα του robot.

Τόσο στο πρώτο πείραμα που περιλαμβάνει Έλεγχο Ποιότητας, όσο και στο δεύτερο, το οποίο περιλαμβάνει διαχωρισμό ανάμεσα σε δύο τύπους προϊόντων, η τεχνική που υλοποιήθηκε ήταν **Object Detection** με χρήση **νευρωνικού δικτύου**. Συγκεκριμένα, κάναμε χρήση του μοντέλου **YOLOv8**, που δημιούργησε και έκανε διαθέσιμο σε όλους η εταιρεία ultralytics (Εικόν)



Εικόνα 13: Ultralytics is the company that created the YOLOv8 models

Το **YOLO** (You Only Look Once) είναι ένα **state-of-the-art** μοντέλο νευρωνικού δικτύου, το οποίο μπορεί να επιλύσει τόσο προβλήματα Αναγνώρισης Αντικειμένων (**Object Detection**), όσο και προβλήματα Κατάτμησης εικόνων (**Image Segmentation**), καθιστώντας το ιδιαίτερα

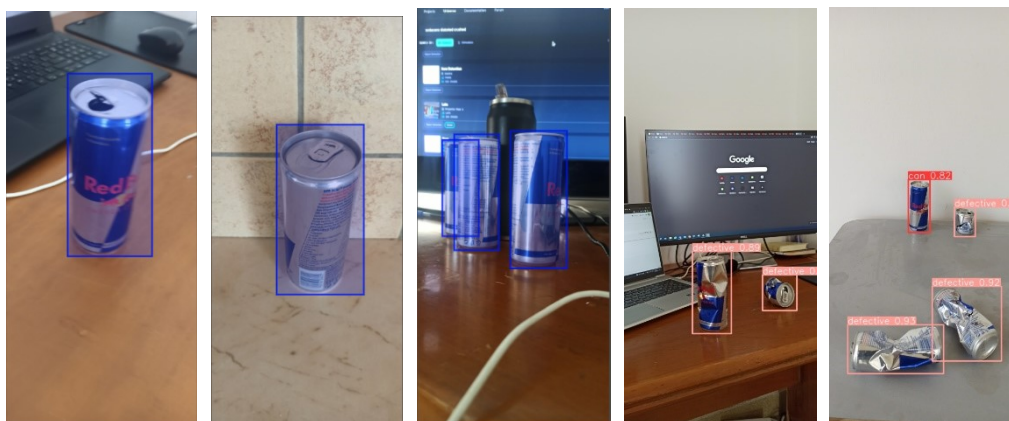
σημαντικό εργαλείο σε τομείς όπως η ρομποτική, τα αυτόνομα οχήματα και η παρακολούθηση βίντεο (surveillance). Τα μοντέλα που παρέχει έρχονται **προεκπαιδευμένα** με το σύνολο εικόνων **COCO**, και είναι ικανό να αναγνωρίζει αντικείμενα από **80 κλάσεις**.

Να σημειώσουμε εδώ, ότι το YOLO παρέχει ένα σύνολο από μοντέλα διαφορετικών μεγεθών, με το πιο μικρό να επιτυγχάνει μεγάλη ταχύτητα και το πιο μεγάλο να μεγιστοποιεί την ακρίβεια του μοντέλου. Στη δική μας σενάριο, επιλέξαμε το μικρότερο από τα μοντέλα (**YOLOv8-nano**), καθώς σε περιπτώσεις όπως τη δική μας που έχουμε να κάνουμε με **edge συσκευές** (με λίγους υπολογιστικούς πόρους) και **real time εφαρμογές** η ταχύτητα είναι κρίσιμη μετρική.

Παρόλα αυτά, το μεγάλο πλεονέκτημα που μας παρέχει το YOLO είναι δυνατότητα να **επανεκπαιδεύσουμε τα μοντέλα με τα δικά μας δεδομένα**, δίνοντάς μας τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούμε τη γνώση που το δίκτυο έχει αποκτήσει κατά την πρώτη εκπαίδευση, και να την επεκτείνουμε με το δικό μας σύνολο εικόνων (**dataset**), ώστε να αναγνωρίζει δεδομένα από τις δικές μας κλάσεις.

Στο **πείραμα 1**, όπου έχουμε να κάνουμε με **κουτιά αναψυκτικών**, σκοπός μας είναι να αναγνωρίσουμε αν ένα προϊόν είναι **χρήσιμο** (κλάση 1) προς παράδοση στον καταναλωτή, ή **ελαττωματικό** (κλάση 2). Για την εκπαίδευση του νευρωνικού μοντέλου χρησιμοποιήσαμε ένα σύνολο από **1500** φωτογραφίες.

Κατά τη **δημιουργία του dataset**, σκοπός μας είναι το μοντέλο μας να **γενικεύσει** όσο το δυνατό περισσότερο. Φροντίζουμε, λοιπόν, τα δεδομένα μας να καλύπτουν όσο περισσότερες περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, θέλουμε οι εικόνες μας να περιέχουν αντικείμενα και από τις δύο κλάσεις σε παρόμοιο αριθμό συνολικά, ώστε να έχουμε ισορροπημένο dataset, αλλά και σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποικιλία σε διαφορετικά **backgrounds**, συνθήκες **φωτισμού**, **προσανατολισμό** και **απόσταση** αντικειμένου, αλλά και πολλαπλά προς αναγνώριση αντικείμενα στην ίδια εικόνα ή επικάλυψη του αντικειμένου με άλλα αντικείμενα (της ίδιας ή άλλης κλάσης). Είναι ακόμα χρήσιμο να συμπεριλάβουμε εικόνες με **μερική θέαση** του αντικειμένου, αλλά και εικόνες χωρίς κανένα αντικείμενο προς αναγνώριση. Μετά τη συλλογή των εικόνων, απαραίτητο (και εξίσου ή περισσότερο χρονοβόρο) στάδιο είναι το **labeling** των εικόνων (όπως φαίνεται στην εικόνα 6), δηλαδή η διαδικασία της ανάθεσης κλάσεων στα αντικείμενα που εικονίζονται, όπως φαίνεται παρακάτω. Για τη διαδικασία του labeling εκμεταλλευτήκαμε το open source λογισμικό **makesense.ai [MAKESENSE]**.



Εικόνα 14: Dataset Labeling

Ένα ακόμα σημαντικό βήμα προετοιμασίας των δεδομένων είναι **επαύξηση** των δεδομένων ή **Data Augmentation**. Σε αυτό το βήμα παίρνουμε τις ίδιες υπάρχουσες εικόνες και τις επεξεργαζόμαστε (περιστροφή, αποκοπή, αλλαγή μεγέθους, αλλαγή χρώματος, θόλωμα και άλλα). Σκοπός αυτού του βήματος είναι να αυξήσουμε το **μέγεθος** και ταυτόχρονα την **ποικιλότητα** του dataset ώστε να μεγιστοποιήσουμε τη γενίκευση του νευρωνικού δικτύου. Κάποιες augmented εικόνες φαίνονται ενδεικτικά στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Dataset Augmentation

Τελικό στάδιο είναι αυτό της **εκπαίδευσης**. Όπως είπαμε, κάνουμε χρήση του YOLOv8 framework. Αυτό, εκτός από τα μοντέλα παρέχει επίσης και ένα σύνολο από ρυθμιστές μεθόδους, αλλά και συγκεκριμένη δομή των αρχείων, για να επιταχύνει τη διαδικασία. Κατά την εκπαίδευση, οι εικόνες που συλλέξαμε, μαζί με τις εικόνες που προέκυψαν από τη φάση του dataset augmentation ήταν συνολικά 3000. Χρησιμοποιήσαμε **200 epochs** εκπαίδευσης, και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αποδείχθηκε ότι είναι επαρκής για την εφαρμογή, παρόλο που χρησιμοποιήσαμε το μικρότερο μοντέλο.

2.4 Επίβλεψη Λειτουργίας Data Room και του εξοπλισμού του

Ο στόχος αυτού του σεναρίου πειραμάτων είναι να αναδείξει τη διαλειτουργικότητα των υπηρεσιών του TANDEM για τη διαχείριση συσκευών και αισθητήρων, ανάλυσης των μετρήσεων από τους αισθητήρες καθώς και της υπηρεσίας Μηχανικής Μάθησης για την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών μετρήσεων από αισθητήρες (Time Series Forecasting).

Υλοποιήθηκε στις πρώτες φάσεις του έργου, για να ελεγχθούν οι βασικές ιδέες του και η προσέγγισή του.

Ο χώρος εκτέλεσης αυτού του σεναρίου επίδειξης των δυνατοτήτων του TANDEM είναι ένα εταιρικό Data-Room. Πρόκειται για ένα ειδικά διαμορφωμένο χώρο με κλιματιστικές μονάδες όπου η θερμοκρασία και η υγρασία περιβάλλοντος χώρου διατηρούνται συνέχεια σταθερές, σε αντιστάθμιση των θερμικών φορτίων που παράγονται από τους εν-λειτουργία εξυπηρετητές (servers).

Οι υπολογιστικοί πόροι που βρίσκονται σε ένα Data-Room είναι μεγάλης σημασίας. Πρώτον, γιατί πρόκειται συνήθως για μηχανήματα αιχμής με ακριβό εξοπλισμό και δεύτερον, γιατί στηρίζουν τα υπόλοιπα IT projects μίας εταιρίας. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι ένα σενάριο προστασίας τους και έγκαιρης διάγνωσης σφαλμάτων έχει ιδιαίτερη σημασία.

Για την εκτέλεση του σεναρίου έχει επιλεγεί Data-Room που διαθέτει περισσότερους από είκοσι (20) εξυπηρετητές σε λειτουργία και η θερμοκρασία ρυθμίζεται με δύο (2) κλιματιστικές μονάδες.

Τοποθετήθηκαν τρεις (3) κεντρικοί αισθητήρες. Συγκεκριμένα σε ένα κεντρικό σημείο του Data-Room λειτουργούν: (1) ένας αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας, (2) ένας αισθητήρας μέτρησης υγρασίας και (3) ένας αισθητήρας μέτρησης θορύβου/κραδασμών. Ο σκοπός αυτής της ομάδας είναι η παρακολούθηση των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντα χώρου του σφραγισμένου δωματίου. Οι μετρήσεις τους στέλνονται στο σημείο συλλογής και επεξεργασίας ασύρματα.

Σε αυτό το σενάριο για τη δημιουργία συνθηκών «κρίσης» θα χρησιμοποιηθούν μηχανισμοί για την άνοδο της θερμοκρασίας δωματίου και των κραδασμών λειτουργίας εξυπηρετητή. Συγκεκριμένα με ένα ελεγχόμενο τρόπο θα διακόπτεται η λειτουργία των κλιματιστικών για μικρό χρονικό διάστημα ώστε να ανέβει σταδιακά η θερμοκρασία και να κινητοποιηθεί το σύστημα για πρόβλημα σε-εξέλιξη στο περιβάλλοντα χώρο.

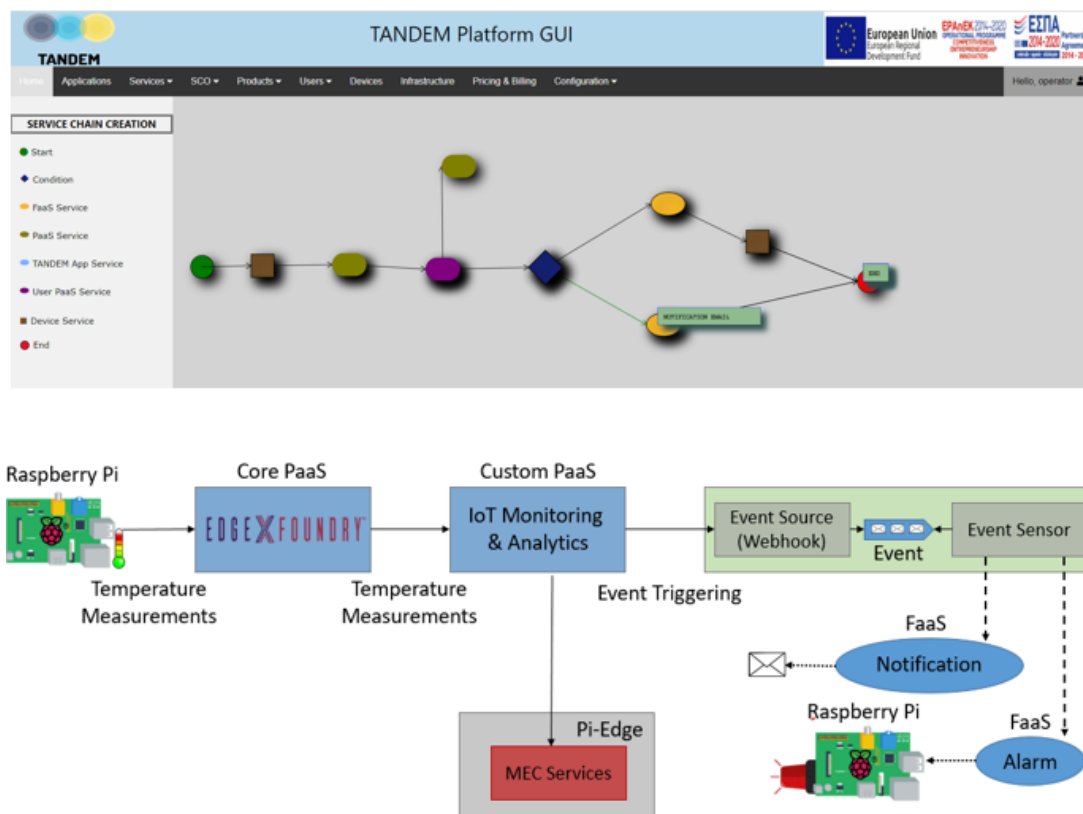
Επίσης θα υπάρχει εικονική αστοχία ορισμένων εξυπηρετητών μέσω τεχνητής αύξησης των παραγόμενων κραδασμών (για παράδειγμα, τοποθετώντας στην επιφάνειά τους κινητές συσκευές που έχουν ενεργοποιημένη τη δόνηση).

Το παρόν σενάριο θέλει να καταδείξει κυρίως δύο (2) πλεονεκτήματα από τη χρήση της πλατφόρμας TANDEM. Πρώτον η εύκολη συσσωμάτωση αισθητήρων IoT στο στόλο των διαχειριζόμενων συσκευών από τη πλατφόρμα. Όπως έγινε στα προηγούμενα σενάρια με τις κάμερες (σενάριο επιτήρησης) και τα ρομπότ (βιομηχανικό σενάριο) οι διαδικασίες αναγνώρισης και κεντρικής διαχείρισης είναι αυτοματοποιημένες.

Το TANDEM είναι μία πλατφόρμα που «κατεβάζει» τον όγκο εργασίας από το κέντρο στα άκρα. Ειδικά με τις παρεχόμενες υπηρεσίες τεχνητής νοημοσύνης βοηθάει στην γρήγορη μετατροπή τοπικών συσκευών σε ευφυείς κόμβους.

Σε αυτό το σενάριο παρουσιάζεται η υπηρεσία Πρόβλεψης (Forecast) που επιτρέπει στην δημιουργία εξατομικευμένων μοντέλων παρακολούθησης λειτουργίας Data Room και του εξοπλισμού του και στη συνέχεια την αποστολή τους για εκτέλεση με μορφή Container πλησίον των αισθητήρων. Εάν προβλεφθεί μία άρχουσα δυσλειτουργία θα εντοπιστεί άμεσα και μέσω των ολοκληρωμένων διαύλων επικοινωνίας TANDEM ο συναγερμός θα ταξιδέψει προς τα πάνω.

Τα πειράματα αυτά υλοποιήθηκαν στις αρχικές φάσεις του έργου κυρίως για να παρέχουν μια αρχική ανατροφοδότηση και για να μας κατευθύνουν στις επόμενες φάσεις του.



Εικόνα 14: Η ροή εργασιών του IoT (κάτω) και πως αναπαρίσταται αναλυτικά στην σελίδα διαχείρισης αλυσίδων του TANDEM portal (πάνω).

Στην Εικόνα 16 φαίνεται η Αλυσίδα Υπηρεσιών Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT Service Chain) όπως υλοποιήθηκε στο έργο. Το Device Service στα αριστερά λειτουργεί ως ενεργοποιητής, μετρώντας τη θερμοκρασία και την υγρασία ενός δωματίου και στέλνοντας τη μέτρηση στο Core Data, που αποτελεί δομικό στοιχείο του EdgeX Foundry. Στη συνέχεια, το δομικό στοιχείο Rules Engine στέλνει την μέτρηση στον Message Broker (κομμάτι του IoT Monitoring & Analytics). Από εκεί το Temperature Monitoring Service, που καταναλώνει τα μηνύματα από τον Message Broker, εκτελεί δύο λειτουργίες: πρώτον αποθηκεύει τη μέτρηση σε μια βάση δεδομένων, και δεύτερον, αναλόγως το ύψος της μέτρησης, στέλνει ένα HTTP POST request σε ένα από τα δύο endpoints του Event Source χρησιμοποιώντας τα MEC Services. Συγκεκριμένα, για το πρώτο endpoint εκτελεί τη μέθοδο Notification Service που αποστέλλει ένα e-mail στο UE (κινητή συσκευή) που βρίσκεται στην κοντινότερη απόσταση από την IoT συσκευή, όπως αυτά παρέχονται από τα υποστηριζόμενα MEC Services. Το email αυτό περιέχει πληροφορίες για την τοποθεσία του UE, της IoT συσκευής καθώς και για το ύψος της θερμοκρασίας. Το δεύτερο endpoint εκτελεί τη μέθοδο Alarm Service ζητώντας από το Command Service του EdgeX να ενεργοποιήσει το συναγερμό για μια διάρκεια Χ δευτερολέπτων που είναι επίσης παραμετροποιήσιμη από το χρήστη. Το κομμάτι του παραπάνω workflow, από το Event Source και μετά, έχει υλοποιηθεί με τη χρήση του Argo Events framework [Argo]. Όπως ίσως γίνεται αντιληπτό από την ονομασία, οι μέθοδοι εκτελούνται κατά την πυροδότηση συγκεκριμένων γεγονότων (events). Κατ' αυτή την έννοια,

υπάρχει ένας “παραγωγός” κι ένας “καταναλωτής” γεγονότων, καθώς κι ένας δίαυλος (bus) για την αποθήκευση/κατανάλωση των γεγονότων. Στην περίπτωση του IoT workflow, τα γεγονότα, αποτελούν τα POST requests που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στην Εικόνα 16 φαίνονται τα δομικά στοιχεία του framework σε περιβάλλον Kubernetes που είναι απαραίτητα για τις λειτουργίες που μόλις περιεγράφηκαν. Μπορεί να διακριθεί ο δίαυλος των γεγονότων με τρία αντίγραφα (event bus), ο παραγωγός (webhook-eventsource) και τέλος, ο καταναλωτής (webhook-sensor).

Όπως αναφέρθηκε η αρχική μορφή αυτών των πειραμάτων υλοποιήθηκε στις πρώτες φάσεις του έργου, για να ελεγχθούν οι βασικές ιδέες του TANDEM και η προσέγγιση του έργου στην σχεδίαση και υλοποίηση του συστήματος. Παρείχαν ανατροφοδότηση για τον ορισμό της τελικής αρχιτεκτονικής του συστήματος και τον καθορισμό των χαρακτηριστικών των υποστηριζόμενων λειτουργιών.

3 Συμπεράσματα

Το παραδοτέο αυτό περιγράφει τα σενάρια των πειραμάτων, καθώς και τη βηματική μεθοδολογία εκτέλεσής τους για την εκτίμηση της απόδοσης του προτεινόμενου συστήματος TANDEM και των επιμέρους μηχανισμών του. Τα σενάρια αυτά βασίζονται στα σενάρια χρήσης που περιγράφηκαν στο παραδοτέο Π1.1. και χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των λειτουργικών και τεχνικών απαιτήσεων για την υλοποίηση του συστήματος, καθώς και τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του.

Στην επιλογή των σεναρίων χρήσης και των αντίστοιχων πειραμάτων λήφθηκε υπόψη η παρακάτω λίστα υπηρεσιών, οι οποίες σύμφωνα με το ETSI MEC [ETSIMEC] [ETSIMEC003], εκμεταλλεύονται την υπολογιστική στα άκρα του δικτύου:

1. Υπηρεσίες Ανάλυσης Βίντεο (Video Analytics)
2. Υπηρεσίες Τοποθεσίας (Location Services)
3. Διαδίκτυο των Αντικειμένων (Internet-of-Things - IoT)
4. Υπηρεσίες Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality)
5. Υπηρεσίες βελτιστοποιημένης διανομής τοπικού περιεχομένου (optimized local content distribution) και
6. Υπηρεσίες Προσωρινής Αποθήκευσης Δεδομένων (Data Caching)

Τα πειράματα επιλέχθηκαν ώστε να επιβεβαιωθεί ότι η νέα αρχιτεκτονική πλατφόρμας Υπολογιστικής Άκρων του TANDEM, υποστηρίζει όλα τα σενάρια εφαρμογών που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την ύπαρξη υπολογιστικών, αποθηκευτικών και δικτυακών πόρων πιο κοντά στα σημεία παραγωγής και κατανάλωσης δεδομένων, καλύπτοντας τις ανάγκες διαφορετικών επιχειρηματικών τομέων. Έτσι η αρχιτεκτονική και οι υπηρεσίες του TANDEM θα αξιολογηθούν με τη υλοποίηση των παρακάτω σεναρίων χρήσης που αξιολογήθηκαν ως αντιπροσωπευτικά και κατάλληλα για την συνολική τελική αξιολόγηση του συστήματος:

1. την αυτοματοποιημένη επιτήρηση χώρου με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης στα άκρα του δικτύου για ανάλυση βίντεο και αναγνώριση αντικειμένων
2. την προσωρινή αποθήκευση περιεχομένου βίντεο στα άκρα του δικτύου (edge content caching), για να μη χρειάζεται να αναζητείται κάθε φορά από κεντρικό εξυπηρετητή, και

3. την Βιομηχανία 4.0. (σύνθεση και αποστολή διαφορετικών εργασιών προς εκτέλεση από ρομπότς που ελέγχονται από το σύστημα TANDEM και αποτελούν κόμβοι άκρων του (edge nodes) σε σενάρια οπτικού ελέγχου ποιότητας τελικών προϊόντων με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης).

Για μια αρχική ανατροφοδότηση και για να μας κατευθύνουν στις επόμενες φάσεις του έργου υλοποιήθηκαν στις αρχικές φάσεις του έργου πειραματικά σενάρια αλυσίδων υπηρεσιών επίβλεψης Data Room μέσω αισθητήρων.

Το TANDEM είναι μία πλατφόρμα μεταφοράς υπολογιστικού έργου στα άκρα του δικτύου (edge computing) [Aws1]. Το TANDEM επικεντρώνεται σε μία καινοτόμα πτυχή της υπολογιστικής στα άκρα, αυτή της δυνατότητας σύνθεσης υπηρεσιών και εφαρμογών από δομικά στοιχεία που μπορεί να είναι διαθέσιμα ή που πρέπει λειτουργούν σε διαφορετικούς κόμβους στα άκρα του δικτύου υποστηρίζοντας έτσι ένα νέο μοντέλο **Function as a Service (FaaS)**. Παρά το αυξημένο ενδιαφέρον και την έντονη ερευνητική δραστηριότητα στο πλαίσιο της υπολογιστικής στα άκρα, η πτυχή αυτή δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς. Βάση της προσέγγισης του TANDEM, κάποια σημαντικά στοιχεία του τα οποία πρέπει να επαληθευτούν μέσω των πειραμάτων του έργου είναι:

- Η παροχή έτοιμων προς χρήση υποδομών επικοινωνίας σε όλα τα επίπεδα ανάμεσα στις συσκευές και τις υπηρεσίες επεξεργασίας. Οι υπηρεσίες ή τμήματα των υπηρεσιών μπορούν να «τρέχουν» στο edge, κεντρικά, σε υπολογιστικό σύννεφο ή σε έξυπνες συσκευές.
- Η μεταφορά στο edge λειτουργιών με συγκεκριμένες απαιτήσεις για **Μικρή Καθυστέρηση** (Επεξεργασία κοντά σε πηγές δεδομένων και τελικούς χρήστες), **Ασφάλεια** (οι πληροφορίες δεν χρειάζεται να ταξιδεύουν στο δίκτυο), **Αξιοπιστία** (Κατανεμημένη φύση, σε περιπτώσεις αποτυχιών ή προβλημάτων δικτύου ένα άλλο edge cloud θα μπορούσε να εξυπηρετήσει τους τελικούς χρήστες), **Επεκτασιμότητα** (Εύκολη αναπαραγωγή και ενσωμάτωση νέων πόρων για την επέκταση των δυνατοτήτων και της κάλυψης του edge cloud), και **Εξοικονόμηση κόστους** (Τα βίντεο και άλλα δεδομένα που καταναλώνουν πόρους δικτύου και υπολογισμού θα μπορούσαν να περιοριστούν στο νέφος άκρων για τοπική επεξεργασία)
- Η εύκολη διανομή και εγκατάσταση εφαρμογών στο edge και στις έξυπνες συσκευές με τη μορφή Containers. Η πλατφόρμα γνωρίζει την αρχιτεκτονική, τις δυνατότητες και την κατάσταση κάθε στοιχείου που διαχειρίζεται για τη βέλτιστη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του συστήματος και την ικανοποίηση των SLAs.
- Η αναζήτηση και η σύνθεση υπηρεσιών από δομο-ενότητες που μπορεί να λειτουργούν σε διαφορετικούς κόμβους άκρων
- Η μετατροπή των τεχνικών υπηρεσιών σε εμπορεύσιμες υπηρεσίες (προϊόντα) με την προσθήκη πληροφοριών όπως τιμολόγησης και Service Level Agreement (SLA)
- Η υψηλού επιπέδου διαχείριση του κύκλου ζωής τόσο των υπηρεσιών όσο και των προϊόντων που συνδέονται με αυτά
- Η διαχείριση των χρηστών, των πολιτικών τιμολόγησης και της χρέωσης
- Η κεντρική διαχείριση όλων των συνδεδεμένων συσκευών στους κόμβους
- Η διαχείριση συσκευών/αισθητήρων διαφόρων ειδών (υποστήριξη πλατφόρμας IoT).

Τα πειραματικά σενάρια χρήσης θα υλοποιηθούν από το TANDEM, ώστε να επιτευχθεί μια αποτίμηση και ποσοτικοποίηση των ωφελειών από τη σκοπιά των υπηρεσιών (π.χ. μείωσης του χρόνου απόκρισης). Τα αποτελέσματα αυτής της πειραματικής χρήσης του συστήματος TANDEM θα περιγραφούν στο Παραδοτέο Π3.2: *Τελική Αξιολόγηση Συστήματος*.

4 Αναφορές

[Argo] Argo Projects, [Online] <https://argoproj.github.io>

[Aws1] *Computer Vision at the Edge with AWS Panorama*. Retrieved from <https://aws.amazon.com/blogs/aws/computer-vision-at-the-edge-with-aws-panorama/>

[BIO20] Bosch IO whitepaper: Edge computing for IoT: A guide on how edge computing complements the cloud in IoT, November 2020, [Online]: https://bosch.io/wp-content/uploads/20201127_White-Paper_Edge-computing_EN.pdf

[Docker] Docker Container, [Online] docker.com

[ETSI MEC] ETSI MEC, [Online] <https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing>

[ETSI MEC003] ETSI GS MEC 003 V3.1.1, “Multi-access Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture”, March 2022

[FSCDN] fs|cdn™ Anywhere (Full Service Content Delivery Network)
Retrieved from

https://www.intracom-telecom.com/en/products/telco_software/iptv_multiplay/fs_cdn.htm

[K8S] Kubernetes, [Online] <https://kubernetes.io/>

[LFF21] Linux Foundation Fledge, [Online]: <https://www.lfedge.org/projects/fledge/>

[LFE21] Linux Foundation EVE, [Online]: <https://www.lfedge.org/projects/eve/>

[LOCOTBOT] LoCoBot, <https://www.trossenrobotics.com/locobot-overview.aspx>

[MAKESENSE], MAKESENSE, [Online], <https://www.makesense.ai/>

[MZ16] Mosterman, P.J. and Zander, J., 2016. Industry 4.0 as a cyber-physical system study. *Software & Systems Modeling*, 15(1), pp.17-29.

[ROS], Robot Operating System (ROS), [Online] www.ros.org

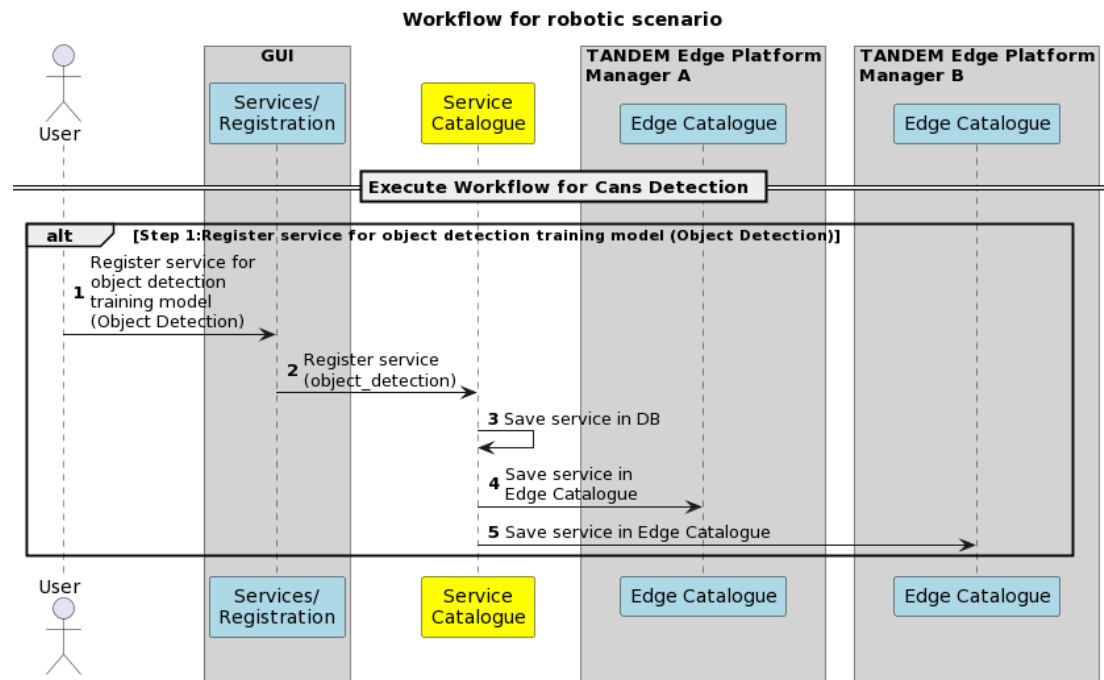
[Ubuntu], Ubuntu Operating System, [Online] <https://ubuntu.com/>

[Yolo] YOLO — You only look once, real time object detection explained, Retrieved from <https://towardsdatascience.com/yolo-you-only-look-once-real-time-object-detection-explained-492dc9230006>

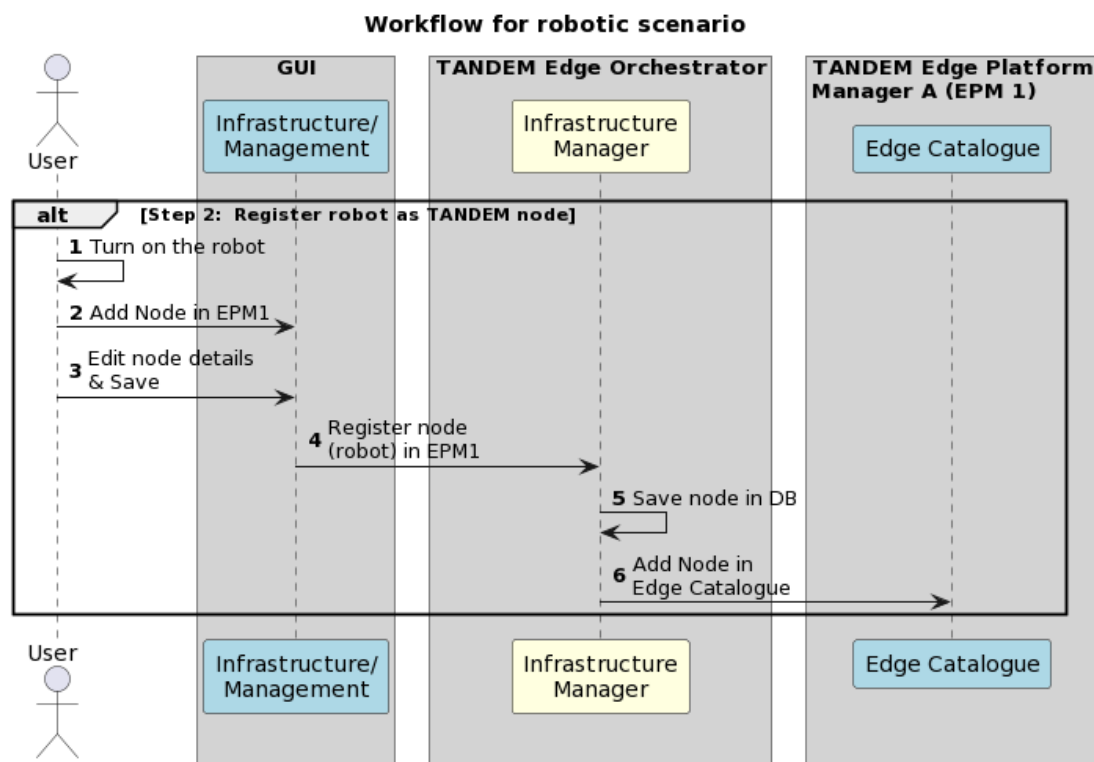
5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Διαγράμματα ροής για το σενάριο με το ρομπότ

Οι επόμενες εικόνες περιγράφουν αναλυτικά τα βήματα που εκτελούνται τόσο από τον χρήστη όσο και από τα επιμέρους συστατικά (components) του TANDEM για την υλοποίηση του σεναρίου χρήσης Βιομηχανίας 4.0, το οποίο περιγράφεται στο κεφάλαιο 2.3.4. Συγκεκριμένα, τα βήματα είναι τα εξής:

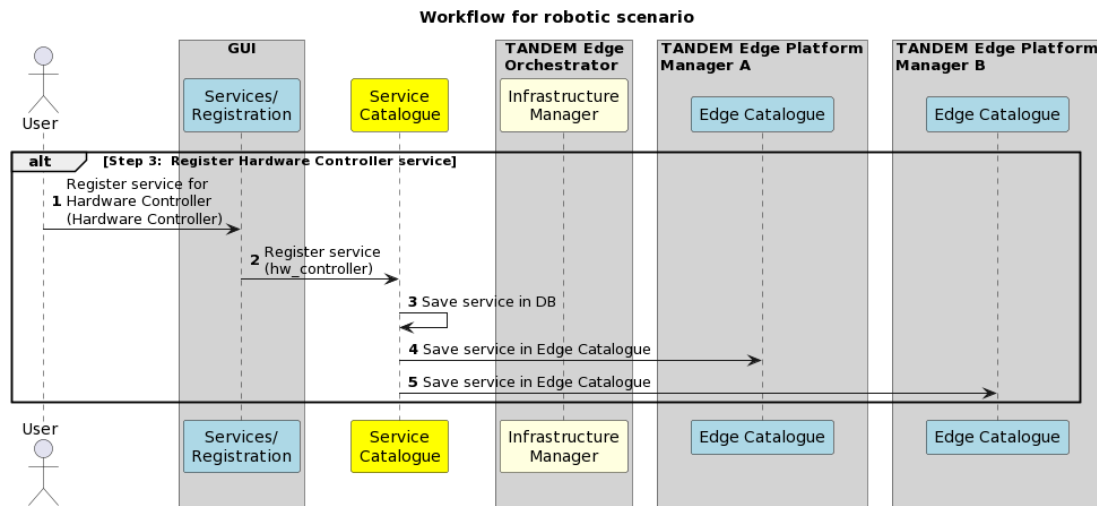
- **Βήμα 1:** Καταχώρηση υπηρεσίας Εκπαίδευσης Μοντέλου Αναγνώρισης Αντικειμένων (Εικόνα 15)
- **Βήμα 2:** Καταχώρηση Ρομπότ ως κόμβου TANDEM (Εικόνα 16)
- **Βήμα 3:** Καταχώρηση υπηρεσίας Διεπαφής Υλικού (Hardware Controller) (Εικόνα 17)
- **Βήμα 4:** Καταχώρηση υπηρεσίας Σχεδιασμού Κίνησης του βραχίονα (Motion Planning) (Εικόνα 18)
- **Βήμα 5:** Καταχώρηση υπηρεσίας Αναγνώρισης Αντικειμένων (για έλεγχο ποιότητας σε συσκευασίες αναψυκτικών) (Εικόνα 19)
- **Βήμα 6:** Καταχώρηση υπηρεσίας Pick and Place (Εικόνα 20)
- **Βήμα 7:** Δημιουργία προϊόντων από τις παραπάνω υπηρεσίες (Εικόνα 21)
- **Βήμα 8:** Δημιουργία της Αλυσίδας Υπηρεσιών (Service Chain) για το ρομπότ («Αναγνώριση Προβληματικών Συσκευασιών Αναψυκτικών») (Εικόνα 22)
- **Βήμα 9:** Έναρξη Robot Service Chain 1 - «Αναγνώριση Προβληματικών Συσκευασιών Αναψυκτικών» (Εικόνα 23)
- **Βήμα 10:** Καταχώρηση υπηρεσίας Αναγνώρισης αντικειμένων για διαχωρισμό φαρμάκων (Εικόνα 24)
- **Βήμα 11:** Έναρξη Robot Service Chain 2 - «Διαχωρισμός Συσκευασιών Φαρμάκων» (Εικόνα 25)
- **Βήμα 12:** Εκκίνηση του νέου Service Chain (Εικόνα 26)



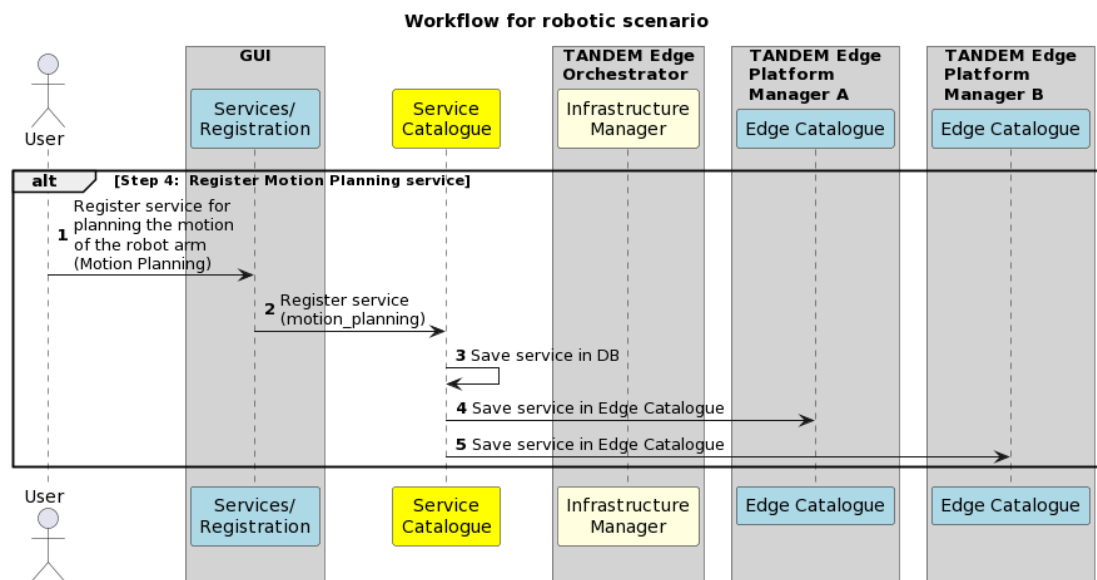
Εικόνα 15: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 1^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Εκπαίδευσης Μοντέλου Αναγνώρισης Αντικειμένων



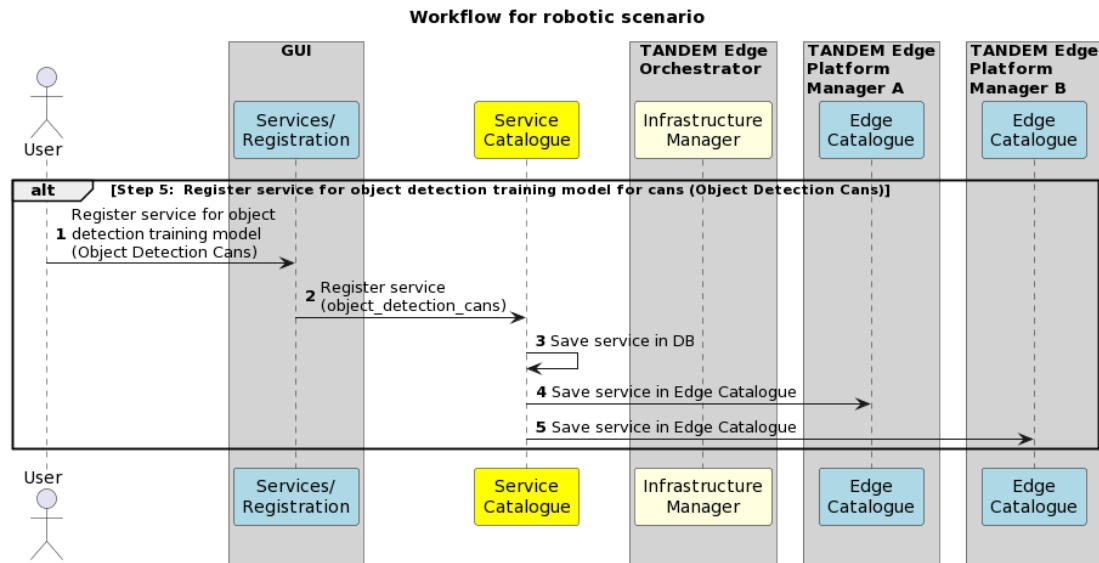
Εικόνα 16: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 2^ο - Καταχώρηση Ρομπότ ως κόμβου TANDEM



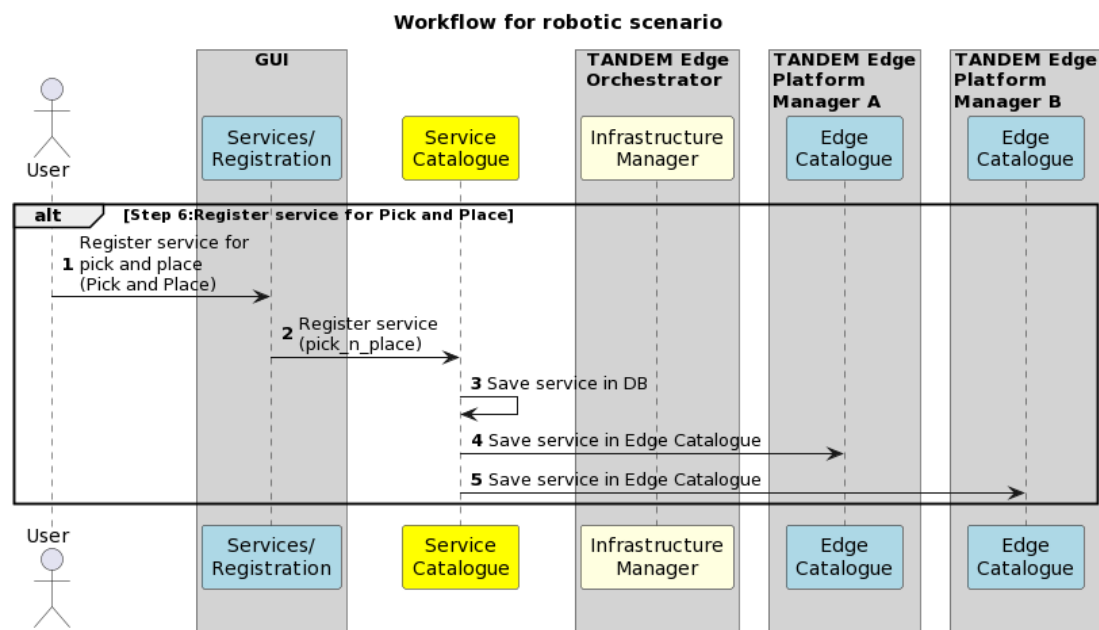
Εικόνα 17: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 3^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Διεπαφής Υλικού (Hardware Controller)



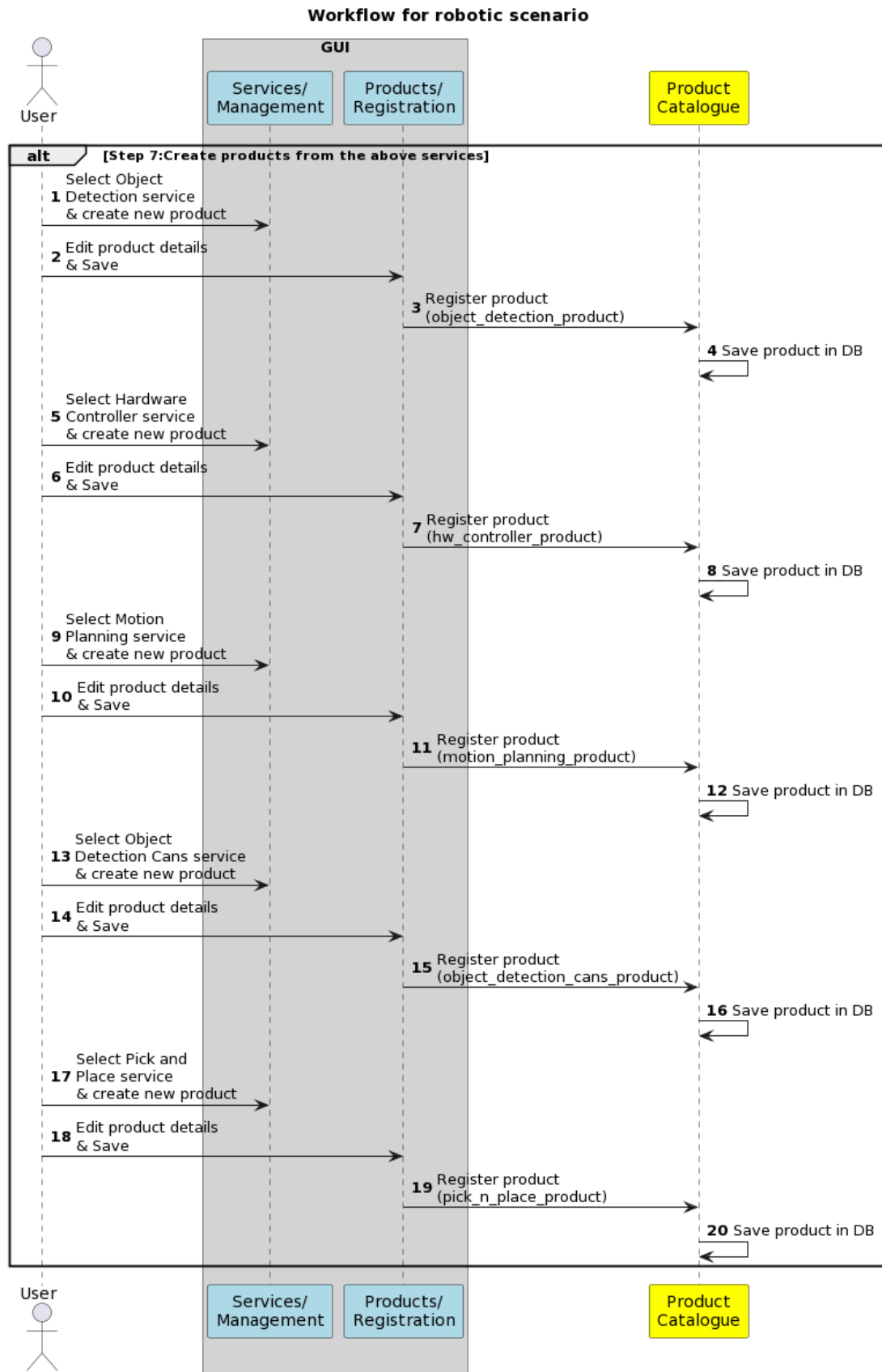
Εικόνα 18: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 4^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Σχεδιασμού Κίνησης του βραχίονα (Motion Planning)



Εικόνα 19: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 5^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Αναγνώρισης Αντικειμένων (για έλεγχο ποιότητας σε συσκευασίες αναψυκτικών)

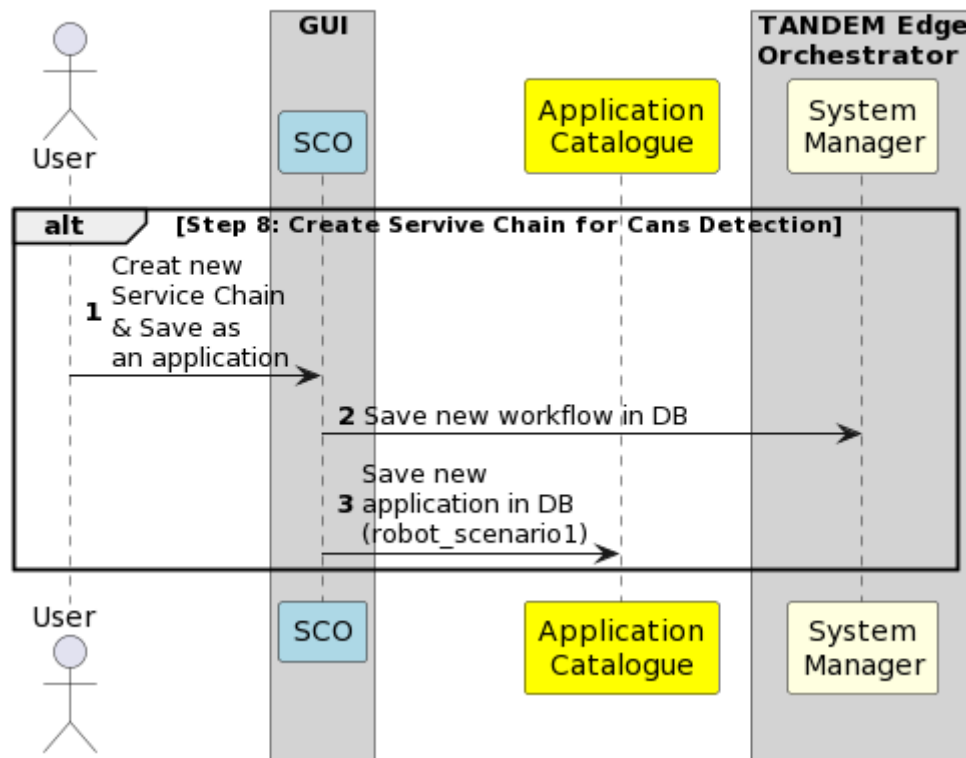


Εικόνα 20: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 6^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Pick and Place

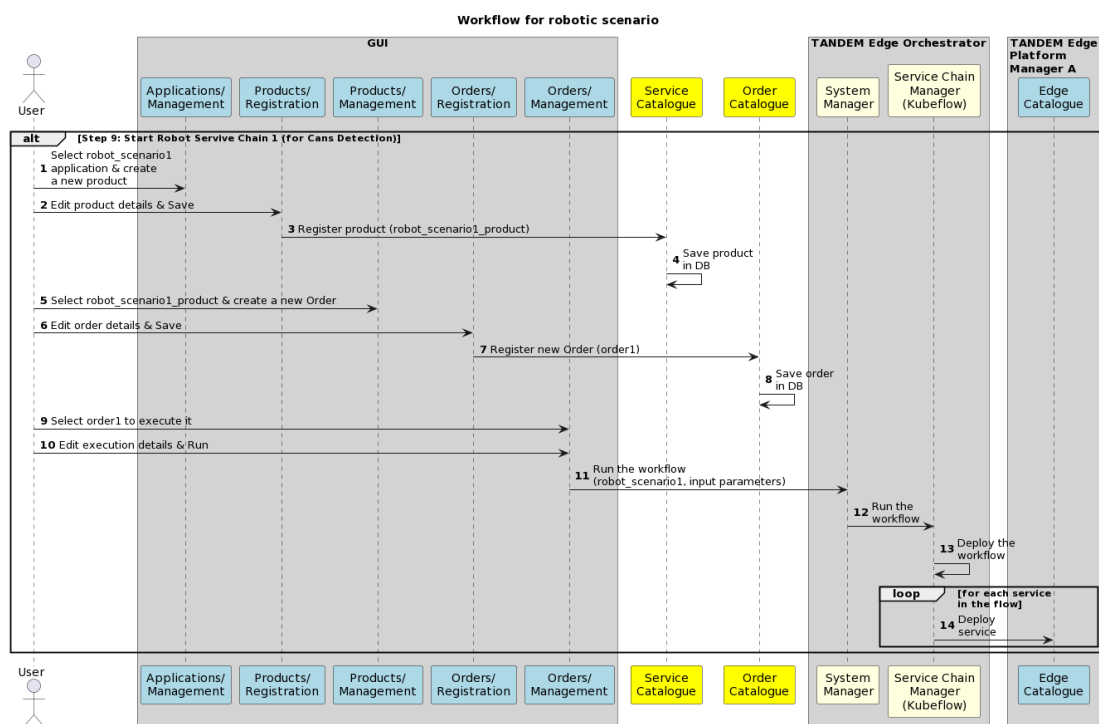


Εικόνα 21: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 7ο - Δημιουργία προϊόντων από τις παραπάνω υπηρεσίες

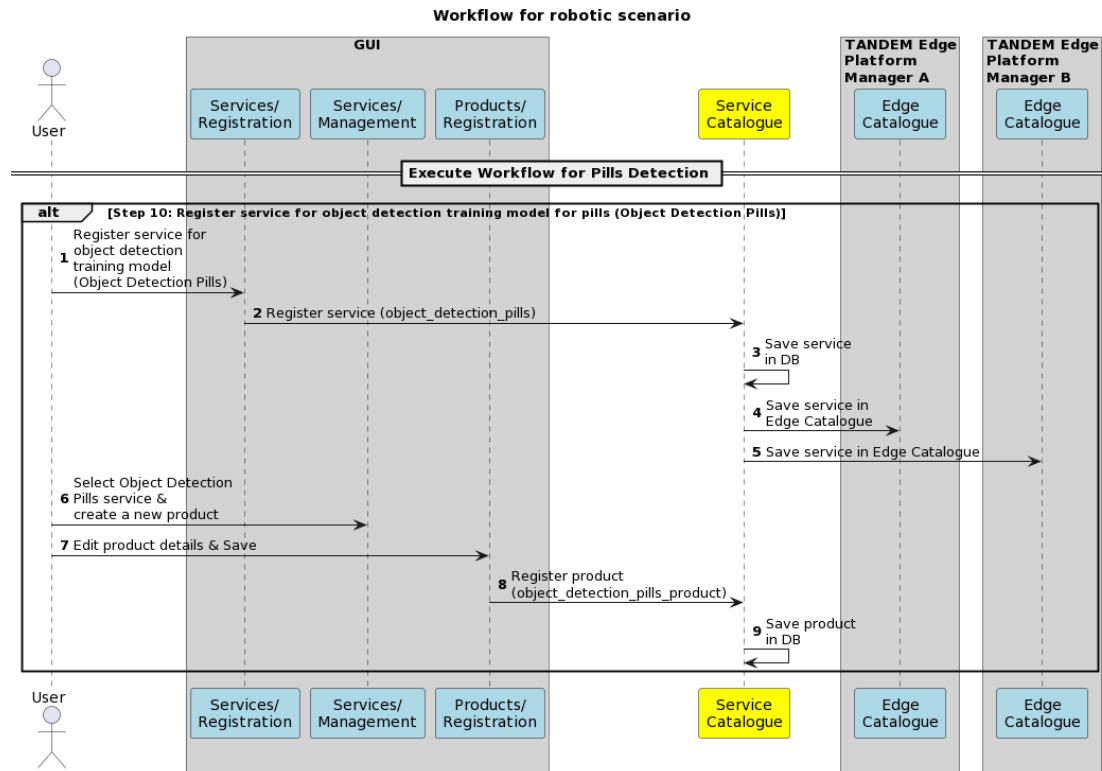
Workflow for robotic scenario



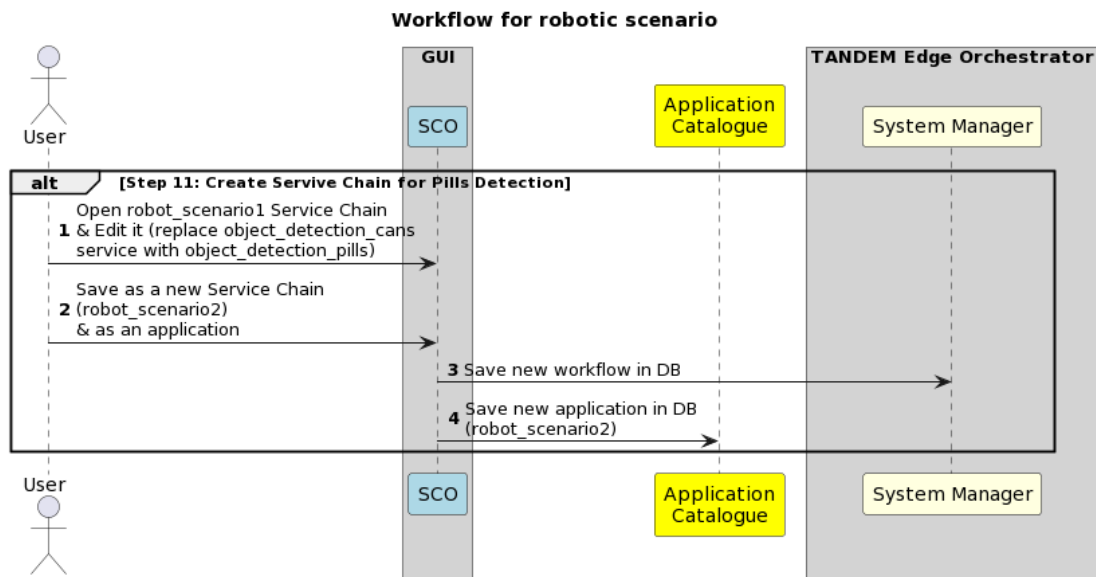
Εικόνα 22: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 8^ο - Δημιουργία της Αλυσίδας Υπηρεσιών (Service Chain) για το ρομπότ («Αναγνώριση Προβληματικών Συσκευασιών Αναψυκτικών»)



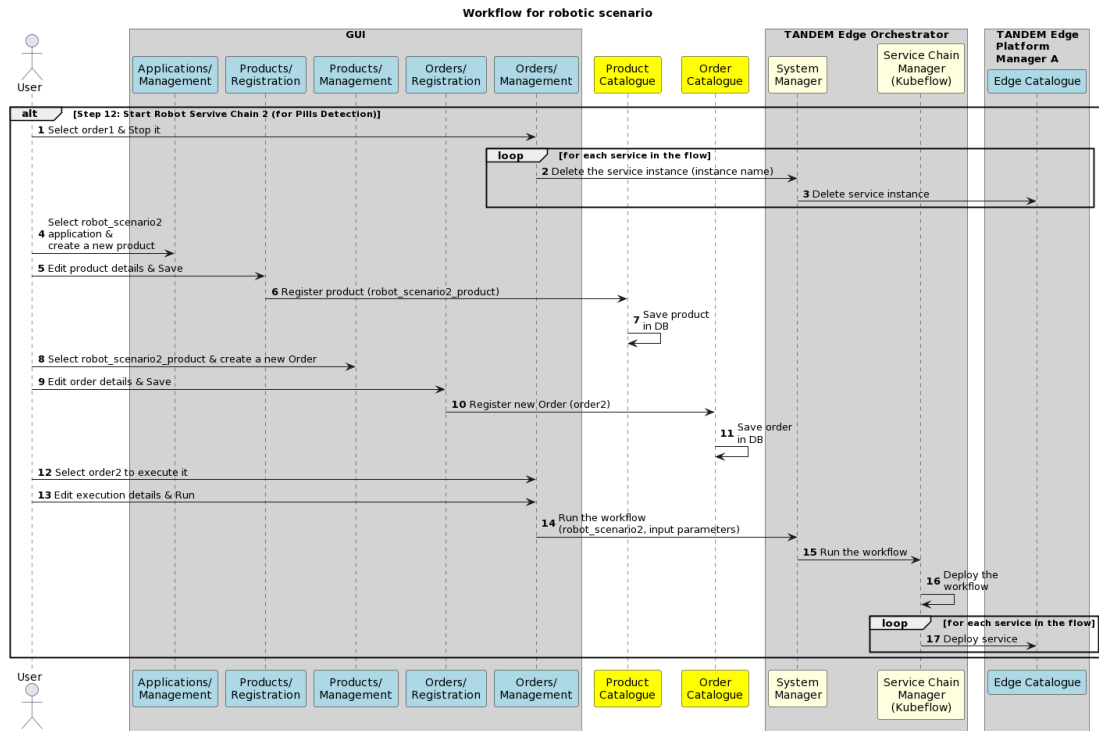
Εικόνα 23: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 9^ο - Έναρξη Robot Service Chain 1 «Αναγνώριση Προβληματικών Συσκευασιών Αναψυκτικών»



Εικόνα 24: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 10^ο - Καταχώρηση υπηρεσίας Αναγνώρισης αντικειμένων για διαχωρισμό φαρμάκων



Εικόνα 25: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 11^ο – Δημιουργία Robot Service Chain 2 («Διαχωρισμός Συσκευασιών Φαρμάκων»)



Εικόνα 26: Σενάριο Βιομηχανίας 4.0, Βήμα 12^ο - Εκκίνηση του νέου Service Chain

6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – Ρομποτική: Μοντέλα και Λογισμικό

Το παράρτημα αυτό παρουσιάζει στοιχεία της μελέτης για μοντέλα ρομπότς και το Λειτουργικό Σύστημα **Robots Operating System (ROS)** που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Βιομηχανικού Σεναρίου Χρήσης του έργου.

6.1 Κριτήρια επιλογής μοντέλου ρομπότ

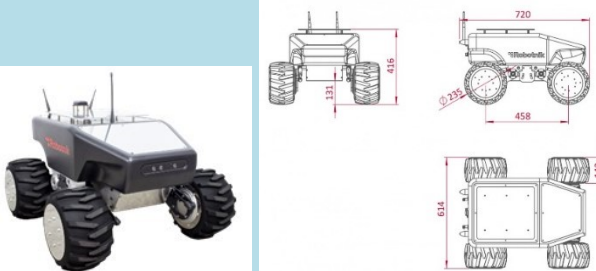
6.2 Χαρακτηριστικά Μοντέλου ρομπότ που επιλέχθηκε

Ονομασία	LOCOBOT WX200		
Τύπος	- Αυτοκινούμενο - Βραχίονας	Σενάρια Χρήσης - Research - Mapping and Navigation - Manipulation	
Χαρακτηριστικά	Βάρος = ~5 (Kg)	- HEIGHT 63cm - WIDTH 63cm - LENGTH 63cm	
Δυνατότητες Βάσης	- Ταχύτητα = 3 (m/s) - Θερμοκρασιακό Εύρος = 0 – 50 °C	Payload = 2 (Kg)	Αυτονομία = 90 minutes
Δυνατότητες Βραχίονα	Βαθμοί Ελευθερίας = 5	- Payload: 200g - Έκταση Βραχίονα: 550mm	Αυτονομία = 4 hours
Κινητήρες	- two drive wheels - caster wheel		
Επεξεργαστής	8th Gen Intel Dual-Core i3	8GB DDR4 Ram 240GB Solid State Drive	Intel Iris Plus Graphics 655
Επικοινωνία	WiFi 802.11n	Bluetooth 5.0	Gigabit Ethernet
Θύρες	Εσωτερική Διασύνδεση: USB, Ethernet, serial, ttl	Εξωτερική Διασύνδεση: USB, hdmi, Thunderbolt 3	Card Reader
Hardware	- iRobot create3 - wx200 arm	Intel NUC NUC8i3BEH Mini PC	DYNAMIXEL 2XL servo motors

		MAXOAK K2 50,000mAh Power Bank	
Αισθητήρες	Intel® RealSense™ Depth Camera D435	RPLIDAR A2M8 360° Laser Range Scanner	- Bump sensor - IR distance sensors
Λειτουργικό Σύστημα	Ubuntu 20.04	ROS Noetic	

6.3 Πίνακες με χαρακτηριστικά άλλων υποψήφιων μοντέλων ρομπότς

Ονομασία	NIRYO/ Ned		
Τύπος	Ρομποτικός βραχίονας	Σενάρια Χρήσης Industry 4.0 with Production Belts {Pick & Pack , Pick & Place}	
Χαρακτηριστικά	Βάρος = 6,5 (Kg)	Τροφοδοσία 11,1V/ 6A	Υλικό Κατασκ. Αλουμίνιο
Δυνατότητες	- Άξονες: 6 - Ακρίβεια 0,5(mm)	Payload = 300(g)	Μεγ.Έκταση 440(mm)
Επεξεργαστής	ARM V8.0	2 Gb RAM	
Επικοινωνία	- Ethernet 1 (Gb/s) - USB	WiFi 2,4 GHz & 5 GHz	Bluetooth 5.0 BLE
Θύρες	1 Ethernet	2 USB 3.0	2 USB 2.0
Interfaces	- Windows - APIs	MacOS	Linux
Hardware	- Raspberry Pi 4.0 1x Dynapixel XL – 320	3x Niryo Steppers	2x Dynapixel XL – 430
Αισθητήρες	Collision Detection	On-Wrist Camera	
Λειτουργικό Σύστημα	Ubuntu 18.04	ROS Melodic	

Ονομασία	ROBOTNIK/ Summit-XL			
Τύπος	Αυτοκινούμενο Ρομπότ Εσωτερικού/ Εξωτερικού Χώρου	• Surveillance • Military • Dangerous Areas		
Χαρακτηριστικά	• Βάρος = 65 (Kg)	• Τροφοδοσία Μπαταρίες LiFePO4 15Ah@48V		
Δυνατότητες	• Ταχύτητα = 3 (m/s) • Θερμοκρασιακό Εύρος = 0 – 50 °C	• Payload = 65 (Kg)	• Αυτονομία = 10 (Hr)	
Κινητήρες	• Πρόσφυση = 4 ρόδες βαρέως τύπου	• 4 x 500 W ΣέρβοΚινητήρες Χωρίς Ψύκτρες	• Μέγιστη Κλίση = 80%	
Επεξεργαστής	• Open Architecture ROS			
Επικοινωνία	• WiFi 802.11n			
Θύρες	• Εσωτερική Διασύνδεση: USB, RS232, GPIO	• Εξωτερική Διασύνδεση: USB, RJ45, 12 VDC		
Interfaces	• Windows • APIs	• MacOS	• Linux	
Hardware				
Αισθητήρες	• Lasers • Gyro 3D	• Acceleration 3D • Magnetic field 3D	• PTZ Camera • GPS • 3D Depth Camera	
Λειτουργικό Σύστημα	• Ubuntu 18.04	• ROS Melodic		
Ράδιο-Επικοινωνία	• Υπάρχουν έξι(6) κανάλια	• “Take-Over” mode/ σε περίπτωση απώλειας		

		επικοινωνίας με βάση	
--	--	-------------------------	--

ROBOTNIK/ XL-GEN

Ονομασία	ROBOTNIK/ XL-GEN		
Τύπος	Αυτοκινούμενο Βραχίονας	Σενάρια Χρήσης • Αποθήκες/ Logistics • Bomb Disposal • Dangerous Areas	
Χαρακτηριστικά	• Βάρος = 50 (Kg)	• Τροφοδοσία Μπαταρίες LiFePO4 15Ah@24V	
Δυνατότητες	• Ταχύτητα = 3 (m/s) • Θερμοκρασιακό Εύρος = 0 – 50 °C	• Payload = 15 (Kg)	• Αυτονομία = 5-10 (Hr)
Δυνατότητες Βραχίονα	• Βαθμοί Ελευθερίας = 6 ή 7	• Payload @ 6 DoF = 2,6 (Kg) • Έκταση Βραχίονα @ 6 DoF = 900 (mm)	• Payload @ 7 DoF = 2,4 (Kg) • Έκταση Βραχίονα @ 7 DoF = 984 (mm)
Κινητήρες	• Πρόσφυση = 4 ρόδες βαρέως τύπου	• 4 x 250 W ΣέρβοΚινητήρες Χωρίς Ψύκτρες	• Μέγιστη Κλίση = 80%
Επεξεργαστής	• Open Architecture ROS		
Επικοινωνία	• WiFi 802.11n		
Θύρες	• Εσωτερική Διασύνδεση: USB, RS232, GPIO	• Εξωτερική Διασύνδεση: USB, RJ45, 12 VDC	
Interfaces	• Windows • APIs	• MacOS	• Linux
Hardware			

Αισθητήρες	- Lasers - Gyro 3D - Βραχίονας Εξαιρετικά Ελαφριάς Κατασκευής	- Acceleration 3D - Magnetic field 3D	- PTZ Camera - GPS 3D Depth Camera
Λειτουργικό Σύστημα	Ubuntu 18.04	ROS Melodic	
Ράδιο-Επικοινωνία	Υπάρχουν έξι(6) κανάλια	“Take-Over” mode/ σε περίπτωση απώλειας επικοινωνίας με βάση	

PAL Robotics/ TALOS

Ονομασία	PAL Robotics/ TALOS		
Τύπος	Ανδροειδές Εσωτερικού χώρου	Σενάρια Χρήσης - Human-Robot Interaction - Torque Control - Multi-contact motion planning - Dynamic Walking - Trajectory Optimization	
Χαρακτηριστικά	Βάρος = 95(Kg)	Τροφοδοσία = Μπαταρίες LiFePO4 15Ah@24V	Ύψος = 175 (cm)
Δυνατότητες	Αυτονομία = 1,5 – 3 (Hr)	Payload = 6 (Kg)	
Λειτουργικό Σύστημα	Ubuntu 18.04	ROS Melodic	Movelt

HUSARION/ ROSBot 2.0 PRO

Ονομασία	HUSARION/ ROSBot 2.0 PRO			
Τύπος	Αυτοκινούμενο Εσωτερικού χώρου	Σενάρια Χρήσης - logistics robots - inspection robots - custom service robots		
Χαρακτηριστικά	Τροφοδοσία = Μπαταρίες Li-on 3 x 3500 mAh			
Κινητήρες	Πρόσφυση = 4 ρόδες	DC-Motors		
Επεξεργαστής	- Open Architecture ROS - Memory: 4 GB DDR3L	CPU: Intel Atom x5, Quad Core, 1.92 GHz		GPU: Intel HD 400
Αισθητήρες	- RGB κάμερα - Laser Scanner	Accelerometer + Gyro		Distance Sensor

6.4 Ενημέρωση για Εγκατάσταση, Βασικές Έννοιες και Αλληλεπίδραση με ROS

6.4.1 Εγκατάσταση

Η εγκατάσταση του Core-ROS σε περιβάλλον Ubuntu γίνεται με την εκτέλεση της εντολής *install* στην κονσόλα ενός ρομπότ:

- `sudo apt-get install ros-indigo-desktop-full`

Μετά το βασικό σύστημα μπορεί να γίνει εγκατάσταση επιπλέον πακέτων (για παράδειγμα, το turtlesim - εργαλείο προσομοίωσης και εκμάθησης του ROS) στην κονσόλα ενός ρομπότ, με τον παρακάτω τρόπο:

- `sudo apt-get install ros-indigo-turtlesim`

6.4.2 Ο ρόλος των πακέτων στο ROS

Όλο το σύστημα της πλατφόρμας ROS είναι δομημένο σε πακέτα για να επιτυγχάνεται η διακριτότητα ανάμεσα σε διαφορετικές λειτουργίες. Το ROS διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό από υπηρεσίες και εργαλεία που το καθένα βρίσκεται στο δικό του πακέτο. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει μία λίστα με όλα τα διαθέσιμα πακέτα, να ζητήσει πληροφορίες για κάποια συγκεκριμένα και στο τέλος να εγκαταστήσει αυτά που τον ενδιαφέρουν:

- `rospack list`

- `rospack find <string-to-search>`

6.4.3 Ο ρόλος των εφαρμογών στο ROS

Σημαντικό χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου μετά-λειτουργικού συστήματος είναι η «εκτέλεση» κώδικα του χρήστη σε ρομποτικά περιβάλλοντα. Στο ROS ακολουθείται μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική που «κατακερματίζει» την εφαρμογή σε μικρά ανεξάρτητα προγράμματα, που λέγονται *κόμβοι (Nodes)* και τρέχουν την ίδια χρονική στιγμή. Για να μπορέσει να λειτουργήσει αυτή η κατανεμημένη δομή είναι απαραίτητος ένας μηχανισμός ανταλλαγής μηνυμάτων. Η συνιστώσα του ROS που εξασφαλίζει αυτή την ανάγκη λέγεται *ROS-Master*. Η εκκίνηση του μηχανισμού επικοινωνίας, γίνεται με την εντολή:

- `Roscore`

6.4.4 Ο ρόλος των κόμβων (Nodes) στο ROS

Αφού δομηθεί μία εφαρμογή σε μικρά προγράμματα, το επόμενο βήμα είναι η εκτέλεση τους. Κάθε μικρο-υλοποίηση που τρέχει σε ρομποτικό περιβάλλον λέγεται *κόμβος (Node)*. Η εκκίνηση της λειτουργίας ενός κόμβου γίνεται με την εντολή:

- `roslaunch <package-name> <executable-name>`

Για την επόπτευση των κόμβων που τρέχουν σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή και για την λήψη πληροφοριών για κάποιο συγκεκριμένο, χρησιμοποιούνται οι εντολές:

- `roslaunch list`
- `roslaunch info <node-name>`

Η τελευταία εντολή στο κύκλο ζωής ενός κόμβου, όταν έχει ολοκληρώσει το έργο του, είναι ο τερματισμός του:

- `roslaunch kill <node-name>`

6.4.5 Τρόποι επικοινωνίας των κόμβων μεταξύ τους – Ο ρόλος των μηνυμάτων (Messages):

Όπως συμβαίνει σε κάθε κατανεμημένη υλοποίηση το κυρίαρχο εργαλείο για να επικοινωνήσει η μία οντότητα με μία άλλη είναι τα μηνύματα. Το ROS αναλαμβάνει τη διαμεταγωγή αυτών των μηνυμάτων από τον αποστολέα στο παραλήπτη. Για το διαχωρισμό των μηνυμάτων ορίζονται θεματικές ενότητες (*Topics*). Ο κόμβος που έχει κάτι να πει θα κάνει δημοσίευση (*Publish*) ενός μηνύματος σε ένα θέμα. Αντίθετα, ο κόμβος που θέλει να ενημερωθεί θα γίνει συνδρομητής (*Subscriber*) στο ίδιο θέμα και θα λάβει οποιαδήποτε σχετική δημοσίευση.

6.4.6 Τα χαρακτηριστικά των μηνυμάτων

Το ROS παρέχει πολλά εργαλεία για τη διαχείριση των μηνυμάτων. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει μία λίστα με όλα τα ενεργά θέματα και να τυπώνει στη κονσόλα τα μηνύματα σε ένα θέμα:

- `rostopic list`
- `rostopic echo <topic-name>`

Επίσης, για λόγους εύρεσης αδυναμιών (debug) στις εφαρμογές ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ελέγχει το ρυθμό που ανταλλάσσονται μηνύματα και πόσο bytes καταναλώνονται:

- *rostopic hz <topic-name>*
- *rostopic bw <topic-name>*

Για την εμφάνιση πληροφοριών σχετικά με ένα θέμα, όπως πόσοι κόμβοι δημοσιεύουν και πόσοι είναι subscribers, χρησιμοποιείται η εντολή:

- *rostopic info <topic-name>*

Η πιο σημαντική πληροφορία που παρέχει η παραπάνω εντολή είναι το είδος του μηνύματος (message-type). Για παράδειγμα:

- *Type: turtlesim/color_sensor*

Κάθε Message-Type αποτελείται από πεδία που το καθορίζουν. Για παράδειγμα:

- *rosmmsg show <message-type-name>*
- *rosmmsg show color_sensor*
- *uint8 r*
- *uint8 g*
- *uint8 b*
- *rosmmsg show geometry_msgs/Vector3_linear*
- *uint8*
- *uint8*
- *uint8*

6.4.7 Δημοσίευση μηνυμάτων από την κονσόλα

Το ROS προσφέρει εργαλεία για την αποστολή μηνυμάτων σε μία θεματολογία από τη κονσόλα του ρομπότ:

- *rostopic pub -r <rate-in-hz> <topic-name> <message-type> <content>*

6.4.8 Ανάπτυξη ROS-Εφαρμογών

Παρέχονται όλα τα εργαλεία στο χρήστη για την εξέλιξη του κώδικα του. Αρχικά δημιουργείται ένας χώρου εργασίας (*Workspace*). Πρόκειται για ένα υποκατάλογο στο εσωτερικό του οποίου τοποθετούνται τα αρχεία της εφαρμογής. Ο κώδικας συνήθως είναι γραμμένος σε C και βρίσκεται στο `"/src"`.

Κάθε εφαρμογή για λόγους διακριτότητας συνδέεται με ένα πακέτο που είναι αποκλειστικά δικό της. Η διαχείριση αυτών των πακέτων γίνεται από το ROS:

- *catkin_create_pkg <package-name>*

Ο κώδικας γράφεται σε γλώσσα προγραμματισμού C και συνοδεύεται από δύο σημαντικά αρχεία: **package.xml** και **CMakeLists.txt**. Το πρώτο αρχείο .XML περιλαμβάνει πληροφορίες

σχετικά με το πακέτο που θα δημιουργηθεί αποκλειστικά για την εφαρμογή. Το CMakeLists.txt είναι αντίστοιχο του Makefile με τροποποιήσεις για χρήση σε Βιομηχανικές εφαρμογές. Αποτελείται από οδηγίες διατυπωμένες σε διαδοχικά βήματα για το Build, Run, Clean και άλλες φάσεις στο κύκλο ζωής της εφαρμογής.

Όταν ολοκληρωθεί η συγγραφή του κώδικα και γίνουν οι απαραίτητες αλλαγές στα manifestation αρχεία για τα προαπαιτούμενα σε βοηθητικές βιβλιοθήκες, ακολουθεί το χτίσιμο της εφαρμογής (*Build*):

- *catkin_make*

Η παραπάνω εντολή δημιουργεί ένα script-αρχείο με το χαρακτηριστικό όνομα “setup.bash” για την προετοιμασία του συστήματος να υποδεχθεί την καινούργια εφαρμογή. Τελικά γίνεται η εκτέλεση της εφαρμογής:

- *roslun <package-name> <executable-name>*

Μία βασική εφαρμογή που περιλαμβάνει απαραίτητο κώδικα για ποιο σύνθετα σενάρια χρήσης ρομπότ είναι αυτή που ορίζει δύο κόμβους:

- Αυτός που δημοσιεύει μηνύματα (Publisher) – ορίζεται συνήθως ένας επαναληπτικός μηχανισμός για να αποσταλούν περισσότερα από ένα μηνύματα. Αποτελεί καλή πρακτική ο ορισμός ενός ρυθμού αποστολής που δεν επιβαρύνει σημαντικά τη λειτουργία του ROS.
- Αυτός που καταναλώνει μηνύματα (Subscriber). Επειδή η επικοινωνία δεν είναι απευθείας αλλά ενημερώνεται από το ROS για την ύπαρξη καινούργιων μηνυμάτων σε θέματα που τον ενδιαφέρουν, ο συνδρομητής βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής.

6.4.9 Log Messages

- Το ROS παρέχει ένα μηχανισμό LOGGING στις ενεργές εφαρμογές. Υπάρχουν πέντε(5) επίπεδα αύξουσας σημασίας για την κατάταξη μίας ενημέρωσης προς το χρήστη: DEBUG, INFO, WARN, ERROR, FATAL.
- Για την διευκόλυνση των εφαρμογών στην αποστολή μηνυμάτων υπάρχουν έτοιμες συναρτήσεις όπως: ROS_DEBUG_STREAM(), ROS_ERROR_STREAM(), κ.α.
- Υπάρχουν τρία (3) σημεία που μπορούν να σταλούν οι ειδοποιήσεις: Κονσόλα, ROS-Message-Bus, Αρχεία (.log)

6.4.10 Τρόποι Συσχέτισης ROS & Docker

6.4.10.1 Διαδικασία

Προαπαιτούμενο είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος Linux που έχει εγκατεστημένο ένα Docker-Engine. Στον επίσημο διανομέα Docker-Hub προσφέρεται για ελεύθερη χρήση το επίσημο ROS-Image (https://hub.docker.com/_/ros).

Όπως συμβαίνει σε όλες τις υπηρεσίες που υλοποιούνται σε περιβάλλον Docker αρχικά γίνεται η μεταφορά του κατάλληλου Image από το Docker-Hub στο ρομπότ. Στη συνέχεια γίνεται η αξιοποίηση του μέσω της εντολής “docker run” με σκοπό τη δημιουργία μίας ζωντανής οντότητας που λέγεται Docker-Container. Συγκεκριμένα:

- *\$> docker pull ros*
- *\$> docker run -it ros*

Με αυτή την ακολουθία βημάτων ο χρήστης δημιουργεί έναν «απομονωμένο» χώρο που είναι εγκατεστημένα όλα τα απαραίτητα εργαλεία για να τρέξει το μετά-λειτουργικό σύστημα ROS. Το επόμενο βήμα είναι να «εισέλθει» σε αυτό το χώρο και να τρέξει τις κατάλληλες εντολές που θα ενεργοποιήσουν το ROS:

- *\$> docker exec -it <ros-container-name> bash*
- *ros-container\$> source ros_entrypoint.sh*

Ο χρήστης βρίσκεται στο τελικό στάδιο της διαδικασίας αφού έχει εγκατασταθεί ο Container στο ρομπότ και το μετά-λειτουργικό ROS έχει εκκινήσει και είναι έτοιμο για αιτήματα, επιστρέφοντας μία λίστα από όλα τα θέματα που έχουν δημιουργηθεί στο “roscore” message-engine.

- *ros-container\$>ros2 topic list*

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα της περιγραφής του ROS, η αρχιτεκτονική που προωθεί το συγκεκριμένο μετά-λειτουργικό σύστημα είναι η υλοποίηση μικρών προγραμμάτων που εκτελούν συγκεκριμένο έργο και συνεργάζονται για την παραγωγή του συνολικού. Αυτά τα προγράμματα στην ορολογία του ROS ονομάζονται κόμβοι (Nodes). Σε ένα πιο ολοκληρωμένο σενάριο στον Container που δημιουργείται δεν βρίσκεται μόνο το ROS αλλά και οι κόμβοι των οποίων η αλληλεπίδραση στηρίζεται στο “roscore”. Ο χρήστης συνεπώς εκτελεί κάποια nodes γραμμένα από τον ίδιο για να εκτελέσουν κάποιο χρήσιμο έργο στο ρομπότ.