



**ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Α.Π. :
Αθήνα,

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

**Προς
τα Μέλη ΔΕΠ της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ**

Π Ρ Ο Σ Κ Λ Η Σ Η

Παρακαλείστε να παρευρεθείτε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής που εκπόνησε στον Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, η Υποψήφια Διδάκτορας **κ. Αρετουλάκη Ελένη του Όθωνα**, Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ (Integrated Master).

Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί **την Τρίτη, 19 Μαρτίου, 2024 και ώρα 12.00 μ.μ.** διαδικτυακά στη διεύθυνση:

<https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3a1c2a9a0e3841469c92e8ae7e4ebe8647%40thread.tacv2/1709761168512?context=%7b%22Tid%22%3a%22075e0cb3-752a-4320-b3676d08b7918c40%22%2c%22Oid%22%3a%2297e4e9e2-c94e-479e-ba9c-cafe72d147c0%22%7d>

Το θέμα της Διδακτορικής της Διατριβής είναι:

Αγγλικός τίτλος: «An Innovative Supply Chain & Logistics Model for Tackling Humanitarian Crises with the Support of Internet of Things (IoT) Technologies and Unmanned Aerial Vehicles (drones)»

Ελληνικός τίτλος: «Ανάπτυξη Καινοτόμου Μοντέλου Μεταφορών και Εφοδιασμού για την Αντιμετώπιση Ανθρωπιστικών Κρίσεων με την Υποστήριξη Τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (drones)»

Ο Κοσμήτορας της Σχολής

Ioannis Antoniadis Ioannis Antoniadis
07.03.2024 20:13

Ι. Αντωνιάδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π



National Technical University of Athens
School of Mechanical Engineering

Section of Industrial Management and Operational Research

***An Innovative Supply Chain & Logistics Model for
Tackling Humanitarian Crises with the Support of
Internet of Things (IoT) Technologies and
Unmanned Aerial Vehicles (drones)***

Διδακτορική Διατριβή της

κ. Ελένης Αρετουλάκη

ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΜΠ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Σ. Πόνης, Καθ. ΕΜΠ (Επιβλέπων)

Κ. Κηρυττόπουλος, Καθ. ΕΜΠ

Ν. Παναγιώτου Καθ. ΕΜΠ

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθ. Σ. Πόνης, ΕΜΠ (επιβλέπων)

Καθ. Κ. Κηρυττόπουλος, ΕΜΠ

Καθ. Ν. Παναγιώτου, ΕΜΠ

Καθ. Ν. Καρακαπιλίδης, Παν. Πατρών

Καθ. Γ. Μέντζας, ΕΜΠ

Αν. Καθ. Α. Ρεντιζέλας, ΕΜΠ

Καθ. Δ. Φωλίνας, ΔΙΠΑΕ

ΑΘΗΝΑ, Μάρτιος 2024



PhD Thesis' Title & Abstract

PhD Thesis' Title: An Innovative Supply Chain & Logistics Model for Tackling Humanitarian Crises with the Support of Internet of Things (IoT) Technologies and Unmanned Aerial Vehicles (drones)

Abstract: Contemporary logistics networks, even under normal operating conditions are inherently faced with a plethora of issues, which become even more challenging in the event of disasters and emergencies, either disrupting existing networks by imposing additional pressure or requiring the creation of ad-hoc humanitarian logistics networks for disaster management, to relieve the affected areas and provide aid to the victims. Even though it is not possible to completely prevent all disasters, it is widely known that leveraging emerging digital technologies, including Unmanned Aerial Vehicles (drones), is able to transform humanitarian logistics operations deployed before, during and after the strike of a disaster. Nevertheless, despite their potential, academic literature has largely treated drones and digital technologies as separate entities, with little to no exploration into their interoperability within either the humanitarian logistics or technology-focused literature. This thesis embarks on a critical exploration of integrating drones and other digital technologies within humanitarian logistics frameworks, aiming to address the notable gap in research regarding how these technologies, while individually effective, have not been fully explored for their synergistic potential.

This thesis commences with a systematic literature review, thoroughly examining existing studies to connect theoretical insights with practical applications. The review reveals a fragmented approach to integrating digital technologies in humanitarian drone operations, advocating for standardizing drone usage and promoting their collaborative operation with other digital technologies. Based on this result, a novel framework is introduced, representing a significant advancement in tackling the identified research gap, aiming to improve application and scalability as well as setting the stage for subsequent research phases of the thesis.

This framework set the stage for the conceptualization of AIRDROP, an innovative holistic platform, designed to enhance humanitarian logistics efforts through a unified approach across all disaster stages, from mitigation and preparedness to response and recovery, and a wide spectrum of disaster types. AIRDROP was envisioned as an integrated solution that employs a suite of services tailored to address the multifaceted challenges of disaster management, leveraging the synergistic potential of Unmanned Aerial Vehicles alongside Unmanned Ground Vehicles, Unmanned Surface Vehicles, the Internet of Things, Big Data,



National Technical University of Athens School of Mechanical Engineering

Section of Industrial Management and Operational Research

Machine Learning, and other digital technologies.

Adopting a design science research strategy, complemented by empirical validation, the thesis meticulously navigates through the elicitation, specification, and validation of AIRDROP's requirements, marking a pivotal step towards its operationalization. Initially, through literature review and strategic consultations with industry experts, including collaborations with leading drone technology integrators, a list of 335 initial requirements is developed. This foundational phase aims at ensuring the envisioned platform's functionalities are not only innovative but also closely aligned with the nuanced demands of disaster management scenarios. The process of requirements specification involves distilling these insights into a structured document, which lays out in detail what AIRDROP should do (functional requirements) and how it should perform those functions (non-functional requirements), including considerations for usability, reliability, performance, and security. This document becomes the blueprint for the subsequent validation phase, which seeks to empirically assess the relevance, completeness, and priority of the identified requirements, using the MoSCoW (Must Have, Should Have, Could Have, Would Have) method. The validation phase employs a structured questionnaire, administered to a panel of 26 domain experts and potential users through Google Forms, yielding insightful feedback on the practicality and prioritization of the proposed requirements. Through rigorous statistical analysis, including Kruskal Wallis-H and Mann-Whitney U tests, the research distills the initial list down to a final set of 276 requirements.

Following the establishment of the final set of requirements, the thesis transitions towards the realization of the AIRDROP platform, focusing on the development of its architectural design. This critical step involves outlining AIRDROP's service operations and functional capabilities, detailing how these elements integrate within the broader context of disaster management. The technological infrastructure underpinning AIRDROP is explored, shedding light on the innovative digital technologies that facilitate seamless interoperability and enhance the platform's utility across various disaster scenarios. At the epicenter of this exploration lies the presentation of the PlantUML component diagrams, offering a visual representation of AIRDROP's structural composition and interaction flows.

Finally, the thesis delves into the intricate process of crafting User Interfaces for AIRDROP using Figma, emphasizing both its desktop and mobile applications for operational decision-makers and first responders, respectively. It showcases the platform's user-centric nature and how it is designed to support emergency service professionals by integrating a suite of operational tools that cater to various aspects of emergency management, including scenario modelling, resource allocation, incident reporting, and task coordination.



National Technical University of Athens
School of Mechanical Engineering

Section of Industrial Management and Operational Research

Conclusively, this PhD thesis lays the foundational groundwork for transforming AIRDROP from a novel conceptual model into a real-world applicable disaster management solution. Through this endeavor, it aims to significantly contribute to both academic discourse and practical disaster management strategies. Ultimately, it strives to pave new avenues for enhanced humanitarian aid interventions, significantly benefiting vulnerable communities affected by disasters.



ΤΙΤΛΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Τίτλος Διδακτορικής Διατριβής: Ανάπτυξη Καινοτόμου Μοντέλου Μεταφορών και Εφοδιασμού για την Αντιμετώπιση Ανθρωπιστικών Κρίσεων με την Υποστήριξη Τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (drones)

Περίληψη: Τα σύγχρονα εφοδιαστικά δίκτυα, ακόμα και σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας, αντιμετωπίζουν ισχυρές πιέσεις και έρχονται αντιμέτωπα με σημαντικές λειτουργικές προκλήσεις. Οι εν λόγω προκλήσεις γίνονται ακόμα πιο έντονες στην περίπτωση εμφάνισης μη αναμενόμενων γεγονότων, τα οποία είτε διασπούν (disrupt) τα υφιστάμενα εφοδιαστικά δίκτυα, είτε απαιτούν τη δημιουργία ad-hoc εφοδιαστικών δικτύων για την ανακούφιση πληγισίων περιοχών. Αν και δεν είναι δυνατόν να αποφευχθούν πλήρως όλες οι καταστροφές, είναι ευρέως γνωστό ότι η αξιοποίηση των αναδυόμενων Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), συμπεριλαμβανομένων των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones), είναι σε θέση να μετασχηματίσει τη Διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας Ανακούφισης Καταστροφών (ΔΑΚ). Ωστόσο, παρά τις δυνατότητές τους, η ακαδημαϊκή βιβλιογραφία αντιμετωπίζει σε μεγάλο βαθμό τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και τις ΤΠΕ ως ξεχωριστές οντότητες, χωρίς να διερευνάται η διαλειτουργικότητά τους, ούτε στην τεχνολογική βιβλιογραφία, αλλά ούτε και στη βιβλιογραφία της ΔΑΚ. Η παρούσα διατριβή διερευνά τη συνέργεια των μη επανδρωμένων αεροσκαφών με άλλες ΤΠΕ στη ΔΑΚ, με στόχο να αντιμετωπίσει το αξιοσημείωτο αυτό ερευνητικό κενό.

Η παρούσα διατριβή προσπαθεί αρχικά να καλύψει αυτό το ερευνητικό κενό μέσα από μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, εξετάζοντας διεξοδικά τις υπάρχουσες μελέτες και επιδιώκοντας να «γεφυρώσει» τη θεωρητική γνώση με πρακτικές εφαρμογές. Η ανασκόπηση αποκαλύπτει μια κατακερματισμένη προσέγγιση ενσωμάτωσης των μη επανδρωμένων αεροσκαφών με άλλες ΤΠΕ στη ΔΑΚ, γεγονός το οποίο υποστηρίζει την ανάγκη τυποποίησης της χρήσης τους και την προώθηση της συνεργατικής λειτουργίας τους με άλλες ΤΠΕ. Με βάση αυτό το αποτέλεσμα, παρουσιάζεται ένα καινοτόμο πλαίσιο, με στόχο την εδραίωση της εφαρμογής και της επεκτασιμότητάς τους, καθώς και τη δημιουργία θεμελίων για τις επόμενες ερευνητικές φάσεις της διατριβής.

Αυτό το πλαίσιο δημιούργησε τη βάση για τη σύλληψη της ιδέας ανάπτυξης της AIRDROP, μιας καινοτόμου ολιστικής πλατφόρμας, σχεδιασμένης για να ενισχύσει τις προσπάθειες της ΔΑΚ μέσω μιας προσέγγισης που αφορά σε όλα τα στάδια των καταστροφών, από τον μετριασμό (Mitigation) και την ετοιμότητα (Preparedness) έως την απόκριση (Response) και την ανάκαμψη (Recovery), και ένα ευρύ φάσμα τύπων καταστροφών. Πρόκειται για μια ολοκληρωμένη λύση που χρησιμοποιεί μια σουίτα υπηρεσιών προσαρμοσμένη για την αντιμετώπιση των πολύπλευρων προκλήσεων της ΔΑΚ, αξιοποιώντας τις συνέργειες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών παράλληλα με τα μη επανδρωμένα οχήματα εδάφους (Unmanned Ground Vehicles), τα μη επανδρωμένα οχήματα επιφανείας (Unmanned Surface Vehicles), το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things), τα μεγάλα δεδομένα (Big Data), τη μηχανική μάθηση (Machine Learning) και άλλες ΤΠΕ.



National Technical University of Athens School of Mechanical Engineering

Section of Industrial Management and Operational Research

Υιοθετώντας μια στρατηγική έρευνας βασισμένης στη σχεδίαση (Design Science Research), η οποία συμπληρώνεται από εμπειρική τεκμηρίωση (Empirical Validation), η διατριβή μεταβαίνει από τη θεωρητική διερεύνηση σε εφαρμόσιμα αποτελέσματα, αναλύοντας συστηματικά τις απαιτήσεις της πλατφόρμας (Requirements Engineering) μέσω μιας μεθοδικής διαδικασίας που περιλαμβάνει την εκμαίευση απαιτήσεων (Requirements Elicitation), τον προσδιορισμό απαιτήσεων (Requirements Specification) και την επακόλουθη τεκμηρίωσή τους (Requirements Validation). Αρχικά, αξιοποιώντας έρευνες από τη βιβλιογραφία αλλά και γνώσεις από εμπειρογνώμονες του κλάδου, αναπτύσσεται ένας κατάλογος 335 αρχικών απαιτήσεων. Αυτή η θεμελιώδης φάση αποσκοπεί να διασφαλίσει ότι οι λειτουργίες της πλατφόρμας δεν είναι μόνο καινοτόμες αλλά και στενά ευθυγραμμισμένες με τις διαφοροποιημένες απαιτήσεις των ποικίλων δυνατών σεναρίων ΔΑΚ. Η διαδικασία του προσδιορισμού των απαιτήσεων περιλαμβάνει την καταγραφή αυτών των απαιτήσεων σε ένα δομημένο έγγραφο, διακρίνοντάς τες σε λειτουργικές (Functional) και μη λειτουργικές (Non-Functional), συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων χρηστικότητας, αξιοπιστίας, απόδοσης και ασφαλείας. Η επόμενη φάση αποσκοπεί στην εμπειρική αξιολόγηση της συνάφειας και της πληρότητας και την προτεραιοποίηση των απαιτήσεων, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο MoSCoW (Must Have, Should Have, Could Have, Would Have). Στη φάση αυτή, γίνεται χρήση ενός δομημένου ερωτηματολογίου, το οποίο χορηγήθηκε σε μια ομάδα 26 εμπειρογνομόνων, καθώς και δυνητικών χρηστών της πλατφόρμας, μέσω Google Forms, αποσκοπώντας στην ανατροφοδότηση αναφορικά με την πρακτικότητα και την ιεράρχηση των προτεινόμενων απαιτήσεων. Μετά από στατιστική ανάλυση, συμπεριλαμβανομένων των στατιστικών τεστ Kruskal-Wallis H και Mann-Whitney U, η έρευνα περιορίζει τον αρχικό κατάλογο σε ένα τελικό σύνολο 276 απαιτήσεων. Η διαδικασία αυτή όχι μόνο μεταφράζει τη μέχρι στιγμής θεωρητική προσέγγιση σε μια βιώσιμη σχεδιαστική λύση, αλλά και αξιολογεί εμπειρικά τη σκοπιμότητα και τον αντίκτυπο της, θέτοντας έτσι σε λειτουργία τις προβλεπόμενες συνέργειες μεταξύ drones και ΤΠΕ.

Μετά τον καθορισμό του τελικού συνόλου απαιτήσεων, η διατριβή μεταβαίνει στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό (Architectural Design) της πλατφόρμας AIRDROP. Αυτό το κρίσιμο βήμα περιλαμβάνει τη σκιαγράφηση των λειτουργιών των υπηρεσιών και των λειτουργικών δυνατοτήτων της, περιγράφοντας λεπτομερώς τον τρόπο με τον οποίο τα δομικά στοιχεία της εντάσσονται στα ευρέα σενάρια διαχείρισης καταστροφών. Διερευνάται η τεχνολογική υποδομή που στηρίζει την AIRDROP, με έμφαση στις καινοτόμες ΤΠΕ που διευκολύνουν την απρόσκοπτη διαλειτουργικότητα των προδιαγραμμένων υπηρεσιών και συστημάτων και ενισχύουν τη χρησιμότητα της πλατφόρμας σε διάφορα σενάρια καταστροφών. Στο επίκεντρο αυτής της διερεύνησης, βρίσκεται η παρουσίαση των διαγραμμάτων συστατικών (Component Diagram) PlantUML, προσφέροντας μια οπτική αναπαράσταση της δομικής σύνθεσης και των ροών αλληλεπίδρασης κατά τη λειτουργία της AIRDROP.

Τέλος, η διατριβή εμβαθύνει στη διαδικασία δημιουργίας διεπαφών χρήστη (User Interfaces), χρήσει του εργαλείου Figma, δίνοντας έμφαση τόσο στη Διαδικτυακή Εφαρμογή (Web Application) που απευθύνεται στους υπεύθυνους λήψης επιχειρησιακών αποφάσεων κατά την εκτύλιξη καταστροφών, όσο και στην Κινητή Εφαρμογή (Mobile Application), που απευθύνεται στα μέλη της ομάδας άμεσης επέμβασης (First Responders). Παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο η πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει τους επαγγελματίες των



National Technical University of Athens School of Mechanical Engineering

Section of Industrial Management and Operational Research

υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης ενσωματώνοντας μια σειρά επιχειρησιακών εργαλείων που καλύπτουν διάφορες πτυχές της διαχείρισης έκτακτης ανάγκης, συμπεριλαμβανομένης της προσομοίωσης σεναρίων, της κατανομής πόρων, της αναφοράς συμβάντων και του συντονισμού εργασιών.

Συμπερασματικά, η παρούσα διδακτορική διατριβή θέτει τα θεμέλια για τη μετάβαση της πλατφόρμας AIRDROP από ένα καινοτόμο θεωρητικό μοντέλο σε μια βιώσιμη σχεδιαστική λύση ΔΑΚ. Μέσω αυτής της προσπάθειας, η διατριβή στοχεύει να συμβάλει σημαντικά τόσο στον ακαδημαϊκό διάλογο όσο και στις πρακτικές στρατηγικές ΔΑΚ, επιδιώκοντας να ανοίξει νέους δρόμους για βελτιωμένες παρεμβάσεις ανθρωπιστικής βοήθειας, ωφελώντας σημαντικά τις ευάλωτες κοινότητες που πλήττονται από καταστροφές.