

Εναέρια ρομποτική στην εκπαίδευση: Υπάρχουσα κατάσταση, δυνατότητες και προκλήσεις

Κουτρομάνος Γεώργιος

koutro@primedu.uoa.gr

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, ΕΚΠΑ

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, οι τεχνολογικές εξελίξεις στα πεδία της μηχανικής, της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών παρέχουν νέες ευκαιρίες και δυνατότητες αξιοποίησης της επίγειας, της υποβρύχιας και της εναέριας ρομποτικής στη διδασκαλία και τη μάθηση. Ειδικότερα, η εναέρια ρομποτική στην ερευνητική βιβλιογραφία έχει συνδεθεί με την αξιοποίηση των drones και άλλων υπάμενων συσκευών. Σκοπός της παρούσας εισήγησης είναι: α) να παρουσιάσει τις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις των τύπων και των χαρακτηριστικών των drones που μπορούν να αξιοποιηθούν στην εκπαίδευση, αλλά και των τεχνολογικών και εκπαιδευτικών τους δυνατοτήτων (π.χ., συναρμολόγηση, οπτικός προγραμματισμός, αυτόνομη πτήση, αισθητήρες), β) να συνοψίσει τα αποτελέσματα της μέχρι σήμερα ερευνητικής δραστηριότητας της χρήσης των drones στην εκπαίδευση, και γ) να αναδείξει τις μελλοντικές προκλήσεις που ανακύπτουν από την αξιοποίησή τους, σε συνδυασμό με αναδυόμενες τεχνολογίες (π.χ., Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Τεχνητή Νοημοσύνη, Φορετές τεχνολογίες).

Λέξεις κλειδιά: Εναέρια ρομποτική, Drones, Εκπαίδευση

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, οι τεχνολογικές εξελίξεις στα πεδία της μηχανικής, της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, οδήγησαν στη διαμόρφωση μιας νέας γενιάς ρομποτικής με εφαρμογές σε διάφορους κλάδους (Bogue, 2020). Αυτή διακρίνεται σε υποβρύχια, επίγεια και εναέρια (Rubio et al., 2019; Fulton, Edge, & Sattar, 2019). Στον χώρο της εκπαίδευσης, η επίγεια ρομποτική ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (Papert, 1993). Από τότε μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί διάφορα επίγεια ρομπότ (π.χ., Nao, Pepper, Bee-Bot, Mindstorms) των οποίων η χρήση τους στην εκπαίδευση έχει δείξει θετική επίδραση στη μάθηση, όπως για παράδειγμα στην αύξηση γνώσεων των μαθητών, στα κίνητρά τους και στην εμπλοκή τους για μάθηση, καθώς και στην ανάπτυξη διάφορων δεξιοτήτων (Anwar et al., 2019; Kyriazopoulos et al., 2021; Toh et al., 2016). Αντίθετα, με την επίγεια ρομποτική, η υποβρύχια στον χώρο της εκπαίδευσης ξεκίνησε προς τα τέλη της δεκαετίας του 2000. Παρά το γεγονός πως η αξιοποίησή της βρίσκεται σε σχετικά αρχικό στάδιο, τα μέχρι τώρα ερευνητικά δεδομένα δείχνουν αύξηση των κινήτρων των μαθητών, υψηλότερο επίπεδο ενδιαφέροντος, δημιουργικότητα, καθώς και ενεργή εμπλοκή (Bambasidis et al., 2021; Scaradozzi et al., 2019; Stolkin et al., 2007).

Όσον αφορά την εναέρια ρομποτική, αυτή ξεκίνησε να αξιοποιείται στην εκπαίδευση από τις αρχές της δεκαετίας του 2010. Η εναέρια ρομποτική συναντάται συνήθως με τη μορφή εναέριων ρομπότ που αποκαλούνται drones (Garonon & Razinkova, 2012) ή και με τη μορφή υπάμενων συσκευών (π.χ., Ornithopter). Διάφοροι ερευνητές αναφέρουν ότι τα drones έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά της επίγειας εκπαιδευτικής ρομποτικής, όπως επαναληψιμότητα, ευελιξία, ψηφιοποίηση, συμβατότητα, επεκτασιμότητα και διάρκεια (Chang et al., 2010; Pei & Nie, 2018). Αντιθέτως, οι Pei & Nie (2018) αναφέρουν ότι τα drones ανήκουν σε μια ειδική κατηγορία ρομπότ για την εκπαίδευση που έχουν

επιπρόσθετα χαρακτηριστικά και δυνατότητες σε σύγκριση με τα παραδοσιακά ρομπότ όπως τη δυνατότητα αυτόνομης πτήσης, συλλογής διάφορων εναέριων δεδομένων από το περιβάλλον μέσω των αισθητήρων που διαθέτουν και καταγραφή εικόνων και βίντεο μέσω της κάμερας που φέρουν (Carnahan et al., 2016), αλλά κυρίως της θέασης και της παρατήρησης από ψηλά (bird's-eye view). Σήμερα, έχουν κατασκευαστεί drones ειδικά για την εκπαίδευση και λόγω της συνεχούς μείωσης της τιμής τους αλλά κυρίως λόγω των νέων δυνατοτήτων που παρέχουν, τα καθιστούν ιδανικά εργαλεία στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής ρομποτικής, του STEAM αλλά και άλλων μαθημάτων με αποτέλεσμα να αναμένεται τα επόμενα χρόνια να αξιοποιηθούν σε μεγάλο βαθμό από εκπαιδευτικούς και μαθητές/τριες της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Σκοπός της παρούσας εισήγησης είναι να συνοψίσει, διαμέσου της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, την υπάρχουσα ερευνητική δραστηριότητα στην εναέρια ρομποτική στην εκπαίδευση και να παρουσιάσει τις τάσεις και τις προκλήσεις που αναδύονται μέσω της χρήσης της από τους εκπαιδευτικούς. Ειδικότερα, η παρούσα εισήγηση παρουσιάζει: α) τις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις των τύπων και των χαρακτηριστικών των drones που μπορούν να αξιοποιηθούν στην εκπαίδευση, αλλά και των τεχνολογικών και εκπαιδευτικών δυνατοτήτων, β) τα αποτελέσματα της μέχρι σήμερα ερευνητικής δραστηριότητας της χρήσης των drones στην εκπαίδευση και γ) τις μελλοντικές προκλήσεις που ανακύπτουν από την αξιοποίησή τους, σε συνδυασμό με αναδυόμενες τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, την Τεχνητή Νοημοσύνη και τις Φορητές Τεχνολογίες (Wearable technologies).

Ορισμοί

Τον όρο της εναέριας ρομποτικής τον εισήγαγε για πρώτη φορά το 1990 ο Robert C. Michelson (Feron & Johnson, 2008; Michelson, 2004) για να παρουσιάσει μια νέα για την τότε εποχή κατηγορία ευφών μικρών υπτάμενων μηχανών. Σύμφωνα με τους Feron & Johnson (2008) ένα εναέριο ρομπότ είναι ένα σύστημα ικανό για συνεχή πτήση χωρίς άμεσο ανθρώπινο έλεγχο και ικανό να εκτελεί μια συγκεκριμένη εργασία. Από τότε μέχρι σήμερα διατυπώθηκαν διάφοροι ορισμοί για την εναέρια ρομποτική με σκοπό να προσδιοριστούν με μεγαλύτερη σαφήνεια τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες που αυτή έχει. Για παράδειγμα, στη βιβλιογραφία σήμερα αποκαλούν το εναέριο ρομπότ ως «απομακρυσμένο σύστημα χειρισμού αεροσκάφους» (Remote Piloted Aircraft System - RPAS) (Dalamagkidis, 2014), «μη επανδρωμένο σύστημα αεροσκάφους» (Unmanned Aircraft System - UAS) (Dalamagkidis, 2014) και «μη επανδρωμένο εναέριο όχημα» (Unmanned Aerial Vehicle - UAV) (Arvrille et al., 2020; Fombuena, 2017). Ο όρος που τείνει να επικρατήσει είναι «μη επανδρωμένο σύστημα αεροσκάφους» (UAS) από τον FAA (Federal Aviation Administration) των ΗΠΑ. Αυτό ορίζεται ως «ένα αεροσκάφος του οποίου ο χειρισμός πραγματοποιείται χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση από μέσα ή επάνω στο ίδιο το αεροσκάφος» (FAA, 2021).

Από την άλλη, ο όρος που φαίνεται να έχει επικρατήσει ανεπίσημα με σκοπό να περιγράψει τα εναέρια ρομπότ είναι “drones”. Για τον όρο αυτό υπάρχουν διάφορες απόψεις. Κάποιες από αυτές αναφέρουν πως υιοθετήθηκε από ένα είδος μέλισσας, την “drone bee” (Perrelet, 1970). Άλλες αναφέρουν πως ο όρος προέρχεται από το ακρωνύμιο “D.R.O.N.E.” (Dynamic Remotely Operated Navigation Equipment - Δυναμικός Τηλεχειριζόμενος Εξοπλισμός Πλοήγησης) (Nurdin et al., 2019). Επιπρόσθετα, τα drones συναντώνται στη βιβλιογραφία ως «εναέρια drones» (aerial drones) (Santos et al., 2019; Miller & Nourbakhsh, 2016), «υπτάμενα ρομπότ» (flying robot) (Tomić & Haddadin, 2020), «εναέρια ρομπότ» (aerial robot) (Park et al., 2016), «αερομεταφερόμενα ρομπότ» (airborne robot) (Kim, 2013), «ρομποτικά αεροσκάφη» (robotic aircraft) (Abutalipov et al., 2016),

«ενσέρια μικροαεροσκάφη» (micro aerial vehicles) (Kumar & Michael, 2012), «τετρακόπτερα/τετραελικόπτερα» (quadcopter) (Allison, Bai, & Jayaraman, 2020), «τετραρότορα/τετράστροφα/τετρακινητήρια» (quadrotor) (Rojas Viloria et al., 2020). Αυτός ο μεγάλος αριθμός όρων οφείλεται στις διαφορετικές επιστήμες που ασχολούνται με το drone αλλά και στην οπτική που επιθυμεί να το προσεγγίσει η εκάστοτε έρευνα.

Drones για την εκπαίδευση: Είδη και βασικά χαρακτηριστικά τους

Ως προς τα είδη των drones, στην εκπαιδευτική βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται δυο είδη, τα πολυκόπτερα, αυτά δηλαδή που έχουν πολλούς έλικες (multirotor ή multi copter) και αυτά που έχουν σταθερά πτερύγια (fixed wing drones) (Boon, Drijfhout, & Tesfamichael, 2017). Ως πολυκόπτερα ονομάζονται τα drones που φέρουν έναν αριθμό μοτέρ και έλικες (≥ 2) (Vergouw et al., 2016). Ένας τύπος drone που ανήκει σε αυτή την κατηγορία είναι τα τετρακόπτερα (quad-rotor ή quad-copter drones) τα οποία αποτελούνται από τέσσερα μοτέρ και έλικες (rotors) (Vergouw et al., 2016). Αυτού του είδους τα drones, απαιτούν μικρό χώρο για την απογείωσή τους, αφού απογειώνονται κάθετα, είναι εύκολα στον χειρισμό τους και ανθεκτικά στη κατασκευή τους (Boon et al., 2017). Ως προς τον χώρο πτήσης, τα πολυκόπτερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον εσωτερικό χώρο μιας τάξης, ενός γυμναστηρίου αλλά και σε εξωτερικό χώρο, όπως στο προαύλιο ενός σχολείου. Από την άλλη πλευρά, τα drones σταθερών πτερύγων βασίζονται στα φτερά (wings) τους για να μπορέσουν να πετάξουν (Vergouw et al., 2016). Αυτά έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τα αεροπλάνα, απαιτούν δηλαδή χώρο για την απογείωσή τους, δεν είναι τόσο ευέλικτα στον χειρισμό τους όσο τα πολυκόπτερα αλλά είναι ικανά να καλύψουν ένα μεγάλο εύρος απόστασης. Λόγω των αυξημένων απαιτήσεων χώρου, θα χαρακτηρίζονταν κατάλληλα για εξωτερική χρήση, όπως σε ένα μεγάλης έκτασης προαύλιο σχολείου ή ένα υπαίθριο χώρο κατάλληλα διαμορφωμένο για απογείωση.

Τα drones που προορίζονται για εκπαιδευτικούς σκοπούς είναι διαθέσιμα σε δυο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν τα προ-κατασκευασμένα drones (Commercial-off-the-shelf drones) (Tezza & Andujar, 2019) που είναι έτοιμα για πτήση και στη δεύτερη ανήκουν τα drones που απαιτούν συναρμολόγηση από τον χρήστη, γνωστά ως πακέτο συναρμολόγησης drone (construction kit). Ενδεικτικά παραδείγματα προκατασκευασμένων drones για την εκπαίδευση είναι τα “DJI Ryze Tello for education”, “Makeblock Airblock for STEAM education” όπως και “Parrot mambo education”. Από την άλλη πλευρά, τα πακέτα συναρμολόγησης drone μοιάζουν με τα εκπαιδευτικά πακέτα συναρμολόγησης ρομπότ που επιτρέπουν στον χρήστη να πειραματιστεί και να δημιουργήσει διάφορες κατασκευές και σχέδια ενώ η χρήση τους στην εκπαίδευση έχει μελετηθεί εκτεταμένα μέσω των Lego NXT, Toobo, Gogo board (Ng & Cheng, 2019).

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των drones εστιάζουν στην κάμερα, στη δυνατότητα αυτόνομης πτήσης όπως και στο μεγάλο αριθμό αισθητήρων που φέρουν (Vergouw et al., 2016). Η κάμερα βρίσκεται είτε προεγκατεστημένη και δεν μπορεί να αφαιρεθεί ή υπάρχει υποδοχή ώστε ο χρήστης να επιλέξει όποτε επιθυμεί να την τοποθετήσει στο drone. Μέσω αυτής, ο χρήστης μπορεί να συλλέξει φωτογραφίες και βίντεο. Τα drones επίσης μπορούν να πετάξουν αυτόνομα. Αυτό μπορεί να γίνει είτε μέσω GPS συντεταγμένων, είτε μέσω προγραμματισμού του drone (βλ. επόμενη ενότητα). Επίσης τα drones φέρουν έναν αριθμό αισθητήρων. Μερικοί από αυτούς είναι απαραίτητοι για την εύρυθμη λειτουργία του (π.χ., αποφυγή εμποδίων), ενώ άλλοι συλλέγουν δεδομένα. Αυτά μπορεί να είναι ύψος, ταχύτητα, απόσταση, θερμοκρασία, βαρομετρική πίεση κ.ά. Τα δεδομένα αυτά προβάλλονται σε

πραγματικό χρόνο στο χειριστήριο του χρήστη, ή μπορεί να αποθηκευτούν για μετέπειτα επεξεργασία. Τα drones είναι επισκευάσιμα και αναβαθμίσιμα (Tripolitsiotis et al., 2017).

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι βασικό χαρακτηριστικό της σημερινής γενιάς drones που προορίζονται για την εκπαίδευση (π.χ., “DJI Ryze Tello for education”, “Makeblock Airblock for STEAM education” όπως και “Parrot mambo education”) είναι ο μικρός σχετικά χρόνος διάρκειας της μπαταρίας τους. Η μέση διάρκεια πτήσης κυμαίνεται από 8-15 λεπτά. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό μειονέκτημα αλλά αναμένεται τα επόμενα χρόνια, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων στο πεδίο αυτό (π.χ., lightweight high capacity batteries, charging stations), ο χρόνος διάρκειας της μπαταρίας να αυξηθεί σημαντικά.

Χειρισμός, προσομοίωση πτήσης και προγραμματισμός των Drones

Ο χειρισμός των drones γίνεται μέσω χειριστηρίου πτήσης (flight controller), μοχλού (joystick), έξυπνων κινητών συσκευών (smart mobile devices), υπολογιστή όπως και μέσω κίνησης (gestures) χεριών, σώματος και προσώπου (Tezza & Andujar, 2019). Ένα από τα ιδιαίτερα γνωρίσματά τους είναι ότι μπορούν να προγραμματιστούν με σκοπό την πραγματοποίηση αυτόνομης πτήσης. Αυτή γίνεται με διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, μεταξύ άλλων με Python και γλώσσες οπτικού προγραμματισμού (π.χ., Scratch, Blockly, Dronely) που είναι κατάλληλες για αρχάριους (Chevalier, Riedo, & Mondada, 2016; Tilley & Gray, 2017).

Σήμερα ο χειρισμός των drones τείνει να πραγματοποιείται με έξυπνο κινητό τηλέφωνο και τάμπλετ μέσω εφαρμογών για συσκευές κινητής τεχνολογίας (mobile applications). Έτσι κατασκευαστές και προγραμματιστές drones προσφέρουν εφαρμογές χειρισμού, προσομοίωσης και προγραμματισμού. Οι εφαρμογές (mobile apps) αυτές είναι διαθέσιμες για άτομα άνω των πέντε ετών με χαρακτηριστικό παράδειγμα τις “Tynker”, “Tello for education” και “Droneblocks”. Αναλυτικότερα, με τις εφαρμογές χειρισμού, ο χρήστης μπορεί να πλοηγήσει ένα drone. Αρχικά ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών που αφορούν την πτήση. Μετά την εγκατάστασή τους, ο χρήστης μπορεί να ζευγοποιήσει την έξυπνη συσκευή με το drone μέσω των διαθέσιμων πρωτοκόλλων (Wi-Fi, Bluetooth). Ακολούθως, ο χρήστης θα βρεθεί μπροστά από ένα γραφικό περιβάλλον που πλαισιώνεται από ένα εικονικό χειριστήριο με πλήκτρα και joystick. Μέσω των κουμπιών ο χρήστης μπορεί να δώσει εντολές απογείωσης, προσγείωσης, λήψης φωτογραφιών και βίντεο. Μέσω των joystick μπορεί να δώσει εντολή στο drone να κινηθεί πάνω ή κάτω, δεξιά ή αριστερά, να πραγματοποιήσει περιστροφή όπως και να κινηθεί μπροστά ή πίσω. Η επόμενη κατηγορία εφαρμογών αφορά την προσομοίωση πτήσης. Μέσω αυτών των εφαρμογών ο χρήστης εξοικειώνεται στον τρόπο χειρισμού μέσω ενός εικονικού χειριστηρίου σε μια εικονική πτήση. Ο χρήστης βλέπει στην οθόνη του ένα εικονικό περιβάλλον όπου μέσω του εικονικού χειριστηρίου που περιγράφηκε ανωτέρω, χειρίζεται το drone. Αυτές οι εφαρμογές επιτρέπουν στον χρήστη να κατανοήσει τη δύναμη που απαιτείται να ασκήσει στο joystick ώστε να κινηθεί ομαλά το drone.

Η τελευταία κατηγορία εφαρμογών για συσκευές κινητής τεχνολογίας επιτρέπει τον προγραμματισμό του drone. Αυτός όπως αναφέρθηκε ανωτέρω μπορεί να γίνει με διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, ανάμεσα σε αυτές και γλώσσες οπτικού προγραμματισμού. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τον δικό του κώδικα με συγκεκριμένες εντολές ώστε να πραγματοποιήσει το drone μια αυτόνομη πτήση. Κάποιες εφαρμογές προγραμματισμού επιτρέπουν την προβολή σε περιβάλλον προσομοίωσης (simulated preview) των εντολών του χρήστη, ώστε να προβεί σε διορθώσεις στον κώδικα όπου απαιτείται. Το περιβάλλον οπτικού προγραμματισμού που προσφέρουν οι εφαρμογές επιτρέπουν σε νέους χρήστες την

ανάπτυξη πολλών προγραμματιστικών εννοιών όπως επαναλήψεις, σταθερές, μεταβλητές και συναρτήσεις.

Η έρευνα στην εκπαίδευση

Ενώ η χρήση των drones στην εκπαίδευση ξεκίνησε το 2003 (Sahin & Walter, 2003), ωστόσο το ενδιαφέρον για αυτά αυξήθηκε μετά το 2008 (Garonov & Razinkova, 2012). Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους. Πρώτον οφείλεται στο ότι την περίοδο εκείνη άρχισε να διαμορφώνεται το νομικό πλαίσιο χρήσης τους και οι κανόνες λειτουργίας τους (FAA, 2021). Δεύτερον, τα drones έγιναν εμπορικά διαθέσιμα στο κοινό από το 2008 και μετά (Parrot, 2021). Αυτό σημαίνει πως από το έτος αυτό οποιοσδήποτε μπορούσε να αγοράσει και να χρησιμοποιήσει ένα drone όπου το επέτρεπε η νομοθεσία. Το ενδιαφέρον γύρω από τα drones συνέχισε να αυξάνεται καθώς το κόστος κτήσης μειώθηκε, έγινε διαθέσιμος αυξημένος αριθμός ανταλλακτικών, αυτά άρχισαν να γίνονται πιο «έξυπνα» προσφέροντας μεθοδολογίες αποφυγής ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της πτήσης, ο χειρισμός τους απλοποιήθηκε και πραγματοποιείται από διάφορα μέσα και τέλος ενσωματώθηκε ένας αριθμός χαρακτηριστικών που προσέφερε ένα επιπρόσθετο φάσμα δυνατοτήτων (βλ., ανωτέρω). Τα ανωτέρω είχαν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση των drones ειδικά για εκπαιδευτικούς σκοπούς το 2017 (π.χ., Lego Flybix, DJI Tello for education, Parrot Mambo for education, Makeblock Airblock edu).

Στην εκπαίδευση, η έρευνα γύρω από τα drones ξεκίνησε με δύο κατηγορίες δημοσιεύσεων/ερευνών. Η πρώτη αφορούσε θεωρητικές ιδέες και προτάσεις για τον τρόπο χρήσης τους στα πλαίσια της τυπικής εκπαίδευσης. Ο χαρακτήρας αυτών των άρθρων παρουσίαζε προτάσεις χρήσης των drones που εστίαζαν κυρίως στην τριτοβάθμια εκπαίδευση και σε συγκεκριμένα μαθήματα (π.χ., Μηχανική). Για παράδειγμα, οι Garonov & Razinkova (2012) παρουσίασαν μια σειρά μαθημάτων που χρησιμοποιούσαν drones και απευθυνόταν σε προπτυχιακούς/ές φοιτητές/τριες μηχανικής. Η δεύτερη κατηγορία δημοσιεύσεων, παρουσίαζε ένα τεχνικό υπόβαθρο για την κατασκευή και συναρμολόγηση drones για εκπαιδευτικές χρήσεις. Για παράδειγμα, οι Giernacki et al. (2017), στο άρθρο τους, παρουσίασαν το drone crazyflie 2.0 ως πλατφόρμα εκπαίδευσης κατάλληλη για διδασκαλία ρομποτικής και μηχανικής. Γενικά, κοινό χαρακτηριστικό που έχουν οι αρχικές έρευνες γύρω από τα drones είναι πως δεν εστιάζουν σε συγκεκριμένο δείγμα και δεν περιέχουν εμπειρικά δεδομένα.

Με τη διευρυμένη εξάπλωση και χρήση των drones, συνεχίστηκε η αύξηση του αριθμού των δημοσιεύσεων στην εκπαίδευση. Αυτές είχαν ως στόχο να εξετάσουν τη χρήση των drones στα πλαίσια τυπικού και άτυπου περιβάλλοντος μάθησης σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Στην τριτοβάθμια εκπαίδευση οι έρευνες αυτές εστίασαν στην προσομοίωση, κατασκευή, συναρμολόγηση, προγραμματισμό, πτήση και συλλογή δεδομένων με τη βοήθεια των drones. Για παράδειγμα, οι Rahman et al. (2018) στην έρευνά τους εξέτασαν τη χρήση του drone ως μαθησιακό εργαλείο για τη διδασκαλία αρχών της μηχανικής. Οι φοιτητές/τριες ήρθαν αρχικά σε επαφή με τα drones μέσω προσομοίωσης και ακολούθως συναρμολόγησαν, προγραμματίσαν, παραμετροποίησαν και πέταξαν τα drones. Οι συγγραφείς καταλήγουν πως τα drones είναι κατάλληλα εκπαιδευτικά εργαλεία για τη διδασκαλία αρχών μηχανικής.

Ακολούθως στη δευτεροβάθμια και πρωτοβάθμια εκπαίδευση η έρευνα εστίασε στη χρήση των drones κυρίως στο πλαίσιο STEM μάθησης με τους μαθητές να συναρμολογούν, να προγραμματίζουν και να πετούν τα drones (Tezza, Garcia, & Andujar, 2020; Jovanovic et al., 2019; Chen et al., 2018; Goodnough, Azam, & Wells, 2019). Έρευνα επίσης έχει

υλοποιηθεί στα Μαθηματικά, Γλώσσα, Φυσική, (π.χ., Fokides, Papadakis, & Kourtis-Kazoullis, 2018), Πληροφορική (Chen et al., 2018), Γεωγραφία (Joyce, Meiklejohn, & Mead, 2020), Γεωμετρία (Duraj, Perkolaj, & Hoxha, 2021), Μετεωρολογία (Murphy, O'Neill, & Brown, 2016) και στη Γυμναστική (Zwaan & Barakova, 2016). Σε αντίθεση με παρόμοιες έρευνες της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, οι έρευνες στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση έχουν έναν αριθμό εμπειρικών δεδομένων. Για παράδειγμα, οι Fokides et al. (2018) αξιοποίησαν δείγμα 40 μαθητών Ε' Δημοτικού με σκοπό να εξετάσουν τα μαθησιακά αποτελέσματα και τη διατήρηση της γνώσης χρησιμοποιώντας drones για τη διδασκαλία Μαθηματικών, Φυσικής και Γλώσσας. Οι μαθητές χωρίστηκαν σε δύο ομάδες και η πρώτη διδάχθηκε τα μαθήματα παραδοσιακά ενώ η δεύτερη ομάδα, η πειραματική, αξιοποίησε τα drones. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η ομάδα που διδάχθηκε Μαθηματικά με τη βοήθεια του drone είχε καλύτερα αποτελέσματα από την ομάδα που διδάχθηκε με την παραδοσιακή διδασκαλία. Επιπρόσθετα, η ίδια ομάδα είχε καλύτερα αποτελέσματα (στα delayed post-tests) σε όλα τα μαθήματα. Οι Fokides et al. (2018) αναφέρουν πως οι μαθητές ήταν ενθουσιασμένοι με το drone και καταλήγουν πως είναι ένα χρήσιμο μαθησιακό εργαλείο.

Σε μια άλλη έρευνα, οι Chen et al. (2018) παρουσίασαν τα ευρήματά τους από ένα μάθημα STEAM που αξιοποιούσε drones. Αναλυτικότερα, αυτοί εξέτασαν τη μαθησιακή αποτελεσματικότητα, τα μαθησιακά κίνητρα, τη μαθησιακή αποδοχή και τα μαθησιακά αποτελέσματα 60 μαθητών/τριών δημοτικού. Οι μαθητές/τριες έμαθαν βασικές αρχές χειρισμού των drones μέσω προσομοίωσης και ακολούθως, συναρμολόγησαν, ενεπλάκησαν με τη διαδικασία συντήρησης και επισκευής των drones και πραγματοποίησαν πτήσεις με αυτά. Οι Chen et al. (2018) καταλήγουν αναφέροντας πως οι μαθητές/τριες ήταν ενθουσιώδεις, κατανόησαν σε βάθος τα κομμάτια που απαρτίζουν τα drones και τη χρησιμότητά τους, εξοικειώθηκαν με τη λειτουργία και τον χειρισμό τους και αντιλήφθηκαν πότε είναι ηθικό και νόμιμο (flying ethics) να πραγματοποιεί κάποιος πτήση με drone. Οι μαθητές/τριες ανέπτυξαν μεταξύ άλλων δεξιότητες όπως επίλυσης προβλημάτων, κριτικής σκέψης καθώς και αυτόνομης μάθησης. Επίσης, τα drones αύξησαν το ενδιαφέρον των μαθητών/τριών γύρω από STEAM δραστηριότητες.

Ακολούθως, οι Tezza et al. (2020) παρουσίασαν τα ευρήματά τους από ένα θερινό σχολείο που απευθυνόταν σε 30 μαθητές/τριες δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τα drones ως ένα εργαλείο για να ενθαρρύνει μαθητές/τριες να ακολουθήσουν σπουδές στην τριτοβάθμια εκπαίδευση στο πεδίο του STEM. Μετά από μια εισαγωγή στα drones και την τεχνολογία τους, οι μαθητές/τριες συναρμολόγησαν έναν αριθμό drones σε ομάδες, συζήτησαν σχετικά με μελλοντικές εφαρμογές και λύσεις που μπορούν να προσφέρουν και ακολούθως τα προγραμματίσαν με γλώσσα οπτικού προγραμματισμού και πραγματοποίησαν πτήσεις με αυτά. Οι Tezza et al. (2020) αναφέρουν πως οι περισσότεροι μαθητές/τριες έδειξαν ενδιαφέρον για να πραγματοποιήσουν σπουδές στο πεδίο του STEM. Επίσης, αναφέρουν πως τα drones είναι ένα ισχυρό διδακτικό εργαλείο που περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα STEM εφαρμογών και γνώσεων και ότι αυτά μπορούν να ελκύσουν το ενδιαφέρον των μαθητών/τριών ώστε να εμπλακούν ενεργά με τη μάθηση.

Εκτός των ερευνών που αναφέρθηκαν ανωτέρω, παρατηρούνται έρευνες που αξιοποιούν επιπρόσθετες τεχνολογίες συνδυαστικά με τη χρήση drones στην εκπαίδευση. Για παράδειγμα, σε έναν αριθμό ερευνών οι συμμετέχοντες/ουσες σχεδίασαν και εκτόπωσαν με τη βοήθεια τρισδιάστατου εκτυπωτή τα κομμάτια που απαρτίζουν το drone. Ακολούθως συναρμολόγησαν τα κομμάτια του και το προγραμματίσαν (βλ. π.χ., Armesto, Fuentes-Dura, & Perry, 2015; Wlodyka & Dulat, 2015).

Επιπρόσθετα, στη βιβλιογραφία εντοπίζεται ένας αριθμός άρθρων όπου χρησιμοποιήθηκαν τα drones για να διευκολύνουν εκπαιδευτικές δραστηριότητες. Για παράδειγμα, drones χρησιμοποιήθηκαν ως μέσο για να διευκολύνουν την εμπειρία της εικονικής εκδρομής γνωστής ως “Virtual Field Trip (VFT)” ή ως “Virtual Field Experience (VFE)”. Η έρευνα γύρω από την εικονική εκδρομή εστιάζει στις αντιλήψεις των μαθητών/τριών για το πόσο μια εικονική εμπειρία μπορεί να αντικαταστήσει μια κανονική εκδρομή. Παρόλο που οι έρευνες γύρω από τις εικονικές εκδρομές έχουν ξεκινήσει από το 2000 (Spicer & Stratford, 2001), πρόσφατα τα drones συνέβαλαν στο να προχωρήσει η έρευνα γύρω από αυτές. Χρησιμοποιώντας drone ως εργαλείο συλλογής δεδομένων οι ερευνητές συγκέντρωσαν εικόνες και βίντεο από μια τοποθεσία. Ακολούθως, μετέδωσαν το υλικό σε πραγματικό χρόνο σε φοιτητές/τριες, για να εντοπίσουν την καταλληλότητα της εμπειρίας της εικονικής εκδρομής (Palaigeorgiou, Malandrakis, & Tsolorani, 2017). Σε άλλες έρευνες δημιουργήθηκαν σε δεύτερο χρόνο φωτο-μωσαϊκά (photomosaics) αξιοποιώντας τα δεδομένα που συνέλεξε το drone (Dolphin et al., 2019; Teo et al., 2016). Σε μια άλλη έρευνα, οι Murphy O'Neill & Brown (2016) χρησιμοποίησαν drones για να συλλέξουν μετεωρολογικά δεδομένα αντικαθιστώντας το παραδοσιακό μετεωρολογικό μπαλόνι στο μάθημα της Φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Συμπερασματικά, τα drones έχουν χρησιμοποιηθεί σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης με πολλαπλούς τρόπους. Χρησιμοποιήθηκαν ως εργαλείο για να εγείρουν συζήτηση (Chen et al., 2018; Tezza et al., 2020), ως πλατφόρμα διδασκαλίας ρομποτικής και μηχανικής (Giernacki et al., 2017), ως τεχνολογικό μέσο που ελκύει το ενδιαφέρον των μαθητών και τους προκαλεί να συμμετέχουν ενεργά στο μάθημα (Fokides et al., 2018), ως ρομπότ που μπορεί να προγραμματιστεί (Rahman et al., 2018), ως εργαλείο που συλλέγει δεδομένα για μετέπειτα αξιοποίηση (π.χ., φωτογραφίες ή δεδομένα από τους αισθητήρες) (Palaigeorgiou et al., 2017; Murphy O'Neill & Brown, 2016), ως αυτόνομο ρομπότ που εκτελεί προγραμματισμένες πτήσεις (Rahman et al., 2018) και ως ρομποτικό πακέτο συναρμολόγησης (Tezza et al., 2020). Από τα ανωτέρω προκύπτει πως αν και υπάρχει ερευνητικό ενδιαφέρον γύρω από τα drones στην εκπαίδευση, ωστόσο ο αριθμός των ερευνών με εμπειρικά δεδομένα είναι σχετικά μικρός.

Αναδυόμενες τεχνολογίες και Drones

Στις μέρες μας, νέες αναδυόμενες τεχνολογίες που βρίσκονται ακόμη στα αρχικά στάδια τους όλο και περισσότερο προσελκύουν το ενδιαφέρον των ερευνητών στην εκπαίδευση (Oliveira et al., 2019). Τεχνολογίες όπως Τεχνητή Νοημοσύνη, Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), Έξυπνες Πόλεις (Smart Cities), Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D printing), 5G δίκτυα, Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality), Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality), Μικτή Πραγματικότητα (Mixed Reality), Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality) και Ρομποτική αποτελούν αντικείμενα εκτεταμένης έρευνας. Εκτός από την μεμονωμένη έρευνα γύρω από την κάθε τεχνολογία και τα οφέλη που έχει να προσφέρει στην εκπαίδευση, παρατηρείται μία τάση τα drones να χρησιμοποιούνται συνδυαστικά με αυτές τις τεχνολογίες. Για παράδειγμα, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης συνδυάστηκε με την τεχνολογία της εναέριας ρομποτικής σε έναν αριθμό ερευνών (Armesto et al., 2015; Wlodyka & Dulat, 2015). Επιδίωξη αποτελεί οι μαθητές/τριες να σχεδιάζουν και να εκτυπώνουν τα εξαρτήματα των δικών τους drones. Αντίστοιχα η έρευνα προχωρά στη μελέτη των drones γύρω από το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και τις Έξυπνες Πόλεις (γνωστές ως smart cities). Οι έξυπνες πόλεις αξιοποιούν ψηφιακά μέσα, αισθητήρες και το διαδίκτυο με σκοπό να δημιουργήσουν κανάλια

επικοινωνίας ώστε να βελτιώσουν και να απλοποιήσουν καθημερινές δραστηριότητες (ή και διαδικασίες). Μέσα στις πόλεις βρίσκονται και τα σχολεία. Σήμερα η έρευνα μελετά έξυπνα συστήματα ανοιχτής μάθησης στο πλαίσιο μιας Έξυπνης Πόλης (Carbonaro, 2020; Chrystafiadi et al., 2020) που θα μπορεί να αξιοποιεί δεδομένα που συλλέγουν τα drones.

Μια άλλη τεχνολογία που χρησιμοποιείται συνδυαστικά με τα drones είναι οι έξυπνες φορετές συσκευές και συγκεκριμένα τα έξυπνα φορετά γυαλιά (smart wearables glasses). Η έρευνα σήμερα προχωρά στη χρήση επαυξημένης, εικονικής, μικτής και εκτεταμένης πραγματικότητας με σκοπό να διευκολύνει τον χειρισμό του drone και να προσφέρει μια διαφορετική εμπειρία αναμετάδοσης του περιεχόμενου της κάμερας του drone σε πραγματικό χρόνο. Ο χρήστης θα είναι σε θέση να πετάξει το drone και να βλέπει σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα του φυσικού και εικονικού περιβάλλοντος που συλλέγει η κάμερά του προσφέροντας μια διαφορετική οπτική (bird's-eye view).

Ακολουθώς, ένα ακόμη παράδειγμα του συνδυασμού αναδυόμενων τεχνολογιών, αφορά τη δυνατότητα χειρισμού πολλών drones ταυτόχρονα, ένα φαινόμενο που αποκαλείται σμήνος (swarm). Ως ρομποτικό σμήνος ονομάζεται μια ομάδα ρομπότ που δουλεύουν σε συνεργασία με σκοπό να πετόχουν ένα αποτέλεσμα (Campion, Rangathan, & Faruque, 2018). Οι χρήσεις αλλά και τα οφέλη τους έχουν απασχολήσει την εκπαιδευτική έρευνα στο πλαίσιο της STEM μάθησης (Hilder et al., 2016; Jdeed, Schranz, & Elmenreich, 2020). Με τη συμβολή των 5G δικτύων αναμένεται να πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο, ο ταυτόχρονος χειρισμός ενός σμήνους από drones (Muzaffar et al., 2020) στο πλαίσιο μιας Έξυπνης Πόλης ή ως κομμάτι του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Μέχρι στιγμής, η εκπαιδευτική έρευνα είχε περιοριστεί στη μελέτη σμήνους επιγείων ρομπότ (Cianci et al., 2016), όμως με τη συμβολή των αναδυόμενων τεχνολογιών, οι ερευνητές θα μπορούν να εξετάσουν και σμήνη drones εμπλουτίζοντας με επιπρόσθετες δυνατότητες το εναέριο φάσμα. Από τα ανωτέρω προκύπτει πως όσο ωριμάζει η τεχνολογία των drones και η έρευνα γύρω από αυτά προχωρά, τόσο περισσότερες εφαρμογές θα υπάρχουν στο μέλλον είτε ως ξεχωριστή τεχνολογία είτε ως κομμάτι μιας μεγαλύτερης αναδυόμενης τεχνολογίας (π.χ., Smart Cities).

Μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις

Η έρευνα γύρω από την εναέρια ρομποτική και τα drones στην εκπαίδευση αποτελεί αντικείμενο ερευνητικού ενδιαφέροντος μόλις 12 ετών και βρίσκεται ακόμη σε αρχικά στάδια. Οι περιορισμένες από πλευράς εμπειρικών δεδομένων έρευνες, μέχρι στιγμής, δείχνουν ότι τα drones μπορούν να αποτελέσουν κατάλληλο εκπαιδευτικό εργαλείο, το οποίο παρέχει έναν σημαντικό αριθμό τεχνολογικών και εκπαιδευτικών δυνατοτήτων σε διάφορα γνωστικά αντικείμενα όλων των βαθμίδων. Σήμερα οι κατασκευαστές και η ερευνητική κοινότητα των drones, έχει λύσει τεχνικούς και νομικούς περιορισμούς του παρελθόντος, έχει απλοποιήσει διαδικασίες χρήσης τους, έχει διευκολύνει τον χειρισμό τους μέσω εφαρμογών σε συσκευές κινητής τεχνολογίας, έχει ενσωματώσει - ταχύτερα από τα επίγεια ρομπότ- τεχνολογίες (π.χ., αποφυγής εμποδίων, ασφαλή προσγείωση σε περίπτωση βλάβης), με αποτέλεσμα να αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι τεχνολογιών του μέλλοντος (π.χ., Διαδίκτυο των Πραγμάτων και των Έξυπνων Πόλεων). Αξιοποιώντας τα 40 χρόνια εμπειρίας που έχει αναπτύξει η ερευνητική και εκπαιδευτική κοινότητα γύρω από τα επίγεια ρομπότ στην εκπαίδευση και εφαρμόζοντας τη γνώση αυτή στην εναέρια ρομποτική και στα drones, θα είναι σε θέση να επιτρέψει για πρώτη φορά στους μαθητές/τριες να εξερευνήσουν, να αναπτύξουν διάφορες δεξιότητες, να μάθουν και να μελετήσουν με έναν μοναδικό, ασφαλή και πρωτόγνωρο τρόπο τοπία και περιβάλλοντα από ψηλά.

Γενικά τα drones είναι μια τεχνολογία του μέλλοντος που βρίσκει εφαρμογές σε πολλές πτυχές της καθημερινότητας και της εκπαίδευσης. Παρόλα αυτά, χρειάζεται επιπρόσθετη έρευνα σε συνδυασμό πάντα με το ερευνητικό και παιδαγωγικό υπόβαθρο της επίγειας ρομποτικής στην εκπαίδευση ώστε να δημιουργηθεί ένα αντίστοιχο πλαίσιο για τη χρήση των drones σε τυπικά και άτυπα περιβάλλοντα μάθησης. Πρώτον, χρειάζεται περισσότερη έρευνα σχετικά με την επίδραση της χρήσης των drones στη μάθηση. Η επίδραση αυτή μπορεί να εξεταστεί για διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα του αναλυτικού προγράμματος, για διαφορετικά περιβάλλοντα μάθησης (π.χ., τυπικό, άτυπο) και για διαφορετικά μαθησιακά αποτελέσματα. Ειδικότερα, χρειάζεται να εξεταστούν τόσο το τι είδους μαθησιακά αποτελέσματα επιφέρει η χρήση των drones όσο και ποιες πρακτικές παιδαγωγικής αξιοποίησής τους οδηγούν σε συγκεκριμένα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, θα είχε ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον για το πως τα drones μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση χωρικών δεξιοτήτων, στην ανάπτυξη της υπολογιστικής σκέψης μέσω δραστηριοτήτων προγραμματισμού και STEAM, στη βελτίωση του ψυχολογικού κλίματος της τάξης, στην ανάπτυξη θετικών στάσεων για διάφορα μαθήματα αλλά και στη μεγαλύτερη εμπλοκή των μαθητών/τριών στη μαθησιακή διαδικασία μέσω της κατασκευής, συναρμολόγησης και προγραμματισμού των drones.

Δεύτερον, χρειάζεται περισσότερη έρευνα ως προς τη διαμόρφωση ενός πλαισίου εκπαίδευσης και επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών στην τεχνολογική και παιδαγωγική αξιοποίηση των drones. Η διαμόρφωση αυτού του πλαισίου αρχικά μπορεί να στηριχθεί στα μέχρι σήμερα ερευνητικά πορίσματα που υπάρχουν για τη χρήση των ΤΠΕ και της ρομποτικής στην εκπαίδευση αλλά και σε διαθέσιμα μοντέλα επαγγελματικής ανάπτυξης των εκπαιδευτικών (π.χ., TRACK) και της αποδοχής της τεχνολογίας ως προς τους ψυχολογικούς παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοχή των drones στη διδασκαλία και τη μάθηση (π.χ., Technology Acceptance Model, Theory of Planned Behaviour). Ως προς το παιδαγωγικό πλαίσιο πρέπει να τονιστεί ότι η χρήση των drones στην εκπαίδευση όπως και γενικότερα της εκπαιδευτικής ρομποτικής έχει τις ρίζες της στην εποικοδομιστική παιδαγωγική διάσταση της γλώσσας προγραμματισμού Logo του Papert (1980). Άρα, η μελλοντική έρευνα χρειάζεται να εξετάσει το πως η χρήση των drones στην εκπαίδευση μπορεί να εστιάσει στον κατασκευαστικό (constructionist) και παισιωμένο χαρακτήρα της οικοδόμησης της γνώσης και πως η γνώση αυτή μπορεί να κατασκευάζεται ενεργά και ανακατασκευάζεται μέσω της άμεσης αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον.

Τρίτον, χρειάζεται έρευνα σχετικά με το πως τα drones στο πλαίσιο της εναέριας ρομποτικής μπορούν να αξιοποιηθούν με την επίγεια και υπέργεια ρομποτική και τι είδους προστιθέμενη αξία μπορούν να επιφέρουν σε δραστηριότητες STEAM. Στο ίδιο πλαίσιο, ενδιαφέρον έχει να εξεταστεί η σύζευξη της χρήσης των drones σε τυπικά και άτυπα περιβάλλοντα μάθησης με αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως επαυξημένης, εικονικής, μικτής και εκτεταμένης πραγματικότητας, τεχνητής νοημοσύνης, Διαδικτύου των Πραγμάτων και Ξυπνών Πόλεων.

Ξενόγλωσσες αναφορές

- Abutalipov, R. N., Bolgov, Y. V., & Senov, H. M. (2016). Flowering plants pollination robotic system for greenhouses by means of nano copter (drone aircraft). *Proceedings of IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies [IT&MQ&IS]*, Russia. <https://doi.org/10.1109/itmqs.2016.7751907>
- Allison, S., Bai, H., & Jayaraman, B. (2020). Wind estimation using quadcopter motion: A machine learning approach. *Aerospace Science and Technology*, 98, 105699. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.105699>

- Anwar, S., Bascou, N. A., Menekse, M., & Kardgar, A. (2019). A systematic review of studies on educational robotics. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 9(2). <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1223>
- Apvrille, L., de Saqui-Sannes, P., & Vingerhoeds, R. (2020). An educational case study of using SysML and TTool for unmanned aerial vehicles design. *IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems*, 1(2), 117–129. <https://doi.org/10.1109/jmass.2020.3013325>
- Armesto, L., Fuentes-Durá, P., & Perry, D. (2015). Low-cost printable robots in education. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 81(1), 5–24. <https://doi.org/10.1007/s10846-015-0199-x>
- Bampasidis, G., Piperidis, D., Papakonstantinou, P., Stathopoulos, D., Troumpetari, C., & Poutos, P. (2021). Hydrobots, an underwater robotics STEM project. Introduction of engineering design process in secondary education. *Advances in Engineering Education*, 9(1). https://drive.google.com/file/d/1zjzv7Oh_UVTt1K0jcnvKv7itjDnhlmMh/view
- Bogue, R. (2020). Humanoid robots from the past to the present. *Industrial Robot: The International Journal of Robotics Research and Application*, 47(4), 465–472. <https://doi.org/10.1108/ir-05-2020-0088>
- Boon, M. A., Drijfhout, A. P., & Tesfamichael, S. (2017). Comparison of a fixed-wing & multi-rotor UAV for environment mapping applications: A case study. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W6, 47–54. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-47-2017>
- Campion, M., Ranganathan, P., & Faruque, S. (2018). A review and future directions of UAV swarm communication architectures. *Proceedings of IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*, USA. <https://doi.org/10.1109/eit.2018.8500274>
- Carbonaro, A. (2020). Enabling smart learning systems within smart cities using open data. *Journal of E-Learning and Knowledge Society*, 16(1). <https://doi.org/10.20368/1971-8829/1135239>
- Carnahan, C., Crowley, K., Hummel, L., & Sheehy, L. (2016). New perspectives on education: Drones in the classroom. *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 1920-1924). Savannah, GA, USA.
- Chang, C. J., Lee, J. H., Chao P. Y., & Wang C. Y. (2010). Exploring the possibility of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school. *Educational Technology & Society*, 13(2), 13–24.
- Chen, C.-J., Huang, Y.-M., Chang, C.-Y., & Liu, Y.-C. (2018). Exploring the learning effectiveness of “the STEAM education of flying and assembly of drone.” *Proceedings of Seventh International Conference of Educational Innovation through Technology (EITT)*, New Zealand. <https://doi.org/10.1109/eitt.2018.00021>
- Chevalier, M., Riedo, F., & Mondada, F. (2016). Pedagogical uses of thymio II: How do teachers perceive educational robots in formal education? *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 23(2), 16–23. <https://doi.org/10.1109/mra.2016.2535080>
- Chrysafiadi, K., Virvou, M., & Sakkopoulos, E. (2019). Optimizing programming language learning through student modeling in an adaptive web-based educational environment. *Machine Learning Paradigms* (pp. 205–223). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13743-4_11
- Cianci, C. M., Raemy, X., Pugh, J., & Martinoli, A. (2016). Communication in a swarm of miniature robots: The e-Puck as an Educational Tool for Swarm Robotics. *Swarm Robotics* (pp. 103–115). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-540-71541-2_7
- Dalamagkidis, K. (2014). Classification of UAVs. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles* (pp. 83–91). Springer International Publishing.
- Dolphin, G., Dutchak, A., Karchewski, B., & Cooper, J. (2019). Virtual field experiences in introductory geology: Addressing a capacity problem but finding a pedagogical one. *Journal of Geoscience Education*, 67(2), 114–130. <https://doi.org/10.1080/10899995.2018.1547034>
- Duraj, S., Pepkolaj, L., & Hoxha, G. (2021). Adopting drone technology in mathematical education. *3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*. <https://doi.org/10.1109/hora52670.2021.9461297>
- FAA (Federal Aviation Administration) (2021). Unmanned Aircraft Systems (UAS) - Drone regulation. <https://www.faa.gov/uas/>

- Feron, E., & Johnson, E. (2008). Aerial robotics. *Springer Handbook of Robotics*. Springer International Publishing.
- Fokides, E., Papadakis, D., & Kourtis-Kazoullis, V. (2017). To drone or not to drone? Results of a pilot study in primary school settings. *Journal of Computers in Education*, 4(3), 339-353. <https://doi.org/10.1007/s40692-017-0087-4>
- Fombuena, A. (2017). Unmanned aerial vehicles and spatial thinking: Boarding education with geotechnology and drones. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(3), 8-18. <https://doi.org/10.1109/mgrs.2017.2710054>
- Fulton, M., Edge, C., & Sattar, J. (2019). Robot communication via motion: closing the underwater Human-Robot Interaction loop. *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Canada. <https://doi.org/10.1109/icra.2019.8793491>
- Gaponov, I., & Razinkova, A. (2012). Quadcopter design and implementation as a multidisciplinary engineering course. *Proceedings of IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, China. <https://doi.org/10.1109/tale.2012.6360335>
- Giernacki, W., Skwierczynski, M., Witwicki, W., Wronski, P., & Kozierski, P. (2017). Crazyflie 2.0 quadrotor as a platform for research and education in robotics and control engineering. *Proceedings of 22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, Poland. <https://doi.org/10.1109/mmar.2017.8046794>
- Goodnough, K., Azam, S., & Wells, P. (2019). Adopting drone technology in STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics): An examination of elementary teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK). *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 19(4), 398-414. <https://doi.org/10.1007/s42330-019-00060-y>
- Hilder, J., Horsfield, A., Millard, A. G., & Timmis, J. (2016). The Psi swarm: A low-cost robotics platform and its use in an education setting. *Towards Autonomous Robotic Systems* (pp. 158-164). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40379-3_16
- Jdeed, M., Schranz, M., & Elmenreich, W. (2020). A study using the low-cost swarm robotics platform spiderino in education. *Computers and Education Open*, 1, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2020.100017>
- Jovanovic, V., McLeod, G., Alberts, T., Tomovic, C., Popescu, O., Batts, T., & Sandy, M. (2019). Exposing students to STEM careers through hands-on activities with drones and robots. *ASEE Annual Conference & Exposition*, USA. <https://doi.org/10.18260/1-2--32823>
- Joyce, K. E., Meiklejohn, N., & Mead, P. C. H. (2020). Using minidrones to teach geospatial technology fundamentals. *Drones*, 4(3), 57. <https://doi.org/10.3390/drones4030057>
- Kim, H. (2013). Development of balloon-based autonomous airborne robot-kit. *The Journal of Korea institute electronic communication sciences*, 8(8), 1213-1218.
- Kumar, V., & Michael, N. (2012). Opportunities and challenges with autonomous micro aerial vehicles. *The International Journal of Robotics Research*, 31(11), 1279-1291. <https://doi.org/10.1177/0278364912455954>
- Kyriazopoulos, I., Koutromanos, G., Voudouri, A., & Galani, L. (2021). Educational robotics in primary education. A systematic literature review. In Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (Ed.), *Handbook of Research on Using Educational Robotics to Facilitate Student Learning* (pp. 377-401). IGI Global. <http://doi:10.4018/978-1-7998-6717-3.ch015>
- Michelson, R. C. (2004). Novel approaches to miniature flight platforms. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 218(6), 363-373. <https://doi.org/10.1243/0954410042794911>
- Miller, D. P., & Nourbakhsh, I. (2016). Robotics for education. *Springer Handbook of Robotics* (pp. 2115-2134). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_79
- Murphy, P., O'Neill, A., & Brown, A. (2016). Droning on about the weather - meteorological science on a school friendly scale. *School Science Review*, 98(362), 106-109.
- Muzaffar, R., Raffelsberger, C., Fakhreddine, A., Luque, J. L., Emini, D., & Bettstetter, C. (2020). First experiments with a 5G-connected drone. *Proceedings of 6th ACM Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications*, Canada, Article 7, 1-5. <https://doi.org/10.1145/3396864.3400304>

- Ng, W., & Cheng, G. (2019). Integrating drone technology in STEM education: A case study to assess teachers' readiness and training needs. *Issues in Informing Science and Information Technology*, 16, 061–070.
- Nurudin, N., Inaku, D. F., Rasyid, A. R., Jalil, A. R., Alimuddin, A., Agus, Akbar As, M., & Azizi Al, S. Q. A. (2019). Participatory mapping and unmanned aerial vehicle (UAV) images for developing village level coastal geoinformation. *Proceedings of IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 370, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/370/1/012003>
- Oliveira, A., Feyzi Behnagh, R., Ni, L., Mohsinah, A. A., Burgess, K. J., & Guo, L. (2019). Emerging technologies as pedagogical tools for teaching and learning science: A literature review. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 1(2), 149–160. <https://doi.org/10.1002/hbe2.141>
- Palaigeorgiou, G., Malandrakis, G., & Tsoolopani, C. (2017). Learning with drones: Flying windows for classroom virtual field trips. *Proceedings of IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, Romania. <https://doi.org/10.1109/icalt.2017.116>
- Papert, S. (1993). *The Children's machine: Rethinking school in the age of the computer*. Basic Books.
- Park, S., Her, J., Kim, J., & Lee, D. (2016). Design, modeling and control of omni-directional aerial robot. *IEEE/RSJ Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Korea. <https://doi.org/10.1109/iros.2016.7759254>
- Parrot (2021). *Parrot Drones – The first commercial drone*. <https://www.parrot.com/uk/drones>
- Pei, Z., & Nie, Y. (2018). Educational robots: Classification, characteristics, application areas and problems. *Proceedings of Seventh International Conference of Educational Innovation through Technology (EITT)*, New Zealand. <https://doi.org/10.1109/eitt.2018.00020>
- Perrelet, A. (1970). The fine structure of the retina of the honey bee drone. *Zeitschrift For Zellforschung Und Mikroskopische Anatomie*, 108(4), 530–562. <https://doi.org/10.1007/bf00339658>
- Rahman, M. F. A., Ani, A. I. C., Yahaya, S. Z., Hussain, Z., Boudville, R., & Ahmad, A. (2016). Implementation of quadcopter as a teaching tool to enhance engineering courses. *Proceedings of IEEE 8th International Conference on Engineering Education (ICEED)*, Malaysia. <https://doi.org/10.1109/iceed.2016.7856089>
- Rojas Viloria, D., Solano-Charris, E. L., Muñoz-Villamizar, A., & Montoya-Torres, J. R. (2020). Unmanned aerial vehicles/drones in vehicle routing problems: a literature review. *International Transactions in Operational Research*, 28(4), 1626–1657. <https://doi.org/10.1111/itor.12783>
- Rubio, F., Valero, F., & Llopis-Albert, C. (2019). A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 16(2), 172988141983959. <https://doi.org/10.1177/1729881419839596>
- Sahin, F., & Walter, W. (2003). Multidisciplinary microrobotics teaching activities. *Proceedings of Engineering Education ASEE Conference*, USA, 8.867.1 - 8.867.14. <https://peer.asee.org/11845>
- Santos, T., Moreira, M., Almeida, J., Dias, A., Martins, A., Dinis, J., Formiga, J., & Silva, E. (2017). PLineD: Vision-based power lines detection for unmanned aerial vehicles. *Proceedings of IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, Portugal. <https://doi.org/10.1109/icarsc.2017.7964084>
- Scaradozzi, D., Cesaretti, L., Screpanti, L., Costa, D., Zingaretti, S., & Valzano, M. (2019). Innovative tools for teaching marine robotics, IoT and control strategies since the primary school. *Smart Learning with Educational Robotics* (pp. 199–227). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_8
- Spicer, J. I., & Stratford, J. (2001). Student perceptions of a virtual field trip to replace a real field trip. *Journal of Computer Assisted Learning*, 17(4), 345–354. <https://doi.org/10.1046/j.0266-4909.2001.00191.x>
- Stolkin, R., Hotaling, L., Shery, R. P., & Sheppard, K. (2007). A paradigm for vertically integrated curriculum innovation – how curricula were developed for school students using underwater robotics. *Proceedings of International conference on Engineering Education*, USA.
- Teo, T.-A., Shih, P. T.-Y., Yu, S.-C., & Tsai, F. (2016). The use of UAS for rapid 3D mapping in geomatic education. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B6, 95–100.
- Tezza, D., & Andujar, M. (2019). The state-of-the-art of Human–Drone Interaction: A survey. *IEEE Access*, 7, 167438–167454. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953900>

- Tezza, D., Garcia, S., & Andujar, M. (2020). Let's learn! An initial guide on using drones to teach STEM for children. In Learning and Collaboration Technologies. *Human and Technology Ecosystems* (pp. 530-543). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50506-6_3
- Tilley, E., & Gray, J. (2017, April 13). Dronely: A visual block programming language for the control of drones. *Proceedings of the SouthEast Conference, USA*, 208-211. <https://doi.org/10.1145/3077286.3077307>
- Toh, L. P. E., Causo, A., Tzuo, P.-W., Chen, I., & Yeo, S. H. (2016). A review on the use of robots in education and young children. *Journal of Educational Technology & Society*, 19(2), 148-163.
- Tomić, T., & Haddadin, S. (2019). Towards interaction, disturbance and fault aware flying robot swarms. *Springer Proceedings in Advanced Robotics* (pp. 183-198). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28619-4_19
- Tripolitsiotis, A., Prokas, N., Kyritsis, S., Dollas, A., Papaefstathiou, I., & Partsinevelos, P. (2017). Dronesourcing: a modular, expandable multi-sensor UAV platform for combined, real-time environmental monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8-10), 2757-2770. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1287975>
- Vergouw, B., Nagel, H., Bondt, G., & Custers, B. (2016). Drone technology: Types, payloads, applications, frequency spectrum issues and future developments. *Information Technology and Law Series* (pp. 21-45). T.M.C. Asser Press. https://doi.org/10.1007/978-94-6265-132-6_2
- Wlodyka, M., & Dulat, M. (2015). Experience with a small UAV in the engineering design class at capilano university. - A novel approach to first year engineering design. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association, Canada*. <https://doi.org/10.24908/pceea.v0i0.5739>
- Zwaan, S. G., & Barakova, E. I. (2016). Boxing against drones. *Proceedings of the 15th International Conference on Interaction Design and Children, United Kingdom*, 607-612. <https://doi.org/10.1145/2930674.2935991>

Σύνδεσμος - QR CODE

<https://www.youtube.com/watch?v=tPhN300IeIc>

