

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2017)

5ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»

5ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο
Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην
Εκπαιδευτική Διαδικασία
Αθήνα
21-23 Απριλίου 2017
Παιδαγωγικό Τμήμα
Α.Σ.ΠΑΙ.Τ.Ε.

Διαδίκτυα Περιβάλλοντα
Ψηφιακή Αφήγηση
Επιμόρφωση
ΤΠΕ
Αξιολόγηση
Ψηφιακά Παιχνίδια
Εργαλεία Web 2.0
Ψηφιακά Αποθετήρια ΕΛ/ΛΑΚ
Οπτικοακουστικός Γραμματισμός
STEM
Ειδική Αγωγή
Εκπαιδευτική Ρομποτική
Έρευνα

etpe2017.aspete.gr

Υπό την Αιγίδα του Υπουργείου Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων

ΑΣΠΑΙΤΕ

ΕΕΤΠΕ
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
& ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Επιμορφωτικό Εργαστήριο: Μαθητές και δάσκαλοι ως δημιουργοί απτικών εκπαιδευτικών εφαρμογών

Γεώργιος Παλαιγεωργίου

Βιβλιογραφική αναφορά:

Παλαιγεωργίου Γ. (2022). Επιμορφωτικό Εργαστήριο: Μαθητές και δάσκαλοι ως δημιουργοί απτικών εκπαιδευτικών εφαρμογών. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, 1, 1067–1072. ανακτήθηκε από <https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/4173>

Επιμορφωτικό Εργαστήριο: Μαθητές και δάσκαλοι ως δημιουργοί απτικών εκπαιδευτικών εφαρμογών

Παλαιγεωργίου Γεώργιος

gpalegeo@uowm.gr

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Περίληψη

Πολλοί παιδαγωγοί και ερευνητές έχουν κάνει λόγο για τη χρήση απτών αντικειμένων στη διαδικασία της μάθησης. Οι εκπαιδευτικές απτικές διεπαφές αποτελούν ένα πρόσφατο πεδίο έρευνας στον τομέα της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή και εμφανίζονται ως η τεχνολογική προέκταση των χειραπτικών αντικειμένων. Ενώ στις αρχές της δεκατίας του 2000, η σχεδίαση και ανάπτυξη απτικών διεπαφών συμπεριελάμβανε ακριβό, σύνθετο και απαιτητικό λογισμικό και υλικό, σήμερα η ανάπτυξη τους είναι φθηνή και προσβάσιμη ακόμη και από μαθητές δημοτικού. Η παρούσα εργαστηριακή συνεδρία αποσκοπεί στη γνωριμία των εκπαιδευτικών με αυτό το νέο πεδίο, αξιοποιώντας την πλακέτα Makey Makey και το προγραμματιστικό περιβάλλον Scratch. Το Makey Makey καθιστά εξαιρετικά εύκολο ένα πρόγραμμα ενός υπολογιστή να αντιδρά στο άγγιγμα αγωγικών φυσικών αντικειμένων (π.χ. νερό, φρούτα, μεταλλικά αντικείμενα κτλ) και η απλότητα αυτή προκαλεί διάθεση για παιχνίδι και αποτελεί μία σημαντική ευκαιρία για εισαγωγή των μαθητών και δασκάλων στην κατασκευή απτών διεπαφών. Οι συμμετέχοντες μετά το τέλος της συνεδρίας θα είναι σε θέση να σχεδιάσουν, κατασκευάσουν και προγραμματίσουν τις δικές τους εκπαιδευτικές απτικές διεπαφές.

Λέξεις κλειδιά: Απτικές διεπαφές, περιβάλλοντα μεικτής πραγματικότητας, Makey Makey, Scratch, ενσώματη μάθηση

Εισαγωγή

Πολλοί παιδαγωγοί και ερευνητές έχουν κάνει λόγο για τη χρήση απτών αντικειμένων στη διαδικασία της μάθησης. Ο Pestalozzi ήταν από τους πρώτους που ανέφερε ότι οι μαθητές πρέπει να χρησιμοποιούν τις αισθήσεις και την κίνησή τους ενώ ο Froebel βασιζόμενος στις ιδέες του Pestalozzi έκανε λόγο για τα «δώρα» (gifts) τα οποία ήταν διάφορα αντικείμενα (μπάλες, ξυλάκια, τουβλάκια) που προοριζόνταν για μαθητές προσχολικής ηλικίας με σκοπό τα παιδιά να αναγνωρίζουν τα κοινά στοιχεία που υπήρχαν ανάμεσα στα φυσικά αντικείμενα και τις παραστάσεις στη φύση (Resnick et al, 1998). Η Montessori ενστερνίστηκε τις ιδέες του Froebel και τις πήγε ένα βήμα παρακάτω σχεδιάζοντας χειραπτικά υλικά (manipulatives) που ανταποκρίνονταν σε πιο αφηρημένες κατασκευές και προοριζόνταν όχι μόνο για την προσχολική εκπαίδευση αλλά και για μεγαλύτερες ηλικίες. Η εκπαιδευτική συνεισφορά αυτών των φυσικών αντικειμένων έγκειται κυρίως στην προσέγγιση αφηρημένων εννοιών που σε αυτές τις ηλικίες είναι ιδιαίτερα δύσκολη, όπως είναι τα μαθηματικά (Resnick et al, 1998). Τα φυσικά αντικείμενα εμπλέκουν τις αισθήσεις του μαθητή, κυρίως την αφή, την όραση και την ακοή, αυξάνουν την προσβασιμότητα και μεταξύ άλλων προωθούν τη συνεργατική μάθηση, δεδομένου ότι πολλοί μαθητές συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ή να χρησιμοποιήσουν μια κατασκευή (Zuckerman, Arida, & Resnick, 2005). Ο S. Papert (Harel & Papert, 1991) στη θεωρία του δίνει έμφαση

στην παροχή τεχνολογιών στα παιδιά με τις οποίες μετατρέπονται σε δημιουργούς, παρά στην συμμετοχή τους σε προκατασκευασμένες εμπειρίες και την απλή απορρόφηση γεγονότων παρεχόμενων από έναν υπολογιστή.

Οι εκπαιδευτικές απτικές διεπαφές (educational tangible interfaces) αποτελούν ένα πρόσφατο πεδίο έρευνας στον τομέα της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή και έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν μια φυσική και άμεση μορφή αλληλεπίδρασης, προσιτή στους μαθητούμενους, να προωθήσουν την ενεργητική συμμετοχή τους, παρέχοντας παράλληλα συμπαγείς απεικονίσεις αφηρημένων εννοιών, καθώς και τη δυνατότητα ομαδικής συνεργασίας (Antle & Wise, 2013). Ενώ στις αρχές της δεκατίας του 2000, η σχεδίαση και ανάπτυξη απτικών διεπαφών συμπεριελάμβανε ακριβό, σύνθετο και απαιτητικό λογισμικό και υλικό, σήμερα η ανάπτυξη τους είναι φθηνή και προσβάσιμη ακόμη και από μαθητές δημοτικού. Σε αυτή τη συνεδρία θα διαπραγματευτούμε τις δυνατότητες της πλακέτας Makey Makey ως εργαλείου κατασκευής εκπαιδευτικών απτικών διεπαφών και περιβαλλόντων μεικτής πραγματικότητας. Το Makey Makey επιτρέπει πολύ γρήγορα να μετατρέψουμε οποιοδήποτε αγωγίμο υλικό (από το σώμα μας μέχρι υγρά) σε συσκευή εισόδου μιας υπολογιστικής μονάδας και συνεπώς επιτρέπει την εύκολη δημιουργία φυσικών διεπαφών.

Θεωρητικό και τεχνολογικό πλαίσιο

Ενσώματη αλληλεπίδραση

Το θεωρητικό πλαίσιο αξιοποίησης των εκπαιδευτικών απτικών διεπαφών είναι οι θεωρίες της ενσώματης μάθησης. Πιο αναλυτικά, η έννοια της ενσώματης νόησης έχει σχέση με το βίωμα, την εμπειρία, την αντίληψη, την αίσθηση, την κίνηση, τη σωματική και νοητική δράση. Το ρεύμα της ενσώματης προσέγγισης υποστηρίζει ότι το σώμα είναι ένα μέσο ανάπτυξης της γνώσης του ατόμου. Αυτό σημαίνει ότι η γνώση δομείται βάσει της αλληλεπίδρασης του ατόμου με τον έξω κόσμο χρησιμοποιώντας το μυαλό αλλά και το σώμα. Από αυτή τη σκοπιά, η νόηση, η δράση καθώς και η αναπαράσταση δεν νοούνται πλέον ξεχωριστά αλλά συνδέονται μεταξύ τους (Gallese & Lakoff, 2005· Garbarini & Adenzato, 2004). Η μάθηση είναι αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης των ερεθισμάτων που λαμβάνει το σώμα τα οποία μετατρέπονται σε προσωπικό βίωμα μέσω κινητικών δραστηριοτήτων. Σύμφωνα με τους Smith & Gasser (2005) η ανάπτυξη της ενσώματης νόησης ξεκινά από τη βρεφική ηλικία και μάλιστα τονίζουν ότι «η νοημοσύνη δεν είναι απλά ενσώματη, γίνεται ενσώματη» κυρίως λόγω της μορφής του περιβάλλοντος.

Οι απτικές διεπαφές απαιτούν και ευνοούν τις ενσώματες αλληλεπιδράσεις. Στο σχολικό χώρο ενσώματη αλληλεπίδραση σημαίνει ουσιαστικά ότι ο μαθητής παύει να είναι καθισμένος στο θρανίο του ή μπροστά από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή αλλά χρησιμοποιεί όλο το σώμα του προκειμένου να συμμετέχει στο μάθημα και να αλληλεπιδράσει με φυσικά αντικείμενα χωρίς όμως να ακούει τη «διάλεξη» του δάσκαλου ή να διαβάζει το σχολικό βιβλίο. Επιπλέον όμως, η αλληλεπίδραση αυτή μπορεί να συμβαίνει στα πλαίσια ενός χώρου επαυξημένου με τη χρήση προβολικού, οπότε σε αυτήν την περίπτωση μιλάμε για ένα περιβάλλον Μεικτής Πραγματικότητας. Οι εφαρμογές Μεικτής Πραγματικότητας ενισχύουν την ενσώματη γνώση καθώς συνδυάζουν τη φυσική δραστηριότητα του σώματος με τις δυναμικές εξωτερικές αναπαραστάσεις των ψηφιακών μέσων, είτε αυτά είναι μεγάλες οθόνες, είτε προβολές πάνω στο φυσικό κόσμο. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα

εκπαιδευτικών απτικών εφαρμογών και εφαρμογών μεικτής πραγματικότητας με εφαρμογή στη φυσική, στα μαθηματικά αλλά ακόμη και στη γυμναστική.

Makey Makey & Scratch

Το Makey Makey αναπτύχθηκε από δύο ερευνητές του MIT, τους Jay Silver και Eric Rosenbaum, και είναι μια ηλεκτρονική πλακέτα που μας επιτρέπει να μετατρέψουμε φυσικά αντικείμενα καθημερινής χρήσης σε συσκευές εισόδου του υπολογιστή μας. Όπως φαίνεται κι απ' το όνομά του (*Makey - Makey* από το «*Make a key*»), η συγκεκριμένη συσκευή στην πραγματικότητα «αντιστοιχεί» το άγγιγμα αγωγίμων φυσικών αντικειμένων με το πάτημα πλήκτρων του υπολογιστή. Παραδείγματα φυσικών αντικειμένων που μπορούν να αντιστοιχιστούν με πλήκτρα του πληκτρολογίου είναι τα εξής:

- Φρούτα, λαχανικά
- Νερό, χυμοί, αναψυκτικά, υγρά
- Ανθρώπινο σώμα
- Μολύβι, αγωγάμοι στυλό
- Αλουμινόχαρτο, καλώδιο, ελατήρια, μεταλλικές κατασκευές

Το Makey Makey καθιστά εξαιρετικά εύκολο ένα πρόγραμμα ενός υπολογιστή να αντιδρά στο άγγιγμα όλων των προηγούμενων αντικειμένων. Αυτή η απλότητα προκαλεί διάθεση για παιχνίδι και προσφέρει μία σημαντική ευκαιρία για εισαγωγή των μαθητών στην κατασκευή συστημάτων με τη χρήση απτικών διεπαφών (Collective & Shaw 2012; Martinez & Stager, 2013).

Σύμφωνα με τους Collective & Shaw (2012), οι βασικοί στόχοι της κατασκευής του Makey Makey ήταν:

- Γρήγορη πρόσβαση για αρχάριους.
- Λειτουργικότητα με κάθε λογισμικό.
- Αλληλεπιδραστικά περιβάλλοντα βασισμένα σε φυσικά αντικείμενα
- Δεν προαπαιτείται προγραμματισμός για τη σύνδεση με τον υπολογιστή.
- Δεν απαιτούνται εξειδικευμένες συνδεσμολογίες για τη δημιουργία του κυκλώματος.

Ο χρόνος στον οποίο οι μαθητές καταφέρνουν να κατανοήσουν τη βασική λειτουργικότητα του Makey Makey, τον τρόπο σύνδεσής του με φυσικά αντικείμενα αλλά και να φέρουν σε πέρας ένα πρότζεκτ είναι πολύ λιγότερος από ότι με άλλες παραπλήσιες πλακέτες όπως π.χ. το Arduino (Martinez & Stager, 2013). Επιπλέον η ευκολία που συνδέεται το Makey Makey με διαφορετικού τύπου συσκευές (π.χ. φορητοί, κινητά), διαφορετικού τύπου λειτουργικά συστήματα και η ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων προγραμματιστικών γνώσεων για το χειρισμό του, καθιστούν την επιλογή αυτή ιδιαίτερα ελκυστική για πληθώρα έργων.

Στη επιμορφωτική συνεδρία, το άγγιγμα των αγωγίμων υλικών θα το χειριστούμε μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Scratch, το οποίο επιτρέπει στο χρήστη να ορίσει με εύκολο τρόπο εντολές του τύπου «όταν πατηθεί το πλήκτρο X, εκτέλεσε το σενάριο». Έτσι για παράδειγμα, ένα παιδί ακουμπώντας ένα μήλο, που είναι συνδεδεμένο με το makey makey, μπορεί να ακούσει μια νότα καθώς το πρόγραμμά μας στο Scratch μπορεί να περιλαμβάνει το σενάριο «Όταν πατηθεί το πλήκτρο X, τότε παίξε τη νότα Y».

Εκπαιδευτική Προστιθέμενη Αξία

Η παρακολούθηση της εργαστηριακής συνεδρίας αναμένετε να προσφέρει στους συμμετέχοντες εκπαιδευτικούς τη δυνατότητα να γνωρίσουν τη ευκολία δημιουργίας εκπαιδευτικών απτικών διεπαφών και περιβαλλόντων μεικτής πραγματικότητας, να κατανοήσουν την εκπαιδευτική τους αξία μέσα από την μελέτη διαφορετικών παραδειγμάτων, και να εμπνευστούν για να δημιουργήσουν τις δικές τους προτάσεις μαζί με τους μαθητές τους. Οι συμμετέχοντες θα εξοικειωθούν με έννοιες και εργαλεία που ταιριάζουν στη κουλτούρα των δημιουργών (maker culture) που προωθείται στα σχολεία διεθνώς και ταυτόχρονα θα προσθέσουν στην εργαλειοθήκη τους ένας ακόμη τρόπο για να προωθήσουν τη STEM προσέγγιση μάθησης.

Η εργαστηριακή συνεδρία θα επιτρέψει στους συμμετέχοντες να γνωρίσουν τη χρήση και την αξιοποίηση της πλακέτας Makey Makey σε συνδυασμό με τον προγραμματιστικό περιβάλλον του Scratch, να αναγνωρίσουν τις ευκαιρίες που προσφέρει και τους περιορισμούς της, να μάθουν τεχνικές για την επίλυση τοπικών προβλημάτων κατά την κατασκευή απτικών διεπαφών και να γνωρίσουν προγραμματιστικά πρότυπα που ταιριάζουν στο συγκεκριμένο τύπο αλληλεπιδράσεων. Τα πολλά παραδείγματα που θα αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια της συνεδρίας, θα δώσουν μια πρακτική και άμεσα εφαρμόσιμη ματιά για τη δημιουργία πρωτοτύπων φυσικών διεπαφών.

Κοινό στο οποίο απευθύνεται

Η συνεδρία απευθύνεται σε εκπαιδευτικούς Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, όλων των ειδικοτήτων. Ο προτεινόμενος αριθμός συμμετεχόντων είναι έως 30 άτομα τα οποία θα σχηματίσουν ομάδες των δυο ατόμων και θα χρησιμοποιήσουν το δικό τους φορητό υπολογιστή. 15 πλακέτες Makey Makey θα διαμοιραστούν για τις ανάγκες του εργαστηρίου από τον εισηγητή ενώ οι συμμετέχοντες θα πρέπει να έχουν πρόσβαση στο προγραμματιστικό περιβάλλον του Scratch είτε διαδικτυακά είτε τοπικά. Είναι θεμιτή η προηγούμενη γνώση προγραμματισμού με το προγραμματιστικό περιβάλλον του Scratch. Προβλεπόμενη διάρκεια υλοποίησης: 2 ώρες.

Οργάνωση και στόχοι εργαστηριακής συνεδρίας

Οι στόχοι της εργαστηριακής συνεδρίας είναι:

- Η απόκτηση δεξιοτήτων δημιουργίας απτικών εφαρμογών
- Η απόκτηση δεξιοτήτων δημιουργίας περιβαλλόντων μεικτής πραγματικότητας
- Η εξοικείωση με την πλακέτα Makey Makey
- Η αναγνώριση και κατανόηση των διαφορετικών δυνατοτήτων αξιοποίησης του Makey Makey στο Scratch
- Η κατανόηση των εκπαιδευτικών ευκαιριών που προσφέρουν οι απτικές εκπαιδευτικές εφαρμογές
- Η κατανόηση των εκπαιδευτικών ευκαιριών που προσφέρουν τα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα μεικτής πραγματικότητας
- Η αναγνώρισης της αξίας της ενσώματης μάθησης
- Η μελέτη σειρά διαφορετικών απτικών εφαρμογών και εφαρμογών μεικτής πραγματικότητας
- Η απόκτηση δεξιοτήτων σχεδίασης απτικών εφαρμογών

Στη συνέχεια περιγράφονται τα επόμενα στάδια υλοποίησης της συνεδρίας.

1η Δραστηριότητα (διάρκεια 10 λεπτά):

Θα διαπραγματευτούμε τις έννοιες της ενσώματης μάθησης, των απτικών διεπαφών, των περιβαλλόντων μεικτής πραγματικότητας και τη κουλτούρας των «δημιουργών» (Maker culture) παρουσιάζοντας και συζητώντας σχετικά παραδείγματα.

2η Δραστηριότητα (διάρκεια 15 λεπτά):

Θα παρουσιαστεί η πλατφόρμα Makey Makey, θα συνδεθεί στους φορητούς υπολογιστές των συμμετεχόντων και θα χρησιμοποιηθούν τα σώματα των συμμετεχόντων ως εισοδοί για να παίξουν οι χρήστες μουσική και το γνωστό παιχνίδι tetris. Θα συζητηθούν οι εναλλακτικές διατάξεις των σωμάτων των χρηστών και οι ευκαιρίες μάθησης και κοινωνικής αλληλεπίδρασης που διαμορφώνονται.

3η Δραστηριότητα (διάρκεια 15 λεπτά):

Με τη χρήση του Makey Makey, οποιοδήποτε αγωγίμο υλικό μπορεί να μετατραπεί ως εισόδος στον υπολογιστή. Οι συμμετέχοντες θα πειραματιστούν με φρούτα (π.χ. πορτοκάλια, υγρά (π.χ. νερό ή αναψυκτικό), γραφίτη (π.χ. μολύβι) και τα υλικά αυτά θα δώσουν τη δυνατότητα στους συμμετέχοντες να ελέγξουν ηλεκτρονικά αντικείμενα στην οθόνη των υπολογιστών τους. Οι συμμετέχοντες θα κληθούν να σχεδιάσουν και να δημιουργήσουν καινοτόμες δημιουργικές διεπαφές για ένα πιάνο 5 πλήκτρων και για το πιο γρήγορο χειρισμό του γνωστού παιχνιδιού Tetris.

4η Δραστηριότητα (διάρκεια 20 λεπτά):

Θα παρουσιαστούν ο τρόπος χρήσης του Makey Makey σε συνδυασμό με το προγραμματιστικό περιβάλλον του Scratch. Θα συνδεθούν τα «συμβάντα» με διαφορετικά εκπαιδευτικά σενάρια και οι συμμετέχοντες θα δημιουργήσουν μια σύντομη ψηφιακή ιστορία που αποτυπώνεται και αποκαλύπτεται από μια ζωγραφιά.

5η Δραστηριότητα (διάρκεια 20 λεπτά):

Η αξιοποίηση του Makey Makey έχει συγκεκριμένους προγραμματιστικούς περιορισμούς (π.χ. αριθμός εισόδων, συνεχές άγγιγμα μιας διεπαφής). Θα πραγματοποιηθούν παραδείγματα που αναδεικνύουν τους περιορισμούς αυτούς μέσα σε εκπαιδευτικές διεπαφές αλλά θα συζητηθούν και τεχνικές λύσεις για να ξεπεραστούν ορισμένες από αυτές.

6η Δραστηριότητα (διάρκεια 20 λεπτά):

Θα συζητηθεί και θα παρουσιαστεί πως το Makey Makey σε συνδυασμό με το Scratch και τη χρήση προβολικού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργηθούν εκπαιδευτικά περιβάλλοντα μεικτής πραγματικότητας, όπου ο φυσικός κόσμος επαυξάνεται ηλεκτρονικά. Οι συμμετέχοντες θα δημιουργήσουν ένα αντίστοιχο περιβάλλον πάνω από τις οθόνες του φορητού υπολογιστή τους.

7η Δραστηριότητα (διάρκεια 10 λεπτά):

Συμπερασματική συζήτηση - Κλείσιμο. Θα παρουσιαστούν 30 διαφορετικές εκπαιδευτικές εφαρμογές με τη χρήση του Makey Makey και του Scratch και θα συζητηθούν διαφορετικές εφαρμογές των όσων παρουσιάστικαν στο σχολικό περιβάλλον.

Αναφορές

- Antle, A. N., & Wise, A. F. (2013). Getting down to details: Using theories of cognition and learning to inform tangible user interface design. *Interacting with Computers*, 25(1), 1-20.
- Collective, B. S. M., & Shaw, D. (2012). Makey Makey: improvising tangible and nature-based user interfaces. In *Proceedings of the sixth international conference on tangible, embedded and embodied interaction* (pp. 367-370). ACM.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive neuropsychology*, 22(3-4), 455-479.
- Garbarini, F., & Adenzato, M. (2004). At the root of embodied cognition: Cognitive science meets neurophysiology. *Brain and cognition*, 56(1), 100-106.
- Harel, I. E., & Papert, S. E. (1991). *Constructionism*. Ablex Publishing.
- Martinez, S. L., & Stager, G. (2013). Invent to learn: Making, tinkering, and engineering in the classroom.
- Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., & Silverman, B. (1998). Digital manipulatives: new toys to think with. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 281-287). ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co..
- Smith, L., & Gasser, M. (2005). The development of embodied cognition: Six lessons from babies. *Artificial life*, 11(1-2), 13-29.
- Zuckerman, O., Arida, S., & Resnick, M. (2005). Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 859-868). ACM.