

Προγραμματισμός Υπολογιστών και Νευροεκπαίδευση

Π. Γιαννοπούλου¹, Π. Βλάμος¹, Σ. Δουκάκης¹, Μ.-Α. Παπαλάσκαρη²

¹Τμήμα Πληροφορικής Ιονίου Πανεπιστημίου
{c16gian, vlamos, sdoukakis}@ionio.gr

²Department of Computing Sciences, Villanova University, USA
map@villanova.edu

Περίληψη

Την τελευταία πενταετία ένας σημαντικός αριθμός ερευνών εστιάζει στο πεδίο του προγραμματισμού υπολογιστών και της συγγραφής κώδικα (ανάπτυξη λογισμικού, κατανόηση κώδικα, εκσφαλμάτωση προγράμματος, βελτιστοποίηση κώδικα, εκπαίδευση προγραμματιστών), αξιοποιώντας τις δυνατότητες που παρέχουν οι τεχνικές απεικόνισης του εγκεφάλου και οι βιοδείκτες. Με τη χρήση των παραπάνω τεχνικών έχει διερευνηθεί ο ρόλος της εμπειρίας και της γνώσης προγραμματισμού, η σχέση της κωδικοποίησης με το γραπτό λόγο και οι δυνατότητες βελτίωσης της εκσφαλμάτωσης προγραμμάτων με τεχνικές μηχανικής μάθησης. Στην εργασία αυτή, θα επιχειρηθεί ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και συζήτηση για ερευνητικά ζητήματα που μπορούν να προσεγγιστούν μελλοντικά. Η έρευνα μπορεί να συνδέσει το χώρο των νευροεπιστημών με ζητήματα εκπαίδευσης στον προγραμματισμό, με απώτερο στόχο να συνεισφέρει στην υποστήριξη της εκπαιδευτικής διαδικασίας.

Λέξεις κλειδιά: Προγραμματισμός Υπολογιστών, Ανάπτυξη Λογισμικού, Νευροεκπαίδευση.

1. Εισαγωγή

Ο προγραμματισμός υπολογιστών αποτελεί ένα από τα μαθήματα που διδάσκονται οι μαθητές και οι μαθήτριες κατά τη διάρκεια της σχολικής τους εκπαίδευσης σε ένα σημαντικό αριθμό χωρών (Jones κ.ά., 2011). Επιπρόσθετα, ο προγραμματισμός υπολογιστών αποτελεί ένα από τα βασικά γνωστικά αντικείμενα σε όλα τα προγράμματα σπουδών των τμημάτων πληροφορικής τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (Pears, κ.ά., 2007). Η ένταξη μαθημάτων πληροφορικής και ειδικότερα προγραμματισμού στη σχολική εκπαίδευση έχει διττό σκοπό. Από τη μία στοχεύει στην ανάπτυξη γνώσεων σχετικά με τα ψηφιακά εργαλεία και από την άλλη επιχειρεί να δώσει το έναυσμα στους/στις εκπαιδευόμενους/ες να ακολουθήσουν σπουδές που σχετίζονται με την Επιστήμη των Υπολογιστών (Armoni & Gal-Ezer, 2014). Παρά την αύξηση των μαθητών/ριών που ακολουθούν σπουδές στην επιστήμη των υπολογιστών και την αύξηση των ενηλίκων που στο πλαίσιο της δια βίου εκπαίδευσης ενισχύουν τις γνώσεις τους στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών

(Cedefop, 2016), καταγράφεται στη βιβλιογραφία η δυσκολία που έχουν οι φοιτητές/ήτριες τμημάτων πληροφορικής και οι ενήλικοι/ες να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις των μαθημάτων προγραμματισμού. Η δυσκολία αυτή, έχει ως συνέπεια την αποστροφή τους από την εμβάθυνση στον προγραμματισμό (Biró κ.ά., 2016· Armoni & Gal-Ezer, 2014). Στο πλαίσιο αυτό, γίνεται σημαντική προσπάθεια διεθνώς να προσδιοριστούν οι λόγοι της δυσκολίας και της αποστροφής, με στόχο να αναπτυχθούν κατάλληλες διδακτικές προσεγγίσεις και διαδρομές μάθησης οι οποίες θα συνεισφέρουν στην ενίσχυση των ικανοτήτων των μελλοντικών προγραμματιστών (Pea & Kurland, 1984· Sajaniemi, 2008· Berland κ.ά., 2013).

Ταυτόχρονα, τα τελευταία χρόνια, η Νευροεπιστήμη επιχειρεί να εξηγήσει τις λειτουργίες του εγκεφάλου και των μηχανισμών που αποτελούν τη βάση της ανθρώπινης μάθησης και ανάπτυξης. Τεχνικές απεικόνισης του εγκεφάλου, όπως το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίου και η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού, παρέχουν ευκαιρίες να διερευνηθεί η λειτουργική οργάνωση του ανθρώπινου εγκεφάλου. Υπό το πρίσμα αυτών των δυνατοτήτων, η νευροεπιστήμη δημιουργεί δεσμούς με άλλους τομείς, όπως αυτός της εκπαίδευσης, με απώτερο στόχο να ενισχυθεί η κατανόηση των ψυχικών και φυσιολογικών διαδικασιών που εμπλέκονται στη μάθηση. Οι προσπάθειες σύνδεσης της νευροεπιστήμης, της γνωστικής επιστήμης, της ψυχολογίας και της εκπαίδευσης έχουν οδηγήσει στην εμφάνιση ενός σύγχρονου διεπιστημονικού τομέα που αποκαλείται Νευροεκπαίδευση (Nouri, 2016· Ansari & Lyons, 2016).

Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα εργασία, αρχικά θα προσδιοριστούν οι ερευνητικές προσπάθειες που έχουν πραγματοποιηθεί στον τομέα του προγραμματισμού και οι οποίες αξιοποιούν τεχνικές απεικόνισης εγκεφάλου και ταυτόχρονα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματά τους. Στη συνέχεια θα επιχειρηθεί μια κριτική προσέγγιση των ερευνών και θα παρουσιαστούν περιοχές και ερευνητικά ζητήματα στον τομέα του προγραμματισμού που μπορούν να μελετηθούν μελλοντικά με τη χρήση τεχνικών απεικόνισης εγκεφάλου.

2. Νευροεπιστήμη και προγραμματισμός υπολογιστών

Η έρευνα που συνδέει τη γνωστική νευροεπιστήμη με τον προγραμματισμό υπολογιστών έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Αντίστοιχη έρευνα έχει επιχειρηθεί και σε άλλα επιστημονικά πεδία, όπως τα Μαθηματικά (Ansari & Lyons, 2016) και η Γλώσσα (Ferrari & McBride, 2011). Η αύξηση αυτή έχει οδηγήσει σε μια ποικιλομορφία των διερευνώμενων θεμάτων (ανάπτυξη λογισμικού, κατανόηση κώδικα, εκσφαλμάτωση προγράμματος, βελτιστοποίηση κώδικα και εκπαίδευση προγραμματιστών). Ως τεχνικές απεικόνισης έχουν αξιοποιηθεί το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (electroencephalography, EEG), η Φασματοσκοπία Εγγύς Υπερύθρου (Near Infra-red Spectroscopy, NIRS) καθώς και η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (Functional magnetic resonance imaging, fMRI)

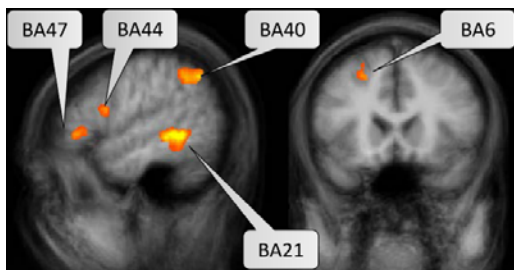
και παράλληλα έχει επιχειρηθεί η σύνδεση των τεχνικών αυτών με τεχνικές μέτρησης κατάλληλων βιοδεικτών (biometrics). Τέλος, το ακαδημαϊκό υπόβαθρο και οι χώρες από τις οποίες προέρχονται οι έρευνες αναδεικνύουν ότι πρόκειται για ένα σύγχρονο διεπιστημονικό ερευνητικό πεδίο που επιχειρεί να αναπτύξει γέφυρες μεταξύ της Γνωσιακής Νευροεπιστήμης και του προγραμματισμού.

2.1 Έρευνες με τεχνικές απεικόνισης του εγκεφάλου

Μία από τις πρώτες σχετικές ερευνητικές προσπάθειες επιχειρεί να διερευνήσει το νοητικό φόρτο εργασίας των προγραμματιστών κατά την προσπάθεια κατανόησης προγράμματος με βάση την μέτρηση της ροής του αίματος στον εγκέφαλο (Nakagawa κ.ά., 2014). Οι ερευνητές από την Ιαπωνία και τον Καναδά, επιχειρήσαν να καταγράψουν και να ποσοτικοποιήσουν το νοητικό φόρτο εργασίας 10 προγραμματιστών κατά την προσπάθεια κατανόησης προγραμμάτων. Έξι προγράμματα των 17-32 γραμμών κώδικα, γραμμένα σε γλώσσα C, τα οποία ανά τρία είχαν διαφορετικό επίπεδο δυσκολίας δόθηκαν στους/στις συμμετέχοντες/ουσες. Τα τρία προγράμματα υλοποιούσαν αλγόριθμους αναζήτησης, υπολογισμού αθροίσματος και εύρεσης μέγιστης τιμής σε πίνακα. Με στόχο να κατανοήσουν τα προγράμματα, οι συμμετέχοντες/ουσες, διάβαζαν και εκτελούσαν με το χέρι τα προγράμματα και κατέγραφαν σε πίνακα παρακολούθησης τιμών τα αποτελέσματα. Οι ερευνητές με τη χρήση NIRS μετρούσαν την ποσότητα οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (oxy-Hb) στην εγκεφαλική ροή του αίματος. Από την ανάλυση των δεδομένων ανέδειξαν ότι η κανονικοποιημένη οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη κατά την κατανόηση απαιτητικών προγραμμάτων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα μη απαιτητικά προγράμματα στα 8 από τα 10 άτομα. Σύμφωνα με τους ερευνητές, το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η πολυπλοκότητα ενός προγράμματος προκαλεί την ενεργοποίηση του προμετωπιαίου φλοιού. Ταυτόχρονα όμως οι ερευνητές υποστήριζαν ότι ο νοητικός φόρτος εργασίας μπορεί να διαφοροποιείται στα άτομα ανάλογα με το επίπεδο δεξιότητάς τους (να μην αισθάνονται δυσκολία σε απαιτητικές εργασίες) και τη φυσική τους κατάσταση (Nakagawa κ.ά., 2014).

Η κατανόηση προγράμματος αποτέλεσε και το ερευνητικό θέμα μιας άλλης ομάδας ερευνητών από την Γερμανία και τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, οι οποίοι αξιοποίησαν fMRI για τις σχετικές μετρήσεις (Siegmund κ.ά., 2014). Οι ερευνητές μελέτησαν 17 άτομα, τα οποία προσπαθούσαν να κατανοήσουν σύντομα τμήματα πηγαίου κώδικα και στα οποία χρειαζόταν να εντοπίσουν συντακτικά λάθη. Επέλεξαν 23 τυπικούς αλγόριθμους (αναζήτησης, ταξινόμησης, εύρεσης μεγίστου, αντιμετάθεσης, υπολογισμού παραγοντικού κ.ά.) που διδάσκονται στο πρώτο εξάμηνο σπουδών στα τμήματα πληροφορικής. Όλοι οι αλγόριθμοι ήταν γραμμένοι σε Java και χρησιμοποιήθηκαν μικροί αριθμοί, ώστε να μην παρατηρηθεί γνωσιακός φόρτος. Οι ερευνητές κατέγραψαν ένα σαφές, διακριτό μοτίβο ενεργοποίησης πέντε περιοχών του εγκεφάλου, οι οποίες συνδέονται με τη μνήμη εργασίας (BA6, BA40), την προσοχή (BA6) και την επεξεργασία γλώσσας (BA21, BA44, BA47) (Εικόνα 1).

Οι περιοχές αυτές φαίνεται να συνδέονται ικανοποιητικά με τον τρόπο που μπορεί να αναδείξει το αν κάποιος έχει κατανοήσει ένα πρόγραμμα ή όχι.



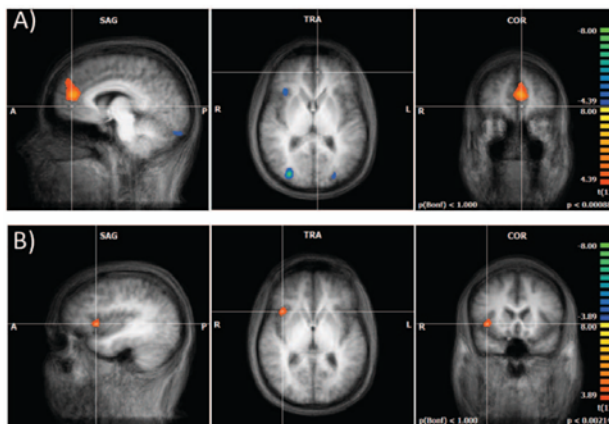
Εικόνα 1. Περιοχές Brodmann

Οι Crk, Kluthe και Stefik (2015) με την αξιοποίηση EEG μελέτησαν το βαθμό εμπειρίας και γνώσης (εμπειρογνωμοσύνη) προγραμματιστών, παρατηρώντας την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου τους. Στην έρευνα συμμετείχαν 34 προπτυχιακοί φοιτητές πληροφορικής. Τα άτομα ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με τα μαθήματα προγραμματισμού που είχαν ήδη ολοκληρώσει επιτυχώς. Η ορθότητα των απαντήσεών τους και η εμπειρογνωμοσύνη τους στον προγραμματισμό αποτέλεσαν τις ανεξάρτητες μεταβλητές ώστε να μελετηθεί η εξαρτημένη μεταβλητή που σχετιζόταν με το μέσο όρο των γεγονότων μείωσης της ισχύος του EEG σήματος. Η μείωση ή η αύξηση της ισχύος του EEG σήματος σχετίζεται με γεγονότα συγχρονισμού (Event-Related Synchronization, ERS) ή αποσυγχρονισμού (Event-Related Desynchronization, ERD) των νευρώνων. Έτσι, οι εργασίες που απαιτούν μεγαλύτερο γνωσιακό φόρτο προκαλούν μεγαλύτερες διαφορές ERD.

Οι ερευνητές βάσει της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου των συμμετεχόντων και με τη χρήση δεικτών γνωσιακών διεργασιών (ERD) μελέτησαν διαφορές που παρατηρήθηκαν στο ανώτερο άλφα, στο κατώτερο άλφα και τις υποζώνες κατώτερου άλφα βάσει των ανεξάρτητων μεταβλητών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου μπορεί να υποδηλώνει: α) την εμπειρογνωμοσύνη των συμμετεχόντων στον προγραμματισμό και β) την πιθανή συσχέτιση του επιπέδου εμπειρογνωμοσύνης που δηλώνουν οι συμμετέχοντες σε σχέση με την εικόνα που παρουσιάζουν όταν καλούνται να ολοκληρώσουν συγκεκριμένες δραστηριότητες.

Πιο πρόσφατα, ερευνητές από την Πορτογαλία μελέτησαν και ανέλυσαν τη δραστηριότητα του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια εργασιών εκσφαλμάτωσης κώδικα χρησιμοποιώντας fMRI (Duraes κ.ά., 2016). Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν προγράμματα σε C (πολλαπλασιασμός πινάκων, αλγόριθμος γρήγορης ταξινόμησης, ταξινόμησης παρεμβολής κ.ά.), τα οποία είχαν σφάλματα. Οι 13 συμμετέχοντες ήταν προγραμματιστές με διαφορετικά επίπεδα εμπειρογνωμοσύνης στον προγραμματισμό και τον έλεγχο κώδικα. Στους συμμετέχοντες δόθηκαν τρία προγράμματα με λάθη και τρία μικρότερα προγράμματα χωρίς λάθη με τυχαία σειρά.

Οι ερευνητές εντόπισαν ότι κατά την διαδικασία της εκσφαλμάτωσης ενεργοποιούνται αρκετές περιοχές που σχετίζονται με την κατανόηση προγράμματος. Κάποιες από αυτές τις περιοχές έχουν προσδιοριστεί ως γλωσσικές περιοχές, ενώ κάποιες άλλες βρίσκονται πέρα από τις γλωσσικές περιοχές και σχετίζονται με τη μνήμη εργασίας και τη λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, εντοπίστηκαν ισχυρότερες ενεργοποιήσεις τη στιγμή της ανίχνευσης των σφαλμάτων στον έσω μετωπιαίο φλοιό, ενώ άλλες περιοχές που σχετίζονται με την οπτική αντίληψη και τη λήψη αποφάσεων απενεργοποιούνται την ίδια στιγμή μιας και η βεβαιότητα για την παρουσία ενός σφάλματος είχε ήδη επιτευχθεί (Εικόνα 2A). Επιπρόσθετα, εντοπίστηκε μια συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου με ισχυρότερες ενεργοποιήσεις τη στιγμή της «υποψίας» σε σύγκριση με την επιβεβαίωση του σφάλματος. Αυτή η περιοχή βρίσκεται στην δεξιά πρόσθια νήσο (Εικόνα 2B) και συσχετίζεται θετικά με τις συμπεριφορικές επιδόσεις της ομάδας ως προς τη σωστή ανίχνευση των σφαλμάτων. Τα παραπάνω αποτελέσματα αναδεικνύουν ότι η νήσος (insula), μπορεί να θεωρηθεί η περιοχή που σχετίζεται με την ακρίβεια εύρεσης των λαθών σε ένα πρόγραμμα.



Εικόνα 2. Περιοχές ενεργοποίησης

Σε μια άλλη πρόσφατη έρευνα οι Floyd κ.ά., (2017) εξέτασαν την κατανόηση και την ανασκόπηση κώδικα σε σύγκριση με την κατανόηση γραπτού λόγου χρησιμοποιώντας fMRI. Στους 29 συμμετέχοντες δόθηκαν τρία είδη οπτικών δραστηριοτήτων (απόσπασμα κώδικα το οποίο συνοδεύταν από ερώτημα συντήρησης του λογισμικού, μήνυμα μέσω GitHub για νέα έκδοση κώδικα που συνοδεύταν από ερώτημα αποδοχής ή όχι, κείμενο αγγλικής πεζογραφίας το οποίο συνοδεύταν από απλές επισημάνσεις επεξεργασίας και ερώτημα αποδοχής ή όχι).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, οι νευρικές αναπαραστάσεις των γλωσσών προγραμματισμού και των φυσικών γλωσσών είναι διακριτές. Οι ερευνητές με τη χρήση ενός μοντέλου ταξινόμησης των δραστηριοτήτων κάθε συμμετέχοντα εντόπισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της κατανόησης του κώδικα και

της κατανόησης γραπτού λόγου. Επιπλέον, διαπίστωσαν ότι κατά την κατανόηση του κώδικα και του γραπτού λόγου ενεργοποιείται το ίδιο σύνολο περιοχών του εγκεφάλου. Τέλος, υποστήριξαν ότι οι νευρικές αναπαραστάσεις των γλωσσών προγραμματισμού και των φυσικών γλωσσών διαμορφώνονται από την εμπειρογνωμοσύνη. Όσο μεγαλύτερη είναι η εμπειρογνωμοσύνη, τόσο λιγότερο διαφοροποιημένη είναι η νευρική αναπαράσταση, οπότε οι εμπειρογνώμονες αντιμετωπίζουν τον κώδικα και την πεζογραφία με παρόμοιο τρόπο.

Οι Doukakakis κ.ά. (2018), μελέτησαν 8 φοιτητές πληροφορικής οι οποίοι εργάστηκαν σε 4 προγράμματα και κατέγραψαν τη δραστηριότητα του εγκεφάλου τους με χρήση EEG. Στόχος της έρευνας ήταν να εξετασθεί αν υπάρχουν διαφορές κατά την ανάπτυξη προγραμμάτων με κειμενικές σε σχέση με οπτικές γλώσσες προγραμματισμού. Οι φοιτητές εργάστηκαν με τις γλώσσες Python και Scratch. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα φαίνεται ότι υπάρχει συσχέτιση των εγκεφαλικών ρυθμών με τον χρόνο που χρειάστηκαν να ολοκληρώσουν την κάθε δραστηριότητα, όμως δεν φαίνεται να επηρεάζει την εγκεφαλική δραστηριότητά τους το είδος της γλώσσας προγραμματισμού με την οποία θα εργαστούν.

2.2 Έρευνες με τεχνικές απεικόνισης του εγκεφάλου και χρήση βιοδεικτών

Με την αξιοποίηση βιοδεικτών και ταυτόχρονα την χρήση EEG, εργάστηκαν ερευνητές από την Κορέα, οι οποίοι επιχείρησαν να διερευνήσουν την δυσκολία στην κατανόηση εργασιών προγραμματισμού και τη συσχέτισή της με το επίπεδο εμπειρογνωμοσύνης (Lee κ.ά., 2017). Οι ερευνητές αξιοποίησαν EEG και συσκευές παρακολούθησης κίνησης ματιών (eye-tracking) με σκοπό την αντικατάσταση των ερωτηματολογίων αυτοεκτίμησης με την συλλογή δεδομένων βάσει των γνωσιακών επιδόσεων. Στην έρευνα συμμετείχαν 38 έμπειροι και αρχάριοι προγραμματιστές και επιχειρήθηκε η πρόβλεψη της εμπειρογνωμοσύνης (έμπειρος/αρχάριος) του προγραμματιστή και η δυσκολία της δραστηριότητας (εύκολη/δύσκολη). Κάθε συμμετέχοντας εργάστηκε σε 23 δραστηριότητες όπου χρειαζόταν να κατανοήσει αποσπάσματα κώδικα και να προσδιορίσει την έξοδο. Οι δραστηριότητες προέρχονταν από την έρευνα των Siegmund κ.ά. (2014).

Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν έναν αλγόριθμο μάθησης μηχανής στη μελέτη τους, με σκοπό να ελέγξουν τη δυνατότητα πρόβλεψης της εμπειρογνωμοσύνης του προγραμματιστή και της δυσκολίας που έχει κάθε εργασία. Για το σκοπό αυτό, επέλεξαν τις Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης (Support Vector Machines, SVM) που είναι ένας δυαδικός ταξινομητής, ο οποίος προσπαθεί να διαχωρίσει τα δεδομένα σε δύο κλάσεις, μέσω της εύρεσης ενός βέλτιστου υπερεπιπέδου διαχωρισμού των κλάσεων. Τα αποτελέσματα της έρευνας, δείχνουν ότι ο SVM ταξινομητής με τα δεδομένα από το EEG και eye-tracking μπορεί να προβλέψει επιτυχώς τη δυσκολία εργασίας και το επίπεδο εμπειρογνωμοσύνης. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι με τον

SVM ταξινομητή μπορεί να προβλεφθεί η δυσκολία της εργασίας με ακρίβεια 64,9% και η εμπειρογνομοσύνη με ακρίβεια 97,7%.

Την ίδια περίοδο, δύο ερευνητές από την Ελβετία, αξιοποίησαν μετρήσεις βιοδεικτών όπως τη μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού, ώστε να αναγνωρίσουν την ποικιλομορφία των εμπειριών ενός προγραμματιστή και την ανησυχία που μπορεί να έχει καθώς εργάζεται σε τμήμα κώδικα (Müller & Fritz, 2016). Επιπλέον, επιχείρησαν να διερευνήσουν τις ανάγκες των προγραμματιστών καθώς προσπαθούν να αντικαταστήσουν ένα κομμάτι κώδικα σε ένα αποθετήριο. Στην έρευνα που διήρκεσε δύο εβδομάδες συμμετείχαν 10 επαγγελματίες προγραμματιστές με προϋπηρεσία από 3 μέχρι και 22 χρόνια. Όλοι εργάστηκαν στο ίδιο έργο, αλλά χωρίστηκαν σε τρεις διαφορετικές ομάδες που ήταν υπεύθυνες για τα διαφορετικά τμήματα του έργου. Στο πλαίσιο της έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες: ένα περικάρπιο για τη λήψη μετρήσεων σχετικών με το δέρμα και την καρδιά και ένας θωρακικός ιμάντας για τη λήψη μετρήσεων σχετικών με την καρδιά και την αναπνοή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι δυνατό να προβλεφθούν οι ανησυχίες για την ποιότητα του κώδικα με υψηλή ακρίβεια σε σχέση με τις παραδοσιακές μετρήσεις. Επιπλέον, φάνηκε ότι τα τμήματα κώδικα που έχουν μεγαλύτερη προγραμματιστική δυσκολία, προκαλούν και μεγαλύτερη ανησυχία. Από την έρευνα φάνηκε ότι οι βιοδείκτες μπορούν να προβλέψουν τις ανησυχίες σχετικά με την ποιότητα ορισμένων τμημάτων κώδικα κατά τη διάρκεια εργασίας ενός προγραμματιστή, πετυχαίνοντας κατηγοριοποίηση μεγαλύτερη από 26% που ξεπερνά την κατηγοριοποίηση με βάση παραδοσιακές μετρήσεις. Σε μια δεύτερη μελέτη με 5 επαγγελματίες προγραμματιστές από μια διαφορετική χώρα, οι ερευνητές εντόπισαν ότι ορισμένα από τα ευρήματα της αρχικής μελέτης μπορούν να αναπαραχθούν.

Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν ότι οι βιοδείκτες και οι απεικονιστικές τεχνικές έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν δεδομένα που προβλέπουν σε πραγματικό χρόνο τις ανησυχίες για την ποιότητα του κώδικα και, συνεπώς, να μειώνουν το κόστος ανάπτυξης προγραμμάτων. Με τον τρόπο αυτό, οι προγραμματιστές μπορούν να λάβουν εξατομικευμένη υποστήριξη, ώστε –αν χρειάζεται– να σταματήσουν για παράδειγμα την ενασχόλησή τους με την εκσφαλμάτωση. Επιπλέον, μπορούν να χαρακτηριστούν ως εμπειρογνώμονες με αντικειμενικό τρόπο σε σχέση με τα ερωτηματολόγια αυτοεκτίμησης που εμπεριέχουν πιθανές προκαταλήψεις.

3. Συμπεράσματα

Οι παραδοσιακές μετρήσεις ανθρώπινης επίδοσης, όπως οι χρόνοι ολοκλήρωσης ενός προγράμματος και η ακρίβεια στην κωδικοποίηση, χρησιμοποιούνται συνήθως για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κατανόηση της γλώσσας προγραμματισμού. Οι μετρήσεις αυτές καλύπτουν μόνο το 24,1% της διακύμανσης που παρατηρείται στα δείγματα για τη μέτρηση της εμπειρίας (Siegmond κ.ά., 2014). Η ανάλυση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου μπορεί να προσφέρει μια

διαφορετική οπτική για την εμπειρογνωμοσύνη ή να συνεισφέρει στην αύξηση της ακρίβειας κωδικοποίησης. Έτσι, θα μπορούσε να βελτιωθεί η διαδικασία ανάπτυξης και η ποιότητα λογισμικού, μειώνοντας ακόμα και το χρόνο που ένας προγραμματιστής αφιερώνει στον έλεγχο ενός προγράμματος. Επιπρόσθετα, μπορεί να συνεισφέρει στην επιλογή επαγγελματιών για τον έλεγχο προγραμμάτων και στον προσδιορισμό νέων προσεγγίσεων για την εκπαίδευση προγραμματιστών. Τέλος, θα ήταν δυνατό να αναπτυχθούν αυτοματοποιημένα εργαλεία για να παρεμβαίνουν έγκαιρα ώστε να σταματάει η ανάπτυξη κώδικα με σφάλματα.

Ωστόσο, παραμένουν ανοικτά ζητήματα σε αυτό το αναδύμενο πεδίο, μιας και η έρευνα επικεντρώνεται σε ενήλικες (φοιτητές ή επαγγελματίες) και συνήθως τα αποτελέσματα απέχουν από το πραγματικό πλαίσιο εργασίας ή εκπαίδευσης, αφού πρόκειται για ελεγχόμενα πειράματα. Παρότι, τα ευρήματα είναι ερμηνεύσιμα, είναι δύσκολο να συσχετιστούν με περαιτέρω δράσεις. Για το σκοπό αυτό, απαιτείται προσοχή στους τρόπους με τους οποίους μπορούν να αξιοποιηθούν τα ευρήματα αυτά στην εκπαιδευτική διαδικασία. Για παράδειγμα έχει ενδιαφέρον να διερευνηθεί γιατί ενώ κάποιος προγραμματιστής εργάζεται λιγότερο σκληρά για να αναπτύξει ή να κατανοήσει ή να διορθώσει ένα πρόγραμμα σε σχέση με κάποιον άλλο, ταυτόχρονα πετυχαίνει ποιοτικότερο και ορθότερο κώδικα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ενισχυθεί το πεδίο σε επίπεδο προγραμματιστικών στρατηγικών και ζητημάτων εμπειρίας του προγραμματιστή, καθώς και σε επίπεδο κατάλληλων διαδρομών μάθησης, ώστε να δοθεί έμφαση στην ανάπτυξη προγραμμάτων σπουδών, δραστηριοτήτων ελέγχου κ.ά. Στο πλαίσιο αυτό, βαρύτητα χρειάζεται να δοθεί στη μελέτη των επιπτώσεων των εκπαιδευτικών παρεμβάσεων που θα επιλεγούν με χρήση τεχνικών απεικόνισης ώστε να γίνουν κατανοητοί οι μηχανισμοί οι οποίοι στηρίζουν τη μεταβολή της συμπεριφοράς του εκπαιδευόμενου. Αυτό με τη σειρά του θα μπορούσε να συνεισφέρει στη συζήτηση για το πώς μπορεί να διδαχθεί καλύτερα ο προγραμματισμός. Ταυτόχρονα, οι νευροαπεικονιστικές μέθοδοι θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στην πρόβλεψη ατομικών διαφορών και να υποστηρίξουν την διαφοροποιημένη προσέγγιση των εκπαιδευόμενων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την έγκαιρη διάγνωση σε άτομα που ενδέχεται να διατρέχουν τον κίνδυνο να αναπτύξουν ισχυρή μαθησιακή αντίσταση στις προγραμματιστικές έννοιες. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να προετοιμαστούν παρεμβάσεις που θα αποσκοπούν στην πρόληψη/μείωση των δυσκολιών με κατάλληλες αναπτυξιακές τροχιές, ώστε οι μέθοδοι νευροαπεικόνισης να έχουν «προστιθέμενη αξία».

4. Επίλογος

Η έρευνα στο χώρο του προγραμματισμού και της γνωσιακής νευροεπιστήμης έχει αρχίσει να αναπτύσσεται διεθνώς. Στην εργασία αυτή αναδείχτηκε μια ποικιλία ερευνητικών θεμάτων καθώς και οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις που ακολουθούν. Στο πεδίο εμφανίζονται σημαντικές προκλήσεις που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν ώστε να ενισχυθεί η εκπαίδευση στον προγραμματισμό όπως η γεφύρωση μεταξύ

γνωσιακής νευροεπιστήμης και εκπαίδευσης στον προγραμματισμό, πραγματοποίηση έγκυρων ερευνητικών δράσεων πέρα από την πειραματική ψυχολογία και σύνδεση των συμπεριφορικών και νευρωνικών επιπέδων εξήγησης με στόχο την ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων. Τα παραπάνω φαίνεται ότι απαιτούν στενότερη συνεργασία μεταξύ των εκπαιδευτών και των γνωσιακών νευροεπιστημών με κατάλληλα προγράμματα υποδομής, χρηματοδότησης και κατάρτισης, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ηθικά ζητήματα που μπορεί να προκύψουν.

Αναφορές

Ansari, D., & Lyons, I. M. (2016). Cognitive neuroscience and mathematics learning: how far have we come? Where do we need to go? *ZDM*, 48(3), 379–383.

Armoni, M., & Gal-Ezer, J. (2014). High school computer science education paves the way for higher education: the Israeli case. *Comp. Sc. Edu.*, 24(2–3), 101–122.

Berland, M., Martin, T., Benton, T., Petrick Smith, C., & Davis, D. (2013). Using Learning Analytics to Understand the Learning Pathways of Novice Programmers. *Journal of the Learning Sciences*, 22(4), 564–599.

Biró, P., Csenoch, M., Abari, K., & Máth, J. (2016). First year students' algorithmic skills in tertiary computer science education. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 416, 351–358.

Cedefop (2016). *Annual report 2015*. Luxembourg: Publications Office. Cedefop information series.

Crk, I., Kluthe, T., & Stefik, A. (2015). Understanding Programming Expertise: An Empirical Study of Phasic Brain Wave Changes. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 23(1), 2.

Doukakis, S., Papalaskari, M. A., Vlamos, P., Plerou, A., & Giannopoulou, P. (2018). Assessing Attention in Visual and Textual Programming using Neuroeducation Approaches. In *23rd Annual ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE'18)* (p. 392). New York, NY, USA: ACM.

Duraes, J., Madeira, H., Castelhana, J., Duarte, C., & Branco, M. C. (2016). WAP: Understanding the Brain at Software Debugging. *Proceedings - International Symposium on Software Reliability Engineering, ISSRE*, 87–92.

Ferrari, M., & McBride, H. (2011). Mind, brain and education: The birth of a new science. *Learning Landscapes*, 5(1), 85–100.

Floyd, B., Santander, T., & Weimer, W. (2017). Decoding the Representation of Code in the Brain: An fMRI Study of Code Review and Expertise. In *IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering, ICSE 2017* (pp. 175–186).

- Jones, S. P., Bell, T., Cutts, Q., Iyer, S., Schulte, C., Vahrenhold, J., & Han, B. (2011). *Computing at school. International comparisons*. <https://www.computingatschool.org.uk/>
- Lee, S., Hooshyar, D., Ji, H., Nam, K., & Lim, H. (2017). Mining biometric data to predict programmer expertise and task difficulty. *Cluster Computing*, 1–11.
- Müller, S. C., & Fritz, T. (2016). Using (bio)metrics to predict code quality online. *Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering - ICSE '16*, (December), 452–463.
- Nakagawa, T., Kamei, Y., Uwano, H., Monden, A., Matsumoto, K., & German, D. M. (2014). Quantifying programmers' mental workload during program comprehension based on cerebral blood flow measurement: a controlled experiment. *Companion Proceedings of the 36th Int. Conference on Software Engineering 2014*, 448–451.
- Nouri, A. (2016). The basic principles of research in neuroeducation studies. *Int. J. of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*, 4(1), 59–66.
- Pea, R. D., & Kurland, D. M. (1984). On the cognitive effects of learning computer programming. *New ideas in psychology*, 2(2), 137-168.
- Pears, A., Seidman, S., Malmi, L., Mannila, L., Adams, E., Bennedsen, J., ... Paterson, J. (2007). A survey of literature on the teaching of introductory programming. *SIGCSE Bulletin*, 39(4), 204–223.
- Sajaniemi, J. (2008). Psychology of programming: Looking into programmers' heads. *The Problems of Professionals*, 4(May), 4–8.
- Siegmund, J., Kästner, C., Apel, S., Parnin, C., Bethmann, A., Leich, T., ... Brechmann, A. (2014). Understanding understanding source code with functional magnetic resonance imaging. *Proceedings of the 36th ACM/IEEE International Conference on Software Engineering*, 378–389.

Abstract

Over the past five years, a significant number of researches focus on computer programming and coding (software development, code comprehension, program debugging, code optimization, developers training), utilizing the capabilities of brain imaging techniques and biomarkers. The use of the above techniques has explored the role of programming expertise, the relation between coding and writing and the possibilities of improving the debugging of programs with machine learning techniques. In this paper, a review of existing literature and discussion of research issues that can be approached in the future will be attempted. Research may link the neuroscience field with training issues in programming, so as to contribute to the learning process.

Keywords: Computer Programming, Software Development, Neuroeducation.