



SemNatComp: Σημασιολογικά
μοντέλα και τεχνολογίες για
φυσικούς υπολογισμούς

Τελική Έκθεση του Ερευνητικού Έργου
με κωδικό ΓΓΕΤ 11 ROM 11_1_ET30
Διμερής συνεργασία Ελλάδας–Ρουμανίας 2011-12

Αθήνα, Μάιος 2014

Τελική έκθεση

Επιστημονικός Υπεύθυνος: **Νικόλαος Παπασπύρου**, Αν. Καθηγητής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, 15780 Αθήνα
Τηλ. +30-210-7723393 • Fax +30-210-7722509 • E-mail: nickie@softlab.ntua.gr

Ρουμανική ομάδα, Επιστημονικός Υπεύθυνος: **Eneia Todoran**, Professor
Technical University of Cluj Napoca, Computer Science Department
28 Gh. Baritiu Street, 400027, Cluj-Napoca, Romania
Tel. +40-264-401481 • Fax +40-264-594491 • E-mail: eneia.todoran@cs.utcluj.ro

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή	1
Σκοπός της έκθεσης.....	1
Σύντομη περιγραφή του έργου.....	1
Αποτελέσματα.....	2
Ανάλυση των δημοσιεύσεων	5
Βιβλιογραφία.....	8
Συμπεράσματα	9

Εισαγωγή

Σκοπός της έκθεσης

Η έκθεση αυτή αποσκοπεί στο να παρουσιάσει τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του ερευνητικού έργου με ακρωνύμιο «SemNatComp» και τίτλο:

«Σημασιολογικά μοντέλα και τεχνολογίες για φυσικούς υπολογισμούς»
“Semantic models and technologies for natural computations”

που συγχρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) και την Ευρωπαϊκή Ένωση, στο πλαίσιο των Επιχειρησιακών Προγραμμάτων «Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα» και «Περιφερειών σε Μετάβαση», στη δράση διμερούς ερευνητικής και τεχνολογικής συνεργασίας Ελλάδας–Ρουμανίας 2011-2012. Ο κωδικός αριθμός του έργου ήταν ΓΓΕΤ 11 ROM 11_1_ET30.

Η παρούσα έκθεση συμπεριλαμβάνει τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην ενδιάμεση έκθεση προόδου (Απρίλιος 2013) καθώς και τα νέα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια του δεύτερου χρόνου εκτέλεσης του έργου. Αντί της αναλυτικής περιγραφής του φυσικού αντικείμενου με τον τρόπο που αυτή δόθηκε στην ενδιάμεση έκθεση, επισυνάπτεται το πλήρες κείμενο των δημοσιεύσεων που προέκυψαν από την εκτέλεση του έργου (Παράρτημα Α) και εξηγείται η συμβολή τους στην εκτέλεση του έργου (Κεφάλαιο 2).

Σύντομη περιγραφή του έργου

Στη σύγχρονη εποχή, η βιομηχανία των υπολογιστών αναζητά όλο και περισσότερη υπολογιστική ισχύ και ευελιξία στη διενέργεια υπολογισμών. Οι υποστηρικτές των φυσικών υπολογισμών (natural computing) θεωρούν ότι η αρχιτεκτονική υπολογιστών von Neumann δεν αποτελεί σήμερα την καλύτερη προσέγγιση στην ικανοποίηση αυτών των αναγκών και αναζητούν τη λύση σε μη συμβατικά υπολογιστικά μοντέλα, γλώσσες και αρχιτεκτονικές. Οι φυσικοί υπολογισμοί είναι το ερευνητικό πεδίο που μελετά ουσιαστικά τρεις κατηγορίες επιστημονικών μεθόδων: (1) αυτές που αναπτύσσουν νέες τεχνικές επίλυσης προβλημάτων, εμπνευσμένες από τη φύση, (2) αυτές που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς υπολογιστές και μελετούν φυσικά φαινόμενα με όρους της θεωρίας πληροφορίας, και (3) αυτές που χρησιμοποιούν φυσικά υλικά (π.χ. μόρια) για τη διεξαγωγή υπολογισμών. Το προτεινόμενο ερευνητικό έργο έχει σκοπό να ακολουθήσει αυτήν την ερευνητική κατεύθυνση, αξιοποιώντας παράλληλα την προηγούμενη εμπειρία των δύο ερευνητικών ομάδων και τα προηγούμενα θεωρητικά και πειραματικά τους αποτελέσματα.

Το προτεινόμενο ερευνητικό έργο ασχολήθηκε με την ανάπτυξη νέων τεχνικών αυστηρής τυπικής περιγραφής της σημασιολογίας και νέων πρωτότυπων τεχνολογιών για τη διενέργεια φυσικών υπολογισμών. Η έρευνα επικεντρώθηκε σε γλώσσες και υπολογιστικά φαινόμενα βασισμένα στη βιολογία και την κβαντομηχανική. Αναπτύχθηκαν δηλωτικά μοντέλα (denotational models) για φυσικούς υπολογισμούς, και

ιδιαίτερα για τους υπολογισμούς μεμβρανών (membrane computing) και τους κβαντικούς υπολογισμούς (quantum computing), με σκοπό τη βελτίωση της εκφραστικότητας και της αποτελεσματικότητας των τυπικών περιγραφών, ώστε να είναι δυνατή η χρήση τους σε πολύπλοκα φυσικά συστήματα.

Το κύριο αντικείμενο του προτεινόμενου έργου ήταν:

- Η ανάπτυξη μιας γενικής θεωρίας για την περιγραφή της σημασιολογίας της παράλληλης επεξεργασίας και της επικοινωνίας, όπως αυτές εμφανίζονται στους φυσικούς υπολογισμούς.
- Η σχεδίαση και υλοποίηση πρωτότυπων γλωσσών εμπνευσμένων από φαινόμενα του φυσικού κόσμου.
- Η εφαρμογή τεχνικών των φυσικών υπολογισμών για την επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων στις περιοχές της επεξεργασίας εικόνας και της όρασης υπολογιστών.

Τα κυριότερα αναμενόμενα αποτελέσματα του έργου ήταν:

- Η σχεδίαση νέων δηλωτικών σημασιολογικών μοντέλων για φυσικούς υπολογισμούς, με χρήση συνεχειών και μονάδων.
- Η μελέτη ειδικών θεμάτων της σημασιολογίας των δομημένων συνεχειών για την παράλληλη επεξεργασία.
- Η ανάπτυξη πρωτότυπων υλοποιήσεων και η διεξαγωγή πειραμάτων σε δίκτυα ομότιμων υπολογιστών (peer-to-peer) και υπολογιστών σε συνδεσμολογία νέφους (cloud computing), χρησιμοποιώντας ειδικά σχεδιασμένες γλώσσες, εμπνευσμένες από το φυσικό κόσμο.
- Η μελέτη και διεξαγωγή πειραμάτων με σκοπό την αποτελεσματική εφαρμογή κατάλληλων τεχνικών των φυσικών υπολογισμών στον τομέα της επεξεργασίας εικόνας και της όρασης υπολογιστών.

Αποτελέσματα

Η εκτέλεση του ερευνητικού έργου ξεκίνησε επισήμως την 16/3/2012 με την υπογραφή της σύμβασης από τη ΓΓΕΤ. Ουσιαστικά, το έργο ξεκίνησε περίπου δύο μήνες αργότερα. Η καθυστέρηση οφείλεται αφενός στην αλληλογραφία από τη ΓΓΕΤ, αφετέρου στις γραφειοκρατικές ενέργειες που απαιτούνται για την έναρξη ερευνητικών προγραμμάτων στους ειδικούς λογαριασμούς. Η πρώτη οικονομική περίοδος έχει διάρκεια ενός έτους και ολοκληρώθηκε την 16/3/2013. Το έργο ολοκληρώθηκε την 16/3/2014, όπως προέβλεπε το χρονοδιάγραμμα. Η παρούσα έκθεση αφορά την πλήρη διάρκεια του έργου.

Τα αποτελέσματα του έργου παρουσιάζονται αναλυτικά στο δεύτερο κεφάλαιο αυτής της έκθεσης και στο Παράρτημα Α. Στην ενότητα αυτή δίνεται μία μικρή σύνοψη των αποτελεσμάτων αυτών.

Τήρηση χρονοδιαγράμματος

Το χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης του ερευνητικού έργου φαίνεται στο Σχήμα 1. Όλες οι φάσεις του έργου ολοκληρώθηκαν με επιτυχία, συγκεκριμένα:

Φάση 1: Βιβλιογραφική έρευνα και αμοιβαίες παρουσιάσεις της ανεξάρτητης έρευνας των δυο πλευρών.

Η φάση αυτή αποσκοπούσε στη συλλογή και μελέτη βιβλιογραφίας σχετικής με το αντικείμενο του έργου, στη μεταφορά τεχνογνωσίας και θεωρητικής κατάρτισης καθώς και στην εξασφάλιση καλών συνθηκών συνεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ των δυο πλευρών.

Φάση 2: Μελέτη, διερεύνηση και επαλήθευση θεωρητικών μοντέλων και πειραματικών εργαλείων των φυσικών υπολογισμών.

Διάρκεια/Duration (σε μήνες/months):	6	12	18	24
ΦΑΣΕΙΣ/ PHASES (συνοπτικά/in brief)				
<u>Φάση 1:</u> Βιβλιογραφική έρευνα και αμοιβαίες παρουσιάσεις της ανεξάρτητης έρευνας των δυο πλευρών	↔			
<u>Φάση 2:</u> Μελέτη, διερεύνηση και επαλήθευση θεωρητικών μοντέλων και πειραματικών εργαλείων των φυσικών υπολογισμών		↔		
<u>Φάση 3:</u> Εφαρμογή των θεωρητικών μοντέλων και των πειραματικών εργαλείων στην ανάπτυξη πολύπλοκων συστημάτων φυσικών υπολογισμών			↔	
<u>Φάση 4:</u> Επικύρωση και επαλήθευση των αποτελεσμάτων				↔
ΕΚΘΕΣΕΙΣ ΠΡΟΟΔΟΥ				
ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ FINAL REPORT			☒	

Σχήμα 1: Χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης του ερευνητικού έργου.

Η φάση αυτή αποσκοπούσε στη συνέχεια της συνεργασίας πάνω στη θεμελίωση της σημασιολογίας των γλωσσών προγραμματισμού με χρήση μονάδων και συνεχειών, στην επαλήθευση των αποτελεσμάτων με τεχνικές που προέρχονται από τη θεωρία των μετρικών χώρων και στη σχεδίαση θεωρητικών μοντέλων και πρωτότυπων υλοποιήσεων για τους φυσικούς υπολογισμούς.

Φάση 3: Εφαρμογή των θεωρητικών μοντέλων και των πειραματικών εργαλείων στην ανάπτυξη πολύπλοκων συστημάτων φυσικών υπολογισμών.

Η φάση αυτή αποσκοπούσε στην επέκταση των μοντέλων της δεύτερης φάσης, ώστε να αναπαριστούν πολύπλοκες δομές που συναντώνται στα συστήματα μεμβρανών και στους κβαντικούς υπολογισμούς, στη σχεδίαση γλωσσών προγραμματισμού για χρήση σε δίκτυα ομότιμων υπολογιστών και σε συνδεσμολογία νέφους, και στην ανάπτυξη πρωτότυπων υλοποιήσεων..

Φάση 4: Επικύρωση και επαλήθευση των αποτελεσμάτων.

Η φάση αυτή αποσκοπούσε στην ανάπτυξη και αξιολόγηση μιας μεθοδολογίας για την δημιουργία δηλωτικών μοντέλων για συστήματα του φυσικού κόσμου, βασισμένης στην εμπειρία που αποκομίσθηκε στην τρίτη φάση, και στην ανάπτυξη εργαλείων επαλήθευσης για τις πρωτότυπες υλοποιήσεις που αναπτύχθηκαν.

Πίνακας 1. Συνοπτικά αποτελέσματα οικονομικής διαχείρισης.

Κονδύλιο	Προϋπολογισμός (αρχικός)	Προϋπολογισμός (τροποποίηση)	Υποβαλλόμενη δαπάνη
Νέοι ερευνητές	6,000.00	3,000.00	2,760.00
Ανταλλαγές - μετακινήσεις	5,500.00	5,500.00	3,583.29
Αναλώσιμα	500.00	1,500.00	1,498.21
Έξοδα κοινών δημοσιεύσεων	3,000.00	5,000.00	4,997.32
Συνολικός προϋπολογισμός έργου	15,000.00	15,000.00	12,838.82

Λόγω της καθυστέρησης (περίπου 1,5 έτους) μεταξύ της υποβολής της πρότασης και της έναρξής του, κανείς από τους δύο υποψήφιους διδάκτορες που ονομάζονται στην πρόταση δεν ήταν σε θέση να συνεισφέρει στο έργο ως νέος ερευνητής, είτε λόγω στρατιωτικής θητείας είτε λόγω επαγγελματικών υποχρεώσεων. Ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους εκτέλεσης του ερευνητικού έργου, στο φυσικό αντικείμενο έχουν συνεισφέρει κυρίως τα μέλη ΔΕΠ του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Λογισμικού: Νικόλαος Παπασπύρου και Κωνσταντίνος Σαγώνας. Κατά τη διάρκεια του δεύτερου έτους εκτέλεσης, κατόπιν αιτήματος και σχετικής έγκρισης από τη ΓΓΕΤ (Α.Π. 4002/15-4-2013), προστέθηκε ένας νέος υποψήφιος διδάκτωρ του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Λογισμικού, ο Ιωάννης Τσιούρης, ο οποίος εργάστηκε ως νέος ερευνητής για διάστημα 11 μηνών (από την έγκριση του σχετικού αιτήματος μέχρι το τέλος του έργου).

Μικρές αποκλίσεις υπήρχαν από το αρχικό χρονοδιάγραμμα, σχετικά με τις προγραμματισμένες μετακινήσεις των μελών των ερευνητικών ομάδων. Κατά την προγραμματισμένη μετακίνηση της Ελληνικής ομάδας στη Ρουμανία (Απρίλιος 2013) μετακινήθηκε μόνο ο επιστημονικός υπεύθυνος Νικόλαος Παπασπύρου, καθώς ο νέος ερευνητής δεν είχε ακόμη αναλάβει καθήκοντα. Τέλος, κατά τη δεύτερη προγραμματισμένη μετακίνηση της Ρουμανικής ομάδας στην Ελλάδα (Ιούλιος 2013) μετακινήθηκε μόνο ο επιστημονικός υπεύθυνος Eneia Todoran, λόγω ανειλημμένων υποχρεώσεων των υπολοίπων μελών. Η Ρουμανική ομάδα μας είχε ενημερώσει ότι δύο ακόμη μέλη επρόκειτο να μετακινηθούν το φθινόπωρο του ίδιου έτους (2013), όμως τελικά η μετακίνηση αυτή ματαιώθηκε.

Οικονομική διαχείριση

Αναλυτικός απολογισμός από τη διαχείριση των οικονομικών στοιχείων του ερευνητικού προγράμματος, όπως προκύπτει από τα αρχεία του Ερευνητικού Πανεπιστημιακού Ινστιτούτου Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών, κατατίθεται ανεξάρτητα ως «Ενδιάμεση Έκθεση Πιστοποίησης», όπως ζητείται από τη ΓΓΕΤ. Τα παραστατικά των μέχρι σήμερα δαπανών είναι στη διάθεση των ελεγκτών της ΓΓΕΤ. Αντίγραφα τους παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

Στην ενότητα αυτή δίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της οικονομικής διαχείρισης για την περίοδο εκτέλεσης του έργου (από 16/3/2012 ως 16/3/2014). Τα στοιχεία αυτά δίνονται στον Πίνακα 1. Στον πίνακα αυτό φαίνεται τόσο ο αρχικός προϋπολογισμός του έργου, όσο και αυτός που προέκυψε μετά το αίτημα τροποποίησης που εγκρίθηκε από τη ΓΓΕΤ (Α.Π. 2083/20-02-2014).

Εν κατακλείδι, από τον αρχικό προϋπολογισμό δεν απορροφήθηκε το ποσό των 2,161.18 €, το οποίο θα πρέπει να συμψηφιστεί κατά την αποπληρωμή του έργου από τη ΓΓΕΤ. Οι λόγοι απόκλισης από τον προϋπολογισμό (όπως άλλωστε και οι λόγοι του αιτήματος της τροποποίησής του) είναι (α) η καθυστερημένη έναρξη του νέου ερευνητή και (β) η ματαίωση μέρους της μίας εκ των προγραμματισμένων μετακινήσεων της Ρουμανικής ομάδας στην Ελλάδα. Και οι δύο αυτοί λόγοι εξηγήθηκαν περαιτέρω στην προηγούμενη ενότητα.

Ανάλυση των δημοσιεύσεων

Η παρουσίαση του φυσικού αντικείμενου που ακολουθεί είναι αρκετά συνοπτική και αναφέρεται σε εργασίες μελών των δύο ερευνητικών ομάδων που δημοσιεύτηκαν ως αποτέλεσμα της εκτέλεσης του ερευνητικού έργου, οι περισσότερες από τις οποίες έγιναν σε συνεργασία. Για κάθε εργασία παρατίθεται μια περίληψη και συνοψίζεται η συνεισφορά της. Τα αποτελέσματα του έργου, καθώς και άλλες χρήσιμες πληροφορίες, έχουν αναρτηθεί στον παρακάτω ιστότοπο που κατασκευάστηκε για τη διάχυσή τους.

http://www.softlab.ntua.gr/research/research_projects/semnatcomp/

1. E. N. Todoran, M. Balç, D. Simina, et al. “Mobile Objects and Modern Communication Abstractions: Design Issues and Denotational Semantics”. In *Proc. IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Computing (ISPDC’11)*, pages 191-198, Computer Press, 2011.

Περίληψη: Η εργασία αυτή παρουσιάζει τη γλώσσα Join Voyager, μια γλώσσα για διομότιμο προγραμματισμό (peer-to-peer programming). Η σχεδίαση και η δηλωτική σημασιολογία της γλώσσας χρησιμοποιεί αντικειμενοστραφείς τεχνικές και μεθόδους συνδέσμων (join methods). Στην Join Voyager κάθε αντικείμενο μπορεί να μετακινείται σε οποιοδήποτε ομότιμο (peer) του υποκείμενου δικτύου. Η γλώσσα υποστηρίζει την έννοια της «ισχυρής κινητικότητας» (strong mobility) δηλαδή τη δυνατότητα να αιχμαλωτίζεις και να μεταφέρεις την πλήρη κατάσταση εκτέλεσης ενός κινητού αντικείμενου οποιαδήποτε στιγμή. Η επικοινωνία μεταξύ των αντικειμένων γίνεται τόσο με σύγχρονα όσο και με ασύγχρονα μηνύματα, όπως ακριβώς και στις γλώσσες Join Java [vItz05] και Polyphonic C# [Bent04].

Συνεισφορά: Η σχεδίαση της Join Voyager είναι πρωτότυπη καθώς συνδυάζει την έννοια της ισχυρής κινητικότητας των αντικειμένων με το συνδυαστικό μοντέλο μεθόδων (join method model) που πρωτοεμφανίστηκε στις γλώσσες Join Java και Polyphonic C#. Στην εργασία αυτή η δηλωτική σημασιολογία είναι συνθετική και περιέχει τεχνικές όπως συνέχειες (continuations), μονάδες (monads) και ορισμούς σταθερών σημείων (fixed point definitions).

Η εργασία αυτή προηγείται χρονικά της ημερομηνίας έναρξης του έργου, εντάσσεται όμως σε αυτό θεματικά και έπεται της υποβολής της πρότασης για την εκτέλεση του έργου. Είναι το πρώτο δημοσιευμένο αποτέλεσμα της Ρουμανικής ερευνητικής ομάδας από αυτό το έργο, πριν την ουσιαστική έναρξη της συνεργασίας με την Ελληνική ομάδα.

2. G. Ciobanu, E. N. Todoran. “Relating Two Metric Semantics for Parallel Rewriting of Multisets”. In *Proc. IEEE International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC 2012)*, pages 273-281, 2012.

Περίληψη: Η εργασία αυτή χρησιμοποιεί τεχνικές της σημασιολογίας των μετρικών χώρων (metric spaces) για τον ορισμό και την τυπική συσχέτιση μιας δηλωτικής (denotational) και μιας λειτουργικής (operational)

σημασιολογίας για μια απλή αφηρημένη γλώσσα ταυτόχρονου προγραμματισμού (concurrent programming) με τα παρακάτω χαρακτηριστικά: παράλληλη σύνθεση με στόχο το μέγιστο παραλληλισμό και υπολογισμοί που ορίζονται ως κανόνες επανεγγραφής πολυσυνόλων (multiset rewriting rules). Τα χαρακτηριστικά αυτά συναντώνται συχνά στους νέους φορμαλισμούς για γλώσσες φυσικών υπολογισμών (natural computing), ιδιαίτερα στους υπολογισμούς μεμβρανών (membrane computing). Τα σημασιολογικά μοντέλα που σχεδιάστηκαν βασίζονται στην τεχνική της σημασιολογίας συνεχειών ταυτοχρονισμού (continuation semantics for concurrency, CSC) [Todo00a].

Συμπερασματικά: Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται δύο σημασιολογίες για τη γλώσσα που περιγράφηκε πιο πάνω και η τυπική συσχέτιση αυτών με χρήση του θεωρήματος σταθερού σημείου (fixed point theorem) του Banach. Έτσι, διαφορετικές σημασιολογίες για μία συγκεκριμένη γλώσσα μπορούν να εκληφθούν με ασφάλεια ως διαφορετικές «όψεις» της γλώσσας. Η εργασία αυτή αποτελεί επέκταση της [Ciob11].

3. E. N. Todoran. “A Study on the Relationship between Direct Semantics and Continuation Semantics for Concurrency”. *Automation, Computers, Applied Mathematics*, vol. 21(1), pp. 3-17. ISSN 1221-437X, 2012.

Περίληψη: Η εργασία αυτή εξετάζει τον τρόπο προσδιορισμού αναλλοίωτων (invariants) σε ταυτόχρονους υπολογισμούς που εκφράζονται με χρήση της σημασιολογίας συνεχειών για ταυτοχρονισμό (continuation semantics for concurrency).

Συμπερασματικά: Η εργασία αυτή βασίζεται σε προηγούμενες δημοσιεύσεις ([Todo00b] και [Todo06]) που έγιναν παλιότερα από την Ελληνική και τη Ρουμανική ομάδα και αποτελεί επέκταση της (2) με τη μορφή άρθρου σε περιοδικό.

4. E. N. Todoran, N. Papaspyrou. “Experiments with Continuation Semantics for DNA Computing”. In *Proc. IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP'13)*, pages 251-258, 2013.

Περίληψη: Η εργασία αυτή επιχειρεί να ορίσει τη σύνταξη και τη δηλωτική σημασιολογία (denotational semantics) μιας γλώσσας άλγεβρας διεργασιών (process algebra language) για DNA υπολογισμούς. Η σημασιολογία χρησιμοποιεί συνέχειες (continuations) για τον ταυτοχρονισμό και δυναμικά πεδία ορισμού (powerdomains) για άλλες μη ντετερμινιστικές συμπεριφορές. Κάθε στοιχείο των πεδίων αυτών αποτελεί μία συλλογή από ακολουθίες αποτελεσμάτων που αντιστοιχούν σε δομές DNA. Στην εργασία δίνονται αναλυτικά δύο δηλωτικές σημασιολογίες που βασίζονται σε διαφορετικές όψεις του τελικού αποτελέσματος.

Συμπερασματικά: Μέχρι τώρα οι περισσότεροι ερευνητές φαίνεται να προτιμούν λειτουργική σημασιολογία (operational semantics) για γλώσσες που μοντελοποιούν υπολογισμούς DNA [Plot04]. Η εργασία αυτή είναι η πρώτη που επιχειρεί να ορίσει μια δηλωτική σημασιολογία για τον ίδιο σκοπό και για να το πετύχει βασίζεται στο μαθηματικό πλαίσιο της σημασιολογίας μετρικών χώρων (metric semantics) και τη σημασιολογία συνεχειών ταυτοχρονισμού (continuation semantics for concurrency, CSC) [Todo00a]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μοντελοποίηση λειτουργικών ενεργειών (operational effects), όπως οι μεταβάσεις του συστήματος από μία διάθρωση (configuration) σε μία άλλη που περιγράφονται στην [Plot04], με απλό δηλωτικό τρόπο. Απώτερος στόχος της εργασίας είναι να χρησιμοποιήσει τεχνικές από την παραδοσιακή θεωρία γλωσσών προγραμματισμού στην έρευνα για τη συμπεριφορά πολύπλοκων DNA συστημάτων.

5. R. Moldovan, E. N. Todoran. "Simulating the Immune System using Bio-PEPA". *Computer Science Students Conference 2013*, Technical University Cluj-Napoca, Romania, June 2013.

Περίληψη: Η εργασία αυτή χρησιμοποιεί πρότυπα από υπολογισμό μεμβρανών (membrane computing) για τη μοντελοποίηση της δομής του ανοσοποιητικού συστήματος και στοχαστική άλγεβρα διεργασιών (process algebra) Bio-PEPA [Cioe90] για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του. Τα βιολογικά συστήματα μπορούν να θεωρηθούν σύνθετα (compositional) συστήματα ταυτοχρονισμού αποτελούμενα από κύτταρα: τα επιμέρους βιοχημικά στοιχεία (biochemical species) μπορούν να θεωρηθούν διεργασίες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και οι αντιδράσεις του οργανισμού ως κατανεμημένες αντιδράσεις σε αλλαγές της κατάστασης του, για παράδειγμα επιθέσεις από ιούς.

Στη συγκεκριμένη εργασία περιγράφεται η απεικόνιση των κυττάρων του ανοσοποιητικού συστήματος σε σύστημα μεμβρανών καθώς και η αλληλεπίδραση των ιών με τα αντισώματα μέσα στα κύτταρα μοντελοποιημένα στο πρόσθετο (plugin) του Eclipse Bio-PEPA ώστε να είναι δυνατή η προσομοίωση ενός οργανισμού που προσβάλλεται από ιούς. Το μοντέλο αναλύεται με χρήση αλγορίθμων στοχαστικών και συνήθων διαφορικών εξισώσεων.

Συμπερασματικά: Κύρια συνεισφορά της εργασίας αυτής είναι η στρατηγική μοντελοποίησης της συμπεριφοράς του ανοσοποιητικού συστήματος ως ένα σύστημα υπολογισμού μεμβρανών χρησιμοποιώντας Bio-PEPA στοχαστική άλγεβρα διεργασιών. Τα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται καταδεικνύουν ότι υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης στη μοντελοποίηση βιοχημικών δικτύων αναπτύσσοντας καταλληλότερες συνθετικές ενδιάμεσες αναπαραστάσεις για την ανάλυση του ανοσοποιητικού συστήματος βασισμένες σε άλλα μαθηματικά μοντέλα, όπως αυτό της άλγεβρας διεργασιών.

6. Y. Rouselakis, N. S. Papaspyrou, Y. Tsiouris, E. N. Todoran. "Compilation to Quantum Circuits for a Language with Quantum Data and Control", In Proc. of the *Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, pages 1549-1556, September 2013.

Περίληψη: Η εργασία αυτή ασχολείται με την nQML [Lamp06], [Lamp08], μια συναρτησιακή γλώσσα κβαντικού προγραμματισμού που ακολουθεί το μοντέλο των «κβαντικών δεδομένων και κβαντικού ελέγχου» ("quantum data and control"). Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται μία μετάφραση των προγραμμάτων σε κβαντικά κυκλώματα της κατηγορίας FQC πεπερασμένων κβαντικών υπολογισμών (όπως έκαναν και οι Altenkirch και Grattage στην QML [Alte05], [Grat06], [Grat11]). Η σημασιολογία, που δίνεται ως σχέση τύπων (typing relation), αποτελεί έναν μεταγλωττιστή κβαντικών εκφράσεων σε χαμηλότερου επιπέδου κβαντικά κυκλώματα. Για λόγους πληρότητας γίνεται μια περιγραφή τόσο της σύνταξης της γλώσσας nQML όσο και των κβαντικών κυκλωμάτων στα οποία μεταγλωττίζονται τα προγράμματα που είναι γραμμένα σε αυτή. Επιπλέον, δίνονται κάποια παραδείγματα nQML διαδομένων κβαντικών αλγορίθμων όπως ο αλγόριθμος του Deutsch που αποφαίνεται αν μία συνάρτηση είναι η σταθερή υπολογίζοντας μόνο μία τιμή της και ο αλγόριθμος αποδοτικής αναζήτησης σε βάση δεδομένων του Grover.

Συμπερασματικά: Στη συγκεκριμένη εργασία ορίζεται ένας μεταγλωττιστής για προγράμματα που είναι γραμμένα στη γλώσσα nQML σε κβαντικά κυκλώματα της κατηγορίας FQC πεπερασμένων κβαντικών υπολογισμών όπως αυτή ορίστηκε από τους Altenkirch και Grattage. Για την περιγραφή της σημασιολογίας και την υλοποίηση του μεταγλωττιστή χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα συναρτησιακού προγραμματισμού Haskell και, επιπλέον, γράφτηκε ένας διερμηνέας (interpreter) κβαντικών κυκλωμάτων όπως αυτά ορίστηκαν στο 3^ο μέρος της εργασίας.

Βιβλιογραφία

- [Alte05] T. Altenkirch and J. Grattage. “A functional quantum programming language”, in *Proceedings of the 20th Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science*. IEEE Computer Society, 2005, pp. 249-258.
- [Bent04] N. Benton, L. Cardelli, C. Fournet. “Modern concurrency abstractions for C#”, *ACM Transactions on Programming Languages and Systems (TOPLAS)*, 25(5):769-804, 2004.
- [Ciob11] G. Ciobanu, E. N. Todoran. “Metric Denotational Semantics for Parallel Rewriting of Multisets”. In *Proceedings of SYNASC 2011*, pp. 276-284, IEEE Computer Press, 2011.
- [Cioc09] F. Ciocchetta and J. Hillston. “Bio-PEPA: a Framework for the Modelling and Analysis of Biological Systems”, *Theoretical Computer Science*, 410(33-34):3065-3084, 2009.
- [Grat06] J. Grattage. “QML: A functional quantum programming language”, Ph.D. dissertation, School of Computer Science and School of Mathematical Sciences, The University of Nottingham, Sep. 2006
- [Grat11] J. Grattage, “An overview of QML with a concrete implementation in Haskell”, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 270, no. 1, pp. 165-174, 2011, in *Proceedings of the 4th Workshop on Developments in Computational Models (DCM '08)*, 2008.
- [Lamp06] M. Lampis, K. G. Ginis, N. S. Papaspyrou. “Quantum data and control made easier” in *Preliminary Proceedings of the 4th International Workshop on Quantum Programming Languages*, P. Selinger, Ed., Oxford, UK, Jul. 2006, pp. 73-86.
- [Lamp08] M. Lampis, K. G. Ginis, M. A. Papakyriakou, N. S. Papaspyrou. “Quantum data and control made easier”, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 210, pp. 85-105, Jul. 2008.
- [Todo00a] E. N. Todoran. “Metric Semantics for Synchronous and Asynchronous Communication: a Continuation-Based Approach”. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 28, pp. 119-146, 2000.
- [Todo00b] E. N. Todoran, N. Papaspyrou. “Continuations for parallel logic programming”. In *Proceedings of the 2nd International ACM-SIGPLAN Conference on Principles and Practice of Declarative Programming*, pages 257-267, ACM Press, 2000.
- [Todo06] E. N. Todoran, N. Papaspyrou. “Continuations for prototyping concurrent languages”. Technical Report CSD-SW-TR-1-06, National Technical University of Athens, School of Electrical and Computer Engineering, Software Engineering Laboratory, 2006.
- [vItz05] G. S. von Itzstein. “Introduction of high level concurrency semantics in object-oriented languages”, Ph.D. Thesis, University of South Australia, 2005.

Συμπεράσματα

Οι δύο ομάδες που συμμετείχαν στο έργο θεωρούν την εκτέλεσή του και την εν γένει μεταξύ τους συνεργασία ιδιαίτερα επιτυχημένη. Παρά τις δυσχερείς οικονομικές συνθήκες που συναντώνται στα πανεπιστήμια της Ελλάδας και της Ρουμανίας τα τελευταία χρόνια και που έχουν ως αποτέλεσμα την τραγική απομείωση της χρηματοδότησης βασικής έρευνας, όπως αυτή που διενεργείται σε αυτό το ερευνητικό έργο, οι δύο ομάδες προσβλέπουν σε εξίσου εποικοδομητική μελλοντική συνεργασία. Θέλουν επίσης να ευχαριστήσουν τη διαχειρίστρια αρχή ΓΓΕΤ και τους φορείς χρηματοδότησης, που κατέστησαν δυνατή αυτή τη συνεργασία.