

Ανάπτυξη λογισμικού για τη διενέργεια υπολογιστικών μελετών

Πλόσκας Νικόλαος, Σαμαράς Νικόλαος

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Εγγατία 156
54006 Θεσσαλονίκη, E-mail: it04123@uom.gr, samaras@uom.gr

Abstract

Η διερεύνηση της υπολογιστικής συμπεριφοράς των αλγορίθμων αποτελεί ένα από τα πιο θεμελιώδη ζητήματα στην επιστήμη της πληροφορικής. Η επιστημονική έρευνα στο γνωστικό αντικείμενο των αλγορίθμων έχει να κάνει με την ανάπτυξη νέων αλγορίθμων ή με τη βελτίωση ήδη υπαρχόντων. Ωστόσο, ένα λογισμικό που να διενεργεί με κάποιο αυτοματοποιημένο τρόπο υπολογιστικές μελέτες μεταξύ διαφορετικών αλγορίθμων και να εξάγει αναφορές αποτελεσμάτων δεν υπάρχει στη βιβλιογραφία. Στόχος αυτής της εργασίας είναι να αντιμετωπίσει αυτό το κενό. Έχει αναπτυχθεί μία εφαρμογή σε Matlab, η οποία παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να συγκρίνει διαφορετικούς αλγόριθμους μεταξύ τους και να εξάγει μία εκτενή αναφορά με αριθμητικά δεδομένα, αλλά και γραφικές παραστάσεις.

Λέξεις κλειδιά: Αλγόριθμοι, Υπολογιστική Μελέτη, Λογισμικό, Σύγκριση αλγορίθμων, Matlab

1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη νέων αλγορίθμων ή η βελτίωση ήδη υπαρχόντων ήταν πάντοτε στο επίκεντρο στην επιστήμη της πληροφορικής. Κάθε φορά που αναπτύσσεται ένας νέος αλγόριθμος προκύπτει η ανάγκη της σύγκρισής του με τους ήδη υπάρχοντες. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως υπολογιστική μελέτη και είναι μια χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία, καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψιν πολλοί παράμετροι, οι οποίοι είναι καταλυτικοί για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με την υπολογιστική συμπεριφορά των αλγορίθμων.

Πολλές εργασίες έχουν γραφεί για το πώς πρέπει να σχεδιάζονται τα πειράματα και πως πρέπει να διενεργούνται οι υπολογιστικές μελέτες [Hooker (1994)], [Rardin (2001)]. Για την υπολογιστική σύγκριση διαφόρων αλγορίθμων, απαραίτητη είναι η πολλαπλή εκτέλεση όλων των αλγορίθμων σε κοινές συλλογές από δεδομένα. Για τη διενέργεια μιας σωστής υπολογιστικής μελέτης, τα δεδομένα αυτά πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις. Συγκεκριμένα, πρέπει να είναι μεγάλης διάστασης, να δημιουργούνται από γεννήτριες τυχαίων αριθμών και για κάθε διάσταση να λύνονται από τους αλγόριθμους 10 ή και περισσότερα στιγμιότυπα. Περισσότερες

πληροφορίες σχετικά με τη δημιουργία τυχαίων συλλογών από δεδομένα μπορούν να βρεθούν στην αναφορά [Hall (2001)].

Η επιλογή των κατάλληλων δεικτών απόδοσης είναι ένας κρίσιμος παράγοντας σε μια υπολογιστική μελέτη [Crowder (1979)]. Οι δείκτες απόδοσης πρέπει να είναι, όσο το δυνατόν, πιο ανεξάρτητοι από την υπολογιστική μελέτη. Δείκτες απόδοσης που έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο στις υπολογιστικές μελέτες είναι:

- Ο χρόνος επεξεργασίας
- Ο αριθμός των επαναλήψεων
- Η μέτρηση των βασικών πράξεων

Αν χρησιμοποιηθεί σε μια υπολογιστική μελέτη ο χρόνος επεξεργασίας ως δείκτης απόδοσης, πρέπει να περιλαμβάνονται μέθοδοι για την όμοια τυποποίηση των αποτελεσμάτων.

Η εργασία αυτή είναι δομημένη ως εξής: μετά την εισαγωγή ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν στην ενότητα 2. Στην ενότητα 3 παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία σχεδιασμού της εφαρμογής. Μια περιγραφή της λειτουργίας της εφαρμογής παρουσιάζεται στην ενότητα 4. Στην ενότητα 5 παρουσιάζεται μια βηματική εκτέλεση της εφαρμογής συγκρίνοντας τρεις αλγόριθμους ταξινόμησης. Τέλος, στην ενότητα 6 δίνονται τα συμπεράσματα.

2. Σύντομη περιγραφή των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν

Σε αυτή την εφαρμογή παρέχεται η δυνατότητα σύγκρισης αλγορίθμων, οι οποίοι ανήκουν στις εξής κατηγορίες: (1) αναζήτησης, (2) ταξινόμησης και (3) επίλυσης γραμμικών συστημάτων. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι από τους πιο βασικούς και διδάσκονται σε όλα σχεδόν τα τμήματα Πληροφορικής. Η εφαρμογή έχει ενσωματωμένους τους περισσότερους αλγόριθμους από αυτές τις κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα, οι αλγόριθμοι που παρέχονται ανά κατηγορία είναι οι εξής:

Πίνακας 1. Αλγόριθμοι ανά κατηγορία

Αλγόριθμοι Αναζήτησης	Αλγόριθμοι Ταξινόμησης	Αλγόριθμοι Επίλυσης Γραμμικών Συστημάτων
Binary search	Bubble sort	Cramer's rule
Grover's search	Heap sort	Gaussian elimination
Interpolation search	Insert sort	Gauss-Jordan elimination
Linear search	Merge sort	Strasser's rule
	Quick sort	
	Radix sort	
	Selection sort	
	Shaker sort	
	Shell sort	
	Swap sort	

Οι αλγόριθμοι έχουν παραμετροποιηθεί ώστε να δέχονται όλοι τα ίδια ορίσματα ως είσοδο και να επιστρέφουν ίδιας μορφής εξόδους. Αναλυτικότερα, οι αλγόριθμοι αναζήτησης δέχονται ως είσοδο δύο ορίσματα: μία λίστα πραγματικών αριθμών και ένα πραγματικό αριθμό που ανήκει στη λίστα και είναι το στοιχείο προς αναζήτηση. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης δέχονται ως είσοδο μία λίστα πραγματικών αριθμών. Οι αλγόριθμοι επίλυσης γραμμικών συστημάτων δέχονται γραμμικά συστήματα της μορφής:

$$Ax = b \quad (1)$$

όπου $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$, είναι ο πίνακας των συντελεστών των αγνώστων, $x \in \mathbb{R}^n$ είναι ο πίνακας – στήλη των αγνώστων και $b \in \mathbb{R}^m$ είναι ο πίνακας – στήλη των σταθερών όρων. Οι αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας δέχονται ως είσοδο τον πίνακα A και τον πίνακα – στήλη b . Ως έξοδο και οι τρεις κατηγορίες αλγορίθμων παράγουν δύο ορίσματα: (1) το χρόνο επεξεργασίας και (2) τον αριθμό των επαναλήψεων. Αυτή η κωδικοποίηση των αλγορίθμων έγινε αποσκοπώντας στην εύκολη εισαγωγή των αλγορίθμων του χρήστη που πρέπει να ακολουθούν αυτήν τη μορφή. Πέρα από αυτήν την κωδικοποίηση, οι αλγόριθμοι του χρήστη θα πρέπει να είναι είτε σε αρχεία κωδικοποίησης matlab (αρχεία .m) είτε σε εκτελέσιμη μορφή (αρχεία .exe).

Εκτός, όμως, από τη σύγκριση των ήδη υπαρχόντων αλγορίθμων μεταξύ τους, το σημαντικότερο κομμάτι της εφαρμογής είναι η δυνατότητα που προσφέρει στο χρήστη να εισάγει τους δικούς του αλγόριθμους. Δηλαδή, με το προτεινόμενο λογισμικό μπορούν να γίνουν συγκρίσεις με τους εξής τρόπους: (1) σύγκριση των ήδη υπαρχόντων αλγορίθμων μεταξύ τους, (2) σύγκριση των αλγορίθμων του χρήστη με τους ήδη υπάρχοντες αλγόριθμους και (3) σύγκριση των αλγορίθμων του χρήστη μεταξύ τους.

3. Βασικά στοιχεία σχεδιασμού της εφαρμογής

Το λογισμικό για τη διενέργεια υπολογιστικών μελετών έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας τις βασικές δυνατότητες του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Matlab Professional (έκδοση 7.1). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά τη σχεδίαση και ανάπτυξη της προτεινόμενης εφαρμογής βασίζεται στο μοντέλο του δομημένου προγραμματισμού. Η τελική έκδοση του προγράμματος αποτελείται από μια εφαρμογή τύπου standalone application. Εκτελείται σε λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows (έκδοση 98 και άνω) και δεν απαιτείται καμία περαιτέρω εγκατάσταση ή ρύθμιση από την πλευρά του χρήστη. Αρκεί μόνο η ύπαρξη του εκτελέσιμου αρχείου της εφαρμογής.

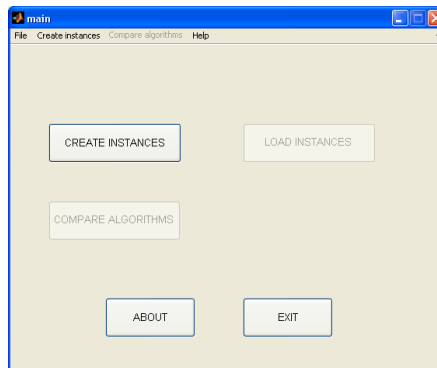
Κύριος στόχος της εφαρμογής είναι η ανάπτυξη ενός εργαλείου που θα δίνει τη δυνατότητα της σύγκρισης πολλών αλγορίθμων μεταξύ τους και της εξαγωγής αναφορών, όπου θα περιέχονται τα αποτελέσματα τόσο αριθμητικά όσο και γραφικά. Η εφαρμογή που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη

να αποφύγει μια χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία, όπως είναι η υπολογιστική μελέτη. Στην ουσία η εφαρμογή αναλαμβάνει να εκτελέσει κάθε αλγόριθμο σε μεγάλες συλλογές από δεδομένα και τελικά να παρουσιάσει τα αποτελέσματα συνολικά στο τέλος. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται, από την πλευρά του χρήστη, η επαναλαμβανόμενη εκτέλεση κάθε αλγορίθμου, η αποθήκευση των αποτελεσμάτων του και τελικά η σύγκριση όλων των αποτελεσμάτων συνολικά.

Στον τελικό σχεδιασμό της εφαρμογής δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στη μη επιβάρυνση του χρήστη με επιπλέον εκμάθηση της λειτουργίας της. Να έχει τη δυνατότητα χωρίς την εγκατάσταση πρόσθετων εφαρμογών στον υπολογιστή του να μπορεί να εκτελεί εύκολα την εφαρμογή. Η εφαρμογή εκτελείται εύκολα και γρήγορα μέσα από το εκτελέσιμο αρχείο της. Ορισμένα άλλα στοιχεία που λήφθηκαν υπόψιν στην ανάπτυξη της διεπιφάνειας της εφαρμογής είναι: (i). Να είναι διαφανής, δηλαδή να βοηθάει το χρήστη να επικεντρώνεται στην εργασία που θέλει να επιτελέσει, (ii). Να έχει αναμενόμενη και προφανή συμπεριφορά και να παρουσιάζει συνέπεια σε όλο το εύρος της διεπιφάνειας, (iii). Να παρέχει ανάδραση στο χρήστη και (iv). Να παρέχει βοήθεια στο χρήστη.

4. Περιγραφή της εφαρμογής

Στην εφαρμογή αρχικά πρέπει να δημιουργηθούν συλλογές από δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση των αλγορίθμων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1, που παρουσιάζει την αρχική οθόνη της εφαρμογής, όλες οι επιλογές είναι απενεργοποιημένες πλην της δημιουργίας των στιγμιότυπων.

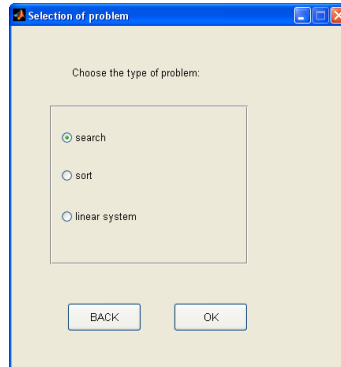


Εικόνα 1. Αρχική οθόνη

4.1 Δημιουργία στιγμιότυπων

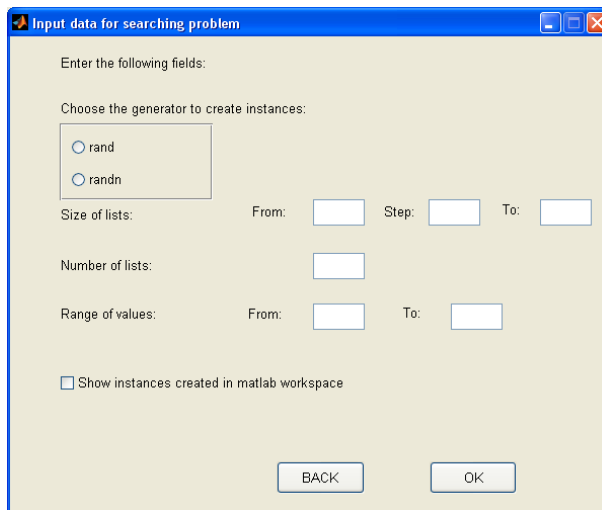
Η δημιουργία των στιγμιότυπων μπορεί να γίνει είτε από το πλήκτρο «Create instances» είτε από την αντίστοιχη επιλογή από το μενού. Εν συνεχεία ζητείται η

κατηγορία των αλγορίθμων που θα συγκριθούν: αναζήτησης, ταξινόμησης ή επίλυσης γραμμικών συστημάτων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2. Επιλογή τύπου προβλήματος

Αφού επιλεγεί ο τύπος των αλγορίθμων χρειάζεται να δοθούν τα απαραίτητα στοιχεία για τη δημιουργία των στιγμιότυπων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.



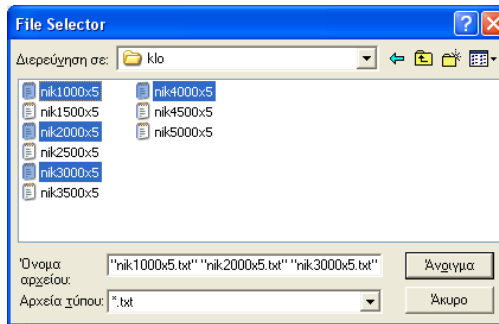
Εικόνα 3. Δημιουργία στιγμιότυπων

Τα στοιχεία που πρέπει να συμπληρωθούν είναι: (1) η επιλογή της γεννήτριας τυχαίων αριθμών, δηλαδή αν θα είναι η rand ή η randn, (2) το μέγεθος των λιστών, (3) ο αριθμός των λιστών και (4) το πεδίο τιμών. Με αυτή τη διαδικασία, μπορεί να δημιουργηθούν πολλές συλλογές από δεδομένα. Τα στιγμιότυπα αυτά αποθηκεύονται κάθε φορά σε αρχεία για να υπάρχει η δυνατότητα της οπτικής εποπτείας από τη πλευρά του χρήστη, αλλά κυρίως για να μπορεί να επιλεγεί ποια ομάδα στιγμιότυπων θα χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση των αλγορίθμων.

4.2 Φόρτωση στιγμιότυπων

Μετά την δημιουργία των στιγμιότυπων, πρέπει να επιλεγεί ποια ομάδα στιγμιότυπων, από αυτές που δημιουργήσαμε, θα χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση των αλγορίθμων. Αυτό επιτυγχάνεται, είτε από το πλήκτρο «Load instances» είτε από το μενού «File», που μετά τη δημιουργία των στιγμιότυπων έχουν ενεργοποιηθεί.

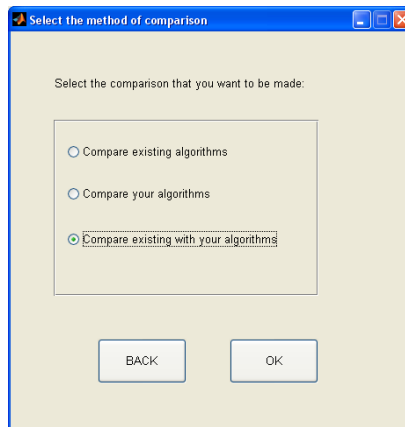
Με την επιλογή της ενέργειας αυτής, εμφανίζεται μια φόρμα επιλογής αρχείων (Εικόνα 4), όπου πρέπει να βρεθούν τα στιγμιότυπα που δημιουργήθηκαν και να επιλεγούν κάποια από αυτά.



Εικόνα 4. Φόρτωση στιγμιότυπων

4.3 Επιλογή και σύγκριση των αλγορίθμων

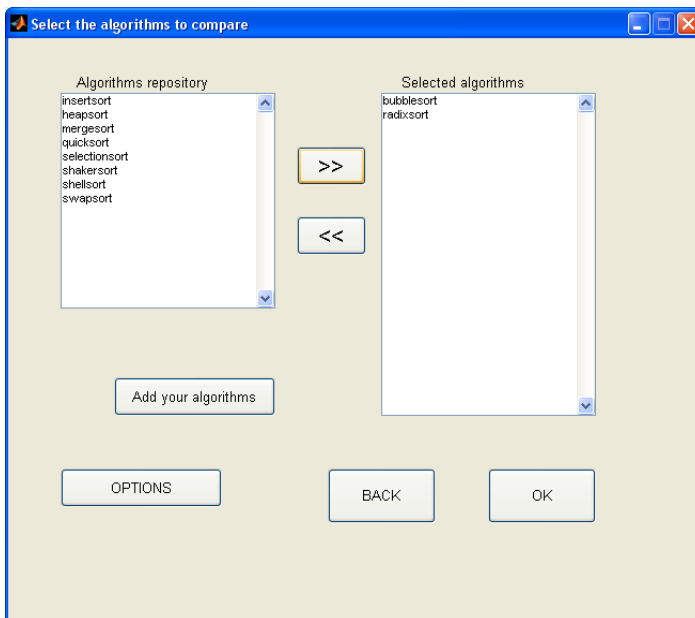
Μόλις φορτωθούν τα στιγμιότυπα που θα χρησιμοποιηθούν, ο χρήστης είναι σε θέση να προχωρήσει στη σύγκριση των αλγορίθμων είτε μέσω του πλήκτρου «Compare algorithms» είτε μέσω της αντίστοιχης επιλογής στο μενού που πλέον έχουν ενεργοποιηθεί.



Εικόνα 5. Επιλογή μεθόδου σύγκρισης

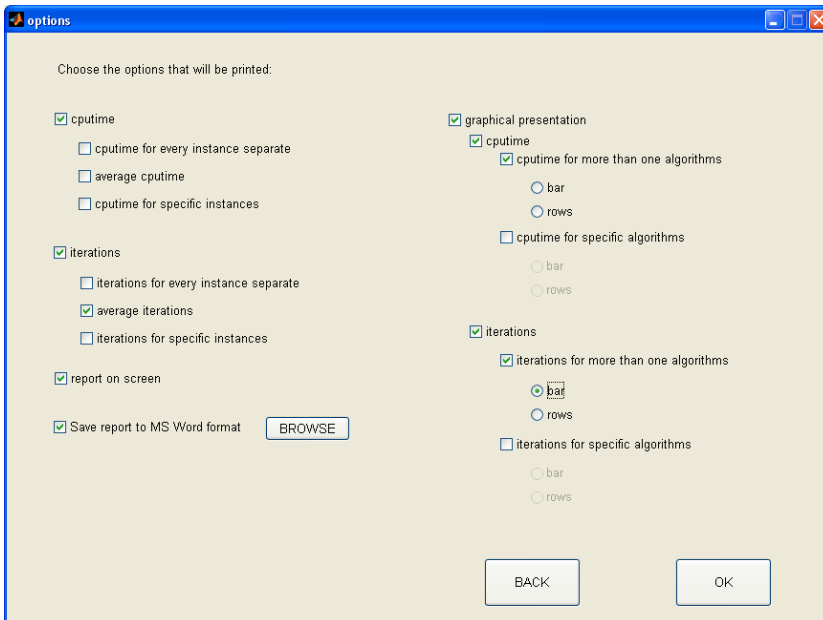
Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνει η επιλογή του τρόπου σύγκρισης των αλγορίθμων (Εικόνα 5). Οι επιλογές που παρέχονται είναι οι εξής: (1) σύγκριση των ήδη υπαρχόντων αλγορίθμων, (2) σύγκριση των αλγορίθμων του χρήστη και (3) σύγκριση των ήδη υπαρχόντων αλγορίθμων με τους αλγόριθμους του χρήστη.

Αναλόγως, με την επιλογή που θα γίνει στον τρόπο σύγκρισης θα οδηγηθούμε σε διαφορετική οθόνη, που όμως είναι παραπλήσια και στις τρεις περιπτώσεις. Αν επιλεγεί να γίνει σύγκριση μεταξύ των ήδη υπαρχόντων αλγορίθμων με τους αλγόριθμους του χρήστη τότε οδηγούμαστε στην οθόνη, όπου θα γίνει η επιλογή των αλγορίθμων (Εικόνα 6). Από τη λίστα επιλέγονται οι ήδη υπάρχοντες αλγόριθμοι και από το πλήκτρο «Add your algorithms» εισάγονται οι αλγόριθμοι του χρήστη.



Εικόνα 6. Επιλογή αλγορίθμων προς σύγκριση

Από το πλήκτρο «Options» επιλέγονται κάποιες ρυθμίσεις (Εικόνα 7) που αφορούν τα αποτελέσματα που επιθυμεί ο χρήστης να εξαχθούν. Οι επιλογές αυτές αφορούν τι είδους πίνακες και γραφήματα θα δημιουργηθούν. Όσον αφορά τα αριθμητικά αποτελέσματα παρέχεται η δυνατότητα να εμφανιστούν τα αποτελέσματα, δηλαδή ο χρόνος επεξεργασίας και ο αριθμός επαναλήψεων, για όλα τα στιγμιότυπα αλλά και για συγκεκριμένη ομάδα αυτών. Τα γραφήματα αναπαριστούν το χρόνο επεξεργασίας και τον αριθμό επαναλήψεων και μπορούν να σχεδιαστούν είτε σε μπάρες είτε σε γραμμές. Τα γραφήματα μπορούν να αναπαριστούν συνολικά όλους τους αλγόριθμους που επιλέχθηκαν αλλά και κάποιον συγκεκριμένο. Τα αποτελέσματα μπορούν να αποτυπωθούν στην οθόνη και να αποθηκευτούν σε ένα έγγραφο του Microsoft Word για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση.



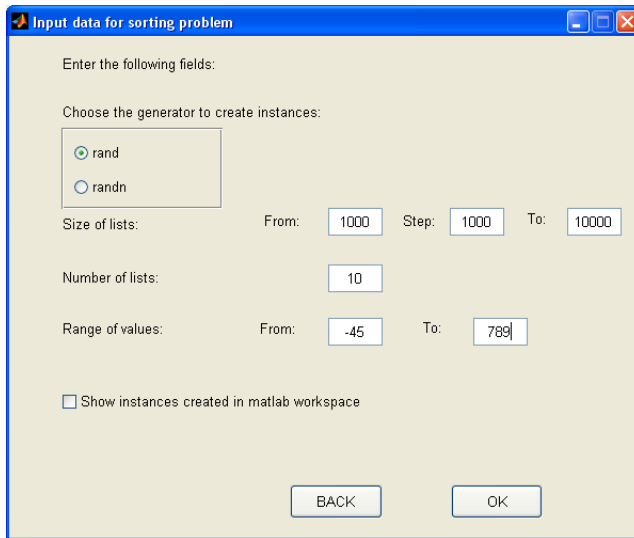
Εικόνα 7. Ρυθμίσεις για την έξοδο των αποτελεσμάτων

5. Βηματική εκτέλεση της εφαρμογής

Για την καλύτερη παρουσίαση της εφαρμογής δίνεται η σύγκριση δύο αλγορίθμων ταξινόμησης, του αλγόριθμου bubble sort και του insert sort, που υπάρχουν ενσωματωμένοι στο λογισμικό, και ενός αλγορίθμου που δεν υπάρχει στην εφαρμογή, αλλά δημιουργήθηκε για τις ανάγκες του παραδείγματος αυτού και θα εισαχθεί στο πρόγραμμα από εξωτερικό αρχείο.

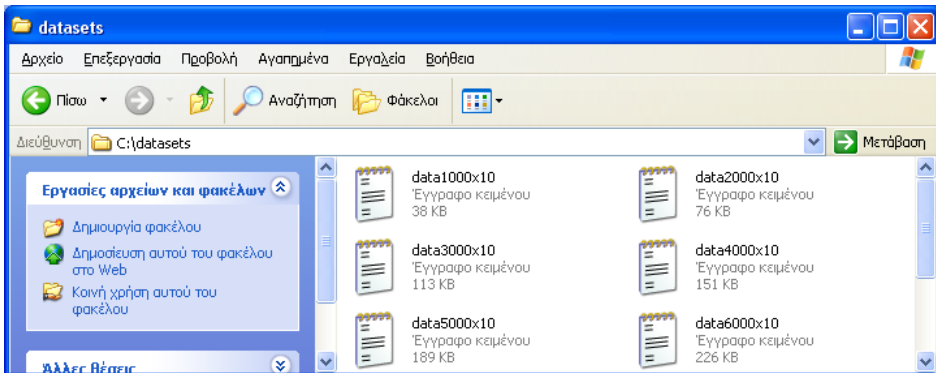
Αρχικά, θα δημιουργηθούν οι συλλογές από δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση των αλγορίθμων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.

Για τη δημιουργία των στιγμιότυπων χρησιμοποιήθηκε η γεννήτρια τυχαίων αριθμών «rand», δημιουργήθηκαν 10 ομάδες στιγμιότυπων, όπου κάθε ομάδα έχει 10 λίστες. Η πρώτη λίστα έχει 1000 στοιχεία και οι επόμενες έχουν 1000 στοιχεία περισσότερα από την προηγούμενη τους. Πατώντας το πλήκτρο «OK» για τη συνέχιση της εφαρμογής, ζητείται το όνομα με το οποίο θα αποθηκευτούν τα δεδομένα.



Εικόνα 8. Δημιουργία στιγμιότυπων

Στο όνομα του αρχείου προσαρτώνται και κάποιες πληροφορίες για να είναι εύκολη η αναγνώρισή τους. Τα πρόσθετα στοιχεία μετά το όνομα του αρχείου είναι το μέγεθος της λίστας και το σύνολο των λιστών της ομάδας. Δοθέντος του ονόματος «data», ο κατάλογος που θα σωθούν τα στιγμιότυπα φαίνεται στην Εικόνα 9.



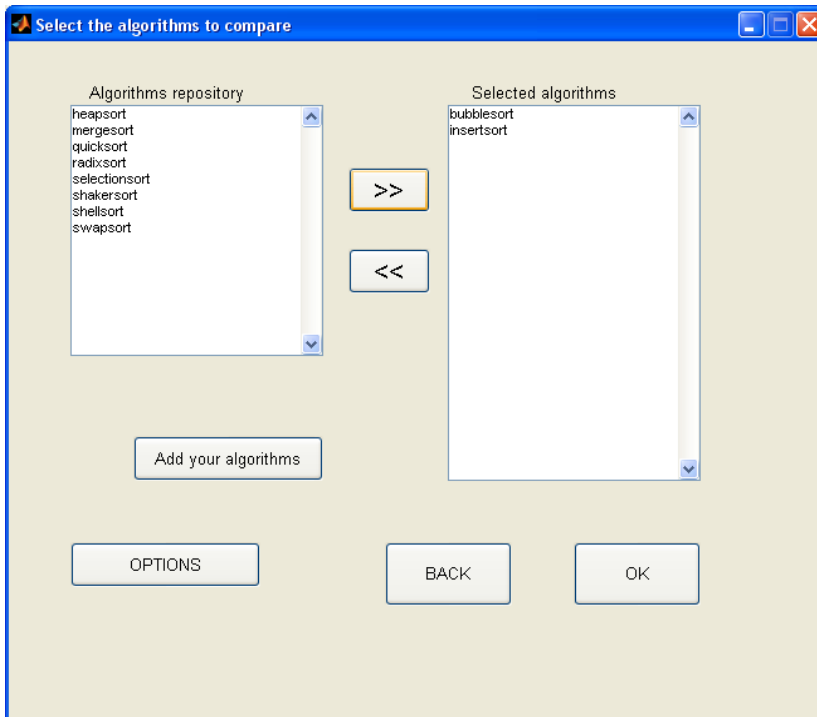
Εικόνα 9. Αποθήκευση στιγμιότυπων

Στη συνέχεια, επιλέγονται τα στιγμιότυπα που θα χρησιμοποιηθούν στη σύγκριση των αλγορίθμων. Πρέπει να τονισθεί ότι δεν είναι απαραίτητο να επιλεγούν όλα τα στιγμιότυπα που δημιουργήθηκαν. Αρκεί να επιλεγεί και ένα υποσύνολο από αυτά.

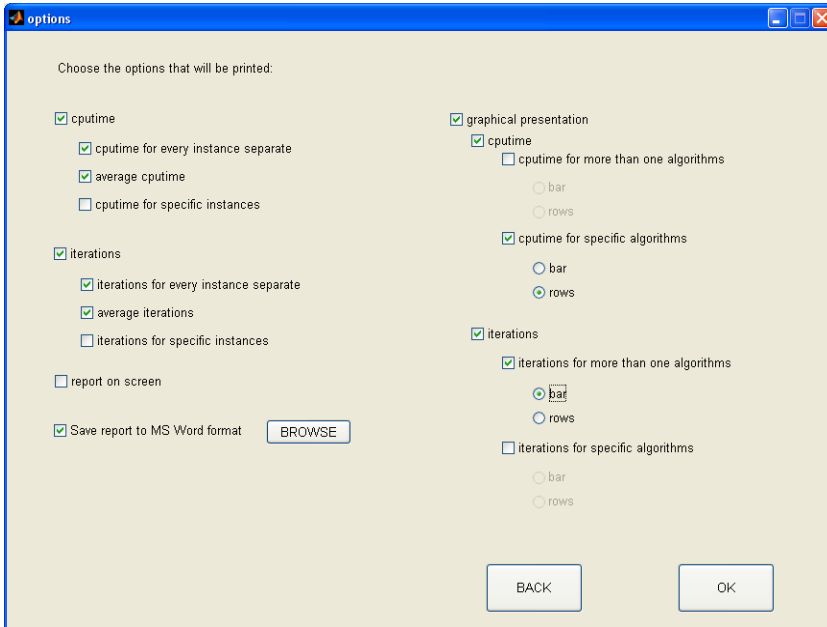
Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του τρόπου σύγκρισης. Στην περίπτωση αυτή που θα συγκριθεί ένας εξωτερικός αλγόριθμος με τους δύο ήδη υπάρχοντες αλγόριθμους (bubble sort και insert sort), πρέπει να επιλεγεί η τρίτη περίπτωση, δηλαδή η επιλογή «Compare existing with your algorithms» (Εικόνα 5).

Στη συνέχεια, επιλέγονται οι αλγόριθμοι που θα συγκριθούν, όπως φαίνεται στην Εικόνα 10, από την αριστερά λίστα, που δείχνει τους διαθέσιμους αλγόριθμους. Από το πλήκτρο «Add your algorithms» εισάγεται ο αλγόριθμος από εξωτερικό αρχείο. Στην περίπτωση αυτή θα επιλεγούν οι αλγόριθμοι bubble sort και insert sort και θα εισαχθεί από εξωτερικό αρχείο ένας αλγόριθμος ταξινόμησης.

Από το πλήκτρο «OPTIONS» επιλέγονται τα αριθμητικά δεδομένα και τα γραφήματα που θα εξαχθούν. Για τις ανάγκες του παραδείγματος θα επιλεγούν οι εξής ρυθμίσεις, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 11: να εμφανιστεί ο χρόνος επεξεργασίας και ο αριθμός επαναλήψεων για κάθε λίστα στιγμιότυπου ξεχωριστά αλλά και ο μέσος όρος όλων των στιγμιότυπων, να αποθηκευτεί η αναφορά σε ένα αρχείο Microsoft Word και να δημιουργηθούν δύο γραφήματα, το ένα να απεικονίζει σε γραμμές το χρόνο επεξεργασίας για τον αλγόριθμο που εισήχθη από εξωτερικό αρχείο και το άλλο να απεικονίζει σε μπάρες τον αριθμό επαναλήψεων και των τριών αλγορίθμων.



Εικόνα 10. Επιλογή αλγορίθμων



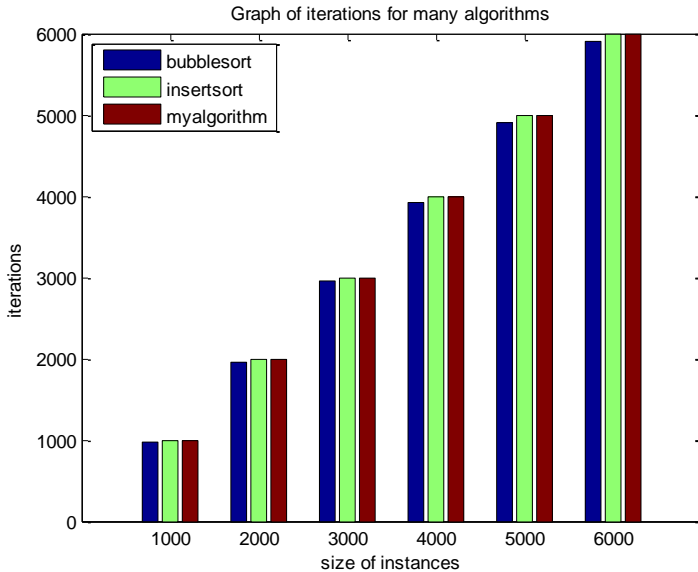
Εικόνα 11. Επιλογές για την έξοδο των αποτελεσμάτων

Η μορφή του πίνακα που περιέχει το χρόνο επεξεργασίας για κάθε λίστα από τα στιγμιότυπα που φορτώθηκαν θα έχει τη μορφή που φαίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Χρόνος επεξεργασίας

	bubblesort	insertsort	myalgorithm
data1000x10	0,0375	0,034375	0,029688
data2000x10	0,160938	0,146875	0,110938
data3000x10	0,365625	0,307813	0,228125
data4000x10	0,653125	0,551563	0,38125
data5000x10	1,023438	0,767188	0,553125
data6000x10	1,470313	1,16875	0,782813

Το γράφημα που απεικονίζει σε μπάρες τον αριθμό επαναλήψεων και των τριών αλγορίθμων φαίνεται στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12. Γράφημα του αριθμού επαναλήψεων των αλγορίθμων

6. Συμπεράσματα

Στην εργασία παρουσιάστηκε μια εφαρμογή για τη σύγκριση των αλγορίθμων αναζήτησης, ταξινόμησης και επίλυσης γραμμικών συστημάτων. Στόχος της εφαρμογής είναι να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τη διενέργεια υπολογιστικών μελετών, όπου θα παρέχει τα κατάλληλα αποτελέσματα για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά των αλγορίθμων. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο εμφάνισης των αποτελεσμάτων, αλλά και στο συνολικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης με το χρήστη.

References

- Crowder H.P., Dembo R.S., Mulvey J.M. (1978), *On reporting Computational Results in Mathematical Programming*, Mathematical Programming 15, pp. 316-329.
- Hall N.G., Posner M.E. (2001), *Generating Experimental Data for Computational Testing with Machine Scheduling Application*, Operations Research, vol. 49, pp. 854-865.
- Hooker J.N. (1994), *Needed: an empirical science of algorithms*, Operations Research, vol. 42(2), pp. 201-212
- Rardin R.L., Uzsoy R. (2001), *Experimental evaluation of heuristic optimization algorithms: A tutorial*, Journal of heuristics, vol. 7, pp. 261-304