



Τεχνολογίες Υλοποίησης Αλγορίθμων

Χρήστος Ζαρολιάγκης

Καθηγητής

Τμήμα Μηχ/κων Η/Υ & Πληροφορικής

Πανεπιστήμιο Πατρών

email: zaro@ceid.upatras.gr

Ενότητα 2



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



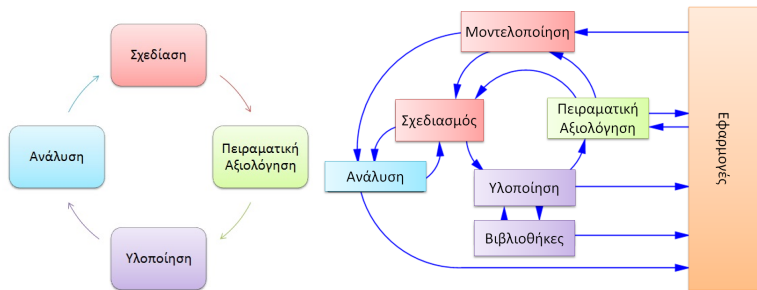
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



- Τεχνολογίες Υλοποίησης Αλγορίθμων (Algorithm Engineering)
 - Τι είναι
 - Κίνητρα και Στόχοι
- Βιβλιοθήκες Λογισμικού Αλγορίθμων και Δομών Δεδομένων – Ανάγκη και Χρησιμότητα
- Εργαλεία Τεχνολογιών Υλοποίησης Αλγορίθμων



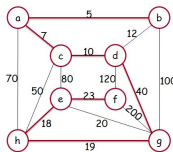
Συστηματικό πλαίσιο αντιμετώπισης της διαδικασίας μετατροπής (θεωρητικής) αποδοτικών αλγορίθμων και δομών δεδομένων σε χρήσιμο λογισμικό

Ασυμπτωτική ανάλυση (“Asymptopia”)

- Μπορεί να αφορά μόνο εξαιρετικά μεγάλα μεγέθη προβλημάτων, εκτός κάθε λογικά πρακτικής εφαρμογής
- Μπορεί να κρύβει τεράστιες σταθερές

Παράδειγμα 1

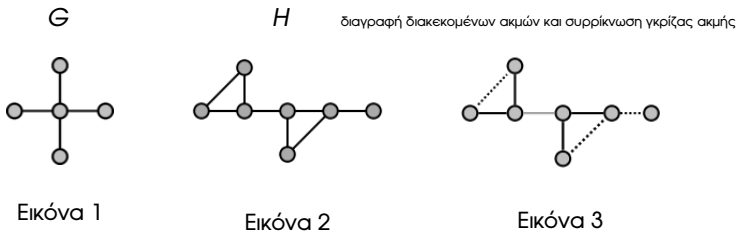
- **Ελάχιστο Γεννητικό Δένδρο:** Fredman & Tarjan (FT) vs Prim



- Αλγόριθμος FT, χρονικής πολυπλοκότητας $O(m\beta(m, n))$, ασυμπτωτικά αποδοτικότερος αλγορίθμου Prim, χρονικής πολυπλοκότητας $O(m \log n)$
- Πειραματική μελέτη (Moret & Shapiro, 1995) έδειξε ότι ο αλγόριθμος FT είναι καλύτερος στην πράξη από τον αλγόριθμο Prim μόνο για τεράστια και πυκνά γραφήματα με $n \geq 10^6$

Παράδειγμα 2

- Έλεγχος ελάσσονος γραφήματος – είναι ένα δεδομένο γράφημα G ελάσσον (minor) ενός άλλου γραφήματος H ;



Αλγόριθμος Robertson & Seymour, χρονικής πολυπλοκότητας $O(n^3)$:
η «κρυμμένη» σταθερά είναι 10^{150}

Απόδοση Χειρότερης Περίπτωσης vs Απόδοση στην Πράξη

- Πολλοί αλγόριθμοι έχουν **πολύ καλύτερη** συμπεριφορά από αυτήν που εκφράζει η ΠΧΠ τους
 - Φράγματα ΠΧΠ: μπορεί να υποεκτιμούν την χρήση των αλγορίθμων στην πράξη
- *Παράδειγμα*
 - Η μέθοδος **Simplex** για επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού ΠΧΠ εκθετική \neq πολυωνυμική στην πράξη

Πρακτικά Προβλήματα vs NP-δυσκολία

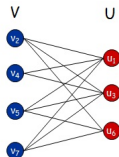
- Πολλές πρακτικές εφαρμογές απαιτούν την επίλυση NP-δύσκολων προβλημάτων
 - Η ασυμπτωτική ανάλυση δεν προσφέρει ικανοποιητικές απαντήσεις για την επίλυση ενός NP-δύσκολου προβλήματος στην πράξη
- *Παράδειγμα*
 - Πρόβλημα περιοδεύοντος πωλητή (Travelling Salesman Problem)
 - Πρόβλημα δρομολόγησης στόλου οχημάτων (Vehicle Routing Problem)

Έλλειψη χρονικών φραγμάτων ή ποιότητας λύσης

- \exists αλγόριθμοι χωρίς
 - αποδεδειγμένα (αυστηρά) ασυμπτωτικά χρονικά φράγματα (π.χ. άγνωστης πολυπλοκότητας)
 - αποδεδειγμένες (θεωρητικές) εγγυήσεις για την ποιότητα των λύσεων που υπολογίζουν
- Ευρετικοί ή εμπειρικοί αλγόριθμοι

Παράδειγμα 1

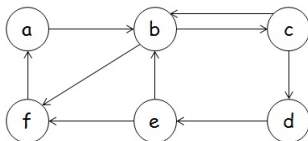
- Ελαχιστοποίηση τομών ακμών στον σχεδιασμό διμερών γραφημάτων



- Πειραματική μελέτη (Demetrescu & Finocchi, 2000) έδειξε ότι ένας αλγόριθμος χωρίς θεωρητικά αποδεδειγμένο σταθερό λόγο προσέγγισης υπολογίζει λύσεις με λιγότερες τομές από αλγορίθμους με (αποδεδειγμένα) μικρό και σταθερό λόγο προσέγγισης

Παράδειγμα 2

- Πλήρως δυναμική προσβασιμότητα (fully dynamic reachability) σε κατευθυνόμενα γραφήματα



- Πειραματική μελέτη (Krommudas & Zaroliagis, 2005) έδειξε ότι αλγόριθμοι με μη θεωρητικά αποδεδειγμένες χρονικές πολυπλοκότητες υπερτερούν αλγορίθμων με τις (θεωρητικά) καλύτερες χρονικές πολυπλοκότητες

Νέοι αλγόριθμοι βασίζονται σε προηγούμενους

- Υλοποίηση και πρακτική αξιολόγηση: δύσκολο έργο
- Πρέπει πρώτα να υλοποιηθούν διάφορα στρώματα προηγούμενων (πιθανών πολύπλοκων) αλγορίθμων και δομών δεδομένων

Εμπλουτισμός κώδικα υλοποίησης αλγορίθμων με ευρετικές μεθόδους

- Μπορεί να επιταχύνει σημαντικά την υλοποίηση στην πράξη, παρόλο που μπορεί να μη βελτιώνει την ασυμπτωτική συμπεριφορά του αλγορίθμου
- *Παραδείγματα*
 - Αλγόριθμοι Εύρεσης Συντομότερων Διαδρομών
 - Αλγόριθμοι Εύρεσης Μέγιστης Ροής

Εκτέλεση πειραμάτων

- Ένα προσεκτικά διαμορφωμένο σύνολο δεδομένων δοκιμής συχνά βοηθάει στην διασφάλιση της ορθότητας μιας υλοποίησης
- Συλλογή στιγμιοτύπων στα οποία κάποιος κώδικας έχει εσφαλμένη συμπεριφορά είναι χρήσιμα για έλεγχο μελλοντικών υλοποιήσεων

Μέτρηση σημαντικών δεικτών απόδοσης

- Παραδείγματα σημαντικών δεικτών απόδοσης:
 - σταθερές
 - περιορισμοί πραγματικού περιβάλλοντος
 - τοπικότητα αναφορών (locality of references)
 - επηρεασμός λανθάνουσας μνήμης (cache effects)
 - πολυπλοκότητα επικοινωνίας
 - ...
- μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν θεωρητικά, αλλά μπορούν να μετρηθούν πειραματικά (και με ακρίβεια)

- Παροχή βιβλιοθηκών υψηλής ποιότητας που παρέχουν αποδοτικές και αξιόπιστες υλοποιήσεις αλγορίθμων και δομών δεδομένων

- Ανάπτυξη συστημάτων λογισμικού για την υποστήριξη της διαδικασίας υλοποίησης, αποσφαλμάτωσης, και πειραματικής αξιολόγησης αλγορίθμων
 - Περιβάλλοντα λογισμικού
 - Προγράμματα αποσφαλμάτωσης υψηλού-επιπέδου
 - Εργαλεία οπτικοποίησης
 - Περιβάλλοντα προσομοίωσης και δοκιμών

- Προσδιορισμός δεδομένων δοκιμής για την (όσο το δυνατόν) καλύτερη αξιολόγηση των υλοποιημένων αλγορίθμων
 - Τυχαία δεδομένα
 - Συνθετικά δεδομένα
 - Πραγματικά δεδομένα

- Εκτέλεση συγκριτικών πειραματικών μελετών για τον προσδιορισμό της καλύτερης υλοποίησης μιας δεδομένης εφαρμογής
 - Εντοπισμός *αλγορίθμων-διαχωριστών*: αλγορίθμων που εμφανίζουν σαφώς διαφορετική συμπεριφορά σε διαφορετικούς τύπους και μεγέθη εισόδων
 - Προσδιορισμός μεθοδολογιών για αποδοτική υλοποίηση και χρήσιμη πειραματική αξιολόγηση αλγορίθμων

- Έλεγχος ορθότητας προγραμμάτων
 - Ανάπτυξη *προγραμμάτων πιστοποίησης (certifying programs)*: πιστοποιούν την ορθότητα της υλοποίησης

- Εμπειρική αξιολόγηση ευρετικών μεθόδων για υπολογιστικά (π.χ. NP-δύσκολα) προβλήματα
- Χαρακτηρισμός ασυμπτωτικής συμπεριφοράς πολύπλοκων αλγορίθμων
- Προσδιορισμός επιτάχυνσης παράλληλων αλγορίθμων
- Μελέτη ιεραρχιών μνήμης και επίδραση επικοινωνίας σε πραγματικά περιβάλλοντα
- Πρόβλεψη απόδοσης αλγορίθμων
- Εύρεση περιορισμών ή σημείων συμφόρησης σε πραγματικές εφαρμογές

Βιβλιοθήκες/Περιβάλλοντα Λογισμικού Αλγορίθμων – Ανάγκη & Χρησιμότητα

- Βασική προϋπόθεση επίτευξης των στόχων των Τεχνολογιών Υλοποίησης Αλγορίθμων
- Ευκολότερος (και καλύτερος) σχεδιασμός και ανάπτυξη λογισμικού αλγορίθμων (π.χ. έτοιμοι ενσωματωμένοι τύποι δεδομένων για πολύπλοκες συνδυαστικές δομές)
- Επαναχρησιμοποίηση κώδικα \Rightarrow πολύ ευκολότερη υλοποίηση πολύπλοκων αλγορίθμων
- Χρήση αποδοτικών, αξιόπιστων και καλά δοκιμασμένων αλγορίθμων, οι οποίοι (αρκετά συχνά) είναι οι καλύτεροι που υπάρχουν

Βιβλιοθήκες/Περιβάλλοντα Λογισμικού Αλγορίθμων

- LEDA (Library for Efficient Data types and Algorithms)
<http://www.algorithmic-solutions.com/>
- Boost C++ Library
<http://www.boost.org/>

Συλλογές-Αποθετήρια Αλγορίθμων

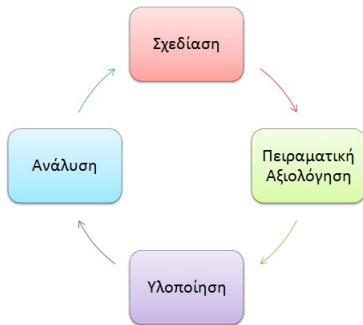
- Stony Brook Algorithm Repository
<http://www.cs.sunysb.edu/~algorithm>
- CATS (Combinatorial Algorithms Test Sets) - παρωχημένο

Δεδομένα Δοκιμών

- Stanford GraphBase
<http://www.cs.sunysb.edu/~algorithm/implement/graphbase/implement.shtml>
- Netlib
<http://www.netlib.org/>

Άλλα Συστήματα Λογισμικού

- Συστήματα οπτικοποίησης αλγορίθμων (algorithm animation): Tango, Leonardo, Catai, Polka, ZStep95, Elliot, Pavana, ...
- Διάφορα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα αλγορίθμων



- Τεχνολογίες Υλοποίησης Αλγορίθμων: μια νέα μέθοδος ανάπτυξης αλγορίθμων
- Βιβλιοθήκες/περιβάλλοντα λογισμικού: κλειδί για τις τεχνολογίες υλοποίησης αλγορίθμων

Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0**.

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Χρήστος Ζαρολιάγκης, 2014. «Τεχνολογίες Υλοποίησης Αλγορίθμων». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1084>

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό.



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Εικόνα 1:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GraphMinorExampleA.png>

Εικόνα 2:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GraphMinorExampleB.svg>

Εικόνα 3:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GraphMinorExampleC.svg>

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει :

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει) μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους