

## Παράλληλη Επεξεργασία Εαρινό Εξάμηνο 2020-2021

### Εργασία "Παράλληλη Ολική Βελτιστοποίηση"

Προθεσμία Δήλωσης Ομάδας: 16.05.2021  
Τελική Ημερομηνία Παράδοσης: 13.06.2021

#### 1. Εισαγωγή

Η ολική βελτιστοποίηση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θέματα έρευνας στον τομέα των εφαρμοσμένων μαθηματικών. Έχει πολύ σημαντικές εφαρμογές σε διάφορα πεδία επιστημών, όπως οικονομία, χημεία, βιολογία και μηχανική.

Στόχος της ολικής βελτιστοποίησης είναι η εύρεση μίας λύσης εντός ενός συνόλου λύσεων στο οποίο η αντικειμενική συνάρτηση αποκτά τη μικρότερη τιμή της, δηλαδή το ολικό ελάχιστο. Επομένως, η ολική βελτιστοποίηση δεν στοχεύει απλά στον καθορισμό ενός τοπικού ελαχίστου αλλά στο μικρότερο τοπικό ελάχιστο από το σύνολο των λύσεων.

Για την εύρεση ενός τοπικού ελαχίστου έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι. Η μέθοδος άμεσης αναζήτησης των Hooke και Jeeves εκτελεί ευθύγραμμη αναζήτηση από το τρέχον σημείο προς συγκεκριμένες διευθύνσεις. Εφόσον βρεθεί κάποιο νέο σημείο με καλύτερη συναρτησιακή τιμή τότε η μέθοδος αντικαθιστά το τρέχον σημείο με το νέο. Διαφορετικά, προσαρμόζει τις παραμέτρους της ευθύγραμμης αναζήτησης και επαναλαμβάνει τη διαδικασία στο ίδιο σημείο.

Μια υλοποίηση της μεθόδου Hooke-Jeeves υπάρχει στη NetLib, και συγκεκριμένο στο αρχείο <http://www.netlib.org/opt/hooke.c>. Η συνάρτηση υπολογίζει ένα σημείο  $X$  στο οποίο η μη γραμμική συνάρτηση  $f(X)$  έχει ένα τοπικό ελάχιστο. Το σημείο  $X$  είναι ένα  $N$ -διάστατο διάνυσμα και η τιμή της συνάρτησης  $f(X)$  είναι βαθμωτή (scalar), δηλαδή ισχύει ότι  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^1$ .

Η αντικειμενική συνάρτηση που θα χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της εργασίας του μαθήματος είναι η συνάρτηση Rosenbrock, η οποία ορίζεται ως εξής:

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{N-1} [(1 - x_i)^2 + 100(x_{i+1} - x_i^2)^2] \quad \forall \mathbf{x} \in \mathbb{R}^N.$$

Η συνάρτηση έχει καθολικό ελάχιστο στο σημείο  $(1, 1, \dots, 1)$ , όπου παίρνει την τιμή 0. Για περισσότερες πληροφορίες: [http://en.wikipedia.org/wiki/Rosenbrock\\_function](http://en.wikipedia.org/wiki/Rosenbrock_function).

Μια προφανής πιθανοτική διαδικασία ολικής βελτιστοποίησης βασίζεται στην εφαρμογή ενός αλγορίθμου τοπικής βελτιστοποίησης σε διαφορετικά σημεία της συνολικής περιοχής αναζήτησης. Η διαδικασία καλείται "Multistart" (Πολυεναρκτήρια Τοπική Αναζήτηση), με τα σημεία στα οποία εφαρμόζεται η τοπική βελτιστοποίηση να επιλέγονται με τυχαίο τρόπο.

#### 2. Λογισμικό Ολικής Βελτιστοποίησης

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει μία εφαρμογή (multistart\_hook\_seq.c) που υλοποιεί **σειριακά** τη μέθοδο Multistart σύμφωνα με την περιγραφή στην προηγούμενη ενότητα. Η εφαρμογή επιλέγει **ntrials** τυχαία σημεία διάστασης **nvars**, καλεί τη μέθοδο Hooke-Jeeves σε καθένα από αυτά για να βρει το τοπικό ελάχιστο και υπολογίζει το σημείο εκείνο που δίνει το ολικό ελάχιστο για τη συνάρτηση Rosenbrock, εκτυπώνοντας τελικά το σημείο αυτό καθώς και την τιμή της συνάρτησης στο συγκεκριμένο σημείο. Ως πεδίο αναζήτησης χρησιμοποιείται το διάστημα  $[-4, 4]$  για κάθε μια από τις **nvars** διαστάσεις της

συνάρτησης. Επίσης χρησιμοποιούνται οι εξ' ορισμού τιμές για τις παραμέτρους της μεθόδου, όπως αυτές ορίζονται στο αρχείο από τη NetLib.

### 3. Παράλληλη Ολική Βελτιστοποίηση

Βασικός στόχος της εργασίας είναι η παραλληλοποίηση του λογισμικού ολικής βελτιστοποίησης, χρησιμοποιώντας τα διάφορα μοντέλα προγραμματισμού που μελετήθηκαν στα πλαίσια του μαθήματος. Συγκεκριμένα, η μέθοδος Hooke-Jeeves θα πρέπει να εφαρμοστεί παράλληλα στα τυχαία σημεία που επιλέγονται από την εφαρμογή. Βασικός στόχος της παράλληλης υλοποίησης είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου εύρεσης των τοπικών ελαχίστων που υπολογίζονται από τη συνάρτηση Hooke-Jeeves και η τελική εύρεση του σημείου που αντιστοιχεί στο ολικό ελάχιστο.

Τα μοντέλα προγραμματισμού τα οποία θα χρησιμοποιήσετε για την παραλληλοποίηση της εφαρμογής είναι τα ακόλουθα:

- **OpenMP**: πολλαπλά νήματα εφαρμόζουν τη μέθοδο στα τυχαία σημεία.
- **OpenMP tasks**: όπως πριν αλλά χρησιμοποιώντας το μοντέλο εργασιών του OpenMP.
- **MPI**: πολλαπλές διεργασίες εφαρμόζουν τη μέθοδο στα τυχαία σημεία.
- **MPI+OpenMP**: υβριδικό μοντέλο προγραμματισμού, με πολλαπλά νήματα ανά MPI διεργασία.

### 4. Μετρήσεις

Αφού ολοκληρώσετε τις παράλληλες εκδόσεις της εφαρμογής και βεβαιωθείτε για τη σωστή λειτουργία τους, θα μετρήσετε την απόδοσή τους ώστε να δείξετε την σωστή αξιοποίηση του διαθέσιμου πολυεπεξεργαστικού υλικού. Για κάθε μοντέλο προγραμματισμού θα πρέπει να μετρήσετε το χρόνο εκτέλεσης της εφαρμογής, δηλ. το χρόνο υπολογισμού των τοπικών ελαχίστων, για διάφορους αριθμούς επεξεργαστικών στοιχείων (νημάτων / διεργασιών κλπ). Για κάθε μοντέλο, μας ενδιαφέρει τόσο ο ελάχιστος χρόνος εκτέλεσης όσο και η χρονοβελτίωση (speedup) της εφαρμογής.

Ως σημείο αναφοράς για τα πειράματά σας, αρχικοποιήστε τη γεννήτρια τυχαίων αριθμών με φύτρο (seed) ίσο με ένα (π.χ. srand48(1)) και υπολογίστε τα τοπικά ελάχιστα της συνάρτησης Rosenbrock για 128K σημεία διάστασης 16.

### 5. Παραδοτέα

Θα πρέπει να παραδώσετε ένα συμπίεσμένο αρχείο το οποίο θα περιέχει:

1. Τους παράλληλους κώδικες για κάθε περίπτωση, με τα απαραίτητα σχόλια.
2. **Αναλυτική γραπτή αναφορά** για την εργασία σας.

Στο εξώφυλλο της γραπτής αναφοράς θα συμπεριλάβετε τα ονόματα και τους ΑΜ όλων των μελών της ομάδας. Στην αναφορά θα περιγράψετε και τεκμηριώνετε αναλυτικά τις παράλληλες υλοποιήσεις και τις σχεδιαστικές αποφάσεις σας και θα παρουσιάσετε τα αποτελέσματά σας (ενδεικτικά: τελικό ελάχιστο, συνολικός αριθμός κλήσεων της συνάρτησης, χρόνοι εκτέλεσης και γραφικές παραστάσεις).

Σχολιάστε τις διαφορές από την χρήση βελτιστοποιήσεων στον χρόνο εκτέλεσης της εφαρμογής και (κυρίως) στην χρονοβελτίωση. Γενικότερα, δώστε ιδιαίτερο βάρος στην αναφορά σε αυτά που κάνατε εσείς. Θα πρέπει επίσης να αναφέρετε τα βασικά χαρακτηριστικά του υπολογιστικού συστήματος στο οποίο εκτελέσατε τα προγράμματά σας.

Η διαμόρφωση της αναφοράς σας θα πρέπει να είναι παρόμοια με εκείνη που έχει χρησιμοποιηθεί για την παρουσίαση των λύσεων των ασκήσεων του μαθήματος. Η αναφορά θα πρέπει να περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες:

- α) Εισαγωγή
- β) Αναλυτική τεκμηρίωση παράλληλων υλοποιήσεων και τυχόν βελτιστοποιήσεων
- γ) Αποτελέσματα
- δ) Συμπεράσματα

## 6. Παράδοση εργασίας

Ο ακριβής **τρόπος** της εργασίας σας θα ανακοινωθεί μετά τη δημιουργία των ομάδων. Δεν θα είναι δυνατή η υποβολή εργασιών μετά τη λήξη της προθεσμίας. **Κάθε ομάδα θα παραδώσει μια φορά μόνο την εργασία (όχι κάθε φοιτητής ξεχωριστά).**

## 7. Δήλωση ομάδας

Η εργασία θα πρέπει να γίνει σε ομάδες των 3 ή 4 ατόμων **ακριβώς**. Δεν θα γίνει δεκτή ομάδα με λιγότερα ή περισσότερα άτομα **για κανέναν λόγο**. Αν δεν συμπληρώσετε ομάδα 3 ή 4 ατόμων, τότε θα προστεθούν άτομα στην ομάδα σας από εμάς.

Η δήλωση των ομάδων θα γίνει στην ηλεκτρονική πλατφόρμα “Open eClass” του Πανεπιστημίου Πατρών (<http://eclass.upatras.gr>). **Για τον σκοπό αυτό θα πρέπει όλοι οι φοιτητές που επιθυμούν να παραδώσουν εργασία να εγγραφούν πρώτα στην παραπάνω πλατφόρμα.**

Στην συνέχεια, ένα άτομο από κάθε ομάδα θα αναλάβει να δηλώσει την ομάδα του μέχρι την **Κυριακή, 16/05/2021 και ώρα 23:59:59**. Το άτομο αυτό θα είναι επίσης υπεύθυνο για όλη την επικοινωνία της ομάδας καθ’ όλη την διάρκεια του εξαμήνου και μέχρι την παράδοση της άσκησης. Η ομάδα θα δηλωθεί μέσω e-mail στην διεύθυνση [phadjido@upatras.gr](mailto:phadjido@upatras.gr), και το e-mail θα πρέπει να έχει τον εξής τίτλο: **[ParPro20-21] Δήλωση ομάδας**

**Το περιεχόμενο του e-mail θα πρέπει να είναι ο Α.Μ. και το ονοματεπώνυμο του φοιτητή που κάνει την δήλωση της ομάδας, καθώς επίσης και τα αντίστοιχα στοιχεία για τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας.** Πρώτα θα συγκεντρωθούν όλες οι αιτήσεις για δημιουργία ομάδας και μετά θα δημιουργηθούν οι ομάδες στο “Open eClass”, οπότε και θα ενημερωθείτε. Η διαδικασία αυτή μπορεί να χρειαστεί αρκετές ημέρες.

## 8. Βαθμολογία

Ο βαθμός της εργασίας αποτελεί το 30% της τελικής βαθμολογίας. Το υπόλοιπο 70% προκύπτει από την τελική εξέταση. Για να περάσει κάποιος φοιτητής το μάθημα δεν είναι απαραίτητη η παράδοση της εργασίας. **Στην περίπτωση αυτή ωστόσο, θεωρείται πως η εργασία έχει πάρει βαθμό 0 (μηδέν).** Ο τελικός βαθμός τότε προκύπτει μόνο από το 70% της τελικής εξέτασης και θα πρέπει να είναι προβιβάσιμος ( $\geq 5$ ).

**Η εργασία παραδίδεται ΜΟΝΟ κατά την εξεταστική Ιουνίου (υποβολές που θα γίνουν κατά την διάρκεια της εξεταστικής Σεπτεμβρίου ή της άτυπης εξεταστικής Φεβρουαρίου δεν θα γίνουν δεκτές).**

Ο βαθμός της εργασίας διατηρείται μέχρι και την άτυπη εξεταστική Φεβρουαρίου 2021. Αν κάποιος φοιτητής δεν περάσει το μάθημα μέχρι τότε θα πρέπει να παρακολουθήσει εξ αρχής το μάθημα και να ανταποκριθεί στις υποχρεώσεις του μαθήματος για το ακαδημαϊκό έτος που θα το παρακολουθήσει ξανά.

## 9. Επίλογος

Οι ασκήσεις είναι ομαδικές και είναι σημαντική η ενεργή συμμετοχή όλων των μελών της ομάδας αφού βασικός σκοπός της είναι η προετοιμασία σας για την τελική εξέταση του μαθήματος. Επιτρέπεται η επικοινωνία μεταξύ των ομάδων αλλά **αυστηρά όχι** και η διαμοίραση κώδικα.

Για τυχόν απορίες ή διευκρινίσεις μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη σελίδα του μαθήματος στο “Open eClass” ή να επικοινωνήσετε με το διδάσκοντα μέσω e-mail, ξεκινώντας τον τίτλο (subject) κάθε e-mail με [ParPro20-21].

Αν απαιτείται, θα προστεθούν διευκρινίσεις, βοηθητικές πληροφορίες και απαντήσεις στο “Open eClass”.

**Καλή επιτυχία!**

**Παναγιώτης Χατζηδούκας**