



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
www.cslab.ece.ntua.gr

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ 9ο εξάμηνο ΗΜΜΥ, ακαδημαϊκό έτος 2021-22

### ΑΣΚΗΣΗ 2 - Παραλληλοποίηση και βελτιστοποίηση του αλγορίθμου Floyd-Warshall σε αρχιτεκτονικές κοινής μνήμης

Παράδοση Ενδιάμεσης Αναφοράς: **24 Νοεμβρίου**  
Παράδοση Τελικής Αναφοράς: **8 Δεκεμβρίου**

#### 1 Σκοπός της άσκησης

Στόχος της άσκησης είναι να αναπτύξετε διαφορετικές παράλληλες εκδόσεις του αλγορίθμου Floyd-Warshall, να αξιολογήσετε την παραγωγικότητα (productivity) ανάπτυξης παράλληλου κώδικα και την τελική επίδοση του παράλληλου προγράμματος, επιλέγοντας ένα από τα δύο προγραμματιστικά εργαλεία για αρχιτεκτονικής κοινής μνήμης: OpenMP ή Threading Building Blocks (TBBs).

#### 2 Ο αλγόριθμος Floyd-Warshall

Ο αλγόριθμος των Floyd-Warshall (FW) υπολογίζει τα ελάχιστα μονοπάτια ανάμεσα σε όλα τα ζεύγη των  $N$  κόμβων ενός γράφου (all-pairs shortest path). Θεωρώντας το γράφο αποθηκευμένο στον πίνακα γειτνίασης  $A$ , ο αλγόριθμος έχει ως εξής:

```
for (k=0; k<N; k++)  
  for (i=0; i<N; i++)  
    for (j=0; j<N; j++)  
       $A[i][j] = \min(A[i][j], A[i][k] + A[k][j]);$ 
```

Εκτός από την *standard* έκδοση του αλγορίθμου, έχουν προταθεί άλλες δύο εκδόσεις, μία *αναδρομική* (recursive) και μία *tiled*, προκειμένου να αξιοποιείται καλύτερα η κρυφή μνήμη (βλ. παρουσίαση άσκησης).

### 3 Δεδομένα

Οι τρεις σειριακές εκδόσεις του αλγορίθμου Floyd-Warshall σάς δίνονται στον scirouter στο φάκελο `/home/parallel/pps/2021-2022/a2/FW-serial`.

### 4 Ζητούμενα

Για τις εκδόσεις του αλγορίθμου Floyd-Warshall που σας δίνονται:

1. Ανακαλύψτε τον παραλληλισμό του αλγορίθμου σε κάθε έκδοση και σχεδιάστε την παραλληλοποίησή του. Περιγράψτε τη στρατηγική παραλληλοποίησης στην **ενδιάμεση αναφορά**.
2. Υλοποιήστε παράλληλες εκδόσεις του αλγορίθμου Floyd-Warshall (τουλάχιστον μία για κάθε σειριακή έκδοση) χρησιμοποιώντας το OpenMP ή τα Threading Building Blocks και πραγματοποιήστε μετρήσεις για μεγέθη πινάκων 1024x1024, 2048x2048 και 4096x4096 για 1, 2, 4, 8, 16, 32 και 64 threads στο μηχανήμα *sandman*.
3. Αξιολογήστε τις παρατηρήσεις σας και τις μετρήσεις σας από τις πρώτες υλοποιήσεις, την κατανόηση της αρχιτεκτονικής του μηχανήματος *sandman*, τις δομές παράλληλου προγραμματισμού που προσφέρει κάθε εργαλείο παραλληλοποίησης και τις δυνατότητες του μεταγλωττιστή για να βελτιώσετε την παράλληλη επίδοση του αλγορίθμου Floyd-Warshall.
4. Πραγματοποιήστε μετρήσεις για τις καλύτερες παράλληλες εκδόσεις, για μεγέθη πινάκων 1024x1024, 2048x2048 και 4096x4096, για 1, 2, 4, 8, 16, 32 και 64 threads στο μηχανήμα *sandman*.
5. Περιγράψτε τις καλύτερες παράλληλες εκδόσεις σας και παρουσιάστε τις μετρήσεις σας στην **τελική αναφορά**. Αναφέρετε τον καλύτερο χρόνο που επιτύχατε!

### 5 Περιβάλλον εκτέλεσης

- Για την άσκηση αυτή, θα χρησιμοποιήσετε το μηχανήμα *sandman*, που ανήκει στην ουρά *serial* (βλ. παρουσίαση άσκησης). Για να υποβάλλετε ένα script, έστω `script.sh`, στο μηχανήμα, δίνετε την εντολή `qsub` ως εξής:  

```
$ qsub -q serial -l nodes=sandman:ppn=64 script.sh
```
- ΠΡΟΣΟΧΗ: Μπορείτε να χρησιμοποιείτε τα μηχανήματα της συστοιχίας *parlab* για την ανάπτυξη και τον έλεγχο παράλληλων προγραμμάτων.
- Για να ρυθμίσετε το περιβάλλον μεταγλώττισης και εκτέλεσης για OpenMP και TBBs, θα χρησιμοποιήσετε τα `modules`. Λεπτομέρειες για τη χρήση των `modules` μπορείτε να βρείτε εδώ: <https://admin.cslab.ece.ntua.gr/trac/wiki/EnvModulesUsage>. Φορτώνετε το αντίστοιχο `module` ως εξής:
  - Για το OpenMP: `module load openmp`
  - Για τα TBBs: `module load tbbz`
- Στον scirouter, στο φάκελο `/home/parallel/pps/2021-2022/a2` θα βρείτε το φάκελο `tbb-workspace` με οδηγίες για τη μεταγλώττιση και την εκτέλεση προγραμμάτων σε TBBs και παραδείγματα.