

HY-486 Αρχές Κατανεμημένου Υπολογισμού

Εαρινό Εξάμηνο 2024-2025

1η Προγραμματιστική Εργασία

Προθεσμία παράδοσης: 14/4 στις 23:59

1. Γενική Περιγραφή

Στην πρώτη προγραμματιστική εργασία καλείστε να υλοποιήσετε ένα διαμοιραζόμενο σύστημα προσομοίωσης διανομής φαγητού. Η προγραμματιστική εργασία θα πρέπει να υλοποιηθεί στην γλώσσα C/C++ με χρήση της βιβλιοθήκης [pthreads](#).

2. Σχεδιασμός

Οι λειτουργίες που πραγματοποιεί το σύστημα είναι η **παραγωγή παραγγελιών φαγητού**, η **καταγραφή** τους, η **προετοιμασία** τους και η **επαλήθευσή** τους.

Το σύστημα περιλαμβάνει τις 4 κατηγορίες νημάτων, τα νήματα **περιοχών πελατών**, τους **πράκτορες παραγγελιών**, τους **μάγειρες** και το **κύριο** νήμα. Το κύριο νήμα δημιουργεί τα υπόλοιπα νήματα και διεκπεραιώνει την διαδικασία της επαλήθευσης.

Ο αριθμός νημάτων κάθε κατηγορίας επιλέγεται βάση ενός ακέραιου $N_THREADS$, που δίνεται ως παράμετρος κατά την μεταγλώττιση (compiling) της εργασίας, μέσω της σημαίας μεταγλώττισης (compiler flag): `-D`

Συγκεκριμένα, ο $N_THREADS$ είναι διαιρέσιμος με το 4, και ισχύουν τα ακόλουθα:

- ο αριθμός των νημάτων περιοχών πελατών είναι $DIST = N_THREADS / 2$
- ο αριθμός των νημάτων πρακτόρων είναι $AGNT = N_THREADS / 4$
- ο αριθμός των μαγείρων πελατών είναι $COOK = N_THREADS / 4$

Η κάθε **παραγγελία φαγητού** αναπαρίσταται από έναν ακέραιο αριθμό που αποτελεί το μοναδικό αναγνωριστικό της.

Το σύστημα περιλαμβάνει μία **διαμοιραζόμενη στοίβα εκκρεμών παραγγελιών**. Υλοποιείται ως **Unbounded Lock-Free Elimination BackOff Stack** όπως περιγράφεται στις διαφάνειες του μαθήματος.

Το σύστημα περιλαμβάνει μία **διαμοιραζόμενη ουρά προετοιμασίας παραγγελιών**. Υλοποιείται ως **Unbounded Total Queue** όπως περιγράφεται στις διαφάνειες του μαθήματος.

Το σύστημα περιλαμβάνει έναν **διαμοιραζόμενο πίνακα δομών περιοχής πελατών** μεγέθους $DIST$. Η κάθε **δομή περιοχής πελατών** αντιστοιχεί στο ανάλογο νήμα περιοχής πελατών, δηλαδή η δομή περιοχής στη θέση (index) tid , αντιστοιχεί στο νήμα περιοχής με αναγνωριστικό tid . Μία δομή περιοχής πελατών περιλαμβάνει μία **διαμοιραζόμενη λίστα έτοιμων παραγγελιών** και μια ακέραια μεταβλητή **αθροίσματος ελέγχου**. Η λίστα υλοποιείται ως **Unbounded Linked List with Lazy Synchronization** όπως περιγράφεται στις διαφάνειες του μαθήματος.

Ο πίνακας δομών περιοχής πελατών χρησιμοποιείται ταυτόχρονα από τα νήματα περιοχών πελατών, όπως περιγράφεται στη λειτουργία παραγωγής παραγγελιών φαγητού, και από τα νήματα μαγείρων, όπως περιγράφεται στη λειτουργία προετοιμασίας παραγγελιών.

3. Ροή Εκτέλεσης

Περίληπτικά, η εκτέλεση ακολουθεί την εξής ροή

- Τα νήματα περιοχών πελατών παράγουν τα σύνολα παραγγελιών τους και τις εισάγουν στην στοίβα εκκρεμών παραγγελιών.
- Τα νήματα πρακτόρων διαγράφουν τις παραγγελίες από τη στοίβα εκκρεμών παραγγελιών και τις εισάγουν στην ουρά προετοιμασίας παραγγελιών
- Τα νήματα μαγείρων διαγράφουν τις παραγγελίες από την ουρά προετοιμασίας παραγγελιών και τις εισάγουν στις λίστες έτοιμων παραγγελιών.
- Τα νήματα περιοχών πελατών εντοπίζουν τις παραγγελίες τους στις λίστες έτοιμων παραγγελιών και αυξάνουν τα αθροίσματα ελέγχου τους.
- Τέλος, το κύριο νήμα πραγματοποιεί διαδικασίες επαλήθευσης.

Η ροή αυτή περιγράφεται και μέσω σχήματος στο τέλος της εκφώνησης.

Πιο συγκεκριμένα

- Τα νήματα περιοχών πελατών εκτελούν τη λειτουργία παραγωγής παραγγελιών φαγητού.
- Τα νήματα πρακτόρων παραγγελιών εκτελούν τη λειτουργία καταγραφής παραγγελιών.
- Τα νήματα μαγείρων εκτελούν τη λειτουργία προετοιμασίας παραγγελιών.
- Το κύριο νήμα, δημιουργεί τις υπόλοιπες κατηγορίες νημάτων και αναμένει την ολοκλήρωση της εκτέλεσής τους. Στη συνέχεια εκτελεί τη λειτουργία επαλήθευσης παραγγελιών και τερματίζει.

Όλα τα νήματα εκτελούν τις λειτουργίες τους **ταυτόχρονα** μεταξύ τους, χωρίς να περιμένουν σε κάποιο barrier κατά τη διάρκεια εκτέλεσής τους.

3.1. Λειτουργία παραγωγής παραγγελιών φαγητού από κάποιο νήμα περιοχής πελατών

Αρχικά, το νήμα περιοχής πελατών παράγει το σύνολο των παραγγελιών που της αντιστοιχούν. Η κάθε περιοχή παράγει παραγγελίες που ο συνολικός αριθμός τους είναι $DIST$. Η απόδοση αναγνωριστικού κάθε παραγγελίας γίνεται βάση του αναγνωριστικού tid του νήματος που την παρήγαγε, με τον ακόλουθο τρόπο:

Για κάθε *district thread* με αναγνωριστικό tid :
Για κάθε idx από 0 ως και $DIST - 1$:
 $order_id_{idx} = (tid * DIST) + idx$

Πιο αναλυτικά, ισχύουν τα εξής:

- το νήμα περιοχής πελάτη με $tid=0$ παράγει αναγνωριστικά παραγγελιών στο σύνολο $[0, DIST)$
- το νήμα περιοχής με $tid=1$ παράγει αναγνωριστικά παραγγελιών στο σύνολο $[DIST, 2 * DIST)$

- ...
- το νήμα περιοχής με $tid = DIST - 1$ παράγει αναγνωριστικά παραγγελιών στο σύνολο $[(DIST-1)*DIST, DIST*DIST)$

Το νήμα περιοχής πελατών, για κάθε παραγγελία που παράγει, την εισάγει (push) στην στοίβα εκκρεμών παραγγελιών.

Όταν εισάγει όλες του τις παραγγελίες, το νήμα περιοχής κάνει το εξής. Για κάθε παραγγελία που έχει παράγει, εκτελεί επαναληπτικά αναζήτηση (search) αυτής της παραγγελίας, στη λίστα έτοιμων παραγγελιών που του αντιστοιχεί, μέχρις ότου η αναζήτηση να επιστρέψει έγκυρο κλειδί, (δηλαδή μέχρις ότου να βρει την έτοιμη παραγγελία του στη λίστα). Όταν ανακτήσει παραγγελία του, προσθέτει το αναγνωριστικό της στο άθροισμα ελέγχου που του αντιστοιχεί.

Όταν το νήμα περιοχής ανακτήσει και αθροίσει όλες του τις παραγγελίες, τερματίζει τη λειτουργία του.

3.2. Λειτουργία καταγραφής παραγγελιών φαγητού από κάποιο νήμα πράκτορα παραγγελιών

Ο πράκτορας διαγράφει (pop) $2 * DIST$ παραγγελίες από τη στοίβα εκκρεμών παραγγελιών και τις εισάγει (enqueue) στην ουρά προετοιμασίας παραγγελιών.

Όταν τελειώσει αυτή τη διαδικασία, ο πράκτορας τερματίζει τη λειτουργία του.

3.3. Λειτουργία προετοιμασίας παραγγελιών φαγητού από κάποιο νήμα μάγειρα

Αρχικά ο μάγειρας διαγράφει (dequeue) $2 * DIST$ παραγγελίες από την ουρά προετοιμασίας παραγγελιών. Για κάθε παραγγελία που διαγράφει κάνει το εξής. Εισάγει (insert) την παραγγελία αυτή στην λίστα έτοιμων παραγγελιών που αντιστοιχεί στην κατάλληλη δομή περιοχής πελατών. Η επιλογή της λίστας γίνεται μέσω διευθυνσιοδότησης του πίνακα δομών περιοχής πελατών, βάση του αναγνωριστικού της παραγγελίας, με τον ακόλουθο τρόπο:

$$tid = \lfloor order_id / DIST \rfloor$$

Υπενθυμίζεται ότι:

- Οι παραγγελίες με αναγνωριστικά στο σύνολο $[0, DIST)$ αντιστοιχούν στην περιοχή με αναγνωριστικό νήματος $tid = 0$, δηλαδή στην θέση 0 του πίνακα δομών περιοχής πελατών
- ...
- Οι παραγγελίες με αναγνωριστικά στο σύνολο $[(DIST-1)*DIST, DIST*DIST)$ αντιστοιχούν στην περιοχή με αναγνωριστικό νήματος $tid = DIST - 1$

Όταν τελειώσει αυτή τη διαδικασία,, ο μάγειρας τερματίζει τη λειτουργία του.

3.4. Λειτουργία επαλήθευσης παραγγελιών φαγητού από το κύριο νήμα

Το κύριο νήμα δημιουργεί τους κατάλληλους αριθμούς νημάτων των υπόλοιπων κατηγοριών και στη συνέχεια αναμένει τον τερματισμό τους. Μετά τον τερματισμό τους, το κύριο νήμα πραγματοποιεί τους ακόλουθους ελέγχους ορθότητας.

- Η στοίβα εκκρεμών παραγγελιών είναι άδεια
- Η ουρά προετοιμασίας παραγγελιών είναι άδεια
- Για κάθε δομή περιοχής πελατών με αναγνωριστικό tid

- Η λίστα έτοιμων παραγγελιών του περιέχει DIST πλήθος στοιχείων
- Το άθροισμα των στοιχείων της λίστας έτοιμων παραγγελιών του ισούται με
$$\sum_{idx=0}^{DIST-1} (tid \times DIST + idx) = tid \times DIST^2 + \frac{(DIST-1) \times DIST}{2}$$
- Το άθροισμα ελέγχου του και το άθροισμα στοιχείων της λίστας έτοιμων παραγγελιών του έχουν ίδια τιμή.

Ο κάθε **επιτυχημένος** έλεγχος εκτυπώνει το ακόλουθο μήνυμα αντίστοιχα

- PASS PendingOrders Empty <n>
- PASS UnderPreparationOrders Empty <n>
- Για κάθε δομή περιοχής πελατών με αναγνωριστικό *tid*
 - PASS District [*tid*].completedOrders Size <n>
 - PASS District [*tid*].completedOrders Sum <sum>
 - PASS District [*tid*].checksum Valid <checksum>

Όπου <n>, το πλήθος των στοιχείων της αντίστοιχης δομής δεδομένων, <sum> η τιμή του αθροίσματος των στοιχείων της αντίστοιχης λίστας έτοιμων παραγγελιών, <checksum> η τιμή του αθροίσματος ελέγχου της αντίστοιχης περιοχής πελατών.

Ο κάθε **αποτυχημένος** έλεγχος εκτυπώνει τα ίδια μηνύματα με τα παραπάνω, με την διαφορά πως, η κάθε εμφάνιση της λέξης PASS αντικαθίσταται από τη λέξη FAIL.

Όταν τελειώσει αυτή τη διαδικασία,, το κύριο νήμα τερματίζει τη λειτουργία του.

4. Εκτέλεση προγράμματος και παράδοση εργασίας

Ο αριθμός νημάτων κάθε κατηγορίας επιλέγεται βάση ενός ακέραιου *N_THREADS*, που δίνεται ως παράμετρος κατά την μεταγλώττιση (compiling) της εργασίας, μέσω της σημαίας μεταγλώττισης (compiler flag): [-D](#)

Θα σας δίνεται συλλογή C/C++ source files στα οποία θα συντάξετε την εργασία σας, μαζί με Makefile για το χτίσιμό της.

Η παραμετροποίηση τους αριθμού των νημάτων γίνεται μέσω επεξεργασίας του Makefile.

Η εργασία πρέπει να χτίζεται και να λειτουργεί ορθά στα μηχανήματα της σχολής.

Το παραδοτέο σας περιλαμβάνει τη συλλογή C/C++ source files στα οποία την υλοποιείτε, μαζί με το Makefile για το χτίσιμό της.

Η παράδοση της εργασίας πραγματοποιείται μέσω του συστήματος elearn,

