Κ24: Προγραμματισμός Συστήματος
3η Εργασία – Εαρινό Εξάμηνο 2017
Προθεσμία Υποβολής: Κυριακή 4 Ιουνίου 2017 Ώρα 23:59

Εισαγωγή στην Εργασία:
Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι να εξοικειωθείτε με την χρήση sockets και νημάτων (threads) στην δημιουργία μιας διαδικτυακής εφαρμογής σε περιβάλλον Linux. Επιπλέον στα πλαίσια της εργασίας θα πρέπει να συγχρονίσετε τα νήματα που η εφαρμογή σας θα χρησιμοποιήσει.

Η εργασία σας θα υλοποιεί ένα σύστημα κατοπτρισμού επιλεγόμενης έντασης (selective-overhead mirroring) για αντιγραφή πολλαπλών απομακρυσμένων καταλόγων σε μία επιλεγμένη συσκευή. Το εν λόγω σύστημα κατοπτρισμού αποτελείται από μια σειρά από διαδικτυακά προγράμματα που όλα μαζί επιτυγχάνουν την επιθυμητή μεταφορά αρχείων. Επιμέρους προγράμματα θα πρέπει να κάνουν χρήση νημάτων για να επιτευχθεί η «παράλληλη» μεταφορά δεδομένων.

Συνοπτική Περιγραφή:
Το Σχήμα 1 παρουσιάζει την οργάνωση και την αλληλεπίδρασή εμπλεκομένων προγραμμάτων στην υλοποίηση του συστήματος. Το διαδικτυακό πρόγραμμα πελάτη `MirrorInitiator`, μπορεί να επικοινωνήσει με διαδικασία κατοπτρισμού (`MirrorServer`) σε οποιαδήποτε μηχανή παρέχοντας όχι μόνο τις συσκευές αλλά και συγκεκριμένα στοιχεία των αντίστοιχων συστημάτων αρχείου που θα πρέπει να κατοπτριστούν.

Ο χρήστης του `MirrorInitiator` παραθέτει ως παραμέτρους τις δικτυακές διευθύνσεις του `MirrorServer` και ενός η περισσότερων `ContentServers`, μαζί με μία παράμετρο ανοχής σε καθυστέρηση που θα πρέπει να επιδειχθεί από κάθε `ContentServer` που συμμετάσχει στον κατοπτρισμό.

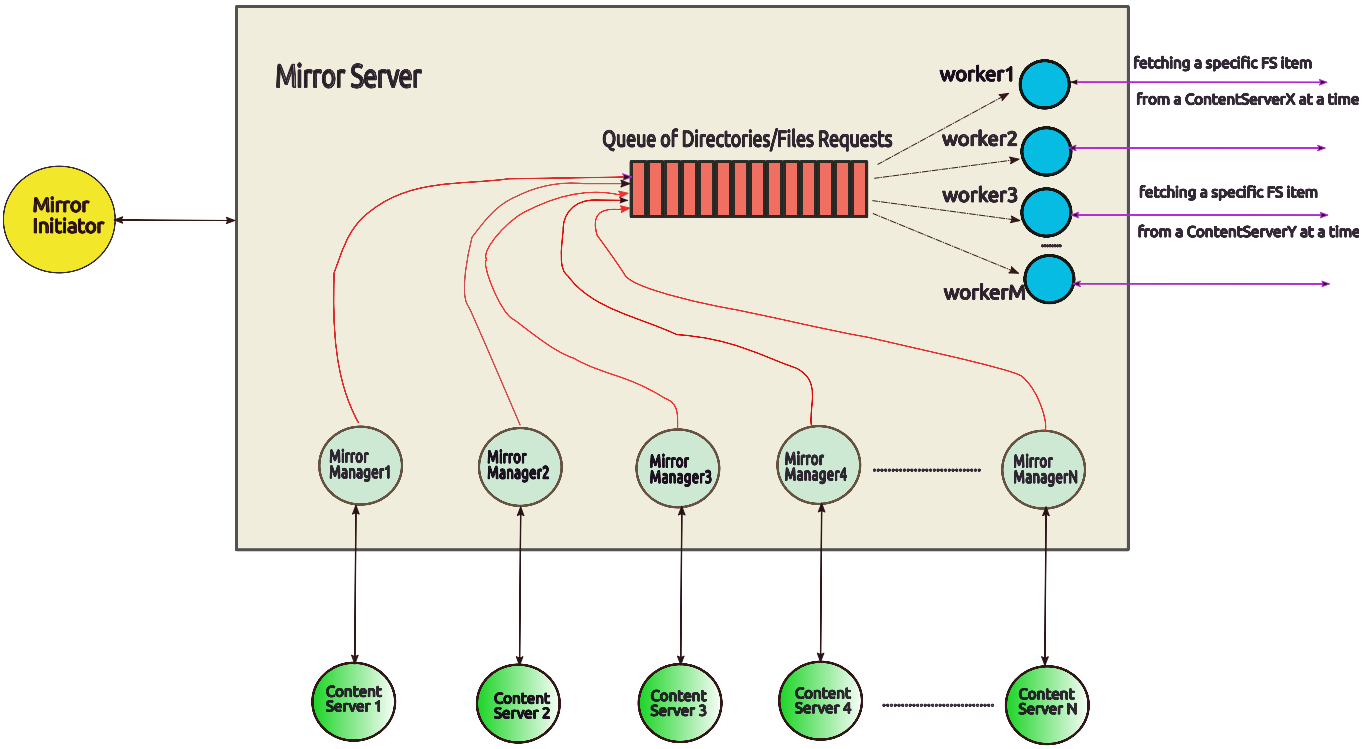
Ο `MirrorServer` δέχεται μέσω δικτυακής σύνδεσης τις πληροφορίες για τις απομακρυσμένες συσκευές από τις οποίες θα πρέπει να αντλήσει τα αρχεία με την βοήθεια νημάτων που τα ονομάζουμε `MirrorManagers`. Τέλος ο `MirrorServer` με την βοήθεια ενός *σταθερού αριθμού* νημάτων τύπου `worker` μεταφέρει στον *τοπικό του αποθηκευτικό χώρο* τα αρχεία που διαθέτουν οι απομακρυσμένες συσκευές.

Οι απομακρυσμένες συσκευές θα εκτελούν το πρόγραμμα `ContentServer`, το οποίο είναι υπεύθυνο για την εξυπηρέτηση των αιτήσεων από τον `MirrorServer` όσον αφορά στη λίστα των διαθέσιμων αρχείων/καταλόγων αλλά και για τη μεταφορά των επιμέρους αρχείων (περιεχόμενο).

Λειτουργική Κλήση και Περιγραφή των Εμπλεκομένων Προγραμμάτων:
Ο `MirrorInitiator` συνδέεται με τον `MirrorServer` μεσώ δικτύου και μεταφέρει τις τοποθεσίες των `ContentServers` των οποίων τους διαθέσιμους καταλόγους θα πρέπει να αντιγράψει ο `MirrorServer`.

Η κλήση του `MirrorInitiator` έχει ως εξής:
```
$ ./MirrorInitiator -n <MirrorServerAddress> -p <MirrorServerPort> \\
          -s <ContentServerAddress1:ContentServerPort1:dirorfile1:delay1, \\
              ContentServerAddress2:ContentServerPort2:dirorfile2:delay2, ...>
```
όπου:

1. `MirrorServerAddress` είναι η δικτυακή διεύθυνση της συσκευής όπου εκτελείται ο `MirrorServer`. Η παράμετρος μπορεί να είναι είτε όνομα είτε IP διεύθυνση, δηλαδή είτε *linux23.di.uoa.gr* είτε *195.134.65.24*.
2. `MirrorServerPort` είναι ο αριθμός της θύρας στην οποία ακούει ο `MirrorServer` στην συσκευή `MirrorServerAddress`. Η παράμετρος είναι ακέραιος αριθμός.



Σχήμα 1: Επικοινωνία προγραμμάτων `MirrorInitiator`, `MirrorServer`, `ContentServer(s)`.

3. `ContentServerAddressX` είναι η δικτυακή διεύθυνση μιας απομακρυσμένης συσκευής όπου εκτελείται ένας `ContentServer`. Η παράμετρος μπορεί να είναι είτε όνομα είτε *IP* διεύθυνση, δηλαδή είτε *linux23.di.uoa.gr* είτε *195.134.65.24*.
4. `ContentServerPortX` είναι ο αριθμός της θύρας στην οποία ακούει ο `ContentServer` στη συσκευή `ContentServerAddressX`. Η παράμετρος είναι ακέραιος αριθμός.
5. `dirorfileX` είναι το συμβολικό όνομα της οντότητας (κατάλογος η αρχείο) που θα πρέπει αναδρομικά να ανακτηθεί και όλα της τα περιεχόμενα (και η δομή) να κατοπτριστούν στον `MirrorServer`.
6. `delayX` είναι η καθυστέρηση που θα χρησιμοποιήσει ο `ContentServer` στη συσκευή `ContentServerAddressX` κατά την αποστολή των αρχείων.

Στα παραπάνω υποθέτουμε ότι σαν χρήστες γνωρίζουμε που υπάρχουν `ContentServers` και ποιο είναι το (πιθανό) περιεχόμενο σε σχέση με το σύστημά αρχείων που ο κάθε ένας εξυπηρετεί. Σε περίπτωση που ο `ContentServer` δεν υφίσταται (δηλ. δεν τρέχει) ο χρήστης θα πρέπει να ενημερωθεί σχετικά. Επίσης όταν τερματιστεί η διαδικασία κατοπτρισμού, ο `MirrorInitiator` θα πρέπει να ενημερωθεί για τα στατιστικά της μεταφοράς π.χ. αριθμός μεταφερόμενων οντοτήτων συστήματος, συνολικό μέγεθος bytes που μεταφέρεται, μέσο μέγεθος και διασπορά μεγέθους αρχείων που έχουν μεταφερθεί καθώς και συνολικός αριθμός αρχείων/καταλόγων που έχουν μεταφερθεί.

Η κλήση του `ContentServer` έχει ως εξής:

```
$ ./ContentServer -p <port> -d <dirorfilename>
```

όπου:

1. `port` είναι ο αριθμός της θύρας στην οποία θα ακούει ο `ContentServer`.

2. <dirorfilename> είναι το pathname ενός καταλόγου ή/και αρχείου που διαθέτει η συσκευή προς αντιγραφή σε άλλες συσκευές.

Ο ContentServer θα δέχεται συνδέσεις και θα εξυπηρετεί δύο ειδών αιτήματα:

1. LIST <ContentServerID> <delay>
   Είναι η αρχική επικοινωνία του MirrorServer με ένα συγκεκριμένο ContentServer. Η εντολή αυτή επιστρέφει τη λίστα των αρχείων/καταλόγων που ο ContentServer εξυπηρετεί και παρέχει στον ContentServer την delay στην οποία η μεταφορά περιεχομένου αρχείων και καταλόγων υπόκειται.

   Μετά την αποστολή της λίστας των αρχείων, κλείνει η σύνδεση μεταξύ ContentServer και αντίστοιχου MirrorManagerX. Σημειώνεται ότι αποστέλλεται ιεραρχικά όλη η δομή των καταλόγων και των αρχείων που διατίθεται.
2. FETCH <dirorfilename>
   Ο ContentServer παρέχει στο worker που αναζητεί το περιεχόμενο του <dirorfilename>. Αυτό συμβαίνει αφού ο ContentServer πρώτα καθυστερήσει την αποστολή του αρχείου/καταλόγου που ζητήθηκε κατά delay seconds. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει τέτοιο αρχείο/κατάλογος ένα μήνυμά λάθους επιστρέφεται.

Η κλήση της λειτουργίας του MirrorServer έχει ως εξής:
`$ ./MirrorServer -p <port> -m <dirname> -w <threadnum>`
όπου:

1. port είναι ο αριθμός της θύρας στην οποία θα ακούει ο MirrorServer.
2. dirname είναι το pathname του καταλόγου κάτω από τον οποίο θα αποθηκεύονται οι απομακρυσμένοι κατάλογοι.

   Κάθε απομακρυσμένος κατάλογος θα αποθηκεύεται κάτω από τον κατάλογο dirname/content_name/, όπου το content_name θα προκύπτει από τη διεύθυνση και τη θύρα λειτουργίας του ContentServer, για παράδειγμα *linux03.di.uoa.gr_233*, όπου *linux03.di.uoa.gr* είναι η διεύθυνση και *233* είναι η θύρα λειτουργίας του συγκεκριμένου ContentServer.
3. threadnum είναι ο (σταθερός) αριθμός των νημάτων workers που δημιουργεί ο MirrorServer.

Ο MirrorServer δημιουργεί δυο ειδών νήματα: MirrorManager και worker. Τα MirrorManager νήματα δημιουργούνται με την άφιξη ενός αιτήματος κατοπτρισμού από το MirrorInitiator και υπάρχει γενικά υπάρχει ένα τέτοιο νήμα για κάθε ContentServer. Ο MirrorServer στην εκκίνηση του, δημιουργεί έναν αριθμό workers που λαμβάνεται ως όρισμα από τη γραμμή εντολής (threadnum).

Όταν ο MirrorServer δεχθεί ένα αίτημα κατοπτρισμού από τον πελάτη MirrorInitiator, δημιουργεί τόσα MirrorManager νήματα όσοι είναι και οι ContentServers που αναφέρονται στο αίτημα. Τα νήματα MirrorManager δουλεύουν «παράλληλα» ως εξής: κάθε MirrorManager επικοινωνεί με ένα ContentServer. Θα στέλνει το αίτημα LIST με τις σχετικές παραμέτρους συμπεριλαμβανομένης και της επιθυμητής καθυστέρησης σε δευτερόλεπτα και θα λαμβάνει τη λίστα με τα αρχεία που εξυπηρετούνται.

Καθώς ο MirrorManager λαμβάνει τα αρχεία/καταλόγους, τα τοποθετεί σε ένα κοινό buffer που έχει πεπερασμένο μέγεθος. Τα στοιχεία (αιτήσεις) που ο εν λόγω buffer αποθηκεύει μπορεί να έχουν την μορφή:

<dirorfilename, ContentServerAddress, ContentServerPort>

Ο buffer διαμοιράζεται ανάμεσα σε όλα τα νήματα τύπου MirrorManager και worker. Όταν ένας MirrorManager τοποθετήσει και το τελευταίο dirorfilename στο buffer τερματίζει. Θα πρέπει να διαχειρίζεστε τον buffer σύμ-

φωνα με το λογική πολλαπλών–παραγωγών/πολλαπλών–καταναλωτών.

Τα νήματα `worker` θα δουλεύουν παράλληλα ως εξής: κάθε νήμα `worker` θα αφαιρεί ένα στοιχείο από τον buffer εφόσον βέβαια υπάρχει τέτοιο στοιχείο. Για κάθε στοιχείο που ανασύρει από τον buffer, ο `worker` συνδέεται στον κατάλληλο `ContentServer` και στέλνει ένα αίτημα `FETCH` με το `dirorfilename`. Μετά την ανάλογη καθυστέρηση που εισάγει ο `ContentServer`, λαμβάνει το αρχείο, βρίσκει το μέγεθος του και αυξάνει τις διαμοιραζόμενες μεταβλητές `bytesTransferred` και `filesTransferred`,

Ο `MirrorServer` θα χρησιμοποιεί μεταβλητές που οποιαδήποτε στιγμή μπορούν να δώσουν μια ακριβή εικόνα στο πόσο έχει προχωρήσει μια μεταφορά. Για παράδειγμα η μεταβλητή `numDevicesDone` παρέχει τον τρέχοντα αριθμό συσκευών για τις οποίες έχει ολοκληρωθεί η μεταφορά. Αν η τιμή της `numDevicesDone` είναι ίση με τον αριθμό συσκευών από τους οποίους ζητά ο `MirrorInitiator` να γίνει η μεταφορά αρχείων, τότε το τελευταίο 'ενεργό' νήμα `worker` θα σηματοδοτήσει μέ την condition variable `allDone` το γεγονός ότι όλα τα αρχεία από όλες τις συσκευές που ζητήθηκαν από τον `MirrorInitiator` πελάτη έχουν μεταφερθεί και η επεξεργασία του αιτήματος έχει ολοκληρωθεί.

Ο `MirrorServer` θα επιστρέψει στον `MirrorInitiator` τα στατιστικά που υπάρχουν επαυξημένων με μέσο όρο μεγέθους μεταφορών και σχετική διασπορά.

Στα προγράμματα σας, κοινές μεταβλητές που μοιράζονται ανάμεσα σε πολλαπλά νήματα θα πρέπει να προστατεύονται με τη χρήση `mutexes`. Τονίζεται πως το *busy-waiting δεν είναι αποδεκτή λύση* για τη παραμονή πρόσβασης στον κοινό buffer ανάμεσα στους `MirrorManager` παραγωγούς και στους `worker` καταναλωτές.

Γενίκευση της Άσκησης:

Η παραπάνω αρχιτεκτονική μπορεί (με αλλαγές) να γενικευτεί ώστε ένα σύνολο από κόμβους να προσφέρει ταυτόχρονα όλες τις υπηρεσίες (να είναι δηλαδή και `ContentServer` και `MirroServer`). Αν επιλέξετε και προχωρήσετε στην επιτυχή γενίκευση της υλοποίησής σας, θα λάβετε ένα επιπλέον 15% του βαθμού της εργασίας. Ωστόσο η πρώτη σας επιμέλεια είναι πάντα να δώσετε λύση στην βασική έκδοση της πργραμματιστικής άσκησης.

Διαδικαστικά:

- Το πρόγραμμά σας θα πρέπει να γραφτεί σε *C* (ή *C++* αλλά χωρίς την χρήση έτοιμων δομών της standard βιβλιοθήκης/STL) και να τρέχει στα Linux workstations του τμήματος.
- Το πρόγραμμα σας (source code) πρέπει να αποτελείται από **τουλάχιστον** δυο (και κατά προτίμηση πιο πολλά) διαφορετικά αρχεία. Η χρήση του separate compilation είναι *επιτακτική!*
- Η οργάνωση και η αναγνωσιμότητα (μαζί με την ύπαρξη σχολίων) του κώδικα περιλαμβάνονται στα κριτήρια βαθμολόγησης.
- Για επιπρόσθετες ανακοινώσεις, παρακολουθείτε το forum του μαθήματος στο piazza.com. Η πλήρης διεύθυνση είναι `https://piazza.com/uoa.gr/spring2017/k24/home`. Η παρακολούθηση του φόρουμ στο Piazza είναι *υποχρεωτική*.

Τι πρέπει να Παραδοθεί:

1. Μια σύντομη και περιεκτική εξήγηση για τις επιλογές που έχετε κάνει στο σχεδιασμό του προγράμματος σας (1-2 σελίδες ASCII κειμένου είναι αρκετές) σε αρχείο README.
2. Οποιαδήποτε πηγή πληροφορίας, συμπεριλαμβανομένου και κώδικα που μπορεί να *βρήκατε στο Διαδίκτυο ή αλλού* θα πρέπει να αναφερθεί και στον πηγαίο κώδικά σας αλλά και στο παραπάνω README.

3. Όλη η δουλειά σας σε ένα tar-file (`OnomaEponymoProject3.tar`) που να περιέχει όλα τα source files, header files, Makefile.

Άλλες Σημαντικές Παρατηρήσεις:

1. Οι εργασίες είναι **ατομικές**.
2. Όποιος υποβάλλει / δείχνει κώδικα που δεν έχει γραφτεί από την ίδια/τον ίδιο **μηδενίζεται** στο μάθημα.
3. Αν και αναμένεται να συζητήσετε με φίλους και συνεργάτες το πως θα επιχειρήσετε να δώσετε λύση στο πρόβλημα, αντιγραφή κώδικα (οποιαδήποτε μορφής) είναι κάτι που **δεν επιτρέπεται**. Οποιοσδήποτε βρεθεί αναμεμιγμένος σε αντιγραφή κώδικά **απλά παίρνει μηδέν** στο μάθημα. Αυτό ισχύει για **όσους εμπλέκονται ανεξάρτητα** από το ποιος έδωσε/πήρε κλπ.