



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Άσκηση 1^η

Επιτήρηση χρήσης πόρων εφαρμογών με Linux Cgroups

Εισαγωγή

Ένα κέντρο δεδομένων (data center) προσφέρει υπηρεσίες φιλοξενίας εφαρμογών στην αγορά. Από τη μία, το κέντρο δεδομένων επιθυμεί να εκμεταλλεύεται ολόκληρη την υποδομή του χωρίς αδρανείς πόρους. Από την άλλη, οι πελάτες του απαιτούν οι πόροι που έχουν παραγγείλει να είναι διαθέσιμοι με αξιοπιστία. Εάν υπερφορτωθεί με εφαρμογές το κέντρο δεδομένων τότε δεν θα μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις όλων των εφαρμογών.

Για την άσκηση αυτή υποθέτουμε ότι η απαίτηση μιας εφαρμογής μετριέται σε χιλιοστά της υπολογιστικής ισχύος του ενός επεξεργαστή. Ένας κόμβος με 16 επεξεργαστές μπορεί να καλύψει σύνολο 16000 χιλιοστών και άρα μπορεί να εξυπηρετήσει, για παράδειγμα, 8 εφαρμογές που απαιτούν **εγγύηση** 2000 χιλιοστών η κάθε μία.

Εάν όμως οι 8 εφαρμογές αυτές είναι *ανελαστικές* και δεν καταναλώνουν συνεχώς το σύνολο των 2000 χιλιοστών που έχει εξασφαλιστεί για αυτές, τότε ο κόμβος μένει αδρανής. Για να το αποφύγουμε αυτό θα μπορούσαμε να βάλουμε μόνο 7 ανελαστικές εφαρμογές των 2000 χιλιοστών και 10 εφαρμογές των 200 χιλιοστών αλλά *ελαστικές*. Οι 10 ελαστικές εφαρμογές θα εκμεταλλευτούν τους επεξεργαστές μόνο όταν οι 7 δεν τους χρησιμοποιούν.

Παράδειγμα ανελαστικής εφαρμογής είναι μια βάση δεδομένων της οποίας το φορτίο διακυμαίνεται και κοστίζει πολύ στους χρήστες της η όποια καθυστέρηση στις απαντήσεις της. Παράδειγμα ελαστικής εφαρμογής είναι η επεξεργασία μεγάλου όγκου γονιδιακού υλικού η οποία μπορεί να απαιτεί χιλιάδες ώρες επεξεργασίας αλλά δεν επηρεάζεται από τις αυξομειώσεις της επεξεργαστικής ισχύος που λαμβάνει, αρκεί σε βάθος χρόνου να λάβει όσο χρειάζεται.

Για να μπορεί το κέντρο δεδομένων να επιβάλλει την προτεραιότητα κάποιων εφαρμογών στα χιλιοστά υπολογιστικής ισχύος που τους αναλογούν, χρειάζεται ένα κατάλληλο εργαλείο. Το σύστημα cgroup του Linux είναι ένα τέτοιο εργαλείο που μπορεί να επιβάλλει ποσοτικούς περιορισμούς και διαμοιρασμό υπολογιστικών πόρων.

Σκοπός της άσκησης είναι η δημιουργία προγραμμάτων που με τη χρήση του συστήματος cgroup μπορεί να εξασφαλίσει την υπολογιστική ισχύ, ρυθμισμένη σε χιλιοστά του ενός επεξεργαστή, όπως παραπάνω.

Ο Δαίμων cgmond

Ως βοήθημα δίδεται ο **cgmond**, πρόγραμμα (δαίμων με την έννοια του unix) που αναλαμβάνει να εκκινεί και να παρακολουθεί εφαρμογές, καθώς και να επιβάλλει τα ελάχιστα εξασφαλισμένα χιλιοστά επεξεργαστικής ισχύος όπως δίνονται στην εκκίνηση της εφαρμογής. Για το λόγο αυτό συνδιαλέγεται με δύο ιεραρχίες cgroup, την ιεραρχία **cpu** που είναι υπεύθυνη για τον ορισμό ορίων στη χρήση της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας, και την custom ιεραρχία **monitor** υπεύθυνη να ενημερώνει το σύστημα για το πέρας της εκτέλεσης των διεργασιών ενός cgroup.

Ο **cgmond** δεν ερμηνεύει τις τιμές για τα ελάχιστα εξασφαλισμένα χιλιοστά κάθε εφαρμογής, ούτε εφαρμόζει ρυθμίσεις cgroup. Αντί αυτού καλεί δύο εξωτερικά εκτελέσιμα προγράμματα, **cgmon-policy** και **cgmon-limit**, αντίστοιχα.

Κάθε φορά που δημιουργείται ή τερματίζεται μια εφαρμογή, ο cgmond εκτελεί το cgmon-policy δίνοντάς του όλες τις εφαρμογές με τις ρυθμίσεις για τα χιλιοστά τους. Το cgmon-policy παράγει τις ρυθμίσεις για το σύστημα cgroup που πρέπει να εφαρμοστούν. Στη συνέχεια, το cgmon-limit καλείται για να εφαρμόσει τις ρυθμίσεις που παρήγαγε το cgmon-policy.

Σε περίπτωση που ζητηθεί η εκκίνηση μιας εφαρμογής με χιλιοστά περισσότερα από όσα μπορεί να εγγυηθεί το σύστημα τότε προειδοποιεί και απαιτεί επιβεβαίωση.

Ζητούμενα της Άσκησης

Ζητείται η συγγραφή κατάλληλων προγραμμάτων cgmon-policy και gmon-limit και η ανεύρεση κατάλληλων εφαρμογών ώστε να ικανοποιηθούν και να επιδειχθούν τα παρακάτω:

1. Να συμφωνούν με τις προδιαγραφές που δίδονται στις αντίστοιχες ενότητες ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον cgmond.
2. Θα πρέπει μετά την εφαρμογή από το cgmon-limit των ρυθμίσεων cgroup που παράγει το

cgmon-policy να εξασφαλίζονται τα ελάχιστα χιλιοστά χρήσης κάθε εφαρμογής όπως έχουν δηλωθεί κατά την εκκίνησή της.

3. Το cgmon-policy θα πρέπει να βαθμοδοτεί κατάλληλα την είσοδό του ώστε ο cgmnd να αποτρέπει την εκκίνηση εφαρμογής εάν πρόκειται να κινδυνεύσουν τα εγγυημένα χιλιοστά οποιασδήποτε εφαρμογής.
4. Εάν υπάρχουν ελαστικές και ανελαστικές εφαρμογές υπό επιτήρηση να εξασφαλίζεται ότι όλοι οι επεξεργαστές του κόμβου χρησιμοποιούνται και κανείς δεν μένει αδρανής.

Εκτελέσιμο cgmon-policy

Συνοπτικά, το εκτελέσιμο cgmon-policy καλείται να μετατρέψει το μέτρο των ελάχιστων εξασφαρισμένων χιλιοστών χρήσης ενός επεξεργαστή, μέγεθος με το οποίο συναλλάσσεται ο χρήστης, σε cpu.shares, μέγεθος με το οποίο ρυθμίζεται το σύστημα cgroup για το διαμοιρασμό επεξεργαστικής ισχύος σε εφαρμογές.

Το πρόγραμμα λαμβάνει είσοδο της μορφής:

```
policy:<application name>:cpu:<value>
...
```

Όπου κάθε γραμμή αντιστοιχεί με την εφαρμογή με το όνομα *application name*. Η τιμή *value* είναι ένας θετικός ακέραιος που αντιστοιχεί στα χιλιοστά του ενός επεξεργαστή τα οποία θέλουμε να εξασφαλίσουμε για την εφαρμογή.

Κάθε γραμμή τερματίζεται με έναν χαρακτήρα '\n' (ascii 0xa). Τα policy και cpu είναι σταθερές και εμφανίζονται ως έχουν.

Στην έξοδό του το πρόγραμμα παράγει αντίστοιχες γραμμές:

```
score:<float>
set_limit:<application name>:cpu.shares:<value>
...
```

Τα *score*, *set_limit*, *cpu.shares* είναι σταθερές και εμφανίζονται ως έχει.

Στην πρώτη γραμμή της εξόδου, η τιμή *float* είναι μια δεκαδική τιμή με υποδιαστολή, η οποία εάν είναι θετική υποδηλώνει ότι τα ελάχιστα όρια χρήσης είναι εξασφαλισμένα για όλες τις εφαρμογές, ενώ αν είναι αρνητική τότε τα όρια δεν μπορούν να τηρηθούν.

Οι επόμενες γραμμές αφορούν κάθε μία την αντίστοιχη εφαρμογή με όνομα *application name*. Η τιμή *value* είναι θετικός δεκαδικός ακέραιος και αντιστοιχεί στη ρύθμιση `cpu.shares` του αντίστοιχου `cgroup` της εφαρμογής.

Εκτελέσιμο cgmon-limit

Συνοπτικά, το εκτελέσιμο `cgmon-limit` αναλαμβάνει να εφαρμόσει τις ρυθμίσεις που παρήγαγε το `cgmon-policy`, καθώς και να συντηρεί την απεικόνιση των εφαρμογών σε ιεραρχίες `cgroup` κατ' εντολή του `cgmond`.

Το εκτελέσιμο δέχεται στην είσοδο γραμμές ενός εκ των ακόλουθων τύπων:

- ✓ Δημιουργία `cgroup` για μια νέα εφαρμογή:

```
create:<monitor>:cpu:<application name>
```

- ✓ Κατάργηση του `cgroup` μιας εφαρμογής που έχει τερματίσει

```
remove:<monitor>:cpu:<application name>
```

- ✓ Εγγραφή μιας διεργασίας στο `cgroup` μιας εφαρμογής:

```
add:<monitor>:cpu:<application name>:<process id>
```

- ✓ Ρύθμιση της τιμής `cpu.shares` για το `cgroup` μιας εφαρμογής:

```
set_limit:<monitor>:cpu:<application name>:cpu.shares:<value>
```

Το αναγνωριστικό *monitor* αντιστοιχεί στο `cgroup` του `cgmond` η οποία περιέχει όλα τα `cgroups` των εφαρμογών. Με αυτόν τον τρόπο απομονώνεται ο χώρος ονομάτων των εφαρμογών από το υπόλοιπο σύστημα για την αποφυγή συγκρούσεων (π.χ. κάποιος προσπαθεί να ονομάσει μια εφαρμογή με όνομα `cgroup` που υπάρχει ήδη στο σύστημα).

Υποσύστημα cgroup/cpu

Το υποσύστημα `cpu` ξεκινά αναθέτοντας όλη την υπολογιστική ισχύ του συνόλου των επεξεργαστών στην κορυφή της ιεραρχίας. Κάθε `cpu cgroup` έχει μία ρύθμιση `cpu.shares`. Σε κάθε επίπεδο αθροίζονται όλες οι τιμές των `cpu.shares` των `cgroups` που ανήκουν στο επίπεδο αυτό. Η συνολική υπολογιστική ισχύς διαθέσιμη στο επίπεδο αυτό χωρίζεται σε ισάριθμα και ισοδύναμα τμήματα. Κάθε `cgroup` λαμβάνει τόσα τμήματα όσα και η τιμή `cpu.shares` που έχει.

Πρόσβαση σε βοηθητική εικονική μηχανή

Για τις ανάγκες της άσκησης σας προσφέρεται μια εικονική μηχανή. Για να τη χρησιμοποιήσετε ακολουθήστε τα βήματα:

1. Επισκεφθείτε το <https://oceanos.grnet.gr> και χρησιμοποιείτε τον ακαδημαϊκό σας λογαριασμό για να εισέλθετε. Θα σας ζητηθεί να επιλέξετε το ίδρυμά σας πριν δώσετε τον κωδικό σας.
2. Επισκεφθείτε το dashboard στην πάνω δεξιά γωνία.
3. Πατήστε στο tab *projects*.
4. Επιλέξτε *join* στο *oslab2017.cslab.ntua.gr*.
5. Περιμένετε την έγκριση από το προσωπικό του εργαστηρίου (θα επιβεβαιώσουν τα στοιχεία σας). Θα λάβετε ειδοποίηση στο email σας μόλις ολοκληρωθεί η εγγραφή σας.
6. Πατήστε **Cyclades** στην μπάρα που βρίσκεται στην κορυφή της σελίδας.
7. Επιλέξτε να δημιουργήσετε μια νέα εικονική μηχανή.
8. Επιλέξτε εικόνα (image) **Debian base**. Καλό είναι να δημιουργήσετε στο αντίστοιχο βήμα και ένα κλειδί ssh. Διαφορετικά σημειώστε το password μετά τη δημιουργία.
9. Συνδεθείτε ως χρήστης root με ssh.
10. Εκτελέστε τα επόμενα βήματα (Παράρτημα Α) χειρωνακτικά ή εκτελώντας τα ως script. Μέσα σε αυτά προσέξτε τη διεύθυνση που θα βρείτε τον κώδικα του cgmond. Ο κωδικός που απαιτείται είναι: **qK5SaprTst**.
11. Ολοκληρώνοντας το προηγούμενο βήμα θα πρέπει να έχετε στο τρέχον directory ένα subdirectory με όνομα cgmon και μέσα σε αυτό, εκτός των άλλων, θα υπάρχουν δύο scripts, το **prepare.sh** και το **cgmon_demo.sh**. Η εκτέλεση του πρώτου δημιουργεί μια νέα ιεραρχία cgroup για την παρακολούθηση των cgroups που δημιουργούνται από τον μηχανισμό, ενώ το δεύτερο είναι ένα παράδειγμα χρήσης του δαίμονα cgmond.
12. Σημειώνεται ότι ο μηχανισμός παράγει log files στο path **\$(WD)/monitor/** τα οποία και θα είναι διαφωτιστικά καθόλη τη διάρκεια των εργασιών σας.

Παράρτημα Α

Script προετοιμασίας και εγκατάστασης του δαίμονα cgmond:

```
#!/bin/bash

YES=

if [ "$1" = "-y" ]; then
    shift
    YES=1
fi

STEP () {
    if [ -z "$YES" ]; then
        read -p 'Do it? (Y/n) ' c
        [ -z "$c" ] || [ "$c" = "Y" ] || [ "$c" = "y" ]
    else
        true
    fi
}

set -v
cd ${HOME}

STEP Install git, vim, and other tools && {
    apt-get install git vim python python-setuptools bash-completion stress
    bc htop
}

STEP Enable greek UTF-8 locale && {
    sed -i -e 's/^# *\ (el_GR.UTF-8\)$/\1/g' /etc/locale.gen
    locale-gen
}

STEP Enable greek UTF-8 typing in shell && {
    touch ~/.bashrc
    sed -i -e '/^export LC_CTYPE=/d' ~/.bashrc
    echo 'export LC_CTYPE=el_GR.UTF-8' '>>' ~/.bashrc
    # Now you have to re-login to enable it
}

STEP Get cgmon source and start working && {
    mv -f cgmon cgmon-$(date -Isec)
    git clone git+ssh://cslab@snf-698511.vm.okeanos.grnet.gr/git/cgmon
    cd cgmon
    python setup.py install
    cgmon complete > /etc/bash_completion.d/cgmon
    cd ${HOME}
}

STEP Initialize cgmon hierarchy && {
    cd cgmon
    ./prepare.sh
    cd ${HOME}
}
```