Ιωάννης Λεοντιάδης (1046836)

Χρήστος Φείδας

Λειτουργικά Συστήματα (ECE_ΓΚ702)

Νοέμβριος 2023

Δραστηριότητα 2: Χρονοπρογραμματισμός Διεργασιών στο xv6

Το λογισμικό που αναπτύσσεται στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων και πληροφορίες για τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται βρίσκονται στο ηλεκτρονικό αποθετήριο os-activities. Για να αποκτήσετε δικαίωμα πρόσβασης παρακαλώ όπως στείλετε τα στοιχεία του GitHub λογαριασμού σας (όνομα χρήστη ή διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου). Κάθε δραστηριότητα αναπτύσσεται σε ξεχωριστό κλάδο. Η παρούσα δραστηριότητα βρίσκεται στον κλάδο activity-2.

Άσκηση 1

Μια διεργασία αποτελείται από εντολές, δεδομένα, σωρό και στοίβα χρήστη. Ο πυρήνας αντιστοιχίζει κάθε διεργασία με ένα πίνακα σελίδων, μια στοίβα πυρήνα και διάφορες μεταβλητές κατάστασης. Κατά την εκκίνηση του λειτουργικού συστήματος δημιουργείται ένας πίνακας (ptable) που περιέχει 64 στοιχεία τύπου proc, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να αναπαραστήσει μια διεργασία. Όταν τελειώσει μια διεργασία, το στοιχείο που την αναπαριστούσε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπαραστήσει μια νέα. Με αυτόν τον τρόπο, στο xv6, είναι δυνατό να βρίσκονται στη μνήμη μέχρι και 64 διεργασίες.

Ο ορισμός του τύπου proc βρίσκεται στο αρχείο include/proc.h και τα σημαντικότερα πεδία του παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πεδίο	Περιγραφή
pgdir	Ο πίνακας σελίδων κατά την εκτέλεση της διεργασίας
kstack	Η στοίβα πυρήνα κατά την παγίδευση της διεργασίας στον πυρήνα
state	Η κατάσταση της διεργασίας και του στοιχείου που την αναπαριστά
pid	Το αναγνωριστικό της διεργασίας
ofile	Ο πίνακας αναγνωριστικών αρχείων κατά την εκτέλεση της διεργασίας
parent	Ο πατέρας της διεργασίας
tf	Το πλαίσιο παγίδευσης κατά την παγίδευση της διεργασίας στον πυρήνα
context	Το πλαίσιο περιβάλλοντος της διεργασίας
chan	Το κανάλι αναμονής κατά τον ύπνο της διεργασίας
cwd	Ο κατάλογος κατά την εκτέλεση της διεργασίας
ticks	Ο χρόνος επεξεργαστή που η διεργασία εκτελείται σε κατάσταση χρήστη
tickets	Οι λαχνοί της διεργασίας για τον χρονοπρογραμματισμό λοταρίας

Πίνακας 1. Τα σημαντικότερα πεδία του τύπου proc.

Άσκηση 2

Ο χρονοπρογραμματισμός διεργασιών υλοποιείται στο xv6 με την μεταγωγή από το περιβάλλον (καταχωρητές επεξεργαστή) μιας διεργασίας στο περιβάλλον μιας άλλης. Αυτό βασίζεται στο ότι το περιβάλλον, μεταξύ άλλων, καθορίζει τη στοίβα και τον πίνακα σελίδων που χρησιμοποιούνται όπως επίσης και την επόμενη εντολή που θα εκτελεστεί. Η λειτουργία ενός νήματος μπορεί να αλλάξει μόνο μέσω διακοπών, επομένως μεταγωγή περιβάλλοντος πραγματοποιείται μόνο σε λειτουργία πυρήνα και η διεργασία στο περιβάλλον της οποίας γίνεται η μεταγωγή πρέπει να βρίσκεται σε χώρο πυρήνα. Όταν γίνεται μεταγωγή περιβάλλοντος, το περιβάλλον της διεργασίας αποθηκεύεται σε ένα πλαίσιο περιβάλλοντος στην στοίβα πυρήνα της προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για να συνεχίσει την εκτέλεσή της σε μετέπειτα χρόνο.

Η συνάρτηση sched εκτελείται σε λειτουργία πυρήνα από το νήμα της διεργασίας η οποία επιθυμεί να σταματήσει να εκτελείται, είτε επειδή θέλει να κοιμηθεί/τερματίσει, είτε επειδή έχει παγιδευτεί στον πυρήνα λόγω αιτήματος διακοπής ρολογιού (timer IRQ). Ο ρόλος της είναι ο έλεγχος των συνθηκών που απαιτούνται για να πραγματοποιηθεί μεταγωγή περιβάλλοντος (Πίνακας 2) και η πραγματοποίηση μεταγωγής στο περιβάλλον του νήματος scheduler.

Η συνάρτηση scheduler εκτελείται σε λειτουργία πυρήνα από κάποιο νήμα scheduler. Κάθε επεξεργαστής έχει ξεχωριστό νήμα scheduler το οποίο δημιουργείται κατά την εκκίνηση του λειτουργικού συστήματος. Το πλαίσιο περιβάλλοντος κάθε scheduler βρίσκεται σε ένα χώρο που αντιστοιχεί στον επεξεργαστή στον οποίο ανήκει και όχι στη στοίβα πυρήνα κάποιας διεργασίας. Ο ρόλος κάθε νήματος scheduler, και κατ' επέκταση της συνάρτησης scheduler, είναι η επιλογή της διεργασίας στης οποίας το περιβάλλον θα γίνει μεταγωγή και η πραγματοποίηση της μεταγωγής μέσω της συνάρτησης swtch.

Οι συναρτήσεις sched και scheduler βρίσκονται στο αρχείο kernel/proc.c.

Συνθήκη	Περιγραφή
ptable.lock	Η διεργασία πρέπει να έχει κλειδώσει τον πίνακα διεργασιών ώστε να μην εκτελεστεί ταυτόχρονα σε άλλο επεξεργαστή. Ο πίνακας διεργασιών ξεκλειδώνεται είτε από κάποιο νήμα scheduler είτε από τη διεργασία στης οποίας το περιβάλλον έχει γίνει μεταγωγή.
state	Η διεργασία πρέπει να έχει δηλώσει ότι επιθυμεί να σταματήσει την εκτέλεσή της αλλάζοντας την κατάστασή της.
interrupts	Οι διακοπές πρέπει να είναι απενεργοποιημένες ώστε να μην αλλάξει κάποια από τις συνθήκες ενώ πραγματοποιείται μεταγωγή περιβάλλοντος και να μην δημιουργηθεί αδιέξοδο.
ncli	Η διεργασία πρέπει να έχει ξεκλειδώσει ότι κλείδωσε κατά την εκτέλεσή της εκτός από τον πίνακα διεργασιών.

Πίνακας 2. Συνθήκες που απαιτούνται για την μεταγωγή σε περιβάλλον scheduler.

Άσκηση 3

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η προσθήκη της κλήσης συστήματος settickets.

Εικόνα 1. Προσθήκη κλήσης συστήματος settickets.

Το πρόγραμμα χρήστη block με όρισμα 4 πραγματοποιεί την κλήση συστήματος settickets θέτοντας τους λαχνούς της διεργασίας σε 10. Η Εικόνα 2 παρουσιάζει τους λαχνούς των διεργασιών init, sh και του παιδιού της sh όπου εκτελείται το block.

Εικόνα 2. Έλεγχος λαχνών και κλήσης συστήματος settickets.

Για τον έλεγχο του χρονοπρογραμματισμού διεργασιών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα lotteryschedtest. Έγιναν αλλαγές ώστε η μέτρηση του χρόνου επεξεργαστή των διεργασιών σε λειτουργία χρήστη να είναι ακριβής. Το πρόγραμμα και οι αλλαγές συμπεριλήφθηκαν στον κώδικα που δίνεται στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του μαθήματος ώστε να είναι διαθέσιμες για όλους. Ο αναγνώστης μπορεί να βρει περισσότερες πληροφορίες στο τέλος της αναφοράς.

Τα αποτελέσματα του lotteryschedtest με την πολιτική χρονοπρογραμματισμού του xv6 παρουσιάζονται στην Εικόνα 3. Ο διαθέσιμος χρόνος επεξεργαστή είναι λιγότερος από το χρόνο που κοιμάται ο πατέρας διότι ο scheduler διασχίζει τον πίνακα διεργασιών από εκεί που σταμάτησε στην προηγούμενη μεταγωγή περιβάλλοντος και όταν φτάσει στο τέλος του πίνακα περιμένει την επόμενη διακοπή προκειμένου να ξεκινήσει από την αρχή. Το ποσοστό του χρόνου επεξεργαστή που αντιστοιχεί σε κάθε διεργασία είναι επί του πραγματικού διαθέσιμου χρόνου. Όπως φαίνεται, οι διεργασίες μοιράζονται ισόποσα το διαθέσιμο χρόνο. Κάθε διακοπή ρολογιού η διεργασία που εκτελείται σταματάει και εκτελείται η επόμενη προς εκτέλεση διεργασία.

Τα αποτελέσματα του lotteryschedtest με την πολιτική λοταρίας παρουσιάζονται στην Εικόνα 4. Ο διαθέσιμος χρόνος επεξεργαστή μπορεί να είναι περισσότερος από το χρόνο που κοιμάται ο πατέρας. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Πρώτον, τα παιδιά όταν δημιουργούνται έχουν τον ίδιο αριθμό λαχνών με τον πατέρα. Δεύτερον, διότι η λοταρία είναι μια ψευδοτυχαία διαδικασία, και άρα ο πατέρας μπορεί να μην προλάβει να σκοτώσει όλα τα παιδιά μαζί. Το ποσοστό του χρόνου επεξεργαστή που αντιστοιχεί σε κάθε διεργασία είναι ανάλογο των λαχνών που έχει. Κάθε διακοπή ρολογιού η διεργασία που εκτελείται σταματάει και ο scheduler κληρώνει τη διεργασία που θα εκτελεστεί μετά. Η πιθανότητα επιλογής κάθε διεργασίας είναι ανάλογη του αριθμού των λαχνών που έχει και συνεπώς οι διεργασίες μοιράζονται το διαθέσιμο χρόνο ανάλογα με τους λαχνούς που έχουν.

```
SeaBIOS (version rel-1.16.2-0-gea1b7a073390-prebuilt.qemu.org)
Booting from Hard Disk..xv6...
acpi: tables above 0xe000000 not mapped.
mpinit ncpu=0 apicid=0

cpu0: starting xv6

cpu0: starting
init: starting sh
➤ lottery

Forked 5 children to share ~3000 ticks (real 2511)

PID: 4  TICKETS: 200    TICKS: 505      CPU: 20.2%
PID: 5  TICKETS: 100    TICKS: 503      CPU: 20.1%
PID: 6  TICKETS: 500    TICKS: 502      CPU: 20.1%
PID: 7  TICKETS: 50     TICKS: 501      CPU: 20.0%
PID: 8  TICKETS: 150    TICKS: 500      CPU: 20.0%

➤
```

Εικόνα 3. lotteryschedtest με την πολιτική χρονοπρογραμματισμού του xv6

```
SeaBIOS (version rel-1.16.2-0-gea1b7a073390-prebuilt.qemu.org)
Booting from Hard Disk..xv6...
acpi: tables above 0xe000000 not mapped.
mpinit ncpu=0 apicid=0

cpu0: starting xv6

cpu0: starting
init: starting sh
➤ lottery

Forked 5 children to share ~3000 ticks (real 3002)
PID: 4  TICKETS: 200    TICKS: 608      CPU: 20.2%
PID: 5  TICKETS: 100    TICKS: 275      CPU: 9.1%
PID: 6  TICKETS: 500    TICKS: 1526     CPU: 50.8%
PID: 7  TICKETS: 50     TICKS: 154      CPU: 5.1%
PID: 8  TICKETS: 150    TICKS: 439      CPU: 14.6%

➤
```

Εικόνα 4. lotteryschedtest με την πολιτική χρονοπρογραμματισμού λοταρίας

Παρατηρήσεις

Το πρόγραμμα lotteryschedtest δημιουργεί 5 διεργασίες οι οποίες παίρνουν ένα αριθμό λαχνών και εκτελούνται σε ατέρμον βρόχο. Ο πατέρας κοιμάται παραχωρώντας ένα σχετικά καθορισμένο χρόνο επεξεργαστή στα παιδιά του. Έπειτα τα σκοτώνει και εμφανίζει το χρόνο επεξεργαστή που αντιστοιχεί σε κάθε διεργασία καθώς και το ποσοστό αυτού επί του συνολικού χρόνου επεξεργαστή όλων των διεργασιών παιδιά. Το γεγονός ότι ο πατέρας εκτελείται όταν ξυπνήσει οφείλεται στο ότι δίνει πολύ περισσότερους λαχνούς στον εαυτό του από ότι στα παιδιά του. Θα λέγαμε ότι δεν είναι και ο καλύτερος πατέρας.

Το πρόγραμμα schedtest μοιράζει το διαθέσιμο χρόνο επεξεργαστή στον πατέρα και τα παιδιά του, διεργασίες οι οποίες εκτελούν διαφορετικές στη φύση λειτουργίες. Ο πατέρας δημιουργεί τα παιδιά του και εμφανίζει μηνύματα στην οθόνη ανά διαστήματα, οπότε κοιμάται και ξυπνά πολλές φορές και βρίσκεται σε λειτουργία πυρήνα πολύ περισσότερο από αυτά. Επίσης, υπάρχει το ενδεχόμενο μια διεργασία να τελειώσει πριν τις άλλες και ο διαθέσιμος χρόνος να μοιραστεί μεταξύ των υπόλοιπων διεργασιών.

Στον κώδικα που δίνεται, η μέτρηση του χρόνου επεξεργαστή των διεργασιών γίνεται από τον scheduler. Όμως, μια διεργασία μπορεί να εκτελείται σε λειτουργία χρήστη για λιγότερο από ένα κβάντο χρόνου. Επίσης, σε αυτό το σημείο δε γίνεται να διαχωριστεί ο χρόνος σε λειτουργία χρήστη από το χρόνο σε λειτουργία πυρήνα. Έτσι, η μέτρηση μεταφέρθηκε στο σημείο όπου κάθε διεργασία χειρίζεται τις διακοπές ρολογιού (kernel/trap.c). Εκεί μπορεί να ελεγχθεί αν η διακοπή προήλθε ενώ η διεργασία βρισκόταν σε λειτουργία χρήστη και να μετρηθεί ο αντίστοιχος χρόνος. Τέλος, χρειάστηκε να γίνει μια αλλαγή ώστε κάθε διεργασία να μετρά το χρόνο που έχει χρησιμοποιήσει τον επεξεργαστή από όταν δημιουργείται και όχι από όταν για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε το στοιχείο του πίνακα διεργασιών που την αναπαριστά.