Λειτουργικά Συστήματα: Εργασία 1

Έτος: 2016–17

Παράδοση 1ου μέρους: Κυριακή 20 Νοεμβρίου 2016
Παράδοση 2ου μέρους: Κυριακή 18 Δεκεμβρίου 2016

Περίληψη

Στην εργασία αυτή θα υλοποιήσουμε κάποιες επεκτάσεις του πυρήνα ενός απλού λειτουργικού συστήματος, που θα το ονομάσουμε TINYOS-3. Σε αντίθεση με τα λειτουργικά συστήματα που χρησιμοποιούμε, το δικό μας σύστημα δε θα εκτελείται κατευθείαν στο υλικό του συστήματος, αλλά σαν διεργασία ενός άλλου λειτουργικού συστήματος, του Linux, θα χρησιμοποεί προσομοιωμένους πόρους, δηλαδή θα εκτελείται σε μια (απλή) virtual machine. Αντί δηλαδή το TINYOS-3 να διαχειρίζεται τους υλικούς πόρους ενός υπολογιστή, θα διαχειρίζεται τους πόρους (χρόνο CPU, μνήμη, περιφερειακά κλπ.) που του δίνονται από το ξένιο ΛΣ (host OS). Πέρα από αυτή τη διαφορά, το TINYOS-3 θα εκτελεί τις βασικές λειτουργίες ενός πραγματικού λειτουργικού συστήματος.

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγικά

Το TINYOS-3 υποστηρίζει ανεξάρτητες διεργασίες, τις οποίες δρομολογεί μοιράζοντας το χρόνο των πυρήνων του επεξεργαστή. Το TINYOS-3 έχει απόλυτο έλεγχο πάνω στις διεργασίες αυτές. Τις δημιουργεί, τις δρομολογεί όσο αυτές εκτελούνται, και τις τερματίζει όταν ολοκληρωθούν.

Το TINYOS-3 θα διαχειρίζεται τους πόρους ενός ιδεατού, προσομοιωμένου υπολογιστή. Θα είναι γραμμένο στη γλώσσα C. Για συμβατότητα με το Linux, θα χρησιμοποιήσουμε τον compiler του GNU Project, τον `gcc`. Επίσης, θα γράψουμε τον κώδικά μας σε μια σύχρονη έκδοση της C, το λεγόμενο Standard C11. Το standard αυτό είναι απόλυτα συμβατό με την κλασσική" C (το λεγόμενο standard C89) αλλά προσφέρει κάποιες χρήσιμες επεκτάσεις.[1]

- Ο πυρήνας του TINYOS-3 θα είναι ένα απλό πρόγραμμα.
- Τα «προγράμματα» του TINYOS-3 δε θα είναι χωριστά αρχεία, αλλά εκτελέσιμες συναρτήσεις του προγράμματος του TINYOS-3. Με άλλα λόγια, στο TINYOS-3, ο κώδικας όλων των προγραμμάτων υπάρχει μόνιμα στην κύρια μνήμη.
  Σημείωση: Η ύπαρξη του κώδικα όλων των προγραμμάτων στη μνήμη είναι συχνή σε *embedded* λειτουργικά συστήματα, όπως τα λειτουργικά συστήματα παιχνιδομηχανών (πχ. SONY PlayStation), τα λειτουργικά συστήματα αυτομάτου ελέγχου (βιομηχανικών εργαλείων, οχημάτων, κλπ.), επικοινωνιών (κινητά τηλέφωνα, routers, δορυφόροι), κλπ.
- Ένας ακόμη περιορισμός του TINYOS-3 είναι η (μη-)διαχείριση της μνήμης. Για την ευκολία μας θα χρησιμοποιήσουμε τη βιβλιοθήκη συστήματος του Linux (malloc, free, κλπ.)
- Ένας τρίτος περιορισμός θα είναι στη διαχείριση Ε/Ε. Παρόλο που ο πυρήνας του TINYOS-3 υλοποιεί κλήσεις Ε/Ε, αυτές είναι χαμηλού επιπέδου. Μας λείπει μια βιβλιοθήκη συστήματος που θα μας έδινε τις γνωστές μας ευκολίες (printf κλπ), οπότε θα χρησιμοποιήσουμε και πάλι τη βιβλιοθήκη συστήματος του Linux για Ε/Ε (πχ. για printf), κάνοντάς την να συνεργαστεί με το TINYOS-3.

2 Γρήγορη αρχή

Στο URL courses `https://github.com/vsamtuc/tinyos3.git` θα βρείτε τον κώδικα της τωρινής έκδοσης του TINYOS-3. Μπορείτε να τον κατεβάσετε σε ένα directory και να τον τρέξετε με τις εξής εντολές

```
% git clone https://github.com/vsamtuc/tinyos3.git
% cd tinyos3
% touch .depend
% make
...
...  (several lines of output)
...
% ./mtask 1 0 1 1
FMIN = 34    FMAX = 44
*** Booting TinyOS
[T]     0 has arrived
[E]     0 is eating
[T]     0 is thinking
[.]     0 is leaving
```

[1] Δείτε στο διαδίκτυο για λεπτομέρειες.

```
*** TinyOS halted. Bye!
%
```

Αν πάνε όλα καλά, είναι ώρα να δημιουργηθεί το documentation.

```
% make doc
....
....
finished...
```

και να οδηγήσετε τον βροωσε στο αρχείο `./doc/html/index.html`.

Πήγαν όλα καλά; Συγχαρητήρια! Τώρα είστε έτοιμοι να αρχίσετε την εργασία. Αν κάτι δεν πήγε καλά, συμβουλευτείτε το βοηθό ή τον διδάσκοντα.

3 Εξοικείωση με τα αρχεία του TINYOS-3

Αν δείτε τα περιεχόμενα του directory μετά την εκτέλεση της εντολής make, θα βρείτε μέσα του ένα μεγάλο αριθμό από αρχεία. Για να μπορέσετε να ξεκινήσετε τη δουλειά, θα σας βοηθήσει η παρακάτω περιγραφή του τί είναι το κάθε αρχείο. Τα αρχεία ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες.

3.1 Αρχεία για την εκτέλεση του TINYOS-3

Τα τερματικά του TINYOS-3 υλοποιούνται από το πρόγραμμα `terminal`. Για να υποστηρίξετε π.χ. 2 τερματικά, πρέπει να ανοίξετε 2 διαφορετικά παράθυρα τερματικών στον υπολογιστή σας και μέσα σε κάθε παράθυρο να εκτελέσετε το πρόγραμμα `terminal`, με όρισμα τον αριθμό του τερματικού. Για παράδειγμα, αν χρησιμοποιείτε Linux Ubuntu θα μπορείτε να κάνετε το εξής:

```
% gnome-terminal -e "./terminal 0"
% gnome-terminal -e "./terminal 1"
% ./test_bios2
```

Οι παραπάνω εντολές θα δημιουργήσουν 2 νέα παράθυρα. Το κάθε παράθυρο αντιστοιχεί σε ένα τερματικό. Μέσα στο κάθε παράθυρο θα είναι τυπωμένο με κόκκινο φόντο το μήνυμα DISCONNECTED", που σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάποιο πρόγραμμα που να είναι συνδεδεμένο στα τερματικά αυτά.

Τώρα, μπορείτε να γράψετε (στο αρχικό σας παράθυρο) το παρακάτω:

```
% ./bios_example5
```

Θα δείτε αμέσως και τα δύο τερματικά να συνδέονται, και να εμφανίζουν το ίδιο μήνυμα:

```
Type a line:
```

Μπορείτε να γράψετε κάτι και το κάθε τερματικό θα το τυπώσει στην οθόνη και αμέσως θα σας ζητήσει να τυπώσετε άλλη μια γραμμή (αλλά μετά από 3 γραμμές το πρόγραμμα τερματίζει).

Μπορείτε να δοκιμάσετε να ξανατρέξετε το πρόγραμμα `test_bios2` και να δείτε τον κώδικά του (είναι πολύ σύντομος).

Απαραίτητα για τη λειτουργία των τερματικών είναι 8 ειδικά αρχεία" (πρόκειται για named pipes και όχι για κανονικά αρχεία, που θα τα περιγράψουμε στο μάθημα), τα `con`n`, kbd`n, όπου $n = 0 \ldots 3$. Τα αρχεία αυτά τα δημιούργησε η εντολή `make` και είναι απαραίτητα για τη λειτουργία των terminals.

Σημείωση: Όσοι από εσάς προτιμάτε, όπως εγώ, να δουλεύετε σε τερματικό αντί σε γραφικά παράθυρα, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το πρόγραμμα `tmux` του Linux

3.2 Αρχεία που περιέχουν τον προσομοιωτή του υπολογιστή μας

Πρόκειται για 2 αρχεία το `bios.c` και το `bios.h` εκ των οποίων το δεύτερο θα πρέπει να το διαβάσετε οπωσδήποτε (περιγράφεται και στη συνέχεια της εκφώνησης). Τα αρχεία αυτά συνδέονται στα εκτελέσιμα του TINYOS-3 κατά το compilation.

Επίσης υπάρχουν τα αρχεία `test_bios1` και `test_bios2` (και τα αντίστοιχα `.c` αρχεία) που περιέχουν δύο πολύ απλά δοκιμαστικά για τον προσομοιωτή.

3.3 Αρχεία με προγράμματα-εφαρμογές του TINYOS-3

Τα αρχεία αυτά συνδέονται κατά το compilation με το TINYOS-3 και τον προσομοιωτή και δημιουργούν δύο εκτελέσιμα: το `mtask` και το `tinyos_shell`. Αυτά είναι και τα αρχεία που θα εκτελείτε πιο συχνά απ' όλα, για να δοκιμάζετε την υλοποίησή σας.

`tinyos_shell`. Αυτό το πρόγραμμα είναι μια πολύ απλοϊκή υλοποίηση ενός shell από το οποίο ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει διάφορα απλά προγράμματα που τυπώνει στη γραμμή εντολών.

Το πρόγραμμα αυτό δέχεται δύο ορίσματα στη γραμμή εντολών, τον αριθμό των πυρήνων της προσομοίωσης και τον αριθμό των τερματικών. Για παράδειγμα, η εντολή

```
./tinyos_shell  4 2
```

ξεκινά μια προσομοιωμένη μηχανή με 4 πυρήνες και 2 τερματικά.

Για να το δοκιμάσετε, πριν ακόμη υλοποιήσετε τίποτε, δοκιμάστε το παρακάτω παράδειγμα.

```
linux% ./tinyos_shell  4 2
*** Booting TinyOS with 1 cores and 0 terminals
Starting tinyos shell
Type 'help' for help, 'exit' to quit.
% help
This is a simple shell for tinyos.

You can run some simple commands. Every command takes a
only **integer** arguments. The list of commands and the
number of arguments for each command is shown by
typing 'ls'.

When you are tired of playing, type 'exit' to quit.
%
```

`mtask`. Όταν εκτελείται το πρόγραμμα αυτό, το TINYOS-3 ξεκινά και μια προσομοίωση του προβλήματος των Φιλοσόφων που Γευματίζουν, όπως το περιγράψαμε στο μάθημα, με πολλαπλές διεργασίες. Το πρόγραμμα δέχεται 4 ορίσματα: τον αριθμό των πυρήνων του επεξεργαστή, τον αριθμό των τερματικών, τον αριθμό των φιλοσόφων και τον αριθμό των γύρων" που κάνουν.

```
% mtask 1 0 5 1
FMIN = 31    FMAX = 41
*** Booting TinyOS
[T] .  .  .  .      0 has arrived
[E] .  .  .  .      0 is eating
[T] .  .  .  .      0 is thinking
[.] .  .  .  .      0 is leaving
 . [T] .  .  .      1 has arrived
 . [E] .  .  .      1 is eating
 . [T] .  .  .      1 is thinking
 . [.] .  .  .      1 is leaving
 .  . [T] .  .      2 has arrived
 .  . [E] .  .      2 is eating
 .  . [T] .  .      2 is thinking
 .  . [.] .  .      2 is leaving
 .  .  . [T] .      3 has arrived
 .  .  . [E] .      3 is eating
 .  .  . [T] .      3 is thinking
 .  .  . [.] .      3 is leaving
 .  .  .  . [T]     4 has arrived
 .  .  .  . [E]     4 is eating
 .  .  .  . [T]     4 is thinking
 .  .  .  . [.]     4 is leaving
*** TinyOS halted. Bye!
```

Αν αναρωτιέστε πώς είναι δυνατόν να εκτελούνται τα προγράμματα αυτά, αφού ακόμη δεν έχετε υλοποιήσει την εργασία σας, διαβάστε παρακάτω.

3.4 Αρχεία συστήματος του TINYOS-3

Ερχόμαστε τώρα στα αρχεία που αφορούν το ίδιο το TINYOS-3. Αυτά θα τα περιγράψουμε εδώ κάπως πιο αναλυτικά, αλλά σίγουρα θα πρέπει να διαβάσετε και τον κώδικά τους με πολλή προσοχή.

`tinyos.h` Το αρχείο αυτό το συζητήσαμε ήδη παραπάνω. Θα πρέπει να διαβάσετε προσεκτικά τα σχόλιά του, για να μπορέσετε να υλοποιήσετε την εργασία.

`tinyoslib.h, tinyoslib.c` Τα δύο αυτά αρχεία περιλαμβάνουν τη σύνδεση του TINYOS-3 με τη βιβλιοθήκη της C στο Linux. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνουν τον κώδικα που μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε τις `printf, scanf, getline` και τις άλλες βιβλιοθήκες για τύπωμα στην οθόνη και διάβασμα από το πληκτρολόγιο, μέσα από τις διεργασίες του TINYOS-3. Δεν είναι απαραίτητο να διαβάσετε τον κώδικά τους, αλλά αν το κάνετε, ψάξτε στο διαδίκτυο την τεκμηρίωση των ρουτινών που καλούν, και ειδικά των `fopencookie, setbuf, __fsetlocking`.

`kernel_*.c` Αυτά είναι τα αρχεία που περιέχουν την τρέχουσα υλοποίηση του TINYOS-3 και τα οποία καλείστε να επεκτείνετε.

3.5 Βοηθητικά αρχεία

Τέλος, 4 πολύ σημαντικά βοηθητικά αρχεία:

`Makefile` Το αρχείο αυτό περιέχει όλη την πληροφορία που χρειάζεστε για να μεταφράσετε το πρόγραμμά σας. Βεβαιωθείτε ότι στο περιβάλλον ανάπτυξης που χρησιμοποιείτε θα χρησιμοποιήσετε αυτό το αρχείο ακριβώς (εκτός αν είστε έμπειροι και ξέρετε τι κάνετε).

Ειδικότερα, βεβαιωθείτε ότι κατά το compiling χρησιμοποιείτε τα παρακάτω flags του compiler

`-pthread` Ο προσομοιωμένος υπολογιστής βασίζεται στα pthreads.

`-D_GNU_SOURCE` Κάποιες συναρτήσεις βιβλιοθήκης αλλάζουν συμπεριφορά χωρίς αυτή τη σημαία.

`-std=C11` Χρησιμοποιήστε απαραίτητα τη σύγχρονη έκδοση της C.

`-fno-builtin-printf` Δε θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε την ενσωματωμένη (και βελτιστοποιημένη) υλοποίηση της `printf`.

`-lpthread -lrt -lm` κατά τη σύνδεση (linking) χρειάζονται αυτές οι βιβλιοθήκες.

`util.h, util.c` Μέσα στα δύο αυτά αρχεία περιέχεται κάποιος πολύ χρήσιμος κώδικας που σας συμβουλεύω ανεπιφύλακτα να χρησιμοποιήσετε:

- Μια υλοποίηση για διπλά-συνδεδεμένες λίστες που είναι εξαιρετικά απλή στη χρήση και πολύ γρήγορη.
- Μια υλοποίηση για ring buffer χαρακτήρων, που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε αντί να γράψετε τη δική σας.

4 Ο προσομοιωμένος υπολογιστής

Το TINYOS-3 διαχειρίζεται τους πόρους ενός προσομοιωμένου υπολογιστή, που υλοποιείται στο αρχείο `bios.c`. Ο υπολογιστής αυτός προσφέρει ένα πολύ απλό API για πολύ χαμηλού επιπέδου πρόσβαση στους πόρους του. Το API αυτό υλοποιείται από firmware εκτός του tinyos, που ονομάζεται BIOS—Basic Input Output System.

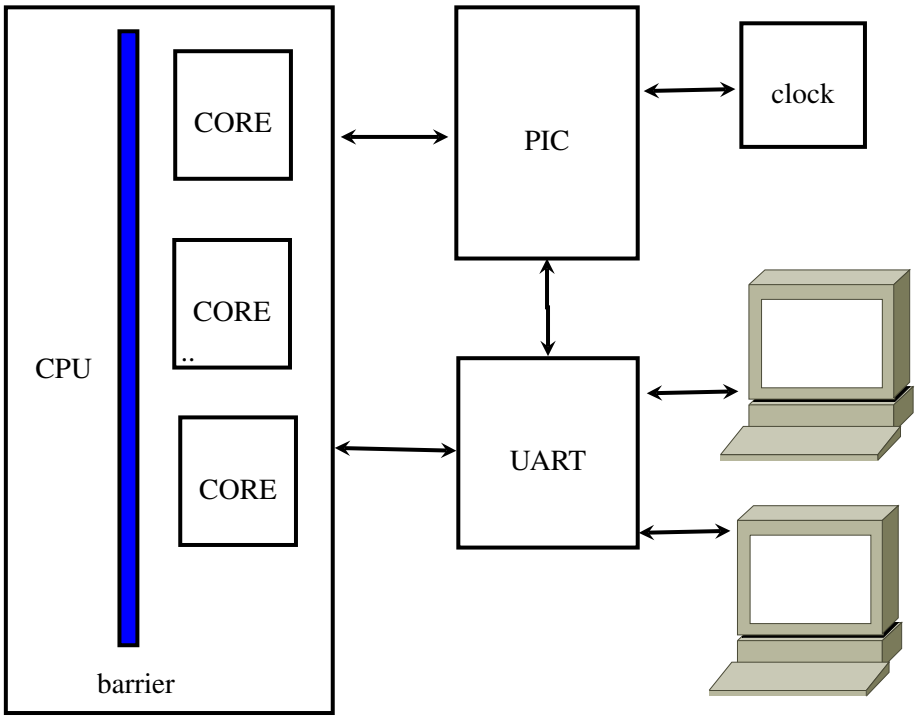
Τα μέρη αυτά περιγράφονται παρακάτω.

CPU Η CPU μπορεί να έχει από 1 ως 128 πυρήνες. Μέσα σε κάθε πυρήνα, η συνάρτηση `cpu_core_id()` επιστρέφει τον αύξοντα αριθμό του πυρήνα. Η συνάρτηση `cpu_cores()` επιστρέφει τον αριθμό των πυρήνων στη CPU. Κάθε πυρήνας διαθέτει ξεχωριστό interrupt vector και μπορεί να δεχθεί interrupts κάθε είδους. Κάθε πυρήνας μπορεί να απενεργοποιήσει τα interrupts ανεξάρτητα από τους άλλους, με τη ρουτίνα `cpu_disable_interrupts()` και να τα επανεργοποιήσει με την εντολή `cpu_enable_interrupts()`.

Interrupts Κάθε πυρήνας μπορεί να ορίσει ρουτίνες που θα εκτελεστούν κατά τη λήψη interrupt, με κλήση της συνάρτησης `cpu_interrupt_handler(...)`. Όταν έρθει κάποιο και πριν κληθεί ο αντίστοιχος interrupt handler, η προηγούμενη κατάσταση των interrupts σώζεται και τα interrupts απενεργοποιούνται (αν ήταν ενεργά), οπότε ο interrupt handler μπορεί να εκτελεστεί χωρίς διακοπή. Ο interrupt handler μπορεί να επανενεργοποιήσει τα interrupts αν το επιθυμεί. Ωστόσο, κατά την επιστροφή του interrupt handler, αποκαθίσταται η κατάσταση των interrupts που σώθηκε κατά τη λήψη της διακοπής.

barrier Οι πυρήνες μπορούν να συγχρονιστούν μέσω ενός hardware barrier. Κάθε πυρήνας καλεί τη συνάρτηση `cpu_core_barrier_sync()` και σταματά ώσπου να καλέσουν όλοι οι πυρήνες. Όταν καλέσουν τη συνάρτηση όλοι οι πυρήνες, ξεκινούν όλοι και πάλι.

Inter-core interrupt Υπάρχει ένα ειδικό interrupt το οποίο επιτρέπει σε έναν πυρήνα να στείλει interrupt σε έναν άλλο—ή στον εαυτό του. Αυτό γίνεται με κλήση της συνάρτησης `cpu_ici(...)`.



Σχήμα 1: Σχηματικό διάγραμμα του προσομοιωμένου υπολογιστή που εκτελεί το TINYOS-3

Programmable Interrupt Controller (PIC) Αυτό είναι το σύστημα που κατευθύνει εξωτερικά interrupts (από τα περιφερειακά) στους πυρήνες.

clock Το PIC χρησιμοποιεί το clock για να υλοποιήσει timers, έναν για κάθε πυρήνα. Ο κάθε πυρήνας μπορεί να ορίσει ένα διάστημα (σε μsec) το οποίο, όταν εξαντληθεί θα προκαλέσει το interrupt ALARM. Η συνάρτηση `bios_set_timer()` ενεργοποιεί έναν timer με μια νέα τιμή (καταργώντας ενδεχόμενη ήδη μέτρηση χρόνου) ενώ η συνάρτηση `bios_cancel_timer()` απενεργοποιεί τον timer.

Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART) Το UART ελέγχει μέχρι 4 σειριακές θύρες και επιτρέπει στους πυρήνες να διαβάζουν και να γράφουν δεδομένα σε αυτές, με τις συναρτήσεις `bios_read_serial()` κσι `bios_write_serial()` αντίστοιχα, ένα byte τη φορά. Η συνάρτηση `bios_serial_ports()` επιστρέφει τον αριθμό των ενεργών serial ports. Για κάθε serial port, το UART διαθέτει δύο εσωτερικούς buffer, έναν για δεδομένα που έρχονται από τα περιφερειακά και έναν για δεδομένα που κατευθύνονται στα περιφερειακά.

Όταν μια απόπειρα ανάγνωσης αποτύχει επειδή δεν υπάρχον δεδομένα στον buffer, η συνάρτηση `bios_read_seria` επιστρέφει 0. Στην περίπτωση αυτή, το UART μπαίνει σε κατάσταση ειδοποίησης: θα στείλει ένα interrupt `SERIAL_RX_READY` μόλις εμφανιστούν δεδομένα στον αντίστοιχο buffer.

Αντίστοιχα, αν στον buffer εξόδου δεν υπάρχει χώρος, η συνάρτηση η συνάρτηση `bios_write_serial` επιστρέφει 0 και το UART μπαίνει σε κατάσταση ειδοποίησης: θα στείλει ένα `SERIAL_X_READY` μόλις δημιουργηθεί κενό στον αντίστοιχο buffer.

Τέλος, το UART διαθέτει και ένα μηχανισμό timeout: αν σε κάποια θύρα δεν υπάρχει δραστηριότητα από κάποιο πυρήνα για ένα χρονικό διάστημα (περίπου 300 msec), το UART στέλνει το αντίστοιχο interrupt (ή και τα δύο) στη CPU

Με τη συνάρτηση `bios_serial_interrupt_core(...)` η CPU μπορεί να καθορίσει τον πυρήνα

που θα λάβει τα interrupts, χωριστά για κάθε σειριακή θύρα. Αρχικά, τα interrupts για όλες τις σειριακές θύρες κατευθύνονται στον πυρήνα 0.

5 Περιγραφή της εργασίας σας

Ο σκοπός σας σε αυτή την εργασία είναι να υλοποιήσετε μια σειρά από επεκτάσεις στον πυρήνα του TINYOS-3. Οι επεκτάσεις αυτές είναι οι παρακάτω:

1. Θα πρέπει να υλοποιήσετε έναν scheduler προτεραιοτήτων, με βάση τον αλγόριθμο Multilevel Feedback Queues που είδαμε στην τάξη. Θα βρείτε έναν πιο λεπτομερή ορισμό του στη Wikipedia και θα καλυφθεί και στη θεωρία.

2. Θα πρέπει να μετατρέψετε τις διεργασίες του TINYOS-3 σε πολυνηματικές. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να υλοποιήσετε τα system calls που υπάρχουν στο `tinyos.h`.

3. Θα πρέπει να υλοποιήσετε δύο μηχανισμούς επικοινωνίας διεργασιών, pipes και sockets.

4. Τέλος, θα πρέπει να υλοποιήσετε ένα πρόγραμμα χρήστη που να τυπώνει στο standard output πληροφορίες για το σύστημα.

Για να εκτελέσετε την εργασία σας θα χωριστείτε σε ομάδες των 3 ατόμων. Οι ομάδες αυτές θα δηλωθούν στο courses μέχρι την προθεσμία που θα ανακοινωθεί. Μετά την πάροδο της προθεσμίας, καμία προσθήκη στις ομάδες δε θα γίνει δεκτή. Εργασίες από μικρότερες ομάδες θα βαθμολογηθούν το ίδιο με αυτές των 3 ατόμων.

Οι ομάδες σας θα πρέπει να αρχίσουν να συνεργάζονται άμεσα, διότι οι προθεσμίες της παράδοσης είναι σχετικά στενές.

6 Περιγραφή της υλοποίησης

6.1 Πρώτο μέρος

Στο πρώτο μέρος της εργασίας θα ασχοληθούμε κυρίως με τη ΠΥ και τα νήματα.

6.1.1 Multilevel Feedback Queue

Η τρέχουσα υλοποίηση του scheduler χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο Round-Robin: υπάρχει μια FIFO ουρά στο τέλος της στη οποίας προστίθενται τα νήματα που γίνονται READY και από την αρχή της οποίας αφαιρούνται τα νήματα τα οποία θα δρομολογηθούν σε κάποιο core.

Για να βελτιωθεί η διαδραστικότητα του λειτουργικού, θα πρέπει να υλοποιηθεί ο αλγόριθμος των multilevel feedback queues. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί ένα array από ουρές, μια ουρά για κάθε προτεραιότητα. Κάθε νήμα έχει στο TCB του ένα ακέραιο πεδίο, ας το πούμε `priority`. Όταν το quantum ενός νήματος τελειώσει, ο scheduler υπολογίζει μια νέα τιμή για το πεδίο αυτό, που είναι στην πραγματικότητα η ουρά στην οποία θα προστεθεί το νήμα (όταν γίνει READY και clean). Τέλος, το πρώτο στοιχείο της πρώτης κατά προτεραιότητα μη-κενής ουράς επιλέγεται ως το επόμενο νήμα.

Πώς μπορεί να προσαρμοσθεί η τιμή της προτεραιότητας ενός νήματος:

- Στην πρώτη του εκτέλεση, ένα νήμα εισάγεται σε μια μέση θέση (είτε στην ουρά με την υψηλότερη προτεραιότητα).

- Αν ένα νήμα εξάντλησε το quantum του, η προτεραιότητά του μειώνεται κατά 1.

- Αν ένα νήμα δεν εξάντλησε το quantum του επειδή είναι διαδραστικό (εκτελεί κάποιας μορφής I/O) τότε η προτεραιότητά του αυξάνει κατά 1.
- Αν ένα νήμα δεν εξάντλησε το quantum του για κάποιο άλλο λόγο η προτεραιότητά του παραμένει αμετάβλητη.
- Νήματα τα οποία περιμένουν για πολλή ώρα στην ουρά τους «(πολλή ώρα» σημαίνει ότι έχουν βγει από την ουρά «πολλά» νήματα), τότε αυξάνεται η προτεραιότητά τους κατά 1.

Επίσης, θα πρέπει να λάβετε υπόψην την περίπτωση του priority inversion όπου ένα νήμα περιμένει σε κάποιο mutex για κάποιο νήμα χαμηλότερης προτεραιότητας, και να προσαρμόσετε τις προτεραιότητες κατάλληλα.

Στον παραπάνω αλγόριθμο, κάποιες λειτουργίες δεν είναι προσδιορισμένες με σαφήνεια. Εναπόκειται σε εσάς να διαλέξετε τον τρόπο υλοποίησης και να δοκιμάσετε την απόδοση του συστήματός σας.

6.1.2 Πολυνηματικές διεργασίες

Θέλουμε επίσης να δώσουμε τη δυνατότητα στις διεργασίες να έχουν πολλά νήματα. Για το σκοπό αυτό, θα πρέπει να υλοποιήσετε τα system calls που αναφέρονται στο tinyos.h. Οι βασικές λειτουργίες των νημάτων είναι οι

- `CreateThread`
- `ThreadSelf`
- `ThreadJoin`
- `ThreadExit`
- `ThreadDetach`

Για να υλοποιήσετε τις παραπάνω λειτουργίες θα πρέπει να δημιουργήσετε ένα καινούριο control block και για κάθε νήμα διεργασίας να έχετε ένα τέτοιο αντικείμενο, όπου θα αποθηκεύονται οι πληροφορίες γι αυτό το νήμα. Το νέο control block μπορεί να είναι χωριστό αντικείμενο και όχι να είναι μέσα στο TCB (φαντάζεστε γιατί·).

Επίσης, τα νήματα θα πρέπει να υλοποιούν τις πιο προχωρημένες λειτουργίες

- `ThreadInterrupt`
- `ThreadIsInterrupted`
- `ThreadCancelInterrupt`

Οι λειτουργίες αυτές απαιτούν μια βοήθεια από το scheduler. Όταν ένα νήμα μπαίνει σε κατάσταση interrupt, τότε (α) ξυπνάει, αν είναι STOPPED και (β) όσο είναι σε αυτή την κατάσταση, ο scheduler δεν το σταματά (η `sleep_releasing(STOPPED, ...)` θα πρέπει να επιστρέφει χωρίς να σταματά το νήμα). Με τον τρόπο αυτό, μια διεργασία μπορεί να ειδοποιήσει" τα νήματά της να τερματίσουν.

Για να υλοποιήσετε την παραπάνω λειτουργία σωστά, θα πρέπει να αλλάξετε την υλοποίηση των condition variables. Η νέα υλοποίηση θα πρέπει να επιτρέπει στα νήματα που κοιμούνται σε ένα condition variable να ξυπνήσουν «από μόνα τους» και να επιστρέψουν από τη `Cond_Wait`.

6.2 Δεύτερο μέρος

Στο μέρος αυτό θα ασχοληθούμε με είσοδο/έξοδο. Θα πρέπει να υλοποιήσετε τα system calls:

- `Pipe` για να δημιουργείτε νήματα
- Τα system calls για τα sockets:
  1. `Socket`
  2. `Connect`
  3. `Listen`
  4. `Accept`
  5. `Shutdown`
- Τέλος, το system call `OpenInfo`.

6.2.1 Pipes

Τα pipes είναι ένας μηχανισμός επικοινωνίας διεργασιών που θα περιγραφεί και στη θεωρία. Για να τον υλοποιήσετε, διαβάστε τις προδιαγραφές στα docs.

6.2.2 Sockets

Τα sockets είναι ένας μηχανισμός επικοινωνίας διεργασιών που είναι κατάλληλος για επικοινωνία μέσω δικτύου. Εμείς θα υλοποιήσουμε sockets που θα επιτρέπουν την επικοινωνία τοπικών διεργασιών μόνο.

Για να δημιουργηθεί σύνδεση μεταξύ δύο socket θα υλοποιηθούν τα system calls που περιγράφονται στα docs με βάση όσα θα πούμε στη θεωρία.

6.2.3 Παρουσίαση πληροφοριών του συστήματος

Με αυτό το system call η ιδέα είναι να επιστρέφετε στο χρήστη πληροφορίες σχετικά με τις διεργασίες που εκτελούνται εκείνη τη στιγμή.

7 Παραδοτέα της εργασίας

Η παράδοση της εργασίας σας θα γίνει σε δύο μέρη:

Πρώτο μέρος: 22 Νοεμβρίου

Δεύτερο μέρος: 20 Δεκεμβρίου

7.1 Παραδοτέο του κάθε μέρους

Θα πρέπει να υλοποιήσετε και να παραδώσετε τον πυρήνα του TINYOS-3 που να υλοποιεί τις νέες λειτουργίες και κλήσεις συστήματος του αρχείου `tinyos.h` όπως αυτές προσδιορίζονται εκεί.

Θα πρέπει να παραδώσετε τον κώδικα του πυρήνα σας μαζί με όλα τα απαραίτητα αρχεία για να μπορέσει ο βαθμολογητής να μεταφράσει (compile) και να εκτελέσει τον κώδικά σας **με μια εντολή**. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε για το σκοπό αυτό το πρόγραμμα `make` με το αρχείο Makefile που σας δίνεται, ή να γράψετε το δικό σας Makefile.

Η εργασία σας θα γίνει σε ομάδες των δύο φοιτητών. Μπορείτε να συζητάτε τον κώδικά σας με άλλους, πχ. συμφοιτητές σας, εμένα, τους βοηθούς, κλπ. αλλά δεν μπορείτε να παραδώσετε κώδικα που δεν γράψατε οι ίδιοι. Οι βοηθοί του μαθήματος, πέρα από την εξέταση που θα κάνουν, θα χρησιμοποιήσουν αυτόματα προγράμματα εντοπισμού αντιγραφής, τα οποία είναι πολύ δύσκολο να ξεγελάσετε. Η αντιγραφή θα αντιμετωπιστεί *πολύ αυστηρά*.

Η παράδοση της εργασίας θα γίνει ηλεκτρονικά μέσα από το courses.

7.2 Καθυστερημένη παράδοση

Δε θα δοθεί καμιά παράταση στην παράδοση της εργασίας. Όσες εργασίες παραδοθούν μετά την προθεσμία παράδοσης θα έχουν μείωση του βαθμού τους κατά μία μονάδα (με άριστα το 10) *για κάθε ημερολογιακή ημέρα καθυστέρησης*.

Καλή δουλειά

και να θυμάστε

KISS : Keep It Simple Stupid!
και
RTFM : Read The Fine Manual!

Πηγές πληροφόρησης

1. Η τεκμηρίωση του Linux στις σελίδες της εντολής man, πχ. `man sigaction`, `man makecontext`, `man sex` κλπ.
2. Το βιβλίο του μαθήματος.
3. Η βιβλιοθήκη.
4. Το internet.
5. Εγώ και οι βοηθοί, στο μάθημα, στις ώρες γραφείου μας, μέσω της mailing list ή μέσω email.
6. Guru-συμφοιτητές σας!
7. Προσοχή: Ο κώδικας του linux σίγουρα θα σας μπερδέψει παρά θα σας βοηθήσει στην εργασία. Αλλά, πέρα από αυτό, είναι εξαιρετικό ανάγνωσμα για να μάθετε σωστό προγραμματισμό.