OS MMXXI

MIT ;)

https://pdos.csail.mit.edu/6.828

Prerušenia

Téma

- Stlačenie klávesy
- Pohyb myšou
- Tik časovača
- Údaje pripravené na vstupe sieťovej karty
- ...

- HW si vyžaduje OKAMŽITÚ pozornosť!

Téma

- CPU musí
  - Odložiť aktuálnu činnosť (uložiť aktuálny stav)
  - Obslúžiť hw (obslúžiť prerušenie)
  - Obnoviť vykonávanie činnosti pred prerušením
- Na spracovanie prerušení na RISC-V sa používa ten istý mechanizmus ako pre
  - Systémové volania (*syscalls*)
  - Výnimky (*exceptions*)

Komplikácie prerušení

- Prerušenia sú asynchrónne
- Viac konkurentne vykonávaných vecí
- Programovanie zariadení

Komplikácie prerušení

- Prerušenia sú asynchrónne
  - Kód vykonávaný na CPU pred príchodom prerušenia nijako nesúvisí s prerušením! Nie je medzi ním a prerušením žiadna kauzalita
  - Kód obsluhy prerušenia nebeží v “kontexte” procesu (v xv6 nemá zmysel využívať myproc())
- Viac konkurentne vykonávaných vecí
  - CPU vykonáva kód, zároveň sa niečo deje na zariadení
- Programovanie zariadení
  - Môže byť značne zložité naprogramovať obsluhu

Zdroje prerušení

Zdroje prerušení

- Vodiče zo zariadení napojené na špeciálnu zbernicu (buď priamo do CPU alebo cez čip, ktorý ďalej spracúva zdroj prerušenia)
- Na SiFive základnej doske (RISC-V CPU) prerušenia zariadení idú cez obvod PLIC

Zdroje prerušení

- Vodiče zo zariadení napojené na špeciálnu zbernicu (buď priamo do CPU alebo cez čip, ktorý ďalej spracúva zdroj prerušenia)
- Na SiFive základnej doske (RISC-V CPU) prerušenia zariadení idú cez obvod PLIC
- PLIC ďalej smeruje vzniknuté prerušenie na to jadro CPU, ktoré môže prerušenie obslúžiť
  - CPU môže mať vypnuté spracovanie prerušení
  - Ak nie je žiadne CPU dostupné, PLIC uchováva prerušenie, pokým nejaké CPU nezapne obsluhu

Mechanizmus obsluhy prerušení

Mechanizmus obsluhy prerušení

- Prerušenie informuje jadro o tom, že nejaký hw vyžaduje pozornosť
- Ovládač (kód v jadre) vie, ako obsluhu zariadenia uskutočniť

Mechanizmus obsluhy prerušení

- Prerušenie informuje jadro o tom, že nejaký hw vyžaduje pozornosť
- Ovládač (kód v jadre) vie, ako obsluhu zariadenia uskutočniť
- Najjednoduchšia obsluha je priame volanie ovládača z obsluhy prerušenia (tak to robí xv6), ale je možná aj sofistikovanejšia schéma – pre obsluhu sa vytvorí a naplánuje vlastné vlákno jadra, prípadne sa obsluha viacerých prerušení spojí do jednej, atď.

Mechanizmus obsluhy prerušení

- Obsluha prerušenia NEBEŽÍ v kontexte procesu

- Čo to znamená pre xv6
  - `myproc()` môže vrátiť `0`
  - `copyin()`, `copyout()` sa nedajú použiť
  - Prečo?

Programovanie zariadenia

- Zväčša sa používa mapovanie pamäte

Programovanie zariadenia

- Zväčša sa používa mapovanie pamäte

- Pomocou virtuálnych adries je možné pristupovať priamo k interným registrom (pamäti) samotného zariadenia
- Priamo sa používajú inštrukcie `load`/`store`

Programovanie zariadenia

- Zväčša sa používa mapovanie pamäte
- Pomocou virtuálnych adries je možné pristupovať priamo k interným registrom (pamäti) samotného zariadenia
- Priamo sa používajú inštrukcie `load`/`store`
- Programovanie UART viď napr. na: byterunner.com/16550.html

Prípadová štúdia xv6: $ ls

Prípadová štúdia xv6: $ ls

- Výpis znaku $ na konzolu
  - Ovládač pošle znak do FIFO **odosielacej** fronty UART zariadenia
  - UART vygeneruje prerušenie, keď sa znak pošle, čím informuje ovládač, že môže poslať ďalší znak

Prípadová štúdia xv6: $ ls

- Výpis znaku $ na konzolu
  - Ovládač pošle znak do FIFO **odosielacej** fronty UART zariadenia
  - UART vygeneruje prerušenie, keď sa znak pošle, čím informuje ovládač, že môže poslať ďalší znak
- Načítanie a výpis ‘ls’
  - Používateľ stlačí klávesu, čo spôsobí prerušenie UART
  - Ovládač načíta znak z FIFO **prijímacej** fronty UART

Ako jadro rozozná zariadenia

Ako jadro rozozná zariadenia

- Každé zariadenie má jedinečné číslo zdroja IRQ (*Interrupt ReQuest*)

- IRQ je definované hw platformou (medzi platformami sa zväčša IRQ čísla líšia)
  - V Qemu má `UART0` pridelené IRQ 10 (viď `kernel/memlayout.h`)
  - Na doske SiFive má `UART0` iné IRQ číslo

Podpora prerušení na RISC-V CPU

Podpora prerušení na RISC-V CPU

- `sie` (*supervisor interrupt enable register*)
  - bity pre sw prerušenie, externý zdroj a časovač
- `sip` (*supervisor interrupt pending register*)
  - bity pre sw prerušenie, externý zdroj a časovač
- `sstatus` (*supervisor status register*)
  - jeden bit určujúci, či sú prerušenia zapnuté

Podpora prerušení na RISC-V CPU

- `scause` (*supervisor cause register*)
  - Číslo prerušenia
- `stvec` (*supervisor trap vector register*)
  - Adresa kódu obsluhy prerušení
- `mideleg` (*machine interrupt delegate register*)
  - Všetky výnimky (teda aj prerušenia) sa štandardne obsluhujú obsluhou v **M-móde**
  - Register `mideleg` umožňuje nastaviť automatické smerovanie prerušení do obsluhy v **S-móde**

Inicializácia prerušení v xv6

kernel/start.c start()

w_sie(r_sie() | SIE_SEIE|SIE_STIE|SIE_SSIE)

kernel/main.c main()

consoleinit()

uartinit()

plicinit()/plicinithart()

scheduler()

intr_on()

w_sstatus(r_sstatus() | SSTATUS_SIE)

Zobrazenie ‘$’

- user/init.c main()
  - Init otvára fd 0, 1, 2 pre konzolový vstup/výstup
  - Shell ich pomocou mechanizmu fork() zdedí

- Všetky zariadenia sa v systémoch typu UNIX interpretujú ako súbory
  - printf() → putc() → write()

Zobrazenie ‘$’

sys_write()

filewrite()

consolewrite() v kernel/console.c

uartputc()

- Vloženie znaku do FIFO UART
- Návrat do *userspace*
- Zároveň v tom istom čase UART posiela znak na konzolu

Zobrazenie ‘$’

- Shell v getcmd() vyvolal sys_read(), čaká na vstup

- UART po dokončení posielania znaku na konzolu vygeneruje prerušenie
- PLIC posunie prerušenie nejakému jadru CPU
- Čo urobí CPU?

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

1. Ak ide o *trap* zo zariadenia a SIE bit je 0, nepokračuj v spracovaní

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

1. Ak ide o *trap* zo zariadenia a SIE bit je 0, nepokračuj v spracovaní
2. Vypni spracovanie prerušení vynulovaním SIE

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

1. Ak ide o *trap* zo zariadenia a SIE bit je 0, nepokračuj v spracovaní
2. Vypni spracovanie prerušení vynulovaním SIE
3. Skopíruj `$pc` do `$sepc`

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

1. Ak ide o *trap* zo zariadenia a SIE bit je 0, nepokračuj v spracovaní
2. Vypni spracovanie prerušení vynulovaním SIE
3. Skopíruj `$pc` do `$sepc`
4. Uchovaj aktuálny mód (*user* alebo *supervisor*) do bitu SPP v `$sstatus`

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

1. Ak ide o *trap* zo zariadenia a SIE bit je 0, nepokračuj v spracovaní
2. Vypni spracovanie prerušení vynulovaním SIE
3. Skopíruj `$pc` do `$sepc`
4. Uchovaj aktuálny mód (*user* alebo *supervisor*) do bitu SPP v `$sstatus`
5. Nastav `$scause` podľa zdroja prerušenia

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

1. Ak ide o *trap* zo zariadenia a SIE bit je 0, nepokračuj v spracovaní
2. Vypni spracovanie prerušení vynulovaním SIE
3. Skopíruj `$pc` do `$sepc`
4. Uchovaj aktuálny mód (*user* alebo *supervisor*) do bitu SPP v `$sstatus`
5. Nastav `$scause` podľa zdroja prerušenia
6. Nastav mód CPU na *supervisor*

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

1. Ak ide o *trap* zo zariadenia a SIE bit je 0, nepokračuj v spracovaní
2. Vypni spracovanie prerušení vynulovaním SIE
3. Skopíruj `$pc` do `$sepc`
4. Uchovaj aktuálny mód (*user* alebo *supervisor*) do bitu SPP v `$sstatus`
5. Nastav `$scause` podľa zdroja prerušenia
6. Nastav mód CPU na *supervisor*
7. Skopíruj `$stvec` do `$pc`

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

1. Ak ide o *trap* zo zariadenia a SIE bit je 0, nepokračuj v spracovaní
2. Vypni spracovanie prerušení vynulovaním SIE
3. Skopíruj `$pc` do `$sepc`
4. Uchovaj aktuálny mód (*user* alebo *supervisor*) do bitu SPP v `$sstatus`
5. Nastav `$scause` podľa zdroja prerušenia
6. Nastav mód CPU na *supervisor*
7. Skopíruj `$stvec` do `$pc`
8. Pokračuj vykonávaním inštrukcie podľa `$pc`

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

- `$stvec` obsahuje buď adresu `kernelvec()` alebo `uservec()` (podľa toho, či je prerušenie vyvolané z *user* alebo *kernel* priestoru)

- Rovnaký mechanizmus sa používa aj pre výnimky a inštrukciu `ecall` (systémové volanie)

Čo robí CPU pri prijatí prerušenia?

kerneltrap()/usertrap() volajú devintr()

ak ide o externé prerušenie

plic_claim() zistí, o ktoré zariadenie ide

ak UART, uartintr()

pokým je znak na vstupe, vypíš ho

pošli na výstup aj znaky z vyrov. pamäte

plic_complete()

return z kernelvec()/uservec() obnoví prerušené vykonávanie kódu

Viaceré prerušenia súčasne

- Čo keď sa v jednom čase vyskytne viacero prerušení?

Viaceré prerušenia súčasne

- Čo keď sa v jednom čase vyskytne viacero prerušení?

- PLIC zabezpečuje, že každé zariadenie môže vygenerovať iba 1 prerušenie, pokým nie je obsluha dokončená
- To znamená, že súčasne sa môžu vyskytnúť prerušenia od rôznych zariadení

Viaceré prerušenia súčasne

- PLIC dokáže prideliť (alebo skôr CPU si dokáže prevziať od PLIC vo funkcii plic_claim()) spracovanie prerušenia rôznym jadrám CPU

Viaceré prerušenia súčasne

- PLIC dokáže prideliť (alebo skôr CPU si dokáže prevziať od PLIC vo funkcii plic_claim()) spracovanie prerušenia rôznym jadrám CPU
- Takže spracovanie viacerých prerušení MÔŽE prebiehať súčasne! (t. j. **paralelne**)

Viaceré prerušenia súčasne

- PLIC dokáže prideliť (alebo skôr CPU si dokáže prevziať od PLIC vo funkcii plic_claim()) spracovanie prerušenia rôznym jadrám CPU
- Takže spracovanie viacerých prerušení MÔŽE prebiehať súčasne! (t. j. **paralelne**)
- Ak žiadne jadro CPU neprevezme prerušenie na spracovanie, prerušenie ostáva nespracované (angl. *pending*), pokým ho niektoré jadro nespracuje

Prerušenia a konkurentnosť

- Prerušenia vnášajú problematiku viacerých typov konkurencie (angl. *concurrency*) vykonávania činnosti

Prerušenia a konkurentnosť

- Prerušenia vnášajú problematiku viacerých typov konkurencie (angl. *concurrency*) vykonávania činnosti

1. Medzi zariadením a CPU (problém producent/konzument)

Prerušenia a konkurentnosť

- Prerušenia vnášajú problematiku viacerých typov konkurencie (angl. *concurrency*) vykonávania činnosti

1. Medzi zariadením a CPU (problém producent/konzument)
2. Prerušenie užívateľského programu OK, ale čo prerušenie kódu jadra? Napr. userret() (riešenie – vypínanie prerušení, aby sme dosiahli atomicitu operácie)

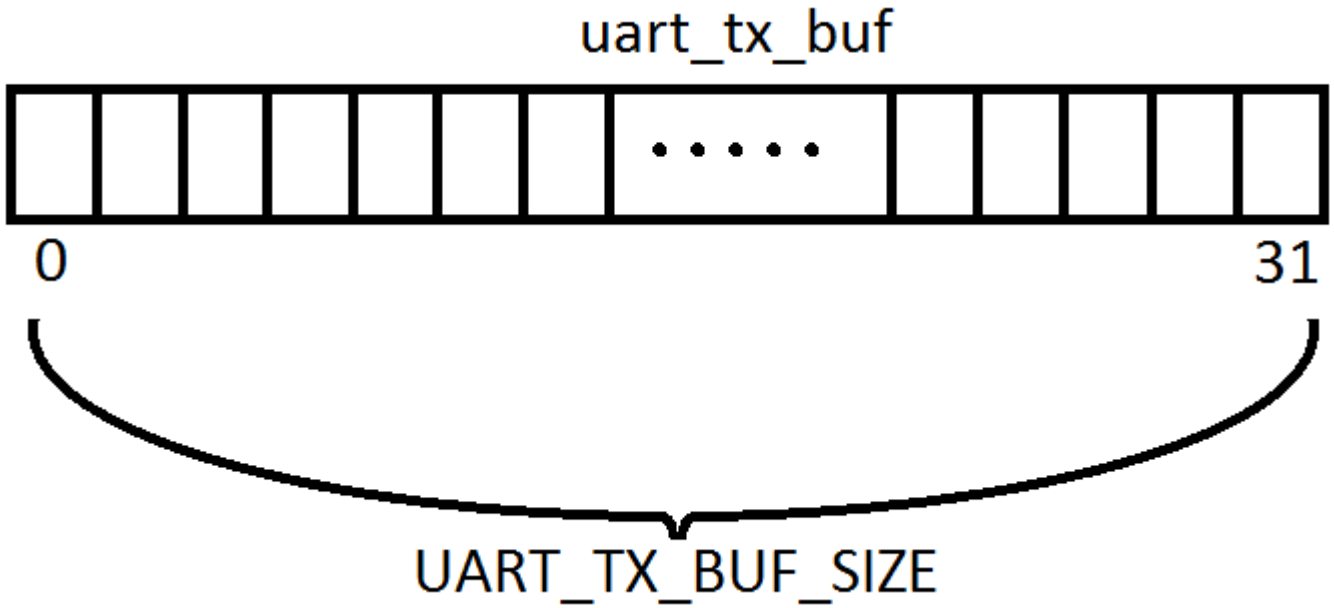
Prerušenia a konkurentnosť

- Prerušenia vnášajú problematiku viacerých typov konkurencie (angl. *concurrency*) vykonávania činnosti

1. Medzi zariadením a CPU (problém producent/konzument)
2. Prerušenie užívateľského programu OK, ale čo prerušenie kódu jadra? Napr. userret() (riešenie – vypínanie prerušení, aby sme dosiahli atomicitu operácie)
3. Paralelné vykonávanie rôznych častí kódu využívajúce tú istú pamäť (riešenie – zámky)

1. Producent/konzument

- Napríklad vypisovanie na monitor
  - Shell je producent
  - Zariadenie UART je konzument



1. Producent/konzument

- sys_write()→…→uartputc() v kernel/uart.c
  - Vkladá do `uart_tx_buf`
  - Ak je *buf* plný, čaká (stav procesu *SLEEPING*)
  - **Beží v kontexte procesu**!!! (systémové volanie)

- devintr()→…→uartintr()→uartstart()
  - Vyberá z `uart_tx_buf` a posiela na zariadenie
  - Ak je *buf* prázdny, nič neurobí
  - Budí z čakania producentov!
  - Vyvolané z devintr(), **nebeží v kontexte procesu**!!!

1. Producent/konzument

- Už vieme, ako sa vypíše prompt ‘$ ‘
- Teraz sa pozrieme na načítavanie znakov (napr. ‘ls’)

1. Producent/konzument

- Už vieme, ako sa vypíše prompt ‘$ ‘
- Teraz sa pozrieme na načítavanie znakov (napr. ‘ls’)

- Načítanie znakov z klávesnice
  - *shell* je konzument (`sys_read()`)
  - klávesnica je producent (pri stlačení sa generuje hw prerušenie)
  - Príslušný kód xv6 v kernel/console.c

1. Producent/konzument

- sys_read()→fileread()→consoleread()
  - Využíva cons.buf
  - Ak je *buffer* prázdny, proces sa uspí
  - **Volá sa v kontexte procesu**!!!

1. Producent/konzument

- sys_read()→fileread()→consoleread()
  - Využíva cons.buf
  - Ak je *buffer* prázdny, proces sa uspí
  - **Volá sa v kontexte procesu**!!!

- devintr()→…→uartintr()→consoleintr()
  - Vždy **mimo kontext procesu**!!!
  - Vkladá do cons.buf (čo ak je *buf* plný?)
  - Budí konzumentov čakajúcich na vstup z klávesnice
    - Za akej podmienky nastane prebudenie?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Čo v prípade, keď nejaké prerušenie preruší vykonávaný kód?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Čo v prípade, keď nejaké prerušenie preruší vykonávaný kód?

- Majme napríklad kód, ktorý alokuje na zásobníku miesto a uloží tam návratovú adresu:
  1. addi sp, sp, -48
  2. sd ra, 40(sp)
- Môže sa vykonať nejaký kód MEDZI riadkami 1 a 2?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Čo v prípade, keď nejaké prerušenie preruší vykonávaný kód?

- Majme napríklad kód, ktorý alokuje na zásobníku miesto a uloží tam návratovú adresu:
  1. addi sp, sp, -48
  2. sd ra, 40(sp)
- Môže sa vykonať nejaký kód MEDZI riadkami 1 a 2?
  - Áno, obsluha prerušení! Napríklad časovač, uart…

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Čo “hrozí” v takom prípade užívateľskému procesu?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Čo “hrozí” v takom prípade užívateľskému procesu?
  - Vykonávanie obsluhy pobeží v priestore jadra
  - Stav užívateľského programu bude obnovený v tej podobe, v akej bol pri vyvolaní výnimočného stavu spôsobeného prerušením

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Čo “hrozí” v takom prípade užívateľskému procesu?
  - Vykonávanie obsluhy pobeží v priestore jadra
  - Stav užívateľského programu bude obnovený v tej podobe, v akej bol pri vyvolaní výnimočného stavu spôsobeného prerušením
- Čo “hrozí” kódu jadra? Je to podobne jednoduché ako v prípade užívateľského kódu?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Majme nasledovné kódy jadra: bežiaci kód jadra a kód vykonávaný obsluhou prerušenia

bežiaci_kód:

```
x = 0
if (x == 0)
    f()
```

obsluha_prerušenia:

```
x = 1
```

- Ako je to s volaním funkcie **f()**?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Aby sa funkcia f() vždy zaručene vykonala, nesmie nastať prerušenie!
- Prečo?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Aby sa funkcia f() vždy zaručene vykonala, nesmie nastať prerušenie!
- Prečo?
  - Obsluha prerušenia môže byť vyvolaná iba na hranici inštrukcií, nie uprostred vykonávania nejakej inštr.
  - Predpokladáme, že nastavenie premennej (x = 0) a testovanie premennej (if x == 0) sú minimálne 2 inštrukcie!
  - Ak je na CPU povolená obsluha prerušení, medzi týmito dvoma riadkami kódu sa môže spustiť obsluha prerušenia, ktorá zmení hodnotu premennej x!

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Aby sa funkcia f() vždy zaručene vykonala, nesmie nastať prerušenie!

- Ako zabezpečiť “atomické” vykonanie nejakého bloku inštrukcií (riadkov kódu)?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Aby sa funkcia f() vždy zaručene vykonala, nesmie nastať prerušenie!

- Ako zabezpečiť “atomické” vykonanie nejakého bloku inštrukcií (riadkov kódu)?
- Vypnutím spracovania inštrukcií
  - Viď funkcia kernel/riscv.h: intr_off()
  - w_sstatus(r_sstatus() & ~SSTATUS_SIE);

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Aby sa funkcia f() vždy zaručene vykonala, nesmie nastať prerušenie!

- Ako zabezpečiť “atomické” vykonanie nejakého bloku inštrukcií (riadkov kódu)?
- Vypnutím spracovania inštrukcií
  - Viď funkcia kernel/riscv.h: intr_off()
  - w_sstatus(r_sstatus() & ~SSTATUS_SIE);
- Kde v kóde sa táto funkcia využíva? Môže jadro obsluhovať prerušenie v kóde trampolíny?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Vráťme sa k príkladu načítania vstupu z klávesnice – v akej funkcii sa nachádza kód jadra?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Vráťme sa k príkladu načítania vstupu z klávesnice. V akej funkcii sa nachádza kód jadra?

$ (shell je v sys_read(), aby získal vstup z kláv.)

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Vráťme sa k príkladu načítania vstupu z klávesnice. V akej funkcii sa nachádza kód jadra?

$ (shell je v sys_read(), aby získal vstup z kláv.)

usertrap() – vyvolané systémovým volaním (`ecall`)

w_stvec((uint64)kernelvec) !!!!!!!

…

consoleread()

sleep()

scheduler()

intr_on()

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

$ l (používateľ stlačil klávesu ‘l’, UART prerušenie)

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

$ I (používateľ stlačil klávesu ‘l’, UART prerušenie)

kernelvec() – pretože $stvec obsahuje túto adresu!!!

– na aký zásobník sa uložia registre CPU?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

kernelvec()

kerneltrap()

devintr()

uartintr()

c = uartgetc()

consoleintr(c)

obsluha špeciálnych sekvencií (ctrl)

poslanie znaku ‘l’ na výstup (uartput_sync())

vloženie c do cons.buf

zobudenie konzumentov v consoleread()

návrat z devintr()

návrat z kerneltrap()

obnovenie stavu registrov CPU

sret

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

kernelvec()

- kerneltrap()
  - devintr()
    - uartintr()
      - c = uartgetc()
      - consoleintr(c)
        - obsluha špeciálnych sekvencií (ctrl)
        - poslanie znaku ‘l’ na výstup (uartput_sync())
        - vloženie c do cons.buf
        - zobudenie konzumentov v consoleread()
      - návrat z devintr()
  - návrat z kerneltrap()

obnovenie stavu registrov CPU

sret

KAM sa vráti tok vykonávania inštrukciou `sret`?

2. Prerušenie preruší bežiaci kód

- Kam sa vráti tok riadenia inštrukciou `sret`?

- Tam, kde prišlo k prerušeniu bežiaceho kódu pri príchode prerušenia
- V našom prípade to je cyklus vo funkcii `scheduler()`

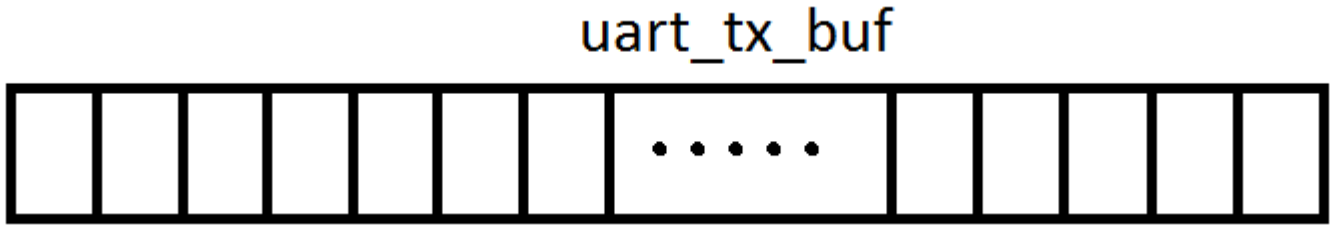
- Viď pomocou `make CPUS=1 qemu-gdb`

3. Konkurentný prístup k údajom

- Poslednou úrovňou konkurencie je prístup k tým istým pamäťovým oblastiam konkurentne/paralelne z rôznych tokov vykonávania kódu

3. Konkurentný prístup k údajom

- Príklad
  - majme dva užívateľské programy, každý sa vykonáva na samostatnom jadre CPU
  - nech sa oba programy v tom istom časovom okamihu pokúsia vykonať printf(“ahoj %d\n”, pid)
  - kernel/uartc.c: uartputc()



3. Konkurentný prístup k údajom

- Riešenie – použitie zámkov (angl. *lock*)

- Viď funkcie `acquire()` a `release()` v kernel/uart.c: `uartputc()`

3. Konkurentný prístup k údajom

- Riešenie – použitie zámkov (angl. *lock*)
- Viď funkcie `acquire()` a `release()` v kernel/uart.c: `uartputc()`
- Opakovanie: zámky sa využívajú na vynútenie vykonávania istej časti kódu iba jediným tokom riadenia

Vývoj prerušení

- Kedysi bol tento prístup navrhnutý a vyvinutý, aby urýchlil činnosť CPU
- V súčasnosti sú prerušenia príliš pomalé pre niektoré zariadenia
  - Napr. gigabit ethernet dokáže preniesť 1.5 milióna paketov za sekundu
  - To je viac než 1 za mikrosekundu
  - Spracovanie prerušenia trvá rádovo v mikrosekundách
  - Ako potom takéto zariadenia obsluhovať?

Vývoj prerušení

- Ak je obsluha prerušenia príliš pomalá klasickým prístupom, je možné využiť techniku “dopytovania sa”, tzv. *polling*

Vývoj prerušení

- Ak je obsluha prerušenia príliš pomalá klasickým prístupom, je možné využiť techniku “dopytovania sa”, tzv. *polling*
- CPU neustále v cykle kontroluje, či niektoré zariadenie nevyžaduje pozornosť
  - Toto čakanie v cykle je neefektívne (nevyužije sa CPU naplno), ak je zariadenie pomalé
  - Jeden príklad v xv6: uartputc_sync()
  - Ale ak je zariadenie mega super rýchle, šetrí sa čas CPU (žiadna zmena kontextu atď.)

Vývoj prerušení

- Ak je obsluha prerušenia príliš pomalá klasickým prístupom, je možné využiť techniku “dopytovania sa”, tzv. *polling*

- Prečo alebo kedy používať túto techniku?

Vývoj prerušení

- Ak je obsluha prerušenia príliš pomalá klasickým prístupom, je možné využiť techniku “dopytovania sa”, tzv. *polling*

- Prečo alebo kedy používať túto techniku?
- Ak je generovanie udalostí tak rýchle, že musia neustále čakať na spracovanie – vtedy nie je nutné o vygenerovaní udalosti informovať, pretože vieme, že vždy je k dispozícii nejaká udalosť čakajúca na spracovanie

Prerušenia vs *polling*

Prerušenia vs *polling*

- Pre zariadenia, ktoré chŕlia udalosti – *polling*
- Pre pomalé zariadenia (typu klávesnica) – *irq*

Prerušenia vs *polling*

- Pre zariadenia, ktoré chŕlia udalosti – *polling*
- Pre pomalé zariadenia (typu klávesnica) – *irq*

- Automatické prepínanie medzi oboma módmi činnosti
- Presmerovanie spracovania prerušení do užívateľského priestoru
  - Výpadky stránok
  - Obsluha nejakých zariadení (napr. disk, sieť)

Domáce čítanie a pozeranie

Chapter 5

Interrupts and device drivers

xv6: a simple, Unix-like teaching operating system

https://www.youtube.com/watch?v=Fcjychg4Tvk