Višeprocesorsko i višejezgreno planiranje

Klasifikacije višeprocesorskih sustava

Slabo spojeni ili distribuirani višeprocesorski sustav

- Sastoji se od zbirke relativno autonomnih sustava, pri čemu svaki procesor ima svoju glavnu memoriju i U/I kanale

Funkcionalno specijalizirani procesori

- Postoji glavni procesor opće namjene
- Specijalizirani procesori su pod kontrolom glavnog procesora

Čvrsto spojeni višeprocesorski sustavi

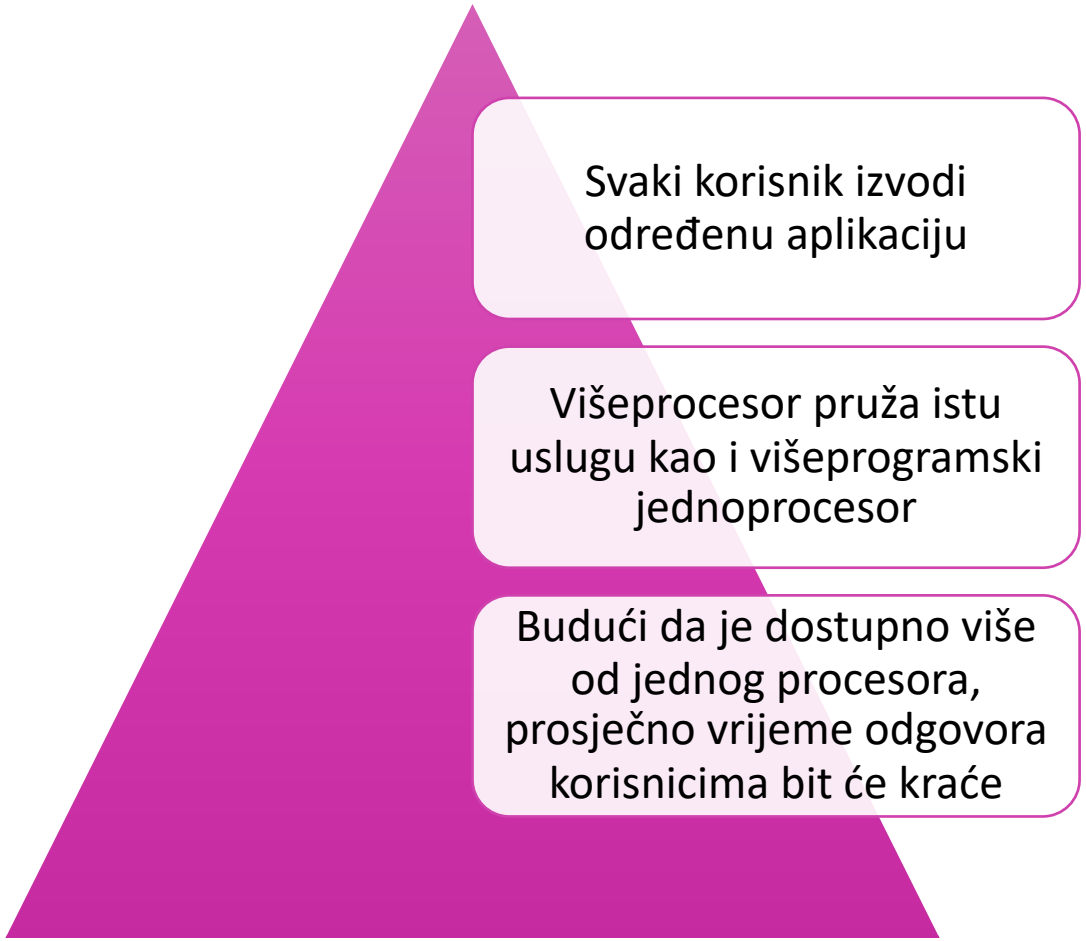
- Sastoji se od skupa procesora koji dijele zajedničku glavnu memoriju i koji su pod integriranom kontrolom operativnog sustava

Sinkronizacija granularnost

Veličina	Opis	Interval sinkronizacije
Fine	Paralelizam svojstven jednom toku instrukcija	**6-20**
Medium	Paralelna obrada ili multitasking unutar jedne aplikacije	**20-200**
Coarse	Višestruka obrada istodobnih procesa u višeprogramskom okruženju	**200-2000**
Very Coarse	Distribuirana obrada po mrežnim čvorovima kako bi se formiralo jedinstveno računalno okruženje	**2000-1000000**
Independent	Više nepovezanih procesa	**na**

Nezavisni paralelizam

- Nema eksplicitne sinkronizacije među procesima
  - Svaki predstavlja zasebni, neovisni posao
- Tipična upotreba je u sustavu dijeljenja vremena



Grubi i vrlo grubi paralelizam

- Postoji sinkronizacija među procesima, ali na vrlo gruboj razini
- Lako se obrađuje kao skup istodobnih procesa koji se izvode na višeprogramskom jednoprocesoru
- Može se podržati na višeprocesoru s malo ili bez promjene korisničkog softvera

Srednji paralelizam

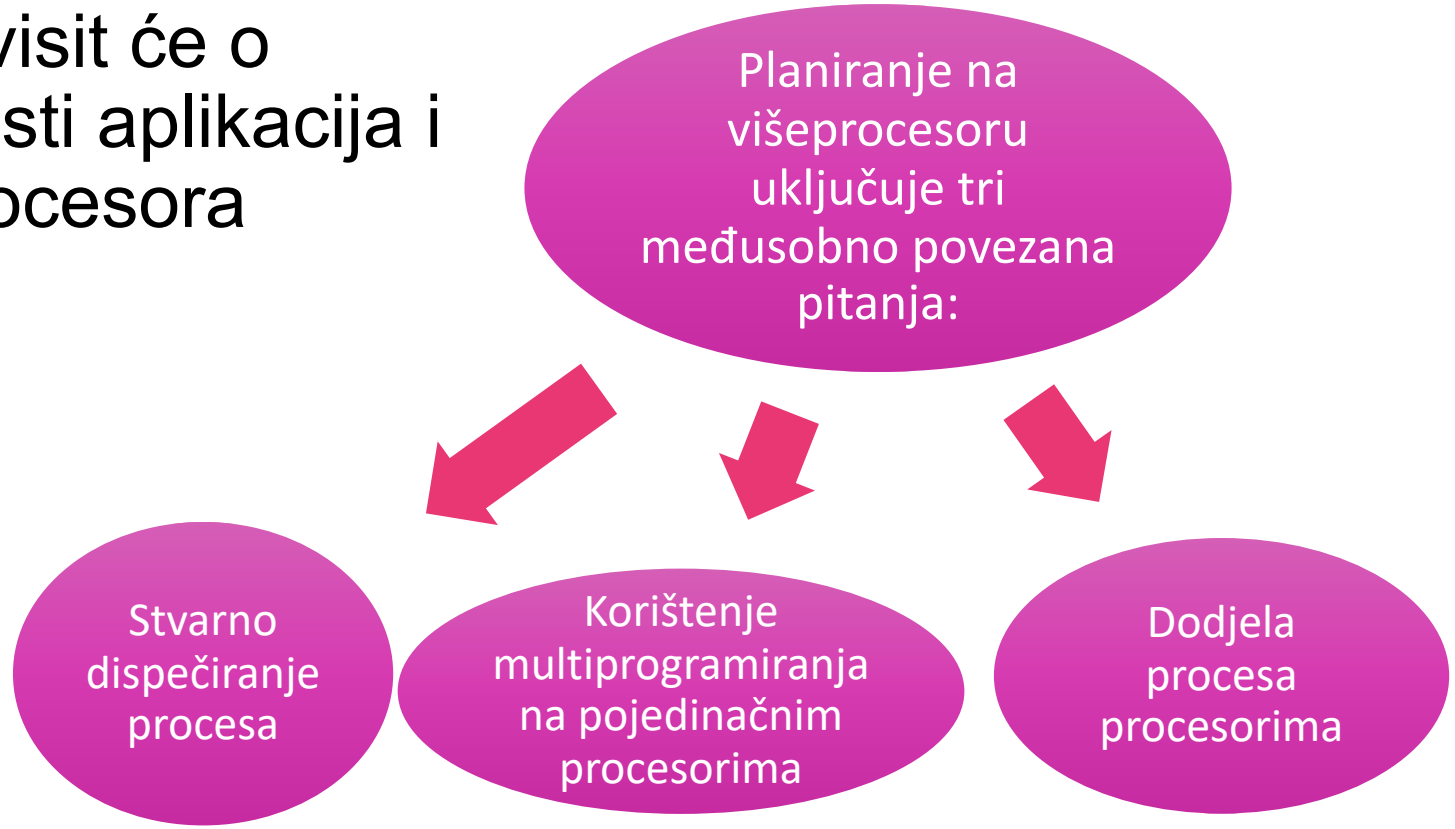
- Jedna aplikacija može se učinkovito implementirati kao zbirka niti unutar jednog procesa
  - Programer mora eksplicitno specificirati potencijalni paralelizam aplikacije
  - Mora postojati visok stupanj koordinacije i interakcije među nitima aplikacije, što dovodi do srednje razine sinkronizacije
- Budući da različite niti aplikacije međusobno djeluju tako često, odluke o rasporedu koje se odnose na jednu nit mogu utjecati na izvedbu cijele aplikacije

Fini paralelizam

- Predstavlja mnogo složeniju upotrebu paralelizma nego što se nalazi u upotrebi dretvi
- To je specijalizirano područje s mnogo različitih pristupa

Izazovi dizajna

- Poduzeti pristup ovisit će o stupnju granularnosti aplikacija i broju dostupnih procesora



Dodjela procesa procesorima

- Nedostatak statičke dodjele je da jedan procesor može biti u stanju mirovanja dok drugi procesor ima zaostatake
  - Kako bi se spriječila ova situacija, može se koristiti uobičajeni red čekanja
  - Druga opcija je dinamičko balansiranje opterećenja

Dodjela procesa procesorima

- I dinamičke i statičke metode zahtijevaju neki način dodjeljivanja procesa procesoru
- Pristupi:
  - Master/Slave
  - Peer

Master/Slave arhitektura

- Ključne funkcije kernela uvijek rade na određenom procesoru
- Master je odgovoran za dodjeljivanje procesorskog vremena
- Slave šalje zahtjev za uslugu masteru
- Jednostavan je i zahtijeva malo poboljšanja jednoprocesorskog operacijskog sustava za više programa
- Rješavanje sukoba je pojednostavljeno jer jedan procesor ima kontrolu nad svim memorijskim i I/O resursima

Nedostaci:

- Neuspjeh Mastera ruši cijeli sustav
- Master može postati usko grlo u izvedbi

Peer arhitektura

- Kernel se može izvršiti na bilo kojem procesoru
- Svaki procesor vrši samododjeljivanje iz skupa dostupnih procesa

Komplicira operaciski sustav
• Operaciski sustav mora osigurati da dva procesora ne odaberu isti proces i da se procesi na neki način ne izgube iz reda čekanja

Planiranje procesa

- U većini tradicionalnih višeprocesorskih sustava procesi nisu dodjeljeni procesorima
- Za sve procesore koristi se jedan red čekanja
  - Ako se koristi neka vrsta prioritetne sheme, postoji više redova koji se temelje na prioritetu, a svi se unose u zajednički skup procesora
- Sustav se promatra kao arhitektura čekanja na više poslužitelja

Planiranje dretvi

- Izvršenje dretvi je odvojeno od ostatka definicije procesa
- Aplikacija može biti skup dretvi koje surađuju i izvršavaju se istodobno u istom adresnom prostoru
- Na jednoprocesoru, dretve se mogu koristiti kao pomoć pri strukturiranju programa i za preklapanje U/I s obradom
- U višeprocesorskom sustavu dretve se mogu koristiti za iskorištavanje istinskog paralelizma u aplikaciji
- Dramatični dobici u performansama mogući su u višeprocesorskim sustavima
- Male razlike u upravljanju dretvama i planiranju mogu imati utjecaj na aplikacije koje zahtijevaju značajnu interakciju među dretvama

Pristupi planiranju dretvi

Dijeljenje opterećenja

- Najjednostavniji pristup i onaj koji se najviše prenosi iz jednoprocesorskog okruženja

Prednosti:
• Opterećenje se ravnomjerno raspoređuje na procesore, osiguravajući da nijedan procesor nije u stanju mirovanja dok ima zadataka • Nije potreban centralizirani planer

- Verzije dijeljenja opterećenja:
  - First-come-first-served (FCFS)
  - Najprije najmanji broj dretvi
  - Preventivno prvi najmanji broj dretvi

Nedostaci dijeljenja opterećenja

- Središnji red čekanja zauzima područje memorije kojem se mora pristupiti na način koji provodi međusobno isključivanje
  - Može dovesti do uskih grla
- Malo je vjerojatno da će preventivne dretve nastaviti s izvršavanjem na istom procesoru
  - Keširanje može postati manje učinkovito
- Ako se sve dretve tretiraju kao zajednički skup dretvi, malo je vjerojatno da će sve dretve programa dobiti pristup procesorima u isto vrijeme
  - Promjene procesa mogu ugroziti performanse

Grupno planiranje

- Istovremeno raspoređivanje dretvi koje čine jedan proces

Benefits:
• Synchronization blocking may be reduced, less process switching may be necessary, and performance will increase • Scheduling overhead may be reduced

- Korisno za srednje i fino paralelne aplikacije čija se izvedba ozbiljno pogoršava kada bilo koji dio aplikacije nije pokrenut dok su drugi dijelovi spremni za rad
- Također je korisno za svaku paralelnu primjenu

Dodjela namjenskog procesora

- Kada je aplikacija zakazana, svaka njena dretva dodjeljuje se procesoru koji ostaje posvećen toj dretvi dok se aplikacija ne završi
- Ako je nit aplikacije blokirana čekajući U/I ili sinkronizaciju s drugom dretvom, tada procesor te dretve ostaje neaktivan
  - Nema multiprogramiranja procesora
- Prednosti strategije:
  - U vrlo paralelnom sustavu, s desecima ili stotinama procesora, iskorištenost procesora više nije toliko važna kao metrika učinkovitosti ili performansi
  - Potpuno izbjegavanje promjene procesa tijekom životnog vijeka programa trebalo bi rezultirati značajnim ubrzanjem tog programa

Dinamičko planiranje

- Za neke aplikacije moguće je osigurati jezične i sistemske alate koji dopuštaju da se broj dretvi u procesu dinamički mijenja
  - To bi omogućilo operaciskom sustavu da prilagodi opterećenje kako bi se poboljšala iskorištenost
- I operaciski sustav i aplikacija sudjeluju u donošenju odluka o rasporedu
- Odgovornost za raspoređivanje operacijskog sustava prvenstveno je ograničena na dodjelu procesora
- Ovaj pristup je superiorniji od grupnog raspoređivanja ili dodjele procesora za aplikacije koje ga znaju iskoristiti

Dijeljenje predmemorije

Kooperativno dijeljenje resursa

- Više dretvi pristupa istom skupu lokacija glavne memorije
- Primjeri:
  - Aplikacije koje su višedretvene
  - Interakcija dretvi

Natjecanje za resurse

- Dretve, ako rade na susjednim jezgrama, natječu se za mjesto u predmemoriji
- Ako je više predmemorije dinamički dodijeljeno jednoj dretvi, konkurentska dretva nužno ima manje dostupnog prostora predmemorije i stoga trpi degradaciju performansi
- Cilj planiranja sukoba je dodijeliti dretve jezgrama kako bi se povećala učinkovitost dijeljene predmemorije i minimizirala potreba za pristupima vanjskoj memoriji

Planiranje na Linux-u

- Tri primarne Linux raspoređivanja su:
  - SCHED_FIFO: First-in-first-out planiranje – real-time
  - SCHED_RR: Round-robin planiranje – real-time
  - SCHED_NORMAL: Druge dretve – non real-time
- Unutar svake klase može se koristiti više prioriteta, s prioritetima u klasama u stvarnom vremenu višim od prioriteta za klasu SCHED_NORMAL

Non-Real-Time planiranje

- Planer za Linux 2.4 za klasu SCHED_OTHER nije se dobro skalirao s povećanjem broja procesora i povećanjem broja procesa
- Nedostaci ovog planera uključuju:
  - Planer za Linux 2.4 koristi jedan red za izvođenje za sve procesore u simetričnom višeprocesnom sustavu (SMP)
    - To znači da se zadatak može dodjeliti na bilo koji procesor, što može biti dobro za balansiranje opterećenja, ali loše za korištenje predmemorije
  - Planer za Linux 2.4 koristi zaključavanje u redu čekanja
    - Dakle, u SMP sustavu, čin odabira zadatka za izvršenje blokira bilo koji drugi procesor od manipuliranja redovima za izvođenje, što rezultira neaktivnim procesorima koji čekaju otpuštanje zaključavanja čekanja i smanjenom učinkovitosti
  - Preuzimanje nije moguće u Linux 2.4 planeru
    - To znači da se zadatak nižeg prioriteta može izvršiti dok je zadatak višeg prioriteta čekao da se dovrši

Non-Real-Time planiranje

- Linux 2.6 koristi potpuno novi planer prioriteta poznat kao planer O(1).
- Planer je dizajniran tako da je vrijeme za odabir odgovarajućeg procesa i dodjeljivanje procesoru konstantno bez obzira na opterećenje sustava ili broj procesora
- Pokazalo se da je planer O(1) glomazan u kernelu jer je količina koda velika, a algoritmi složeni

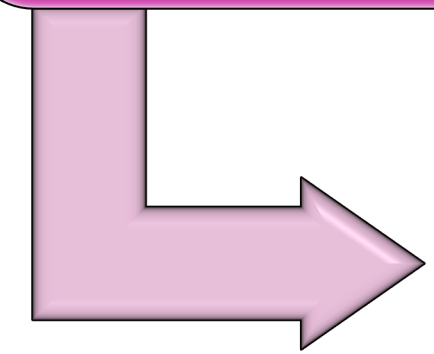
Potpuno pošten raspored
Completely Fair Scheduler (CFS)

- Koristi se kao rezultat nedostataka planera O(1).
- Modelira idealan višezadačni procesor na stvarnom hardveru koji pruža pošten pristup svim zadacima
- Kako bi se postigao ovaj cilj, CFS održava virtualno vrijeme izvođenja za svaki zadatak
  - Virtualno vrijeme izvođenja je količina vremena provedenog u izvršavanju, normalizirano brojem pokretanih procesa
  - Što je manje virtualno vrijeme izvođenja zadatka, to je veća potreba za procesorom
- Uključuje koncept pravednosti spavanja kako bi se osiguralo da zadaci koji se trenutno ne mogu izvoditi dobiju usporediv udio procesora kada im to na kraju zatreba
- Implementirano klasom rasporeda *fair_sched_class*

Crveno crno drvo - Red Black Tree

CFS planer se temelji na korištenju crveno-crnog stabla, za razliku od drugih planera, koji se obično temelje na redovima za izvođenje

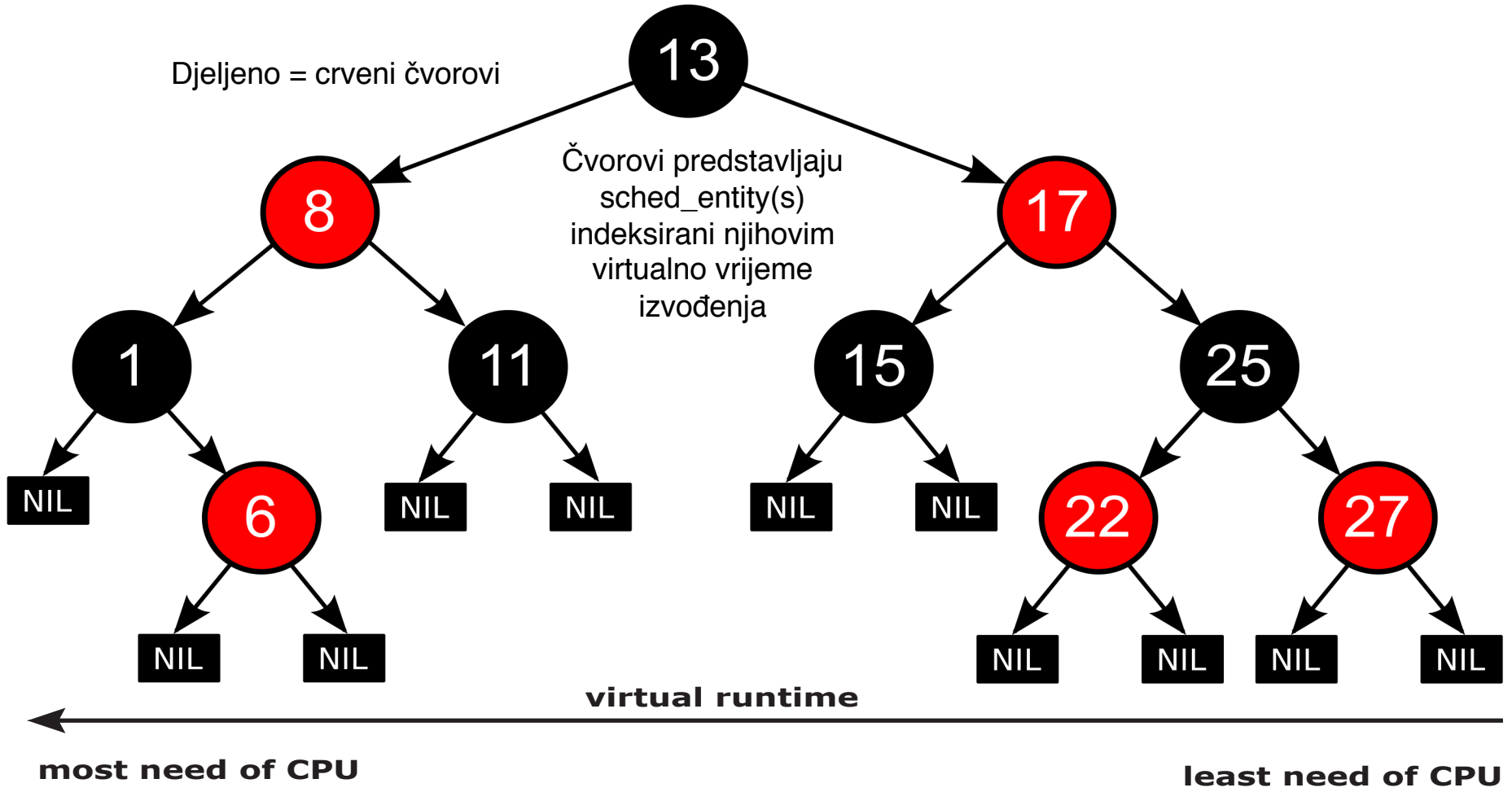
- Ova shema pruža visoku učinkovitost u dodavanju, brisanju i traženju zadataka, zbog svoje O(log N) složenosti



Crveno crno stablo je vrsta samobalansirajućeg binarnog stabla pretraživanja koje poštuje sljedeća pravila:

- Čvor je crven ili crn
- Korijen je crn
- Svi listovi (NIL) su crni
- Ako je čvor crven, tada su oba njegova djeteta crna
- Svaki put od zadanog čvora do bilo kojeg od njegovih NIL čvorova potomaka sadrži isti broj crnih čvorova

Primjer Red Black Tree za CFS



UNIX SVR4 planiranje

- Potpuna revizija algoritma raspoređivanja korištenog u ranijim UNIX sustavima

Novi algoritam je osmišljen tako da daje:

- Najveća prednost procesima u stvarnom vremenu
- Sljedeća najveća prednost za procese u kernel načinu rada
- Najniža prednost u korisničkom načinu rada

- Glavne izmjene:
  - Dodavanje statičkog rasporeda prioriteta i uvođenje skupa od 160 razina prioriteta podijeljenih u tri klase prioriteta
  - Umetanje točaka prednosti

Klase prioriteta kod UNIX SVR

Real time (159 – 100)

Zajamčeno da će biti odabran za pokretanje prije bilo kojeg kernela ili procesa dijeljenja vremena

Može se koristiti točkama prekida da bi unaprijedio procese kernela i korisničke procese

Kernel (99 – 60)

Zajamčeno da će biti odabran za pokretanje prije bilo kojeg procesa dijeljenja vremena, ali se mora odgoditi procesima u stvarnom vremenu

Time-shared (59-0)

Procesi najnižeg prioriteta, namijenjeni korisničkim aplikacijama koje nisu aplikacije u stvarnom vremenu

Klase planiranja na FreeBSD sustavu

Prioritet	Tip dretve	Opis
0–63	Niska razina jezgre	**Planirano s prekidima. Može biti blokiran radi čekanja resursa**
64–127	Visoka razina jezgre	**Radi dok se ne blokira ili ne završi. Može biti blokiran radi čekanja resursa**
128–159	Korisničke aplikacije u stvarnom vremenu	**Dopušteno izvođenje dok se ne blokira ili dok dretve višeg prioriteta ne zatraže pristup. Preventivno planiranje**
160–223	Korisničke aplikacije	**Prilagođava prioritete na temelju korištenja procesora**
224–255	Neaktivni korisnik	**Pokreće se samo kada nema drugih dretvi**
Napomena: Niži broj odgovara višem prioritetu.		

Podrška za SMP i više jezgri

- FreeBSD planer je dizajniran da osigura učinkovito planiranje za SMP ili višejezgreni sustav
- Ciljevi dizajna:
  - Koristi afinitet procesora u SMP i višejezgrenim sustavima
    - Afinitet procesora – planer koji migrira dretvu samo kada je potrebno kako bi se izbjegao neaktivan procesor
  - Omogućite bolju podršku za višedretvenost na višejezgrenim sustavima
  - Poboljšava izvedbu algoritma za planiranje tako da više nije funkcija broja dretvi u sustavu

Interaktivnost

- Dretve se smatra interaktivnom ako je omjer njenog vremena mirovanja u odnosu na vrijeme izvođenja ispod određenog praga
- Prag interaktivnosti definiran je u kodu planera i ne može se konfigurirati

Migracija dretvi

- Afinitet procesora omogućuje dretvi koja je spremna da se izvrši na istom procesoru na kojem je radila
  - Značajno zbog predmemorija procesora

Planiranje - Windows

- Prioriteti u sustavu Windows organizirani su u dva pojasa:

Prioritetna klasa u stvarnom vremenu

- Sve dretve imaju fiksni prioritet koji se nikada ne mijenja
- Sve aktivne dretve na danoj razini prioriteta nalaze se u round-robin redu

Varijabilna klasa prioriteta

- Prioritet dretve počinje s početnom vrijednošću i može privremeno povečavati tijekom životnog ciklusa dretve

- Svaki pojas se sastoji od 16 razina prioriteta
- Dretve koje zahtijevaju trenutnu pozornost su u Real-time klasi
  - Uključite funkcije kao što su komunikacija i zadaci u stvarnom vremenu

Višeprocesorsko planiranje

- Windows podržava višeprocesorske i višejezgrene hardverske konfiguracije
- Dretve bilo kojeg procesa mogu se izvoditi na bilo kojem procesoru
- U nedostatku ograničenja afiniteta, planer dodjeljuje spremnu dretvu sljedećem dostupnom procesoru
- Više dretvi iz istog procesa može se izvršavati istovremeno na više procesora
- Meki afinitet
  - Koristi se kao zadana postavka
  - Planer pokušava dodijeliti spremnu dretvu istom procesoru na kojem je zadnji put radio
- Teški afinitet
  - Aplikacija ograničava svoje izvođenje dretvi samo na određene procesore
  - Ako je dretva spremna za izvršavanje, ali jedini dostupni procesori nisu u njezinom skupu afiniteta procesora, tada je dretva prisiljena čekati, a kernel planira sljedeću dostupnu dretvu

Sažetak

- Višeprocesorsko i višejezgreno raspoređivanje
  - Granularnost
  - Problemi dizajna
  - Planiranje procesa
  - Raspored dretvi
  - Raspored višejezgrenih dretvi
- Planiranje - Linux
  - Real-time i Non-real-time
- Planiranje UNIX FreeBSD
  - Klase prioriteta
  - SMP i višejezgrenost
- Planiranje Windows
  - Prioriteti

Thank you for your attention!