POLITECNICO DI MILANO





Scheduling

Laboratorio Software 2008-2009
C. Brandolese

Introduzione

Lo scheduling

- Ha lo scopo di decidere quale processo eseguire in un dato istante
- Si realizza mediante un componente specifico del sistema operativo
  - Lo scheduler

Possono esistere diversi scheduler con diversi obiettivi

- Massimizzare il throughput
- Minimizzare la latenza
- Evitare che un processo non venga mai eseguito
- Completare un processo entro un tempo predefinito
- Massimizzare la percentuale di utilizzo del processore

Riferimenti – Deitel&Deitel, Cap. 8

Livelli di scheduling

In un sistema operativo si hanno diversi livelli di scheduling

Scheduling di lungo termine (long-term)

- Determina quali processi iniziare
  - New → Ready, New → Ready-Suspend
- Controlla il numero di processi in un sistema

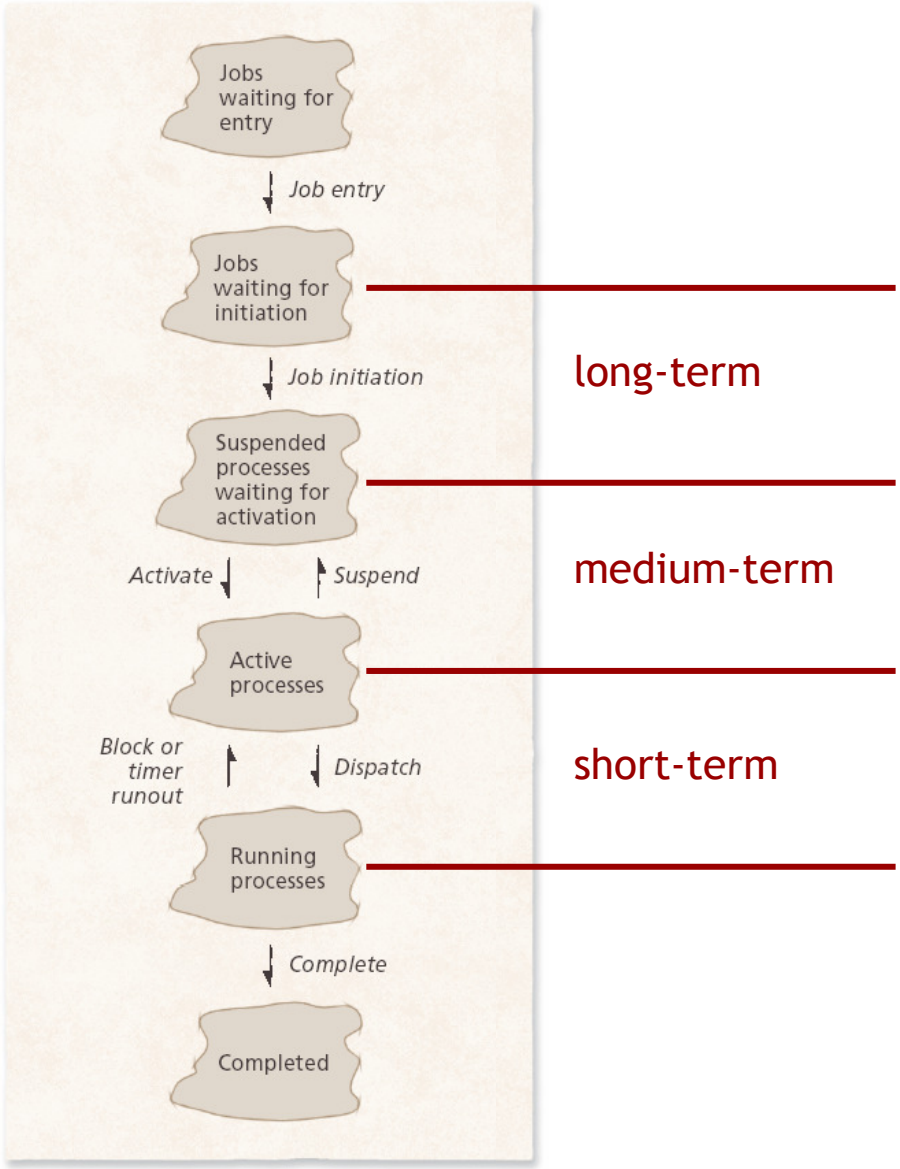
Scheduling di medio termime (medium-term)

- Determina quali processi possono competere per il processore
  - Ready ↔ Ready-Suspend, Blocked ↔ Blocked-Suspend
- Reagisce alle fluttuazioni di breve durata nel carico del sistema

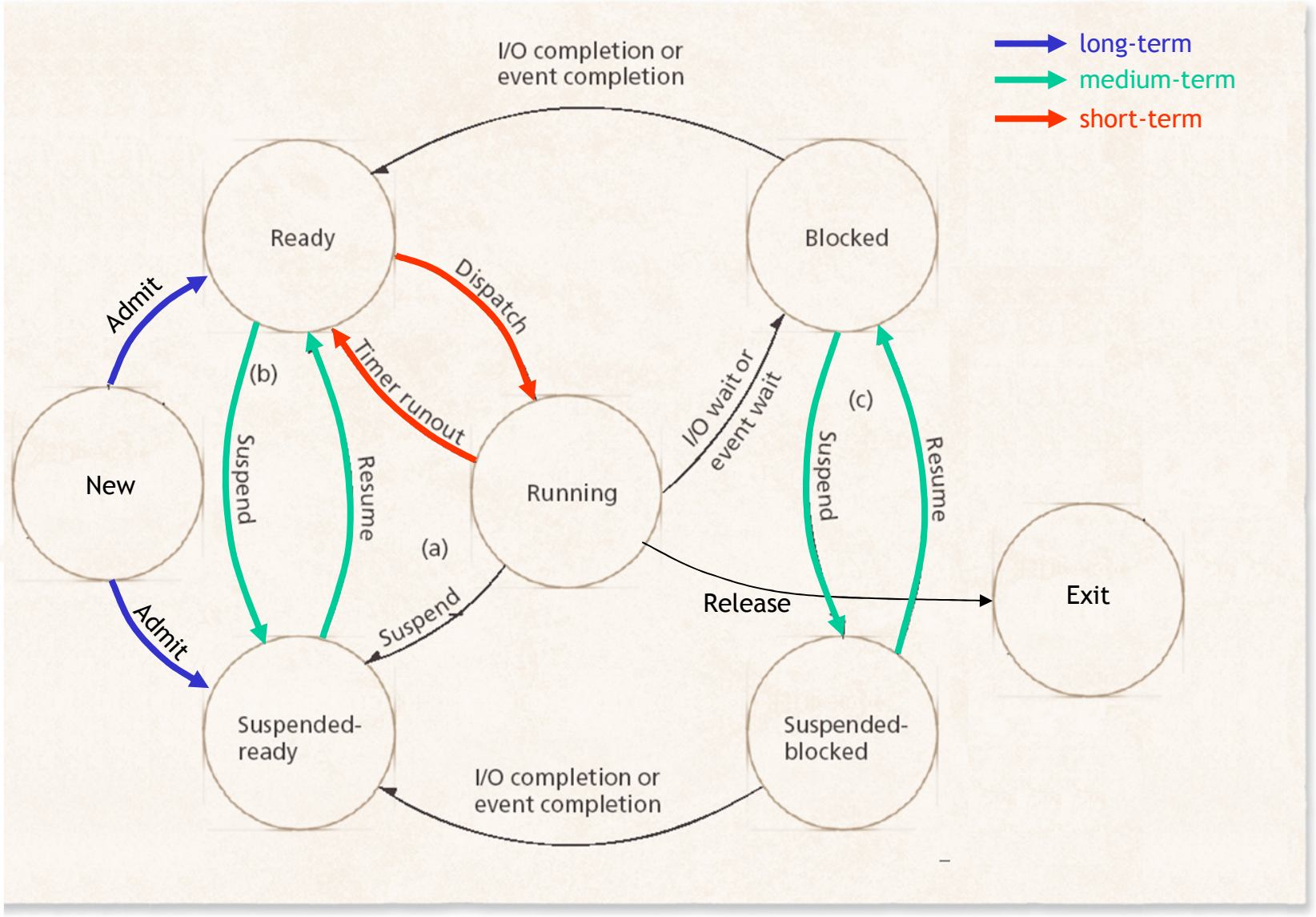
Scheduling di breve termine (short-term)

- Assegna il processore ai processi
  - Ready ↔ Running
- Gestisce le priorità

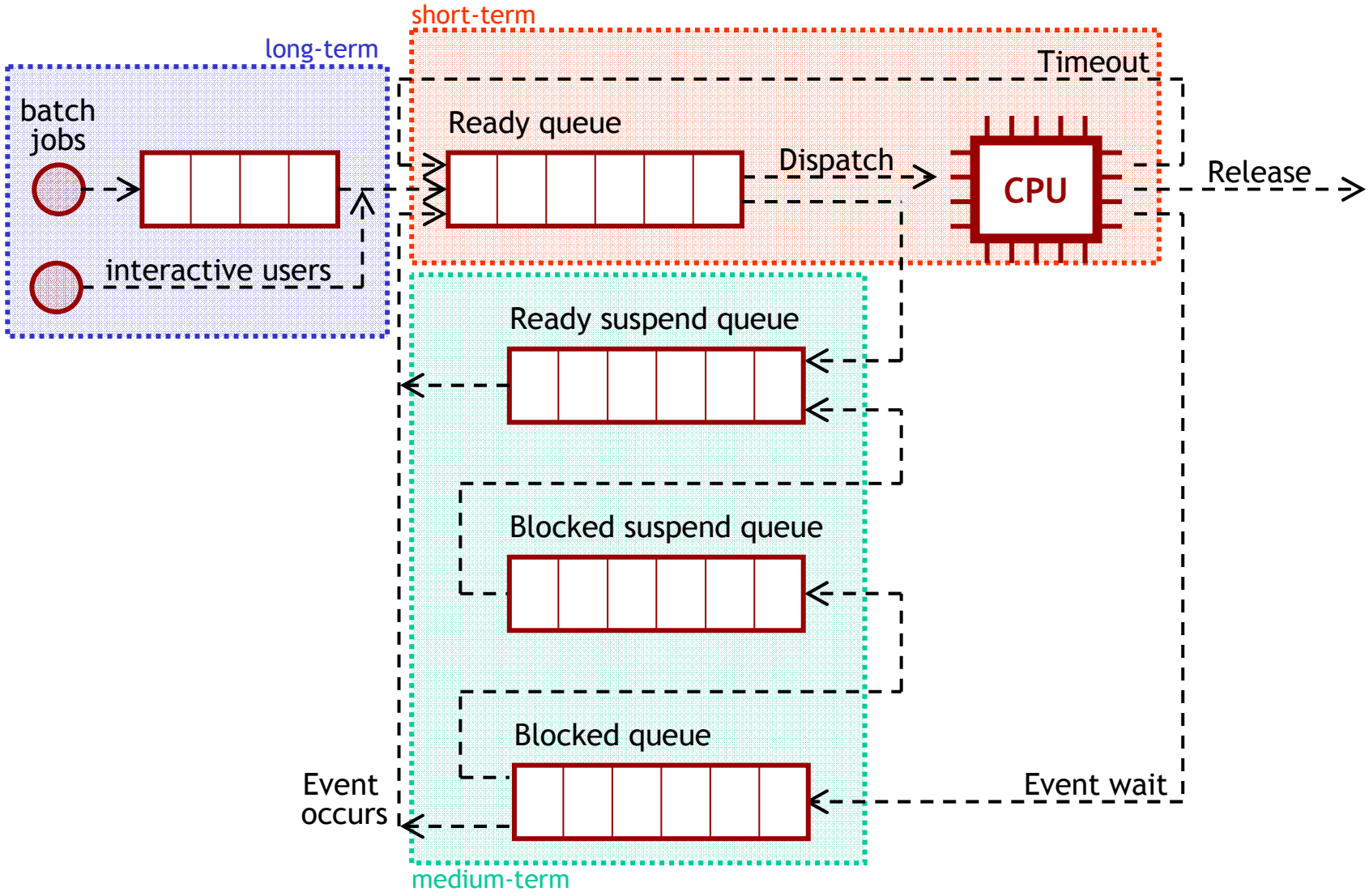
Livelli di scheduling



Livelli di scheduling



Livelli di schduling



Dispatcher

Lo scheduler di breve periodo

- È detto dispatcher
- È quello eseguito più frequentemente

Viene invocato quando si verifica un evento

- I/O e clock interrupt
- Chiamata di sistema
- Segnale

Criteri di scheduling di breve termine

- User-oriented
  - Minimizzare il “response time”
- System-oriented
  - Utilizzo efficiente del processore

Preemption

Le politiche di scheduling e/o i singoli processi possono essere

- Preemptive o interrompibili
- Nonpreemptive o non-interrompibili

Preemptive

- Possono essere rimossi dal processore cui sono assegnati
- Possono migliorare il tempo di risposta
- Sono molto utili in ambienti fortemente interattivi
- I processi interrotti rimangono in memoria

Nonpreemptive

- Sono esguiti fino al completamento o fino a che non cedono il controllo del processore deliberatamente
- Un processo può bloccarne un altro per un termpo impredicibile e potenzialmente infinito

Priorità

Uno schedule prende decisioni in base alle priorità dei processi

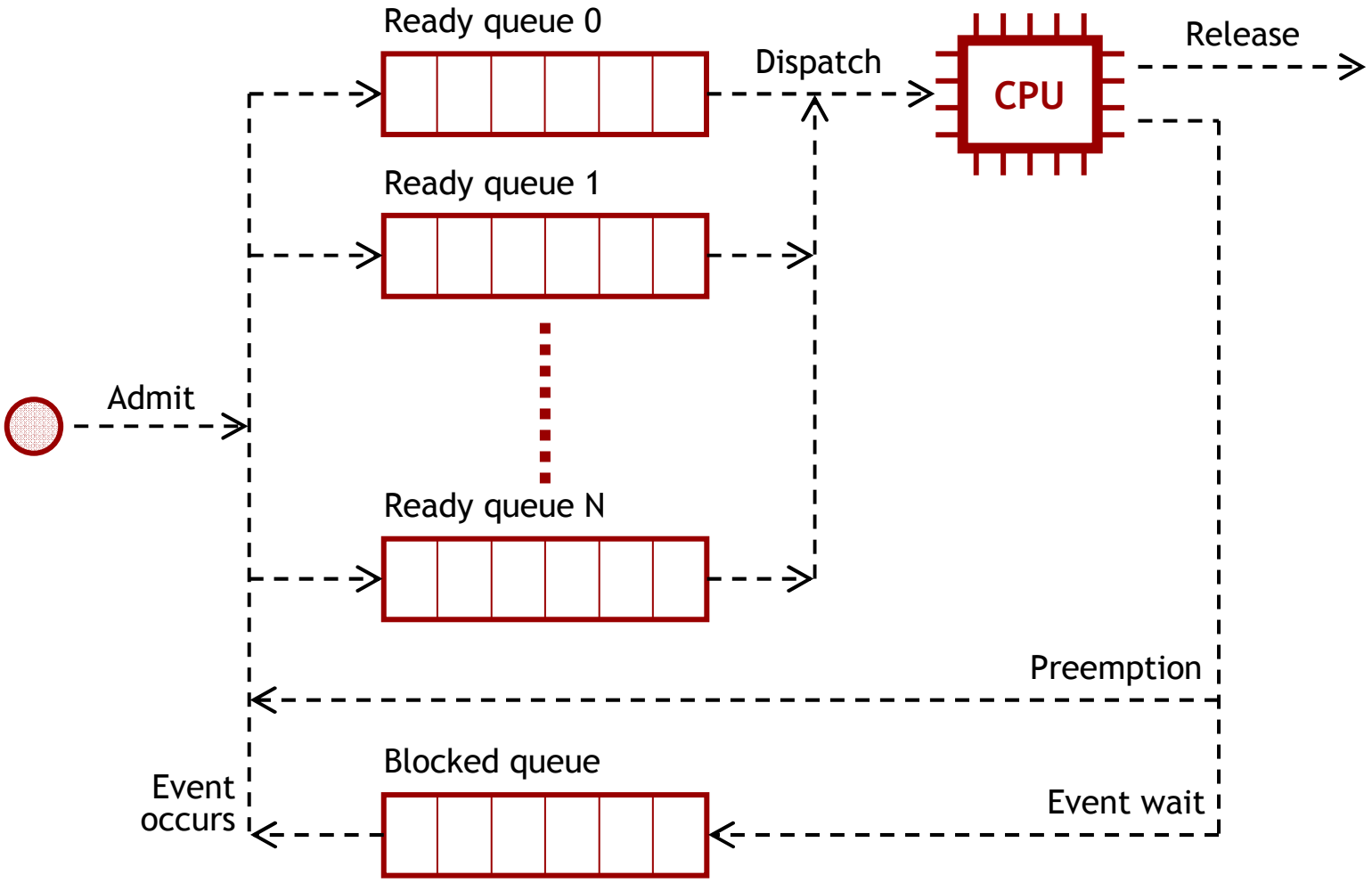
Priorità statica

- La priorità assegnata ad un processo alla creazione non cambia
- Facile da implementare
- Basso overhead
- Non permette al sistema di reagire in modo efficiente ai cambiamenti dell'ambiente, per esempio al carico

Priorità dinamica

- Reattiva ai cambiamenti dell'ambiente
- Consente una buona interattività
- Richiede un maggiore overhead rispetto alla soluzione statica
  - Tale aumento è giustificato dalla maggiore responsività

Priorità


Ready queue 0
Dispatch
CPU
Release
Ready queue 1
Admit
Ready queue N
Preemption
Blocked queue
Event
occurs
Event wait

Algoritmi

Obiettivi dello scheduling

- Massimizzare il throughput
- Massimizzare il numero di processi interattivi in grado di avere un tempo di risposta accettabile
- Minimizzare l'utilizzo delle risorse
- Evitare che un processo venga ritardato indefinitamente
- Definire e garanti re il rispetto delle priorità
- Minimizzare l'overhead

Alcuni aspetti sono comuni a tutti gli algoritmi

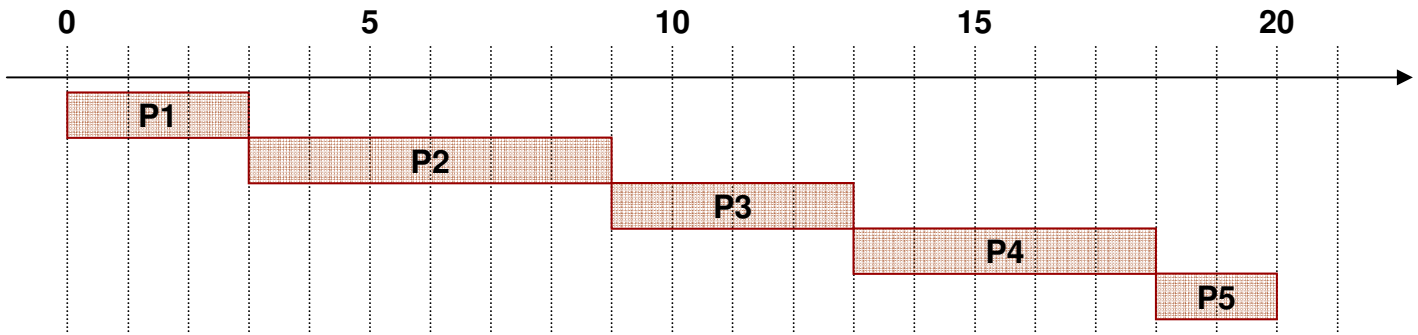
- Fairness
- Predicibilità
- Scalabilità

FIFO o FCFS – First-Come, First-Serve

Caratteristiche

- È lo schema di scheduling nonpreemptive più semplice possibile
- I processi vengono serviti (dispatched) in base all'arrival time

Processo	Arrival time	Service (run) time
P1	0	3
P2	2	6
P3	4	4
P4	6	5
P5	8	2



- Tempi di attesa: P1=0, P2=1, P3=5, P4=7, P5=10
- Tempo medio di attesa: (0+1+5+7+10)/5=4.6

FIFO o FCFS – First-Come, First-Serve

Funzionamento

- Ogni nuovo processo viene inserito nella coda dei processi ready
- Quando il processo corrente termina
  - Lo scheduler decide il prossimo processo da eseguire
  - Lo scheduler analizza la coda dei processi ready e sceglie il più vecchio

Limitazioni

- Un processo molto breve potrebbe dover attendere un tempo anche molto lungo prima di essere servito
- Favorisce i processi CPU-bound
- I processi I/O-bound devono attendere la terminazione dei processi CPU-bound

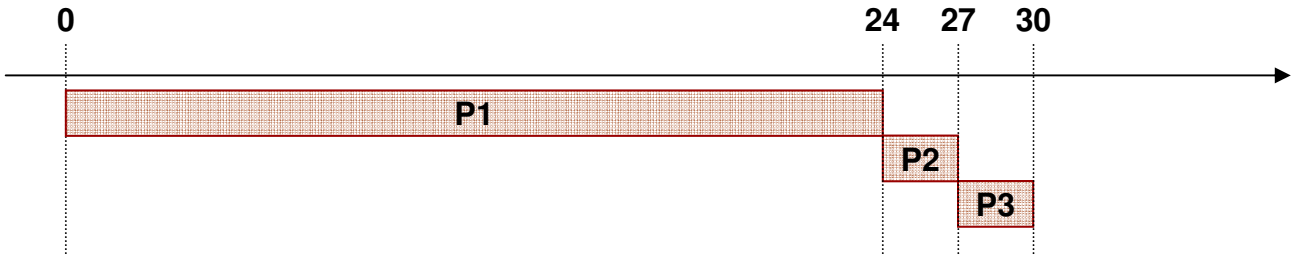
FIFO o FCFS – First-Come, First-Serve

Processi

Processo	Arrival time	Service (run) time
P1	0	24
P2	0	3
P3	0	3

Caso 1

- Ordine di arrivo P1, P2, P3



- Tempi di attesa: P1=0, P2=24, P3=27
- Tempo medio di attesa: (0+24+27)/3=17

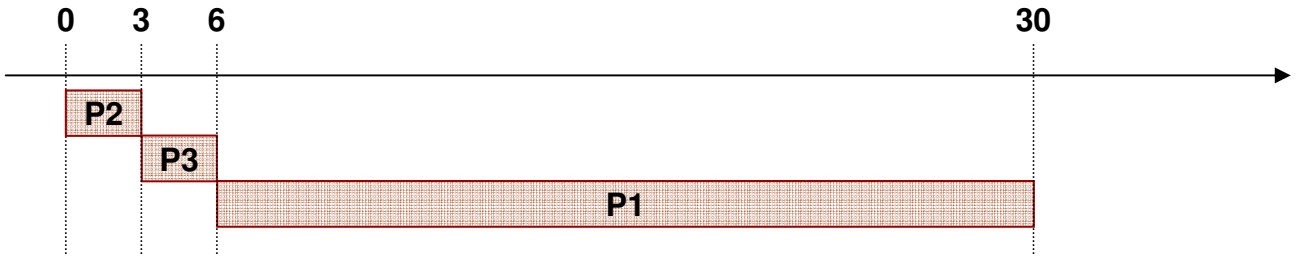
FIFO o FCFS – First-Come, First-Serve

Processi

Processo	Arrival time	Service (run) time
P1	0	24
P2	0	3
P3	0	3

Caso 2

- Ordine di arrivo P2, P3, P1



- Tempi di attesa: P1=6, P2=0, P3=3
- Tempo medio di attesa: (6+0+3)/3=3

RR – Round Robin

I processi

- Vengono serviti secondo un criterio FIFO
- Possono essere eseguiti solamente per un tempo prefissato
  - Si parla di “quanto di tempo” o “timeslice”
  - Devono poter essere interrotti, quindi si tratta di uno schema preemprive

Se un processo non termina entro il quanto di tempo assegnato

- Il sistema
  - Lo interrompe
  - Lo inserisce al fondo della coda dei processi ready
- Lo scheduler sceglie il prossimo processo da eseguire

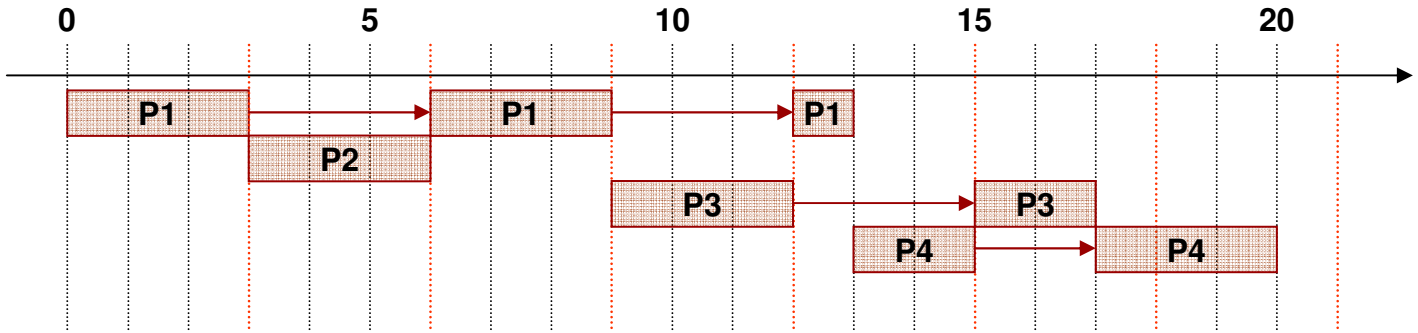
Come FIFO/FCFS anche lo scheduling RR in genere non è l’algotirmo di scheduling principale

RR – Round Robin

Processi

Processo	Arrival time	Service (run) time
P1	0	7
P2	2	3
P3	5	5
P4	10	5

Quanto di tempo paeri a 3 unità



- Tempi di attesa: P1=0+3, P2=1, P3=4+3, P4=3+2
- Tempo medio di attesa: (3+1+7+5)/4=4

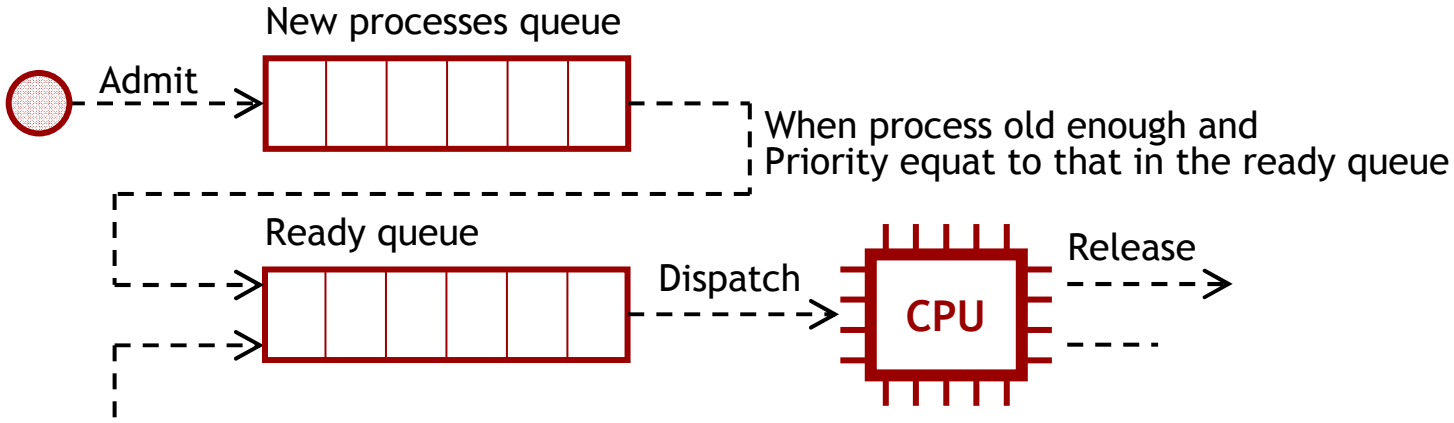
SRR – Selfish Round Robin

Variante rispetto a RR

- Ogni processo ha una priorità
- I processi “invecchiando” aumentano la loro priorità

Per gestire questo schema si utilizza una coda aggiuntiva

- Un processo entra nella coda dei processi nuovi
- Li invecchia e la sua priorità cresce
- Quando è uguale a quella dei processi ready
  - Entra nella coda dei processi ready
  - Diviene soggetto al meccanismo pricipale di scheduling (RR)



SRR – Selfish Round Robin

I processi hanno diverse velocità di invecchiamento

- Velocità pari a V_{new} nella coda dei processi nuovi
- Velocità pari a V_{ready} nella coda dei processi ready

Affinchè l'algoritmo funzioni

- I processi nella coda dei processi nuovi devono poter entrare nella coda ready per poter essere soggetti a dispatch
- Deve sussistere la relazione tra le velocità: $V_{new} \geq V_{ready}$

La relazione tra le due velocità influenza le caratteristiche e la natura stessa dell'algoritmo SRR

- Se V_{new} è poco maggiore di V_{ready} i processi resteranno in attesa per un periodo di tempo breve ma non trascurabile
- Se V_{new} è molto maggiore di V_{ready} i processi resteranno in attesa per un periodo di tempo molto breve e la politica SRR degenera in RR
- Se V_{new} è uguale a V_{ready} le due code sono identiche e la politica SRR degenera in FIFO

RR/SRR e Timeslice

Quale deve essere la durata del quanto di tempo?

- Breve o lunga?
- Fissa o variabile?
- Uguale per ogni processo e calcolata ad hoc?

Durata

- Se la durata cresce
  - Il quanto tende a divenire sufficiente al completamento di un processo
  - Le politiche round robin si trasformano in uno schema FIFO
- Se la durata decresce troppo
  - Il tempo del context switch rende inefficiente la soluzione

È difficile stabile il valore corretto

- Linux: da 10ms a 200ms, tipicamente 100ms
  - Processi ad alta priorità ricevono un quanto più lungo
- Windows XP: 20ms
  - Inferiore se il processo è in secondo piano nella GUI

SJF – Shortest Job First

Principio di base

- Associa ad ogni processo la lunghezza del prossimo CPU burst
- Utilizza tali informazioni per schedulare il prossimo processo
  - Sceglie il procesos con il burst più breve

Si possono avere due schemi

- Nonpreemptive
  - Il processo non può essere interrotto
  - Si attende la fine del CPU-burst corrente
- Preemptive
  - Un processo può essere interrotto
  - Se arriva un processo il cui tempo è minore del tempo rimanente del procesos corrente, questo viene interrotto e il nuovo processo schedulato
  - Questo schema è noto come SRTF o Shortest-Remaining-Time-First

SJF è un algoritmo ottimo

- Minimizza il temo di attesa medio di un insieme di processi

SJF – Shortest Job First

Richiede la stima della durata del prossimo burst

- Meccanismo adattativo
- Una stima diversa per ogni processo
- Basso overhead computazionale

Si usa la seguente relazione basata sulla media esponenziale

$$\tau_{n+1} = \alpha t_n + (1- \alpha)\tau_n$$

In cui:

t_n	Durata del burst corrente al tempo n
τ_{n+1}	Durata predetta per il prossimo burst al tempo n+1
α	Coefficiente compreso tra 0 ed 1

SJF – Shortest Job First

Il comportamento dell'algoritmo dipende fortemente da α

Con $\alpha = 0$

- La relazione diviene: $\tau_{n+1} = \tau_n$
- La storia del sistema è ininfluente

Con $\alpha = 1$

- La relazione diviene: $\tau_{n+1} = t_n$
- Conta solo la durata dell'ultimo burst

Con $0 \leq \alpha \leq 1$

- Espandendo la relazione si nota che il peso delle vecchie stime (τ_n) tende adiminuire esponenzialmente nel tempo come $(1-\alpha)^n$

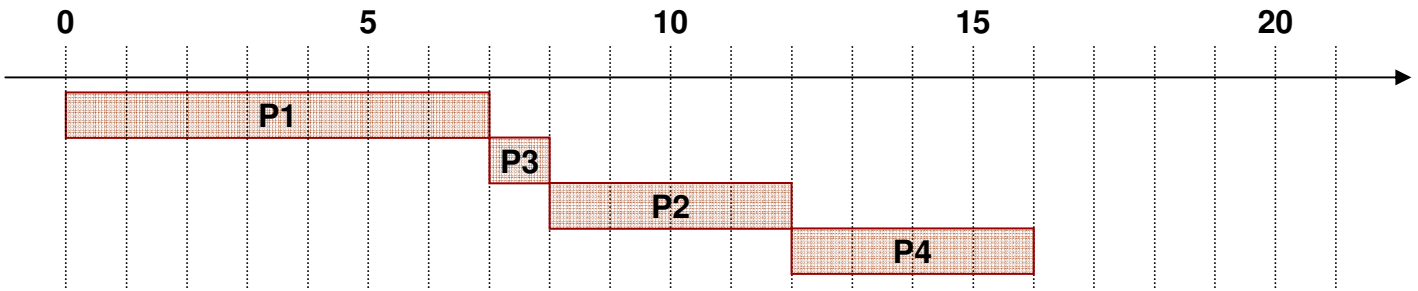
SJF – Shortest Job First

Processi

Processo	Arrival time	Burst time
P1	0	7
P2	2	4
P3	4	1
P4	5	4

Caso 1- Nonpreemptive

- La decisione di scheduling viene presa al termine di ogni burst



- Tempi di attesa: P1=0, P2=6, P3=3, P4=7
- Tempo medio di attesa: (0+6+3+7)/4=4

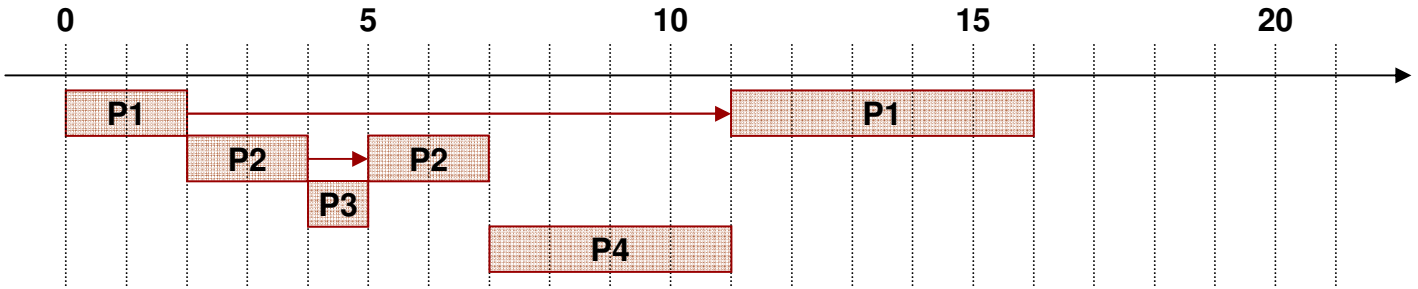
SJF – Shortest Job First

Processi

Processo	Arrival time	Burst time
P1	0	7
P2	2	4
P3	4	1
P4	5	4

Caso 1- Nonpreemptive

- La decisione di scheduling viene presa al termine di ogni burst



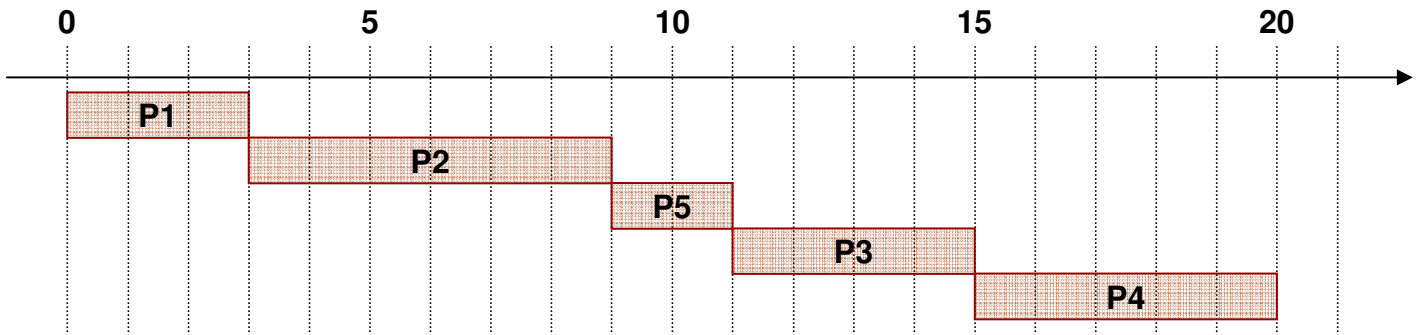
- Tempi di attesa: P1=0+9, P2=0+1, P3=0, P4=2
- Tempo medio di attesa: (9+1+0+2)/4=3

SPN – Shortest Process Next

Caratteristiche

- Si tratta di uno schema nonpreemptive
- Il processo ready con il runtime stimato minore viene selezionato

Processo	Arrival time	Service (run) time
P1	0	3
P2	2	6
P3	4	4
P4	6	5
P5	8	2



- Tempi di attesa: P1=0, P2=1, P3=7, P4=9, P5=1
- Tempo medio di attesa: (0+1+7+9+1)/5=3.6

SPN – Shortest Process Next

Vantaggi

- I processi brevi vengono serviti rapidamente

Problemi

- I processi lunghi potrebbero essere differiti per un tempo anche molto elevato
  - Potenziale problema di starvation
  - Diminuisce la predicibilità per tali processi
- Dipende dalla correttezza della stima del tempo di esecuzione dei vari processi
  - Un errore potrebbe richiedere la terminazione di un processo

HRRN – Highest Response Ratio Next

Sviluppato per ovviare ad un limite di SJF/SPN

- Tendono a favorire molto i processi brevi rispetto a quelli lunghi

Si tratta di un algoritmo nonpreeptive

- Al momento del context switch calcola la priorità di ogni processo
- Esegue il processo selezionato fino al completamento

La priorità è calcolata come: $\frac{(T_{attesa} + T_{exec})}{T_{exec}}$

Considerazioni

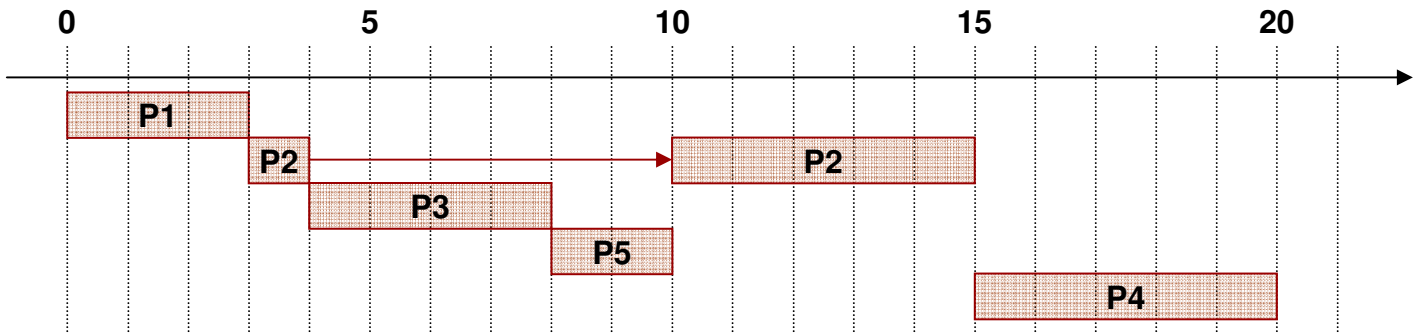
- Processi brevi favoriti poiché il tempo di esecuzione appare a denominatore
- Processi che attendono da molto favoriti poiché il tempo di attesa appare a numeratore

SRT – Shortest Remaining Time

Caratteristiche

- È la versione preemptive dell'algoritmo SPN
- Richiede una stima accurata dei tempi di esecuzione

Processo	Arrival time	Service (run) time
P1	0	3
P2	2	6
P3	4	4
P4	6	5
P5	8	2



- Tempi di attesa: P1=0, P2=1+6, P3=0, P4=9, P5=0
- Tempo medio di attesa: (0+7+0+9+0)/5=3.2

Multilevel Queues

La coda dei processi reday viene suddivisa in

- Coda dei processi in foreground (interattivi)
- Coda dei processi in background (batch)

Ogni coda dispone di un appropriato algoritmo di scheduling

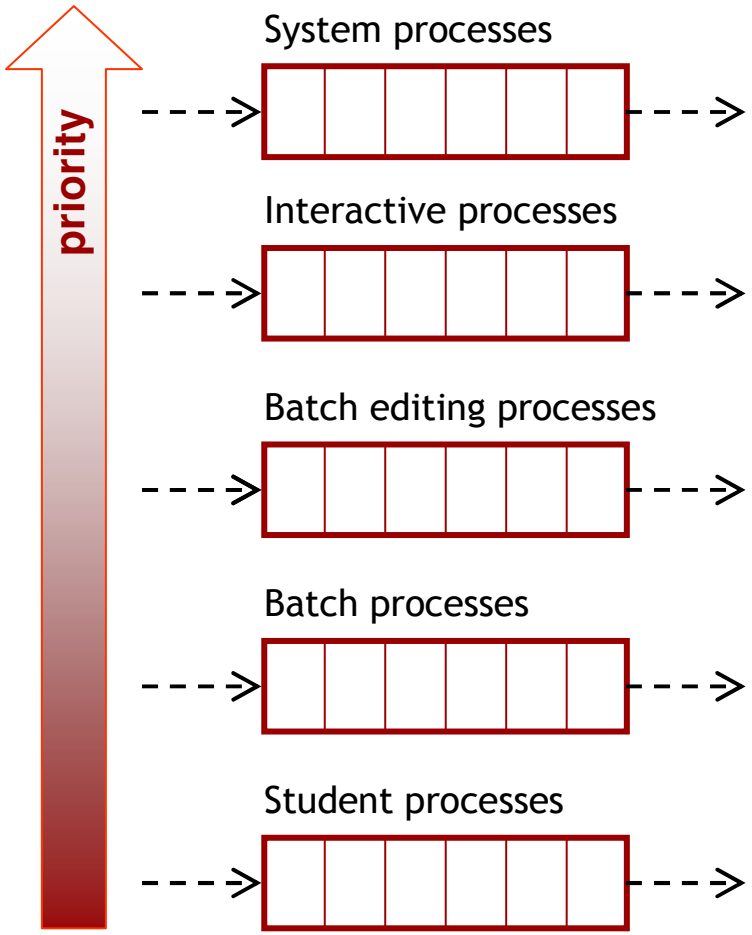
- Foreground: RR
- Background: FCFS

È necessario effettuare uno scheduling "tra" le code

- Fixed priority scheduling
  - Prima tutti I processi in foreground poi I processi I background
  - Possibilità di starvation
- Time slice
  - Ogni coda dispone di una frazioen fissata del tempo di CPU

Multilevel Queues

Il meccanismo può essere facilmente generalizzato a più livelli



Multilevel Feedback Queues

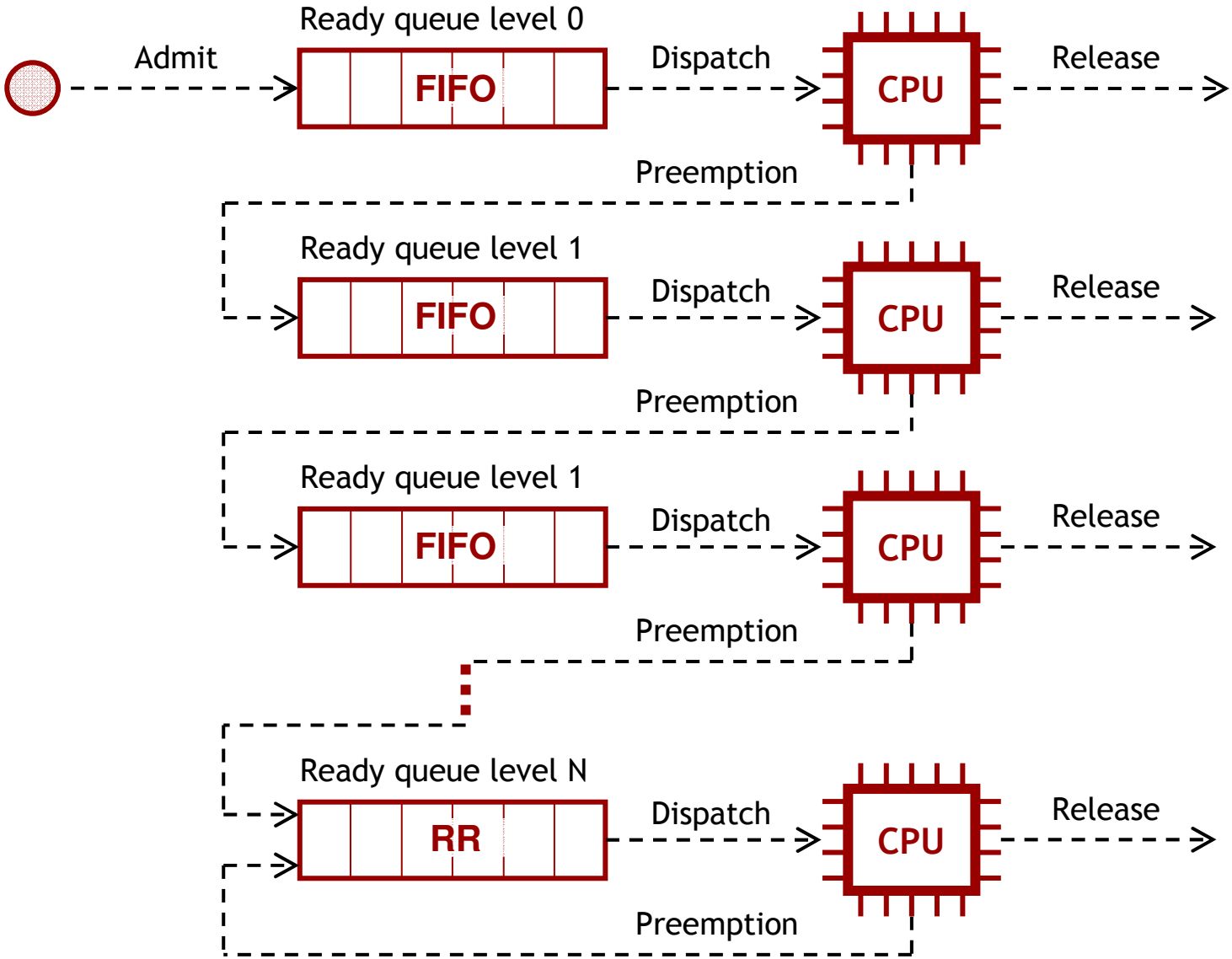
Process diversi hanno esigenze differenti

- Processi brevi, I/O-bound e interattivi dovrebbero in genere avere la precedenza su processi lungi, batch e CPU-bound
- Il tipo di comportamento di un processo non è immediatamente noto allo scheduler ed è difficile prevederlo

Si ricorre ad un meccanismo a code multilivello a retroazione

- I nuovi processi
  - Entrano nella coda a più alto livello
  - Vengono eseguiti con priorità maggiore dei processi nelle altre code
- I processi più lunghi scendono verso code a priorità minore
  - I processi brevi e I/O-bound mantengono una priorità maggiore
  - I processi lunghi sono eseguiti quando quelli brevi e I/O-bound terminano
- Le politiche di scheduling delle diverse code possono essere
  - FIFO
  - RR

Multilevel Feedback Queues



Multilevel Feedback Queues

Uno scheduler basato su code multilivello con feedback è definito dai seguenti parametri principali

- Numero di code
- Algoritmi di scheduling per ogni coda
- Criteri di definizione del livello iniziale di un processo
- Criteri di upgrade dei processi
- Criteri di demote dei processi

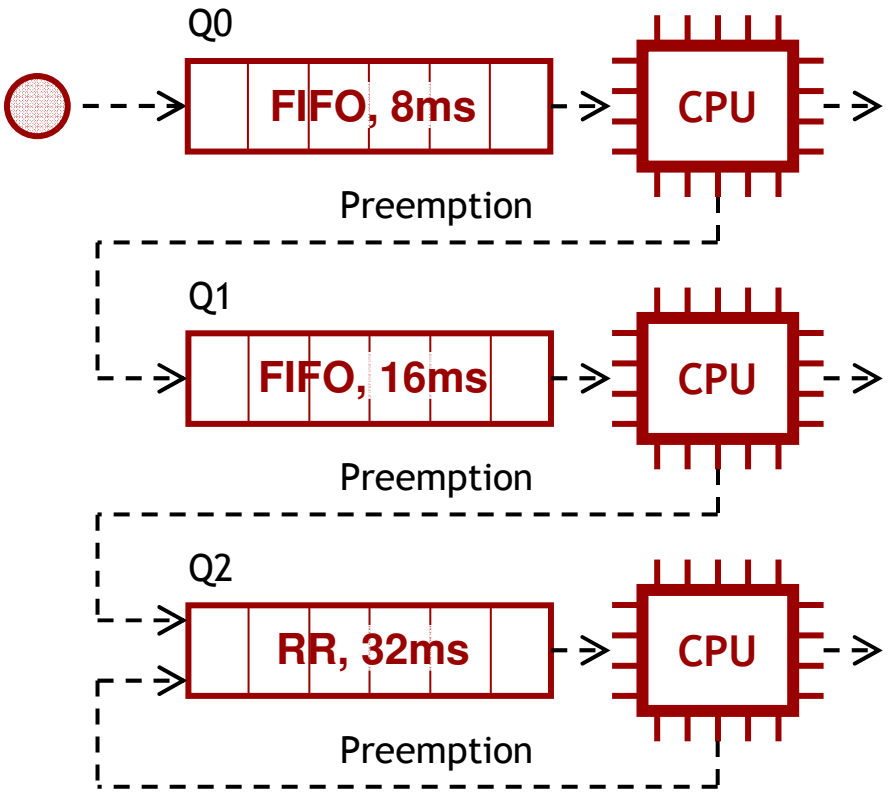
Multilevel Feedback Queues

Code

- Q0: FIFO, preemptive, 8ms
- Q1: FIFO, preemptive, 16ms
- Q2: RR, preemptive, 32ms

Scheduling

- Nuovo processo entra in Q0
  - Riceve 8ms di CPU
  - Se non termina è interrotto e passa in Q1
- In Q1
  - Riceve 16ms di CPU
  - Se non termina è interrotto e passa in Q2
- In Q2
  - Viene completato in burst di 32ms



FSS – Fair Share Scheduling

In genere i diversi processi in esecuzione su un sistema

- Sono correlati
- Possono essere raccolti in gruppi secondo qualche criterio
  - Stesso utente
  - Stesso gruppo di utenti
  - Stessa applicazione
  - …
- Diversi gruppi hanno o possono avere diversa importanza

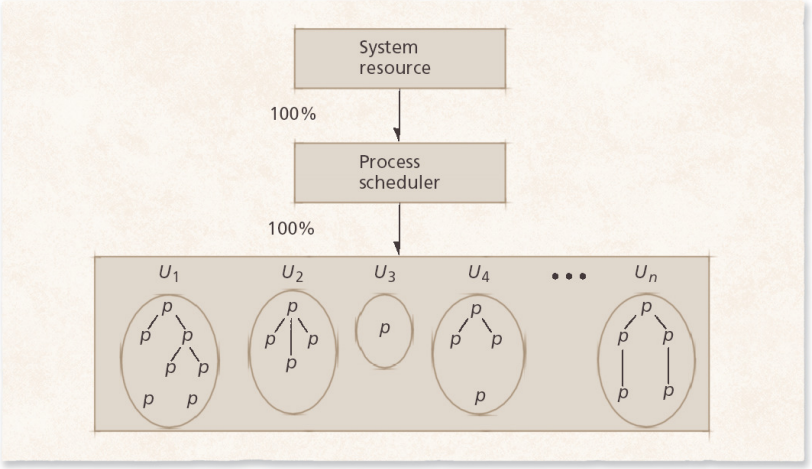
FSS

- Evita che gruppi poco importanti possano monopolizzare le risorse
- Distribiusce le risorse non utilizzate equamente tra i gruppi

FSS – Fair Share Scheduling

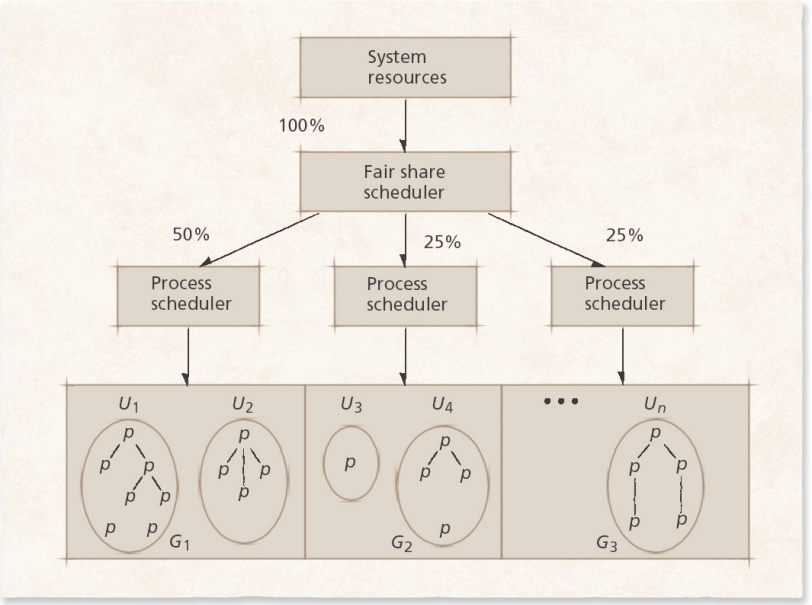
Scheduling tradizionale

- Uno scheduler unico
- 100% delle risorse condivise da tutti i processi di tutti gli utenti



FSS

- Due livelli di scheduling
  - Fair share
  - Processi
- Risorse distribuite in modo predefinito ai vari gruoppi di processi/utenti



Deadline scheduling

In alcune situazioni i processi

- Devono essere completati entro un tempo limite detto deadline
- In caso di mancato completamento il loro risultato è inutile se non addirittura dannoso

A tale scopo si ricorre a tecniche di scheduling con deadline

- È complicato da implementare
- Richiede una attenta pianificazione delle risorse
  - Fatta in anticipo
- Comporta un overhead significativo

In generale in un sistema non tutti i processi hanno una deadline

- Garantire il soddisfacimento dei vincoli per i processi critici può peggiorare il livello e la qualità di servizio degli altri

Deadline scheduling – Real time

Scheduling sottoposto a vincoli

- Si distinguono due casi a seconda della rigidità dei vincoli

Soft real time

- Garantisce che i processi real time vengano eseguiti sempre prima di tutti gli altri processi
- Non garantisce che i processi teminino entro una deadline prefissata

Hard real time

- Garantisce sempre il rispetto dei vincoli temporali
- I sistemi hard real time possono avere processi
  - Periodici
  - Asincroni

Scheduling real time statico

Le priorità dei processi

- Vengono determinate a priori
- Non cambiano nel tempo

Una tale soluzione

- Presenta un basso overhead durante il funzionamento
- Non è in grado di adattarsi ad un cambiamento
  - Nel sistema
  - Nell'ambiente

Nei sistemi fortemente vincolati

- Si predilige una politica di scheduling statico
- Non tutti le sitazioni possono essere gestite in questo modo

RMS – Rate Monotonic Scheduling

Si tratta di una politica di scheduling

- A priorità
- Statica
- Preemptive
- Round robin

Priorità

- Proporzionale alla frequenza di un processo periodico
- Favorisce i processi periodici con elevata frequenza

Si hanno due possibili situazioni

- Caso base
  - La deadline è fissata dal periodo del processo
- Caso generale
  - La deadline è differente dal periodo e specificata esplicitamente

Scheduling real time dinamico

Le priorità dei processi

- Vengono determinate durante l'esecuzione
- Cambiano nel tempo

Una tale soluzione

- Si adatta facilmente e rapidamente ad un cambiamento
  - Nel sistema
  - Nell'ambiente
- Presenta un overhead significativo durante il funzionamento

Nei sistemi fortemente vincolati

- Politica statica non sempre adeguata
- Si ricorre ad una politica mista
  - Alcuni processi hanno una priorità assegnata staticamente
  - Altri processi hanno una priorità calcolata dinamicamente

EDF – Earliest Deadline First

Si tratta di una politica di scheduling

- Real time
- Dinamica
- Analog a shortest remaining time
- Preemptive

In generale

- Il processo con la deadline più prossima viene eseguito
  - Assume una priorità elevata
- L'arrivo di un nuovo processo con deadline più prossima del processo in esecuzione causa preemption

Obiettivi

- Massimizzare il throughput
- Massimizzare il numero di processi che soddisfano i requisiti

MLF – Minimum Laxity First

È una variante di EDF

- Algoritmo EDF
  - Considera la prossimità della deadline
  - Non considera il tempo rimanente al il completamento del processo

Si basa sul concetto di laxity: L = D – (T+C)

- In cui
  - L Laxity del processo
  - D Deadline del processo
  - T Tempo corrente
  - C Tempo d'esecuzione rimanente del processo
- Richiede una stima del tempo rimanente

Obiettivi

- Migliorare l'accuratezza del calcolo delle priorità