

Sistemi operativi

Giacomo Fantoni

Telegram: @GiacomoFantoni

Github: <https://github.com/giacThePhantom/SistemiOperativi>

24 marzo 2020

Indice

1	Introduzione	2
1.0.1	Punti chiave nel progetto di calcolatori	2
1.1	Storia dei sistemi operativi	3
1.1.1	Prima generazione (1946-1955)	3
1.1.2	Seconda generazione (1955-1965)	4
1.1.3	Terza generazione (1965-1980)	5
1.1.4	Quarta generazione (1980-1990)	6
2	Componenti di un sistema operativo	7
2.1	Servizi di gestione	7
2.2	Interprete dei comandi (shell)	8
2.2.1	System calls	9
3	Architettura di un sistema operativo	10
3.1	Modello client-server	11
3.2	macchine virtuali	11
3.2.1	Esokernel	11
3.3	Processi e thread	11
3.4	Processi e thread	12
4	Processi e threads	13
4.1	Processi	13
4.1.1	Il modello dei processi	13
4.1.2	Creazione dei processi	13
4.1.3	Terminazione di un processo	14
4.1.4	Gerarchie di processi	15
4.1.5	Stati dei processi	15
4.1.6	Implementazione dei processi	16
4.1.7	Modellare la multiprogrammazione	16
4.2	Threads	17
4.2.1	Utilizzo dei thread	17
4.2.2	Il modello dei thread classico	17
4.2.3	Thread POSIX	18
4.2.4	Implementazione dei thread nello spazio utente	18

Capitolo 1

Introduzione

Un sistema operativo è un insieme di programmi che agiscono come intermediario tra l'hardware e l'uomo per facilitare l'uso del computer, rendere efficiente l'uso dell'hardware e evitare conflitti nell'allocazione di risorse tra hardware e software. Offre pertanto un ambiente per controllare e coordinare l'utilizzo dell'hardware da parte dei programmi applicativi. I suoi compiti principali sono di gestire le risorse e di controllare l'esecuzione dei programmi e il corretto utilizzo del sistema. La struttura dei sistemi operativi è soggetta a notevole variabilità ed è adattabile a criteri di organizzazione estremamente differenti. È pertanto un programma sempre in esecuzione sul calcolatore che generalmente viene chiamato kernel al quale si aggiungono programmi di sistema e programmi applicativi. Nel progettare un sistema operativo si deve tipicamente fare un trade-off tra l'astrazione che semplifica l'utilizzo del sistema e l'efficienza.

Componenti

Un sistema di calcolo si può dividere in 4 componenti:

- Dispositivi fisici: sono composti dall'unità centrale di elaborazione (CPU), dalla memoria e dall'I/O.
- Programmi applicativi: definiscono il modo in cui utilizzare le risorse per risolvere i problemi computazionali da parte degli utenti.
- Sistema operativo: Controlla e coordina l'uso dei dispositivi da parte degli utenti.
- Utenti.

1.0.1 Punti chiave nel progetto di calcolatori

Punto di vista dell'utente

La percezione di un calcolatore dipende dall'interfaccia impiegata. Il più comune metodo di utilizzo è il PC composto da schermo, tastiera e mouse. Il sistema operativo in questo caso si progetta considerando la facilità di utilizzo con qualche attenzione alle prestazioni ma non all'utilizzo delle risorse. Nel caso di un utente che utilizza terminali connessi ad un mainframe condividendo risorse con altri utenti il sistema operativo andrebbe ottimizzato per massimizzare l'utilizzo delle risorse.

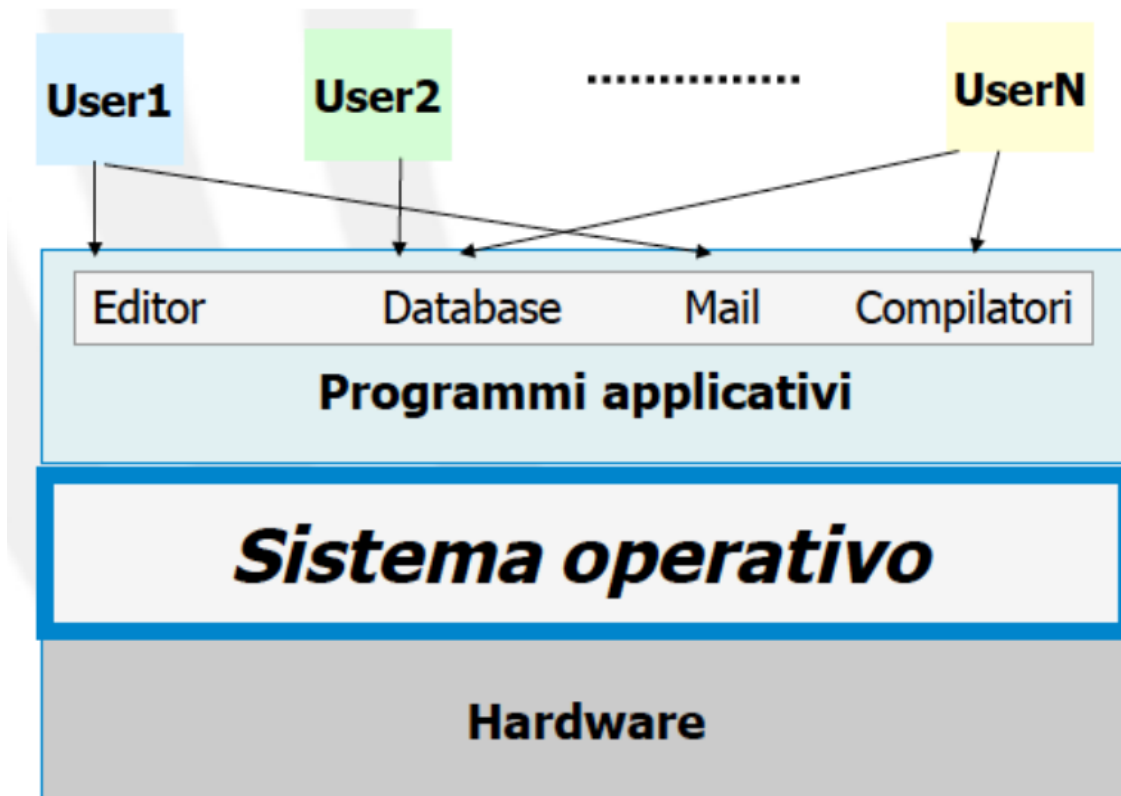


Figura 1.1: Stack del sistema operativo

Punto di vista del sistema

Il sistema operativo è il programma collegato più strettamente ai suoi elementi fisici ed è assimilabile ad un assegnatore di risorse o come programma di controllo che gestisce l'esecuzione dei programmi utente in modo da impedire che si verifichino errori o che il calcolatore sia utilizzato in modo scorretto.

1.1 Storia dei sistemi operativi

Si possono identificare 5 generazioni di calcolatori che riflettono direttamente l'evoluzione dei sistemi operativi dovuta all'aumento dell'utilizzo del processore.

1.1.1 Prima generazione (1946-1955)

In questa generazione i calcolatori erano enormi e a valvole, non esisteva il sistema operativo e l'operatore del calcolatore era equivalente al programmatore. L'accesso alla macchina era gestito tramite prenotazioni e i programmi venivano eseguiti da console caricando in memoria un'istruzione alla volta agendo su interruttori. Il controllo degli errori era fatto attraverso spie della console. Il processing era seriale.

Evoluzione

Durante la prima generazione si diffondono periferiche come il lettore/perforatore di schede, nastri e stampanti che rendono necessari programmi di interazione con periferiche detti device driver. Viene sviluppato del software come librerie di funzioni comuni e compilatori, linker e loader. Queste evoluzioni portano a una scarsa efficienza in quanto pur essendo la programmazione facilitata le operazioni erano complesse con tempi di setup elevati e un basso utilizzo relativo della CPU per eseguire il programma.

1.1.2 Seconda generazione (1955-1965)

In questa generazione si introducono i transistor nei calcolatori. Viene separato il ruolo di programmatore e operatore eliminando lo schema a prenotazione e il secondo permette di eliminare dei tempi morti. I programmi o jobs simili nell'esecuzione vengono raggruppati in batch in modo da aumentare l'efficienza ma aumentando i problemi in caso di errori o malfunzionamenti.

Evoluzione

Nasce l'automatic job sequencing in cui il sistema si occupa di passare da un job all'altro: il sistema operativo fa il lavoro dell'operatore e rimuove i tempi morti. Nasce pertanto il monitor residente, il primo esempio di sistema operativo, perennemente caricato in memoria. Le componenti del monitor erano i driver per i dispositivi di I/O, il sequenzializzatore dei job e l'interprete delle schede di controllo (per la loro lettura ed esecuzione). La sequenzializzazione avviene tramite un linguaggio di controllo o job control language attraverso schede o record di controllo.

Limitazioni

L'utilizzo del sistema risulta ancora basso a causa del divario di velocità tra I/O e CPU. Una soluzione è la sovrapposizione delle operazioni di I/O e di elaborazione. Nasce così l'elaborazione off-line grazie alla diffusione di nastri magnetici capienti e veloci. La sovrapposizione avviene su macchine diverse: da scheda a nastro su una macchina e da nastro a CPU su un'altra. La CPU viene limitata ora dalla velocità dei nastri, maggiore di quella delle schede.

Sovrapposizione tra CPU e I/O

È possibile attraverso un opportuno supporto strutturale far risiedere sulla macchina le operazioni off-line di I/O e CPU.

Polling Il polling è il meccanismo tradizionale di interazione tra CPU e I/O: avviene l'interrogazione continua del dispositivo tramite esplicite istruzioni bloccanti. Per sovrapporre CPU e I/O è necessario un meccanismo asincrono o richiesta I/O non bloccante come le interruzioni o interrupt e il DMA (direct memory access).

Interrupt e I/O In questo caso la CPU programma il dispositivo e contemporaneamente il dispositivo controllore esegue. La CPU, se possibile prosegue l'elaborazione. Il dispositivo segnala la fine dell'elaborazione alla CPU. La CPU riceve un segnale di interrupt esplicito e interrompe l'istruzione corrente salvando lo stato, salta a una locazione predefinita, serve l'interruzione trasferendo i dati e riprende l'istruzione interrotta.

DMA e I/O Nel caso di dispositivi veloci gli interrupt sono molto frequenti e porterebbero a inefficienza. Si rende pertanto necessario creare uno specifico controllore hardware detto DMA controller che si occupa del trasferimento di blocchi di dati tra I/O e memoria senza interessare la CPU. Avviene pertanto un solo interrupt per blocco di dati.

Buffering Si dice buffering la sovrapposizione di CPU e I/O dello stesso job. Il dispositivo di I/O legge o scrive più dati di quanti richiesti e risulta utile quando la velocità dell'I/O e della CPU sono simili. Nella realtà i dispositivi di I/O sono più lenti della CPU e pertanto il miglioramento è marginale.

Spooling Si dice spooling (simultaneous peripheral operations on-line) la sovrapposizione di CPU e I/O di job diversi. Nasce un problema in quanto i nastri magnetici sono sequenziali e pertanto il lettore di schede non può scrivere su un'estremità del nastro mentre la CPU legge dall'altra. Si devono pertanto introdurre dischi magnetici ad accesso causale. Il disco viene utilizzato come un buffer unico per tutti i job. Nasce il paradigma moderno di programma su disco che viene caricato in memoria, la pool di job e il concetto di job scheduling (la decisione di chi deve o può essere caricato su disco).

1.1.3 Terza generazione (1965-1980)

In questa generazione viene introdotta la multiprogrammazione e i circuiti integrati. La prima nasce dal fatto che un singolo job è incapace di tener sufficientemente occupata la CPU e pertanto si rende necessaria una loro competizione. Sono presenti più job in memoria e le fasi di attesa vengono sfruttate per l'esecuzione di un nuovo job. Con la presenza di più job nel sistema diventa possibile modificare la natura dei sistemi operativi: si passa ad una tendenza a soddisfare molti utenti che operano interattivamente e diventa importante il tempo di risposta di un job (quanto ci vuole perché inizi la sua esecuzione). Nasce pertanto il multitasking o time sharing, estensione logica della multiprogrammazione in cui l'utente ha l'impressione di avere la macchina solo per sé e si migliora l'interattività con la gestione di errori e l'analisi di risultati. Nascono i sistemi moderni con tastiera che permette decisioni dell'evoluzione del sistema in base ai comandi dell'utente e un monitor che permette un output immediato durante l'esecuzione. Il file system inoltre è un'astrazione del sistema operativo per accedere a dati e programmi.

Protezione

Con la condivisione si rende necessario introdurre delle capacità di protezione per il sistema:

- I/O: programmi diversi non devono usare il dispositivo contemporaneamente, viene realizzata tramite il modo duale di esecuzione: modo user in cui i job non possono accedere direttamente alle risorse di I/O e modo supervisor o kernel in cui il sistema operativo può accedere a tali risorse. Tutte le operazioni di I/O sono privilegiate: le istruzioni di accesso invocano una system call, un interrupt software che cambia la modalità da user a supervisor e al termine della system call viene ripristinata la modalità supervisor.
- Memoria: un programma non può leggere o scrivere ad una zona di memoria che non gli appartiene: realizzata associando dei registri limite ad ogni processo, che possono essere modificati unicamente dal sistema operativo con istruzioni privilegiate.
- CPU: prima o poi il controllo della CPU deve tornare al sistema operativo, realizzata attraverso un timer legato ad un job, al termine del quale il controllo passa al monitor.

1.1.4 Quarta generazione (1980-1990)

- Diffusione di sistemi operativi per PC e workstation, utilizzo personale degli elaboratori e nascita delle interfacce grafiche (GUI).
- Sistemi operativi di rete in cui esiste una separazione logica delle risorse remote in cui l'accesso alle risorse remote è diverso rispetto a quello delle risorse locali.
- Sistemi operativi distribuiti: le risorse remote non sono separate logicamente e l'accesso alle risorse remote e locali è uguale.

Quinta generazione (1990- oggi)

Sistemi real-time vincolati sui tempi di risposta del sistema, sistemi operativi embedded per applicazioni specifiche, per piattaforme mobili e per l'internet of things.

Capitolo 2

Componenti di un sistema operativo

Un sistema operativo offre un ambiente on cui eseguire i programmi e fornire servizi che naturalmente variano in base al sistema operativo. Si possono comunque identificare alcune classi di servizi comuni.

2.1 Servizi di gestione

Gestione dei processi

Si intende per processo un programma in esecuzione che necessita di risorse e viene eseguito in modo sequenziale (un'istruzione alla volta). Si differenzia tra processi del sistema operativo e quelli utente. Il sistema operativo è responsabile della creazione, distruzione, sospensione, riesumazione e ella fornitura di meccanismi per la sincronizzazione e la comunicazione tra processi e fornisce meccanismi per la sincronizzazione.

Gestione della memoria primaria

La memoria primaria conserva dati condivisi dalla CPU e dai dispositivi di I/O. Un programma deve essere caricato in memoria prima di poter essere eseguito. Il sistema operativo è responsabile della gestione dello spazio di memoria (quali parti e da chi sono usate), ovvero della decisione su quale processo caricare in memoria in base allo spazio disponibile e dell'allocazione e rilascio dello spazio di memoria.

Gestione della memoria secondaria

Essendo la memoria primaria volatile e piccola si rende necessaria una memoria secondaria per mantenere grandi quantità di dati in modo permanente. È formata tipicamente da un insieme di dischi magnetici (che stanno per essere sostituiti dai dischi a stato solido -SSD- più veloci e performanti). Il sistema operativo è responsabile della gestione dello spazio libero su disco, dell'allocazione dello spazio su disco e dello scheduling degli accessi su disco.

Gestione dell'I/O

Il sistema operativo nasconde all'utente le specifiche caratteristiche dei dispositivi di I/O per motivi di efficienza e protezione. Viene impegnato un sistema per accumulare gli accessi ai dispositivi (buffering), una generica interfaccia verso i device driver, con device driver specifici per alcuni dispositivi.

Gestione dei file

Le informazioni sono memorizzate su supporti fisici diversi controllati da driver con caratteristiche diverse. Si crea pertanto un file, un'astrazione logica per rendere conveniente l'uso di memoria non volatile grazie alla raccolta di informazioni correlate. Il sistema operativo è responsabile della creazione e cancellazione di file e directory, del supporto di operazioni primitive per la loro gestione (copia, incolla, modifica), della corrispondenza tra file e spazio fisico su disco e del salvataggio delle informazioni a scopo di backup.

Protezione

Si intende con protezione un meccanismo per controllare l'accesso alle risorse da parte di utenti e processi. Il sistema operativo deve definire quali sono gli accessi autorizzati e quali no, i controlli da imporre e fornire gli strumenti per verificare le politiche di accesso. La sicurezza di un sistema operativo comincia con l'obbligo di identificazione di ciascun utente che permette l'accesso alle risorse.

Rete (sistemi distribuiti)

Si intende per sistema distribuito una collezione di elementi di calcolo che non condividono né la memoria né un clock: le risorse di calcolo vengono connesse tramite una rete. Il sistema operativo è responsabile della gestione in rete delle varie componenti.

2.2 Interprete dei comandi (shell)

Vi sono due modi fondamentali per gli utenti di comunicare con il sistema operativo: un primo basato su un'interfaccia a riga di comando (o interprete dei comandi) e un secondo basato su un'interfaccia grafica o GUI. Il primo lascia inserire direttamente agli utenti le istruzioni che il sistema deve eseguire. L'interprete dei comandi è più comunemente conosciuto come shell. La funzione principale dell'interprete è quella di prelevare ed eseguire il successivo comando impartito dall'utente. A questo livello si usano nuovi comandi per la gestione dei file che possono essere implementati internamente all'interprete o attraverso programmi speciali. Nel secondo caso l'interprete non capisce il comando in sé ma prende il nome per caricare l'opportuno file in memoria per eseguirlo.

Interfaccia grafica

L'interfaccia grafica è una modalità di comunicazione tra utente e il sistema operativo. È più intuitiva della riga di comando e la GUI è l'equivalente del desktop e rimane strettamente legata a mouse, tastiera e schermo. Puntando le icone col mouse è possibile accedere a file, cartelle e applicazioni.

2.2.1 System calls

Le chiamate di sistema costituiscono l'interfaccia di comunicazione tra il processo e il sistema operativo. Sono tipicamente scritte in linguaggi di alto livello come *C* o *C++*. I programmatori non si devono preoccupare dei dettagli di implementazione delle *sys.call* in quanto solitamente utilizzano un'API (application program interface) che specifica un'insieme di funzioni a disposizione dei programmatori e dettaglia i parametri necessari all'invocazione di queste funzioni e i valori restituiti. Le due API più comuni sono *win32* e *POSIX API*, rispettivamente per Windows e UNIX. I parametri delle system calls possono essere passati per valore o riferimento, ma vanno fisicamente messi da qualche parte: vengono pertanto posizionati nei registri (molto veloci, ma pochi e di dimensione fissa) nello stack del programma o in una tabella di memoria il cui indirizzo è passato in un registro o nello stack. Le system calls possono essere implementate in due modi:

- L'interprete legge il comando e cerca all'interno della shell per cercare il programma da avviare, non viene utilizzata in quanto rende necessario modifiche al kernel e non è efficiente.
- L'interprete legge il comando e possiede una tabella che collega tale comando al programma da avviare.

Le system calls si differiscono in controllo dei processi, gestione dei file, dei dispositivi, delle comunicazioni e della protezione. Un processo inoltre deve essere sia in grado di essere chiuso normalmente (*end*) che in modo anomalo (*abort*), con la conseguente generazione di un messaggio di errore e copia dello stato del processo abortito.

Capitolo 3

Architettura di un sistema operativo

Un principio importante è la separazione tra meccanismi e criteri o policy: i primi determinano come eseguire qualcosa, mentre i secondi cosa si deve fare. Questa distinzione è importante ai fini della flessibilità in quanto i criteri sono soggetti a cambiamenti di luogo e tempo. Principi importanti da tenere a mente durante lo sviluppo di sistemi operativi è il KISS (keep it small and simple), semplice dal punto di vista del codice, per mantenere affidabilità e mantenibilità e il POLA (principle of least privilege): un programma deve poter accedere unicamente ai dati strettamente necessari, fondamentale per il mantenimento di sicurezza e affidabilità. Questi cambiamenti devono richiedere il cambio di meccanismi solo nel caso pessimo. Le principali tipologie di architettura di sistemi operativi sono:

- Sistemi monolitici: sistemi senza gerarchia e con un unico strato software tra utente e hardware, tutti i componenti sono sullo stesso livello e possono chiamarsi vicendevolmente. In questa tipologia il codice dipende direttamente dall'architettura hardware e rende test e debugging complesso.
- Sistemi a struttura semplice: si ha un minimo di gerarchia e di struttura, non esiste ancora la suddivisione modalità utente e modalità kernel. Questa struttura è mirata a ridurre i costi di sviluppo e manutenzione.
- Sistema operativo a livelli. I servizi sono organizzati su livello gerarchici con al livello più alto l'interfaccia utente e al più basso l'hardware. Ogni livello può utilizzare funzioni di livelli inferiori. La modularità rende più semplice la manutenzione, ma diminuisce l'efficienza e richiede un'attenta definizione dei livelli.
- Sistemi basati su kernel: vengono utilizzati due livelli, i cui servizi sono distinti tra kernel e non-kernel. Presenta i vantaggi del sistema a livelli come modularità ma senza avere troppi livelli. Tra i servizi al di fuori del kernel non si trova nessuna organizzazione e si tende a pensare al kernel come a una struttura monolitica.
- Sistemi a micro-kernel: i micro-kernel sono un insieme di piccoli kernel che svolgono poche funzioni fondamentali. Occupano meno memoria e sono più affidabili e mantenibili, ma presentano scarse prestazioni: ogni volta che si deve accedere ad un programma applicativo si deve fare un cambio tra modalità kernel a modalità utente e viceversa una volta terminato il

processo. Vengono utilizzati da quando le prestazioni di CPU e memoria sono sufficienti a non far percepire all'utente il cambio di modalità. La modularità offre inoltre maggiore sicurezza e portabilità.

3.1 Modello client-server

Una variazione dell'idea del microkernel è quella di distinguere due classi di processi: i server che forniscono un servizio e i client che lo utilizzano. Spesso il livello più basso è un microkernel, ma non è richiesto. La comunicazione tra client e server avviene tramite scambio di messaggi: per ottenere un servizio il client deve costruire un messaggio e inviarlo al server, che quando lo riceve restituisce la risposta. Se client e server operano sulla stessa macchina sono possibili delle ottimizzazioni.

3.2 macchine virtuali

Le macchine virtuali sono introdotte nel 1972 da IBM come estremizzazione dell'approccio a livelli pensato per offrire un sistema di timesharing multiplo ovvero che permette la multiprogrammazione e una macchina estesa che abbia un'interfaccia più semplice del solo hardware. La base della macchina virtuale è la separazione di questi due aspetti. La sua parte centrale era il virtual machine monitor che permette la multiprogrammazione offrendo diverse macchine virtuali al livello superiore. Un tipo di macchina virtuale utilizza un type 1 hypervisor, usato comunemente che si trova sull'hardware e permette di eseguire diversi sistemi operativi sulla stessa macchina. Il type 2 hypervisor viene utilizzato su un sistema operativo host nel quale l'hypervisor installa il sistema operativo guest in un disco virtuale che il sistema host vede come un file di grandi dimensioni. La differenza tra i due tipi di hypervisor sta nel fatto che quello di tipo 1 si trova direttamente sull'hardware, mentre il tipo 2 viene creato in un sistema operativo host.

3.2.1 Esokernel

Piuttosto che clonare la macchina, un'altra strategia per ottenere un sottinsieme delle risorse è partizionarla. Al livello più basso si trova un programma eseguito in modalità kernel che alloca risorse alle virtual machine e controlla le loro prove di utilizzarle. Il vantaggio dell'esokernel è che evita un livello di mappatura: in altri metodi è necessaria una mappatura dal disco virtuale a quello fisico, come per tutte le altre risorse.

3.3 Processi e thread

Attributi (Process Control Block): contiene un puntatore alla cella di memoria che contiene l'immagine, contiene lo stato del processo in un determinato momento, contiene i registri, le informazioni relative allo stato dell'I/O. Un processo può essere in diversi stati. All'inizio il processo viene creato, poi può essere in esecuzione se gli viene assegnata la CPU o non in esecuzione se non gli viene assegnata la CPU. Il Dispatcher assegna la CPU ai processi che sono pronti, ma non in esecuzione (posso avere diversi processi in memoria, ma solo uno per volta usa la CPU e quindi è effettivamente in esecuzione, a meno di CPU multicore). Quando un processo è pronto e viene creato viene messo nella ReadyQueue (oppure nella coda di un dispositivo cioè la coda in cui viene messo un processo che sta aspettando di accedere a un determinato dispositivo). In realtà esistono diverse code in cui può essere messo un processo. Dispatch e Scheduler sono due componenti diversi, lo scheduler sceglie

mentre il dispatcher implementa questa cosa. Context-Switch: salvo tutto quello che c'era nel PCB, tutto quello che stavo utilizzando al momento dell'esecuzione. Due operazioni fondamentali che fa un sistema operativo è la creazione e la terminazione del processo. Ogni processo può creare altri processi e questi prendono il nome di processi figli. Il figlio può essere creato in modalità sincrona, cioè finché il figlio è in vita io non faccio niente, oppure in modalità asincrona cioè io creo il figlio e continuo la mia esecuzione. Con la fork il figlio lo creo esattamente uguale al padre, con la exec posso caricare sul figlio un programma diverso rispetto al padre. Con la wait creo un'esecuzione sincrona tra padre e figlio. Una fork può fallire perché o il padre non ha abbastanza memoria o perché non ha i privilegi per creare un figlio. L'exec cambia l'immagine in memoria del figlio.

3.4 Processi e thread

Attributi (Process Control Block): contiene un puntatore alla cella di memoria che contiene l'immagine, contiene lo stato del processo in un determinato momento, contiene i registri, le informazioni relative allo stato dell'I/O. Un processo può essere in diversi stati. All'inizio il processo viene creato, poi può essere in esecuzione se gli viene assegnata la CPU o non in esecuzione se non gli viene assegnata la CPU. Il Dispatcher assegna la CPU ai processi che sono pronti, ma non in esecuzione (posso avere diversi processi in memoria, ma solo uno per volta usa la CPU e quindi è effettivamente in esecuzione, a meno di CPU multicore). Quando un processo è pronto e viene creato viene messo nella ReadyQueue (oppure nella coda di un dispositivo cioè la coda in cui viene messo un processo che sta aspettando di accedere a un determinato dispositivo). In realtà esistono diverse code in cui può essere messo un processo. Dispatch e Scheduler sono due componenti diversi, lo scheduler sceglie mentre il dispatcher implementa questa cosa. Context-Switch: salvo tutto quello che c'era nel PCB, tutto quello che stavo utilizzando al momento dell'esecuzione. Due operazioni fondamentali che fa un sistema operativo è la creazione e la terminazione del processo. Ogni processo può creare altri processi e questi prendono il nome di processi figli. Il figlio può essere creato in modalità sincrona, cioè finché il figlio è in vita io non faccio niente, oppure in modalità asincrona cioè io creo il figlio e continuo la mia esecuzione. Con la fork il figlio lo creo esattamente uguale al padre, con la exec posso caricare sul figlio un programma diverso rispetto al padre. Con la wait creo un'esecuzione sincrona tra padre e figlio. Una fork può fallire perché o il padre non ha abbastanza memoria o perché non ha i privilegi per creare un figlio. L'exec cambia l'immagine in memoria del figlio.

Capitolo 4

Processi e threads

Il concetto centrale per ogni sistema operativo è quello di processo, l'astrazione di un programma che sta venendo eseguito. Tali astrazioni permettono di avere operazioni pseudo-concorrenti anche quando esiste una sola CPU, trasformandola in diverse CPU virtuali.

4.1 Processi

Tutti i computer moderni svolgono diverse funzioni allo stesso tempo. In un sistema multiprogramma la CPU cambia da processo a processo rapidamente, eseguendo ognuno per decine o centinaia di millisecondi. Si parla di pseudoparallelismo in contrasto con il parallelismo dei sistemi multiprocessore.

4.1.1 Il modello dei processi

In questo modello tutti il software eseguibile sul computer è organizzato in un numero di processi sequenziali, istanze di un programma che sta venendo eseguito con i valori per il contatore, i registri e le variabili. Ogni processo possiede la propria CPU virtuale, anche se è la CPU che cambia tra i processi, chiamato multiprogramming. Ogni programma in questo caso viene eseguito in maniera indipendente. Essendo che esiste un unico contatore di programma fisico, quando un processo viene eseguito il suo contatore logico è inserito in quello reale. Quando si passa ad un altro processo il contatore fisico è salvato nel contatore logico del processo. Si assuma che ci sia una sola CPU. Con essa che cambia tra i processi, il tasso di computazione di un processo non sarà uniforme né riproducibile, pertanto i processi non possono essere programmati con assunzioni riguardo alla temporizzazione. Quando un processo richiede dei criteri real-time eventi si devono prendere delle misure speciali. Il processo può essere considerato come un'istanza del programma, con un input, un output e uno stato. Si noti come se un programma viene eseguito due volte conta come due processi.

4.1.2 Creazione dei processi

I sistemi operativi necessitano di un modo per creare processi. In sistemi progettati per eseguire una singola applicazione potrebbe essere possibile avere tutti i processi che saranno necessari presenti allo startup. In sistemi general-purpose è necessario avere qualche modo per creare e terminare processi quando sono necessari durante l'operazione. Ci sono quattro principali cause per la creazione di un processo:

- Inizializzazione del sistema. Durante la fase di boot sono creati numerosi processi, alcuni che interagiscono con l'utente e altri di background che non sono associati con utenti particolari ma hanno funzioni specifiche. I processi che stanno nel background per gestire delle attività sono detti daemons e sistemi grossi ne possiedono a dozzine.
- Esecuzione di una system call da un processo che sta venendo eseguito che crea un processo attraverso una system call. Creare un nuovo processo è utile quando il lavoro che deve essere eseguito può essere formulato come un insieme di processi che interagiscono ma sono indipendenti.
- L'utente richiede di creare il processo in sistemi interattivi attraverso un comando o cliccando su un'icona. In sistemi basati su UNIX il nuovo processo rileva la finestra da dove è eseguito. In windows il processo può creare una o più finestre. In entrambi i casi l'utente può avere più finestre aperte contemporaneamente.
- Inizializzazione di un batch job su sistemi batch che si trovano su grandi mainframes. Gli utenti possono inviare batch jobs al sistema e quando il sistema decide che ha le risorse necessarie per eseguirne un altro crea un nuovo processo e svolge il job successivo nella coda.

Tecnicamente in tutti questi casi un nuovo processo è creato avendo un processo esistente che esegue una system call che dice al sistema operativo di creare un nuovo processo e indica direttamente o indirettamente quale programma eseguire in esso. In UNIX esiste un'unica system call per creare un nuovo processo: *fork* che crea un clone esatto del processo chiamante. Dopo la *fork* i due processi hanno la stessa immagine di memoria, le stesse stringhe ambientali e gli stessi file aperti. Tipicamente il processo figlio esegue *execve* o una system call simile per cambiare l'immagine di memoria e eseguire un nuovo programma. Quando l'utente inserisce un comando la shell forka il processo figlio che poi esegue il comando. Questi due passaggi permettono al figlio di manipolare i propri file descriptors dopo la *fork* ma prima dell'*execve*. In Windows una singola chiamata alla funzione *CreateProcess* gestisce entrambi i passaggi con 10 parametri che includono la creazione e il caricamento del programma corretto da eseguire, i parametri di linea di comando, attributi di sicurezza, bit di controllo e un puntatore alla struttura in cui le informazioni sul processo sono ritornate al chiamante. Dopo che un processo è creato il genitore e il figlio possiedono i propri spazi di indirizzamento distinti. In UNIX quello del figlio è inizialmente una copia del genitore ma non è condivisa memoria scrivibile.

4.1.3 Terminazione di un processo

Dopo che un processo è stato creato e ha svolto il suo lavoro termina in:

- Normal exit (volontaria), la maggior parte dei processi termina in questo modo eseguendo una system call in modo da dire al sistema operativo che ha finito. Questa call è *exit* in UNIX e *ExitProcess* in Windows. Programmi screen-oriented supportano la terminazione volontaria.
- Error exit (volontaria), avviene quando il processo scopre un errore, lo annuncia ed esce, le applicazioni screen oriented tipicamente creano una dialog box.
- Fatal error (involontaria) è causata da un bug nel programma, come l'esecuzione di un'istruzione illegale.
- Ucciso da un altro processo (involontario) attraverso una system call che dice al sistema operativo di terminarlo in UNIX è *kill*, in Windows è *TerminateProcess*.

In alcuni sistemi quando un processo termina sono uccisi anche tutti i processi che ha creato.

4.1.4 Gerarchie di processi

In alcuni sistemi quando un processo ne crea un altro rimangono associati in certi modi. In UNIX un processo e tutti i suoi discendenti formano un gruppo di processi. Quando un segnale viene inviato dalla tastiera viene ricevuto da tutti i membri del gruppo di processi associati alla tastiera. Individualmente ogni processo può catturare il segnale, ignorarlo o svolgere un'azione default, che è di essere ucciso dal segnale. Un altro esempio di gerarchia è dato dall'inizializzazione di UNIX successivamente la fase di boot. Un processo speciale detto *init* è presente nella immagine di boot e quando viene eseguito legge un file che dice quanti terminali ci sono. Successivamente forka ad un nuovo processo per terminale. Questi processi aspettano per un login che se hanno successo esegue una shell per eseguire comandi che potrebbero iniziare altri e così via. Pertanto tutti i processi del sistema si basano su un singolo albero con *init* alla radice. Windows non possiede un concetto di gerarchia dei processi: sono tutti uguali, ma quando un processo è generato il padre possiede un token detto handle che gli permette di controllare il figlio. Questo token può essere passato ad altri processi, annullando la gerarchia.

4.1.5 Stati dei processi

Nonostante ogni processo sia un'entità indipendente, con il proprio program counter e stato interno, deve spesso interagire con altri processi, ad esempio accettando come input l'output di altri. Quando un processo si blocca lo sa in quanto non può continuare logicamente, tipicamente quando sta aspettando per un input che non è disponibile. È inoltre possibile che sia bloccato in quanto il sistema operativo ha deciso di allocare la CPU per un altro processo. Queste due condizioni sono diverse in quanto la prima è inerente il problema, mentre nel secondo caso è una tecnica del sistema. Ci sono pertanto tre stati che il processo può avere:

- Running: il processo sta utilizzando la CPU.
- Ready: eseguibile, stoppato per far eseguire un altro processo. Stato logicamente simile al primo in quanto il processo in entrambi i casi è capace di essere eseguito.
- Blocked: incapace di essere eseguito fino a che un evento esterno accade. Questo stato è differente in quanto il processo non può essere eseguito anche con la CPU libera.

L'unica transizione non possibile è quella da ready a blocked. La transizione da running a blocked avviene quando il sistema scopre che un processo non può continuare al momento. In alcuni sistemi si può eseguire una system call come *pause* per entrare in uno stato bloccato, in altri sistemi come UNIX, quando un processo legge da una pipe o da un file speciale e non si trova input disponibile il processo è automaticamente bloccato. La transizione da running a ready e viceversa sono causate dallo scheduler dei processi in modo da permettere l'eventuale esecuzione di tutti i processi in stato ready. La transizione da blocked a running avviene quando un evento esterno elimina il blocco logico del processo. Il modello dei processi permette di semplificare gli eventi interni al sistema: alcuni processi eseguono comandi dell'utente, altri sono parte del sistema e gestiscono richieste di esso. Quando avviene un interrupt il sistema ferma il processo corrente ed esegue l'interrupt che si bloccano quando aspettano che accada qualcosa altro. Il livello più basso del sistema operativo è lo scheduler, con un insieme di programmi al di sopra di esso. Tutti i dettagli della gestione dell'interrupt e di blocco e inizio dei processi sono nascosti e il resto del sistema operativo è strutturato in forma di processo.

4.1.6 Implementazione dei processi

Per implementare il modello dei processi il sistema operativo mantiene una tabella (array di strutture) chiamata la tabella dei processi con un entry per processo contenente informazioni riguardo lo stato del processo, come il program counter, lo stack pointer, la memoria allocata, lo stato dei file aperti e le informazioni di accounting e scheduling e ogni altra informazione che deve essere salvata quando il processo viene passato da running a ready o blocked in modo che possa essere fatto ripartire successivamente. In un tipico sistema la tabella presenta tre colonne con la prima dedicata alla gestione del processo, la seconda alla gestione della memoria e la terza alla gestione dei file. Associato con ogni classe di I/O si trova una locazione (tipicamente fissa al fondo della memoria) detta interrupt vector che contiene l'indirizzo della procedura del servizio di interrupt. Quando accade un interrupt tutti i processi che stanno venendo eseguiti salvano il program counter, lo stato e dei registri nello stack grazie all'hardware di interrupt e il computer salta all'indirizzo specificato nell'interrupt vector che fa partire la procedura. Tutti gli interrupt cominciano con il salvataggio dei registri nell'entry del processo corrente, dopo l'informazione è pushata sullo stack dall'interrupt è rimossa e il puntatore allo stack è settato a puntare ad uno stack temporaneo utilizzato dal gestore dei processi. Il salvataggio dei registri e il settaggio dello stack pointer devono essere svolti da una piccola routine in assembly, uguale per ogni interrupt. Quando la routine è finita chiama una procedura in *C* che svolge il resto del lavoro specifico al tipo di interrupt. Quando è finito viene chiamato lo scheduler per vedere quale processo deve essere eseguito. Dopo quello il controllo è passato al codice in assembly per ricaricare in memoria i registri e le mappe per il processo corrente e comincia ad essere eseguito. Dopo ogni interrupt il processo ritorna precisamente nello stesso stato in cui era prima che accadesse l'interrupt. Riassumendo il processo di interrupt:

- L'hardware salva lo stato del processo sullo stack.
- L'hardware carica il nuovo program counter dall'interrupt vector.
- Una procedura in assembly salva i registri.
- Una procedura crea un nuovo stack.
- Un servizio di interrupt in *C* viene eseguito (tipicamente legge e buffera l'input).
- Lo scheduler decide il prossimo processo da eseguire.
- Una procedura in *C* ritorna il codice in assembly.
- Una procedura in assembly ricomincia il nuovo processo corrente.

4.1.7 Modellare la multiprogrammazione

L'utilizzo della multiprogrammazione permette il miglioramento dell'utilizzo della CPU: se il processo medio computa il 20% del tempo che risiede in memoria, 5 processi alla volta dovrebbero rendere la CPU occupata tutto il tempo (irrealisticamente ottimistico). Un modello migliore consiste nel guardare l'utilizzo della CPU in modo probabilistico: supponendo che un processo utilizzi una frazione p del suo tempo aspettando per il completamento dell'I/O. Con n processi in memoria alla volta, la probabilità che tutti gli n processi stiano aspettando per l'I/O è p^n , pertanto l'utilizzo della CPU è $1 - p^n$. È facile notare come siano richiesti molti processi per rendere efficiente l'utilizzo della CPU. Si devono naturalmente fare delle assunzioni: tutti i processi sono indipendenti mentre con una singola CPU non si possono avere processi che vengono svolti in contemporanea. Pur non essendo preciso, questo modello dà una buona approssimazione delle prestazioni della CPU.

4.2 Threads

Nei sistemi operativi tradizionali ogni processo possiede uno spazio di indirizzamento e un singolo thread di controllo e nonostante questo è desiderabile avere multipli thread di controllo nello stesso spazio di indirizzamento eseguiti quasi in parallelo, quasi come processi separati.

4.2.1 Utilizzo dei thread

La ragione principale alla base dell'utilizzo dei thread è che molte applicazioni possiedono multiple attività che avvengono insieme. Alcune di queste potrebbero bloccarsi. Una decomposizione in multipli thread sequenziali semplifica il modello di programmazione. Si nota l'analogia con la necessità di avere i processi, con l'unica differenza che i thread permettono a entità parallele di condividere uno spazio di indirizzamento e tutti i dati tra di loro, un'abilità fondamentale per certe applicazioni. Oltre a questo i thread sono più leggeri e veloci da creare e distruggere dei processi, proprietà utile per un sistema dinamico e rapido. Permettono anche una certa sovrapposizione di attività non legate alla CPU. Invece sono utili in sistemi con multiple CPU, dove il parallelismo è possibile. Esiste un modello di progettazione in cui lo stato di computazione deve essere salvato e ripristinato nella tabella ogni volta che si cambia tra le richieste, simulando i threads e i loro stack, chiamato macchine a stato-finito. I thread rendono pertanto possibile mantenere l'idea dei processi sequenziali che fanno chiamate bloccanti e ottenere parallelismo:

Modello	Caratteristiche
Threads	Parallelismo, system calls bloccanti
Processi a thread singolo	Assenza di parallelismo, system calls bloccanti
Macchine a stato finito	Parallelismo, system calls non bloccanti, interrupts

4.2.2 Il modello dei thread classico

Il modello dei processi si basa sui concetti indipendenti di raggruppamento delle risorse ed esecuzione: i thread permettono la loro separazione. Si può considerare un processo come un modo per raggruppare risorse imparentate insieme: possiede uno spazio di indirizzamento che contiene il programma e i dati e altre risorse come file aperti, processi figli, allarmi in attesa, gestori di segnali, informazioni di gestione che uniti in esso sono gestiti più facilmente. Il processo inoltre possiede un thread di esecuzione che possiede un program counter che traccia quale istruzione eseguire successivamente, registri che contengono le variabili correnti, uno stack con la storia dell'esecuzione con un frame per ogni procedura senza ritorno. Pertanto se i processi raggruppano risorse i thread sono le entità in programma per esecuzione sulla CPU. I thread permettono un'esecuzione multipla sullo stesso ambiente di processo con grande livello di indipendenza. Il termine multithreading è utilizzato per descrivere una situazione in cui sono presenti multipli thread, detti processi leggeri. Quando un processo a multithread viene eseguito su un sistema a singola CPU i threads fanno a turno come i processi. Thread diversi in un processo non sono indipendenti come processi diversi: possiedono lo stesso spazio di archiviazione e pertanto devono condividere le stesse variabili globali e possono accedere e modificare i rispettivi stack, non necessaria in quanto i thread si generano da un processo generato da un utente e sono creati in modo da cooperare. Si nota come pertanto gli oggetti singoli di un processo sono lo spazio di archiviazione, le variabili globali, file aperti, processi figli, allarmi in attesa, segnali e loro gestori e informazioni di contabilità, mentre un thread possiede il program counter, i registri, lo stack e lo stato. Nello stesso modo dei processi possono essere eseguiti, bloccati, pronti o terminati. Ogni stack del thread contiene un frame per ogni procedura che è stata chiamata ma non ha ancora prodotto un valore di ritorno, distinta per ogni thread. Quando si trova

multithreading i processi cominciano solitamente con un unico thread presente che può crearne altri attraverso *thread_create* in cui un parametro specifica il nome della procedura per il nuovo thread. In alcuni casi possono essere gerarchici. La creazione di un thread ritorna un identificatore del thread che lo nomina. Quando un thread ha finito esce chiamando *thread_exit* che lo fa svanire. In alcuni sistemi può aspettare per l'uscita di un thread specifico attraverso *thread_join* che blocca il thread chiamante fino a che il thread specificato non ha finito. Un'altra chiamata comune è *thread_yield* che permette ad un thread di abbandonare la CPU per lasciare l'esecuzione per un altro thread. I thread generano delle complicazioni: la creazione di un processo figlio genera problemi in quanto dovrebbe ereditare tutti i thread del padre in quanto potrebbero essere essenziale, ma cosa succede a questi ultimi se erano bloccati da un interrupt. Un'altra classe di problemi dipende dal fatto che i thread condividono molte strutture dati che rendono necessaria una progettazione accurata.

4.2.3 Thread POSIX

Per rendere possibile la creazione di programmi con thread l'IEEE ha definito uno standard chiamato Pthreads supportato dalla maggior parte dei sistemi UNIX che definisce 60 chiamate a funzioni come:

- *Pthread_create* che crea un nuovo thread.
- *Pthread_exit* che termina il thread chiamante.
- *Pthread_join* che aspetta per l'uscita di un thread specifico.
- *Pthread_yield* che rilascia la CPU per permettere l'esecuzione di un altro thread.
- *Pthread_attr_init* che crea e inizializza la struttura di attributi del thread.
- *Pthread_attr_destroy* che rimuove la struttura di attributi del thread.

Ogni Pthread possiede un identificatore, un insieme di registri e un insieme di attributi salvati in una struttura. Quando un nuovo thread è creato viene ritornato l'identificatore del thread, molto simile alla *fork* se non si considerano i parametri. L'identificatore viene utilizzato per riferirsi ad altre chiamate. Quando un thread termina la chiamata alla funzione lo ferma e rilascia lo stack. Gli ultimi due gestiscono la memoria degli attributi inizializzandoli ai valori di default che potranno essere modificati. L'eliminazione degli attributi non causa la terminazione del thread.

4.2.4 Implementazione dei thread nello spazio utente

I thread possono essere implementati nel kernel o nello spazio utente, con una soluzione ibrida possibile.