

TECNICHE DI SIMULAZIONE

PRINCIPI GENERALI

Francesca Mazzia

Dipartimento di Matematica
Università di Bari

a.a. 2004/2005

Simulazione a eventi discreti

- Una simulazione a eventi discreti è la modellizzazione nel tempo di un sistema i cui cambi di stato si verificano discretamente nel tempo, quando si verifica un evento;

Simulazione a eventi discreti

- Una simulazione a eventi discreti è la modellizzazione nel tempo di un sistema i cui cambi di stato si verificano discretamente nel tempo, quando si verifica un evento;
- Una simulazione a eventi discreti procede costruendo una sequenza di immagini del sistema che rappresentano l'evoluzione del sistema nel tempo;

Simulazione a eventi discreti

- Una simulazione a eventi discreti è la modellizzazione nel tempo di un sistema i cui cambi di stato si verificano discretamente nel tempo, quando si verifica un evento;
- Una simulazione a eventi discreti procede costruendo una sequenza di immagini del sistema che rappresentano l'evoluzione del sistema nel tempo;
- Una data immagine ad una dato tempo ($\text{clock}=t$) include non solo lo stato al tempo t , ma anche una lista (FEL) di tutte le attività in esecuzione, quando queste attività terminano, lo stato di tutte le entità, il valore corrente delle statistiche cumulative e i contatori che saranno usati per calcolare le statistiche alla fine della simulazione.

Prototipo System snapshot

clock	stato del sistema	entità e attributi	insieme 1	insieme 2	FEL	statistiche cumulative
t	(x,y,z,...)				evento tipo 3 al tempo t1	

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Il meccanismo per avanzare nel tempo e garantire che tutti gli eventi si verificano nell'ordine cronologico corretto è basato sulla FEL.

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Il meccanismo per avanzare nel tempo e garantire che tutti gli eventi si verifichino nell'ordine cronologico corretto è basato sulla FEL.
- Questa lista contiene tutte le notifiche degli eventi che si verificheranno ad un tempo futuro.

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Il meccanismo per avanzare nel tempo e garantire che tutti gli eventi si verificano nell'ordine cronologico corretto è basato sulla FEL.
- Questa lista contiene tutte le notifiche degli eventi che si verificheranno ad un tempo futuro.
- Schedulare un evento futuro, significa che ad un certo istante una attività inizia, la sua durata è calcolata e l'evento fine attività, insieme con l'evento tempo, sono sistemati nella FEL;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Il meccanismo per avanzare nel tempo e garantire che tutti gli eventi si verificano nell'ordine cronologico corretto è basato sulla FEL.
- Questa lista contiene tutte le notifiche degli eventi che si verificheranno ad un tempo futuro.
- Schedulare un evento futuro, significa che ad un certo istante una attività inizia, la sua durata è calcolata e l'evento fine attività, insieme con l'evento tempo, sono sistemati nella FEL;
- Nel mondo reale molti eventi futuri, non sono schedulati, ma semplicemente accadono; Nel modello questi eventi sono rappresentati dalla fine di un'attività che è a sua volta rappresentata da una distribuzione statistica;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Ad un tempo fissato t la FEL contiene tutti gli eventi futuri schedulati ai passi precedenti, e il tempo associato (event time).

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Ad un tempo fissato t la FEL contiene tutti gli eventi futuri schedulati ai passi precedenti, e il tempo associato (event time).
- La lista è ordinata dall'event time, cioè tutti gli eventi sono sistemati in ordine cronologico;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Ad un tempo fissato t la FEL contiene tutti gli eventi futuri schedulati ai passi precedenti, e il tempo associato (event time).
- La lista è ordinata dall'event time, cioè tutti gli eventi sono sistemati in ordine cronologico;
- Gli event time soddisfano: $t < t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Ad un tempo fissato t la FEL contiene tutti gli eventi futuri schedulati ai passi precedenti, e il tempo associato (event time).
- La lista è ordinata dall'event time, cioè tutti gli eventi sono sistemati in ordine cronologico;
- Gli event time soddisfano: $t < t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$
- t è il valore del clock, cioè il valore corrente del tempo di simulazione;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Ad un tempo fissato t la FEL contiene tutti gli eventi futuri schedulati ai passi precedenti, e il tempo associato (event time).
- La lista è ordinata dall'event time, cioè tutti gli eventi sono sistemati in ordine cronologico;
- Gli event time soddisfano: $t < t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$
- t è il valore del clock, cioè il valore corrente del tempo di simulazione;
- L'evento associato con il tempo t_1 è chiamato evento imminente; cioè è il prossimo evento che si verifica;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Dopo che l'immagine del sistema al tempo di simulazione $\text{clock}=t$ è stata aggiornata, il clock diventa t_1 ;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Dopo che l'immagine del sistema al tempo di simulazione $\text{clock}=t$ è stata aggiornata, il clock diventa t_1 ;
- la notifica dell'evento imminente viene rimossa dalla FEL e l'evento eseguito.

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Dopo che l'immagine del sistema al tempo di simulazione $\text{clock}=t$ è stata aggiornata, il clock diventa t_1 ;
- la notifica dell'evento imminente viene rimossa dalla FEL e l'evento eseguito.
- L'esecuzione di un evento significa che si crea una nuova immagine del sistema, basandosi sulla vecchia immagine e sul tipo di evento.

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Dopo che l'immagine del sistema al tempo di simulazione $\text{clock}=t$ è stata aggiornata, il clock diventa t_1 ;
- la notifica dell'evento imminente viene rimossa dalla FEL e l'evento eseguito.
- L'esecuzione di un evento significa che si crea una nuova immagine del sistema, basandosi sulla vecchia immagine e sul tipo di evento.
- AL tempo t_1 si possono o no generare nuovi eventi futuri, se ci sono essi sono schedulati creando un event notice e inserendolo nel posto corretto nella FEL.

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Dopo che l'immagine del sistema al tempo di simulazione $\text{clock}=t$ è stata aggiornata, il clock diventa t_1 ;
- la notifica dell'evento imminente viene rimossa dalla FEL e l'evento eseguito.
- L'esecuzione di un evento significa che si crea una nuova immagine del sistema, basandosi sulla vecchia immagine e sul tipo di evento.
- AL tempo t_1 si possono o no generare nuovi eventi futuri, se ci sono essi sono schedulati creando un event notice e inserendolo nel posto corretto nella FEL.
- Dopo aver creato l'immagine per t_1 , il tempo viene modificato ripetendo il procedimento, fino a quando la simulazione finisce;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- La lunghezza e i contenuti della FEL cambiano continuamente con l'avanzare della simulazione, e quindi la sua gestione ha un impatto sull'efficienza della simulazione al computer;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- La lunghezza e i contenuti della FEL cambiano continuamente con l'avanzare della simulazione, e quindi la sua gestione ha un impatto sull'efficienza della simulazione al computer;
- La gestione della lista richiede, la cancellazione dell'evento imminente, l'inserimento di un nuovo elemento, e eventualmente la cancellazione di un evento.

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- La lunghezza e i contenuti della FEL cambiano continuamente con l'avanzare della simulazione, e quindi la sua gestione ha un impatto sull'efficienza della simulazione al computer;
- La gestione della lista richiede, la cancellazione dell'evento imminente, l'inserimento di un nuovo elemento, e eventualmente la cancellazione di un evento.
- L'evento imminente è di solito al TOP della lista e quindi la sua cancellazione è molto efficiente;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- La lunghezza e i contenuti della FEL cambiano continuamente con l'avanzare della simulazione, e quindi la sua gestione ha un impatto sull'efficienza della simulazione al computer;
- La gestione della lista richiede, la cancellazione dell'evento imminente, l'inserimento di un nuovo elemento, e eventualmente la cancellazione di un evento.
- L'evento imminente è di solito al TOP della lista e quindi la sua cancellazione è molto efficiente;
- l'inserimento di un nuovo evento richiede una ricerca;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- l'efficienza della ricerca dipende da come sono organizzati in modo logico gli elementi della lista;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- l'efficienza della ricerca dipende da come sono organizzati in modo logico gli elementi della lista;
- Gli algoritmi di ricerca possono essere svolti : top-down o bottom-up;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- l'efficienza della ricerca dipende da come sono organizzati in modo logico gli elementi della lista;
- Gli algoritmi di ricerca possono essere svolti : top-down o bottom-up;
- Il modo meno efficiente di mantenere la lista è non ordinarla;

Tempo 0

- L'immagine del sistema al tempo 0 è definita dalle condizioni iniziali e dalla generazione degli eventi esogeni; (Un evento esogeno accade fuori dal sistema, un esempio è l'evento arrivo in un sistema a coda;)

Tempo 0

- L'immagine del sistema al tempo 0 è definita dalle condizioni iniziali e dalla generazione degli eventi esogeni; (Un evento esogeno accade fuori dal sistema, un esempio è l'evento arrivo in un sistema a coda;)
- Al tempo 0 si genera il primo arrivo e lo si schedula nella FEL (cioè la notifica dell'evento è sistemata nella FEL);

Tempo 0

- L'immagine del sistema al tempo 0 è definita dalle condizioni iniziali e dalla generazione degli eventi esogeni; (Un evento esogeno accade fuori dal sistema, un esempio è l'evento arrivo in un sistema a coda;)
- Al tempo 0 si genera il primo arrivo e lo si schedula nella FEL (cioè la notifica dell'evento è sistemata nella FEL);
- Il tempo di interarrivo è un esempio di attività;

Tempo 0

- L'immagine del sistema al tempo 0 è definita dalle condizioni iniziali e dalla generazione degli eventi esogeni; (Un evento esogeno accade fuori dal sistema, un esempio è l'evento arrivo in un sistema a coda;)
- Al tempo 0 si genera il primo arrivo e lo si schedula nella FEL (cioè la notifica dell'evento è sistemata nella FEL);
- Il tempo di interarrivo è un esempio di attività;
- Quando il clock si pone al tempo del primo arrivo, viene generato un secondo arrivo;

Tempo 0

- L'immagine del sistema al tempo 0 è definita dalle condizioni iniziali e dalla generazione degli eventi esogeni; (Un evento esogeno accade fuori dal sistema, un esempio è l'evento arrivo in un sistema a coda;)
- Al tempo 0 si genera il primo arrivo e lo si schedula nella FEL (cioè la notifica dell'evento è sistemata nella FEL);
- Il tempo di interarrivo è un esempio di attività;
- Quando il clock si pone al tempo del primo arrivo, viene generato un secondo arrivo;
- Si genera prima un tempo di interarrivo, lo si aggiunge al tempo di clock, per ottenere un evento futuro da schedulare nella FEL;

Tempo 0

- L'immagine del sistema al tempo 0 è definita dalle condizioni iniziali e dalla generazione degli eventi esogeni; (Un evento esogeno accade fuori dal sistema, un esempio è l'evento arrivo in un sistema a coda;)
- Al tempo 0 si genera il primo arrivo e lo si schedula nella FEL (cioè la notifica dell'evento è sistemata nella FEL);
- Il tempo di interarrivo è un esempio di attività;
- Quando il clock si pone al tempo del primo arrivo, viene generato un secondo arrivo;
- Si genera prima un tempo di interarrivo, lo si aggiunge al tempo di clock, per ottenere un evento futuro da schedulare nella FEL;
- Questo modo di generare un arrivo esterno si chiama bootstrapping;

Eventi futuri

- Un altro modo di generare eventi futuri è dato dalla fine di un servizio in una simulazione di un sistema a coda;

Eventi futuri

- Un altro modo di generare eventi futuri è dato dalla fine di un servizio in una simulazione di un sistema a coda;
- Quando un cliente completa il servizio, a $\text{clock}=t$, se un cliente è in coda, si genera un nuovo tempo di servizio s^* per il cliente;

Eventi futuri

- Un altro modo di generare eventi futuri è dato dalla fine di un servizio in una simulazione di un sistema a coda;
- Quando un cliente completa il servizio, a $\text{clock}=t$, se un cliente è in coda, si genera un nuovo tempo di servizio s^* per il cliente;
- Si schedula un nuovo evento di fine servizio al tempo $t = t + s^*$ sistemando la notifica dell'evento nella FEL;

Eventi futuri

- Un altro modo di generare eventi futuri è dato dalla fine di un servizio in una simulazione di un sistema a coda;
- Quando un cliente completa il servizio, a $\text{clock}=t$, se un cliente è in coda, si genera un nuovo tempo di servizio s^* per il cliente;
- Si schedula un nuovo evento di fine servizio al tempo $t = t + s^*$ sistemando la notifica dell'evento nella FEL;
- Se all'arrivo vi è un server libero allora viene generato un un'altro evento di fine servizio;

Eventi futuri

- Un altro modo di generare eventi futuri è dato dalla fine di un servizio in una simulazione di un sistema a coda;
- Quando un cliente completa il servizio, a $\text{clock}=t$, se un cliente è in coda, si genera un nuovo tempo di servizio s^* per il cliente;
- Si schedula un nuovo evento di fine servizio al tempo $t = t + s^*$ sistemando la notifica dell'evento nella FEL;
- Se all'arrivo vi è un server libero allora viene generato un un'altro evento di fine servizio;
- Un tempo di servizio è un esempio di attività;

Eventi futuri

- Un altro modo di generare eventi futuri è dato dalla fine di un servizio in una simulazione di un sistema a coda;
- Quando un cliente completa il servizio, a $\text{clock}=t$, se un cliente è in coda, si genera un nuovo tempo di servizio s^* per il cliente;
- Si schedula un nuovo evento di fine servizio al tempo $t = t + s^*$ sistemando la notifica dell'evento nella FEL;
- Se all'arrivo vi è un server libero allora viene generato un un'altro evento di fine servizio;
- Un tempo di servizio è un esempio di attività;
- L'inizio di un servizio è un evento condizionato, la fine di un servizio è un evento primario; Solo gli eventi primari sono posti nella FEL;

STOP

- Ogni simulazione ha un evento di stop, che definisce per quanto tempo si effettuerà la simulazione;

STOP

- Ogni simulazione ha un evento di stop, che definisce per quanto tempo si effettuerà la simulazione;
- Ci sono due modi per generare un evento di STOP:

STOP

- Ogni simulazione ha un evento di stop, che definisce per quanto tempo si effettuerà la simulazione;
- Ci sono due modi per generare un evento di STOP:
- Al tempo 0 si schedula un evento stop ad un tempo specificato TE;

STOP

- Ogni simulazione ha un evento di stop, che definisce per quanto tempo si effettuerà la simulazione;
- Ci sono due modi per generare un evento di STOP:
- Al tempo 0 si schedula un evento stop ad un tempo specificato TE;
- La lunghezza della simulazione è determinata dalla simulazione stessa. Esempio: TE è il tempo della fine del servizio n. 100;

La visione del mondo

- Simulazione per eventi;

La visione del mondo

- Simulazione per eventi;
- Simulazione per processi;

La visione del mondo

- Simulazione per eventi;
- Simulazione per processi;
- Simulazione per attività;

Simulazione per processi

- In questo approccio tutti gli eventi del ciclo di vita di una entità, con le relative operazioni, vengono vengono accorpati in una sequenza detta processo.

Simulazione per processi

- In questo approccio tutti gli eventi del ciclo di vita di una entità, con le relative operazioni, vengono vengono accorpati in una sequenza detta processo.
- Ad esempio nel caso di una coda con un solo server, il processo relativo al cliente n può essere pensato come costituito da una sequenza di operazioni;

Simulazione per processi

- 1. Arrivo del cliente n ;

Simulazione per processi

- 1. Arrivo del cliente n ;
- 2. Calcolo del tempo di arrivo del cliente $n + 1$;

Simulazione per processi

- 1. Arrivo del cliente n ;
- 2. Calcolo del tempo di arrivo del cliente $n + 1$;
- 3. Creazione del processo relativo al cliente $n + 1$;

Simulazione per processi

- 1. Arrivo del cliente n ;
- 2. Calcolo del tempo di arrivo del cliente $n + 1$;
- 3. Creazione del processo relativo al cliente $n + 1$;
- 4. Il cliente $n+1$ viene posto in stato di attesa fino al suo tempo di arrivo;

Simulazione per processi

- 1. Arrivo del cliente n ;
- 2. Calcolo del tempo di arrivo del cliente $n + 1$;
- 3. Creazione del processo relativo al cliente $n + 1$;
- 4. Il cliente $n+1$ viene posto in stato di attesa fino al suo tempo di arrivo;
- 5. Il cliente n viene posto in stato di attesa fino a che non si trovi in testa alla coda ed il server sia libero;

Simulazione per processi

- 1. Arrivo del cliente n ;
- 2. Calcolo del tempo di arrivo del cliente $n + 1$;
- 3. Creazione del processo relativo al cliente $n + 1$;
- 4. Il cliente $n+1$ viene posto in stato di attesa fino al suo tempo di arrivo;
- 5. Il cliente n viene posto in stato di attesa fino a che non si trovi in testa alla coda ed il server sia libero;
- 6. Il server viene posto in stato occupato;

Simulazione per processi

- 7. Il cliente n viene tolto dalla coda;

Simulazione per processi

- 7. Il cliente n viene tolto dalla coda;
- 8. Il tempo di servizio viene calcolato

Simulazione per processi

- 7. Il cliente n viene tolto dalla coda;
- 8. Il tempo di servizio viene calcolato
- 9. Il cliente n viene posto in attesa fino a che il tempo di servizio non sia passato;

Simulazione per processi

- 7. Il cliente n viene tolto dalla coda;
- 8. Il tempo di servizio viene calcolato
- 9. Il cliente n viene posto in attesa fino a che il tempo di servizio non sia passato;
- 10. Il server viene posto in stato di libero;

Simulazione per processi

- 7. Il cliente n viene tolto dalla coda;
- 8. Il tempo di servizio viene calcolato
- 9. Il cliente n viene posto in attesa fino a che il tempo di servizio non sia passato;
- 10. Il server viene posto in stato di libero;
- 11. Il cliente n esce dal sistema.

Simulazione per processi

- Un processo può essere attivo oppure in attesa.

Simulazione per processi

- Un processo può essere attivo oppure in attesa.
- In quest'ultimo caso, si può trattare di una attesa condizionata, quando la ripresa dell'attività del processo dipende dal realizzarsi di condizioni esterne, oppure di un'attesa non condizionata, quando il tempo in cui il processo verrà riattivato è predefinito.

Simulazione per processi

- Un processo può essere attivo oppure in attesa.
- In quest'ultimo caso, si può trattare di una attesa condizionata, quando la ripresa dell'attività del processo dipende dal realizzarsi di condizioni esterne, oppure di un'attesa non condizionata, quando il tempo in cui il processo verrà riattivato è predefinito.
- Nell'esempio appena visto c'è un'attesa condizionata (operazione n.5) e due attese non condizionate (operazioni n.4 e n.9).

Simulazione per processi

- Un processo può essere attivo oppure in attesa.
- In quest'ultimo caso, si può trattare di una attesa condizionata, quando la ripresa dell'attività del processo dipende dal realizzarsi di condizioni esterne, oppure di un'attesa non condizionata, quando il tempo in cui il processo verrà riattivato è predefinito.
- Nell'esempio appena visto c'è un'attesa condizionata (operazione n.5) e due attese non condizionate (operazioni n.4 e n.9).
- Nell'esempio di una semplice coda, il server può essere considerato come una risorsa che viene utilizzata dai processi (clienti).

Simulazione per processi

- In casi più complessi si possono avere diverse classi di entità e quindi tipi di processi che competono per l'uso di risorse comuni.

Simulazione per processi

- In casi più complessi si possono avere diverse classi di entità e quindi tipi di processi che competono per l'uso di risorse comuni.
- Il server può anche essere modellato come una entità; in questo caso abbiamo processi che interagiscono, ciascuno condizionato dallo stato dell'altro.

Simulazione per processi

- In questo tipo di approccio, il programma di controllo deve mantenere una lista contenente, per ciascuna entità/processo due informazioni: il tempo di riattivazione (se conosciuto) ed il punto nel processo in cui la prossima riattivazione deve avvenire.

Simulazione per processi

- In questo tipo di approccio, il programma di controllo deve mantenere una lista contenente, per ciascuna entità/processo due informazioni: il tempo di riattivazione (se conosciuto) ed il punto nel processo in cui la prossima riattivazione deve avvenire.
- Questa lista può essere suddivisa in due sottoliste: quella degli eventi futuri, che contiene i processi in attesa non condizionata ed il cui tempo di riattivazione è maggiore del tempo corrente; quella degli eventi correnti, che contiene i processi in attesa non condizionata che devono al tempo corrente essere riattivati, e tutti quelli in attesa condizionata.

Simulazione per processi

- Questi ultimi stanno in questa lista, anche se non necessariamente verranno riattivati, perchè il riattivarsi di uno degli altri può creare le condizioni per la loro riattivazione.

Simulazione per processi

- L'operazione tipica che il controllore effettua in questo tipo di approccio è:

Simulazione per processi

- L'operazione tipica che il controllore effettua in questo tipo di approccio è:
 - (i) esegue una scansione della sottolista degli eventi futuri, in modo da determinare il nuovo tempo di simulazione che viene quindi aggiornato;

Simulazione per processi

- L'operazione tipica che il controllore effettua in questo tipo di approccio è:
 - (i) esegue una scansione della sottolista degli eventi futuri, in modo da determinare il nuovo tempo di simulazione che viene quindi aggiornato;
 - (ii) sposta dalla sottolista degli eventi futuri a quella degli eventi correnti le entità il cui tempo di riattivazione coincide con il nuovo tempo di simulazione;

Simulazione per processi

- L'operazione tipica che il controllore effettua in questo tipo di approccio è:
 - (i) esegue una scansione della sottolista degli eventi futuri, in modo da determinare il nuovo tempo di simulazione che viene quindi aggiornato;
 - (ii) sposta dalla sottolista degli eventi futuri a quella degli eventi correnti le entità il cui tempo di riattivazione coincide con il nuovo tempo di simulazione;
 - (iii) esegue ripetute scansioni della sottolista degli eventi correnti, cercando di spingere ciascuna entità il più avanti possibile nel suo processo (quando un'entità viene posta in attesa non condizionata, essa viene spostata alla sottolista degli eventi futuri).

Simulazione per processi

- L'approccio per processi si presenta come molto naturale in fase di costruzione del modello, e porta a programmi di simulazione efficienti computazionalmente.

Simulazione per processi

- L'approccio per processi si presenta come molto naturale in fase di costruzione del modello, e porta a programmi di simulazione efficienti computazionalmente.
- Esso richiede, soprattutto per modelli complessi, grande attenzione nella gestione delle interazioni tra processi: c'è ad esempio il rischio che si creino situazioni di stallo.

Simulazione per processi

- L'approccio per processi si presenta come molto naturale in fase di costruzione del modello, e porta a programmi di simulazione efficienti computazionalmente.
- Esso richiede, soprattutto per modelli complessi, grande attenzione nella gestione delle interazioni tra processi: c'è ad esempio il rischio che si creino situazioni di stallo.
- Questo fatto è particolarmente critico quando si debba intervenire, per aggiornarlo o modificarlo, su un modello già esistente.

Simulazione per processi

- L'approccio per processi si presenta come molto naturale in fase di costruzione del modello, e porta a programmi di simulazione efficienti computazionalmente.
- Esso richiede, soprattutto per modelli complessi, grande attenzione nella gestione delle interazioni tra processi: c'è ad esempio il rischio che si creino situazioni di stallo.
- Questo fatto è particolarmente critico quando si debba intervenire, per aggiornarlo o modificarlo, su un modello già esistente.
- È uno degli approcci più usati.

Simulazione per attività

- Il controllore si concentra sulle attività del modello e sulle condizioni che permettono ad una attività di iniziare;

Simulazione per attività

- Il controllore si concentra sulle attività del modello e sulle condizioni che permettono ad una attività di iniziare;
- Ad ogni avanzamento del clock, sono verificate le condizioni per ogni attività, e se sono vere, l'attività inizia;

Simulazione per attività

- Il controllore si concentra sulle attività del modello e sulle condizioni che permettono ad una attività di iniziare;
- Ad ogni avanzamento del clock, sono verificate le condizioni per ogni attività, e se sono vere, l'attività inizia;
- Questo approccio è semplice e porta a modelli modulari, che sono facili da gestire e/o modificare;

Simulazione per attività

- Il controllore si concentra sulle attività del modello e sulle condizioni che permettono ad una attività di iniziare;
- Ad ogni avanzamento del clock, sono verificate le condizioni per ogni attività, e se sono vere, l'attività inizia;
- Questo approccio è semplice e porta a modelli modulari, che sono facili da gestire e/o modificare;
- La scansione viene fatta su tutto l'insieme degli eventi con perdita di efficienza computazionale.

Simulazione per attività

- Il controllore si concentra sulle attività del modello e sulle condizioni che permettono ad una attività di iniziare;
- Ad ogni avanzamento del clock, sono verificate le condizioni per ogni attività, e se sono vere, l'attività inizia;
- Questo approccio è semplice e porta a modelli modulari, che sono facili da gestire e/o modificare;
- La scansione viene fatta su tutto l'insieme degli eventi con perdita di efficienza computazionale.
- Questo approccio è stato modificato e superato dall'approccio a tre fasi;

Simulazione a tre fasi

- Nell'approccio a tre fasi gli eventi sono considerati attività di lunghezza zero;

Simulazione a tre fasi

- Nell'approccio a tre fasi gli eventi sono considerati attività di lunghezza zero;
- Le attività sono divise in due categorie, B e C.

Simulazione a tre fasi

- Nell'approccio a tre fasi gli eventi sono considerati attività di lunghezza zero;
- Le attività sono divise in due categorie, B e C.
- Attività B: Tutti gli eventi primari e le attività incondizionate;

Simulazione a tre fasi

- Nell'approccio a tre fasi gli eventi sono considerati attività di lunghezza zero;
- Le attività sono divise in due categorie, B e C.
- Attività B: Tutti gli eventi primari e le attività incondizionate;
- Attività C: Attività o eventi che sono condizionati;

Simulazione a tre fasi

- Nell'approccio a tre fasi gli eventi sono considerati attività di lunghezza zero;
- Le attività sono divise in due categorie, B e C.
- Attività B: Tutti gli eventi primari e le attività incondizionate;
- Attività C: Attività o eventi che sono condizionati;
- Le attività di tipo B possono essere schedate come nell'approccio per eventi.

Simulazione a tre fasi

- Nell'approccio a tre fasi gli eventi sono considerati attività di lunghezza zero;
- Le attività sono divise in due categorie, B e C.
- Attività B: Tutti gli eventi primari e le attività incondizionate;
- Attività C: Attività o eventi che sono condizionati;
- Le attività di tipo B possono essere schedate come nell'approccio per eventi.
- Questo permette al Clock di avanzare nel tempo;

Simulazione a tre fasi

- La FEL contiene solo eventi di tipo B;

Simulazione a tre fasi

- La FEL contiene solo eventi di tipo B;
- La verifica se attività di tipo C possono iniziare o eventi di tipo C possono accadere si effettua solo alla fine di ogni avanzamento di tempo, dopo che tutti gli eventi di tipo B sono stati completati

Simulazione a tre fasi

- Fase A: Rimuovi l'evento imminente dalla FEL e fai avanzare il clock, rimuovi tutti gli altri eventi che hanno lo stesso tempo;

Simulazione a tre fasi

- Fase A: Rimuovi l'evento imminente dalla FEL e fai avanzare il clock, rimuovi tutti gli altri eventi che hanno lo stesso tempo;
- Fase B: Esegui tutti gli eventi di tipo B che sono stati rimossi dalla FEL;

Simulazione a tre fasi

- Fase A: Rimuovi l'evento imminente dalla FEL e fai avanzare il clock, rimuovi tutti gli altri eventi che hanno lo stesso tempo;
- Fase B: Esegui tutti gli eventi di tipo B che sono stati rimossi dalla FEL;
- Fase C: controlla le condizioni che innescano attività di tipo C e attiva le attività che possono iniziare; ricontrolla tutte le attività fino a quando nessuna attività di tipo C può iniziare, o nessun evento di tipo C può verificarsi;

Esempio - Drive-in rivisto

Il modello a eventi discreti ha le seguenti caratteristiche:

- Eventi:
Evento arrivo;
Fine del servizio di Gigi;
Fine del servizio di Piero

Esempio - Drive-in rivisto

Il modello a eventi discreti ha le seguenti caratteristiche:

- Eventi:
Evento arrivo;
Fine del servizio di Gigi;
Fine del servizio di Piero
- Attività: Tempo di interarrivo macchine;
Tempo di servizio di Gigi
Tempo di servizio di Piero;

Esempio - Drive-in rivisto

Il modello a eventi discreti ha le seguenti caratteristiche:

- Eventi:
Evento arrivo;
Fine del servizio di Gigi;
Fine del servizio di Piero
- Attività: Tempo di interarrivo macchine;
Tempo di servizio di Gigi
Tempo di servizio di Piero;
- Ritardo: Un cliente attende in coda fino a quando Gigi o Piero diventano liberi;

Esempio - Drive-in rivisto

Nell'approccio a tre fasi le attività da controllare nella fase C sono:

- Attività:

Esempio - Drive-in rivisto

Nell'approccio a tre fasi le attività da controllare nella fase C sono:

- Attività:
- Tempo di servizio di Gigi (un cliente è in coda e Gigi è libero);
Tempo di servizio di Piero (un cliente è in coda e Gigi è occupato e Piero è libero);

Esempio - Drive-in rivisto

Nell'approccio per processi il ciclo di vita di un cliente è rappresentato da:

- Evento arrivo

L'interazione con il cliente successivo è: alla fine del servizio del cliente n , termina il ritardo del cliente $n+1$

Esempio - Drive-in rivisto

Nell'approccio per processi il ciclo di vita di un cliente è rappresentato da:

- Evento arrivo
- Ritardo

L'interazione con il cliente successivo è: alla fine del servizio del cliente n , termina il ritardo del cliente $n+1$

Esempio - Drive-in rivisto

Nell'approccio per processi il ciclo di vita di un cliente è rappresentato da:

- Evento arrivo
- Ritardo
- Inizio servizio

L'interazione con il cliente successivo è: alla fine del servizio del cliente n , termina il ritardo del cliente $n+1$

Esempio - Drive-in rivisto

Nell'approccio per processi il ciclo di vita di un cliente è rappresentato da:

- Evento arrivo
- Ritardo
- Inizio servizio
- Attività

L'interazione con il cliente successivo è: alla fine del servizio del cliente n , termina il ritardo del cliente $n+1$

Esempio - Drive-in rivisto

Nell'approccio per processi il ciclo di vita di un cliente è rappresentato da:

- Evento arrivo
- Ritardo
- Inizio servizio
- Attività
- Fine servizio

L'interazione con il cliente successivo è: alla fine del servizio del cliente n , termina il ritardo del cliente $n+1$

Esempio - Coda a canale singolo

Una piccola drogheria ha solo una cassa. I clienti arrivano alla cassa in modo casuale con tempi di interarrivo che variano da 1 a 8 minuti. Ogni possibile valore dei tempi di interarrivo ha la stessa probabilità di verificarsi (Tabella 1). Il tempo di servizio varia da 1 a 6 minuti con probabilità diverse (Tabella 2). Il problema è analizzare il sistema simulando l'arrivo di 20 clienti.

Tabella 1: distribuzione dei tempi di interarrivo

Tempo di interarrivo (minuti)	probabilità	probabilità cumulativa	digit-casuali assegnati
1	0.125	0.125	001-125
2	0.125	0.250	126-250
3	0.125	0.375	251-375
4	0.125	0.500	376-500
5	0.125	0.625	501-625
6	0.125	0.750	626-750
7	0.125	0.875	751-875
8	0.125	1.000	876-000

Tabella 2: distribuzione dei tempi di servizio

Tempo di servizio (minuti)	probabilità	probabilità cumulativa	digit-casuali assegnati
1	0.10	0.10	01-10
2	0.20	0.30	11-30
3	0.30	0.60	31-60
4	0.25	0.85	61-85
5	0.10	0.95	86-95
6	0.05	1.00	96-00

Esempio: coda a canale singolo

Componenti del modello:

- Stato del sistema: $(LQ(t), LS(t))$;
 $LQ(t)$: numero di clienti in attesa;
 $LS(t)$: numero di clienti che sono serviti: 0,1 al tempo t ;

Esempio: coda a canale singolo

Componenti del modello:

- Stato del sistema: $(LQ(t), LS(t))$;
 $LQ(t)$: numero di clienti in attesa;
 $LS(t)$: numero di clienti che sono serviti: 0,1 al tempo t ;
- Entità: Il server e i clienti non sono modellati esplicitamente;

Esempio: coda a canale singolo

Componenti del modello:

- Stato del sistema: $(LQ(t), LS(t))$;
 $LQ(t)$: numero di clienti in attesa;
 $LS(t)$: numero di clienti che sono serviti: 0,1 al tempo t ;
- Entità: Il server e i clienti non sono modellati esplicitamente;
- Eventi: Arrivo (A), Partenza (P); stop (S), al tempo 60;

Esempio: coda a canale singolo

Componenti del modello:

- Stato del sistema: $(LQ(t), LS(t))$;
 $LQ(t)$: numero di clienti in attesa;
 $LS(t)$: numero di clienti che sono serviti: 0,1 al tempo t ;
- Entità: Il server e i clienti non sono modellati esplicitamente;
- Eventi: Arrivo (A), Partenza (P); stop (S), al tempo 60;
- Notifica degli eventi:
 (A,t) : arrivo al tempo t ; (P,t) : partenza al tempo t ;
 $(S,60)$: stop al tempo 60;

Esempio: coda a canale singolo

Componenti del modello:

- Stato del sistema: $(LQ(t), LS(t))$;
 $LQ(t)$: numero di clienti in attesa;
 $LS(t)$: numero di clienti che sono serviti: 0,1 al tempo t ;
- Entità: Il server e i clienti non sono modellati esplicitamente;
- Eventi: Arrivo (A), Partenza (P); stop (S), al tempo 60;
- Notifica degli eventi:
 (A,t) : arrivo al tempo t ; (P,t) : partenza al tempo t ;
 $(S,60)$: stop al tempo 60;
- Attività: Tempo di interarrivo; Tempo di servizio;

Esempio: coda a canale singolo

Componenti del modello:

- Stato del sistema: $(LQ(t), LS(t))$;
 $LQ(t)$: numero di clienti in attesa;
 $LS(t)$: numero di clienti che sono serviti: 0,1 al tempo t ;
- Entità: Il server e i clienti non sono modellati esplicitamente;
- Eventi: Arrivo (A), Partenza (P); stop (S), al tempo 60;
- Notifica degli eventi:
 (A,t) : arrivo al tempo t ; (P,t) : partenza al tempo t ;
 $(S,60)$: stop al tempo 60;
- Attività: Tempo di interarrivo; Tempo di servizio;
- Ritardo: tempo speso dal cliente in attesa;

Esempio: coda a canale singolo

Statistiche

- B = tempo totale in cui il server è occupato;

Esempio: coda a canale singolo

Statistiche

- B = tempo totale in cui il server è occupato;
- MQ = massima lunghezza della coda;

Esempio: coda a canale singolo

Tabella di simulazione

Stato del sistema					Statistiche	
clock	LQ(t)	LS(t)	FEL	Commenti	B	MQ
0	0	1	(P,4) (A,8) (S,60)	primo arrivo	0	0
				nuova partenza		
4	0	0	(A,8) (S,60)	prima partenza	4	0
8	0	1	(P,9) (A,14) (S,60)	secondo arrivo	4	0
9	0	0	(A,14) (S,60)	seconda partenza	5	0
14	0	1	(A,15) (P,18) (S,60)	terzo arrivo	5	0
15	1	1	(P,18) (A,23) (S,60)	quarto arrivo	6	1

Esempio: coda a canale singolo

- Supponiamo di voler aggiungere più dati nella modellazione e di voler stimare anche: il tempo medio speso da un cliente nel sistema e la proporzione media di clienti che passano più di 4 minuti nel sistema;

Esempio: coda a canale singolo

- Supponiamo di voler aggiungere più dati nella modellazione e di voler stimare anche: il tempo medio speso da un cliente nel sistema e la proporzione media di clienti che passano più di 4 minuti nel sistema;
- Per stimare queste medie è necessario espandere il modello, per rappresentare esplicitamente i clienti;

Esempio: coda a canale singolo

- Supponiamo di voler aggiungere più dati nella modellazione e di voler stimare anche: il tempo medio speso da un cliente nel sistema e la proporzione media di clienti che passano più di 4 minuti nel sistema;
- Per stimare queste medie è necessario espandere il modello, per rappresentare esplicitamente i clienti;
- Per poter calcolare il tempo che un cliente passa nel sistema è necessario conoscere il tempo di arrivo del cliente;

Esempio: coda a canale singolo

- Aggiungiamo al modello una entità cliente con il tempo di arrivo come attributo;

Esempio: coda a canale singolo

- Aggiungiamo al modello una entità cliente con il tempo di arrivo come attributo;
- queste entità saranno poste in una lista e le chiamiamo C1,C2,C3,...

Esempio: coda a canale singolo

- Aggiungiamo al modello una entità cliente con il tempo di arrivo come attributo;
- queste entità saranno poste in una lista e le chiamiamo C1,C2,C3,...
- Nella FEL inseriamo anche quale cliente è coinvolto nell'evento;

Esempio: coda a canale singolo

- Aggiungiamo al modello una entità cliente con il tempo di arrivo come attributo;
- queste entità saranno poste in una lista e le chiamiamo C1,C2,C3,...
- Nella FEL inseriamo anche quale cliente è coinvolto nell'evento;
- (P,4,C1) indica che il cliente 1 parte al tempo 4.

Esempio: coda a canale singolo

Aggiungiamo al modello:

- Entità (C_i, t) : rappresenta il cliente C_i che arriva al tempo t ;

Esempio: coda a canale singolo

Aggiungiamo al modello:

- Entità (C_i, t) : rappresenta il cliente C_i che arriva al tempo t ;
- Notifiche dell'evento:
 (A, t, C_i) : cliente C_i arriva al tempo t (P, t, C_i) : cliente C_i parte al tempo t

Esempio: coda a canale singolo

Aggiungiamo al modello:

- Entità (C_i, t) : rappresenta il cliente C_i che arriva al tempo t ;
- Notifiche dell'evento:
 (A, t, C_i) : cliente C_i arriva al tempo t (P, t, C_i) : cliente C_i parte al tempo t
- Insieme: Lista di clienti: l'insieme di tutti i clienti che sono in lista di attesa o sono serviti, ordinata per tempo di arrivo;

Esempio: coda a canale singolo

Aggiungiamo al modello tre nuove statistiche cumulative:

- S : somma del tempo speso nel sistema da tutti i clienti che sono partiti fino al tempo t .

Esempio: coda a canale singolo

Aggiungiamo al modello tre nuove statistiche cumulative:

- S : somma del tempo speso nel sistema da tutti i clienti che sono partiti fino al tempo t .
- F : numero totale di clienti che ha passato più di 4 minuti nel sistema;

Esempio: coda a canale singolo

Aggiungiamo al modello tre nuove statistiche cumulative:

- S : somma del tempo speso nel sistema da tutti i clienti che sono partiti fino al tempo t .
- F : numero totale di clienti che ha passato più di 4 minuti nel sistema;
- NP : Numero totale di partenze fino al tempo t ;

Esempio: coda a canale singolo

Tabella di simulazione

Stato del sistema					Statistiche		
clock	LQ(t)	LS(t)	LC	FEL	S	NP	F
0	0	1	(C1,0)	(P,4,C1) (A,8,C2) (S,60)	0	0	0
4	0	0		(A,8,C2) (S,60)	4	1	1
8	0	1	(C2,8)	(P,9,C2) (A,14,C3) (S,60)	4	1	1
9	0	0		(A,14,C3) (S,60)	5	2	1
14	0	1	(C3,14)	(A,15,C4) (P,18,C3) (S,60)	5	2	1
15	1	1	(C3,14),(C4,15)	(P,18,C3) (A,23,C5) (S,60)	5	2	1

Esempio: dump truck problem

Sei autocarri sono usati per trasportare carbone dall'ingresso di una piccola miniera alla ferrovia. Ogni autocarri è caricato da uno di due caricatori. Dopo essere stato caricato l'autocarro viene pesato da una bilancia il più presto possibile. Entrambi i caricatori e la bilancia hanno una coda di tipo FIFO. Il tempo di viaggio dai caricatori alla bilancia è considerato trascurabile. Dopo essere stato pesato l'autocarro inizia un tempo di viaggio durante il quale scarica il carbone e quindi ritorna alla coda per essere caricato nuovamente. Le distribuzione dei tempi di caricamento, dei tempi per essere pesati e dei tempi di viaggio sono riportate nelle tabelle. Lo scopo della simulazione è stimare l'utilizzo dei caricatori e della bilancia (percentuale del tempo in cui sono occupati).

Esempio: dump truck

Distribuzione tempi di caricamento

Tempo (minuti)	probabilità	probabilità cumulativa	digit-casuali assegnati
5	0.30	0.30	1-3
10	0.50	0.80	4-8
15	0.20	1.00	9-0

Distribuzione tempi per essere pesati

Tempo (minuti)	probabilità	probabilità cumulativa	digit-casuali assegnati
12	0.70	0.70	1-7
16	0.30	1.00	8-0

Esempio: dump truck

Distribuzione tempi di viaggio

Tempo (minuti)	probabilità	probabilità cumulativa	digit-casuali assegnati
40	0.40	0.40	1-4
60	0.30	0.70	5-7
80	0.20	0.90	8-9
100	0.10	1.00	0

Esempio: dump truck

- Stato del sistema:
 $LQ(t)$ = numero di autocarri in coda per essere caricati;
 $L(t)$ = numero di autocarri che vengono caricati (0,1,2);
 $WQ(t)$ = numero di autocarri in coda per essere pesati;
 $W(t)$ = numero di autocarri che vengono pesati (0,1);

Esempio: dump truck

- Stato del sistema:
 $LQ(t)$ = numero di autocarri in coda per essere caricati;
 $L(t)$ = numero di autocarri che vengono caricati (0,1,2);
 $WQ(t)$ = numero di autocarri in coda per essere pesati;
 $W(t)$ = numero di autocarri che vengono pesati (0,1);
- Notifica degli eventi:
(ALQ,t,DTi): l'autocarro i arriva alla coda per essere caricato al tempo t;
(EL,t,DTi) :l'autocarro i finisce il caricamento al tempo t;
(EW,t,DTi): l'autocarro i finisce di essere pesato al tempo t;

Esempio: dump truck

- Entità: I sei autocarri (DT1,DT2,...,DT6)

Esempio: dump truck

- Entità: I sei autocarri (DT1,DT2,...,DT6)
- Liste:
 - Coda di caricamento: tutti gli autocarri in attesa di essere caricati, ordinati in modo FIFO;
 - Coda per la bilancia: tutti gli autocarri in coda per essere pesati, ordinati in modo FIFO;

Esempio: dump truck

Tabella di simulazione

t	Stato del sistema				Liste			Statistiche	
	LQ(t)	L(t)	WQ(t)	W(t)	LQ	WQ	FEL	BL	BS
0	3	2	0	1	DT4		(EL,5,DT3)	0	0
					DT5		(EL,10,DT2)		
					DT6		(EW,12,DT1)		
5	2	2	1	1	DT5	DT3	(EL,10,DT2)	10	5
					DT6		(EL,5+5,DT4)		
							(EW,12,DT1)		
10	1	2	2	1	DT6	DT3	(EL,10,DT4)	20	10
						DT2	(EW,12,DT1)		
							(EL,10+10,DT5)		
10	0	2	3	1		DT3	(EW,12,DT1)	20	10
						DT2	(EL,20,DT5)		
						DT4	(EL,10+15,DT6)		

Esempio: dump truck

- Il modello poteva essere semplificato non inserendo le entità autocarro;

Esempio: dump truck

- Il modello poteva essere semplificato non inserendo le entità autocarro;
- Se però si vogliono aggiungere ulteriori statistiche, tipo: tempo totale passato dagli autocarri nel sistema, proporzione di autocarri che ha passato più di 30 minuti nel sistema, allora l'entità autocarro diventa importante;

Esempio: dump truck

- Il modello poteva essere semplificato non inserendo le entità autocarro;
- Se però si vogliono aggiungere ulteriori statistiche, tipo: tempo totale passato dagli autocarri nel sistema, proporzione di autocarri che ha passato più di 30 minuti nel sistema, allora l'entità autocarro diventa importante;
- All'entità autocarro bisogna aggiungere anche l'attributo: tempo di arrivo;

Esempio: dump truck

- Il modello poteva essere semplificato non inserendo le entità autocarro;
- Se però si vogliono aggiungere ulteriori statistiche, tipo: tempo totale passato dagli autocarri nel sistema, proporzione di autocarri che ha passato più di 30 minuti nel sistema, allora l'entità autocarro diventa importante;
- All'entità autocarro bisogna aggiungere anche l'attributo: tempo di arrivo;
- Alle statistiche bisogna aggiungere le variabili: S: tempo totale passato dagli autocarri nel sistema; F : numero di autocarri che hanno passato più di trenta minuti nel sistema.

Esempio: dump truck

- Simulazione per attività:
 - Tempo di caricamento (un autocarro è in coda per il caricamento e uno dei caricatori è libero)
 - Tempo per il peso (un autocarro è in coda per esser pesato e la bilancia è libera)
 - Tempo di viaggio (un autocarro ha finito di essere pesato)

Esempio: dump truck

- Simulazione per attività:
 - Tempo di caricamento (un autocarro è in coda per il caricamento e uno dei caricatori è libero)
 - Tempo per il peso (un autocarro è in coda per essere pesato e la bilancia è libera)
 - Tempo di viaggio (un autocarro ha finito di essere pesato)
- Simulaziuone per processi:
 - Ciclo di vita di un autocarro: Arrivo, attesa in coda per il caricamento, tempo di caricamento, attesa in coda per essere pesato, tempo per essere pesato, tempo di viaggio, Arrivo.