TECNICHE DI SIMULAZIONE

PRINCIPI GENERALI

Francesca Mazzia

Dipartimento di Matematica
Università di Bari

a.a. 2004/2005

Concetti della simulazione a eventi discreti

Sistemi dinamici stocastici che cambiano in modo discreto

- **Sistema** Un insieme di entità che interagisce nel tempo per compiere uno o più obiettivi;

Concetti della simulazione a eventi discreti

Sistemi dinamici stocastici che cambiano in modo discreto

- **Sistema** Un insieme di entità che interagisce nel tempo per compiere uno o più obiettivi;
- **Modello**: Una rappresentazione astratta del sistema, contenente relazioni logiche o matematiche, che descrivono il sistema in termini di stato, entità e i loro attributi, insiemi processi eventi attività e ritardi;

Concetti della simulazione a eventi discreti

Sistemi dinamici stocastici che cambiano in modo discreto

- **Sistema** Un insieme di entità che interagisce nel tempo per compiere uno o più obiettivi;
- **Modello**: Una rappresentazione astratta del sistema, contenente relazioni logiche o matematiche, che descrivono il sistema in termini di stato, entità e i loro attributi, insiemi processi eventi attività e ritardi;
- **Stato del sistema**: Un insieme di variabili che contengono tutte le informazioni per descrivere il sistema in ogni tempo;

Concetti della simulazione a eventi discreti

Sistemi dinamici stocastici che cambiano in modo discreto

- **Sistema** Un insieme di entità che interagisce nel tempo per compiere uno o più obiettivi;
- **Modello**: Una rappresentazione astratta del sistema, contenente relazioni logiche o matematiche, che descrivono il sistema in termini di stato, entità e i loro attributi, insiemi processi eventi attività e ritardi;
- **Stato del sistema**: Un insieme di variabili che contengono tutte le informazioni per descrivere il sistema in ogni tempo;

Concetti continua

- **Entità**: Qualsiasi oggetto o componente del sistema che richiede una rappresentazione esplicita;

Concetti continua

- **Entità**: Qualsiasi oggetto o componente del sistema che richiede una rappresentazione esplicita;
- **attributi**: Le proprietà di una entità;

Concetti continua

- **Entità**: Qualsiasi oggetto o componente del sistema che richiede una rappresentazione esplicita;
- **attributi**: Le proprietà di una entità;
- **Lista**: Un insieme di entità associate, ordinate in modo logico;(Esempio: clienti in coda in un certo istante di tempo);

Concetti continua

- **Entità**: Qualsiasi oggetto o componente del sistema che richiede una rappresentazione esplicita;
- **attributi**: Le proprietà di una entità;
- **Lista**: Un insieme di entità associate, ordinate in modo logico;(Esempio: clienti in coda in un certo istante di tempo);
- **Evento**: Una occorrenza istantanea che cambia lo stato di un sistema;

Concetti continua

- **Entità**: Qualsiasi oggetto o componente del sistema che richiede una rappresentazione esplicita;
- **attributi**: Le proprietà di una entità;
- **Lista**: Un insieme di entità associate, ordinate in modo logico;(Esempio: clienti in coda in un certo istante di tempo);
- **Evento**: Una occorrenza istantanea che cambia lo stato di un sistema;
- **Notifica di un evento**: Un record di un evento che si verifica al tempo corrente o futuro; Include almeno il tipo di evento e il tempo in cui si verifica (Event Notice);

Concetti continua

- **Attività**: Una lunghezza di tempo specifico, che si sa quando inizia;

Concetti continua

- **Attività**: Una lunghezza di tempo specifico, che si sa quando inizia;
- **Ritardo**: Una durata di tempo di lunghezza non specificata, che non si conosce fino a quando non finisce;

Concetti continua

- **Attività**: Una lunghezza di tempo specifico, che si sa quando inizia;
- **Ritardo**: Una durata di tempo di lunghezza non specificata, che non si conosce fino a quando non finisce;
- **Processi**: Una sequenza di eventi;

Concetti continua

- **Attività**: Una lunghezza di tempo specifico, che si sa quando inizia;
- **Ritardo**: Una durata di tempo di lunghezza non specificata, che non si conosce fino a quando non finisce;
- **Processi**: Una sequenza di eventi;
- **clock**: Una variabile rappresentante il tempo di simulazione;

Terminologia

- Diversi pacchetti di simulazione usano una terminologia diversa;

Terminologia

- Diversi pacchetti di simulazione usano una terminologia diversa;
- Esempio: le liste sono chiamate insiemi, code o catene;

Terminologia

- Diversi pacchetti di simulazione usano una terminologia diversa;
- Esempio: le liste sono chiamate insiemi, code o catene;
- Insiemi o liste sono usati per conservare le entità e non solo la notifica degli eventi;

Terminologia

- Diversi pacchetti di simulazione usano una terminologia diversa;
- Esempio: le liste sono chiamate insiemi, code o catene;
- Insiemi o liste sono usati per conservare le entità e non solo la notifica degli eventi;
- Le entità in una lista sono sempre ordinate dalla stessa regola, come first in first out o last in last out;

Terminologia

- Diversi pacchetti di simulazione usano una terminologia diversa;
- Esempio: le liste sono chiamate insiemi, code o catene;
- Insiemi o liste sono usati per conservare le entità e non solo la notifica degli eventi;
- Le entità in una lista sono sempre ordinate dalla stessa regola, come first in first out o last in last out;
- La lista degli eventi futuri è sempre ordinata dal tempo dell'evento memorizzato nella notifica dell'evento;

Attività

- Una attività rappresenta un tempo di servizio, un tempo di interarrivo, o qualsiasi altro tempo di processi la cui durata è stata caratterizzata e definita dal modello;

Attività

- Una attività rappresenta un tempo di servizio, un tempo di interarrivo, o qualsiasi altro tempo di processi la cui durata è stata caratterizzata e definita dal modello;
- La durata di una attività può essere:

Attività

- Una attività rappresenta un tempo di servizio, un tempo di interarrivo, o qualsiasi altro tempo di processi la cui durata è stata caratterizzata e definita dal modello;
- La durata di una attività può essere:
  - Deterministica

Attività

- Una attività rappresenta un tempo di servizio, un tempo di interarrivo, o qualsiasi altro tempo di processi la cui durata è stata caratterizzata e definita dal modello;
- La durata di una attività può essere:
  - Deterministica
  - Statistica

Attività

- Una attività rappresenta un tempo di servizio, un tempo di interarrivo, o qualsiasi altro tempo di processi la cui durata è stata caratterizzata e definita dal modello;
- La durata di una attività può essere:
  - Deterministica
  - Statistica
  - Una funzione dipendente da variabili di sistema e attributi delle entità;

Attività

- Una attività rappresenta un tempo di servizio, un tempo di interarrivo, o qualsiasi altro tempo di processi la cui durata è stata caratterizzata e definita dal modello;
- La durata di una attività può essere:
  - Deterministica
  - Statistica
  - Una funzione dipendente da variabili di sistema e attributi delle entità;
- In qualsiasi modo è specificata, la durata è calcolabile nell'instante in cui inizia;

Attività

- Per tenere traccia delle attività e del loro tempo di completamento, nell'istante simulato in cui inizia una durata di un'attività si crea un event notice che ha il tempo uguale al tempo di completamento dell'attività;

Attività

- Per tenere traccia delle attività e del loro tempo di completamento, nell'istante simulato in cui inizia una durata di un'attività si crea un event notice che ha il tempo uguale al tempo di completamento dell'attività;
- Esempio: Se il clock = 100 minuti e un tempo di ispezione di 5 minuti sta iniziando si crea un event notice che specifica il tipo di evento (la fine dell'ispezione) e il tempo (100+5 = 105 minuti);

RITARDO o ATTESA

- La durata di un ritardo non è specificata dal modello, ma si determina in base alle condizioni del sistema;

RITARDO o ATTESA

- La durata di un ritardo non è specificata dal modello, ma si determina in base alle condizioni del sistema;
- Spesso la durata di un ritardo è misurata ed è anche uno degli output del modello;

RITARDO o ATTESA

- La durata di un ritardo non è specificata dal modello, ma si determina in base alle condizioni del sistema;
- Spesso la durata di un ritardo è misurata ed è anche uno degli output del modello;
- Un ritardo termina quando un insieme di condizioni logiche diventa vero o uno o più eventi si verificano;

RITARDO o ATTESA

- La durata di un ritardo non è specificata dal modello, ma si determina in base alle condizioni del sistema;
- Spesso la durata di un ritardo è misurata ed è anche uno degli output del modello;
- Un ritardo termina quando un insieme di condizioni logiche diventa vero o uno o più eventi si verificano;
- Esempio: l'attesa di un cliente in una coda può dipendere dal numero e dalla durata del servizio degli altri clienti in coda e dalla disponibilità del server;

Attività e attese

- Un ritardo è spesso chiamato un'attesa condizionata;

Attività e attese

- Un ritardo è spesso chiamato un'attesa condizionata;
- Una attività è chiamata una attesa incondizionata;

Attività e attese

- Un ritardo è spesso chiamato un'attesa condizionata;
- Una attività è chiamata una attesa incondizionata;
- La fine di una attività è un'evento, chiamato evento primario che si tratta inserendo un'event notice nella lista degli eventi futuri;

Attività e attese

- Un ritardo è spesso chiamato un'attesa condizionata;
- Una attività è chiamata una attesa incondizionata;
- La fine di una attività è un'evento, chiamato evento primario che si tratta inserendo un'event notice nella lista degli eventi futuri;
- I ritardi sono manipolati ponendo le entità associate in un'altra lista, rappresentante, per esempio, la coda, fino a quando le condizioni del sistema permettono al processo di processare l'entità;

Attività e attese

- Un ritardo è spesso chiamato un'attesa condizionata;
- Una attività è chiamata una attesa incondizionata;
- La fine di una attività è un'evento, chiamato evento primario che si tratta inserendo un'event notice nella lista degli eventi futuri;
- I ritardi sono manipolati ponendo le entità associate in un'altra lista, rappresentante, per esempio, la coda, fino a quando le condizioni del sistema permettono al processo di processare l'entità;
- La fine di un ritardo è chiamato evento secondario, ma questi eventi non sono rappresentati nella lista degli eventi futuri;

Esempio - Drive-in rivisto

Il modello a eventi discreti ha le seguenti caratteristiche:

- Stato del sistema:
  $L_Q(t)$: numero di macchine che devono essere servite al tempo t;
  $L_A(t)$: 0 o 1 per indicare se Gigi è libero o occupato al tempo t;
  $L_B(t)$: 0 o 1 per indicare se Piero è libero o occupato al tempo t;

Esempio - Drive-in rivisto

Il modello a eventi discreti ha le seguenti caratteristiche:

- Stato del sistema:
  $L_Q(t)$: numero di macchine che devono essere servite al tempo t;
  $L_A(t)$: 0 o 1 per indicare se Gigi è libero o occupato al tempo t;
  $L_B(t)$: 0 o 1 per indicare se Piero è libero o occupato al tempo t;
- Entità: Sia le macchine che i server non necessitano di essere rappresentati esplicitamente, se non in termini delle variabili di stato, a meno che non bisogna calcolare alcune medie;

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;

Definizione del modello

La definizione del modello fornisce una descrizione statica del modello. In aggiunta è necessaria una relazione dinamica delle relazioni e delle interazioni fra le componenti;

- Come ogni evento cambia lo stato del sistema, gli attributi delle entità e i contenuti degli insiemi?

Definizione del modello

La definizione del modello fornisce una descrizione statica del modello. In aggiunta è necessaria una relazione dinamica delle relazioni e delle interazioni fra le componenti;

- Come ogni evento cambia lo stato del sistema, gli attributi delle entità e i contenuti degli insiemi?
- Come sono definite le attività? Come un'evento marca l'inizio o la fine di una attività? Può una attività inziare senza tener conto dello stato del sistema?

Definizione del modello

La definizione del modello fornisce una descrizione statica del modello. In aggiunta è necessaria una relazione dinamica delle relazioni e delle interazioni fra le componenti;

- Come ogni evento cambia lo stato del sistema, gli attributi delle entità e i contenuti degli insiemi?
- Come sono definite le attività? Come un'evento marca l'inizio o la fine di una attività? Può una attività inziare senza tener conto dello stato del sistema?
- Quale evento innesca l'inizio di ogni tempo di ritardo? Sotto quale condizione un ritardo inizia o finisce?

Definizione del modello

La definizione del modello fornisce una descrizione statica del modello. In aggiunta è necessaria una relazione dinamica delle relazioni e delle interazioni fra le componenti;

- Come ogni evento cambia lo stato del sistema, gli attributi delle entità e i contenuti degli insiemi?
- Come sono definite le attività? Come un'evento marca l'inizio o la fine di una attività? Può una attività inziare senza tener conto dello stato del sistema?
- Quale evento innesca l'inizio di ogni tempo di ritardo? Sotto quale condizione un ritardo inizia o finisce?
- Quale è lo stato del sistema a tempo 0? Quale evento deve essere generato al tempo 0 per inizializzare il modello cioè per iniziare la simulazione?

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 (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 verificano nell'ordine cronologico corretto è basato sulla FEL.
- Questa lista contiene tutte le notifiche degli eventi che si verificheranno ad un tempo fututro.

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 fututro.
- Schedulare una 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 fututro.
- Schedulare una 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: $t < t_1 \leq t_2 \cdots \leq t_n$

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: $t < t_1 \leq t_2 \cdots \leq t_n$
- t è il valore del clock, cioè il valore corrente del tempo di simulazione;

Algoritmo di avanzamento nel tempo

- Dopo che l'immagine del sistema al tempo di simulazione 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 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 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 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 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;