

Guida alla simulazione con Automod™

Ing. Andrea Govoni

Introduzione

- Automod™ è un software per la simulazione di impianti produttivi e logistici.
- Inoltre il suo modulo Autostat™ permette di effettuare analisi dei risultati tenendo conto della variabilità statistica del modello.

Simulazione

- La simulazione è l'imitazione di un processo o di un sistema reale per un determinato periodo di tempo.
- La simulazione comporta la generazione di una “storia artificiale” del sistema e l’osservazione di tale storia per poter fare INFERENZA riguardo alle caratteristiche del sistema reale che è stato modellato.
- PROBLEM-SOLVING per molti problemi reali.
- “cosa accadrebbe se...” “what-if”
- come dobbiamo progettare un sistema che ancora non è realizzato?

- La simulazione è l'imitazione di un processo o di un sistema reale per un determinato periodo di tempo. La simulazione è l'imitazione di un processo o di un sistema reale per un determinato periodo di tempo.
- La simulazione comporta la generazione di una “storia artificiale” del sistema e l’osservazione di tale storia per poter fare INFERENZA riguardo alle caratteristiche del sistema reale che è stato modellato.
- La simulazione è una metodologia di PROBLEM-SOLVING per molti problemi reali.
- La Simulazione è usata per descrivere e analizzare il comportamento di un sistema. Se ci chiediamo “cosa accadrebbe se...” “what-if” oppure se ci chiediamo come dobbiamo progettare un sistema che ancora non è realizzato la simulazione ci viene in aiuto.

Partiamo da un esempio

- Consideriamo le operazioni di un magazzino utensili che viene utilizzato da un gruppo di meccanici.
- **INPUT:** I meccanici arrivano in tempi variabili da 1 a 10 minuti (solo valori interi, con valori equamente distribuiti, cioè una distribuzione uniforme discreta).
- Il magazzino utensili serve i meccanici in tempi variabili da 1 a 6 minuti (anche questi solo interi ed equamente distribuiti).
- **OUTPUT:** performance del sistema, come la percentuale di tempo perso nell'attesa, il tempo medio per servire un meccanico, e così via.

- Consideriamo le operazioni di un magazzino utensili che viene utilizzato da un gruppo di meccanici.
- I meccanici arrivano in tempi variabili da 1 a 10 minuti (solo valori interi, con valori equamente distribuiti, cioè una distribuzione uniforme discreta).
- Il magazzino utensili serve i meccanici in tempi variabili da 1 a 6 minuti (anche questi solo interi ed equamente distribuiti).
- Restringere i tempi a valori interi è un'astrazione della realtà, poiché il tempo è continuo, ma in questo caso tale astrazione aiuta a rendere l'esempio semplice.
- L'obiettivo è di simulare le operazioni del magazzino utensili fino al momento in cui 20 meccanici sono stati serviti.
- Si potranno così misurare le performance del sistema, come la percentuale di tempo perso nell'attesa, il tempo medio per servire un meccanico, e così via.
- Chiaramente, 20 operazioni sono troppo poche per fare delle conclusioni sul comportamento del sistema a lungo termine, ma questo esempio è già in grado di mostrare quanto un problema di simulazione anche se molto semplice richieda l'uso di un computer per poter dare risultati significativi.

Esempio

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
|----------|-----------------------|--------------|------------------------|---------------------|-------------------|----------------|-------------------------------|------------------|
| Mechanic | Time between arrivals | Arrival time | Length of service time | Time service begins | Time service ends | Time in system | Tool crib attendant idle time | Mech waitir time |
| 1 | — | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 2 | 5 | 5 | 2 | 5 | 7 | 2 | 3 | 0 |
| 3 | 1 | 6 | 6 | 7 | 13 | 7 | 0 | 1 |
| 4 | 10 | 16 | 5 | 16 | 21 | 5 | 3 | 0 |
| 5 | 6 | 22 | 6 | 22 | 28 | 6 | 1 | 0 |
| 6 | 2 | 24 | 4 | 28 | 32 | 8 | 0 | 4 |
| 7 | 9 | 33 | 3 | 33 | 36 | 3 | 1 | 0 |
| 8 | 1 | 34 | 4 | 36 | 40 | 6 | 0 | 2 |
| 9 | 10 | 44 | 1 | 44 | 45 | 1 | 4 | 0 |
| 10 | 3 | 47 | 3 | 47 | 50 | 3 | 2 | 0 |
| 11 | 5 | 52 | 1 | 52 | 53 | 1 | 2 | 0 |
| 12 | 2 | 54 | 2 | 54 | 56 | 2 | 1 | 0 |
| 13 | 3 | 57 | 3 | 57 | 60 | 3 | 1 | 0 |
| 14 | 5 | 62 | 6 | 62 | 68 | 6 | 2 | 0 |
| 19 | 7 | 91 | 3 | 91 | 94 | 3 | 2 | 0 |
| 20 | 7 | 98 | 1 | 98 | 99 | 1 | 4 | 0 |
| | | | | | Totals | 79 | 30 | 10 |

Impianti Industriali

Ing. Andrea Govoni

5

- La prima colonna indica i 20 meccanici che arrivano nel sistema per essere serviti dal magazzino utensili.
- Per simulare gli intervalli di tempo casuali, supponiamo di aver utilizzato un dado o un sistema analogo, gli intervalli per l'arrivo dei meccanici vengono scritti in colonna 2, gli intervalli di tempo per servire i meccanici sono indicati in colonna 4.
- Il primo meccanico arriva al tempo 0, il secondo arriva 5 minuti dopo l'arrivo del primo, il terzo 1 minuto dopo l'arrivo del secondo... (Questi valori sono inseriti in colonna 3).
- Dopo aver compilato le prime quattro colonne con i dati che potremmo definire statistici si passa alla simulazione.
- Al tempo 0, il meccanico 1 arriva e viene servito immediatamente. Il tempo di servizio è di 2 minuti, quindi il periodo in cui il meccanico 1 viene servito termina al minuto 2. Il Magazzino utensili ha un tempo di attesa nullo, dato che la simulazione ha inizio con l'arrivo del primo meccanico. Al tempo 5 min, arriva il meccanico 2 e immediatamente viene servito, come indicato in colonna 5. Il tempo di servizio è 2 minuti, perciò il servizio termina al tempo 7 min, come indicato in colonna 6. Il magazzino utensili ha un tempo di attesa (idle) dal tempo 2 min al tempo 5 min, cioè resta in attesa per 3 minuti. Nessun meccanico fino ad ora ha perso tempo nell'attesa. Il meccanico 3 arriva al tempo 6, ma il servizio non può iniziare perché il magazzino utensili è impegnato fino al tempo 7, il meccanico 3 deve quindi aspettare 1 minuto prima di poter iniziare ad essere servito.

Esempio: analisi dei risultati

- Dopo aver completato la tabella è possibile calcolare alcuni indici per misurare le performance del sistema:
- Tempo medio nel sistema: $79 / 20 = 3,95$ minuti
- Percentuale del tempo di inattività: $30 / 99 * 100 = 30 \%$
(dove 99 è la lunghezza del tempo di simulazione calcolata in base al tempo a cui l'ultimo servizio finisce)
- Tempo medio di attesa di un meccanico: $10 / 20 = 0,5$ minuti
- Percentuale di meccanici che devono aspettare: $5 / 20 * 100 = 25 \%$
- Tempo medio di attesa dei soli meccanici che devono aspettare: $10 / 5 = 2$ minuti

Questa piccola simulazione ci dice che il sistema sta funzionando bene. Solo il 25 % dei meccanici deve aspettare. Circa il 30% del tempo il magazzino utensili è inattivo. Sarebbe possibile con la simulazione valutare se ci sia convenienza ad utilizzare un diverso magazzino utensili o se sia possibile servire un numero maggiore di meccanici. Questa simulazione risolta effettuando manualmente i calcoli è fortemente limitata dalla complessità del problema. Semplicemente introducendo una variabilità statistica e dovendo effettuare le prove più volte risulta chiaro il vantaggio di effettuare la simulazione numerica con un computer.

Esempio: domande

- Come è stata determinata la forma dei dati di input (cioè la distribuzione uniforme)?
- Come sono stati generati in modo casuale i dati per generare una popolazione statistica distribuita nel modo corretto?
- Qual'è l'errore intrinseco del modello?
- Quali altri problemi possono essere simulati?
- Quanto tempo serve per eseguire un "run" di simulazione?
- Quanti "run" diversi devono essere eseguiti?
- Quali tecniche statistiche devono essere utilizzate per analizzare i risultati?

Modeling concepts

I concetti di base per comprendere la simulazione ed Automod sono:

- Modelli ed eventi,
- Variabili di stato del sistema,
- entità e attributi,
- risorse,
- code,
- Attività e ritardi,
- Simulazione ad eventi discreti.

Modello

- Un modello è la rappresentazione di un sistema, deve contenere abbastanza informazioni per poter dare risposta alle domande a cui si è interessati, senza contenere dettagli superiori a quelli necessari.
- Vi sono:
 - modelli simulativi
 - modelli matematici
- Una ulteriore classificazione:
 - modelli dinamici
 - modelli statici

Ad esempio prendiamo un modello di simulazione che simula una macchina a controllo numerico. Raccogliendo i dati sulla velocità delle lavorazioni si nota che la macchina quando si surriscalda ha un controller che rallenta il ritmo delle operazioni. Questa informazione probabilmente serve nel modello dal punto di vista di tener conto di tale rallentamento, ma non occorre inserire nel modello un sistema che tenga conto della variazione di temperatura della macchina al susseguirsi delle lavorazioni e realizzare la logica del controller, ecc. Sarà sufficiente misurare i tempi di lavorazione per un tempo sufficientemente lungo per poter analizzarli in modo statistico.

I modelli simulativi rappresentano gli elementi di un sistema e la logica di funzionamento del sistema, i modelli matematici, invece rappresentano le relazioni (matematiche o statistiche) presenti tra gli elementi del sistema. I modelli matematici vengono "RISOLTI" in quanto a partire dai dati di input si usano formule per ricavare il valore dei dati di output. I modelli simulativi vengono "ESEGUITI" cioè si fa funzionare il sistema ottenendo una serie di risultati di output generati dalle interazioni degli elementi del sistema.

Modelli dinamici: il tempo svolge un ruolo cruciale, modelli statici: si valutano le condizioni in un istante fissato nel tempo.

Evento

- Un evento è un avvenimento che modifica lo stato del sistema.
- Gli eventi si dicono:
 - Endogeni se sono completamente interni al sistema;
 - Esogeni se vengono generati dall'ambiente esterno al modello.

Nell'esempio che abbiamo visto sono eventi: l'arrivo di un meccanico, l'inizio del servizio dato al meccanico, la fine del servizio.

L'arrivo del meccanico è un evento esogeno, perché il meccanico non era all'interno del modello prima di arrivare al magazzino utensili.

Variabili di stato del sistema

- Sono dei raccoglitori di informazioni necessarie a definire cosa sta accadendo nel sistema e a riconoscere quando qualcosa si modifica.
- Sono variabili di stato: il tempo, la percentuale di utilizzo di una macchina, la percentuale di tempo di inattività di un operatore.
- Le informazioni a cui si è interessati variano chiaramente da modello a modello, solitamente anche un buon programmatore riconosce quali variabili serviranno per l'analisi non a priori ma durante la stesura del codice.

In un modello ad eventi discreti le variabili di stato mantengono lo stesso valore per un lungo intervallo di tempo fino a che non accade un evento che ne modifica il valore.

Il caso contrario è quello dei modelli continui, nei quali le variabili cambiano continuamente solitamente in dipendenza del tempo. Sono molto usati dove vi è un flusso di un liquido.

Esistono anche modelli misti che presentano entrambi i tipi di variabili. Noi ci occuperemo solo di modelli ad eventi discreti.

Entità

- Un entità rappresenta un oggetto che richiede una definizione esplicita.
- Vi sono:
 - entità dinamiche: si muovono nel sistema
 - entità statiche: la loro posizione è fissa
- In Automod le entità dinamiche sono dette:

LOADS

Nell'esempio mostrato entità dinamiche sono i meccanici, entità statiche il magazzino utensili.

Attributi

- Ogni load può avere una serie di attributi che contengono informazioni specifiche del load stesso.
- Si possono definire una serie di attributi per riconoscere e poter distinguere i vari load: ad esempio il colore, il codice del prodotto, il volume di una bottiglia...
- Anche se tutti i load dello stesso tipo presentano gli stessi attributi, il valore dell'attributo può essere diverso per ogni load.

Ad esempio se creo un load di tipo "motore" potrò avere come attributi: "disposizione dei cilindri", "numero di cilindri", "tipo di raffreddamento", "tipo di carburante", "cilindrata" ed il contenuto di questi attributi può essere sempre diverso tra i vari loads:
1, 2, 3, 4 cilindri

Risorse

- Una risorsa è un'entità che fornisce un servizio alle entità dinamiche.
- Le risorse possono essere in diversi stati:
 - busy (in lavorazione)
 - idle (in attesa)
 - failed (guaste)
 - blocked (ferme perché non hanno spazio dove scaricare il prodotto)
 - starved (letteralmente “affamate”, cioè non alimentate da un prodotto che sia pronto per essere lavorato)

Il magazzino utensili mostrato nell'esempio è una risorsa. La risorsa se compatibile con il load che richiede il servizio impegna il load per il tempo necessario ad eseguire la lavorazione e modifica le caratteristiche del load stesso. Ad esempio una bottiglia non tappata entra in una macchina tappatrice, la macchina impegna la bottiglia per 2 secondi e la bottiglia esce dalla macchina con il tappo, a questo punto la macchina tappatrice è pronta per una nuova bottiglia.

Code

- Le code sono i posti in cui i loads risiedono fisicamente e graficamente all'interno di automod.
- I loads sono "parcheeggiati" nelle code finché non accade un evento che gli chieda di muoversi.
- I loads possono stare in una coda mentre aspettano che si liberi una risorsa o mentre una risorsa sta lavorando su di loro o mentre sono immagazzinati.

Esempi di code....

Attività

- Un'attività è un periodo di tempo con una durata che si conosce a priori. Così quando l'attività inizia si può già calcolare quando l'attività finirà.
- L'inizio e la fine di una attività coincidono con due eventi.

La durata dell'attività può essere un valore costante, ma anche un valore casuale generato seguendo una distribuzione statistica come i tempi per servire i meccanici nell'esempio mostrato.

Ritardi

- I ritardi sono periodi di tempo di durata indefinita che si genera da una combinazione delle condizioni del sistema.
- L'inizio e la fine di un ritardo coincidono con due eventi.

Ad esempio un load che aspetta in coda perché una risorsa si liberi non posso stabilire quanto tempo starà in coda perché vi sono altri elementi del sistema che possono modificare il suo tempo di attesa, ad esempio può arrivare un prodotto che deve essere lavorato sulla risorsa ed ha priorità (ad esempio deve essere realizzato per poter spedire subito un grosso ordine). Oppure il load deve aspettare perché si è verificato un guasto e la macchina deve essere riparata.

Modelli di simulazione ad eventi discreti

- Sono modelli in cui il valore delle variabili di stato cambia solamente in istanti di tempo ben definiti e cioè quegli istanti in cui accade un evento.
- Gli eventi accadono come inizio o fine di una attività o di un ritardo. Attività e ritardi trattengono i loads per un certo periodo di tempo.
- I loads competono tra loro per utilizzare le risorse e i sistemi di movimentazione.

Generazione di numeri casuali

In un modello sono molti gli eventi casuali, come i tempi di arrivo dei loads, la dimensione dei lotti, i tempi di processo, il tempo che intercorre tra un guasto ed il successivo, i tempi di riparazione...

Questi eventi devono essere generati in modo casuale -> se il sistema fosse già così ben compreso da non mostrare nessuna casualità non servirebbe fare una simulazione!

Nell'esempio che abbiamo visto il tempo di arrivo dei meccanici e la durata del tempo di servizio erano generati casualmente, diciamo attraverso l'uso di un dado. In tutti i modelli di simulazione realizzati al computer i numeri casuali vengono generati attraverso il computer. Il problema della simulazione è che spesso non si vogliono semplicemente dei numeri casuali ma si cerca una distribuzione statistica ben precisa, ad esempio si vogliono dei numeri casuali la cui distribuzione sia uniforme o normale o esponenziale.

Numeri casuali distribuiti con una legge nota

Se conosciamo la distribuzione dei dati reali, vogliamo che la simulazione usi numeri casuali ma rispettando la distribuzione reale.

Ad esempio i tempi che intercorrono tra due failures sono spesso distribuiti in modo esponenziale, nel modello vorremo replicare una distribuzione esponenziale, ma questa volta generata casualmente.

Automod è in grado di generare vari tipi di distribuzioni con una serie di numeri casuali

Random stream numbers

Ma se i numeri cambiano sempre casualmente come faccio a fare un debug del codice che ho scritto?

La soluzione è quello di generare vari set di numeri casuali (random stream) e poter richiamare ognuno di questi set attraverso un unico parametro, ad esempio:

Random stream 1: 1,3,6,24,78,90

Random stream 2: 2,4,6,72,89,98

A partire dal Random stream scelto Automod™ ricostruisce la distribuzione richiesta.

Tutti i programmatori sono soliti controllare il codice eseguendolo e verificando che le variabili assumano i valori corretti, o perlomeno stiano in un campo di accettabilità.

Per fare questo è necessario eseguire il codice più volte con gli stessi dati, fissando un random stream i numeri casuali generati saranno sempre gli stessi.

Grazie per l'attenzione

Ing. Andrea Govoni