Verifica e validazione dei modelli

Corso di Tecniche di Simulazione, a.a. 2005/2006

Francesca Mazzia

Dipartimento di Matematica
Università di Bari

12 Maggio 2006

Passi del processo Simulativo

- Formulare ed analizzare il problema.
- Sviluppare il Modello del Sistema.
- Raccolta e/o stima dei dati di input.
- Implementazione del simulatore.
- Verifica e Validazione del simulatore.
- Analisi statistica dell'output.
- Identificazione della soluzione e presentazione dei risultati di supporto.

Verifica e Validazione

- Il simulatore è una corretta implementazione del modello?
- Il modello è una ragionavole rappresentazione del sistema?

Verifica e validazione

- Un modello di simulazione di un sistema complesso può solo essere una sua approssimazione;
- Un modello di simulazione è sempre sviluppato per un insieme di obiettivi. Un modello valido per uno scopo potrebbe non esserlo per un'altro.
- La validazione non va effettuata solo dopo che il modello di simulazione è stato completamente sviluppato e solo se ci sono tempo e denaro disponibili.
- Un modello di simulazione e i suoi risultati hanno credibilità se il committente e le altre persone coinvolte nel progetto lo accettano come corretto.

Interazioni

- Interazioni periodiche con il manager/committente
- È estremamente importante per il modellatore interagire con il manager/committente su basi regolari.
- Questo approccio ha i seguenti benefici: quando si inizia uno studio di Simulazione può non esserci un idea chiara del problema da risolvere. Quando lo studio procede e la natura del problema diventa più chiara, tale informazione deve essere comunicata al manager che riformulerà gli obiettivi dello studio.
- La conoscenza di un Sistema da parte del manager contribuisce alla validità e credibilità del Modello.

Documento di ipotesi

- È bene registrare le ipotesi fatte in un Modello di Simulazione in un documento chiamato Modello Concettuale .
- Questo documento dovrebbe essere scritto con un formalismo comprensibile da ingegneri, manager, ecc. e dovrebbe contenere:
- 1. Un paragrafo con la visione d'insieme in cui discutere gli scopi del progetto, i risultati specifici devono essere indirizzati al particolare studio di Simulazione.
- 2. Descrizioni dettagliate di ogni sottosistema e come essi interagiscono.

Documento di ipotesi

- 3. Quali ipotesi semplificative sono state fatte e perchè.
- 4. Sommari contenenti i dati, la Media Campionaria e l'istogramma di un insieme di dati. Un appendice contenente la Distribuzione di Probabilità che meglio si adatta ad un certo insieme di dati.
- 6. Sorgenti di informazioni importanti e cause di dibattiti/polemiche.

Raccolta informazioni

L'analista dovrebbe fare uso di informazioni esistenti e dati sul Sistema includendo i seguenti punti:

- Conversazioni con soggetti esperti. Un Modello non è un astrazione sviluppata da un analista che lavora in isolamento, ma è frutto di un team di sviluppo.
- Osservazioni sul Sistema. Se esiste un Sistema simile ad uno di interesse, allora bisogna utilizzare i dati da esso risultanti per la costruzione del Modello.

Verifica

- Siamo interessati a determinare se il Modello di Simulazione concettuale è stato correttamente tradotto in un programma per computer (debugging del programma).
- Sebbene la Verifica sia semplice in teoria, il debugging di programmi di Simulazione a larga scala è un compito difficile dovuto alla concorrenza virtuale (la correttezza o meno delle esecuzioni dipendono dal tempo) e dal gran numero di percorsi logici potenziali.

Verifica

Tecniche per la verifica di programmi di Simulazione.

- Nello sviluppo di un Modello di Simulazione scrivere il programma in moduli o sottoprogrammi in modo da facilitare il debugging.
- Nello sviluppo di Modelli di Simulazione è opportuno avere più di una persona che riesamini il programma, poichè un unico programmatore potrebbe non essere un buon critico.
- Eseguire la Simulazione considerando una grande varietà di parametri di input e controllando che l'output sia ragionevole.

Verifica

- Una delle tecniche migliori che possono essere usate per la correzione di un programma di Simulazione a Eventi- Discreti è quella basata su tracciamento.
- Lo stato del Sistema (contenuto della lista degli eventi, tempo simulato, variabili di stato, contatori statistici, ecc,...) è mostrato dopo l'accadimento di ogni evento, per poi essere confrontato con calcoli/percorsi fatti a mano per controllare il funzionamento del programma.

Verifica

- Una Traccia spesso produce un grande volume di output che deve essere controllato evento per evento, alla ricerca di errori. Possibili problemi:
- potrebbero essere presenti alcune/molte informazioni non richieste dall'analista
- altre informazioni utili potrebbero mancare ovvero un certo tipo di errore potrebbe non essere rilevabile durante una esecuzione di debugging limitata (per durata e/o insieme di dati).

Verifica

- Sarebbe preferibile utilizzare un debugger interattivo che permetta ad un analista di fermare la Simulazione in un preciso istante, esaminare ed eventualmente modificare il valore di alcuni parametri.
- Il Modello deve essere eseguito, quando possibile, sotto ipotesi semplificative per parametri che portano ad una semplice stima degli eventi attesi.

Verifica

- Il Simulatore è una valida implementazione del Modello?
- Semplice ispezione.
- confronti comparativi del Modello e del Simulatore.
- Run di casi semplificati per individuare errori logici (Risultati più facilmente confrontabili).

Verifica

- Test di Consistenza. Verificare che il Simulatore produca risultati simili per parametri di input che hanno effetti analoghi.
- Test di Indipendenza dai Semi. La scelta dei semi non deve influenzare significativamente i risultati del Simulatore.
- Test di Confronto con Modelli deterministici.
- Test Comparativi con Modelli risolubili analiticamente.

Strumenti per il Debugging

- Trace.
- Visualizzazioni grafiche on-line.
- Antibugging (introduzione mirata di bug).
- Run di casi semplificati, con complessità incrementale, per individuare errori nel funzionamento.
- Test Degenerativi (configurazioni estremali del Simulatore e/o dei parametri).

Strumenti per il Debugging

- Test di Continuità. Si eseguono numerosi run con valori leggermente differenti dei parametri di input. Ogni variazione significativa dei valori di output deve essere oggetto di indagine.
- Per il Debugging si utilizzano tecniche analoghe a quelle necessarie per testare un qualsiasi prodotto software di una certa complessità.

Validazione

- Perchè serve sia la Verifica che la Validazione?
- Verifica: Processo per stabilire che il programma funziona correttamente.
- Validazione: Processo di verifica che il livello di accuratezza tra il modello ed il sistema è rispettato.
- Validazione Il Modello rappresenta adeguatamente il comportamento del Sistema?

Validazione

- Il valore di un Modello può essere definito solo in relazione all'uso che se ne fa. Quindi, la validazione è un processo per determinare se un Modello di Simulazione è una rappresentazione accurata del Sistema per gli obiettivi prefissati.

Validazione

Modelli di Progetti o di Sistemi non esistenti

- Nel caso in cui il Sistema non esiste, la difficoltà è più elevata.
- Il Modello viene esaminato alla luce del progetto di Sistema.
- Ogni assunzione e astrazione viene attentamente controllata .
- Generalmente è necessario coinvolgere un team.
- La Validazione, in questo caso, si basa più sul giudizio e l'esperienza che su dati concreti.

Validazione

Modelli di Progetti o di Sistemi non esistenti

- Individuare delle similitudini tra progetto del Sistema e il Modello è fondamentale.
- Più il Modello assomiglia al progetto, più è facile che sia valido e più facilmente può essere compreso dal team che effettua la validazione.

Validazione

Modelli di Sistemi esistenti

- Obiettivo della Simulazione Valutare una o più proposte di modifica del Sistema.
- Tecnica per la Validazione Confrontare i risultati ottenuti dal Simulatore con quelli misurati nel Sistema.
- La semplicità della Validazione in questo caso è più apparente che reale.

Validazione

Modelli di Sistemi esistenti. Metodologia Concettuale:

- Analizzare il Sistema in un periodo di tempo.
- Raccogliere i dati prestazionali del Sistema nello stesso periodo.
- Far eseguire il Simulatore con lo stesso input.
- Confrontare i risultati del Simulatore con quelli ottenuti dal Sistema.

Validazione

Modelli di Sistemi esistenti. Difficoltà:

- Nella realtà possono sorgere diversi problemi:
- Misure: Le misure possono essere difficili, costose o addirittura impossibili da ottenere.
- Può essere difficile ottenere (= misurare) le prestazioni che si riferiscono effettivamente ad un determinato input.
- Le misure possono essere incomplete, inconsistenti, sovrapposte.

Validazione

Validazione non Superata

- La differenza tra valori misurati e valori simulati è più alta di quanto siamo disposti a tollerare.

Soluzione:

- Calibrazione del Modello:
- Individuare l' errore effettuato nel processo modellistico.
- Spesso è un errore di omissione per cui i parametri del Modello risultano inferiori.
- Talvolta si sono effettuate assunzioni (implicite o esplicite) semplificative non valide.
- Altre volte il problema è nella raccolta dei dati.

Esempio Validazione Input Output: Banca

Una banca vuole espandere il servizio di drive-in all'angolo della strada principale. Al momento vi è un solo impiegato. Solo una o due transazione sono permesse allo sportello. Si assume che il tempo di servizio sia una variabile casuale. I tempi di servizio e i tempi di interarrivo sono stati raccolti per i 90 clienti che sono arrivati fra le 11:00 e le 13:00 di un Venerdì. È stato scelto questo periodo in seguito a una conversazione con il manager e l'mpiegato, questo perchè si è considerato un periodio rappresentativo di ora di punta.

Analisi dati di input

Un'analisi dei dati ha portato alla conclusione che gli arrivi possono essere modellati come un processo di Poisson, con tasso di 45 clienti per ora, e che i tempi di servizio sono approssimativamente distribuiti normalmente con media 1.1 minuti e deviazione standard di 0.2 minuti.
Il modello ha due variabili di input:
1. Tempi di interarrivo distribuiti esponenzialmente (processo di Poisson) con tasso $\lambda = 45$ all'ora.
2. Tempi di servizio con distribuzione $N(1.1, (0.2)^2)$.

I tempi di interarrivo sono esempi di variabili non controllabili dal manger.
Anche i tempi di servizio sono variabili da considerarsi non controllabili, sebbene in alcuni casi il tempo di servizio può essere controllabile.
Supponiamo che il tempo medio di servizio potrebbe essere diminuito, aumentando la tecnologia.
Settare tutte le variabili di decisione ad un livello costituisce una politica.
Per esempio, la banca ha un impiegato ($D_1 = 1$), tempo medio di servizio ($D_2 = 1.1$) e una fila di attesa ($D_3 = 1$).

Possiamo pensare di avere sviluppato e verificato il modello e di avere fatto una validazione dei dati di input. Possiamo adesso considerare il modello come una scatola nera, che dati dei parametri in input, ci genera dei risultati.

I dati di input sono:

1. $X_{11}, X_{12}, X_{13}, ...$: arrivi di Poisson con tasso $= 45/\text{ora}$
2. $X_{21}, X_{22}, X_{23}, ...$: tempo di servizio $N(D_2, 0.2^2)$
3. Un impiegato $D_1 = 1$
4. tempo medio di servizio $D_2 = 1.1$

5 Un coda $D_3 = 1$

I dati di Output sono:

1. Utilizzo dell'impiegato: $Y_1 = \rho$
2. Attesa media in coda : Y_2
3. Lunghezza massima della coda: Y_3
4. Tassi di arrivo osservato : Y_4
5. Tempo medio di servizio: Y_5
6. Deviazione standard campione: Y_6

Per effettuare una validazione input/output bisogna avere a disposizione dati del sistema reale, confrontabili con l'output richiesto. In particolare la risposta del sistema dovrebbe essere stata raccolta nello stesso periodo in cui è stato raccolto l'input.
Supponiamo di avere calcolato il tempo medio di attesa $Z_2 = 4.3$ minuti.
Quando eseguiamo il modello ci aspettiamo di avere un valore di Y_2 vicino a Z_2.
In generale non ci possiamo aspettare un valore uguale a Z_2, dobbiamo quindi verificare la consistenza fra i valori di output.

Prima di tutto è necessario eseguire almeno un piccolo numero di volte il modello con un insieme di dati di input statisticamente indipendenti, usando per esempio un insieme di numeri casuali che non si sovrappongono.
Il modello è stato eseguito per 6 volte fissando una durata massima di due ore.

Esecuzione	Y_4 arrivi/ora	Y_5 tempo medio servizio	Y_2 tempo medio attesa
1	51	1.07	2.79
2	40	1.12	1.12
3	45.5	1.06	2.24
4	50.5	1.10	3.45
5	53	1.09	3.13
6	49	1.07	2.38

Il test statistico è dato da
H_0: $E(Y_2) = 4.3$ minuti
H_1: $E(Y_2) \neq 4.3$ minuti.
Il test statistico da utilizzare è il t-test.
Scegliamo un livello di significatività $\alpha = 0.05$ e il valore delle repliche $n = 6$.
Calcoliamo la media campione e la varianza campione:
La media

$$\bar{Y}_2 = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6} Y_{2i} = 2.51$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{6}(Y_{2i} - \bar{Y}_2)^2}{5}} = 0.82$$

Otteniamo il valore critico per il t-test $t_{\alpha/2,n-1} = 2.571$ dalla tabella.
Calcoliamo
$t_0 = \frac{\bar{Y}_2 - \mu_0}{S/\sqrt{n}} = -5.34$
con $\mu_0 = 4.3$
Poichè $|t_0| > t_{\alpha/2,n-1} = 2.571$ l'ipotesi nulla viene rigettata.

Si deve quindi analizzare il modello per vedere cosa non è stato considerato.
In questo esempio non si è tenuto conto del lavoro fatto dagli impiegati per i pedoni.
Una macchina può trovare l'impiegato occupato perchè sta servendo un pedone.
Il modello viene quindi aggiornato aggiungendo i clienti a piedi, con una distribuzione di tempi di interarrivo esponeziale con media 3 minuti.
Il modello rivisto verifica il t-test e quindi viene considerato accettabile.

Possiamo immettere come dati di input del modello i dati storici.
Usando questa tecnica ci aspettiamo che il risultati dati dal modello siano molto vicino al risultato reale.
Bisogna però avere a disposizione tutti i dati di input e tutti i risultati, e in alcuni casi questo può essere difficile da avere.