Abstract State Machine – Concetti di Base

Idee guida

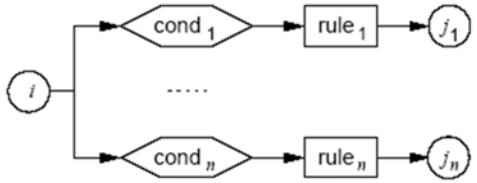
- ASM = FSM con stati generalizzati
  - Le ASM rappresentano la forma matematica di Macchine Astratte che estendono la nozione di Finite State Machine
- Ground Model (descrizioni formali)
- Raffinamenti

Finite State Machine (1)

- Un automa a stati finiti è definito da una 5-pla: FSM = <Q, Σ, δ, q0, F>, dove:
  - Q è l'insieme finito e non vuoto degli stati dell'automa, ciascuno caratterizzato da una particolare configurazione di valori delle variabili di stato
  - Σ è l'alfabeto di input
  - δ è la funzione transizione di stato δ :(Q X Σ)→Q (automi deterministici)
  - q0 è lo stato iniziale
  - F ⊆Q è l'insieme di stati finali

Finite State Machine (2)

- Una FSM può essere definita da un programma della forma




```
if ctl_state = i then
  if cond_1 then
    rule_1
    ctl_state := j_1
    ...
  if cond_n then
    rule_n
    ctl_state := j_n
```

Finite State Machine (3)

- dove
  - ctl_state rappresenta lo stato, i cui valori appartengono a un insieme finito
  - i, j1, j2, …, jn, sono stati interni (i valori di ctl_state)
  - condk (k=1, 2, …, n) rappresentano le condizioni di input
  - rulek le azioni di output

Finite State Machine (4)

- Definizione in forma testuale (alternativa)

FSM(*i*, **if** *cond* **then** *rule*,*j*) =

if *ctl_state* = *i* **and** *cond* **then** {*rule*, *ctl_state*:=*j*}

Da FSM a ASM (1)

- Le ASM sono analoghe alle FSM
- Le differenze riguardano
  - la concezione degli stati:
    - nelle FSM esiste un unico stato di controllo (ctl_state), che può assumere valori in un insieme finito di un certo tipo
  - le condizioni di input e le azioni di output
    - alfabeto finito
  - la potenza computazionale
    - le ASM soddisfano la Tesi di Church-Turing

Da FSM a ASM (2)

- Nelle ASM invece gli stati sono associati a un insieme di valori di qualsiasi tipo, memorizzate in apposite locazioni
  - Una locazione rappresenta il concetto astratto di unità di memoria, indipendente dal particolare meccanismo di indirizzamento
  - L'astrazione al livello opportuno è ottenuta mediante parametrizzazione delle locazioni

Da FSM a ASM (3)

- Più precisamente: gli stati delle ASM sono strutture matematiche in cui i dati sono oggetti astratti, e cioè elementi di insiemi a cui è possibile applicare operazioni e predicati
- Conseguenza
  - Le transizioni di stato delle FSM corrispondono alle transizioni di stato delle ASM, ma in più con aggiornamenti dei valori contenuti nelle locazioni
    - Assegnamenti della forma loc(x1, x2, …, xn) := val

Da FSM a ASM (4)

- La differenza tra il concetto di stato di FSM e ASM porta a macchine i cui stati possono essere domini di qualsiasi oggetto
- Analogamente all'estensione degli stati FSM (non strutturati) in stati ASM (strutturati), le condizioni di input di FSM sono estese ad arbitrarie espressioni sugli stati nelle ASM
  - Queste espressioni sono sentinelle (guard), in quanto determinano l'istruzione che deve essere eseguita.

Definizione di ASM

- Insieme di istruzioni (regole ASM) della forma

  if cond then Updates

dove:

  - Updates è un insieme di aggiornamenti di funzioni f(t1, t2, …, tn) := t

Nota

- Si parla di "regole ASM" per evidenziare la distinzione tra
  - il modello di esecuzione parallela per le ASM
  - e il modello di esecuzione a singola istruzione della programmazione tradizionale

Concetto di funzione

- Il termine funzione deve essere inteso in senso matematico, non informatico
  - Per esprimere dal punto di vista matematico il concetto di funzione, possiamo pensarla come una tabella contenente valori
  - Quando si parla di location si può pensare all'indicizzazione di una cella della tabella

Abstract State Machine – Definizioni Formali

Definizioni (1)

- Signature: insieme di nomi di funzioni dell'ASM
  - Detta anche vocabolario della ASM, è indicata con Σ
- Superuniverso: è la collezione di elementi di uno stato

Definizioni (2)

- Stato su una signature Σ è costituito dal superuniverso di quello stato e dall'interpretazione dei nomi di funzioni in Σ
- L'interpretazione di una funzione f (di arietà n) su un universo X è una funzione da X^n a X
  - L'interpretazione di una costante è un elemento di X
  - Le funzioni parziali sono totalizzate ponendo undef l'interpretazione per gli argomenti per cui la funzione non è definita

Definizioni (3)

- Le Locations sono coppie (f, (v1, v2, ..., vn)) con f nome di una funzione e v1, v2, ..., vn lista di valori di X

Regole di Transizione (1)

- Una ASM è un sistema che comprende un numero finito di regole di transizione della forma

  if Condition then Updates

- che determinano transizioni di stato nella macchina

Regole di Transizione (2)

- Condition (o sentinella) è una qualsiasi formula del primo ordine, senza variabili libere, la cui interpretazione può essere true o false
  - Funge da sentinella, in quanto solo il suo verificarsi determina l'applicazione della regola
- Updates è l'insieme finito di aggiornamenti di funzione, la cui esecuzione determina la definizione o il cambiamento (in parallelo) dei valori di una funzione
  - Un update corrisponde alla coppia <location, value>

Regole di Transizione (3)

- In un dato stato:
  - vengono valutati tutti i parametri
  - si cambia il valore della funzione
- Un update <loc, val> rappresenta l'unità del cambiamento di stato, determinato dal cambiamento del valore della locazione loc, che assume il valore val

Stati

- La nozione di stato nelle ASM corrisponde alla nozione di struttura dati astratta
  - I dati sono elementi di insiemi (domini) a cui è possibile applicare
    - operazioni di base
    - predicati (attributi/relazioni)
- L'esecuzione di una ASM è un'istanza della computazione di sistemi a transizione

Consistenza di update

- Un insieme di update è consistente se tutti fanno riferimento a locazioni diverse
- Se una coppia di update fa riferimento alla stessa locazione, l'intero insieme è inconsistente

Computazione (1)

- Un passo computazionale di una ASM in un dato stato consiste nell'eseguire simultaneamente tutti gli update di tutte le regole di transizione la cui sentinella è vera per quello stato
- Condizione necessaria è che gli update siano tutti consistenti. In tal caso il risultato della computazione determina la transizione di stato

Computazione (2)

- Se esiste inconsistenza tra una coppia di update, allora la computazione non porta a un nuovo stato, ma si ha un errore
- La computazione di una ASM procede in modo iterativo, ripetendo successivamente ogni passo computazionale

Computazione (3)

- Nel caso particolare di esecuzioni che terminano, è possibile definire qualche criterio di terminazione
  - Non è più applicabile alcuna regola
  - Viene eseguito un update vuoto
  - Lo stato non cambia più (stato pozzo)
  - …

Vantaggi della esecuzione simultanea (1)

- L'esecuzione simultanea fornisce un utile strumento per la progettazione di alto livello per descrivere localmente un cambiamento di stato globale
  - Cioè, quello ottenuto in un unico step, applicando un insieme di update
  - Unica limitazione: la consistenza

Vantaggi della esecuzione simultanea (2)

- Favorisce l'astrazione dalla sequenzialità
  - Facilita la progettazione di sistemi distribuiti/paralleli

Esecuzione simultanea di una regola (1)

- Notazione per esprimere la esecuzione simultanea di una regola R per ogni x che soddisfa la condizione C:

```
forall x with C
R
```

- Analogamente è possibile esprimere il non determinsimo nel modo seguente

```
choose x with C
R
```

Esecuzione simultanea di una regola (2)

- In entrambi i casi
  - C è un'espressione a valori booleani
  - R è una regola

Classificazioni (1)

- Due tipologie di funzioni
  - Basic: sono le funzioni elementari, che costituiscono la signature di una ASM
  - Derived: sono funzioni il cui valore in ogni stato è calcolato a partire dalle funzioni di base

Classificazioni (2)

- Le funzioni basic possono essere
  - Static: non cambiano mai valore durante l'esecuzione,
    - il loro valore non dipende dallo stato corrente
    - funzioni static di arietà 0 sono le costanti
  - Dynamic: sono funzioni il cui valore dipende dallo stato corrente della ASM
    - il loro valore dipende dagli update della ASM o dell'ambiente esterno
    - funzioni dynamic di arietà 0 corrispondono alle variabili dei tradizionali linguaggi di programmazione

Classificazioni (3)

- Le funzioni dynamic possono essere
  - Monitored (o in): possono essere lette ma non modificate dalla ASM
    - Sono modificate solo dall'ambiente esterno o da altre ASM, nel caso di sistemi multiagente
    - In ogni stato **deve** essere specificato il valore di **tutte** le funzioni monitored
  - Controlled: sono modificate solo dalla ASM, mediante l'esecuzione delle regole di transizione
    - non dall'ambiente né da altre ASM

Classificazioni (4)

- Shared (o interaction): possono essere modificate da più ASM e dall'ambiente
- Out: possono essere modificate ma non lette dalla ASM
  - in genere sono monitored per l'ambiente e per le altre ASM

Classificazioni (5)

- Classificazioni analoghe valgono per le location e per le relazioni

Abstract State Machine – Composizione

Composizione di ASM

- Modellizzare un sistema mediante ASM presenta il vantaggio di favorire la composizione di diverse ASM, ottenendo ASM più complesse
- Idea di base:
  - Definire costrutti per la composizione di ASM analoghi a quelli di composizione di istruzioni nei linguaggi di programmazione

Costrutti per la Composizione di ASM

- Per comporre ASM sono necessari i costrutti di
  - sequenza
  - iterazione

Costrutto di Sequenza

- La composizione per sequenzialità deve essere esplicitamente costruita
  - Costruire meccanismi che permettono di eseguire quanto specificato da una ASM dopo aver eseguito quanto specificato da un'altra
  - trattare l'esecuzione sequenziale P seq Q delle due regole P e Q come un'azione atomica

Costrutto di Sequenza - Esempio (1)

- Si vuole costruire per composizione di ASM una ASM che svolga la funzione di pop_back su una lista
  - Cancellazione dell'ultimo elemento di una lista
- Siano disponibili le regole
  - move_last: setta il puntatore sull'ultimo elemento della lista
  - delete: cancella l'elemento della lista correntemente puntato

Costrutto di Sequenza - Esempio (2)

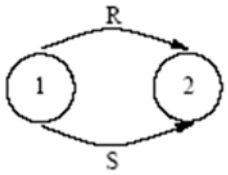
```
pop_back =
if mode = Move then
    move_last
    mode:= Delete
if mode = Delete then
    delete
    mode:= Move
```

ERRATO

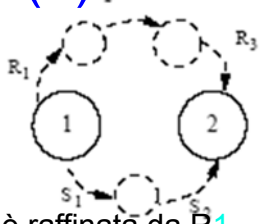
Costrutto di Sequenza - Esempio (3)

- L'utente della pop_back deve sapere che l'attività computazionale viene svolta in due step
- L'ordinamento sequenziale è definito dalla mode
  - Che si suppone inizializzata a Move
  - Spesso è difficile da gestire
- In generale, problemi potrebbero sorgere quando si raffina una ASM con regole sequenzializzate

Costrutto di Sequenza - Esempio (4)



Raffinata da



L'esecuzione simultanea delle regole R e S porta dallo stato 1 a 2

R è raffinata da R1 – R2 – R3

S è raffinata da S1 – S2

- Non è possibile eseguire una regola Ri in modalità interleaved con una regola Si
- Non si può usare mode

Costrutto di Sequenza

- È necessario introdurre il costruttore di sequenza che permette di inserire una regola P seq Q in una seconda ASM
- Se la regola P seq Q deve essere eseguita in parallelo con altre regole, allora P seq Q deve essere considerata come azione atomica

Costrutto di Sequenza

- La composizione sequenziale P seq Q di due regole P e Q è una regola, la cui semantica è quella di
  - eseguire la regola P
  - raggiungere così uno stato intermedio
  - eseguire la regola Q a partire dallo stato intermedio

Merging di update (1)

- L'esecuzione di P seq Q richiede che avvenga il merge dei due insiemi di update per poter evitare problemi di inconsistenza
- Sia U l'update determinato da P e V quello determinato da Q in P seq Q
  - Se riguardano la stessa location allora V sovrascrive U

Merging di update (2)

- È possibile fare il merge dei due update solo se U è consistente

$U \oplus V =$

$\{(loc, val) | (loc, val) \in U \wedge loc \notin Locs(V)\} \cup V$ se U è consistente

U altrimenti

- Se la regola P non è consistente allora
  - P seq Q = P

Proprietà del costrutto di sequenza

- Il costruttore di sequenza per ASM seq
  - Ha un elemento neutro sinistro e uno destro
    - skip seq R = R seq skip = R
  - È associativo
    - P seq (Q seq R) = (P seq Q) seq R

Costrutto di iterazione (1)

- Avendo definito l'operatore di sequenza seq tra ASM, esso può essere applicato ripetutamente per ottenere l'iterazione di una regola
- In questo modo è possibile ripetere un'azione atomica un numero di volte
  - finito
  - non conosciuto a priori

Costrutto di iterazione (2)

- Definiamo R^n:
  - skip se n=0
  - R^{n-1} seq R se n>0
- L'iterazione si conclude quando l'insieme di update
  - diventa vuoto (terminazione con successo)
  - diventa inconsistente

While

- Un ciclo While ripete l'esecuzione del suo corpo fintanto che una data condizione è vera,
- cioè

while (cond) R = iterate (if cond then R)

ASM di Boehm-Jacopini

- Ogni ASM che può essere definita con i costrutti di sequenza e iterazione è detta ASM di Boehm-Jacopini
- Ogni funzione computabile può essere calcolata da una ASM di Boehm-Jacopini
- Le ASM di Boehm-Jacopini hanno la stessa capacità computazionale delle Macchine di Turing

ASM Parametrizzate

- Si può strutturare una ASM complessa utilizzando macro
- Meccanismi di parametrizzazione permettono il passaggio di argomenti tra la ASM chiamante e la ASM chiamata
- Analogamente, è possibile definire meccanismi che permettono alla ASM chiamata di restituire un valore alla ASM chiamante

Astrazione degli Stati mediante Predicati – State Predicate Abstraction

Precisazione

- La discussione sull'astrazione degli stati mediante predicati è stata introdotta in [BPV15] e non è (ancora) definita nel corpo delle conoscenze delle ASM

[BPV15] Bianchi A., Pizzutilo S., Vessio, G., "Applying Predicate Abstraction to Abstract State Machines", in K. Gaaloul, R. Schmidt, S. Nurcan, S. Guerreiro, and Q. Ma, (Editors) Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling - Proc. of the 20th International Conference on Exploring Modeling Methods for Systems Analysis and Design – EMMSAD – Held at CAiSE2015, Stockholm, Sweden, June 2015, Lecture Notes on Business Information Processing - LNBIP/214, pp.283-292

Problema

- I modelli computazionali classici basati su stati rappresentano lo stato corrente come una sequenza di simboli
  - La rappresentazione degli stati è quindi limitata alla specifica struttura dati adottata
- Le ASM superano tale limitazione permettendo qualsiasi struttura dati
  - Grande quantità di dati per specificare lo stato
  - Maggior difficoltà nell'analisi del sistema

Soluzione

- Definizione di un'astrazione in grado di catturare la semantica degli stati ASM
- L'insieme delle location viene partizionato in sottoinsiemi da cui estrarre le location effettivamente utili nell'analisi di uno specifico problema

Approccio Seguito

- Predicate Abstraction: è una tecnica ampiamente usata per l'analisi dei programmi
  - Prevede di generare un modello astratto (più semplice) così da semplificare l'analisi
  - Gli stati del sistema sono mappati in stati del modello
  - Il modello presenta lo stesso flusso di controllo ma riguarda solo i predicati relativi agli stati

Definizione

- Un predicato ϕ su uno stato s di una ASM è una formula del primo ordine definita sulle locazioni in s tale per cui $s \models \phi$
- Il predicato è soddisfatto nello stato, cioè quando il sistema si trova in s, ϕ è soddisfatto
  - Il predicato è sempre soddisfatto nello stato s
  - Il predicato può non essere soddisfatto in altri stati diversi da s

Commenti

- I predicati sugli stati rappresentano così la semantica di ogni stato
- In una ASM è possibile definire un insieme $\Phi=\{\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_n\}$ di predicati t.c. nello stato corrente ogni ϕ_i può essere verificato o meno

Conseguenze

- L'uso dei predicati sugli stati permette di rappresentare le proprietà locali di ogni stato
- Le proprietà globali possono essere indagate componendo le proprietà locali
- Uno stesso predicato può valere in più stati
- In un dato stato possono essere soddisfatti più predicati