

Choices resolution in adaptive systems

Marco Tinacci

18 giugno 2012

Indice

1	Introduction	2
1.1	Scaletta	4
2	Background	5
2.1	Probabilità	6
2.2	Variabili casuali	7
2.3	Processi stocastici	8
2.4	Discrete-Time Markov Chains	8
2.5	Markov Decision Processes	8
2.6	Analisi transiente	8
2.7	Analisi a regime	8
2.8	Model Checking	8
2.8.1	Probabilistic Computation Tree Logic (PCTL)	8
2.9	PRISM	8
3	Syntax	9
3.1	Syntactic sugar	11
4	Semantic	11
5	Examples	14
6	Code translation	15
6.1	Prism	15

1 Introduction

In molti scenari si stanno presentando problematiche inerenti a sistemi dove sono presenti agenti con capacità adattive. In tali sistemi un agente ha, generalmente, una conoscenza parziale del sistema in cui si muove e deve essere in grado di adattarsi alle circostanze modificando opportunamente la propria strategia per raggiungere l'obiettivo. Nel progetto ASCENS vengono proposti dei casi di studio dove sono coinvolti tre tipi diversi di agenti di agenti: robot, risorse e e-vehicles [7]. Pur sembrando tre scenari molto diversi vengono accomunati dalla necessità di interazione tra agenti al fine di raggiungere determinati obiettivi, del singolo o della collettività. Ogni agente è tipicamente a conoscenza delle sue caratteristiche interne ma può non avere a disposizione tutte le informazioni delle altre entità e dell'ambiente circostante.

Al fine di evitare ambiguità e di definire con maggior precisione gli obiettivi cerchiamo di rispondere alla domanda “*in che caso un sistema software si può dire adattivo?*” [2]. Diciamo che un sistema software è adattivo quando il suo comportamento e le sue scelte dipendono direttamente da un insieme di *dati di controllo* che possono variare a tempo di esecuzione. Un semplice esempio è un robot che deve arrivare a destinazione senza scontrarsi con altri robot o con ostacoli. L'area circostante il robot viene analizzata dai sensori di prossimità dai quali si potrà ricavare se e dove sono presenti ostacoli e sulla base di queste informazioni dovrà stabilire quale sarà la direzione migliore da prendere.

Gli scenari che coinvolgono robot sono tipicamente orientati sul comportamento di sciame: obiettivi come l'attraversamento di una buca [1] assemblandosi in gruppi richiedono una collaborazione esplicita mentre per la raccolta di risorse [3] o il raggiungimento di una posizione di arrivo comune è sufficiente minimizzare i casi in cui gli agenti si ostacolano a vicenda. Nel caso del cloud computing sono le risorse ad essere viste come gli agenti in gioco e gli obiettivi di interesse possono riguardare la disponibilità e gli aspetti legati alla qualità del servizio. Se consideriamo un insieme di veicoli elettrici (e-vehicles) in grado di comunicare entro un raggio limitato si può pensare a problemi legati all'ottimizzazione del trasporto di persone o oggetti, al traffico, alle disponibilità di parcheggio e alle stazioni di ricarica.

I due aspetti fondamentali comuni in questi scenari sono la comunicazione e la conoscenza limitata dell'ambiente, dove per ambiente si considera tutto quello che è esterno all'agente che osserva. Sono parte dell'ambiente anche gli altri agenti e quindi anche la conoscenza su di essi può essere parziale o nulla.

Quello che si propone è un metodo di risoluzione delle scelte di un agente basato sul *model checking*. L'uso convenzionale dei model checker è mirato alla verifica di proprietà su modelli dei sistemi interessati. Generalmente si ha quindi la conoscenza completa del modello, cosa che non è garantita

nel nostro caso. L'idea consiste nel formulare una strategia tramite la quale ipotizzare come si comporterà l'ambiente ed effettuare la verifica su proprietà di interesse. Quando si pone una scelta locale questa può essere risolta valutando la probabilità di raggiungere il nostro obiettivo dallo scenario in cui si arriva compiendo una determinata azione. Quello che viene fatto è quindi una previsione tramite la verifica della proprietà obiettivo sul modello ipotizzato.

Il model checker utilizzato è *PRISM* [4], in quanto in grado di gestire ed analizzare processi stocastici come i *Markov Decision Process* (MDP) che sono il principale modello a cui si fa riferimento. *PRISM* esegue model checking probabilistico ed è quindi in grado di restituire le probabilità con cui una certa formula viene soddisfatta.

Se prendiamo in considerazione un altro esempio con protagonista un robot che deve rimanere in movimento minimizzando gli scontri con altri robot o ostacoli, possiamo immaginare il sistema composto dal soggetto in parallelo all'ambiente. L'ambiente sarà composto da tutti gli altri robot e ostacoli che il robot adattivo riesce a percepire o di cui ipotizza la presenza. Supponendo che la scelta da prendere riguardi il punto cardinale verso quale muoversi, quello che può essere fatto è utilizzare il model checker per ricavare le probabilità di non scontrarsi con nessuno entro dieci passi nel caso in cui si faccia un passo in una delle quattro direzioni. Avremo così a disposizione una probabilità di successo finale per ogni scelta e sarà sufficiente propendere per quella più alta.

Per realizzare questo approccio è necessario un lavoro di formalizzazione, introduciamo quindi un linguaggio col quale modellare il comportamento dell'agente adattivo. Introduciamo la specifica di *Self-adaptive Agents Language* (*SEAL*), un linguaggio per agenti adattivi, dove i comportamenti vengono modellati da moduli descritti come modelli reattivi e vengono offerte primitive per la gestione della percezione dell'ambiente. L'utilizzatore di *SEAL* può limitarsi alla descrizione del comportamento del soggetto e di come viene gestita la visione dell'ambiente. La compilazione del codice *SEAL* comporrà un modello *PRISM* e un file di formule *Probabilistic Computation Tree Logic* (*PCTL*) sui quali potrà essere eseguito il model checking. A seconda delle potenzialità dell'agente si potrà inserire dei richiami al model checker da valutare sul momento oppure, in caso di un numero sufficientemente basso di scenari considerati, fornire un codice precompilato contenente solamente la migliore scelta da fare a seconda dell'ambiente percepito.

Viene fornita un'implementazione di *SEAL* in *Xtext* [9], un plugin di *ECLIPSE* che permette lo sviluppo di compilatori per linguaggi completi di un ambiente di sviluppo a supporto. A partire dalla grammatica del linguaggio *Xtext* genera automaticamente funzionalità accessorie legate all'ambiente di sviluppo come auto-completamento e colorazione del codice. Inoltre aggiungendo istruzioni sulla traduzione del codice tramite il linguag-

gio di template *Xtend* [8] vengono costruiti automaticamente lexer e parser basati su *ANTLR* [5]. Raccogliendo tutte queste funzionalità si ottiene un tool installabile come plugin direttamente su *ECLIPSE*.

Si mostreranno infine i risultati di alcuni casi di studio confrontando i risultati delle simulazioni con quelli ottenuti tramite approcci più “tradizionali”. Per la visualizzazione viene utilizzato il simulatore *Autonomous Robots Go Swarming (ARGoS)* [6] implementando le interfacce dei moduli *C++* che determinano il comportamento dei *marXbot*.

1.1 Scaletta

- agenti adattivi, adattività (ricercare interpretazione tra gli articoli)
- esempi di casi di studio, *swarm robotics*, *e-veicles* e *cloud computing* (ASCENS)
 - concetto di vista
 - concetto di target
 - schema di deploy
 - modello prism
 - codice c++ precompilato
- *prism*: model checking come risolutore di scelte
- linguaggio per agenti adattivi *SEAL*
- *xtext*: implementazione di *SEAL*
 - implementazione automatica del plugin a partire dalla grammatica
 - scrittura di template in *xtend* per la generazione del codice
- *argos*: simulazione di casi di studio

2 Background

- probabilità e distribuzioni
- spazi di borel
- processi stocastici
- dtmc
- model checking su dtmc
- mdp
- model checking su mdp

In questo capitolo saranno forniti gli strumenti necessari alla comprensione del lavoro.

Definizione 1 (Esperimento casuale \mathcal{C}). *Per esperimento casuale si intende un qualsiasi avvenimento, provocato più o meno direttamente dall'uomo, suscettibile di manifestarsi secondo una pluralità di eventi elementari.*

Definizione 2 (Spazio fondamentale Ω). *Lo spazio fondamentale Ω di \mathcal{C} è l'insieme di tutti i suoi eventi elementari. Indichiamo tali eventi elementari come gli elementi $\omega \in \Omega$.*

Definizione 3 (Eventi casuali \mathcal{E}). *Un evento casuale $A \in \mathcal{E}$ è una proposizione relativa all'esito di un evento casuale \mathcal{C} che, prima del compimento di \mathcal{C} , è in qualche modo incerto.*

Osservazione 1. \mathcal{E} contiene sottoinsiemi di Ω

$$A \in \mathcal{E} \Rightarrow A \subseteq \Omega$$

Definizione 4 (σ -algebra). *Sia Ω lo spazio fondamentale dell'evento casuale \mathcal{C} . $\mathcal{F} \subseteq 2^\Omega$ è una σ -algebra se e solo se*

- $\Omega \in \mathcal{F}$,
- $A \in \mathcal{F} \Rightarrow \bar{A} \in \mathcal{F}$,
- $\bigwedge_{i=1}^{\infty} A_i \in \mathcal{F} \Rightarrow \bigcup_{i=1}^{\infty} A_i \in \mathcal{F}$
oppure $A_i \in \mathcal{F} (i \in I) \Rightarrow \bigcup_{i \in I} A_i \in \mathcal{F} \wedge \bigcap_{i \in I} A_i \in \mathcal{F}$.

Gli elementi di una σ -algebra sono chiamati *insiemi misurabili*. Chiamiamo *spazio misurabile* uno spazio fondamentale su cui è definita una σ -algebra e quindi lo identifichiamo con la coppia (Ω, \mathcal{F}) .

Definizione 5 (Insieme dei rettangoli). Sia $\Omega = \mathbb{R}$, l'insieme dei rettangoli è definito come

$$I = \{(a, b] \mid a, b \in \mathbb{R} \cup \{-\infty, \infty\}\}$$

Definizione 6 (Insieme di Borel). Un insieme di Borel $\mathcal{B}(\mathbb{R})$ è la più piccola σ -algebra che contiene l'insieme dei rettangoli \mathcal{I} .

Definizione 7 (Spazio di Borel). Uno spazio di Borel su \mathbb{R} è lo spazio misurabile $(\mathbb{R}, \mathcal{B}(\mathbb{R}))$.

2.1 Probabilità

Definizione 8 (Assiomi di Kolmogoroff). Dato lo spazio misurabile (Ω, \mathcal{F}) , una misura di probabilità su di esso è una funzione $\mathbb{P} : \mathcal{F} \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$ tale che

$$\mathbb{P}(\emptyset) = 0 \tag{1}$$

$$\mathbb{P}(\Omega) = 1 \tag{2}$$

e, per qualsiasi famiglia $\{A_i \mid A_i \in \mathcal{F}, i \in \mathbb{N}\}$ tale che $k \neq h \Rightarrow A_k \cap A_h = \emptyset$, vale:

$$\mathbb{P}\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} \mathbb{P}(A_i) \tag{3}$$

Chiamiamo *spazio di probabilità* dell'esperimento casuale \mathcal{C} la tripla $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$, dove Ω è lo spazio fondamentale, (Ω, \mathcal{F}) lo spazio misurabile e \mathbb{P} la misura di probabilità su \mathcal{F} . Se esiste l'insieme numerabile $A \subseteq \Omega$ tale che $\sum_{a \in A} \mathbb{P}\{a\} = 1$ allora diciamo che \mathbb{P} è una *misura di probabilità discreta* e $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$ è uno *spazio di probabilità discreto*.

Proposizione 1 (Proprietà di \mathbb{P}). Dato lo spazio di probabilità $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$:

1. $\forall A \in \mathcal{F} : \mathbb{P}A + \mathbb{P}\bar{A} = 1$,
2. $\forall A, B \in \mathcal{F} : A \subseteq B \Rightarrow \mathbb{P}A \leq \mathbb{P}B$,
3. $\forall A \in \mathcal{F} : \mathbb{P}A \leq 1$,
4. $\forall A, B \in \mathcal{F} : \mathbb{P}(A \cup B) \geq \max\{\mathbb{P}A, \mathbb{P}B\}$,
5. $\forall A, B \in \mathcal{F} : \mathbb{P}A \cap B \leq \min\{\mathbb{P}A, \mathbb{P}B\}$,
6. $\forall A, B \in \mathcal{F} : \mathbb{P}(A \cup B) = \mathbb{P}A + \mathbb{P}B - \mathbb{P}(A \cap B)$,
7. $\forall A, B \in \mathcal{F} : A \subseteq B \Rightarrow \mathbb{P}(B \setminus A) = \mathbb{P}B - \mathbb{P}A$,
8. $\forall A_i \in \mathcal{F} : \mathbb{P}(\bigcup_{i=0}^{\infty} A_i) \leq \sum_{i=0}^{\infty} \mathbb{P}A_i$.

Definizione 9 (Probabilità condizionale). *Dato lo spazio di probabilità $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$ e $A, B \in \mathcal{F}$ tali che $\mathbb{P}B > 0$ si definisce probabilità condizionale*

$$\mathbb{P}(A|B) = \frac{\mathbb{P}(A \cap B)}{\mathbb{P}B}$$

o alternativamente

$$\mathbb{P}(A|B) \cdot \mathbb{P}B = \mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}(B|A) \cdot \mathbb{P}A$$

Definizione 10 (Eventi stocasticamente indipendenti). *Due eventi A e B sono stocasticamente indipendenti se e solo se*

$$\mathbb{P}(A \cap B) = \mathbb{P}A \cdot \mathbb{P}B$$

Proposizione 2 (Proprietà di eventi stocasticamente indipendenti). *Se A e B sono eventi stocasticamente indipendenti allora valgono le seguenti proprietà:*

1. \bar{A} e B sono stocasticamente indipendenti,
2. A e \bar{B} sono stocasticamente indipendenti,
3. \bar{A} e \bar{B} sono stocasticamente indipendenti,
4. $\mathbb{P}(A \cup B) = 1 - \mathbb{P}\bar{A} \cdot \mathbb{P}B$.

2.2 Variabili casuali

Una variabile casuale è definita da una funzione che assegna un valore a ogni elemento dello spazio fondamentale Ω .

Definizione 11 (Funzione misurabile). *Dati gli spazi misurabili $(\Omega_1, \mathcal{F}_1)$ e $(\Omega_2, \mathcal{F}_2)$, $f : \Omega_1 \rightarrow \Omega_2$ è una funzione misurabile se e solo se*

$$\forall A \in \mathcal{F}_2 : f^{orig}(A) \triangleq \{\omega \in \Omega_1 | f(\omega) \in A\} \in \mathcal{F}_1$$

Definizione 12 (Variabile casuale). *Una variabile casuale è definita da una funzione misurabile*

$$X : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$$

dove $(\mathbb{R}, \mathcal{B}(\mathbb{R}))$ è lo spazio di Borel su \mathbb{R}

Proposizione 3. *Dato $(\Omega_1, \mathcal{F}_1, \mathbb{P})$ spazio di probabilità, $(\Omega_2, \mathcal{F}_2)$ spazio misurabile e $f : \Omega_1 \rightarrow \Omega_2$ funzione misurabile, allora:*

$$(\Omega_2, \mathcal{F}_2, \mathbb{P} \circ f^{orig})$$

è uno spazio di probabilità.

2.3 Processi stocastici

2.4 Discrete-Time Markov Chains

Definizione 13. Una Discrete Time Markov Chain (DTMC) è una tupla $\mathcal{D} = (S, \bar{s}, \mathbf{P})$ dove:

- S è un insieme finito di stati;
- $\bar{s} \in S$ è lo stato iniziale;
- $\mathbf{P} : S \times S \rightarrow [0, 1]$ è la matrice di probabilità delle transizioni, tale che:

$$\sum_{s' \in S} \mathbf{P}(s, s') = 1$$

per ogni stato $s \in S$.

2.5 Markov Decision Processes

Definizione 14. Un MDP è una tupla $\mathcal{M} = (S, \bar{s}, Act, Steps)$ dove:

- S è un insieme finito di stati;
- $\bar{s} \in S$ è lo stato iniziale;
- Act è un insieme di azioni;
- $Steps : S \rightarrow 2^{Act \times Dist(S)}$ è la funzione di transizione probabilistica.

Definizione 15 (Path).

Definizione 16 (Paths).

2.6 Analisi transiente

2.7 Analisi a regime

2.8 Model Checking

2.8.1 Probabilistic Computation Tree Logic (PCTL)

2.9 PRISM

3 Syntax

Per descrivere la sintassi *SEAL* sarà utilizzato il formalismo *EBNF* indicando con le parole in corsivo i simboli non terminali e con quelle in neretto e quelle in stampatello i non terminali. Le parole in neretto sono *keyword* del linguaggio mentre quelle in stampatello descrivono dei valori arbitrari su insiemi come nomi di variabili o costanti numeriche.

Il non terminale *program* è il simbolo iniziale della grammatica e nella sua struttura racchiude la dichiarazione dell'insieme di azioni considerato, il modulo che descrive il comportamento del soggetto, gli obiettivi del soggetto, i moduli che possono essere usati per descrivere l'ambiente e i dati necessari alla discretizzazione delle variabili.

In tabella 3 viene descritta anche la sintassi dell'insieme delle azioni, degli obiettivi e dell'ambiente. Le azioni e l'ambiente sono una semplice lista, rispettivamente, di *label* e di *module*. La lista di moduli di ambiente non esprime direttamente quali moduli sono considerati presenti nell'ambiente ma quelli che possono esserci inseriti.

La definizione di un modulo (tabella 3) consiste nell'attribuzione di un nome che lo identifica, un insieme di variabili che ne descrive lo stato, e un insieme di regole che ne descrive l'avanzamento. Le variabili vengono dichiarate all'inizio del modulo specificandone il tipo, il nome e il valore iniziale attribuito. Una regola, invece, è composta da una condizione di guardia che la abilita, un'azione da eseguire, e una distribuzione di possibili funzioni di *update*, ognuna delle quali ha associata una probabilità di essere eseguita. Le probabilità della distribuzione vengono determinate dalla normalizzazione dei pesi associati alle funzioni. La funzione *update* è una sequenza di azioni di aggiornamento di stato o di visione dell'ambiente.

- *A*
- \bowtie
- *id*
- *module-name*
- *action-label*
- *type*
- *value*

L'insieme dei moduli sarà quindi del tipo

$$M \subseteq \gamma \times \text{VAR} \times \cdots \times \text{VAR}$$

<i>program</i>	::=	actions { <i>actions</i> }
		subject <i>module</i>
		<i>targets</i>
		<i>environment</i>
		<i>system</i>
		ranges { <i>ranges</i> }
<i>actions</i>	::=	action-id <i>actions, actions</i>
<i>targets</i>	::=	target ... <i>targets targets</i>
<i>environment</i>	::=	<i>module</i> <i>environment environment</i>
<i>system</i>	::=	module-id <i>system</i> { <i>actions</i> } <i>system</i>
<i>module</i>	::=	module module-id { <i>variables rules</i> }
<i>variables</i>	::=	type variable-id = <i>expression</i> ; <i>variables variables</i>
<i>rules</i>	::=	<i>condition</i> [action-id] \Rightarrow <i>distribution</i> <i>rules, rules</i>
<i>condition</i>	::=	exists variable-id : module-id such that <i>condition</i>
		<i>expression</i> \bowtie <i>expression</i> true
		<i>condition</i> or <i>condition</i> not <i>condition</i>
<i>distribution</i>	::=	< <i>expression</i> > <i>update</i> ; <i>distribution</i> # <i>distribution</i>
<i>update</i>	::=	variable-id = <i>expression</i> noaction
		<i>update</i> ; <i>update</i> env.add <i>system</i>
		env.remove id : module-id . <i>condition</i>
<i>expression</i>	::=	...

Tabella 1: Sintassi di un programma *SEAL*

<i>module</i>	::=	module module-name { <i>variables rules</i> }
<i>variables</i>	::=	type id = <i>expression</i> ; <i>variables variables</i>
<i>rules</i>	::=	<i>condition</i> [action-label] \Rightarrow <i>distribution</i> <i>rules, rule</i>
<i>condition</i>	::=	E id : module-name . <i>condition</i> <i>expression</i> \bowtie <i>expression</i> true <i>condition</i> or <i>condition</i> ! <i>condition</i>
<i>distribution</i>	::=	\langle <i>expression</i> \rangle <i>update</i> ; <i>distribution</i> # <i>distribution</i>
<i>update</i>	::=	id = <i>expression</i> noaction <i>update</i> ; <i>update</i> env.add <i>system</i> env.remove id : module-name . <i>condition</i>

Tabella 2: Sintassi di un modulo *SEAL*

3.1 Syntactic sugar

Inseriamo un costrutto tale da poter inserire una condizione di abilitazione sugli elementi del supporto della distribuzione:

$$\beta[a] \Rightarrow \langle e, \beta' \rangle \alpha \oplus \delta \equiv \beta \wedge \beta'[a] \Rightarrow \langle e \rangle \alpha \oplus \delta, \beta \wedge \neg \beta'[a] \Rightarrow \delta$$

4 Semantic

Andiamo a dare un'introduzione informale alla semantica del linguaggio descritto:

- *System*: un sistema può essere definito tramite un singolo modulo (*m* è un riferimento alla definizione di un modulo) o attraverso la composizione parallela di più sistemi su di un insieme di azioni di sincronizzazione $A \subseteq Act$;
- *Rule*: un insieme di regole definisce il comportamento di un modulo, se vale la condizione β si può passare alla valutazione della distribuzione δ ;
- *Condition*: descrive una condizione fornendo anche un operatore di quantificatore esistenziale sui moduli;
- *Distribution*: descrive una distribuzione probabilistica di azioni α , dove ogni azione è accompagnata da un'espressione *e*, che ne descrive il peso, e un'azione *a*;
- *Action*: un'azione descrive un aggiornamento dello stato, che può consistere nell'assegnamento di una, nessuna, o più variabili.

<i>program</i>	::=	actions { <i>actions</i> }
		subject <i>module</i>
		<i>targets</i>
		<i>environment</i>
		ranges { <i>ranges</i> }
<i>targets</i>	::=	...
<i>environment</i>	::=	<i>module</i> <i>environment environment</i>
<i>actions</i>	::=	action-label <i>actions, actions</i>
<i>ranges</i>	::=	module-name.id in (<i>value, value, value</i>)
<i>module</i>	::=	module <i>module-name</i> { <i>variables rules</i> }
<i>variables</i>	::=	type id = expression; <i>variables variables</i>
<i>expression</i>	::=	...
<i>system</i>	::=	module-name (<i>params</i>) <i>system</i> [{ <i>actions</i> }] <i>system</i>
<i>params</i>	::=	void <i>expression</i> <i>params, params</i>
<i>rules</i>	::=	<i>condition</i> [action-label] ⇒ <i>distribution</i> <i>rules, rule</i>
<i>condition</i>	::=	E <i>id : module-name . condition</i> <i>expression</i> ⋈ <i>expression</i>
		true <i>condition</i> or <i>condition</i> ! <i>condition</i>
<i>distribution</i>	::=	< <i>expression</i> > <i>update</i> ; <i>distribution</i> # <i>distribution</i>
<i>update</i>	::=	<i>id = expression</i> noaction <i>update ; update</i>
		env.add <i>system</i> env.remove <i>id : module-name . condition</i>

Tabella 3: Sintassi *SEAL* completa

Definiamo la semantica del linguaggio in termini di *MDP*. Alla definizione di ogni modulo sarà assegnata una *MDP* della forma:

$$(\Sigma, Act, \rightarrow_\rho, \sigma_0)$$

dove

- $\Sigma = \{\sigma \mid \sigma : \mathbb{VAR} \rightarrow \mathbb{VAL}\}$ è l'insieme degli *stati* rappresentati da funzioni che mappano variabili in valori,
- Act l'insieme delle azioni,
- $\rightarrow_\rho \subseteq \Sigma \times Act \times Dist(U)$ è la relazione di *avanzamento* di stato,
- $\sigma_0 \in \Sigma$ è lo *stato iniziale*,
- $\rho \subseteq \beta \times Act \times Dist(U)$ è la *struttura statica* del *MDP*,
- $U = \{u \mid u : \Sigma \rightarrow \Sigma\}$ è l'insieme delle funzioni *update* di aggiornamento di stato.

$$\frac{(g, a, d) \in \rho}{\sigma \xrightarrow{a}_\rho d(\sigma)} \sigma \models g \quad (\text{Update})$$

$$\rho_m = \{(g, a, d) \mid \gamma_m = g[a] \Rightarrow \langle e_1 \rangle \alpha_1 \oplus \dots \oplus \langle e_n \rangle \alpha_n, d = [u_{\alpha_{i1}} : p_1, \dots, u_{\alpha_{in}} : p_n]\}$$

dove $u_\alpha \in U$ è una funzione *update* definita nel seguente modo

$$u_\alpha(\sigma) = \begin{cases} \sigma[eval(e)/x] & \text{se } \alpha = x = e; \\ \sigma & \text{se } \alpha = \mathbf{noaction}; \\ u_{\alpha''}(u_{\alpha'}(\sigma)) & \text{se } \alpha = \alpha' \alpha'' \end{cases}$$

Le probabilità sono invece calcolate nel seguente modo

$$p_i = \frac{eval(e_i)}{\sum_{j=1}^n eval(e_j)}, i = 1, \dots, n$$

Salendo dal livello dei moduli a quello dei sistemi, introduciamo $\Pi \in Dist(S)$ per indicare distribuzioni di sistemi. Il sistema sarà rappresentato dalla *MDP* risultante dal parallelo di quelle che lo compongono.

$\frac{\sigma_m \xrightarrow{a}_{\rho_m} d(\sigma_m)}{S \xrightarrow{a} \Pi} \quad m \in S \quad \text{(Update)}$
$\frac{S_1 \xrightarrow{a} \Pi_1 \quad S_2 \xrightarrow{a} \Pi_2}{S_1 \mid \{\text{actions}\} \mid S_2 \xrightarrow{a} \Pi_1 \mid \{\text{actions}\} \mid \Pi_2} \quad a \in A \quad \text{(Sync)}$
$\frac{S_1 \xrightarrow{a} \Pi_1}{S_1 \mid \{\text{actions}\} \mid S_2 \xrightarrow{a} \Pi_1 \mid \{\text{actions}\} \mid S_2} \quad a \notin A \quad \text{(Async 1)}$
$\frac{S_2 \xrightarrow{a} \Pi_2}{S_1 \mid \{\text{actions}\} \mid S_2 \xrightarrow{a} S_1 \mid \{\text{actions}\} \mid \Pi_2} \quad a \notin A \quad \text{(Async 2)}$

Rimane da definire come si comporta l'operatore di composizione parallela tra un sistema e una distribuzione e tra due distribuzioni.

$$\Pi_1 \mid \{\text{actions}\} \mid S_2(S) = \begin{cases} \Pi_1(S'_1) & \text{se } S = S'_1 \mid \{\text{actions}\} \mid S_2 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$S_1 \mid \{\text{actions}\} \mid \Pi_2(S) = \begin{cases} \Pi_2(S'_2) & \text{se } S = S_1 \mid \{\text{actions}\} \mid S'_2 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$\Pi_1 \mid \{\text{actions}\} \mid \Pi_2(S) = \begin{cases} \Pi_1(S_1) \cdot \Pi_2(S_2) & \text{se } S = S_1 \mid \{\text{actions}\} \mid S_2 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

5 Examples

Esempio di un modulo di robot che esegue una *random walk* su una griglia escludendo dalla scelta probabilistica le direzioni adiacenti occupate:

$$\begin{aligned}
m_1() &\triangleq \mathbf{true}[\text{step}] \Rightarrow \\
&< 1, \neg \exists m_1 v : v.x = x \mathbf{and} v.y = y + 1 > y = y + 1; \# \\
&< 1, \neg \exists m_1 v : v.x = x \mathbf{and} v.y = y - 1 > y = y - 1; \# \\
&< 1, \neg \exists m_1 v : v.x = x + 1 \mathbf{and} v.y = y > x = x + 1; \# \\
&< 1, \neg \exists m_1 v : v.x = x - 1 \mathbf{and} v.y = y > x = x - 1; \# \\
&< 1, \mathbf{true} > \mathbf{noaction};
\end{aligned}$$

Esempio di un modulo di robot analogo al precedente con la differenza che la scelta della mossa viene fatta in modo nondeterministico:

$$\begin{aligned}
m_2() &\triangleq \neg E m_1 : v.(v.x = x \wedge v.y = y + 1) \quad [\text{north}] \Rightarrow < 1 > y = y + 1; \\
&\neg E m_1 : v.(v.x = x \wedge v.y = y - 1) \quad [\text{south}] \Rightarrow < 1 > y = y - 1; \\
&\neg E m_1 : v.(v.x = x + 1 \wedge v.y = y) \quad [\text{east}] \Rightarrow < 1 > x = x + 1; \\
&\neg E m_1 : v.(v.x = x - 1 \wedge v.y = y) \quad [\text{west}] \Rightarrow < 1 > x = x - 1; \\
&\mathbf{true} \quad [\text{stay}] \Rightarrow < 1 > \mathbf{noaction};
\end{aligned}$$

6 Code translation

6.1 Prism

La traduzione del sorgente *SEAL* in codice *PRISM* necessita di alcuni dati aggiuntivi riguardo le variabili dei moduli. Dato che *PRISM* lavora con uno spazio degli stati finito è necessario aggiungere informazioni che permettano di trattare le variabili intere e reali. Per le variabili intere sarà sufficiente specificare il range, mentre per le variabili reali dovrà essere specificata anche l'ampiezza dell'intervallo di discretizzazione.

La traduzione delle variabili viene descritta in tabella 4. Con *a*, *b* e *delta* rappresentiamo costanti intere, con *e* un'espressione *SEAL* e con *e'* la rispettiva traduzione in *PRISM*. I dati necessari alla discretizzazione vengono attualmente forniti direttamente nel file *PRISM* nella sezione *ranges*.

<i>SEAL</i>	<i>Input file</i>	<i>PRISM</i>
module m{ ... bool x = e; ... }	-	x:bool init e';
module m { ... int y = e; ... }	m.y in (a,b);	y:[a..b] init e';
module m { ... float z = e; ... }	m.z in (a,b,delta);	z:[0..floor((a-b)/delta)] init ceil((e'-a)/delta);
z = e	m.z in (a,b,delta);	z' = ceil((e'-a)/delta)

Tabella 4: Traduzione da *SEAL* a *PRISM*

Riferimenti bibliografici

- [1] Roberto Bruni, Andrea Corradini, Fabio Gadducci, Alberto Lluch Lafuente, and Andrea Vandin. Modelling and analyzing adaptive self-assembling strategies with maude. *ASCENS*, 2012.
- [2] Roberto Bruni, Andrea Corradini, Alberto Lluch Lafuente, Fabio Gadducci, and Andrea Vandin. A conceptual framework for adaptation. *LNCS*, 7212:240–254, 2012.
- [3] Edmond Gjondrekaj, Michele Loreti, Rosario Pugliese, and Francesco Tiezzi. A robot foraging scenario in klaim. 2011.
- [4] M. Kwiatkowska, G. Norman, and D. Parker. PRISM 4.0: Verification of probabilistic real-time systems. <http://www.prismmodelchecker.org/>, 2011.
- [5] Terence J Parr, T. J. Parr, and R W Quong. Antlr: A predicated-ll(k) parser generator. <http://www.antlr.org/>, 1995.
- [6] Carlo Pinciroli, Vito Trianni, Rehan O’Grady, Giovanni Pini, Arne Brutschy, Manuele Brambilla, Nithin Mathews, Eliseo Ferrante, Gianni Di Caro, Frederick Ducatelle, Timothy Stirling, Álvaro Gutiérrez, Luca Maria Gambardella, and Marco Dorigo. ARGoS: a modular, multi-engine simulator for heterogeneous swarm robotics. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011)*, pages 5027–5034. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, September 2011.
- [7] Nikola Serbedzija, Stephan Reiter, Maximilian Ahrens, José Velasco, Carlo Pinciroli, Nicklas Hoch, and Bernd Werther. Requirement specification and scenario description of the ascens case studies. *ASCENS*, 2011.
- [8] Xtend. <http://www.eclipse.org/xtend/>.
- [9] Xtext. <http://www.eclipse.org/Xtext/>.