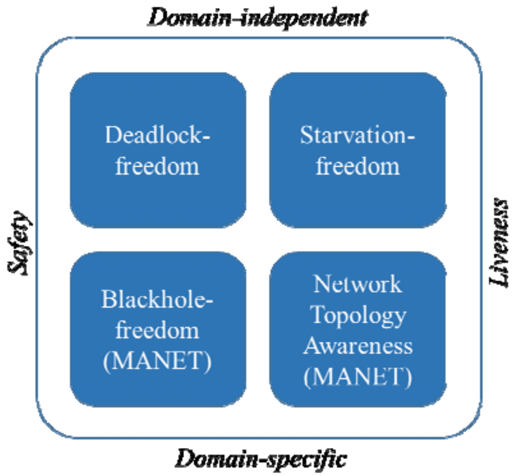
Analisi di starvation e deadlock mediante ASM

Nota

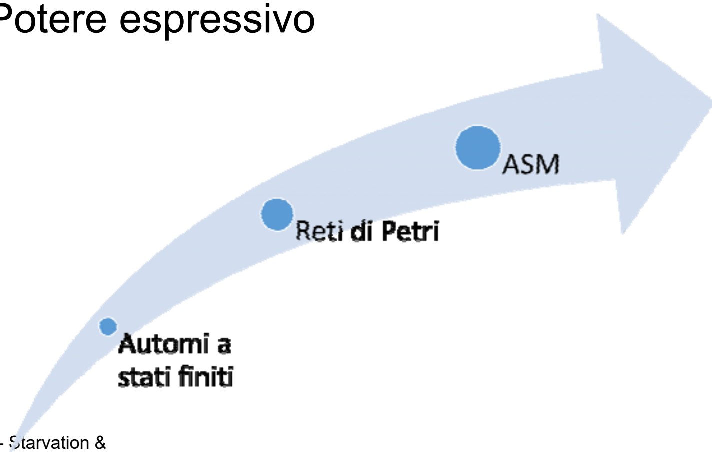
- Questo modulo è realizzato modificando opportunamente :
  - materiale prodotto dal Dr. Gennaro Vessio per il seminario tenuto per il corso dell'a.a. 2016-17, rivisto dal docente
  - articoli di letteratura citati in bibliografia

Classi di Proprietà



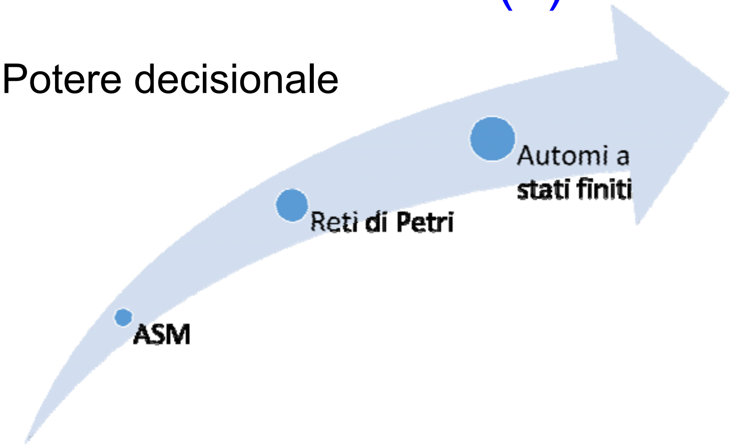
Potere Espressivo vs Potere Decisionale (1)

- Potere espressivo



Potere Espressivo vs Potere Decisionale (2)

- Potere decisionale



Problema

- Allo stato dell'arte, l'analisi di proprietà con le ASM fa ricorso a tecniche basate su model checking
  - Ma, la traduzione della ASM in esame nell'input richiesto dal model checker causa perdita di potere espressivo
- Alcuni formalismi permettono caratterizzazioni operazionali di proprietà
- Obiettivo: Dotare le ASM di un framework analogo

RICHIAMO: Predicati sugli Stati

- Una ASM può modellare oggetti di arbitraria complessità
  - comprendere la semantica degli stati di una ASM è difficile
- Il concetto di predicato è utile per esprimere la condizione di attesa

Definition (predicate over ASM state). A *predicate* φ *over an ASM state* s is a first-order formula defined over the locations in s such that $s \models \varphi$

STARVATION

Generalità

- In letteratura non esiste una definizione formale e univoca di starvation
- In generale, è l'impossibilità da parte di un processo concorrente di compiere progressi computazionali
  - Attesa di una risorsa condivisa
  - Attesa di un messaggio
  - …

Condizione Necessaria

Necessary condition (general statement)

1. The execution of a process p_i ($i = 1, \ldots, n$) requires a service provided by p_j ($j = 1, \ldots, n, j \neq i$)
2. The process p_i is forced to wait for the desired service

⇩

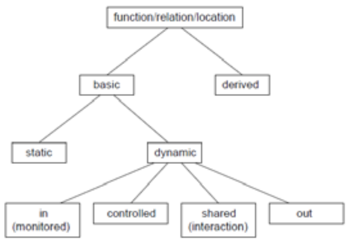
Necessary condition (ASM-based statement)

1. A *move* of an agent a_i ($i = 1, \ldots, n$) requires a service provided by a_j ($j = 1, \ldots, n, j \neq i$)
2. The agent a_i is forced to wait for the desired service

Dipendenza

- La condizione (1) esprime il concetto di dipendenza da altri agenti

Definition (risky function). A *risky function* is: (*i*) a monitored or shared function; or (*ii*) a controlled or derived function *determined* by a risky function



Inattività

- La condizione (2) esprime il concetto di inattività dell'agente durante l'attesa
  - Per esprimere l'inattività abbiamo bisogno di esprimere il ciclico ritorno verso uno stesso stato

Definition (risky predicate). Let *D* be a DASM including the agents a_i and a_j. A *risky predicate* φ_r over a state *s* of $ASM(a_i)$ is a first-order predicate defined over (at least) a risky location in *s* such that $s \models \varphi_r$ and its truth value depends also on $ASM(a_j)$

Vulnerable Rule

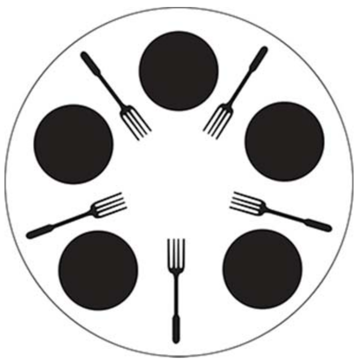
- Lo stato di una ASM cambia solo come effetto dell'applicazione di una rule

Definition (vulnerable rule)**.** Let φ_r be a risky predicate such that a state *s*, which models φ_r, exists. A rule is said to be *vulnerable* if:
1. Its condition includes a logical conjunction with one or more risky functions
2. The truth value of φ_r changes only as a result of the execution of the updates of some vulnerable rule in *s*

Teorema

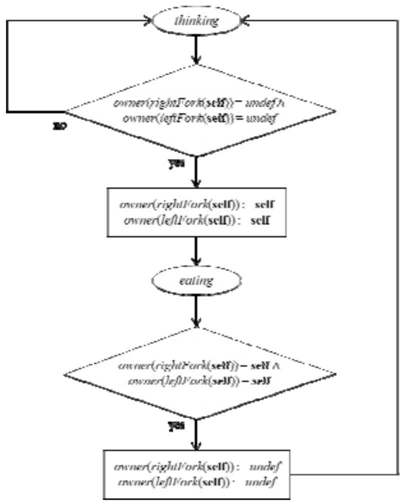
- Theorem (starvation freedom) *Let D be a DASM composed by the family of pairs* (a_i, *ASM*(a_i))*. If each ASM*(a_i) *is without vulnerable rules, then D is starvation-free*
  - Dimostrazione (schema): The absence of vulnerable rules implies that at least one of the two sub-conditions of the ASM-based necessary condition for starvation is negated
- Attenzione: non vale il viceversa

Esempio: 5 filosofi (1)



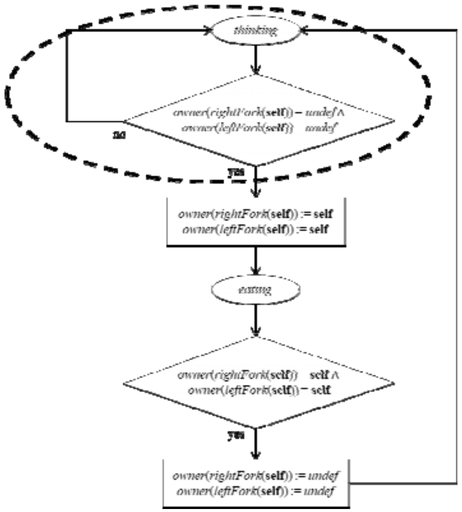
Esempio: 5 filosofi (2)

- Modello ASM



Esempio: 5 filosofi (3)

- Modello ASM



Esempio: 5 filosofi (4)

- Analisi del modello
- È possibile definire due predicati sugli stati:
  - thinking: $\neg(owner(rightFork(\mathbf{self})) = \mathbf{self} \lor owner(leftFork(\mathbf{self})) = \mathbf{self})$
  - eating: $owner(rightFork(\mathbf{self})) = \mathbf{self} \land owner(leftFork(\mathbf{self})) = \mathbf{self}$
- *owner* è una funzione di rischio
- *thinking* è un predicato di rischio
- La prima regola è vulnerabile
- Il modello soffre di starvation

DEADLOCK

Generalità

- È una situazione di stallo in cui tutti i processi sono vicendevolmente bloccati in attesa
  - di una risorsa condivisa
  - di un evento
  - di un messaggio
  - …

Condizione Necessaria (1)

Necessary condition (general statement)

1. Processes claim exclusive control of the resources they require (*mutual exclusion*)
2. Processes hold resources already allocated to them while waiting for the other requested resources (*resource holding*)
3. Resources cannot be removed from the processes holding them until they are used to completion (*no preemption*)
4. A circular chain of processes exists so that each process holds (at least) one resource that is requested by the next process in the chain. In other words, there is a set of processes $p_1, \ldots, p_n$ such that p_i is waiting for a resource held by p_{i+1} mod n (*circular wait*)

Condizione Necessaria (2)

Necessary condition (ASM-based statement)

1. Agents hold resources already allocated to them while waiting for the other requested resources (*resource holding*)
2. Resources cannot be removed from the agents holding them until they are used to completion (*no preemption*)
3. A circular chain of agents exists so that each agent holds (at least) one resource that is requested by the next agent in the chain. In other words, there is a set of agents $a_1, \ldots, a_n$ such that a_i is waiting for a resource held by a_{i+1} mod n (*circular wait*)

Manca il concetto di mutua esclusione!

Funzioni di Ownership

- Abbiamo bisogno di esprimere il concetto di possesso di una risorsa

Definition (ownership function). Let a DASM be given, including the set *Agents* = $\{a_1, \ldots, a_n\}$, and let *Resources* = $\{r_1, \ldots, r_n\}$ be a set of shared resources. An *ownership function* is a function *owner*, with a variable number of arguments in *Resources* and values in *Agents* ∪ {*undef*}, such that it is: (*i*) a shared function; or (*ii*) a derived function defined over an ownership function.

Resource Holding

Resource holding. Let φ be a predicate over the states, defined over an ownership 1-ary function *owner* of $ASM(a_i)$, such that it is in the form $owner(r_i) = a_i \wedge \neg(owner(r_j) = a_i)$, with $i \neq j$. The fulfillment of such a predicate indicates that the agent a_i is waiting for a resource r_j while another requested resource r_i has already been allocated to it. Resource holding holds if, for every $ASM(a_i)$, representing each process of the system, a state s, such that $s \models \varphi$, exists. We call φ *holding predicate*

No Preemption & Circular Wait

No preemption. For every *ASM*(a_i), representing each process of the system, there is no rule updating an ownership location *owner*(r_i) to a_i if *owner*(r_i) does not evaluate to *undef*

Circular wait. A circular chain arises when a global state S_k, resulting by the composition of the local states $s_1(a_1)$, $s_2(a_2)$, …, each satisfying a holding predicate φ, exists. When each *ASM*(a_i) satisfies φ, for each agent a_i, $owner(r_i) = a_i \wedge \neg(owner(r_j) = a_i)$, with $i \neq j$

Esempio: 5 filosofi (1)

```
PhilosopherProgram(p_i) = {
  if owner(rightFork(self)) = undef then
    owner(rightFork(self)) := self
  if owner(rightFork(self)) = self ∧
  owner(leftFork(self)) = undef then
    owner(leftFork(self)) := self
  if owner(rightFork(self)) = self ∧
  owner(leftFork(self)) = self then {
    Eat(self)
    owner(rightFork(self)) := undef
    owner(leftFork(self)) := undef
  }
}
```


Esempio: 5 filosofi (2)

- Analisi del modello
-
- È possibile definire tre predicati sugli stati:
  - thinking: ¬(*owner*(*rightFork*(**self**)) = **self** ∨ *owner*(*leftFork*(**self**)) = **self**)
  - holdingRightFork: *owner*(*rightFork*(**self**)) = **self** ∧ ¬(*owner*(*leftFork*(**self**)) = **self**
  - eating: *owner*(*rightFork*(**self**)) = **self** ∧ *owner*(*leftFork*(**self**)) = **self**
- *holdingRightFork* è un holding predicate
- la no preemption è soddisfatta
- una catena circolare emerge quando tutti gli agenti eseguono la loro prima regola
- Il modello soffre di deadlock

Sviluppi

- La nozione di deadlock è più generale di quella illustrata, che considera solo risorse condivise
  - Si deve generalizzare
  - Si deve dimostrare la proprieta di deadlock-freedom per DASM

Bibliografia

- Bianchi A., Pizzutilo S., Vessio G. Applying Predicate Abstraction to Abstract State Machines. Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling, LNBIP 214, pp. 283-292, Springer, 2015
- Bianchi A., Pizzutilo S., Vessio G. Reasoning on Starvation in AODV using Abstract State Machines. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 84(1), pp. 140-149, 2016
- Bianchi A., Pizzutilo S., Vessio G. Towards an ASM-based Characterization of the Deadlock-freedom Property. In: 11th International Conference on Software Paradigm Trends (ICSOFT-PT 2016), Lisbon, Portugal, pp. 123-130, SciTePress, 2016
- Bianchi A., Pizzutilo S., Vessio G., “An ASM-based characterisation of starvation-free systems”, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, 2017, pp.1-17