

## Communicating Sequential Processes

CSP

1

## Communicating Sequential Processes

- CSP è una **notazione** per descrivere **sistemi** in cui **agenti** operano in **parallelo** e **comunicano** scambiandosi messaggi
- Ottimo strumento per studiare la concorrenza
  - In questo corso CSP sarà presentato come strumento per la modellizzazione
- Poco adatto per comunicare con parti interessate che **NON** siano informatici

CSP

2

## Scopo

- Notazione per la descrizione delle interazioni tra agenti
- Particolarmente utile nel caso di sistemi in cui alcune componenti svolgono attività computazionali influenzate dalle attività computazionali svolte da altre componenti
  - Adatto per modellizzare componenti di sistemi distribuiti

CSP

3

## Applicazioni

- Modellizzazione di
  - interazione utente-sistema
  - protocolli (ad es. sicurezza)
  - sistemi di controllo safety-critical
- Specifica di sistemi

CSP

4

## Interazione = Comunicazione

- Presupposto: l'interazione tra due componenti di un sistema, o di un sistema con l'esterno avviene mediante un'opportuna comunicazione
- Nell'ambito di CSP la comunicazione prende la forma di eventi o azioni **visibili**
  - All'interno di un processo vengono anche svolte attività interne, invisibili, che hanno effetti **indiretti** sul mondo esterno

CSP

5

## Nozioni di base (1)

- CSP fornisce una modalità
  - per descrivere gli stati attraversati dal sistema
  - quali azioni sono eseguite
- Sia
  - $\Sigma$  l'insieme di tutti gli eventi visibili di un processo
  - $\tau$  l'azione svolta internamente
    - per il momento è sufficiente l'astrazione secondo cui il processo svolge un'unica azione

CSP

6

## Nozioni di base (2)

- Nel seguito useremo indifferentemente le espressioni
  - processo / programma
  - comunicazione / azione visibile

CSP

7

## Processi equivalenti

- Chiamiamo **equivalenti** due diversi processi ciascuno dei quali produce un proprio pattern di azioni visibili e tali pattern non possono essere distinti l'uno dall'altro
- Di conseguenza, la caratteristica di uno specifico processo è data dalle **sue forme di comunicazione**

CSP

8

## Processo Stop

- Il processo più semplice è **Stop**, che non svolge alcuna azione
  - nessuna azione visibile
  - nessuna azione interna
- E' il più semplice processo equivalente ad ogni processo che non comunica con altri
- E' una modalità per esprimere il deadlock

CSP

9

## Prefixing

- Dato un processo  $P$  e una azione  $a$ , allora il processo  $a \rightarrow P$  ( $a$  then  $P$ ) è il programma
  - che svolge l'azione  $a$
  - e poi si comporta come  $P$
- Se  $in$  e  $out$  sono due azioni in  $\Sigma$ , allora il processo  $in \rightarrow out \rightarrow Stop$  svolge le azioni in successione e poi si ferma
  - In realtà l'ambiente del processo potrebbe scegliere di non accettare un'azione

CSP

10

## Ricorsione (1)

- L'operatore di prefixing realizza il concetto di sequenza tra processi
- La ricorsione può essere realizzata componendo adeguatamente chiamate sequenziali allo stesso processo
- Ad es:
  - $Alt = to \rightarrow fro \rightarrow Alt$
  - $Dalt = to \rightarrow fro \rightarrow to \rightarrow fro \rightarrow Dalt$
  - $Malt1 = to \rightarrow Malt2$
  - $Malt2 = fro \rightarrow Malt1$
  - $Nalt = to \rightarrow from \rightarrow Dalt$

CSP

11

## Ricorsione (2)

- $Alt$  è la ricorsione più semplice;  $Dalt$  è più complessa, ma ottiene lo stesso risultato
- $Malt1$ ,  $Malt2$  implementano una mutua ricorsione
- $Nalt$  non è ricorsivo su sé stesso, ma rimanda alla ricorsione di  $Dalt$

CSP

12

## Forma più compatta

- È possibile rappresentare in forma più compatta il processo Alt precedente secondo la seguente notazione

$\mu P.to \rightarrow fro \rightarrow P$

## Scelta di azioni (1)

- Il comportamento di un processo può essere **conseguenza** delle azioni svolte
- Sia A un sottoinsieme di  $\Sigma$ , allora il processo

$?x : A \rightarrow P(x)$

(scegli un x in A e P prosegue di conseguenza)

permette all'ambiente di scegliere una tra tutte le possibili azioni visibili in A

## Scelta di azioni (2)

- Un caso particolare di scelta è

$RUN_A = ?x:A \rightarrow RUN_A$

- lo stato  $RUN_A$  risultante da ogni scelta è sempre lo stesso
- Si tratta di un processo a comportamento costante

## Parametrizzazione

- Scegliendo un  $a \in A$  allora il processo prosegue comportandosi come  $P(a)$ 
  - rappresenta la parametrizzazione del processo rispetto all'azione a
- a si comporta come un parametro per  $P(a)$
- **Strumento per la parametrizzazione del comportamento del processo**
- Può essere usato per decidere come comportarsi a seguito dei possibili casi scelti

## Scelta tra due processi (1)

- L'operatore  $\square$  permette di scegliere di continuare l'esecuzione secondo quanto previsto da due processi distinti

$$(?x : B \rightarrow P(x)) \square (?x : C \rightarrow P(x))$$

- Se  $A = B \cup C$  allora la seguente indica che i due processi si comportano in modo equivalente

$$?x : A \rightarrow P(x) = (?x : B \rightarrow P(x)) \square (?x : C \rightarrow P(x))$$

## Scelta tra due processi (2)

- Se  $B = \emptyset$  allora, dal momento che non viene fornita alcuna possibilità all'ambiente, si ottiene  $?x : B \rightarrow P(x) = \text{Stop}$
- Quindi, essendo  $A = A \cup \emptyset$ , si ottiene  $(?x : A \rightarrow P(x)) = (?x : A \rightarrow P(x)) \square \text{Stop}$
- In generale,  $P \square \text{Stop}$  è equivalente a  $\text{Stop}$

## Scelta tra due processi (3)

- Il processo risultante da  $(?x : B \rightarrow P(x)) \square (?x : C \rightarrow P(x))$
- non genera **mai** ambiguità
- Infatti, se  $B$  e  $C$ 
  - sono disgiunti allora la loro combinazione fornisce una scelta senza ambiguità
  - non sono disgiunti, il comportamento prosegue ancora senza ambiguità perché è lo stesso in entrambi i casi

## Scelta non deterministica

$$P \sqcap Q$$

Si comporta come  $P$  oppure come  $Q$ ,  
**indipendentemente dalla volontà dell'utente**

- La scelta è determinata dalle azioni interne
  - Si può supporre che esista più di una azione interna  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$

## Confronto tra operatori di scelta

- L'operatore  $\square$  rappresenta una scelta **compiuta dall'ambiente** che interagisce con il processo in run time
- L'operatore  $\sqcap$  rappresenta una scelta **compiuta dall'implementazione** del processo

## Operatori di I/O (1)

- Gli operatori di scelta permettono di caratterizzare le operazioni di input e output
  - l'input è espresso da ?
  - l'output è espresso da !

## Operatori di I/O (2)

- L'operatore ? permette di indicare che l'ambiente fornisce elementi di input sotto forma di eventi che intervengono nell'esecuzione del processo
  - $\text{in?}x \rightarrow P$  indica che l'evento  $x$ , che assume valori nell'insieme definito da  $\text{in}$ , è posto in prefixing rispetto a  $P$
  - $\text{in}$  rappresenta il channel rispetto a cui avviene l'input

## Operatori di I/O (3)

- L'operatore ! permette di indicare che il processo produce elementi di output sotto forma di eventi che saranno poi consumati dall'ambiente
  - $P \rightarrow \text{out!}x \rightarrow Q$  indica che l'evento  $x$ , che assume valori nell'insieme definito da  $\text{out}$ , è un evento prodotto da  $P$ , ed è posto in prefixing rispetto a  $Q$
  - $\text{out}$  rappresenta il channel rispetto a cui avviene l'output

## CSP e FSM Deterministiche (1)

- È possibile specificare una FSM in CSP
  - In corrispondenza di ogni stato  $s_i$  della FSM è associato un insieme di possibili azioni  $A_i$ 
    - che determinano le transizioni in uscita dallo stato
    - tali transizioni determinano l'esecuzione di un processo
  - se  $x \in A_i$  allora  $P'_i(x)$  è il risultato corrispondente all'esecuzione di  $x$  nello stato  $s_i$
  - Quindi la FSM è descritta da

$$P_i = \{x : A_i \rightarrow P'_i(x)\}$$

CSP

25

## CSP e FSM Deterministiche (2)

- Le scelte tra le possibili azioni in ogni stato sono presentate come un'opportuna combinazione di input, output e  $\square$

CSP

26

## Trace (1)

- Una traccia (**trace**) di un processo è la sequenza finita di simboli che mostra gli eventi in cui il processo è stato coinvolto in un determinato periodo di tempo
- Rappresenta la sequenza delle comunicazioni visibili svolte dal processo

CSP

27

## Trace (2)

- I due processi  
 $P \square Q$  e  $P \sqcap Q$   
mostrano le stesse tracce
- Se analizzati rispetto alle tracce, risultano indistinguibili
  - ma in sostanza possono essere molto differenti

CSP

28

## Trace (3)

- Esempio: consideriamo  
 $(a \rightarrow P) \sqcap \text{Stop}$  e  $(a \rightarrow P) \sqcap \text{Stop}$
- Il deadlock potrebbe avvenire  
immediatamente, oppure successivamente

## Time

- Un ulteriore operatore di scelta è **time**
- $P \triangleright t Q$  rappresenta che viene svolto ciò che offre P per t unità di tempo e se nulla viene scelto si prosegue come Q
- $P \triangleright t Q$  determina le stesse tracce che si otterrebbero applicando i due precedenti operatori di scelta

## if – then – else (1)

- Si tratta della scelta effettuata sulla base dello stato interno a un processo
- Esempio processo firewall  
 $\text{FW}(s) = \text{in?}x \rightarrow$   
 $(\text{if valid}(x, s) \text{ then out!}x \rightarrow \text{FW}(\text{newstate}(s, x))$   
 $\text{else FW}(\text{newstate}(s, x)))$
- Nota:
  - $\text{in?}x$  indica l'input di un valore  $x$  scelto nell'insieme  $\text{in}$
  - $\text{out!}x$  è l'output del valore  $x$

## if – then – else (2)

- Notazione alternativa
- $P \triangleleft b \triangleright Q$  è equivalente a  $\text{if } b \text{ then } P \text{ else } Q$