

Progettazione di un sistema Concorrente e Distribuito

Moreno Ambrosin

Università degli studi di Padova

Dipartimento di Matematica

Corso di laurea Magistrale in Informatica

Agosto 2013

Indice

- 1 Introduzione
- 2 Analisi del Problema
- 3 Costruzione di una soluzione
- 4 Scelta degli strumenti tecnologici
- 5 Conclusioni

Introduzione

- La progettazione di un sistema concorrente e distribuito si compone di:
 - Analisi del problema.
 - Definizione dei requisiti del sistema.
 - Analisi degli aspetti legati alla distribuzione.
 - Analisi degli aspetti legati alla concorrenza.
 - Costruzione di una soluzione.
 - Definizione di architettura di distribuzione delle componenti.
 - Definizione del protocollo di distribuzione.
 - Risoluzione delle problematiche di concorrenza locali alle componenti del sistema.
- Scelta del supporto tecnologico da utilizzare per l'implementazione.

Analisi del Problema

- Individuazione e prima definizione delle entità del sistema.
 - ad es. il progetto di un simulatore per un sistema ferroviario comprende:
 - Treno
 - Viaggiatore
 - Segmento
 - Stazione
 - Piattaforma
 - Biglietteria
 - Pannello Informativo
 - Controllo Centrale
- Identificazione e definizione dei requisiti del sistema.

Analisi del Problema - Distribuzione (1)

- Primo aspetto da valutare.
 - Le scelte a livello di distribuzione influenzano
 - la natura delle entità;
 - le modalità di interazione tra di esse.
- Scelte architetturali:
 - prima modellazione delle componenti (cosa distribuire);
 - dove adottare distribuzione *verticale* o *orizzontale*;
 - modalità di comunicazione tra le componenti (*sincrona* o *asincrona*);
 - definizione di possibili interfacce.

Analisi del Problema - Distribuzione - Caratteristiche desiderabili (1)

- Il sistema dovrà apparire agli utenti come unitario e coerente.
- **Trasparenza:** Il sistema dovrà il più possibile rendere trasparenti all'utente le caratteristiche legate alla distribuzione (Accesso, Collocazione, Migrazione, Spostamento, Replicazione, Malfunzionamento, Persistenza)
- **Openness:**
 - Il sistema dovrà garantire portabilità e interoperabilità.
 - Il sistema dovrà essere fruibile mediante regole standard (interfacce).
 - Organizzazione del sistema in componenti di dimensione ridotta, e facilmente sostituibili.
 - Separazione tra *politiche* e *meccanismi*.

Analisi del Problema - Distribuzione - Caratteristiche desiderabili (2)

■ Scalabilità:

- Rispetto alla cardinalità del sistema (ad es. nel progetto di un sistema ferroviario, è desiderabile poter aumentare la popolazione di Stazioni e Segmenti di collegamento).
- Rispetto alla distribuzione spaziale delle componenti.
- Rispetto alle problematiche locali di gestione (che non devono affliggere l'intero sistema).

■ Fault Tolerance:

- Il sistema deve essere progettato in modo tale da ridurre l'impatto causato da *partial failures*.
- Il sistema dovrà gestire errori di comunicazione tra i nodi.

■ Avvio ordinato

■ Terminazione in uno stato consistente

Analisi del Problema - Distribuzione (2)

- Valutazione di diverse possibili architetture di sistema.
 - Possibile introduzione di nuove entità nel problema
 - ad es.: introduzione dell'entità Regione, raggruppamento di Stazioni, Segmenti di collegamento, Treni e Viaggiatori su un singolo nodo di calcolo.
 - Analisi di come gradi diversi di distribuzione influenzano il sistema.
 - come influiscono sul possibile protocollo di distribuzione.
 - quali sono le problematiche che comportano, come ad es., realismo della simulazione e consistenza temporale.

Analisi del Problema - Distribuzione - Esempio (1)

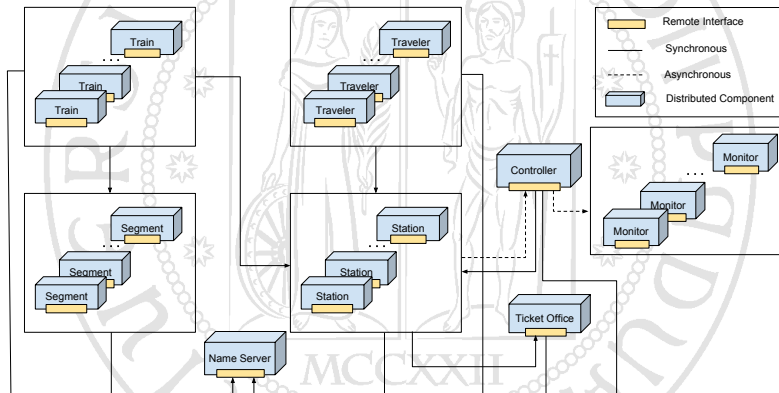


Figura: Architettura di alto livello in cui tutte le entità di simulazione principali sono distribuite.

Analisi del Problema - Distribuzione - Esempio (2)

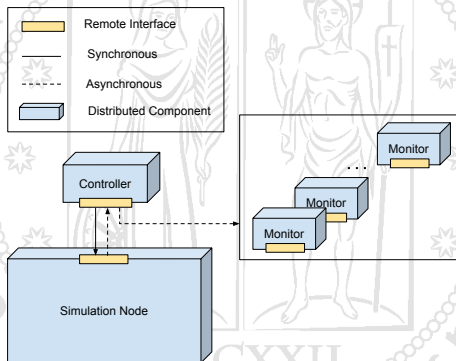


Figura: Architettura di alto livello in cui solo Controller Centrale e componente di Visualizzazione sono distribuite.

Analisi del Problema - Distribuzione - Esempio (3)

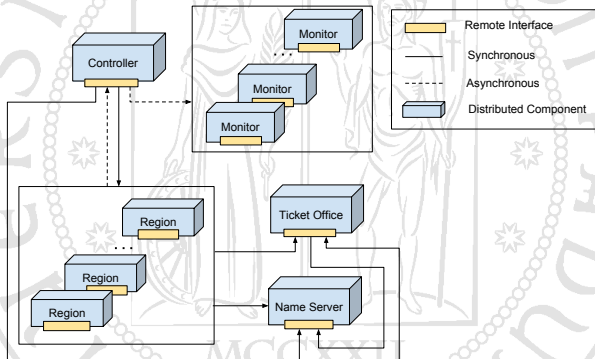


Figura: Architettura di alto livello con distribuzione a livello di *Regioni*. Soluzione adottata nel progetto didattico.

Analisi del Problema - Concorrenza

- Prima definizione dei protocolli logici di interazione concorrente tra le entità del problema.
 - Indipendente dalla scelta di un modello di concorrenza specifico.
 - Identificazione dei punti critici in cui il problema esprime concorrenza.

Analisi del Problema - Concorrenza - Esempio (1)

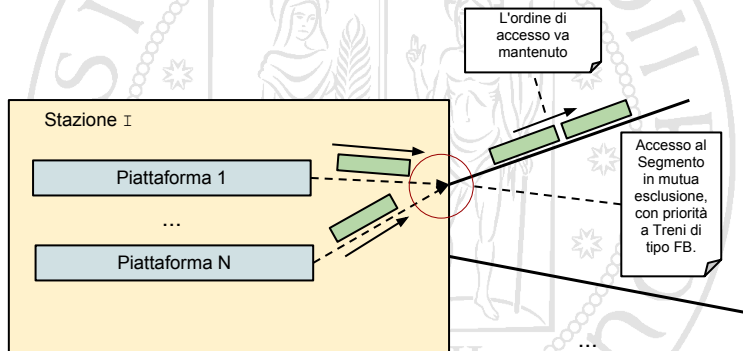


Figura: Accesso ad un segmento.

Analisi del Problema - Concorrenza - Esempio (2)

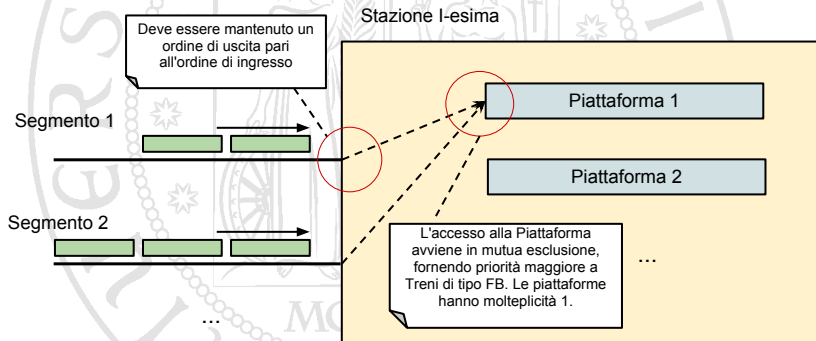


Figura: Uscita da un segmento e accesso alla Piattaforma successiva.

Costruzione di una soluzione - Distribuzione

- Scelta dell'architettura di distribuzione da utilizzare, che meglio si adatta ai requisiti del problema.
 - ad es. Distribuzione a livello di Regioni permette di contenere il grado di distribuzione e garantisce alcune delle caratteristiche desiderabili.
- Definizione architetturale a grana più fine
 - ad es.: introduzione di una gerarchia di Biglietterie per distribuire conoscenza e oneri di calcolo.
 - Centrale
 - Regionale
 - Interna alle Stazioni
- Definizione del protocollo di distribuzione che realizza l'interazione tra le componenti, in base all'architettura scelta, e ai requisiti del problema.

Costruzione di una soluzione - Distribuzione - Esempio

- Come realizzare il passaggio di entità Treno e Viaggiatore tra Regioni?
 - *possibile soluzione*: Utilizzare Stazioni speciali (di “gateway”) per permettere l'uscita di un Treno da una Regione; trasferimento diretto di un Viaggiatore.
- Come realizzare il trasferimento remoto di una entità?
 - creazione/distruzione?
 - replicazione?
 - *possibile soluzione*: Disaccoppiamento tra entità e thread che ne esegue le operazioni: utilizzo di pool di thread esecutori (*Train_Executor* o *Traveler_Executor*) e di descrittori di entità (*Train_Descriptor* o *Traveler_Descriptor*), quest'ultimi replicati su ciascun nodo e aggiornati al trasferimento.

Costruzione di una soluzione - Distribuzione - Avvio

- L'avvio deve essere coordinato tra le componenti distribuite.
 - Devono essere evitati tentativi di comunicazione tra componenti non ancora pronte o allocate.
- È opportuno scegliere un ordine di avvio tra le componenti e separare la fase di inizializzazione delle componenti dall'avvio del sistema.

Costruzione di una soluzione - Distribuzione - Terminazione

- La Terminazione ha come prerequisito la definizione dei limiti entro i quali uno stato del sistema è consistente.
- Ad es. nel progetto di un sistema ferroviario:
 - è accettabile che il sistema termini con un certo numero di Treni in attesa di accedere ad una Piattaforma;
 - non è accettato lo stato di terminazione per il quale un Viaggiatore è in attesa di un Biglietto.
- È conveniente adattare algoritmi distribuiti noti (ad es. *distributed snapshot*).
- Nessun thread in esecuzione sui nodi di calcolo dopo la procedura.

Costruzione di una soluzione - Distribuzione - Valutazione (1)

- Architettura e protocollo di distribuzione vanno valutati sulla base delle caratteristiche desiderabili di un sistema distribuito, individuando criticità e punti di forza del sistema.
- ad es. alcune caratteristiche della soluzione adottata:
 - Il sistema è scalabile in dimensione in relazione al numero di Regioni
 - La scalabilità del sistema è favorita dalla suddivisione a livelli delle Biglietterie e dal trasferimento di descrittori per il passaggio di Regione di Treni e Viaggiatori.
 - I pool di thread `Train_Executor` e `Traveler_Executor` di ciascun nodo devono essere dimensionati in modo opportuno per poter permettere scalabilità del sistema.

Costruzione di una soluzione - Distribuzione - Valutazione (2)

- La natura distribuita del sistema è nascosta alla componente di Visualizzazione.
- Fallimenti a livello di singole Regioni possono essere tollerati dal sistema.
- Controllo Centrale e Server dei Nomi sono fattori di centralizzazione per il sistema
 - Protocolli di avvio e terminazione semplici, ma
 - Single Points of Failure.
 - Potenziali colli di bottiglia.
- In assenza di riferimento temporale assoluto, c'è la possibilità di inconsistenze temporali che devono essere risolte o contenute.

Costruzione di una soluzione - Concorrenza (1)

- Definizione delle entità concorrenti che risiedono sui singoli nodi del sistema (ad es. all'interno delle Regioni)
 - ad es. Segmento *entità reattiva* con agente di controllo, a molteplicità $1 \leq n \leq N$.
- Il protocollo di interazione tra le componenti distribuite influenza la natura delle entità concorrenti.
 - ad es. Train_Executor e Traveler_Executor sono *entità attive*, mentre Train_Descriptor e Traveler_Descriptor sono strutture dati semplici (ad es. record);
- Le interazioni tra le entità concorrenti modificano lo stato locale di ciascun nodo, e di conseguenza contribuiscono a far avanzare lo stato dell'intero sistema secondo il protocollo di distribuzione.

Costruzione di una soluzione - Concorrenza (2)

- Scelta di un modello di concorrenza adatto alle caratteristiche del problema.
 - Valutazione di modelli differenti, ad es. modello ad *Attori* o a *monitor*.
- Modellazione delle entità di sistema e della loro interazione con strumenti di modello.
 - Scomposizione delle interazioni in sottoproblemi semplici.
- Evitare scelte di progettazione che utilizzano operazioni specifiche offerte dalle tecnologie
 - Nessuna assunzione a priori sul linguaggio che verrà utilizzato.
 - Nessuna assunzione sulle politiche di scheduling adottate dalla macchina sottostante.

Costruzione di una soluzione - Concorrenza - Esempio (1)

- Accesso ad un Segmento S da parte di un Train_Executor T , che esegue per uno specifico Treno, dall'estremo D_T , $D_T = \text{First End}$.
 - Rischio starvation di Train_Executor in attesa di accedere.
- Segmento realizzato come risorsa protetta con agente di controllo *monitor*. T accede ad S sse:
 - S è libero
 - S non è libero ma i Train_Executor "in transito" hanno avuto accesso da D_T e il numero di accessi massimo non è stato raggiunto.
 - S non è libero ma i Train_Executor "in transito" hanno avuto accesso da D_T , il numero di accessi massimo è stato raggiunto, ma all'estremo opposto non vi sono altri Train_Executor in attesa.
- In tutti gli altri casi T deve attendere presso l'estremo di accesso.
- L'ultimo Train_Executor che esce da S risveglia i Train_Executor in attesa presso l'estremo opposto.

Costruzione di una soluzione - Concorrenza - Esempio (2)

```
procedure Access_Segment_Monitor(T:Train,Access_End:Integer) begin
```

```
...
```

```
if Access_End = First_End then
```

```
while
```

```
((not Free) and (Access_End /= Current_Direction))
```

```
or
```

```
((not Free) and (Access_End = Current_Direction) and  
(Access_Number = MAX) and (Second_End_Count > 0))
```

```
loop
```

```
First_End_Count := First_End_Count + 1;
```

```
wait(Can_Enter_First_End);
```

```
First_End_Count := First_End_Count - 1;
```

```
end loop;
```

```
else
```

```
... // Simmetrico per accesso dalla direzione opposta
```

```
end if;
```

```
if (Free = True) then
```

```
Free := False;
```

```
if (Access_End /= Current_Direction) then
```

```
Access_Number := 1;
```

```
Current_Direction := Access_End;
```

```
end if;
```

```
else
```

```
if (Access_Number < MAX) then
```

```
Access_Number := Access_Number + 1;
```

```
end if;
```

```
end if;
```

```
...
```

```
end;
```

- Procedura che regola l'accesso ad un Segmento da parte di un Train_Executor;
- Accesso multiplo al Segmento, con numero massimo *MAX* di ingressi consecutivi per estremo.
- Current_Direction mantiene la direzione dei Train_Executor "in transito".

Costruzione di una soluzione - Concorrenza - Esempio (3)

Valutazione dei casi possibili per dimostrare la correttezza della soluzione presentata, una volta che T esegue all'interno della procedure di risorsa protetta `Access_Segment_Monitor`.

Caso 1: Accesso Consentito

Precondizione: `Free=True`

T imposta il valore di `Free` a `False`. Se l'estremo di accesso è diverso da quello corrente, allora il numero di accessi per estremo `Access_Number` viene incrementato di 1, e la direzione corrente `Current_Direction` è settata a 1. In questo modo una volta raggiunto il massimo numero di accessi `MAX`, esso viene re-impostato ad 1 solo se T proviene da una direzione diversa dall'ultima percorsa. Esegue infine le operazioni previste dopo aver ottenuto l'accesso.

Costruzione di una soluzione - Concorrenza - Esempio (4)

Caso 2: Accesso Consentito

Precondizione: $\text{Free} = \text{False}$ and $\text{Current_Direction} = D_T$
and $1 < \text{Access_Number} < \text{MAX}$

Perché sia verificata la Precondizione, almeno un altro *Train_Executor* proveniente dallo stesso estremo deve aver avuto accesso ad *S* (Caso 1). In questo caso, *T* si limita a incrementare di 1 il contatore di accessi per estremo *Access_Number*, e ad eseguire le operazioni previste dopo l'accesso.

Caso 3: Accesso Consentito

Precondizione: $\text{Free} = \text{False}$ and $\text{Current_Direction} = D_T$ and
 $\text{Access_Number} = \text{MAX}$ and $\text{Second_End_Count} = 0$

Perché sia verificata la Precondizione, almeno *MAX* *Train_Executor* provenienti dallo stesso estremo hanno avuto accesso ad *S* (Caso 1 + Caso 2). In questo caso, *T* non incrementare il contatore di accessi *Access_Number*, ed esegue le operazioni previste dopo l'accesso.

Costruzione di una soluzione - Concorrenza - Esempio (5)

Caso 4: Accesso non consentito

Precondizione: $\text{Free} = \text{False}$ and $\text{Current_Direction} \neq D_T$

Perché la pre-condizione sia verificata, almeno un `Train_Executor` proveniente dall'estremo opposto rispetto a T ha eseguito all'interno di `Access_Segment` nel Caso 1. Il thread corrente incrementa il contatore dei `Train_Executor` in attesa per l'estremo corrente `First_End_Count`, e si pone in attesa su variabile di condizione `Can_Enter_First_End`.

Caso 5: Accesso non consentito

Precondizione: $\text{Free} = \text{False}$ and $\text{Current_Direction} = D_T$ and $\text{Access_Number} = \text{MAX}$ and $\text{Second_End_Count} > 0$

Perché la pre-condizione sia verificata, almeno un `Train_Executor` proveniente dall'estremo opposto rispetto a T ha eseguito all'interno di `Access_Segment_Monitor` nel Caso 4 (relativamente alla propria direzione). Il thread corrente incrementa il contatore dei `Train_Executor` in attesa per l'estremo corrente `First_End_Count`, e si pone in attesa su variabile di condizione `Can_Enter_First_End`.

Scelta degli strumenti tecnologici

- Utilizzo di linguaggi di programmazione e strumenti che meglio si adattano alle scelte di progetto .
- Interessante l'utilizzo di tecnologie eterogenee
 - È difficile pensare ad un sistema distribuito realizzato con tecnologia uniforme.
 - Possibilità di utilizzare supporti tecnologici specifici per singola componente.
Ad es. nella soluzione progettata:
 - ho utilizzato il linguaggio Ada per codificare le componenti che rappresentano le Regioni;
 - ho utilizzato il linguaggio Scala per la realizzazione di Name Server, Biglietteria e Controller Centrale;
 - ho utilizzato il middleware a scambio di messaggi Yami4 per integrare componenti eterogenee.

Conclusioni

- La progettazione di un sistema concorrente e distribuito è un processo complesso.
- Molto importante l'analisi iniziale, il confronto tra diverse possibili architetture di distribuzione e la validazione delle soluzioni adottate.
- Errori comuni:
 - dare per scontato problematiche di distribuzione;
 - affidarsi a strumenti di linguaggio per risolvere problemi di concorrenza;
 - progettazione della soluzione a partire dalle tecnologie.