

Approfondimento Sistemi Multi-Agente

Elaborazione di un modello per il manuale degli artefatti a supporto del ragionamento pratico di agenti intelligenti situati in ambienti computazionali secondo il meta-modello A&A

Tonti Fabio

Il Facoltà di Ingegneria
Università di Bologna

12 gennaio 2010

1 Introduzione

2 Il Meta-modello A&A

- Nozione di Agente
- Nozione di Artefatto
- Nozione di Sistema Multi-Agente
- Agenti pianificatori

3 Il Planning

- La pianificazione automatica: concetti base
- La pianificazione classica
- Pianificazione e azione nel mondo reale

4 Planning e A&A

- Dal planning al manuale

5 Modello del manuale

- Grammatica del manuale
- Esempi

6 Conclusioni e sviluppi futuri

Introduzione

A&A

- Meta-modello che ha come obiettivo la modellazione e la progettazione di 'working environments' nel contesto di sistemi multi-agente cognitivi
- Working environment
 - ambiente condiviso di lavoro, di cui fanno parte agenti e artefatti
- Ogni artefatto ha un manuale
 - viene utilizzato a runtime da parte degli agenti per cercare di soddisfare i loro goal

Obiettivo dell'approfondimento

- Proporre un modello per la descrizione del manuale degli artefatti, sfruttando alcuni concetti del planning

Il Meta-modello A&A

- Approccio general-purpose per ideare ambienti computazionali in Sistemi Multi-Agente
- A&A deriva dall'Activity Theory
 - gli strumenti (artefatti) giocano un ruolo fondamentale di mediazione
- Gli agenti condividono, usano e manipolano gli artefatti
- Gli artefatti sono entità di prima classe
 - strumenti che gli agenti possono sfruttare durante l'esecuzione delle loro attività
 - parte funzionale dell'ambiente del MAS
 - incapsulano diversi tipi di funzionalità
- Anche la nozione di workspace gioca un ruolo importante
 - contenitore logico di agenti e artefatti
 - definisce la topologia dell'ambiente di lavoro

Nozione di Agente

Agente

- Entità computazionale autonoma che incapsula il flusso di controllo (insieme al criterio per governarlo)
- Entità pro-attiva, esegue attività a livello individuale o collettivo
- In base al modello A&A può eseguire
 - azioni interne
 - azioni di comunicazione
 - azioni pragmatiche
- Entità reattiva e 'situata': concetto di corpo di un agente immerso in un ambiente
 - attuatori per eseguire azioni
 - sensori per percepire stimoli

Nozione di Artefatto

Artefatto

- Entità computazionale passiva e con stato
- Incapsula e fornisce una funzionalità, mettendo a disposizione alcune operazioni, che
 - possono portare al cambiamento dello stato interno, o alla generazione di eventi osservabili
 - possono essere associate a una guardia
 - possono essere composte da più step
- Le proprietà osservabili sono attributi dinamici e persistenti che, insieme alle operazioni, rappresentano l'interfaccia d'uso
- Altra caratteristica: link interfaces

Manuale

- Ogni artefatto ha in dotazione un manuale

Il manuale

Caratteristiche

- Il manuale di un artefatto ne descrive
 - la funzione (*what*)
 - l'interfaccia d'uso
 - le 'operating instructions' (le operazioni, quindi il protocollo d'uso, *how*)
- Le operazioni racchiudono un'informazione semantica utile per agenti intelligenti
- Questa è una caratteristica di importanza fondamentale per lo sviluppo di sistemi aperti

Nozione di Sistema Multi-Agente

Sistema Multi-Agente (MAS)

- Sistema computazionale situato, composto da Agenti e Artefatti
- Possiede un comportamento che è il risultato dell'interazione tra entità autonome e indipendenti (agenti), ed entità reattive e funzionali (artefatti)
- Sono ammessi diversi tipi di interazione:
 - comunicazione
 - operazione
 - composizione
 - presentazione
- Il MAS può interagire con l'ambiente esterno

Agenti pianificatori

- Il manuale di un artefatto può essere molto importante per agenti intelligenti
- Un agente A&A può sfruttare le informazioni contenute nei manuali
 - effettuando del planning
 - per cercare di soddisfare i propri goal
- Alcuni concetti del planning possono quindi essere utilizzati per la descrizione del manuale degli artefatti (e delle informazioni in esso contenute)

Il Planning

Pianificazione

- Determinare un insieme ordinato di azioni necessarie a raggiungere lo stato desiderato, a partire da
 - uno stato iniziale
 - un insieme di azioni eseguibili
 - un obiettivo da raggiungere
- Nel planning classico si considerano ambienti completamente osservabili, deterministici, finiti e statici
- Il planning non-classico tratta ambienti parzialmente osservabili o stocastici
- Il processo della pianificazione è non-decomponibile e reversibile
- Il processo di applicazione della procedura di soluzione è invece irreversibile e non-deterministico

La pianificazione automatica: concetti base

- Un pianificatore automatico è un agente intelligente che opera in un certo dominio e che, date

- una rappresentazione dello stato iniziale
- una rappresentazione del goal
- una descrizione formale delle azioni eseguibili

determina dinamicamente il piano di azioni necessario per raggiungere il goal

Rappresentazione dello stato

- Modello del sistema su cui opera il pianificatore
- Congiunzione di formule atomiche che esprime la situazione di partenza
- Lo stato di un sistema spesso può essere osservato solo in modo parziale:
 - alcuni aspetti possono essere non osservabili
 - dominio troppo vasto
 - osservazioni soggette a rumore
 - dominio dinamico

La pianificazione automatica: concetti base (2)

Rappresentazione del goal

- Stesso linguaggio formale con cui si esprime lo stato iniziale
- Descrizione parziale dello stato finale che si vuole raggiungere
 - le condizioni che devono essere soddisfatte affinché il goal sia soddisfatto

Rappresentazione delle azioni

- Descrizione formale delle azioni eseguibili sul sistema
- Ogni azione è identificata da un nome e modellata per mezzo di
 - precondizioni: condizioni che devono essere verificate affinché l'azione possa essere eseguita
 - postcondizioni: effetti dell'azione sul mondo

La pianificazione classica

Pianificazione classica

- Pianificazione off-line che produce l'intero piano prima di eseguirlo
- Basata su alcune assunzioni forti
 - tempo atomico di esecuzione delle azioni
 - determinismo degli effetti
 - stato iniziale completamente noto a priori
 - esecuzione del piano unica causa di cambiamento del mondo

Planning Deduttivo

- È un tipo di pianificazione classica
- Generazione del piano come dimostrazione di un teorema
- *Situation Calculus*: algoritmo che si basa sul planning deduttivo
 - *Frame Problem*: specificare esplicitamente tutte le proprietà che cambiano (e che non cambiano) nel mondo dopo una transizione di stato

Planning mediante ricerca

- Altro tipo di pianificazione classica
- La ricerca può essere effettuata
 - nello spazio degli stati
 - nello spazio dei piani

Ricerca nello spazio dei piani - Partial Order Planning

- Planning non-lineare
- Nell'albero di ricerca
 - un nodo rappresenta un piano parziale
 - un arco rappresenta un'operazione di raffinamento
- Tecnica *Least Commitment* sugli ordinamenti: si impongono sempre e solo vincoli strettamente necessari
- Piano non lineare rappresentato come
 - un insieme di azioni (operatori)
 - un insieme di ordinamenti fra le varie azioni
 - un insieme di 'causal link'

Planning mediante ricerca (2)

Ricerca nello spazio degli stati

- Planning lineare
- Algoritmo di ricerca:
 - forward
 - backward (problema del *Goal Regression*)
- Algoritmo STRIPS
 - Linguaggio per rappresentazione di azioni
 - Stato e goal rappresentati mediante congiunzione di predicati del prim'ordine
 - Azioni rappresentate tramite tre liste:
 - lista di parametri
 - lista di precondizioni
 - lista di effetti
 - Risolto il *Frame Problem*
 - Algoritmo di ricerca backward

Planning gerarchico

Caratteristiche

- Creazione di piani complessi a diversi livelli di astrazione
- Generazione di un piano che porta da uno stato vicino allo stato iniziale a uno stato vicino allo stato finale
- Il piano viene rifinito con una ricerca di più basso livello, con maggiori dettagli
 - processo di *decomposizione delle azioni*

AB-STRIPS

- Usa la stessa definizione delle azioni di STRIPS
- Alle precondizioni viene associato un valore di criticità
- Esplorazione completa dello spazio di ogni livello di astrazione prima di passare a quello successivo

Pianificazione e azione nel mondo reale

Caratteristiche

- Ambienti non-deterministici e dinamici
- Gli effetti delle azioni possono non essere quelli previsti
- Il mondo può cambiare anche per altre cause oltre alle azioni dell'agente
- Vari metodi di pianificazione
 - pianificazione condizionale
 - pianificazione reattiva

Pianificazione e azione nel mondo reale (2)

Pianificazione condizionale

- Generazione di piani alternativi per ciascuna fonte di incertezza del piano
- Problemi
 - esplosione dell'albero di ricerca se il numero di contesti alternativi è elevato
 - possibile richiesta di molta memoria
- Non sempre è possibile conoscere tutti i contesti alternativi
 - spesso si utilizza in combinazione l'approccio probabilistico

Pianificazione reattiva

- Pianificazione on-line, interazione con il sistema
- Alternanza di pianificazione e di esecuzione, con reazione ai cambiamenti di stato

Planning e A&A

- Il manuale di un artefatto può essere molto importante
- Possibile sfruttare il planning per la definizione del manuale degli artefatti A&A

Scenario

- Sistema aperto e dinamico
 - agenti e artefatti possono essere realizzati da programmatori diversi
 - agenti possono entrare e uscire a runtime nel working environment
 - artefatti possono essere creati / distrutti / modificati a runtime
- Il manuale diventa uno strumento di fondamentale importanza per gli agenti
- Un agente che deve soddisfare un certo goal può
 - cercare informazioni tra le proprietà osservabili degli artefatti
 - *cercare operazioni di artefatti che possano aiutarlo a soddisfare il suo goal* (uso del manuale)
 - creare istanze di artefatti che possono essergli utili

Dal planning al manuale

- Il planning tradizionale può rappresentare uno spunto per la sintassi attraverso cui esprimere le operazioni nel manuale di un artefatto
- Si può pensare che un agente A&A agisca come un planner
 - entrambi devono soddisfare un goal
 - stato iniziale: intera conoscenza del mondo nel caso del planner, base di conoscenza (più lo stato osservabile degli artefatti) nel caso dell'agente A&A
 - il planner deve applicare delle azioni, l'agente A&A deve sfruttare le operazioni degli artefatti

Dal planning al manuale (2)

Operazioni degli artefatti

- Come le azioni del planning, sono rappresentate tramite precondizioni ed effetti
 - nel planning le condizioni espresse riguardano l'intero mondo in cui agisce il planner, mentre nel caso A&A riguardano lo stato osservabile del singolo artefatto
 - decomposizione del ragionamento e riduzione della complessità del mondo
- Sono definite inoltre da una lista dei parametri di ingresso necessari, come nel caso del planning

Modello del manuale

Manuale di un artefatto

- Modello per la rappresentazione del manuale di un artefatto
- Versione semplificata
 - comprende le sole operating instructions (protocollo d'uso)
 - nessuna descrizione delle funzionalità
- In questo modo l'agente ha la libertà (ma anche l'onere) di combinare autonomamente le operazioni dei vari artefatti per soddisfare il proprio goal, effettuando una pianificazione

Grammatica del manuale

- Sintassi per il linguaggio di rappresentazione del manuale
- Elaborazione di una grammatica

Grammatica

- Simboli non terminali
 - `<Manual>`, `<manualBlock>`, `<obsPropList>`, `<operation>`,
`<operationBlock>`, `<parameters>`, `<parametersList>`,
`<singleParameter>`, `<preconditions>`, `<preconditionsList>`,
`<singlePrecondition>`, `<effects>`, `<effectsList>`,
`<singleEffect>`, `<singleEffectBlock>`, `<assignment>`, `<event>`
- Simboli terminali
 - `<NUM>`, `<NAME>`, `<TYPE>`, `<BOOL_OP>`, `<OP>`, `<EQUAL>`, `<AND>`,
`<OR>`, `<LEFT_ROUND_BRACKET>`, `<RIGHT_ROUND_BRACKET>`,
`<LEFT_BRACES>`, `<RIGHT_BRACES>`, `<COLON>`, `<SEMICOLON>`,
`<COMMA>`, `<DOT>`

Grammatica del manuale (2)

Grammatica

- Simbolo iniziale

- `<Manual>`

- Regole di produzione

- `<Manual> ::= 'manual' <NAME> <LEFT_BRACES> <manualBlock> <RIGHT_BRACES>`
 - `<manualBlock> ::= 'obsProp' <COLON> <LEFT_BRACES> <obsPropList> <RIGHT_BRACES> <SEMICOLON> ( <operation> )+`
 - `<obsPropList> ::= <NAME> ( <COMMA> <NAME> )*`
 - `<operation> ::= <NAME> <LEFT_BRACES> <operationBlock> <RIGHT_BRACES>`
 - `<operationBlock> ::= <parameters> <SEMICOLON> <preconditions> <SEMICOLON> <effects> <SEMICOLON>`
 - `<parameters> ::= 'params' <COLON> <LEFT_BRACES> <parametersList> <RIGHT_BRACES>`
 - `<parametersList> ::= <singleParameter> ( <COMMA> <singleParameter> )*`
 - `<singleParameter> ::= <NAME> <COLON> <TYPE>`

Grammatica del manuale (3)

Grammatica

- `<preconditions> ::= 'pre' <COLON> <LEFT_BRACES> <preconditionsList> <RIGHT_BRACES>`
- `<preconditionsList> ::= <singlePrecondition> ( <AND> <singlePrecondition> )*`
- `<singlePrecondition> ::= <NAME> <BOOL_OP> ( <NAME> | <NUM> )`
- `<effects> ::= 'effects' <COLON> <LEFT_BRACES> <effectsList> <RIGHT_BRACES>`
- `<effectsList> ::= <singleEffect> ( ( <SEMICOLON> | <DOT> ) <singleEffect> )*`
- `<singleEffect> ::= <singleEffectBlock> | <LEFT_ROUND_BRACKET> <singleEffectBlock> ( <OR> <singleEffectBlock> )+ <RIGHT_ROUND_BRACKET>`
- `<singleEffectBlock> ::= <assignment> | <event>`
- `<assignment> ::= <NAME> <EQUAL> <expr>`
- `<event> ::= <NAME> [ <LEFT_ROUND_BRACKET> ( <NAME> | <expr>() ) ( <COMMA> ( <NAME> | <expr>() ) )* <RIGHT_ROUND_BRACKET> ]`
- `<expr> ::= ( <NAME> | <NUM> ) [ <OP> ( <NAME> | <NUM> ) ]`

Caratteristiche

Template del manuale

- La grammatica descrive un linguaggio di questo tipo:

```

● manual ARTIFACT_NAME {
  obsProp: { OBS_PROP_1, ..., OBS_PROP_N };
  operation OPERATION_NAME_1 {
    params: { PARAM_1: TYPE, ..., PARAM_2: TYPE };
    pre: { PRECONDITION_1 & ... & PRECONDITION_N };
    effects: { EFFECT_1; EFFECT_2. EFFECT_3. ... ;EFFECT_N };
  }
  operation OPERATION_NAME_2 {
    ...
  }
}

```

- Come prima cosa vengono elencati i nomi delle proprietà osservabili dell'artefatto
- In seguito vengono definite tutte le operazioni messe a disposizione dall'artefatto

Descrizione delle operazioni

Parametri e precondizioni

- Ogni operazione può richiedere uno o più parametri di ingresso
 - lista di elementi separati da virgola, dove ognuno definisce nome e tipo del parametro
- Le precondizioni sono una congiunzione di espressioni booleane
 - le condizioni espresse riguardano lo stato osservabile dell'artefatto, oppure i parametri di ingresso

Descrizione delle operazioni (2)

Effetti

- Espresi mediante notazione simile a quella utilizzata per la descrizione dei processi nella programmazione concorrente (una sorta di *Process Algebra* in cui gli effetti sostituiscono i processi)
- Gli effetti possono essere l'aggiornamento di una proprietà osservabile oppure la generazione di un evento
- Nell'esecuzione di un'operazione, gli effetti seguono un determinato ordine temporale: per questo vengono rappresentati come un elenco di elementi separati dal simbolo ';

Descrizione delle operazioni (3)

Effetti

- Il simbolo '|' viene usato per separare effetti mutuamente esclusivi
 - l'insieme degli effetti separati da questo simbolo viene racchiusa all'interno di parentesi tonde
 - in questo modo vengono individuate tutte le sequenze possibili di effetti che si possono verificare
- Le operazioni possono essere composte da più step: il simbolo '.' viene usato per separare l'ultimo effetto di ogni step dal primo effetto dello step successivo
- Se uno stesso effetto è ripetuto più di una volta nel corso di un'operazione, nel manuale viene riportata solo l'ultima occorrenza
 - a meno che la ripetizione avvenga in step diversi della stessa operazione

Descrizione delle operazioni (4)

Effetti

- **Aggiornamento di una proprietà osservabile**
 - viene specificata l'espressione (aritmetica) che determina il nuovo valore assunto dalla proprietà
 - nel caso di espressioni troppo complesse, si può riportare il solo nome della proprietà che, nel corso dell'operazione, viene aggiornata
- **Generazione di un evento**
 - un evento è definito da un nome, che può essere accompagnato da una serie di parametri
 - tra i parametri solitamente c'è anche il valore di ritorno, che tipicamente è il risultato dell'operazione eseguita

Esempi

Esempio 1: artefatto CALCULATOR (senza display)

- Operazioni: moltiplicazione e divisione
- Unico effetto: generazione di un evento accompagnato dai parametri di ingresso e dal risultato

Codice

```

• manual CALCULATOR {
  obsProp: { };
  operation MUL {
    params: { P1: double, P2: double };
    pre: { };
    effects: { MUL(P1,P2,P2*P2) };
  }
  operation DIV {
    params: { P1: double, P2: double };
    pre: { P2 != 0 };
    effects: { DIV(P1,P2,P2/P2) };
  }
}

```

Esempi

Esempio 2: artefatto CALCULATOR (con display)

- Proprietà osservabile DISPLAY che visualizza il risultato delle operazioni
- Effetti: aggiornamento della proprietà osservabile se il risultato dell'operazione è maggiore di zero, generazione di un evento in caso contrario

Codice

- manual CALCULATOR {
 obsProp: { DISPLAY };
 operation MUL {
 params: { P1: double, P2: double };
 pre: { DISPLAY == 0 };
 effects: { (DISPLAY = P1*P2 | MUL(P1,P2,P2*P2)) };
 }
 operation DIV {
 params: { P1: double, P2: double };
 pre: { P2 != 0 & DISPLAY == 0 };
 effects: { (DISPLAY = P1/P2 | DIV(P1,P2,P2/P2)) };
 }
 }

Conclusioni e sviluppi futuri

- Il modello presentato definisce il linguaggio per la rappresentazione del manuale di un artefatto, utile in ambienti A&A aperti e dinamici

Sviluppi futuri

- Possibili miglioramenti
 - strutture più elaborate per la definizione degli effetti
 - introduzione di una struttura per evidenziare le possibili sequenze di step da eseguire per completare un'operazione (composta)
 - introduzione di '*causal link*' tra i vari step
 - sfruttamento di concetti del Partial Order Planning, Planning Gerarchico e Pianificazione nel mondo reale
- Con l'esame PROSI verrà ripreso il modello proposto con questo approfondimento, con lo scopo di realizzare un esempio applicativo