# BAAC: A Prolog System for Action Description and Agents Coordination

Agostino Dovier Andrea Formisano Enrico Pontelli

Univ. of Udine & Univ. of Perugia & New Mexico State Univ.

ICLP 2011 — Lexington - July 8, 2011

ICI P 2011

1/13

DFP (UniUD-UniPG-NMSU)

#### Introduction

# Action Description Languages

Provide a declarative framework for knowledge representation and reasoning on actions and change

A seminal work: Action Languages, Gelfond & Lifschitz, 1998

Many proposals, several languages:

 $\mathcal{A}$ .  $\mathcal{B}$ .  $\mathcal{C}+$ ,  $\mathcal{K}$ ,  $\mathcal{CARD}$ ,  $\mathcal{AL}$ ,  $\mathcal{ALAN}$ , ...

### Action Description Languages: Encoding in CLP

- Action description languages can be encoded using CLP(FD) implemented in Prolog [ICLP07,MG65]
- Fluent values are not forced to be Boolean
- We presented the language  $\mathcal{B}^{MV}$  and its encoding [ICLP07,TPLP10]
- An extension for multiagent planning B<sup>MAP</sup> (with centralized) reasoner) was also developed [LPNMR09.Fuln2010]

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > <

### **Concurrent autonomous agents**

The basic idea:

- Agents "live" in a common world
- Each agent has a (partial) view of the world and its own goals
- Each agent autonomously develops a plan.

< 同 → < 三 →

### **Concurrent autonomous agents**

The basic idea:

- Agents "live" in a common world
- Each agent has a (partial) view of the world and its own goals
- Each agent autonomously develops a plan.

Properties of the world (fluents) may be shared by different agents, but

- Agents might not be aware of this, and
- The "local" view of an agent might be affected by other agents' actions
- The effects of actions of different agents may interfere
- The concurrent execution of agents' plans might lead to inconsistencies and conflicts among actions' effects.

### Domain specification and plan execution

Two main aims:

• Design an Action Description Language for autonomous agents coordination, to support the specification of strategies and policies for conflict resolution, communication, ...

ZAAC

• Develop a prototype to execute Action Description Language specifications and enable planning, concurrent plan-execution, and plan revision.

### CLP(FD) + Linda

ICI P 2011

5/13

...ensuring extensibility of the Action Description Language and modularity of the prototype!

DFP (UniUD-UniPG-NMSU)

#### Syntax

## The language $\mathcal{B}^{\text{\tiny AAC}}$

### **Action declaration**

### action Act

Fluents...

fluent  $f_1, \ldots, f_h$  valued dom

### expressions...

$$FE ::= n \mid f^t \mid f@r \mid FE_1 \oplus FE_2 \mid rei(C) \mid ...$$

#### ...and constraints

A constraint *C* is a propositional combination of *primitive* constraints of the form  $FE_1$  relop  $FE_2$ .

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

### The language $\mathcal{B}^{\text{\tiny AAC}}$

### **Dynamic causal laws**

Act causes C<sub>Eff</sub> if C<sub>Prec</sub>

#### **Executability laws**

executable  $\mathit{Act}$  if  $\mathit{C}$ 

### Specification of initial...

initially  ${\cal C}$ 

...and final states

goal C

### The language $\mathcal{B}^{AAC}$

Each agent Ag is specified by a different action theory

Agent identification

agent Ag [priority Val].

Knowledge about other agents

known agents  $A_1, A_2, \ldots, A_k$ 

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

**ICLP 2011** 

8/13

DFP (UniUD-UniPG-NMSU)

#### Syntax

### The language $\mathcal{B}^{AAC}$

To specify simple reactions to conflicts and failures in plan-execution, we refine the action declarations:

action Act OPT OPT ::= on conflict OC OPT | on failure OF OPT OC ::= retry\_after T [provided C] [forego [provided C] OF ::= retry\_after T [if C] | replan [if **C**] [add\_goal **C**] | fail [if **C**]

< □ > < □ > < 豆 > < 豆 > < 豆 > < □ > < □ > <

### **Supervisor**

- A supervisor controls the execution of agents' plans
  - Ensure consistency of the state of the world
- Each agent sends a message to the supervisor declaring the intention to execute an action

### **Supervisor**

- A supervisor controls the execution of agents' plans
  - Ensure consistency of the state of the world
- Each agent sends a message to the supervisor declaring the intention to execute an action
- The supervisor verifies the consistency of the consequences of all requested actions
- Supervisor determines subsets of conflicting actions

### **Conflict Resolution**

- Conflicts can be resolved by executing various protocols
  - Supervisor arbitration (e.g., using priorities, round-robin, etc.)
  - Agent cooperation (e.g., action directives, taking turns, etc.)
- Conflict resolution may require agents to modify their plans
  - planned actions may be no longer executable
  - new goals may have been added
  - new state of the world may be incompatible with original plan
  - ...

### Modeling explicit communication

Communication might occur in a conflict-resolution phase, during the execution of a step of the concurrent plans.

Moreover, explicit actions laws can be used to specify

• Broadcasting communication:

request  $C_1$  if  $C_2$ 

Point-to-point communication

```
request C_1 to_agent Ag if C_2
```

A more general scheme:

request  $C_1$  [to\_agent Ag] if  $C_2$  [offering  $C_3$ ]

#### **BAAC** in action

# A volleyball match in $\mathcal{B}^{AAC}$

Several independent Prolog agents (reasoning possibly on different machines) coordinated by Linda. Both the teams wish to score a point.



**ICLP 2011** 13/13

#### **BAAC** in action

# A volleyball match in $\mathcal{B}^{AAC}$

Several independent Prolog agents (reasoning possibly on different machines) coordinated by Linda. Both the teams wish to score a point.



# Questions?