

IFT608 / IFT 702

Planification en intelligence artificielle

Reconnaissance de plan et d'intention

Froduald Kabanza
Département d'informatique
Université de Sherbrooke

Plan de l'exposé

- Énoncé du problème
- Approches algorithmiques

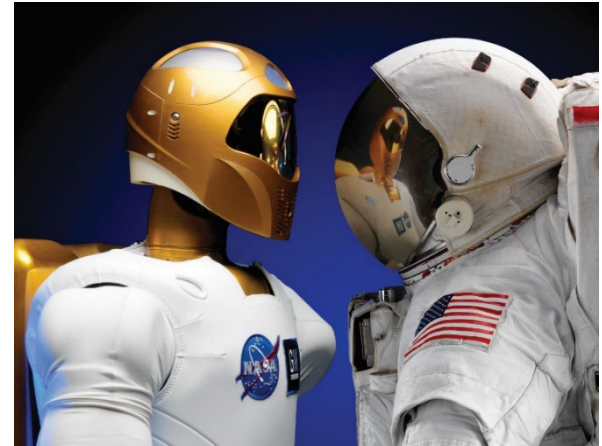
ÉNONCÉ DU PROBLÈME

Plan Recognition

Le problème de reconnaissance de plan consiste à inférer les intentions, les buts ou les plans d'autres agents.

C'est essentiel pour:

- Expliquer les comportements des autres
- Interagir avec les autres
- Coopérer avec les autres
- Comprendre la situation courante pour agir de façon bien informée



Rappel – Problème de planification

- Données:
 - Actions primitives
 - But
 - » État à atteindre
 - » Comportement (but temporellement étendu)
 - État initial
- Sortie :
 - Plan d'actions
 - » Séquence
 - » Politique
 - » Stratégie



Problème de reconnaissance de plans

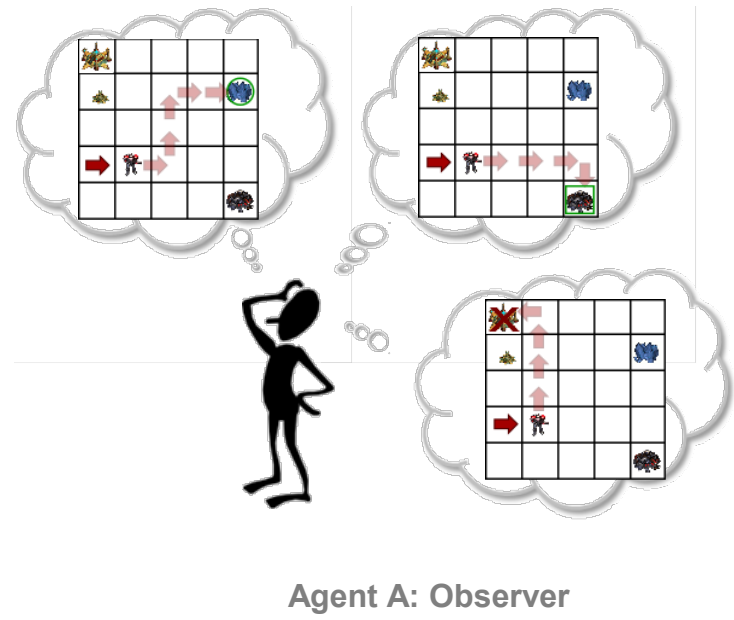
- Données :
 - Séquence d'observations
 - Actions primitives
 - Pour certaines approches: librairie de plans
- Sortie :
 - But expliquant les observations
 - Plan expliquant les observations



Reconnaissance de plan

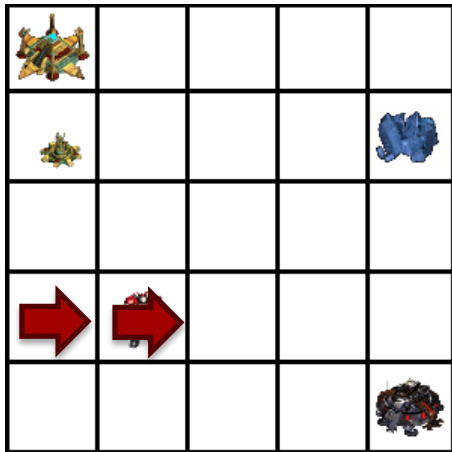


Agent B: Observed

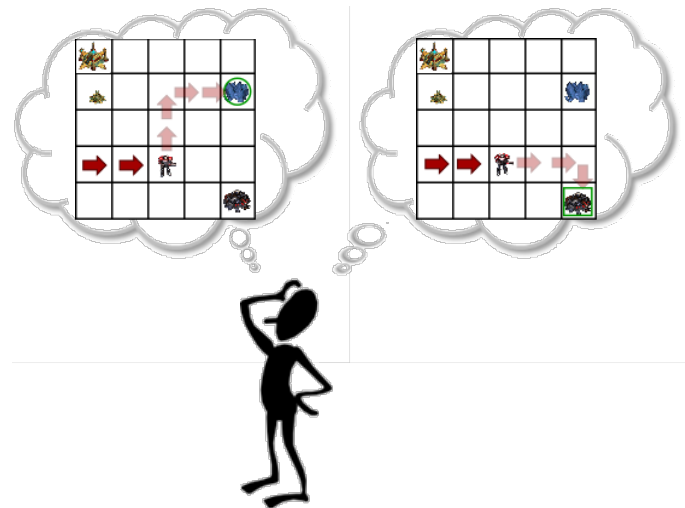


Agent A: Observer

Reconnaissance de plan



Observed opponent



Plan recognition agent

Domaines d'application

- Jeux
- Sécurité
- Défense
- Interfaces humain-machines
- Domotique
- Compréhension du langage naturel

Différentes dimensions

- Environnement complètement **observable** vs **partiellement observable**
- **Interaction** vs **pas d'interaction** entre l'agent observé et l'agent observateur
- L'agent observé est **hostile** vs **coopératif**
- Un **seul agent** observateur vs **une équipe d'agents observateurs**
- Un **seul agent** observé vs des **équipes d'agents observateurs**
- **Contraintes de temps réel**



APPROCHES ALGORITHMIQUES

Main Different Approaches

Pure Data-Driven

Frame plan recognition as a classification of a sequence of observations into goals and use machine learning techniques

- Deep learning with n-gram model ([Min et al., AAAI 2014](#))
- Statistical learning using n-gram models (Blaylock & Allen, 2003)
- Requires labeled data sets

Moderately Knowledge-Driven

Frame the plan recognition problem as inferring goals from likely plans generated by a planning algorithm (inverse planning).

- Inferring goal probability distributions from plan costs ([Ramirez & Geffner, AAAI 2010](#)) ([Ramirez & Geffner, IJCAI 2011](#))
- Requires a planner and hence a model of actions

Heavily Knowledge Driven

Frame the plan recognition problem as inferring goals or plans from a given plan library

- HMM, Markov Logic, Bayesian networks
- Model-counting : goal probabilities inferred from the proportion of models of execution of plans in the library consistent with the sequence of observations ([Geib & Goldman, 2009](#))
- Requires a model of actions and a plan library

Approches à base de connaissances

Basé sur des librairies de plans

- On suppose que l'agent agit en suivant des recettes
- On peut modéliser ses recettes par une librairie de plans.
- Le problème revient à reconnaître lequel des plans est suivi.
- **Problème:** comment avoir les librairies de plans?
 - Apprentissage
 - Forage
- **Techniques:**
 - *Inférence probabiliste*
 - *Parsing probabiliste* (HTN/Grammaires)

Basé sur les actions primitives

- On suppose qu'un comportement rationnel (optimal) est plus probable que celui qui l'est moins
 - Subtilité: différent de dire que l'agent agit de façon rationnel (optimale)
- On n'a pas besoin des recettes
- Le problème revient à inverser le processus de planification:
 - Probabilité d'un but dépend de la différence entre un comportement optimal vers le but et le comportement observé
- **Technique:** Ramirez et Geffner (AAAI 2010).

APPROCHES PAR APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE

Références

- Amado et al. (2018) LSTM-Based Goal Recognition in Latent Space. arXiv:1808.05249v2 [cs.AI], 20 Aug 2018.
 -
- Maynard et al. PAIR 2019
 - Voir projet ‘Reconnaissance de plan’

Deep Learning and Plan Recognition

Two-Stream RNN/CNN for Action Recognition in 3D Videos

Rui Zhao, Haider Ali, Patrick van der Smagt

German Aerospace Center, Technische Universität München



Action recognition
using deep learning.

But plan recognition is much
more than action recognition.

Use of Deep Learning in Plan Recognition:

DL for action recognition and SBR (*Granada et al. 2017*)
Recursive NN to learn HTN plans (*Bisson et al., 2015*)
DL goal recognition in digital games (*Min et al. 2016*)

But do not use an end-to-end DL
pipeline for plan recognition or still
use handrafted models or features.

Framing Deep Learning as Plan Recognition

Plan recognition problem $\langle G, o_\pi \rangle$

G : set of possible goals of an actor

o_π : sequence of observations of the effects of the agent's actions.

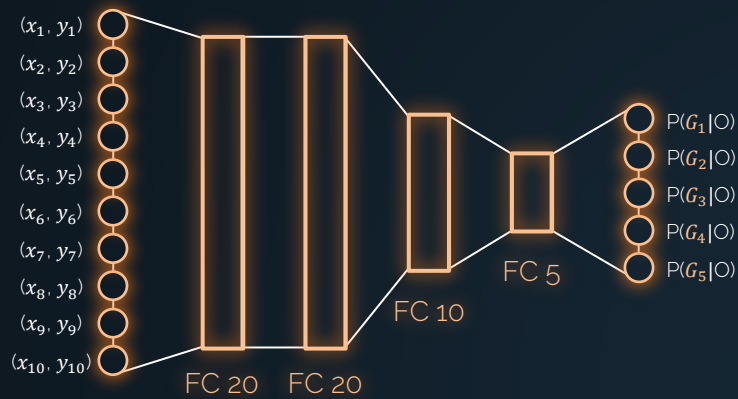
Solution to this problem $P(G|o_\pi)$

Optimal solution: $\max_g P(g|o_\pi)$

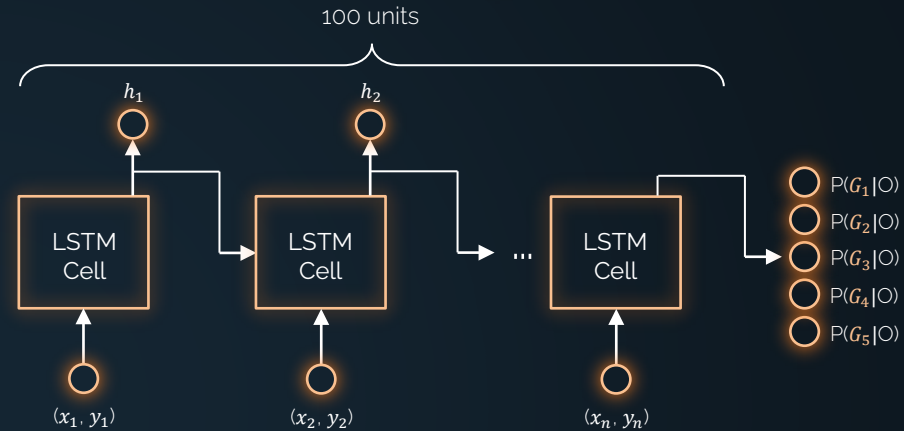
where $g \in G$ is the true goal.

Thus, a plan recognition problem is simply a **classification problem**.

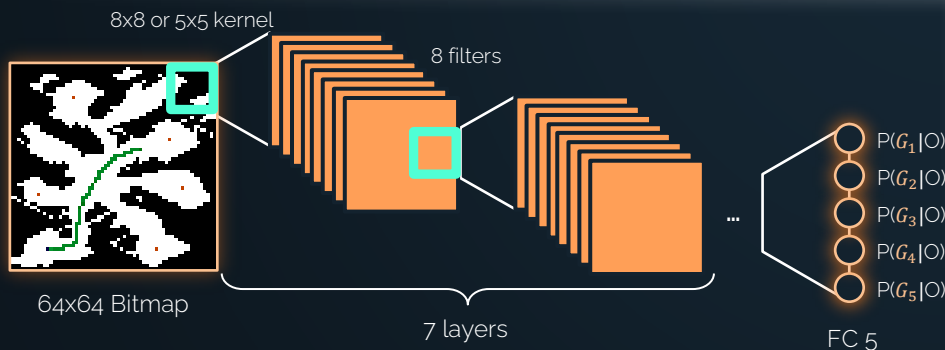
Architectures des réseaux pour la navigation



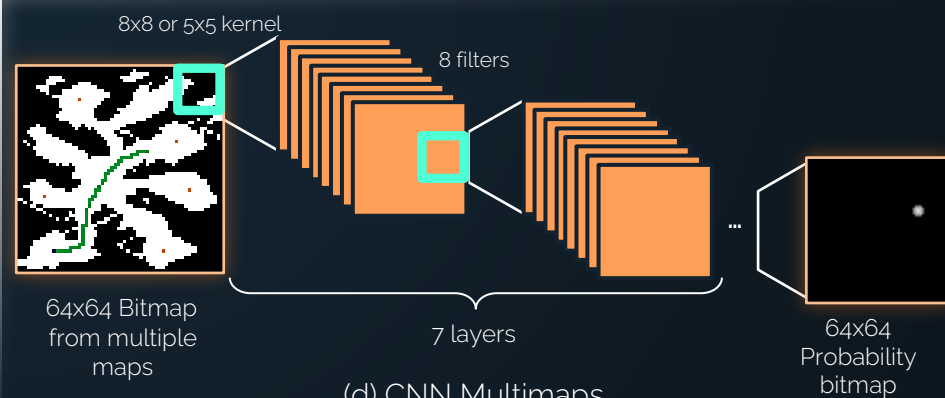
(a) Fully Connected Network



(b) LSTM Network



(c) CNN Bitmap



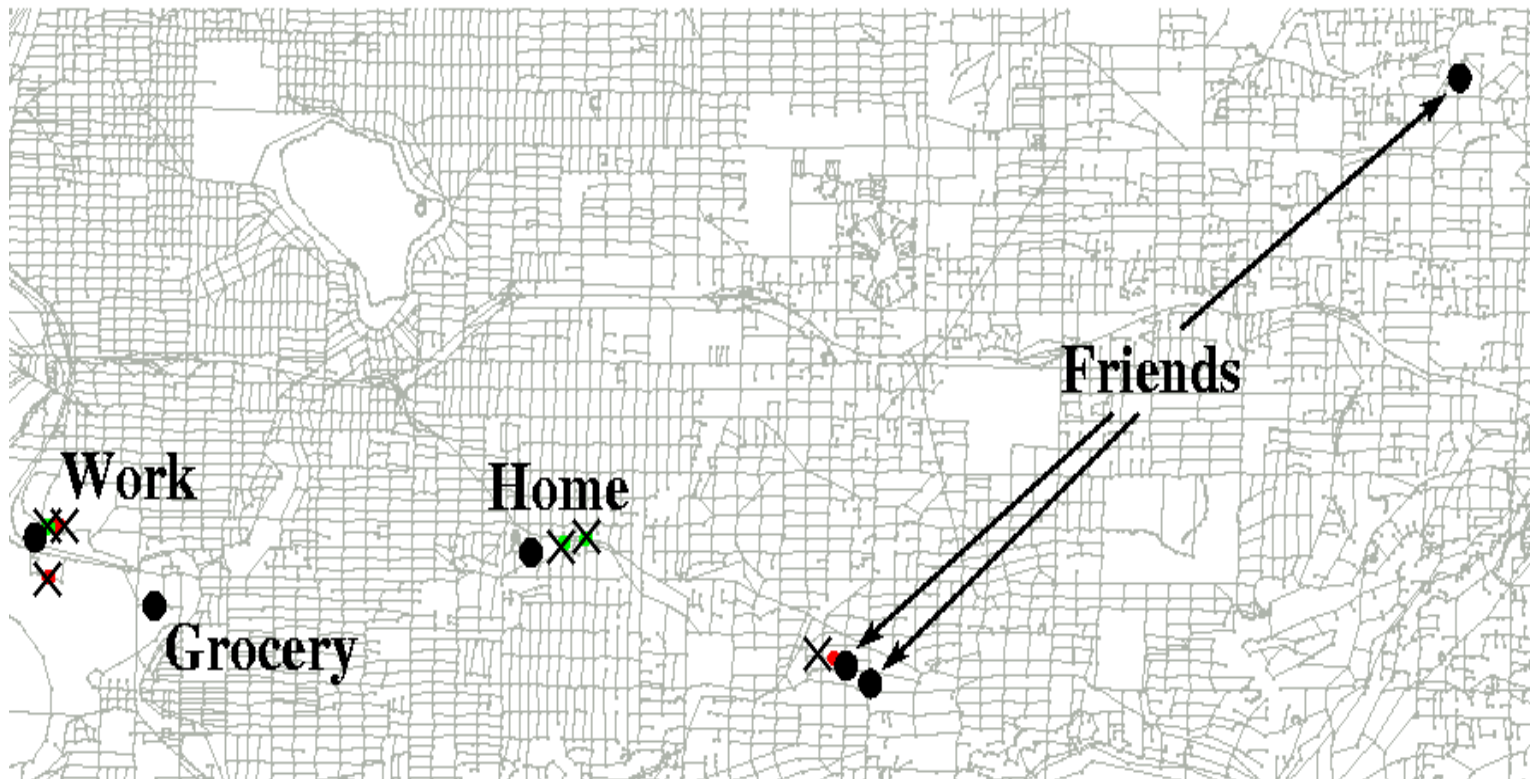
(d) CNN Multimaps

APPROCHES PAR INFÉRENCE PROBABILISTE

Reconnaissance de plan par réseaux bayésiens dynamiques

<http://www.cs.rochester.edu/u/kautz/talks/converging-technology-kautz-v3.ppt>

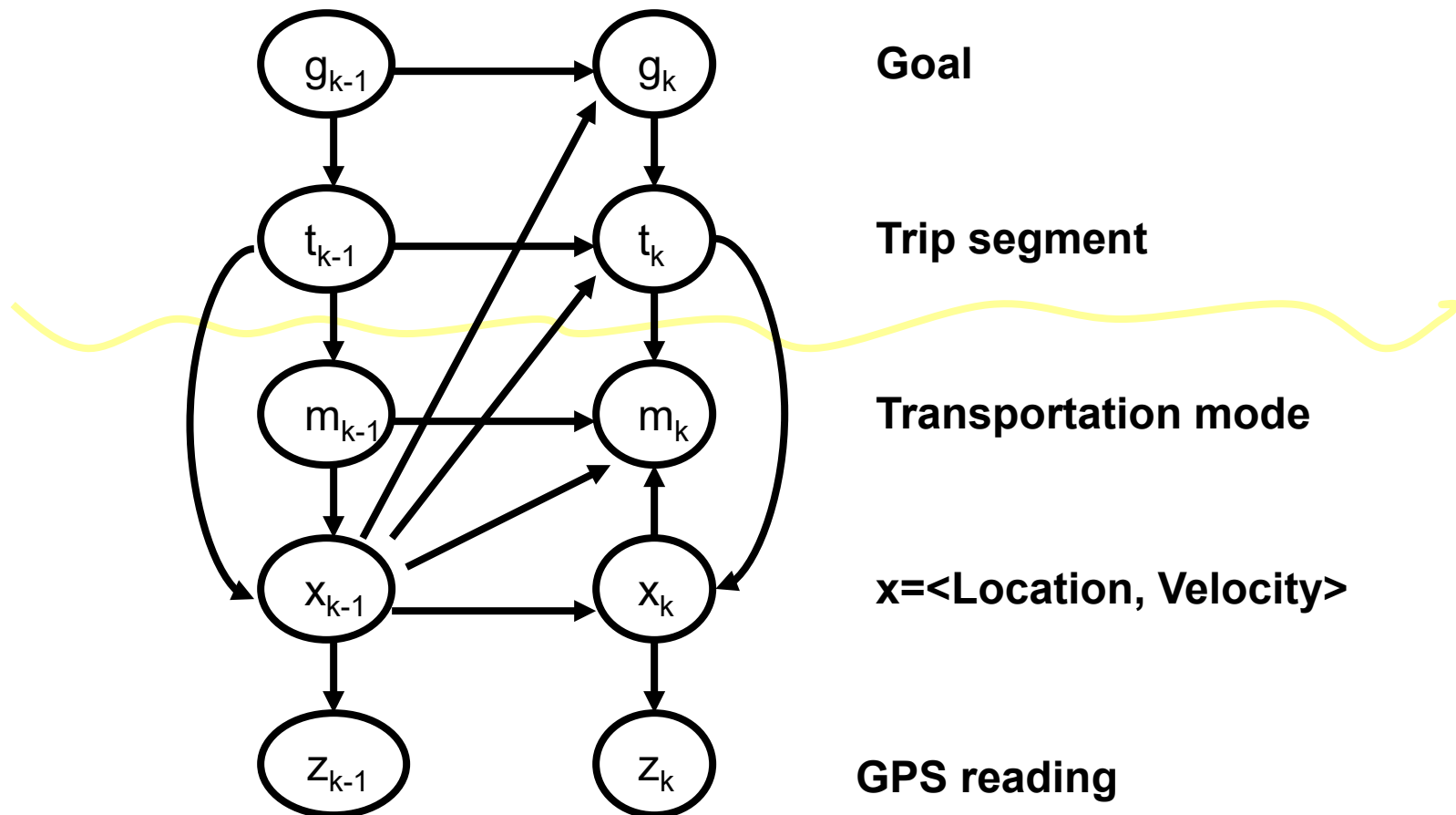
Kautz et al.



Reconnaissance de plan par réseaux bayésiens dynamiques

<http://www.cs.rochester.edu/u/kautz/talks/converging-technology-kautz-v3.ppt>

Kautz et al.



Reconnaissance de plans par une logique Markovienne (*Markov logic*)

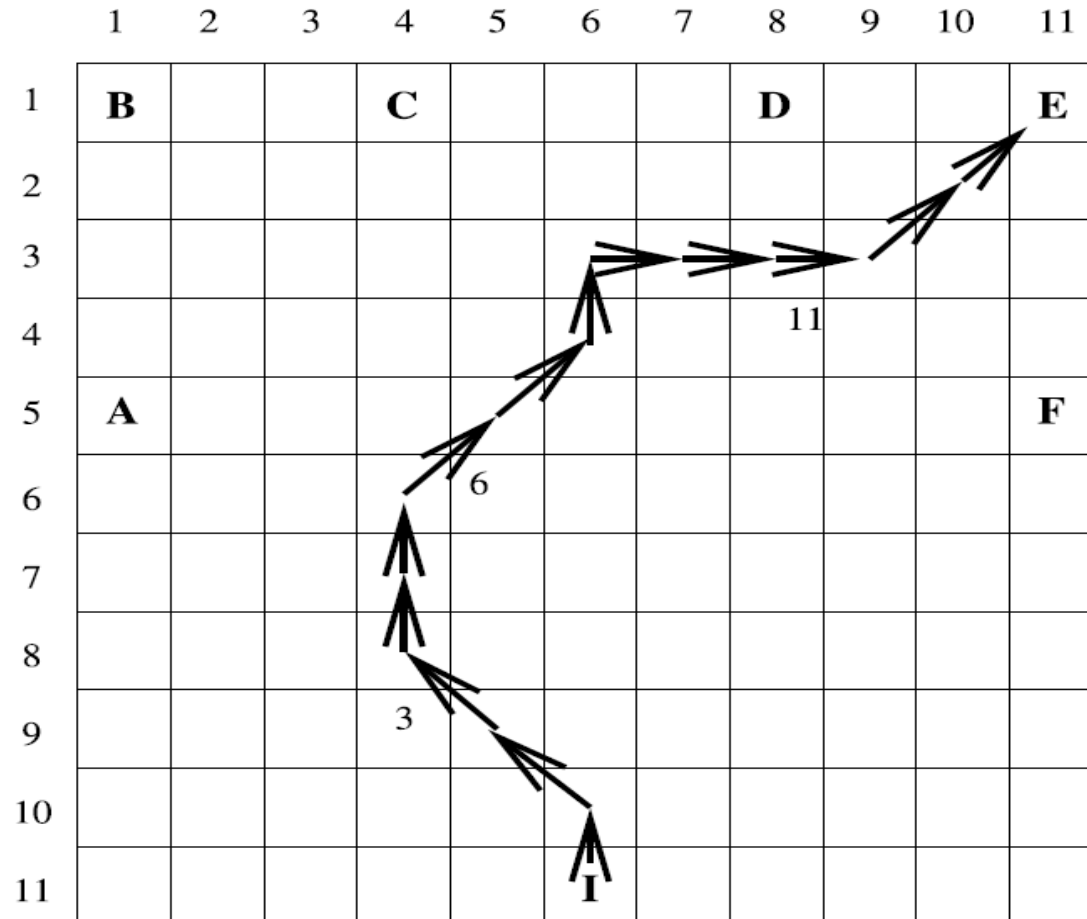
- A. Sadilek and H. Kautz, Location-Based Reasoning about Complex Multi-Agent Behavior, *Journal of Artificial Intelligence Research* 43 (2012) 87-133.

- *Application* : jeu de capture du drapeau
- *Markov Logic*
 - Mariage de la logique du premier ordre avec les probabilités.
 - Assigne des poids à des formules de logique du premier ordre
 - Interprétation probabiliste
- Approche:
 - Utiliser la logique markovienne pour spécifier les règles du jeu
 - Utiliser l'inférence de la logique markovienne pour prédire les buts des joueurs étant donné les observations

APPROCHE PAR INVERSION DE LA PLANIFICATION

Approche en inversant la planification

M. Ramirez and H. Geffner. Probabilistic Plan Recognition Using Off-the-Shelf Classical Planners. AAAI 2010.



Approche en inversant la planification

- M. Ramirez and H. Geffner. *Probabilistic Plan Recognition Using Off-the-Shelf Classical Planners*. AAAI 2010.

- Par définition
$$P(G \mid O) = \alpha P(O \mid G)P(G)$$

- En supposant le principe de rationalité (un agent aura tendance à suivre les plans optimaux), on peut établir que

$$P(O \mid G) = \alpha e^{-\beta \times (c(G, O) - c(G, \bar{O}))}$$

- $c(G, O)$ est le coût du meilleur plan respectant avec les observations
- $c(G, \bar{O})$ est le coût du plan optimal peu importe les observations
- Chacun de ces coûts est calculé en lançant un planificateur classique

Approches plus récentes

- Masters, P., and Sardina, S. Cost-based goal recognition for path-planning. In *AAMAS*, 750–758, 2017.
 - Exploite les spécificité du domaine de navigation sur une carte pour précalculer les coûts.
 - Choix possible parmi les articles à critique (IFT 702).
- Freedman, R. G., & Zilberstein, S. (2017). Integration of planning with recognition for responsive interaction using classical planners. In *AAAI*, pp. 4581–4588, 2017.
 - Intégration de la planification et la reconnaissance de plan
 - Très théorique

Approches plus récentes

- Perira et al. Landmark-Based Heuristics for Goal Recognition. In *AAAI*, 750–758, 2017.
- Levin, S.J. and Williams, B.C. Watching and Acting Together: Concurrent Plan Recognition and Adaptation for Human-Robot Teams. In *JAIR* 63(2018) 281-359
- Vered et al. Towards Online Goal Recognition Combining Goal Mirroring and Landmarks, AAMAS, 2018.
- Singh et al. Combining Planning with Gaze for Online Human Intention Recognition. AAMAS, 2018.

APPROCHE PAR ANALYSE GRAMMATICALE PROBABILISTE

Framing the Problem as Plan-Library Based Plan Recognition

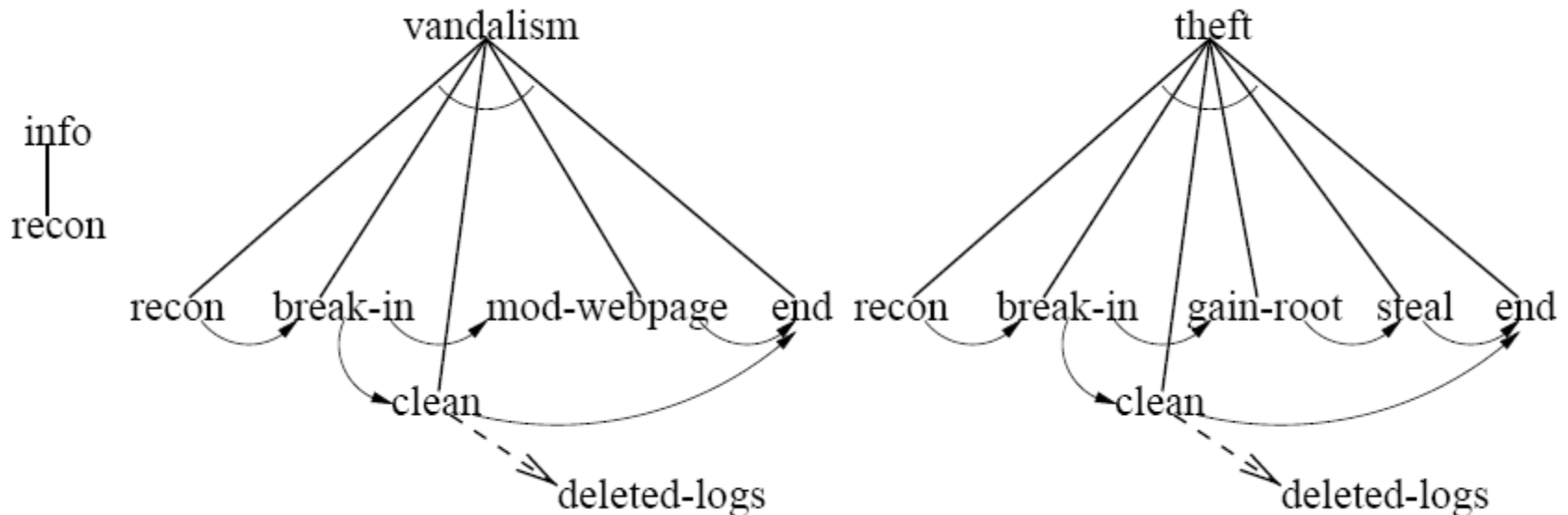
- Assumptions
 - The observed agent is a goal-directed agent which plans actions and then execute them
 - The observing agent has a library of the potential plans the observed agent might execute

Plan Library Representation

- The plan library is represented as an HTN or, equivalently, as a partially-ordered multiset context free grammar
- Along with a probabilistic model

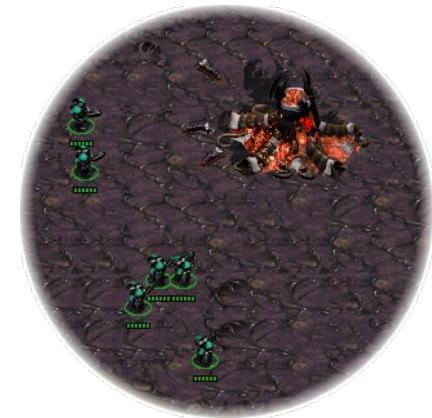
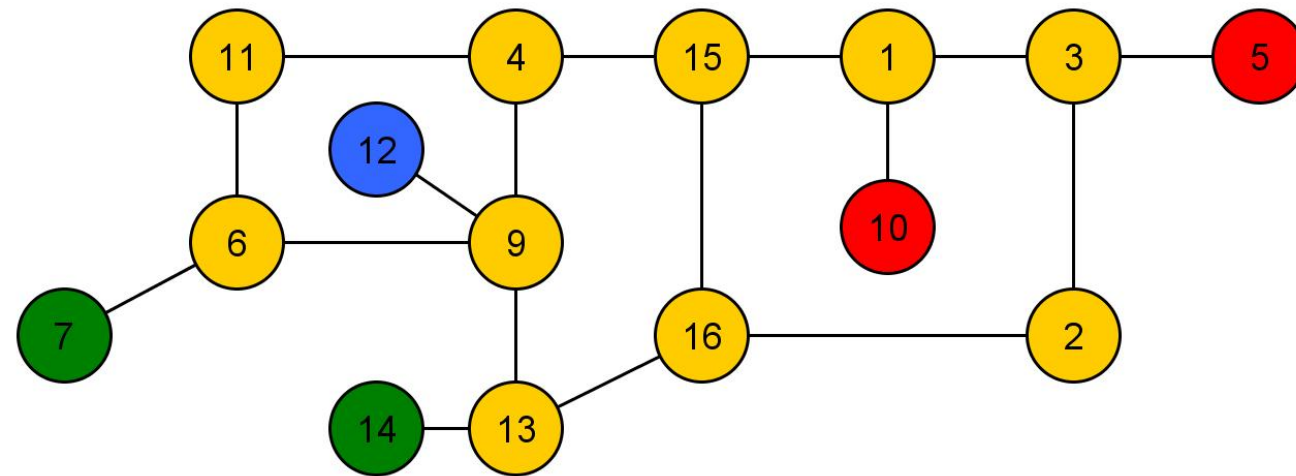
Reconnaissance de plans par analyse (*parsing*) des grammaires

- C. Geib and R. Goldman. [A probabilistic plan recognition algorithm based on plan tree grammars](#). *Artif. Intell.* 173(11): 1101-1132 (2009)

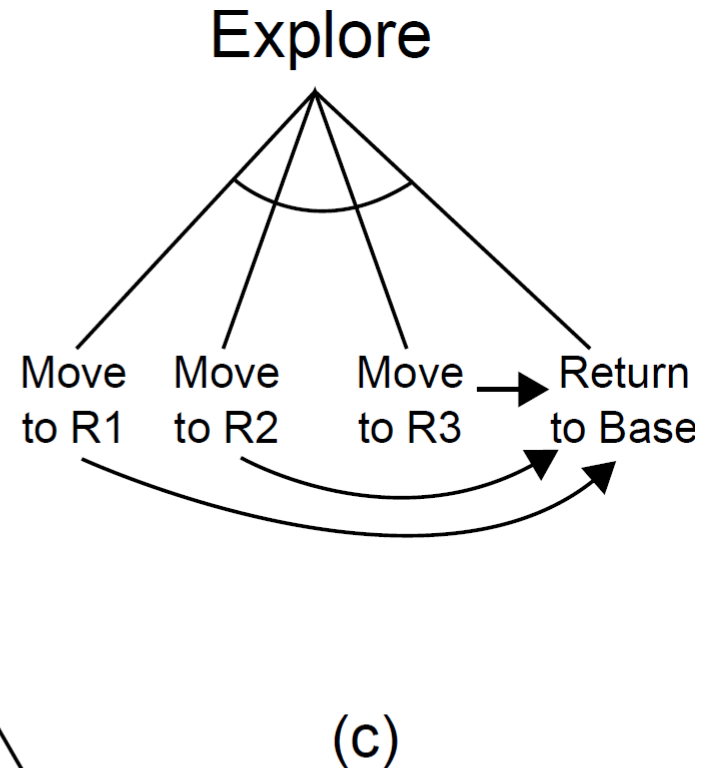
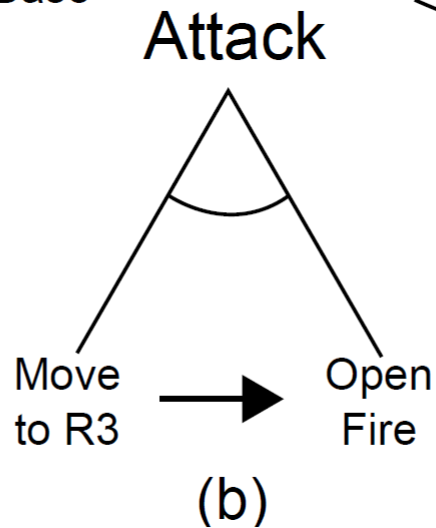
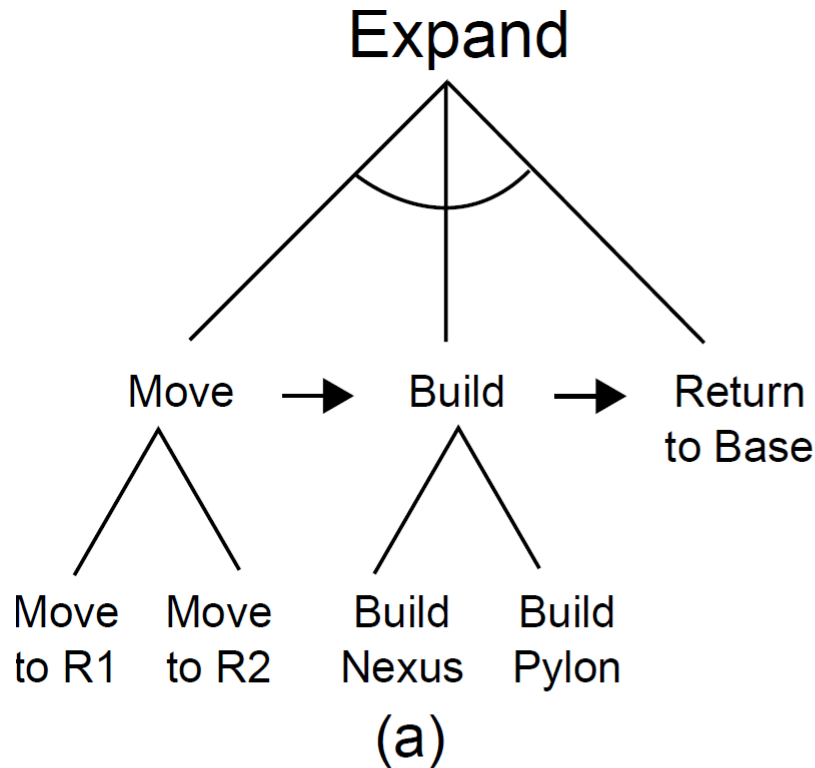


StarCraft Example

□ Connectivity of the map

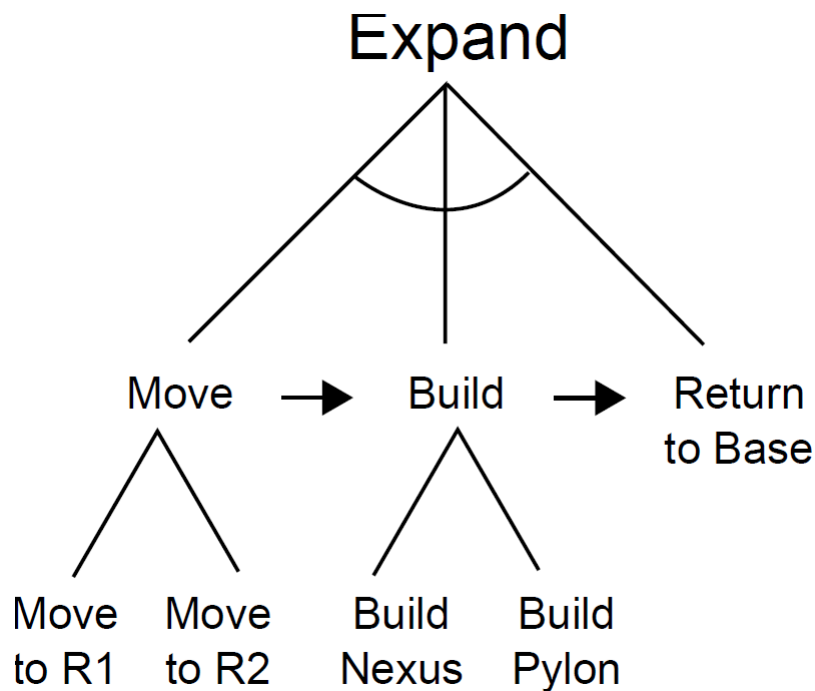


Plan Library Example



HTN and Pomset CFG

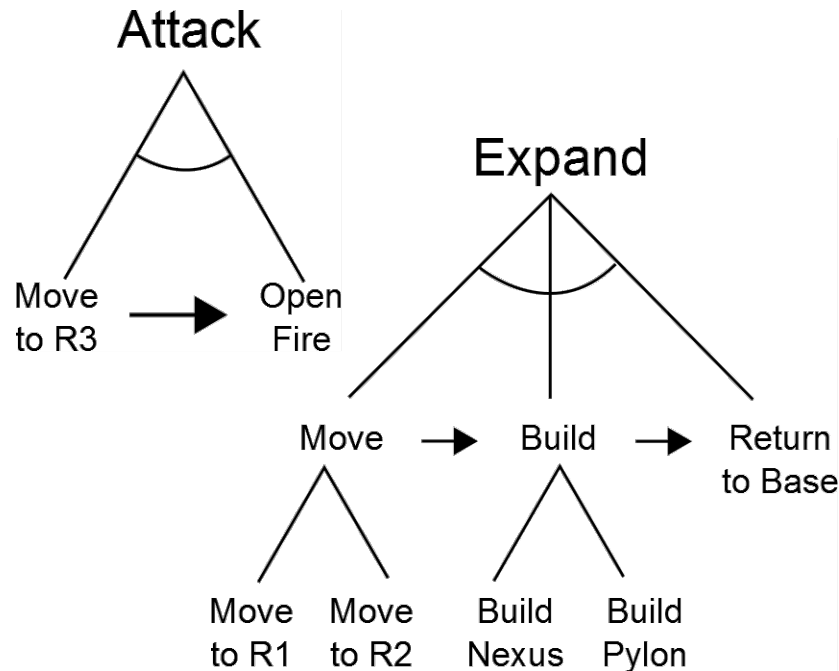
- An HTN can be seen as a partially-ordered multiset (pomset) context free grammar (CFG)



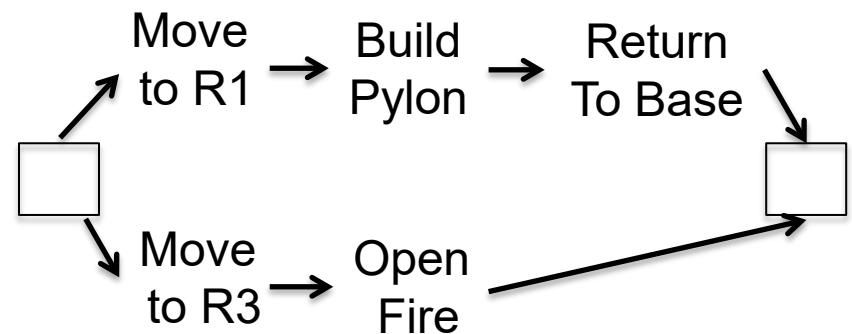
- Expand \rightarrow Move, Build, ReturnToBase
 $\{ (Move, Build), (Build, ReturnToBase) \}$
- Build \rightarrow BuildNexus, BuildPylon
 $\{ \}$
- Move \rightarrow MoveToR1, MoveToR2
 $\{ \}$

A Plan from the Plan Library

- A plan is a partially ordered set of actions derived from the plan library



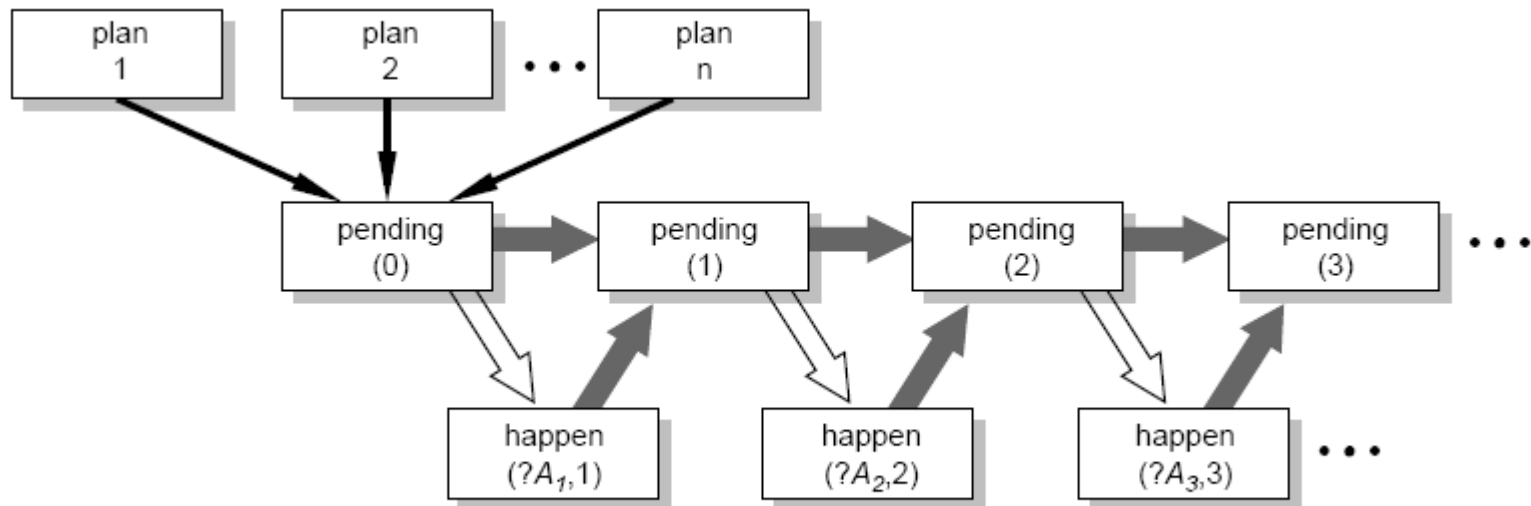
Part of the Plan Library



Partially-Ordered Plan for goal
“Expand and Attack”

Idée de l'algorithme YAPPR

- C. Geib and R. Goldman. A probabilistic plan recognition algorithm based on plan tree grammars. *Artif. Intell.* 173(11): 1101-1132 (2009)

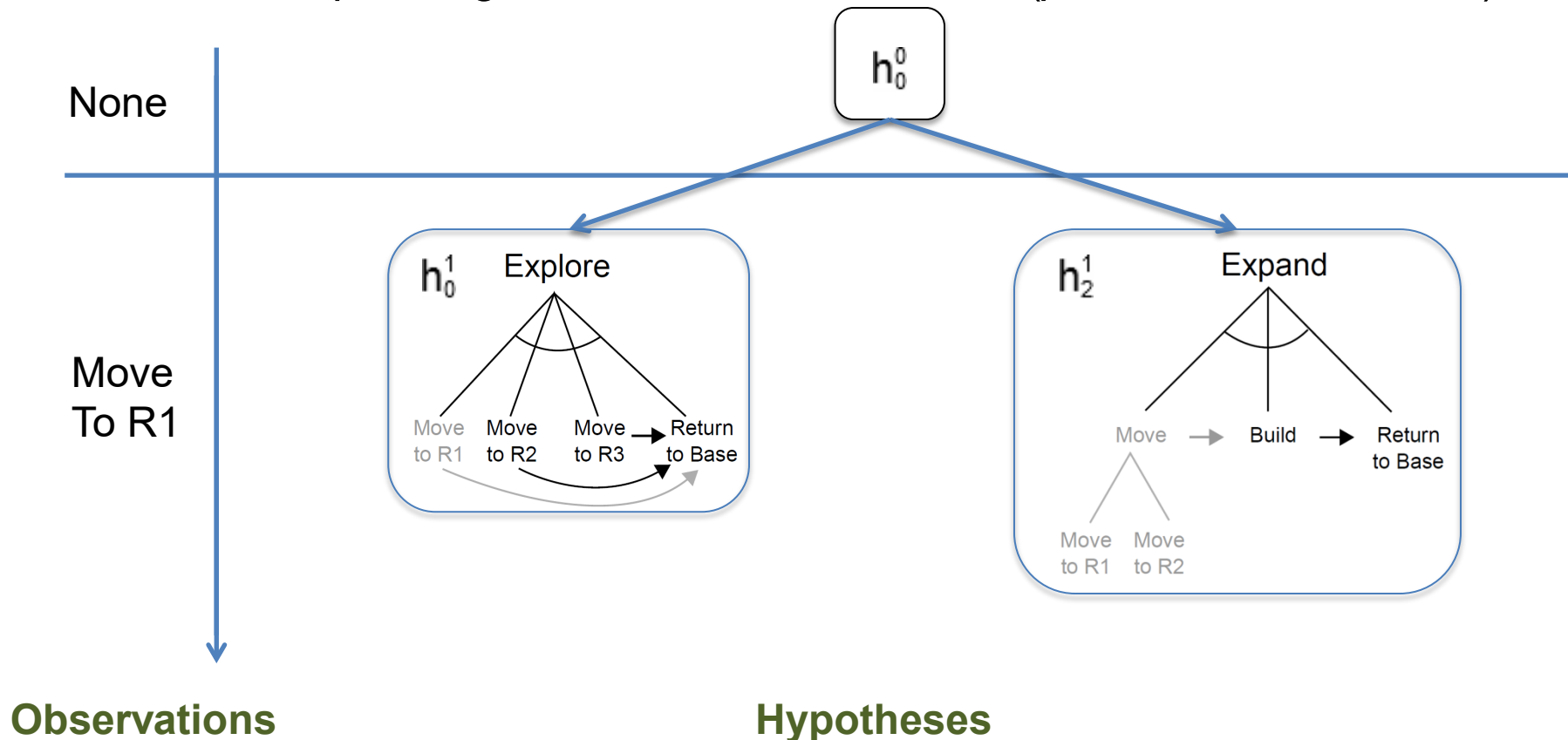


C970570-01

- YAPPR : Yet Another Probablistic Plan Recognizer.

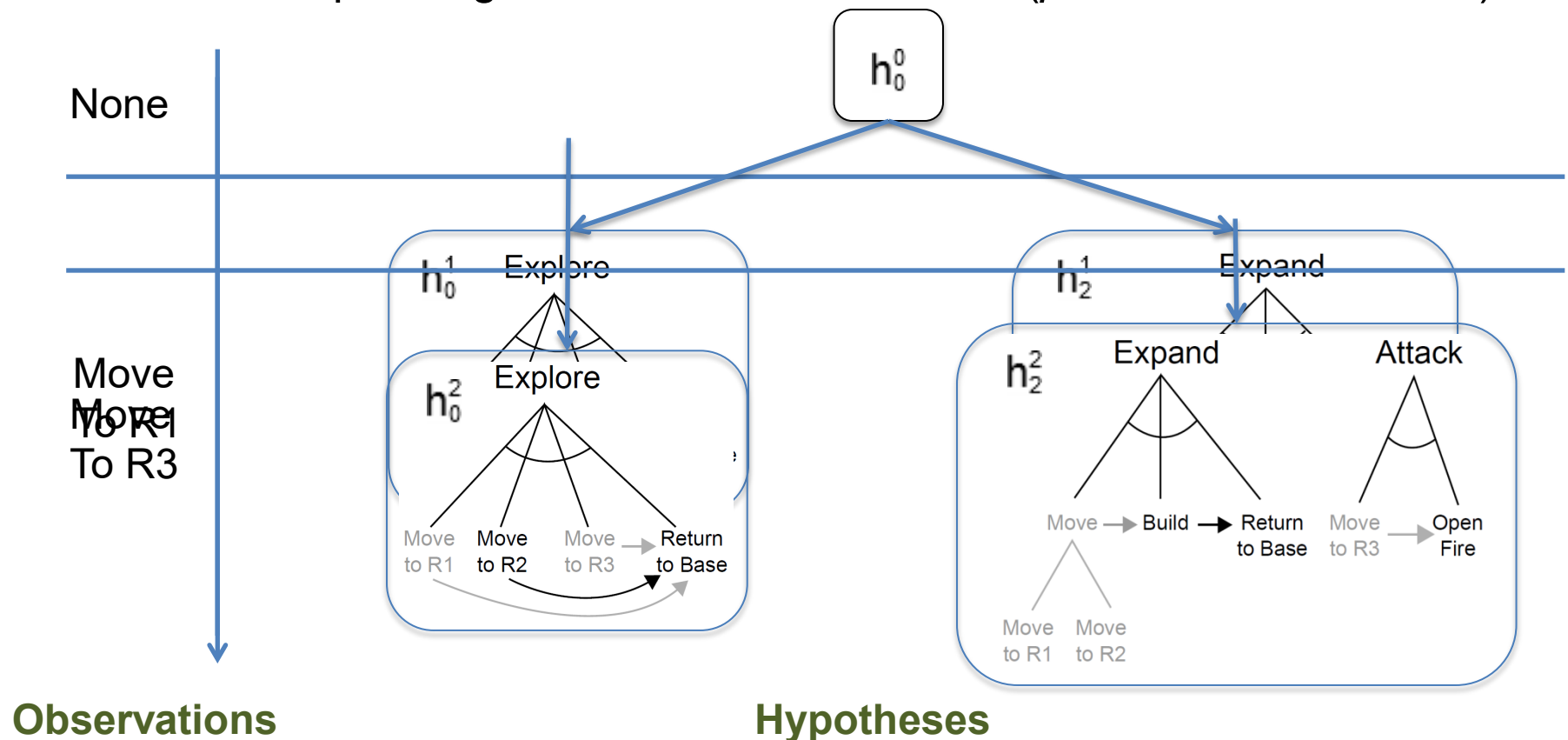
Derivation Forests as Plan Execution Hypotheses

- An explanation (*plan execution hypothesis*) for a sequence of actions is a corresponding minimal derivation forest (*plan execution model*).



Derivation Forests as Plan Execution Hypotheses

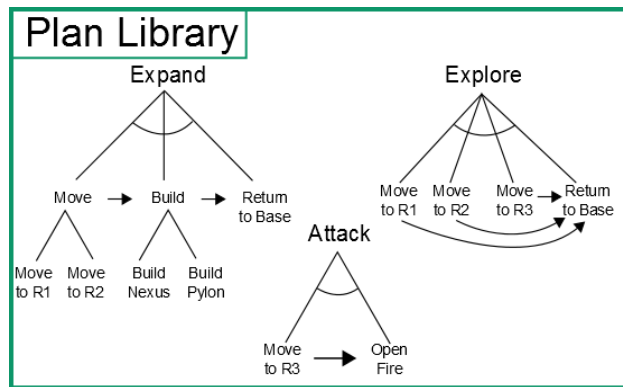
- An explanation (*plan execution hypothesis*) for a sequence of actions is a corresponding minimal derivation forest (*plan execution model*).



Model Counting Approach to Plan Recognition

(Geib & Goldman, AIJ 2009)

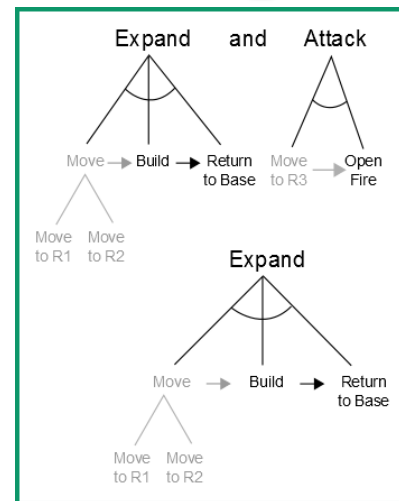
Combinatorial Explosion



+



Input



Generate the
Hypotheses Tree

$$P(g \mid \sigma) = \frac{\sum_{h|g \in \text{roots}(h)} P(h \wedge \sigma)}{\sum_h P(h \wedge \sigma)}$$

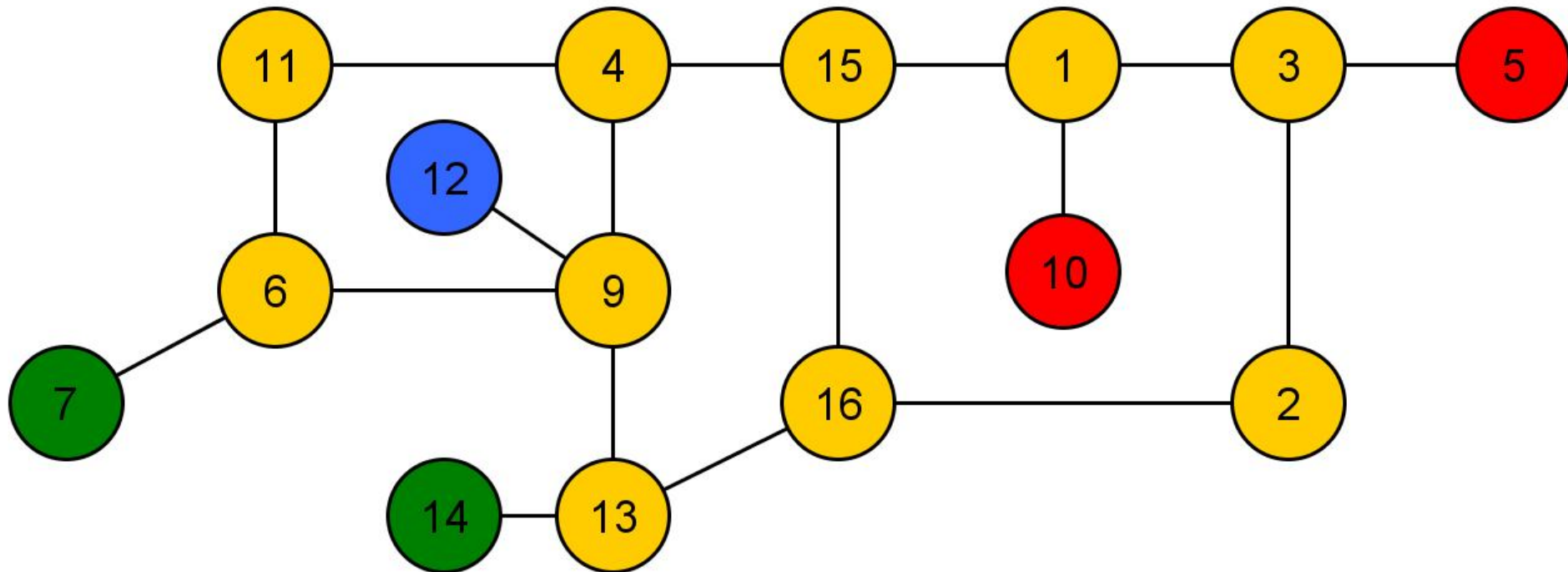
Weighted Model
Counting

Goal	Probability
Expand	0.21
Explore	0.84
Attack	0.27

Goal Probability
Distribution

Experiments with StarCraft Game

- Connectivity of the map we used in experiments



Reconnaissance de plan dans StarCraft



Approches plus récentes

- Holtzen et al. Inferring Human Intent from Video by Sampling Hierarchical Plans. IROS 2016
 - Concepts reliés:
 - » Reconnaissance de plan avec des connaissances stratégiques à priori
 - » Reconnaissance de plan par planification inversée
 - » Motion planning (RRT)
- Mirsky et al. Sequential Plan Recognition. In *IJCAI*, 401-407, 2016.
 - Réduction du nombre d'hypothèses en posant des questions
- Bisson et al. Using a Recursive Neural Network to Learn an Agent's Decision Model for Plan Recognition. IJCAI 2013.

Résumé

- La reconnaissance de plan vise à inférer les plans, les buts, les intentions d'autres agents à partir d'observations.
- Problème fondamental pour l'interaction humain-machine, la compréhension de la situation, la coopération multi-agent
- Problème plus compliqué que la planification.
- Résolu en réduisant le problème à des algorithmes/théories d'inférences utilisées pour d'autres problèmes.
 - Apprentissage automatique
 - Inférence probabiliste
 - Inversion de la planification
 - Etc.