



*Escola Politécnica da USP - Depto. de Enga. Mecatrônica*

# PMR-3510 Inteligência Artificial

## Aula 12- AI Planning

*Prof. José Reinaldo Silva*

*[reinaldo@usp.br](mailto:reinaldo@usp.br)*







Robô Valkyrie mede 1,8 metro e pesa 125 quilos. (Foto: Nasa)

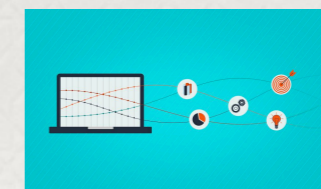
*métodos de busca clássica e informada*

*Resolução de problemas com IA*

Existem duas maneiras de resolver problemas usando IA: uma é algorítmica, usando busca (clássica ou informada); a outra é usando inferência lógica.

*programação lógica*

*métodos de inferência*

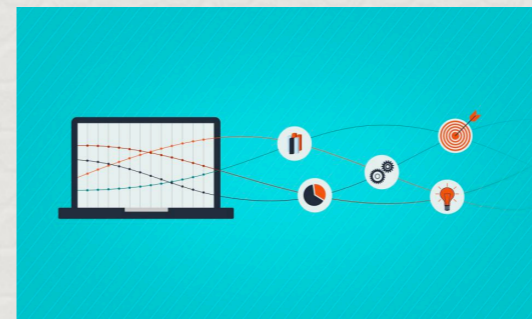






## *Resolução de problemas com IA*

Existem duas maneiras de resolver problemas usando IA: uma é algorítmica, usando busca (clássica ou informada); a outra é usando inferência lógica.







## Inference

$KB \vdash_i \alpha$  = sentence  $\alpha$  can be derived from  $KB$  by procedure  $i$

Consequences of  $KB$  are a haystack;  $\alpha$  is a needle.

Entailment = needle in haystack; inference = finding it

Soundness:  $i$  is sound if

whenever  $KB \vdash_i \alpha$ , it is also true that  $KB \models \alpha$

Completeness:  $i$  is complete if

whenever  $KB \models \alpha$ , it is also true that  $KB \vdash_i \alpha$

Preview: we will define a logic (first-order logic) which is expressive enough to say almost anything of interest, and for which there exists a sound and complete inference procedure.

That is, the procedure will answer any question whose answer follows from what is known by the  $KB$ .





## *Tipos de problema resolvidos por IA*

Podemos classificar os problemas aos quais aplicamos (com sucesso IA em:

- i) completamente reativos
- ii) interativos (jogos, sistemas especialistas, apoio a decisão)
- iii) preditivos (planning, scheduling, etc.)
- iv) evolutivos (aprendizado de máquina)





Intelligent Fire Alarm: forward chaining with multiple actions:

1. If smoky is detected go to alarm\_mode\_1
2. If in alarm\_mode\_1 then {check(temp1), wait(10), check(temp2) and if temp2 > temp1 go to alarm\_mode\_2}
3. If in alarm\_mode\_2 then if visual\_detect(flames) go to alarm\_mode\_3
4. If in alarm\_mode\_3 then {turn\_on(sprinklers), close(elevators), close(cutting\_fire\_doors), sound\_alerts, call(fire\_force)}.

Stuart Russell, Univ. of California - Berkeley, autor do livro texto.





2	8	3
1	6	4
7		5

$g(0) = 0 + 4$



1	2	3
8		4
7	6	5

estado final

*O estado final será o mesmo que usamos na aula passada no exemplo de resolução da busca baseada no algoritmo Best-first.*





## *Tipos de problema resolvidos por IA*

Podemos classificar os problemas aos quais aplicamos (com sucesso IA em:

- ✓ i) completamente reativos
- ✓ ii) interativos (jogos, sistemas especialistas, apoio a decisão)
- iii) preditivos (planning, scheduling, etc.)
- iv) evolutivos (aprendizado de máquina)





## *Histórico dos problemas de planejamento*

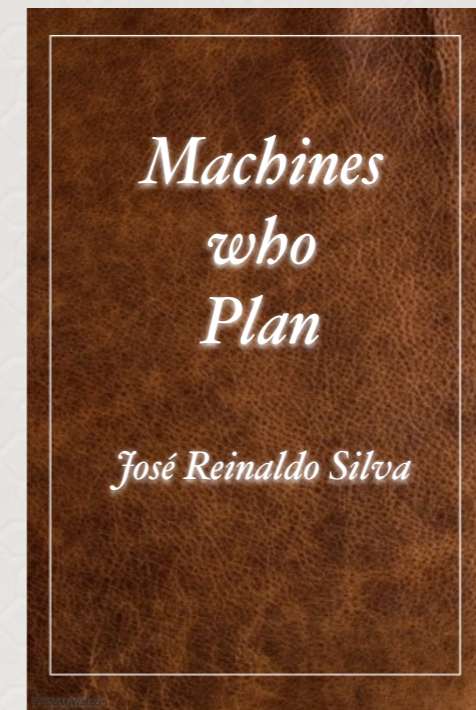
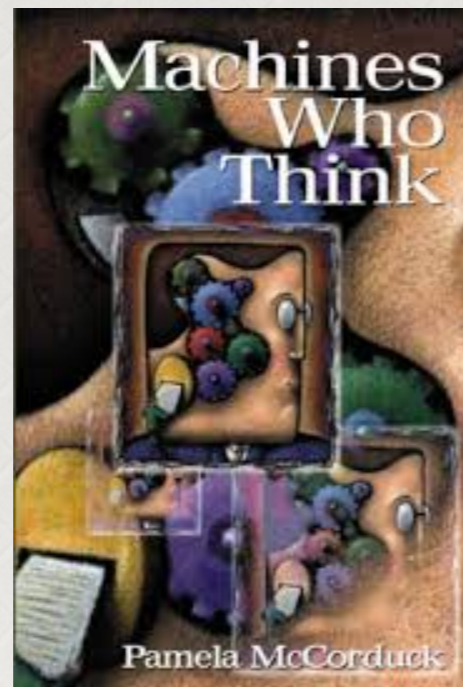
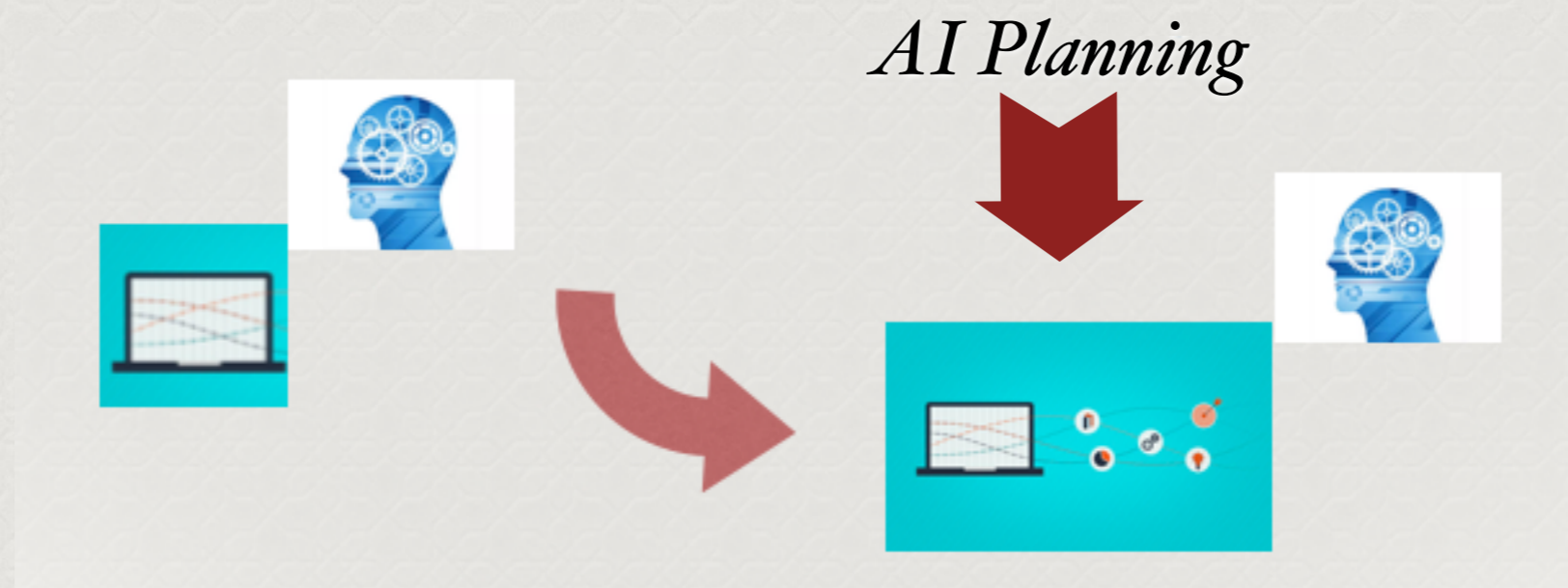


Sun Tzu, A Arte da Guerra  
2.500 AC

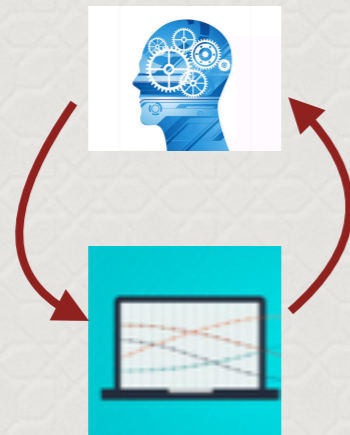
O general que vence uma batalha faz muitos cálculos e planos antes que a batalha comece.







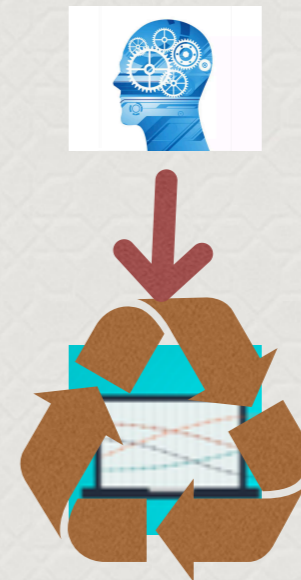




Completamente reativo



Interativo



Preditivo





Chamaremos de “planejamento clássico”, ao processo em que, dado o estado inicial, o estado objetivo (ou final) e um conjunto determinístico de ações, determina uma sequência destas ações que começa no estado inicial e termina no estado final.







## *Teoria e Prática em Planejamento*

O planejamento é uma prática que provavelmente acompanha o desenvolvimento humano e portanto tem um apelo prático bem forte.

- i) a atividade de planejamento é praticada propondo-se um plano inicial que é então verificado, refinado até atingir o estágio de um plano implementável;
- ii) eventualmente, este plano tem restrições de tempo e uma duração específica além de recursos que podem não estar disponíveis a qualquer momento;
- iii) no caso de do planejamento inteligente, feito com base em inteligência artificial a proposta é fazer com que a máquina sintetize um plano a partir de informações diretas (o domínio do problema) e do ambiente onde será aplicado.





## *Domain Specific Planning (DSP)*

*X*

## *Domain Independent Planning (DIP)*

In DSP the idea is to use specific properties of the problem domain, besides the problem definition, to synthesize a plan.

In DIP the goal is to find out generic ways to deal with the problem definition, no matter which is the problem being solved.





## *Base conceitual pra o problema de planning (I)*

Um “sistema de planejamento” é composto de um problema de planejamento (estado inicial, estado final, e conjunto de ações), da descrição do ambiente onde o plano deverá ser realizado.





## *Base conceitual pra o problema de planning (II)*

Um “sistema de planejamento” é portanto um sistema dinâmico. Uma sub-classe destes sistema são os sistemas discretos que podem ser descritos formalmente como sistemas estado-transição (ou sistemas de eventos discretos)





## *Base conceitual para o problema de planning (III)*

Um sistema estado-transição é uma 4-upla  $\Sigma = (S, A, E, \gamma)$  onde:

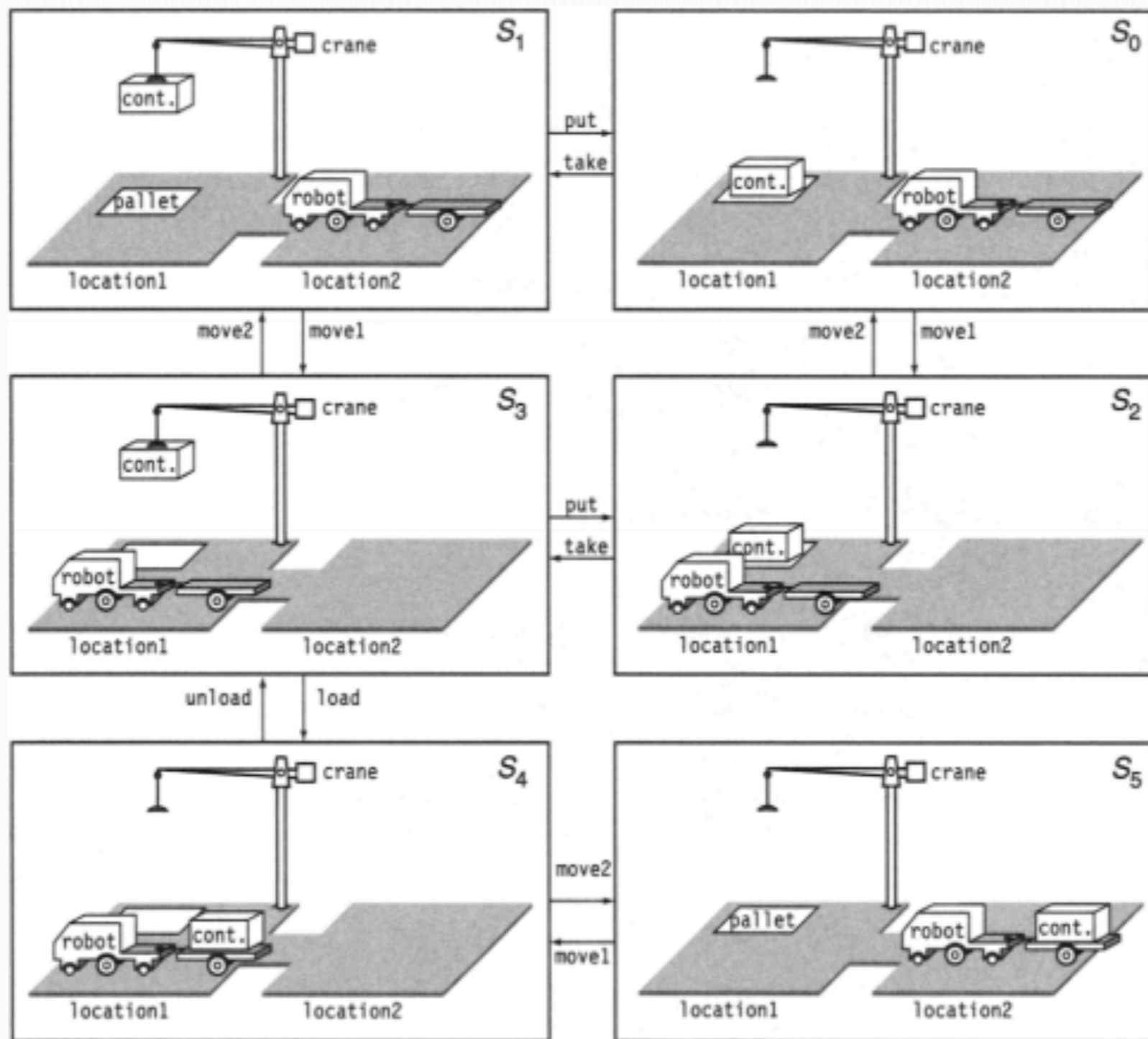
- $S$  é um conjunto de finito (ou recursivamente enumerável) de estados;
- $A$  é um conjunto finito (ou recursivamente enumerável) de ações;
- $E$  é um conjunto finito (ou recursivamente enumerável) de eventos;
- $\gamma = (S \times A \times E) \rightarrow 2^S$  é a função de transição.

Ghallab, M., Nau, D., Traverso, P.; Automated Planning: Theory and Practice, Morgan Kaufmann, 2004





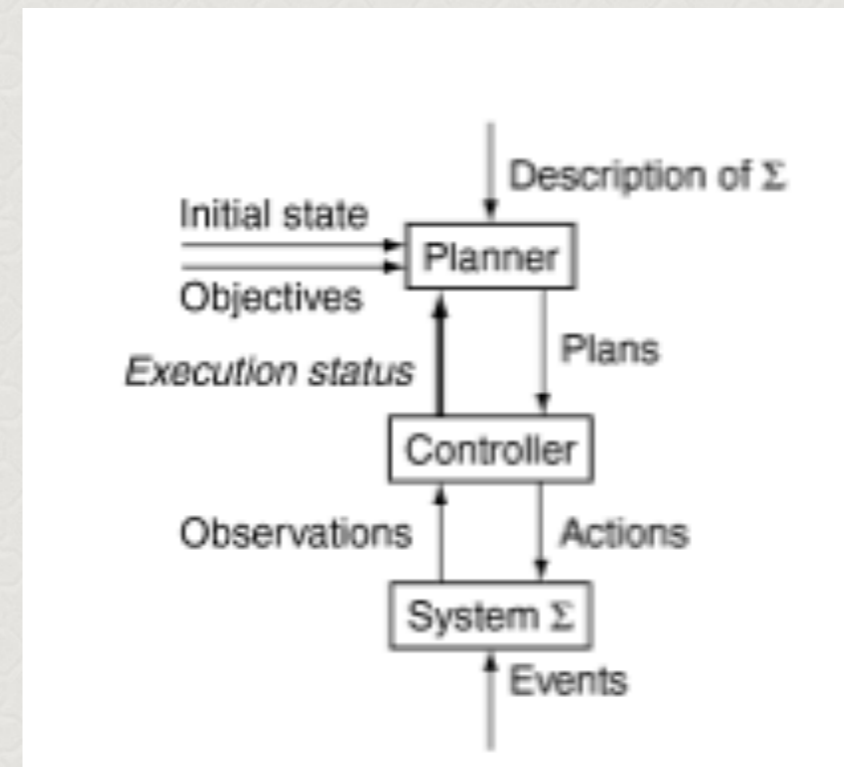
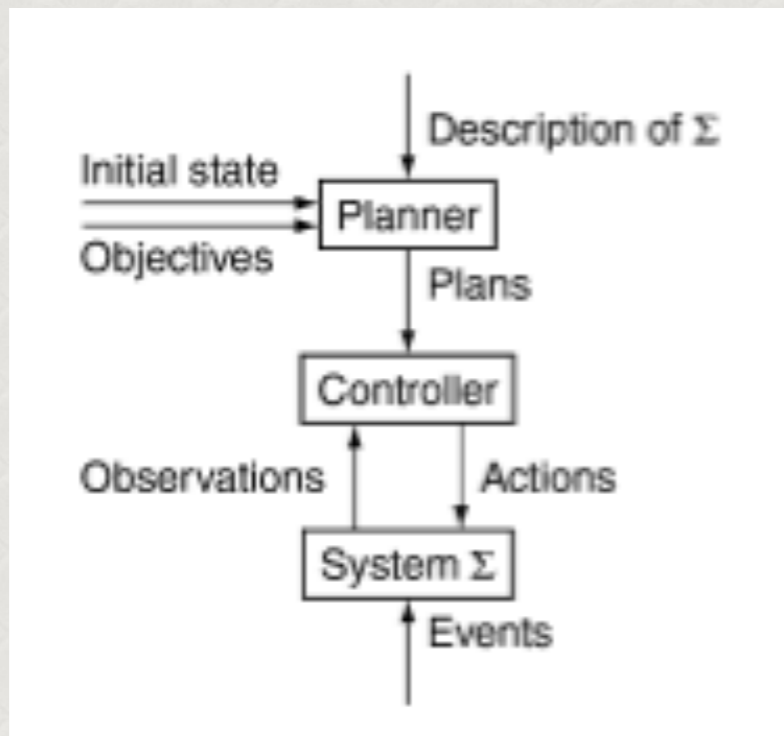
Ghallab, M., Nau, D., Traverso, P.; Automated Planning:  
Theory and Practice, Morgan Kaufmann, 2004







## *A new automation perspective*



Ghallab, M., Nau, D., Traverso, P.; Automated Planning: Theory and Practice, Morgan Kaufmann, 2004





Proceedings of the 17th World Congress  
The International Federation of Automatic Control  
Seoul, Korea, July 6-11, 2008



## Are Automated Planners up to Solve Real Problems?

Fernando Moreira Sette\*, Tiago Stegun Vaquero\*, Song Won Park\*\*, Jose Reinaldo Silva\*

*\*DesignLab, Mechatronic and Mechanical Systems Department  
Escola Politécnica – University of Sao Paulo, Brazil.*

*(e-mail: {fernando.sette, tiago.vaquero}@poli.usp.br, reinaldo@usp.br)*

*\*\*Chemical Engineering Department. University of Sao Paulo. Brazil.  
(e-mail: sonwpark@usp.br)*

---

**Abstract:** It is a well known fact that the AI planning community is very committed to apply the developments already achieved in this area to real complex applications. However realistic planning problems bring great challenges not only for the designers during design processes but also for the automated planners during the planning process itself. In addition, it is quite common to face issues about whether the available planners will be up to solve the problem being modeled during the initial design stages. In this paper we present the experience, results and issues that emerged from testing the performance of the recent planners when solving a real and complex problem such as the planning of daily activities of a petroleum plant for docking, storing and distributing oil. Due to the complexity of this real planning problem, the KE tool itSIMPLE was used in order to support all the design processes such as specification, modeling and domain model analysis that resulted in a PDDL model, automatically generated by the tool, which was used as input for planners. In addition, we present the main modeling process performed for the domain model construction.

---

### 1. INTRODUCTION

The recent efficiency improvement, the rising demand for planning systems and the development of Knowledge Engineering (KE) tools (making it practical to model complex and real domains) have become a great motivation to try to apply all achievements already conquered by the Artificial Intelligence Planning community in real life applications. However, in addition to the challenges involved

Therefore, given the relevance of fluid transportation problems in modern industry (approximately 25% of all load transported in the US occurs through pipelines (Más and Pinto, 2003) and the complexities involved in this problem, the evaluation of the performance of current available automated planning techniques and tools when dealing with such a domain is a very good way to measure the applicability of planning to real world problems.





**Deadlines / UTC-12**

Abstracts due	16 Nov 2018
Papers due	21 Nov 2018
Conference	11-15 Jul 2019

[More Dates](#)

**Call for Papers**

- Main Track
- Novel Applications Track
- Robotics Track
- Planning and Learning Track

**Venue Details / More details coming soon!**

*Conference Location* Berkeley, CA USA

Berkeley is a city on the east shore of San Francisco Bay in northern Alameda County, California. Berkeley is home to the oldest campus in the University of California system, the University of California, Berkeley, and the Lawrence Berkeley National Laboratory, which is managed and operated by the University. Berkeley is one of the most politically liberal cities in

**ICAPS in Action / [Contribute]**

**Collaborative Environments**

**Visualizations for an Explainable Agent for Collaborative Planning in a Smart Environment** [\[link\]](#)  
Tathagata Chakraborti, Kshitij P. Fadnis, Kartik Talamadupula, Mishal Dholakia, Biplav Srivastava, Jeffrey O. Kephart and Rehal K. S. Bellamy





*voltando ao problema...*

*Domain Specific Planning (DSP)*

*X*



*Domain Independent Planning (DIP)*

*... e buscar um algoritmo viável par o DIP*





## *STRIPS: Stanford Research Institute Problem Solver*

Em 1971, Richard Fikes e Nils Nilsson, propuseram um algoritmo geral para resolução de problemas em IA que ficou conhecido como STRIPS, em uma alusão ao SRI, onde a pesquisa foi realizada. Mais tarde STRIPS passou a significar também uma linguagem para tratar problemas de planejamento. Foi substituída por outras mas todas inspiradas no algoritmo e na linguagem original.





Vamos resgatar o conceito de localidade e condição de disparo de uma transição em um sistema discreto:

“Uma transição está habilitada para disparar se as pré-condições forem satisfeitas e após a ocorrência desta transição as pré-condições deixam de ser satisfeitas e as pós-condições passam a ser satisfeitas”.





“Uma transição está habilitada para disparar se as pré-condições forem satisfeitas e após a ocorrência desta transição as pré-condições deixam de ser satisfeitas e as pós-condições passam a ser satisfeitas”.

Precisamos portanto garantir por inferência que a ação  $a$  pode ser deduzida da base de conhecimento corrente,  $BD \models a$  e também inferir como se modifica esta base de conhecimento após a ocorrência da ação.



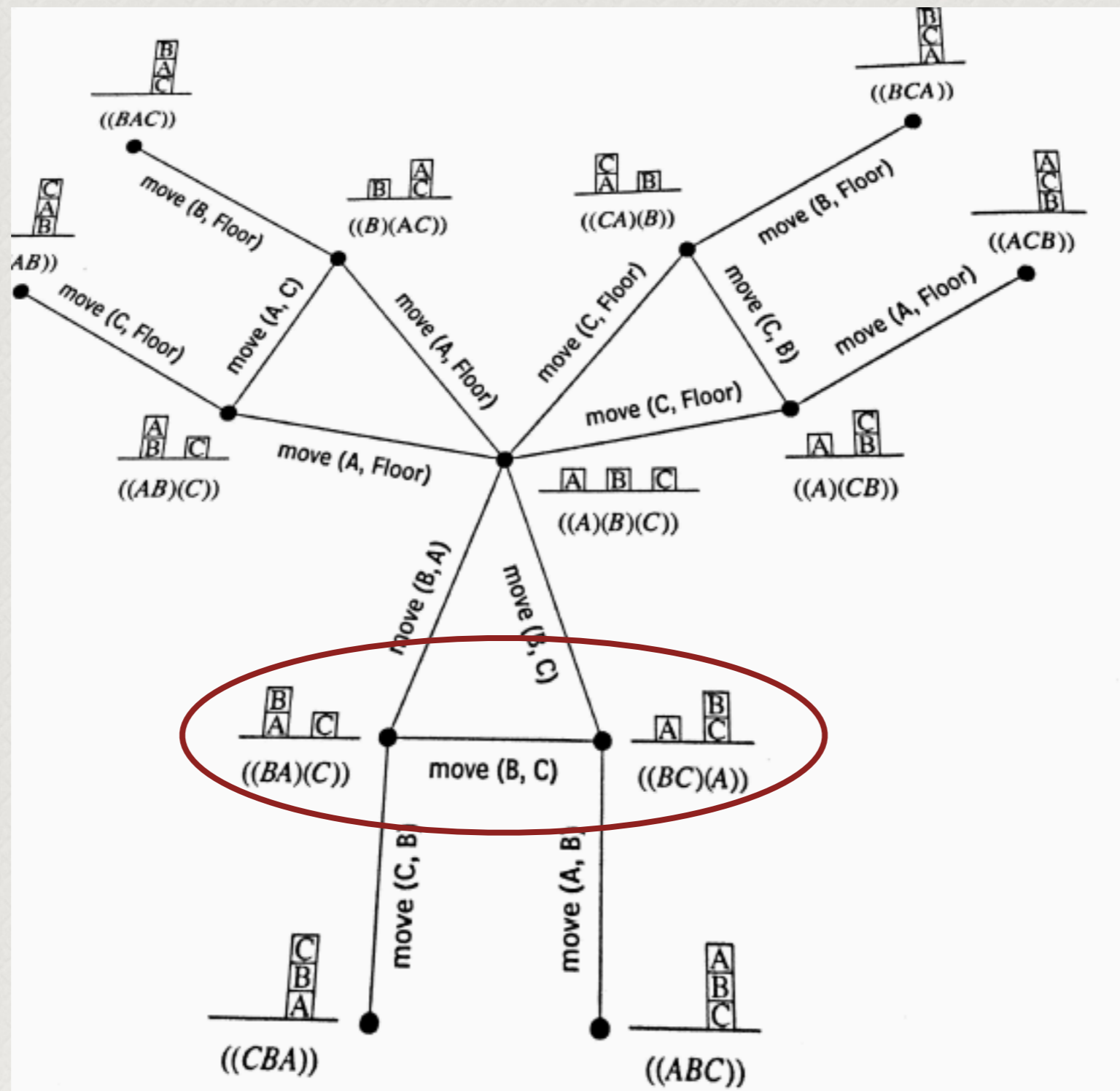


Uma forma simples de fazer isso é se as pré-condições de *a* pertencerem à base. Uma vez que *a* ocorra suas pré-condições de podem ser retiradas da base e as pós-condições podem ser acrescentadas, mudando a base, como se esperaria de um sistema dinâmico.

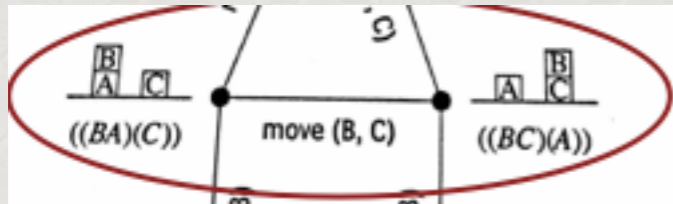




Nilsson, N., Artificial Intelligence: a new synthesis, Morgan Kaufmann, 1998.







on(b, a), on(a, table)  
on(c, table), free(c),  
free(b)



move(b,c)

on(b, c), on(a, table)  
on(c, table), free(a),  
free(b)

free(b), free(c)  
on(b, X)

remove[free(b), free(c)]  
add[free(b), free(a), on(b, c)]





on(b, a), on(a, table)  
on(c, table), free(c),  
free(b)



move(b,c)

on(b, c), on(a, table)  
on(c, table), free(a),  
free(b)

free(b), free(c)  
on(b, X)

remove[free(b), free(c), on(b, X)]  
add[free(b), free(a), on(b, c)]

A lista das sentenças relacionadas às pré-condições passa a ser uma lista de remoção de predicados, enquanto a lista das sentenças relacionadas às pós-condições é acrescentada à base.





Portanto, o planejamento clássico na abordagem do STRIPS consiste em uma “prova de teorema” que se inicia no estado inicial e infere a(s) ação(ões) admissíveis por inferência e atualiza a base de conhecimento removendo as pré-condições e acrescentando as pós-condições até chegar no estado final.





Na aula que vem discutiremos os aspectos práticos dos sistemas de planejamento, as dificuldades de implementação e a demanda para a resolução de problemas reais usando planning.





Conservando as mesmas equipes vocês precisam postar no site da disciplina a proposta do segundo trabalho: cada equipe deve escolher uma aplicação prática de mercado usando IA (ou que pelo menos diz que usa IA) e investigar que algoritmo esta aplicação usa - com cuidado para se ater à IA clássica.





*Até a próxima aula!*