

Professora Inês Dutra

# Tópicos Avançados em Inteligência Artificial

Segundo Relatório: Codificar o Planeamento Clássico *Lifted* na  
Lógica Proposicional

Outubro de 2022

Trabalho realizado por:

Pedro Leite - 201906697

# 1. Questões Gerais

## 1.1. Qual é o tema do projeto?

Este projeto, desenvolvido por Daniel Holder e Gregor Behnke, tem como objetivo reduzir o custo do *grounding* em modelos de planeamento, através do planeamento baseado em representações *lifted*. A avaliação demonstra que este método pode competir com algoritmos *heuristic search-based*.

## 1.2. Como é que funciona diferente dos outros mencionados?

A codificação tem muito em comum com planeamento *plane-space*, onde os sistemas mantêm uma ordem parcial do conjunto de ações, o *partial plan*, durante a pesquisa. Mas as técnicas que resolvem são completamente diferentes. É utilizada a tradução em vez de pesquisa, não há ligações casuais e compromete-se com um plano totalmente ordenado.

## 1.3. Os autores apresentam experiências?

O algoritmo foi integrado na *search-based powerlifted system*, vai-se chamar *LiSAT*. Também foi criado e avaliado uma versão utilizando solução incremental. Experiências:

		Lifted Systems						
		LiSAT (time slices)			Powerlifted		Unary Relaxation	
		Kissat (n.i.)	CMS (i.)	CMS (n.i.)	Add+po	GC	GC, ur-d	GC, ur
Blocksworld	40	<b>100.0</b> (40)	<b>100.0</b> (40)	<b>100.0</b> (40)	10.0 (4)	2.5 (1)	15.0 (6)	15.0 (6)
Childsnack	144	<b>100.0</b> (144)	<b>100.0</b> (144)	<b>100.0</b> (144)	45.8 (66)	16.0 (23)	60.4 (87)	41.7 (60)
GED	312	36.5 (114)	24.4 (76)	33.7 (105)	79.8 (249)	<b>100.0</b> (312)	<b>100.0</b> (312)	<b>100.0</b> (312)
Logistics	40	<b>100.0</b> (40)	97.5 (39)	<b>100.0</b> (40)	<b>100.0</b> (40)	47.5 (19)	0.0 (0)	0.0 (0)
Organic synt.	56	<b>92.9</b> (52)	<b>92.9</b> (52)	<b>92.9</b> (52)	83.9 (47)	82.1 (46)	80.4 (45)	80.4 (45)
Pipesworld	50	42.0 (21)	38.0 (19)	40.0 (20)	<b>50.0</b> (25)	44.0 (22)	22.0 (11)	24.0 (12)
Rovers	40	10.0 (4)	7.5 (3)	10.0 (3)	<b>77.5</b> (31)	2.5 (1)	37.5 (15)	32.5 (13)
Visitall MD	180	<b>98.3</b> (177)	92.8 (167)	94.4 (170)	78.9 (142)	35.6 (64)	81.7 (147)	55.6 (100)
	862	<b>579.7</b> (592)	553.0 (540)	568.5 (574)	526.0 (604)	330.2 (488)	396.9 (623)	349.1 (548)

		Grounded Systems			
		Fast Downward		MpC	
		Add	FF	inv.	no inv.
Blocksworld	40	20.0 (8)	20.0 (8)	10.0 (4)	0.0 (0)
Childsnack	144	41.0 (59)	72.2 (104)	45.8 (66)	45.8 (66)
GED	312	82.4 (257)	<b>100.0</b> (312)	37.2 (116)	16.7 (52)
Logistics	40	10.0 (4)	10.0 (4)	0.0 (0)	0.0 (0)
Organic synt.	56	32.1 (18)	32.1 (18)	0.0 (0)	0.0 (0)
Pipesworld	50	28.0 (14)	28.0 (14)	20.0 (10)	18.0 (9)
Rovers	40	10.0 (4)	10.0 (4)	0.0 (0)	0.0 (0)
Visitall MD	180	40.0 (72)	40.0 (72)	6.7 (12)	25.6 (46)
	862	263.5 (436)	312.4 (536)	119.7 (208)	106.1 (173)

Table 1: Coverage results for satisficing planning. LiSAT configurations marked “n.i.” use non-incremental SAT solving, those marked “i.” use incremental solving. MpC configurations marked “no inv.” do not use MpC’s invariant analysis in preprocessing.

		Lifted Systems				
		LiSAT (optimal)			Powerlifted	
		Kissat (n.i.)	CMS (i.)	CMS (n.i.)	BFS	A* Max
Blocksworld	40	<b>100.0</b> (40)	<b>100.0</b> (40)	<b>100.0</b> (40)	0.0 (0)	0.0 (0)
Childsnack	144	<b>51.4</b> (74)	33.3 (48)	33.3 (48)	2.1 (3)	0.7 (1)
GED	312	<b>21.8</b> (68)	17.3 (54)	19.2 (60)	13.1 (41)	13.8 (43)
Logistics	40	<b>75.0</b> (30)	<b>75.0</b> (30)	67.5 (27)	12.5 (5)	5.0 (2)
Organic synt.	56	<b>100.0</b> (56)	98.2 (55)	98.2 (55)	76.8 (43)	76.8 (43)
Pipesworld	50	<b>40.0</b> (20)	34.0 (17)	<b>40.0</b> (20)	22.0 (11)	14.0 (7)
Rovers	40	<b>10.0</b> (4)	<b>10.0</b> (4)	7.5 (3)	0.0 (0)	2.5 (1)
Visittall MD	180	<b>57.2</b> (103)	56.1 (101)	55.6 (100)	18.3 (33)	37.2 (67)
	862	<b>455.4</b> (395)	424.0 (349)	421.3 (353)	144.8 (136)	150.0 (164)

		Grounded Systems			
		Fast Downward		MPC	
		A* Max	A* LM-Cut	opt. (inv.)	opt. (no inv.)
Blocksworld	40	2.5 (1)	20.0 (8)	10.0 (4)	12.5 (5)
Childsnack	144	3.5 (5)	5.6 (8)	0.7 (1)	0.0 (0)
GED	312	15.4 (48)	16.0 (50)	14.1 (44)	12.8 (40)
Logistics	40	2.5 (1)	10.0 (4)	0.0 (0)	0.0 (0)
Organic synt.	56	30.4 (17)	30.4 (17)	0.0 (0)	0.0 (0)
Pipesworld	50	16.0 (8)	16.0 (8)	14.0 (7)	12.0 (6)
Rovers	40	2.5 (1)	5.0 (2)	0.0 (0)	0.0 (0)
Visittall MD	180	38.9 (70)	33.3 (60)	5.0 (9)	14.4 (26)
	862	111.6 (151)	136.3 (157)	43.8 (65)	51.8 (77)

Table 2: Coverage results for length-optimal planning. The abbreviations have the same meaning as in Table 1.

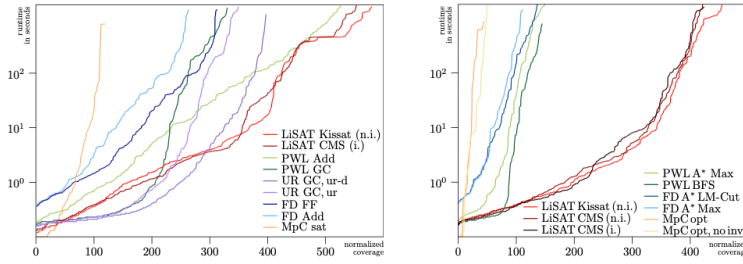


Figure 4: Normalized coverage against runtime (be aware the log scale) for the satisfying (left) and the optimal setting (right).

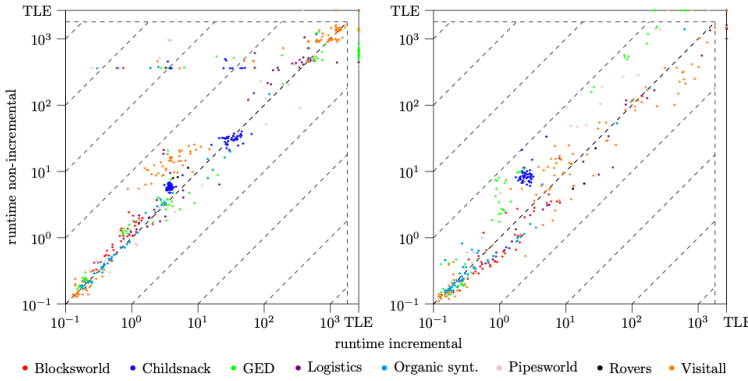


Figure 5: Ablation study on the runtime of CMS (be aware the log scale) for the satisfying (left) and the optimal setting (right). Each dot represents the runtime needed to solve an instance using incremental (x axis) and non-incremental (y axis) solving.

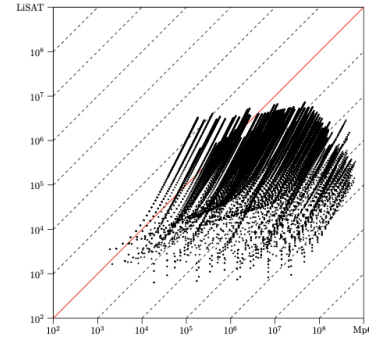


Figure 6: Comparison of formula sizes. Each dot represents the number of clauses generated by MPC (x axis) and LiSAT (y axis) for a certain instance and plan length bound.

## 1.4. Qual é a metodologia utilizada?

O projeto apresenta um esquema de codificação *lifted classical planning* num plano sem estado, inspirado por abordagens de *plan space planning*. A tradução para lógica proposicional, para explorar a performance dos solucionadores modernos do SAT.

## 1.5. Parece correto?

Enquanto a codificação é quadrática em comprimento de plano no pior caso, a estratégia apresenta diminui o tamanho no planeamento de satisfações, que demonstra ser muito efetivo em prática.

## **1.6. Quais são os principais resultados/conclusões? São úteis/importantes?**

A codificação é quadrática em comprimento de plano. Foi apresentada uma estratégia para reduzir o tamanho, ao limitar a distância do consumidor, o que demonstra ser muito efetivo na prática. Numa questão de conjuntos de *benchmark* dedicado a avaliar sistemas de planeamento *lifted*, as técnicas utilizadas alcançam cobertura normalizada mais alta do que os sistemas predominantes baseados em *heuristic search based systems*. Numa configuração de comprimento ideal, alcançamos três vezes a cobertura normalizada desses sistemas, incluindo, por exemplo, uma cobertura de 100% no domínio de síntese orgânica.

## **2. Questões Técnicas**

### **2.1. Qual é a diferença entre as representações *lifted* e *ground*?**

Modelos de planeamento são usualmente definidos de uma maneira *lifted*, numa linguagem de primeira ordem. O modelo *lifted* é então transformado por um processo chamado *grounding*, o que sistematicamente substitui variáveis por todas constantes. Para fazer com que isto seja possível, modelos usualmente incorporam sistemas de escrita e de *grounding* para aplicar técnicas para excluir parte de modelos para os quais eles podem mostrar que não podem estar contidos tem nenhuma solução.

### **2.2. O que é um solucionador SAT?**

Um solucionador SAT tem como objetivo resolver o problema de satisfabilidade booleana. Ao inserir uma fórmula, o solucionador SAT mostra se a fórmula é satisfazível, o que significa que existem valores possíveis para as variáveis que tornam a formula verdadeira, ou não.

### **2.3. Qual é o papel da função $\rho$ ?**

A função  $\rho$ , mapeia a ação *ground*  $A(o_1, \dots, o_n) \in A$  e um conjunto  $P' = \{P(i_1, \dots, i_m) \mid P \in P, i_j \in \{1, \dots, n\}\}$  ao conjunto  $\{P(o_{i_1}, \dots, o_{i_m}) \mid P(i_1, \dots, i_m) \in P'\}$ .

## 2.4. Qual é o significado da definição 4?

A definição 4, define o conceito de *achiever*, um *achiever* para um átomo  $P(o_0, o_1, \dots, o_m)$  é um plano  $\pi = (a_1, \dots, a_L)$  é: I se e apenas se detém  $P(o_0, o_1, \dots, o_m) \in I$  ou uma ação  $a \in \pi$  com  $P(o_0, o_1, \dots, o_m) \in \rho(a, \text{add}(a))$ . Defini-mos o termo *postition* do *achiever*, a sequência de ações como 0, ou a posição da ação numa sequência. Nós sabemos o efeito que detém depois de executar o *achiever*. Mas pode ser apagado por outra ação, essa ação chama-se *destroyer*.

## 3. Outras Questões

### 3.1. Qual é a vantagem de planeamento na Inteligência Artificial?

O planeamento na Inteligência Artificial, é importante para a automação, já que requer planeamento automatizado eficiente.