

# Arquitectura da Máquina Virtual NDimProA para Raciocínio Espacial

**Jorge Pais**  
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa  
Instituto de Sistemas e Robótica  
Lisboa, Portugal  
[jpais@deetc.isel.ipl.pt](mailto:jpais@deetc.isel.ipl.pt)

e

**Carlos Pinto-Ferreira**  
Instituto de Sistemas e Robótica  
Instituto Superior Técnico  
[cpf@isr.ist.utl.pt](mailto:cpf@isr.ist.utl.pt)

**Palavras chave:** Raciocínio Espacial, Raciocínio Pictórico, Representação Espacial, Representação Pictórica, Espaços Euclidianos, Técnicas de Computação.

## Resumo

Neste artigo, descreve-se a máquina virtual NDimProA (*N-Dimensional Projective Architecture*) como uma arquitectura hierárquica e modular. O seu mecanismo de processamento entrelaça a técnica de retrocesso espacial com as restrições de movimento no espaço introduzidas pelas propriedades físicas das entidades. Também é mostrado como é que um agente pode aumentar as suas actividades cognitivas em termos de flexibilidade (ex. encontrar soluções alternativas), de fiabilidade (ex. recuperação de erros) e performance temporal utilizando esta arquitectura.

## 1 Introdução

Considerando o trabalho de investigação desenvolvido na área de raciocínio espacial, alguns trabalhos relevantes acerca de espaços unidimensionais [1] e de espaços bidimensionais [2] foram concretizados. Mas, com respeito a espaços tridimensionais [3] ou a espaços de maior dimensão muito pouco trabalho tem sido desenvolvido. Na área de raciocínio espacial qualitativo tem-se desenvolvido trabalho independentemente da dimensão do espaço [4], mas a eficiência e a performance diminuem exponencialmente com o número de entidades no domínio. Mesmo com esta característica crítica, algumas técnicas de raciocínio têm sido desenvolvidas para minimizá-la de modo a aumentar a eficiência do processo de raciocínio.

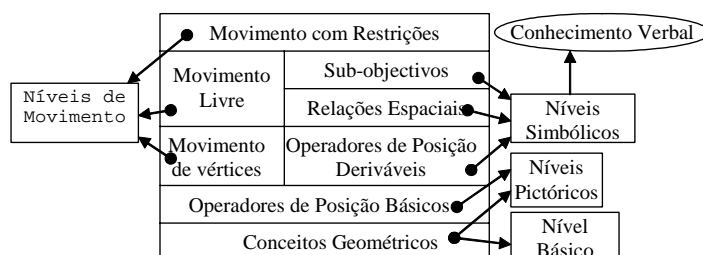
A arquitectura apresentada neste artigo baseia-se numa representação projectiva multidimensional. Esta representação projectiva é suportada por conceitos geométricos básicos que devido à sua simplicidade conduzem a um mecanismo de processamento eficiente num espaço Euclidiano com restrições ao movimento.

A estrutura do restante artigo é a seguinte: a secção 2 descreve os vários níveis que compõem a arquitectura da máquina virtual NDimProA; a secção 3 providencia uma explicação de, como o entrelaçamento entre as múltiplas

propriedades físicas das entidades no espaço e a técnica de retrocesso espacial pode ser desenhado; exemplos de aplicação são mostrados na secção 4; e finalmente, na secção 5 descreve-se as conclusões.

## 2 A Arquitectura da Máquina Virtual NDimProA

A máquina virtual NDimProA resulta da implementação de uma arquitectura hierárquica e modular, ilustrada na figura 1, onde os níveis mais baixos definem a representação projectiva espacial baseados em conceitos geométricos simples e os níveis mais elevados estabelecem o mecanismo de raciocínio espacial da arquitectura.



**Figura 1. A arquitectura projectiva n-dimensional.**

### 2.1 Conceitos Geométricos

O nível fundamental da representação projectiva n-dimensional é baseado em dois tipos de conceitos: topológicos - nos quais se incluem a região que é a menor zona do espaço que engloba uma entidade cujos lados são paralelos aos eixos; e, geométricos - onde se incluem os eixos projectivos, os vértices projectivos da região e os vértices projectivos dos eixos [6]. A representação de um domínio inclui tantas regiões quantas as entidades existentes no espaço do mundo real. Um espaço de dimensão N é definido por N eixos projectivos ortogonais entre si e que contêm um ponto comum que se designa por origem. Cada eixo projectivo inclui um conjunto de vértices do eixo projectivos, os quais existem sempre que incluem um conjunto não vazio de vértices de região projectivos.

### 2.2 Operadores de Posição Básicos

Estes operadores definem o modelo mínimo através do qual se conseguem relacionar os vértices de região projectivos e que é constituído pelos operadores  $\{<, =\}$ . Por exemplo, considere dois vértices de região projectivos designados por V e U, é dito que  $V < U$  se e só se V estiver mais perto da origem do eixo projectivo do que U. É dito que  $V = U$  se os dois vértices pertencerem ao mesmo vértice do eixo projectivo.

### 2.3 Operadores de Posição Deriváveis

O primeiro nível simbólico da arquitectura é definido por estes operadores {Esquerda, Coincidente, Direita}. Estes operadores são responsáveis pela introdução de semântica na arquitectura e são definidos a partir dos operadores de posição básicos do seguinte modo:

$$Esquerda(v) = \varphi \Leftrightarrow \forall u \in \varphi : u < v$$

$$Direita(v) = \delta \Leftrightarrow \forall u \in \delta : v < u$$

$$Coincidente(v) = \gamma \Leftrightarrow \forall u \in \gamma : u = v$$

## 2.4 Relações Espaciais

Este nível inclui o conjunto de relações espaciais {ForaEsquerda, ForaDireita, ForaEsquerdaCoincidente, ForaDireitaCoincidente, CompletamenteCoincidente, CompletamenteDentro, DentroEsquerdaCoincidente, DentroDireitaCoincidente, SobrepostoEsquerda, SobrepostoDireita} que se aplicam a uma região e que se definem à custa dos operadores de posição deriváveis[5]. Um dos mais importantes propósitos deste nível é traduzir as definições verbais para conceitos projectivos geométricos simples e vice-versa.

## 2.5 Sub-Objectivos

Este nível produz sub-objectivos atingíveis desde o corrente cenário respeitando as restrições de movimento no espaço. Estas limitações no movimento são impostas pelas propriedades físicas das entidades no domínio. Um robô pode fazer a aquisição de conhecimento utilizando os seus sensores, p.e. reflexões fortes no sinal dos sonares pode significar uma entidade impenetrável, a detecção de uma alta temperatura pode indicar a presença de uma entidade intocável. Ou, pode integrar conhecimento, p.e. a cor branca pode significar uma parede impenetrável, cor vermelha pode significar um fogo intocável. Este nível providencia uma geração em tempo-real de sub-objectivos baseados num método chamado por MGS (método de geração de sub-objectivos). O método MGS classifica cada eixo projectivo utilizando três parâmetros, o cenário corrente, a transição entre os cenários corrente e final e o cenário final. Esta avaliação é feita ao nível do eixo projectivo e para cada propriedade física. O valor N representa uma não-violação da propriedade física enquanto o valor V representa uma violação de uma propriedade física em termos da topologia representada sobre um eixo projectivo. Os algoritmos para detecção de violação de uma dada propriedade física de um objecto estão definidos em [6].

A tabela 1 define os sub-objectivos a considerar pelo sistema função da avaliação dos três factores anteriormente referidos.

Cenário Corrente	Transição entre os cenários Corrente e Objectivo	Cenário Objectivo	Cenário sub-objectivo para um eixo projectivo
N	N	N	Objectivo
N	N	V	Impossível
N	V	N	Objectivo ou Corrente
N	V	V	Objectivo ou Corrente
V	N	N	Objectivo
V	N	V	Permutações de Corrente
V	V	N	Objectivo
V	V	V	Permutações de Corrente

**Tabela 1: O método para geração de objectivos para um eixo projectivo.**

## 2.6 Movimento dos Vértices

Ao longo de cada eixo projectivo só dois operadores de movimento se aplicam sobre um vértice de região projectivo {MoverVérticeDireita, MoverVerticeEsquerda} e o que permitem respectivamente é mover um vértice de região projectivo do vértice de eixo projectivo onde se encontra para o vértice de eixo projectivo imediatamente à direita ou à esquerda.

## 2.7 Movimento Livre

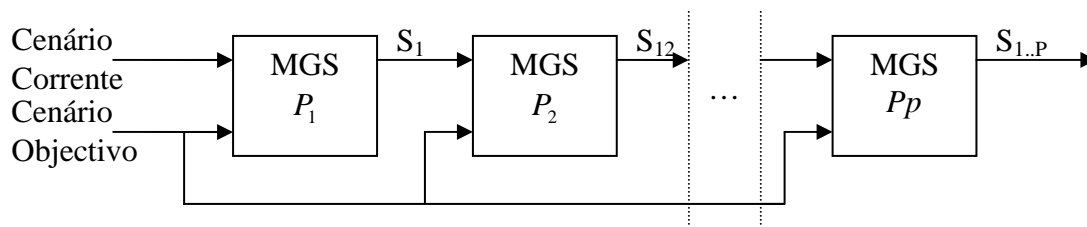
O movimento livre no espaço permite mover os vértices de região projectivos ao longo de cada eixo projectivo desde o cenário corrente até ao cenário final. É um movimento no espaço sem restrições.

## 2.8 Movimento com Restrições

Este nível conjuga o nível de movimento livre com a geração de sub-objectivos para uma propriedade física de modo a obter planos que permitam resolver problemas no espaço sem violar uma propriedade física das entidades do domínio.

## 3 Mecanismo para respeitar múltiplas propriedades das entidades

O problema de respeitar as múltiplas propriedades físicas das entidades no domínio é resolvida através da interacção e do encadeamento de vários métodos MGS, cada um dos quais respeitante a uma propriedade física. Por exemplo, se considerarmos  $P$  propriedades físicas então teremos uma cadeia de  $P$  métodos MGS conforme o ilustrado na figura 2.



**Figura 2: Encadeamento dos métodos MGS de forma a respeitar as  $P$  propriedades das entidades.**

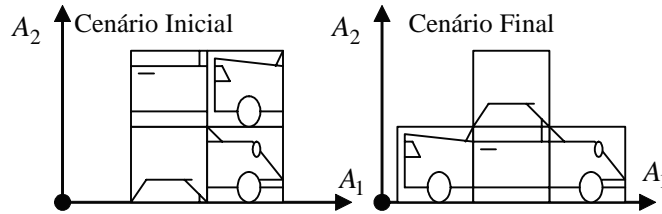
Na figura 2, os vários métodos MGS geram sub-objectivos desde  $S_1$  que identifica o sub-objectivo que respeita a propriedade  $P_1$  até  $S_{1..p}$  que representa o sub-objectivo que respeita todas as propriedades existentes no domínio.

## 4 Aplicações

Nesta secção apresentar-se-á dois problemas que o sistema permite resolver em tempo real. É de salientar que em ambos os problemas o sistema não tem qualquer informação estruturada acerca dos problemas propostos. Por outras palavras, o sistema desconhece por completo quais os operadores que permitem gerar mudança no domínio. Assim as informações de que o sistema dispõe à partida são, o cenário inicial., o cenário final e as propriedades físicas das entidades envolvidas.

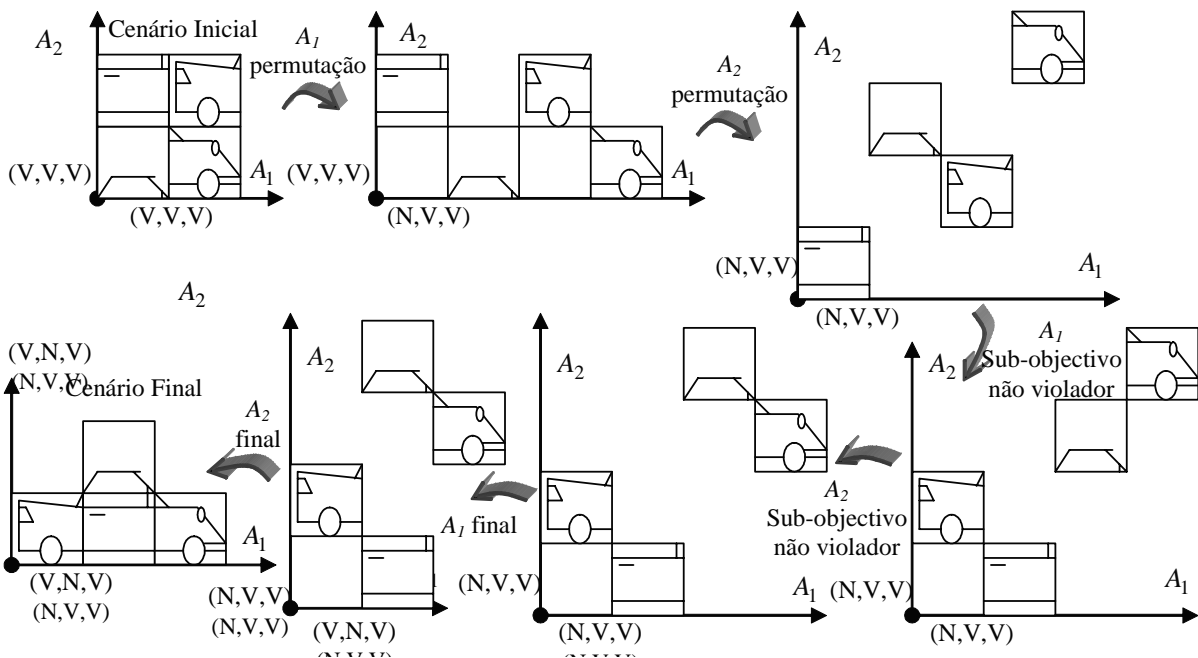
### 4.1 A charada

A charada (também conhecida como *puzzle*) aqui apresentada é composta por quatro peças, na qual todas as peças são impenetráveis, ou seja, duas peças não podem partilhar um ponto comum no espaço.



**Figura 3: Cenários inicial e final de uma charada.**

O sistema obtém o primeiro plano para resolução do problema da figura 3 como a sequência de cenários ilustrado na figura 4. Esta solução é elaborada e complexa devido ao sistema não dispor à partida de regras que definem o movimento de peças no domínio sendo obtida na primeira tentativa. O sistema também dispõe de um mecanismo de retropropagação na busca das soluções que permite encontrar variadas soluções para este mesmo problema. Embora aqui apenas se tenha ilustrado a primeira solução encontrada pelo sistema.



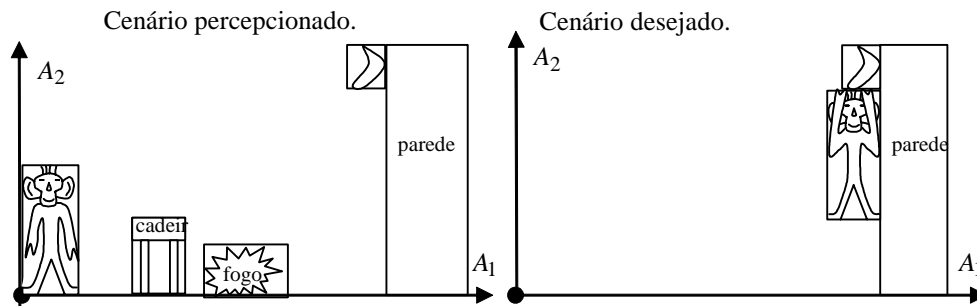
**Figura 4: Primeira solução encontrada pelo sistema na resolução da charada.**

#### 4.2 O macaco e as bananas

Revisitando este problema clássico da I.A. de um ponto de vista de um sistema embebido no domínio que pode ser um macaco artificial que gosta de bananas. O problema redefine-se como o macaco estar dentro de uma sala aonde existe uma cadeira e um cacho de bananas pendurado numa parede. Para complicar o problema, introduzimos um fogo entre a cadeira e o cacho de bananas sendo o fogo considerado uma entidade espacial intocável. Também se assume que a cadeira e o macaco são entidades impenetráveis. O cacho de bananas não partilha nenhuma propriedade em especial.

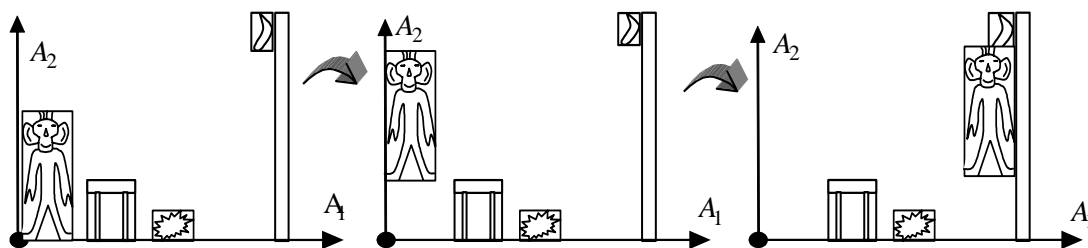
A questão que se coloca é como será que o macaco resolverá o problema? Se assumirmos que o macaco dispõe de um método de mapeamento entre a sua percepção sensorial e um imaginário sistema de coordenadas

então a topologia resultante é a representada na figura 5. O lado esquerdo da figura 5 ilustra a topologia inicial percebida pelo macaco enquanto que no lado direito da figura se ilustra o cenário objectivo gerado pela vontade do macaco de comer as bananas.



**Figura 5: O problema do macaco e das bananas.**

O plano de sub-objectivos gerado pelo sistema é ilustrado na figura 6, pois não existe espaço no artigo para a descrição completa do plano. Este plano pode ser interpretado como sendo dividido em dois grandes objectivos: i. o macaco em primeiro lugar salta para cima da cadeira; ii. e depois de estar em cima da cadeira ele irá saltar por cima da parede e simultaneamente tenta alcançar o cacho de bananas.



**Figura 6. A primeira solução do sistema.**

## 5 Conclusões

Este artigo descreve sinteticamente a arquitectura em que se baseia máquina virtual NDimProA para realizar raciocínio espacial em tempo-real. Neste artigo introduz-se a solução para dois problemas existentes no mundo real e que correspondem a soluções alternativas considerando que as entidades podem partilhar mais do que uma propriedade física. Estes resultados embora obtidos num ambiente simulado deixa antever resultados promissores quando aplicados na solução de problemas do mundo real com sistemas artificiais.

### Referências

- [1] Allen, J.F. 1991, Time and Time Again: The Many Ways to Represent Time. In *International Journal of Intelligent Systems* 6, 341-355.
- [2] Hernandez, D. 1991. Relative Representation of Spatial Knowledge: The 2D Case. In *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, 373-385, Kluwer Publishers, Netherlands.
- [3] Coenen, F.; Beattie, B.; Shave, M.; Bench-Capon, T.; Diaz, B. 1988. Spatial Reasoning using the Quad Tesseral representation. In *Artificial Intelligence Review* 12, 321-343, Netherlands.
- [4] Cui, Z.; Cohn, A.; Randell, D. 1992. Qualitative Simulation Based on a Logic Formalism of Space and Time. In *Proceedings of AAAI92*, AAAIPress.
- [5] Pais J. and Pinto-Ferreira C.2000, Qualitative Spatial Reasoning using a N-Dimensional+ Projective Representation. In *Proceedings of 15<sup>th</sup> European Meeting on Cybernetics and Systems Research*, Austria.