

# Minimax em Grafos com Sinais

## Simulação Estrutural de Conflito Geopolítico

Projeto de Inteligência Artificial

# Motivação

Modelar um conflito estratégico como:

- Jogo adversarial de soma zero
- Representação estrutural via grafos
- Decisão racional com Minimax

Ideia central:

Cada potência decide sabendo que o adversário responderá da pior forma possível.

# Representação do Território

Território:

$$T \in \{E, U, .\}^{3 \times 3}$$

- E = EUA
- U = URSS
- . = Neutro

Cada célula é um vértice de um grafo.

# Grafo com Sinais

Definição:

$$G = (V, A, \sigma)$$

$$\sigma(i, j) = \begin{cases} +1 & \text{mesma potência} \\ -1 & \text{potências rivais} \end{cases}$$

Interpretação:

- $+1 \rightarrow$  cooperação
- $-1 \rightarrow$  conflito

# Regras do Jogo

## 1. Expansão

Marcar uma região neutra.

## 2. Mudança de Regime

Capturar região inimiga se possuir pelo menos 2 vizinhos aliados.

Modela:

- Pressão diplomática
- Cercamento estratégico

# Estado do Jogo

Estado:

$$s = (T, \text{jogador})$$

Terminal quando:

Não existem regiões neutras

Minimax opera sobre valores de estados.

# Função de Avaliação

Controle territorial:

$$C(s) = |E| - |U|$$

Coesão estrutural:

$$B(s) = \sum_{(i,j) \in A} \sigma(i,j)$$

Função final:

$$U(s) = C(s) + \alpha B(s)$$

Avalia domínio + estabilidade estrutural.

# Algoritmo Minimax

- MAX tenta maximizar  $U(s)$
- MIN tenta minimizar  $U(s)$

Escolher ação que leva ao melhor estado assumindo resposta ótima do rival

Não acumula custo de arestas. Avalia apenas estados.

# Simulação Obtida

Estado final:

$$\begin{bmatrix} E & E & E \\ E & E & E \\ U & U & U \end{bmatrix}$$

Pontuação:

$$U = 6 - 3 = 3$$

Leve vantagem estrutural para EUA.

# Fase 1 – Expansão Inicial

- Regiões neutras ocupadas
- Baixo conflito direto
- Formação inicial de zonas de influência

## Fase 2 – Consolidação

- Blocos começam a se formar
- Aumenta coesão interna
- Polarização crescente

## Fase 3 – Mudanças de Regime

- Regiões cercadas são capturadas
- Conflito indireto
- Instabilidade local

## Fase Final – Polarização

- Dois blocos consolidados
- Fronteira bem definida
- Sistema estruturalmente estável

Modelo reproduz cenário bipolar.

# Conclusão

Integração de:

- Teoria dos Grafos com Sinais
- Teoria dos Jogos
- Heurística Estrutural
- Minimax

Mostra como IA pode modelar conflitos estratégicos com rigor matemático.

# Possíveis Extensões

- Poda Alfa-Beta
- Análise de Complexidade
- Tabuleiro maior
- Equilíbrio estrutural formal