

Eximo

Inteligência Artificial

André Filipe da Silva Moutinho
Sérgio Bruno Rodrigues Dias

31 de março de 2020

Eximo

O Eximo é um jogo da família das damas, cujo objetivo é capturar todas as peças do oponente, saltando por cima delas, ou forçar uma situação de impasse em que o oponente não pode realizar nenhuma jogada.

Quando uma das peças atinge a última linha, esta removida do tabuleiro e o jogador recebe duas novas peças para serem colocadas de imediato na *drop zone* (duas primeiras linhas do lado do jogador, excetuando as extremidades).

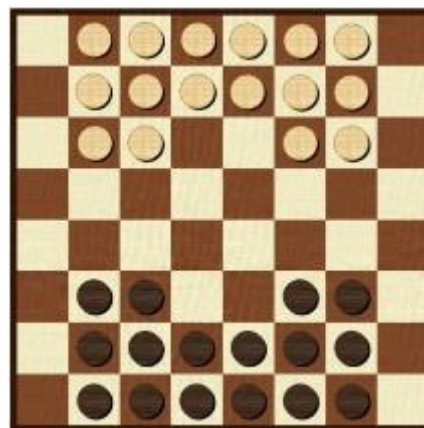


Figura 1 - Tabuleiro no estado inicial do jogo

Movimentos

- **Mover** – Existem 3 movimentos possíveis: norte, noroeste e nordeste. Um jogador pode **mover** a sua peça para um quadrado livre adjacente ou **saltar** por cima de outra peça sua, situada à frente ou nas diagonais da frente da peça, desde que haja um quadrado livre na direção do movimento que vai realizar. Caso o jogador opte pela segunda, deverá continuar a movimentar a sua peça dessa maneira enquanto for possível.
- **Capturar** – Para capturar uma peça existem 5 movimentos possíveis: norte, noroeste, nordeste, este e oeste. Deste modo, o jogador pode **saltar** com uma peça por cima de uma peça adversária desde que haja uma casa vazia na direção do seu movimento, **capturando** assim a peça do oponente. Dentro da mesma jogada, o jogador deverá continuar a capturar enquanto for possível. É de notar que a captura, sendo possível, é **obrigatória**.

Estado do Jogo

O estado inicial é representado por um *array* bidimensional de inteiros de 8x8 elementos (representante do *board* 8x8), em que um 0 representa uma célula vazia, um 1 uma célula com uma peça branca e um 2 uma peça preta.

Função de Avaliação

A função de avaliação inicialmente considerada levaria sobretudo em conta o número de peças no tabuleiro, sendo que a avaliação seria tanto maior quanto maior for esse número. No entanto, com menor peso, seria também avaliada a posição das peças (sendo mais favorável quando se encontram mais perto da outra ponta do tabuleiro) e o número de movimentos possíveis (proporcional à avaliação). As diversas heurísticas que foram de facto implementadas encontram-se descritas mais à frente.

Operadores

Nomes	Pré-Condições	Efeitos	Custo
moveN	$y < 7 \ \&\& \text{board}[x+(y+1)*8]=0$	$\text{board}[x+1+y*8]=1 \ \&\& \text{board}[x+y*8]=0$	1
moveNW	$x < 7 \ \&\& y < 7 \ \&\& \text{board}[x+1+(y+1)*8]=0$	$\text{board}[x+1+(y+1)*8]=1 \ \&\& \text{board}[x+y*8]=0$	1
moveNE	$x > 0 \ \&\& y < 7 \ \&\& \text{board}[x-1+(y+1)*8]=0$	$\text{board}[x-1+(y+1)*8]=1 \ \&\& \text{board}[x+y*8]=0$	1
jumpOverN	$y < 6 \ \&\& \text{board}[x+(y+2)*8]=0 \ \&\& \text{board}[x+(y+1)*8]=1$	$\text{board}[x+(y+2)*8]=1 \ \&\& \text{board}[x+y*8]=0$	1
jumpOverNW	$y < 6 \ \&\& x < 6 \ \&\& \text{board}[x+2+(y+2)*8]=0 \ \&\& \text{board}[x+1+(y+1)*8]=1$	$\text{board}[x+2+(y+2)*8]=1 \ \&\& \text{board}[x+y*8]=0$	1
jumpOverNE	$y < 6 \ \&\& x > 1 \ \&\& \text{board}[x-2+(y+2)*8]=0 \ \&\& \text{board}[x-1+(y+1)*8]=1$	$\text{board}[x-2+(y+2)*8]=1 \ \&\& \text{board}[x+y*8]=0$	1

Operadores (cont.)

Nomes	Pré-Condições	Efeitos	Custo
captureN	$y < 6 \ \&\&$ $\text{board}[x+(y+2)*8]=0 \ \&\&$ $\text{board}[x+(y+1)*8]=2$	$\text{board}[x+(y+2)*8]=1 \ \&\&$ $\text{board}[x+(y+1)*8]=0 \ \&\&$ $\text{board}[x+y*8]=0$	1
captureNW	$y < 6 \ \&\& \ x < 6 \ \&\&$ $\text{board}[x+2+(y+2)*8]=0 \ \&\&$ $\text{board}[x+1+(y+1)*8]=2$	$\text{board}[x+2+(y+2)*8]=1 \ \&\&$ $\text{board}[x+1+(y+1)*8]=0 \ \&\&$ $\text{board}[x+y*8]=0$	1
captureNE	$y < 6 \ \&\& \ x > 1 \ \&\&$ $\text{board}[x-2+(y+2)*8]=0 \ \&\&$ $\text{board}[x-1+(y+1)*8]=2$	$\text{board}[x-2+(y+2)*8]=1 \ \&\&$ $\text{board}[x-1+(y+1)*8]=0 \ \&\&$ $\text{board}[x+y*8]=0$	1
captureW	$x < 6 \ \&\&$ $\text{board}[x+2+y*8]=0 \ \&\&$ $\text{board}[x+1+y*8]=2$	$\text{board}[x+2+y*8]=1 \ \&\&$ $\text{board}[x+1+y*8]=0 \ \&\&$ $\text{board}[x+y*8]=0$	1
captureE	$x > 1 \ \&\&$ $\text{board}[x-2+y*8]=0 \ \&\&$ $\text{board}[x-1+y*8]=2$	$\text{board}[x-2+y*8]=1 \ \&\&$ $\text{board}[x-1+y*8]=0 \ \&\&$ $\text{board}[x+y*8]=0$	1

Tabela 1 – Definição dos operadores

Operadores (cont.)

Os operadores que são aplicados sobre os tabuleiros são efetivamente os descritos anteriormente. Porém, devido a poderem ser executados movimentos sequenciais (captura ou jumpOver), uma jogada é representada por uma lista de tabuleiros, que são o resultado da aplicação dos operadores de modo sequencial num turno apenas. Caso não exista nenhum movimento a ser executado além do inicial (portanto obrigatório), esta lista contém um único tabuleiro.

Algoritmos implementados

Tal como era o objetivo deste trabalho prático, implementou-se o Minimax como algoritmo de pesquisa de soluções. Foram realizadas otimizações para encurtar o tempo de pesquisa, nomeadamente **cortes alpha-beta** e **ordenação** previa dos **nós**, tendo-se recorrido para o efeito à função `sort()` da biblioteca Collections do java (Merge Sort, com $O(N \cdot \log(N))$).

Heurísticas e funções de avaliação

A função de avaliação mais bem-sucedida a que chegamos resultou de uma vasta análise empírica do comportamento de inúmeras outras funções previamente implementadas. Foram-se anotando os resultados e observando as lacunas de cada uma, para que se pudesse chegar a um ótimo compromisso. De seguida encontram-se as heurísticas descritas de uma forma resumida:

Heurística	Variáveis a considerar
Random	Heurística aleatória
Basic	Número de peças do jogador
First	Número e posicionamento das peças do jogador
Improved	Posicionamento das próprias peças e número das peças do adversário e do próprio
Advanced	Igual a Improved, com o acréscimo de estratégias de defesa e ataque mais eficazes

Tabela 2 – Variáveis consideradas por cada heurística abordada

Por fim, é de acrescentar que foi implementado um tempo máximo para obter uma jogada, para que o computador não levasse demasiado tempo a executar o algoritmo de pesquisa quando deparado com profundidades elevadas. Ao fim do tempo estipulado, a melhor jogada encontrada até ao momento é retornada. Estas heurísticas encontram-se detalhadas nos anexos.

Resultados

Tempo máximo de pesquisa
por jogada

Tempo de execução

Profundidade		Tempo	Heurística	Tempo (5 ocorrências)	Número de jogadas	Vencedor
3	Jogador 1	3 segundos	Advanced	5/4/5/5/4 (segundos)	29/29/29/29/29	Jogador 1 (Advanced)
	Jogador 2		Improved		24/24/24/24/24	
	Jogador 1	1 segundo	Advanced	11/5/5/5/6 (segundos)	46/29/29/29/29	Jogador 1 (Advanced)
	Jogador 2		Improved		44/24/24/24/24	
5	Jogador 1	2 segundos	Advanced	1:47/1:24/1:29/1:15/1:04 (minutos : segundos)	42/42/34/38/32	Jogador 1 (Advanced)
	Jogador 2		Improved		35/37/32/29/23	
	Jogador 1	1 segundo	Advanced	40/40/53/44/35 (segundos)	34/35/42/34/32	Jogador 1 (Advanced)
	Jogador 2		Improved		25/29/37/31/27	
3	Jogador 1	5 segundos	Improved	15/15/16/15/14 (segundos)	63/63/63/63/63	Jogador 1 (Improved)
	Jogador 2		First		39/39/39/39/39	
	Jogador 1	5 segundos	Advanced	16/16/17/17/16 (segundos)	67/67/67/67/67	Jogador 1 (Advanced)
	Jogador 2		Basic		64/64/64/64/64	
3	Jogador 1	2 segundos	Basic	2:02/0:37/1:00/1:12/1:36 (minutos : segundos)	95/38/63/52/88	Jogador 2 (Improved)
	Jogador 2		Improved		131/46/74/73/96	

Tabela 3 – Dados relativos à comparação das heurísticas utilizadas, fazendo variar o tempo máximo por jogada.

Resultados (cont.)

	Profundidade	Tempo	Heurística	Tempo (5 ocorrências)	Número de jogadas	Vencedor
Jogador 1	3	2 segundos	Advanced	15/14/15/15/13 (segundos)	60/57/63/63/56	Jogador 1 (Depth 3)
Jogador 2	1		Advanced		55/53/51/51/51	
Jogador 1	1	2 segundos	Improved	5/4/4/5/4 (segundos)	27/27/27/27/27	Jogador 2 (Basic, Depth 3)
Jogador 2	3		Basic		33/33/33/33/33	
Jogador 1	4	2 segundos	Advanced	1:15/1:29/1:36/1:14/0:54 (minutos : segundos)	226/293/318/226/206	Jogador 2 (Advanced)
Jogador 2	1		Basic		236/295/319/236/209	

Tabela 4 – Tabela que ilustra o impacto da profundidade de pesquisa no tempo/qualidade da solução obtida

	Profundidade	Tempo	Heurística	Tempo (5 ocorrências)	Número de jogadas	Vencedor
Jogador 1	3	5 segundos	Advanced	30/29/29/42/31 (segundos)	29/29/29/43/29	Jogador 1 (Advanced)
Jogador 2			Improved		24/24/24/41/24	
Jogador 1	3	5 segundos	Advanced	4:16/2:06/4:07/3:03/2:18 (minutos : segundos)	89/87/118/98/67	Jogador 1 (Advanced)
Jogador 2			Basic		79/77/110/90/61	

Tabela 5 – Tabela que ilustra o impacto da implementação de cortes alpha-beta no algoritmo Minimax

Resultados (cont.)

Fazendo uma análise breve e geral dos resultados, é possível verificar a diferença de tempo decorrido entre utilizar o algoritmo **Minimax** com e sem cortes alpha beta. É também de notar a eficácia da heurística Advanced, apenas perdendo quando utilizando uma profundidade mais baixa que a do adversário, o que nos leva a observar que de facto a profundidade tem um impacto particularmente grande no que toca à inteligência do computador.

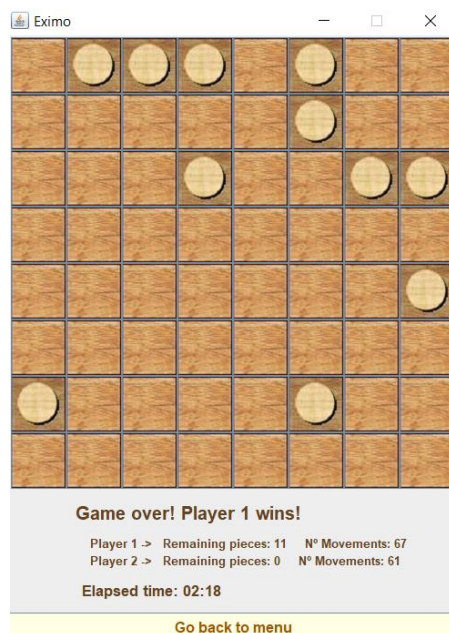


Figura 2 - Final de jogo – Advanced vs Basic s/cortes

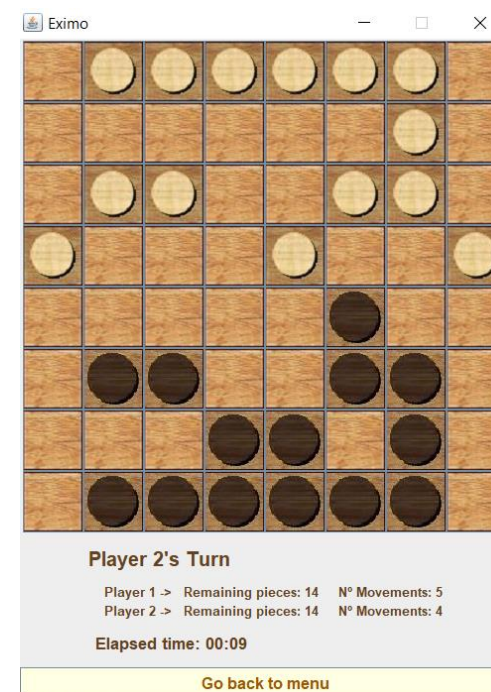


Figura 3 - Estado intermédio do jogo – Advanced vs Improved

Conclusões

A realização deste projeto foi bem-sucedida, tendo sido cumpridos todos os objetivos propostos. Conseguiu-se ainda implementar uma interface gráfica apropriada que facilita tanto a visualização como a jogabilidade. Os integrantes do grupo sentem-se satisfeitos com o trabalho realizado e destacam a evolução do seu conhecimento desde o início do semestre no que à área **Inteligência Artificial** diz respeito. Para tal, contribuiu largamente a aplicação de conceitos neste trabalho prático, que aumentou ainda o interesse pela área. Foi, portanto, um projeto prazeroso de executar, o que motivou um maior esforço e dedicação.

Por fim, espera-se que os conhecimentos adquiridos e aplicados possam vir a ser úteis ao longo da nosso percurso enquanto engenheiros informáticos e que sirvam de base à aprendizagem de conhecimentos futuros.

Referências

Os integrantes do grupo consideraram suficiente a informação presente no site disponibilizado pelo professor para a realização do jogo, tendo como base para a criação de heurísticas a análise empírica, dada a complexidade do jogo e a escassez de informação. Quanto ao software utilizado, este projeto foi desenvolvido no Eclipse, tendo a interface gráfica sido desenvolvida com recurso à biblioteca Swing de java.

Webgrafia

<https://www.boardgamegeek.com/boardgame/137916/eximo>

<https://boardgamegeek.com/thread/925957/new-game-checkers-family-eximo>

Anexos

Anexo 1 – Explicação detalhada de cada heurística

Aqui encontram-se as heurísticas já referidas anteriormente mas explicadas com maior detalhe:

- **Random:** esta função retorna uma avaliação aleatória;
- **Basic:** esta função apenas tem em consideração o número de peças do próprio jogador;
- **First:** esta foi a primeira heurística que implementamos com o intuito de ser eficaz. Leva em consideração o critério anterior mas introduz um outro com menor peso (distribuição de estimadamente 70%-30%), consistindo na avaliação uniforme da distância das peças ao fim do tabuleiro.
- **Improved:** esta heurística, por sua vez, surge como um melhoramento da anterior, mantendo o peso dos critérios já enunciados mas levando também em conta o número de peças do oponente, procurando minimizá-lo. De referir que o ganho/conservação de peças do jogador e a captura de peças do adversário são valorizadas de igual forma.
- **Advanced:** esta foi, naturalmente, a heurística mais trabalhosa de se implementar, sendo a única capaz de vencer as restantes em várias situações e de forma consistente. Introduziu-se uma estratégia de defesa, que privilegia a permanência de uma certa quantidade de peças na linha inicial do tabuleiro, salvaguardando-as e dificultando ainda a multiplicação de peças por parte do oponente. Além disso, implementou-se uma estratégia de ataque cauteloso pelas laterais, aumento a chance de chegar ao fim do tabuleiro e consequentemente ganhar peças extra. Além disso, em certos cenários, esta estratégia assume um papel defensivo, evitando que o adversário chegue facilmente ao fim do tabuleiro (algo que se verificou na heurística básica, que por vezes vencia outras mais avançadas). A distribuição de pesos foi afinada para otimizar e dar sentido à heurística, sendo contudo difícil de apurar em percentagem.