

## OS COMPUTADORES APRENDEM A JOGAR GO

Estarão os computadores a um passo de se tornarem semelhantes aos humanos, já que são melhores em cálculos complexos, e se está a conseguir começar a programar algo como a “intuição”?



PEDRO J. FREITAS  
Universidade  
de Lisboa  
[pedro@ptmat.fc.ul.pt](mailto:pedro@ptmat.fc.ul.pt)



MANUEL SILVA  
Universidade  
Nova de Lisboa  
[mnas@fct.unl.pt](mailto:mnas@fct.unl.pt)

Em maio de 1997, a máquina *Deep Blue* ganhou um *match* de xadrez contra o campeão em título, Garry Kasparov. Foi a primeira vez na história que uma máquina conseguiu ganhar ao melhor humano neste jogo. O esforço de pôr máquinas a jogar xadrez já tinha quase um século, mas até então havia a crença de que o xadrez teria algo de intrinsecamente humano, que não poderia ser replicável por uma máquina. A verdade é que o *Deep Blue* tinha na sua memória uma notável biblioteca de partidas jogadas por humanos, tendo portanto, beneficiado dessa experiência.

Desde então, a história das máquinas que jogam xadrez tem sido muito bem-sucedida – mais máquinas e mais *software* foram desenvolvidos, mantendo-se sempre ao nível dos melhores jogadores humanos. O êxito do *Deep Blue* não foi apenas uma situação esporádica.

Há outro jogo de estratégia, mais complicado até do que o xadrez, que é menos conhecido no ocidente, mas muito popular no oriente. Trata-se do go. Este jogo tem um tabuleiro com 19 linhas horizontais e outras tantas verticais, e joga-se com pedras achatadas, pretas para um jogador e brancas para o outro. Uma jogada consiste simplesmente em colocar uma pedra numa das interseções do tabuleiro, por forma a isolar grupos de pedras do adversário. Estas pedras, uma vez colocadas, não se movimentam, mas podem ser capturadas pelo jogador adversário. Veja-se o tabuleiro na figura 1.

Tal como o xadrez, este jogo possui um sistema

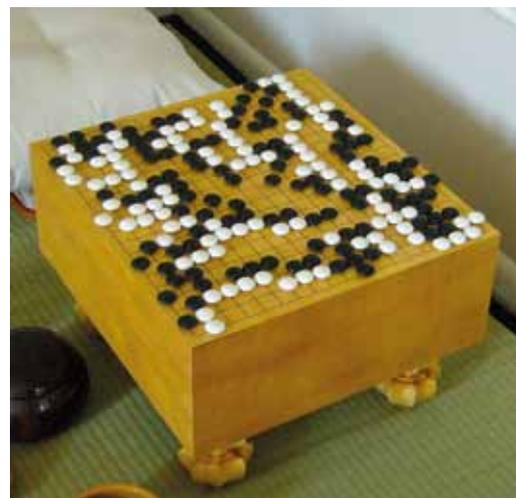


Figura 1. Tabuleiro de Go (Wikipedia).

*ranking* de jogadores, aqui semelhante aos das artes marciais: os jogadores não profissionais são ordenados do 30.º *kyu* (principliante) ao 1.º *kyu*, depois do 1.º ao 7.º *dan* amador, e finalmente os profissionais vão do 1.º ao 9.º *dan* profissional.

Ao contrário do que tinha acontecido com o xadrez, parecia muito difícil um computador ganhar ao campeão do mundo em título no jogo do go. Em 1997, chegou a dizer-se que demoraria mais de 100 anos. Isto geralmente é atribuído à conjugação de alguns fatores, que aqui enumeramos.

Primeiramente, o tamanho do tabuleiro leva a que a análise de casos seja muito mais difícil do que no xadrez. Por exemplo, no go há  $19 \times 19 = 361$  possibilidades para a primeira jogada, e 360 para a segunda, enquanto no xadrez há apenas 20 possibilidades quer para a primeira quer para a segunda jogada (dois movimentos para cada um dos oito peões mais dois movimentos para cada cavalo). Aliás, estima-se que o número de jogos de go exceda o número de átomos no universo.

O *Deep Blue* usava um algoritmo de força bruta para determinar a melhor jogada, isto é, conseguia analisar todos os jogos possíveis até 12 jogadas mais à frente, algo impossível para um humano. Dada a dimensão do tabuleiro e a variedade possível de jogadas, uma análise semelhante para o go é impossível mesmo para um computador.

Em segundo lugar, para ir “podando” esta árvore de possibilidades, é necessária uma função que avalie a posição obtida. No xadrez, consegue-se uma primeira avaliação fazendo, por exemplo, contagem de peças. No go, isto é muito mais difícil, o jogo é muito dramático e uma posição vantajosa para um jogador pode converter-se facilmente noutra, que é vantajosa para o outro.

Como dissemos, durante muitos anos, as máquinas não conseguiam passar do nível amador no jogo do go. Foi apenas em 2009 que uma máquina conseguiu ganhar a um profissional do go, embora com nove pedras de *handicap* (o que consiste em começar com nove pedras de avanço, o maior *handicap* que habitualmente se dá no jogo do go). Diga-se, porém, que ao desenvolver a matemática necessária para programar um computador para jogar go, vários conceitos interessantes foram desenvolvidos. Talvez o mais famoso destes seja o dos números surreais, inventados por John Conway e batizados por Donald Knuth, que escreveu um livro sobre o assunto com este mesmo título, *Números Surreais*, editado entre nós pela Gradiva. Este conjunto de números contém os números reais, e é obtido generalizando a construção por cortes de Dedekind.

Em todo o caso, aquilo que parecia diferente no go era uma noção de intuição humana. Os jogadores profissionais falavam de tabuleiros com “bom aspeto”, sem que se conseguisse definir de uma forma explícita o que isto queria dizer. O que o programa AlphaGo, da companhia DeepMind (da Google), tentou fazer foi... dotar os computadores de uma intuição semelhante.

Como foi isto feito? Usando um algoritmo de Monte-Carlo para pesquisa em árvores (entendendo-se cada

ramo da árvore como uma sucessão de jogadas), que simula, a partir de uma posição, vários desenvolvimentos possíveis, classificando depois cada jogada de acordo com o resultado final dos jogos simulados. A inovação na implementação deste algoritmo consistiu no uso de duas redes neuronais, a *policy network*, encarregue de sugerir jogadas, e a *value network*, encarregue de as avaliar.

Tal como no xadrez, a *policy network* analisou cerca de 30 milhões de movimentos de 150 000 jogos entre bons jogadores humanos, mas desta vez tentando encontrar padrões e perceber como jogava um humano perante determinada situação. Após uma primeira aproximação, a rede passou então a jogar contra si mesma, ou antes, contra a sua versão anterior, melhorando ainda mais a sua capacidade de prever uma boa jogada. Isto resultou num programa que, mesmo sem uma avaliação de posições, conseguia já derrotar vários programas que jogavam go.

Entra então aqui a *value network*, que permite avaliar se uma dada posição é boa ou não. Esta rede foi mais uma vez treinada através de repetidos jogos entre as redes, armazenando a informação sobre se uma dada posição é ou não vantajosa. A diferença em relação ao xadrez é substancial: foi através de um treino com partidas repetidas que este conhecimento foi adquirido.

Finalmente, ao jogar um jogo com um adversário humano, o AlphaGo tenta reproduzir os desenvolvimentos possíveis do tabuleiro, usando as duas redes para escolher jogadas e analisar as posições resultantes destas jogadas. O algoritmo é descrito no artigo [1].

A eficácia deste algoritmo foi notável. Em novembro de 2015, o AlphaGo ganhou a Fan Hui (figura 2), francês, nascido na China, campeão europeu de go, de 2.º dan profissional, num *match* de cinco jogos, por um decisivo 5-0.



Figura2. Fan Hui (foto: Google).



Figura 3. Lee Sedol iniciando o jogo 3 (foto: Google).

Pouco tempo depois, em março de 2016, o AlphaGo desafiou o campeão coreano Lee Sedol (figura 3), de 9.º dan profissional, considerado o melhor jogador do mundo no início do século XXI. Apesar de todas as expectativas apontarem para uma vitória humana, Lee Sedol perdeu num *match* de cinco jogos por 4-1, tendo ganho o 4.º jogo.

Anotamos alguns comentários sobre o sucedido. Ao fim do 3.º jogo, que deu a vitória ao AlphaGo, Demis Hassabis, o chefe da DeepMind, publicou um *tweet* dizendo “AlphaGo WINS!!!! We landed it on the moon”. Lee Sedol considerou a sua vitória no 4.º jogo como algo “tão valioso que não o trocava por nada neste mundo”, enquanto Fan Hui descreveu uma jogada do AlphaGo no 2.º jogo do seguinte modo: “Não é uma jogada humana. Nunca vi um humano jogar assim. Tão belo. Tão belo”.

O que nos leva à questão mais profunda: estarão os computadores a um passo de se tornarem semelhantes aos humanos, já que são melhores em cálculos complexos, e se está a conseguir começar a programar algo como a “intuição”? Acrescente-se que, apesar da palavra “intuição” poder referir-se a várias coisas, o mesmo tipo de algoritmo de aprendizagem já foi aplicado a questões artísticas, ensinando um computador a reproduzir a imagem de uma dada fotografia no estilo de um pintor conhecido, como por exemplo Van Gogh ou Picasso. O programa chama-se Deep Style, e podem ver-se alguns exemplos na página [4].

Asseguramos que os autores desta coluna são ambos humanos. Chegará, porém, brevemente o tempo em que teremos programas de computador a contribuir com artigos para a Gazeta de Matemática?

## REFERÊNCIAS

- [1] Demis Hassabis *et al.*, “Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search”, *Nature* 529, 484–489 (28 de janeiro de 2016).
- [2] Donald Knuth, *Números Surreais*, Gradiva.
- [3] <http://googleresearch.blogspot.pt/2016/01/alphago-mastering-ancient-game-of-go.html>
- [4] <http://www.deepstylegenerator.com>

As várias páginas foram consultadas em março de 2016.



## VISITE O CLUBE DE MATEMÁTICA

DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE MATEMÁTICA

- ✓ ARTIGOS DE OPINIÃO
- ✓ ENTREVISTAS
- ✓ PROBLEMAS
- ✓ HISTÓRIAS
- ✓ PASSATEMPOS
- ✓ PRÉMIOS

TUDO ISTO E MUITO MAIS EM [WWW.CLUBE.SPM.PT](http://WWW.CLUBE.SPM.PT)