

# Mastering the Game of Go without Human Knowledge-hoho

## 研究现状

AlphaGo网络的监督学习需要人类的行为数据。

这里介绍了一种不需要人类行为数据，只需要游戏规则的只依赖于强化学习的算法——AlphaGo Zero。本文的贡献在于验证了可以不依赖人类的领域知识而获得超越人类表现的算法。

## 研究方法

AlphaGo Zero只需要一个深度网络，该网络输入当前棋局状态 $s$ ，输出当前状态 $s$ 下各种走子（包括弃权）的概率分布 $p = Pr(a|s)$ 和状态价值 $v : (p, v) = f_{\theta}(s)$

## 网络的输入

棋盘定义：围棋19x19个格子组成的集合

每个时间步下，输入为17个特征：

- 1个我方当前的棋盘 $X_t$ ，当格子是我方的棋子则置为1，若该格子没落子或为对方棋子则置为0
- 我方前7个历史走子的棋盘 $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-7}$
- 1个对方当前棋盘 $Y_t$ ，当格子是对方的棋子则置为1，若该格子没落子或为对方棋子则置为0
- 对方前7个历史走子棋盘 $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-7}$
- 另外,还有1个C棋盘：当我方走子时，C的所有格子位1，否则为0

综上，输入数据为 $s_t = [X_t, Y_t, X_{t-1}, Y_{t-1}, \dots, X_{t-7}, Y_{t-7}, C]$

## 网络架构

主要是以CNN组成的深度残差网络

## 算法流程

### 1. Self-play(自我走子/自我对弈)

首先随机初始化神经网络 $f_\theta$ 的参数，然后进行MCTS搜索，寻找合适的走子策略 $\pi_\theta$

MCT树的每个节点代表当前棋局（状态 $s$ ），边代表当前状态下的走子（ $a, s$ ）。

每条边包含4个数据： $\{N(s, a), W(s, a), Q(s, a), P(s, a)\}$ ，分别代表：

$N(s, a)$ ：访问当前边的次数

$W(s, a)$ ：总的动作价值

$Q(s, a)$ ：平均动作价值

$P(s, a)$ ：选择这条边的先验概率

Self-play过程就是MCTS搜索过程，MCTS搜索有3个步骤：

#### (1) Select

从根节点 $s_0$ 开始，计算每条边的 $Q(s_t, a) + U(s_t, a)$ 值，选择 $a_t = \arg \max_a (Q(s_t, a) + U(s_t, a))$ ，作为走子动作，其中：

$$U(s, a) = c_{puct} P(s, a) \frac{\sqrt{\sum_b N(s, b)}}{1 + N(s, a)}$$
 $N(s, b)$ 为 $s$ 下搜索的总次数， $c_{puct}$ 为一个常量。一直走到达叶节点 $s_L$

#### (2) Expand与Evaluate

由于叶节点下面没边了，需要扩展。使用神经网络输出 $s_L$ 下的走子策略： $(p, v) = f_\theta(s_L)$ ，那么该叶节点下就有多个边 $(s_L, a)$ 了(论文为 $(d_i(p), v) = f_\theta(s_L)$ ， $d_i$  is a dihedral reflection or rotation selected uniformly at random from  $i \in [1..8]$ ，这里为了简便先这么写)

初始化每条边为 $\{N(s, a) = 0, W(s, a) = 0, Q(s, a) = 0, P(s, a) = p\}$

另外计算 $P(s,a)$ 时，实际会加上一个噪声(Dirichlet noise)增加尝试所有动作的概率：

$$P(s,a) = (1 - \epsilon)p + \epsilon\eta, \text{ 其中 } \eta = 0.25$$

### (3) Backup

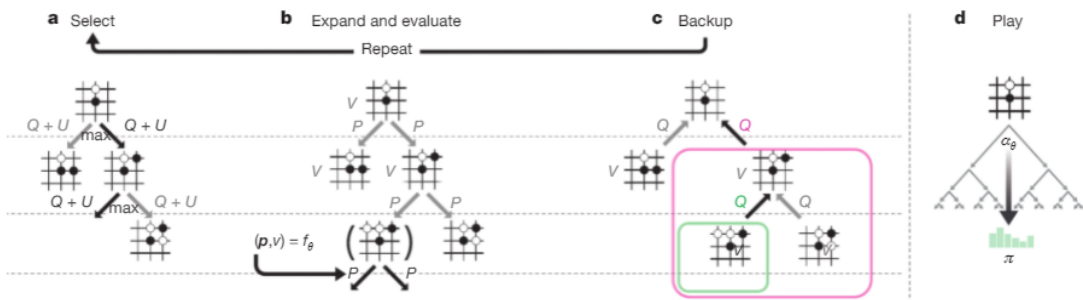
回溯 $s_L$ 叶节点到根 $s_0$ 的路径（边），进行如下更新：

$$N(s_t, a_t) = N(s_t, a_t) + 1$$

$$W(s_t, a_t) = W(s_t, a_t) + v$$

$$Q(s_t, a_t) = \frac{W(s_t, a_t)}{N(s_t, a_t)}$$

整个Self-Play过程如下图：



这样每一次在真实棋盘下子（Play）之前，算法都会进行1600次的模拟自我走子（每一次模拟即进行一次搜索局面/棋局状态 $s$ 的过程），经过这么多次模拟走子得到策略 $\pi$ ，然后就可以进行真实走子，即上图的d步骤：play。这时从根节点 $s_0$ 出发，从树上搜索当前局面下的落子动作 $a$ ，当搜索完后，MCTS就会产生一个当前局面（如 $s_0$ ）下的落子策略 $\pi(a|s_0) = \frac{N(s_0,a)^{\frac{1}{\tau}}}{\sum_b N(s_0,b)^{\frac{1}{\tau}}}$ ，其中 $\tau$ 是温度系数，在模拟走子的前30步， $\tau = 1$ 以鼓励探索，往后的模拟走子设置 $\tau \rightarrow 0$ 。

选择概率最大的 $a$ 作为真正落子动作 $a$ ，到达的新的子节点(如 $s_1$ )就成为新的根节点，这个节点及其下节点的统计数据会保留，然后树的其余部分会删掉，重新进行树的搜索。算法也会指定一个阈值 $v_{resign}$ ，当算出来的根节点的价值和最优子节点的价值低于该阈值时，AlphaGo Zero会认输（resign）。

这样一直进行真实自我对弈从而形成一系列真正的走子样本 $\{s_t, \pi_t, z_t\}$ ，并放到经验回放池。当双方都弃权，或者搜索价值下降到一个阈值，或者时间步超过最大的长度，对战结束，当最终赢了 $z_t = +1$ ，输了 $z_t = -1$ (hoho: 其余为0?)。

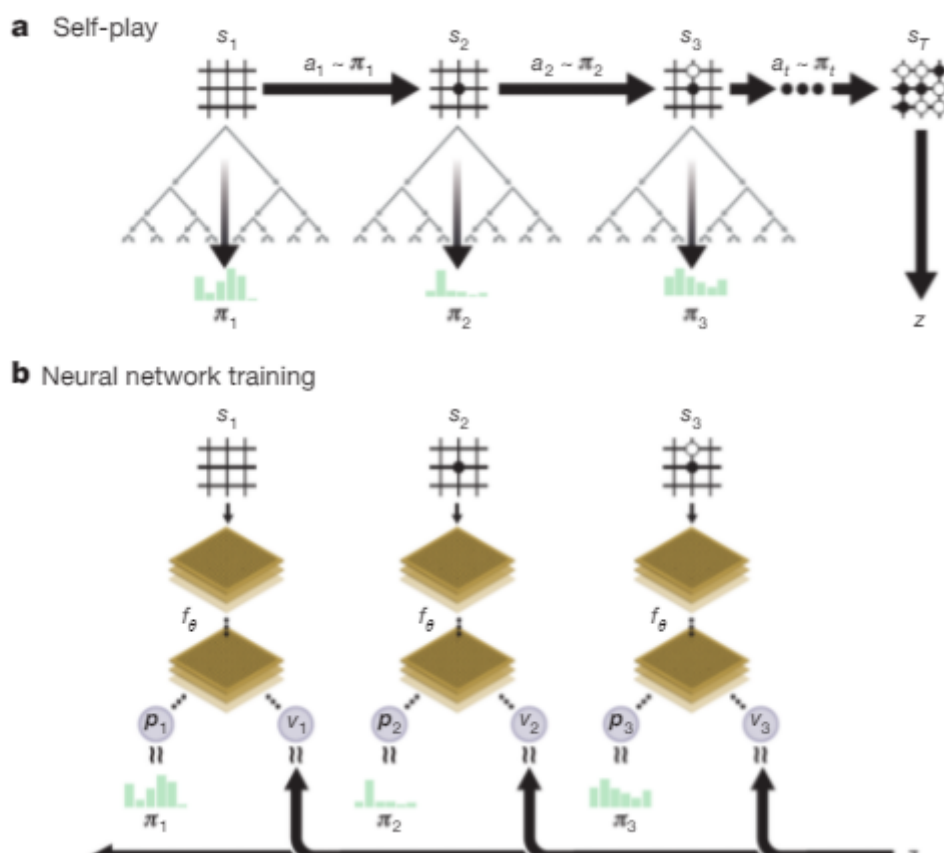
## 2. 网络更新

当前网络从经验回放池中均匀采样出多个样本 $\{s, \pi, z\}$ 进行训练，损失函数为：

$$loss = (z - v)^2 - \pi^T \log p + c \|\theta\|^2, \text{ 其中 } (p, v) = f_\theta(s)$$

训练得到的新网络 $f_\theta^*$ ，会跟当前网络 $f_\theta$ 进行对弈，如果胜率超过55% (wins by a margin of > 55%) 就让其成为当前新的网络，继续下一步的Self-Play

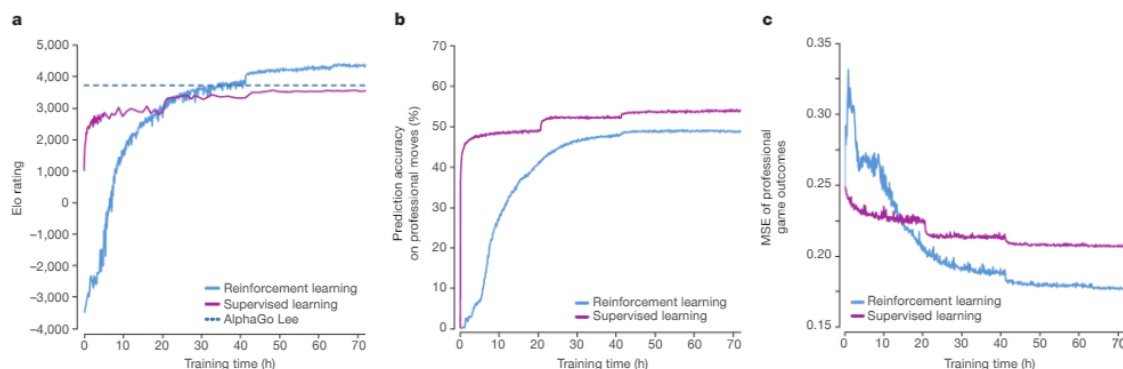
总流程如下:



论文中算法会进行大约25000场的Self-play。

## 研究结论

论文也用同样架构的神经网络通过人类专家数据进行监督训练，并且和AlphaGo Lee一起，跟AlphaGo Zero进行对比，如下：



最开始，用人类专家经验进行监督学习的网络表现较好预测准确度比AlphaGo Zero高，但最终还是被AlphaGo Zero打败。

而对比当初的AlphaGo Lee，AlphaGo Zero将策略网络跟价值网络合并为一个单一的神经网络，虽然稍微降低了预测准确度，但是却减少了价值误差，而且表现飞一般！！！！

## 启发

算法的成功，MCTS作用很大，归功于使用它不断进行策略迭代：

1. MCTS搜索基于网络推荐的策略进行下子，得到的策略又返还给网络进行逼近，从而进行策略改进。
2. Self-play的输出结果进行策略评估，然后又用来逼近网络输出的价值。

## 附

- ELO分值：衡量棋力计算

### Elo Rating System

If players A, B have ratings  $R_A$  and  $R_B$ , the expected score of players is

$$\begin{array}{ccc} \text{♟} & E_A = \frac{1}{1 + 10^{(R_B - R_A)/400}} & E_B = \frac{1}{1 + 10^{(R_A - R_B)/400}} & \text{♞} \end{array}$$

After the game, players actually score  $S_A$ ,  $S_B$  so their rating is updated

$$\begin{array}{ccc} \text{♔} & R'_A = R_A + K(S_A - E_A) & R'_B = R_B + K(S_B - E_B) & \text{♚} \end{array}$$

where  $K$  is the maximum possible rating gain or loss per match

- 别人的图更加清晰说明整个流程(大赞啊！)

# ALPHAGO ZERO CHEAT SHEET

The training pipeline for AlphaGo Zero consists of three stages, executed in parallel

## SELF PLAY

Create a 'training set'

The best current player plays 25,000 games against itself  
See MCTS section to understand how AlphaGo Zero selects each move

At each move, the following information is stored



The winner  
 01 if this player won, -1  
 is always lost = called a

## RETRAIN NETWORK

Optimise the network weights

### A TRAINING LOOP

Sample a mini-batch of 2048 positions from the last 500,000 games

- The game states are the input (see 'Deep Neural Network Architecture')

**Loss function**  
Compares predictions from the neural network with the search probabilities and actual winner

PREDICTIONS       $\rho$        $\pi$       ACTUAL

$$\text{Loss} = \text{Mean Squared Error} + \text{Regularisation}$$

After every 1,000 training loops, evaluate the network

## EVALUATE NETWORK

Test to see if the new network is stronger

Play 400 games between the latest neural network and the current best neural network.

Both players use MCTS to select their moves, with their respective neural networks to evaluate leaf nodes

Latest player must win 55% of games to be declared the new best player.

VV



## WHAT IS A 'GAME STATE'

Diagram illustrating the current position of black's stones on a 19x19 Go board. The board is labeled "19 x 19 x 17 stack". The current position of black's stones is shown as a stack of stones. The board is divided into three sections: "Current position of black's stones", "and for the previous 7 time periods", and "All 1 if black to play All 0 if white to play". A 3x3 Go board inset shows the current position of white's stones, with black stones at (1,1), (1,2), (1,3), (2,2), (2,3), (3,2), and (3,3), and white stones at (1,2), (2,1), (2,2), (2,3), (3,1), (3,2), and (3,3).

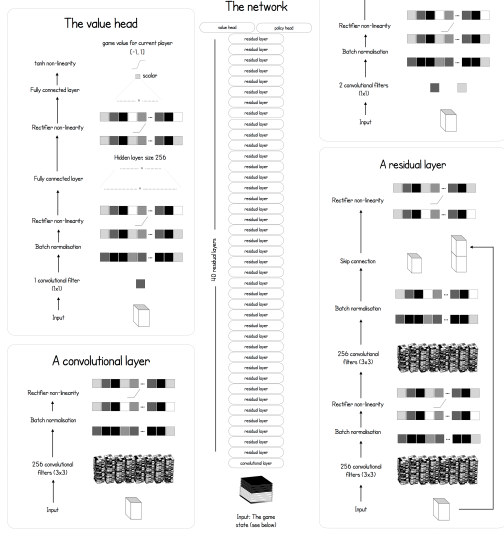
This stack is the input to the deep neural network

## THE DEEP NEURAL NETWORK ARCHITECTURE

## How AlphaGo Zero assesses new positions

The network learns 'tabula rasa' (from a blank slate)

At no point is the network trained using human knowledge or expert moves.



## MONTE CARLO TREE SEARCH (MCTS)

## How AlphaGo Zero chooses its next move

