

本資料について

- 第12回サイエンスカフェ@2007/6/15で配布した資料と以下の点異なる
 - 著作権に抵触しそうな部分を削除・改変
 - 各話題の間にタイトルスライドを挿入
 - 発表できなかった下記内容も含む
 - ヒューリスティックな探索
 - 生物に学んだ機械学習
 - 間違い等を修正

2007/6/15

サイエンスカフェ

1

第12回サイエンスカフェ 人間 vs. コンピュータ！ どちらが賢い？

名古屋市立大学
システム自然科学研究科
渡邊 裕司

2007/6/15

サイエンスカフェ

2

今日のお話

人工知能 (Artificial Intelligence: AI)

- AIの概要
- パズルの例: 数独
- AIの基礎: 定式化と探索
- コンピュータ将棋
- 生物に学んだ機械学習

2007/6/15

サイエンスカフェ

3

人工知能 (Artificial Intelligence: AI)

- 強いAI
 - 人間の**知能そのもの**をもつ機械を作ろうとする立場
 - 漫画や映画のアンドロイドなど
- 弱いAI
 - 人間の**知的な活動の一部**と同じようなことを機械(主にコンピュータ)にさせようとする立場
 - 現在のAI研究はほとんどこの立場



2007/6/15

サイエンスカフェ

4

AIの研究分野

- 基礎的研究
 - 知識表現、知識利用(探索・推論)、知識獲得(機械学習)
- 応用的研究
 - ゲーム、エキスパートシステム、画像・音声認識、言語処理、データマイニング、情報検索、ロボット

著作権に抵触する恐れがあるため削除
以下の人工知能学会の「人工知能のやさしい説明/What's AI」を参照ください
<http://www.ai-gakkai.or.jp/sai/whatsai/> から「人工知能研究」

2007/6/15

サイエンスカフェ

図の出典: 人工知能学会のサイト

5

AI研究の歴史

- 人工知能の夜明け(～1956)
 - コンピュータの開発により、「人間の知的活動を行う機械」を作る試みが開始
 - 1947年にTuringが人工知能の概念を提唱
 - 1950年にTuringが「チューリングテスト」を提唱
 - 1956年にダートマス会議で「人工知能」という言葉を使用
- 古き良き人工知能(1957～1969)
 - 明示的に記号で表された論理をもとに成功の連続
 - 今では少し否定的な意味を込めて「Good Old Fashioned AI (古き良き人工知能)」と呼称
 - 1952-62年にチェッカープログラムが世界チャンピオンに挑戦
 - 1965年にELIZAというカウンセラーを模倣した対話型プログラム
 - 1969年にMaCarthyらによる難問「フレーム問題」の指摘

2007/6/15

サイエンスカフェ

6

AI研究の歴史(続き)

- **現実からの反撃(1970~1979)**
 - 大規模な問題には適用不可 → 専用システムに限定
 - 1974年に最初のエキスパートシステム: 医療診断MYCIN
- **人工知能の産業化(1980~1988)**
 - 商用データベースシステムの開発
 - 1982年に日本で第5世代コンピュータプロジェクトの開始
 - 1986年に日本人工知能学会の設立
- **現在そして未来の彼方へ(1989~)**
 - 現実世界の問題を対象
 - 1997年にチェスプログラムDeep Blueが世界チャンピオンKasparovに勝利

2007/6/15

サイエンスカフェ

7

AIの話題:チューリングテスト

- **チューリングテスト**
ある機械に知能があるかを判定するためのテスト方法
- **中国語の部屋**
哲学者Searleによるチューリングテストへの反論
→強いAIは実現不可能

著作権に抵触する恐れがあるため削除
以下の人工知能学会の「人工知能のやさしい説明「What's AI」」を参照ください
<http://www.ai-gakkai.or.jp/jsai/whatsai/> から「人工知能の話題」の「チューリングテストと中国語の部屋」

2007/6/15

サイエンスカフェ

図の出典:人工知能学会のサイト 8

AIの話題:フレーム問題

- 今からしようとしていることに関係のある事柄だけを選び出すことが、実は非常に難しいという問題
- することを限定すれば、この問題は生じない
- この問題は人間でも解決できるわけではない

ケース1

ケース2

著作権に抵触する恐れがあるため削除
以下の人工知能学会の「人工知能のやさしい説明「What's AI」」を参照ください
<http://www.ai-gakkai.or.jp/jsai/whatsai/> から「人工知能の話題」の「フレーム問題」

2007/6/15

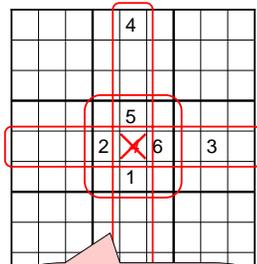
サイエンスカフェ

図の出典:人工知能学会のサイト 9

パズルの例:数独

パズルの例:数独(SUDOKU)

- 9つのブロックに区切られた9×9のマスキからなる
- すでに数字の入っているマスキをヒントにして、空のマスキを1~9の数字で埋める
- **条件:**各行、各列、各ブロックで、同じ数字が重複してはならない



中日新聞の問題では、著作権に抵触する恐れがあるため変更

2007/6/15

サイエンスカフェ

11

数独の解き方

問題&解法の出典:
日経サイエンス2006年9月号

1. 条件の厳しいマスに着目
2. 特定の数字しか入りやうのないマスを探す
3. 可能性を絞り込む
4. 試行錯誤法



日経サイエンス (Scientific American) の問題では、著作権に抵触する恐れがあるため変更

2007/6/15

サイエンスカフェ

12

数独の歴史

ルーツ: ラテン方阵

- 18世紀の数学者オイラーが命名
- $n \times n$ の行列が n 種類の記号で埋まり、各行と各列で同じ記号が重複しない
- ブロックの条件はない

1	2	3	4
4	1	2	3
3	4	1	2
2	3	4	1

$n=4$ の場合

初登場: 1979年

- 74歳のアメリカ人建築家Howard Garnsが考案
- Dell Pencil Puzzles and Word Games 5月号で「ナンバープレース(ナンプレ)」として初登場

2007/6/15

サイエンスカフェ

13

数独の歴史(続き)

日本で初登場: 1984年の月刊ニコリスト4月号

- 「数独(SUDOKU)」はニコリの登録商標(日本のみ)
- 「数字は独身に限る」の略

日本から英国、そして全世界へ:

- 1997年に日本で数独を知った元判事Wayne Gouldが、問題をコンピュータで自動生成して英Times紙に売り込み
- 2005年に英国で大ブーム
- 2006年3月にイタリアで初の世界選手権(22カ国85名)
 - チェコの女性Jana Tylovaが優勝、日本人は4位と9位
- 2007年3月にブラハで第2回選手権(32カ国141名)
 - 日本人は2位、日本チーム優勝

2007/6/15

サイエンスカフェ

14

数独の話題

正しくは「解の個数」(ちなみに問題数はわかっていない!)

問題数は

54億7273万0538個
≒世界人口

手掛かり数の最小は17個

(右図は例)
→16個では解が1つに定まらない

様々な変種

(本資料の最後に添付)

日経サイエンス(Scientific American)の例では、著作権に抵触する恐れがあるため削除
以下の「Scientific American」のサイトから探してください
<http://www.sciam.com/> から「Magazine」で「Past Issues」を選択し、2006年6月(June)を探す。「The Science behind Sudoku」の「Click here for solutions...」の「Solutions」をクリック

2007/6/15

サイエンスカフェ

15

コンピュータと数独

解答プログラム

- 「バックトラッキング」という人工知能の探索手法を用いた比較的簡単なプログラム
- 「制約伝播」を使った改良プログラム

問題作成プログラムも可能

- 「コンピュータより人間の方が作った問題の方が解いて面白い」という意見もある

コンピュータゲームの数独

- 有名ゲーム機(ニンテンドーDSやPSP)用のソフト
- 数独専用ゲーム機やWebサイト上にも存在

2007/6/15

サイエンスカフェ

16

AIの基礎: 定式化と探索

人工知能で問題を解くには?

●問題の定式化

問題の構成要素

- 状態(初期状態や目標状態など)
- オペレータ: 状態を変化させる操作
- 目標検査: 目標状態であるかを検査
- 経路コスト: 操作列をたどるのに必要なコスト

●解の探索

目標に至る様々な操作列を調べ、最良解を発見

2007/6/15

サイエンスカフェ

17

2007/6/15

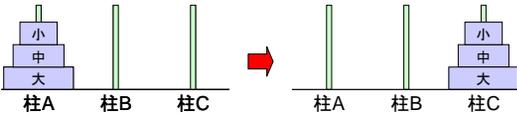
サイエンスカフェ

18

例題: ハノイの塔

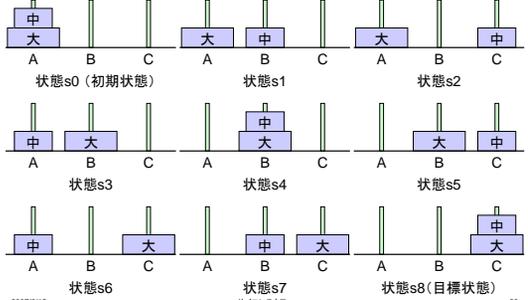
3本の柱A、B、Cがあり、柱Aに大、中、小の3枚の円盤が刺してある。最短の手順で3枚の円盤を柱Cへ移すにはどうすればよいか。ただし以下の条件がある。

- 一度に1枚の円盤しか動かせない
- 小さい円盤の上に大きい円盤を載せられない



簡単化のため円盤は大と中

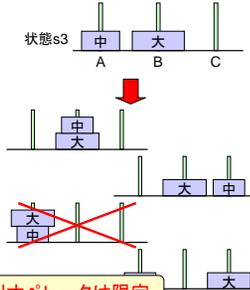
ハノイの塔の定式化(状態)



ハノイの塔の定式化(オペレータ)

円盤1枚を動かす操作

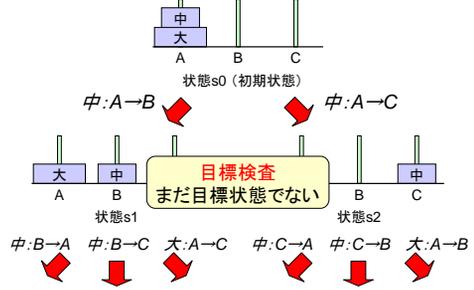
- 中: A → B
- 中: A → C
- 中: B → A
- 中: B → C
- 中: C → A
- 中: C → B
- 大: A → B
- 大: A → C
- 大: B → A
- 大: B → C
- 大: C → A
- 大: C → B



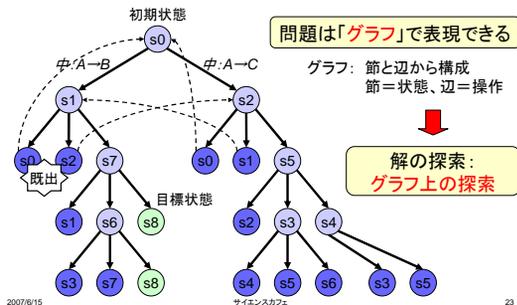
計12種類

現状態と条件によりオペレータは限定

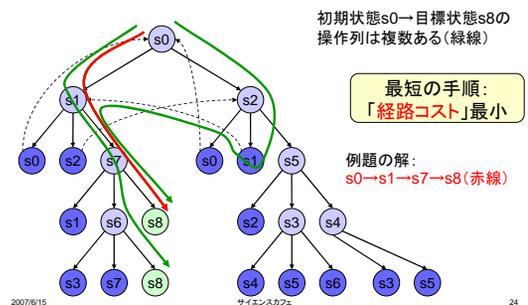
ハノイの塔の解探索



ハノイの塔のグラフ表現



ハノイの塔の解



初期状態s0→目標状態s8の操作列は複数ある(緑線)

最短の手順: 「経路コスト」最小

例題の解: s0→s1→s7→s8(赤線)

コンピュータによる探索

グラフ上の探索方法として、

目標状態に効率良く
たどり着くには？

● 盲目的な探索

- 深さ優先探索
- 幅優先探索
- 深さ制限探索

何の予備知識も使わない

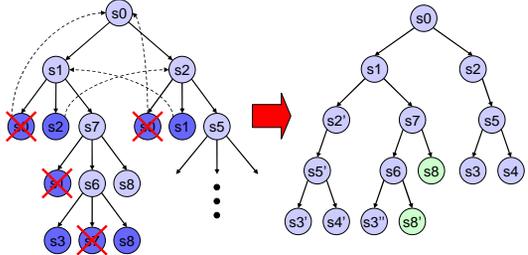
● ヒューリスティック (heuristics: 発見的) な探索

- 山登り法
- 最良優先探索
- A*アルゴリズム
- 分枝限定法

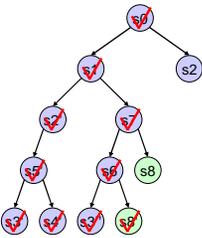
知識 (コスト、経験則) を用いる

探索対象のグラフ

ハノイの塔のグラフの変形版を使用



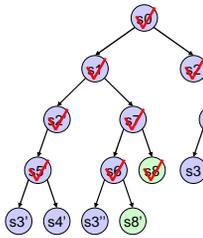
深さ優先探索



回数: 検査ノード 検査待ちノード

- 1回: s0 → s1, s2 (最初に追加)
- 2回: s1 → s2', s7, s2
- 3回: s2' → s5', s7, s2
- 4回: s5' → s3', s4', s7, s2
- 5回: s3' → s4', s7, s2
- 6回: s4' → s7, s2
- 7回: s7 → s6, s8, s2
- 8回: s6 → s3'', s8', s8, s2
- 9回: s3'' → s8'', s8, s2
- 10回: s8' → s8, s2 (目標状態だが最短ではない)

幅優先探索



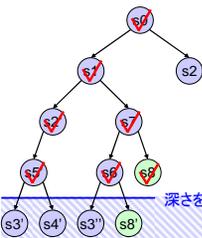
回数: 検査ノード 検査待ちノード

- 1回: s0 → s1, s2 (最後に追加)
- 2回: s1 → s2', s7, s2
- 3回: s2 → s2', s7, s5
- 4回: s2' → s7, s5, s5'
- 5回: s7 → s5, s5', s6, s8
- 6回: s5 → s5', s6, s8, s3, s4
- 7回: s5' → s6, s8, s3, s4, s3', s4'
- 8回: s6 → s8, s3, s4, s3', s4', s3'', s8'
- 9回: s8 → s3, s4, s3', s4', s3'', s8'

目標状態かつ最短だが、
検査待ちが多い

深さ制限探索

ハノイの塔の場合、最短は3回の操作
→4回目以降は調べる必要なし



回数: 検査ノード 検査待ちノード

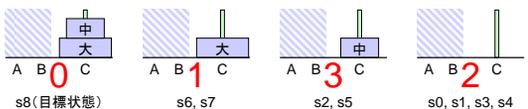
- 1: s0 → s1, s2 (最初に追加)
- 2: s1 → s2', s7, s2
- 3: s2' → s5', s7, s2 (s3', s4'は追加しない)
- 4: s5' → s7, s2
- 5: s7 → s6, s8, s2
- 6: s6 → s8, s2 (s3'', s8'は追加しない)
- 7: s8 → s2

目標状態かつ最短である

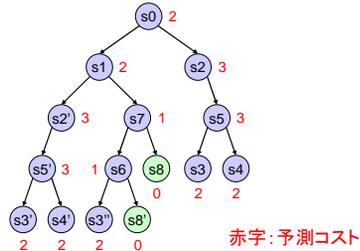
ヒューリスティックス(コスト)の導入

- 人間は経験からある状態の優劣を予測して解探索
 - 例) 将棋のある盤面が有利か (詰めそうか)?
- 現状態から目標状態に至るコストを予測
- ただし予測コストが正しいとは限らない

ハノイの塔の場合: 柱Cだけに注目



予測コストをつけたグラフ



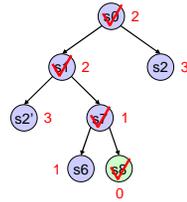
赤字: 予測コスト

2007/6/15

サイエンスカフェ

31

最良優先探索



回数: 検査ノード 検査待ちノード

- 1: s0 s1(2), s2(3)
- 2: s1 s2'(3), s7(1), s2(3)
s7(1), s2'(3), s2(3)
- 3: s7 s8(0), s6(1), s2'(3), s2(3)
- 4: s8 s6(1), s2'(3), s2(3)

コストでソート

赤字: 予測コスト

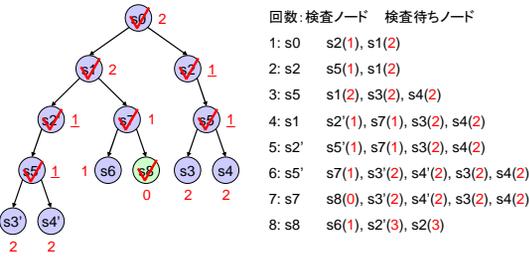
2007/6/15

サイエンスカフェ

32

最良優先探索(コストの誤りを含む)

s2, s5のコストを1と予測



回数: 検査ノード 検査待ちノード

- 1: s0 s2(1), s1(2)
- 2: s2 s5(1), s1(2)
- 3: s5 s1(2), s3(2), s4(2)
- 4: s1 s2'(1), s7(1), s3(2), s4(2)
- 5: s2' s5'(1), s7(1), s3(2), s4(2)
- 6: s5' s7(1), s3'(2), s4'(2), s3(2), s4(2)
- 7: s7 s8(0), s3'(2), s4'(2), s3(2), s4(2)
- 8: s8 s6(1), s2'(3), s2(3)

2007/6/15

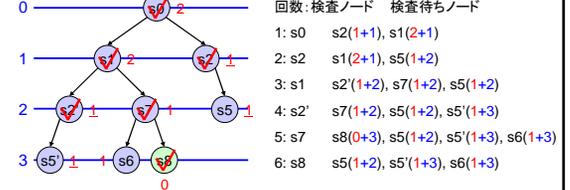
サイエンスカフェ

33

A*アルゴリズム

予測コスト: 現状状態から目標状態に至るコスト
→初期状態から現状状態に至る履歴コストも考慮すべき

深さ



回数: 検査ノード 検査待ちノード

- 1: s0 s2(1+1), s1(2+1)
- 2: s2 s1(2+1), s5(1+2)
- 3: s1 s2'(1+2), s7(1+2), s5(1+2)
- 4: s2' s7(1+2), s5(1+2), s5'(1+3)
- 5: s7 s8(0+3), s5(1+2), s5'(1+3), s6(1+3)
- 6: s8 s5(1+2), s5'(1+3), s6(1+3)

2007/6/15

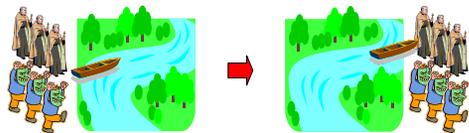
サイエンスカフェ

34

他の例題: 宣教師と人食い人種

宣教師3人と人食い人種3人が、川の左岸から右岸に1隻のボートで無事に渡るにはどうしたらよいか。

- ボートには一度に2人までしか乗れない
- 宣教師の数が人食い人種より少なくなると宣教師は食べられてしまう

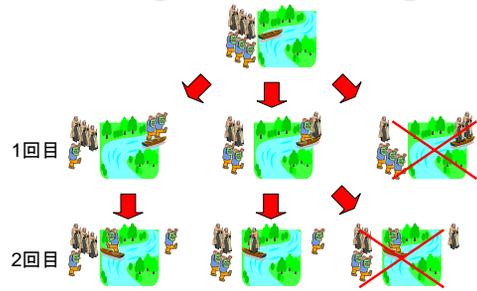


2007/6/15

サイエンスカフェ

35

宣教師と人食い人種の解探索



11回でできる

2007/6/15

36

コンピュータ将棋

コンピュータ将棋の概要

- 背景
 - 人工知能の一分野として研究開発
 - チェスなど比べて開発は後発
 - 1950年前後からShannonらがチェスの研究開始
 - 1997年にDeep Blueが世界チャンピオンに勝利
 - 詰め将棋に限れば、人間を凌駕する実力
- 歴史
 - 1980年代にコンピュータ将棋のゲームが出回る
 - 1990年12月に将棋会館で第1回コンピュータ将棋選手権(今年2007年は第17回)
 - 2006年の時点での棋力はアマ5段レベル

アマ竜王 vs. 激指

- 2006年3月8日に工学院大学新宿キャンパスにて情報処理学会第68回全国大会の企画
- 清水上 徹(NEC、2005年アマ竜王) vs. 激指(ゲキサン、2005年選手権優勝)



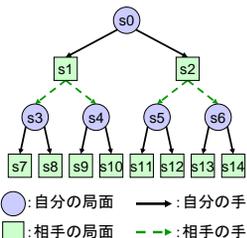
- 棋譜の入手先:
コンピュータ将棋協会
<http://www.computer-shogi.org/>
- Kifu for Java の入手先:
榊木の将棋ソフトウェア
http://homepage2.nifty.com/kakinoki_y/

プロ棋士 vs. コンピュータ将棋

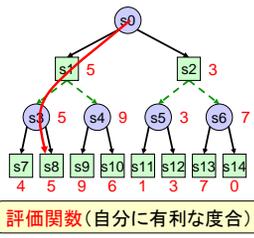
年月	プロ棋士	コンピュータ将棋	備考
2003年5月	× 勝又清和5段	○ IS将棋(優勝)	飛角落ち
2004年5月	× 勝又清和5段	○ YSS(優勝)	飛車落ち
2005年5月	× 勝又清和5段	○ 激指(優勝)	角落ち
2005年9月	○ 橋本崇載5段	× TACOS	辛勝
2005年10月	日本将棋連盟の許可なく棋士とコンピュータ将棋との公開対局を禁止		
2007年3月	○ 渡辺明竜王	× Bonanza (2006年優勝)	

基本手法: ゲーム木探索

- ゲーム木



- Min-Max探索法



評価関数(自分に有利な度合)

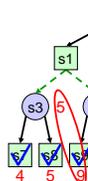
将棋の場合は「駒の損得」「駒の働き」
サイエンス: 「王の安全度」などから決める

基本手法: 枝刈り(αβ法)

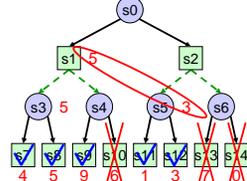
将棋の探索範囲は10の226乗(1局面平均可能手数80、全局面平均手数115)

探索範囲の削減→枝刈り

- βカット



- αカット



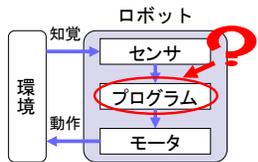
コンピュータ将棋の工夫点

- 激指 (2005年優勝)
 - 実現確率探索アルゴリズム
プロ棋士の棋譜から統計データを抽出して局面の実現のしやすさを計算し、探索の指標に利用
→ 実現しそうな局面を中心に探索
- Bonanza (2006年優勝、初出場初優勝)
 - 評価関数の自動生成
10,000以上のパラメータを持つ評価関数を、人手ではなく自動チューニング
 - 従来と異なる発想と環境 → 指し方に惹かれるものあり?

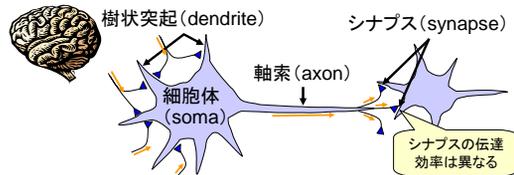
生物に学んだ機械学習

機械学習

- 機械 (コンピュータ) が自らの経験から将来使えそうな知識を発見・獲得すること
- 手法
 - 決定木学習
 - ニューラルネットワーク
 - 遺伝的アルゴリズム
 - 強化学習
 - データマイニング 等

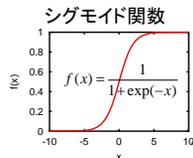
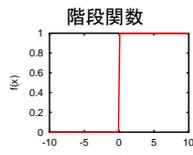
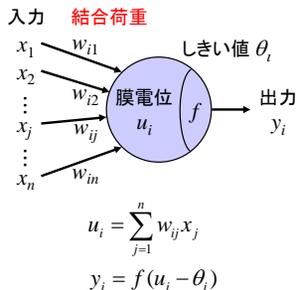


神経細胞 (ニューロン)



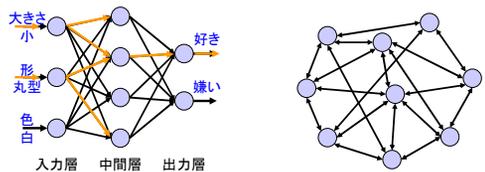
- 膜電位:** 細胞外部の電位を0としたときの内部の電位
- 入力信号がないと **静止膜電位** (約-70mV) を維持
 - 入力信号がしきい値を超えると **発火** (膜電位の急上昇) → 軸索に出力パルスを発生

ニューロンモデル



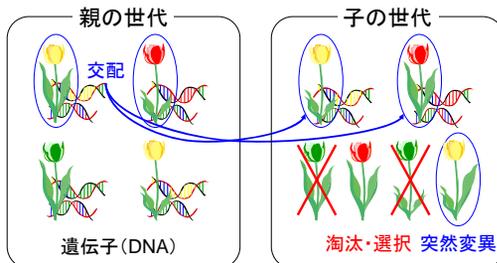
ニューラルネットワーク

- 階層型ネットワーク
- 相互結合型ネットワーク



ニューラルネットワークの学習:
ニューロン間の **結合荷重を変更** → 所望の出力を獲得

生物の進化

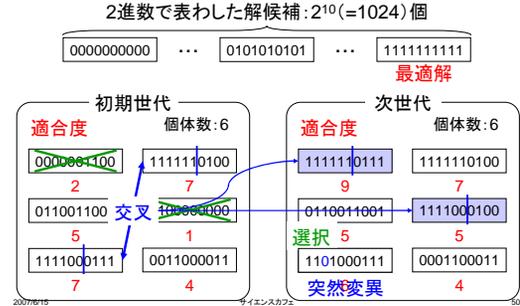


2007/6/15

サイエンスカフェ

49

遺伝的アルゴリズム

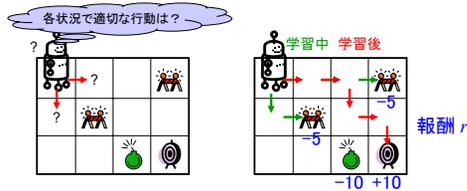


2007/6/15

サイエンスカフェ

50

強化学習 (Q学習)



状態 s で行動 a を行う価値「行動価値関数 $Q(s, a)$ 」を更新

$$Q(s, a) \leftarrow (1 - \alpha) Q(s, a) + \alpha [r + \gamma \max_{a'} Q(s', a')]$$

学習率 α 割引率 γ

2007/6/15

サイエンスカフェ

51

第12回サイエンスカフェ 人間 vs. コンピュータ! どちらが賢い?

【連絡先】

名古屋市立大学 システム自然科学研究科 渡邊裕司
yuji@nsc.nagoya-cu.ac.jp, 052-872-5037
<http://www.nsc.nagoya-cu.ac.jp/~yuji/>

2007/6/15

サイエンスカフェ

52

参考記事

- 「数独の科学」、J.P.デラヘイ、日経サイエンス、2006年9月号、pp.52-60
- 「コンピュータが将棋を制する日」、情報処理、2005年7月号、pp.809-822
- 「コンピュータ将棋の新しい動き」、情報処理、2006年8月号、pp.873-892
- 「知能ロボットの技術: 人工知能からのアプローチ」、情報処理、2003年11-12月号、pp.1111-1156、pp.1211-1252
- 「社会に向き合うエージェントシステム」、情報処理、2007年3月号、pp.227-285

2007/6/15

サイエンスカフェ

53

主な参考書 & 参考Webページ

- 「IT Text 人工知能」、本位田真一 監修、オーム社、2005
- 「エージェントアプローチ 人工知能」、S.Russell・P.Norvig著、古川康一 監訳、共立出版、1997
- 人工知能学会、<http://www.ai-gakkai.or.jp/jsai/>
- Scientific American、<http://www.sciam.com/>
- コンピュータ将棋協会、<http://www.computer-shogi.org/>
- ウィキペディア、<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

2007/6/15

サイエンスカフェ

54