

人工知能とは

情報学研究科 教授 神田崇行

kanda@i.kyoto-u.ac.jp

考えてみよう

人工知能とは何か

- 近年、「人工知能」について、メディアで様々な報道がされています。
- どういう報道を聞いたことがありますか？
- みなさんは、どういうものだと思いますか？
- すでに、何ができるようになっていていると思いますか？

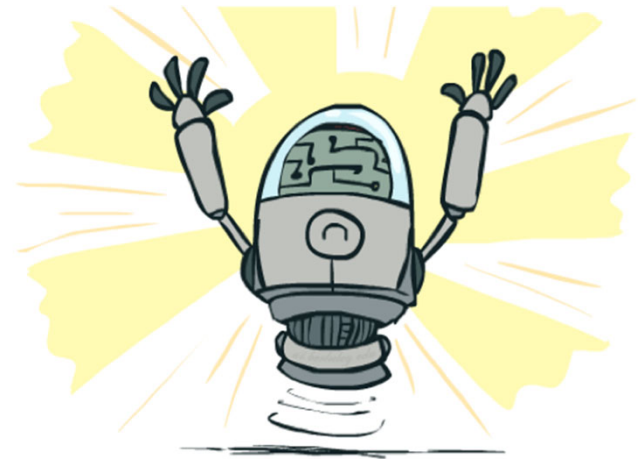
人工知能とは何か

- 専門家の定義の例
 - 人工的に作られた、知能を持つ実体。あるいはそれをつくらうとすることによって知能自体を研究する分野
 - 「知能を持つメカ」ないしは「心を持つメカ」
 - 人工的に作った知的なふるまいをするもの
 - 人間の頭脳活動を極限までシミュレートするシステム
 - 究極には人間と区別がつかない人工的な知能のこと
- 様々な定義があるが、おおむね「人間の知能」の再現・理解や超越を目指す研究、そこから出てきた技術のこと

人工知能にできること、できないこと

以下のもので現在すでにできることはどれでしょうか？

- 卓球を上手にプレイする？
- クイズ番組にでて人間相手に勝負する？
- 曲がりくねった山道を上手に運転する？
- 四条通りを安全に運転する？
- ウェブページから今週のお買い得品を買う？
- 近所のスーパーで今週のお買い得品を買う？
- 新しい数学の公式を発見し、証明する？
- 1時間ほど他の人と上手に会話する？
- 手術をする？
- 洗濯物をたたむ？
- 会話において中国語を英語にリアルタイムで翻訳する？
- 意図して、面白い話を作る？



メディアの作るイメージ

- 世間では、なんでも「人工知能」でできる、というイメージができつつあるが。。
 - すごいAI、人の将来を脅かすAI（職を奪う、等）

ニュース性

- 「人工知能で、〇〇ができるようになりました」
「人工知能で、〇〇の問題を解決」
- 「いまだ××さえもできません」
 - ニュースにならない



- 人々の興味を引く内容が広まる

この講義の目標

× 人工知能の「プログラマ」

- アルゴリズムを言われて実装する
- 実装の数をこなす
- 「手を動かしている方が楽しい」というのも、もちろんわかりますが。。。

○ 人工知能の「設計者」「開発者」「研究者」

- 実装に必要な多様な知識を持つ（可能性、限界も）
- アルゴリズムを作る
（選ぶ、改良する、新たに考案する）
- 新しい人工知能の技術を作り出す！

学習の目標

- いわゆる「人工知能」の様々な技術について、
 - アイデア(背後にある考え方)を理解する
 - 実際に計算できる
 - 応用できるようになること。

情報(工)学の専門家として、今できること、できないことを理解する

人工知能とは何か？

～人工知能の研究の歴史から～

黎明期

- 計算速度や記憶容量が限られたコンピュータ黎明期においては, チェスやチェッカーなどのゲームが応用の対象となった.
 - J. von Neumann(ノイマン型コンピュータ)が1944年の著書 “Theory of Games and Economic Behaviors”で, 二人ゲーム探索のMin-Max法を提案.
 - 1950年に, Shannon(情報理論を確立)によるチェスに関する最初の論文.
 - 当時のコンピュータでは, 深く先読みをすることができなかったので, その都度, 盤面を見て, 形成を判断する評価関数が研究された.
 - 1943年には, ニューラルネットワークの基礎となるモデルが提唱された .
 - 1947年, サイバネティクスが提唱される. 生物の動作や情報処理を神経回路網に基づく制御系としてモデル化.
 - 情報と制御の観点からは, 生体システムも人工システムも同じとした.
- 人間機械論や頭脳と計算機の関係が盛んに議論された.

第一次AIブーム（1950年代後半～）



Herbert Simon
ノーベル経済学賞（1978年）

*Machines will be
capable, within
twenty years, of
doing any work a
man can do.*

20年のうちには、人が
できる仕事は何でも機
械ができるようになる

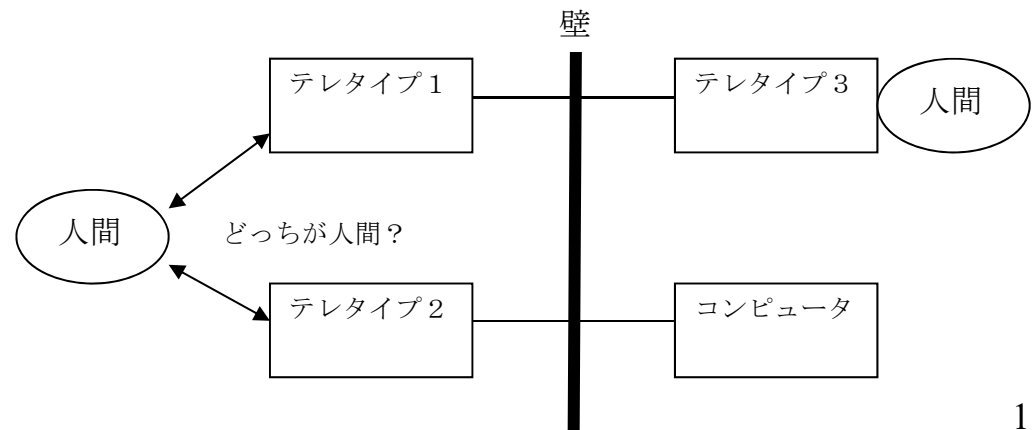
第一次AIブーム

「推論」と「探索」の時代（考えるのが速いから解ける）

- 1956年,米国ダートマス大学で開かれた会議が有名.
 - 世界最初のコンピュータからわずか10年後
 - 研究者たちの大勢の意見は,「人間の知的活動は機械で代行できる,その最良の道具はデジタル計算機」というもの. 人工知能という用語が確立.
- ゲーム, 定理証明, 知能ロボットが研究対象とされる.
 - 1957年に, パズルなどを解く一般問題解決器(GPS)が提案される.
- 1960年代に入ると, パーセプトロンと呼ばれるパターン認識を行うニューロンに似た素子が提案された.
- 人工知能研究に対する当初の態度は楽観的.
 - 「10年以内にチェスのチャンピオン」「20年で人間のやることは何でもできる」
 - しかし予想に反して, 人工知能システム実現の試みはことごとく失敗.
 - 出来ないことが見えてきた. たとえば, パーセプトロンは排他的論理和が学習できない. 米国政府は, 機械翻訳は成果の見込みが無いと報告書
- 結局(この時点の計算機では)トイプロBLEMしか解けなかった.
→冬の時代へ（1960年後半から急速に鎮静化）

チューリングテスト(Turing Test)

- 「計算機では智能が実現できない」と主張する人達と議論するために Alan Turingが1950年の”Computer Machinery and Intelligence”と題する論文で 考案した思考実験.
- チューリングは “智能を持つ” ことに対して客観的な定義を示した.
 - テレタイプ(チャット端末)を2台用意する. 1台の向うには人間が, もう1台はコンピュータに接続されている. この2台に向かって実験者が質問をタイプする.
 - 実験者に, どちらの出力が人間のものでどちらの出力がコンピュータのものか判らなければ, つまりプログラムが人間に化けることに成功したなら, このコンピュータプログラムは智能を持っている.
 - 人間はどのような質問をしてもよい.
 - テレタイプ通信に限ることで, 記号処理に問題を限定.



ELIZA

- 1965年にELIZAと呼ばれるプログラムが発表され衝撃を与えた。
 - 簡単な構文的操作をするだけで自然な会話をするプログラム。相手側の文章の一部を巧みに借りることによって、どのような会話でもこなす。
- ELIZAが知的なシステムと言えるだろうか。
 - 人間のように見えることが知的であると言うなら、ELIZAは十分に知的。
 - 人間の合理的な行動を生じさせる計算過程が知的であると言うなら、ELIZAにはそのような計算過程は組み込まれていない。
 - どちらも重要な要素であるが、人工知能は主に後者を扱う。

考えてみよう

中国語の部屋

- 「中国語の部屋」の設定（J. R. Searle、1980年）
 - － 部屋の中に、中国語を知らない人。でも、外からの中国語で書かれた紙片を渡すと、正しい答えが書かれて返ってくる
 - － 部屋の外から観測すると、この人物は、中国語を完全に理解しているように見える
 - － 実は、この人物は中国語は全く読めない。回答の仕方（中国語の質問に対して完全な変換表）のマニュアルのルール通りに返答を書いているだけ。
- 皆さんは、これをコンピューターが行ったら、「知能がある」、「理解している」、と思いますか？

強いAIと弱いAI

- Searleによる「中国語の部屋」の議論
 - － チューリングテストに合格したとしても知能があるとは言えない.
 - － 「強いAI」と「弱いAI」を区別する哲学的な議論を始めた
 - － どうやっても「強いAI」はできないのではないか？との問いかけ
- 強いAI
 - － 人と同様の知性（汎用の知性）、心的能力・意識を持つもの
 - － 人間の心や脳の働きは情報処理であり、思考は計算である、という立場（これを、AIに実現できる、という考え）
- 弱いAI
 - － 人の思考を表面的に模倣しているもの（限定された知的情報処理によって特定の問題解決をするが、人のような意識や思考を持っているわけではない）
 - － 道具としてのコンピュータ

第二次AIブーム（1970年代～）

「知識」の時代

- 計算機の高性能化
 - － コンピュータは過去20年間に1000倍も高速化。（新幹線は1.5倍）
 - － チェスは探索を中心とする計算指向の研究に移る。ひたすら深く読むことで人間の専門家に迫るまでに進化する。
 - － 新たな計算機環境を利用して人工知能研究が再興
- 知覚認識における知識の役割を示すフレーム理論。（1975年, Minsky）
- 知識工学(knowledge engineering)が提唱される（1977年）。
 - － 豊富な記憶容量を背景に知識処理研究が勃興。（Knowledge is Power!）
 - － 人間の専門知識を記述するための知識表現とその高度な利用を行なう推論技術が、数々のエキスパートシステムを生み出す。医学、教育、評価支援、診断、設計などの分野を対象として多数開発される。
 - － オントロジー、意味ネットワーク。一般常識をすべて書こう、とする試みも。
 - － チェスも定石や終盤データベースなど、膨大なデータ処理を行うようになる。
- 論理型言語（Prolog、Common LISP）
 - － 日本では、第五世代コンピュータの研究開発がPrologを用いて行われた。
- 知識は本当に書ききれぬのか？ →1995年ごろから悲観的な見方が広がる

フレーム問題 (Frame Problem)

- Dennettの例（思考実験）

- 洞窟の中にロボットを動かすバッテリー、その上に時限爆弾

知識1: ロボットはバッテリーを取ってこなければバッテリー切れで動かなくなる

上記の「知識1」だけを与えたロボットは、どうなるでしょうか？

このロボットは、他にどういう知識を持つべきでしょうか？

フレーム問題 (Frame Problem)

- Dennettの例（思考実験）
 - 洞窟の中にロボットを動かすバッテリー、その上に時限爆弾
 - ロボットはバッテリーを取ってこなければバッテリー切れで動かなくなる
 - ロボット1号： バッテリーと一緒に時限爆弾を取ってきてしまう →爆発
 - ロボット2号： 改良型 「自分が何かをしたら副次的に起きることも考慮 →バッテリーの前でありとあらゆる事象を考え始める。「動かしたら壁の色は変わるか？」「天井は落ちないか？」 →時間切れ
 - ロボット3号： さらに改良 「無関係なことは考慮しないように」 →何が関係あるか、を思考し始める。目的に関係ないこと、も無限にあるため、洞窟に入る前に動作を停止。失敗。
- 人間は日常生活において関連のありそうな範囲を限定して思考している。この範囲を限定することは計算機では容易に実現できない。
- 世界の一部しか変化しないにもかかわらず、大量の不変の枠組(フレーム)を記述しなければならない。この記述(と推論)の量が膨大になる。
 - 行為の前提条件の記述を問題にする限定問題 (qualification problem)
 - 行為の結果の予測を問題にする波及問題 (ramification problem)

人工知能の認知観の変遷

古典的計算主義

- 人工知能の認知観にとって鍵となるのは表象(representation).
 - 現在の瞬間に知覚してはいない事物や現象について, 心に描く像.
 - 何かを表す働きをするものはすべて表象. 文, 絵, 図, グラフなど.
 - 「地球がまるいと信じる」心的状態にも表象が含まれる.
- 表象は規則に従って要素を組み合わせる構文的構造を持ちうる.
 - 言語はそのような構造をもつ.
 - 計算機は表象をその構造に基づいて形式的に操作する.
 - 計算機に人間並みの知能をもたせようという人工知能の根底には, 知能を構文的表象の計算操作とみなす認知観がある.
- 古典的計算主義は, ゲームの研究やエキスパートシステムの開発などで成果をあげた.
 - しかし, 機械翻訳や常識推論などでは思ったほどの成果があがらず, 1980年代になると次第に行き詰まりを見せ始めた.

人工知能の認知観の変遷

コネクショニズム

- 1980年代には, 古典的計算主義に対抗してコネクショニズムが台頭.
- 認知を表象の計算と捉える(古典的計算主義と同じ).
 - しかし, 計算される表象を, 構文的に構造化されたものとはみなさない.
- コネクショニズムはニューラルネットワークに基づく認知モデル.
 - 表象とみなされるのはニューロン群の興奮パターン.
 - この興奮パターンは、複合的な内容を表象するとき, その各部分をパターン全体に分散して重ね合わせる「分散表象」という形をとる.
 - 興奮パターンをシナプスを介して次々と別の興奮パターンに変形していくことにより, 認知が行われる.
 - この変形は構文的構造に基づく形式的操作ではなく, 力学的過程.
- コネクショニズムは知覚や直観的判断において成果をあげた.

人工知能の認知観の変遷

相互作用主義

- 1990年代になると、相互作用主義というさらに新たな認知観が台頭.
- 古典的計算主義とコネクショニズムは扱う表象の性格に違いがあるものの、認知を表象の計算とみなす点では同じ.
- 相互作用主義によると、認知にはそもそも表象は不要であり、身体や環境との直接的な相互作用だけで成立する.
 - 脳は表象を介して身体や環境と関係するのではなく、そのような表象を介さずに直接的に関係する.
 - 脳は身体や環境から独立にそれ自体で認知を営むのではなく、身体や環境に埋め込まれ、それらとの相互作用によって認知を創発させる.
- 表象を用いないロボット研究や、脳と身体、環境の相互作用を力学系理論で記述するアプローチが支持を得た.

シンボルグラウンディング (Symbol Grounding)

- ・ 「記号」とそれが「意味するもの」をどうやって結びつけることができるか？
(それができないから、真の人工知能は実現できないのではないか？)
 - － 形式的に扱う対象であるシンボルを, その実体に対応させる問題.
 - － 認識(実世界の入力を記号に変換する)の逆問題.
- ・ シンボルには恣意性がある.
 - － 日本で「猿」というシンボルで呼ぶ動物のことを英国では“monkey”という.
 - － それ自体, 意味がないシンボルを実体に結び付けるものは何か.
- ・ 人間はシンボルを容易に意味(実世界の対象)に対応させることができる.
 - － 小説の文章を読んで情景を思い浮かべる.
 - － 「シマのあるウマ」→ 話を聞いたら、初めて「シマウマ」をみても認識できる
- ・ コンピュータに外部から記号を与えていたのではグラウンディングできない.
システムが外界との相互作用からシンボルを創発する必要がある.
 - － e.g. 「コップ」を理解するには、触れたり、割ってしまったり、という経験が要る

認知科学・脳科学

- 人工知能の根底にある認知観
 - － 心の諸状態を, 行動傾向に還元しようとする「行動主義」から
 - － 心的状態を, 一定の機能を担う内部状態として捉える「認知主義」への転換.
- この認知観に基づいて, 人間の認知一般を研究する認知科学が誕生.
 - － 「認知科学」という名称が用いられるのは1970年代に入ってから.
 - － 認知科学は人工知能研究を中核として, 哲学や言語学、心理学などの認知に関わる諸学問を結集して, 1950年代後半には実質的に誕生していた.
 - － 1990年代から、脳機能を直接計測するブレインイメージングの発展に伴って、さらに、脳科学へと発展(派生)していった.

第三次AIブーム

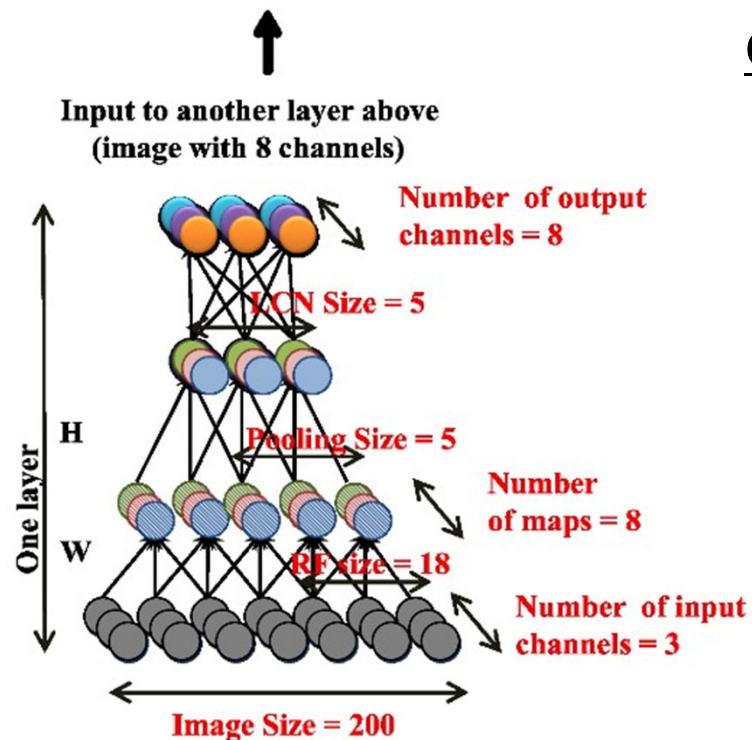
ビッグデータと機械学習の時代

- 計算機の高性能化
 - クラウド、GPU計算
- ビッグデータ
 - インターネットの普及、センシングも発展(カメラ、GPSはスマホに内蔵)
→シンボルからデータ依存へ (e.g. (記号論理の)推論→確率的推論)
- チェス(1997年)、将棋(2013年)、碁(2016年)で人間のチャンピオンに勝利
 - 計算速度の向上、クラウド計算。アルファ碁は1202のCPUと176のGPUを利用
- 米国の人気クイズ番組で人間のチャンピオンに勝利 (2011年IBMのWatson)
 - 知識処理の技術. 本・辞典など2億ページ分をスキャンして取り込んだ.
- ディープラーニング (深層学習)
 - 特徴表現の学習 ... 特徴量の研究開発からの解放
 - 大量のラベル付きデータ(Webページや、過去の認識処理(音声検索)の結果)
 - 例えば、音声認識では、従来は辞書や文法を手作業で用意し、コーパスから学習していた
 - 2012年 画像認識の世界的なコンペティションで初参加の大学が圧勝
 - 2012年 猫の画像認識 (Google)
→ 様々な応用 (e.g. 車の自動運転)

Googleの猫(2012)

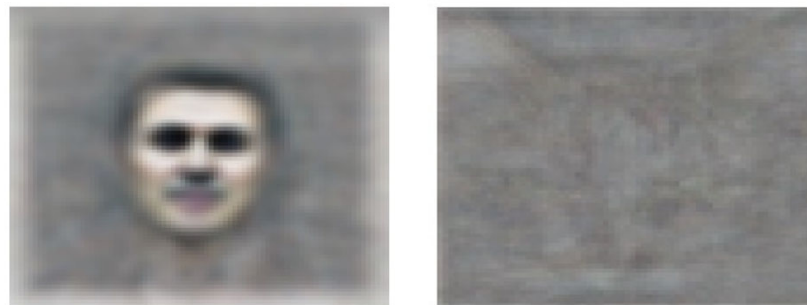
ディープラーニング(深層学習)

- 画像処理は、従来、手作業で特徴量を作成していた。認識率が1%改善するだけでもすごい。
- ディープラーニングにより10%以上の改善。なぜ上手く行くのか？



Googleの猫:

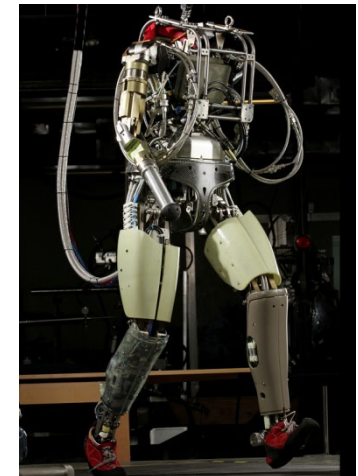
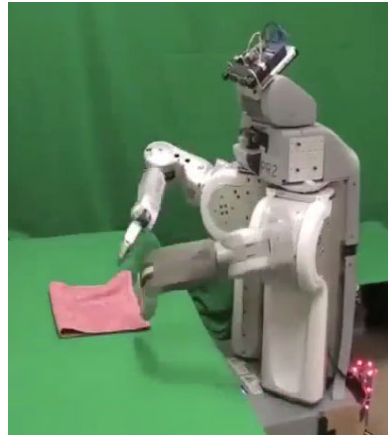
YouTube動画から、ランダムに取り出した
200x200ピクセルの画像1000万枚
入力は各画素のRGBの値
1000台のコンピュータで3日間学習



中間層のニューロンは非常に高度な特徴量に対応？

ロボット

- 知能ロボット研究は人工知能研究から派生（機械工学との融合）
- コンピュータ上で上手く動いたものも実世界ではうまく動かない
- 様々な応用対象
 - 車、工場（自動化）、災害救助、サッカー、など
- この講義では：
 - 機械的な側面は扱わない
 - プランニング、合理的な行動は、ロボットの知的行動の基礎そのもの



Images from UC Berkeley, Boston Dynamics, RoboCup, Google

「チラシ配り」ロボット



「まっすぐ行って、届くところで手を出す」という行動をした場合
・・・ あまり上手く行かない

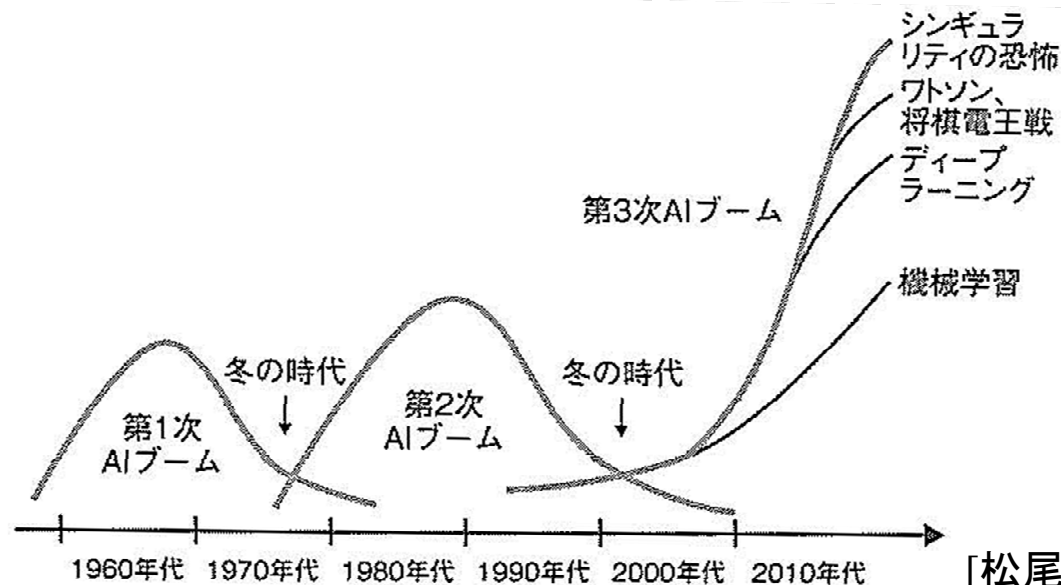
「チラシ配り」ロボット



人間の上手い人の行動を模して斜め前方からタイミングよく近づいていくように
来訪客の位置を認識し、移動進路を予想して、プランニングをしている

第三次AIブーム

- 今回も「ブーム」で終わる？
- 現状
 - 人工知能でなんでもできる、○年後に人間の仕事の多くがAIに置き換わる、という予測（過去のブームでも、類似の予測）
- 過去から学ぶ
 - 常に夢が先行し、期待感が高まるものの、徐々に思ったほどのことはできないことが分かって、ブームが終わっていった。
 - ただし、ブームの後もアルゴリズムは残った。（計算機が高性能化すると役に立った）。



[松尾2015]より

人工知能とは何か

まとめ

人工知能とは何か

- 人工知能(Artificial Intelligence: AI)は, 知的な計算機システムの設計に関係した計算機科学の一分野.
 - 知的な計算機システムとは, 我々が知的と感じる人間の行動(言語理解, 学習, 推論, 問題解決など)を代行するシステム.
 - 知能の計算モデルを構成することを目的とする
- 人工知能の観察の対象は人間の知的な活動.
 - 現状の技術では実現が難しい人間の知的な振る舞い(知覚, 推論, 行動)を観察し, 計算過程のモデルを構築しコンピュータ上で実行する.
 - 人工知能研究の歴史はコンピュータ技術の進歩と同期: コンピュータ上に実現された応用システムの成功が, そのモデルの意義を表す.
- 「知性の本質がシステムの働きを洞察することにより解明される」という考え方が主流

人工知能とは何か

- ・ 人工知能の面白さ(難しさ)はモデル化に方法論的縛りがないこと.
- ・ 脳は(生理学的には)神経回路網で構成される.
 - 例えば,「エアロビクスを習得する脳の振る舞い」は, 神経回路のメカニズムである程度説明することができる.
- ・ しかし, 人工知能の研究では, 脳が行う知的な活動の全てを神経回路のメカニズムで説明することを求めない.
 - 「明け方にプリンタトナーを探している人の振る舞い」を神経回路網で説明するのは難しい.
 - 「今日の発表の為には資料のプリントアウトする必要がある」, かつ「プリンタのトナーがなくなっている」, 従って「明け方にプリンタトナーを探している」と論理を用いて説明する方が容易.
- ・ 人工知能には, 人間の知的な活動を説明する様々なモデルがあり, 用途に応じて使い分けが行われている.

人工知能とは何か

- ・ どのようなモデルが知的な活動を表わす良いモデルか.
 - 実は人工知能ではモデルの科学的妥当性(人の知能に当てはまるかどうかについて)はそれほど厳密に議論されない.
 - 心理学のように実験で検証することは要求されない.
 - このため, 様々な発想とアイデアが歓迎される.
- ・ モデル化の結果としてコンピュータ上に実現された応用システムの成功が, そのモデルの意義を表すものと考えられている.
 - 人工知能研究の歴史はコンピュータ技術の進歩と同期している.
 - モデルを考案するだけでなく, コンピュータ上で実現することが求められる.

来週以降の講義について

配布資料について

- 講義での利用を目的として作成した資料です
- 以下の著作権法の例外規定に基づいて、複製したコンテンツを含みます
 - 著作権法 第三十五条（学校その他の教育機関における複製等）
学校その他の教育機関（営利を目的として設置されているものを除く。）において教育を担任する者及び授業を受ける者は、その授業の過程における使用に供することを目的とする場合には、必要と認められる限度において、公表された著作物を複製することができる。ただし、当該著作物の種類及び用途並びにその複製の部数及び態様に照らし著作権者の利益を不当に害することとなる場合は、この限りでない。
- 著作権の問題が起きうるため、配布資料の無断での複製・再配布はしないようにお願いします

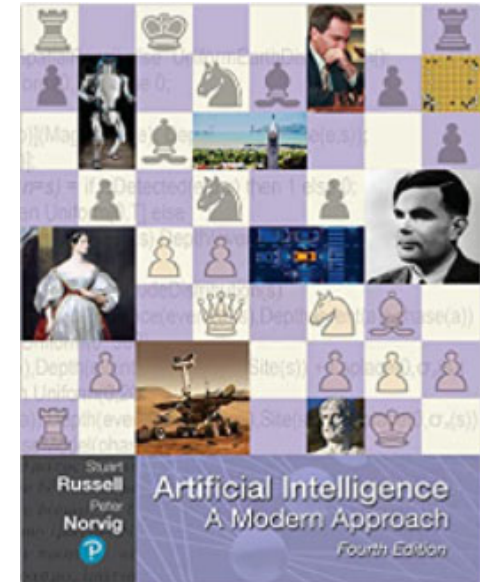
PandAでの講義資料のダウンロード



- ・毎週追加します。各回の講義後に、次回分をダウンロードして予習してください。
- ・履修登録したのに「人工知能」のサイトが見えないようでしたら追加しますので、学生番号, 全学メールアドレス, または, ECS-IDをメールでお知らせください。
(宛先: kanda@i.kyoto-u.ac.jp)

教科書・参考書

- 必要条件ではないですが、一歩先の学習のために参考書を指定します
 - S. Russell and P. Norvig, Artificial Intelligence A Modern Approach, 4th edition, 2020.
(3rd edition, global editionでも問題ありません)



- 講義のスライドを電子的に配布します

[PandA](#)の「人工知能」の講義に参加登録してください

事前にダウンロードして予習しておくこと。紙の資料は配布しません。

※ Dan Klein先生と Pieter Abbeel先生が「CS188 Intro to AI at UC Berkeley」のために作成した講義スライドが提供されており、世界各国での標準になりつつあります。これに準拠しています。

- 予習・復習を前提とします
- 期末試験は、次回以降の講義スライドを出題範囲にします

成績評価について

- 平常点 40点（レポート 4回）
- 期末テスト 60点
- レポートは講義中に出します

オフィスアワーについて

- 基本的には、講義直後にご質問下さい。必要な場合には講義時間外でも質問を受け付けます。メールでアポイントをとった上で訪問ください。総合研究7号館310号室です。

合理的な決定

「合理的」という言葉は、人工知能の文脈では、厳密に以下の意味を持つテクニカルターム:

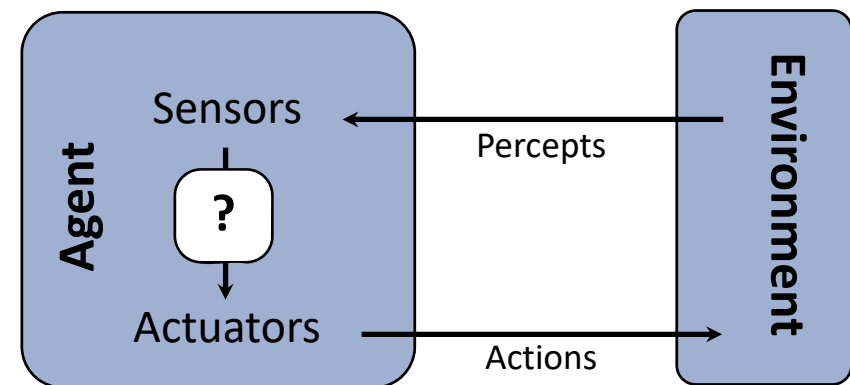
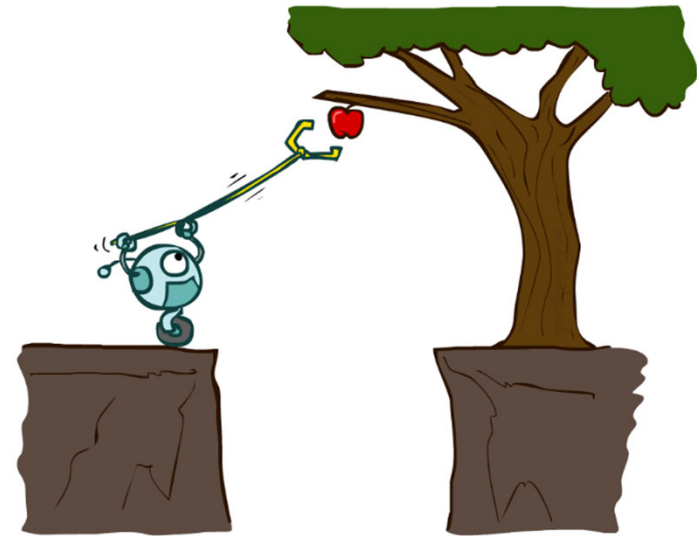
- 合理的 = 事前に定められたゴールを最大に達成する
- 合理性は、意思決定だけを考慮する (背後のプロセスは考慮しない)
- ゴールは、結果の「効用 (utility)」として表現される
- 合理性とは、期待効用の最大化のこと

この講義のより正確なタイトルは:

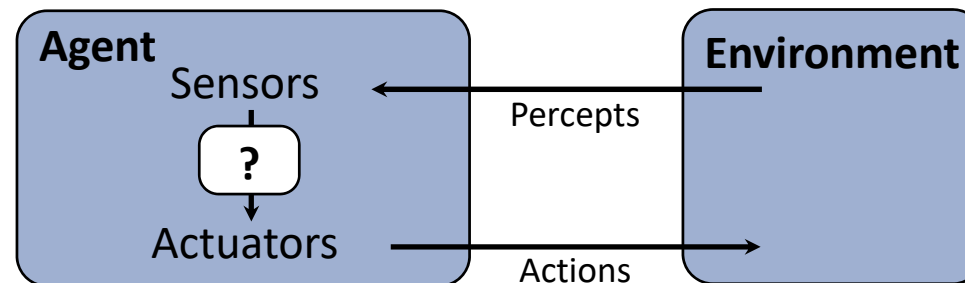
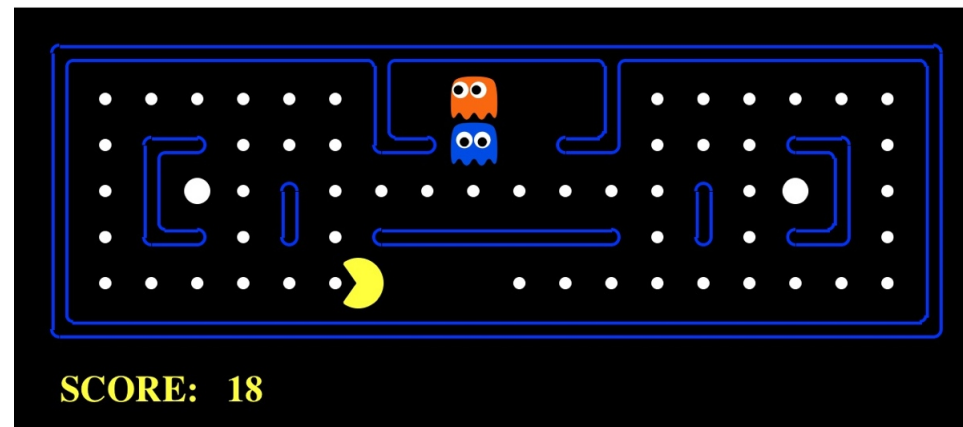
計算的合理性 (Computational Rationality)

合理的なエージェントを作るには？

- エージェントとは知覚し、行動する存在
- 合理的なエージェントは(期待) 効用 を最大化するような行動を選択する
- 知覚対象, 環境, 行動空間 の特性によって、合理的な行動を選ぶための手法がきまる
- この講義 では:
 - 様々な種類の問題に対する一般的な人工知能の手法
 - いつどのようにして、新しい問題が、既存の手法によって解かれるのか、認識できるような学び

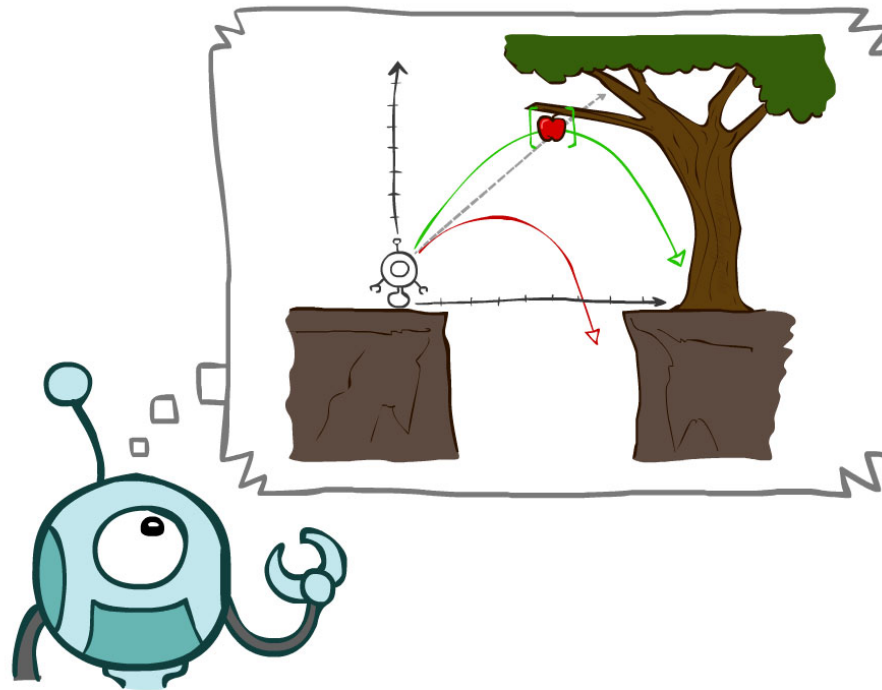


「パックマン」を題材にエージェントを考える



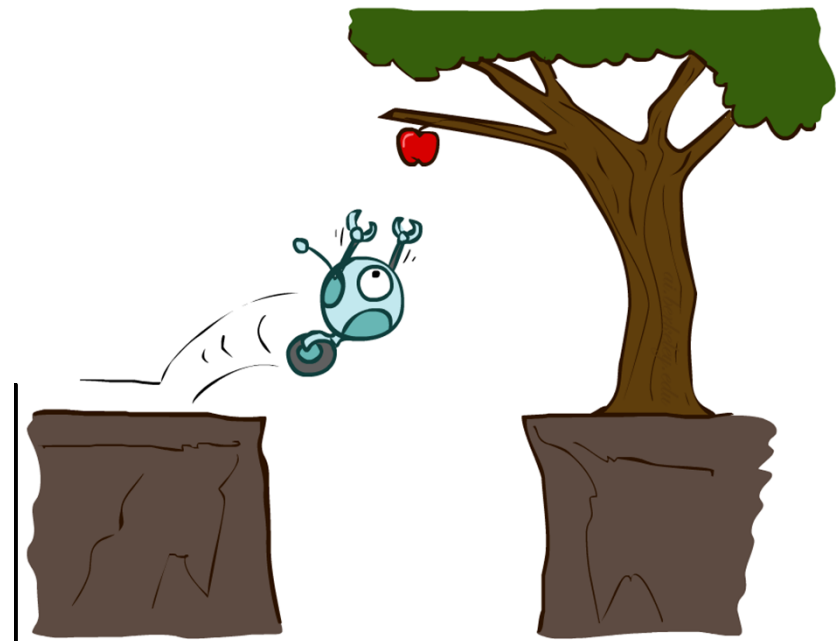
Pac-Man is a registered trademark of Namco-Bandai Games, used here for educational purposes

計画を立てるエージェント

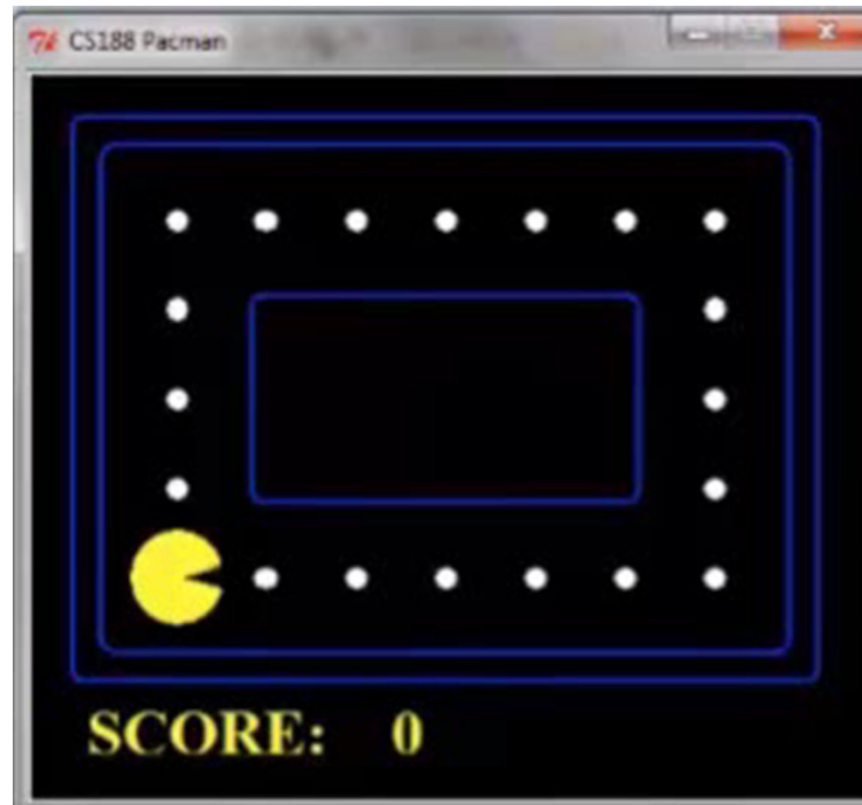


反射的なエージェント

- 反射的なエージェント:
 - 現在の知覚をもとに行動を決定
(場合によっては記憶も)
 - 記憶を持ったり、世界の現状に関するモデルを持つことも
 - 行動が将来どのような結果を起こすのかについては考慮しない
 - 「世界がどのような状況か」を考慮
- 反射的なエージェントは合理的か？

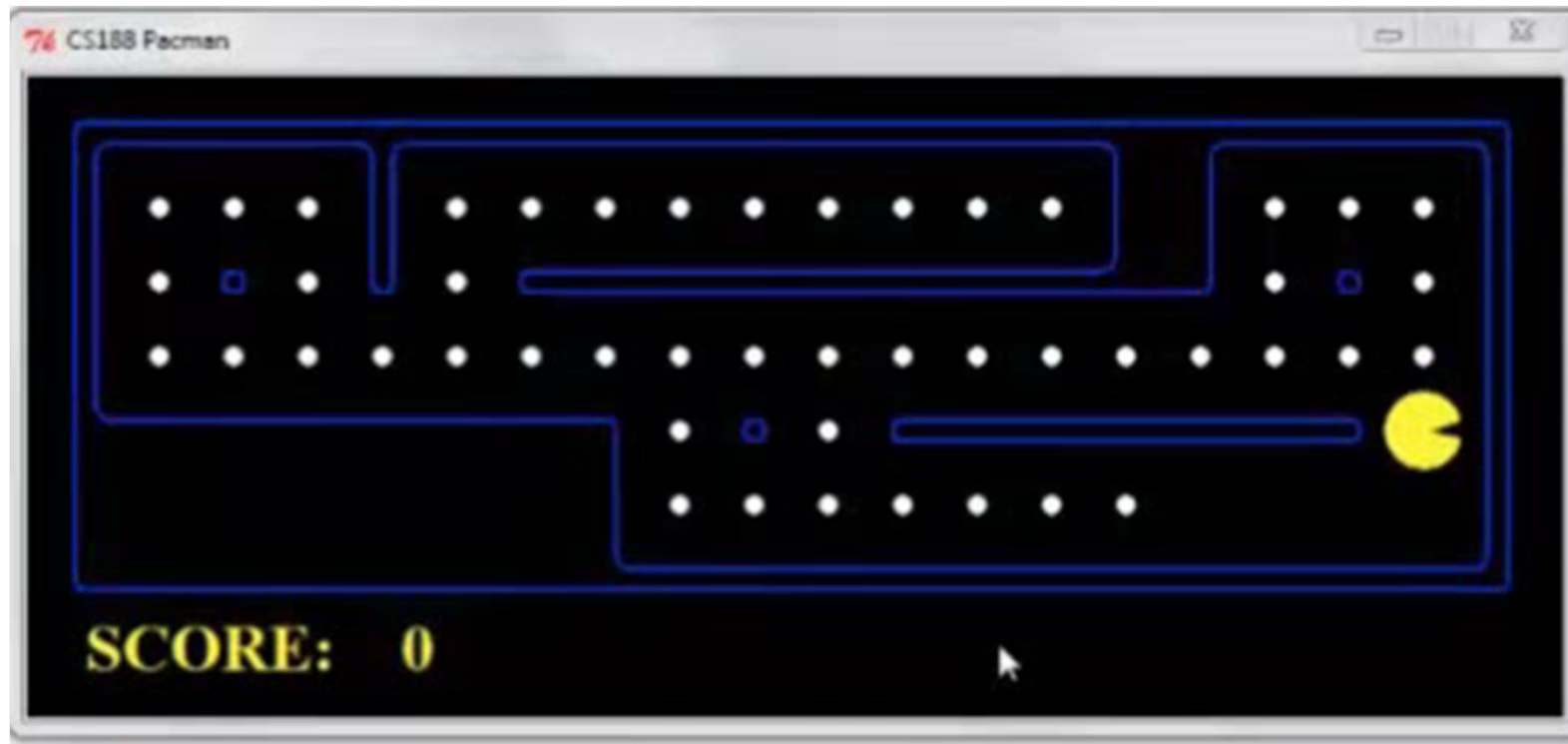


反射的なエージェントの最適行動の例



「一歩前にフードがあれば、そっちに向かっていく」という行動を考えてみよう

反射的なエージェントが上手く行かない例

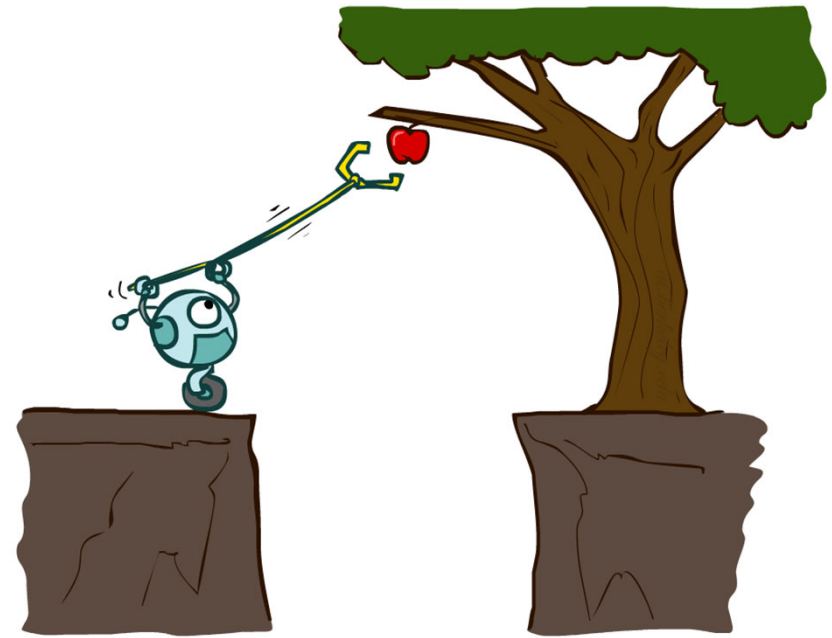


「一歩前にフードがあれば、そっちに向かっていく」という行動を考えてみよう

計画を立てるエージェント

■ 計画を立てるエージェント:

- 「もしもこうしたら」を問う
- 行動の（仮説的な）結果に基づいて意思決定
- 行動によって世界がどのように変わっていくかのモデルを持つ必要がある
- ゴールを明確に持つ（定式化する）必要がある
- 「世界がどのようになりうるか」を考慮



- 最適なプランニング vs. 完全なプランニング
- プランニング vs. 再プランニング

人工知能の類型

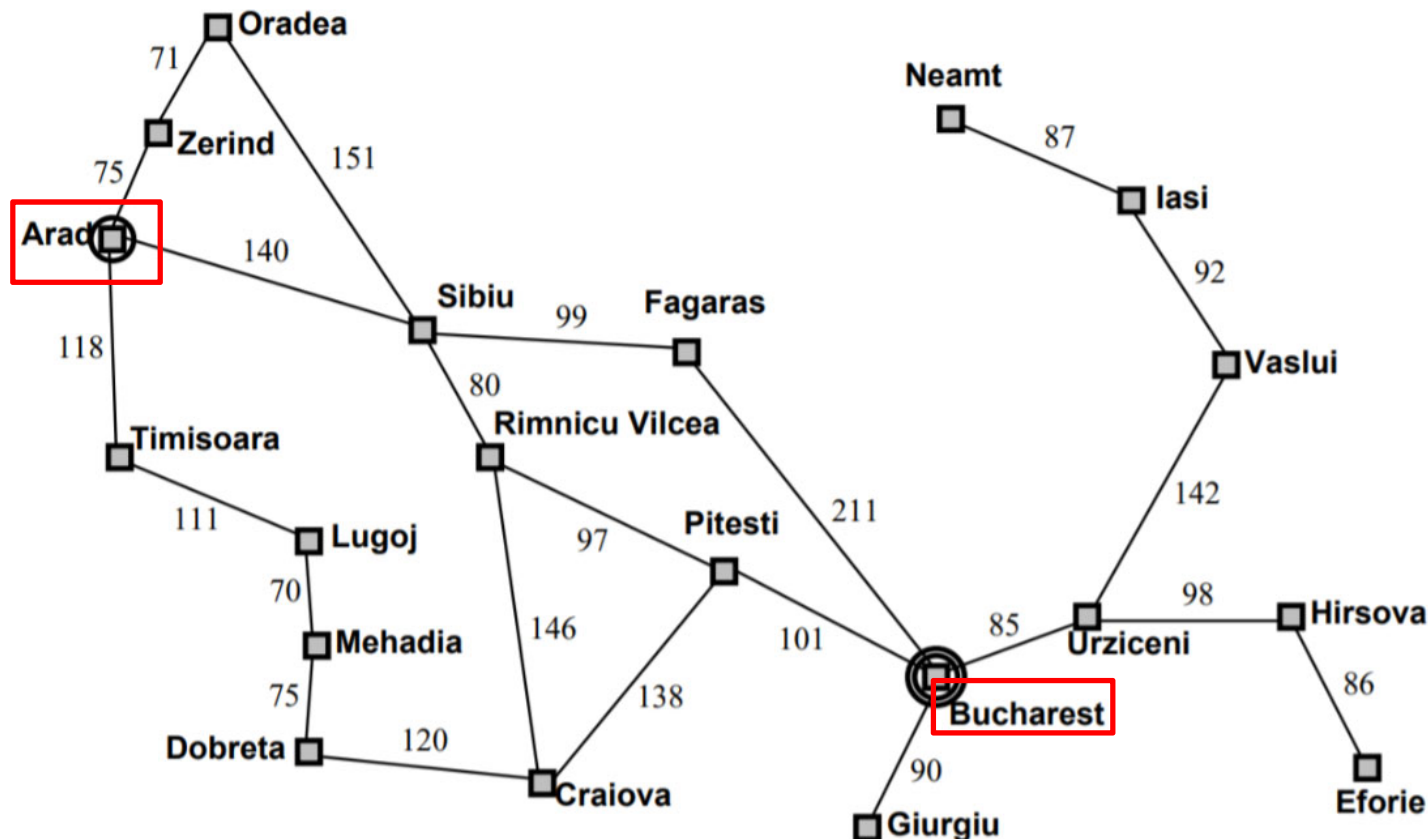
- 問題の性質
 - 観察可能性: 完全観察 v.s. 部分観察
 - 決定性: 決定的 v.s. 確率的 (「不確か」さ)
 - エージェント: 単数 v.s. 複数
 - 静的 v.s. 動的 (時系列)
 - 離散的 v.s. 連続的 (記号 or パターン)
- エージェントの性質
 - 自律性: 自律的 v.s. 半自律的 (人間が部分的に介在)
 - ゴール: 反射的、ゴール(シンボル)、ユーティリティ
 - 知覚や環境とのインタラクションの重要性

講義プラン

完全観察、決定的	• [探索、ゲーム] ～将棋や碁で人間を超える～	テキスト (4 th ed.)
↓ 記号	– 2. 探索	Ch.3
↓ インタラクション	– 3. 制約充足	Ch.6
	– 4. 敵対探索(二人ゲーム)	Ch.5
部分観察、確率的	• [不確かさと意思決定] ～「不確か」とは何か～	
↓ 記号	– 5. 不確かさと効用	Ch.16
	– 6. 意思決定(マルコフ決定過程)	Ch.17
↓ インタラクション	– 7. 強化学習	Ch.22
	• [確率的推論] ～「不確か」な実世界で活動する～	
	– 8. 確率的推論	Ch.12,13
	– 9. ベイジアンネットワークの推論	Ch.13
	– 10. サンプリングと意思決定ネットワーク	Ch.13,16
↓ 動的・時系列	– 11. 時系列の確率的推論 (HMMとParticle Filter)	Ch.14
↓ パターン	• [機械学習] ～データに基づくモデル化へ～	
↓	– 12. 機械学習の基礎	Ch.19,20
↓	– 13. ニューラルネットワーク	Ch.19,21
↓	– 14. 様々な機械学習の方法(決定木)	Ch.19

来週の講義の予告：探索

- AradからBucharestに行きたい。最短経路は？
- みなさんの「知能」のように、最短経路を見つけるエージェントを作るには？



ルーマニアの道路地図（数字は通行コスト、例えば、距離km）

引用文献

- A. Barr and E. A. Feigenbaum, *The Handbook of Artificial Intelligence*, William Kaufmann, Inc., 1981.
- 長尾 真, 淵 一博, 論理と意味, 岩波講座 情報科学, 7, 1983.
- N. Nilsson (白井他訳), 人工知能の原理, 日本コンピュータ協会, 1983.
- 電子情報通信学会編, 電子情報通信ハンドブック, 人工知能. オーム社, 1998.
- 溝口理一郎, 石田亨 共編. 人工知能. オーム社 新世代工学シリーズ, 2000.
- 情報システムと情報技術事典 (4部) コンピュータとネットワーク, 人工知能, 培風館, 2003.
- S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence A Modern Approach*, Third Edition, Prentice Hall, 2010.
- 人工知能は人間を超えるか ディープラーニングの先にあるもの、松尾豊、角川 EPUB選書、2015.
- 岡谷貴之. 深層学習. 講談社, 2015.
- 栗原聡, 他. 特集「人工知能学会・情報処理学会共同企画ー 人工知能とは何か?ー」人工知能 31.5, 2016.
- UC Berkeley CS188 Intro to AI -- Course Materials <http://ai.berkeley.edu/>