

目 次

第1章 導 入	1
1.1 意思決定	1
1.2 応用例	2
1.2.1 空中衝突回避装置	3
1.2.2 無人航空機による持続的監視	4
1.3 意思決定エージェントのデザイン方法	5
1.3.1 明示的プログラミング	5
1.3.2 教師あり学習	5
1.3.3 最適化	6
1.3.4 プランニング	6
1.3.5 強化学習	7
1.4 本書の構成	7
1.5 より深く学ぶために	9
参考文献	10
第I部 理 論	11
第2章 確率モデル	13
2.1 表 現	13
2.1.1 信念の程度と確率	14
2.1.2 確率分布	15
2.1.3 同時分布	19

xiv 目次

2.1.4	ベイジアンネットワークモデル	19
2.1.5	条件付き独立	22
2.1.6	ハイブリッドベイジアンネットワーク	24
2.1.7	時系列モデル	27
2.2	推論	30
2.2.1	分類のための推論	30
2.2.2	時系列モデルの分析	34
2.2.3	厳密な推論	36
2.2.4	厳密な推論の複雑性	39
2.2.5	近似推論	41
2.3	パラメータ学習	48
2.3.1	最大尤度パラメータ学習	48
2.3.2	ベイジアンパラメータ学習	50
2.3.3	ノンパラメトリック学習	54
2.4	構造学習	55
2.4.1	ベイズ構造スコアリング	55
2.4.2	有向グラフ探索	59
2.4.3	マルコフ等価クラス	61
2.4.4	部分的有向グラフ探索	62
2.5	まとめ	64
2.6	より深く学ぶために	64
	参考文献	65

第3章 意思決定問題 67

3.1	効用理論	67
3.1.1	合理的選好における制約	68
3.1.2	効用関数	69
3.1.3	期待効用最大化原理	70
3.1.4	効用誘出	70
3.1.5	金額の効用	71

3.1.6	多変数効用関数	73
3.1.7	不合理性	75
3.2	意思決定ネットワーク	77
3.2.1	意思決定ネットワークの評価	78
3.2.2	情報価値	79
3.2.3	意思決定ネットワークの構築	81
3.3	ゲーム	82
3.3.1	支配戦略均衡	83
3.3.2	ナッシュ均衡	85
3.3.3	行動ゲーム理論	86
3.4	まとめ	88
3.5	より深く学ぶために	89
	参考文献	90

第4章 逐次的意思決定問題 93

4.1	定式化	93
4.1.1	マルコフ決定過程	93
4.1.2	効用と報酬	95
4.2	動的計画法	96
4.2.1	方策と効用	96
4.2.2	方策評価法	97
4.2.3	方策反復	98
4.2.4	価値反復	99
4.2.5	グリッド上での事例	101
4.2.6	非同期の価値反復	105
4.2.7	閉ループプランニングと開ループプランニング	105
4.3	構造化された表現	107
4.3.1	因子分解型マルコフ決定過程	108
4.3.2	構造化された動的計画法	110
4.4	線形表現	110

xvi 目次

4.5	近似的動的計画法	112
4.5.1	局所近似	113
4.5.2	大域近似	116
4.6	オンライン手法	118
4.6.1	前向き探索	119
4.6.2	分枝限定法を用いた探索	120
4.6.3	スパースサンプリング	121
4.6.4	モンテカルロ木探索	122
4.7	ダイレクト方策探索	124
4.7.1	目的関数	124
4.7.2	局所探索技法	125
4.7.3	交差エントロピー法	126
4.7.4	進化的手法	129
4.8	まとめ	129
4.9	より深く学ぶために	130
	参考文献	132

第5章 モデルの不確定性 135

5.1	探査と知識利用	136
5.1.1	多腕バンディット問題	136
5.1.2	ベイジアンモデル推定	137
5.1.3	アドホック探査戦略	138
5.1.4	最適な探査戦略	139
5.2	最尤モデルに基づく手法	140
5.2.1	ランダム化更新法	141
5.2.2	優先更新法	141
5.3	ベイジアンモデルに基づく手法	142
5.3.1	問題の構造	142
5.3.2	モデルパラメータの信念	143
5.3.3	ベイズ適応型マルコフ決定過程	144

5.3.4	解法	145
5.4	モデルフリーの手法	146
5.4.1	増分推定	146
5.4.2	Q 学習	147
5.4.3	Sarsa	148
5.4.4	適格性トレース	148
5.5	一般化	149
5.5.1	局所近似	150
5.5.2	大域近似	151
5.5.3	抽象化手法	153
5.6	まとめ	154
5.7	より深く学ぶために	155
	参考文献	156

第 6 章 状態の不確定性 159

6.1	定式化	159
6.1.1	問題例	159
6.1.2	部分観測マルコフ決定過程	161
6.1.3	方策の実行	161
6.1.4	信念状態マルコフ決定過程	162
6.2	信念更新	163
6.2.1	離散状態フィルタ	163
6.2.2	線形ガウスフィルタ	165
6.2.3	粒子フィルタ	165
6.3	厳密解法	168
6.3.1	アルファベクトル	168
6.3.2	条件付き計画	169
6.3.3	価値反復	171
6.4	オフライン手法	173
6.4.1	完全に観測可能な価値近似	173

xviii 目次

6.4.2	高速インフォームド限定法	174
6.4.3	点ベースの価値反復	175
6.4.4	ランダム点ベース価値反復	176
6.4.5	点の選択	178
6.4.6	線形方策	179
6.5	オンライン手法	179
6.5.1	近似価値関数を伴う先読み	180
6.5.2	前向き探索	181
6.5.3	分枝限定法	182
6.5.4	モンテカルロ木探索	184
6.6	まとめ	186
6.7	より深く学ぶために	186
	参考文献	188

第7章 協調的意思決定 191

7.1	定式化	192
7.1.1	分散的部分観測マルコフ決定過程	192
7.1.2	例題	194
7.1.3	解の表現	195
7.2	性質	198
7.2.1	部分観測マルコフ決定過程との相違	198
7.2.2	分散的部分観測マルコフ決定過程の複雑さ	199
7.2.3	一般化信念状態	200
7.3	重要な下位クラス	201
7.3.1	分散的マルコフ決定過程	201
7.3.2	ネットワーク分散的部分観測マルコフ決定過程	204
7.3.3	マルチエージェントマルコフ決定過程	205
7.4	厳密解法	206
7.4.1	動的計画法	207
7.4.2	ヒューリスティック探索	209

7.4.3	方策反復	214
7.5	近似解法	216
7.5.1	記憶制約付き動的計画法	216
7.5.2	結合均衡方策探索	218
7.6	通 信	219
7.7	ま と め	220
7.8	より深く学ぶために	221
	参考文献	224

第II部 応 用 231

第8章 確率的監視カメラ映像検索 233

8.1	属性に基づく人物検索	234
8.1.1	アプリケーション	235
8.1.2	人物検出	236
8.1.3	検索と採点	237
8.2	確率的な外見モデル	238
8.2.1	観測状態	238
8.2.2	基本モデル構成	241
8.2.3	モデル拡張	246
8.3	学習と推論手法	251
8.3.1	パラメータ学習	252
8.3.2	隠れ状態推定	257
8.3.3	スコアリングアルゴリズム	260
8.4	性 能	263
8.4.1	検索精度	264
8.4.2	検索時間	268
8.5	インタラクティブ検索ツール	270
8.6	ま と め	272
	参考文献	274

第9章 音声アプリケーションのための動的モデル 277

9.1	音声信号のモデル化	277
9.1.1	特徴抽出	279
9.1.2	隠れマルコフモデル	279
9.1.3	混合ガウスモデル	280
9.1.4	EM アルゴリズム	280
9.2	音声認識	281
9.3	トピック識別	284
9.4	言語認識	286
9.5	話者識別	290
9.5.1	フォレンジック話者認識	292
9.6	機械翻訳	294
9.7	まとめ	295
	参考文献	296

第10章 空中衝突回避の最適化 301

10.1	空中衝突回避システム	301
10.1.1	空中衝突回避装置	302
10.1.2	現存システムの限界	304
10.1.3	無人航空機の探知と回避	305
10.1.4	空中衝突回避装置 ACAS X	306
10.2	衝突回避問題の定式化	307
10.2.1	回避指示	307
10.2.2	動的モデル	309
10.2.3	報酬関数	311
10.2.4	動的計画法	313
10.3	状態推定	314
10.3.1	センサ誤差	315
10.3.2	パイロットの反応	315
10.3.3	潜在的衝突までの時間	316

10.4	リアルタイム実行	317
10.4.1	オンラインコスト	317
10.4.2	複数の脅威	319
10.4.3	接近警報	320
10.5	評価	322
10.5.1	安全性分析	322
10.5.2	動作の適切性と受容性	325
10.5.3	パラメータ調整	329
10.5.4	飛行試験	331
10.6	まとめ	332
	参考文献	333

第 11 章 継続的監視のためのマルチエージェント

プランニング

337

11.1	検証のためのミッションについて	337
11.2	集中型の問題定式化	339
11.2.1	状態空間	339
11.2.2	行動空間	340
11.2.3	状態遷移モデル	340
11.2.4	報酬関数	341
11.3	分散型の問題定式化	341
11.3.1	状態・行動要素による分解	342
11.3.2	グループ集約による分解	342
11.3.3	プランニング	343
11.4	モデル学習	345
11.5	飛行試験	347
11.6	まとめ	350
	参考文献	351

第12章 人とシステムの統合	353
12.1 人の能力と対処	353
12.1.1 知覚・認知能力	355
12.1.2 自然主義的意思決定	357
12.2 デザインにおける人間についての考慮	359
12.2.1 意思決定ロジックの透明性に対する信頼と価値	359
12.2.2 さまざまなレベルの確定性のためのデザイン	365
12.2.3 長期間にわたる意思決定の支援	370
12.3 実装におけるシステムの構成	374
12.3.1 インタフェース, トレーニング, 手順	374
12.3.2 意思決定支援の有効性の測定	377
12.3.3 システムの有効性に対する組織の影響	380
12.4 まとめ	381
参考文献	381

索引	385
-----------	------------