

目次

第 1 章 序論	1
1.1 研究の背景	2
1.2 研究目的	3
1.3 本論文の構成	3
第 2 章 人検出とその関連研究	5
2.1 人検出法に関する研究の変遷	6
2.1.1 顔検出	6
2.1.2 顔検出の実用化	8
2.1.3 人検出	8
2.1.4 人検出の実用化	9
2.2 識別器による人検出	10
2.2.1 識別器の学習と識別処理	10
2.2.2 ラスタスキャンによる人の検出	11
2.2.3 識別結果の統合	11
2.3 人検出が困難となる要因	11
2.4 見えの個体差への対応	13
2.4.1 勾配情報に基づく特徴量	14
2.4.2 色情報に基づく特徴量	15
2.4.3 動き情報に基づく特徴量	15
2.4.4 距離情報に基づく特徴量	17
2.5 向きの変化に対応した手法	17
2.6 姿勢の変化への対応	19
2.6.1 パーツの定義	20
2.6.2 識別器によるパーツの統合	21
2.6.3 グラフモデルによるパーツの統合	22
2.6.4 投票処理によるパーツの統合	23
2.7 視点の変化に対応した手法	25
2.8 人領域の隠れに対応した手法	26
2.9 複雑な背景への対応	28

2.9.1	統計学習を用いない特徴量の共起	28
2.9.2	統計学習を用いる特徴量の共起	28
2.10	人検出の実用化に向けて	30
2.10.1	人検出の高速化	30
2.10.2	学習サンプルの作成の手間の削減	31
2.10.3	幾何学情報を用いた検出ウィンドウのラスタスキャン	32
2.11	人検出ベンチマーク	32
2.11.1	人画像データベースと作成法	32
2.11.2	評価指標	36
2.12	まとめ	37
第 3 章	特徴量間の共起性を表現した共起確率特徴量	39
3.1	従来的特徴量間の共起表現法	40
3.1.1	Joint Haar-like 特徴量	40
3.1.2	問題点	40
3.2	共起確率特徴量	41
3.2.1	Boosting	41
3.2.2	共起確率特徴量による特徴量の共起表現	46
3.2.3	最適な特徴量の組み合わせ探索	47
3.2.4	特徴量の最適な組み合わせ数の推定	48
3.3	まとめ	49
第 4 章	和と積演算子を用いた共起確率特徴量に基づく人検出	51
4.1	アピアランス特徴量の共起	52
4.1.1	HOG 特徴量	52
4.2	入れ子型 Real AdaBoost による識別器の学習	53
4.2.1	評価実験	54
4.2.2	選択された特徴量	59
4.3	アピアランスと時空間特徴量との共起	61
4.3.1	時空間特徴量	61
4.3.2	評価実験	65
4.4	まとめ	68
第 5 章	差演算子を用いた共起確率特徴量に基づく人検出	69
5.1	コンテキスト	70
5.2	差演算子による共起表現	71
5.2.1	Geometric Context	71
5.2.2	和と積演算子を用いた共起確率特徴量	74

5.2.3	差演算子を用いた共起確率特徴量	75
5.3	評価実験	75
5.3.1	実験概要とデータベース	75
5.3.2	GCを用いた異なる局所領域における和と積演算子の効果	77
5.3.3	GCを用いた同一局所領域における差演算子の効果	78
5.3.4	和と積, 差演算子による共起確率特徴の効果	79
5.4	考察	80
5.4.1	人検出, および車両検出に有効な特徴	80
5.4.2	未検出, および誤検出について	81
5.5	まとめ	81
第 6 章	メモリ使用量削減のための特徴量の 2 値符号列化	83
6.1	特徴量の 2 値化	84
6.1.1	Binarized HOG 特徴量	84
6.1.2	Relational HOG 特徴量	85
6.1.3	Shifted Relational HOG 特徴量	85
6.2	ワイルドカード “*” による 2 値符号のマスキング	86
6.3	Real Adaboost による学習	87
6.4	評価実験	88
6.4.1	実験概要	89
6.4.2	R-HOG 特徴量の有効性	89
6.4.3	ワイルドカード “*” による 2 値符号選択の有効性	90
6.5	考察	91
6.5.1	識別に有効な 2 値符号	91
6.5.2	メモリ量の比較と処理時間	91
6.6	まとめ	92
第 7 章	量子化残差に基づく遷移尤度モデルを導入した識別器	93
7.1	特徴量の 2 値化における問題点	94
7.2	量子化残差に基づく遷移尤度モデル	94
7.2.1	2 値符号列の量子化残差	95
7.2.2	遷移尤度モデル	96
7.3	遷移尤度モデルを導入した識別器	98
7.3.1	遷移尤度分布を用いた識別器	98
7.3.2	識別	100
7.4	評価実験	100
7.4.1	実験概要	101
7.4.2	実験結果	101

7.5 考察	102
7.6 まとめ	102
第 8 章 結論と展望	105
8.1 結論	105
8.2 展望	106
謝 辞	109
参考文献	111
研究業績一覧	123

目 次

1.1	本論文の構成.	4
2.1	顔検出と人検出の遷移.	7
2.2	顔と人の平均画像.	9
2.3	人検出の流れ.	10
2.4	学習と識別の流れ.	11
2.5	人検出を困難とする要因.	12
2.6	勾配情報に基づく特徴量.	14
2.7	CSS 特徴量 [1] を可視化した例.	16
2.8	人画像における前景尤度マップの例 [2].	16
2.9	距離ヒストグラムの類似度を計算する流れ [3].	17
2.10	Hou らの手法による人検出結果の例 [4].	18
2.11	Cluster Boosted Tree の構造の例 [5].	19
2.12	3 クラスに対応した識別器 [6].	20
2.13	自動的に定義された Poselet の例 [7].	21
2.14	ACC による識別の流れ [7].	22
2.15	Deformable Parts Model を用いた人検出の例と各フィルタ [8].	24
2.16	Leibe らの物体検出とセグメンテーションの流れ [9].	24
2.17	物体とカメラの幾何関係 [10].	25
2.18	幾何学情報を利用した人検出 [10].	26
2.19	特徴の転移と識別器の最適化の概要 [11].	26
2.20	Wang らの手法による隠れ推定の結果 [12].	27
2.21	CoHOG 特徴量の算出の流れ [13].	29
2.22	Shapelet 特徴量の生成と識別器の学習の流れ [14].	29
2.23	人画像の例.	32
2.24	Li らの幾何学情報を利用した人検出の結果 [16].	33
2.25	人画像データベースの例.	34
2.26	人画像と背景画像の平均勾配画像.	36
2.27	破線で囲まれた矩形は人領域, 実践で囲まれた矩形はマージンを加えた人領域を表わす.	37

3.1	Joint Haar-like 特徴量による顔の識別の例.	40
3.2	隠れ領域が Joint Haar-like 特徴量に及ぼす影響.	41
3.3	AdaBoost による人の識別の流れ.	42
3.4	AdaBoost と Real AdaBoost における弱識別器の出力の違い.	44
3.5	共起確率特徴量の算出と識別の流れ.	46
3.6	演算子の違いによる共起確率特徴量の値の比較.	47
3.7	SFS による特徴量の組み合わせ探索. 数値は識別率を表わす.	48
3.8	Hold-out 法による特徴量の最適な組み合わせ数の推定.	49
4.1	HOG 特徴量を用いた共起確率特徴量の生成.	52
4.2	HOG 特徴量の算出の流れ.	53
4.3	入れ子型 Real AdaBoost による識別器を学習する流れ.	54
4.4	画像の切り出し例.	56
4.5	画像データベースの例.	56
4.6	実験 1 の結果の DET カーブ.	57
4.7	正識別可能となったサンプルの例.	57
4.8	学習回数 30 ラウンド毎に累積した HOG 特徴量の組み合わせ数の分布.	59
4.9	平均匀配画像と選択された HOG 特徴量の可視化.	60
4.10	各演算子を用いた場合の検出精度の比較.	60
4.11	学習によって選択された各演算子の割合.	61
4.12	歩行者の動き.	62
4.13	ピクセルの状態遷移図.	63
4.14	ピクセル状態分析アルゴリズム.	63
4.15	ピクセル状態分析の例.	64
4.16	HOG 特徴量と PSA 特徴量を用いた共起確率特徴量の生成.	64
4.17	アピアランス特徴量と時空間特徴量を用いた共起確率特徴量と Real AdaBoost による検出器の学習の流れ.	65
4.18	画像データベースの例.	66
4.19	DET カーブによる結果の比較.	67
4.20	BS と TD, PSA の検出結果の比較.	67
4.21	DET カーブによる各動き特徴量の比較.	68
5.1	人が存在する風景画像.	70
5.2	上位レベルと下位レベルのコンテキスト.	71
5.3	提案手法による識別の流れ.	72
5.4	Super Pixel の例.	72
5.5	Geometric Context の例.	73
5.6	異なる局所領域における共起表現の例.	74

5.7	同一局所領域内における共起表現の例.	75
5.8	学習用サンプルの例.	76
5.9	和・積演算子を用いた共起確率特徴量による実験の結果.	77
5.10	従来法では未検出となる例.	78
5.11	差演算子による共起確率特徴による実験結果.	79
5.12	従来法では誤検出となる例.	79
5.13	学習により選択された特徴量の割合と個数.	80
5.14	提案手法により誤検出した例.	82
6.1	2 値符号列算出の流れ.	85
6.2	SR-HOG 特徴量.	86
6.3	ワイルドカード “*” を導入した 2 値符号列が表現する 2 値符号列の例.	87
6.4	2 値符号とワイルドカード “*” で表現される 2 値符号列の例.	87
6.5	全てのセルの組み合わせから作成される重み付き頻度分布.	88
6.6	R-HOG 特徴量の有効性の実験結果.	89
6.7	ワイルドカード “*” の有効性の実験結果.	90
6.8	選択されたワイルドカード “*” の数の割合.	91
7.1	量子化残差に基づく遷移尤度モデルを導入した識別器.	95
7.2	量子化残差の算出の例.	96
7.3	量子化残差に基づき 2 値符号列の遷移スコアを算出する流れ.	96
7.4	2 値符号の非反転度を求める凹関数 $F()$ と凸関数 $\bar{F}()$.	97
7.5	2 値符号列の遷移尤度分布 $E(\mathbf{x}' \mathbf{x})$ の可視化画像.	99
7.6	実験の結果の DET カーブ.	101
7.7	提案手法による誤識別したサンプルの例.	102
7.8	式 (7.7) と式 (7.10) の誤識別率を 2 次元グラフにプロットした結果.	103

表 目 次

2.1	人検出を困難とする要因と対処法.	12
2.2	人画像データベースの比較.	35
4.1	SONY HDR FX-1 の性能.	55
4.2	識別に用いる特徴量の数と学習回数.	58
4.3	誤検出率 5.0%における検出率.	58
5.1	データベースの詳細.	77
5.2	和と積, 差演算子を用いた共起確率特徴量の同一誤検出率における検出率の比較 [%].	80
6.1	メモリ量の比較.	92