

平成 22 年 6 月 11 日現在

研究種目：若手研究(B)
研究期間：2008 ～ 2009
課題番号：20700152
研究課題名(和文) 複数識別器の時空間的統合利用に基づく人物頭部向きの計測と人物相互関係の理解
研究課題名(英文) Gaze tracking based on spatiotemporal integration of classifiers and recognition of relationship between people
研究代表者
小林 貴訓 (Yoshinori Kobayashi)
埼玉大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：20466692

研究成果の概要：

本研究では、カメラとレーザ測域センサと組合せた、頭部向きの計測を含む、人物行動計測手法を確立した。具体的には、レーザ測域センサを人の肩の高さ付近に設置し、人物の位置と身体の向きを計測する。同時に、レーザ測域センサの上部に設置した全方位カメラで人物の頭部の位置と向きの計測を行う。一般にミラー式全方位カメラでは、広範囲を観察できる半面、画像の解像度は低い。レーザ測域センサと組合せ、身体の向きとの相互関係を考慮することで、低解像度で頭部が観察される場合でも、頭部の追跡や向きの計測が可能となった。開発した手法を美術館で絵の説明をするガイドロボットなどに応用し、その有効性を確認した。

This research aims to establish people's tracking and behavior sensing techniques by integrating omni-directional cameras and laser range sensors. An omni-directional camera is set up on the top of a laser range sensor and placed shoulder level so that the sensors can observe upper body of people. By using this integrated sensor our proposed technique can track people's position and orientation of the body and the head. In general, though an omni-directional camera with a mirror has a wide field of view, the resolution of the captured image is very low. Our method can track people's gaze direction even when the human head is observed in low resolution by incorporating the information captured by a laser range sensor. We applied our developed method to the museum guide robot that can explain the exhibits to visitors and confirmed the effectiveness of our method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン

1. 研究開始当初の背景

セキュリティやマーケティング、HCI などの分野において、人物の注目方向の計測技術は重要な役割を果たす。これまでの映像からの視線や顔向きなどの計測は、比較的高解像度で撮影した映像を詳細に分析して得るものがほとんどであった。しかし、監視カメラや、ロボットなどに搭載したカメラによる広範囲の撮影では人物頭部が低解像度で観察されるなど、実際の応用では、人物頭部を高解像度で観察することは難しい。そこで、本研究では比較的低解像度で観察される人物頭部の向きを高精度に計測することをめざす。このような低解像度で観察された人物の映像から、注目方向を計測する例はほとんど報告されていない。

人物の注目方向の計測には、目、鼻、口などの顔部品の位置関係から頭部の向きを計測する手法や、さらに眼球のモデルを用いて視線方向を計測する手法が提案されている。しかし、このようなモデルベースの手法は、そもそも顔部品の観察が困難な低解像度での観察には適していない。これに対して、各方向から見た人物頭部の見えの違いに基づいて、頭部の向きを計測するアピアランスベースの手法では、モデルベースの手法に比べて、低解像度での観察に適している。しかし、低解像度で観察される人物頭部の向きの計測に、アピアランスベースのアプローチにより積極的に取り組んだ例は非常に少ない。

本研究では、人物頭部の各方向の見えに対応した複数の識別器を用い、低解像度で観察される頭部の見えを詳細に検討することで、人物の注目方向を計測することを大きな特色とする。

2. 研究の目的

申請者はこれまでに、人物頭部の各方向の見えに対応した識別器を時系列フィルタと統合することで、頭部を頑健かつ高精度に追跡する手法を開発している。この手法では、人物頭部の正面、右側、左側などの見えに基づいた識別器を事前に準備し、それらを適応的に選択することで、頭部を追跡する。そのため、追跡と同時に、暗黙的に頭部のおおよその向きを計測することが可能となっている。そこで、本研究では、この複数識別器の適応的利用による人物頭部の追跡手法をさらに発展させ、空間情報を考慮した識別器出力の利用と時系列的な変化を考慮することで、高精度に頭部の向きを計測する。そして、得られた人物の注目方向を被注目対象と関

連付けて分析することで、人物相互の関係の理解を行う。

(1) 複数識別器出力の時空間的統合利用による人物頭部向きの計測

低解像度で観察された人物頭部画像に対して、各方向から見た頭部をそれぞれ識別する複数の識別器を適用し、得られた出力値の分布と頭部向きの関係をあらかじめ学習する。そして、テスト画像から得られた識別器出力の分布を学習データと比較することで、高精度に人物頭部の向きを推定する。また、複数識別器の出力分布の時系列的な変化を学習しておくことで、人物頭部の動きをパターンとして識別し、安定に頭部向きの計測を行う。このとき、識別器の数や、時系列データとして扱う範囲を詳細に検討し、適切な識別器の数や時系列データの範囲を明らかにする。さらに、複数方向からの見えや三次元的な人物の動きを扱えるよう、学習、推定時に用いる識別器出力の分布を三次元的にモデル化し、視野を共有した複数カメラによる三次元的な頭部向きの計測へ発展させる。

(2) 観測領域内の人物の注目方向の分析に基づいた人物相互関係の理解

観測領域内の複数人物を、視野を共有した複数のカメラを用いて観察し、各人物の頭部の向きを計測する。そして、得られた人物の注目方向に、他の人物や特定の被注目対象があるかどうかを調べ、観察領域中の複数の人物とそれぞれの人物の被注目対象を対応づける。そして、人物と被注目対象のペアの分析により、人物相互関係の理解を試みる。

3. 研究の方法

(1) 複数識別器出力の時空間的統合利用による人物頭部向きの計測

まず、室内天井に設置された複数カメラによる観察から得られる情報を空間的に統合することで、顔向きの計測精度の向上を試みた。時系列フィルタに追跡する状態量を人物頭部の3次元位置と顔向きとし、状態量の推定値(仮説)と各カメラの位置関係に基づいて、複数の識別器群から適切と思われるものを適応的に選択し、カメラ画像を用いて整合性を評価することで追跡を行った。このような枠組みは監視カメラなどへの応用には適しているが、天井に設置したカメラで観察すると、俯角が原因で顔が観察しにくい。また、一つの空間を複数のカメラで重複して観察する必要があり、室内全体を観察対象とする

場合ためには、通常の2倍の台数のカメラが必要となる。

そこで、新たに全方位カメラとレーザ測域センサを組合せた複合センサを用いて、人物の位置と顔向きを追跡を行う枠組みを構築した。レーザ測域センサと全方位カメラを図1のように、重ねて配置し、人物の肩あたりの高さに設置すると、レーザ測域センサにより、人物の水平面上の位置を計測することができる。また、全方位カメラのミラーを下にして重ねて配置することで、人物の顔を少ない俯角で観察できる。

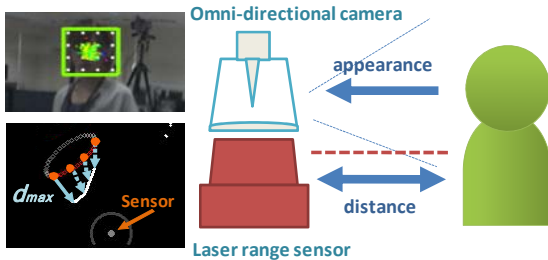


図1. 複合センサ

このセンサを用いた追跡では、レーザ測域センサから得られる空間的な情報とカメラから得られる見えの情報を統合して、処理を行う。具体的には、図1左下のように、レーザ測域センサで計測される距離情報を画像にマップする。そして、人物の肩の断面を楕円形でモデル化し、観察される肩の輪郭線の一部を楕円形モデルとマッチングをとることで評価する。これにより、人物の水平面上の位置と身体の向きを計測することができる。次に、レーザ測域センサにより得られた身体的位置、向きから、全方位カメラで観察される人物の頭部の位置と向きを推定し、識別器を適応的に選択して、頭部位置と顔向きを追跡する。ただし、実際には、状態量間の依存関係の概念を取り入れた時系列フィルタ(Rao-Blackwellizedパーティクルフィルタ)により、複数のセンサ情報は、追跡の枠組みのなかで自然に統合される。

(2) 観測領域内の人物の注目方向の分析に基づいた人物相互関係の理解

開発したシステムをミュージアムガイドロボットに応用し、人物の注目方向の分析とその応用を行った。図2のように、複合センサをロボットの後ろに設置したポールの先端に取り付け、観客の顔の向きや頷きを計測した。そして、ロボットは計測結果に基づいた適応的な動作を行うようにした。

具体的には、ロボットは、複数の観客に対してそれぞれ振り向きながら作品の説明を行う。また、説明の途中で質問を織り交ぜることで、観客の興味を引き付ける。ロボットは、複数の観客の位置や身体の向き、

頭部の位置、向きを追跡し、頷きなどのジェスチャを認識する。そして、計測された振舞いに基づいて、ロボットは観客それぞれに適応的に顔を向けながら作品の説明を行う。また、質問を予期させるような発話を行いながら、各観客に顔を向け、その時の頭部ジェスチャを観察することで、質問の答えを知っていそうな観客を選び質問する。具体的には、ロボットが顔を向けたときに、顔を背けたりする観客は消極的な反応であるとし、質問を投げかけない。一方、ロボットが顔を向けたときに頷いたり、ロボットの方を見たりした観客は積極的な反応であるとして、質問を投げかける候補とする。

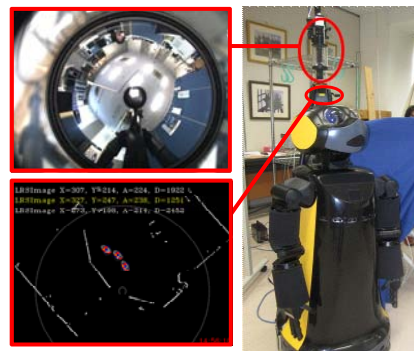


図2. ガイドロボット

4. 研究成果

(1) 複数識別器出力の時空間的統合利用による人物頭部向き計測

開発したシステムを用いて人物の追跡を行った結果を図3に示す。水平面上の人物の追跡誤差は、5.8cmであった。また、身体の向きの平均誤差は5.2度であり、顔の向きの平均誤差は23.4度であった。また、システムは、数人までの追跡であれば、リアルタイムで動作する。本研究で開発した全方位カメラとレーザ測域センサを用いた人物の追跡手法は、発表文献⑫、⑬などで報告している。本手法は、コンパクトなセンサ構成ながら、広範囲で精度よく人物の追跡を行うことができることから、ロボットに搭載するセンサシステムとして高く評価されている。

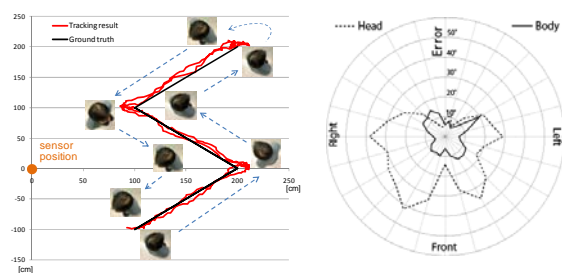


図3. 人物の追跡結果

(2) 観測領域内の人物の注目方向の分析に基づいた人物相互関係の理解

開発した人物追跡システムをミュージアムガイドロボットに応用し、人物の反応を推定している様子を図4に示す。この図では中央の参加者に対する結果が表示されている。赤い折れ線は頭部の向きを示しており、下へ行くほどロボットの方向を見ていることを示している。青い折れ線は垂直方向のオプティカルフローベクトルの計測点数を表しており、上部の点はうなずきとして認識された箇所である。なお、下部の文字 Q1、Q2は、各質問文の発話が終了した箇所、水平線はロボットが視線を配布した箇所である。本システムでは、この水平線で示された区間の顔の向きやうなずきを計測することによって積極的、消極的等の反応の識別を行う。図4からわかるように、質問が完結する前に、参加者の頷きや顔向きから参加者の反応の識別ができていた。この方法による判断の有効性を調べるために、視線配布時の参加者の反応の認識実験を行ったところ、積極的反応は 23/27 (正解数/データ総数) (85%)、中立的反応は 15/17 (88%)、消極的反応は 8/10 (80%) の認識率を得ることができた。実験では、質問の機会が全部で 18 回あったが、この認識結果を用いた場合、消極的な被験者を回答者として選んでしまう可能性があるのは 1 例だけであった。

図3右に示したように、人物頭部向きの絶対的な精度は注視方向を精度よく知るには十分ではない。しかし、顔向きの時間的な変化方向や変化量は、図4より、高精度に計測出来ている事が分かる。また、ロボットの頭部向きという非注目対象の情報を合わせて考慮することで、観客の意図という有用な情報を引き出せている。これらの内容は学会発表文献②などで報告している。

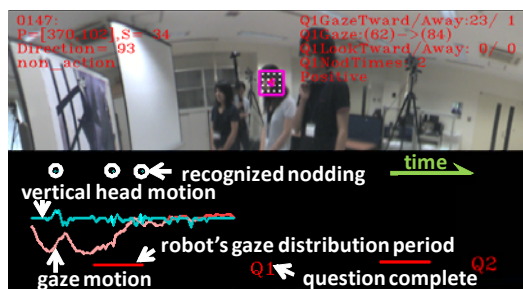


図4. 観客の反応の認識

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① 小林貴訓, “人の顔と頭の追跡技術,” 映像情報メディア学会誌, vol. 64, no. 4, pp. 463-467, 2010. (査読無し)
- ② 星洋輔, 小林貴訓, 久野義徳, 岡田真依, 山崎敬一, 山崎晶子, “観客を話に引き込むミュージアムガイドロボット: 言葉と身体的行動の連携,” 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. 92-A, No. 11, pp. 764-772, 2009. (査読有り)
- ③ 久野義徳, 小林貴訓, “人間とのコミュニケーションに関するビジョン技術,” 日本ロボット学会誌, Vo. 47, No. 6, pp. 40-43, 2009. (査読無し)
- ④ 杉村大輔, 小林貴訓, 佐藤洋一, 杉本晃宏, “行動履歴に基づく人物存在確率の利用による人物三次元追跡の安定化,” 情報処理学会論文誌 コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 1, No. 2, pp. 100-110, 2008. (査読有り)
- ⑤ 鈴木直彦, 平澤宏祐, 田中健一, 小林貴訓, 佐藤洋一, 藤野陽三, “人物動線データ群における逸脱行動人物検出および行動パターン分類,” 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 91-D, No. 6, pp. 1550-1560, 2008. (査読有り)

[学会発表] (計20件)

- ① Y. Kobayashi, T. Shibata, Y. Hoshi, Y. Kuno, M. Okada and K. Yamazaki, “Selective Function of Speaker Gaze before and during Questions-Towards Developing Museum Guide Robots,” In Proc. CHI2010 Extended Abstracts (to appear), 2010. (April 14, Atlanta USA)
- ② 朱エイ, 小林貴訓, 久野義徳, “利用者の目的地推定に基づく自律移動車椅子の提案,” 電子情報通信学会総合大会(学生ポスターセッション), p161, 2010. (3月18日, 仙台)
- ③ 高野恵利衣, 金原悠貴, 小林貴訓, 久野義徳, “周辺状況を考慮して介護者に追従するロボット車椅子,” 電子情報通信学会総合大会, p197, 2010. (3月18日, 仙台)
- ④ 金原悠貴, 高野恵利衣, 小林貴訓, 久野義徳, “介護者の意図と周辺状況の観察に基づくロボット車椅子,” 情報処理学会全国大会, pp. 5. 17-18, 2010. (3月11日, 東京)
- ⑤ 柴田高志, 星洋輔, 鴫田憲, 小林貴訓, 久野義徳, “頭部動作の計測に基づき質問相手を選択するガイドロボット,” 情

- 報処理学会全国大会, pp. 5. 21-22, 2010. (3月11日, 東京)
- ⑥ Y. Kobayashi and Y. Kuno, "People tracking using integrated sensors for human robot interaction," Proc. ICIT2010, pp.1597-1602, 2010. (March 16, Vina del Mar CHILE)
- ⑦ Y. Kobayashi, T. Shibata, Y. Hoshi, Y. Kuno, M. Okada and K. Yamazaki, "Choosing Answerers by Observing Gaze Responses for Museum Guide Robots," Proc. HRI2010 LBR, pp.109-110, 2010. (March 3, Osaka JAPAN)
- ⑧ 柴田高志, 嶋田憲, 星洋輔, 小林貴訓, 久野義徳, "複数鑑賞者に適応的な身体的行動を用いて解説をするミュージアムガイドロボット," 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集(SI2009), pp1252-1254, 2009. (12月25日, 東京)
- ⑨ Y. Kobayashi, Y. Kinpara, T. Shibusawa, Y. Kuno, "Robotic Wheelchair Based on Observations of People Using Integrated Sensors," Proc. IROS2009, pp. 2013-2018, 2009. (October 12, St. Louis USA)
- ⑩ 小林貴訓, 金原悠貴, 久野義徳, "複合センサを用いた人物の行動計測に基づく自律移動車椅子," 画像センシングシンポジウム, 2009. (6月11日, 横浜)
- ⑪ K. Yamazaki, A. Yamazaki, M. Okada, Y. Kuno, Y. Kobayashi, Y. Hoshi, K. Pitsch, P. Luff, D.V. Lehn, and C. Heath, "Revealing Gauguin: Engaging visitors in robot guide's explanation in an art museum," Proc. CHI2009, pp1437-1446, 2009. (April 8, Boston USA)
- ⑫ Y. Kobayashi, Y. Kuno, H. Niwa, N. Akiya, M. Okada, K. Yamazaki, A. Yamazaki, "Assisted-Care Robot Initiation Communication in Multiparty Settings," Proc. CHI2009 Extended Abstracts, pp. 3583-3588, 2009. (April 7, Boston USA)
- ⑬ 金原悠貴, 小林貴訓, 久野義徳, "介護者の状態の観察に基づいたロボット車椅子の制御," 電子情報通信学会総合大会, p. 238, 2009. (3月20日, 松山)
- ⑭ 柴田高志, 小林貴訓, 久野義徳, "複数鑑賞者をガイドするロボットのための頭部ジェスチャ認識," 電子情報通信学会総合大会, p. 222, 2009. (3月19日, 松山)
- ⑮ Y. Kobayashi, Y. Kinpara, T. Shibusawa and Y. Kuno, "Collaborative Robotic Wheelchair Based on Visual and Laser Sensing," Proc. FCV2009, pp. 1-6, 2009.

(February 5, Andong KOREA)

- ⑯ 岡田真依, 星洋輔, 山崎敬一, 山崎晶子, 久野義徳, 小林貴訓, "美術館における観客を引き込む解説ロボット," Proc. HAI2008, 2008. (12月4日, 横浜)
- ⑰ Y. Hoshi, Y. Kobayashi, T. Kasuya, M. Fueki and Y. Kuno, "Interactively instructing a guide robot through a network," ICCAS2008, pp.1841-1845, 2008. (October 14, Seoul KOREA)
- ⑱ Y. Kobayashi, Y. Hoshi, G. Hoshino, T. Kasuya, M. Fueki and Y. Kuno, "Museum Guide Robot with Three Communication Modes," Proc. IROS2008, 2008. (September 25, Nice FRANCE)
- ⑲ T. Shibusawa, Y. Kobayashi and Y. Kuno, "Robotic Wheelchair for Museum Visit," Proc. SICE Annual Conference (SICE2008), 2008. (8月22日, 調布)
- ⑳ 笛木雅人, 糟谷智樹, 星洋輔, 星野豪, 小林貴訓, 久野義徳, "3つのコミュニケーションモードを持つネットワークロボット," 画像センシングシンポジウム, 2008. (6月13日, 横浜)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称: 自律移動車椅子

発明者: 久野義徳, 小林貴訓

権利者: 埼玉大学

種類: 特許

番号: 特開 2009-183538

出願年月日: 2008年2月7日

国内外の別: 国内

名称: 自律移動車椅子

発明者: 小林貴訓, 久野義徳

権利者: 埼玉大学

種類: 特許

番号: 特願 2009-019767

出願年月日: 2009年1月30日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 貴訓 (Yoshinori Kobayashi)

埼玉大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 20466692

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし