

氏名	上村 浩文		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	工博甲第276号		
学位授与の日付	平成21年3月25日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	3次元物体の検出と追跡に関する研究		
論文審査委員	主査	教授	石川 聖二
			〃 小林 敏弘
			〃 坂本 哲三
			〃 芹川 聖一
			〃 出口 光一郎(東北大学)

学位論文内容の要旨

本論文は、人物などの3次元物体を、実環境においてカメラ映像を用いて検出・追跡を行う場合に問題となる、照明変化に起因する色変化とカメラ動きによらない人物の検出・追跡を行う手法について述べている。

現代の日本では、少子高齢化による労働力の減少や、今後増え続ける高齢者に対して十分な援助が行えない可能性等が、重大な社会問題を引き起こすことが予想されている。そこで、人間の代わりに作業を行ったり、高齢者への援助を行ったりするロボットの開発が望まれている。このようなロボットは、高度な知的情報処理が可能な知能ロボットと位置づけられる。知能ロボットに必要な機能を整理すれば、知覚機能・知的情報処理機能・運動機能・コミュニケーション機能の4つが考えられる。この中で、ロボットの知能化にもっとも必要な機能が知的情報処理機能である。これは、ロボットや機械が人間や外界の環境を効率的に知覚・認識するために必要な機能である。特に、人間に対してサービスを提供するロボットに求められるのは、人間の検出・追跡・動作認識が可能なビジョンシステムである。このような、ロボットに視覚を与えるためのカメラ-コンピュータシステムの開発は、今後の知能ロボット開発に大きく貢献すると考えられる。

通常、画像から得られる情報として色情報と輝度情報がある。これらの情報のうちいずれか、もしくは両方を用いて画像中から人物の検出・追跡・動作認識を行うことになる。これまでに、画像から人物の検出を行う手法として、色情報を用いるものと輝度情報を用いるものが数多く提案されている。

色情報を用いる場合、現実の環境では照明の変化により色情報が変化するため、継続的な人物の検出・追跡が困難である。また輝度情報を用いる場合、連続するフレーム間の対応点探索を行い画像上の動き情報を求めることにより、移動人物の検出が可能である。しかし、ロボットにカメラを取り付ける場合、カメラ自体の動きにより、移動人物のみの動き情報を検出することが困難になる。複数カメラを用いることにより、撮影対象までの距離やカメラ姿勢を得ることができ、背景と移動人物を分離することが可能であるが、ロボットに用いる場合にはカメラ台数を増やすことはハードウェア的な制限が大きくなるため望ましくない。本論文では、色変化する対象を継続的に検出・追跡可能な手法と、1台のカメラを用いたカメラ動き補償を行う手法の2つの手法を提案している。

以下に、各章の概要を述べる。

第1章では、色情報を用いた人物の検出や追跡に関する研究および、動画像から得られる動き情報を用いた人物の検出や追跡に関する研究の背景やこれまでに提案された手法について検討し、本論文で解決すべき色変化やカメラ動きの問題について述べている。

第2章では、逐次色更新による色変化によらない人物の検出と追跡手法と、この手法を用いて開発した色追跡システムおよび人物の追跡実験について述べている。カメラから得られる映像から対象の色モデルを直接取得し、追跡中に変化する対象の色を逐次取得し色モデルを更新することにより、継

続的な対象の追跡を行う手法を提案している。まず対象の色モデルを2次元ヒストグラムモデルとして取得し、画像中より対象を検出・追跡する。このとき、照明の変化により対象の色変化が発生することが考えられるため、対象の追跡情報から現在の対象の位置や範囲を推定し、推定された対象領域から新規色モデルを取得・追加し、対象の色モデルを逐次更新しながら色変化に対応する手法を提案している。本章の実験では、パンチルトカメラを用いた色追跡システムを開発し、照明の変化する室内及び屋外環境において行った人物追跡実験について述べている。

第3章では、1台のカメラのみを用いて、カメラ動き問題を解決するカメラ動き補償法と、5つの異なる環境において行った評価実験について述べている。1台のカメラから得られる映像において、カメラの動きは背景の見た目の動きに現れる。通常の透視投影カメラから得られる映像中の背景領域の動きは、平面領域毎の幾何学的な変形として現れるため、提案法ではフレーム間の画像において特徴点検出と対応点探索を行い、対応点情報から幾何学的な画像変換パラメータを段階的マッチングにより推定する。背景に複数平面が含まれている場合、カメラ動きにより背景に現れる動きは平面毎に異なるものになるため、動き情報に基づいた背景の平面領域推定を行い、平面領域毎に変換パラメータを推定する手法について述べている。本章の実験では、5つの異なる環境で撮影した映像に対して提案法を適用し、カメラ動き補償の効果、およびその精度の評価実験について述べている。

第4章では、提案した2つの手法の実験結果を総合的に検討し、それぞれの利点および問題点について考察を行っている。

最後に、第5章で本論文の結論を述べている。

学位論文審査の結果の要旨

事故や犯罪の多発する現代社会にあって、安全で安心して暮らせる環境の実現は緊要の問題である。その実現策のひとつとして、人の日常の諸活動をサポートする知能ロボットの開発は重要である。知能ロボットに必要な機能のひとつとして、特定の人物を見つけ、その人物から目を離さない、という機能がある。知能ロボットの視覚系には、普通、カメラが使われるため、このような機能を実現するには、カメラから得られる動画像のコンピュータによる解析が必要となる。この分野はコンピュータビジョンと呼ばれ、動画像からの人物の検出と追跡は様々な手法が提案されてきた。しかしながら、実用化するにはまだ解決すべき問題が多々残されている。そのうち本論文では、対象を追跡する場合の照明変化への対応と、移動カメラで撮影された動画像からの動物体の検出、というふたつの問題について扱っている。

著者はまず、逐次更新型色ヒストグラムを用いた、照明変化に強い3次元物体検出・追跡法を提案している。まず対象物体の色モデルを2次元ヒストグラムモデルとして取得し、画像からその色を持つ対象物体を検出し追跡する。このとき、照明の変化により対象物体の色変化が発生する。これに対処するため、追跡情報から現在の対象物体の位置及び範囲を推定し、推定された領域から新しい色モデルを取得し、現モデルに追加するという手続きによって、対象物体の色モデルを逐次更新しながら追跡する。パンチルトカメラを用いた色追跡システムを開発し、照明の変化する室内及び屋外環境において、特定の色の衣服を着用した人物の追跡実験を行い、提案法によって安定した色追跡、したがって安定した人物追跡を実時間で実行できることを示している。

次に著者は、1台の移動カメラで撮影された人物の動画像から、カメラの動きを補償して人物を検出する方法を提案している。これは、移動しながらカメラで観察を行う知能移動ロボットを想定している。カメラの動きは、映像上では背景の見かけの動きに現れる。換言すれば、透視投影カメラから得られる画像上の背景領域の動きは、平面領域毎の幾何学的な変形として現れる。そのため提案法では、画像フレーム間で特徴点の検出と対応点探索を行い、その対応情報から幾何学的な画像変換パラメータを段階的マッチングにより推定する。背景に複数の平面が含まれる場合、カメラの動きにより背景に現れる動きは平面毎に異なるため、動き情報に基づいた背景の平面領域推定を行い、各平面領域に対して変換パラメータを推定する。以上の処理により背景の動きが検出される。それを用いれば背景の動きが補償され、移動物体（人物）のみが検出される。実験では、5種類の異なる環境で撮影した人物の動画像に対して、提案法を用いた人物検出を行い、カメラ動き補償の効果を示すことによ

て、提案法の有効性を示している。

以上のように本論文は、コンピュータビジョンシステムによる、照明変化に頑健な物体追跡法、および移動カメラから得られる動画上の移動物体検出法を提案し、有効な結果を得ている。これらの成果は、将来の知能移動ロボットの実現に向けて着実な一歩を提供するものであり、コンピュータビジョン、計測工学、ロボット工学への貢献が大きいものと考えられる。

なお本論文の内容について、審査委員および公聴会の出席者から、照明の物理モデルに基づく研究と本研究との関係、色ヒストグラムが広がりを持つ理由、画像上の平面を推定する理由、他の変換法の可能性、処理時間等の質問が出たが、いずれも著者の適切な説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。