

氏名（本籍地）	<small>よねざわ とおる</small> 米澤 亨
学 位 の 種 類	博 士（情報科学）
学 位 記 番 号	情 博 第 6 1 4 号
学位授与年月日	平成28年 3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科（博士課程）応用情報科学専攻
学位論文題目	飛行ロボットによる人物検索に関する研究
論文審査委員	（主査）東北大学教 授 田所 諭 東北大学教 授 岡谷 貴之 東北大学准教授 大野 和則 東北大学准教授 永谷 圭司（工学研究科）

論 文 内 容 の 要 旨

第1章 緒論

近年、社会の安全・安心を脅かす危険や脅威が顕在化してきている。例えば、大災害や事故の多発化、米国同時多発テロをはじめとした国際的なテロの頻発、治安の悪化などである。科学技術がこれらの危険や脅威の防止、排除に貢献し、安全・安心な社会の構築へ寄与することは重要なことである。日常生活における安全・安心な社会にフォーカスすると、近年では防犯カメラの設置による犯罪の未然防止、犯罪捜査への利用など、防犯カメラによる見守り社会が挙げられる。しかし、犯罪捜査等、写った映像を解析し利用する目的に用いられる場合には、撮影したい角度の人物映像や、必要な解像度の映像を撮影出来ていないことが多い。

そこで、カメラを搭載した飛行ロボットを用いることで、従来の防犯カメラが担ってきた犯罪抑止、監視、犯罪捜査への利用等の役割をさらに高度化することが出来ると考えた。本研究では、日常生活での利用、例えば、遊園地やショッピングモールでの迷子探し、犯人捜しを、飛行ロボットが自律して行えるようにすることを目的とする。こうすることで安全・安心な社会の構築に飛行ロボットを役立てることが出来る。飛行ロボットが人物検索を行うためには、通信、システム面も含めて、さまざまな技術を融合する必要がある。しかし、人物検索が目的であるので、最も重要なポイントは、“飛行ロボットがどのように人物検索を行うか”、であると考えられる。よって、本研究では次に示す3つの研究課題に取り組んだ。1.「飛行ロボットによる人物検出」、2.「飛行ロボットによる人物認証」、3.「人物認証のための飛行ロボットの軌道生成」である。また、人物検索の過程では、映像取得から、人物検出、人物認証と演算負荷が高いと考えられる処理を一連の流れで行う必要がある。その実現性の検証についても行った。

第2章 飛行ロボットによる人物検出

飛行ロボットが撮影した映像から人物検索を行うためには、その映像内から人物部分を抽出する必要がある。第2章では、飛行ロボットによる人物検出アルゴリズムを提案した。飛行ロボットが撮影

する映像は、上空を移動しながら撮影した映像なので、人物の足部はオクルージョンとなる。また、飛行ロボットは移動しながら撮影するため、背景は常に変化する。背景が常に変化するということは、背景が完全にランダムであると考えられることから、人物検出において、背景を誤検出する確率が増えると考えられる。さらに、安全面から人物に接近することは出来ないので、撮影する画像は低解像度となる。よって、低解像度のあらゆる角度の上半身画像を高精度に検出する必要がある。第2章ではそれらの条件を満たす人物検出アルゴリズムを提案した。

その人物検出アルゴリズムは、相関性の小さいと考えられる複数の特徴量を組み合わせることにより精度向上を図ったものである。

公開データベースによる人物検出実験では、精度は従来手法と比較して高精度であることが確認できた。処理時間は、従来手法よりも多くかかっているが、ソフトウェア、ハードウェアの両面で改善の余地が十分にあることを確認した。

また、実際に飛行ロボットを飛行させ撮影した映像に対して人物検出実験を行った。その結果、人物が静止状態の検出実験では、 15° ～ 50° の俯角の違いや、人物の向きの違いによる検出率の差がないことを確認し、すべてを集計した結果、EER10%の検出率であった。人物が動作状態では、ブレの影響によると考えられる検出率の低下はあるものの、検出可能であることを確認した。

これらのことにより、本人物検出アルゴリズムは、飛行ロボットが撮影する映像に対して有用であることを確認できた。

第3章 飛行ロボットによる人物認証

本章では、第2章で抽出した人物画像を用いて人物認証を行うためのアルゴリズムを提案した。飛行ロボットが撮影した人物画像は低解像度で、あらゆる視点から撮影した上半身の人物画像である。また、背景を誤検出した画像も含まれる。さらに、照明条件も変化するため、カラー情報を使うことは出来ない。本研究では、このような飛行ロボット特有の画像に対応した累積アピランス照合アルゴリズムを提案した。

そのアルゴリズムは、上半身のみ、低解像度、エッジ特徴のみ（カラーは使わない）という認証するには悪条件ではあるが、あらゆる角度の人物画像の情報を蓄積することで認証することが出来るものである。

そのアルゴリズムの精度について検証を行った。解像度においては、私服を着た被験者 38 人による認証実験の結果、 46×46 画素、 23×23 画素の画像においては、ほぼ 100% の認証率であった。 15×15 画素の画像では、平均 85% の認証率（誤認率 5%）を得ることが出来た。また、誤検出画像の入力にもロバストであることを示した。さらに、私服以外で、実環境で起こりうる服装パターンでの精度も明らかにした。まず、スーツのような認証対象者全員が同じ服装を着ている場合（制服）について認証実験を行った。私服よりも精度は落ちるが認証可能であることを示した。また、テンプレートと入力で服装が異なる場合について実験を行った結果、認証困難であることが分かった。このように、実環境において生じると考えられる解像度変化や服装パターン変化等での精度を明らかにし、適用可能性、適用限界地点を示した。

また、映像からの人物抽出が手動の場合において、飛行ロボットを実際に飛行させ撮影したデータに対して、人物検索実験を行い、課題はあるが人物検索可能であることを示した。認証対象者が静止状態の場合は、認証対象者がどの方向を向いていても、飛行ロボットが認証対象者から数メートル離れた位置を通過すれば、実験対象者 6 人の中から検索対象候補者を見つけることが出来た。認証対象

者が移動状態では、飛行ロボットの軌道と、認証対象者の移動方向、位置関係によって差はあるが、実験対象者 6 人の中から搜索対象候補者を見つけることが出来るシーンを確認できた。

第 4 章 人物検出と人物認証の統合による人物搜索

第 2 章、第 3 章では、人物検出アルゴリズムと人物認証アルゴリズムのそれぞれについて述べた。しかし、人物搜索の過程では、映像取得から、人物検出、人物認証と演算負荷が高いと考えられる処理を一連の流れで行う必要がある。本章では、その実現性の検証や、人物検出アルゴリズムと人物認証アルゴリズムを組み合わせたときの人物認証精度について述べている。

飛行ロボットが撮影したデータに対して、人物検出アルゴリズムと追跡アルゴリズムを適応し、シーケンスデータを作成した。そのシーケンスデータは、誤検出シーケンスデータや、1 人の人物に対して重複、分割したシーケンスデータが含まれたものである。そのシーケンスデータを用いて、人物搜索実験を行った。人物が静止状態の映像に対する結果は、手動によるシーケンスの結果と同等であることが分かった。また、人物が移動状態の映像に対しても、キャッチ数や誤キャッチ数は、ほぼ同等の結果を得ることができた。さらに、カメラから映像を入力し、アルゴリズムの一連の流れ（人物検出アルゴリズム、追跡アルゴリズム、認証アルゴリズム）を行うリアルタイムアプリケーションを作成し、3fps で処理できることを確認した。よって、飛行ロボットが画像を撮影し、人物認証を行う部分については、システムとしての実現性を示すことが出来た。

第 5 章 人物認証のための飛行ロボットの軌道生成

本章は、飛行ロボットによる人物搜索を行うための軌道生成について述べている。本研究では、上空から人物映像を撮影し、アピアランス認証アルゴリズムに適用することで人物搜索を行うことが目的である。第 5 章では、そのアピアランス認証アルゴリズムを用いたときに、飛行ロボットがどのように移動し人物画像を撮影すれば、効率よく、且つ、高精度に認証を行えるかについて考案した。飛行ロボットはホロノミックな移動体であるので、すべての方向に移動することができる。そのため、その軌道は無限大に存在する。効率的な人物認証を行うために、無限大に存在する軌道の中から累積アピアランス認証アルゴリズムに適した軌道を見つけ出すことが本章の目的である。複数の認証対象者を効率よく、且つ、精度よく認証するための軌道生成手法を提案する。累積アピアランス認証アルゴリズムはあらゆる角度から撮影された人物画像を用いて認証を行い、その角度や組み合わせによって認証精度が変わる。本手法はその特性を考慮した軌道生成を行うことで、認証精度が高くなる軌道を生成する。

その軌道生成を行うために、ある軌道を与えるとその軌道を飛行ロボットが通過しながら撮影したときに、取得できると推定できる認証対象者の照合値を返す関数を作成した。その関数に複数の軌道候補を入力し、その評価値の中から最大値を得る軌道が求める軌道である。その関数は、人物の位置と向きの確率分布と、幾何学的に演算した画像の取得範囲から、テンプレート画像に対応する入力人物画像の取得確率を求める。そして、その人物が搜索対象人物であると想定し、その入力人物画像の取得確率から推定照合値を返すものである。このようにして、ある軌道を通ったときにどれぐらいの照合値が得られるかを推定し、それが最も高くなる軌道が求める軌道となる。

本手法の有効性を確かめるためシミュレーションを作成した。搜索対象の人物の違い（テンプレート画像の違い）による軌道変化や、複数人の認証対象者がいる場合での軌道生成、事前知識があるときの軌道生成結果をシミュレーションで示すことが出来た。

本軌道生成シミュレーションに掛かる処理時間は約1分であった(Intel Core i7 CPU 1スレッド)。処理時間が多く掛かっている原因についても言及した。画像取得パターン数が膨大であることが原因である。高速化が今後の課題である。

第6章 結論

本論文では、飛行ロボットによる人物検索システムを提案した。そのシステムは、大型の遊園地やショッピングモール等の閉鎖空間において、迷子や犯人検索を行うものである。カメラを搭載した飛行ロボットが、検索エリア内を飛行しながら人物映像を撮影し、その映像内に写った人物画像を認証することで人物検索を行う。そのシステムを実現するための技術のポイントである、飛行ロボットが人物検索を行うための、人物検出、人物認証、そして、飛行ロボットの軌道生成について、それぞれ手法を提案した。それらの精度検証実験、実環境での実証実験により、検索エリア内に飛行ロボットを飛行させ、人物検索が行えるようになったといえる。飛行ロボットを手動によって操作する、もしくは、自動巡回飛行の機能を用いることで、飛行ロボットによる人物検索が可能である。

さらに本研究では、効率的かつ高精度な飛行ロボットによる人物認証を行うために、飛行ロボットの軌道生成手法についても提案した。その軌道生成シミュレーションを作成し、複数のパターンでその効果を確認した。人物(テンプレート画像)の違いによる軌道変化や、2試行目の飛行など事前知識がある場合についても、シミュレーションにより確認することができた。

論文審査結果の要旨

カメラを搭載した飛行ロボットを用いることで、従来の防犯カメラが担ってきた犯罪抑止、監視、犯罪捜査への利用等の役割をさらに高度化することが出来る。本研究では、日常生活での利用、例えば、遊園地やショッピングモールでの迷子探し、犯人捜しを、飛行ロボットが自律して行えるようにすることを目的とする。こうすることで安全・安心な社会の構築に飛行ロボットを役立てることが出来る。飛行ロボットが人物検索を行うためには、通信、システム面も含めて、さまざまな技術を融合する必要がある。しかし、人物検索が目的であるので、最も重要なポイントは、“飛行ロボットがどのように人物検索を行うか”，である。以上に基づき、本研究では次に示す3つの研究課題に取り組んでいる。1.「飛行ロボットによる人物検出」、2.「飛行ロボットによる人物認証」、3.「人物認証のための飛行ロボットの軌道生成」である。また、人物検索の過程では、映像取得から、人物検出、人物認証と演算負荷が高いと考えられる処理を一連の流れで行う必要があるため、その実現性の検証も行っている。本論文は、これらの研究成果を取りまとめたものであり、全編6章からなる。

第1章は緒論であり、本研究の背景、目的および構成を述べている。

第2章では、飛行ロボットが撮影した映像内から人物部分を抽出するために、飛行ロボットによる人物検出アルゴリズムを提案している。その映像は上空を移動しながら撮影した映像なので、人物の足部はオクルージョンとなり、背景は常に変化する。よって、上半身を高精度に検出するアルゴリズムが提案された。公開データベースや実際に飛行ロボットが撮影した映像に対して人物検出実験を行い、その有用性を明らかにした。

第3章では、第2章で抽出した人物画像を用いて人物認証を行うためのアルゴリズムを提案している。飛行ロボットが撮影した人物画像は低解像度で、あらゆる視点から撮影した上半身の人物画像である。また、背景を誤検出した画像も含まれる。本研究では、このような飛行ロボット特有の画像に対応した人物認証アルゴリズムを提案している。複数視点から得られる複数の人物画像の情報を蓄積することで精度向上を図った。そのアルゴリズムの精度評価を行い、有用性を確かめた。

第4章では、第2章、第3章で述べた人物検出、人物認証アルゴリズムを一連の流れで行うことができるシステムを作成し、人物検索実験を行った結果について述べている。人物検索精度についての検証やリアルタイムでの動作確認を行った。その成果は、飛行ロボットによる人物検索を実運用する上で重要である。

第5章では、第3章で述べた人物認証アルゴリズムを用いたときに、効率的かつ、高精度に人物認証を行うことができる飛行ロボットの軌道生成手法について提案している。飛行ロボットはホロノミックな移動体であるので、全方向に移動することができ、その軌道は無限大に存在することになる。その中から、人物認証に最適な軌道を選択する手法を提案し、シミュレーションによりその有効性を確かめた。その成果は、飛行ロボットを自律移動させながら人物検索を行う上で、有益な成果である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、飛行ロボットによる人物検索手法を詳細な研究により明らかにしたもので、応用情報科学およびロボット工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。