

称号及び氏名	博士（工学） 宜保 達哉
学位授与の日付	平成 25 年 3 月 31 日
論文名	「多数の人物が往来する環境を対象とした映像監視 技術に関する研究」
論文審査委員	主査 宮本 貴朗 副査 黄瀬 浩一 副査 戸出 英樹 副査 泉 正夫

## 論文要旨

近年、監視カメラの普及が進んでいる。2011年の設置台数は350万台であり、2012年には400万台を突破すると推定されている。これまで、国民に大きな衝撃を与える事件が発生するたびに監視カメラの普及が進んできた。記憶に新しい事件としては、2001年にアメリカで発生した「世界同時多発テロ」が挙げられる。この事件以降、人々の防犯意識が高まり、犯罪など事件の抑制効果や証拠能力の高さへの期待から監視カメラが世界的に普及した。また、監視カメラに関連する半導体や画像処理、パターン認識の技術が向上したことも監視カメラが普及した大きな要因である。具体的には、光を電気信号に変換するイメージセンサが撮像管からCCD (Charge Coupled Device) に変更され解像度が飛躍的に向上したため、映像中の人物を特定することが可能となったことや、監視カメラの接続方法が従来の同軸ケーブルによりアナログ信号を伝送する方法からIP (Internet Protocol) 接続に変更されたため、既設のネットワーク設備が利用可能になり監視カメラの設置が容易になったこと、自動映像監視技術が登場したことなどが挙げられる。現在では、監視カメラに必要とされている「人物の特定に必要な解像度」と「設置が容易な接続方法」の技術が成熟したため、発展途上の技術である自動映像監視が注目されている。

自動映像監視に関する初期の研究の代表的な例として、1975年に開発されたトンネル監視システムが挙げられる。このシステムは、複数ある監視カメラを切り替えて映像を監視員に提示するという単純なものであったが、現場に行く必要がなく監視業務の負担の省力化を図ることができた。この研究が発表されてから現在に至るまで、映像監視に関する様々

な研究が多数発表されている。その一つは、犯罪などを犯した人物を同定する個人識別手法であり、もう一つは、不審な行動や通常とは異なる行動を検出する行動検出手法である。個人識別手法は近年成熟しつつあり、人物の顔を識別する手法を組み込んだ映像監視システムがイギリスやドイツの街頭や空港などで実際に運用されている。一方、行動検出手法を搭載した監視システムも運用された実績がある。その監視システムの一つは、警視庁により東京都内で2008年から2年間限定で運用され、犯罪の認知件数を2割以上低減させる実績を作った。また、イギリス全土においても行動検出手法を搭載した映像監視システムが試験運用された。しかしながら、検出精度に問題があるため今後も継続して行動検出に関する研究が必要であるとイギリスの内務省及び全国警察改善庁が結論付け、関連する研究が奨励されている。このように、行動検出に関する研究は、世界各国で社会の安全を守るために重要な研究分野であると位置付けられている。

行動検出に関する研究は、重要映像提示手法と不審行動検出手法に大別できる。重要映像提示手法は、複数の監視カメラ映像から監視員が確認すべき映像を自動的に抽出することで業務の効率化を図る手法である。これまでに提案されている手法では、画像の画素値の時間的変化を解析したり、個々の人物の動きを解析したりすることで重要な映像を抽出している。しかしながら、画素値を解析対象とした場合、ノイズの影響を大きく受けることが課題として残されている。また、個々の人物の動きを解析する手法では、映像中の人と人が重なり合っただけで体の一部が隠れる場合に正しく人物を追跡できないことなどが課題として残されている。更に、設置する監視カメラの位置関係や設置角度などを考慮しなければならない手法も多数存在し、これらの手法を多数の監視カメラが設置されている大規模な施設に導入する場合、多数の監視カメラ間の位置関係や設置角度を考慮する必要がある。現実的には実用化が困難である。また、重要映像提示手法では、削減した映像を監視員が常時監視することを前提としており、監視の省力化はできるものの、自動化することはできない。

一方、監視を計算機に行わせ、自動化することを目的とした不審行動検出法には、異常行動検出手法と非日常的行動検出手法が存在する。異常行動検出手法では、監視員が「異常である」と考える行動を事前に定義して検出する。そのため、「侵入禁止場所などへの侵入」のように禁止行動が明確に決められている場所の監視に適している。しかしながら、現実世界に存在する全ての異常行動を事前に定義することは難しいため、定義に含まれない未知の異常行動を正しく検出できないことが課題として残されている。一方、非日常的行動検出手法では、普段観測されない行動や普段観測され難い行動を検出する。この手法は、未知の行動を非日常的として検出できるため、様々な行動が観測される場所の監視に適している。これまでに提案されている非日常的行動検出手法では、パーティクルフィル

タや SVM などを用いて、室内などの比較的狭い範囲に存在する少数の人物や物体などを対象として、観測され難い行動などを検出している。そのため、これらの手法を街頭や公共施設などの多数の人物が監視対象となる環境にそのまま適用することは難しい。また、街頭や公共施設などの広範囲に存在する多数の人物を対象とする手法では、対象物までの距離を計測するレーザレンジスキャナと赤外線カメラを併用し人物の足首断面を追跡して非日常的行動を検出する手法や、ステレオカメラにより人物の三次元位置を計測し解析することで、大型商業施設の人流解析に応用する手法が提案されている。既に広く普及している監視システムでは単眼の監視カメラのみを用いていることが多いため、これらの手法を多数の人物が往来する環境を対象とした監視システムに応用するには、既存の設備にレーザレンジスキャナやステレオカメラなどの新たな監視装置を加える必要がある。この問題を受け、多数の人物が往来する混雑した環境において、既に普及している単眼の監視カメラのみを用いた非日常的行動の検出手法が必要とされている。

本論文では、個々の人物の動きの情報などに注目するのではなく、画像全体の大局的な動きの情報に注目することで、画像に含まれるノイズや人と人の重なりに影響を受けることなく重要な映像や非日常的行動、異常行動を抽出・検出する手法を提案する。本論文で提案する手法は、人物の個々の動きに注目していないため、不審な行動をしている人物そのものを抽出することはできないが、個々の人物の行動は周囲の人物の行動に影響を与え、その影響により大局的な動きが変化するため、重要な映像などを正しく抽出・検出できる。また、提案する手法は、映像内の人数に関わらず計算量が一定であるため、既存の監視システムへの適用が容易であると考えられる。

本論文の構成を以下に示す。

第 2 章では、重要映像提示手法を提案し、その詳細について述べる。本章で述べる重要映像提示手法は、多数の人物が往来する混雑した場所に設置された複数の監視カメラ映像中の注視すべき映像と領域を抽出し、監視員に提示することを目的としている。対象環境が多数の人物が往来する混雑した場所である場合には、映像中の人数の影響に頑健であることが望ましい。そこで本手法では、まず、人物の動きをベクトルとして表現できるオプティカルフローを基に人物の大局的な流れを抽出する。大局的な流れを利用することで、人と人が重なり合う混雑した場所において正しく動きを抽出できないといった従来の課題を改善し、更に、画素値のノイズの影響に弱いという従来の課題も改善可能である。次に、シャノンの情報量の考え方を用いて、各ブロックの大局的な流れの情報発生量を算出する。この情報発生量は、時間・空間・時空間的な動きの複雑さを表すことが可能であるため、算出した情報発生量を基に監視員に提示すべき映像と領域を抽出する。PETS2006, UCSD Dataset, Mall Dataset の共通データセットを用いた実験により本手法の有効性を示す。

第 3 章では、非日常的行動検出手法を提案し、その詳細について述べる。本章で述べる非日常的行動検出手法は、単一の監視カメラ映像中で観測される確率が低い行動を非日常的として検出することを目的としている。まず、第 2 章と同様に大局的な流れを抽出する。大局的な流れを用いることにより、単眼のカメラのみを用いて多数の人物が存在する混雑した場所の非日常的行動検出が容易でないという従来の課題を改善している。そして、大局的な流れから人物の行動を抽出し、その行動を逐次学習・認識する。最後に、行動の抽出される確率を算出し、その確率を基に非日常的な行動を検出する。大阪府立大学内に設置した監視カメラ映像を用いた非日常的行動検出実験により、本手法の有効性を示す。

第 4 章では、異常行動検出手法を提案し、その詳細について述べる。本章で述べる異常行動検出手法は、事前に定義された異常行動を検出する手法と、学習結果に存在しない行動や観測頻度が少ない行動を検出する非日常的行動の検出手法の考え方を組み合わせている。まず、大局的な流れから行動を抽出する。次に、抽出された行動同士の類似度を算出し、類似度を基に抽出された行動をクラスタリングする。そして、得られたクラスに対して正常や異常などの情報を付与することで異常行動を検出する。この手法では、自動的に分類して学習した行動に対して情報を付与することにより異常行動を検出するため、従来の課題となっていた事前に定義できない未知の異常行動を検出できる。UCSD Dataset の共通データセットを用いた実験により、本手法の有効性を示す。

第 5 章では、本研究で得られた結果の総括を行い結論とし、今後の課題について述べる。

## 審査結果の要旨

本論文は、多数の人物が往来する混雑した環境を対象とした映像監視技術に関する研究成果をまとめたものであり、以下の成果を得ている。

(1) 多数の人物が往来する混雑した環境においては、人物同士が重なり合うために個々の動きを抽出することが困難であった。それに対して、人物の動きをベクトルとして表現できるオプティカルフローを基にして人物の大局的な流れを抽出することで、画素値のノイズにも頑健であり混雑した環境においても正しく動きを抽出できる手法を提案した。

(2) 映像や領域で観測されている動きの複雑さを基にして、注視すべきと考えられる映像と領域を自動的に抽出し、監視員に提示することで監視員が確認する必要のある映像や領域を削減する手法を提案した。

(3) 監視員が映像を監視する業務を計算機により自動化する手法を提案した。初めて観測される行動や観測され難い行動を非日常的行動として検出し、監視員に通知することで映像の自動監視を実現した。

(4) 初めて観測された行動や観測され難い行動については、非日常的行動検出手法では誤検出する可能性があり、異常行動検出手法では検出が困難であった。そこで、非日常的行動検出手法と異常行動検出手法を組み合わせることで、事前に定義されていない異常行動を検出できる手法を提案した。

以上の諸成果は、混雑した環境を対象とした映像監視の自動化を実現するものであり、映像監視の自動化技術の発展に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究活動を行うのに必要な能力と学識を有することを証したものである。