

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06387

研究課題名(和文) 密に群れた場合の接触・隠蔽を考慮した細胞等変形移動体の確率的動線解析に関する研究

研究課題名(英文) Research for detection and flow analysis of moving objects with shape change and occlusion

研究代表者

近藤 克哉 (KONDO, Katsuya)

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：00295750

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：細胞画像を対象とした顕微撮影において深さ方向の違いにより細胞輝度は変化し画面内には輝度多様な細胞が混在するため、画像内の細胞の全数検査は難しく検出漏れを生じやすい。多様な輝度レンジに対して未検出細胞を抑えることで系譜イメージングの精度改善によく機能するよう問題を解いた。また人物追跡に関し、上空の浮動カメラから下方撮影した画像での揺らく木々による隠れが生じる環境下での影響の軽減や、熱画像において隠れが生じる場合に消失人物の再発見に機能する温度特徴の扱いについて研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生医療の高まりのもと幹細胞の成長過程の評価、群れた人の動きの解析は種々の応用が期待できる。細胞や人などの動きを解析することは、精度よく個々を分離して動きを追跡することが必要で、実用上、近接・接触や隠蔽など特有の問題が存在し、画像内の個々の動き評価を難しくしている。本課題はいくつかの解決法を示し、その適用範囲、応用範囲を増やすことに寄与するものである。また近年、熱画像を用いた動線解析が盛んになってきており、熱特徴に基づく人物追跡も扱った。

研究成果の概要(英文)：In microscopic cell images, cell brightness changes due to cell position in depth, so there are cells with various brightness mixed in an image. Then it tends to miss the detection and tracking of cells, and it is difficult to evaluate the growth and genealogy analysis. By suppressing undetected cells for various brightness ranges, we solved this subject so that we show that it works well to improve the detection for the accuracy of flow and genealogy imaging. For person detection problem in the image taken from a floating camera, we reduced the effect of partial hiding by swaying trees. Furthermore, by using temperature features, we showed that it is reidentified after occluded.

研究分野：画像計測

キーワード：計測工学 画像解析 細胞

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

バイオイメージングフォーマティクス、交通工学や数理物理学などの分野で、混雑下の人や生物の動きを解析することが注目されている。群集、密に集合した環境下では疎な場合とは異なり、相互近接、接触下の高度な個々の区別や頻繁に発生する隠蔽などに対処する必要があり、混雑した環境を対象にした精度の高い自動解析が望まれている。バイオイメージングフォーマティクス分野では、近年の再生医療の高まりのもと幹細胞の成長過程への関心が高まっており、また高速道路での交通渋滞現象の解析、災害時の群衆の動線を考慮した避難ルートの計画、生物の群れの解析などが盛んである。解析対象が、個々を分離せず全体的な群としての動きを解析するものが多い。これは、近接・接触・変形を伴う大規模な数の細胞などの評価が、人手によらず計算機自動処理によって高い精度で実現することが困難なためである。

研究代表者は、時空間を表現できる確率モデルを用いた解析の研究に取り組んできた。密に群れた移動物体の検出には、時間方向に加えて空間的な、ゆらぎを考慮する必要があり、その研究において、合理的にゆらぎを吸収するためロバストな音声認識などでよく用いられる隠れマルコフモデル (HMM) を階層 Dirichlet 過程の中に組み込んだモデルを用いて計算できることを示した。移動物体の動きを読み取る際の適用範囲、応用範囲を広げることが着想し、本課題を開始した。

### 2. 研究の目的

密に群れた細胞、生物、人などの動線の定量的解析には、精度よく個々を分離して動きを追跡することが不可欠で、そのような環境下では、特有の課題として頻繁に近接し相互に接触し、さらには交差し隠蔽が発生する。また顕微撮影においては深さ方向の違いにより、細胞輝度は変化し輝度多様な細胞が画面内に混在する。移動物体を含む種々の画像に対し解析精度に影響を与えるこれらの課題に対処して、適用範囲、応用範囲を増やすことが目的である。

### 3. 研究の方法

細胞の系譜情報や人の動線解析に有用な動線イメージングのため、適用範囲、応用範囲を増やすため、以下の課題などを実施した。

(1) 細胞の動線イメージングについて、細胞は人の画像と異なり、時間経過でのサイズの変化や細胞ごとに輝度が異なる特徴がある。そのため、細胞種別によっては周囲との単純な輝度の差から検出できないことが多い。その解決のためミーンシフト法やリングフィルタを用いて細胞領域を領域分割し細胞検出した。

(2) 木々の下では人領域の輝度変化が生じ部分隠れが生じるため、人領域の輝度があまり変化しない場合に比べ検出が難しい。リングフィルタは明暗の混在や物体の一部が隠れる部分隠れの問題に対しよく機能するため、これを用いて浮動カメラで撮影した木々の下を通過する人の検出を行った。

(3) また近年注目が高まっている熱赤外画像を用いた人検出を扱った。熱赤外画像は通常のカメラと違い光源が無い暗闇や、逆光など明るすぎる場所でも人を捉えることができる。完全隠れが生じた場面に対し、温度特徴を利用してパーティクルフィルタにより人の追跡を行った。さらに、カメラを動かしながら対象を撮影するとき、画面内のオプティカルフローからカメラの動きを画面内の奥行き情報を推定した。カメラ動きが推定できれば固定カメラと同様に移動物体の動線解析が可能になる。

### 4. 研究成果

細胞や人などの動きを解析するため、精度よく個々を分離して検出することに関し、以下の成果を得た。

(1) 細胞画像を対象とした顕微撮影において深さ方向の違いにより細胞輝度は変化し画面内には輝度多様な細胞が混在する。このため、画像内の細胞の全数検査は難しく検出漏れを生じやすい。多様な輝度レンジに対して未検出細胞を抑えることで系譜イメージングの精度改善によく機能するよう問題を解いた。顕微撮影した U2OS 細胞 (がん細胞から樹立した細胞株) の検出・動線イメージングについて、ミーンシフト法による領域分割と未検出領域の輝度補正を多段に行うことで、異なる輝度を持つ細胞検出を行うことができ、未検出細胞の発生が抑えられることを示した (図 1)。

U2OS 細胞画像は細胞体が大きく広がり、フレーム間での輝度特徴の変化が比較的大きい特徴があり、ミーンシフト法による細胞領域の分割時に未検出の細胞が発生する課題があり、これを解決した。

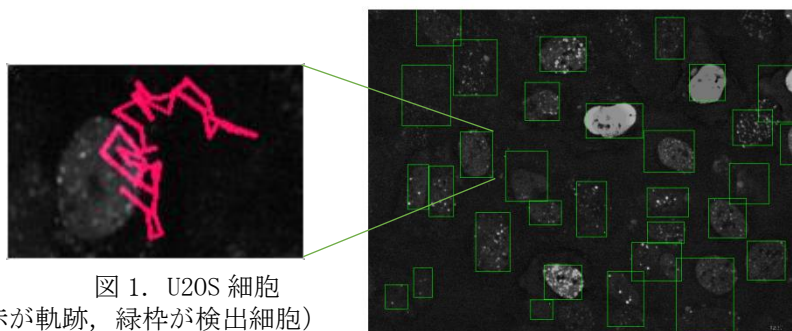
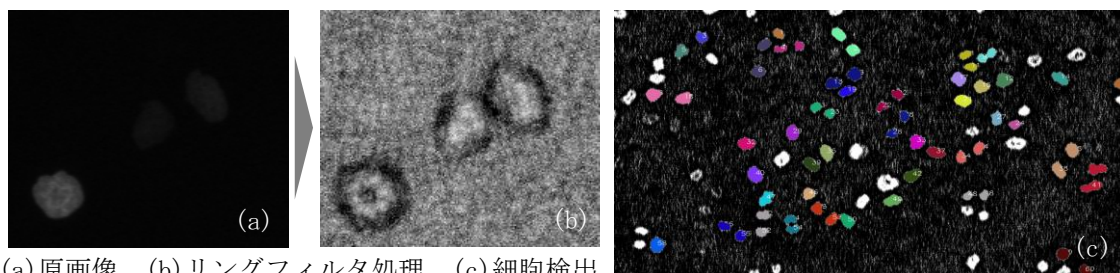


図 1. U2OS 細胞  
(赤が軌跡、緑枠が検出細胞)

また異なる輝度を持つ細胞検出に関し、リングフィルタにより細胞輝度の改善を図ることで(図2(b)), 未検出細胞の発生が抑えられることを示した(図2(c)). 系譜図作成のためには個々の細胞の正確な検出と追跡が必要で、この精度改善は系譜図の作成に有効であることを確認した. 本成果は画面内の全数評価に適用でき、細胞の分裂や死滅などの評価に有用と考えられる.



(a)原画像 (b)リングフィルタ処理 (c)細胞検出

図2. HeLa cells stably expressing H2b-GFP (cell tracking challenge dataset)

(2) 人物追跡に関し、浮動カメラによる俯瞰画像を用いた検出では、横方向からの撮影で生じる物体同士の重なり合いを回避でき、また追跡対象のサイズが物体相互に変化しにくい利点を有する. しかし対象が木々などの下を移動する場合など、木々による部分隠れが生じる. この部分隠れは人物の輝度分布を変化させる要因となるため単純な差分処理では人の検出が難しい. リングフィルタがこのような輝度変化の影響を抑えるよう機能するため検出精度改善に寄与し有効であることを実験により確かめた. これは、リングフィルタが楕円形状の振幅特性を持ち注目画素の近傍領域における勾配ベクトルの集中度を評価できることから、楕円形の物体領域の抽出に有効であるが、このような状況下でも機能することによる. また俯瞰画像の場合は人の影が現れるが、人領域に連続しているため二重検出とはならない. 一方でリングフィルタは輝度の低い成分でも反応するため、背景などに含まれる楕円形に分類される場合は誤って検出されるため、そのようなノイズ発生を抑える前処理が必要である. 生物追跡に関し、ほかに鳥の動きなどを扱った(図3).



図3. カメラ動きを伴う場合の鳥の動線 (a) カメラ動き考慮なし (b) カメラ動き考慮あり

(3) 熱赤外面像の人検出に関し、とくに隠れが生じる場合に消失人物の再発見に機能する温度特徴を利用することでパーティクルフィルタが、完全隠れ問題に対して有効であることを示した(図4). これはパーティクルフィルタが隠れの発生を正確に検知でき、検出前後の処理(再発見)が可能なることによる. 同時に、温度特徴を利用するとき他の熱源物体との区別が困難となる場面があることも確認された. これは可視画像と異なる熱赤外面像の性質・特徴に起因している. 暗闇や光源入射による白飛びが生じる場面など、可視画像での動線解析が困難な状況下で熱赤外面像が有効で、このような場面での適用が期待される.

さらにカメラ動き推定に関し、画面内のオプティカルフローに対しカメラ動きに起因する計算フローを用いて照合することで、フローの推定誤差を抑え、カメラ動きと画面内の奥行き情報の推定精度を改善した. とくに球面カメラを用いて推定した. カメラを動かしながら撮影した画像では撮影対象の動きにカメラ動きが重畳する(図3)ため、カメラ動きの推定によりそれを考慮することで対象の動きを推定できる. カメラ動きと奥行き推定を同時に行うことによる計算速度の短縮はほとんど認められなかった.

このように本課題の成果は、人や生物の動線解析や細胞の系譜情報獲得などのため有用な手段となり得るものである.

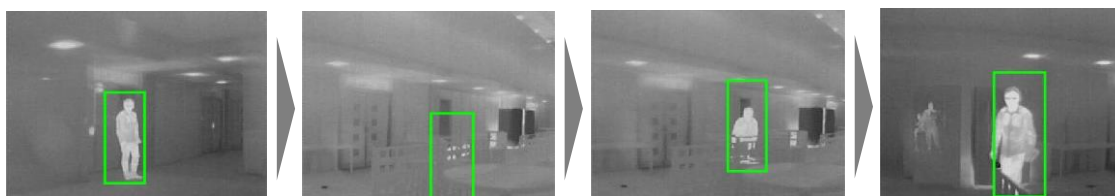


図4. 熱赤外面像を用いた人検出 <http://www.votchallenge.net/vot2015/dataset.html>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 近藤克哉, 三柴 数, 小山田雄仁, 吉川雅基, 栗政明弘	4. 巻 vol.116, no.298
2. 論文標題 細胞相互の輝度の違いが大きな場合の細胞検出	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 (ISSN 0913-5685)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 成田剛志, 西山凌登, 近藤克哉	4. 巻 vol.119, no.458
2. 論文標題 リングフィルタを用いた多様な輝度の複数移動物体の検出	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 (ISSN 0913-5685)	6. 最初と最後の頁 85-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 塚原康平, 近藤克哉, 三柴 数	4. 巻 vol.119, no.458
2. 論文標題 パーティクルフィルタを用いた熱赤外画像の隠れを伴う人物の追跡	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 (ISSN 0913-5685)	6. 最初と最後の頁 79-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 面坪雅人, 三柴数, 近藤克哉
2. 発表標題 オブティカルフローとカメラ運動の交互推定を用いた球面画像の奥行き推定
3. 学会等名 電子情報通信学会第34回信号処理シンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	栗政 明弘 (KURIMASA Akihiro) (80343276)	東北医科薬科大学・医学部・教授  (31305)	
研究分担者	三柴 数 (MISHIBA Kazu) (40609038)	鳥取大学・工学研究科・准教授  (15101)	
研究分担者	小山田 雄仁 (OYAMADA Yuji) (30708615)	鳥取大学・工学研究科・助教  (15101)	
研究協力者	塚原 康平 (TSUKAHARA Kohei)		
研究協力者	西山 凌登 (NISHIYAMA Ryoto)		
研究協力者	吉川 雅基 (YOSHIKAWA Masaki)		
研究協力者	面坪 雅人 (OMOTSUBO Masato)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力 者	成田 剛志  (NARITA Tsuyoshi)		