

可視画像・熱画像対を用いた一時的な影の検出と除去

藤田 和也^{1,a)} 松岡 諒^{2,b)} 岡部 孝弘^{2,c)}

概要: シーン中に存在する影は、建物などに起因する継続的な影と撮影者などに起因する一時的な影の2種類に分類できる。本稿では、後者のような人為的で余分な一時的な影を検出・除去する手法を提案する。継続的な影の領域では温度が低いこと、および、一時的な影の領域では温度が高いことに着目して、可視画像と同時に撮影した熱画像を用いて領域分割を行うことで一時的な影を検出し、その検出結果と既存の影の除去手法を用いて入力画像から一時的な影のみを除去した画像を生成する。実画像を用いた実験を行い、提案手法の有効性を示す。特に、提案手法により、可視画像のみでは不可能な継続的な影と一時的な影の識別が可能になることを示す。

キーワード: 影の識別, 熱画像, 領域分割, グラフカット

1. はじめに

一般に、人や建物などの物体により光源からの光が遮られることによって影が生じる。それらは、人によってできる一時的な影と、建物や木などによってできる継続的な影の2種類に分類できる。写真を撮影する際に、撮影者や移動物体などの一時的な影がシーンに映り込む場合があるが、これらは人為的な影であるため、画像中から除去することが望まれる。

画像中の影は物体検出などの画像処理において精度を著しく低下させる場合があるため、影の検出及び除去は画像処理分野において重要な課題の1つである。影を検出・除去する手法は多く存在し、色 [1] や明るさ [2] に基づいた手法や、補助情報として深度を加えた RGB-D 画像を用いる手法 [3] などが提案されている。しかし、一時的な影と継続的な影は色や明るさ、深度では区別できないため、これらの手法では一時的な影の検出を行うことは困難である。

そこで、本稿では太陽光下で撮影された可視画像と熱画像とを用いて一時的な影と継続的な影を識別し、一時的な影のみを除去する手法を提案する。提案手法では、建物などに起因する継続的な影領域は影のない領域と比較して温度が低くなるのに対し、撮影者などに起因する一時的な影領域は温度低下が起きていないため、影のない領域と同じ振る舞いすることに着目する。可視画像に加えて熱画像を

補助情報として用いた領域分割により、一時的な影の検出を実現する。実画像実験を行い、可視画像のみでは不可能な継続的な影と一時的な影の識別が可能になることを示す。

本研究の主要な貢献は以下のとおりである。提案手法は、熱画像を利用することで、従来手法では不可能だった一時的な影と継続的な影の識別を可能にする。これは熱画像を用いた画像処理技術の新たな応用であり、一時的な影のみの除去のほか、背景差分法の前処理や、静止画像から動物体を検出する手がかりになると考えられる。

2. 関連研究

Finlayson ら [2] は、明るさを除去した色度画像を作成し、入力画像とのエッジ比較により影を除去する手法を提案している。また、Gong ら [1] は色情報に基づいて影を推定し、入力画像と画素ごとの除算を行うことで影を除去する手法を提案している。これらのような、単一の RGB 画像のみを用いた手法では、複数光源に照らされている場合など様々なシーンに対する頑健な影の除去は困難である。そこで、Xiao ら [3] は、深度情報を追加した RGB-D 画像を用いて、同じ法線、空間位置、色度を持つ画素は同じ色を持つという仮定のもと、頑健に影の除去を行う手法を提案している。

しかし、一時的な影と継続的な影は色や明るさ、深度では区別できないため、従来手法では一時的な影と継続的な影を識別することは困難である。そこで、提案手法では、太陽光下の同一材質上で継続的な影領域と一時的な影領域の温度が異なることに着目し、熱画像を補助情報として用いることで、一時的な影と継続的な影の識別を可能とする。

¹ 九州工業大学 大学院情報工学府 先端情報工学専攻

² 九州工業大学 大学院情報工学研究院 知能情報工学研究系

a) k.fujita@pluto.ai.kyutech.ac.jp

b) matsuo@ai.kyutech.ac.jp

c) okabe@ai.kyutech.ac.jp

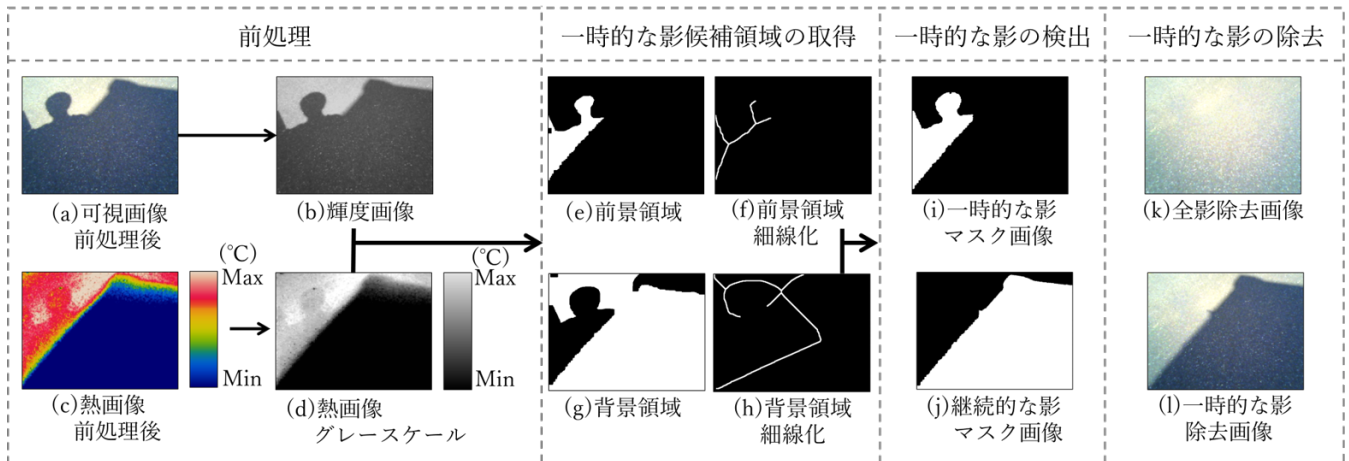


図 1 提案手法の処理手順

熱画像は、物体が放射する遠赤外線を二次元的に測定したものであり、シーンの温度情報を画素単位で保持している。そのため、温度情報が重要な手がかりとなる非破壊検査や物体検出などに活用されている。Davisら [4] は、勾配領域で可視画像と熱画像のエッジを統合することで、従来の背景差分法よりも頑健に監視カメラ映像から人を検出する手法を提案している。Bulanonら [5] は、可視画像と熱画像の情報を統合することで、頑健な果物の検出手法を提案している。このように、可視画像だけでは物体検出が困難な状況での熱画像の有効性が示されている。

本研究では、可視画像・熱画像対を用いた画像処理技術の新たな応用として、可視画像のみでは実現困難であった、一時的な影と継続的な影の識別手法を提案する。

3. 提案手法

提案手法の概略を図 1 に示す。一時的な影は可視画像で影らしく熱画像で温度が高い領域であるという仮定のもと、領域分割により一時的な影を検出する。

領域分割では、前景（一時的な影領域）と背景（その他の領域）の一部を指定する必要がある。提案手法では、可視画像で影らしくかつ熱画像で温度が高い領域は前景（図 1 (e)）、その他の領域は背景（図 1 (g)）として、自動的に初期ラベルを求める。求めた初期ラベルを用いてグラフカットの枠組みで領域分割を行い、一時的な影領域のマスク画像（図 1 (i)）を取得する。次に、検出結果のマスク画像を用いて一時的な影の除去を行う。一時的な影のマスク画像を基準とし、可視画像と従来手法により求めたその全影除去画像（図 1 (k)）を合成することで、一時的な影のみを除去した画像（図 1 (l)）を生成する。以下では、一時的な影の検出とその除去方法について、具体的な処理を説明する。

3.1 一時的な影の検出

まず、可視画像から輝度画像を作成する。次に、輝度画

像と熱画像を用いて、前景と背景の初期ラベルを求める。具体的には大津の閾値を用いて、輝度画像と熱画像の各々を二値化する。このとき、画素値の小さいクラスが影候補領域である。従って、輝度画像で影らしく、熱画像では温度が高い領域を前景とする。一方、熱画像で温度が低い、または、可視画像で影らしくない領域を背景とする。取得した領域の境界部分には曖昧性が存在するため、初期ラベルには、取得した領域を収縮した後に細線化したもの（図 1 (f), (h)）を用いる。最後に、グラフカットの枠組みで領域分割を行うことで一時的な影領域を検出する。本実験では、領域分割手法に LazySnapping[6] を用いる。色だけでなく温度にも基づいて領域分割するために、可視画像の RGB に熱画像を追加した 4 バンドの画像を入力とする。前景・背景領域の選択には、取得した初期ラベルを用いる。

3.2 一時的な影の除去

既存の影の除去手法を用いて全影除去画像を作成し、マスク画像を基準に可視画像と画素ごとの乗算を行うことで、一時的な影のみを除去した画像を生成する。今回、影の除去手法には Gongら [1] の手法を用いた。

一時的な影と継続的な影が接しているシーンでは、検出したマスク画像をそのまま合成に用いると、境界部分の半影領域まで除去され不自然な結果となる。そこで、境界部分をぼかして合成することで擬似的に半影領域の再現を行う。識別した一時的な影領域と継続的な影領域から境界部分を取得し、取得した領域に対してガウシアンフィルタを適用することで境界部分をぼかしたマスク画像を作成し合成に用いる。

4. 実験結果

4.1 一時的な影の検出・除去

提案手法の有効性を示すために撮影者の影が写り込んだ実画像を用いて実験を行った。可視画像と熱画像の撮影に

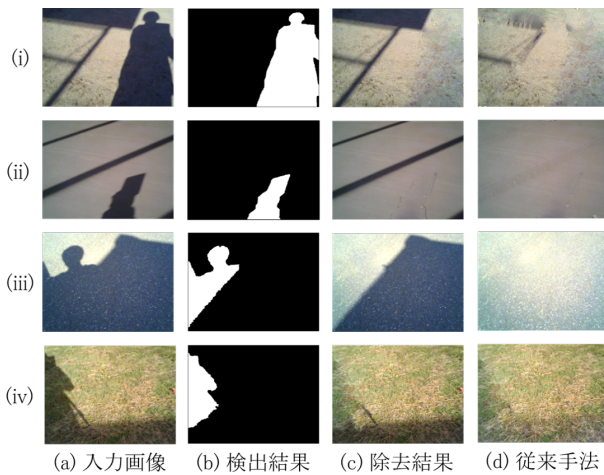


図 2 一時的な影の検出及び除去結果

表 1 検出結果の適合率と再現率

	図 2 (i)	図 2 (ii)	図 2 (iii)	図 2 (iv)
再現率	96.48	94.10	89.41	81.72
適合率	100	100	99.99	99.23

は Optics 社の PI200 を用いた。撮影した可視画像と熱画像は視点が僅かに異なるため、前処理を施し同サイズ、同画角に補正した。4 種類の入力画像に対して実験を行った結果を図 2 に、検出結果と真値を比較して再現率と適合率を求めた結果を表 1 に示す。図 2 より、どのシーンに対しても従来手法では全ての影が除去されてしまっているのに対し、提案手法では一時的な影のみが除去されていることが確認できる。また、表 1 より、一時的な影と継続的な影が接しているシーンでは接していないシーンと比較して再現率が下がる傾向にあるが、適合率はどの画像でも 99 % を超えている。これらの結果から、定性的にも定量的にも良好な結果が得られていることが確認できる。

4.2 時間経過による一時的な影の検出精度

本手法では、一時的な影の検出に熱画像を用いているため、撮影時間の経過にともない、一時的な影領域の温度が低下し、継続的な影との識別が困難になると考えられる。そこで、5 分間にわたり 1 秒間隔で撮影した画像群を用いて時間経過による検出精度変化の検証実験を行った。背景がアスファルトと砂の場合で撮影を行い入力画像に用いた。

背景がアスファルトの場合の再現率（赤線）と適合率（青線）を図 3 に、除去結果の例を図 4 に示す。図 3 より、再現率は常に 95 % を超えているが、適合率は時間経過とともに低下し最低値は 69 % となった。図 4 より、継続的な影の一部が除去され、時間経過とともに除去されている領域が増大していることが確認できる。また、背景が砂の場合は 5 分経過後でも適合率、再現率ともに撮影開始時と同等の結果が得られた。これらの結果から、5 分程度の時間経過では再現率はほとんどかわらず、適合率は低下する傾向

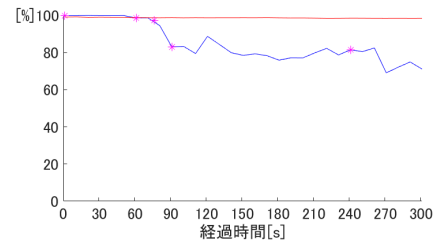
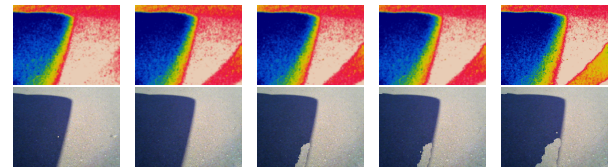


図 3 時間経過による検出精度の変化



(a) 0 秒後 (b) 60 秒後 (c) 75 秒後 (d) 90 秒後 (e) 240 秒後

図 4 時間経過による熱画像と除去結果の変化

にあり、その影響は背景素材に依存することが分かった。

5. おわりに

本稿では、可視画像と熱画像に基づく一時的な影の検出とその除去手法を提案した。提案手法では、継続的な影領域と一時的な影領域では温度が異なることに着目し、可視画像と熱画像に基づきグラフカットの枠組みで領域分割を行い、一時的な影領域を検出する。さらに、既存の影の除去手法により求めた全影除去画像と可視画像を、取得した一時的な影領域のマスク画像を基準に合成することで、一時的な影のみを除去した画像を生成する。実画像実験により、提案手法の有効性を確認し、時間経過にともなう検出精度変化について検証実験を行った。背景が一様でないシーンや、一時的な影が複数物体にかかっているシーンへの対応や、境界部分の処理の改善は今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18H05011 および JP17H01766 の助成を受けた。

参考文献

- [1] H. Gong, and D. Cosker, "Interactive Shadow Removal and Ground Truth for Variable Scene Categories", In Proc. BMVC2014, BMVA Press, 2014.
- [2] G. Finlayson, S. Hordley, M. Drew, and C. Lu, "On the Removal of Shadows from Images", IEEE Trans. PAMI, Vol.28, No.1, pp.59-68, 2006.
- [3] Y. Xiao, E. Tsougenis, and C. Tang, "Shadow Removal from Single RGB-D images", In Proc. IEEE CVPR2014, pp.3011-3018, 2014.
- [4] J. Davis, and V. Sharmam, "Background-subtraction Using Contour-based Fusion of Thermal and Visible Imagery", CVIU, Vol.106, No.2-3, pp.162-182, 2007.
- [5] D. Bulanon, T. Burks, and V. Alchanatis, "Image Fusion of Visible and Thermal Image for Fruit Detection", Biosystems Engineering, Vol.103, No.1, pp.12-22, 2009.
- [6] Y. Li, J. Sun, C.-K. Tang, H.-Y. Shum, "Lazy Snapping", ACM Trans. Graphics, Vol.23, No.3, pp.303-308, 2004.