

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540072

研究課題名(和文) 選択的注視センシング

研究課題名(英文) Sensing with Selective Attention

研究代表者

島田 敬士 (Shimada, Atsushi)

九州大学・基幹教育院・准教授

研究者番号：80452811

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、センシングの段階で背景領域を興味対象から除外可能な実世界センシングの原理を確立させた。具体的には、従来のセンシングでは2次元表現されていた合焦空間を、任意の多様体により表現できるようにすることで、たとえば興味対象が出現する場所のみを合焦させ、逆に背景領域については合焦させない、つまり興味対象外にしてしまうようなセンシングが可能になった。開発した手法により従来の変化検出法では背景変化の影響を大きく受けていたシーンに対して、選択的注視センシングを展開してその実用性が証明された。

研究成果の概要(英文)：Existing background model based change detection methods have difficulty in distinguishing between foreground and background changes when both changes are caused by the same factors. We explored the possibility of using a light field camera to resolve the problem of existing single-view camera-based approaches. We proposed a new change detection strategy that processes light rays captured by the light field camera. The light rays are used for 1) generating an active surveillance field (ASF) to determine in-focus and out-focus areas, 2) evaluating focusness to determine whether the light rays come from the ASF, and 3) creating and updating light-ray background models to capture temporal changes in light rays. We evaluated several video sequences captured by a light field camera. Experimental results showed that our change detection scheme can robustly handle challenging situations that cannot be resolved by existing single-view approaches.

研究分野：パターン認識

キーワード：画像処理 物体検出 選択的注視

1. 研究開始当初の背景

背景差分法に基づく変化検出は、カメラがフォーカスしている空間（以下では、合焦空間と呼ぶ）において、定常観測から逸脱する変化を捉える手法であり、コンピュータビジョン問題を解くための基盤技術として長年にわたり研究がなされている。合焦空間において生じる変化が、興味対象により引き起こされるのが理想であるが、実際には木々や水面の揺れのように興味対象外の物体に背景変化を引き起こす要因が含まれるため、生じた変化が背景に由来するものなのかどうかを判断しなければならない。先行研究では、この問題を解決するために様々な背景変動への対処法が議論されてきているが、背景変化のみを無視できる抜本的な解決には未だ至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、センシングの段階で背景領域を興味対象から除外可能な実世界センシングの原理を確立させる。具体的には、従来のセンシングでは2次元表現されていた合焦空間（図1）を、任意の多様体（図2）により表現できるようにする。これにより、たとえば興味対象が出現する場所のみを合焦させ、逆に背景領域については合焦させない、つまり興味対象外にしてしまうというようなセンシングが可能になる。本研究では、この新たなセンシング原理を「選択的注視センシング」と呼ぶことにする。

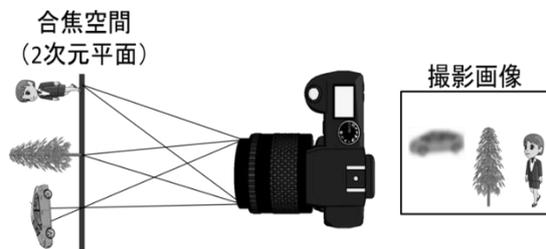


図1 従来センシング：合焦空間はカメラの光軸に垂直な平面となる。

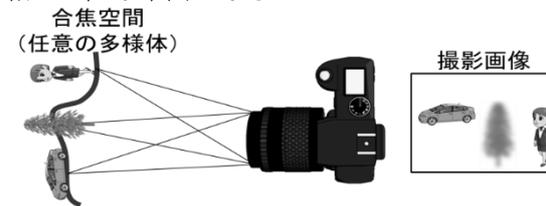


図2 選択的注視センシング：合焦空間は任意の多様体で表現できる。

3. 研究の方法

(1) ライトフィールド計測に基づく任意の合焦空間生成
注視する領域と注視しない領域を選択し、合焦空間を任意の多様体で表現する方法を確

立する。具体的には、ライトフィールドカメラに搭載されたカメラ間のキャリブレーションを行い、各カメラで観測される光線の対応関係を獲得する。説明を簡単にするために、2つのカメラに注目して説明をすると、2つのカメラでの観察には視差が生じ、カメラからの距離が短い対象であれば視差は大きく、距離が遠くなれば視差はゼロに漸近する。これはヒトの両眼視差による注視と同じ原理であり、近くを合焦すれば遠くがぼけて見えるという現象と同等である。従って、距離と視差の関係をモデル化しておけば、カメラから任意の距離にある空間を選択的注視空間として設定することが可能になる。

(2) 合焦空間における背景モデリング

任意の多様体で表現された合焦空間において、変化検出を行うための背景モデリング手法を確立する。具体的には、ライトフィールドカメラで観測される複数の光線に対して、項目(1)で生成した合焦空間から発せられた光線かどうかの判定を行う方法を確立する。合焦面から発せられた光線であれば同一色の光線が観測されるため、複数のレンズを通して観測される光線色のヒストグラムは図3の左上に示すように鋭い形状を成す。一方、合焦面以外から発せられた光線であれば、各レンズは様々な観測点からの光線を通すため、光線色分布は同図右下に示すようなまばらな分布となる。

また、ライトフィールドカメラで観測する光線群に対して、時系列の変化を捉えるための背景モデリング法を確立する。先行研究で開発された統計的背景モデル構築法をライトフィールドカメラで観測される光線群に対して適用できるように拡張する。

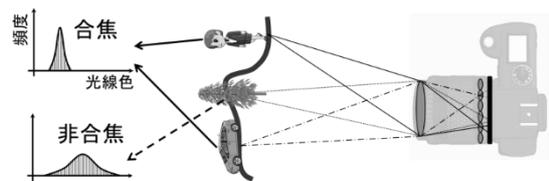


図3 合焦判定のイメージ：合焦面からの光線色は同一色であると仮定できるため色分布は鋭くなる。

(3) 選択的注視センシングのフィールドテスト

従来の変化検出法では背景変化の影響を大きく受けていたシーンに対して、選択的注視センシングを展開してその実用性に向けた検証する。

4. 研究成果

(1) ライトフィールド計測に基づく任意の合焦空間生成
ライトフィールド画像 $L(s, t, u, v)$ において、

(s, t)をカメラの視点座標, (u, v)をそこで観測される光線の傾きとすると, 各カメラで撮影される2次元画像 $p(x, y)$ からライトフィールドの傾き $p_{s,t}(u, v)$ へは,

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = {}^d H_{s,t} \cdot K_{s,t}^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

により変換できる. ここで, $K_{s,t}$ は各カメラ(s, t)の内部パラメータ, $H_{s,t}$ は距離 d の平面における2枚の画像間のホモグラフィであり, カメラから距離 d を合焦するための対応関係を記述できる. 図4に合焦空間生成と上記の数式の対応関係を示す.

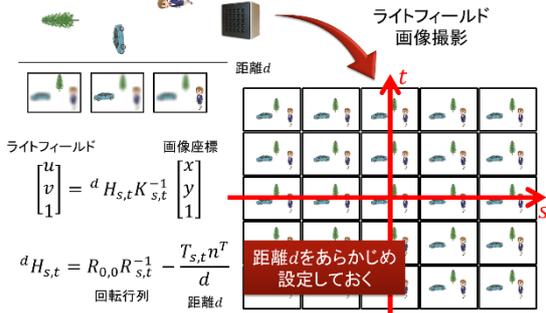


図4 カメラ間ホモグラフィを用いた合焦空間生成

(2) 合焦空間における背景モデリング

前節で述べたホモグラフィを利用することで, カメラ間の対応する光線(u, v)を計算することができる. 合焦空間からの光線であれば, 光線は一貫した光線色が観測され, そうでなければ光線色の一貫性が低くなる. 一貫性を判断するために本研究では, 次式の光線特徴距離を定義する.

$$R_{s,t}(u, v) = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k |I_{s,t}(u+i, v+j) - I_{0,0}(u+i, v+j)|$$

ここで, $I_{s,t}(u, v)$ はカメラ(s, t)の光線(u, v)の光線色, k は類似度を評価するためのカーネルサイズである. $R_{s,t}(u, v)$ の値は, 合焦空間からの光線であれば小さくなる. 次に, $R_{s,t}(u, v)$ を中心カメラと他のすべてのカメラで観測される光線で足し合わせた後に正規化することで合焦度合いを評価する Focusness 値 $D(u, v)$ を得る. $D(u, v)$ は合焦空間内の観測であれば大きな値になるため合焦判定に利用できる(図5).

光線特徴の時間的な画像の変化は背景モデリングにより検出する. 一般のカメラでは画像中の各画素に対して背景モデルをひとつ割り当てるが, ライトフィールド計測を行えば, 各カメラ視点で背景モデルを構築することができる. すなわち, 時刻 τ においてカメラ(s, t)の各光線に対する背景モデル $B_{s,t}(u, v)$ を

$$B_{s,t}^\tau = \sum_{k=1}^K w_k^\tau \eta(I_{s,t}^\tau | \mu_k^\tau, \Sigma_k^\tau)$$

$$D(u, v) = 1 - \frac{1}{(2k+1)^2 N} \sum_s \sum_t R_{s,t}(u, v)$$

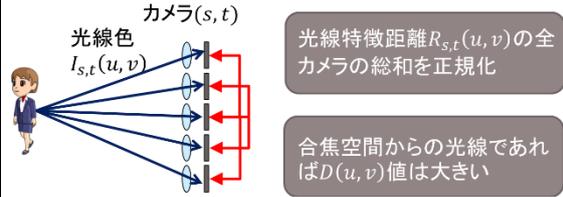


図5 光線色の一貫性評価に基づく合焦判定

により構築する. ここで, K は混合ガウス分布の要素数であり, w_k, μ_k, Σ_k は分布の重み, 平均値, 分散値を表すパラメータである.

次に時系列変化を評価する Foregroundness 値を次式により計算する.

$$F^\tau(u, v) = \frac{1}{N} \sum_s \sum_t (1 - B_{s,t}^\tau(u, v))$$

ここで, N はカメラの台数である. また, 右辺で和を計算する項は, 各カメラにおける(u, v)の前景確率であることから, $F(u, v)$ は多くのカメラが高い前景確率を出力した際に大きな値になる(図6).

$$F^\tau(u, v) = \frac{1}{N} \sum_s \sum_t \frac{(1 - B_{s,t}^\tau(u, v))}{\text{光線}(u, v)\text{の前景確率}}$$

多くのカメラで前景確率が高ければ $F(u, v)$ 値は大きい

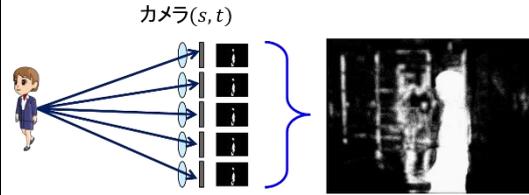


図6 各カメラでの時系列変化の合成

合焦空間における変化検出は, Focusness 値と Foregroundness 値を組み合わせることで行われる. これらの値は, 合焦空間内に物体が出現した際に大きくなることが期待されている. 解くべき問題は, 前景か背景の二値のラベル推定問題であり, それを下記のエネルギー最小化問題として定式化する.

$$E(L) = \lambda \sum_{(i) \in V} G(i | D_i, F_i) + \sum_{(i,j) \in E} H(i, j | I_i, I_j)$$

右辺第1項は, ペナルティ項と呼ばれ, Focusness 値と Foregroundness 値の積により計算する. また, 右辺第2項はスムージング項と呼ばれ, 隣接する光線の特徴が類似しているときに同じラベルを割り当てるための制約項である. エネルギー関数の最小化はグラフカットアルゴリズムを利用する.

(3) 選択的注視センシングのフィールドテスト

ライトフィールドカメラ ProFUSION 25により撮影された4つのシーン(図7)を利用して評価を行った. 各シーンに対して, 合焦空



Scene 1 185 frames Scene 2 327 frames Scene 3 179 frames Scene 4 559 frames

図7 評価に用いたシーン

間をカメラから近い位置 (Near) と遠い位置 (Far) をそれぞれ設定した. 各シーンの特徴は次の通りである.

シーン 1 :

建物の入り口付近を撮影した映像で検出対象は付近を移動する人である. 背景領域には, 自動ドアの開閉に伴うシーンの変化が含まれる.

シーン 2 :

上の階からロビーを撮影したシーンで, ロビー (Far) や上の階の廊下 (Near) を行き来する人が検出対象である.

シーン 3 :

廊下から屋外を撮影したシーンで, 廊下を行き来する人が検出対象である. 屋外シーンには, 証明変動が含まれる.

シーン 4 :

複雑背景を含む屋内シーンで, 部屋の中を移動する人が検出対象である. シーンの明るさに応じてカメラパラメータが自動的に変化する.

表1ならびに図8に4つのシーンに対する評価結果を示す. いずれのシーンにおいても, 先行研究による変化検出精度に比べて, 非常に良い結果を得ることができた. 特に, カメラから近い位置のセンシングを対象とした場合には, 高い性能を得ることができた. 例えば, 従来研究では自動ドアの動きを誤検出しているのに対して, 本研究の成果では, 自動ドア領域の動きを無効化できていることが確認できた.

表1 変化領域検出結果の定量評価. Proposed は研究成果, LRP, LDP, GMM は先行研究の結果

		Scene 1		Scene 2		Scene 3		Scene 4	
		Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far
Proposed	Precision	0.921	0.258	0.958	0.594	0.961	0.902	0.983	0.169
	Recall	0.919	0.494	0.932	0.458	0.953	0.947	0.889	0.905
	F-Measure	0.920	0.339	0.945	0.517	0.957	0.924	0.934	0.285
LRP [3]	Precision	0.823	0.034	0.999	0.155	0.481	0.088	0.700	0.028
	Recall	0.832	0.938	0.639	0.783	0.940	0.463	0.997	0.998
	F-Measure	0.828	0.065	0.779	0.259	0.636	0.147	0.822	0.055
LDP [8]	Precision	0.127	0.067	0.807	0.040	0.464	0.129	0.605	0.082
	Recall	0.288	0.804	0.261	0.439	0.177	0.270	0.413	0.859
	F-Measure	0.177	0.123	0.395	0.074	0.256	0.175	0.491	0.149
GMM [4]	Precision	0.272	0.051	0.840	0.029	0.588	0.105	0.439	0.029
	Recall	0.937	0.938	0.785	0.907	0.989	0.970	0.987	0.994
	F-Measure	0.422	0.097	0.812	0.056	0.738	0.190	0.607	0.056

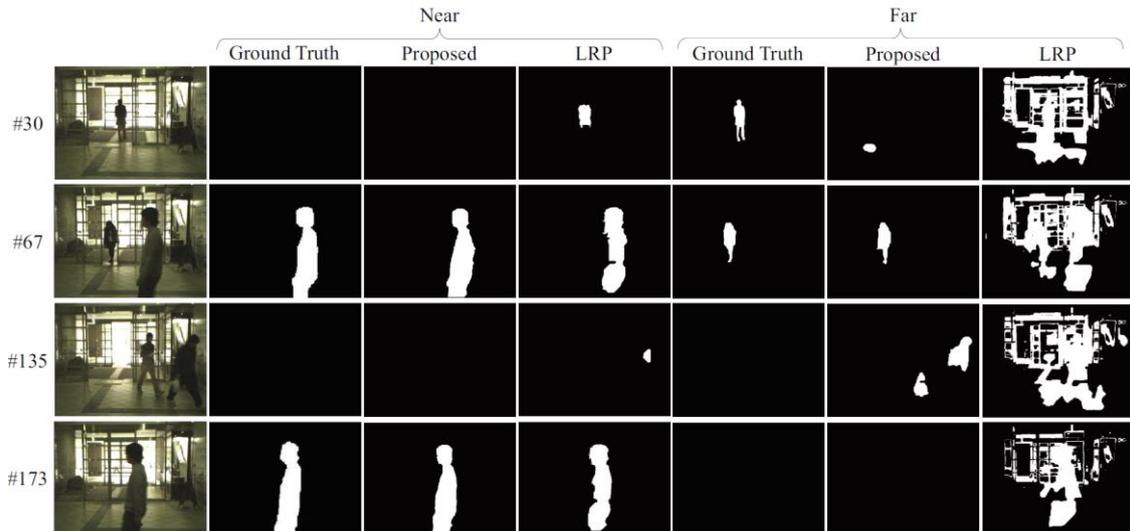


図8 変化領域検出結果. GroundTruth は正解画像, Proposed は研究成果, LRP は先行研究の結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- (1) Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Background light ray modeling for change detection, Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 38, pp. 55-64, 2016. (査読あり)
- (2) Satoshi Yoshinaga, Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Object Detection Based on Spatiotemporal Background Models, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 122, pp. 84-91, 2014. (査読あり)
- (3) Atsushi Shimada, Yosuke Nonaka, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Case-based background modeling: associative background database towards low-cost and high-performance change detection, Journal of Machine Vision and Applications, 2013. (査読あり)
- (4) Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Object Detection based on Spatio-Temporal Light Field Sensing, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 5, pp. 129-133, 2013. (査読あり)

[学会発表] (計9件)

- (1) Tsubasa Minematsu, Hideaki Uchiyama, Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Background subtraction for a moving camera using re-projection error, The 11th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR2015), 2015. (JR 博多シティ, 福岡県福岡市)
- (2) Tsubasa Minematsu, Hideaki Uchiyama, Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Adaptive Search of Background Models for Object Detection in Images Taken by Moving Cameras, The International Conference on Image Processing (ICIP), 2015. (ケベックシティ, カナダ)
- (3) Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Change Detection on Light Field for Active Video Surveillance, 12th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal based Surveillance (AVSS), 2015. (カールスルーエ, ドイツ)
- (4) Etienne Pot, Maiya Hori, Atsushi

Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Person Re-identification Visualization Tool for Object Tracking across Non-overlapping Cameras, The 3rd Activity Monitoring by Multiple Distributed Sensing (AMMDS 2015), 2015. (カールスルーエ, ドイツ)

- (5) Tsubasa Minematsu, Hideaki Uchiyama, Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Evaluation of Foreground Detection Methodology for a Moving Camera, The 21th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, 2015. (Mokpo, 韓国)
- (6) Satoshi Yoshinaga, Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Spatio-temporal Background Model Considering Intensity Changes, the 20th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp. 48-53, 2014. (沖縄高専, 沖縄県名護市)
- (7) Tsubasa Minematsu, Masaki Igarashi, Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Exponentially Weighted Background Modeling, the 20th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp. 6-10, 2014. (沖縄高専, 沖縄県名護市)
- (8) Yosuke Nonaka, Atsushi Shimada, Hajime Nagahara Rin-ichiro Taniguchi, Real-Time Foreground Segmentation from Moving Camera based on Case-based Trajectory Classification, Recent Advances in Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 808-812, 2013. (ロワジール スパタワー那覇, 沖縄県那覇市)
- (9) Satoshi Yoshinaga, Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Koichiro Kajitani, Takeshi Naito, Multi-layered Background Modeling for Complex Environment Surveillance, Second Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR2013), pp. 278-283, 2013. (ロワジール スパタワー那覇, 沖縄県那覇市)

[その他]

ホームページ等

<http://limu.ait.kyushu-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島田 敬士 (SHIMADA ATSUSHI)
九州大学・基幹教育院・准教授
研究者番号：80452811