

白色度を用いた標的検出と追跡の動画像への応用

Applied a Target Detect and Tracking in Moving Image by using the Whiteness

武井昌史†
Masafumi TAKEI高橋信行†
Nobuyuki TAKAHASHI

1 はじめに

計算機で標的を追跡するために、背景差分法 [1] やフレーム間差分法 [2] などの種々の手法が考案されてきたが、それらも万能ではない。これらの手法において標的の色・形状、または背景などの事前情報を必要とするため、背景、標的ともに変化する画像では、誤検出・誤追跡を減らすのは容易ではない。

そこで、画像全体の大多数の領域を背景とみなし、この背景画像の統計的性質と異質な統計的性質を持つ領域を標的とみなすことで、事前情報を必要とせず、背景、標的ともに変化する動画像から白色度 [3] を用いて標的を検出し追跡する手法を提案した [4]。

しかし、白色雑音で構成される背景に白色雑音をテクスチャマッピングされたものを標的とする動画像等では、背景または標的が動くときは背景と標的が区別されて見えるが、画像に動きがなくなると標的を認識できなくなる。このような動画像は Random Dot Kinematograph (RDK) と呼ばれている。白色度を用いた従来の手法ではフレーム毎にしか白色雑音の度合いを評価していないため、この RDK の中から標的を検出することは不可能であった。

この白色度は吉川らが示したように 2 次元確率場では相関面積と等価である [5]。一方、3 次元確率場でも相関体積が定義できる [6] ことから、我々は相関体積に相当する動画像に対応した白色度を新たに提案する。すなわち、新たに提案する白色度は 2 次元確率場で用いた白色雑音の度合いである白色度を 3 次元確率場である動画像に拡張し、空間方向だけでなく時間方向の白色化の程度も同時に評価可能な“時空間白色度”である。本研究では計算機で発生させた動画像を用いて実験を行い時空間白色度の有効性を示す。

2 3 次元時空間確率場における相関関数とスペクトル

通常の画像の画素の濃淡値を表すのに離散空間座標 (m, n) を用いて I_{mn} と表記する。動画像の画素の濃淡値を表すため、これに離散時間座標 ℓ を導入し、 $I_{\ell mn}$ と表記する。 $I_{\ell mn}$ を 3 次元時空間確率場と考えると

$$I_{\ell mn} = \int \int \int_{-\pi}^{\pi} e^{i(\ell\lambda + m\mu + n\nu)} dZ(\lambda, \mu, \nu) \quad (1)$$

$$\left\langle \overline{dZ(\lambda', \mu', \nu')} dZ(\lambda, \mu, \nu) \right\rangle = \begin{cases} S(\lambda, \mu, \nu) & (\lambda', \mu', \nu') = (\lambda, \mu, \nu) \\ 0 & (\lambda', \mu', \nu') \neq (\lambda, \mu, \nu) \end{cases} \quad (2)$$

†公立はこだて未来大学 Future University Hakodate

となる。ここで $dZ(\lambda, \mu, \nu)$ はランダムスペクトル測度、 $S(\lambda, \mu, \nu)$ は $I_{\ell mn}$ の 3 次元スペクトル密度であり、 $\langle \rangle$ は平均操作を表す。3 次元相関関数 $R_{\ell mn} = \langle I_{\ell' m' n'} I_{\ell'+\ell m'+m n'+n} \rangle$ のスペクトル表現は

$$R_{\ell mn} = \iiint_{-\pi}^{\pi} e^{i(\ell\lambda + m\mu + n\nu)} S(\lambda, \mu, \nu) d\lambda d\mu d\nu \quad (3)$$

となる。本研究では、3 次元であっても実数値動画像のみを扱っているため、相関関数およびスペクトルは以下のような対称性をもつ。

$$R_{\ell mn} = R_{-\ell -m -n}, \quad S(\lambda, \mu, \nu) = S(-\lambda, -\mu, -\nu) \quad (4)$$

3 時空間確率場における白色度

画像の白色雑音の度合い、すなわち、画像における画素間の相関の度合いを評価するために、“白色度 (Whiteness)” [3] と呼ばれる評価関数を提案した。

この白色度は 2 次元確率場の特徴量である相関面積と等価であり [5]、さらに、3 次元確率場では相関体積が定義できることを吉川らが示した [6]。このことは、2 次元確率場で用いた白色雑音の度合いである白色度と同様の評価関数が 3 次元確率場において定義できることを示唆する。

上記をふまえた上で本研究では 3 次元時空間確率場である動画像の白色化の度合いを評価するために、白色度を時空間に拡張したものを式 (5) で定義する。本研究では式 (5) を“時空間白色度”と呼ぶことにする。

$$W_{3D} = \frac{1}{[R_{000}]^2} \sum_{\ell, m, n} w(\ell, m, n) [R_{\ell mn}]^2 \quad (5)$$

時空間白色度は白色度と同様の性質を持つ。 W_{3D} は、明らかに非負の値を取り、 $I_{\ell mn}$ の相関関数が $R_{\ell mn} = \delta_{\ell 0} \delta_0 \delta_0 \delta_0 \delta_0$ 、すなわち、 $S(\lambda, \mu, \nu) = \text{定数}$ ならば、 $W_{3D} = 0$ となる。このため、式 (5) の値が 0 の値に漸近するほど、その動画像は 3 次元白色雑音化されていることを示す。なお、式 (5) 内にある $w(\ell, m, n)$ は重み関数であり本研究では重み関数を $w(\ell, m, n) = (|\ell| + |m| + |n|)$ とした。

4 時空間白色度を用いたパラメータ推定

本研究では、画素の重みが f_{ijk} 、 $(i, j, k) \in T$ である $3 \times 3 \times 3$ の 3 次元フィルタを用いた 26 近傍画像モデルを仮定する。ただし、フィルタの台 T は

$$T = \begin{cases} (0, 0, 0) \notin T \\ (i, j, k) \in T \\ i = -1, 0, 1, j = -1, 0, 1, k = -1, 0, 1 \end{cases} \quad (6)$$

とする。この動画モデルを用いれば、動画の統計的な性質を推定することは、元の動画からパラメタ f_{ijk} を推定することに帰着できる。

元動画 I_{lmn} と推定動画との残差動画 J_{lmn} 、残差動画の相関関数 R_{lmn}^J は、

$$J_{lmn} = \sum_{(ijk) \in T} f_{ijk} I_{l+i, m+j, n+k} - I_{lmn} \quad (7)$$

$$R_{lmn}^J \equiv \langle J_{000} J_{lmn} \rangle \quad (8)$$

となる。この残差動画 J_{lmn} の時空間白色度を W_{3D}^J とすれば、 W_{3D}^J を最小にする f_{ijk} を求めることで、元の動画の統計的な性質を推定することができる。

また、時空間白色化後の動画 J_{lmn} では、標的の近傍を除いた動画は一樣な3次元 Gauss 白色雑音成分のみになっている。そのため、時空間白色化後の動画の背景部において画素の分散値は一定である。その一方で標的の近傍では白色雑音成分だけではなく、標的の構成成分も含む。そのため標的の近傍の分散値は背景部分の分散値と比較して大きくなる。この性質に着目し、標的の検出を試みる。白色化動画のフレーム (ℓ) における位置 (m, n) 近傍の分散を小領域 V を用いて定義する。

$$V \equiv \{J_{mn}, J_{m+1n}, \dots, J_{m+in+i}\} \quad (9)$$

$$\sigma_{mn}^2 = \langle (J_{mn})^2 \rangle \quad J_{mn} \in V \quad (10)$$

式(10)のように白色化画像内で小領域 V を走査させることにより、空間と分散値の関係を表す分布 σ_{mn}^2 を得る。この分布 σ_{mn}^2 を“空間-分散画像 [7]”と呼ぶ。空間-分散画像では標的とその近傍を除いて分散の値は一定の範囲以内に収まる。標的が存在する領域の分散は画像全体の分散よりも大きいので、分散が基準値を超えた位置に標的が存在すると考える。この操作を各フレーム毎に行い標的の検出を行った。

5 実験

本手法の妥当性を示すために次のようなシミュレーションを行った。計算機で発生させた標的を埋め込んだ RDK から標的検出を試みた。

ここで画素数 (m, n) は縦横ともに 256、フレーム数 (ℓ) は 90 とした。図 1 が元動画の 1 フレーム目であり、図 2 は時空間白色化適用後である。なお、図 1~3 において標的部分に白丸を記入した。時空間白色度を算出した結果、適用前は 238.43 で適用後は 197.03 であった。図 1 の RDK では埋め込まれた標的は検出できない

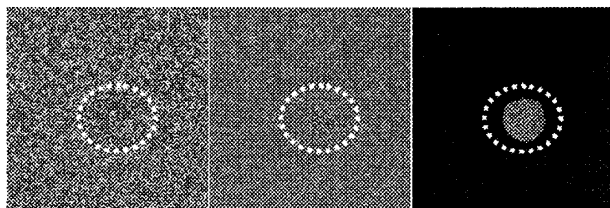


図1 元の動画像 図2 提案手法 図3 検出結果
が、図2では白丸の領域内に標的が存在するのが確認で

きる。また、空間-分散画像から閾値 $\sigma^2 = 2.0$ で検出した領域を切り取ったものが図3であり標的が検出されているのがわかる。適用前と比べて S/N 比は 8.91 [dB] 向上した。

6 終わりに

本報告では相関体積より時空間白色度を定式化を行った。また、RDK の時空間白色化を行い RDK の中から標的の検出が可能であることを示した。

今後の課題は、実験に用いた動画の背景が完全に白色化されず動きが残っているため、時空間白色化のさらなる最小値化を行い3次元白色雑音場化を目指し3次元フィルタの係数の検討や時空間白色度に最適な重み関数の検討である。また、複数の標的の場合での同定や標的自体の相関も変化していく場合や実動画像へ適用し本手法のさらなる有効性を示していきたい。

謝辞

本研究は、科研費(萌芽研究 19656096)ならびに公立はこだて未来大学特別研究費重点区分(平成19年度 A1)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 吉田俊之, “参照画素の状態に基づく背景差分法,” 電子情報通信学会論文誌 A Vol. J88-A No.11 pp. 1226-1234, 2005.
- [2] 高藤政雄, 北村忠明, 小林芳樹, “空間微分および差分処理を用いた車両抽出法,” 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol. J80-D-II No.11 pp. 2976-2985, 1997.
- [3] 宮城繁幸, 小倉久直, 高橋信行, “「白色度」による非因果性確率モデルの推定,” 電子情報通信学会論文誌 A Vol. J76-A No.8 pp. 1079-1087, 1993.
- [4] 武井昌史, 高橋信行, 松岡尚哉, “白色度を用いた実動画像からの標的の追跡,” 第29回情報理論とその応用シンポジウム 予稿集 I pp. 445-448, 2006.
- [5] 吉川昭, 坂本雅人, 小林直也, “2次元確率場の自由度と相関面積・相関距離,” 電子情報通信学会論文誌 A Vol. J77-A No.4 pp. 711-719, 1994.
- [6] 吉川昭, “統計的自由度に基づく3次元確率場の各特徴量とその相互関係について,” Memoirs of The School of Biology-Oriented Science and Technology of Kinki University No.12, pp. 31-36, 2003.
- [7] 高橋信行, 川島康孝, 松下康雄, “不規則なパターンの背景を持つ実画像からの標的検出,” 画像の認識・理解シンポジウム 2004 論文集 II pp. 13-18, 2004.