

時間領域フィルタを用いたフィルム映像のブロッチ検出に関する検討

A Blotch Detection in Film Sequences Using Temporal Filters

○庄子弘毅*, 阿部正英*, 川又政征*

○Kouki Syoji*, Masahide Abe*, Masayuki Kawamata*

*東北大学大学院工学研究科

*Graduate School of Engineering, Tohoku University

キーワード： 映像修復 (Motion picture restoration) ブロッチ検出 (Blotch detection), 背景画像 (Back ground image), α -トリムド平均値フィルタ (α -Trimmed mean filter), フリッカ補正 (Flicker correction)

連絡先： 〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-05 東北大学 大学院 工学研究科 電子工学専攻 川又研究室
庄子弘毅, Tel.: (022)795-7095, Fax.: (022)263-9169, E-mail: kouki@mk.ecei.tohoku.ac.jp

1. はじめに

古いフィルム映像は貴重で歴史的価値が高いものが多い。その一方で、その多くは素材の経年劣化などによる画質の劣化や物理的損傷により視覚的に見づらい映像となっている。このような状況において、フィルム映像のデジタル的な保存および修復が求められている。著者らの研究グループではこれまで、フレームごとの位置ずれやフリッカ、ブロッチなどの古いフィルム映像特有の劣化の修復に取り組んできている [1-5]。

現在、デジタル修復により、すでに一般公開された作品もいくつか存在する [6]。しかし、これらの修復事例では処理結果を画面上で目視確認しながら修復作業が進められている。このため現時点では、デジタル修復コストが高いことから、デジタル修復の恩恵を受けられるフィルム映像は商業的成功の見込めるものに限られている。したがって、より多くのフィルム映像がデジタル修復の

恩恵を受けられるようにするためには、高速で安価にデジタル修復可能な処理方法の確立が不可欠である [6,7]。著者らの研究グループでは、古いフィルム映像をフレームごとの位置ずれ、フリッカ、ブロッチの順でデジタル修復に取り組んでいる。

本稿では、位置ずれとフリッカが既に補正された映像からブロッチ位置を検出する。

ブロッチ除去手法の多くは、ブロッチを検出した部分のみフィルタ処理することにより、ブロッチを除去している [8-10]。従来のブロッチ検出法の多くは、現在フレームのブロッチ検出のための参照画像として前後フレームの輝度値を用いる [9,11]。商用映画のような比較的劣化が少ない映像に対しては連続するフレームにおいてブロッチが連続して同じ位置に発生することはまれである。そのため、現在フレームと前後フレームの輝度値を比較することでブロッチ位置を検出できる。しかし、個人が所有している記録映画などの劣化が激しい映

像では時間軸上のブロッचの出現頻度は高くなる。そのため、連続するフレームの同位置にブロッचが発生する確率は高くなる。したがって、連続フレームにブロッचが発生する場合には、従来法のブロッच検出率は低下する。

そこで、本稿ではフリッカとブロッचによって劣化した映像から背景画像を推定し、その背景画像を参照画像とするブロッच検出法を提案する。背景画像は各画素ごとに時間方向に α -トリムド平均値フィルタを適用することにより推定する。提案法では劣化映像から推定された背景画像を参照画像とするため、前後フレームにブロッचが発生していてもブロッचを検出できる。このことを、人工的に劣化させた映像に対してフリッカを補正し、補正画像から付加したブロッचを検出する数値評価実験により示した。ここで、付加した劣化はフリッカとブロッचである。ただし、本稿では劣化が激しい、すなわち時間軸上のブロッचの発生頻度が高い映像に対するブロッचの検出率を比較するために、位置ずれが理想的に補正されており、フリッカのパラメータ推定が正確である場合を仮定した。また、映像の種類として、映像中の移動物体の動き推定精度に起因する問題を除外するために、移動物体とカメラワークがない映像を仮定した。

本論文の構成を以下に示す。2章では、フィルムに含まれる劣化について概説する。3章では、従来のブロッच検出法を概説する。4章では、背景画像を参照画像としたブロッच検出法を提案する。5章では、数値評価実験によって従来法と提案法のブロッच検出性能を比較する。6章でまとめる。

2. フィルム映像に含まれる劣化

2.1 フリッカ

フリッカは、元の映像には存在しない輝度の不規則な時間的変動として定義される。その原因はフィルムの経年劣化や露光時間の変動、化学的処

理や複製の不完全性など多岐にわたる [7]。これらの個々の要因に基づくフリッカのモデル化は困難である。本稿では、個々の要因についてモデル化せずに原映像と劣化映像の関係が線形であるとす以下フリッカモデルを用いる [12–14]。

$$I(\vec{x}, t) = \phi(\vec{x}, t)E(\vec{x}, t) + \psi(\vec{x}, t) \quad (1)$$

ここで、 $E(\vec{x}, t)$ は t 番フレームの位置ベクトル \vec{x} における劣化のない原映像の輝度値をあらわし、 $I(\vec{x}, t)$ は劣化映像の輝度値をあらわす。また、 $\phi(\vec{x}, t)$ と $\psi(\vec{x}, t)$ はそれぞれフリッカゲインパラメータとフリッカオフセットパラメータとよばれる。 $\phi(\vec{x}, t)$ と $\psi(\vec{x}, t)$ は、時間 t に対して不規則に変化し、空間座標 \vec{x} に対して滑らかに変化する性質を持つ。

文献 [14] では、フリッカパラメータ $\phi(\vec{x}, t)$ と $\psi(\vec{x}, t)$ は2次元多項式として近似されている。本稿では文献 [14] の方法によって人工的に $\phi(\vec{x}, t)$ と $\psi(\vec{x}, t)$ を計算してフリッカを発生させる。

2.2 ブロッच

ブロッचはフィルム保管時や上映時に生じるフィルム表面の剥離や、埃や髪の毛がフィルムに付着することにより生じる画素の欠落である。これらの個々の要因に基づくブロッचのモデル化は困難であり、修復においてブロッचはミッシングデータとして扱われる。そこで、ブロッchによる劣化は次式のようにモデル化される [9]。

$$I(\vec{x}, t) = (1 - d(\vec{x}, t))E(\vec{x}, t) + d(\vec{x}, t)c(\vec{x}, t) \quad (2)$$

ここで、 $c(\vec{x}, t)$ は位置ベクトル \vec{x} におけるブロッchの輝度値を示し、 $d(\vec{x}, t)$ はブロッchの発生位置を示すバイナリマスクである。また、ブロッchは空間領域と時間領域において突発的に現れる。さらに、1つのブロッch内ではブロッchの輝度値がほ

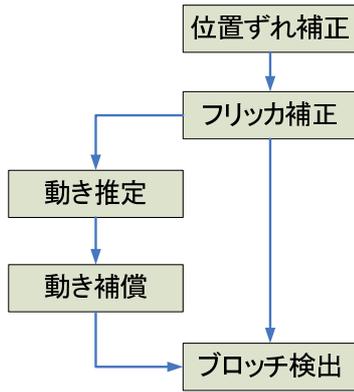


Fig. 1 従来法の処理手順

ば一定であり、ブロック領域の中心の輝度値は輝度値の最大値または最小値に近い値をとる。

文献 [11]では、人工的にブロックを作成する場合ブロックの形はMRF(Markov Random Fields)モデルを用いて決定している。本稿では文献 [11]と同様にMRFモデルを用いて決定した。

3. 従来のブロック検出法と問題点

ブロックの位置は現在フレームの画像の輝度値と参照画像の輝度値とを比較して、しきい値処理によって決定される。これはブロックの出現が時間的に不規則であるために、ブロックの発生位置がある画素における輝度値の時間変化の激しい点に対応することに由来する。

本節ではブロックの検出法として文献 [11]による方法と文献 [9]による方法について概説する。さらにそれぞれの手法で検出可能なブロックについて考察する。図1に文献 [11]と文献 [9]の処理の流れを示す。

3.1 SDIaによるブロック検出

SDIa(Spike Detection Index-a)法 [11] は現在フレームに対して動きが補償された前後フレームを参照画像とし、現在フレームの各画素について参照画像の対応する画素との絶対値差分をしきい値処理することによってブロック位置を検出する。こ

こで、前後フレームから作成された2枚の参照画像と現在フレームの画像の絶対値差分がしきい値以上であればブロックと判定する。また、動き推定法には階層型ブロックマッチング法 [11]などが用いられる。

ある劣化映像の t 番フレームにおける位置ベクトル \vec{x} に対して、SDIa法によって検出されたブロックのバイナリマスク D_{SDIa} は次式であらわされる。

$$d_{\text{SDIa}} = \begin{cases} 1 & (e_b > e_t) \text{ and } (e_f > e_t) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

ただし、

$$e_b = |I(\vec{x}, t) - I(\vec{x} + \vec{v}_{t,t-1}(\vec{x}), t - 1)| \quad (4)$$

$$e_f = |I(\vec{x}, t) - I(\vec{x} + \vec{v}_{t,t+1}(\vec{x}), t + 1)| \quad (5)$$

ここで、 $I(\vec{x}, t)$ は t 番フレームの位置ベクトル \vec{x} における劣化画像の輝度値をあらわし、 $\vec{v}_{t,t-1}(\vec{x})$ と $\vec{v}_{t,t+1}(\vec{x})$ はそれぞれ位置ベクトル \vec{x} における前後フレームに対する動きベクトルをあらわす。

SDIa法は注目画素の輝度値とそれと対応する2枚の参照画像の画素の輝度値の差がしきい値以上の画素をブロックと判定する。しかし、出現するブロックの輝度値が輝度値の最大値などの単一な値となる場合に連続する2フレームにブロックが発生すると、前後の参照フレームの画素との差分がしきい値以下となるためにブロックと判定されない。したがって、SDIa法は各画素の時間軸上のブロックの出現頻度が高くなるにつれて検出率は低下する。

3.2 RODによるブロックの検出

ROD(Rank Order Detector) [9] はSDIa法と同様に現在フレームに対して動き補償された前後フレームを参照画像とする。ROD法では図2に示す

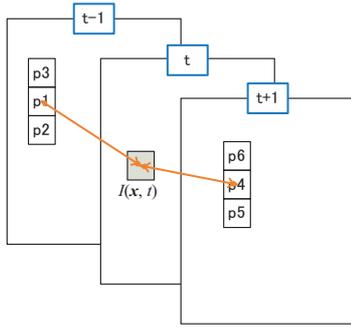


Fig. 2 RODの参照画素の定義

ように位置ベクトル \vec{x} における画素のブロッチ判定に前後フレームの p_1 から p_6 の画素を用いる。

ここで、 p_1 から p_6 は以下のように定義される。

$$\begin{aligned}
 p_1 &= I(\vec{x} + \vec{v}_{t,t-1}(\vec{x}) + (0, 0), t - 1) \\
 p_2 &= I(\vec{x} + \vec{v}_{t,t-1}(\vec{x}) + (0, 1), t - 1) \\
 p_3 &= I(\vec{x} + \vec{v}_{t,t-1}(\vec{x}) + (0, -1), t - 1) \\
 p_4 &= I(\vec{x} + \vec{v}_{t,t+1}(\vec{x}) + (0, 0), t + 1) \\
 p_5 &= I(\vec{x} + \vec{v}_{t,t+1}(\vec{x}) + (0, 1), t + 1) \\
 p_6 &= I(\vec{x} + \vec{v}_{t,t+1}(\vec{x}) + (0, -1), t + 1) \quad (6)
 \end{aligned}$$

まず、ROD法では p_1 から p_6 を昇順にソートして r_1 から r_6 を得る。つぎに、そのメジアンを $M = (r_3 + r_4)/2$ から求める。そこで、ある劣化映像の t 番フレームにおける位置ベクトル \vec{x} に対して、ROD法によって検出されたブロッチのバイナリマスク d_{ROD} は次式であらわされる。

$$d_{\text{ROD}} = \begin{cases} 1 & (e_1 > e_{t_1}) \text{ or } (e_2 > e_{t_2}) \text{ or } (e_3 > e_{t_3}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

ただし、

$$e_i = \begin{cases} I(\vec{x}, t) - r_{7-i} & I(\vec{x}, t) > M \\ r_i - I(\vec{x}, t) & I(\vec{x}, t) \leq M \end{cases} \quad i = 1, 2, 3$$

ROD法はブロッチの判定に前後の参照フレームの周辺画素を利用している。そのため、ROD法はSDIa法で問題となる前後の参照フレームの同位置にブロッチが発生した場合に対してもブロッチ検

出が可能である。しかし、ROD法では3つのしきい値を設定する必要があるためSDIa法と比較してパラメータの調整が困難である [9]。また、ブロッチの出現頻度が高く、注目画素の周辺の画素がブロッチとなる場合についてはSDIa法と同様に注目画素がブロッチであったとしてもブロッチと判定されない。したがって、ROD法はSDIa法と同様に判定時に用いる参照画素に含まれるブロッチの画素数が増加するにつれて検出率は低下する。

4. 提案法のねらいと処理手順

4.1 提案法のねらい

SDIa法とROD法は前節で述べたように、各画素の時間方向のブロッチの出現頻度が高くなるにつれてブロッチの検出率は低下する。これは参照画素に含まれるブロッチの画素数が増加することによる。そこで、本節ではこの問題を解決するためにブロッチ検出対象となる映像の各ショットについてフリッカとブロッチを含まない背景画像を推定し、その背景画像を参照画像とするブロッチ検出法を提案する。背景画像が推定できていれば前後フレームにおけるブロッチの有無に関わらず現在フレームのブロッチ検出が可能である。

4.2 処理手順

提案法は以下の3つの過程からなる。

- 1) 背景画像の推定
- 2) 背景画像と位置ずれとフリッカが補正された画像との絶対値差分の計算
- 3) 絶対差分のしきい値処理

提案法の流れを図3に示す。

ただし、提案法ではブロッチを輝度値の分布が平坦で、かつブロッチの輝度値が輝度値の最大値または最小値である場合を仮定する。

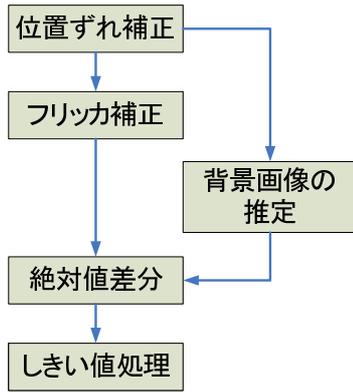


Fig. 3 提案法の処理手順

背景画像は対象となるショットの全フレームにわたって各画素の時間領域に α -トリムド平均値フィルタを適用する．ここで，ショットとは切れ目なしに連続して撮影された映像のことであり，映像の構成要素の単位の1つである． α -トリムド平均値フィルタは入力信号を信号値でソートしたのちにその上位および下位の $\alpha\%$ の信号を除外して，その残りの信号に対して平均値フィルタを適用する．そのため，インパルス性雑音とガウス性雑音の除去に有効である [15]．

フリッカによる劣化は時間軸上での不連続性からガウス性の雑音であるとみなすことができる．また，ブロッチによる劣化は，ブロッチが時間軸上で不規則にあらわれてその輝度値が輝度値の最大値または最小値になることからインパルス性の雑音であるとみなすことができる．そこで，提案法では時間軸上に α -トリムド平均値フィルタを適用することでフリッカとブロッチの影響を除外して背景画像を推定する．

フリッカの影響は対象ショット内に移動物体とブロッチが含まれないと仮定すると，位置ずれが補正されたショット内の全フレームに関して画素ごとに時間軸上に平均処理することで，次式のように除外できる．

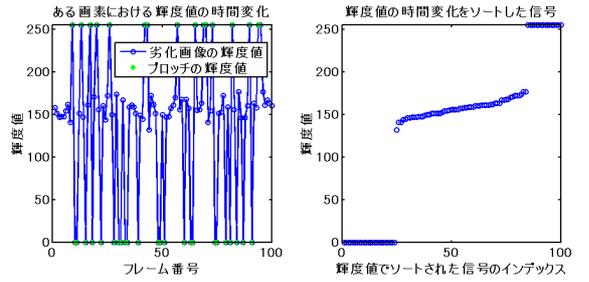


Fig. 4 フリッカとブロッチによって劣化した映像の輝度変化例

$$\begin{aligned} \text{mean}[I(\vec{x}, t)] &= \text{mean}[\phi(\vec{x}, t)E_B(\vec{x})] + \text{mean}[\psi(\vec{x}, t)] \\ &= E_B(\vec{x})\text{mean}[\phi(\vec{x}, t)] + \text{mean}[\psi(\vec{x}, t)] \end{aligned}$$

ここで， $\text{mean}[\cdot]$ は平均値を求める演算子をあらわし， $E_B(\vec{x})$ は対象ショットの背景画像をあらわす．式 8 から $\phi(\vec{x}, t)$ と $\psi(\vec{x}, t)$ の時間平均が求まればフリッカの影響を除外できる．移動物体とブロッチが含まれないという仮定から，フリッカによる劣化のない画像の輝度値 $E(\vec{x}, t)$ は背景画像の輝度値と等しいとみなす．すなわち，次式を仮定する．

$$E(\vec{x}, t) = E_B(\vec{x}) \quad (8)$$

一方，フリッカとブロッチによって劣化している場合は，提案法において想定しているブロッチの輝度値に関する仮定から，ブロッチの輝度値は最大値または最小値である．よって，フリッカとブロッチによって劣化した映像の背景画像 $\hat{E}_B(\vec{x})$ は劣化映像の各画素について時間領域に α トリムド平均値フィルタを適用することで推定できる．ここで，図4に人工的にフリッカとブロッチを付加した劣化映像のある画素における輝度値の時間変化とその信号を輝度値に関して昇順にソートした信号を図示する．

ある劣化映像の t 番フレームにおける位置ベクトル \vec{x} に対して、提案法によって検出されたブロッチのバイナリマスク d_p は次式であらわされる。

$$d_p = \begin{cases} 1 & |I(\vec{x}, t) - \hat{E}_B(\vec{x})| > e_t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

5. 従来法との比較

人工的にフリッカとブロッチを付加した劣化映像に対してフリッカを補正し、ブロッチの出現頻度の増加ともないブロッチ検出率が低下するという従来法の問題点の検証と、ブロッチの出現頻度が高い状況下における各手法のブロッチ検出性能評価実験を行った。

ここで、ブロッチ検出の前処理にあたる位置ずれ補正は理想的な状況を仮定し、フリッカ補正は付加したフリッカパラメータが正確に推定できた場合を仮定した。さらにフレーム間の動き推定については動きのない人工的に作成した映像を用いて動き推定も理想的であると仮定した。

劣化映像はサイズ 256×256 の静止画に対して100フレームの劣化画像を作成した。フリッカは文献 [14] にもとづき作成した。また、ブロッチの発生頻度に関して1フレームに平均4.6個のブロッチが付加され、1つのブロッチの面積が平均23.6pixelsになる劣化映像1と1フレームに平均84.7個のブロッチが付加され、1つのブロッチの面積が平均29.9pixelsになる劣化映像2の2つを作成した。それぞれの原画像とブロッチ付加画像の例を図5に示す。

性能評価は付加したブロッチの画素数に対して実際にブロッチとして検出された画素数の割合によって評価する。この割合を本稿ではブロッチ検出率とよぶ。ブロッチ検出率が高いほど目的の画素を検出できたことになる。SDIa法と提案法のしきい値 e_t を $1 \leq e_t \leq 10.5$ と変化させ、ROD法のしきい値 e_{t_1} , e_{t_2} , e_{t_3} を e_{t_1} について $1 \leq e_{t_1} \leq 10.5$

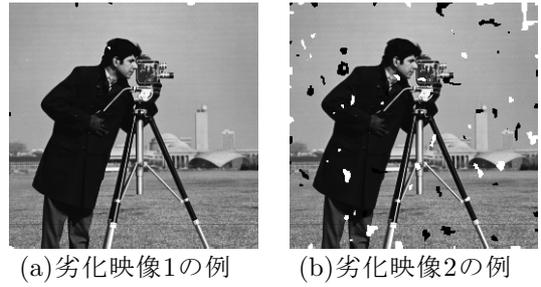


Fig. 5 劣化映像の例

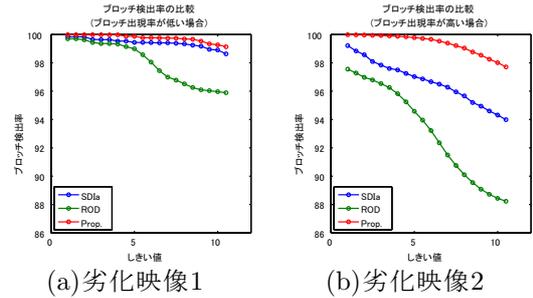


Fig. 6 各手法のブロッチ検出率

と変化させ、 $e_{t_2} = 39$, $e_{t_3} = 55$ とした場合のブロッチ検出率を評価する。なお、提案法の参照画像作成において $\alpha = 0.25$ とした。図6に劣化映像1と劣化映像2のそれぞれの検出結果を示す。

まず、従来法の問題点を検証する。図6(a)と(b)に関してブロッチの出現頻度の増加ともなうブロッチ検出率の変化の平均値を表1にまとめる。

表1から、ブロッチの出現頻度の増加ともないSDIa法およびROD法の検出率はそれぞれ平均で -2.77% と -4.81% 低下したのに対して、提案法は平均で -0.40% の低下にとどまった。よって従来法は提案法に比べてよりブロッチの出現頻度に依存した検出法であると考えられる。

また、図7に劣化映像2のある連続する3フレームに対する各手法の検出結果を示す。ここで、付加したブロッチをブロッチとして判定した領域を緑色で、付加したブロッチの領域でブロッチと判定されなかった領域を黄色で、さらに付加したブロッチ以外の領域をブロッチと判定した領域を赤色で着色した。図7には前フレームで発生したブ

Table 1 ブロッチ出現頻度の増加にともなうブロッチ検出率の変化

	SDIa	ROD	提案法
検出率の変化[%]	-2.77	-4.81	-0.40

ロッチと現在フレームで発生したブロッチが重複する領域がある。従来法では検出できなかった重複する領域のブロッチが提案法では検出されていることが確認できる。

6. まとめ

本稿では、フィルム映像におけるブロッチ検出の手法を提案した。従来法には動きが推定された前後フレームを参照画像とするために、時間領域のブロッチの発生頻度が高くなることによってブロッチの検出率が低下するという問題点がある。そこで、提案法はブロッチ検出対象のショットについて各画素に対して時間領域に α -トリムド平均値フィルタを適用して背景画像を推定し、この背景画像をブロッチ検出の参照画像とする。そのため、提案法ではブロッチの発生頻度が高い場合において、前後フレームにブロッチが発生していてもブロッチを検出できる。このことを、人工的にフリッカとブロッチを発生させた劣化映像に対してブロッチ検出する数値評価実験により示した。ただし、本稿ではブロッチの検出性能を比較するために、位置ずれが理想的に補正されており、フリッカのパラメータ推定が正確である場合を仮定した。また、映像の種類として、映像中の移動物体の動き推定精度に起因する問題を除外するために、移動物体とカメラワークがない映像を仮定した。

参考文献

1) M. Hagiwara, M. Abe and M. Kawamata: Estimation method of frame displacement for old

films using phase-only correlation, *Journal of Signal Processing*, **8**-5, 421/429 (2004)

- 2) M. Hagiwara, M. Abe and M. Kawamata: Shot change detection and camerawork estimation for old film restoration, *電子情報通信学会技術研究報告*, - SIP2004-80,ICD2004-112,IE2004-56, 25/30 (2004)
- 3) 浜口洋司, 阿部正英, 川又政征: 古いフィルム映像における動きに対してロバストなフリッカパラメータ推定, *電子情報通信学会技術研究報告*, - SIP2004-81, 31/36 (2004)
- 4) 阿部正英, 目黒洋一, 川又政征: 移動物体検出と時間領域メディアフィルタリングを用いた古いフィルム映像のブロッチ除去, *電子情報通信学会論文誌*, **J88-A**-1, 11/22 (2005)
- 5) 阿部正英, 川又僚太, 庄子弘毅, 川又政征, 太田直久, 小野定康: 古い映画フィルムの高解像度デジタルスキャン, *映像情報メディア学会技術報告*, **30-32**, 1/4 (2006)
- 6) 齊藤隆弘: デジタル画像処理によるフィルム映像の復元(1), *映像情報メディア学会誌*, **55-12**, 1599/1604 (2001)
- 7) 齊藤隆弘: デジタル画像処理によるフィルム映像の復元(2), *映像情報メディア学会誌*, **56-1**, 85/92 (2002)
- 8) 齋藤貴之, 阿部正英, 川又政征: 古いフィルム映像の修復におけるブロッチノイズの位置の推定とその情報を用いた動き推定, *電子情報通信学会技術研究報告*, - DSP2001-101,ICD2001-106,IE2001-85, 9/16 (2001)
- 9) A. C. Kokaram: *Motion Picture Restoration*, Springer-Verlag (1998)

- 10) 宮田晃次, 田口亮: ブロッチによって劣化した動画画像信号に対する一復元手法, 電子情報通信学会論文誌, **J84-A-3**, 398/408 (2001)
- 11) A. C. Kokaram, R. D. Morris, W. J. Fitzgerald and P. J. W. Rayner: Detection of missing data in image sequences, *IEEE Trans. Image Processing*, **4-11**, 1496/1508 (1995)
- 12) P. M. B. van Roosmalen, J. Biemond and R. L. Lagendijk: Restoration and storage of film and video archive material, *Signal Processing for Multimedia* (Ed. by J. S. Bynes), IOS Press, 167/192 (1999)
- 13) P. M. B. van Roosmalen, R. L. Lagendijk and J. Biemond: Flicker reduction in old film sequences, *Time Varying Image Processing and Moving Object Recognition*, **4** (Ed. by V. Cappellini), Elsevier, 9/18 (1997)
- 14) P. M. B. van Roosmalen: Restoration of Archived Film and Video, PhD thesis, Delft University of Technology in Dutch (1999)
- 15) 雛元孝夫, 棟安実治, 田口亮: 非線形デジタル信号処理, 朝倉書店 (1999)

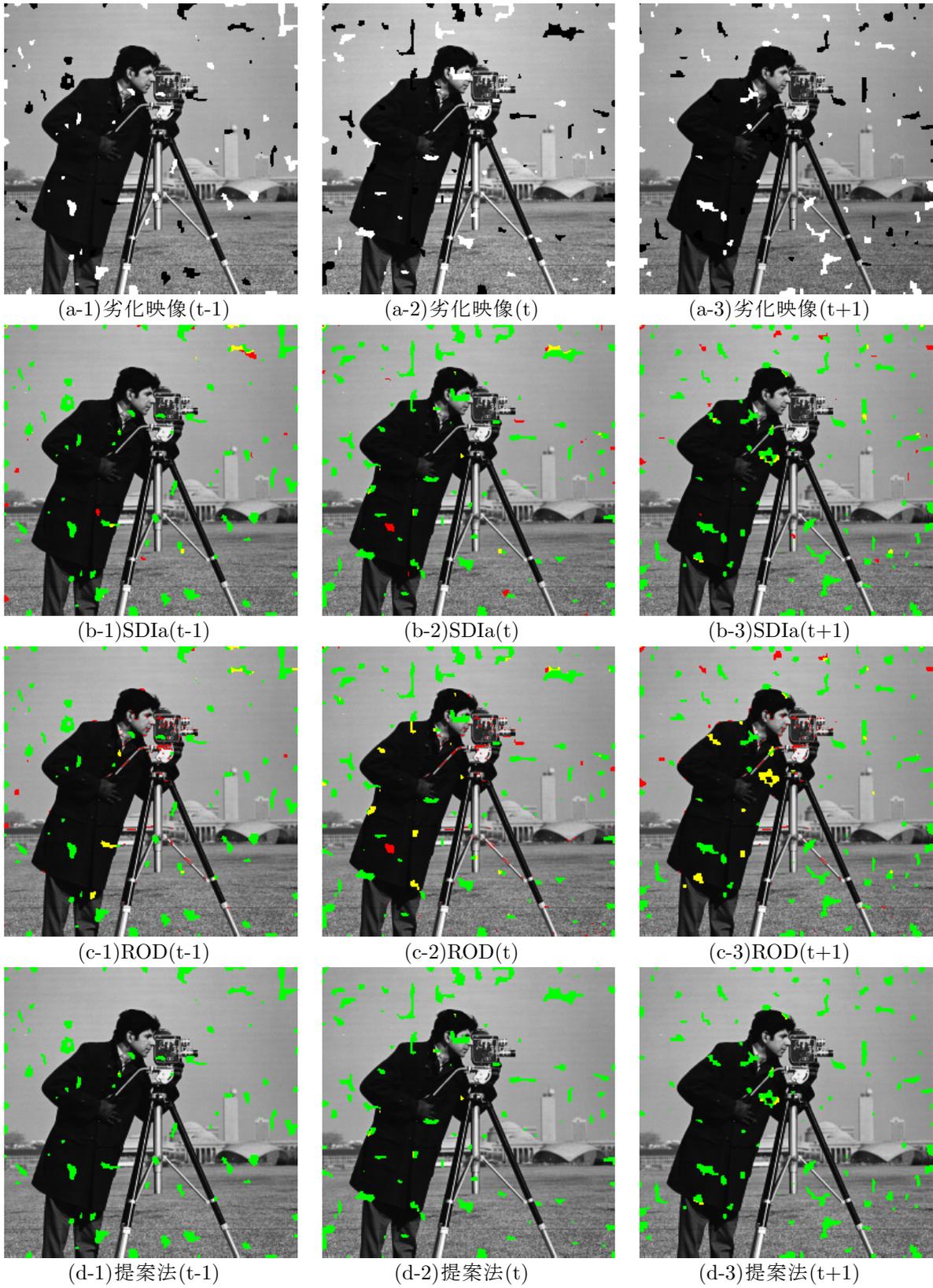


Fig. 7 連続フレームのブロック検出結果の比較 ()内はフレーム番号