

動き適応型ノイズ除去フィルタによる高画質化

Image Quality Enhancement by Motion-Adaptive Noise-Reduction Filter

前田 友英* 芹沢 正之*
Tomohide Maeda Masayuki Serizawa

映像中の動きを検出し2種類のノイズ除去フィルタを適応制御するデジタルノイズリダクション技術を開発した。本技術の特徴は、被写体の動きを精度よく検出し、それぞれのノイズ除去フィルタの出力を滑らかに合成する点にあり、副作用が少なくランダムノイズが除去された映像が得られる。

We have developed a new digital noise-reduction technique which adaptively controls 2 noise-reduction filters based on motions in video sequences. Our technique accurately detects the motions and smoothly mixes the outputs of the filters, and thus removes random noise in the sequences without noticeable side-effects.

1. デジタルノイズリダクション技術と有用性

デジタルノイズリダクション技術は、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) センサなどの撮像素子で撮影した像に発生するランダムノイズを除去するデジタル信号処理技術である。

本技術を搭載したカメラを用いることにより、ランダムノイズが目立つ低照度のシーンを撮影した場合であっても、明瞭な被写体像が得られる。したがって、夜間の屋外や暗い屋内を撮影する監視カメラには特に有効な技術である。

2. 従来方式の特徴と課題

デジタルノイズリダクション技術の基本要素は、次の2種類のノイズ除去フィルタに分類される。

(1)空間フィルタ

(2)時間フィルタ

これらのフィルタのランダムノイズ除去原理と課題を、以下に述べる。

2.1 ランダムノイズ除去の原理

カメラで撮影される映像信号には、ランダムノイズがまったく存在しない原信号成分(被写体そのものの像)と、原信号とは無相関なノイズ信号成分が含まれる。ここで、原信号自身は空間的(水平・垂直方向)にも時間的にも強い相関をもつが、ノイズ信号自身は、空間的にも時間的にも相関をもたない性質がよく知られている。

この性質に基づき、映像信号を空間方向に平滑化してノイズ信号成分を除去する方式が空間フィルタである¹⁾。一方、映像信号を時間方向に平滑化してノイズ信号成分

を除去する方式が時間フィルタである²⁾。

2.2 基本的なノイズ除去フィルタの課題

映像フレーム内の被写体に輪郭がある場合、輪郭近傍では原信号の空間的な相関性が低下する。また、映像フレーム間で被写体に動きがある場合、変化のあった領域では原信号の時間的な相関性が低下する。

このように相関性が低下した箇所では、ノイズ除去フィルタの平滑化による副作用として、輪郭ぼけや被写体の残像が発生する。また、時間方向の高い相関性を利用する時間フィルタでは、動きのある被写体に対してランダムノイズ除去効果が得られない。これらの課題を、第1表にまとめる。

第1表 各ノイズ除去フィルタのランダムノイズ除去効果と副作用

Table 1 Effects and side-effects of each noise reduction filter

方式	ランダムノイズ除去効果		副作用
	静止被写体	動く被写体	
空間フィルタ			輪郭ぼけが発生
時間フィルタ		×	動く被写体の残像が発生

2.3 混成フィルタによる解決法

第1表の課題を解決するために、空間フィルタと時間フィルタを組み合わせる混成フィルタと呼ばれる方式が古くから提案されている³⁾。この方式は、映像中の被写体の動きを検出し、静止被写体には時間フィルタを、動く被写体には空間フィルタを適応的に施す。この適応処理により、動く被写体も含めた映像全体にランダムノイズ除去効果が得られる。

2.4 混成フィルタの課題

混成フィルタでは、被写体の動きを検出し、空間フィルタと時間フィルタのどちらを適用するかを判定することから、動き検出の精度が重要となる。しかし、ランダムノイズのある映像中ではノイズ成分が時間方向に振幅するため、被写体の動きを正確に検出しにくい。この結

* パナソニック システムネットワークス (株)
Panasonic System Networks Co., Ltd.

果，動く被写体に対しては残像が発生したり，静止被写体に対しては不十分なランダムノイズ除去性能となる。

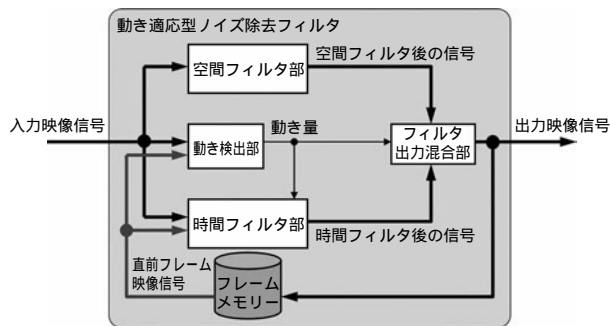
また，ランダムノイズ除去性能が異なる2種類のフィルタ出力が同一の映像フレーム内に混在することから，静止被写体と動く被写体との境界が不連続になる。

3. 開発技術の特徴

カメラ信号処理回路に実装可能な演算量およびメモリー容量の制約を満たしながら，混成フィルタの従来課題を解決する新方式の混成フィルタを開発した。

3.1 機能ブロック構成

空間フィルタと時間フィルタとを並列接続して，それぞれの出力を適応的に合成する構成を採用した。適応制御に関係する機能ブロックを含めた全体構成を，第1図に示す。



第1図 開発したノイズ除去フィルタの機能ブロック構成
Fig. 1 Functional block diagram of our digital noise reduction filter

3.2 動き検出精度の向上

時間フィルタの平滑化強度制御と，空間フィルタ出力・時間フィルタ出力の選択制御のために動き検出部を設けた。

動き検出部では，隣接フレーム間で映像信号の差分をとることによって動きを検出する。このフレーム間差分計算では，同一位置の画素値を直接減算せずに，周辺画素値を用いて低域通過型フィルタを施してからフレーム間の差分をとるようにした。このフィルタ処理によってノイズ成分の振幅を抑制できるため動き検出精度が向上し，時間フィルタによるランダムノイズ除去効果が最大限に得られる。

3.3 フィルタ出力混合による平滑化

被写体の動きに適応してフィルタ出力を切り替えるために，フィルタ出力混合部を設けた。フィルタ出力混合部では，動き量の大小に連動した混合比率で滑らかに各フィルタの出力を混合する。このように混合することで，映像フレーム内で動きのある部分と静止している部分との間に不連続性が現れないようにした。

4. ランダムノイズ除去例

人物が右から左へ歩いているシーンを固定カメラで撮影した映像（第2図）を例として，従来方式と本技術でそれぞれランダムノイズを除去した結果を示す。

第3図および第4図に示す従来方式の処理結果と比較すると，本技術では，歩いている人物の残像が発生せず，静止している建造物や木々の枝の輪郭が鮮明なまま保たれている様子を確認できる。その上で，静止している箇所のSNR（Signal-to-Noise Ratio）については，従来比約4.4 dBの改善が得られた。

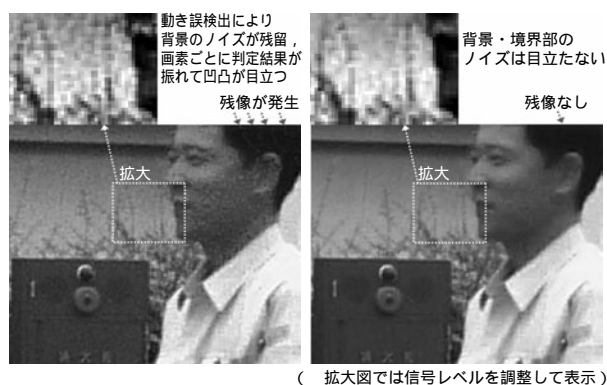


第2図 ランダムノイズ除去前の映像フレーム
Fig. 2 Video frame before random noise reduction



第3図 従来方式による処理結果
(左：空間フィルタ，右：時間フィルタ)

Fig. 3 Processing results of conventional filters (left: spatial filter, right: temporal filter)



第4図 混成フィルタへの改良効果 (左: 改良前, 右: 改良後)

Fig. 4 Effects of our improvements on spatio-temporal filter (left: before-, right: after-improvement)

5. 今後の課題と展望

動く被写体に対しては空間フィルタが適用されるため，静止被写体と比べ，得られるランダムノイズ除去効果には限界がある。また，輪郭ぼけの副作用も発生しうる。

この対策として，たとえば，空間フィルタの輪郭保存性を高める技術や，動く被写体への時間フィルタ適用技術を，回路規模の制約を満たしながら開発していく必要がある。

今後，撮像素子の感度が向上し，デジタルノイズリダクション技術の性能がさらに向上することにより，照度が一際低い照明条件下でも明瞭な被写体を撮影できるようになると期待される。

参考文献

- 1) 棟安実治 他: 劣化画像の復元・ノイズ除去による高画質化 (トリケップス) pp.47-49 (2008).
- 2) 松井俊也: 映像信号のデジタル処理技術 トランジスタ技術SPECIAL No.52, pp.89-92 (2002).
- 3) 南憲明: テレビジョン信号のノイズ低減方式 公開特許公報 (A) 昭62-299181 (1987).