

Axi-Vision カメラの距離画像検出ノイズの低減と番組制作への応用

Noise reduction of the depth-mapping Axi-Vision Camera and applications for program production

浅見 典充* 河北 真宏** 菊池 宏*** 滝沢 國治*

Norimitsu Asami Masahiro Kawakita Hiroshi Kikuchi Kuniharu Takizawa

1. はじめに

被写体のカラー映像と同時に、距離画像（カメラと被写体間の距離情報を画像の明暗で表したものを）をビデオレートで撮影できる Axi-Vision カメラは、距離情報を用いた映像合成などへの応用が期待される[1]。しかし、試作カメラの最大距離検出分解能は 17mm であり[2]、高精細な映像合成や形状計測への応用展開を図るには、更なる高分解能化が必要である。

これまで、我々は、画像蓄積型フィルタによるノイズ低減の基本特性を調べてきたが[3]、今後、本方式に最適なノイズ低減手法を確立していくには、多角的に各種フィルタを検証し、性能評価と最適化を進めるとともに、ノイズ低減効果の有用性を明らかにしていく必要がある。

そこで本研究では、距離画像出力に各種フィルタを適用し、ノイズ低減効果を調べるとともに、特にノイズ低減効果の大きいリカーシブフィルタにおいて、本距離検出法に適した提案手法の撮像実験を行い、距離検出性能を評価する。また、ノイズ低減フィルタによる合成映像の画質改善効果を、実際の番組制作応用で実証する。

2. 原理

本カメラは、光飛行時間計測法を基本原理とする。図 1 に示すように、カメラレンズの周囲に配置された近赤外 LED アレイから強度変調光が照射され、高速シャッター動作を行うイメージインテンシファイア (I.I.) と CCD カメラで画像が撮影され、距離が求められる[2]。また、通常の

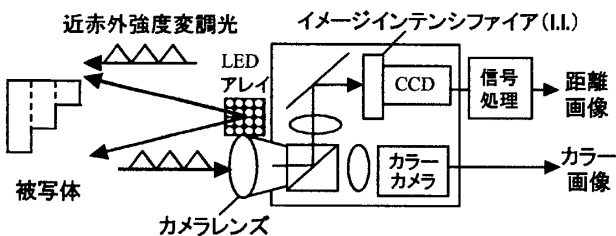


図1 Axi-Visionカメラの構成図

ハイビジョンカメラでは、カラー画像が撮影される。

本方式では、光源より増加および減少変調光を被写体に照射し、その反射光を短時間撮像した画像より、距離画像を算出する。増加変調光照射時の撮影映像信号を $V_+ = V_1 \pm \delta_1$ とし、減少変調光照射時の撮影映像信号を $V_- = V_2 \pm \delta_2$ (δ_1, δ_2 は各映像信号のノイズ成分) とすると、距離画像 D は以下の式で表される。

$$D = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2} \right) \pm \frac{V_1 V_2}{(V_1 + V_2)^2} \sqrt{\left(\frac{\delta_1}{V_1} \right)^2 + \left(\frac{\delta_2}{V_2} \right)^2} \cdots (1)$$

これより、距離画像におけるノイズは、増加および減少

変調光時の撮影画像の信号 $V_{1,2}$ とノイズ $\delta_{1,2}$ に左右される。なお、本カメラの主なノイズ原因は I.I. のショットノイズや CCD カメラのノイズである。

3. 各種フィルタ効果

距離画像に各種フィルタを加え、ノイズ低減効果を調べた。実験では、被写体に白紙を用いて、カメラから距離 2m に配置した。はじめに、リカーシブフィルタ[4]を調べた。このフィルタより出力されるノイズ成分 δ'_i は以下の式で表される。

$$\delta'_i = \sqrt{(\delta \cdot n)^2 + [\delta'_{i-1} (1-n)]^2} \cdots (2)$$

ただし、 δ は入力距離画像ノイズ、 n はフィルタ係数、 δ'_{i-1} はフレームメモリの出力画像ノイズである。このフィルタ係数によりノイズ低減効果と残像時間が決まる。

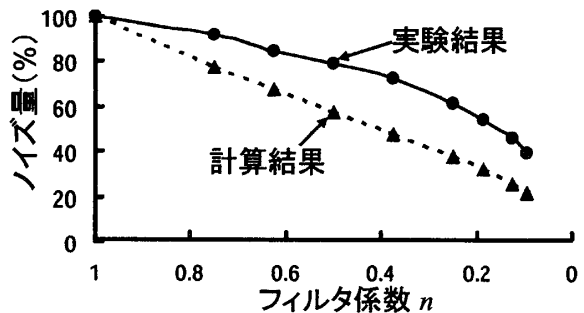


図2 フィルタ係数とノイズ量の関係

このフィルタを使用した場合のノイズ低減量を図 2 に示す。ここでは、フィルタ処理しない場合のノイズ量を 100% として規格化している。実験結果では、フィルタ後のノイズ量は、係数 0.093 の場合に最大 40% まで低減できている。これは距離検出分解能が従来の 2.5 倍の 6.7mm に向上したことに相当する。しかし、ノイズ低減率が大きい場合は残像時間も大きく、係数 0.093 では、蓄積フレーム数は 80 枚で、約 3 秒間、残像が生じる。そのため、動く被写体においては、フィルタ係数 0.375 以上が実用的であった。係数が 0.375 の場合、蓄積フレーム数は 15 枚、残像は約 0.5 秒で、ノイズ量は 72% に低減した。また、計算と実験結果でノイズ低減量が異なるのは、固定パターンノイズの影響と考えられる。

次に、残像効果を少なくするため、前後 3 フレーム間の画像の加算に重み付けを行い、フィルタ効果を調べた。その結果、3 フレームの画像を均等に加算平均した場合に最大の効果が得られ、ノイズ量は 85% まで低減した。

本カメラには高感度な I.I. を使用しているため、イオンノイズによる鋭いピークを持つパルス状のノイズの影響も予想される。ピーク状ノイズの場合、周辺画素を考慮に入れたメディアンフィルタ処理が有効であるが、本カメラの場合、I.I. の増倍ゲインを 500 倍前後と比較的低く設定しているため、イオンノイズは見られず、この種のフィルタで

* 成蹊大学

** NHK エンジニアリングサービス

*** NHK 放送技術研究所

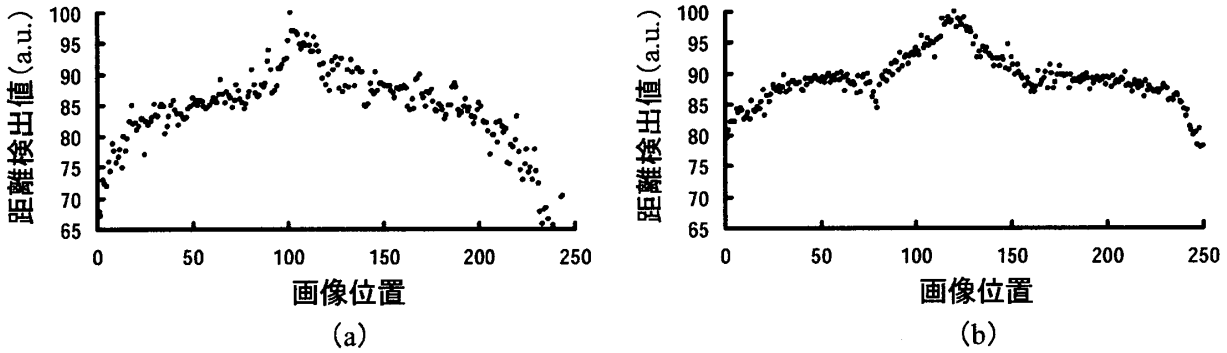


図3 人物の鼻の部分の形状計測結果 (a)ノイズ低減フィルタなし (b)ノイズ低減フィルタあり

は低減効果は得られなかった。

4. リカーシブフィルタの最適化と効果

これまで、出力距離画像に既存のフィルタを使用した簡易的方法でノイズ低減を行った。しかし、距離算出のもととなる増加および減少変調光画像の SN 比を考慮したフィルタ処理により、さらに効果的なノイズ低減ができると考えられる[3]。ここでは、この最適化した提案手法の効果を実際の被写体による撮影実験で検証する。

提案手法では、増加変調光と減少変調光時の画像 $V_{+,-}$ に個々に最適なりカーシブフィルタ処理を行う[3]。 $V_{+,-}$ のフィルタ出力画像 $F_{t+,-}$ は以下の式で示される。

$$F_{t+,-} = F_{(t-1)+,-} + \frac{V_{+,-} - F_{(t-1)+,-}}{n_{+,-}} \dots (3)$$

ただし、 $F_{(t-1)+,-}$ はフレームメモリからの出力画像、 $n_{+,-}$ は各フィルタ係数を示す。SN 比に応じて各蓄積フレーム数を個々に設定するとともに、各蓄積フレーム数に応じた最適なフィルタ係数を与えることで、所望のフレーム数内で効率的なノイズ低減効果が得られる。

実験では、カメラから 1.3m の距離の人物を被写体とし、光源の変調周波数 43MHz、シャッター時間 2ns で撮影した。このときの画像信号 $V_{+,-}$ の SN 比は 6:1 であり、画像 $V_{+,-}$ の蓄積フレーム数をそれぞれ 4 フレームと 26 フレームに設定した。また、フィルタ係数も蓄積枚数に合わせ、 n_{+} は 4.1、 n_{-} は 11.1 に設定した。この実験では、残像時間を 1 秒に設定し、合計 30 フレームを使用して画像処理を行った。

図 3 は、撮影した人物の鼻の部分の形状計測結果である。フィルタ処理を行うことで、距離検出値の標準偏差は 1/3 に減少し、この撮影条件では検出分解能は 4.9 mm に相当し、顔の形状が検出できる分解能が得られている。単に距離演算後の出力画像にフィルタ処理を施した場合より、本手法による最適化で距離検出分解能が向上している。

5. 番組制作応用時の合成映像への効果

本カメラを、距離情報を用いた映像合成に応用した場合、フィルタによるノイズ低減の効果を調べた。カメラの出力信号に動き補正型リカーシブフィルタ(Snell & Wilcox 社製、Niagra)を加え、ノイズ低減処理を行った。これにより距離検出の出力映像信号のノイズ成分を 9.7 mVrms から 3.1 mVrms まで低減した。フィルタ処理なしの場合、人物と CG 間の合成のエッジ部分に、時間的に揺らぐノイズが現れていたが、フィルタ処理により、動きの少ない被写体映像については、揺らぎが見られなくなり、合成映像の画質

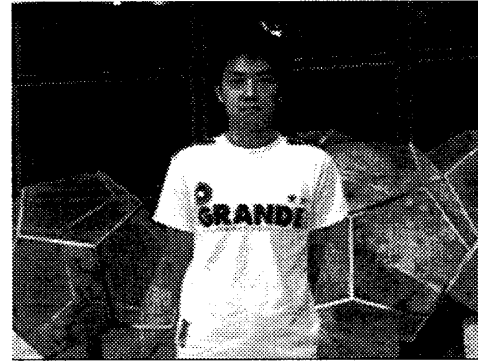


図4 ハイビジョンスタジオにおける多面体CGとの合成映像例

向上に顕著な効果があった。2005年3月25日から9月25日まで愛知県で開催されている国際博覧会“愛・地球博”特設のハイビジョンスタジオ[5]で、このフィルタを用いた映像合成手法を定時の生放送番組制作に活用し、本カメラの距離情報を用いた映像合成技術の実用化に有効であることを実証した。

6. まとめ

今回、各種フィルタ処理によるノイズ低減効果を調べた結果、特にリカーシブフィルタが距離検出ノイズ低減に有効であった。また、距離画像算出前の画像に最適なフィルタ処理を行うことで、効率的なノイズ低減が可能で、距離検出分解能を向上できた。さらに、実際の映像合成応用において、フィルタによるノイズ低減は画質向上に効果的であり、本カメラの実用化に有用であった。今後、更なる距離検出分解能の向上を追及し、本カメラの応用分野の拡大を図っていく。

参考文献

- [1] M. Kawakita et al., "Axi-Vision Camera (real-time distance-mapping camera)," *Applied Optics*, Vol.39, No.22, pp.3931-3939, 2000.
- [2] M. Kawakita et al., "High-definition real-time depth-mapping TV camera: HDTV Axi-Vision Camera," *Optics Express*, Vol.12, No.12, pp.2781-2794, 2004.
- [3] 浅見典充 他, "3次元カメラの画像蓄積による距離検出分解能の向上と形状計測" 2004 画像電子学会 第32回年次大会 学生セッション 18, pp.71-72, 2004.
- [4] R. H. Mcman et al., "A Digital Noise Reducer for Encoded NTSC Signals" *J.SMPTE*, Vol.87, pp.129-133, 1978.
- [5] 安藤孝 他, "愛・地球博(愛知万博)における NHK 関係施設の概要," *放送技術*, Vol.58, No.4, pp.123-130, 2000.