

FPD搭載X線透視診断装置の高速画像処理エンジン “FAiCE-V NEXT STAGE1”の開発

Development of New Image Processing Engine “FAiCE-V NEXT STAGE1” for X-ray Fluoroscopic Imaging Systems with FPD

| | | | |
|---------------------|------------------|---------------------|-------------------|
| 中村 正 ¹⁾ | Tadashi Nakamura | 高橋 啓子 ¹⁾ | Keiko Takahashi |
| 天明宏之助 ¹⁾ | Konosuke Temmei | 藤田 智 ¹⁾ | Satoshi Fujita |
| 荻野 昌宏 ²⁾ | Masahiro Ogino | 高野橋健太 ²⁾ | Kenta Takanohashi |

¹⁾株式会社日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット 開発統括本部

²⁾株式会社日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンタ メディア研究部

近年の内視鏡治療など低侵襲治療の増加、ガイドワイヤ等の性能向上により、より高画質な透視像が求められている。そこでわれわれは、プロジェクタなどにおいて映像(動画)を明瞭に映し出すための視認性向上技術を応用した新たな画像処理エンジン「FAiCE-V^{*1} NEXT STAGE1」(以下 FAiCE-V NS1)を開発し、FPD(Flat Panel Detector)搭載X線透視診断装置に搭載した。FAiCE-V NS1では、ガイドワイヤやカテーテルの動きボケ(残像)を抑制し、輪郭を明瞭に映し出す「動き追従型ノイズ低減処理技術(MTNR^{*2}: Motion Tracking Noise Reduction)」、「マルチ周波数処理技術(M-DRC: Multi-Dynamic Range Compression)」、術者・被検者の被ばくを低減する「フレームレート変換技術(FRC: Frame Rate Conversion)」、「透視スナップショット機能」を実現した。本稿では、このFAiCE-V NS1の開発コンセプトとその実現技術について報告するとともに、臨床現場における画質評価を紹介する。

A high quality fluoroscopic image is required. Because increasing minimally invasive treatment such as endoscopic treatment and improved guidewires in recent years. A latest image processing engine “FAiCE-V^{*1} NEXT STAGE1” was developed for X-ray fluoroscopic imaging systems with FPD(Flat Panel Detector) applying the video technology. Clear contours with no motion blur, introducing MTNR^{*2}: Motion Tracking Noise Reduction, M-DRC: Multi-Dynamic Range Compression. And exposure reduction, introducing FRC: Frame Rate Conversion, Fluoroscopic snapshot function. An image quality evaluation in clinical application is also described in addition to concept of “FAiCE-V NS1” and developed technologies.

Key Words: Image Processing, GPU, MTNR, M-DRC, FRC

1. はじめに

従来、X線透視診断装置(図1)は、胃部や注腸検査など消化管領域での検査に利用されることが主であったが、近年では、X線透視を利用し、ガイドワイヤやカテーテルを用いて胆

膵系疾患など消化器領域における内視鏡治療に使用される頻度が増えている。ガイドワイヤやカテーテルを胆管・膵管に誘導していくときに位置や動きを確認する必要があり、高画

質な透視像が求められている。

治療手技によってはX線透視を長時間照射する必要もあるため、術者および被検者の被ばく低減が求められている¹⁾。

今回、このような現場の要求に応えるため、最新画像処理エンジン「FAiCE-V^{※1} NS1」を開発した。



図1：X線透視診断装置の透視台と画像処理装置外観

2. 開発のコンセプト

本開発のコンセプトは、ガイドワイヤ等の動きを伴うオブジェクトの明瞭な表示と、さらなる被ばく低減を両立させることである。このコンセプトの実現にあたり次の方法を用いることにした。

2.1 日立映像技術の適用

図2に「日立映像技術の高画質化の変遷」を示す。日立では、プロジェクタ等において動画をより高画質に映し出すための映像技術を開発してきた。この技術をX線透視診断装置に適用することで視認性の良い透視像を実現する。

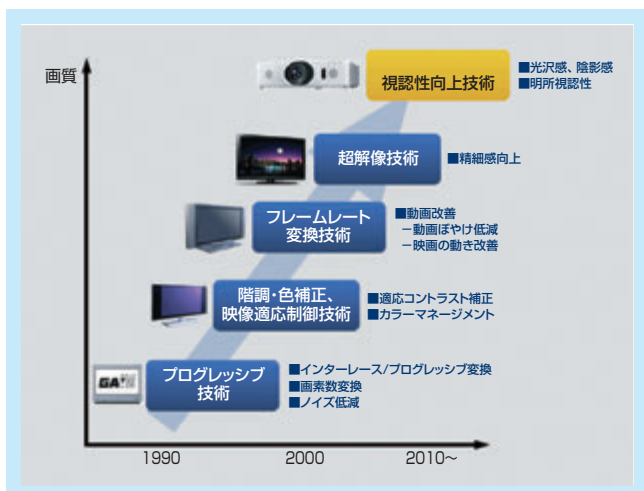


図2：日立の高画質化技術の変遷^{2) ※3}

2.2 高速画像処理プラットフォームの採用

従来は透視画像の処理に専用ASIC(Application Specific Integrated Circuit)を採用していたため、複雑な新しい画像処理を実現する際に制限があった。しかし、新画像処理プ

ラットフォームには、GPU(Graphics Processing Unit)(図3)の搭載により、開発期間の短縮および複雑な処理を高速に実現できる。GPUは画像処理用のプロセッサであり、内部に演算ユニットを複数搭載しているため、並列演算することで透視画像のような2次元の動画像のリアルタイム処理に効果的である。

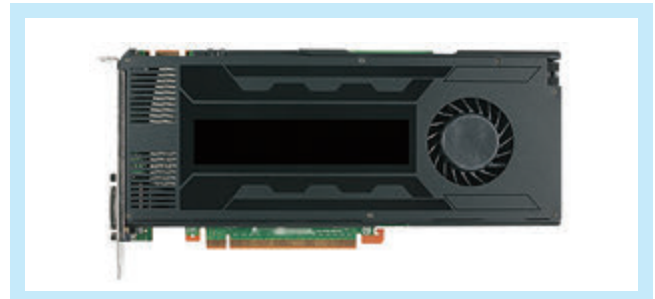


図3：GPU外観

3. 詳細仕様

3.1 動き追従型ノイズ低減処理技術MTNR^{※2}

当初のFPD搭載X線透視診断装置では、時間方向の加算を行う時間方向フィルタ、一般的にはリカーシブフィルタ³⁾と呼ばれる技術を用いてノイズ低減を実現していたが、リカーシブフィルタは同じ位置の画素を用いて加算するため、動きボケが生じてしまう課題があった。そこで、2012年にANR(Adaptive Noise Reduction)を開発し、製品へ搭載した⁴⁾。ANR処理は、各画素の近傍画素の変動幅に応じて処理を切り替えるため、リカーシブフィルタのみと比べると動きボケは減少するが、ノイズ低減効果が弱いといったデメリットがあった。そこで、FAiCE-V NS1では日立が動画技術で使用している動き検出を取り入れた新しい動き追従型ノイズ低減処理技術MTNR(Motion Tracking Noise Reduction)を開発した。MTNRは画像の中で時間フィルタを適用する領域と空間フィルタを適用する空間を画素単位で判断して処理することで、リカーシブフィルタと同等のノイズ低減効果を発揮しつつ、フレーム間の動きを検出し、その動きに追従させて時間フィルタを適用することで動きボケを抑制できた(図4)。

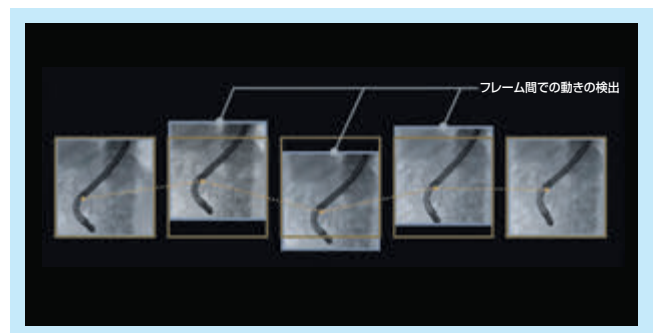


図4：MTNRの原理(動きに追従させている様子)

動きの追従ができない領域に対しては、エッジ保存型の空間フィルタ処理を適用することで、画像全体におけるノイズを低減した。

3.2 マルチ周波数フィルタ M-DRC

M-DRC(Multi-Dynamic Range Compression)処理は、複数の空間周波数に画像を分け、それぞれの周波数画像に対して、強調または圧縮処理(GainまたはLUT(Look Up Table))をかけ、再合成する処理である。そのため、デバイスや骨の輪郭を強調しやすく、さらにノイズの増加を抑制できる。M-DRC処理は、複数の空間周波数に分ける処理に膨大な演算リソース・処理時間を要し、透視に適用するにはリアルタイム演算が求められるため、FAiCE-V NS1ではGPUを用いて実現した(図5)。

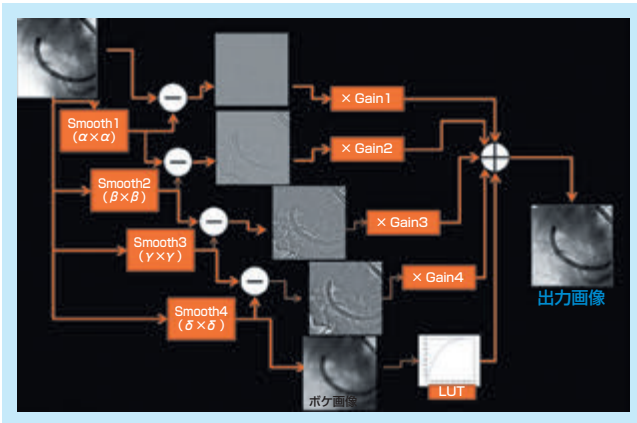


図5: M-DRC演算概要

3.3 フレームレート変換技術FRC

FRC(Frame Rate Conversion)は、時間的に前後のフレームを用いて中間フレームを生成し補間する手法である。フレーム数が倍増するため、フレームレートを下げて動きが滑らかな画像を表示でき、被ばく線量を従来よりも低減できる。さらに、中間フレームは単純な補間画像ではなく、MTNRの原理を用いた動き補償を適用した画像を利用することで高画質化を実現した(図6)。

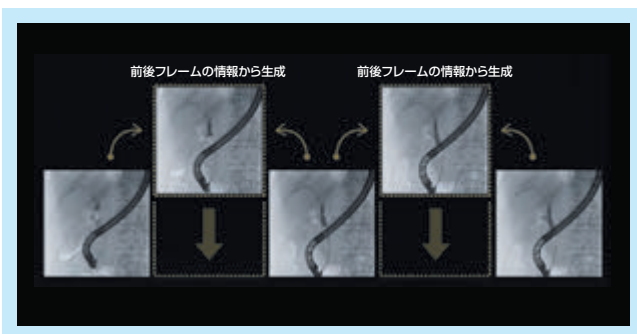


図6: FRCの原理(補間の様子)

3.4 透視スナップショット機能

透視スナップショット機能は、透視中もしくはラストイメージホールド中にパネル上に設けたスナップショットボタンを押すことで、そのつど、透視画像を1枚分DICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine)画像として保存することができる。スナップショット画像は参照モニター(右

モニター)に表示され、位置確認等の参照目的に使用することができる。また、撮影のようにX線管球の陽極回転を行う必要が無いため、スナップショットボタンを押した瞬間に保存でき、タイミングを要する場面にも有効となる。従来の撮影回数を減らすことにつながり、1検査あたりの被ばく線量を下げることにつながる。

4. 画質の評価

4.1 従来画像処理との比較

従来処理と比較してどの程度画質向上したかを確認するために、IBA社のPrimus L-Test Phantomを使用した。本ファントムは、解像力チャートと8つの低コントラスト体、16段階のコントラスト体から構成されており、粒状性を示すSN比(Signal to Noise Ratio)⁵⁾、低コントラスト分解能を示すCNR(Contrast to Noise Ratio)⁵⁾、解像度を測定することができる(図7)。

ファントムをX線透視診断システムの天板上に置いて静止させた場合と、天板とともに移動させた場合に対してそれぞれの値を測定した。ファントムの平坦領域を用いてSN比を測定し、静止時・移動時ともに、FAiCE-V NS1のSN比が従来と比較して2倍向上となった。また、ファントムの解像力チャートの視認性を比較すると、静止時は従来・FAiCE-V NS1ともにFPDの透視限界解像度である1.2Lp/mmまで視認できた。移動時においては、従来画像処理では0.8Lp/mmまでであったが、FAiCE-V NS1は1.2Lp/mmまで視認できた。これは動きボケが抑制されたことで視認可能な解像度が向上したことを示す。ファントムの低コントラスト体(深さ4.0mm、2.4mm)のCNRを比較し、いずれのシーンでもCNRは従来と比べ、FAiCE-V NS1のほうが高く、最大で2.4倍向上した(表1)。動きボケが抑制されたため、FAiCE-V NS1における静止時と移動時のCNRの変動は小さかった。

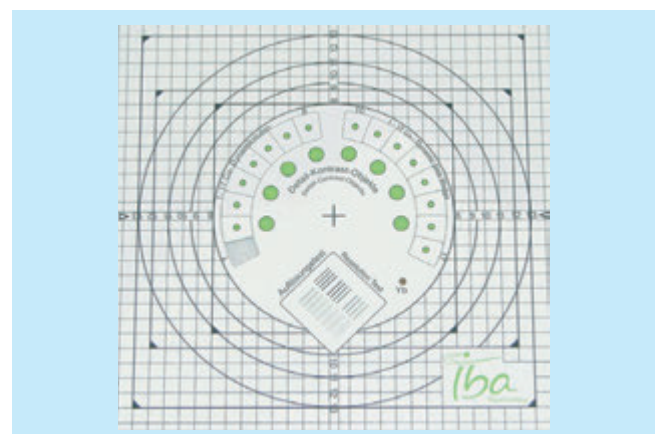


図7: 画質評価用ファントム IBA社 Primus L-Test Phantom

表1: 画質定量評価

| 評価項目 | 従来画像処理との比較 |
|-----------------|------------|
| SN比(粒状性) | 2倍向上 |
| 解像度(移動時) | 1.5倍向上 |
| CNR(低コントラスト分解能) | 2.4倍向上 |

4.2 臨床評価

MTNRによる動きボケの抑制およびM-DRCによるコントラスト強調によって、ERCP(Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography：内視鏡的逆行性胆管膵管造影)においてガイドワイヤー・ステントおよび胆管の造影領域の視認性が向上している(図8)。

上部消化管検査のような大きな動きがある場合においても、新透視画像処理では動きボケの少ないクリアな画像が得られ、バリウムを流している際の見え方が改善している。また、M-DRCによってハレーションの無い視認性の良い画像となった(図9)。

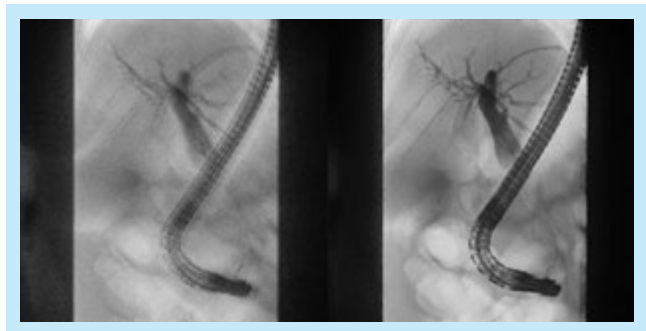


図8：ERCP臨床検査における新旧画像比較
(左：従来処理 動きボケ有り、右：新処理 動きボケ抑制)

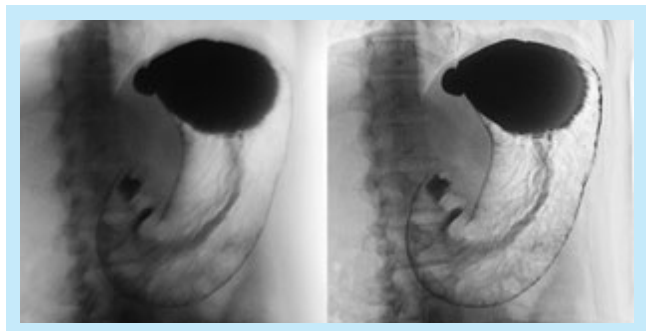


図9：上部消化管検査における比較画像
(左：従来処理 動きボケ有り、右：新画像処理 動きボケ抑制)

5. まとめ

透視用新画像処理エンジン「FAiCE-V NEXT STAGE1」を開発したことにより、「動き追従型ノイズ低減処理技術(MTNR)」、「マルチ周波数フィルタ(M-DRC)」、術者・被検者の被ばく低減を目的とした「フレームレート変換技術(FRC)」、「透視スナップショット機能」の透視像への適用を実現した。SN比、解像度、CNRのいずれもが従来画像処理よりも向上し、動きボケの少ない明瞭な輪郭を得たうえで、従来の1/2に被ばくを低減した。

※1 FAiCE-VおよびFAiCE、※2 MTNRは株式会社日立製作所の登録商標です。

※3 ガゼット\GAIZは日立コンシューマエレクトロニクス株式会社の登録商標です。

参考文献

- 1) 金 俊文：胆道内視鏡治療におけるX線システムの活用方法. Rad Fan, 33 : 8-11, 2015.
- 2) 「人の“目”の特性を生かした視認性向上技術－高視認プロジェクトの開発－」
http://www.hitachi.co.jp/rd/portal/contents/story/retinex_projector/index.html
- 3) 石井明和, ほか：被写体動き検出と画像処理への応用. 日本放射線学会雑誌, 46 : 1221, 1990.
- 4) 大久保 彰, ほか：新型X線透視診断装置 DIAVISTAと透視画像対応新ノイズ低減処理技術(ANR)の開発. MEDIX, 60 : 36-39, 2014.
- 5) デジタル画像処理編集委員会：デジタル画像処理, 4-1-2 : 74, CG-ARTS協会, 2009.