

マルチ GPU を利用した 3 次元 MRI 圧縮センシング再構成の高速化

D-16

Accelerating Magnetic Resonance Three-Dimensional Imaging
Using Compressed Sensing and Multi-GPU Computing小野寺 有太[†] 伊藤 聡志[†] 山田 芳文^{††}Yuta ONODERA[†] Satoshi ITO[†] Yoshifumi YAMADA[†][†] 宇都宮大学大学院工学研究科情報システム科学専攻 ^{††}宇都宮大学 名誉教授[†] Faculty of Engineering, Utsunomiya University ^{††}Utsunomiya University, Professor Emeritus

1. はじめに

磁気共鳴映像法(MRI)の課題として撮像時間の短縮が挙げられる。近年、撮像時間を短縮する方法として圧縮センシングの研究が盛んに検討されている[1]。圧縮センシングとは、サンプリング定理を満たさない少数の観測データから画像復元を行う方法である。圧縮センシングの MRI 応用によって撮像時間を短縮できる可能性があるが、画像再構成に反復処理を必要とするため計算時間が長くなる問題がある。本研究では MR マルチスライス撮像に圧縮センシングを応用し、かつ、高い並列演算性能を有する画像処理プロセッサ(GPU)を利用した画像再構成処理の高速化について検討を行った。これまで単一の GPU を使用した高速化の検討を行ってきたが[2]、本研究では複数の GPU を並列的に利用するマルチ GPU についても検討を行った。

2. 圧縮センシングの画像再構成

圧縮センシングを用いて画像を復元する方法として比較的計算コストの少ない反復的閾値法を用いた。反復的閾値法は、次の式(2)、(3)に示す閾値処理と射影を反復的に行う方法である。

$$\tilde{\rho} = \Psi \rho^{(i)} \quad (1)$$

$$\check{\rho} = \tilde{\rho}^{(i)} + \frac{1}{\gamma} \Psi F_u^T (s - F_u \rho^{(i)}) \quad (2)$$

$$\check{\rho}^{(i+1)} = \text{Soft}[\check{\rho}^{(i)}, \tau^{(i)}] \quad (3)$$

$$\rho^{(i+1)} = \Psi^{-1} \check{\rho}^{(i+1)}, \quad \tau^{(i+1)} = \eta \tau^{(i)} \quad (4)$$

ここで ρ は求める像関数、 Ψ は ρ に対しスパース性を与える関数、 i は反復回数を表す指数、 γ は画像の更新に関する係数、 F_u^T は信号の間引きを行った軌道にゼロデータを充填して逆フーリエ変換を行う関数、 s は観測データ、 F_u はフーリエ変換後に間引きを行う関数、 τ は反復 i 回時の閾値、 η は 1 未満の定数である。Soft $[\check{\rho}^{(i)}, \tau^{(i)}]$ は、 $\check{\rho}^{(i)}$ に対し閾値 $\tau^{(i)}$ によるソフト閾値処理を行うことを示す。

3. マルチスライス撮像

MRI は生体内のプロトンを励起し、信号を収集した後に緩和と呼ばれる一定の待ち時間を経てから次の信号収集を行う。そのため、一般に撮像時間が長くなる問題がある。その解決法として複数枚の二次元撮像を連続して行うマルチスライス撮像がある。マルチスライス撮像は緩和の間に別のスライス面の信号計測を行うことにより、待ち時間を減らし、三次元画像の撮像時間を実質的に短縮することができる。

4. GPU による画像再構成処理の高速化

GPU(Graphics Processing Unit)はコンピュータの画面表示に必要な計算を CPU に代わって行うハードウェアであり、並列処理に特化し、演算性能が極めて高いという特徴をもつ。



図 1: 再構成画像の一部(信号量 30%, 反復 30 回), (a) 目標となるフルデータ像, (b) CPU, (c) GPU

表 1: PSNR 平均値および再構成時間の比較

	CPU	single-GPU	multi-GPU
PSNR [dB]	32.69	32.67	32.67
Time [s]	469.7	5.3	3.2

本研究では、GPU 開発環境として NVIDIA 社が提供する CUDA(Compute Unified Device Architecture)を使用し、圧縮センシングのプログラミングを行った。本研究では、2 つの GPU を利用したマルチ GPU についても検討を行い、再構成処理のさらなる高速化を試みた。マルチ GPU を導入することで、性能向上が期待でき、より規模の大きな問題に取り組むことが可能となる。本研究では、科学技術計算用に特化した GPU である Tesla K20c を使用した。

5. 評価実験

承諾を得た健常ボランティアに対し、東芝製 1.5T MRI を使用して得られたマルチスライス像を用いて再構成実験を行った。図 1 に信号データ量を 30%、スライス枚数 32 枚としたときの再構成像の一部を示す。CPU と GPU による再構成像に大きな差異は見られなかった。また、本研究では再構成像の画質を定量的に評価するため、再生誤差の平均二乗誤差を振幅の最大値の比で評価する PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)を使用した。PSNR と再構成時間の比較結果を表 1 に示す。表 1 より、CPU と GPU による PSNR の値に大きな差は見られなかった。再構成時間については圧縮センシングの画像再構成に対し、計算機の CPU をシングルスレッドで利用した場合と、単一の GPU を利用した場合、さらに 2 つの GPU を利用した場合とで計算時間の比較を行った。表 1 の結果より、CPU の利用で約 469.7 秒を要した計算を単一の GPU によって約 5.3 秒、2 つの GPU によって約 3.2 秒にまで短縮することができた。

6. おわりに

圧縮センシングの MRI 応用において問題となる再構成時間の短縮化について検討を行った。2 つの GPU を利用したマルチ GPU の導入によって約 3.2 秒に短縮することができた。今後は、CPU と GPU の連携を強化し、さらなる高速化を図る予定である。

参考文献

- [1] M. Lustig et al: Mag. Res. Med., vol.58, pp.1182-1195, 2007.
- [2] 小久保, 伊藤 他: Med. Imag. Tech., vol.30, pp.115-122, 2012.