

世界最高速の実用的 MRI シミュレータの開発に成功 ～コンピュータ上で MRI 撮像プロセスを忠実に再現～

研究成果のポイント

1. GPU^{注1}を用いて、MRI^{注2}の撮像プロセスを計算機で忠実に再現する、世界最高速の MRI シミュレータ^{注3}を開発しました。
2. MRI 撮像に使用するパルスシーケンス^{注4}をそのままシミュレーションに利用できるため、撮像結果とシミュレーション結果の直接比較が可能になりました。
3. MRI シミュレータで、初めて演算速度を定量的に計測し、約 17TFLOPS^{注5}のピーク演算性能を有する GPU を用いて、約 7TFLOPS の実効性能を達成したことを示しました。

筑波大学数理物質系 巨瀬勝美教授と(株)エム・アール・テクノロジー(代表: 拝師智之)の研究グループは、コンピュータ上でMRI撮像プロセスを忠実に再現する世界最高速の実用的MRIシミュレータの開発に成功しました。本シミュレータでは、MRI撮像に使用するパルスシーケンスをそのままシミュレーションに使用できるため、撮像結果とシミュレーション結果の直接比較が可能となりました。本シミュレータの開発には、2台のGPUを使用し、7TFLOPSの実効性能を達成しました。MRIシミュレータは、理想的なMRI装置をコンピュータ上に構築できることから、今後、MRI開発における中心的な役割を果たしていくことが期待されます。

本研究の成果は、2017年5月20日付「Journal of Magnetic Resonance」でオンライン公開されました。

* 本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構研究成果展開事業(先端計測分析技術・機器開発プログラム)「超高速シミュレータを搭載したユニバーサルMRIプラットフォームの開発」(チームリーダー: 拝師智之(株)エム・アール・テクノロジー)により実施されました。

研究の背景

MRI は、最先端の医療診断装置として世界中で広く使用され、日本でも約 6,000 台が日常診療に使われ、病変の早期発見や診断に大きく貢献しています。MRI 装置の世界市場は毎年約 60 億ドル(約 7000 億円)であり、その内 85%は欧米の三大メーカーが占めており、日本メーカー(2社)のシェアは、合わせても 15%にも満たないと言われています。MRI のハードウェアでは、日本メーカーも、海外メーカーに遅れてはいませんが、そのソフトウェアとも言うべき撮像手法、すなわち「パルスシーケンス」の開発においては、肩を並べているとは言い難い状況にあります。

この現状を打開するためには、パルスシーケンスの開発効率を飛躍的に向上させる必要があります。それには、その開発のボトルネックになっている MRI 装置のマシントイムの問題と、実験効率の問題を同時に解決する MRI シミュレータが極めて重要な技術です。本研究グループでは、2014 年より、このアイデアに基づいて、GPU を用いた高速な MRI シミュレータの開発を行ってきました。

研究内容と成果

nVIDIA 社の GPU である GTX 1080(単精度浮動小数点ピーク演算性能 8.873TFLOPS)を 2 台用いて MRI シミュレータ(BlochSolver)を開発しました(図 1)。特徴は、撮像に使用するパルスシーケンスがそのまま動作する設計にしたこと(世界初)、世界最高速の実効性能(約 7TFLOPS:従来比約 70 倍)を達成したことです。また、この高速性能をベースに、シミュレーションの精度を高めるための柔軟なサブボクセル(小画素)設定機能を導入し、撮像結果の正確な再現を可能としました。

この MRI シミュレータの有用性を実証するために、シミュレーション結果を、当研究室で開発した 1.5T 超伝導磁石を用いた MRI 装置を使用した撮像結果と、3 種類のパルスシーケンスを用いて比較しました。その代表例を図 2 と図 3 に示します。

図 2 は、MRI 用造影剤の注入に伴うダイナミック MRI などに使用される高速撮像法である SPGR 法^{注6}を、シミュレータで再現したものです。この計算には、画素を多数のサブボクセルに分割する必要があることを示した世界初の結果です。図 3 は、臨床撮像に広く使用されているマルチスライス法の撮像結果とシミュレーション結果を比較したもので、高周波磁場分布をシミュレーションに取り入れることにより、ほとんど両者の区別ができないような画像を取得することに成功しました。

今後の展開

現在は、(株)エム・アール・テクノロジー社製の MRI パルスシーケンスのみに対応していますが、今後は、他社製のパルスシーケンスなどにも対応することにより、より多くの装置で使用されることをめざします。また、汎用のシーケンス記述言語を開発することにより、汎用の MRI シミュレータをめざしています。

MRI シミュレータは、理想的な MRI 装置をコンピュータ上に構築できることから、今後、MRI 開発における中心的な役割を果たしていくことが期待されます。

参考図

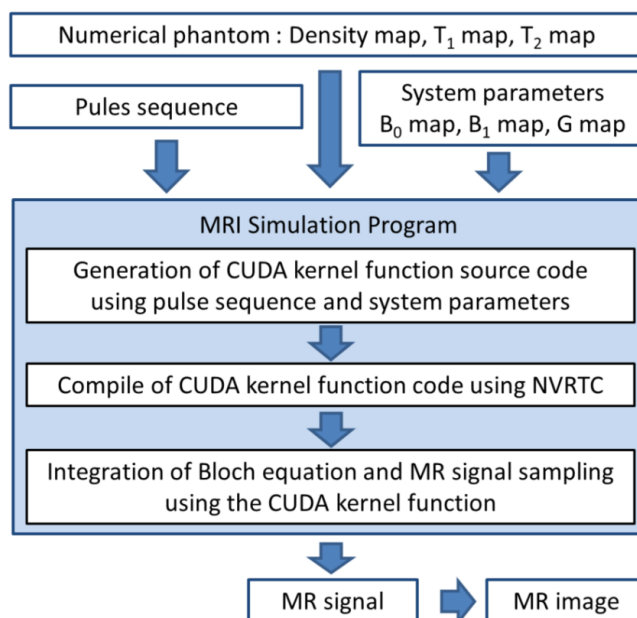


図1 開発した MRI シミュレータの構造。撮像実験に使用したパルスシーケンスをそのままシミュレーションに使用できる構造を有している(世界初)。数値ファントム(人体の構造をモデル化し数学的に表したもの)、パルスシーケンス、システムパラメータを入力すると、MRI シミュレータが、自動的に GPU のソースコードを生成して実行し、MRI 信号を作成する。GPU のプログラムは、CUDA と呼ばれる専用のコードで記述されている。

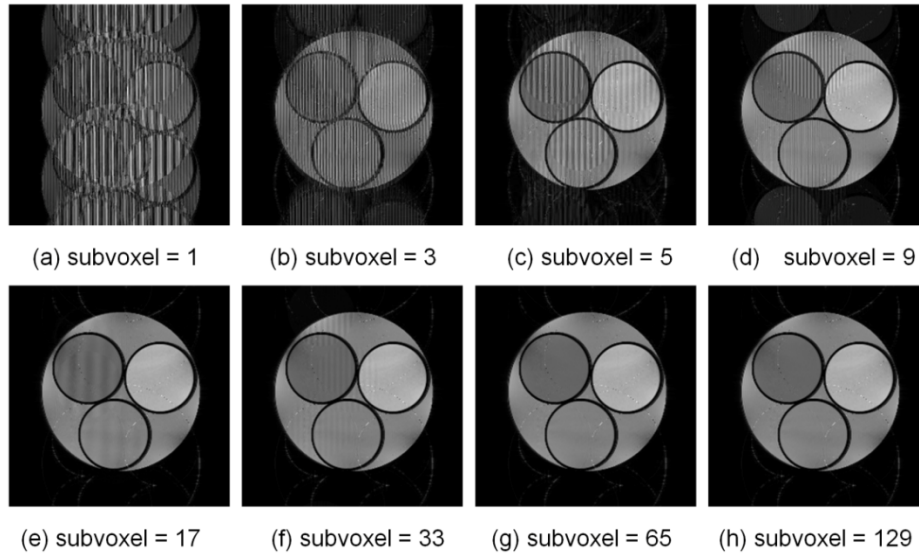


図2 SPGRという高速T1強調画像撮像法において、そのシミュレーションでは、画素を細分化(65分割以上)する必要性を初めて示した。この手法により、初めて実験を正確にシミュレーションで再現することが可能となった((g)と(h))。

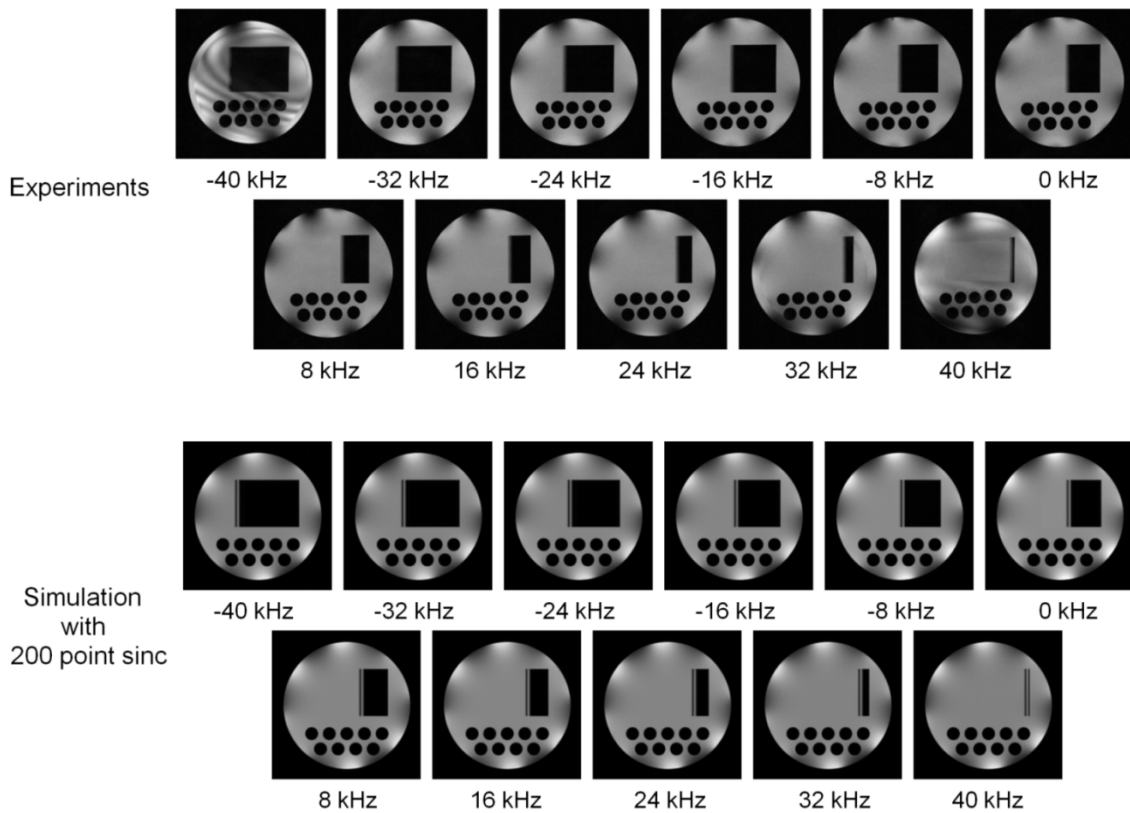


図3 マルチスライス法の撮像結果とシミュレーション結果(ファントム画像)の比較。11枚の連続する二次元スライスの撮像実験(面内256×256画素)を、約4億7000万個の核磁化を用いたシミュレーションで再現した。高周波磁場分布を導入しているため、実験をほぼ完全に再現した。

用語解説

- 注1) GPU: グラフィックプロセッシングユニット(Graphic Processing Unit)。画像表示用に使われていた演算装置の高速性を活かして、一般的な科学技術計算にも使えるようにしたユニット(ボード)。計算の種類にも依存するが、PCに使用されるCPU(演算装置)の10~100倍の性能を有する。
- 注2) MRI: 磁気共鳴画像法(Magnetic Resonance Imaging)。MRI装置のことも、単にMRIと呼ばれることが多い。国内に約6,000台の医療用MRI装置が普及している。1台約1~3億円。
- 注3) シミュレータ: 一般には模擬する装置のことであるが、多くの場合、計算機上にソフトウェアで実現されたものを指す。実際の装置を、どれだけ高速かつ正確に再現できるかが大きな課題である。
- 注4) パルスシーケンス: MRIを動作させるための正確なタイミングなどの情報を記載したデータ。MRIを楽器に例えると、楽譜に相当する。
- 注5) TFLOPS: Tera Floating point Operations Per Second。1秒間に浮動小数点演算を1兆回実行する演算速度の単位。最新のGPUは11TFLOPS程度。
- 注6) SPGR: Spoiled GRass。代表的な高速T1強調撮像法。造影剤の動的注入に伴う造影効果の可視化などに使用される。

参考文献

- [1] S. Hashimoto, K. Kose, T. Haishi, Development of a pulse programmer for magnetic resonance imaging using a personal computer and a high-speed digital input-output board, Rev. Sci. Instrum 83 (2012) 053702.

掲載論文

- 【題名】 BlochSolver: A GPU-optimized fast 3D MRI simulator for experimentally compatible pulse sequences (BlochSolver(ブロッホソルバー):実験用のパルスシーケンスに対応したGPUに最適化した高速三次元MRIシミュレータ)
- 【著者名】 Ryoichi Kose, Katsumi Kose
- 【掲載誌】 Journal of Magnetic Resonance
<https://doi.org/10.1016/j.jmr.2017.05.007>

問い合わせ先

巨瀬 勝美(こせ かつみ)
筑波大学 数理物質系 物理工学域 教授
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

巨瀬 亮一(こせ りょういち)
株式会社エム・アール・テクノロジー 研究員・プログラマー
〒305-0047 茨城県つくば市千現 2-1-6