

ホワイトペーパー

医療画像診断システム

視覚化をスピードアップ

GE ヘルスケアとインテルの協業で視覚化の処理時間を短縮

著者 概要

ビーニッシュ・ジア

代表執筆者、インテル

**シラン・アフェルガン
スティーブ・ジョンソン
ジェアード・ページャー**

共同執筆者、インテル

**S.アントワヌ・アリオッティ
インボー・ファン
ジェローム・ノップリオック
ヤニック・ルベール
ライオネル・マルモニエ
フロレンティン・トゥールモン**

共同執筆者、GEヘルスケア

ゼネラル・エレクトリック (GE) の事業部門の 1 つである GE ヘルスケアは、医療テクノロジーやデジタル・ソリューション・イノベーションのグローバルリーダーです。GE は医師が正しい情報に基づく意思決定をより迅速に行うためのインテリジェント・デバイス、データ分析、アプリケーション、サービスを提供しています。

GE ヘルスケアの Advantage Workstation (AW) プラットフォームにより、放射線科医はオフィス、病院、自宅など場所を問わず必要な時に画像データにすぐにアクセスできます。¹ Advantage Workstation サーバーは高度な視覚化および診断機能を提供し、医師間の迅速かつ容易な画像共有が可能です。² 放射線科医は医用画像への迅速なアクセスが可能となり、視覚化全般に関する使い勝手の良さを体験できます。

GE AW プラットフォームはインテル® Xeon® プロセッサのパワーとパフォーマンスを活用しています。そのため、GE ヘルスケアとインテルの協業により画像性能のさらなる改良に取り組む機会が生じたとき、話はスムーズにまとまりました。本稿では、私たちが乗り越えたさまざまな技術的課題について、また協業により視覚化の所要時間を約 70% 短縮させることに成功した方法について述べています。³ 「視覚化パイプラインの最適化」のセクションで詳述されているように、性能向上の成功は、このチームがハードウェアやソフトウェアの最適化を多数積み重ねた結果、結実したものです。私たちは精度を損なうことなく医用画像視覚化の高速化を実現しました。⁴

視覚化の所要時間短縮の重要性

1 日に撮影されるコンピューター断層撮影 (CT) および磁気共鳴映像法 (MRI) スキャンの平均数は過去 10 年間で大幅に増加しました。⁵ その結果、放射線科医が精査しなければならない画像数も増加の一途をたどり、彼らの負担も増大しています。放射線科医の負担を軽減する方法の 1 つとして、精査対象画像の読み込み時間を短縮することが挙げられます。ユーザー・インターフェイスでの最初のクリックからスキャン一式がすべて利用可能になるまでの 1 秒 1 秒は非常に重要です。放射線科医が画像にすぐアクセスして精査できれば、それだけ早く次の患者のスキャンに移れます。このプロセスを加速することで、放射線科医が 1 日当たり精査できる画像数が大幅に増加します。これにより、医師の燃え尽き症候群を減らすだけでなく、診断結果を患者にすぐに伝えられるため、早急に治療を開始できるようにもなります。その結果、放射線科医と患者の双方にメリットをもたらすことになります。

目次

概要	1
視覚化の所要時間短縮の重要性	1
Advantage Workstation (AW) サーバーの視覚化	2
視覚化パイプラインの最適化	2
より良い未来を共に築く	6



図 1: 医用画像視覚化フローの概観的なブロック図

Advantage Workstation(AW)サーバーの視覚化

図 1 は GE AW サーバーの医用画像視覚化フローの概観的なブロック図です。患者の放射線スキャンから生成される画像は、まずインデックス化された大容量データベースに保存されます。その後、インテル® Xeon® プロセッサー搭載の高速かつ安全なメモリーを装備した AW サーバーがそのデータベースにアクセスします。このサーバーが、インテルの CPU で視覚化プロセスを実行します。

視覚化プロセスが完了すると、画像は、大きなビューイング・モニター、タブレット、遠隔ビューイング・ステーション（例えば自宅のノートブック PC など）、拡張現実 (AR) / 仮想現実 (VR) のデバイス、そして 3D プリンティングなど、さまざまな媒体で精査が可能になります。

視覚化パイプライン

図 1 に示される視覚化フローは、視覚化パイプラインと呼ばれる一連のステップから構成されています。パフォーマンス最適化にあたり、プロセス所要時間を 10 分の 1 に低減することを目指し、各ステップにおけるパイプライン・プロセスの高速化を図りました。

図 2 に示すように、2 次元/3 次元ボリューム画像の視覚化パイプラインは 3 つの主要ステップで構成されます。これらのステップは、放射線科医がユーザー・インターフェイスにアクセスするところから操作の表示画像が利用できる状態になるまでのプロセス全体の大部分をカバーしています。3 つの主要ステップは以下の通りです。

1. 初期化
2. 読み込み
3. 後処理

視覚化パイプラインの最適化

医用画像視覚化の所要時間短縮という目的を達成するためには主に 2 つの検討事項に対応する必要があります。まず、パフォーマンス向上につながるハードウェア・プラットフォーム構成は何か、次に、画質を犠牲にせずに可能な限り迅速かつ効率的に実行するためには、これらのシステム上で実行されるコードをどのように最適化するかということです。

ハードウェアの選択

医用画像には大容量の保存領域が必要です。一枚一枚の CT 画像は通常 512 x 512 x12 ビットです。⁷ 検査当たりのシンスライス・データセットは軽く 500 画像に達し、(CT 血管撮影や心臓 CT など) より広範な検査になると、2500 画像も必要となる場合があります。その結果、検査当たりの平均的な CT データセットは約 200MB から 1GB にまで達します。同様に、MRI 検査では平均で約 300MB のストレージが必要となる場合があります。⁷

さらに、これら大量のデータセットの処理は高負荷で、データ取り込み、処理、視覚化のどのステップでも演算処理が多くなります。

これらの要求に対処するには、パワフルなコンピューティング・プラットフォームが求められるため、私たちのチームはインテル® Xeon® スケーラブル・プロセッサー搭載のプラットフォームを選択しました。そして、私たちのニーズに最適な特定のインテル® Xeon® プロセッサーを選ぶために、さまざまなハードウェア構成について複数のテストを実施しました。ベースラインとして使用するリファレンス・ビジュアライゼーション・コードをコンパイルし、試行を通して多種多様なコア、スレッド、プロセッサー・スピードの影響を評価しました。エンジニアリング・チームが多数の国に散らばっているため、第 2 世代インテル® Xeon® Platinum 8260L プロセッサーで構成されるリモートクラスターから試行を開始しました。最終的に、リモートクラスターのワークロードに関する評価が完了した後、GE ヘルスケアのチームは、さらなるパフォーマンスの向上を図り、第 2 世代インテル® Xeon® Gold 6256 プロセッサーを搭載したオンプレミスのシステムを導入しました。アプリケーションがコア数よりも周波数に依存しているという事情があったため、社内評価では、インテル® Xeon® Platinum 8260L プロセッサー (24c/2.4GHz) ではなく、周波数とコア数のコスト効率の高い組み合わせを提供するインテル® Xeon® Gold 6256 プロセッサー (12c/3.6GHz) を選択しました。

リモートクラスターの使用により、チームは、リファレンス・ビジュアライゼーション・コードの特定のセグメントについてスケーリングや周波数の依存度に係るテストおよび評価を実施できました。図 2 に示す通り、このコードはいくつかの異なるセクションで構成され、セクションごとに異なる動作が見られました。

リファレンス・ビジュアライゼーション・コードの中でもとりわけ演算量の多いステップであるボリューム・レンダリング (VR) を精査したときのことを考察します。まず、6 コアのインテル® Xeon® W-2135 プロセッサーを搭載したベースライン・システムでコードを実行しました。次に、(ソフトウェアに軽微な変更を加えた後) 24 コアの第 2 世代インテル® Xeon® Platinum 8260L プロセッサー搭載システムでコードを実行しました。図 3 に示すように、最適化されていないコードを 1 ソケットのワークステーションから 4 ソケットのインテル® Xeon® スケーラブル・プロセッサーに移動させた場合の予測値と同様の結果が得られ、**レンダリングにかかる時間が 87% 短縮⁴** されました。

基本的なテストにより、シングルソケットのワークステーションから第 2 世代インテル® Xeon® スケーラブル・プロセッサー搭載のシステムに移行することのメリットが確認された後、次の段階の調査を実施しました。それが、ソフトウェアの最適化です。

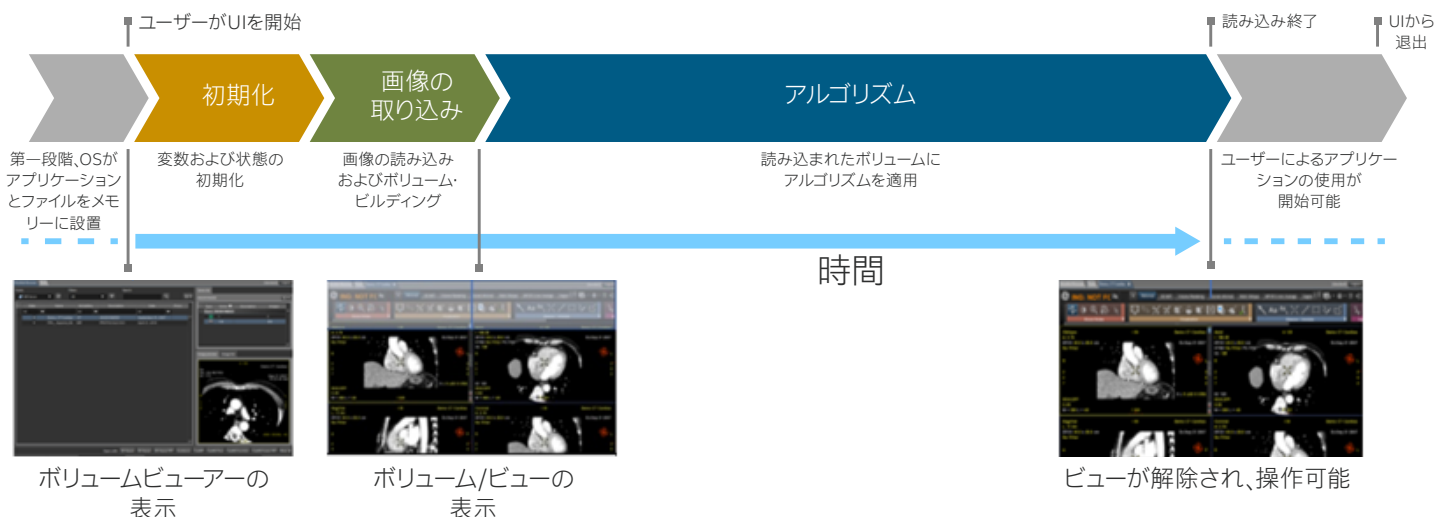


図 2: GE AW サーバー内のボリューム・ビジュアライゼーション・パイプライン

ソフトウェアの最適化

ハードウェアについて最終的な決定を下す前に、視覚化プロセスに関係するソフトウェアがこれらのシステムで問題なく実行できるかのみならず、そのパフォーマンスを最適化できるようにコードを改良可能かということも確認する必要があります。これにあたり、**インテル® VTune™ プロファイラー**⁸が非常に役立ちました。このインテルの最適化されたパフォーマンス・ツールにより、開発者はコードのパフォーマンスに関する分析および問題のある部分やボトルネックの隔離を実施でき、このツールを使わない場合よりも迅速にソリューションを導き出せます。

検討対象となったソフトウェアの最適化は主に以下のものです。

- スレッディングとメモリー・アロケーション

私たちは CPU スレディングをより良く活用できる余地の有無を調べるためコードを精査しました。これには、マルチコア・プロセッサでの並列プログラミング・メモリー・アロケーションを最適化するためにインテルが開発した C++ テンプレート・ライブラリーである OpenMP API⁹ とインテル® スレディング・ビルディング・ブロック¹⁰ (インテル® TBB) が使用されました。インテル® TBB により、並列処理のストリームライニング・プロセッシングで実行できるタスクを決定できました。

図 5 は、インテル® TBB プロキシととともに、OpenMP メモリー・アロケーションを使用してスレッド処理の向上が見られた最初のテスト結果を表していますが、VR レンダリングは 1.9 倍、オクルージョンは 3 倍向上し、そしてジッターフィルターに至っては **25 倍というめざましい向上**⁴が見られました。

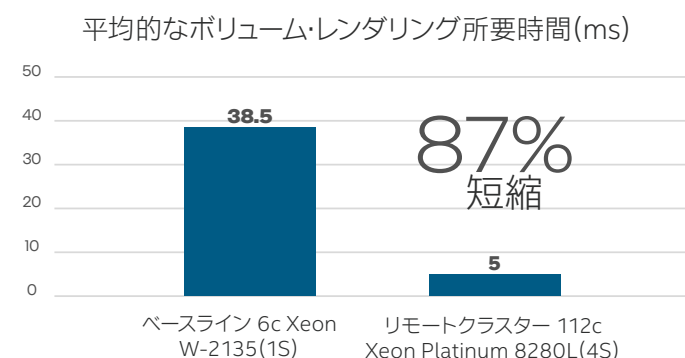


図 3: ボリューム・レンダリング所要時間の比較

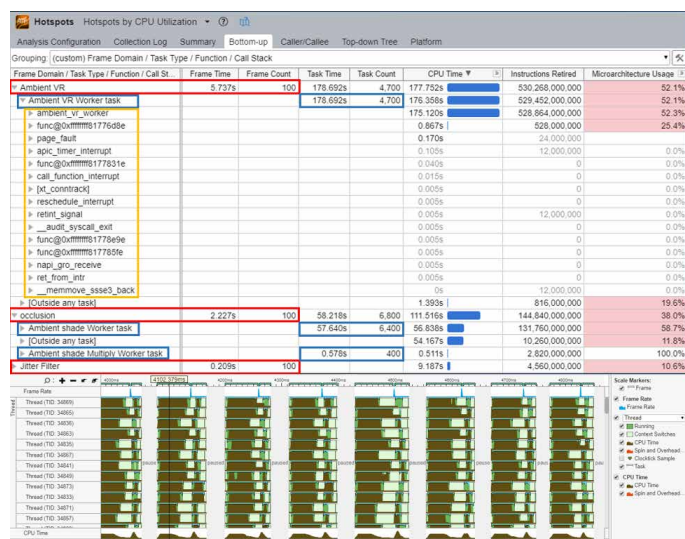


図 4: リファレンス・コードの CPU 使用率のホットスポットを表示するインテル® VTune™ プロファイラーのユーザー・インターフェイス

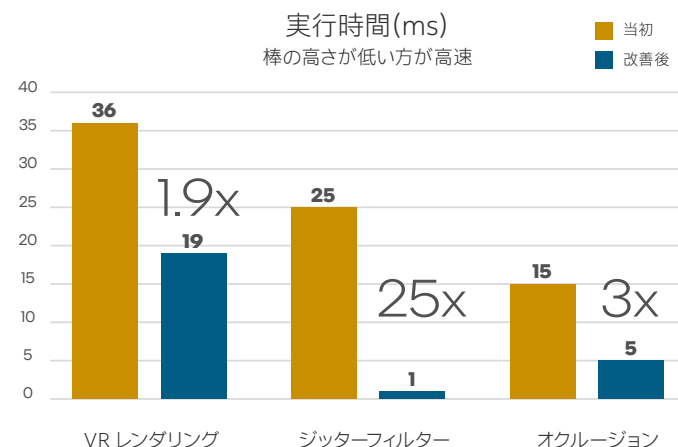


図 5:2.40GHz、24x2 物理コアのインテル® Xeon® Platinum 8260L プロセッサでテストされた元のレンダリング実行時間との比較

図 7 は、第 2 ラウンドのテスト結果を示しています。元のソフトウェア開発キット (SDK) でボトルネックとなっていたスレッディングが向上しているのが分かります。軸平面処理のパフォーマンスは 2 倍向上したのに対し、矢状面処理のパフォーマンスは**以前の結果より 4 倍の向上⁴**が見られました。

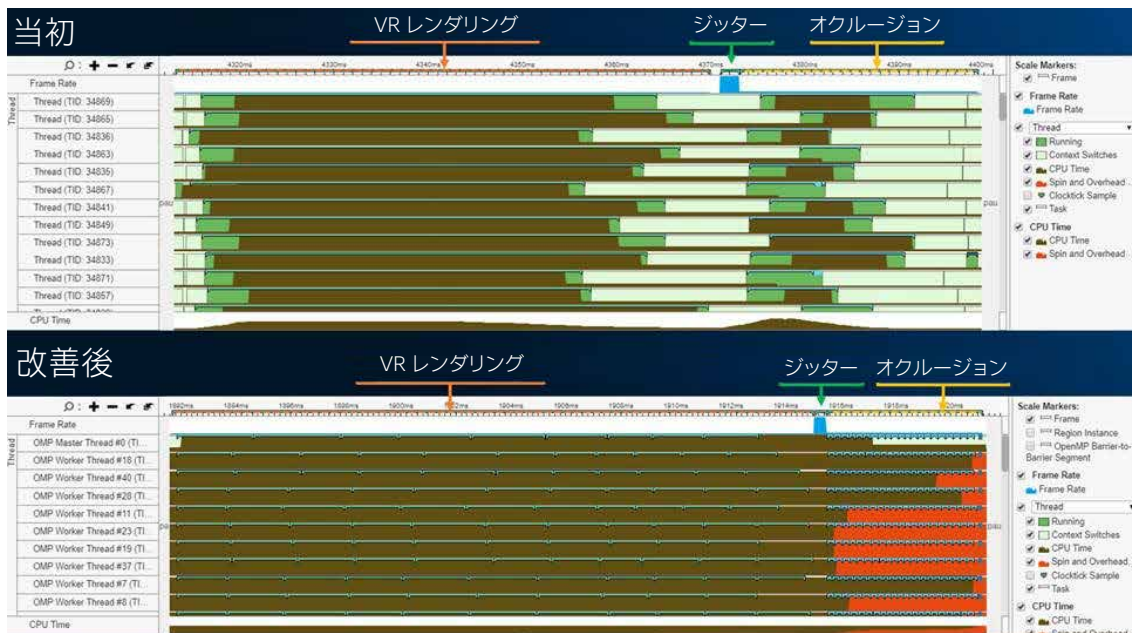


図 6: 図 5 と同一のリファレンス・ワークロードでスレッド処理の向上前と後を比較したインテル® Vtune™ プロファイラーのスナップショット

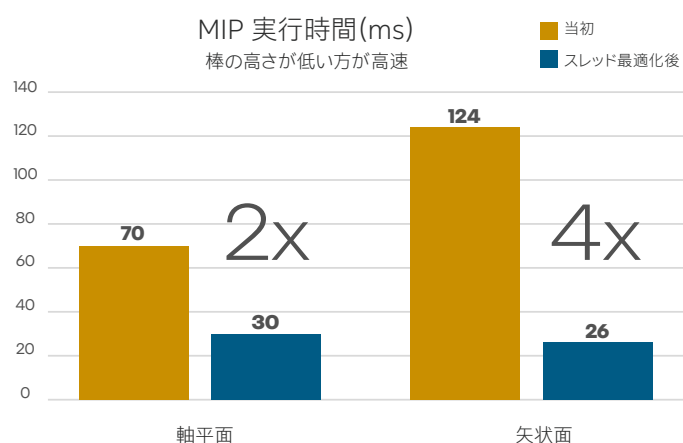


図 7: より新しいバージョンでのレンダリング。スレディングおよびメモリの向上

効率的なメモリー使用

次に、不均一なメモリーアクセス (Non-Uniform Memory Access: NUMA) の設計に注目しました。NUMA 設計原理を採用したリファレンス・コードを調整することで、ローカルメモリーをより有効に活用し、図 7 に示すように、より大きなインプットサイズでメモリー使用を 6 倍向上できました。⁴そして、CPU が 2.40GHz で稼働するインテル® Xeon® Platinum 8260L プロセッサー搭載のシステムで、レンダリング最適化をテストしました。図 8 に示すように、ポリウムビューアーからのコードを最適化し、NUMA メモリー設計のメモリー効率を少なくとも 1.5 倍向上⁴させました。

後処理アルゴリズムの最適化

さらに、後処理アルゴリズムの最適化方法も模索しました。そのため、図 9 に示す 3 通りの異なる手法を比較しました。

インプットサイズ 1024x1024 でのパフォーマンスの向上 (時間 過去/現在)

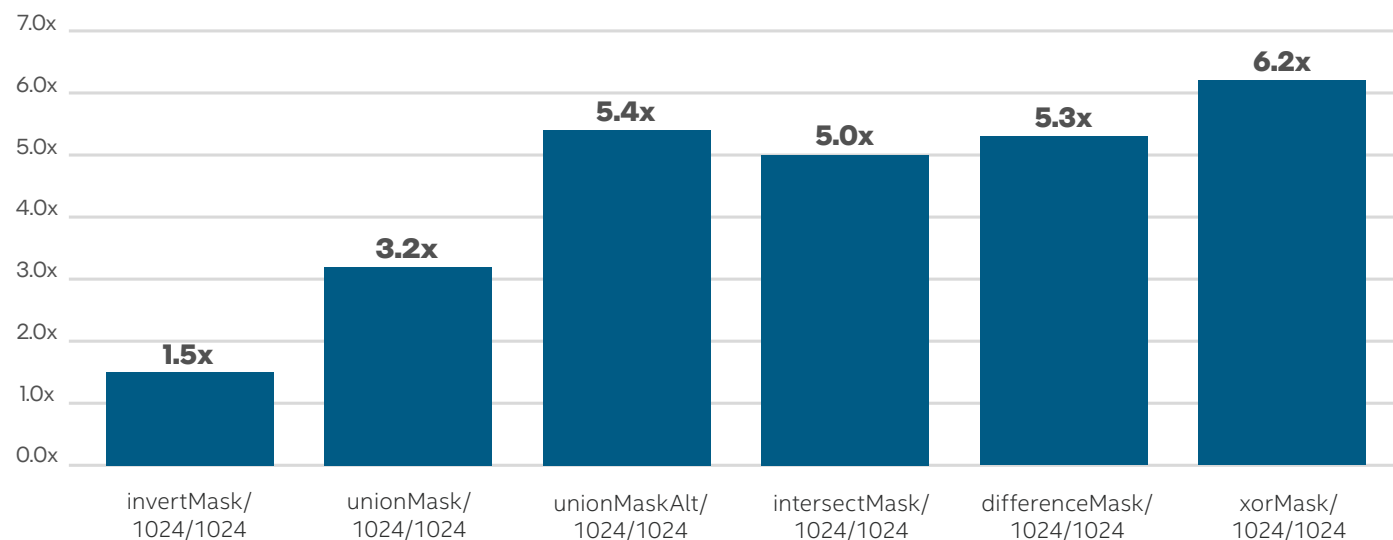
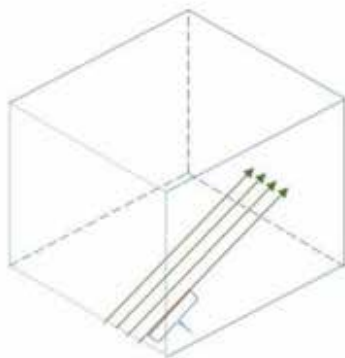


図 8: ポリウムビューアー。1024 x 1024 のインプットサイズでのパフォーマンス向上



現行の手法

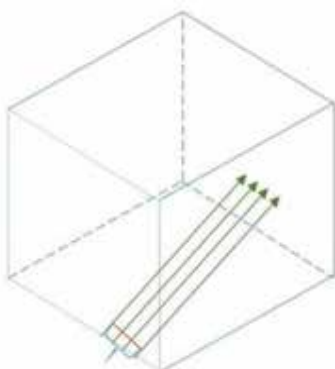
このアルゴリズムで使用される元の手法では、SIMD (単一命令 / 多重データ) を使用して、単一の線の複数のボクセルの「並行」処理が可能です。¹¹

メリット

- 最も簡単な実装であり、順調に機能します。
- SIMD のメリットを利用するワークフローを使用します。

デメリット

- キャッシングにおけるメリットがほとんどないため、メモリのレイテンシーの問題が発生します。
注記: 3 次元モデルの「ボクセル」は、2 次元画像の「ピクセル」に相当します。



パケット手法

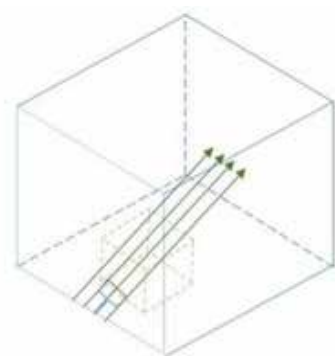
単一の線上の複数のボクセルを並行して追跡するのではなく、パケット手法では、「近隣の」複数の線上の単一のボクセルを並行して追跡します。この手法はインテル® アドバンスド・ベクトル・エクステンション¹² (インテル® AVX) でも導入できますが、パック形式の整数を比較する必要があるため、最低でもインテル® AVX 2 の使用が推奨されます (各線が独立していて、ボクセル間の依存関係を考慮しなくてもよい場合、その意味においては、これが最も簡単な手法になります)。

メリット

- 各「ステップ」では近隣のデータが使用されるため、キャッシュの使用率が増加します。
- この手法は自然な形でボクセル間の依存関係に対処します。

デメリット

- 256 ビットのレジスターを効率的に導入するには、最低でもインテル® AVX2 が必要となります。
- 非並行線はすぐに分散してしまうため、パフォーマンスのメリットが低減します。
- この手法では、全ボリュームの追跡が必要なため、「マルチパケット」のメリットはなくなります。



マルチボリューム・パケット手法

いくつかの異なる手法がこのカテゴリに入ります。大半はサブボリュームを分割して、どの線が所定のサブボリュームを通るかの判断などを行います。ただし、すべてのケースに共通するのが、ボリュームをサブボリュームに分割し、そのサブボリューム内の線を追跡するという考え方です。サブボリュームが正しいサイズに分割されていれば、線同士の相互関係に関係なく、キャッシュされたボリュームデータのアクセスを最大化できます。

メリット

- この手法は現行の手法を使っても、パケット手法を使っても導入可能です。
- この手法で、(線の交点の算出が容易である限り) いかなる線分布も改善できます。
- ボリュームは L1 または L2 キャッシュに完全に収まるようなサイズにでき、メモリー・レイテンシーを大幅に低減可能です。どのキャッシュのパフォーマンスがより優れているかは、テストが必要です。
- ほとんどが「空の」ボリュームでは、ボリュームの一部を横切る必要がなくなります。

デメリット

- 途中で「終了する」線は扱いが難しい場合があります。
- この手法は概してアルゴリズムをより複雑にし、特に、どの線がボリュームと交差するかの判断が難しく、同様に、複数のボリュームで線を「同時に」追跡できるかを判断する必要があります。
- 定義がおろそかにされているボリュームは、サブボリュームを高速で出入りする線に関する SIMD の利用が不十分になります。

図 9: 分析手法

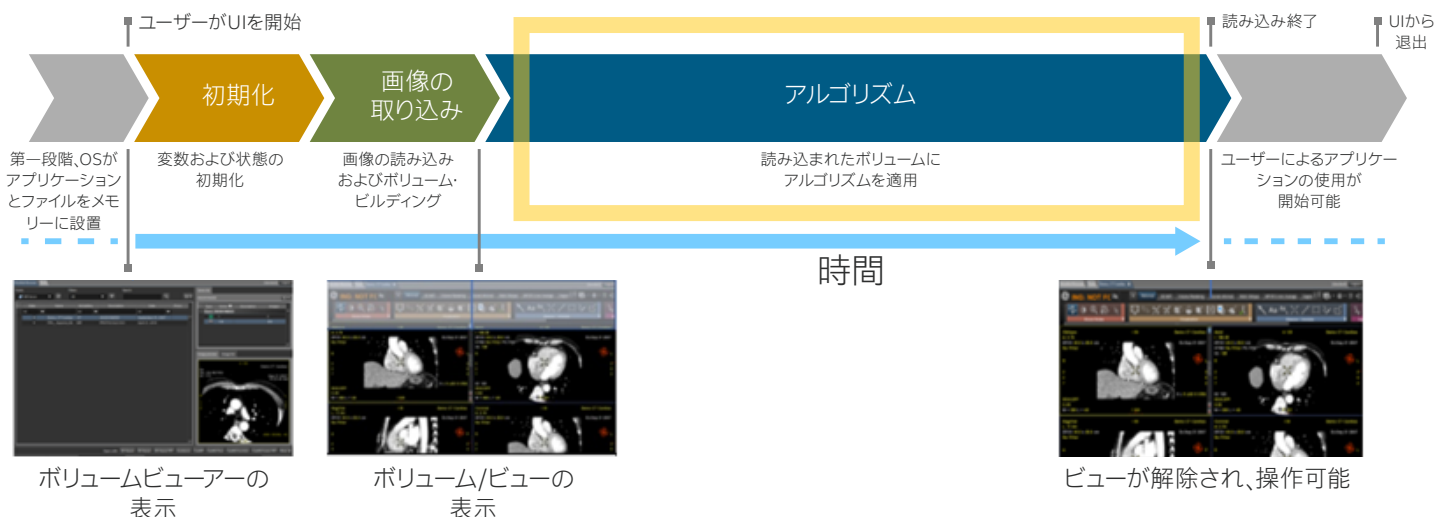


図 10:後処理アルゴリズム

さまざまな前処理コーディング方法の試行により、パフォーマンスの大幅な向上を記録しました。例として、最大値投影法 (MIP) アルゴリズムを考察します。

図 10 に示す通り、後処理は視覚化パイプラインのステップで最も長いステップです。MIP は読み込み後に使用される初期の後処理アルゴリズムの 1 つです。MIP は 3 次元データを 2 次元空間に投影します。これはユーザーが画像の回転、方向転換、または操作を行う前に必要なステップです。MIP 処理は演算量が多いため、MIP アルゴリズムの最適化がパフォーマンス向上という目的達成に必要不可欠であると認識していました。最適化のさまざまな方法について調査を実施したことで、大幅なパフォーマンス向上が実現しました。

仮想化セットアップの向上

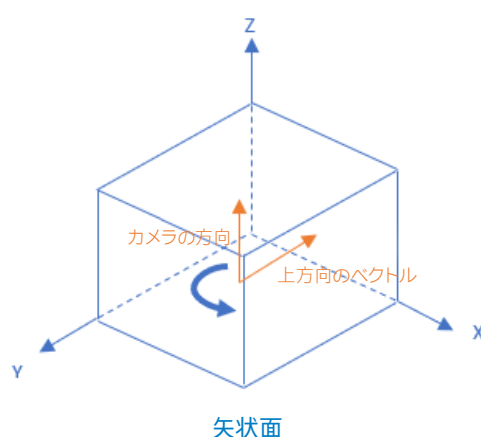
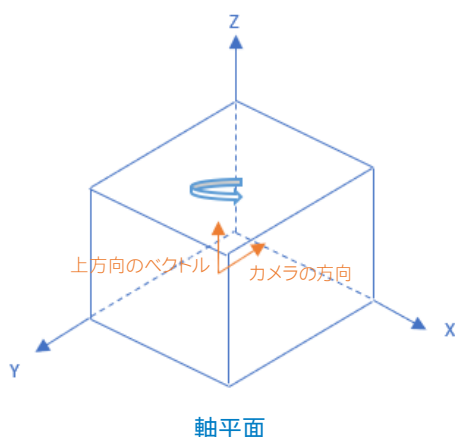
- MIP レンダリングでシングルユーザーの場合 (サービステスト): **30 ~ 40% の向上**。⁴
- MIP レンダリングで 3 名のユーザーが並行使用している場合 (サービステスト): **20% の向上**。⁴

物理マシン

- MIP レンダリングのベンチマーク・テスト (シングルユーザー): カメラの方向ベクトルが軸平面で回転している場合は 15%、矢状面で回転している場合は **30 ~ 40% 向上**。⁴

「高レベル」の数値

- パケット・リトレーシング・レンダリング: MIP で **40% 高速化**。⁴



まとめ – より良い未来を共に築く

本稿では、視覚化の所要時間を飛躍的に短縮するために採用されたさまざまな方法が詳述されています。以下の 2 つの異なる方法におけるパフォーマンスの向上を紹介しました。

- **ハードウェア:** 処理をインテル® Xeon® スケーラブル・プロセッサに移行させることで、大幅な向上を実現。
- **ソフトウェア:** インテルのパフォーマンス最適化ツールを使用して、リファレンス・ビジュアライゼーション・コードの分析、試行、調整を実施することで、コードの分析、パフォーマンス向けにコードの最適化、問題のある部分やボトルネックの隔離が可能になり、ツールを使用しない場合よりも迅速にソリューションを導き出すことに成功。その結果、インテルの最新のハードウェアにより改善されたパフォーマンスのさらなる飛躍的な向上を実現。

協力的なチームワークのおかげで、通常約 17 秒の全視覚化パイプラインの精査時間を約 5 秒にまで短縮することに成功しました。これは視覚化の所要時間を 70% 近く短縮したことになります。⁴

これらの最終的または最新の視覚化に関する数値は、2S インテル® Xeon® Gold 6256 プロセッサ搭載のシステムで実現したことに留意が必要です。大半の既存コードは、よりハイエンドのインテル® Xeon® Platinum プロセッサで利用できる高いコア数のメリットを受けられないこと、さらに、この CPU の方がチームにとってコスト効率の高いソリューションであったことが理由です。しかし、さらなる最適化の余地はまだあり、いずれ既存コードをアップデートして 70% 以上の時間短縮を達成する可能性もあります。私たちのチームはその目標に向かって引き続き取り組んでいます。

視覚化パイプラインの最適化は医用画像ワークフローの課題のほんの一部に過ぎません。インテルと GE ヘルスケアは今後も協業体制を維持し、放射線科医による医用画像の精査所要時間のさらなる短縮を図り、患者体験の向上につなげていきたいと考えています。今後のホワイトペーパーにも注目してください。



詳細情報

GEヘルスケア
gehealthcare.com/about (英語)

GE AW サーバー
gehealthcare.com/products/advanced-visualization/platforms/aw-server (英語)

インテル® Xeon® スケーラブル・プロセッサ
intel.co.jp/xeon

インテルの開発者向けソフトウェア・ツール
intel.com/software (英語)

- 1 GE AW プラットフォーム - <https://www.gehealthcare.com/products/advanced-visualization/platforms/aw-server> (英語)
- 2 GEヘルスケア AW Server - <https://www.gehealthcare.com/products/advanced-visualization/platforms/aw-server> (英語)
- 3 インテルは、サードパーティーのデータについて管理や監査を行っていません。正確さを評価するには、ほかのソースを参照する必要があります。
- 4 構成 (構成 1) の詳細は補足資料を参照してください。 パフォーマンスやベンチマーク結果の詳細については、<http://www.intel.com/benchmarks/> (英語) を参照してください。インテルのソフトウェア製品のパフォーマンスと最適化に関する詳細については、<https://software.intel.com/articles/optimization-notice> (英語) を参照してください。
- 5 <https://appliedradiology.com/articles/the-radiologist-s-gerbil-wheel-interpreting-images-every-3-4-seconds-eight-hours-a-day-at-mayo-clinic> (英語)
- 6 Radiologist Burn Out - GE healthcare - <https://www.gehealthcare.com/feature-article/decreasing-radiologist-burnout> (英語)
- 7 Society for Imaging Informatics in medicine - https://siim.org/page/archiving_chapter2 (英語)
- 8 インテル® VTune™ プロファイラー - <https://software.intel.com/content/www/us/en/develop/tools/vtune-profiler.html> (英語)
- 9 OpenMP - <https://en.wikipedia.org/wiki/OpenMP> (英語)
- 10 インテル® スレディング・ビルディング・ブロック - <https://software.intel.com/content/www/us/en/develop/tools/threading-building-blocks.html> (英語)
- 11 SIMD - [https://en.wikipedia.org/wiki/SIMD#:~:text=Single%20instruction%2C%20multiple%20data%20\(SIMD,on%20multiple%20data%20points%20simultaneously](https://en.wikipedia.org/wiki/SIMD#:~:text=Single%20instruction%2C%20multiple%20data%20(SIMD,on%20multiple%20data%20points%20simultaneously)
- 12 インテル® アドバンスド・ベクトル・エクステンション

システム構成

構成 1: ヘッドノード: 第 2 世代。インテル® Xeon® Platinum 8268OL、12 X 64GB DDR4 DIMMS 60L、12 X 512GB インテル® DCPMM、1 X P4510 (8TB) SSD、1 X S3520 (480GB)、Centos 7.6 OS、インテル® Parallel Studio XE 2019 Update 4 Cluster Edition for Linux およびインテル® OpenVINO 2019.2 ツールキットを実行。

コンピュータ・ノード: 第 2 世代。インテル® Xeon® Platinum 8268OL、12 X 64GB DDR4 DIMMS 60L、12 X 512GB インテル® DCPMM、1 X P4510 (8TB) SSD、1 X S3520 (480GB)、Centos 7.6 OS、インテル® Parallel Studio XE 2019 Update 4 Cluster Edition for Linux およびインテル® OpenVINO 2019.2 ツールキットを実行。アプリケーションはボリューム・レンダリング、ジッター、オクルージョン、MIP アルゴリズムで、これらのアプリケーションはすべて C++ のリファレンス・ビジュアライゼーション・コードとして GE ヘルスケアが提供。

テストは OpenMP 最適化に関して 2019 年 8 月および 2020 年 5 月にインテル コーポレーションが実施。

構成 2: 2S 第 2 世代。インテル® Xeon® Gold 6256 (3.6GHz/12 コア/205W)、12x 32GB RAM、12x 128GB Pmem、2x 400GB SSD、8x 1.92TB SSD read intensive。Linux OS、インテル® Parallel Studio XE 2019 Update 4 Cluster Edition for Linux およびインテル® OpenVINO 2019.2 ツールキットを実行。

アプリケーションはボリューム・レンダリング、ジッター、オクルージョン、MIP アルゴリズムで、これらのアプリケーションはすべて C++ のリファレンス・ビジュアライゼーション・コードとして GE ヘルスケアが提供。

テストは 2020 年 5 月に GE ヘルスケアが実施。

免責事項

性能に関するテストに使用されるソフトウェアとワークロードは、性能がインテル® マイクロプロセッサ用に最適化されていることがあります。

SYSMark や MobileMark などの性能テストは、特定のコンピューター・システム、コンポーネント、ソフトウェア、操作、機能に基づいて行ったものです。結果はこれらの要因によって異なります。製品の購入を検討される場合は、他の製品と組み合わせた場合の本製品の性能など、ほかの情報や性能テストも参考にして、パフォーマンスを総合的に評価することをお勧めします。詳細については、<http://www.intel.com/benchmarks/> (英語) を参照してください。

性能の測定結果は構成情報に記載された日付時点のテストに基づくものです。また、公開中のすべてのアップデートが適用されているとは限りません。構成の詳細については、補足資料を参照してください。絶対的なセキュリティを提供できる製品やコンポーネントはありません。

実際のコストと結果は異なる場合があります。

インテルのテクノロジーを使用するには、対応したハードウェア、ソフトウェア、またはサービスの有効化が必要となる場合があります。

本資料に記載されているインテル製品に関する侵害行為または法的調査に関連して、本資料を使用または使用を促すことはできません。本資料を使用することにより、お客様は、インテルに対し、本資料で開示された内容を含む特許クレームで、その後作成したものについて、非独占的かつロイヤルティ無料の実施権を許諾することに同意することになります。

本資料は、(明示されているか否かにかかわらず、また禁反言によるものにかかわらず) いかなる知的財産権のライセンスも許諾するものではありません。

説明されている製品には、エラッタと呼ばれる設計上の不具合が含まれている可能性があり、製品が公開されている仕様とは異なる場合があります。現在確認済みのエラッタについては、インテルまでお問い合わせください。

インテルは、明示されているか否かにかかわらず、いかなる保証もいたしません。ここにいう保証には、商品適格性、特定目的への適合性、および非侵害性の黙示の保証、ならびに履行の過程、取引の過程、または取引での使用から生じるあらゆる保証を含みますが、これらに限定されるわけではありません。

インテル® コンパイラーでは、インテル製マイクロプロセッサに限定されない最適化に関して、他社製マイクロプロセッサ用に同等の最適化を行えないことがあります。これには、インテル® ストリーミング SIMD 拡張命令 2、インテル® ストリーミング SIMD 拡張命令 3、インテル® ストリーミング SIMD 拡張命令 3 補足命令などの最適化が該当します。インテルは、他社製マイクロプロセッサに関して、いかなる最適化の利用、機能、または効果も保証いたしません。本製品のマイクロプロセッサ依存の最適化は、インテル® マイクロプロセッサでの使用を前提としています。インテル® マイクロアーキテクチャーに限定されない最適化のなかにも、インテル® マイクロプロセッサ用のものがあります。この注意事項で言及した命令セットの詳細については、該当する製品のユーザー・リファレンス・ガイドを参照してください。

インテルのソフトウェア製品のパフォーマンスと最適化に関する詳細については、<https://software.intel.com/en-us/articles/optimization-notice> (英語) を参照してください。

構成の詳細については、補足資料を参照してください。パフォーマンスやベンチマーク結果の詳細については、www.intel.com/benchmarks (英語) を参照してください。

インテルは、サードパーティーのデータについて管理や監査を行っていません。正確さを評価するには、ほかのソースを参照する必要があります。

© Intel Corporation. Intel, インテル, Intel ロゴ, その他のインテルの名称やロゴは、Intel Corporation またはその子会社の商標です。その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

インテル株式会社

〒100-0005 東京都千代田区丸の内 3-1-1
<http://www.intel.co.jp/>