

ワークステーションクラスタを用いた放射線治療計画の高速化 —システム概要と予備評価実験—

1M-7

佐藤裕幸^I, 中川隆文^{II}, 依田潔^{II}, 中島克人^I,
室井克信^I, 坂本豪信^{III}, 土谷昌晴^{III}, 遠藤真広^{IV}

I 三菱電機（株）情報技術総合研究所, II 三菱電機（株）先端技術総合研究所,
III 三菱電機（株）通信機製作所, IV 科学技術庁 放射線医学総合研究所

1 はじめに

遠隔地の複数の医療機関から重粒子線がん照射施設の計算サーバを利用して患者の治療計画の作成を可能にし、計算サーバの処理能力及び信頼性等を向上させるために、我々は、遠隔地重粒子線がん照射シミュレータの研究を行っている。重粒子線を用いたがん照射治療を普及させるためには、照射施設のノウハウを利用して患者毎に最適な照射方法を得る治療計画を立案する必要がある。そのためには、患者体内の線量分布を正確に計算する必要があるが、従来の高精度な三次元の線量分布計算は処理時間がかかるため、治療計画の効率が悪いという問題点があった。

そこで我々は、並列処理により、治療計画処理の高速化を検討している。本稿では、この並列処理システムの概要と本システムの検証を行うための予備実験結果について報告する。

2 線量分布計算の並列化

線量分布は、患部周辺の平行横断面である CT 画像を複数枚（～100 枚）取得することで得られる三次元情報を基に計算する。1 枚の CT 画像は 512×512 ピクセルであり（2byte/1 ピクセル）、その三次元データ量は 50MB と大量となる。線量分布計算では、この三次元化された CT 画像データや各種照射に関するデータを基にして、各点の吸収線量を計算するので、計算結果も 50MB のデータ量となる。このように、線量分布計算では、大量データを扱うので、並列化の際に、データの通信時間をいかにして隠蔽するかが課題となる。

線量分布の計算は、以下のように行う。

- ビームを複数の ray に分割する。
- 各 ray 毎に照射線源（仮想焦点）から最終計算点（粒子が停止する点）まで仮想的な直線を引き、照射線源からその直線に沿って一定間隔に計算点を定める。
- 各計算点毎に、前計算点の計算結果、計算間隔（距離）、計算点上の CT 値等を基に線量を算出す

Speedup of radiation treatment planning process using a workstation cluster- A system summary and preliminary experimentation -

Hiroyuki Sato, Takafumi Nakagawa, Kiyoshi Yoda, Katsuto Nakajima, Katsunobu Muroi, Hidenobu Sakamoto, Masaharu Tsuchiya, Masahiro Endo. Mitsubishi Electric Corp. 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501, Japan.

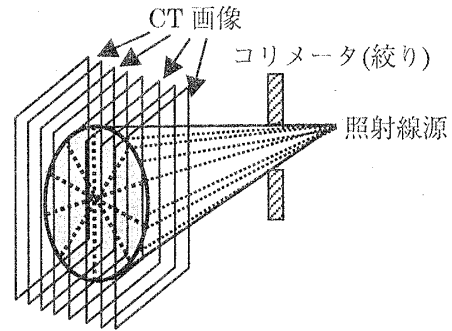


図 1 三次元線量分布計算の並列化

る。

なお放射線としては、陽子及び炭素を対象としている。この方式による線量分布計算は、通常のワークステーション (WS) を用いて数十秒程度かかり、更にペンシルビーム法[1]と呼ばれるより正確な結果が得られる方式では数百秒かかる。

計算点毎の処理は前計算点の結果を利用しているため並列化が困難であるが、ray 毎の計算は独立しているので ray 束の単位で並列に処理する (図 1 の点線)。

また、治療計画においては、CT 画像を基に照射線源から照射体を見て撮影したような画像を再構成する DRR (Digitally Reconstructed Radiograph: CT 再構成シミュレーション画像) の生成も処理時間がかかるので、線量分布計算と同様の方法で並列化する。

3 並列処理システム

治療計画の計算サーバは、10 台の WS をネットワークで接続した、いわゆる WS クラスタである。各 WS の仕様を表 1 に示す。このクラスタが、遠隔地の医療機関からギガビットレベルのネットワークを介して利用されることを想定している。

並列処理を支援するツール (ミドルウェア) として、分散型並列処理支援ツール ParaJET[2] を使用する。ParaJET は、あらかじめ指定したジョブ群を各プロセッサの負荷状況に応じて分配する負荷分散ツールである。特に並列動作するジョブ間で全く

表 1 各ワークステーションの仕様

CPU	DEC Alpha21164A 600MHz
メモリ	512MB(1 台は 1GB)
ネットワーク	100M イーサ(将来は 1G イーサ)
OS	Linux (Redhat 5.2 kernel 2.0.35)

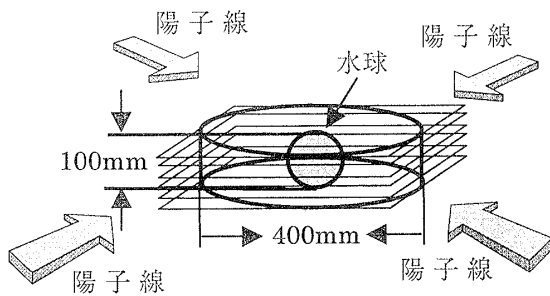


図2 計算モデル(4方向照射例)

通信がなく独立して実行できる場合は、従来の逐次プログラムを変更することなく並列処理できるという特長を持っている。

また、プロセッサ(WS)間の通信には、PVM(Parallel Virtual Machine)[3]及びMPI(Message Passing Interface)[4]を用いる。PVMはParaJET内部でも使用している。

4 予備評価実験

今回この並列処理システムの機能を検証するために、線量分布計算の計算モデル及び線量の算出方法を簡略化して評価実験を行った。

4.1 計算モデルと並列処理方式

400mm×400mm×100mmの水で満たされた円柱の中に腫瘍形状を模擬する直径100mmの球があり(球の媒質も水)、複数方向から等角度間隔に球ターゲットに陽子線を照射した際の線量分布を計算する(図2)。基となるCTデータは媒質が均質な円柱なので各マシン内で計算により生成し(データ転送はしない)、線量分布結果は400×400×25ピクセル(断面のピクセルサイズが1mmでスライス間隔が4mm)として計算する。従って、計算結果のデータ量は約8MBとなる。

今回の実験では実現容易性を考慮して、rayを分割するのではなく、以下のように照射方向毎に従来の逐次プログラムを用いて線量分布計算を行い、最後に計算結果をマージすることにした(図3)。

- 照射方向毎の線量分布計算プログラムをParaJETの下で起動し、同時にデータ収集プログラムも起動する。
- 線量分布計算プログラムは、ParaJETにより最適なWSで実行され、計算結果をPVMによりデータ収集プログラムへ送信する。
- データ収集プログラムは、データが送られる毎に各座標の総和を取り、全ての照射方向からのデータが揃ったらディスクに書き込んで終了する。

4.2 実験結果

10方向から照射した場合の線量分布計算の実行時間を図4に示す。各線量分布の計算過程では32bit floatingで行っているが、最終的な精度としては16bit程度でも十分なので、転送時にデータ

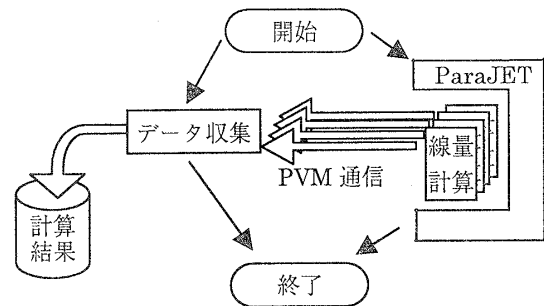


図3 並列処理方式

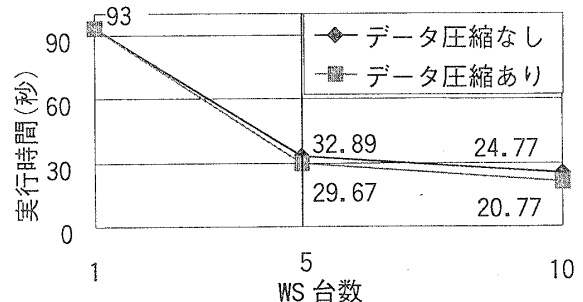


図4 並列実行時間(10方向照射)

圧縮する場合も計測した。計測の結果、10台で約4.5倍の高速化が確認でき、データ圧縮による通信の高速化の効果も若干ではあるが確認できた。これがWSの台数比例になっていないのは、逐次にしか実行できないデータ転送の時間が、並列処理できる計算時間に比べて大きいからである。別途計測した結果では、1台当たりの計算時間は9.3秒で、通信時間は約1秒(10台で約10秒)であった。

また、データ収集の際に、データを二分木状に収集する場合(10台の場合通信回数は約半分になる)も計測したが、データ圧縮なし:20.56秒、データ圧縮あり:18.27秒となり、予想したほどの効果は見られなかった。

実際の線量分布計算の並列化では、計算時間が数十秒、結果のデータ量が50MBのプロセッサ台数分の1となるので、今回の実験より並列化の効果が顕著になると予想される。

5 おわりに

以上、放射線治療計画の並列化について、システム概要と予備評価実験結果について報告した。

今後は、ここで述べた線量分布計算及びDRRの並列化を行うと共に、クラスタ内のギガビットイーサネットの評価や計算サーバとしての信頼性を確保するための故障対策等の機能を検討していく予定である。

参考文献

- [1] L.Hong et al.: "A Pencil beam algorithm for proton dose calculations", Phys. Med. Biol. 41, pp.1305-1330, 1996.
- [2] 白石将, 佐藤裕幸, 中島克人: "分散型並列処理支援ツール ParaJET", 信学技報 CPSY96-60, pp. 23-30, 1996.
- [3] http://www.epm.ornl.gov/pvm/pvm_home.html.
- [4] <http://www.mpi-forum.org/index.html>.