

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 - ビーム設計計算と通信評価実験 -

佐藤裕幸 , 中川隆文 , 東誠一 , 遠藤真広

三菱電機 (株) 情報技術総合研究所 , 三菱電機 (株) 先端技術総合研究所 ,
三菱電機 (株) 電力・産業システム事業所 , 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しなければならないが、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り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、並列処理により線量分布計算及び再構成CT画像生成を高速化した[1]。

今回、これまでの並列化プログラムを利用して、照射機器であるポーラス及びコリメータの設計計算を高速化した。また、約 30Km 離れた地点から 600Mbps の高速ネットワークを利用した遠隔操作実験を行ったので報告する。

2 並列処理システムと並列化方式

治療計画の計算処理システムは、10 台の Linux ワークステーション(WS)を 100Mbps イーサネット (現在は 1Gbps に拡張)で接続した、いわゆる WS クラスタである (図 1)。本クラスタ上では、我々自身で開発した分散型並列処理支援ツール ParaJET[2] を使用して負荷分散を行っている。ParaJET は、あらかじめ指定されたジョブ群を各

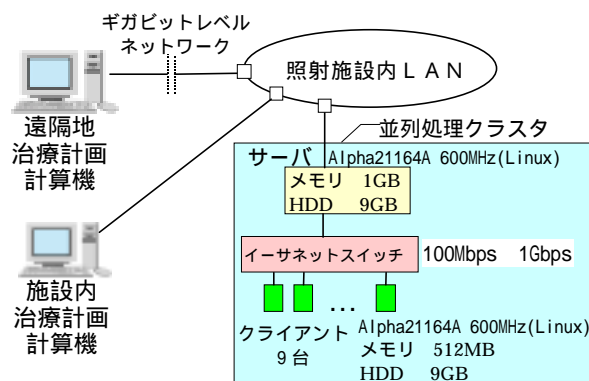


図 1 システム構成

Speedup of radiation treatment planning process using a workstation cluster- Beam Design and Remote Use Evaluation -

Hiroyuki Sato, Takafumi Nakagawa, Seiichi Higashi, Masahiro Endo.

Mitsubishi Electric Corp.

5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501, Japan.

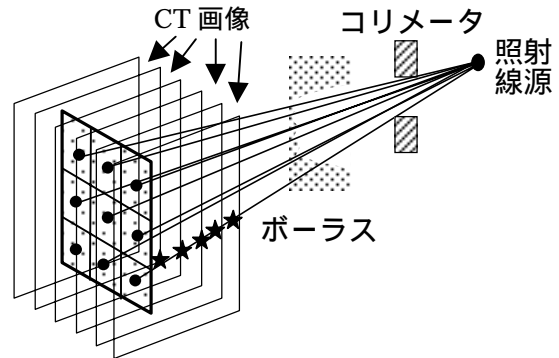


図 2 三次元線量分布計算の並列化

プロセッサの負荷状況に応じて動的に分配する負荷分散ツールである。

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 (4byte/1 ピクセル)、その三次元データ量は 100MB 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 100MB 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、以下のような手順で行う。

- 照射される面を格子状に分割し、ビームを各格子への線 (Ray) に分割する。図 2 では、3 × 3 の 9 つの Ray に分割している。
- 各 Ray 毎に Ray 上に沿って一定間隔に計算点を定める (図 2 の星印)
- 各計算点毎に、その点までの水等価厚を求め、それを元に線量を算出する。水等価厚とは、線源と計算点を結ぶ幾何学的距離を各組織の密度を考慮して水等価長さに変換したもので、 d_i で算出される、ただし i はピクセルの電子密度で d_i はピクセル間隔である。

この方式による線量分布計算は、通常の WS を用いて数十秒を要する。計算点毎の処理は水等価厚を求める際に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している。

3 ビーム設計計算

今回この並列プログラムを利用して、照射機器であるポーラスとコリメータの形状計算 (ビーム設計

表 1 実行時間とその内訳 (秒)

	ビーム設計計算			線量計算		
	逐次	10並列	並列効果	逐次	10並列	並列効果
(1) 入力	0.19	0.19		0.19	0.19	
(2) ROI詳細化	5.73	5.73				
(3) 初期化	1.28	1.28		1.58	1.58	
(4) 計算	27.11	3.01	9.01	36.84	4.57	8.06
(5) 通信	0.00	0.05		0.00	0.25	
(6) 出力	0.38	0.38		1.36	1.36	
(7) 合計	34.69	10.64	3.26	39.97	7.95	5.03
(8) (4)+(5)	27.11	3.06	8.86	36.84	4.82	7.64

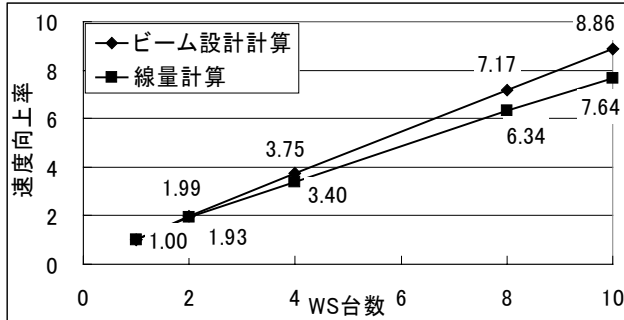


図 3 並列化効果 (速度向上率)

計算)を高速化した。これらの照射機器は、照射ターゲットに線量が集中して分布するように調整するためのものである。ボラス形状は、照射ターゲット形状を表す ROI(Region Of Interest)が与えられ、Ray 毎に線源から ROI の出口までの水等価厚を求めことで算出される。従って、線量分布計算における Ray 束単位の並列処理がそのまま利用できる。ただし、線量分布計算での計算結果は各計算点での線量値と大量であったが、本計算では Ray 毎の ROI の出口までの水等価厚と少量となる。またコリメータ形状は、ボラスの輪郭から算出される。

3.1 計測結果

ビーム設計計算及び線量分布計算について、逐次及び 10 台並列での実行時間とその内訳を表 1 に、並列化した部分が各プロセッサ台数でどの程度高速化されたか (速度向上率) を図 3 に示す。ROI 詳細化とは、各 CT 画像に対応して与えられた二次元の ROI 情報を線形補間により三次元方向に詳細化していることであり、初期化とは照射領域サイズの算出等である。また、通信とは計算結果の通信時間であり、並列制御のための通信時間は含まれない。

表 1 より、ビーム設計計算は、計算部分で 9 倍以上、通信を含めても 8 倍以上の高速化がなされている。また並列化した部分の速度向上率は直線となっており、更に台数を増やすことにより高速化されると予測できる。ただし、10 並列となると ROI 詳細化の部分がボトルネックとなっており、その部分の高速化が今後の課題と言える。

4 通信評価実験

遠隔からの本システムの使用操作性及び通信トラフィックを評価するために、遠隔操作実験を行っ

表 2 通信実験計測結果 (秒)

		高速 ソケット	低速 FTP	高速 FTP	
(a)	端末	CTデータ圧縮	-	47.29	-
	サーバ	CTデータ送信	2.79	134.87	5.42
		CTデータ伸張	-	5.00	-
		電子密度変換	2.80	5.00	6.04
(b)	端末	ROI情報送信	0.004	-	-
	サーバ	ビーム設計計算	17.04	-	-
		形状返信	0.09	-	-
	端末	計算条件送信	0.002	5.25	1.24
(c)	サーバ	線量計算	9.68	23.31	22.07
		線量分布圧縮	-	3.00	-
	サーバ	線量分布返信	0.81	11.07	0.81
		線量分布伸張	-	0.84	-
端末	通信総時間	3.61	207.32	7.47	

た。実験は、操作端末と計算サーバ(並列クラスタ)を約 30Km 離して 600Mbps の専用線で接続して、ソケット通信で行った。以下に実験の手順を示す。

- CT 画像を端末から送信する。
- ROI 情報を端末から送信し、計算サーバでコリメータとボラスの形状を計算し、その結果を端末に返信する。
- 照射方向等の条件を端末から送信し、計算サーバで線量分布を計算し、その結果を端末に返信する。

表 2 に計測結果(使用データは 3.1 章とは異なる)を示す。また異なる計測条件であるが、2 年前に 1.5Mbps の低速ネットワークを使用して実験を行った際の結果(その際は FTP しか利用できなかった)と高速ネットワークで FTP を使用した場合の結果を示す。CT データのサイズは 33MB で、圧縮後が 15MB である。2 年前の低速ネットワークでは通信がボトルネックとなっていたが、今回の高速ネットワークでは計算時間に比べて通信時間はほとんど無視できる程度の時間しかかかっていないことが分かった。また FTP ではネットワークの性能を十分引き出せなかったが、ソケットを使用することによりかなり引き出せることが分かった。

5 おわりに

以上、放射線治療計画の並列化について、ビーム設計計算の高速化と通信評価実験結果を報告した。現在、グリッドコンピューティングが話題となっているが、その技術を取り入れ、本システムも世界中の病院施設から遠隔で高性能サーバが利用可能になれば良いと考えている。

参考文献

- 佐藤裕幸他: "Linux Alpha クラスタを用いた放射線治療計画の高速化", 情処研究報告 2000-ARC-137, pp.143-148, 2000.
- 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.