室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

分散画像処理システムの検討

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2007-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): heterogeneous network computing, ethernet, collision, NFS server, MIP 作成者: 畑中, 雅彦, 寺崎, 仁司, 大沢, 幸 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/187

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

分散画像処理システムの検討

その他（別言語等）のタイトル	Distributed Image Processing System
著者	畑中　雅彦，寺崎　仁司，大沢　幸
雑誌名	室蘭工業大学紀要
巻	47
ページ	57-64
発行年	1997-11-28
URL	http://hdl.handle.net/10258/187

室工大紀要第47号(1997)57～64

分散画像処理システムの検討

畑中　雅彦*1，寺崎　仁司*1*2，大沢　　幸*1

Distributed Image Processing System

Masahiko HATANAKA, Hitoshi TERASAKI and Miyuki OHSAWA

（原稿受付日　平成９年５月９日　　論文受理日　平成９年８月20日）

Abstract

We have been studying to construct some heterogeneous distributed computing systems, particularly for computer graphics and image processing. Heterogeneous distributed computing is a process whereby a set of various computers connected by a network are used collectively to solve a single large problem. In this kind of system, its system performance strongly depends on not only the performance of each computer but the data transfer speed on the network and the ability of the network file system. In this paper, we report the actual data transfer limitation on Ethernet and the characteristics of the network file system (NFS) measured by experimentally constructed 3D image processing systems, and proposed a practical network configuration at reasonable cost.

Key words : Heterogeneous Network Computing, Ethernet, Collision, NFS server, MIP

１．はじめに

近年，マイクロエレクトロニクス分野の急激な進歩によって出現した高性能で安価なワークステーション（以下 WS と略記する）やパーソナル・コンピュータ（以下 PC と略記する）とディジタル通信技術の発展がもたらしたコンピュータ・ネットワーク技術により，分散配置された多数の計算機を複合的に利用する分散処理が注目されてきている[1, 2, 3]．

筆者らも研究室内ネットワーク[4]の高度利用研究の一環として，コンピュータ・グラフィックスの基本的な処理であるレイ・トレーシング処理を対象にコンピュータ性能の動的な評価法やタスク分配法を中心課題として，ネットワーク分散処理システムの研究を行ってきている[5, 6, 7]．さらに，多数の２次元画像および３次元画像を対象とした画像処理システムのための分散処理システム構築の研究にも着手した．これらの画像処理システムでは大量のデータをハンドリングする必要があり，コンピュータの処理能力に応じたタスクの最適分配等の問題の他に，ネットワークのデータ転送能力やデータベースのアクセス能力が分散処理システムの性能を決定する[8]．これらの研究の特徴は，フリーの PC-UNIX を導入した PC[9] をはじめとしてハードウェア・アーキテクチュアも性能も大きく異なる複数のコンピュータを有効に利用して，安定で効率の良い不均質な分散処理 (Heterogeneous Network Computing) システ

*1　情報工学科
*2　現在，日本電信電話株式会社

ムの構築を対象としていることである．

今回，分散画像処理システムを構築する上で重要となるネットワークのデータ転送能力および画像データベースのアクセス能力について，実験により定量的に評価するとともに追加投資効果の良い性能改善策について検討したので報告する．評価のために構築した実験システムは，医用画像診断の現場で用いられている単純な3次元画像処理を対象としたシステムである．

2．分散画像処理用実験システムの概要について

本研究で対象としている分散処理システムは，高速並列処理装置 (Massively Parallel Processors, MPPs) のように分散処理のみに専念する専用コンピュータや特殊な高速ネットワークを必要としない，汎用のローカル・エリア・ネットワーク (LAN) の上に構築されるシステムである．この LAN の構成要素としては，現在最も普及しているUNIX WS や IBM-PC 互換の PC 等からなるコンピュータ群を 10 [Mbps] の Ethernet で相互接続したものを基本とした[4]．オペレーティング・システム (OS) は，マルチタスク・マルチユーザ環境を提供する，商用 UNIX (DG/UX, Solaris, SunOS, BSD/OS, 4.4BSD+) およびフリーの PC-UNIX (FreeBSD, Linux)[9] である．分散処理システムの実装に関しては，Open Network Computing (ONC) の Remote Procedure Call (RPC) ライブラリとツール[2] を利用したシステムと Parallel Virtual Machine (PVM) ソフトウェア[10] を用いたシステムを構築した．

本実験システム構築の主目的は分散画像処理システムの基本性能を左右するネットワークのデータ転送能力やネットワーク・ファイル・システム (NFS) 上に構築された画像データベースのアクセス性能に関する評価なので，磁気共鳴血管映像法 (Magnetic Resonance Angiography, MRA)[11, 12] で得られたマトリクス・サイズ 512*512*64 の人体頭部3次元画像データに対する最大値投影 (Maximum Intensity Projection, MIP) 処理を対象として選択した．MIP 処理は，図1に示すように投影線上の最大値を得て2次元面上に投影する単純な線形探索であり，各コンピュータの処理能力よりも，3次元画像データベースのアクセス速度およびネットワーク経由のデータ転送能力が分散 MIP 処理速度を決める主要な要因となるからである．MRA では，血管の画素値が他の軟部組織より有意に高くなるように撮影されるので，投影線上の最大値を投影することにより血管像を得ることができる．本処理で得られる血管像 (MIP 像) を図2に示す．

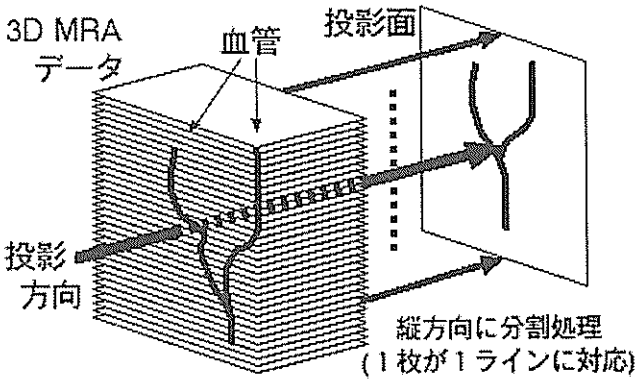

図1　分散 MIP 処理の原理図

図2　MRA 血管像（頭頂方向からの MIP 像）

3．ネットワークのデータ転送能力に関する実験

本章では，ネットワークのデータ転送能力を調べた実験について，実験条件およびその結果をまとめて記述する．

3.1　実験システム（1）と実験方法

データ転送能力の計測実験に使用した LAN の構成を図3に示す．ネットワークは一般的な Ethernet で構成され，ケーブルは細い同軸ケーブル 10BASE-2 を主幹として実験室間を接続するとともに，リピータ・ハブ (図中 Hub と表記) によりツイスト・ケーブルを使う 10BASE-T とも接続されている．プロトコルは通常の TCP/IP である．図中 A で示した計算機はネットワーク・ジェネラル社製のネットワーク・アナライザー Sniffer で，LAN 上を流れるパケットのモニタリングに利用した．図中 1～10 で示した計算機は分散 MIP 処理システムを構成する計算サーバであり，その主な諸元を表1にまとめて示す．ただし，計算機4は3次元 MRA 画像データに対する NFS サーバ でもあり，計算機8は計算サーバを制御するクライアントでもある．

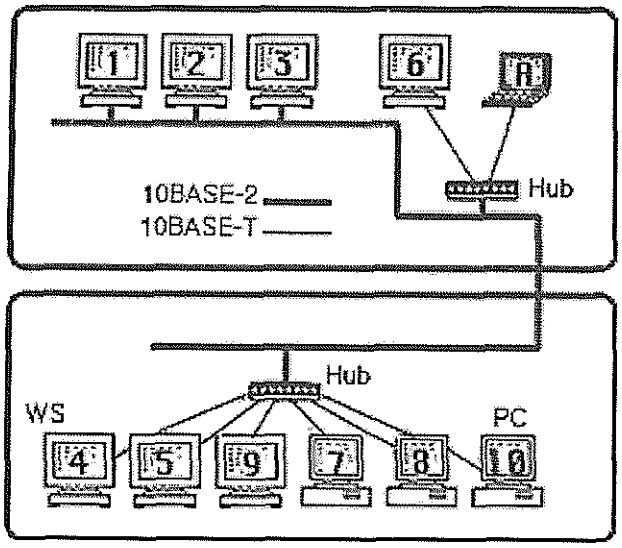

図3　ネットワーク構成（1）

表1　使用した計算機の主な諸元（1）

No.	CPU / Clock [MHz]	RAM [MB]	O S
1	SPARC / 40	48	SunOS 4.1.3
2	SPARC / 33	12	SunOS 4.1.3
3	MC88100 / 17	16	DG/UX 5.4
4	microSPARC / 50	24	SunOS 4.1.3C
5	microSPARC / 50	24	Solaris 2.3
6	microSPARC II / 70	32	Solaris 2.3
7	i486DX2 / 66	16	FreeBSD 2.1.0
8	i486DX2 / 66	16	Linux 1.2.13
9	PowerPC 604 / 100	32	4.4 BSD+
10	Pentium / 133	16	Linux 1.3.48

分散システムの実装方法に関する差異を調べるために，各 UNIX に標準実装されている RPC を用いたシステム (RPC 版) とフリーソフトウェア PVM version 3[1]を利用したシステム (PVM 版) を構築した．

各計算サーバへのタスクの分配は，動的負荷分散法[6]を用いた．これは，分配するタスクのサイズを 32 枚 (投影面上で 32 ライン，図 1 参照) とし，全ての計算サーバに一律に 1 タスク分を分配する．次に，処理を終えた高速な計算サーバに対して，未処理のタスクから 1 タスク分を順次追加配付する方法である．

[1] 電子メール・アドレス netlib@ornl.gov も参照．

分散処理システムの性能評価は，以下の手順で行った．1). ネットワークの諸性能を含めた各計算サーバ j の単体性能を評価するために，1 クライアント／1 サーバの下で分散 MIP 処理を行い，処理時間 t_j を測定する．計算機 8 については，クライアントであり計算サーバでもあるという条件の下で測定する．2). 理想的な分散処理システムの処理速度は全計算サーバの処理速度の和となるので，各サーバの処理時間の逆数の総和から，分散処理システムの理想処理時間 T_0 を次式にて求める．

$$T_0 = 1 / [\Sigma_j (1 / t_j)] \quad \text{-----} \ (1)$$

3). この T_0 と分散処理システムの実測 MIP 処理時間 T との比較から，構築したシステムの性能を評価する．

ネットワークのデータ転送能力は，ネットワーク・アナライザー (図 1 中の A) で実測したネットワーク使用率と理論的最大使用可能率の比較およびパケットの衝突 (Collision) 発生数から評価した．ただし，データのフレーム長を P [Byte] としフレーム間隔を ΔT [μsec] とすると，10 [Mbps] の Ethernet の理論的最大使用可能率 E [%] は次式で与えられる[13]．

$$E = 80 * P / (0.8 * P + \Delta T) \quad \text{-----} \ (2)$$

3.2　結果と検討（1）

1 クライアント／1 サーバの条件下で測定した，各計算サーバ単体の MIP 処理時間の計測結果を表 2 に示す．各サーバの処理時間の単純平均をとると約 88 [sec] であり，最速の計算機 9 (約 51 [sec]) と最も遅い計算機 3 (約 205 [sec]) との間の処理時間の差異は 4 倍程度となった．

表 2 の測定結果を (1) 式に代入して得られる分散処理システムの理想処理時間 T_0 は 7.61 [sec] であった．この結果から，理想的な分散処理システムの処理スピードは，最速の計算機 9 単体の処理スピードの約 6.7 倍となる．

10 台の計算サーバを利用して構築した分散処理実験システム上での測定結果例を，表 3 にまとめる．ネットワーク上に他のユーザがいない状態で実験を行ったが，処理時間の測定値には大きなバラツキが生じた．これは，OS がバックグラウンドで行う各種の管理プロセスの影響や本ネットワーク上の各種サーバへの外部からのアクセスの影響，NFS におけるディスク・キャシュの効果等によって生じたものと思われる[6]．表 3 の処理時間は，最速の結果である．

表2　計算サーバ単体の MIP 処理時間

No.	処理時間 [sec]	No.	処理時間 [sec]
1	59.31	6	65.49
2	91.52	7	89.81
3	205.15	8	105.05
4	73.76	9	51.15
5	70.76	10	64.88

表3　分散 MIP システムの測定結果

	RPC 版	PVM 版
(理想分散 MIP 処理時間)	(7.61 [sec])	(7.61 [sec])
分散 MIP 処理時間	14.69 [sec]	14.20 [sec]
計算サーバ終了時間差	5.83 [sec]	5.64 [sec]
ネットワーク平均使用率	49.78 [%]	57.03 [%]
ネットワーク最大使用率	85.97 [%]	88.62 [%]
平均フレーム長	1013 [Byte]	1056 [Byte]
パケット衝突数	2877 [回]	3110 [回]
衝突発生率	28.34 [%]	31.39 [%]

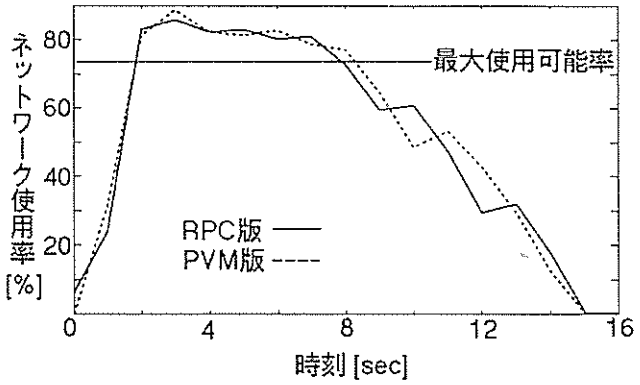

図4　単位時間当りのネットワーク使用率の変動

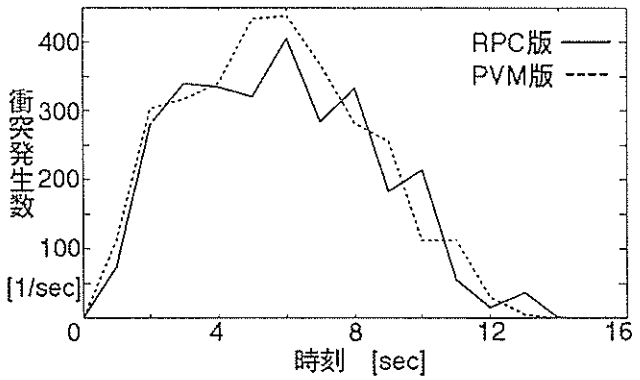

図5　単位時間当りの衝突発生数の変動

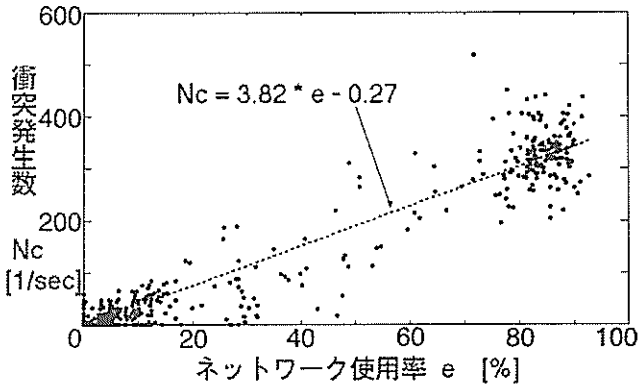

図6　ネットワーク使用率と衝突発生率の関係

構築した分散処理実験システムの処理時間は，RPC 版でも PVM 版でも 14 [sec] 程度であり，理想分散処理システムの 50 [%] 強の性能となった．最速計算機 9 単体との比較では約 3.5 倍，使用した計算機の平均性能との比較では 6 倍強の性能が得られた．

表3の計算サーバ終了時間差とは，処理が進んで分配すべき未処理のタスクがクライアント側に存在しなくなった後で，最初に処理を終えた計算サーバと最後に処理を終えた計算サーバとの間の処理終了時間の差である．理想的なタスク分配の下では，全計算サーバが最後に分配されたタスクを同時に処理してシステム全体の処理が終了するので，この時間差は 0 [sec] となる．本実験では 5 [sec] 以上の差となった．この結果から，タスク分配の最適化をより厳密に行えば，さらに計算サーバ終了時間差の半分程度 (～ 2 [sec]) の処理時間の短縮が図れると期待できる（付録参照）．

ネットワーク使用率は平均値で 50 [%] 以上であり，実測された最大使用率は約 86 [%] となった．衝突発生の総数は 3000 回以上であった．分散処理中のネットワーク使用率の変化および単位時間当りの衝突発生数の変化を図4と図5に示す．表3から平均フレーム数 P を 1030 [Byte] とし，フレーム間隔 ΔT を 300 [μsec] と仮定して，(2) 式から理論的最大使用可能率 E を算出すると 73 [%] となる．図4から，処理時間の半分程度の期間はネットワーク使用率 e が理論的最大使用可能率 E を越えており，衝突数が雪ダルマ式に増えるネットワークの輻奏 (congestion) が大半を占めていたと判断した．

RPC 版のシステムと PVM 版のシステムの比較では，ネットワーク使用に関する諸特性について，大差のない結果であった．

図4のネットワーク使用率と図5の衝突発生数のグラフの形に相似性を認めたので，両者の相関関係を調べた．結果を図6に示す．両者の相関係数は 0.975 であったが，測定値はネットワーク使用率 e が 20 [%] 以

下（単位時間の衝突発生数 Nc で 100 [1/sec] 以下）の状態と 80 [%] 以上（衝突発生数で 250 [1/sec] 以上）の状態に集中しており，残りのデータはこの２つの状態間の遷移域と考えることは可能であろう．この観点から見ると，ネットワークの輻奏現象はネットワーク使用率 e が 20 [%] を越えた時点から生じ，80 [%] 付近で飽和状態に達しているとも考えられる．図６から簡単な線形関係は見いだせないが，本分散処理中のネットワーク使用率 e と単位時間当りの衝突発生数 Nc の関係を概観するために，回帰直線を求めてみた．回帰直線の傾きから，ネットワーク使用率が 10 [%] 増えると１秒間当りの衝突数が 38 回増加するという，本システムに関する一応の目安が得られた．

以上の結果と検討から，本システムではネットワークのデータ転送能力をフルに使い切っており，これ以上の劇的な性能向上は望めないことが判明した．

ネットワークのデータ転送能力を向上させる手段として 100 [Mbps] の帯域を有する高速ネットワーク (Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN 等)[14] の採用が考えられるが，ネットワーク・インターフェイスの全数交換などコスト面での問題が大きい．既存ネットワーク設備の利用を考えてデータ転送能力を向上させるためには，図３中のリピータ・ハブ (Hub) をスイッチング・ハブ (SW-Hub) に置き換える対策が有効であると思われた．スイッチング・ハブはパケットのアドレスを調べて必要なケーブルのみにパケットを流すので，スイッチング・ハブと各計算機との間が Point-to-Point で接続されることになり，ケーブルの帯域 10 [Mbps] を占有して利用できることになる．

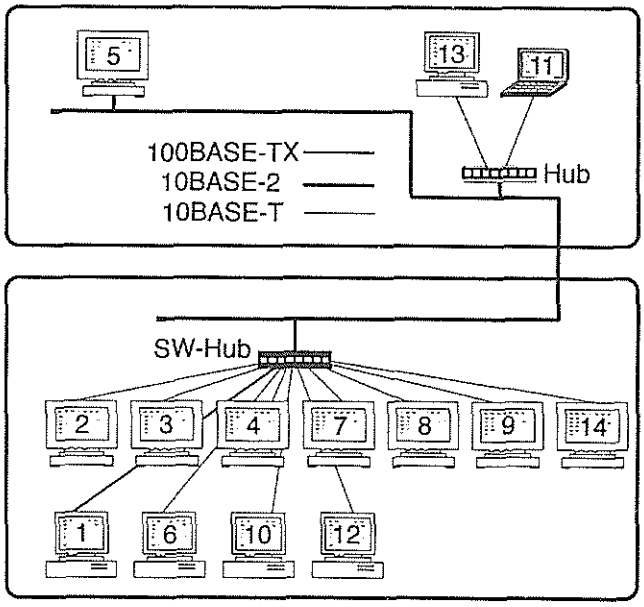

図７　ネットワーク構成（２）

変更後のネットワークの構成を図７に示す．使用したスイッチング・ハブは 3Com 社製の LinkSwitch 1000 で，10BASE-T ポートを 24 個，100BASE-TX ポートを一つ搭載している．図７に示した 14 台の計算サーバを利用して上記と同じ分散 MIP 処理を行ったが，衝突発生数は常にほぼゼロに抑えられており，輻奏現象の発生を回避できた．

４．ファイル・アクセス能力に関する実験

4.1　実験システム（2）と実験方法

ネットワーク・ファイル・システム (NFS) を利用した３次元 MRA 画像データベースへのアクセス能力評価を，図７に示すネットワーク構成で行った．スイッチング・ハブ (SW-Hub) と計算機 1 の間のみが 100 [Mbps] の Fast Ethernet (100BASE-TX) であるが，他は全て 10 [Mbps] の Ethernet である．使用した 14 台の計算サーバの主要な諸元を表４に示す．計算機 1 はクライアント・プロセスも稼働させた．NFS サーバ・プロセスは，１台目として計算機 1 上で，２台目・３台目として計算機４と７の上で稼働させた．各 NFS サーバには，あらかじめ同じ画像データを用意しておいた．

表４　使用した計算機の主な諸元（２）

No.	CPU / Clock [MHz]	RAM [MB]	O S
1	Pentium / 133	48	FreeBSD 2.2
2	microSPARC II / 70	32	Solaris 2.3
3	microSPARC / 50	24	Solaris 2.3
4	SPARC / 40	48	SunOS 4.1.3
5	SPARC / 33	12	SunOS 4.1.3
6	PentiumODP / 83	32	Linux 1.2.13
7	microSPARC / 50	24	SunOS 4.1.3C
8	PowerPC 604 /100	48	4.4 BSD+
9	PowerPC 604 /133	64	4.4 BSD+
10	Pentium / 100	24	BSD/OS 2.1
11	i486DX4 / 75	32	FreeBSD 2.1
12	Pentium / 120	16	BSD/OS 2.1
13	i486DX4ODP / 75	10	FreeBSD 2.2
14	HyperSPARC / 125	64	Solaris 2.5

PVM 版のシステムのみを対象とした．タスク分配は同じ動的負荷分散法を用いたが，計算サーバ数が増えたのでタスクの分配単位を 32 枚から 16 枚に変更した．分散システムの性能評価法は，前章と同様の手法を用い，各計算サーバ単体の処理時間から理想的処理速度(理想処理時間の逆数) を求め，これを実測の処理速度と比較することを基本とした．

本実験では，表 4 に示した計算サーバの台数と組み合わせを変えて種々の理想的処理速度を有する複数の分散 MIP 処理システムを構成し，各システムの性能を測定した．

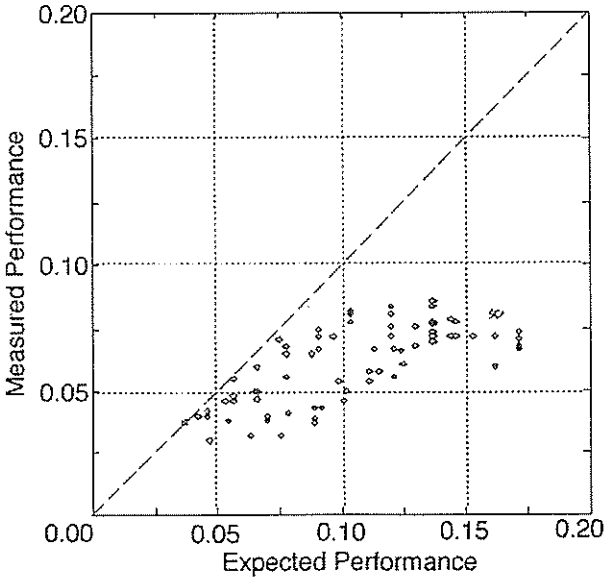

図 8　NFS サーバが 1 台の時の
分散 MIP 処理システムの性能特性

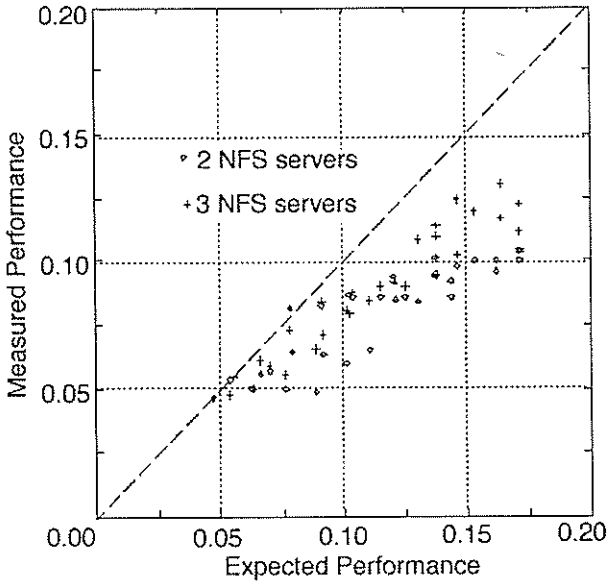

図 9　NFS サーバが 2 台と 3 台の時の
分散 MIP 処理システムの性能特性

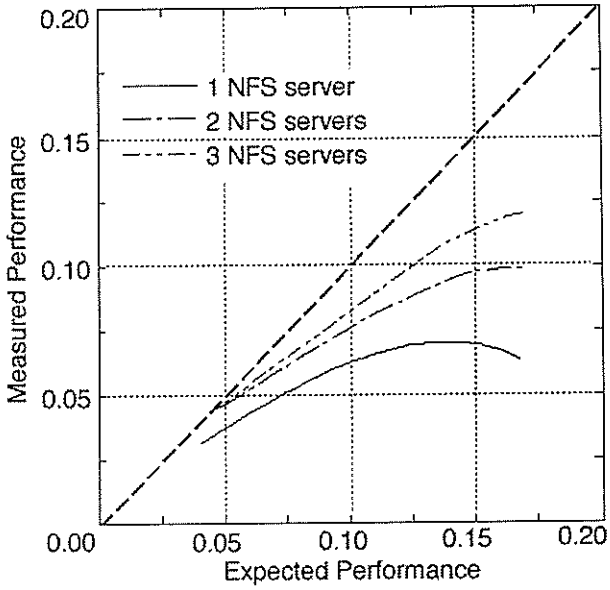

図 1 0　分散 MIP 処理システムの性能特性と
NFS サーバの台数との関係（まとめ）

また，NFS 画像データベースの能力の変更は，分散システムがアクセスする NFS サーバの台数を 1 台から 3 台まで変化させることにより実現した．ただし，複数台の NFS サーバを利用する場合，1 台当りの NFS サーバがサポートする計算サーバの台数がなるべく均等になるように配慮して分散システムを構成した．このようにして NFS サーバの台数を増やすことにより，各 NFS サーバは担当する計算サーバからのファイル・アクセス要求に十分に応答できるようになると考えた．

4.2　結果と検討 (2)

3 次元 MRA 画像データベース用 NFS サーバを計算機 1 でのみ稼働させたときの，分散 MIP 処理システムの性能特性を図 8 に示す．横軸は分散 MIP 処理システムの理想処理速度 (Expected Performance) で，縦軸は実測処理速度 (Measured Performance) を表す．実測結果にかなりのバラツキがみられたが，1). 理想処理速度を上げると実測処理速度がすぐに飽和傾向を示すこと，2). さらに理想処理速度を上げると実測処理速度が逆に下がる傾向を有することがわかる．これら分散 MIP 処理システムで得られた最短の処理時間は約 11.6 [sec] であり，その構成における理想分散処理システムの 65 [%] 程度の性能であった．前章における実験システムと比べて，本システムではネットワーク・データ転送能力の改善および計算サーバ群の大幅な増強を行っているが，その効果は十分には現れなかった．

次に NFS サーバを 2 台および 3 台にして，同様の実験を行った結果を図 9 に示す．図 8 の場合と同様に結

果にバラツキはあるが，NFS サーバ数を増やしてデータベースのアクセス能力を向上させることにより，飽和傾向が現れる理想処理速度の値が大きくなってきた．以上の結果から，理想処理速度を上げることで実測処理速度が下がる現象は，データベースのアクセス能力の限界に起因していたと結論できた．また，NFS サーバが２台のときの最短処理時間は約 9.7 [sec]（その構成における理想分散処理システムの 60 [%] 程度の性能），３台のときの最短処理時間は約 7.7 [sec]（その構成における理想分散処理システムの 79 [%] 程度の性能）であり，前章の分散 MIP 処理システムの最大性能の 1.8 倍以上の性能が得られた．

図８と図９の結果をまとめた，分散 MIP 処理システムの平均的な性能特性を図１０に示す．NFS サーバを複数化することの効果は，a). 処理速度向上が頭打ちとなる理想処理速度上限を引き上げるだけではなく，b). 理想処理速度に対する実測処理速度の比も改善されることである．

しかし，データベースを提供する NFS サーバの複数化は，分散処理システム内に大容量のデータを冗長に保持するだけでなく，（今回の性能評価では考慮しなかったが）データベース内容のコピー配付作業のために生ずるオーバー・ヘッドも重要な問題となる．これらの問題をも解決するためには，NFS サーバの複数化の２つの効果 — i). ファイル・システムの並列動作によるファイル・アクセスの高速化と ii). NFS サーバとスイッチング・ハブ間の Point-to-Point ネットワークの並列動作によるデータ転送能力の確保 —を考慮して，Ultra Wide SCSI 対応のハードディスクやディスク・アレイなどの高速ディスク・システムを有する専用の NFS サーバを確保してスイッチング・ハブとの間を Fast Ethernet 等の高速ネットワークで結ぶサブ・システムの導入が，現実的で有効な対策であると考えている．

５．まとめ

最近の標準的なコンピュータ・ネットワーク環境である，Ethernet と ワークステーションや PC を利用して分散画像処理システムを構築するための実験的な検討を行った．大量のデータのハンドリングが必要な画像処理システムでは，1). 計算サーバの処理能力や 2). タスクの最適分散法などの一般的な分散処理システムで問題となる事項のほかに，3). ネットワークのデータ転送能力や 4). データベースのアクセス性能も重要な要素になる．

本報告では，上記の 3). 項および 4). 項について以下に示す結果を得た．

3)-1. Ethernet による一般的な LAN 上で分散画像処理システム構築した時，ネットワークの低いデータ転送能力のために容易に輻奏現象が生ずることを，実験的に明かにした．

3)-2. 輻奏現象を回避するための低コストの方策として，Ethernet 用スイッチング・ハブが有効であることを検証した．

4)-1. NFS を利用したデータベースを考えたとき，そのアクセス性能が分散画像処理システムの性能に重要な影響を与えることを，実験的に明かにした．

4)-2. 上記 3)-2. 項の対策を行った LAN において，データベースのアクセス能力維持に留意すれば，最低 15 台程度までは計算サーバを増やして分散画像処理システムの性能を向上させ続けることができることを明らかにした．

今回構築した分散画像処理システムの処理内容は非常に単純であり，その分上記の 3). 項と 4). 項の影響が直接的にシステムの性能を左右した．現実の画像処理システムでは，より高度な計算能力を必要とする画像処理が多いと思われる．このような状況では，画像データの入出力に係わる 3). と 4). 項の性能限界がシステム性能に及ぼす影響は相対的に低くなるので，さらに多数の計算サーバを用いたより高性能な分散画像処理システムの実現が可能となると思われる．

今後は，高速ディスク・システムを持つ専用の NFS サーバの導入によるシステム性能特性の変化の検証や負荷分散最適化手法の適用，より現実的な画像処理を対象とした分散画像処理システムの構築等の研究を進めていきたい．

本研究で使用した３次元 MRA 画像データを提供してくださった (株) 東芝那須工場医用機器第四技術部の町田好男氏ならびに児島富美敏氏に感謝します．また本研究の一部は，本学教育研究学内特別経費「生命情報の知的分散処理認識に関する研究」（平成６年度～平成８年度）からの補助を受けてなされたことを，感謝をもってここに付記します．

なお本研究の要旨の一部は，日本医用画像工学会第15回大会 [15] および平成８年度電気関係学会北海道支部連合大会 [16] にて発表した．

付　録

負荷分散法は，計算サーバの処理能力に応じたタスク・サイズを決めて（一度に）静的に分配する静的負荷分散法と本実験で利用した動的負荷分散法に大別される[6, 10]．各計算サーバの処理能力が異なるのみならず計算サーバおよびネットワーク等の資源を完全に占有できない環境下での構築を前提とした，性能が動的に変化する不均質な分散システムでは，各計算サーバの処理能力をすばやく正確に評価することは容易ではないので，動的負荷分散法が有利である．

動的負荷分散法では，タスク・サイズをより小さくすることにより，計算サーバの終了時間の差を短縮することが可能となる．しかし，本実験の前に行った予備実験の結果では，タスク・サイズを下げることにより終了時間差の短縮はできたが，処理時間は逆に延長した[17]．本分散 MIP 処理では，各計算サーバの処理能力の差異が直接影響する MIP 処理そのものほかに，ネットワークを経由した画像データの入出力処理があり，そのウェイトが大きい．後者は，全計算サーバが同等のアクセス権を有するネットワークと NFS を利用するので，計算サーバの処理能力にあまり依存しない一律の負荷（オーバー・ヘッド）になると考えられる．このオーバー・ヘッドの影響が大きすぎて，上記のような単純なタスク分配の最適化では効果が現れなかったものと推定している．よって，本システムに対するタスク分配最適化の問題は，ネットワークおよび NFS 等のオーバー・ヘッドに関する基礎的な検討の後で研究すべき課題と考えている．

参考文献

(1). 山本強: ネットワーク分散処理による高速画像生成, 日本ソフトウェア科学会第 8 回大会, (1991) pp.1-4

(2). J.Bloomer: Power Programing with RPC, O'Reilly & Associates, Inc., (1992) pp.19-41

(3). A.Geist, A.Beguelin, J.Dongarra, et al.: PVM: Parallel Virtual Machine - A Users' Guide and Tutorial for Networked Parallel Computing, The MIT Press, (1994) pp.1-9

(4). 畑中雅彦, 寺崎仁司: 研究室内コンピュータネットワークの構築実験, 室工大研究報告(理工編), 45 (1995) pp.101-116

(5). 寺崎仁司, 畑中雅彦: PC-UNIX を利用した分散処理環境について, 平成 7 年度電気関係学会北海道支部連合大会, (1995) p.457

(6). K.Qureshi, H.Terasaki, M.Hatanaka: A Network Parallel Distributed Processing System using by PCs and WSs, 開発技報, 38 (1996) pp.1-8

(7). K.Qureshi, M.Hatanaka: An Investigation on Link Failures and Recovery in Parallel Distributed Processing System, The Second InterMedia Symposium, Sapporo '97, (1997) pp.64-69

(8). 亀田恒彦, 山下雅史: 分散アルゴリズム, 近代科学社, (1994) pp.16-19

(9). 近藤武郎, 畑中雅彦: Free PC-UNIX を利用したワークベンチの構築, 室工大研究報告(理工編), 45 (1995) pp.117-128

(10).A.Geist, A.Beguelin, J.Dongarra, et al.: PVM: Parallel Virtual Machine - A Users' Guide and Tutorial for Networked Parallel Computing, The MIT Press, (1994) pp.19-62

(11).D.D.Stark, W.G.Bradley: Magnetic Resonance Imaging (2nd ed.), 1, Mosby-Year Book, Inc., (1992) pp.299-334

(12).町田好男: 血管イメージング技術の進歩ーMRI, 日獨医報, 11, 4 (1997) pp.731-737

(13).林宏昭: 物理層とデータリンク層のトラブル・シューティング, OPEN DESIGN, 2, 1, CQ出版社, (1995) pp.32-38

(14).山口英: 高性能ネットワークへの挑戦（1）, UNIX MAGAZINE, 10, 8, (株) アスキー, (1995) pp.41-46

(15).畑中雅彦, 寺崎仁司: PC-Unix を利用したネットワーク並列分散医用画像処理システムの検討, Medical Imaging Technology, 14, 4 (1996) pp.487-488

(16).大沢幸, 寺崎仁司, 畑中雅彦: PC-UNIX を利用した分散処理環境について (2), 平成 8 年度電気関係学会北海道支部連合大会, (1996) p.31

(17).寺崎仁司: ネットワークによる並列分散画像処理システムに関する研究, 平成 7 年度室蘭工業大学大学院修士論文, (1996) pp.61-63, pp.69-70