

研究論文

分散計算機システムを用いた 高速ネットワーク読影支援システム

滝沢 穂高^{*1}, 山本 眞司^{*1}, 藤野 雄一^{*2}, 阿部 郁男^{*3},
松本 徹^{*4}, 館野 之男^{*4}, 飯沼 武^{*4}

要旨

本論文では、分散計算機システムとグローバルネットワークとを統合した高速ネットワーク診断支援システムについて述べる。本システムの有効性を評価するための指標として、ネットワークを用いた画像転送実験と、分散計算機システムを用いた読影実験の結果を示す。

Keywords : network computer-aided diagnosis system, distributed computer systems, recognition engine, reading browser

1 はじめに

死亡率が急増している肺がんの早期発見のために、従来の単純 X 線撮影による診断に代わって、胸部 X 線 CT 画像による診断が最近行われつつある [1, 2, 3]。この診断方法は、肺がん検出率が高い反面、一被検者あたり数十スライスの大量の画像が発生するために読影医の負担が増大し、疲労からくるミスが起こる可能性がある。そこであらかじめ計算機によって肺がん病巣を自動認識し、これをセカンド・オピニオンとして読影医の診断作業時に情報提供する診断支援システムの開発が急務となっている。

上記の必要性から我々の研究グループでは、胸部 X 線 CT 画像中の病巣候補点の位置を読影医に提示する肺がん診断支援システムを開発してきた。この支援システムは、

1. 肺がん陰影を自動認識する読影エンジンと
2. 得られた情報を読影医に提示する読影ブラウザの

2つのソフトウェアから構成され、それらが一つの計算機の中に搭載されている形態をとっている。現在、こ

の支援システムを検診施設に導入する実験をすすめている [4] が、その過程において以下に示す二つの問題が発生した。

1. 自動認識には大きな計算機パワーが必要であるが、個々の検診施設に大型で高価な計算機の導入を求めることは事実上できない。
2. 読影エンジンのアップグレードは複雑で、しかも頻繁に行う必要があるが、この作業を読影医に要求することは難しい。

そこで本論文では、読影エンジンと読影ブラウザとを切り離し、読影計算を読影センターに設置した分散計算機システムに、読影ブラウザを各検診施設に設置した (パーソナルコンピュータなどの比較的小型の) 計算機に任せ、それらをグローバルネットワーク [5, 6] で接続するネットワーク読影支援システムを提案する。このシステムでは、大型で高価な計算機を読影センターに集中させることができ、しかも読影エンジンの運用・管理はセンタにおいてエンジニアが行うため、読影医は容易かつ安価に読影エンジンの機能を利用することができる。

本論文では、分散計算機システムを用いたネットワーク読影支援システムの構想と、その性能を予測するための指標となる、グローバルネットワークにおける画像転送時間と、分散計算機システムにおける読影時間の測定結果について述べる。

*1 豊橋技術科学大学

*2 NTT

*3 日立東日本ソリューションズ

*4 放射線医学総合研究所

投稿受付: 2003 年 2 月 27 日

最終稿受付: 2003 年 4 月 14 日

採用決定日: 2003 年 5 月 1 日

以下2章でハードウェアとしてのネットワーク構成，3章でソフトウェア構成，4章でこれらのハードウェアとソフトウェアを使ってすすめられる読影支援のプロセス，5章で画像転送実験と分散読影実験の結果を述べ，6章でまとめる。

2 ネットワーク構成

Fig.1 に，我々が構築したネットワーク構成を示す。豊橋技術科学大学（以下，豊技大と呼ぶ）を読影センタ，NTT をデータベースセンタとし，放射線医学総合研究所及び CT 装置を搭載した検診車（放医研と呼ぶ），千葉大学医学部（千葉大と呼ぶ），大阪府立成人病センタ（大成セと呼ぶ）などの各検診施設とは，Japan Gigabit Network (JGN と呼ぶ) [7] の専用ギガビットネットワークおよび ATM メガリンク専用線で接続されている（平成 13 年度現在）。将来の運用段階では一般のインターネット網を使って構築することも可能である。

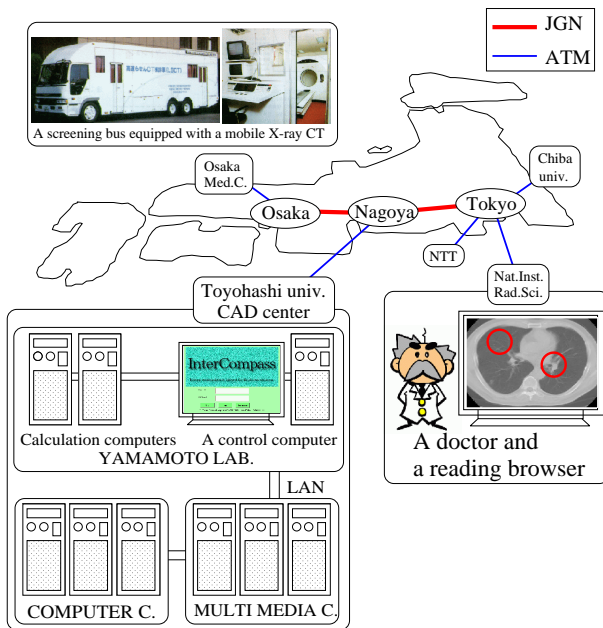


Fig. 1: Configuration of our network CAD system.

各検診施設に読影ブラウザ，読影センタに自動読影用の分散計算機とそれらの分散処理を管理する制御用の計算機を配置する。制御用計算機は我々の研究室に設置し，自動読影用の計算機には我々の研究室のパーソナルコンピュータ，豊技大情報処理センターのスーパーコンピュータ，同マルチメディアセンターのスー

パーコンピュータを用いる。豊技大内のこれらの計算機をギガビット LAN(Local Area Network) で接続する。

3 ソフトウェア構成

3.1 分散処理制御ソフトウェア

読影エンジンの処理には計算時間がかかりすぎるという問題点がある。例えば，手法 [8, 9, 10, 11] の各アルゴリズムを直列に実行する処理が，読影エンジンの一つの構成例として考えられるが，その一連の処理には，Intel Pentium 3 プロセッサ，メモリ 512MByte，パーソナルコンピュータで約 5[分/被検者] 必要となる。そこで，複数の計算機を統一的に制御するミドルウェアを用いて，計算負荷を分散し，スループットを高速化させた分散読影エンジンシステムを開発した。分散計算処理の制御を行うソフトウェアとして，InterCompass[12]を用いた。同ソフトウェアは複数のアーキテクチャ(PC, WorkStation 等)，複数の OS(Linux, Solaris, IRIX, MS-Windows 等) を統一的に制御できるミドルウェアで，以下に示す次の 3 つのソフトウェア群で構成されている。

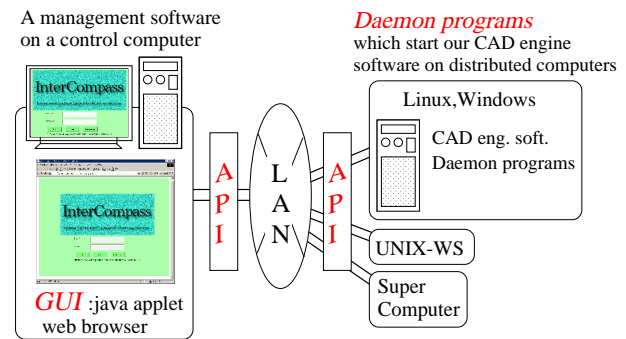


Fig. 2: Our CAD engine system.

1. ユーザが制御用計算機でシステム全体を対話的に操作するための GUI(Fig.2 参照)。GUI は Java アプレットで作成されていて，Netscape や Internet Explorer などの通常の Web ブラウザで起動することが可能である。この GUI を通して，LAN 内に接続されている分散計算機上の任意のプログラムを起動することができる。
2. 制御用計算機と分散計算機群との通信，ファイル操作，DB 操作等を支援する API プログラム。

- 分散計算機上で、読影エンジンを起動するデーモンプログラム。デーモンプログラムは読影エンジンを「exec()」関数を使って起動する。読影エンジン自体に特別なコーディングは必要ない。

制御用ソフトウェアを使うことで、LAN 上の複数の計算機を一括操作することができ、これらを仮想的な 1 台の計算機として取り扱うことができる。本研究では、この制御用ソフトウェアを使って、読影エンジンの起動、監視・管理、結果の統合処理などを行う。

3.2 読影ブラウザ

各検診施設において読影医は、Fig.3 に示すような読影ブラウザ [13] を用いて読影作業を行なうことができる。この読影ブラウザは、原画像を表示するメインウィンドウと、肺がん候補点やその他の付加情報を表示するサブウィンドウ群から構成される。メインウィンドウは、原画像のシネ表示、明度やコントラストの調整、関心領域の切り出し等の機能をもつ。サブウィンドウは、自動診断の結果得られた病巣候補点に印(がんマーク)を表示する機能、MIP 画像や 3 次元動的 MIP 画像 [14] を表示する機能、肺野領域の抽出結果をポリゴン表示する機能等をもつ。

読影ブラウザは SUN ワークステーション Ultra 60 Model 2360 (計算能力は製品カタログより SPECfp_95 = 29.5, SPECint_95 = 16.1) 上に実装されており、3 次元動的 MIP 画像の表示等もストレスなく動作していることを確認した。なお、現在読影ブラウザはパーソナルコンピュータに移植中である。

また、文献 [13] において、8 名の読影医に実際に読影ブラウザを操作して頂き、アンケートをとった結果、一部機能の見直しが必要であるが、全体的には読影医の要望を満足しているとの評価を受けている。

4 遠隔読影の支援プロセス

本節では、上記のネットワークとソフトウェアを用いて実行される読影支援のプロセスについて述べる。

- 各検診施設において、読影医が読影ブラウザで読影したい症例画像を指定し、「CAD 開始ボタン」を押下(クリック)する (Fig.4 における「#1」がその手順に相当する)。

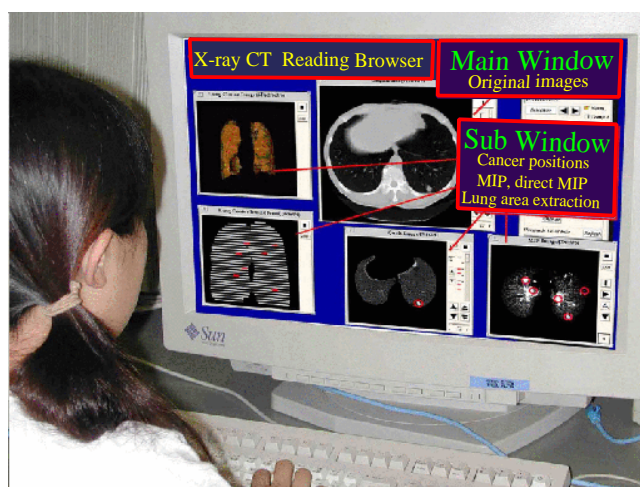


Fig. 3: Our reading browser.

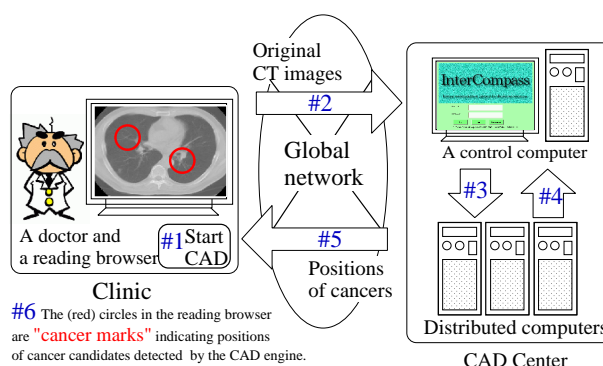


Fig. 4: Data flow in our network CAD system.

- 指定された症例画像が自動的に検診施設から読影センターの制御用計算機へ転送される(「#2」)。画像は DICOM 形式、転送プロトコルは FTP もしくは DICOM を使用する。症例画像及びその付加情報は全て暗号化されてネットワーク上を伝送される。
- 読影センターの制御用計算機は、制御ソフトウェアを用いて、読影用計算機に症例画像を転送(「#3」)し、インストールしてある読影エンジンプログラムを起動する。なお本システムでは、各読影用計算機に割当る症例の最大数を、計算能力などを参考に予め設定しておき、計算実行中の症例数がこれ以下になったら新しい症例を投入する。例えば、最大症例数が 1 と設定されている計算機では、実行中のプログラムが終了した時点で、次の症例の

認識計算を開始させる。

4. 制御ソフトウェアは、読影エンジンが終了するのを監視し、終了次第、計算結果が記述されたファイルを制御用計算機に転送する(「#4」)。
5. 以下全ての症例画像が処理し終るまで繰り返す。
6. 得られた結果ファイルが検診施設に転送され(「#5」)、読影ブラウザに自動読影の結果得られたがんマーク(「#6」)が表示される。また3次元動的 MIP などの付加情報も表示される。

5 実験結果と考察

本論文では、提案システムの性能を評価するための指標となる以下の2つの項目について実験を行った。

1. ネットワークにおける画像転送速度の測定。
2. 分散計算機システムによる読影時間の測定。

以下に詳細を述べる。

5.1 ネットワークにおける画像転送速度の測定

実験には一被検者あたり $512[\text{pixel}] \times 512[\text{pixel}] \times 30[\text{slice}] \times 16[\text{bit/pixel}]$ のテスト用画像を用いた。この画像を各検診施設から豊技大へ、豊技大から各検診施設へ、それぞれ5回転送し、その平均転送時間と標準偏差を計測した。Table1 に被検者あたりの平均転送時間とその標準偏差を示す。

画像の転送速度は施設によって様々であるが、これは中継地点の計算機の性能や、JGN と施設とを結ぶローカルネットワークの伝送性能によるものだと考えられる。全ての施設において、検診施設から豊技大への転送により多くの時間を必要としているが、一被検者あたり約2[分]で転送が完了できるので、実用上問題ないとする。なお、実際の運営段階において豊技大から各検診施設へ送り返す情報は、がん候補点の座標値など少量なので、その転送時間は数秒から数十秒で済むと考えられる。

Table 1: Translation times of sample images by global networks.

	平均時間 [s/被検者]	標準偏差 [s/被検者]
千葉大 豊技大	117	0.39
放医研 豊技大	140	2.26
大成セ 豊技大	191	0.38
NTT 豊技大	104	0.63
豊技大への平均	138	33.9
豊技大 千葉大	89	0.05
豊技大 放医研	92	1.86
豊技大 大成セ	124	0.38
豊技大 NTT	103	0.34
豊技大からの平均	102	14.1

5.2 分散計算機システムによる読影時間の測定

30症例を単一の計算機を使って読影実験した場合の計算時間と、2台、3台の計算機を備えた分散計算機システムを使って読影実験した場合の計算時間を Table2 に示す。なお読影実験には、Intel Pentium 3 プロセッサ、メモリ 512MByte、パーソナルコンピュータを用いた。

Table 2: Calculation times by distributed computers.

計算機数	平均時間 [s]	標準偏差 [s]
1	9150	4.1
2	4600	4.7
3	3090	10.7

複数の計算機を使った時の計算時間は、単一計算機の計算時間のほぼ台数倍になった。完全な台数倍にならないのは、画像を格納している計算機が一台であることが主な理由だと考えられる。すなわち、複数の読影用計算機が同じタイミングで制御(画像格納)用計算機に画像の転送を要求した場合に、幾つかの読影用計算機は待ち状態になるからである。

6 おわりに

本論文では、分散計算機システムとグローバルネットワークとを統合した高速ネットワーク診断支援システムの構想について述べた。また、その性能を予測するための指標となるネットワークにおける画像転送時間、分散計算機システムにおける読影時間の測定実験を行い、その結果を述べた。

参考文献

- [1] 舘野之男, 飯沼武, 松本徹, 遠藤真広, 山本眞司, 松本満臣. “肺癌検診のための X 線 CT の開発”. 新医療, Vol. 17, No. 10, pp. 28–32, 1990.
- [2] 飯沼武, 舘野之男, 松本徹, 山本眞司, 松本満臣. “肺癌検診用 CT(LSCT) の基本構想とその事前評価”. 日本医学放射線学会誌, Vol. 52, No. 2, pp. 182–190, 1992.
- [3] 山本眞司, 田中一平, 千田昌弘, 舘野之男, 飯沼武, 松本徹, 松本満臣. “肺癌検診用 X 線 CT(LSCT) の基本構想と診断支援用画像処理方式の検討”. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J76-D-II, No. 2, pp. 250–260, 1993.
- [4] 中川徹, 名和建, 菅原陽一, 山本眞司, 松本徹, 後藤良洋. “胸部 CT 検診データを用いた肺がん診断支援システムの検討”. 胸部 CT 検診, Vol. 7, No. 2, pp. 76–77, 2000.
- [5] K.Fujimura, Y.Fujino, and T.Matsumoto et al. “Network-based Lung Cancer Screening System”. In *RSNA*, p. 9506, 2000.
- [6] 藤野雄一, 松本徹, 長尾啓一, 鈴木公典, 山本眞司, 黒田知純. “ギガビットネットワークを利用した胸部 CT 検診支援システム構想”. 胸部 CT 検診, Vol. 7, No. 2, pp. 127–132, 2000.
- [7] <http://www.jgn.tao.go.jp/>.
- [8] Toshiaki Okumura, Tomoko Miwa, Junichi Kako, Shinji Yamamoto, Mitsuomi Matsumoto, Yukio Tateno, Takeshi Iinuma, and Toru Matshmoto. “Variable N-Quoit filter applied for automatic detection of lung cancer by X-ray CT”. In *Computer Assisted Radiology and Surgery(CAR'98)*, pp. 242–247, 1998.
- [9] 五十嵐亮, 滝沢穂高, 山本眞司, 奥村俊昭, 中川徹, 松本徹, 舘野之男, 飯沼武, 松本満臣. “胸部 X 線 CT 画像からの病巣抽出処理における精度改善”. 電子情報通信学会技術研究報告 MI2000-71 ~ 105, Vol. 100, No. 597, pp. 139–144, 2001.
- [10] 深野元太郎, 滝沢穂高, 山本眞司, 中川徹, 松本徹, 舘野之男, 飯沼武. “胸部 X 線 CT 画像における肺がん偽陽性陰影の削減 血管領域抽出による可変 N-Quoit 候補点の真偽判定”. *Medical Imaging Technology*, Vol. 21, No. 1, pp. 49–58, 2003.
- [11] Kanae Shigemoto, Hotaka Takizawa, Shinji Yamamoto, Tohru Matsumoto, Yukio Tateno, Takeshi Iinuma, and Mitsuomi Matsumoto. “An efficient recognition of lung nodules from X-ray CT images using 3D object models”. In *Proc. of the 16th International Congress and Exhibition, Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2002)*, pp. 717–722, 2002.
- [12] <http://www.hitachi-to.co.jp/>.
- [13] 江浩, 増藤信明, 西村修, 奥村俊昭, 山本眞司, 飯作俊一, 松本徹, 舘野之男, 飯沼武, 松本満臣. “肺がん検診用 X 線 CT 像の計算機支援画像診断システム”. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-D-II, No. 1, pp. 333–341, 2000.
- [14] 奥村俊昭, 三輪倫子, 加古純一, 奥本文博, 増藤信明, 山本眞司, 松本満臣, 舘野之男, 飯沼武, 松本徹. “肺がん検診用 CT(LSCT) の診断支援システム”. コンピュータ支援画像診断学会論文誌, Vol. 2, No. 3, pp. 1–8, 1998.

著者紹介

滝沢 穂高 (たきざわ ほとか)



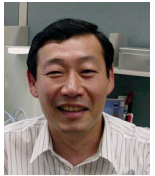
1998年大阪大学大学院工学研究科電子制御機械工学専攻博士後期課程修了，博士(工学)．同年，豊橋技術科学大学助手．医用画像処理，コンピュータビジョンの研究に従事．日本医用画像工学会，電子情報通信学会，日本エム・イー学会，日本ロボット学会各会員．

山本 眞司 (やまもと しんじ)



1966年名古屋大学工学部電子工学科卒．同年日立製作所中央研究所入所．1974年同所主任研究員．1980年同所研究部長．1987年日立製作所那珂工場開発部長．1990年豊橋技術科学大学教授．文字認識，医用画像処理の研究などに従事．工博．著書(共著)「パタン認識とその応用」，「医用画像処理」他．

藤野 雄一 (ふじの ゆういち)



1983年北大大学院工学研究科修士課程了．同年，N T T電気通信研究所に入所．以来，高機能画像通信方式，画像処理L S I，医療画像通信システム，などの研究開発に従事．現在，同サービスインテグレーション基盤研究所主幹研究員．電子情報通信学会，映像情報メディア学会，I E E E，日本医用画像工学会，日本エム・イー学会各会員．

阿部 郁男 (あべ いくお)



1990年日本大学文理学部応用地学科卒業．同年，(株)日立東北ソフトウェア入社．主にスーパーコンピュータ向けソフトウェアの開発に従事．2000年より並列分散システムの開発に従事．2002年より東北大学大学院工学研究科に共同研究員として出向．土木学会会員．

松本 徹 (まつもと とおる)



1967年東海大学工学部応用物理学科卒．同年科学技術庁放射線医学総合研究所入所．1979年臨床研究部主任研究員．1992年重粒子線治療センター障害・臨床研究部主任研究員．現在放医研特別研究員．医博，医学物理士．日医放学会，日医放物理学会，日本医学物理学会，コンピュータ支援学会，日本行動計量学会各会員．

館野 之男 (たての ゆきお)



1959年千葉大学医学部卒．放射線医学，核医学専攻の医師．著書：「放射線医学史」岩波1973，「放射線と人間」岩波1974，「核医学概論」東大出版会1983，「原典放射線障害」東大出版会1988，訳書：アッカークネヒト「パリ病院」思案者1978，プロディ「医の倫理」東大出版会1985．

飯沼 武 (いいぬま たけし)



1956年東京大学工学部応用物理学科卒．同年東京大学工学部助手．1958年放射線医学総合研究所物理研究部研究員．1978年同所臨床研究部医用物理研究室長．1994年埼玉工業大学基礎工学課程教授．現在放医研特別研究員．日本医用画像工学会，日本医学物理学会，日本磁気共鳴医学会，日本医学放射線学会，日本核医学会，日本ME学会，日本放射線腫瘍学会各会員．

Efficient Network CAD System Using Distributed Computers

Hotaka Takizawa^{*1}, Shinji Yamamoto^{*1}, Yuichi Fujino^{*2}, Ikuo Abe^{*3},
Tohru Matsumoto^{*4}, Yukio Tateno^{*4}, Takeshi Inuma^{*4}

Abstract: In this paper, we describe an efficient network computer-aided diagnosis system equipped with distributed computers. Two experimental results are shown to evaluate the efficiency of our new system. One is translation times of sample CT images using our exclusive global network. The others are calculation times of cancer shadow recognition using distributed computer systems.

^{*1}Toyohashi University of Technology

^{*2}NTT

^{*3}Hitachi East Japan Solutions, Ltd.

^{*4}National Institute of Radiological Science