臨床技術

論文受付
2007年12月28日

論文受理
2010年10月20日

Code No. 1050

遠隔地施設への 3D 医用画像配信の検討

林 隆司^{1, 2)}・岩井光宏³⁾・高橋克彦¹⁾・武田聡司⁴⁾・立石敏樹⁵⁾
金子瑠美¹⁾・小笠原桜子⁶⁾・米澤一也⁷⁾・花田亜希子⁸⁾

- 1) 国立病院機構函館病院放射線科
- 2) 現 国立病院機構北海道がんセンター放射線科
- 3) 国立病院機構旭川医療センター放射線科
- 4) 国立病院機構災害医療センター中央放射線部
- 5) 国立病院機構仙台医療センター診療放射線科
- 6) 青森市民病院診療放射線部
- 7) 国立病院機構函館病院臨床研究部
- 8) 慶北会花田病院循環器科

緒言

読影医の常勤していない病院では、近隣または遠隔地の施設(読影会社、病院など)に読影を依頼している場合がある。近年、CTやMRIの読影においてはCTの多列化やMRIの高性能化に伴いスライス枚数の増加が著しい。また、二次元表示(以下、2D)の原画像だけでなくボリュームレンダリング(以下、VR)などの三次元表示(以下、3D)の読影も必要となってきた。

当院でも心臓MRIの読影を遠隔地の医師に依頼して

おり、このための読影システムを院内で稼働している3D医用画像作成機能を有した画像配信サーバ(以下、3D画像配信サーバ)を用いて実現した^{1, 2)}。

通常、遠隔地において3Dを作成するためには、すべてのスライス画像を転送する時間的な問題や3D画像作成のための高価なワークステーション(以下、WS)を購入する経済的問題などが発生する。当院のシステムは3D画像配信サーバを用いることでこれらの問題を解決し、さらに、遠隔地とのデータのセキュリティを確保するために、IP-VPN(internet protocol-

A Study of the Transport of Three Dimensional Medical Images to Remote Institutions for Telediagnosis

Takashi Hayashi,^{1, 2)} Mitsuhiro Iwai,³⁾ Katsuhiko Takahashi,¹⁾ Satoshi Takeda,⁴⁾ Toshiki Tateishi,⁵⁾ Rumi Kaneko,¹⁾ Yoko Ogasawara,⁶⁾ Kazuya Yonezawa,⁷⁾ and Akiko Hanada⁸⁾

- 1) Department of Radiology, National Hospital Organization Hakodate Hospital
- 2) Current address: Department of Radiology, National Hospital Organization Hokkaido Cancer Center
- 3) Department of Radiology, National Hospital Organization Asahikawa Medical Center
- 4) Department of Radiology, National Hospital Organization Disaster Medical Center
- 5) Department of Radiology, National Hospital Organization Sendai Medical Center
- 6) Department of Radiology, Aomori City Hospital
- 7) Department of Clinical Research, National Hospital Organization Hakodate Hospital
- 8) Department of Circulation, Hanada Hospital

Received December 28, 2007; Revision accepted October 20, 2010; Code No. 1050

Summary

Using a 3D-imaging-create-function server and network services by IP-VPN, we began to deliver 3D images to the remote institution. An indication trial of the primary image, a rotary trial of a 3D image, and a reproducibility trial were studied in order to examine the practicality of using the system in a real network between Hakodate and Sapporo (communication distance of about 150 km). In these trials, basic data (time and receiving data volume) were measured for every variation of QF (quality factor) or monitor resolution. Analyzing the results of the system using a 3D image delivery server of our hospital with variations in the setting of QF and monitor resolutions, we concluded that this system has practicality in the remote interpretation-of-radiogram work, even if the access point of the region has a line speed of 6 Mbps.

Key words: telediagnosis, image delivery, 3D image indication

別刷資料請求先: 〒003-0804 札幌市白石区菊水4条2丁目3番54号
国立病院機構北海道がんセンター放射線科 林 隆司 宛

Fig. 1 Characteristics of the AquariusNET Server.

virtual private network) 方式の閉域網サービス^{3, 4)} (NTT 東日本フレッツ・グループアクセス)を利用した。

本研究では遠隔地で読影時に問題となる画像表示に要する時間や 3DVR 画像の回転動作の時間を、画質のファクタなどの条件を変えて札幌－函館間の実網で検証した。また、それぞれの時間測定の際に受信データ量や最大受信速度を測定し、回線速度が遅い地域における運用についても検討した。

当院と同じタイプの 3D 画像配信サーバを用いて、実験内容は異なる室内実験を行った文献^{5, 6)}はみられるが、今回のような遠距離で本実験内容での実網検証の報告はみられない。

1. システムの構成

1-1 システム環境

遠隔地施設から画像を閲覧するには、院内にある 3D 画像配信サーバ(AquariusNET サーバ)にアクセスして画像を取得する。3D 画像配信サーバに画像が存在しないときは 2 次サーバ(SYNAPSE サーバ)から 3D 画像配信サーバに画像を転送後、遠隔地施設へ転送される。本実験は画像が 3D 画像配信サーバに存在する状態でいった。

当院の 3D 画像配信サーバの最大の特徴は 3D 画像をサーバ内の専用ボードで作成することであり、サーバから WS などの端末にスライス画像を転送する必要がない点である。3D 画像をサーバ内で作成したのち結果を参照したい面の 2D 画像として転送するため、ネットワークへの負荷が小さく高速なネットワークを必要としない。また、端末はサーバよりブラウザソフトをダウンロードして使用することができ、大容量のデータ処理を行わないため高価な WS を必要としない(Fig. 1)。ただし、サーバの機種により同

時アクセス数に制限があるので、院内の使用端末数を考慮してサーバを選定する必要がある。

1-2 使用機器等

3D 画像配信サーバ(1 次サーバ)：AquariusNET Light サーバ(TERARECON Inc.)

2 次サーバ：SYNAPSE サーバ(富士フイルムメディカル株式会社)

通信速度測定用ソフト：TCP monitor plus

端末：DELL Latitude D810(processor 1.73 GHz, RAM 1.0 GB)

TCP monitor plus はインストールされたパーソナルコンピュータ(以下、PC)のネットワークアダプタを通過する TCP/IP パケットを監視して、受信データ量やパケットの詳細情報、セッション状況を測定するソフトウェアである。

なお、当ソフトウェアでは、画像データのみならず通信に伴うヘッダ等も画像表示間の受信データ量として扱われる。

2. 指標

2-1 受信速度

TCP monitor plus では受信データ量はサンプリング時間(50 ms)当たりのデータ量を計測し、受信速度は測定時点の過去 1.5 秒間のデータ量を 1.5 秒で割った値としている。また、計測中に最大となった受信速度を最大受信速度としている。

受信速度は回線速度(通信サービスで提供されている速度)とは異なり、単位時間内にネットワークアダプタを通過したデータ量から求められるもので、回線が持つ転送能力が変化しなくても経時的に値が変化する。

Fig. 2 Relation between the Quality Factor and compression rate.

サーバ内でデータ処理を行いながら随時データ転送する本サーバでは、処理に要する時間とそのときに送り出されるデータ量から計測される受信速度が変化する。

2-2 受信データ量

本システムでは画面解像度に応じて、画像表示領域のマトリックス数に変化する。画面解像度 1024×768 pixel(以下、低解像度)では画像表示領域のサイズが 646×626 pixel であり、画面解像度 1920×1200 pixel(以下、高解像度)では 1542×1058 pixel であった。画面解像度により表示領域がほぼ正方形の場合と長方形の場合があり、サーバは単にこの領域のデータを送るのではなく、表示レイアウトの状況や元データの解像度などを考慮して送るため、単純にデータ量を計算できない。そのため、受信データ量の実測は、本サーバを導入する施設にとって条件ごとのデータ量を把握できるため重要と考える。

画像の階調はカラーの 3DVR 画像では 24 bit であり、axial 像などの白黒画像では 8 bit であった。

2-3 クオリティファクタ

クオリティファクタ(以下、QF)は JPEG を利用した画質と画像データ量にも関係する因子であり、詳細は Intel JPEG Library に掲載されている。AquariusNET では、① QF の数値設定なし(操作画面上でチェックなし)の場合は画質の低下がなく画像データ量の減少もない[原画像(無圧縮画像)【original image(図中は、orig. と表示)】]、② QF を数値設定した場合は原画像のデータ量と比較してデータ量の減少があり画質の低下もある(非可逆圧縮)、の関係づけがある。

実験に先立ち、QF とデータ圧縮および差分絶対値

平均(mean difference absolute value: MDA)との比較を行った。

データ圧縮率は通信データ実測値から求めたものであり、Fig. 2 に 3DVR 画像の体幹部画像および腹部の拡大画像における QF と圧縮率の関係を示す。QF が 75～100 になると圧縮率が大きく低下していた。

MDA は画像劣化の指標で、二つの画像における階調値の差の絶対値の平均であり、画像の同位置における画素値から(1)式を用いて算出した。

$$MDA = \frac{1}{512 \times 512} \sum_{i=1}^{512} \sum_{j=1}^{512} |y(i, j) - s(i, j)| \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $y(i, j)$ は原画像の階調値であり、 $s(i, j)$ は各 QF で処理した画像の階調値である。

Fig. 3 に前述の 2 種類の画像に胸部拡大画像を加えた 3 種類の画像での QF と MDA の関係を示す。QF が小さくなるにつれ MDA は大きくなっていった。また、QF を小さくするとブロックノイズが確認された。

3. 方法

画面解像度および QF を変化させて、札幌の遠隔施設と当院との間(基地局間通信距離：約 151 km)において、フレッツ光(100 Mbps)を用いて表示に要する時間やデータ量を TCP monitor plus により測定した。

実験は日曜日または祝日に行い、それぞれ 10 回ずつ計測した。

3-1 初期画像表示

遠隔施設から sagittal, coronal, axial, 3DVR の 4 分割画像(以下、初期画像)の表示を要求し、遠隔施設で初期画像が表示されるまでの時間(以下、所要時間

Fig. 3 Relation between Quality Factor and Mean Difference Absolute value.

Fig. 4 Time of receiving primary image at two monitor resolutions.

①)とその時間内に受信されたデータ量(以下, 受信データ量①)について QF および画面解像度を変えて測定した. 画面解像度は低解像度と高解像度の2種類とした. 3DVR 画像などを作成するために 547 枚の axial 画像を用いた.

3-2 3DVR 画像回転

遠隔施設において 1 画面表示で 3DVR 画像を表示したのち 10°ごとの連続回転モードに設定し, 回転指示から 1 回転終了までの時間(以下, 所要時間②)とその時間内に受信されたデータ量(以下, 受信データ量②)について QF および画面解像度を変えて測定した. また, 各 QF における最大受信速度も測定した.

3-3 再現性の実験

再現性を調べるために, 低解像度での回転表示を 1 実験につき 10 回測定し, 実験日を 3 回変えて所要時間②と受信データ量②を測定した. 測定値から(2)式を用いて, 変動率を算出した.

$$\text{変動率(\%)} = \frac{\text{最大の測定値} - \text{最小の測定値}}{\text{最小の測定値}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

4. 結 果

4-1 初期画像表示

QF と所要時間①の関係を画面解像度別に示す (Fig. 4). 所要時間①はいずれの QF 値においても 6~7 秒であった.

Fig. 5 Data volume of receiving primary image at two monitor resolutions.

Fig. 6 Time during one rotation of 3DVR image at two monitor resolutions.

次に、QFと受信データ量①の関係を示す(Fig. 5).

受信データ量は、低解像度より高解像度の方が大きくなり、また、QFの増加に伴って増加する傾向が認められた。さらに、原画像のデータ量は、QF 100と比較して低解像度では約4倍、高解像度では約6倍であった。

4-2 3DVR 画像回転

QFと所要時間②の関係を画面解像度別に示す(Fig. 6)。どちらの画面解像度においても、所要時間②はQFが25～100ではほぼ一定であり、低解像度では約25秒、高解像度では約28秒であった。

しかし、原画像では大きく延長し、低解像度では約45秒、高解像度では約70秒であった。

次に、QFと受信データ量②の関係を画面解像度別に示す(Fig. 7)。受信データ量②は、低解像度より高解像度の方が大きく、QF 100では約6MB、原画像では約80MB大きな値となった。また、受信データ量はQFの増加に伴って増加する傾向が認められた。さらに、原画像のデータ量は、QF 100と比較して低解像度では約7倍、高解像度では約9倍であった。

3DVR画像が1回転する際の最大受信速度とQFとの関係を画面解像度別に示す(Fig. 8)。

最大受信速度は、低解像度より高解像度の方が速く、

Fig. 7 Receiving data volume during one rotation of 3DVR image at two monitor resolutions.

Fig. 8 Maximum receiving speed at two monitor resolutions.

QF 100 では約 2 Mbps, 原画像では約 5 Mbps 速い値となった。また, QF の増加に伴い, 最大受信速度は増加する傾向がみられた。さらに, 原画像の最大受信速度は, QF 100 に比較して低解像度で約 4 倍, 高解像度で約 3 倍であった。

4-3 再現性

QF と所要時間②の関係を実験日別に示す (Fig. 9)。

変動率は各 QF では 0.8~2.9% であり, 原画像では約 6.4% であった。

次に, QF と受信データ量②の関係を実験日別に示す

(Fig. 10)。変動率は各 QF では 0~2.2% であり, 原画像では約 0.07% であった。

5. 考 察

通信速度の測定には TCP monitor plus を用いたが, 本ソフトウェアの計測の正確さを確認するために, 2 台の PC 間で約 100~250 MB の 10 種類のファイルを通信し, 受信データ量を計測した。測定誤差を (3) 式から算出すると, 平均 3.3% であった。(3) 式中のファイル容量には, 通信のためのヘッダ情報は含まれていない。実網ではヘッダ情報も通信されるので誤差率は 3.3%

Fig. 9 Time during one rotation of 3DVR image according to experiment day.

Fig. 10 Receiving data volume during one rotation of 3DVR image according to experiment day.

より小さくなることが予測できる。このため、本実験での計測誤差は3.3%以下であったと考えられた。

$$\text{測定誤差(\%)} = \frac{\text{実測データ量} - \text{ファイル容量}}{\text{ファイル容量}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

初期画像の表示に要する時間はいずれのQFのときにも6～8秒であった。しかし、通信速度計測ソフトウェアのモニタ画面から、画像表示の直前の1～2秒間に大量のデータ移動が確認された。この結果、

サーバでの処理時間は4～6秒程度と考えられた。

受信データ量はQF 100に設定したときには原画像の約1/4～1/6であり、QFをさらに小さく設定すると、データ量もさらに少なくなることが判明した。これらのことから、ネットワークへの負荷を減らす必要がある場合はQF 100以下の運用も有効と思われた。

初期画像の表示において、受信データ量に差がみられたのに、表示の所要時間には差が認められなかった。この理由として、QFを設定したときには初期画像の作成時間やデータの圧縮・伸長処理時間、通信用ヘッダ

付加・削除時間が所要時間①の大部分を占めたために、データの受信自体の時間の差が反映しなかったものと考えられた。また、原画像ではデータの圧縮・伸長の処理時間はないもののデータ量がQFを設定した場合よりも4~6倍増加したため、データ受信時間が増加しデータの圧縮・伸長処理時間と相殺され、QFを設定したときと同程度の所要時間になったと思われた。

同様に3DVRの回転時間においても、QFを設定したときにはデータ受信以外の時間が所要時間②の大部分を占めたために、所要時間に差が生じなかったと考えられた。また、原画像では受信データ量が多く、回線の有する最大能力で受信してもQFを設定したときの所要時間より長くなったと考えられた。

画面解像度を高くすると所要時間、受信データ量ともに増加した。このため画面解像度は、所要時間やネットワークの負荷を考慮して必要以上に高くしない運用が重要と思われた。

利用すべき回線速度の目安としては、高解像度の原画像における最大受信速度が約20 Mbpsであったことから(Fig. 8)、原画像をおもに使用する運用であれば20 Mbps以上が実測可能な回線のタイプを選ぶ必要がある。しかし、おもにQF 100以下を用いた原画像については時間をかける運用であれば実測6 Mbps程度の回線の選択も可能である。

ADSLの回線タイプの決定には、運用方法やコストなどを念頭に、実際の運用でどの程度の速度が達成できるかを調査する必要がある。

実網での通信実験を、日を変えて3回行ったが、所要時間②、受信データ量②ともに変動の少ない結果であった(Fig. 9, Fig. 10)。3回の実験ではあるが変動も小さく、再現性はかなり高いと思われた。また、受信データ量②の再現性がよいことから、実験中に他のソフトウェアが動作することによるデータの混入なども除外され、実験の安定性も確認された。

本実験では、遠隔施設からサーバへのアクセスを1カ所に限定した。同時アクセス数が複数となり、すべての遠隔施設から原画像を要求された場合には、本

実験で得られた時間での読影環境は保証できない。複数施設での同時利用の場合にはQFを小さくした運用が求められる。しかし、QFを小さくして運用すると通信データ量は小さくなるが、画質は原画像に比較して劣化する。このため、読影医が読影の支障とならないようにQF値を設定し、QF値を切り替えながら使用すればネットワークへの負荷を抑えた運用が可能になると思われる。以上のことから、回線速度が遅い地域で本システムを導入する際には、今回の結果を踏まえた運用を検討する必要がある。

診療用画像とともに音声や読影依頼者の画像の添付などが今後利用される可能性もあり、ネットワークへの負荷の少ない運用がさらに重要になると思われる。

6. 結 語

IP-VPN方式のネットワークサービスと3D画像配信サーバを利用し、遠隔施設でCTやMRIの3D画像を読影できるシステムの検証を行った。今回の実網検証により通信距離150 km程度の距離において、画像表示までの所要時間や受信データ量、さらに必要な回線速度について確認することができた。

当院の3D画像配信サーバを用いたシステムは、遠隔地の読影において契約する回線の速度や運用を考慮することで、十分、実用性があると考えられる。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、ご協力いただいた国立病院機構函館病院 診療放射線技師諸兄、(株)エルクコーポレーション 赤木信裕氏、TERARECON INC.

平原信一氏、谷澤仁志氏、NTT 東日本 木村雅寛氏、前田紀幸氏、論文作成に際しご助言いただきました北海道大学大学院保健科学研究所 小笠原克彦氏、その他関係各位に感謝いたします。

なお、本研究は(社)日本放射線技術学会北海道部会平成18年度北海道放射線技術研究の助成を受けました。ここにお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 林 隆司, 高橋克彦, 立石敏樹, 他. 当院における3D-PACSの構築. 北海道放射線技術雑誌 2007; 67: 31-38.
- 2) 林 隆司, 岩井光宏, 高橋克彦, 他. 医用画像閲覧端末の院内増設におけるセキュリティ向上の試み. 第26回医療情報学連合大会論文集 2006; (Suppl): 1102-1103.
- 3) 宮坂和男. 遠隔画像診断の新しい試みと展望. 映像情報

(M) 2003; 35(5): 377-379.

- 4) 金城俊哉. よくわかる最新 IP-VPN の基本と仕組み. 東京: 秀和システム, 2002.
- 5) 西谷 弘. 3D PACS. Innervision 臨時増刊号 2005; 20(5).
- 6) 津坂昌利. インターネットと画像処理. Innervision 2002; 17(11): 79-85.

図表の説明

- Fig. 1 AquariusNET サーバの特徴
- Fig. 2 QF と圧縮率の関係
- Fig. 3 QF と MDA の関係
- Fig. 4 初期画像表示までの所要時間の画面解像度別比較
- Fig. 5 初期画像表示までの受信データ量の画面解像度別比較
- Fig. 6 3DVR 画像 1 回転の間の所要時間の画面解像度別比較
- Fig. 7 3DVR 画像 1 回転の間の受信データ量の画面解像度別比較
- Fig. 8 最大受信速度の画面解像度別比較
- Fig. 9 3DVR 画像 1 回転の間の所要時間の実験日別比較
- Fig. 10 3DVR 画像 1 回転の間の受信データ量の実験日別比較