

複数の分散ファイルシステムを連携する医用画像保存通信システム

Distributed PACS Cooperating Multiple Distributed File System

南谷 祥之*¹ 廣安 知之*² 三木 光範*³ 横内 久猛*² 吉見 真聡*³
 Yoshiyuki MINAMITANI Tomoyuki HIROYASU Mitsunori MIKI Hisatake YOKOUCHI Masato YOSHIMI

*¹同志社大学大学院工学研究科 *²同志社大学生命医科学部
 Graduate School of Engineering, Doshisha University Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University

*³同志社大学理工学部
 Department of Science and Engineering, Doshisha University

In this research, a new distributed PACS (Picture Archiving and Communication Systems) which is available to cooperate multiple distributed file system in each medical institution is illustrated. This distributed PACS stores DICOM (Digital Imaging and communications in Medicine) which is medical image standards. In the proposed distributed PACS, images are not stored in central server but in multiple repositories existed in several institutions. Meta data of DICOM is stored in meta database and this mechanism help to find files and images quickly. In this paper, multiple configuration of meta database server is proposed. The prototype system was implemented by using Gfarm. For evaluating the implemented system, file search operating time of Gfarm and NFS were compared.

1. はじめに

近年、医療現場において医療情報の蓄積と共有が重要視されてきている。医用画像に関しては、様々な機器で利用可能な専用規格が策定されており、現在医用画像規格は唯一 DICOM のみが利用されている。DICOM は、検査情報や患者情報などの多数のメタデータが撮影された画像データと共に同一ファイル内に保存される [1]。このような医用画像を管理するため、Picture Archiving and Communication Systems (PACS) と呼ばれるシステムが医療機関に広く普及している。病院内でのみ扱われる PACS については導入が進んでおり、電子患者情報と合わせた管理が行われている [2] [3]。一方、近年外部の病院との連携を可能にする PACS の連携システムの構築が求められている。これを実現する手法として、Microsoft Windows Azure を用いたクラウド上で医用画像を扱うような PACS が構築されている [4]。また、国内においては、医療機関が連携して患者情報を共有するシステムとして、「K-MIX：かがわ遠隔医療ネットワーク」が稼動している [5]。しかし、既に各病院の PACS 上で管理されている医用画像をデータセンターのような場所に一元的集め管理する手法では、連携する病院をさらに広域に拡大させた時限界があると考えられる。医用画像は画像サイズが非常に大きいだけでなく、毎日膨大な枚数が追加されており、今後も医療機器やシステムの発展にともない、その情報量は爆発的に増加すると考えられるためである。現在、アメリカにおいて 2014 年の一年間に 10 億以上の画像診断が行われ、それに伴い約 100 ペタバイトのデータが生成されると考えられている [6]。そのため、医用画像の共有に関しては各病院が管理を行い、その上で外部の病院でも利用出来るシステムの構築が必要である。それに伴い、ローカルで管理している医用画像をグローバルに共有するためのシステム開発が進んでいる [7][8]。

通常 DICOM を利用する場合、検索が行われる。その際、画像全体にアクセスを行うことは非効率であり、メタデータと画

連絡先: 南谷 祥之, 同志社大学大学院 工学研究科 情報工学専攻, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924, yminamitani@mis.doshisha.ac.jp

像データを分離し、検索をメタデータサーバ、画像保存を画像ストレージが行う手法が考えられる。DICOM からメタデータを分離して管理を行い、各病院の PACS を統合するシステムを構築するためには分散ファイルシステムを利用する必要がある。ここで、廣安らによって分散ファイルシステムを用いた PACS[9][10] が提案されている。提案システムは、各医療機関が DICOM の管理を行い、ファイル情報を管理するサーバを外部に配置するというものであった。しかし、単一サーバ上でのファイル情報の管理は、やはりボトルネックとなることが懸念される。

そこで、本研究では各医療機関が個別に分散ファイルシステムを構築した上で、それらを連携させるシステムを提案する。大規模かつ高速な環境を提供する分散ファイルシステムとして広域分散システムファイル Gfarm が挙げられる [11][12]。Gfarm は複数の分散ファイルシステムを連携させる機能および、XML をファイルのメタデータとして格納するメカニズムを有しており、複数の分散ファイルシステム内の XML からファイル検索を行う事が可能である。本研究では、この Gfarm を応用し DICOM 規格の医用画像を格納するファイルシステムを提案する。提案システムでは、広域に点在している病院の PACS を Gfarm を用いて連携することで、データセンターのような一元管理ではなく、分散管理による医用画像の共有利用を目指す。また、廣安らの評価実験では仮想環境での評価であった。本稿では実機でのシステム構築および評価実験を行った。

2. 分散型 PACS の提案

2.1 提案システム概要

本研究では、各医療機関が分散ファイルシステムを構築し医用画像の管理を行った上で、複数の分散ファイルシステムを連携する PACS を提案する。DICOM を対象とする場合に効果が上がると考えられる画像格納方法として、メタデータと画像データを分離し、検索をメタデータサーバ、画像保存を画像ストレージが行う手法が考えられる。

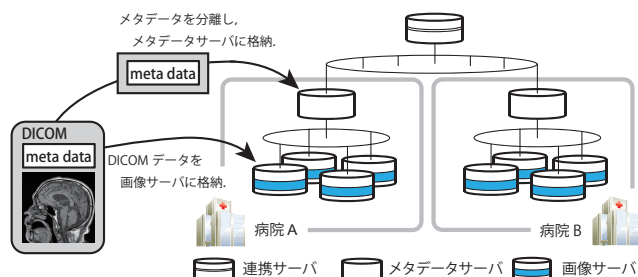


図 1: 提案システム概要

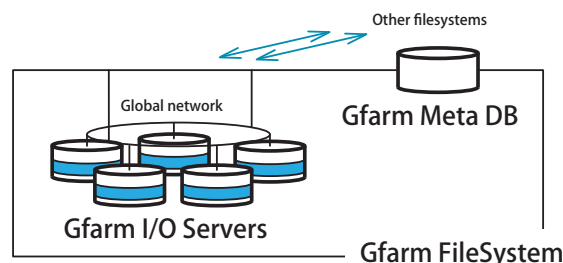


図 2: Gfarm アーキテクチャ

通常、DICOM を利用する際、DICOM のメタデータを用いて検索が行われる。メタデータを検索するために DICOM 全体にアクセスを行うことは非常に効率が悪い。DICOM からメタデータ情報の切り離しが必要である。そこで、各病院が DICOM のメタデータを格納するサーバと実画像データである DICOM を格納するサーバの 2 層のサーバを構築する。さらに、広域環境で医療機関が連携を行うため、医療機関外に新たなサーバを設置し、このサーバを用いて各医療機関で管理している分散ファイルシステムを連携する。これを連携サーバとする。図 1 に提案システムの概要図を示す。

外部の医療機関で管理されている DICOM を検索する際は、分散処理の観点から連携サーバ内では行わず各病院のメタデータサーバ内にて検索が行われる。また、DICOM の送受信の際には画像格納サーバより直接送信される必要がある。また、医療機関内においてもデータ量がキャパシティを超える場合には、複数の分散ファイルシステムにスケールアウトされる必要がある。

本研究では、このようにメタデータの登録、検索および、複数の分散ファイルシステムの連携を可能にするシステムとして広域分散ファイルシステム Gfarm に着目した。

2.2 Gfarm

広域分散ファイルシステム Gfarm は、ネットワークで接続された PC のローカルストレージを束ねて構成されるオープンソースのファイルシステムである [11][12]。Gfarm は、2 層のサーバから構成される。データ本体が格納される I/O サーバ、各ファイルの保存位置が格納されるメタデータサーバである。メタデータサーバは、仮想的なディレクトリ階層、実際のファイルの所在などのファイルシステムデータをメタデータとして管理することからメタデータサーバと呼ばれる。図 2 に Gfarm アーキテクチャを示す。

メタデータサーバは、ファイル保存先の管理だけでなく、“XML 拡張属性”と呼ばれる XML をメタデータとして格納する機構を持つ。これは、保存ファイル、ディレクトリ毎に関連付けられる XML ファイルを指定し、XPath による検索を可能とする機能である。さらに Gfarm はメタデータサーバの階層的な構築を可能にする機能を有している。

2.3 Gfarm を用いた PACS

本提案システムでは、図 1 に示す画像サーバを Gfarm I/O サーバ、メタデータサーバを Gfarm メタデータサーバとしてシステム構築を行った。なお、連携サーバの実態は Gfarm メタデータサーバである。

各医療機関は撮影された DICOM 画像を I/O サーバに保持する。一方で、保存する DICOM のメタデータ部分から XML を作成し、メタデータサーバに登録を行う。各医療機関ではこ

のような 2 層のサーバを構築することにより、ファイルサイズの大きな DICOM の画像情報にアクセスすることなくメタデータ XML のみを利用することが可能である。これにより、ファイルシステム自体がファイルの検索を行うことから医療機関内において高速な検索を期待することができる。

さらに、外部の医療機関で管理されている DICOM を検索する際には、まず外部の連携サーバにアクセスされる。この際、この連携サーバ自体は検索を行わず、検索は各医療機関のメタデータサーバで行われる。図 1 に示す連携サーバは Gfarm メタデータサーバであるため、連携サーバをマウントする事によりクライアントは連携された医療機関の Gfarm を単一のファイルシステムとして認識可能である。

2.4 利用想定

例えば、利用想定として、複数の医療機関で撮影を行った患者を想定する。特定の患者の画像データについて、患者名や患者 ID などから複数の病院にまたがり医用画像を検索することが可能である。各医療機関がこのシステムに参加することで、患者は複数病院での同一医用画像を用いた診察を受けることができる。撮影した医用画像を別病院での診察に利用する際撮影病院への請求は必要であるが、本システムにより患者の判断でセカンドオピニオンを行うことを容易にする。

また、医用画像の学術的利用については、使用機器や撮影部位を検索項目とし、多数の病院から検索・取得が可能である。学術的利用に関してはセキュリティやアクセス権の問題がある。Gfarm ではディレクトリ毎にアクセス権の管理が可能であり、公開するディレクトリを指定するなどの方法が考えられる。ただし、今回はアクセス権の管理については不問とする。

DICOM はメタデータ項目が非常に多いファイルである。また撮影される枚数は数百枚以上にもなりそのデータ量は膨大なものである。Gfarm の機能「XML 拡張属性」を用いることでクライアントは DICOM データを直接ダウンロードすることなく DICOM メタデータの高速検索を行う事が可能である。

2.5 医療機関内における処理

各医療機関内における DICOM への処理は、以下の 3 種類で実現される。

- DICOM ファイルの書き込み
DICOM を保存する際には、DICOM のメタデータから XML の作成を行い、Gfarm の XML 拡張属性に作成したメタデータ XML を指定する。XML は各医療機関のメタデータサーバに保存される。ファイルサイズの大きな DICOM の画像情報にアクセスすることなく、ファイルシステム自体がファイルの検索を行うことから高速な検索を期待できる。一方、格納される DICOM は I/O サー

表 1: サーバの仕様

CPU	Quad-Core AMD Opteron 2.3GHz × 2
Memory	DDR2 667 MHz 8GB
OS	Debian 6.0.3
gfarm	2.5.3
gfarm2fs	1.2.6

バに保存される。保存先 I/O サーバは各サーバの負荷情報から Gfarm が自動的に選択を行う。

- DICOM ファイルの検索
Gfarm メタデータサーバに格納された XML から検索が行われる。検索項目は複数設定することが可能であり、XPath により指定する。
- DICOM ファイルの読み込み
DICOM を取得する際には、メタデータサーバにアクセスを行い目的ファイルの保存先情報を得る。クライアントは I/O サーバとの直接の通信によりファイルを取得する。

2.6 外部の医療機関に対する処理

外部の医療機関に対しては、DICOM ファイルの書き込みは必要はなく、検索と読み込みが必要である。検索を行う際には、図 1 に示す連携サーバが各医療機関のメタデータサーバにアクセスを行う。そして、どの医療機関に目的のファイルが存在するのかが検索を行う。また、検索を行う医療機関を指定することにより、より高速な検索が可能である。

3. システムの実装と評価実験

3.1 実験システムの実装

本節では実験システムの実装を行う。今回、メタデータサーバ × 1 台、I/O サーバ × 2 台の Gfarm を同一 LAN 内に 2 つ構築した。表 1 に各サーバの仕様を示す。

3.1.1 実装機能

本システムを実装するにあたり、必要な機能は保存、検索、取得である。以下、3 つの機能について説明する

- DICOM 保存
DICOM の保存に関して、Python によりコマンドを作成した。保存する DICOM を指定することにより DICOM のメタデータ部から XML が作成される。その後、DICOM が I/O サーバに保存され、メタデータサーバに XML が登録される。
- DICOM 検索
DICOM の検索の際には、Gfarm コマンド “gffindxml-lattr” に用いて XPath による検索を行う。外部の病院を検索する際には、各医療機関のメタデータサーバへアクセスを行う。
- DICOM 取得
DICOM の取得の際には、保存先情報から DICOM の取得を行う。

表 2: DICOM と XML のファイルサイズ

ファイル	サイズ	個数	合計サイズ
DICOM	12.6MB	100	1.26GB
XML	7KB	100	0.7MB

表 3: DICOM と XML の保存時間

処理	Gfarm (s)	NFS (s)
real	21.7	27.6
user	0.26	0.33
system	3.59	2.92

3.2 評価実験

本節では、実装した実験システムを用いて、医用画像向けのファイルシステムとして Gfarm が十分な性能を示すことを確認するため評価実験を行った。今回、評価をするにあたり実機での Gfarm の構築を行った。評価は小規模なファイル共有システムとしてよく知られている NFS(Network File System)[13]を比較対象として用いた。また DICOM のデータサイズに関して、最新の MRI は 2048 × 2048 ピクセル (約 420 万画素) の撮影が可能である。実験にはそのサイズの DICOM 画像を用いた。表 2 に用いた DICOM と XML のファイルサイズを示す。100 ファイルの DICOM および XML を対象に、書き込みと削除処理に要する時間を計測し評価した。処理に要する時間は time コマンドによる計測を 5 回行った。

3.2.1 DICOM と XML 保存

Gfarm と NFS に DICOM と XML を同時に保存した場合の処理速度の比較を行った。NFS では 1 台に DICOM を保存し、もう 1 台に XML の保存を行った。Gfarm では I/O サーバ 2 台に DICOM を保存し、メタデータサーバで XML 拡張属性を付加した。表 3 に測定結果を示す。なお、real は実経過時間、user はユーザ CPU 時間、system はシステム CPU 時間を表す。

3.2.2 DICOM 保存

Gfarm と NFS に DICOM のみを保存した場合の処理速度の比較を行った。表 4 に測定結果を示す。

3.2.3 XML 保存

Gfarm と NFS に XML のみを保存した場合の処理速度の比較を行った。NFS では通常のファイル保存の際の時間を計測し、Gfarm では既に I/O サーバに保存してある DICOM に対してメタデータサーバで XML 拡張属性を付加する時間を計測した。表 5 に測定結果を示す。

3.2.4 DICOM から XML の作成

DICOM から XML を作成する時の速度計測を行った。なお、実装には Python を用いた。表 6 に DICOM100 ファイルから XML を作成した時の測定結果を示す。

3.2.5 XML 拡張属性を用いての検索性能

Gfarm の XML 拡張属性を用いて DICOM ファイルを検索した際の時間を計測した。具体的には、DICOM1 万ファイル (126GB) を Gfarm 上に保存し、XML 拡張属性を用いて画像 ID 番号を検索した。なお、画像 ID 番号は全ファイルで異なるものである。検索については外部の Gfarm に対して検索を行った場合の時間についても測定した。表 7 に測定結果を示す。

表 4: DICOM の保存時間

処理	Gfarm (s)	NFS (s)
real	20.9	26.9
user	0.046	0.028
system	3.28	2.65

表 5: XML の保存時間

処理	Gfarm (s)	NFS (s)
real	0.67	0.54
user	0.22	0.29
system	0.24	0.16

表 6: DICOM からの XML 作成時間

処理	時間 (s)
real	5.8
user	4.3
system	0.003

表 7: XML 拡張属性を用いた検索時間

処理	内部検索 (s)	外部検索 (s)
real	6.07	6.08
user	0.004	0.001
system	0.001	0.003

4. 議論

今回の評価実験において、表 3 に示したとおり Gfarm は NFS より書き込みに要する時間が短いという結果であった。表 4 より、DICOM (1.26GB) 保存の時間が測定時間の大半を占めており、Gfarm が NFS より高速な点はこの処理の結果である。この理由としては、Gfarm はオーバーヘッドを小さく抑える機構が実装されていることが挙げられる。

表 5 より、XML を個別のサーバに書きこむ処理では Gfarm は NFS よりも長い処理時間を要した。これは Gfarm の XML 書き込み処理には、XML 拡張属性の付加処理があるものと考えられる。しかし、処理時間は 0.67 秒と非常に小さな時間である。

表 6 より、DICOM 100 ファイルから XML を作成するために 5.8 秒の時間を要した。XML 作成に 5 秒程度であれば Gfarm において表 3 の結果と合わせても 27.5 秒であり 1.26GB のデータの処理時間として妥当であるといえる。

表 7 より XML 拡張属性を用いた検索では、1 万件 (126GB) の検索に 6.07 秒という結果を得られた。一方、外部の Gfarm に対する検索の場合は 6.08 秒であり内部検索の場合と同時間程度と言え。また、今回は同一 LAN 内での評価であるため、今後遠隔地間での性能評価を行う必要があると考えられる。

5. まとめと今後の展望

本論文では医療機関が個別に分散ファイルシステムを構築し、それらを連携する医用画像保存通信システムを提案した。評価実験を通して、実利用環境における提案システムの高いアクセス性および検索性が確認された。今後は、遠隔地間でのスケラビリティの評価を行うと共に、既存の DICOM ビューアを利用する際のバックエンドシステムとして実装を行う予定である。

参考文献

- [1] Herman Oosterwojck. *DICOM Basics Third Edition edition*. OTEch Inc, 2005.
- [2] Munch H, Engelmann U, Schroeter A, and et al. The integration of medical images with the electronic patient record and their web-based distribution. *Acad Radiol* 2004.
- [3] Ratib O, Ligier Y, Bandon D, and et al. Update on digital image management and pacs. *Abdom Imaging* 2000, Vol. 25, pp. 333-340.

- [4] Chia-Chi Teng, Jonathan Mitchell, Christopher Walker, Alex Swan, Cesar Davila, David Howard, and Travis Needham. A medical image archive solution in the cloud. *Software Engineering and Service Sciences (ICSESS), 2010 IEEE International Conference on*, 2010.
- [5] 原量宏, 横位英人. 病院情報システムと遠隔医療かがわ遠隔医療ネットワークから日本版 EHR の実現へ. 医療機器システム白書 2008~2009, pp. 358-360, 2008.
- [6] Frost & Sullivan. Prepare for disaster & tackle terabytes when evaluating medical image archiving, 2008. <http://www.frost.com>.
- [7] R. Zheng, H. Jin, Q. Zhang, and P. Chu. Heterogeneous medical data share and integration on grid. *Proceedings of 2008 International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI'08)*, IEEE Computer Society Press, 2008.
- [8] S.G. Erberich, J.C. Silverstein, A. Chervenak, R. Schuler, M.D. Nelson, and C. Kesselman. Globus medicus — federation of dicom medical imaging devices into healthcare grids. *Stud Health Technol Inform*, Vol. 126, pp. 269-278.
- [9] Tomoyuki Hiroyasu, Yoshiyuki Minamitani, Masato Yoshimi, and Mitsunori Miki. Distributed PACS using Network Shared File System. *PDPTA*, Vol. II, pp. 745-750, 2011.
- [10] 南谷祥之, 廣安知之, 吉見真聡, 三木光範. Gfarm ファイルシステムを用いた医用画像保存通信システム. 先進的計算基盤システムシンポジウム論文集, 第 2011 巻, pp. 20-26, may 2011.
- [11] Osamu Tatebe, Kohei Hiraga, and Noriyuki Soda. Gfarm grid file system. *New Generation Computing*, Vol. 28, pp. 257-275, 2010.
- [12] 建部修見, 曾田哲之. 広域分散ファイルシステム gfarm v2 の実装と評価 (グリッド i). 情報処理学会研究報告. [ハイパフォーマンスコンピューティング], Vol. 2007, No. 122, pp. 7-12, 2007-12-07.
- [13] B Callaghan, Pawlowski, and Staubach. NFS Version 3 Protocol Specification. *RFC 1813*, 1995.