ノート

WWW-DB技術を用いた医用画像サーバと連携可能な
放射線治療情報管理システムの開発

横濱則也・鍵谷 豪

論文受付
2003年10月27日論文受理
2004年2月6日

Code No. 930

若狭湾エネルギー研究センター粒子線医療研究室

緒言

近年、医療における情報共有と開示に対する要求が高まっていることから、放射線治療部門においても治療情報の電子化は、普及すべき技術であると考えられる。近年こうした技術は、いくつか提案・実装が行われており¹⁻⁶⁾、大規模な病院などへ普及しつつある。また、商用システムとして、医用画像管理システムや患者管理システムなどが多数提供されている。しかしながら、これらのシステムは高額であるうえ、医療機関独自の要求への対応は困難である。いずれのシステムも、情報閲覧には専用のソフトウェアが必要で、汎用性に乏しく管理上の問題も存在する。

また一方で、従来放射線治療情報の管理・運営・参照には、専用のデスクトップ型計算機と表示ソフトが

必要で、可搬性とコストの面で問題があった。われわれは前述の問題を解決するために、オープンソフトウェアの活用、およびソフトウェアの開発を行い、システムを提案した。本提案は、従来別々に運用されていた医用画像管理システムと、放射線治療管理システムを統合してシームレスに参照が可能とし、携帯情報端末を用いて計算機の設置場所にとらわれずに、情報参照を行うものである。この提案により、従来より低コストで情報システムの構築が可能であることが示唆された。また医療情報のセキュリティも問題と考えられるが、本提案では、データの暗号化やアクセス制限を行うことで、セキュリティを高めることが可能となった。本報告では、開発したシステムの概要と応用、およびネットワークセキュリティについて述べる。

Development of a Radiation Therapy Information System and Linked Medical Image Server Using Techniques of WWW-DB

NORIYA YOKOHAMA, and GO KAGIYA

Medical Division, Wakasa-Wan Energy Research Center

Received Oct. 27, 2003; Revision accepted Feb. 6, 2004; Code No. 930

Summary

We developed management system for medical information such as radiation therapy information and associated medical image information. Features of the system are to browse medical information with web browser through network. The system was constructed by open source software, which made proprietary client software unnecessary. Clinical studies suggested that the system proved useful in terms of paperless management. In addition, useful features are visibility and portability to browse medical information using PDA (Personal Data Assistant) via wireless LAN (Local Area Network). We also proposed a new approach which can contribute to remote areas by providing medical information using the Internet.

Key words: Radiation therapy information, Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), World Wide Web (WWW), Wireless Local Area Network (LAN), Network security

別刷資料請求先: 〒914-0192 福井県敦賀市長谷64-52-1
若狭湾エネルギー研究センター粒子線医療研究室 横濱則也 宛

1. 概要

1-1 システム構成

はじめに本システムの構成図を、Fig. 1に示す。本システムはすべて、オープンソースソフトウェアを用いて開発されている。サーバのOS(Operating System)にはLinux(VineLinux Ver.2.6)を用いて、RDBMS(Relational Database Management System)にPostgreSQL(Ver.7.0.2)、WWW(World Wide Web)サーバプロセスにはApache(Ver.1.3.27)を使用した。WWWサーバプロセスとRDBMSサーバプロセスとの連携を行うために、PHP(Hypertext Preprocessor Ver.4.0.2)⁷⁾言語を用いてミドルウェアを開発した。また、情報の機密性を高めるために、openssl(Ver.0.9.6i)、openssh(Ver.3.4p)を用いてSSL(Secure Socket Layer)の上位規格であるTLS(Transport Layer Security)と、SSH(Secured SHell)を実装し、データおよびルーティング経路の暗号化を行った。

更に患者番号をキーとして、本システムと、DICOM(Digital Imaging and COmmunications in Medicine)プロトコルによって管理される医用画像サーバとの連携を行った。今回用いた医用画像サーバもまたオープンソースで構成されており、MIR(Mallinckrodt Institute of Radiology)が配布しているDICOM Software Packageである、CTN(Central Test Node)⁸⁾を使用して構築した⁹⁾。

1-2 本システムのデータフロー

患者属性や照射野形成パラメータの入力や編集、照射実施記録の入力閲覧といった、本システムの機能はすべて、クライアントマシン上のWebブラウザのみを用いて操作可能である。データフローをFig. 2に示す。

Webブラウザを通じて要求された内容は、WWWサーバプロセスを経てミドルウェアに渡される。ミドルウェアは要求された内容を解析し、SQL(Structured Query Language)へと変換する。次に、ミドルウェアはRDBMSへ接続して、治療情報が格納されているデータベースを開き、RDBMSに先ほど変換したSQLを実行する。最後にミドルウェアは、RDBMSが実行したSQLの結果を受け取り、HTML(Hyper Text Markup Language)へレンダリングした後、WWWサーバプロセスへ渡して、WWWサーバプロセスはWebブラウザへ結果を渡す。

2. 臨床における運用と通信データの安全性の検討方法

当センターでは、治療照射野形成パラメータ設定を、照射室内で行っている。そのため実際の運用を行

う際、照射室内での情報閲覧が必要となる。この問題を解決するため、小型の情報携帯端末と無線LANを導入した。具体的には医療用ネットワークに、IEEE(Institute of Electrical and Electronic Engineers)802.11b規格の無線LANによるAP(Access Point)を接続した。また情報携帯端末として、PDA(Personal Data Assistant)(シャープ株式会社製、SL-C700)を用いて、治療時に照射野形成パラメータを確認し、その場で治療実施入力が行えるシステムとした。本システムを用いて、約4カ月間、患者数1日最大6人について臨床運用を行い、従来の紙による運用と比較検討した。また、通信データの安全性について、パケットスニッファソフトを用いて検討した。

3. 運用結果

3-1 臨床における運用

照射室内での臨床運用においては、小型軽量のPDAのみで運用でき、治療情報の参照、治療実施記録ともトラブルなく行えた。更に従来の紙による運用と比較して、治療情報や位置決め画像の検索、治療実績の閲覧が、瞬時かつ容易に行えた。PDAによる照射野形成パラメータ表示サンプル画像を、Fig. 3に示す。

また、治療情報や患者情報、医用画像情報の統一化が図れ、ネットワークに接続されてWebブラウザが導入された端末があれば、場所を問わず閲覧が可能になった。また治療情報および医用画像情報の同時参照が可能になり、各情報の把握が容易になった。

更に本システムでは、治療実施などの入力情報を逐次、RDBMSへ記録しているため、集計等や解析結果出力作業を自動的に行えることが可能になった。

本システムのサンプル画像として、Fig. 4のaに治療基本情報画面、bに照射門ごとの情報画面、cに照射野形成情報および照射実施入力画面、またFig. 5のaに照射記録一覧、bに線量分布図、cにDRR画像をそれぞれ示す。

3-2 通信データの安全性

本システムは、従来のTCP/IPを用いたRDBMSやHTTPなどいくつかのポートを経由する、サーバ・クライアント型情報システムと異なり、TLSを用いてHTTPによって情報交換を行っており、サーバとクライアント間で使用されるポートは、HTTPS(HyperText Transfer Protocol Secure)のみである。したがって従来のシステムと比較し、セキュリティを確保しつつ、管理運用面での労力はかなり低減できた。本システムにおいて、確保されているセキュリティとして、

- ・ネットワークにおけるデータ暗号化
- ・アカウントとパスワードによるアクセス制限

Fig. 1 Overview of network structure.

Fig. 2 Overview of network protocol flow.

Fig. 3 Sample image of irradiation port data output on PDA.

Fig. 4 Sample images of therapy data input.
 (a) Therapy plan data input.
 (b) Irradiation port data input.
 (c) Irradiation dose data input.

Fig. 5 Sample images of therapy data output.
 (a) Irradiation data summary.
 (b) Dose-distribution images.
 (c) DRR images.

を実装し、従来のPlain Textによるデータ交換より、セキュリティが高いことが確認できている⁹⁾。

また無線APとPDA間は、共通鍵暗号方式を採用したWEP(Wired Equivalent Privacy)で暗号化されており、暗号鍵は128bitを採用した。またAPに登録されたMAC(Media Access Control)アドレス以外の、端末からのアクセスを拒否することにより、不正なネットワークへの参加を防止した。なお、情報の入力と閲覧を行う際に、ログインアカウントとパスワード認証により、アクセス制限を行ったことによって、不正アクセスを防止できた。

4. 考 察

従来、照射室における照射野形成パラメータの確認は、主に紙による照射録や治療カルテ、またはデスクトップパソコンやノートパソコンが用いられており、視認性や可搬性において問題であった。また、これまでのPDAは、液晶も小さく解像度も最大320×240pixelsで、治療情報のような大量の文字情報および画像情報の参照は困難であったが、今回使用したPDAは液晶も大きく、解像度も640×480pixelsと表示できる情報量が大幅に増加した。その結果、照射野形成パラメータを含めた治療情報もスクロールすることなく参照可能であった。これらの結果から、本システムとPDAを活用することにより、視認性と可搬性において大変有用であった。

また従来のシステムにおいて、治療情報や患者情報、医用画像情報の検索、閲覧を行う場合、それぞれの専用端末が置いてある場所まで行って、個別に行う必要があり、端末間および情報間に統一性がなく、不便かつ煩雑であった。しかしながら本システムにおける運用では、ネットワークに接続されており、かつWebブラウザがインストールされた端末であれば、場所を問わず単一端末を使用して、治療情報および医用画像情報の同時参照が可能になり、各情報間の統一が図られたことは、利便性の面で大変有用であると考えられる。

放射線治療における技師の配置は、ミスをお互いに補う意味で、2人以上の配置が望まれる。このような環境で、紙に記録されたただ一つの治療情報を用いて運用することは、迅速かつ正確な治療を行ううえでも、効率が落ちるのではないかと考える。そこで、このようなPDAを一人一台所持すれば、参照作業が分散されて、効率が上がると期待される。もちろん、このときに参照されるのは、ただ一つの情報のみである。また、従来の紙による運用においては、治療情報の解析や集計には多大な時間を要して、治療業務への影響も無視できなかった。本システムはこれらの処理を自

動化しており、業務への負担が大きく軽減されることが示唆された。以上のことにより、ペーパーレスな情報運用が有用であることが示唆される。

更に、情報を参照できる範囲を院内イントラネットにとどまらず、インターネットを利用した院外での利用を考えると、いくつかの応用が提案できる。例えば、当施設のような特殊な放射線治療を行っている施設から、紹介元医療機関への情報配信やインフォームド・コンセントにおける視覚的サポート、近年増加しているセカンドオピニオンへの情報提供などが考えられる。

本システムのような医療情報システムは、セキュリティをいかに確保するかが問題となる。従来のネットワークを経由したサーバ・クライアント型情報システムにおける情報交換は、通常TCP/IPを用いてRDBMSやHTTPなどいくつかのポートを経由して行っている。この場合、セキュリティホールが複数発見される可能性が高く、管理運用面での労力も大きい。しかし本システムではTLSを用いて、HTTPによって情報交換を行っている。その結果、サーバとクライアント間で使用されるポートは、HTTPSのみで、従来のシステムと比較し、管理運用面での労力は、かなり低減できると考える。また、ネットワークにおけるデータ暗号化と、アカウントとパスワードによるアクセス制限を行うことで、従来のプレーンデータによるデータ通信よりも、高いセキュリティを確保している。しかしながら、前述したようなインターネットを通じて情報を提供する場合、更なる高度なセキュリティを考慮する必要がある。そこで、以下に具体的な方法を考察した。

一つ目はデータ内容の盗聴防止である。これについては、前述したTLSやWEPによる暗号化を行うことで、ある程度確保できると考える。しかしながら、WEPはRC4(Rivest's Cipher 4)と呼ばれるSSID(Service Set Identifier)ごとの共通鍵暗号にすぎず、認証スキームもないことから、おのおのの無線LANクライアントのMACアドレス程度しか、クライアントの識別方法がないため、どのユーザがネットワークに接続しているかの判別が困難である。また、クライアント端末や無線LANカードが盗まれた場合に、個別に認証拒否を行うことも不可能である。そのため、WEPによる暗号解読が容易であるという指摘¹⁰⁾もあり、現在、WEPの弱点を補強する新しい規格としてWPA(Wi-Fi Protected Access)の実装が進んでいる。WPAには、クライアントごとにユーザを認証する機能がある。更に、キーを自動的に変更可能な強力な暗号化プロトコルである、TKIP(Temporal Key Integrity Protocol)を採用することによって、安全性を高めるよ

うに改善されている。ただTKIPの暗号化アルゴリズムはRC4を採用しており、暗号化の強度はRC4と変わらない。そこで米国政府の次世代標準暗号化方式として採用が決定している暗号化アルゴリズムとして、AES(Advanced Encryption Standard)方式の採用を進める必要がある。RC4はすでに解読されているが、AESは現段階ではまだ解読の成功例はない。

二つ目は、アクセス制限による不正な情報操作への防止である。本システムでは、システムへのログインをパスワードによる認証を行うことで、不正なアクセスを防止している。ただ、これだけでは、不正な医療情報操作が行われる可能性が否定できない。そこで、患者情報や照射パラメータなどの情報入力に際し管理者専用アカウントを設けて、多層認証制限を行うことで回避できると考える。また変更履歴を記録することで、不正な情報改ざんの発見を可能にする必要がある。

三つ目は、外部機関へ情報公開を行う場合に考慮すべきセキュリティである。インターネットへ情報を公開する場合でも、前述の方法でセキュリティを確保することは当然であるが、更にVPN(Virtual Private Network)を使用したトンネリング技術を活用したり、紹介元医療機関ごとによるパスワード発行により、アクセス制限を行うなどの対処が、必要になると考えられる。また、サーバへの不正な侵入や管理者権限の乗っ取りといった、OSに対するセキュリティも考慮に入れる必要がある。具体的にはファイアウォールの適切な設定や、サーバで起動されているサービスを最小限にする、サーバの保守をリモートで行うときは認証技術が不十分なRSH(Remote SHell)を使用せず、SSH(Secured SHell)を使用する、といった方法が考えられる。更に定期的なパスワードの変更、ワンタイム

パスワードの採用も必要になると考える。

今回使用したソフトウェアは、すべてオープンソフトウェアで構成されており、ユーザによるUI(User Interface)やDB(DataBase)の項目に対するカスタマイズ要求においても、柔軟に対応可能である。また本システムは陽子線治療用に開発したが、通常の放射線治療にも応用可能と考える。

今後の検討事項として、本システムとメーカ製の治療計画システム、および患者管理データベースとはオフラインになっており、データ入力は手で入力している。そのため入力の手間と入力後のデータ確認が必要となっている。今後の課題として、システム間のオンライン化を計画している。

5. 結 語

今回、オープンソースを用いて、低コストで医用画像サーバとリンクした放射線治療情報システムを開発した。短期間であるが、本システムを実際の臨床で使ったところ、従来の紙による運用方法より、軽量小型な情報端末を用いることで、可搬性と視認性を確保した。また効率的かつ統一的な情報参照、記録、集計等が可能となり、業務負担軽減の面における有用性が確認できた。一般にこうしたシステムは、その情報の持つ性質上、ネットワークセキュリティをいかに確保するかが問題となるが、本システムでは複数方式の暗号化や多層認証制限を用いて、情報の盗聴や不正な改ざんに対する考察を行い、その機能の一部を実装した。更に本システムを、前述したセキュリティを確保したうえで、インターネットへ公開することにより、いくつかの応用活用が可能となることが示唆された。今後、既存データベースとのオンライン化と、更なる情報セキュリティの確保を計画している。

参考文献

- 1) 安藤 裕, 国枝悦夫, 北村正幸, 他: WWWを利用した放射線治療部門スモールPACS. 医療情報学連合大会論文集, 16, (1996).
- 2) 安藤 裕, 北村正幸, 甲田 英, 他: 高速かつ安全なネットワークを利用した多施設画像ファイリングシステム. 医療情報学連合大会論文集, 17, pp.120-121, (1997).
- 3) Law MY, and Huang HK: Concept of a pacs and imaging informatics-based server for radiation therapy. Comput Med Imaging Graph, 27(1), 1-9, (2003).
- 4) Starkschall G: Design specifications for a radiation oncology picture archival and communication system. Semin Radiat Oncol, 7(1), 21-30, (1997).
- 5) Nagata Y, Okajima K, Murata R, et al.: Development of an integrated radiotherapy network system. J Radiat Oncol Biol Phys, 35(5), 1105-1111, (1996).
- 6) 外山比南子, 上村幸司, 武田栄子: 病院情報システム間連携による発生源入力とデータの共有. 医療情報学, 22 (Suppl.), 491-492, (2002).
- 7) <http://www.php.net/>.
- 8) <http://www.erl.wustl.edu/dicom/ctn.html>.
- 9) 横濱則也: Open sourceによるdicom-www gatewayの構築及び次世代高速移動体通信網を使用したPDAへの応用. 日放技学誌, 59(9), 1155-1163, (2003).
- 10) Borisov N, Goldberg I, and Wagner D: Intercepting mobile communications: The insecurity of 802.11. In Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking.

図表の説明

- Fig. 1 ネットワーク構成
- Fig. 2 DICOM, SQL, HTTPのネットワークプロトコルフロー
- Fig. 3 PDAにおける照射パラメータ表示画面のサンプル画像
- Fig. 4 放射線治療情報の入力画面のサンプル画像
- (a) 照射プランデータの入力
  - (b) 照射門パラメータの入力
  - (c) 照射記録の入力
- Fig. 5 放射線治療情報の出力画面のサンプル画像
- (a) 照射記録一覧表示
  - (b) 線量分布図表示
  - (c) DRR画像表示