

Prontuário Eletrônico em Ambiente Distribuído e Heterogêneo: a Experiência do InCor

Sérgio Furuie¹, Marina Rebelo¹, Marco Gutierrez¹, Ramon Moreno^{1,2}, Fabiane Nardon²,
Gustavo Motta^{1,2,3}, Júlio Figueiredo¹, Nivaldo Bertozzo¹, Vivian Fiales¹

¹ Serviço de Informática, Instituto do Coração HCFMUSP,

² Depto de Engenharia Elétrica - Escola Politécnica - USP

³ Depto. de Informática – Universidade Federal da Paraíba

Resumo - Este artigo apresenta o desenvolvimento de um projeto para construção de um ambiente distribuído de visualização, processamento e análise de imagens médicas. A viabilização desse ambiente envolveu a criação de infra-estrutura adequada e também de um modelo robusto e eficaz. O próximo passo foi a implementação dos serviços necessários para troca segura e eficiente de informações, todos baseados em especificações CORBAMED. Uma vez construídos os elementos de suporte, foi implementado um protótipo de visualizador contextual de imagens médicas.

Palavras-chave: Prontuário Eletrônico, Modelagem, Imagens Médicas.

Abstract - This paper presents the development of a project to create a distributed environment for transmission, archiving, retrieval, processing and visualization of all modalities of medical images. The task involved initially the creation of suitable and robust infrastructure and models. Next step was the implementation of the services needed for secure and efficient information exchange. These services were all based on CORBAMED specifications. Once all supporting elements were present, a prototype of the contextual viewer was implemented.

Key-words: Electronic Patient Record, Modeling, Medical Images.

Introdução

A disponibilização de um prontuário eletrônico web, que apresente de forma integrada todas as informações relevantes dos pacientes tem sido a principal meta das equipes de Informática de grandes Hospitais em todo o mundo. Como parte do esforço para o desenvolvimento do seu prontuário eletrônico, a equipe do Serviço de Informática do Instituto do Coração (InCor) – HCFMUSP desenvolveu nos últimos quatro anos um projeto que visava elaborar um modelo de ambiente distribuído para a transmissão, arquivamento, processamento e visualização de imagens médicas, integrando-as ao sistema de informações do Hospital das Clínicas (HC) da Faculdade de Medicina da USP, em geral, e do Instituto do Coração, em particular. Esse projeto, chamado de PACS-HC, tinha por objetivo permitir a um usuário recuperar imagens médicas a partir de seus atributos, que podem ser demográficos, relativos ao equipamento de aquisição ou à parte do corpo. Um dos principais desafios era a implementação de visualizadores contextuais para otimizar automaticamente as propriedades de visualização (como resolução espacial, velocidade) às características do monitor no qual as imagens estejam sendo visualizadas e aos atributos da

própria imagem. Os desafios tecnológicos para a implantação de tal ambiente eram grandes e envolviam a aquisição, o armazenamento, a transmissão, o processamento e a visualização de dados de imagem em um ambiente distribuído. Deve-se enfatizar que, embora os componentes tecnológicos necessários para viabilizar os aspectos e a funcionalidade desejada já existissem, a sua utilização em um sistema tão complexo como o proposto, envolvendo a manipulação de volumes de dados extremamente grandes em procedimentos de busca, processamento e visualização em um ambiente distribuído não era trivial. O desenvolvimento de tal sistema envolveu grandes esforços compreendendo as fases de especificação de requisitos, modelagem, implantação de infra-estrutura e implementação dos diversos módulos que compõem o sistema. Este trabalho apresenta as diversas etapas do desenvolvimento desse projeto.

Metodologia

Arquitetura

Desde a concepção do sistema, definiu-se que sua arquitetura seria baseada no padrão CORBA, que permite a integração de ambientes heterogêneos com um excelente desempenho. Além

disso, é um padrão aberto, estabelecido por uma organização internacional, a OMG (*Object Management Group*) [1]. Entretanto, o padrão CORBA não é suficiente para tratar a troca de informações clínicas. Para esse fim, a OMG criou o comitê CORBAMED [2], que é a força tarefa da OMG no domínio de Saúde e cujo objetivo é definir padrões abertos internacionais para a troca de informações entre sistemas de saúde heterogêneos. Dentro deste contexto, a arquitetura do projeto PACS-HC foi baseada em três serviços definidos pelo CORBAMED: PIDS, COAS e CIAS (Fig. 1). O Serviço de Identificação de Paciente [3] (PIDS – *Patient Identification Service*) recupera as informações demográficas do paciente. O serviço oferece um método padrão para localizar identificadores de pessoas e seus registros associados. O Serviço de Acesso a Informações Clínicas [4] (COAS – *Clinical Observation Access Service*) é um mecanismo para recuperação de dados de observações clínicas, repositórios e aplicações. O Serviço de Acesso a Imagens Clínicas [5] (CIAS – *Clinical Images Access Service*) recupera imagens médicas. Este serviço permite a busca de imagens de um único paciente ou a partir das características da imagem, como parte do corpo, equipamento, modalidade, etc. Clientes do sistema, que podem estar rodando em qualquer plataforma de software e hardware, devem acessar esses serviços usando interfaces CORBA.

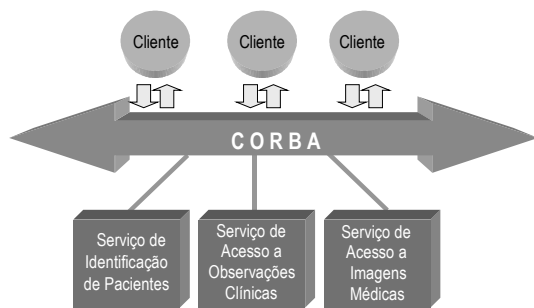


Figura 1: A arquitetura do projeto PACS-HC

Requisitos de Infra-estrutura de rede

O sucesso deste projeto pressupõe a existência de uma infra-estrutura adequada, que aproveitasse grande parte dos recursos já disponíveis na instituição. A capacidade de troca de distribuir informações em uma Instituição de Saúde ou entre diferentes Instituições está limitada pela capacidade disponível, ou largura de banda, dos meios físicos dos quais essas Instituições dependem (par metálico, cabo coaxial e fibra óptica). Em geral, a complexidade e os custos envolvidos para instalação e manutenção dos meios de comunicação são diretamente proporcionais à largura de banda disponível. O custo e a capacidade de transporte de

informação envolvidos nas diferentes tecnologias de comunicação são importantes, pois afetam a disponibilidade e qualidade da informação necessárias para o diagnóstico de doenças. Se a informação a ser distribuída contiver imagens, que necessitam de alta resolução temporal, espacial e de contraste, então a aplicação necessariamente requer alta largura de banda e infra-estrutura eficiente de comunicação.

Requisitos do Modelo

O modelo a ser construído deveria comportar um sistema com as seguintes características: (i) capaz de contemplar todas as informações relevantes sobre o paciente de forma agregativa; (ii) permitir a integração dos dados ao longo do tempo e por tipos de dados; (iii) metodologia Orientada a Objetos usando o UML – *Unified Modeling Language* – para a descrição do domínio; (iv) permitir buscas complexas de informações; (v) contemplar as imagens médicas nas diversas modalidades e as informações contextuais do exame.

Requisitos do Visualizador

O visualizador implementado deveria contemplar as seguintes características: (i) acesso aos dados do paciente de acordo com o perfil cadastrado do usuário; (ii) acesso remoto (Telemedicina - neste caso, ele deveria ter a capacidade de alertar o usuário do impacto na funcionalidade, devido às características do equipamento e rede); (iii) mostrar um índice dos dados arquivados e a respectiva linha do tempo, inibindo aqueles não autorizados; (iv) visualização de imagens médicas de qualquer modalidade, nos modos estático ou dinâmico e simultânea em múltiplas janelas, além de um conjunto de ferramentas básicas de processamento; (v) interação com o banco de dados (BD) em buscas complexas independente da plataforma do BD.

Controle de acesso

A arquitetura proposta para suportar o modelo de autorização e controle de acesso ao PEP foi baseada num modelo cliente-servidor com três camadas, composto de: (i) um servidor de dados, responsável pelo armazenamento das autorizações, papéis, representações dos recursos protegidos e usuários; (ii) um servidor de controle de acesso e autenticação, com a incumbência de implementar o mecanismo de controle de acesso e atender às solicitações de autenticação de usuários; (iii) aplicações clientes no terceiro nível, que solicitam autorizações de acesso, invocam funções de autenticação e de administração de autorizações, através de uma API (*Application Programming*

Interface) padronizada. Neste trabalho, foi adotado o serviço de decisão para acesso a recursos *Resource Access Decision Facility: (RAD – Facility)* [6], do CORBA *horizontal facilities* para suportar a implementação do mecanismo de controle de acesso, que oferece interfaces padronizadas que permitem o controle de acesso detalhado.

Resultados

Infra-estrutura

O modelo de rede de comunicação adotado no InCor consiste de uma plataforma heterogênea, porém escalável, que emprega tecnologias Ethernet e suas extensões (Fast e Gigabit Ethernet). Sobre esta plataforma, adotou-se como padrão para protocolo de rede o TCP/IP. Para atender a demanda de alta disponibilidade de informações nas estações clientes, consideramos a utilização do padrão Fast Ethernet (100 Mbps) como enlace típico, sendo que o *backbone* apresenta capacidade para operar em Gigabit Ethernet (2 Gbps). Para permitir a troca de informações à distância de forma eficiente foi utilizado o protocolo ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), que oferece recursos como baixa latência e possibilidade de envio de estabelecer prioridades no envio de pacotes. O InCor foi uma das Instituições participantes do Projeto Redes Metropolitanas de Alta Velocidade (Rmav-SP). Uma descrição detalhada desse projeto é feita em [7].

Implantação do servidor de imagens médicas

Para a implantação do Servidor de Imagens DICOM, foi inicialmente adotado o conjunto de aplicações desenvolvidas para a *Radiology Society of North America* (RSNA www.rsna.org), através do *Mallinckrodt Institute of Radiology*, que são distribuídas gratuitamente, incluindo fontes e documentação. Entretanto, estas aplicações devem ser customizadas para o ambiente e plataforma adotados. A implementação do servidor de imagens considera a adoção do padrão DICOM, que não apenas define o formato de armazenamento, mas também o protocolo de comunicação entre o servidor e as estações clientes. Toda a comunicação com o mundo exterior é realizada através da interface DICOM, que executa o seu fluxo de dados através do protocolo TCP/IP (Fig. 2). Foram realizadas várias modificações nos itens distribuídos pela RSNA, de tal forma que as aplicações pudessem ser executadas em vários servidores distribuídos na rede alta velocidade implantada, e permitissem a conexão com o banco de dados relacional utilizado no Sistema de Informações do InCor (Oracle 8.1.7). Numa fase posterior do projeto foi implantado um servidor DICOM utilizando uma biblioteca de funções escritas na linguagem Java,

chamada JDT (*JavaDicomToolkit-<http://www.softlink.be/>*) produzida pela Softlink. O principal objetivo da implantação era possibilitar a comunicação de imagens utilizando compressão JPEG, o que agiliza o processo de transmissão, pois o processo de compressão JPEG sem perdas tipicamente reduz o volume de dados a uma razão de 3:1.

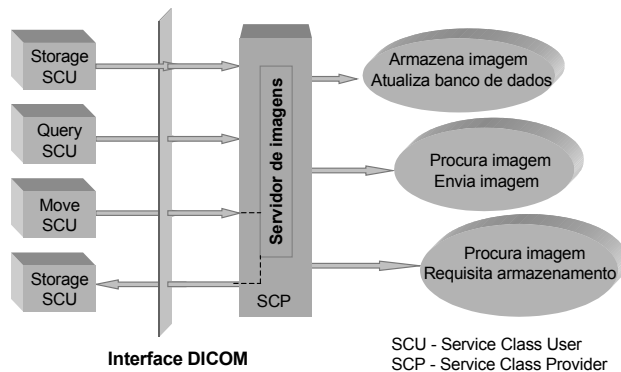


Figura 2: : Modelo Funcional do Servidor de Imagens DICOM

Modelagem de dados

O modelo desenvolvido pode ser dividido em dois grandes módulos. O primeiro é o modelo de informações clínicas, que contém informações demográficas e clínicas. O segundo é o modelo de imagens, que modela as diversas modalidades de imagens médicas, além de operações de visualização e processamento.

A Figura 3 mostra as classes básicas da modelagem do prontuário do paciente. A classe *MedicalRecord* representa o conjunto dos documentos que compõe o prontuário. Cada instância da classe *MedicalRecord* possui uma associação com um e apenas um paciente. Cada instância da classe *MedicalRecord* está também associada a zero ou mais documentos médicos, que são representados pela classe *Document*. A classe *Document* foi criada para representar cada documento que faz parte do prontuário do paciente. Subclasses da classe *Document* representam um documento específico, como um laudo de raio-x, um laudo de ECG, etc. Cada documento possui uma lista de outros documentos que auxiliaram a sua criação. Por exemplo, um médico poderia utilizar informações em laudos anteriores para criar um novo documento. A classe *PatientEvents* representa a lista de eventos que ocorreram na vida de um paciente, tais como admissões, exames, cirurgias, etc. Cada instância desta classe possui uma associação com uma e apenas uma instância da classe *Patient* e com uma ou mais instâncias da classe *Event*. Através da classe *PatientEvents* é

possível recuperar todo o histórico do paciente. Instâncias da classe *Event* representam eventos que podem ocorrer na vida de um paciente.

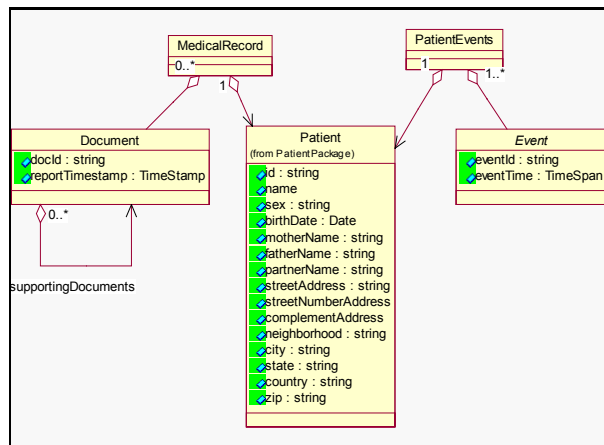


Figura 3: : Visão geral do modelo de informações clínicas

O modelo de informações para imagens médicas foi baseado no padrão DICOM 3 para comunicação e armazenamento de imagens médicas, especificamente na parte III do padrão "Information Object Definitions" [8].

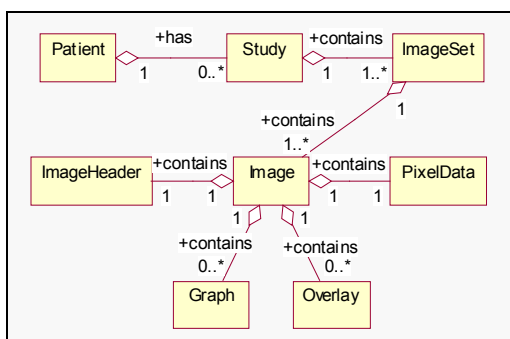


Figura 4: modelo de informação CIAS para imagens DICOM

A figura 4 apresenta o modelo de informação para imagens médicas do CIAS. No modelo proposto neste projeto a utilização de padrões de vocabulários e códigos para representação de muitos de seus atributos é explícita. As classes relativas às informações específicas de imagens tornam-se independentes da definição desses vocabulários e códigos, e também de seu mapeamento. O modelo de imagens torna-se, desta forma, mais robusto e independente. Além disso, o modelo prevê imagens de qualquer dimensão e contempla operações de visualização e processamento. O modelo manteve, entretanto, as funcionalidades e especificações do CIAS. Como o objetivo do projeto era permitir a manipulação de imagens em ambiente distribuído, optou-se por

implementar, inicialmente, as interfaces propostas pelo CIAS, pois desta forma imagens geradas pelo Hospital das Clínicas poderão ser visualizadas por outras Instituições que tenham implementado essas interfaces. As operações específicas do modelo InCor serão implementadas em fase posterior. O modelo de informações clínicas e de imagens estão descritos em detalhes em [9].

Implementação PIDS, COAS E CIAS

Para a implementação do PIDS, COAS e CIAS foi utilizada a linguagem Java, JDK versão 1.2.2 (PIDS) e 1.4 (COAS e CIAS), ambiente de desenvolvimento Inprise JBuilder 5.0. Na implementação do PIDS foi utilizada a ferramenta Inprise Visibroker, versão 3.3. Na implementação do COAS e CIAS foi usado o IDLJ e ORBD do JDK 1.4.

Uma decisão importante na implementação do PIDS foi o conjunto de características que deveria ser utilizado no serviço. Dentro de um sistema de identificação de pacientes, considera-se como características de identificação, informações demográficas como nome, endereço, escolaridade, documentos, idade, nome dos pais, entre outros. A especificação do PIDS pressupõe a utilização de um conjunto de características, sendo que a especificação criada pela OMG sugere dois conjuntos: *HL7* (Health Level Seven) [10] Padrão dos cartões *Visa e Mastercard*. Neste projeto, optou-se por adotar um novo conjunto, mais adequado à realidade brasileira, o padrão proposto pelo Comitê de Padronização do Registro Clínico (PRC) [11]. Algumas das características suportadas pelo PRC são: Código, Nome, Data de Nascimento, Idade Aparente, Endereço, Naturalidade, Nacionalidade, Sexo, Documentos, entre outros. Foram realizadas várias experiências nas quais foi possível trocar informações com outros PIDS implementados por outras instituições, sem nenhuma implementação adicional e de forma bastante eficiente e confiável.

As observações clínicas recuperadas pelo serviço COAS são disponibilizadas no formato XML [12]. A partir de uma solicitação do cliente, o servidor COAS realiza a consulta aos diversos bancos de dados do sistema e a disponibiliza aos clientes na forma de documentos XML. A figura 5 é uma representação desse processo. Para a implementação do CIAS, decidiu-se disponibilizar um banco de dados de imagens já existente através das interfaces CIAS e para isso uma cópia parcial desse banco foi construída. Esse banco é responsável pelo armazenamento de informações de imagens DICOM. As tabelas são baseadas no *Central Test Node (CTN) DICOM demonstration module* do RSNA. As imagens recebidas via servidor DICOM são gravadas em disco e os dados

mais relevantes são armazenados nas tabelas, que são consultadas pelas interfaces CIAS. O processo é mostrado na figura 6.

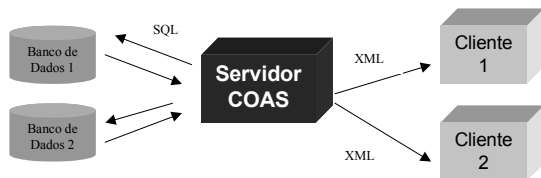


Figura 5. Interação entre o COAS, os bancos de dados e seus clientes.

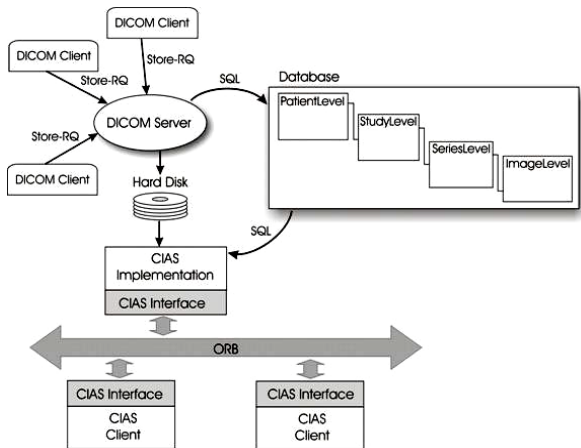


Figura 6. Esquema da implementação do CIAS

Serviço de autenticação e controle de acesso às informações de pacientes

Um protótipo do servidor de controle de acesso e autenticação foi implementado em Java a fim de suportar as interfaces do CORBA *Security Service* e do RAD-*Facility* para autenticação e autorização de acesso, respectivamente. Estas interfaces estão disponíveis através do servidor CORBA/Visibroker. As autorizações, papéis, representação dos recursos protegidos e usuários são armazenados em um serviço de diretórios hierarquizado, cujo acesso e esquemas de descrição de dados são padronizados através do protocolo LDAP (*Lightweight Directory Access Protocol*) [13]. Esquemas de dados padronizados já existentes para o LDAP são usados no armazenamento de informações sobre usuários, papéis e recursos. A descrição completa da modelagem e implementação do Serviço de Autenticação é apresentada em [14].

Visualizador contextual

Uma vez modelado o sistema e implementados todos os elementos de infraestrutura, foi iniciado o desenvolvimento do visualizador contextual. Na figura 7, apresenta-se o modelo do visualizador. A classe *ImageContext* utiliza os serviços CIAS e COAS, a classe

PatientContext utiliza o PIDS e a classe *UserContext* utiliza o serviço RAD.

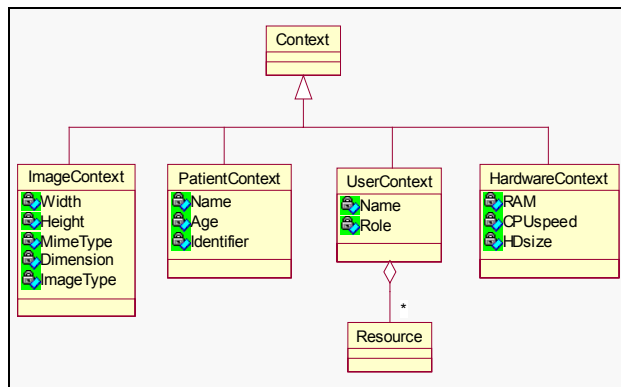


Figura 7. Modelo de classes do Visualizador

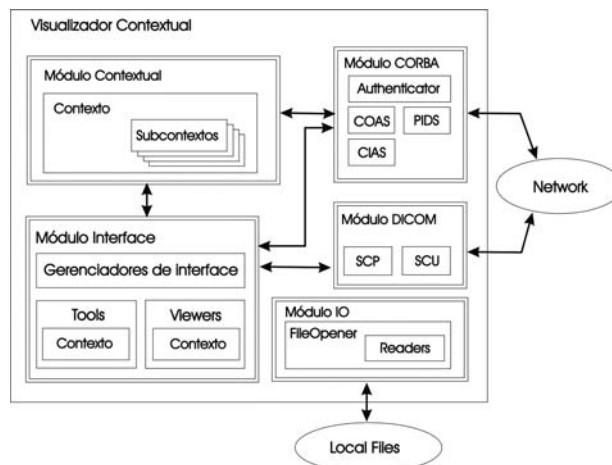


Figura 8. Módulos do Visualizador Contextual

A figura 8 apresenta os principais módulos da implementação do visualizador: O *módulo contextual* consiste, basicamente, de uma instância da classe contexto (o contexto raiz) com seus subcontextos gerados de acordo com a máquina, o usuário e as opções selecionadas em tempo de execução. O *módulo CORBA* compreende os sistemas de autenticação, o COAS, CIAS e PIDS, sendo todos acessados via CORBA. O *módulo DICOM* compreende a comunicação com entidades remotas através do protocolo Dicom. O *módulo IO* realiza de maneira transparente a leitura de imagens locais e as tornam disponíveis para o gerenciador de interface. O *módulo Interface* é responsável pelo gerenciamento da interface e definição de qual *Viewer* será selecionado para determinado tipo de imagem ou informação.

O visualizador implementado permite a apresentação de imagens de diversos formatos, modalidades e em diversos instantes de tempo. As operações possíveis sobre a imagem apresentada vão depender do seu tipo. A figura 9 ilustra a versão

atual do visualizador apresentando uma imagem de ventriculografia radioisotópica. Como se trata de uma seqüência de imagens, é possível a visualização dinâmica. Além disso, o visualizador disponibiliza o cálculo de fração de ejeção, que é um parâmetro importante calculado a partir da seqüência de imagens.

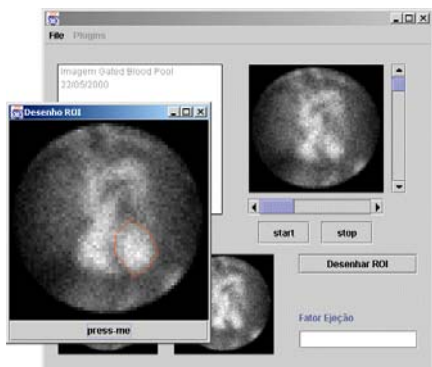


Figura 9. imagem de medicina nuclear

Discussão e Conclusões

Neste trabalho foram apresentados diversos aspectos abordados na criação de um ambiente distribuído e heterogêneo para visualização de imagens médicas, desde a etapa de adequação de infra-estrutura, servidores de imagens, desenvolvimento de modelos para dados e processos até a implementação de um protótipo de visualizador contextual. A utilização de padrões abertos em todas as etapas do desenvolvimento do projeto permitiu grande flexibilidade e robustez a todos os modelos e implementações realizados. Assim, os protótipos desenvolvidos para este projeto podem ser integrados a outros sistemas de forma transparente. Dois módulos implementados neste projeto já estão sendo utilizados em sistema de produção no Instituto do Coração: o servidor DICOM desenvolvido em Java neste projeto é atualmente utilizado para armazenamento e transmissão de imagens do PACS-InCor e o sistema de controle de acesso é utilizado para acesso ao Prontuário Eletrônico. Embora o objetivo inicial fosse a modelagem de dados de imagens médicas, o modelo e a infra-estrutura construídos são mais amplos e permitem a representação e manipulação de qualquer tipo de dado ou documento médico.

Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem à FAPESP, FINEP e à Fundação Zerbini pelo auxílio financeiro. Agradecemos também a todos os colegas do Serviço de Informática, que sempre contribuíram com valiosas sugestões e críticas ajudando a enriquecer este trabalho.

Referências

- [1] Object Management Group. (1999) *CORBA/IIOP 2.3.1 Specification.*, October, 1999. <http://www.omg.org/corba/corbaiiop.html>.
- [2] Object Management Group (1999). CORBAMED: Healthcare Domain Specifications. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/99-03-01.pdf>.
- [3] Object Management Group *Person/Patient Identification Service*. February, 1988, <http://www.omg.org/pub/docs/corbamed/96-11-02.rtf>.
- [4] Object Management Group. (1999). *Clinical Observation Access Service Final*. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?corbamed/99-03-25>
- [5] Object Management Group. (2000). *Clinical Image Access Service Revised Submission*. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?corbamed/00-02-01>
- [6] Object Management Group. (1999). *Lexicon Query Service*. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/99-3-6.pdf>.
- [7] Gutierrez, M.A., Furuie, S.S., Figueiredo, J.C.B., Yamaguti, M., Carvalho, T.C.C., Ruggiero, W.V., Spinardi, F.R., Blanes, M., Silveira, R.M., Pilon, P.E., Paiva, P.B., Sigulem, D. "Rede de alta velocidade para a transmissão, armazenamento e visualização de imagens médicas", *O Mundo da Saúde*, v.24, n.3, p.182-186.
- [8] National Electrical Manufacturers' Association. (1996). *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*. Rosslyn, Va: NEMA, 1996; PS 3.1-1996-3.13, 1996.
- [9] Nardon, F.B.; Rebelo, M.S., Furuie, S.S., Moura, L. "Modeling the Electronic Patient Record - The Heart Institute of São Paulo Case". *Toward an Electronic Patient Record (TEPR'2000)* - Proceedings, San Francisco, p. 150 a 164
- [10] Health Level Seven. (1996) HL7 Version 2.3 Specification. 1996.
- [11] Comitê de Padronização do Registro Clínico. (1999). "Conjunto Essencial de Informações do Prontuário para Integração da Informação em Saúde". Documento PRC: PRC-1999-11-12.
- [12] W3 Consortium. (1998). Extensible Markup Language (XML) 1.0. February, 1998. <http://www.w3.org/TR/1998/REC-xml-19980210>
- [13] Yeong, W.; Howes, T. e Kille, S. "Lightweight Directory Access Protocol." *Internet Engineering Task Force - IETF*, (1995), In: <http://www.ietf.org/rfc1777.txt?number=1777>.
- [14] Motta, G H. M. B., Furuie, S.S. "Um Modelo de Autorização e Controle de Acesso para o Prontuário Eletrônico de Pacientes em Ambientes Abertos e Distribuídos", *Rev. Bras. De Engenharia Biomédica*, v.17, p.141-150, 2001.

Contato

Sérgio Shiguemi Furuie, Diretor Unidade de P&D, Serviço de Informática do Instituto do Coração-HCFMUSP.

Tel: (11) 3069-5544.

E-mail: sergio.furuie@incor.br