

Suporte para Coleta e Persistência de Dados de Contexto em um Sistema de Monitoramento Domiciliar Remoto de Pacientes

Evandro L. Macedo¹, David B. Ferreira¹, Glauber Lemos¹, Alexandre Sztajnberg¹, Orlando Loques²

¹Dep. Informática e Ciência da Computação - Univ. do Estado do Rio de Janeiro
Maracanã – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

²Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense
Niterói – Rio de Janeiro – RJ - Brasil

{elmacedo,david,glauber,alexszst}@ime.uerj.br, loques@ic.uff.br

Resumo. *O Sistema de Monitoramento Domiciliar da Saúde é uma aplicação de telemonitoramento, que assiste pacientes idosos em suas residências. Sensores são implantados para monitorar o ambiente e equipamentos de coleta de informações fisiológicas (pressão arterial, ritmo cardíaco, entre outros) obtêm, em conjunto, o contexto do paciente. Neste artigo é apresentada a arquitetura do módulo de coleta de dados de contexto que são avaliados por um sistema na residência do paciente. Os dados avaliados são também transmitidos e persistidos em um banco de dados da Central de Monitoramento, onde uma equipe médica pode acionar procedimentos específicos necessários.*

Abstract. *The Home Health Monitoring System is a telemonitoring application, which assists elderly patients in their homes. Sensors are deployed to monitor the ambient and medical equipments measure physiological information (blood pressure, heart rate, etc.) in order to get a set of contextual information of the patient. In this paper the architecture of the module that collects these context information, which are evaluated by a system running in the patient's home, is presented. The evaluated data is also transmitted and persisted in a remote database located in a Monitoring Center, where a medical team can trigger specific procedures if necessary.*

1. Introdução

A partir do recente desenvolvimento na área de redes de alta velocidade [RNP 2009], tornou-se possível a aplicação de novos paradigmas para levar assistência médica de qualidade a pacientes residindo em áreas onde existe carência de profissionais da área de saúde ou onde as melhores técnicas de diagnóstico ainda não foram implantadas. Sistemas e aplicações neste contexto são chamados genericamente de telemedicina.

O notável crescimento da população de 3ª idade no país [IBGE 2010] e o alto número de pacientes com doenças crônicas são exemplos de fatores que têm elevado a demanda pelos serviços de assistência domiciliar, onde o paciente é tratado em sua própria residência, proporcionando maior conforto e comodidade, além de redução de custos com internação [Fabrício et al 2004]. Uma abordagem específica de telemedicina, a assistência domiciliar remota, tem sido investigada com o objetivo de monitorar e avaliar constantemente o estado de saúde do paciente. Dados fisiológicos e

do ambiente são coletados e transmitidos para uma Central de Monitoramento que pode atuar em situações específicas, acionando procedimentos de emergência, contatando o médico ou mesmo familiares do paciente.

O Sistema de Monitoramento Domiciliar da Saúde (SMDS) está sendo desenvolvido de forma a atender aos requisitos fundamentais para implantação dos serviços de assistência domiciliar remota. Este projeto conta com a participação de equipes das áreas de Ciência da Computação e Medicina da UFF e da UERJ. Um dos objetivos mais amplos é a realização de testes clínicos em pacientes reais seguindo protocolos definidos pelas equipes médicas.

Um dos aspectos importantes do SMDS é o suporte de software para a obtenção dos dados fisiológicos do paciente e dados do ambiente, coletados na sua residência e transmitidos e persistidos em uma Central de Monitoramento. Entre as características desejadas estão a mínima interferência no cotidiano do paciente, facilidade de integração de novos sensores e equipamentos de medição, facilidade para adaptar o sistema a vários tipos de patologias, e tolerância a falhas, de forma que os dados coletados sejam armazenados com a segurança necessária.

Neste artigo apresenta-se a arquitetura do Módulo Coletor responsável (i) pela obtenção de dados fisiológicos do paciente e dados monitorados do ambiente, que chamamos coletivamente de dados de contexto, (ii) pela transmissão dos dados para a Central de Monitoramento, que persiste os dados obtidos numa base relacional. Um protótipo preliminar do Módulo Coletor foi desenvolvido e integrado ao SMDS, e serviu de base para a elaboração da arquitetura proposta.

O restante das seções está estruturado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta a estrutura geral do SMDS. A arquitetura do Módulo Coletor é discutida na Seção 3. Aspectos da persistência e tolerância a falhas são abordados na Seção 4. A Seção 5 apresenta o protótipo mencionado. Na Seção 6 são discutidos trabalhos relacionados. Finalmente, a Seção 7 apresenta algumas conclusões e trabalhos futuros.

2. O Sistema de Monitoramento Domiciliar da Saúde

O SMDS provê a infraestrutura para o gerenciamento de todo processo de telemonitoramento do paciente, desde a coleta até a interpretação dos dados, bem como a interface para consulta de dados pelos diversos atores (médicos, cuidadores, técnicos, o próprio paciente, etc.).

Em nossa abordagem (Figura 1), cada cômodo da casa tem um conjunto de sensores de ambiente (temperatura, luminosidade e umidade). O sistema de climatização da casa e as TVs Digitais são capazes de receber e exibir mensagens e também são parte da aplicação. Pontos de Acesso Wi-Fi são instalados, permitindo a comunicação sem fio dos dispositivos com o computador local e permitem a localização do paciente na casa.

O paciente deve portar uma *tag* de localização e um sensor de movimento, de forma que o sistema consiga registrar sua localização dentro da residência e sua atividade (parado, sentado, movimento leve, movimento acelerado). Além disso, o paciente, ou um cuidador, deve colocar o equipamento de medição de dados fisiológicos e realizar a medida quando for assim orientado pelo Plano de Cuidados. Um sistema de notificação poderá emitir um alerta para o paciente ou cuidador ajudando na aderência ao tratamento, lembrando-o desta atividade.

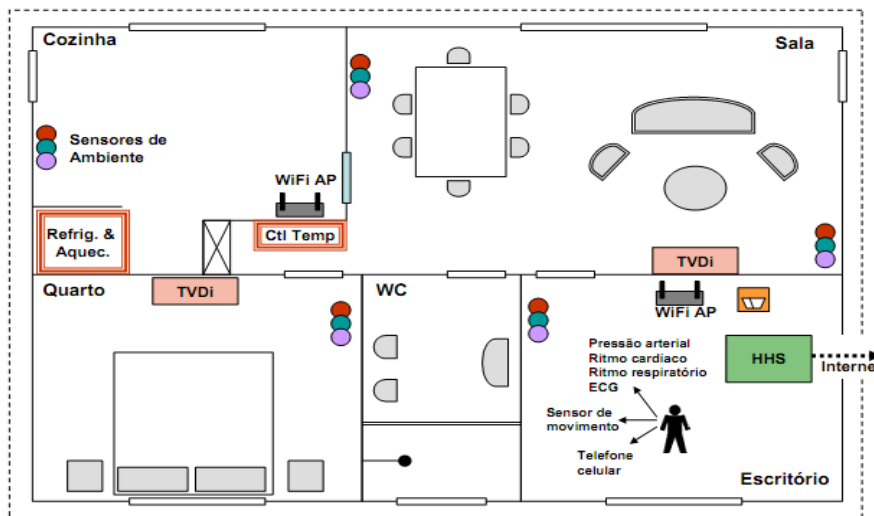


Figura 1. Cenário-alvo da aplicação de monitoramento remoto

A implantação dos diversos elementos e a estrutura do SMDS segue a distribuição ilustrada na Figura 2.

Os módulos de Plano de Cuidados, Coleta, Análise e Agendamento executam em um computador localizado na residência do paciente, possibilitando o início de ações locais e a persistência dos dados coletados localmente por questões de redundância.

- **Plano de Cuidados:** Contém as atividades, cronograma de medições e ingestão de medicamentos prescritos pelo médico;
- **Coletor:** Monitora sensores e aparelhos para coletar dados de contexto;
- **Análise:** Aplica uma série de regras e utiliza um modelo de lógica *fuzzy* para inferir o estado do paciente, tendências de gravidade ou situações críticas. Este módulo deve ser configurado de acordo com a patologia associada ao paciente;
- **Agendamento:** Programado para enviar mensagens de alerta, transmitir dados de contexto para a Central de Monitoramento e disparar ações pré-configuradas em momentos específicos segundo o Plano de Cuidados recebido da Central.

Na Central de Monitoramento os dados dos vários pacientes (e respectivos dados de anamnese e dados de contexto), médicos e outros atores do sistema são persistidos em uma base de dados relacional.

- **Persistência:** No sistema local uma camada de persistência prepara os dados de contexto coletados para serem transmitidos e persistidos numa base de dados na Central de Monitoramento. Na Central o módulo de persistência oferece os mecanismos necessários para o armazenamento e recuperação dos dados com independência do gerenciador específico;
- **Interação:** Controla a apresentação dos dados monitorados, fornecendo visões apropriadas para cada ator do sistema, ou seja, o paciente, membros da sua família e profissionais de saúde autorizados.

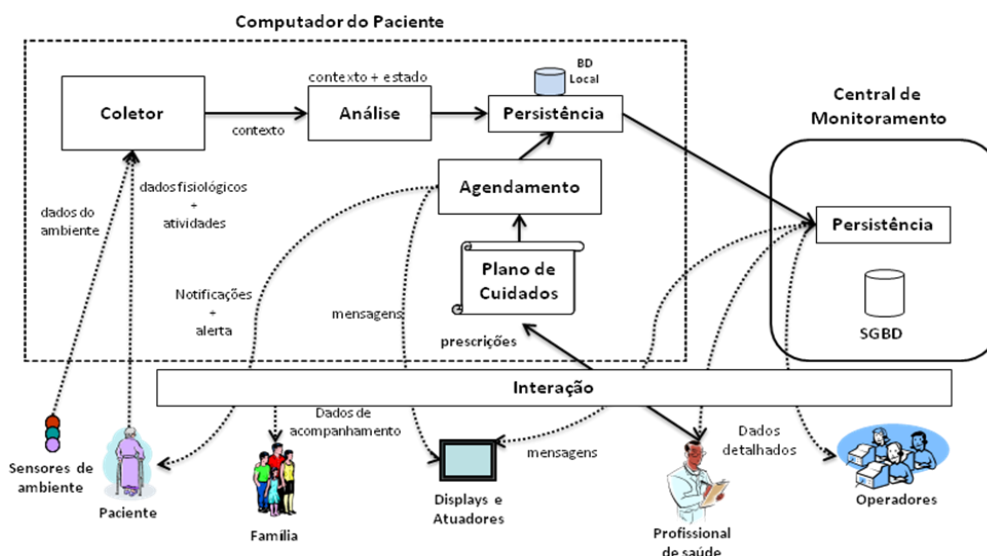


Figura 2. Estrutura do sistema de monitoramento remoto

Médicos, pacientes, cuidadores e familiares podem ter acesso à visualização dos dados através da Internet, com as devidas credenciais. Médicos também podem acompanhar a evolução do paciente ou alterar o Plano de Cuidados através desta mesma interface. Na Central de Monitoramento a equipe médica tem acesso privilegiado aos dados, acessados através de rede local.

3. O Módulo Coletor

O Módulo Coletor é responsável pela aquisição dos dados dos sensores de ambiente e dos equipamentos de medidas fisiológicas. É empregado o estilo arquitetônico de partições, base para a arquitetura de servidor concorrente, onde cada agente concorrente tem a finalidade de adaptar um sensor, independentemente dos outros agentes, coletando suas informações e tratando-as de acordo com as suas características específicas. Além disso, têm a responsabilidade de transformar os dados recebidos dos diversos sensores em uma estrutura de dados única, de forma a facilitar a persistência.

Como padrão de arquitetura de software, foi escolhido o *Model-View-Controller* (Figura 3). A adoção deste padrão proporciona menor acoplamento e maior coesão, tornando possível, por exemplo, a alteração do layout da interface sem afetar a maneira que os dados são tratados, e vice-versa [Burbeck, 1992].

Na camada de Lógica de Negócio (*Model*) encapsulam-se as classes que representam as medidas, os dispositivos e o usuário do sistema.

Na camada de Apresentação (*View*) estão agrupados, no sub-pacote *Devices*, todas as classes que recebem as entradas do sistema, mais especificamente as que recebem os dados dos diferentes tipos de dispositivos. Qualquer novo dispositivo que tenha que ser integrado ao sistema deve implementar a interface *Device*. Ainda na camada *View* encontram-se os controladores, no pacote *Controller*, com a finalidade de orquestrar as requisições feitas através das classes de fronteira, repassando para a camada *Model* para que os objetos sejam persistidos pela camada de Persistência.

A camada de Persistência complementa a arquitetura MVC com as classes responsáveis pela persistência dos dados. As classes com esse fim estão no pacote *Persistence*. Mais detalhes sobre persistência podem ser encontrados na Seção 4.

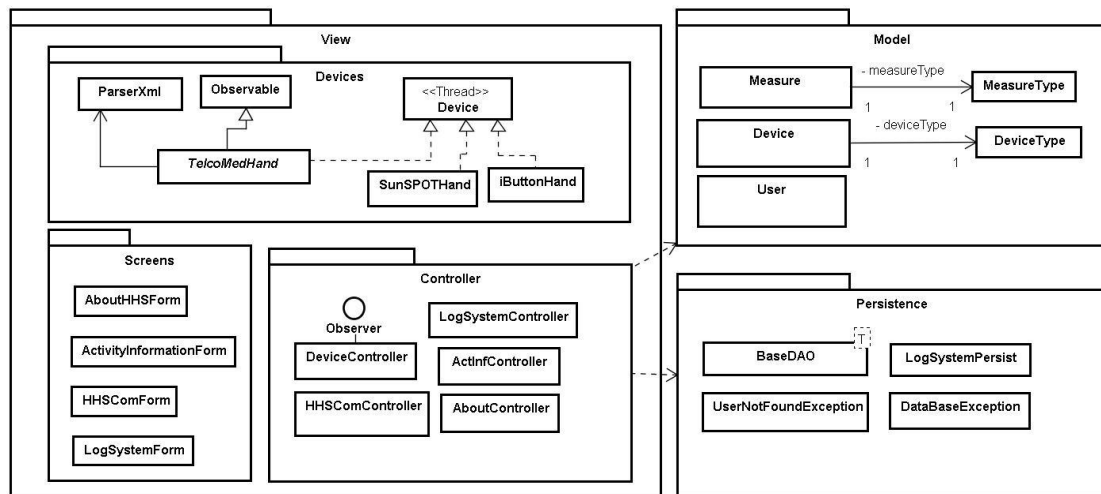


Figura 3. Arquitetura do Módulo Coletor

3.1. Funcionamento

A arquitetura proposta oferece suporte aos vários procedimentos que necessitam de comunicação e persistência. O diagrama da Figura 4 resume os casos de uso identificados para o SMDS, descritos a seguir.

- **Autenticar Usuário.** O paciente tem de realizar medidas fisiológicas de acordo com o Plano de Cuidados. Para que estas medidas sejam armazenadas no banco de dados da Central de Monitoramento, o Módulo Coletor deverá estar executando e o paciente devidamente identificado e autenticado.
- **Realizar Medida.** Após ser realizada pelo paciente ou cuidador, a medida recebida no sistema é tratada de forma adequada, analisada e em seguida enviada para persistência.
- **Analisar Medida.** Uma medida foi realizada pelo paciente e dependendo do valor desta, uma situação de alerta pode ser caracterizada. Regras são aplicadas ao valor da medida para inferir o nível de alerta de uma medida.

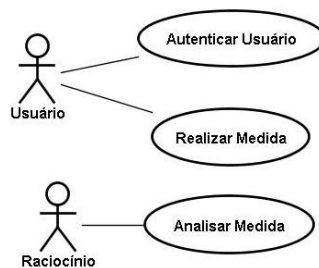


Figura 4. Diagrama de Caso de Uso

Na Figura 5 a seqüência de eventos para o caso Realizar Medida é ilustrada destacando-se como os elementos da arquitetura proposta são utilizados.

Um objeto da classe *MiniGateHand*, que controla um dispositivo da TelcoMed (ver Seção 5), aguarda a chegada de uma mensagem (via *socket*) que traz uma *string* XML contendo as medidas fisiológicas. Quando a mensagem é recebida, a *string* XML é passada para a classe *ParseXML* para que as medidas sejam extraídas.

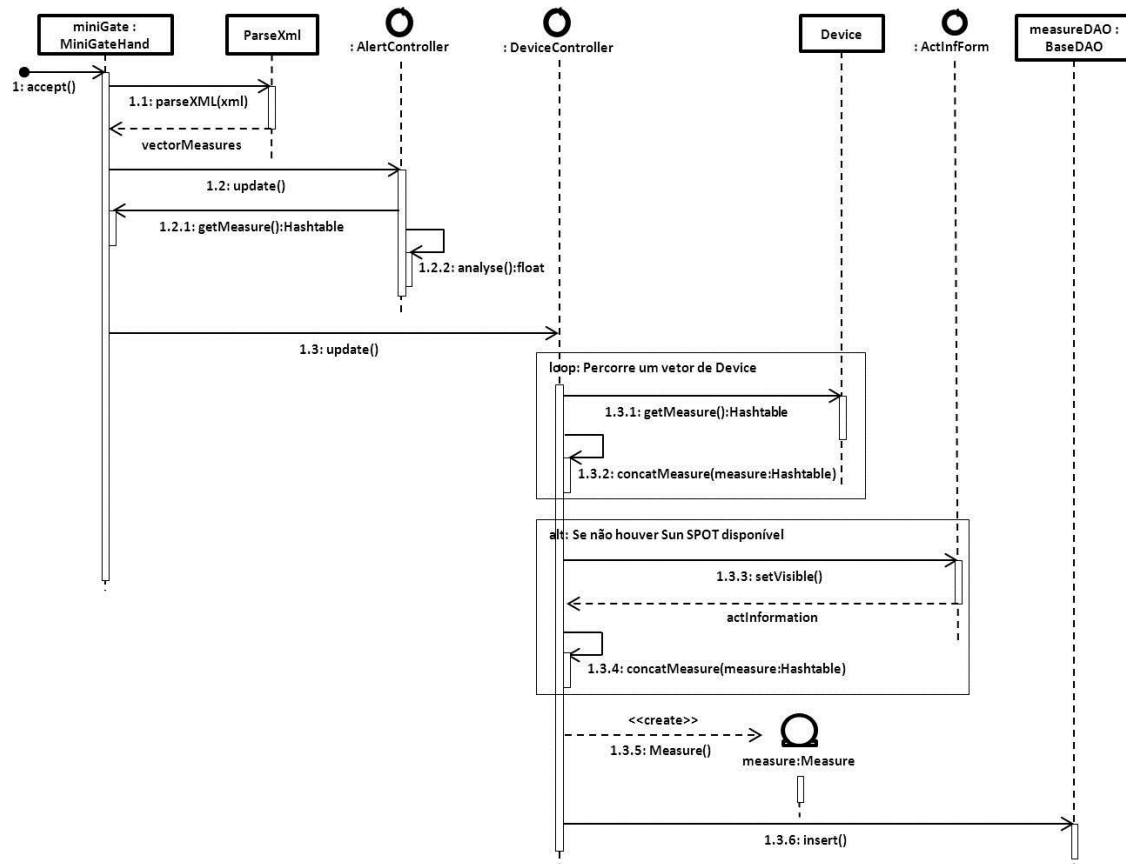


Figura 5. Diagrama de Sequência de Medida Realizada

Quando o *parse* é concluído, os observadores da classe *MiniGateHand* são notificados para dar continuidade ao fluxo do programa. O observador *AlertController* inicia o Módulo de Análise dos dados e o *DeviceController* inicia a coleta dos dados de sensores de ambiente e de atividade do paciente.

Assim que todos os dados fisiológicos, de ambiente e de atividade são coletados, formando os dados de contexto, estes são formatados de acordo com a Camada *Model* e então enviados para a Camada de Persistência. Essa por sua vez envia os dados para um servidor de banco de dados na Central. Caso isso não seja possível, os dados coletados são armazenados localmente para posterior envio.

4. Aspectos da Comunicação e Persistência

O Módulo Coletor contempla aspectos de persistência para armazenamento dos dados de contexto gerados pelo paciente e seu ambiente residencial. Esse tipo de procedimento é suscetível a falhas e, portanto, deve conter rotinas de tratamento de falhas de forma a aumentar a confiabilidade do sistema.

O armazenamento dos dados obtidos pelo Módulo Coletor é realizado pela Camada de Persistência e tem por objetivo manter uma base de dados com informações atualizadas sobre as medidas do paciente, produzindo assim um contexto capaz de auxiliar a equipe médica na tomada de decisão. A estrutura do banco de dados foi minimamente normalizada, e definida para acomodar dados de pacientes, médicos, operadores, os planos de cuidado, agendamentos, as medidas capturadas, entre outros.

Esta estrutura é flexível, prevendo que novos sensores poderão ser incorporados ao sistema, novas medidas realizadas, novos usuários, etc.

A comunicação entre o sistema na casa do paciente e a Central pode sofrer discontinuidades. Por exemplo, uma medida realizada pode não ser transmitida para a Central por falha na conexão. Para mitigar estes problemas as medidas coletadas são temporariamente persistidas no sistema local. Assim, mesmo que o aplicativo seja encerrado, a medida não será perdida. Quando a conexão é restabelecida ou mesmo se a aplicação é reiniciada, uma nova tentativa de envio seria agendada. Além disso, os operadores da Central de Monitoramento são alertados caso a comunicação com o paciente seja interrompida. Dessa forma, procedimentos alternativos de comunicação com o paciente podem ser estabelecidos.

5. Protótipo

Um protótipo do sistema foi desenvolvido para uma primeira avaliação, servindo de base para a elaboração da arquitetura proposta neste trabalho. Durante o desenvolvimento foi possível avaliar a dificuldade da integração de dispositivos de fabricantes diferentes e também refinar o modelo do banco de dados.

O protótipo do Módulo Coletor foi implementado em Java. Este coleta dados de dispositivos de diferentes fabricantes (Seção 5.1). Ao iniciar o sistema o paciente deve informar sua identificação por questões de segurança. Somente após a confirmação de sua identificação pela Central os dados podem ser coletados, com a certeza de que as medidas realizadas serão atribuídas ao paciente identificado.

Os eventos que ocorrem no sistema local, como medidas recebidas, exceções geradas ou falhas, são registradas num *log* e persistidas em arquivo (facilitando também o acompanhamento da execução do protótipo).

A camada de Persistência utiliza um driver JDBC para conectar um Sistema Gerenciador de Banco de Dados PostgreSQL [PSQL 2010] na Central e transmitir os dados coletados. Como *framework* de persistência adotou-se o *Hibernate* [Hibernate 2011]. O mapeamento dos dados coletados segue o padrão para mapeamento objeto-relacional especificado na *Java Persistence API* [JPA 2011] e são descritos através de *anotações*.

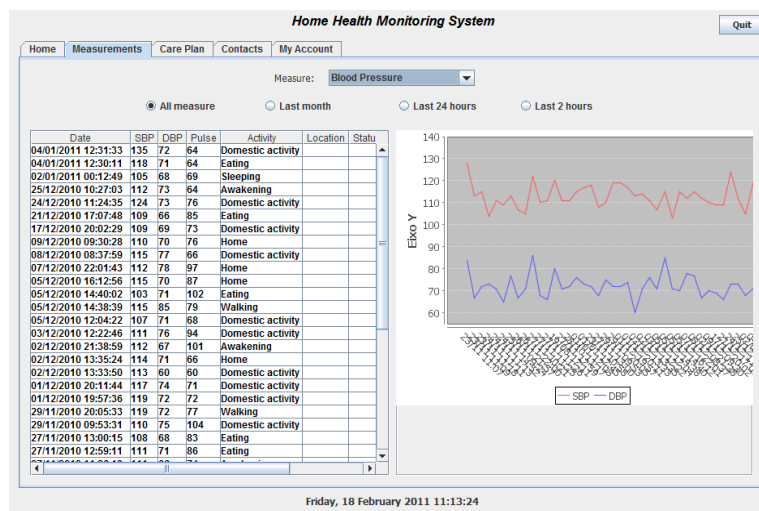


Figura 6. Visualização dos dados pelo paciente

A visualização dos dados coletados, dados cadastrais e Plano de Cuidados é feita através um *Applet*, sendo as informações exibidas de forma diferente de acordo com a visão de cada usuário. Dessa forma, os usuários podem ter acesso de qualquer lugar que estejam, desde que tenham conexão com a Internet. A Figura 6, apenas como ilustração, mostra a visão do paciente.

5.1. Integração dos Sensores

Durante o desenvolvimento do protótipo pesquisaram-se equipamentos e sensores que atendessem ao requisito de mínima interferência do cotidiano do paciente. Assim, foram selecionados dispositivos sem fio e de fácil utilização.



Figura 7. (a) Equipamento da TelcoMed. (b) Kit SunSPOT

Para a captura dos dados fisiológicos é utilizado um equipamento da empresa TelcoMed (Figura 7(a)), capaz de coletar medidas de pressão arterial, ritmo cardíaco, saturação de oxigênio (SpO2) e temperatura corporal [TelcoMed 2011].

Alguns sensores de ambiente também foram testados no protótipo, como sensores de luminosidade e temperatura. Para este fim, foi utilizado um kit o Sun SPOT (Figura 7(b)). Os dados coletados pelos sensores são enviados ao Módulo Coletor, com o padrão de rede IEEE 802.15.4 através de estação SPOT base [SunSPOT 2011].

O Módulo Coletor contém classes que tratam os dados de cada dispositivo separadamente, para atender as particularidades de interface das mensagens de cada dispositivo. Por exemplo, para integrar os dispositivos da TelcoMed foi necessário adaptar uma classe que recebesse as mensagens que estão no formato XML, fazendo um *parse* para extrair os valores das medidas. Além disso, o fabricante oferece uma API em .NET, o que levou ao desenvolvimento de rotinas em C#.

Na arquitetura proposta a integração destes dispositivos é realizada encapsulando-se os elementos específicos em uma classe que implemente a interface *Device*. Com isso, o sistema fica preparado para receber outros sensores ou equipamentos médicos de outros fabricantes.

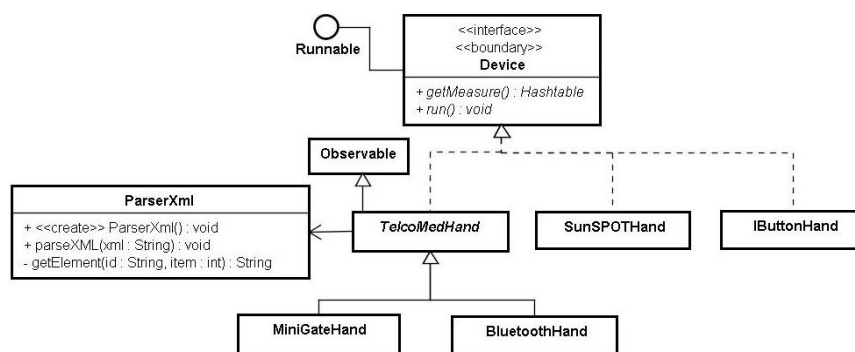


Figura 8. Dispositivos mapeados em classes Device

A Figura 8 ilustra a integração de dispositivos SunSPOT [SunSPOT 2011] e iButton [iButton 2011], além dos dispositivos da TelcoMed. Por exemplo, os acionadores para o recebimento de uma medida realizada por um equipamento da TelcoMed são integrados através da classe *TelcoMedHand* e suas especializações. Esta classe, juntamente com as classes *DeviceController* e *AlertController*, implementam o padrão de projeto Observador (*Observer*). Estas classes controladoras são observadoras da classe *TelcoMedHand* que, quando uma medida é recebida, notifica seus observadores para que atualizem seus estados ou executem procedimentos.

6. Trabalhos Relacionados

Diversos trabalhos na área de telemedicina e *smart homes*, na indústria e na área acadêmica estão relacionados ao nosso projeto. Por exemplo, a Medic4All, braço de serviços da TelcoMed oferece um serviço de monitoramento remoto, entretanto não considera dados do ambiente e nem realiza análises automáticas dos dados.

Especificamente em relação à coleta de dados fisiológicos, a organização Contínua Alliance [Continua 2011] tem estabelecido padrões para a descrição de metadados e a transmissão dos mesmos baseados em WiFi, o que facilitaria a coleta dos dados com comodidade para o paciente, porém, até o presente momento, não conseguiu-se identificar fornecedores com produtos disponíveis. Fornecedores como [Polymap, 2011] e [H3 System, 2011] oferecem elementos de *hub* onde dispositivos com tecnologia de comunicação específica são integrados.

Outro projeto que também se destaca é a RUTE (Rede Universitária de Telemedicina) [RUTE, 2011], uma iniciativa do Ministério da Ciência e Tecnologia que apoia o aperfeiçoamento de projetos em telemedicina e o surgimento de futuros trabalhos, através da provisão de uma infraestrutura de serviços de comunicação de alta capacidade com o uso da Internet2, bem como parte dos equipamentos necessários para os grupos de pesquisa. Muitos hospitais universitários já utilizam essa infraestrutura, como é o caso do HUPE (ligado à UERJ).

7. Conclusão

O projeto de pesquisa integra equipes da área de Ciências da Computação e Medicina da UFF e UERJ, com financiamento parcial da Faperj. Dentro do projeto vários aspectos ligados à computação, tais como computação ubíqua, sistemas inteligentes, linhas de produto baseadas em contratos e interface humano-computador são pesquisados [Carvalho 2010, Copetti 2009]. Detalhes em <http://www.tempo.uff.br>.

O foco deste artigo está na apresentação da arquitetura e discussão de aspectos importantes do Módulo Coletor, elemento chave do SMDS. Durante a implementação deste módulo, a adaptação da interface de programação dos diversos dispositivos foi a preocupação central e, ainda num estágio inicial, um simulador para os dispositivos foi desenvolvido em Java para testar a arquitetura de servidor concorrente.

A partir da primeira avaliação do protótipo, modificações foram introduzidas, incorporando técnicas de Engenharia de Software para facilitar integração de novos dispositivos, principalmente para permitir o desacoplamento entre os diversos tratadores. Alguns dispositivos utilizam protocolos proprietários, outros utilizam interfaces padronizadas como Bluetooth ou ZigBee. Assim, a arquitetura proposta e a estrutura da camada de persistência foram elaboradas com base nesta primeira etapa.

Atualmente uma avaliação clínica com pacientes está sendo planejada pela equipe médica da UFF. Protocolos da área médica estão sendo avaliados pelo comitê de ética do HUAP (hospital universitário ligado à UFF).

Como próximos passos tem-se como objetivos incorporar os elementos desta arquitetura no protótipo utilizado na avaliação clínica para verificar seu comportamento e realizar os ajustes necessários. Além disso, alguns módulos do SMDS precisam ser desenvolvidos ou aprimorados, entre eles a Central de Monitoramento com os respectivos serviços de alerta e comunicação com os usuários do sistema e o Módulo Coletor em si, bem como a interface de visualização das medidas (Figura 6).

Com uma segunda versão do protótipo e os resultados obtidos na primeira avaliação clínica uma nova avaliação poderá ser programada.

Agradecimentos. Os autores agradecem o apoio da Faperj e do PIBIC CNPq e UERJ.

Referências

- Burbeck, S. (1987, 1992). Applications Programming in Smalltalk-80: How to use Model-View-Controller (MVC). Smalltalk Archive. <http://st-www.cs.uiuc.edu/users/smarch/st-docs/mvc.html>, [Jan / 2011]
- Carvalho S.T. et al. Monitoramento Remoto de Pacientes em Ambiente Domiciliar. Salão de Ferramentas, SBRC 2010, Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil, 2010.
- Continua Health Alliance (2011), “Personal Telehealth Overview” [“http://www.continuaalliance.org](http://www.continuaalliance.org), [Jan / 2011].
- Copetti, A. et al (2009). Intelligent context-aware monitoring of hypertensive patients. In 1st Workshop for Situation Recognition and Medical Data Analysis, Londres, UK.
- Fabício, S. C. C. et al. (2004). Assistência domiciliar: a experiência de um hospital privado do interior paulista. Revista Latino-Americana de Enfermagem, Vol.12, No. 5, Ribeirão Preto, Setembro/Outubro.
- H3 System (2011), “H3 System”, <http://www.h3system.co.kr/> [Jan/2011].
- Hibernate (2011), “Relational Persistence for Java & .NET”. <http://www.hibernate.org/>, [Jan/2011].
- IBGE (2008). “Projeção da População do Brasil: População brasileira envelhece em ritmo acelerado”, http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impresao.php?id_noticia=1272, [Jan / 2011].
- iButton (2011), “What is an iButton?”. <http://www.maxim-ic.com/products/> [Jan/2011].
- Polymap Wireless (2011), “The Polytel® System Overview”, <http://www.polymapwireless.com/> [Jan/2011].
- PostgreSQL Global Development Group (2011), "PostgreSQL: Documentation: Manuals", <http://www.postgresql.org/docs/8.3/interactive/> [Jan/2011].
- RNP (2009). “Internet2”, <http://www.rnp.br/redes/internet2.html>, [Jan / 2011].
- RUTE (2011). “Rede Universitária de Telemedicina”, <http://rute.rnp.br/>, [Mar / 2011]
- Sun SPOT (2011), “Sun SPOT World Program The World!”, <http://www.sunspotworld.com/>. [Jan / 2011].
- Telcomed (2011), “TelcoMed Industries”, <http://www.telcomed.ie/>, [Jan/2011].