

Uma Arquitetura para a Internet das Coisas Aplicada a Sistemas de Saúde Conectada

Danilo F. S. Santos¹, Hyggo O. Almeida¹, Angelo Perkusich¹

¹Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
Caixa Postal 10.105 – 58.429-900 – Campina Grande – PB – Brasil

danielosantos@copin.ufcg.edu.br, hyggo@dsc.ufcg.edu.br,
perkusic@dee.ufcg.edu.br

Abstract. *The Internet of Things paradigm enables a new set of applications and services to be available in the Internet. At the same time, the increasing availability of connected Personal Health Devices (PHD) creates a new set of services where health information is available in the Internet, creating the Connected Health vision. This article, therefore, discusses aspects of Connected Health systems in an Internet of Things world. It is presented a reference architecture based on IEEE 11073 family of specifications and on TCP/IP. At the end, it is presented a work in progress proposal that enables PHDs to connect directly to the Internet using IEEE 11073 and CoAP protocol.*

Resumo. *O cenário introduzido pela Internet das Coisas potencializa a criação de um novo conjunto de aplicações e serviços. Em paralelo, com a crescente disponibilidade de Dispositivos Pessoais de Saúde com interfaces de comunicação, um novo cenário onde informações de saúde podem ser disponibilizadas na Internet se cria, viabilizando a Saúde Conectada. Este artigo, portanto, faz uma análise de vários aspectos da Saúde Conectada em relação à Internet das Coisas. É apresentada uma arquitetura de referência baseada na família de especificações IEEE 11073 e o protocolo TCP/IP. Ao final do artigo é feita uma análise crítica da arquitetura, e é apresentado um trabalho em andamento que faz uso do protocolo CoAP com o IEEE 11073.*

1. Introdução

Com o aumento dos custos relativos ao cuidado com a saúde pessoal, e com uma demanda crescente por novos serviços para o tratamento de doenças crônicas, novos desafios e oportunidades se apresentam no que diz respeito a serviços de saúde [Carroll et al. 2007]. Neste cenário, o uso da tecnologia para o monitoramento de pacientes vem crescendo ano após ano. Esse interesse crescente por tecnologias de monitoramento de saúde impulsiona o desenvolvimento de novos Dispositivos Pessoais de Saúde (DPS) com interfaces de comunicação embutidas, como USB, Bluetooth ou ZigBee. Exemplos de DPS incluem medidores de pressão arterial ou glicosímetros. Neste cenário, dados pessoais de saúde são coletados por DPS e são enviados para a Internet através de suas interfaces de comunicação. Deste modo, profissionais da área de saúde podem monitorar

a evolução do estado de saúde dos pacientes remotamente e tomar ações com antecedência, evitando complicações futuras. Este processo, em conjunto com as tecnologias envolvidas, é conhecido como Saúde Conectada.

Neste contexto, um sistema de Saúde Conectada viabiliza um cenário onde os DPS se conectam com a Internet para exportar seus dados, portanto, construindo a Internet das Coisas (*Internet of Things*) para a área de saúde. Podem-se vislumbrar casos de uso onde um DPS faz a coleta dos dados de saúde do paciente, e estes dados são compartilhados automaticamente com o seu médico, sem interação humana e transparentemente. Portanto, faz-se necessária a definição e utilização de padrões para a representação dos dados de saúde e sua comunicação com a Internet.

Este artigo, portanto, faz uma análise dos sistemas de Saúde Conectada em relação aos DPS utilizados na coleta de dados. Os DPS são classificados pelo modo como eles exportam seus dados para a Internet e em seguida são discutidos aspectos que dificultam a utilização na Internet das Coisas dos DPS atualmente disponíveis no mercado. Após esta discussão é apresentada uma proposta de arquitetura que viabiliza a Internet das Coisas para a Saúde Conectada através do uso de protocolos padronizados como o IEEE 11073 [IEEE 2010]. Ao final do artigo é feita uma avaliação da arquitetura apresentada em relação ao uso de TCP/IP, e por fim é apresentada uma nova proposta que faz uso de protocolos específicos para dispositivos embarcados.

2. Sistemas de Saúde Conectada

Sistemas de Saúde Conectada possibilitam a coleta de Informações Pessoais de Saúde (IPS) automaticamente, e o seu envio e armazenamento na nuvem. Seguindo esse ponto de vista, o primeiro passo é a coleta automatizada dessas informações por Dispositivos Pessoais de Saúde (DPS) utilizando interfaces de comunicação como Bluetooth, ZigBee ou USB. Após a coleta, a informação deve ser enviada para a nuvem, e neste ponto podem-se classificar os DPS por seus modos de envio de informação:

- DPS dependente de *Gateway* de Dados de Saúde: São dispositivos que geram informações de saúde e as compartilham utilizando um *gateway* coletor, o qual encapsula ou transforma a informação para que esta seja enviada para a Internet.
- DPS preparado para a Internet: São dispositivos que já geram a informação de saúde preparada para Internet, ou seja, já encapsulam a informação em um formato IP, de modo que não é necessária qualquer alteração para trafegar na Internet.

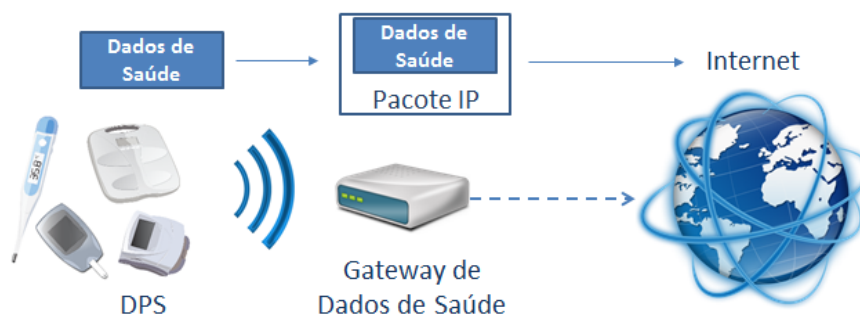


Figura 1. DPS dependentes de *Gateway* de Dados de Saúde

A maioria dos DPS atuais disponíveis no mercado depende de *gateways* de dados de saúde para enviar a informação para a Internet, como ilustrado na Figura 1. É importante perceber que os dados de saúde podem ser alterados durante o encapsulamento de dados no *gateway*. Essa operação pode gerar perda ou alteração semântica dos dados, o que do ponto de vista de dados de saúde não é tolerado.

Considerando DPS preparados para a Internet, o transporte dos dados é mais simples, como ilustrado na Figura 2. A informação é gerada e compartilhada em um formato para tráfego na Internet, portanto, os dados apenas vão trafegar por *gateways* de Internet, os quais não alteram a informação, portanto, reduzindo a probabilidade de erros na manipulação dos dados.

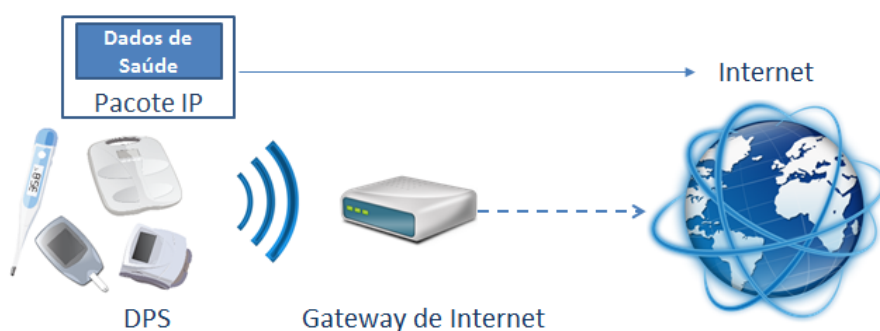


Figura 2. DPS preparado para a Internet

Com essa definição de tipos, pode-se observar a estrutura interna de um DPS através de sua modularização em três módulos:

- Módulo de Sensoriamento, o qual é responsável pela coleta das informações do meio físico através de sensores, e do envio para o módulo de controle.
- Módulo de Controle, o qual é responsável pela manipulação e processamento dos dados recebidos dos sensores.
- Módulo de Comunicação, o qual é responsável pelo envio e compartilhamento das informações de saúde coletadas pelo DPS.

O trabalho nesse artigo é focado no módulo de comunicação. Considerando a classificação de DPS, seus respectivos módulos de comunicação podem ser divididos em diferentes camadas como ilustrado na Figura 3.

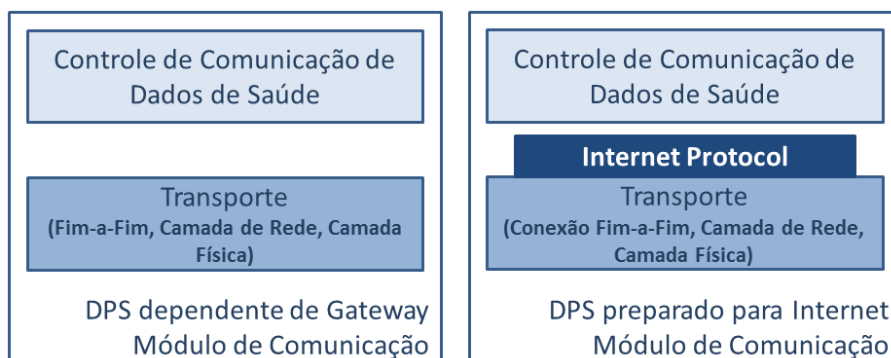


Figura 3. Comparação entre módulos de comunicação de diferentes DPS

Em comum, os dois módulos têm uma camada de controle de comunicação de dados de saúde. Para esta camada, na arquitetura que será apresentada nas próximas seções, foi escolhido o uso da família de especificações ISO/IEEE 11073 [IEEE 2010], a qual é um padrão amplamente testado e adotado pela indústria e por associações como o *Continua Health Alliance*,¹ o qual trabalha na definição de normas que promovem a padronização e interoperabilidade entre dispositivos e serviços de saúde. O *Continua Health Alliance* [Carroll et al. 2007] vislumbra um cenário onde os dados de saúde são enviados para a nuvem através de *gateways* ou gerenciadores de dados de saúde.

2.1. Trabalhos Relacionados

O conceito de aplicações médicas na Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) já vem sendo discutido por vários autores. Em [Zhao et al. 2011] são analisados aspectos relacionados ao uso de redes de sensores corporais e a Internet, onde é apresentada uma plataforma de gerenciamento e monitoramento de informações de saúde. O trabalho apresentado em [Istepanian et al. 2011] apresenta o conceito do *Internet of m-Health Things* (m-IoT). Neste trabalho é apresentada uma arquitetura baseada em sensores IEEE 802.15.4 e o protocolo 6LoWPAN. Entretanto, não é discutido um modelo de comunicação de dados de saúde padronizado entre os DPS e o sistema de gerenciamento.

Em [Tarouco et al. 2012] são discutidos problemas de segurança, privacidade e interoperabilidade, destacando exatamente o problema de interoperabilidade proporcionado pelo uso de formatos proprietários na representação de dados de saúde. Esses problemas resultam na necessidade do uso de *gateways* para dados de saúde.

Outros trabalhos [Bazzani et al. 2012][Santos et al. 2013][Lasierra et al. 2012] apresentam middlewares que viabilizam a comunicação de DPS com a Internet através de *gateways* intermediários. Alguns destes trabalhos discutem e fazem uso de protocolos padronizados para dados de saúde, como o IEEE 11073. Entretanto, cada solução faz uso de meio de transporte diferente, seja UPnP (*Universal Plug and Play*) [UPnP 2008] ou XMPP (*Extensible Messaging and Presence Protocol*).

Portanto, em comum, dentre os trabalhos relacionados, nenhum faz uso de um modo de comunicação padronizado utilizando IEEE 11073 sem o uso de *gateways* específicos para dados de saúde.

2.2. O Padrão IEEE 11073

Dois tipos de dispositivos são definidos pelo IEEE 11073: Agentes e Gerenciadores. Agentes são produtores de dados, tipicamente dispositivos sensores como um DPS. Gerenciadores, por sua vez, são os coletores de dados. A conexão entre os dispositivos pode ocorrer em qualquer direção, entretanto, normalmente, o Agente tem a iniciativa de conexão, pois o mesmo tem ciência de quando os dados estão disponíveis, por exemplo, quando um paciente faz uma medição de glicose utilizando um DPS. O IEEE 11073 tem como base o requisito que Agentes são dispositivos sensores com poucos recursos computacionais e com limitações de bateria, enquanto um Gerenciador é tipicamente um

¹ <http://www.continuaalliance.org>

dispositivo com mais recursos computacionais e está conectado a uma fonte de energia maior. Portanto, a maior complexidade computacional do IEEE 11073 está no Gerenciador.

A especificação do protocolo IEEE 11073 é definida utilizando a linguagem ASN.1 e os dados são trafegados entre os dispositivos através de APDUs (*Application Protocol Data Units*) [IEEE 2008]. Em uma camada superior é definido um DIM (*Domain Information Model*) [IEEE 2010], o qual define uma estrutura de dados para um Agente específico. Um dispositivo Agente instancia um conjunto de classes IEEE 11073, as quais têm atributos que definem medições, unidades, etc. Todo Agente tem um objeto MDS (*Medical Device System*). Um objeto MDS contém atributos com informações do fabricante, especializações do Agente, ID do sistema, entre outros.

O documento base do protocolo é o IEEE 11073:20601 [IEEE 2010]. Além deste, entretanto, existem documentos que definem especializações para dispositivos. Por exemplo, o documento IEEE 11073:10404 define a especialização para um dispositivo oxímetro de pulso. Estas especializações definem como as informações específicas destes dispositivos são transportadas pelo IEEE 11073. Também é definida que tipo de informação o dispositivo tem suporte, por exemplo, quais dados de glicose um glicosímetro deve salvar internamente.

Em especial, relativo ao objetivo deste artigo, o IEEE 11073 é um protocolo independente de meio de transporte. Portanto, dados do IEEE 11073 podem ser transportados por praticamente qualquer tecnologia de transmissão baseada em pacotes, como TCP/IP, Bluetooth ou USB. Vários DPS disponíveis no mercado fazem uso do Bluetooth HDP² (*Bluetooth Health Device Profile*) como tecnologia de transporte. Outros dispositivos fazem uso do perfil USB PHDC³ (*Personal Health Device Class*). Em ambos os casos esses perfis oferecem meios para o transporte de dados de saúde definidos pelo IEEE 11073.

3. Arquitetura Atual

Tendo como requisito definir uma arquitetura para um DPS preparado para Internet, como apresentado na seção 2, foi escolhido o protocolo IEEE 11073 como base por este ser independente de tecnologia de transporte. Como meio de transporte foi escolhido inicialmente o protocolo TCP/IP por oferecer garantia de entrega de dados, portanto, sendo um meio de transporte confiável para dados de saúde. Neste modelo arquitetural, um Agente IEEE 11073 (ou DPS) iria ter uma conexão com a Internet através de um meio físico como Wi-Fi, Bluetooth ou ZigBee. O DPS também vai ter armazenado internamente o endereço IP de um Gerenciador IEEE 11073, de modo que o DPS seria capaz de abrir uma conexão (socket) com o Gerenciador para executar as transações necessárias. A Figura 4 ilustra essa configuração.

² Bluetooth Special Interest Group – <http://www.bluetooth.org>

³ <http://www.usb.org>

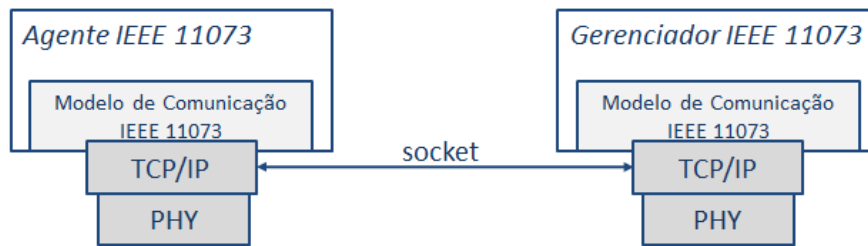


Figura 4. Comunicação TCP/IP com dispositivos IEEE 11073

Essa configuração IEEE 11073 com TCP/IP potencializa casos de uso onde um DPS pode enviar dados diretamente para um serviço em nuvem como ilustrado na Figura 5.

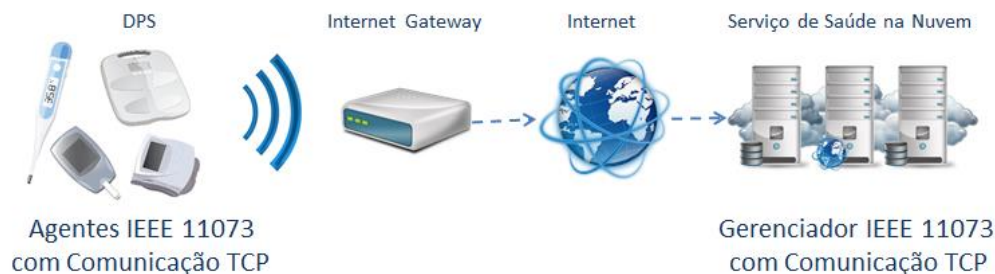


Figura 5. Exemplo de uso TCP/IP com IEEE 11073

Para o desenvolvimento desse modelo arquitetural foi utilizada a biblioteca Antidote IEEE 11073 [Signove Tecnologia 2010], por esta ter uma arquitetura flexível e portátil, como descrito na próxima seção.

3.1. Biblioteca Antidote IEEE 11073.

A biblioteca Antidote IEEE 11073 foi desenvolvida com objetivos voltados a portabilidade e tendo como alvos dispositivos com poucos recursos computacionais. Antidote é uma implementação de código aberto desenvolvido totalmente com a linguagem de programação ANSI C.

Esta biblioteca tem o mínimo de dependências externas possível, pois dependências limitam a portabilidade. Por ser desenvolvida em ANSI C, Antidote já foi portada para outras plataformas como Linux e Android. A dependência para uma plataforma específica se concentra nos plug-ins de comunicação.

A arquitetura interna do Antidote segue as camadas existentes no IEEE 11073, portanto, contendo uma camada para o modelo de serviço, modelo de comunicação e o DIM. Antidote pode funcionar com *frameworks* assíncronos, pois não cria threads, não bloqueia enquanto espera por dados, e não executa *busy-waiting*.

Como comentado anteriormente, apesar de ser portátil, Antidote requer algumas dependências específicas de plataforma no que diz respeito à comunicação com os meios de transporte. Portanto, a arquitetura do Antidote provê um meio flexível de comunicação através de plug-ins de comunicação, como ilustrado na Figura 6. Um plug-

in de comunicação deve fornecer serviços específicos do meio de transporte para o Antidote através de uma interface padronizada em C, notificando eventos como conexão aberta ou fechada, ou dados disponíveis no meio de transporte. Qualquer meio de transporte pode ser utilizado conjuntamente ao Antidote desde que um plug-in esteja disponível. Plug-ins para Bluetooth HDP, USB PHDC e TCP/IP foram desenvolvidos.

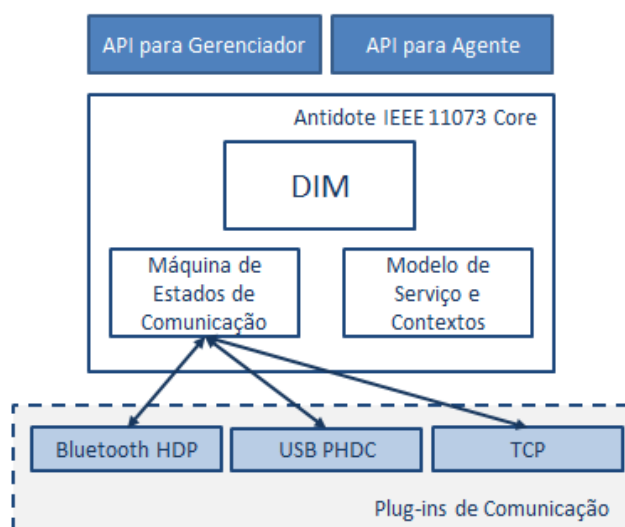


Figura 6. Arquitetura interna da biblioteca Antidote

3.2. Implementação e Avaliação

Utilizando o Antidote como base, foram desenvolvidos um Agente e Gerenciador IEEE 11073, os quais utilizam como meio de transporte um plug-in TCP/IP. O Agente simula várias especializações, e foi executado em um computador portátil pessoal com o sistema operacional Linux. O Agente IEEE 11073 desenvolvido utiliza como meio físico de transporte uma conexão Wi-Fi. O Gerenciador IEEE 11073 foi integrado a um servidor Web, e foi executado em outra máquina remota de modo a simular um serviço rodando na Internet. O Gerenciador IEEE 11073 tem um endereço público, enquanto o Agente IEEE 11073 está em uma rede privada. Essa configuração foi escolhida para avaliação das características do protocolo IP com o IEEE 11073.

No cenário proposto e avaliado o Agente sempre inicia a conexão com o Gerenciador, portanto, pelo fato do Gerenciador ter um endereço público, a conexão sempre foi estabelecida e os dados foram enviados e recebidos corretamente, comprovando a característica do TCP/IP desejada. Nos experimentos realizados não foram avaliados aspectos de disponibilidade do Gerenciador na Internet, portanto, foi considerado que este sempre está disponível. Caso o Agente não consiga enviar dados ao Gerenciador, esse irá armazenar os dados internamente para um envio futuro. Foram realizados testes consecutivos com o envio pelo Agente de dados IEEE 11073 ao Gerenciador de modo contínuo. Ao total foram realizados 100 testes, onde cada teste é uma transação completa IEEE 11073.

Entretanto, por ser um protocolo com confirmação de entrega, entre outras características, o TCP/IP oferece uma sobrecarga de comunicação que não é desejada para dispositivos com poucos recursos computacionais, como é o caso de um DPS.

Dado a arquitetura proposta, foi feita uma avaliação do tráfego de dados IEEE 11073. Em uma transação IEEE 11073 completa, a qual executa operações de associação, configuração, envio de dados e de-associação, um total de 23 pacotes TCP/IP foram enviados, dos quais apenas 9 eram relativos a transação IEEE 11073. Fazendo um comparativo em relação ao número de *bytes* trafegados, de um total de 1947 *bytes* trafegados, apenas 505 *bytes* eram relativos ao protocolo IEEE 11073. Vale ressaltar que estes dados foram obtidos em um ambiente controlado, onde retransmissões não foram observadas.

4. Proposta de Arquitetura

Dadas as limitações impostas pelo TCP/IP ao seu uso por DPS com poucos recursos computacionais, uma opção natural seria o uso do protocolo UDP. Entretanto, o UDP não oferece alguns serviços como garantia de entrega de pacotes. Dada essa característica, alguns protocolos estão sendo definidos para uso com o UDP, como é o caso do protocolo CoAP (*Constrained Application Protocol*) [Shelby et al. 2013].

O CoAP é um protocolo REST definido pelo IETF para ser utilizado por dispositivos com poucos recursos computacionais. O modelo de comunicação CoAP é similar ao modelo cliente/servidor do HTTP. Essa semelhança de modelos possibilita o uso do CoAP com HTTP através de proxies HTTP-CoAP [Castellani et al. 2013]. Esse tipo de interação entre o CoAP e outros protocolos potencializa o uso de dispositivos embarcados na Internet, viabilizando a Internet das Coisas. Além disto, apesar de ser transportado por pacotes UDP, o CoAP suporta o envio de mensagens com confirmação, fornecendo confiabilidade na entrega de pacotes, o que é um requisito essencial quando se tratando de dados de saúde.

O CoAP e UDP podem ser utilizados com diferentes tecnologias de transporte. Apesar de o CoAP ser desenvolvido tendo em vista o meio físico IEEE 802.15.4, novas pesquisas e propostas estão sendo apresentadas para o uso do CoAP com outras tecnologias, como o Bluetooth Low Energy (BTLE) [Isomaki et al. 2012]. O uso do BTLE viabiliza um novo conjunto de aplicações e serviços dado a sua adoção por vários dispositivos móveis e eletrônicos.

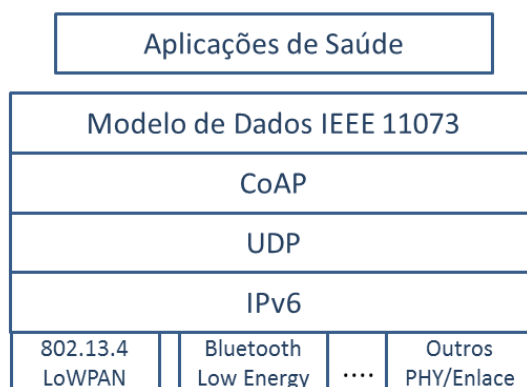


Figura 7. Modelo de protocolos para o uso do CoAP com IEEE 11073

Neste contexto, uma proposta de uso do protocolo IEEE 11073 sobre o CoAP é apresentada, como ilustrado na Figura 7. Como introduzido anteriormente, o modelo de

comunicação do CoAP é similar ao do HTTP, portanto, métodos equivalentes ao GET, POST, PUT e DELETE estão presentes no CoAP. O modelo de comunicação do IEEE 11073 é bidirecional, onde Agentes e Gerenciadores podem trocar APDUs em qualquer direção. Portanto, o primeiro passo é fazer um mapeamento do modelo de comunicação IEEE 11073 com um modelo REST. Desta maneira, tanto o Agente e Gerenciador IEEE 11073 teriam um papel de cliente e servidor, dado que a comunicação pode ser iniciada por qualquer parte a qualquer momento. Nesta primeira proposta apenas comandos POST seriam trocados entre as partes, e cada comando iria enviar um APDU IEEE 11073 completo.

Outra característica importante do CoAP é a possibilidade da descoberta de serviços através de um diretório de recursos (*CoRE Resource Directory*) [Shelby et al. 2012]. Com este diretório, Agentes IEEE 11073 podem publicar informações de configuração IEEE 11073 nestes diretórios, e os Gerenciadores IEEE 11073 podem localizar os Agentes apenas acessando o diretório.

5. Conclusões

Neste artigo foi apresentada uma discussão e uma classificação de Dispositivos Pessoais de Saúde em relação ao modo que estes compartilham dados de saúde na Internet. Com esta classificação definida, foram levantados requisitos e uma proposta para o uso de DPS na Internet das Coisas foi apresentada.

A arquitetura inicial fez uso do protocolo TCP/IP para comunicação na Internet. Entretanto, o TCP/IP se mostrou pouco viável no que diz respeito a dispositivos com poucos recursos computacionais. Por este motivo, um trabalho em andamento foi apresentado onde se faz uso do protocolo CoAP e UDP para o transporte de dados de saúde na Internet.

Como trabalhos futuros, tem-se a conclusão da integração do CoAP com o protocolo IEEE 11073. Nesta integração vão ser avaliados vários meios de comunicação na camada física, como o Bluetooth Low Energy e o recentemente anunciado ZigBeeIP⁴. Outro aspecto importante, no que diz respeito a informações de saúde, é a privacidade. Portanto, serão analisados aspectos de segurança e privacidade no que diz respeito ao uso do protocolo CoAP.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro parcial ao desenvolvimento deste trabalho. Os autores também agradecem ao Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva e a Signove Tecnologia S/A pelo suporte parcial no desenvolvimento deste trabalho.

Referências

Carroll D., Cnossen R., Schnell M., and Simons D. (2007). “Continua: an interoperable personal healthcare ecosystem,” *IEEE Pervasive Computing*, vol. 6, no 4, pp 90–94, Oct.-Dec.

⁴ <http://www.zigbee.org>

- UPnP Forum (2008). “UPnP Device Architecture version 1.1,” <http://www.upnp.org>, Outubro.
- IEEE. (2010). “ISO/IEEE 11073-20601: Health informatics - Point-of-care medical device communication - Part 20601: Optimized exchange protocol Standards”.
- IEEE. (2008). “ISO/IEEE 11073-10101: Health informatics - Point-of-care medical device communication - Part 10101: Nomenclature”.
- IEEE. (2010). “ISO/IEEE 11073-10201: Health informatics - Point-of-care medical device communication - Part 10201: Domain information model”.
- Zhao, W., Wang, C., and Nakahira, Y. (2011). “Medical application on Internet of Things”. *Proceedings of ICCTA 2011*, 3–8.
- Istepanian, R. S. H., Sungoor, a., Faisal, a., and Philip, N. (2011). “Internet of M-health Things m-IOT”. *IET Seminar on Assisted Living 2011*, 20–20.
- Tarouco, L. M. R., Bertholdo, L. M., Granville, L. Z., Arbiza, L. M. R., Carbone, F., Marotta, M., and De Santanna, J. J. C. (2012). “Internet of Things in healthcare: Interoperability and security issues”. *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 6121–6125.
- Bazzani, M., Conzon, D., Scalera, A., Spirito, M. a., and Trainito, C. I. (2012). “Enabling the IoT Paradigm in E-health Solutions through the VIRTUS Middleware”. *2012 IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, 1954–1959.
- Lasierra, N., Alesanco, A., and Garcia, J. (2012). “An SNMP-Based Solution to Enable Remote ISO/IEEE 11073 Technical Management”. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 16(4), 709–719.
- Santos, D., Perkusich, A., and Almeida, H. (2013). “Enabling a Healthy and Connected Home Based on Universal Plug and Play and Personal Health Devices”. *2013 Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics* (pp. 74–75).
- Signove Tecnologia (2012), “Antidote: Program Guide,” <http://oss.signove.com>, Abril.
- Shelby B. F., Hartke K. (2013) “Constrained application protocol (coap) draft-ietf-core-coap-13,” IETF work in progress.
- Castellani A., Loreto S., Rahman A., Fossati T., and Dijk E. (2013) “Best practices for http-coap mapping implementation.” IETF work in progress.
- Isomaki M., Nieminen J., Gomez C., Shelby Z., Savolainen T., and Patil B. (2012). “Transmission of ipv6 packets over Bluetooth low energy,” IETF work in progress.
- Shelby Z., Krco S., Bormann C. et al., (2012) “Core resource directory,” IETF work in progress.