

Gateway UPnP para Representação de Serviços de Rede de Sensores sem Fio

Bruno da Silva Campos¹,
Eduardo Freire Nakamura²,
Carlos Maurício Seródio Figueiredo²

¹Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Zagaia Project - Mobile Linux Development Center (FUCAPI/INDT)
Manaus, AM, Brasil.

²Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica (FUCAPI)
Manaus, AM, Brasil.

bsc@dcc.ufam.edu.br, {eduardo.nakamura, mauricio.figueiredo}@fucapi.br

Resumo. *Este trabalho apresenta o modelo de um Gateway para interconectar Redes de Sensores sem Fio (RSSF) com a tecnologia UPnP. Assim, os serviços fornecidos por todos os nós sensores podem ser facilmente descobertos e controlados por pontos de controle, através de um único dispositivo UPnP. Os resultados experimentais mostram que o Gateway cria dispositivos UPnP que respondem corretamente as solicitações enviadas pelos pontos de controle.*

Palavras-chave: *UPnP, Rede de Sensores sem Fio, Gateway, Protocolo de Descoberta de serviços*

Abstract. *This paper presents a Gateway design that interconnects Wireless Sensor Networks (WSN) with UPnP technology. Thus, services provided by all sensor nodes can be seamless discovered and controlled by control points, through a single UPnP device. Experimental results show that the Gateway generates UPnP devices that correctly respond to requests sent by control points.*

Keywords: *UPnP, Wireless Sensor Networks, Gateway, Service Discovery Protocols*

1. Introdução

As pesquisas na área de Computação Pervasiva tem levado ao desenvolvimento de Protocolos de Descoberta de Serviços, que permitem que dispositivos e serviços automaticamente sejam descobertos e configurados, facilitando a comunicação entre eles [Zhu et al. 2005]. Entre os mais conhecidos, temos o Universal Plug and Play (UPnP) [UPnP 2000], que foi projetado para implantar redes ad-hoc ou não gerenciadas com configuração zero e descoberta automática de dispositivos e serviços para vários tipos de produtos.

Os serviços fornecidos pela arquitetura UPnP podem ser úteis para facilitar a descoberta e o controle de diversas entidades de rede como, por exemplo, as Redes de Sensores sem Fio (RSSF) [Akyildiz et al. 2002]. Elas são tipos especiais de redes ad-hoc

formadas para monitorar ou controlar um ambiente sem a necessidade de intervenção humana. Elas são constituídas por nós sensores, que são pequenos dispositivos com sérias restrições de recursos, mas com capacidade de sensoriamento, processamento e transmissão de dados, podendo fornecer alguns serviços como coleta de parâmetros físicos do ambiente, temporização, ativação ou desativação do nó, entre outros que dependerão da aplicação da RSSF. Devido ao alto grau de interação com o mundo físico, as RSSFs irão exercer um papel chave na criação de ambientes pervasivos.

Se as RSSFs fossem representadas como dispositivos UPnP, os seus serviços seriam facilmente descobertos e utilizados pelos usuários através de pontos de controle UPnP (componentes que controlam os dispositivos UPnP através dos serviços fornecidos por estes). No entanto, executar o protocolo UPnP em nós sensores com poucos recursos físicos é inviável, pois isso exige conexão dos nós sensores com redes TCP/UDP e IP e eles precisam ter poder computacional e memória para manipular e transmitir mensagens XML [Hornsby et al. 2009]. Por isso, é necessário criar Gateways para representar RSSFs no UPnP.

Sendo assim, este trabalho apresenta um modelo de Gateway para interconectar Redes de Sensores sem Fio plana (RSSF onde os nós sensores não se organizam em grupos), permitindo que todos os nós sensores sejam automaticamente descobertos e controlados através da tecnologia UPnP. Para isso, ele cria um dispositivo UPnP que fornece os serviços de todos os nós sensores que compõe a RSSF. Além disso, os serviços são inseridos ou removidos dele de acordo com as mudanças de topologia que ocorrem na RSSF. Para mostrar o funcionamento do modelo, criamos um estudo de caso onde um ponto de controle recebe informações de uma RSSF através do dispositivo criado pelo Gateway.

Este documento está organizado como descrito a seguir: a Seção 2 apresenta uma visão geral do protocolo UPnP e dos trabalhos relacionados; a Seção 3 apresenta o modelo do Gateway, bem como os seus componentes e funcionalidades; na Seção 4 será discutido os aspectos de implementação do Gateway; na Seção 5 apresentamos um estudo de caso para testar o modelo proposto; por fim, as considerações finais são apresentadas na Seção 6.

2. Fundamentos teóricos

Nesta seção, vamos detalhar os principais elementos do UPnP e todas as etapas que dispositivos e pontos de controle devem seguir para que eles possam se localizar e interagir. Em seguida, vamos apresentar os trabalhos desenvolvidos visando interligar RSSF e UPnP. Estas informações serão úteis para o entendimento do modelo proposto.

2.1. Protocolo UPnP

O UPnP [UPnP 2000] é um conjunto de protocolos que visa interligar dispositivos em Redes Domésticas de forma transparente ao usuário. As suas principais características são a sua arquitetura aberta, baseada nos protocolos da internet, e relacionamento peer-to-peer entre os componentes da rede. Ele é constituído de três entidades principais: dispositivos, pontos de controle e serviços. Os dispositivos UPnP são os componentes da rede que fornecem serviços, podendo ser compostos por outros dispositivos aninhados. Já os pontos de controle são os componentes capazes de localizar, controlar e receber

notificações de eventos de outros dispositivos UPnP. Por fim, os serviços são os recursos que um dispositivo UPnP fornece e que pode ser útil para outros pontos de controle. Estes são constituídos por um conjunto de ações que o dispositivo executa e um conjunto de variáveis de estado que modelam o estado dele em tempo de execução.

Para que pontos de controle e dispositivos UPnP interajam entre si, eles devem realizar as seguintes fases: Endereçamento, Descoberta, Descrição, Controle, Evento e Apresentação. Sendo assim, a fase de Endereçamento determina um endereço IP para uma entidade UPnP através de DHCP ou auto IP. A fase de Descoberta anuncia o dispositivo no UPnP, através do protocolo SSDP (Simple Service Discovery Protocol), podendo este ser localizado pelos pontos de controle que já estão em execução. Em seguida, na fase de Descrição os pontos de controle interessados podem solicitar arquivos XML contendo informações do dispositivo (Documento de Descrição do Dispositivo) e de seus serviços (Documentos de Descrição de Serviços), através de uma requisição HTTP. Já a fase de Controle permite que pontos de controle enviem ações para os dispositivos, através do protocolo SOAP (Simple Object Access Protocol). Paralelo ao controle, a fase de Evento permite que pontos de controle se cadastrem nos dispositivos para receberem notificações de eventos, que ocorrem quando as variáveis de estado do dispositivo são modificadas. Essas notificações são enviadas através do protocolo GENA (Generic Event Notification Architecture). Por fim, a fase de apresentação permite que os pontos de controle vejam informações de um dispositivo ou o controle através de uma página web de apresentação. Esta fase é opcional e não será considerada neste trabalho.

2.2. Trabalhos Relacionados

Nos últimos anos, alguns trabalhos foram propostos na literatura visando criar dispositivos UPnP que representam Rede de Sensores sem Fio. Alguns deles focaram na adaptação do Protocolo UPnP para ser utilizado diretamente nos nós sensores, como a arquitetura Sindrion, em [Gottberger et al. 2004], e o Middleware para nós sensores proposto em [Barisic et al. 2008]. No entanto, embora estas abordagens possam ser úteis nos casos onde a RSSF é composta por poucos nós, elas serão inviáveis quando a rede for composta por centenas deles. Além disso, a RSSF terá que ser constituída por nós sensores mais robustos, que implica em maior custo de projeto da rede. Por isso, a solução mais adequada no momento é a criação de Gateways para conectar essas duas redes.

Seguindo essa idéia, outros trabalhos foram propostos na literatura. Song et. al. [Song et al. 2005] propõem uma arquitetura de gerenciamento de RSSF chamada BOSS, que permite que um ponto de controle UPnP descubra, envie ações e receba eventos dos nós sensores que compõem a rede, além de prover alguns serviços de gerenciamento da RSSF. S. H. Kim et. al. [Kim et al. 2007] propõem uma arquitetura para conectar dispositivos Zigbee ao UPnP, através da criação de dispositivos virtuais. Já D. Kim et. al. [Kim et al. 2005] propuseram uma arquitetura que cria dispositivos UPnP que representam dispositivos IEEE1394. Sung et. al. [Sung et al. 2009] apresentam uma modificação no processo de descoberta UPnP que, em vez do ponto de controle receber os descritores de serviços dos próprios nós sensores, estes são obtidos por meio de uma pesquisa em um host de Internet, através de um identificador global fornecido pelos nós sensores. Por fim, Evensen e Meling [Evensen and Meling 2009] desenvolveram um middleware para virtualizar os nós sensores e seus serviços, disponibilizando-os em uma rede através do protocolo Zeroconf, que possui funcionalidades semelhantes ao UPnP.

3. Modelagem do Gateway

O Gateway proposto tem como objetivo permitir que uma Rede de Sensores seja automaticamente descoberta e controlada através da tecnologia UPnP. Para isso, ele cria um dispositivo UPnP que consegue executar todas as fases do protocolo UPnP. Assim, pontos de controle podem encontrá-lo, obter informações da RSSF e de seus serviços, enviar mensagens de controle e receber mensagens de evento notificando a ocorrência de eventos ocorrido na RSSF.

A Figura 1 apresenta a estrutura geral do Gateway. Ele é constituído de sete componentes principais. Abaixo temos a descrição de cada um deles.

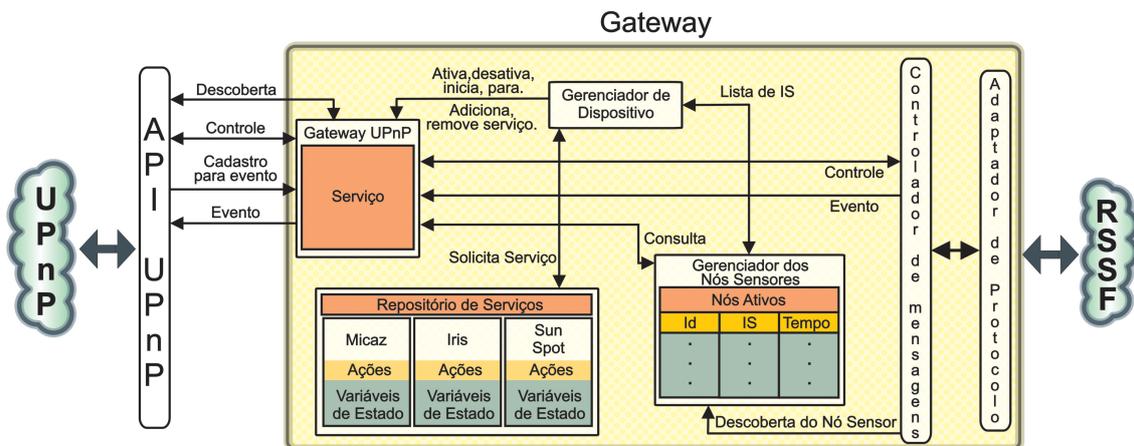


Figura 1. Modelagem do Gateway para representar Rede de Sensores sem Fio

API UPnP: Módulo responsável pelo envio e recebimento de mensagens para o UPnP. É a partir dele que os pontos de controle descobrem e controlam o nosso dispositivo UPnP.

Gateway UPnP: Dispositivo UPnP que tem o papel de representar uma RSSF no UPnP. Sendo assim, é ele que executará as fases de Descoberta, Descrição, Controle e Evento do protocolo UPnP.

Repositório de Serviços: Este módulo possui todos os serviços fornecidos pelos nós sensores que compõe a RSSF. Cada serviço armazenado no Repositório de Serviços possui identificador único e um Documento de Descrição de Serviço associado, que são utilizados pelo Gerenciador de Dispositivo para adicionar serviços ao Gateway UPnP. Como os nós sensores não possuem poder computacional para informar quais são os serviços que eles fornecem, então estes devem ser passados pelo administrador da RSSF.

Gerenciador dos Nós Sensores: Este módulo é responsável por registrar todos os nós sensores que estão ativos na RSSF. Para isso, ele utiliza uma estrutura de dados para armazenar o identificador dos nós sensores ativos, os seus respectivos identificadores de serviços e o tempo que passou desde que eles foram atualizados. Com essas informações, o Gerenciador de Dispositivo é capaz de recuperar o respectivo serviço do nó sensor no Repositório de Serviços e adicioná-lo ao Gateway UPnP. Além disso, o tempo de ativação pode ser comparado com um limiar para determinar se o respectivo nó sensor foi desativado da RSSF.

Gerenciador de Dispositivo: Módulo responsável pelo gerenciamento do Gateway UPnP. Ele utiliza as informações armazenadas no Gerenciador dos Nós Sensores e no Repositório de Serviços para criar o Gateway UPnP. Além disso, ele insere ou retira serviços dele dependendo das mudanças de topologia que ocorrerem na RSSF. Por fim, ele também é capaz de desativá-lo caso ocorra uma perda de conexão com a RSSF ou caso todos os nós sensores sejam desativados.

Controlador de Mensagens: Este módulo tem como função fornecer uma interface padronizada e independente do protocolo de comunicação usado pela RSSF. Assim, mensagens de controle podem ser enviadas para a RSSF ou notificações de eventos podem ser recebidos da mesma sem que o Gateway UPnP precise saber de detalhes específicos de comunicação. Além disso, ele é responsável por enviar mensagens de descoberta dos nós sensores para o Gerenciador dos Nós Sensores. As funções definidas no Controlador de Mensagens utilizam um conjunto de funções do Adaptador de Protocolo para enviar ou receber mensagens da RSSF.

Adaptador de Protocolo: Este módulo define um conjunto de funções para enviar ou receber mensagens da RSSF. Portanto, ele será dependente do protocolo de comunicação utilizado por ela. Neste trabalho consideramos também que o Adaptador de Protocolo que será responsável por garantir que as mensagens de controle solicitados pelos Pontos de Controle sejam entregues a RSSF.

4. Implementação do Gateway

Para o desenvolvimento deste Gateway, utilizamos a linguagem de programação Python. Quanto a API UPnP, foi utilizado o framework Brisa [Brisa 2010], que é uma API em Python para a criação de dispositivos e pontos de controle UPnP genéricos. Nas seções seguintes, será apresentado alguns detalhes de implementação do Gateway e da RSSF.

4.1. Projeto do Gateway

Para cada módulo do Gateway, foi implementado uma classe que realiza as funções descritas na Seção anterior. A Figura 2 mostra o fluxo de execução do Gateway. Ao iniciá-lo, uma instância das classes que representam os módulos Gerenciador do Dispositivo, Gerenciador dos Nós Sensores, Repositório de Serviços e Controlador de Mensagens são criados. Em seguida, o Controlador de Mensagens estabelece conexão com a RSSF. Com isso, os nós sensores enviam mensagens de descoberta para o Gateway, que são inseridos em uma tabela de nós ativos mantida pelo Gerenciador dos Nós Sensores. O Gerenciador dos Nós Sensores então envia ao Gerenciador de Dispositivo a lista de identificadores de serviço correspondente aos nós descobertos. Depois, o Gerenciador de Dispositivo cria o Gateway UPnP e solicita ao Repositório de Serviços os serviços correspondentes aos identificadores de serviço recebidos. Ao recebê-los, o Gerenciador de Dispositivo os adiciona no Gateway UPnP e o ativa, permitindo a este ser descoberto no UPnP. Quando um ponto de controle chama uma ação do Gateway UPnP para controlar a RSSF, esta ação chama uma função apropriada do Controlador de Mensagem, que envia o comando para a RSSF utilizando as funções definidas no Adaptador de Protocolo. Se alguma variável de estado for modificada no processo, o Gateway UPnP gera uma mensagem de evento, que será enviada aos pontos de controle cadastrados. Por fim, se o Gerenciador dos Nós Sensores registrar um novo nó sensor com um novo identificador de serviço, ele envia ao

Gerenciador de Dispositivo o novo identificador. Em seguida, este solicita ao Repositório de Serviços o serviço correspondente, que então desativa o Gateway UPnP, adiciona o novo serviço e depois o reinicia. A partir daí, o Gateway UPnP deverá enviar uma nova mensagem SSDP, repetindo o ciclo. Caso um serviço não seja mais fornecido pela RSSF, o processo anterior se repete, mas removendo o identificador de serviço do Gerenciador de Nós e o serviço do Gateway UPnP.

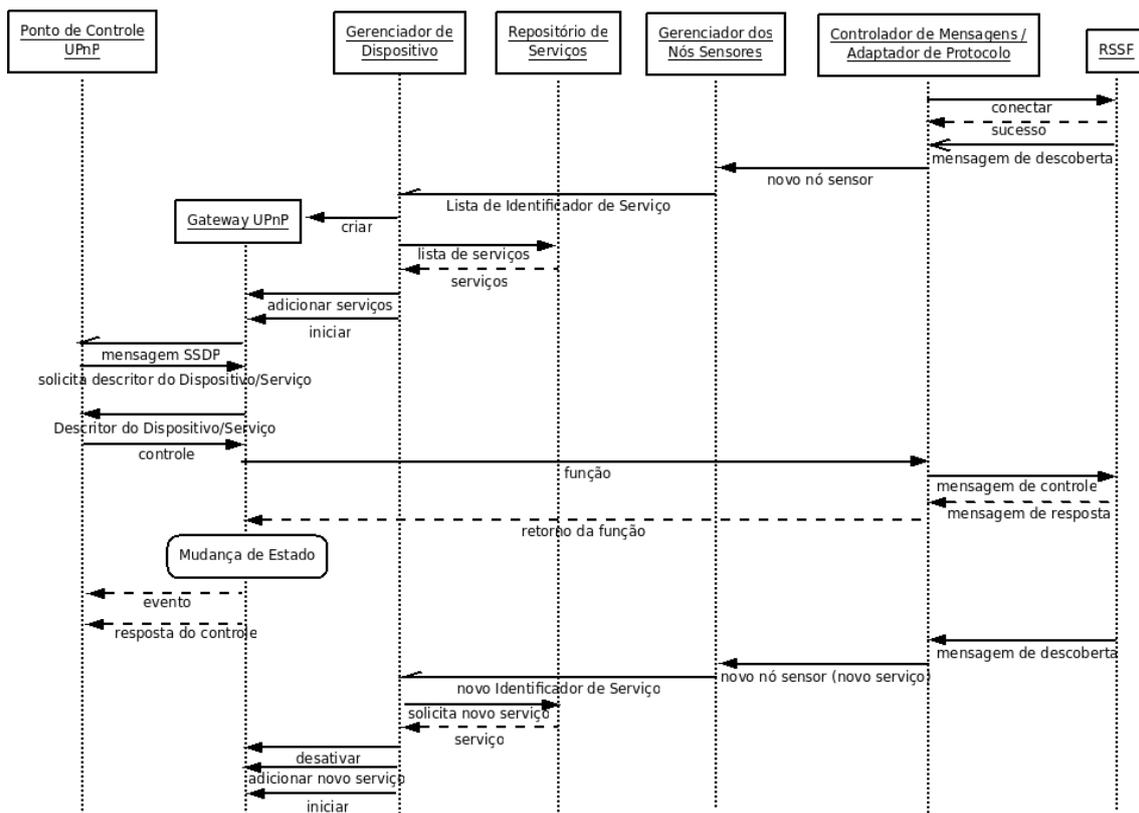


Figura 2. Fluxo de execução do Gateway

Em nossa implementação, também criamos classes para representar os serviços fornecidos pelos nós sensores. Essas classes definem o conjunto de ações e variáveis de estado para cada plataforma de nó sensor existente na RSSF. Por exemplo, se a RSSF possui um nó sensor Micaz, vai existir uma classe que implementa os serviços desta plataforma, e nela será definida todas as ações que este tipo de nó sensor executa, e quais variáveis de estado modelam o estado dele. Sendo assim, quando o Gerenciador de Dispositivo solicitar um serviço para o Repositório de Serviços, este cria e retorna uma instância do serviço correspondente. Com ele, o Gerenciador de Dispositivo chama um método do Gateway UPnP para adicionar este objeto como um novo serviço. A partir daí, ele será fornecido pelo Gateway UPnP.

4.2. Projeto da Rede de Sensores sem Fio

Quando um Ponto de Controle descobre e obtém os serviços fornecidos pelo Gateway UPnP, este se torna apto a enviar mensagens de controle ou receber mensagens de evento da Rede de Sensores correspondente. No entanto, ela não tem capacidade para receber ou enviar mensagens SOAP e GENA, o que necessita de um processo de tradução por

parte do Gateway. Além disso, a RSSF tem que enviar mensagens de descoberta para informar quais nós sensores estão ativos. Para realizar essas tarefas, definimos na RSSF um protocolo de comunicação para envio e recebimento de mensagens de controle, evento e descoberta. Este protocolo será descrito a seguir.

Para que uma Rede de Sensores execute uma ação solicitada pelo ponto de controle, definimos um protocolo para envio de ações do Gateway para a RSSF, que é apresentada na Figura 3. O campo *Destino* indica o identificador do nó sensor que executará a ação. Já no campo *IS* inserimos o identificador do serviço relacionado a ação. No campo *IA* adicionamos o identificador da ação a ser executada pelo nó sensor. O campo *NA* diz ao receptor o número de argumentos que é fornecido na mensagem. Por fim, os campos *Arg1*, *Arg2*, ..., informam os parâmetros de entrada da ação. Antes de a mensagem ser enviada para a RSSF, é verificado se o identificador inserido no campo *Destino* foi cadastrado no Gerenciador dos Nós Sensores. Caso negativo, a mensagem não é enviada.

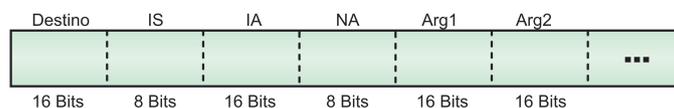


Figura 3. Protocolo para envio de ações para a RSSF

Para retornar o resultado da ação ao ponto de controle, os nós sensores enviam uma mensagem para o Gateway com a estrutura definida na Figura 4. O campo *Origem* diz qual nó enviou a resposta. Os campos *IS* e *IA* executam o mesmo papel da estrutura anterior. O campo *Tipo* indica o status de execução da ação (Sucesso ou Falha). Por fim, o campo *Resultado* armazena o resultado da operação. Com estes dois protocolos apresentados, a RSSF é capaz de executar ações e informar o resultado para o Gateway.

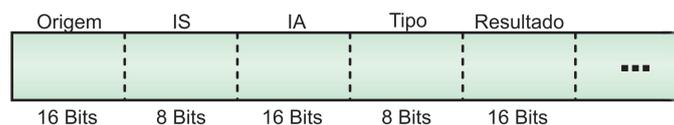


Figura 4. Protocolo para envio de resposta a uma ação

Da mesma forma que pontos de controle podem enviar ações para a RSSF, eles também podem se inscrever no Gateway UPnP para receber informações de evento ocorridos nela. Nesses casos, a RSSF utiliza o protocolo definido na Figura 5 para notificar o Gateway de um evento. Os campos *Origem* e *IS* possuem a mesma função dos campos descritos no protocolo anterior. Já o campo *VE* é o identificador da variável de estado que sofreu a modificação. No campo *Tipo* será armazenado um valor para indicar que a mensagem é de notificação de um evento. Finalmente, o campo *Valor* refere-se ao valor resultante da ocorrência do evento.

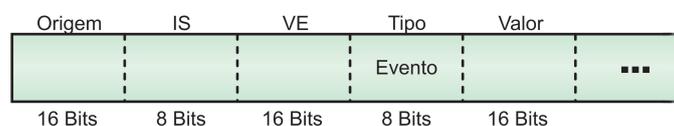


Figura 5. Protocolo para notificação de eventos na RSSF

Além de enviar mensagens de controle e evento, os nós sensores precisam enviar mensagens de descoberta para informar ao Gateway que eles estão ativos. O protocolo para este tipo de mensagem é apresentado na Figura 6. Os campos *Origem* e *IS* possuem as mesmas funções descritas nos protocolos anteriores. Já o campo *Tipo* armazena um valor para indicar que a mensagem é de atualização. Os campos à direita e à esquerda de *Tipo* foram preenchidos com o valor 0x0000, pois eles não são necessários para informar que o nó está ativo. Quando o Controlador de Mensagem recebe este tipo de mensagem, ele atualiza ou insere o nó e o seu identificador de serviço no Gerenciador dos Nós Sensores e atualiza o temporizador do nó. Mensagens de controle e evento podem ser utilizadas também para atualizar o Gerenciador dos Nós Sensores, pois essas mensagens possuem os identificadores do nó e do serviço, e estas são as únicas informações necessárias para realizar esta operação.

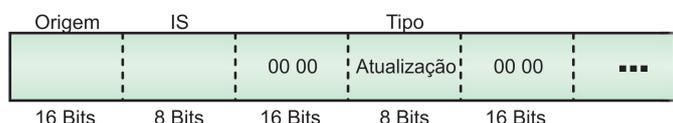
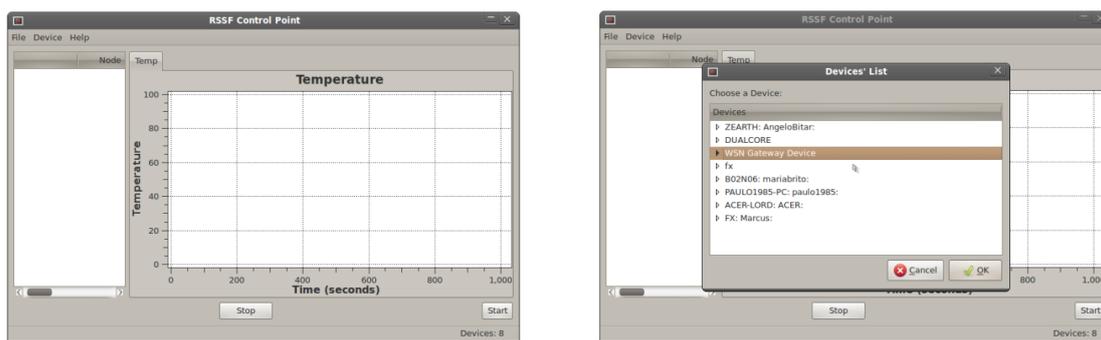


Figura 6. Protocolo para descoberta de um nó sensor

5. Resultados experimentais

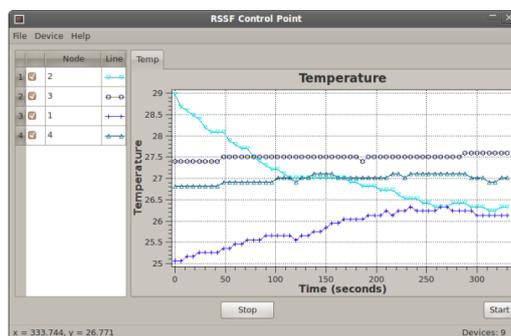
Para comprovar a execução do nosso Gateway, criamos um cenário de teste constituído de cinco nós sensores Micaz [Crossbow 2010], executando o sistema operacional TinyOS [TinyOS 2010], e dois computadores Desktop com 3,06 GB de processamento e 4 GB de memória RAM, um para executar o Gateway e outro para executar o ponto de controle. Quatro nós sensores foram embarcados com um programa que envia amostras de temperatura para o quinto nó sensor, que foi acoplado a uma placa de gateway MIB520 para enviar, através da porta serial, as amostras coletadas ao computador que executa o Gateway. Os quatro nós foram posicionados em diferentes locais de uma sala onde os testes foram realizados. Os dois computadores estão conectados em uma rede local através de um cabo Ethernet. Tanto o Gateway quanto o ponto de controle UPnP foram desenvolvidos utilizando a linguagem de programação Python e o framework Brisa.

Para este teste, nós desenvolvemos um ponto de controle (Figura 7(a)) que cria um gráfico de coleta a partir das amostras coletadas da RSSF. Para ele receber estes dados, primeiro ele tem que descobrir o dispositivo UPnP gerado pelo nosso Gateway que representa a RSSF. Ao descobri-lo (Figura 7(b)), o dispositivo envia os Documentos de Descrição do Dispositivo e do Serviço, possibilitando ao ponto de controle enviar ou receber dados da RSSF. Em seguida, o ponto de controle chama uma ação do objeto de serviço referente a plataforma Micaz para receber todos os identificadores de nós que utilizam esta plataforma. Ao recebê-los, o gráfico é criado. A RSSF utiliza o modelo Sob Demanda para sensoriamento, o que significa que ela envia uma informação apenas quando for solicitado. Sendo assim, na classe de serviço referente a plataforma Micaz, foi criada uma ação para receber a temperatura corrente para um determinado nó sensor. Esta ação foi chamada pelo Ponto de Controle a cada seis segundos para cada nó sensor Micaz na RSSF. O resultado é inserido no gráfico, como mostra a Figura 7(c).



(a) Visão geral do Ponto de Controle

(b) Descoberta do Dispositivo UPnP que representa a RSSF



(c) Criação do gráfico de coleta

Figura 7. Ponto de Controle que interage com uma Rede de Sensores sem Fio

6. Considerações finais

Neste trabalho, apresentamos o modelo e a implementação de um Gateway para representar uma Rede de Sensores sem Fio plana na tecnologia UPnP. Com isso, os diversos serviços fornecidos pelos nós sensores que a compõe podem ser facilmente descobertos e acessados por pontos de controle. Os resultados demonstram que o gateway consegue fazer aquilo que se propõe, que é de anunciar a RSSF via UPnP, através de um único dispositivo UPnP, e de responder as solicitações do ponto de controle. As classes que implementam os serviços para plataformas específicas de nó sensor poderiam ser obtidas de um Host de Internet, como proposto em [Sung et al. 2009], ficando a cargo do usuário do Gateway definir o conjunto de funções para a real comunicação com a RSSF. Esta solução facilita a padronização dos serviços dos nós sensores, que é de grande importância para representar RSSFs no UPnP.

No entanto, alguns trabalhos adicionais precisam ser realizados para aperfeiçoar o Gateway proposto. Um deles é fornecer meios para ele prover os serviços da aplicação da RSSF, ou seja, os serviços fornecidos pela rede através do trabalho colaborativo entre os nós, e os serviços para gerenciamento da RSSF. Em seguida, vamos realizar testes de escalabilidade para analisar a viabilidade da solução em redes reais e o impacto do protocolo proposto em aplicações com muitos nós sensores. Além disto, vamos avaliar o tempo de descoberta de falhas dos nós sensores, ou seja, avaliar o tempo que o Gateway leva para detectar que um nó sensor não está mais ativo. Por fim, vamos extê-la para representar também Redes de Sensores Hierárquicas.

7. Agradecimentos

Este trabalho teve o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), sob o processo de referência PIPT 1509/08, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), sob os processos 47.4194/2007-8, 55.4087/2006-5 e 55.4071/2006-1.

Referências

- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38:393–422.
- Barisic, D., Stromberg, G., and Beigl, M. (2008). Advanced middleware support on wireless sensor nodes. *2nd International Workshop on Design and Integration Principles for Smart Objects (DIPSO2008)*.
- Brisa (2010). Brisa framework. fonte: <http://brisa.garage.maemo.org/>.
- Crossbow (2010). Micaz 2.4ghz. fonte: <http://www.xbow.com/products/productdetails.aspx?sid=164>.
- Evensen, P. and Meling, H. (2009). Sensor virtualization with self-configuration and flexible interactions. In *Casemans '09: Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Context-Awareness for Self-Managing Systems*, pages 31–38, New York, NY, USA. ACM.
- Gsottberger, Y., Shi, X., Stromberg, G., Weber, W., Sturm, T., Linde, H., Naroska, E., and Schramm, P. (2004). Sindrion: a prototype system for low-power wireless control networks. In *Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, 2004 IEEE International Conference on*, pages 513–515.
- Hornsby, A., Belimpasakis, P., and Defee, I. (2009). Xmpp-based wireless sensor network and its integration into the extended home environment. In *Consumer Electronics, 2009. ISCE '09. IEEE 13th International Symposium on*, pages 794–797.
- Kim, D., Park, J. H., Yevgen, P., Moon, K., and Lee, Y. (2005). Ieee 1394/upnp software bridge. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 51(1):319–323.
- Kim, S. H., Kang, J. S., Lee, K. K., Park, H. S., Baeg, S. H., and Park, J. H. (2007). A upnp-zigbee software bridge. *International Conference on Computational Science and Its Applications*, 4705:346–359.
- Song, H., Kim, D., Lee, K., and Sung, J. (2005). Upnp-based sensor network management architecture. In *Second International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2005)*.
- Sung, J., Kim, S. H., Kim, Y.-J., and Kim, D. (2009). Description lookup based upnp extension for wireless sensor networks. In *Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services. MobiQuitous '09. 6th Annual International*, pages 1–2.
- TinyOS (2010). Tinyos operating system. fonte: <http://www.tinyos.net/>.
- UPnP (2000). Upnp forum. fonte: <http://www.upnp.org>.
- Zhu, F., Mutka, M. W., and Ni, L. M. (2005). Service discovery in pervasive computing environments. *IEEE Pervasive Computing*, 4:81–90.