

Proposta para Grupo de Trabalho GT-Tel — Testbed para Espaços Inteligentes 1

9 de agosto de 2013

1. Título

Testbed para Espaços Inteligentes (GT-Tel)

2. Coordenador

- Coordenador: Silvana Rossetto
- Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
- Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0054098292730720>
- Email: silvana@dcc.ufrj.br
- Telefone: 21 2598-9515

3. Resumo

As redes de sensores sem fio (RSSFs) são formadas por pequenos dispositivos de processamento, com capacidade de sensoriamento e comunicação sem fio. O avanço das RSSFs trouxe novas oportunidades e demandas para o desenvolvimento de aplicações voltadas para a construção de espaços inteligentes, exigindo a integração das RSSFs com a Internet. O desenvolvimento e a avaliação dessas aplicações requer o uso de ambientes de experimentação controlados que permitam conectar as RSSFs com outras subredes e reproduzir parte das suas características particulares, entre elas, interação direta com o mundo físico e recursos computacionais limitados. Neste projeto, propomos uma arquitetura básica para a construção de ambientes físicos de experimentação que permitam avaliar aplicações de sensoriamento nas quais parte da aplicação executa em nós sensores e outra parte executa em nós remotos em outras redes acopladas à Internet.

4. Abstract

Wireless sensor networks (WSNs) consist of small processing devices, capable of sensing and wireless communication. The advance of WSNs has brought new opportunities and demands for the development of distributed applications for smart spaces, requiring the integration of WSNs with the Internet. The development and evaluation of these applications demands the use of controlled environments that allow us to connect WSNs with other networks and reproduce some of their special characteristics, such as direct interaction with the physical world and limited computing resources. In this project, we propose a basic architecture for building controlled environments (testbeds) to evaluate sensing applications in which part of the application runs on sensor nodes and the other part runs on remote nodes on other subnets connected to the Internet.

5. Parcerias

- Universidade Federal de Goiás (UFG), Instituto de Informática (coordenação local prof. *Bruno Silvestre*)
- Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Informática (coordenação local profa. *Noemi Rodriguez*)

6. Duração do projeto 12 meses.

7. Sumário executivo

A crescente demanda pela construção dos chamados “espaços inteligentes” tem fomentado a investigação e o uso combinado de tecnologias de sensoriamento e comunicação sem fio acopladas a dispositivos de tamanho reduzido, com capacidade de processamento e armazenamento de dados, e fonte de energia independente. A minimização desses dispositivos, dotados de poder computacional e sensorial, tem como finalidade principal possibilitar diferentes ângulos de visão sobre um mesmo evento (ex., a variação de temperatura em uma floresta, ou a frequência de vibração em pontos distintos de uma estrutura civil), permitindo observar ambientes físicos ou monitorar equipamentos com elevado grau de precisão.

O desenvolvimento de aplicações baseadas nessas tecnologias requerem a construção de redes específicas, chamadas Redes de Sensores sem Fio (RSSF), formadas por dezenas, centenas ou até milhares desses pequenos dispositivos, e a definição de soluções de software particulares para lidar com suas principais características e restrições, entre elas, interação direta com o mundo físico, ambiente de computação inerentemente distribuído, fonte de energia e recursos computacionais limitados [1, 2]. Em cenários mais complexos, é necessário ainda o desenvolvimento de mecanismos de colaboração para permitir que os dados coletados por diferentes sensores possam ser associados a outras informações de contexto, permitindo atuar sobre o ambiente em tempo real (ex., dado o nível de umidade do solo e a previsão meteorológica atualizada, controlar dinamicamente a vazão do equipamento de irrigação). Para isso, torna-se fundamental a integração das RSSFs isoladas com outras redes, em particular a Internet, possibilitando o uso dos dados coletados no mundo físico por aplicações remotas com as mais diversas finalidades, por exemplo, o controle automatizado de ambientes de produção ou o monitoramento remoto de reservas ambientais.

A tarefa de desenvolvimento de aplicações para o sensoriamento de grandezas físicas e o processamento desses dados considerando as possibilidades de cooperação com outras aplicações é, portanto, intrinsecamente complexa. Envolve o uso de plataformas de hardware heterogêneas; o projeto, implementação e teste de algoritmos distribuídos com características específicas para cada aplicação; a integração entre diferentes meios físicos e protocolos de comunicação em rede; a necessidade de minimizar o consumo de energia dos nós sensores e desenvolver soluções de software eficientes para executar em plataformas com baixa capacidade de processamento, armazenamento e taxas de transmissão de dados; e a capacidade de avaliar cenários em larga escala e sob condições ambientais dinâmicas.

Considerando esses desafios, torna-se fundamental para os desenvolvedores de aplicações o uso de ambientes de experimentação que permitam desenvolver, avaliar e otimizar essas aplicações em um ambiente controlado — mas com as mesmas características dos ambientes reais — antes da sua implantação definitiva.

A estratégia mais comum adotada pelos grupos de pesquisa nessa área consiste na adoção de ferramentas de simulação ou emulação de RSSF — em particular para os experimentos de larga escala — e o uso de *testbeds* físicos (particulares ou de domínio público) para avaliar situações mais próximas dos cenários reais de execução, permitindo, por exemplo, aferir a taxa real de perdas de mensagens e consumo de energia dos dispositivos. Há diferentes ferramentas de simulação e emulação de RSSF disponíveis [3, 4, 5], assim como *testbeds* físicos de domínio público [6, 7, 8, 9]. Há ainda propostas mais recentes de construção de ambientes de experimentação virtualizados que integram nós físicos com nós simulados e emulados, com o objetivo de facilitar a realização de experimentos considerando diferentes cenários de execução [10]. Entretanto, todos esses ambientes têm como foco a experimentação de aplicações voltadas especificamente para a execução em uma RSSF, i.e., não visam aplicações que requerem explicitamente a integração de uma (ou mais) RSSF isolada com outras redes sem fio e com a Internet, por exemplo, para permitir o acesso remoto aos dados coletados por diferentes sensores, por aplicações com diferentes finalidades.

Objetivo e metas Neste projeto de pesquisa e desenvolvimento propomos essa via alternativa, i.e., o projeto de uma arquitetura básica para a construção de ambientes de experimentação físicos (*testbeds*) que permitam avaliar e otimizar aplicações de sensoriamento nas quais parte da aplicação executa em plataformas de nós sensores (em uma mesma subrede ou em sub-redes distintas) e outra parte executa em nós remotos em outras sub-redes sem fio ou conectados via Internet.

Com base no objetivo descrito acima, as seguintes metas deverão ser atingidas:

- Disponibilização de um ambiente distribuído de experimentação remota de aplicações de sensoriamento para grupos de pesquisa no Brasil.
- Definição de um modelo para construção de *testbeds* para RSSF com finalidades específicas, incluindo ferramentas para auxiliar na gerência e uso do *testbed*.
- Implementação de soluções de controle de acesso federado para *testbeds* físicos locais, permitindo que grupos de pesquisas no Brasil disponibilizem seus recursos de hardware para acesso por outros grupos.
- Implementação de soluções de software que permitam criar canais de comunicação entre nós em uma RSSF e outros dispositivos conectados a Internet usando protocolos padronizados.
- Avaliação da arquitetura de *testbed* proposta por meio de aplicações finais e de algoritmos distribuídos específicos para aplicações de sensoriamento.

Para viabilizar a proposta de integração entre os nós da RSSF e dispositivos conectados a outras redes (PCs, notebooks, etc.) é necessário adotar protocolos de comunicação de uso comum. Nesse caso, considerando o domínio da Internet, a ideia é

fazer com que uma RSSF possa ser vista e tratada como mais um tipo de rede de acesso à Internet. Há diferentes alternativas que viabilizam essa ideia. Uma delas consiste em endereçar cada nó da RSSF com um endereço IP (versão 6) e implementar a pilha de protocolos IP nesses dispositivos (há várias iniciativas nessa direção, entre elas [11, 12, 13]), e é essa alternativa que pretendemos adotar. Desse modo, a arquitetura proposta servirá também como ambiente experimental para o conceito de “Internet das Coisas”, uma vez a interação entre diferentes aplicações será feita por meio de conexões de comunicação usando protocolos padrões da Internet.

Experiência anterior Nos últimos dois anos, participamos do projeto de pesquisa (*CIA*)², financiado pelo CTIC/RNP (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias Digitais para a Informação e Comunicação/Rede Nacional de Ensino e Pesquisa)¹, cujo tema central foi a construção de soluções de sensoriamento, processamento e comunicação de dados para a viabilização do conceito de “Cidades Inteligentes”.

Dentro do escopo do referido projeto, trabalhamos na meta AMB (*Ambiente de Experimentação Remota de IoT*), em duas frentes. A primeira delas envolveu a avaliação e extensão das soluções existentes para implementação da pilha de protocolos IPv6 em plataformas de nós sensores [14, 15]. A segunda delas tratou exatamente da construção de um ambiente piloto de experimentação remota (*testbed*) com dois tipos de plataformas de nós sensores (Micaz e Telosb) e uma API básica de acesso remoto a esse ambiente via Web [16, 17, 18, 19].(Os relatórios do projeto (citados acima) podem ser solicitados pelo email silvana@dcc.ufjf.br.) Infelizmente não foi possível realizar a implantação do *testbed* proposto dentro do prazo de execução do projeto (*CIA*)² devido às dificuldades encontradas no processo de importação dos sensores (as plataformas de sensores e dispositivos auxiliares foram entregues apenas no final do projeto).

Ao longo do trabalho, e com a interação com os demais grupos que participaram do projeto (*CIA*)², detectamos a importância de construir uma solução de *testbed* para RSSF mais completa e distinta das soluções tradicionais, que permitisse o desenvolvimento de aplicações integradas, i.e., com acesso à RSSF e com uma interface de interconexão padronizada com outras redes e aplicações. Essa característica mais específica, de permitir a interconexão do *testbed* com outras redes, é o que pretendemos acrescentar e explorar com mais profundidade neste projeto, construindo um protótipo que poderá ser acessado por diferentes grupos de pesquisa no Brasil e servir de base para a construção de *testbeds* com finalidades específicas. Além disso, esperamos que a integração com a Internet também possibilite a construção de experimentos que utilizem tanto o *testbed* de RSSFs como *testbeds* de experimentação em Internet do Futuro, como aqueles em construção no projeto FIBRE (*Future Internet Experimentation Between Brazil and Europe*).

Metodologia A construção do protótipo será dividida em duas partes. Na primeira parte, a arquitetura inicial do *testbed* será refinada e estendida para contemplar o modelo

¹ Informações disponíveis no endereço <http://www.nr2.ufpr.br/cia2>

² <http://www.rnp.br/servicos/cafe.html>

proposto de integração entre sub-redes de sensores (*testbeds* locais) com outras redes e aplicações via Internet. Para isso serão reavaliadas as soluções já propostas por outros grupos de trabalho de implementação da pilha de protocolos IP em dispositivos de baixo consumo, e a necessidade de implementação de soluções alternativas e/ou complementares para o *testbed* proposto. Ao longo dessa etapa implantaremos o primeiro piloto do *testbed*.

Na segunda parte, a proposta inicial de controle de acesso federado ao *testbed* será retomada. Pretendemos disponibilizar o *testbed* como um serviço Web dentro de uma infraestrutura de Federação usando, nesse caso, a infraestrutura da Federação CAFe². A adoção do controle de acesso federado é uma tendência atual na construção de *testbeds* para RSSF (um exemplo é o Wisebed [6]). O controle de acesso federado simplifica a gerência do *testbed* pois a manutenção do cadastro de usuários fica a cargo das instituições de origem desses usuários, via *provedores de identidade*. A instituição que mantém o *testbed* aparece como um *provedor de serviço*, facilitando também a disponibilização e integração de *testbeds* locais para acesso por usuários em outras instituições.

Avaliação do protótipo Avaliaremos o conjunto de soluções de software desenvolvidas com respeito à corretude, acesso remoto seguro e eficiência. Na primeira etapa de avaliação, um conjunto de aplicações básicas serão submetidas para execução no *testbed*. Além disso, serão desenvolvidos uma série de testes padrões que poderão ser usados para monitorar informações tais como: qualidade dos enlaces de comunicação, alcance do sinal de rádio, carga restante das baterias e perda de pacotes. As aplicações de teste deverão contemplar o uso de diferentes topologias de rede.

Na segunda etapa de avaliação, o *testbed* piloto será experimentado por desenvolvedores de aplicações para redes de sensores externos ao projeto. Nessa etapa, avaliaremos se o *testbed* é capaz de atender aos requisitos dos testes e avaliações projetados pelo desenvolvedor da aplicação. Daremos ênfase a aplicações que requerem integração da aplicação executando na rede de sensores com a Internet. Todo o acesso ao *testbed*, incluindo a configuração dos experimentos, gerência da distribuição de tarefas entre os nós da rede, monitoramento e recebimento dos dados coletados deverão ser feitos via interface Web, com controle de acesso federado.

8. Recursos financeiros

O *testbed* piloto será implantado nas dependências da UFRJ. Já dispomos de um computador para funcionar como portal de entrada para o *testbed* e das plataformas de sensores (Telosb e Micaz) (adquiridos no escopo do projeto (CIA)²). Precisaremos de recursos financeiros para apoiar a montagem do ambiente (instalações elétricas e de comunicação, e aquisição e montagem dos kits para suporte das plataformas de sensores) e adquirir novas plataformas de sensores, de modo a tornar o *testbed* mais heterogêneo (plataformas distintas e com maior capacidade de armazenamento e processamento de dados). O objetivo é ampliar o conjunto de aplicações que poderão se beneficiar do *testbed* e facilitar a integração da RSSF com a Internet. Além disso, será

necessário adquirir computadores para servir como estação de trabalho para os membros do projeto.

8.1. Equipamentos e softwares

A Tabela 1 detalha a previsão de gastos com equipamentos.

Descrição	Quantidade
Desktop	3 (R\$3.000,00 cada)
Plataformas de sensores	1 (R\$10.000,00 total previsto)
Montagem do ambiente para o testbed	1 (R\$5.000,00 total previsto)

Tabela 1. Previsão de gastos com equipamentos.

9. Ambiente para testes do protótipo

O ambiente para os testes do protótipo usará os mesmos equipamentos orçados nesta proposta.

Tabela 2. Previsão de gastos com pessoal.

Referências

- [1] D. Estrin, D. Culler, K. Pister, and G. Sukhatme. Connecting the physical world with pervasive networks. *Pervasive Computing, IEEE*, 1(1):59–69, 2002. <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MPRV.2002.993145>.
- [2] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52:2292–2330, 2008.
- [3] J. Polley, D. Blazakis, J. McGee, D. Rusk, and J.S Baras. ATEMU: a fine-grained sensor network simulator. In *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, pages 145–152, 2004. <http://www.isr.umd.edu/CSHCN/research/atemu/>.
- [4] BL Titzer, D. Lee, and J. Palsberg. Avrora: Scalable sensor network simulation with precise timing. In *Fourth International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, pages 477–482, 2005. <http://compilers.cs.ucla.edu/avrora/>.
- [5] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler. TOSSIM: Accurate and scalable simulation of entire TinyOS applications. In *Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pages 126–137. ACM Press, 2003.
- [6] I. Chatzigiannakis, S. Fischer, C. Koninis, G. Mylonas, and D. Pfisterer. Wisebed: an open large-scale wireless sensor network testbed. In *1st International Conference on Sensor Networks Applications, Experimentation and Logistics (SENSAPPEAL 2009)*, volume 29 of *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, SocialInf*, pages 68–87, ICST, September 2009. Springer-Verlag.

- [7] R. Crepaldi, S. Friso, A. Harris, M. Mastrogiovanni, C. Petrioli, M. Rossi, A. Zanella, and M. Zorzi. The design, deployment, and analysis of signetlab: A sensor network testbed and interactive management tool. In *Testbeds and Research Infrastructure for the Development of Networks and Communities, 2007. TridentCom 2007. 3rd International Conference on*, pages 1–10, may 2007.
- [8] G. Werner-Allen, P. Swieskowski, and M. Welsh. Motelab: a wireless sensor network testbed. In *Proceedings of the 4th international symposium on Information processing in sensor networks*, IPSN '05, Piscataway, NJ, USA, 2005. IEEE Press.
- [9] V. Handziski, A. Köpke, A. Willig, and A. Wolisz. Twist: a scalable and reconfigurable testbed for wireless indoor experiments with sensor networks. In *Proceedings of the 2nd international workshop on Multi-hop ad hoc networks: from theory to reality*, REALMAN '06, pages 63–70, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [10] G. Coulson et al. Flexible experimentation in wireless sensor networks. *Communications of the ACM*, 55(1), 2012.
- [11] G. Mulligan. The 6lowpan architecture. In *Proceedings of the 4th Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNets)*, pages 78–82. ACM, 2007.
- [12] J. Hui and D. Culler. Extending IP to low-power, wireless personal area networks. *IEEE Internet Computing*, 12(4):37–45, 2008.
- [13] J. Hui and D. Culler. IPv6 in low-power wireless networks. *Proceedings of the IEEE*, 98(11):1865–1878, 2010.
- [14] S. Rossetto, N. Rodriguez, B. Silvestre, and J. Gonçalves. RT1-AMB: Estado da arte sobre a integração de dispositivos de baixo consumo com a Internet. Technical report, Projeto (CIA)2 — Construindo Cidades Inteligentes: da Instrumentação dos Ambientes ao desenvolvimento de Aplicações, 2011.
- [15] S. Rossetto, N. Rodriguez, B. Silvestre, and J. Gonçalves. DC1-AMB: Documentação da pilha de protocolos IP para dispositivos de baixo consumo. Technical report, Projeto (CIA)2 — Construindo Cidades Inteligentes: da Instrumentação dos Ambientes ao desenvolvimento de Aplicações, 2012.
- [16] A. Branco, S. Rossetto, N. Rodriguez, B. Silvestre, and J. Gonçalves. RT2-AMB: Hardware do ambiente de experimentação. Technical report, Projeto (CIA)2 — Construindo Cidades Inteligentes: da Instrumentação dos Ambientes ao desenvolvimento de Aplicações, 2011.
- [17] A. Branco, S. Rossetto, N. Rodriguez, B. Silvestre, and J. Gonçalves. RT3-AMB: Especificação dos requisitos funcionais do testbed. Technical report, Projeto (CIA)2 — Construindo Cidades Inteligentes: da Instrumentação dos Ambientes ao desenvolvimento de Aplicações, 2012.
- [18] A. Branco, Y. Dantas, S. Rossetto, N. Rodriguez, B. Silvestre, and J. Gonçalves. RT4AMB: Relatório de ferramentas de apoio para uso do testbed. Technical report, Projeto (CIA)2

— Construindo Cidades Inteligentes: da Instrumentação dos Ambientes ao desenvolvimento de Aplicações, 2012.

- [19] A. Branco, Y. Dantas, S. Rossetto, N. Rodriguez, B. Silvestre, and J. Gonçalves. DC2AMB: Modo de operação do testbed. Technical report, Projeto (CIA)2 — Construindo Cidades Inteligentes: da Instrumentação dos Ambientes ao desenvolvimento de Aplicações, 2012.