

MANNA: Uma Arquitetura para Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio*

Linnyer Beatrys Ruiz^{1,2}, José Marcos Silva Nogueira¹ (Orientador)

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627 – 31279-010 Belo Horizonte, MG

²Departamento de Informática – Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Rua Imaculada Conceição, 1155 – 80215-901 Curitiba, PR

{linnyer, jmarcos}@dcc.ufmg.br

Abstract. *This thesis presents a management framework for Wireless Sensor Networks (WSNs) which includes the specification of an architecture called MANNA. This architecture establishes a separation between both sets of functionalities, i.e., application and management through a proposition of three architecture (information, functional, and physical). The proposed framework introduces a novel organization for WSNs management considering the two well know management dimensions, namely, management levels, management functional areas, and a novel dimension called WSN functionalities. This three-dimension organization is used in the management service, function and information definition. One of the major goals of the management architecture is to promote the productivity of the network resources and the quality of the service provided.*

Resumo. *Esta tese apresenta um arcabouço para o gerenciamento de redes de sensores sem fio que inclui a especificação de uma arquitetura chamada MANNA. Esta arquitetura estabelece uma separação entre as funcionalidades da aplicação e as funcionalidades do gerenciamento através da proposição de três arquiteturas (funcional, de informação e física). O arcabouço introduz uma organização para o gerenciamento de redes de sensores sem fio considerando duas dimensões de gerenciamento tradicionais sendo áreas funcionais e níveis de gerenciamento e definindo uma nova dimensão chamada funcionalidades das redes de sensores sem fio. Esta organização tridimensional é importante na definição de serviços, funções e informação de gerenciamento assim como na proposição de soluções integradas de gerenciamento. Um dos principais objetivos da arquitetura MANNA é promover a produtividade dos recursos da rede e a qualidade dos serviços providos.*

1. Introdução

Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) têm sido viabilizadas pela rápida convergência de três tecnologias: circuitos integrados, comunicação sem fio e micro sistemas eletro-mecânicos. Uma RSSF pode ser usada para monitorar e controlar um ambiente. Este tipo de rede tende a ser formada por centenas ou milhares de dispositivos autônomos chamados nós sensores. Estes dispositivos podem ser lançados sobre áreas remotas (reservas ambientais, oceanos, vulcões, rios, florestas, etc.) e sem a intervenção de técnicos ou operadores formam uma rede sem fio *ad hoc* que coleta dados sobre

*Este trabalho tem o apoio do CNPq

os fenômenos de interesse, realiza processamento local, e dissemina as informações para um ponto de acesso através do qual a rede comunica-se com outras redes ou com um usuário. Uma RSSF é um tipo de sistema dependente da aplicação, isto é, os parâmetros de configuração, operação e manutenção variam com o tipo de aplicação definida.

Os nós sensores tendem a ser projetados com pequenas dimensões (cm^3 ou mm^3) e esta limitação de tamanho acaba impondo limitações nos recursos de seus componentes quais sejam, transceptor para comunicação sem fio, fonte de energia, unidade de sensoriamento, memória e processador. Mesmo que os nós sensores não tenham mobilidade, a topologia da rede será dinâmica, uma vez que alguns nós podem estar fora de serviço por razões como falta de energia, problemas na deposição, ameaças e ataques a segurança, falhas nos componentes e falha de comunicação. Para as RSSFs, falhas não são exceções mas acontecimentos comuns. O componente lógico de um nó sensor é o software que executa no processador. Apesar dos nós individualmente possuírem pouca capacidade computacional e de energia, um esforço colaborativo entre os mesmos permite a realização de uma tarefa maior [Loureiro et al., 2003a]. Em alguns casos, uma RSSF também pode ser composta de dispositivos chamados atuadores que permitem ao sistema controlar parâmetros do ambiente monitorado.

O potencial de observação e controle do mundo real permite que as RSSFs se apresentem como uma solução para diversas aplicações: monitoração ambiental, gerenciamento de infraestrutura, biotecnologia, monitoração e controle industrial, segurança pública e de ambientes em geral, áreas de desastres e risco para vidas humanas, transporte, medicina e controle militar. Esta gama de aplicações tem estimulado ainda mais o desenvolvimento desses dispositivos e atraído a atenção da comunidade acadêmica. Apesar da rápida expansão, as RSSFs e suas aplicações vinham sendo projetadas e desenvolvidas sem considerar uma solução integrada de gerenciamento. Na maioria dos casos, os pesquisadores desenvolviam soluções para problemas específicos, fazendo suposições sobre o contexto sem considerar a integração com outros trabalhos. Além disso, as funcionalidades da aplicação eram confundidas com as funcionalidades de gerenciamento, não havendo um mecanismo que pudesse propor a distinção entre elas. Embora isso possa não ser um problema para redes pequenas, provavelmente será para RSSFs formadas por centenas ou milhares de nós nas quais há a necessidade de que as redes e seus elementos se reconfigurem e se adaptem ao seu próprio estado e às condições ambientais onde estão operando sem intervenção humana. Dadas as características particulares das RSSFs, fica claro que existem diferenças significativas entre o gerenciamento tradicional e o gerenciamento de RSSFs. A energia é um recurso crítico e assim, todas as operações executadas na rede devem ser eficientes em energia, incluindo as tarefas de gerenciamento. Outro aspecto que deve ser considerado é que as RSSFs estarão integradas a outras redes como por exemplo a Internet. Uma solução de gerenciamento que separe as funcionalidades, promova a integração das soluções propostas e utilize um modelo genérico de informação pode facilitar o planejamento, desenvolvimento e implementação das RSSFs, além de promover a produtividade da rede e a qualidade dos serviços providos por ela.

Tomando como pressuposto básico que o gerenciamento de RSSFs deve ser simples, aderente às peculiaridades dessas redes, incluindo também o seu dinamismo, e eficaz no uso dos recursos escassos, esta tese [Ruiz, 2003] propõe um arcabouço para o gerenciamento de tais redes. O arcabouço foi inicialmente publicado em [Ruiz et al., 2003b]. Ele estabelece uma organização baseada em três dimensões de gerenciamento. Duas dessas dimensões, áreas funcionais de gerenciamento e níveis de gerenciamento, têm sido usadas no gerenciamento tradicional e são redefinidas sob a perspectiva das RSSFs. A terceira dimensão, chamada “funcionalidades de RSSFs” foi inicialmente publicada em [Ruiz et al., 2003c] como um modelo funcional para as RSSFs. O arcabouço também inclui

uma arquitetura de gerenciamento chamada MANNA¹. Esta arquitetura é baseada no paradigma de computação autônoma (*autonomic computing*) [IBM, 2003] que define sistemas que gerenciam a si próprios sem intervenção humana direta.

A tese foi redigida na língua inglesa e está organizada em 6 capítulos e um anexo, além do resumo estendido em português colocado no início do texto para estar em conformidade com as normas da Universidade Federal de Minas Gerais. O capítulo 1 trata dos objetivos da tese e relaciona suas contribuições. O capítulo 2 apresenta as principais características das RSSFs, aponta as diferenças entre as RSSFs e outras redes, descreve aplicações e trabalhos relacionados. O capítulo 3 propõe uma organização para o gerenciamento das RSSFs. O capítulo 4 descreve a arquitetura MANNA. O capítulo 5 descreve os experimentos e resultados obtidos. O capítulo 6 apresenta as considerações finais. Um serviço de auto-diagnóstico para desenvolvimento de uma RSSF autônoma foi simulado e os resultados estão descritos no anexo A da tese. Nas próximas seções, fazemos uma exposição abreviada do conteúdo dos seis capítulos que compõem a tese e das publicações resultantes deste trabalho.

2. Contribuições da Tese

Construir partes do sistema e desenvolver soluções para problemas específicos em RSSFs não são tarefas triviais. Contudo, integrar estas partes ou soluções de maneira a promover a produtividade da rede e a qualidade dos serviços providos é um desafio ainda maior. Esta tese tratou deste desafio: estudar o problema do gerenciamento em RSSFs, procurando entender as necessidades, os requisitos e as questões relacionadas ao tema e identificando as diferenças em relação ao gerenciamento de outras redes. Definir um arcabouço para gerenciamento de RSSFs foi a principal contribuição.

É notável o progresso da área de RSSFs. Contudo, quando o desenvolvimento da tese teve início, haviam poucas publicações sobre RSSFs e muitos resultados de pesquisa não estavam disponíveis. Este cenário impôs muitos desafios e dificuldades a serem superados e que foram vistos como oportunidades de pesquisa. Era necessário entender as RSSFs e suas características especiais para então propor soluções de gerenciamento e avaliar como estas soluções contribuiriam para o funcionamento da rede. Por ocasião do desenvolvimento da tese, não foram encontrados na literatura trabalhos relacionados ao gerenciamento integrado de RSSFs. As contribuições da tese apresentadas no capítulo 1 são:

- Um arcabouço de gerenciamento para RSSFs que provê a distinção entre funcionalidades de gerenciamento e funcionalidades da aplicação. O arcabouço estabelece uma organização tridimensional para o gerenciamento de RSSFs. Duas dessas dimensões, áreas funcionais de gerenciamento e níveis de gerenciamento são comuns no gerenciamento de outras redes mas foram redefinidas sob a perspectiva de RSSFs e a terceira dimensão “funcionalidades de RSSFs” é também uma outra contribuição desta tese. Esta nova dimensão é baseada no modelo funcional e na caracterização das RSSFs que também são contribuições desta tese;
- Uma arquitetura de gerenciamento chamada MANNA, que é construída a partir de uma arquitetura de informação, uma arquitetura funcional e uma arquitetura física, cada uma delas relacionadas a diferentes aspectos da solução de gerenciamento. A arquitetura MANNA propõe que as RSSFs sejam auto-gerenciadas, isto é, a rede executa funções e serviços automáticos de gerenciamento sem intervenção de técnicos ou operadores.

¹MANNA - tradução para a língua inglesa do termo Maná. A palavra MANNA tem origem no hebraico *Man hu*: pão do céu ou “Que é isto?” - alimento fornecido por Deus aos israelitas durante 40 anos no deserto. Era como uma semente miúda que era lançada do céu e cobria a terra como geada. Tinha gosto de bolo de mel (Êxodos 16:31). Coisa excelente, vantajosa. [Novo Aurélio Século XXI: o Dicionário da Língua Portuguesa. Aurélio Buarque de Holanda Ferreira, 3a. Edição, Editora Nova Fronteira, 1999]

- Um esquema para definição de funções de gerenciamento de RSSFs e um esquema para estabelecimento de serviços de gerenciamento considerando o tipo de aplicação de RSSF a ser gerenciada. Uma lista de serviços e uma lista de funções são fornecidas pela tese como resultado do uso desses esquemas.
- Um ambiente chamado MANNASim para a simulação de aplicações e soluções de gerenciamento construído a partir da ferramenta Network Simulator (NS-2). Atualmente, o MANNASim é um projeto de software livre aprovado pelo CNPq;
- A proposição de novos modelos para representação dos estados de uma RSSFs;
- Um modelo genérico de informação;
- A aplicação dos conceitos do paradigma de computação autonômica ou auto-gerenciamento (*self-management*) em RSSFs.

Algumas das contribuições e resultados deste trabalho foram obtidos com a colaboração de bolsistas. Todos os trabalhos foram escritos em co-autoria com o Prof. José Marcos Silva Nogueira (orientador da tese) e Prof. Antônio Alfredo Ferreira Loureiro e publicados em paralelo ao seu desenvolvimento em periódico internacional [Ruiz et al., 2003b], como capítulo de livro internacional [Ruiz et al., 2004c], em eventos internacionais [Ruiz et al., 2003c, Ruiz et al., 2003a, Ruiz et al., 2004b, Vieira et al., 2003b, Silva et al., 2003a], em eventos nacionais [Ruiz et al., 2003d, Ruiz et al., 2003e, Ruiz et al., 2004a, Loureiro et al., 2002, Loureiro et al., 2003a, Loureiro et al., 2003b, Vieira et al., 2003a, Siqueira et al., 2004, Vieira et al., 2004, Silva et al., 2004, Braga et al., 2004] e como relatórios técnicos [Ruiz, 2002, Silva et al., 2003b].

3. Revisão Bibliográfica

O capítulo 2 da tese apresenta uma revisão bibliográfica sobre RSSFs incluindo as características particulares dessas redes e apontando as diferenças entre as RSSFs e outras redes. O capítulo também descreve aplicações e trabalhos relacionados.

Os resultados do desenvolvimento da fase de revisão bibliográfica, apresentada no capítulo 2, foram publicados como mini-curso na Jornada de Atualização em Informática do Simpósio Brasileiro de Computação de 2002 [Loureiro et al., 2002]. A partir da identificação de problemas em RSSFs e da definição dos primeiros requisitos de gerenciamento, publicamos outros dois minicursos no Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores de 2003 e 2004 [Loureiro et al., 2003a, Ruiz et al., 2004a]. Durante o trabalho de pesquisa sobre o gerenciamento de serviços e a definição de requisitos de QoS (*Quality of Service*) para RSSFs, publicamos um mini-curso referente ao tema no Workshop de Comunicação Sem Fio e Computação Móvel de 2003 [Ruiz et al., 2003d]. Um outro mini-curso sobre *middleware* e tolerância a falhas em RSSFs foi publicado no Workshop de Segurança e Tolerância a Falhas do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores de 2003 [Loureiro et al., 2003b].

Os principais obstáculos ao desenvolvimento de um arcabouço de gerenciamento para RSSFs decorreram da novidade, da interdisciplinaridade do tema e da dificuldade associada ao entendimento dos detalhes dessas redes. Estas dificuldades foram superadas e resultaram em contribuições na forma de 5 mini-cursos.

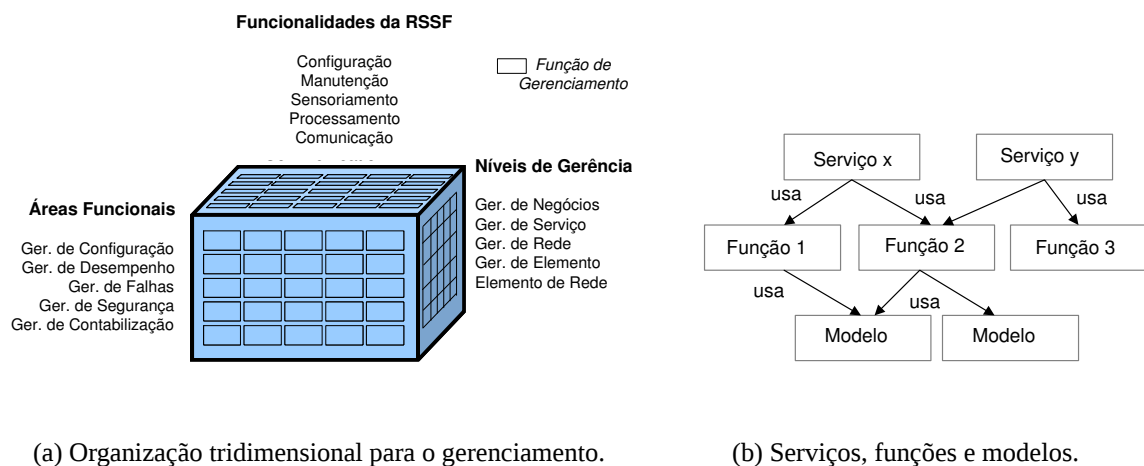
4. Uma Organização para o Gerenciamento de RSSFs

Como mencionado, uma RSSF é um tipo de sistema dependente da aplicação, isto é, os parâmetros de configuração, operação e manutenção variam com o tipo de aplicação definida. Sendo assim, no processo de desenvolvimento do arcabouço de gerenciamento, estudamos um conjunto de aplicações

encontradas na literatura e propusemos um modelo funcional, que permite caracterizar as RSSFs. O modelo funcional foi inicialmente publicado em [Ruiz et al., 2003c] e serviu de base para o desenvolvimento de um modelo de informação genérico que define aspectos referentes à sintaxe e à semântica da informação da rede.

Construir e desenvolver soluções de gerenciamento em ambientes onde existem centenas ou milhares de nós com características particulares não é uma tarefa trivial. Esta tarefa torna-se ainda mais difícil devido às restrições de recursos, à dependência da aplicação e à influência do ambiente no comportamento da RSSF. Uma boa estratégia para lidar com esta complexidade é usar dimensões de gerenciamento que permitam definir problemas e delinear soluções sob diferentes níveis de abstração.

A abordagem proposta no capítulo 3 da tese, trata de situações complexas do gerenciamento de RSSFs pela decomposição do problema em sub-problemas menores, seguindo refinamentos sucessivos a partir de uma organização tridimensional (ver figura 1(a)). Duas dessas dimensões, áreas funcionais de gerenciamento e níveis de gerenciamento são comuns no gerenciamento de outras redes mas foram redefinidas sob a perspectiva de RSSFs. A terceira dimensão foi estabelecida a partir do modelo funcional [Ruiz et al., 2003c]. Esta nova dimensão é chamada “funcionalidades de RSSFs” está organizada em níveis de configuração, sensoriamento, comunicação, processamento e manutenção e pode ser vista na parte superior da figura 1(a). A intersecção dos três planos da organização proposta para o gerenciamento de RSSFs define uma célula. Cada célula contém um conjunto de funções de gerenciamento. A coordenação entre os três planos pode ser baseada em políticas. O gerenciamento baseado em políticas é uma alternativa interessante pois auxilia no gerenciamento de redes complexas tais como as RSSFs. O uso desta organização é útil na definição de serviços, funções e informação de gerenciamento, assim como no planejamento e definição de aplicações.



(a) Organização tridimensional para o gerenciamento.

(b) Serviços, funções e modelos.

Figura 1: Principais conceitos do arcabouço de gerenciamento.

O arcabouço proposto vai além da organização tridimensional e define uma arquitetura chamada MANNA para o gerenciamento das RSSFs. O arcabouço também introduz vários aspectos relacionados ao gerenciamento de RSSFs que eram inéditos na literatura até a publicação em [Ruiz et al., 2003b]. As contribuições relativas ao gerenciamento de redes estabelecidas no capítulo 3 da tese foram publicadas como um capítulo do livro “*Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems*” [Ruiz et al., 2004c]. A visão do arcabouço é que as RSSFs tornem-se sistemas autônômicos, isto é, sistemas que gerenciem a si próprios sem intervenção humana direta. Uma RSSF auto-gerenciada é construída a partir de serviços e funções automáticas de gerenciamento definidas no escopo da arquitetura MANNA descrita na próxima seção.

5. Arquitetura MANNA

O gerenciamento é uma área de pesquisa recém inaugurada em RSSFs. Segundo o professor Mehmet Ulema [Ulema, 2003], a arquitetura de gerenciamento MANNA desenvolvida dentro do arcabouço definido pela tese e publicada inicialmente em [Ruiz et al., 2003b] é a primeira solução integrada de gerenciamento para as RSSFs. Ela foi concebida para prover soluções de gerenciamento para diferentes tipos de RSSFs.

Sendo as RSSFs dependentes da aplicação, a arquitetura MANNA provê flexibilidade, isto é, ela permite o gerenciamento de qualquer tipo de RSSF. Com este intuito, a arquitetura MANNA propõe três arquiteturas de gerenciamento – funcional, física e de informação – que em seu desenvolvimento e implementação também levam em conta as três dimensões de gerenciamento descritas na seção 4. A arquitetura de informação é proposta para garantir soluções comuns para o gerenciamento através da definição de uma modelo genérico de informação e estratégias para obter esta informação. O modelo de informação genérico foi publicados em [Ruiz et al., 2003c]. A arquitetura de informação define dois tipos de informação para RSSFs, estática (representada através de classes de objetos) e dinâmica (representada através de modelos de rede que podem ser observados na figura 1(b)). A arquitetura funcional é proposta com objetivo de planejar os locais na rede onde as entidades de gerenciamento (gerentes e agentes) podem ser executadas e por quais serviços e funções de gerenciamento cada uma delas será responsável. A arquitetura física descreve as interfaces que podem ser utilizadas para troca de informação entre as entidade de gerenciamento. Ela não define ou desenvolve protocolos de comunicação mas sugere quais perfis podem ser mais adequados ao propósito da solução de gerenciamento. Um estudo sobre arquitetura de nós e protocolos específicos para RSSFs foi publicado em [Ruiz et al., 2004a].

O capítulo 4 da tese define um esquema para se construir soluções de gerenciamento a partir da definição de serviços e funções e da utilização de modelos. A figura 1(b) representa o esquema para a construção do gerenciamento, iniciando pela definição dos serviços de gerenciamento que são formados por funções de gerenciamento. As condições para execução de uma função são obtidas a partir de modelos (também chamados de mapas), os quais representam o estado da rede sob determinado nível de abstração. Um serviço de gerenciamento pode utilizar uma ou mais funções de gerenciamento. Diferentes serviços podem utilizar funções em comum, as quais utilizam modelos para recuperar um estado da rede, considerando um dado aspecto. Os serviços e as funções de gerenciamento utilizam e produzem informação de gerenciamento e podem ser executados de forma manual, semi-automática ou automática. Neste último caso, quando os serviços de gerenciamento são executados automaticamente sem intervenção humana, a RSSF passa a ser um sistema de computação autônomo [IBM, 2003], isto é, auto-gerenciado.

O capítulo 4 também apresenta uma lista de serviços e funções de gerenciamento obtidas a partir de esquemas definidos no escopo desta tese. Alguns destes serviços e funções, assim como estratégias de atualização dos mapas foram implementados e testados durante o desenvolvimento da tese. Um esquema para construção e atualização de mapas para RSSFs planas utilizando algoritmos distribuídos foi publicado em [Silva et al., 2003a]. Outro esquema para atualização de mapa de energia tolerante a falhas e utilizando métodos de fusão por área foi publicado em [Vieira et al., 2003a]. Além disso, uma função de gerenciamento para identificação de nós redundantes usando Diagramas de Voronoi foi publicado em [Vieira et al., 2003b], um serviço para manutenção da área de cobertura centralizado foi definido e publicado em [Ruiz et al., 2003a] e outro foi desenvolvido e publicado em [Siqueira et al., 2004]. Uma função para deposição eficiente de nós sensores na área monitorada foi desenvolvida e publicada em [Vieira et al., 2004]. Um serviço de auto-configuração usando políticas de gerenciamento foi publicado em [Silva et al., 2004].

6. Desenvolvendo uma Solução de Gerenciamento para RSSFs Contínuas

Na seção anterior descrevemos a arquitetura MANNA e algumas das funções desenvolvidas e publicadas durante o seu desenvolvimento. Um dos maiores objetivos da arquitetura MANNA é promover a produtividade dos recursos e a qualidade dos serviços. No capítulo 5, implementamos e avaliamos alguns serviços automáticos de gerenciamento de configuração e desempenho propostos pela arquitetura MANNA. Foram implementadas diferentes configurações de uma RSSF considerando uma aplicação de coleta e disseminação de dados contínua e os efeitos da solução de gerenciamento proposta para esta rede. Para isto, consideramos as métricas: atraso, número de mensagens perdidas, consumo de energia e precisão da informação. A aplicação escolhida como caso de estudo realiza a monitoração de temperatura e monóxido de carbono em área urbana. Os resultados mostram as relações de custo-benefício das diferentes organizações, bem como demonstra que o gerenciamento pode promover a produtividade dos recursos e controlar qualidade dos serviços providos. Os resultados também demonstram que o gerenciamento pode melhorar o desempenho de uma RSSF com várias configurações e fornecer ao observador informação relevante, sem custo adicional de consumo de energia para a rede. Os resultados iniciais foram publicados em [Ruiz et al., 2003e]. Os experimentos foram ampliados e os resultados publicados em [Ruiz et al., 2004b]. Resultados avaliando o gerenciamento de serviços foram publicados em [Ruiz et al., 2003a].

Por ocasião da implementação da tese não haviam nós sensores disponíveis para a realização de experimentos. Decidimos por realizar simulações. Contudo, nenhuma ferramenta de simulação específica para RSSFs estava disponível para uso. Assim, para realizar os experimentos, projetamos e implementamos um módulo de simulação que estende as funcionalidades da ferramenta *Network Simulator* (NS-2). Este módulo, chamado MANNASim, foi desenvolvido com auxílio de dois bolsistas e classificado no Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica da Sociedade Brasileira de Computação 2004 [Braga et al., 2004]. Atualmente, o MANNASim é um projeto de software livre aprovado pelo CNPq (Processo 401840/2003-4).

7. Conclusão

Tal como definido, alguns princípios nortearam a concepção do arcabouço proposto como tese, quais sejam (1) simplicidade, (2) aderência às peculiaridades das RSSFs, incluindo também o seu dinamismo, e (3) eficácia no uso dos recursos escassos.

Entendemos que o arcabouço proposto nesta tese [Ruiz, 2003] é uma contribuição relevante para a área [Ruiz et al., 2004a, Ruiz et al., 2004b, Ruiz et al., 2004c, Ruiz et al., 2003a, Ruiz et al., 2003b, Ruiz et al., 2003c, Ruiz et al., 2003d, Ruiz et al., 2003e, Ruiz, 2002, Siqueira et al., 2004, Loureiro et al., 2003a, Loureiro et al., 2003b, Loureiro et al., 2002, Vieira et al., 2004, Vieira et al., 2003a, Vieira et al., 2003b, Silva et al., 2003a, Silva et al., 2003b, Silva et al., 2004, Braga et al., 2004], uma vez que não havia na literatura qualquer proposta relacionada ao tema gerenciamento integrado de RSSFs. Durante o processo de desenvolvimento muitos desafios foram superados e muitos ainda prevalecem como trabalhos futuros. Algumas extensões imediatas já estão sendo desenvolvidas por alunos de graduação, mestrado e doutorado da Universidade Federal de Minas Gerais. Atualmente, a arquitetura MANNA é parte do Projeto SensorNet financiado pelo CNPq (Processo 55.2111/02-3).

Referências

- Braga, T. R., Silva, F., Ruiz, L. B., and Nogueira, J. M. S. (2004). Mannasim: Um arcabouço para simulação de redes de sensores sem fio. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica*, agosto.
- IBM (2003). Autonomic Computing – Creating Self-managing Computing Systems. Disponível em <http://www-3.ibm.com/autonomic/index.shtml>.

- Loureiro, A. A., Nogueira, J. M. S., Ruiz, L. B., and Mini, R. A. (2002). Rede de sensores sem fio. pages 193–234. XXI Jornada de Atualização em Informática do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação.
- Loureiro, A. A., Nogueira, J. M. S., Ruiz, L. B., Nakamura, E., Seródio, C. M., and Mini, R. (2003a). Redes sensores sem fio. pages 179–226. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC).
- Loureiro, A. A., Ruiz, L. B., Franciscani, F. P., Couto, R. R. P., and Nogueira, J. M. S. (2003b). Middleware para redes de sensores sem fio. pages 89–115. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC).
- Ruiz, L. B. (2002). Manna: Uma arquitetura para o gerenciamento de redes de sensores sem fio. Relatório Técnico RT.DCC/UFGM 005/2002, Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais.
- Ruiz, L. B. (2003). *MANNA: Uma Arquitetura para o Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Ruiz, L. B., Braga, T. R., Silva, F., Nogueira, J. M. S., and Loureiro, A. A. (2003a). Service management for wireless sensor networks. *IEEE LANOMS – Latin American Network Operations and Management Symposium*, pages 55–62.
- Ruiz, L. B., Correia, L. H., Vieira, L. F. M., Vieira, M. A. M., Nogueira, J. M. S., Loureiro, A. A., Seródio, C. M., and Nakamura, E. (2004a). Arquitetura de redes de sensores sem fio. pages 167–218. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC).
- Ruiz, L. B., Fabrício, Braga, T. R., Silva, Nogueira, J. M. S., and Loureiro, A. A. (2004b). On impact of management on wireless sensor networks. *IEEE NOMS – Network Operations and Management Symposium*, pages 657–670.
- Ruiz, L. B., Nogueira, J. M. S., and Loureiro, A. A. (2003b). MANNA: A management architecture for wireless sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 41(2):116–125.
- Ruiz, L. B., Nogueira, J. M. S., and Loureiro, A. A. (2004c). *Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems*, volume 1, chapter Sensor Network Management. Edited by Mohammad Ilyas and Imad Mahgoub, CRCPress.
- Ruiz, L. B., Nogueira, J. M. S., and Loureiro, A. A. F. (2003c). Functional and information models for the manna architecture. *GRES03 - Colloque Francophone sur la Gestion de Reseaux et de Services*, pages 455–470.
- Ruiz, L. B., Porto, K. R., Loureiro, A. A., and Nogueira, J. M. S. (2003d). Qualidade de serviço em redes de sensores sem fio. *V WCSF - Workshop de Comunicação Sem Fio e Computação Móvel*.
- Ruiz, L. B., Silva, F., Braga, T. R., Nogueira, J. M. S., and Loureiro, A. A. (2003e). Sobre o impacto do gerenciamento no desempenho das redes de sensores sem fio. *V WCSF - Workshop de Comunicação Sem Fio e Computação Móvel*, pages 199–210.
- Silva, A. P. R., Teixeira, F., Lage, R., Ruiz, L. B., Loureiro, A. A., and Nogueira, J. M. (2003a). Using distributed snapshot algorithm in wireless sensor networks. *The 9th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems*, pages 31–27.
- Silva, F., Braga, T. R., Ruiz, L. B., and Nogueira, J. M. S. (2003b). Tecnologia de nós sensores sem fio. Relatório Técnico RT.DCC/UFGM 006/2003, Departamento de Ciência da Computação.
- Silva, F., Braga, T. R., Ruiz, L. B., and Nogueira, J. M. S. (2004). Um serviço de auto-organização para redes de sensores sem fio autônomicas. *IX Workshop de Gerência de Redes e Serviços*, pages 91–102.
- Siqueira, I. G., Ruiz, L. B., and Loureiro, A. A. (2004). Um serviço de gerenciamento para controle de densidade de redes sensores sem fio. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*, pages 249–262.
- Ulema, M. (2003). Tutorial: Management of next generation wireless networks and services. *IEEE LANOMS – Latin American Network Operation and Management Symposium*.
- Vieira, L. F., Ruiz, L. B., Vieira, M. A., Loureiro, A. A., and Fernandes, A. O. (2004). Efficient incremental sensor network deployment algorithm. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*, pages 3–14.
- Vieira, M. A., Vieira, L. F., Loureiro, A. A., Ruiz, L. B., , and Fernandes, A. O. (2003a). Como obter o mapa de energia em redes de sensores sem fio? uma abordagem tolerante a falhas. *V WCSF - Workshop de Comunicação Sem Fio e Computação Móvel*, pages 183–189.
- Vieira, M. A., Vieira, L. F., Ruiz, L. B., , Loureiro, A. A., Fernandes, A. O., and Nogueira, J. M. S. (2003b). Scheduling nodes in wireless sensor network: A voronoi approach. *IEEE LCN – Local Computer Network*, pages 423–429.