



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Monitorização Wireless de Pessoas em Ambiente Doméstico

Márcio Luís Mendonça de Vasconcelos de Nóbrega

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Júri

Presidente:

Orientador:

Co-Orientador:

Vogais:

Doutor Renato Jorge Caleira Nunes

Doutor António Manuel Raminhos Cordeiro Grilo

Outubro 2012

“Nunca é demasiado tarde para ser aquilo que sempre se quis ser.” — George Eliot

Agradecimentos

Resumo

O resumo.

Palavras Chave

Até seis, palavras, chave.

Abstract

Your abstract goes here.

Keywords

Up to, six, keywords.

Conteúdo

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Motivação | 2 |
| 1.2 | Objectivos | 3 |
| 1.3 | Principais Contribuições | 3 |
| 1.4 | Organização da Dissertação | 3 |
| 2 | Estado da Arte | 5 |
| 2.1 | Monitorização com Sinal Vídeo ou Áudio | 6 |
| 2.2 | Monitorização com Sensores <i>Wearable</i> | 8 |
| 2.3 | Monitorização com Sensores Domésticos | 11 |
| 3 | Trabalho Relacionado | 15 |
| 3.1 | Monitorização Doméstica de Idosos | 16 |
| 3.1.1 | Necessidades nos Cuidados de Saúde | 16 |
| 3.1.2 | Necessidades na Monitorização | 17 |
| 3.2 | Localização em Redes de Sensores Wireless | 19 |
| 3.2.1 | Medidas de Localização | 19 |
| 3.2.2 | Sistemas de Localização | 20 |
| 3.3 | Encaminhamento em Redes de Sensores Wireless | 22 |
| 3.3.1 | Desafios e Decisões de Design | 22 |
| 3.3.2 | Protocolos de Encaminhamento | 23 |
| 4 | Ambiente de Trabalho | 27 |
| 4.1 | Objective Modular network Test-bed (OMNeT++) | 28 |
| 4.2 | Mixed Simulator (MiXiM) para OMNeT++ | 31 |
| 4.3 | Simulação de Obstáculos para MiXiM | 33 |
| 5 | Arquitectura do Sistema | 37 |
| 5.1 | Sistema de Monitorização EMoS | 38 |
| 5.1.1 | Nó Móvel (MN) | 39 |
| 5.1.2 | Nó Fixo (SN) | 41 |

Conteúdo

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.1.3 | Nó Base (BN) | 41 |
| 5.2 | Camada NIC | 43 |
| 5.3 | Camada Network : <i>AODVRoute</i> | 43 |
| 5.3.1 | Tipos de Mensagens | 44 |
| 5.3.2 | Estruturas de dados | 45 |
| 5.3.3 | Modo de Funcionamento | 46 |
| 5.4 | Camada Application | 47 |
| 5.4.1 | HORUS Modificado | 47 |
| 5.4.2 | Módulo de Nó Móvel | 47 |
| 5.4.3 | Módulo de Nó Fixo | 47 |
| 5.4.4 | Módulo de Nó Base | 47 |
| 5.5 | Mobilidade | 47 |
| 6 | Resultados | 49 |
| 6.1 | Potência Recebida | 50 |
| 6.2 | Criação dos RadioMaps e RadioMapClusters | 50 |
| 6.3 | Localização | 50 |
| 6.4 | Throuput | 50 |
| 6.5 | Escalabilidade | 50 |
| 6.6 | Tolerância a Falhas de Nós | 50 |
| 7 | Conclusões e Trabalho Futuro | 51 |
| A | Apêndice 1 | 57 |

Lista de Figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Pirâmides demográficas em Portugal entre 1950 e 2050 (estimativa) [1]. | 2 |
| 2.1 | Arquitectura do sistema proposto em [2]. | 7 |
| 2.2 | Arquitectura de fusão de decisão referida em [3]. | 7 |
| 2.3 | Processo de detecção de quedas e alertas descrito no trabalho [4]. | 8 |
| 2.4 | Exemplo de uma BSN [5]. | 9 |
| 2.5 | Exemplo de uma WBAN [6]. | 10 |
| 2.6 | Infraestrutura de rede <i>Mediacup</i> [7] que integra IR, CAN e LAN. | 13 |
| 3.1 | Classificação da localização em redes WSN [8]. | 20 |
| 3.2 | Sistema de localização MoteTrack [9]. | 22 |
| 3.3 | Protocolo SPIN [10]. | 24 |
| 3.4 | Exemplo de funcionamento do protocolo LEACH. | 25 |
| 4.1 | Representação modular do ambiente de trabalho. | 28 |
| 4.2 | Estrutura modular do OMNeT++. | 29 |
| 4.3 | Arquitectura lógica de um executável OMNeT++ [11]. | 29 |
| 4.4 | Ambiente de simulação Tkenv no OMNeT++ [11]. | 30 |
| 4.5 | Simulação de uma rede no MiXiM [32]. | 31 |
| 4.6 | Módulo de nó no MiXiM [32]. | 32 |
| 4.7 | Divisão lógica da <i>framework</i> MiXiM. | 32 |
| 4.8 | Camada PHY do MiXiM [32]. | 33 |
| 4.9 | Simulação de uma rede MiXiM com obstáculos. | 34 |
| 5.1 | Esquema modular do <i>Elder Monitorization System</i> (EMoS). | 38 |
| 5.2 | Estrutura interna de um nó no sistema EMoS. | 40 |
| 5.3 | Módulo <i>Waspnote</i> da <i>Libelium</i> | 40 |
| 5.4 | Rádio <i>XBee</i> IEEE 802.15.4 usado no módulo <i>Waspnote</i> | 41 |
| 5.5 | Módulo <i>Micaz</i> da <i>Crossbow</i> | 42 |
| 5.6 | Módulo <i>Waspnote Gateway</i> da <i>Libelium</i> | 42 |
| 5.7 | Sistema linear correspondente à aplicação dos modelos analógicos à potência do sinal recebido pelo nó. | 43 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|---|----|
| 5.8 | Tipos de mensagens do AODVRoute. | 44 |
| 5.9 | PktMap - estrutura para a gestão dos pacotes de aplicação em espera. | 45 |
| 5.10 | RREQVector - estrutura que guarda os RREQs recebidos num nó. | 46 |
| 5.11 | RouteMap - estrutura que guarda os caminhos encontrados para nós destino. . . | 46 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | Aplicações para redes de sensores <i>In-body</i> e <i>On-body</i> [6]. | 11 |
| 2.2 | Grau de intrusão por tecnologia usada em [12]. | 12 |
| 3.1 | Índice de independência nas ADLs [13]. | 17 |
| 3.2 | Uso de tecnologia pelos Idosos [14]. | 17 |
| 3.3 | Classificação das ADLs [14]. | 18 |
| 4.1 | Valores de atenuação por metro e por parede usados neste trabalho. | 35 |
| 4.2 | Atenuação de materiais de construção comuns para frequências de 5GHz e 2.4 GHz. | 35 |
| 5.1 | Parâmetros do rádio <i>XBee</i> da <i>Digi</i> | 41 |
| 5.2 | Parâmetros do rádio <i>Texas Instruments CC2420</i> | 42 |

Lista de Acrónimos

| | |
|---|----|
| BSN <i>Body Sensor Network</i> | 9 |
| BAN <i>Body Area Network</i> | 9 |
| WBAN <i>Wireless Body Area Network</i> | 9 |
| MAC <i>Medium Access Control</i> | 9 |
| GTS <i>Guaranteed Time Slots</i> | 10 |
| WLAN <i>Wireless Local Area Network</i> | 11 |
| WSN <i>Wireless Sensor Network</i> | 11 |
| IR <i>Infrared</i> | 13 |
| CAN <i>Car Area Network</i> | 13 |
| LAN <i>Local Area Network</i> | |
| RFID <i>Radio-frequency Identification</i> | |
| CM <i>Case Manager, profissionais de saúde do ramo da geriatria.</i> | 16 |
| ADL <i>Activity of Daily Living</i> | 16 |
| PDA <i>Personal Digital Assistant</i> | |
| BS <i>Base Station</i> | 21 |
| QoS <i>Quality of Service</i> | 23 |
| SPIN <i>Sensor Protocols for Information via Negotiation</i> | 24 |
| DD <i>Direct Diffusion</i> | 24 |
| AODV <i>Ad hoc On-demand Vector Routing</i> | 24 |
| DSR <i>Dynamic Source Routing</i> | 25 |
| LEACH <i>Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy</i> | 25 |
| PEGASIS <i>Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems</i> | 25 |
| GEAR <i>Geographical and Energy Aware Routing</i> | 26 |
| TOA <i>Time of Arrival</i> | 19 |
| TDOA <i>Time Difference of Arrival</i> | 19 |

Lista de Acrónimos

| | | |
|-----------------|--|----|
| RSS | <i>Received Signal Strength</i> | 19 |
| POA | <i>Phase of Arrival</i> | 19 |
| AOA | <i>Angle of Arrival</i> | 19 |
| RM | <i>Radio Map</i> | 20 |
| RF | <i>Radio Frequency, rádio-frequência.</i> | |
| AP | <i>Access-Point</i> | 21 |
| OMNeT++ | <i>Objective Modular Network Test-bed</i> | 28 |
| MiXiM | <i>Mixed Simulator</i> | 28 |
| NED | <i>Network Description</i> | 28 |
| MF | <i>Mobility Framework</i> | 31 |
| ChSim | <i>CHannel SIMulator</i> | 31 |
| NIC | <i>Network Interface Card</i> | |
| PHY | <i>Physical Layer</i> | |
| GSM | <i>Global System for Mobile Communications</i> | |
| EMoS | <i>Elder Monitoring System</i> | 38 |
| IEEE | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> | |
| SD | <i>Secure Digital</i> | |
| MN | <i>Mobile Node</i> | 38 |
| SN | <i>Static Node</i> | 38 |
| BN | <i>Base Node</i> | 39 |
| RSSI | <i>Received Signal Strength Information</i> | |
| PC | <i>Personnal Computer</i> | |
| RREQ | <i>Route Request</i> | 44 |
| RREP | <i>Route Response</i> | 44 |
| RREP-ACK | <i>Route Response Acknowledge</i> | 44 |
| RERR | <i>Route Error</i> | 44 |
| APP | <i>Application Layer</i> | |
| FIFO | <i>First In First Out</i> | |
| TTL | <i>Time To Live</i> | 44 |

1

Introdução

Conteúdo

| | | |
|-----|--------------------------------------|---|
| 1.1 | Motivação | 2 |
| 1.2 | Objectivos | 3 |
| 1.3 | Principais Contribuições | 3 |
| 1.4 | Organização da Dissertação | 3 |

TODO: Pequeno resumo do capítulo

1.1 Motivação

O aumento da esperança de vida provoca actualmente um envelhecimento generalizado da população mundial o que coloca diversos desafios ao desenvolvimento nacional, à sustentabilidade das famílias e à capacidade dos sistemas de saúde. Durante anos recentes o número de pessoas no mundo acima dos 60 anos aumentou de 200 milhões em 1950 para 670 milhões, sector etário que representa já cerca de 20% do total da população nos países desenvolvidos [1]. Com a deslocalização dos jovens para a periferia dos grandes centros e a baixa natalidade, aumenta cada vez mais o número de idosos que vivem sozinhos em suas casas. Esta situação cria ansiedade em todos os envolvidos, resultando muitas vezes em internamentos precoces em lares, com um custo elevado e vagas limitadas.

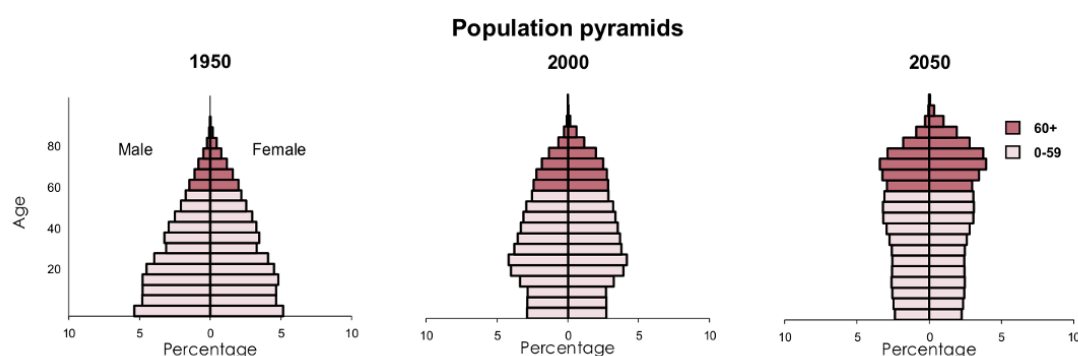


Figura 1.1: Pirâmides demográficas em Portugal entre 1950 e 2050 (estimativa) [1].

Pessoas com deficiências físicas ou mentais apresentam também uma idêntica necessidade de acompanhamento. Por exemplo, pessoas com deficiência mental média, normalmente têm capacidades sociais e funcionais para serem minimamente independentes, ainda que necessitem de alguma supervisão e assistência. Normalmente têm problemas tão básicos como, por exemplo, decidir quando se levantar ou deitar na cama, ou tomar medicamentos à hora certa.

A monitorização de ambos os casos descritos permitiria libertar mão-de-obra especializada para situações de maior dependência, reduzindo custos e aumentando a eficiência, notificando médicos ou hospitais da mudança de sinais vitais e comportamentos, que precedam situações de risco ou interagindo com ambientes inteligentes.

A evolução tecnológica dos sensores wireless tem vindo a introduzir no mercado sensores, rádios e processadores de baixa potência e baixo custo. Estes dispositivos, com o seu reduzido tamanho, têm um enorme potencial para o desenvolvimento de aplicações centradas no utilizador. Com um vasto tipo de sensores, as aplicações ubíquas¹ podem por isso surgir como

¹Aplicação que tem como objectivo tornar a interacção entre pessoa e máquina invisível, integrando a informática com acções e comportamentos naturais das pessoas.

alternativa de baixo custo e enorme valor acrescentado para monitorização de pessoas num ambiente doméstico, criando uma simbiose entre pessoa e máquina que permitiria usufruir do direito de viver de forma independente, com privacidade e dignidade.

1.2 Objectivos

Nesta dissertação é proposto o desenvolvimento de uma solução onde uma ou mais pessoas, portadoras de um nó wireless, se movimentam num ambiente onde existem outros nós wireless. Deverá ser possível localizar cada pessoa e estabelecer uma comunicação bidireccional entre esta e um servidor central.

Assim definem-se os seguintes objectivos:

- Pesquisar informação sobre o estado da arte na monitorização em ambiente doméstico;
- Identificar necessidades num ambiente doméstico e propor para estas, soluções de hardware existentes no mercado;
- Identificar uma plataforma de simulação existente que permita, de uma forma realista, simular o comportamento do sistema;
- Definir a arquitectura do sistema e os papeis de cada interveniente;
- Implementar a simulação de um protocolo de encaminhamento;
- Implementar a simulação de um sistema de localização;
- Analisar a simulação criada com métricas que permitam conhecer o erro de localização, bem como os limites e valores óptimos do sistema.

1.3 Principais Contribuições

TODO: escrever no fim

1.4 Organização da Dissertação

TODO: escrever no fim

2

Estado da Arte

Conteúdo

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Monitorização com Sinal Vídeo ou Áudio | 6 |
| 2.2 | Monitorização com Sensores <i>Wearable</i> | 8 |
| 2.3 | Monitorização com Sensores Domésticos | 11 |

2. Estado da Arte

A geração actual de casas inteligentes tem tido uma maior evolução na inteligência artificial do sistema central, em detrimento dos sistemas de monitorização e controlo. A casa inteligente actual consiste em vários electrodomésticos e outros dispositivos, com sensores, actuadores e/ou monitores biomédicos, usados pelos residentes numa base diária. Em alguns casos a casa é monitorizada recorrendo a tecnologias áudio e vídeo, sendo que estes sistemas apresentam uma excelente forma de monitorização mas têm algumas desvantagens:

- Custos elevados devido ao uso de sensores sofisticados e equipamentos áudio-visuais;
- Custos elevados de instalação devido à instalação individualizada;
- Elevada largura de banda necessária;
- Demasiada intrusão no quotidiano da pessoa criando um sentimento de falta de privacidade ou desconforto.

Três grupos de tecnologias emergem por entre a bibliografia revista:

- Monitorização com Sinal Vídeo ou Áudio;
- Monitorização com Sensores *Wearable*;
- Monitorização com Sensores Domésticos.

2.1 Monitorização com Sinal Vídeo ou Áudio

Em [2] através de um sensor wireless equipado com um acelerómetro e transportado pela pessoa, são detectadas possíveis quedas. Por forma a minimizar o número de falsos alarmes, são usadas câmaras que cobrem o espaço, que analisam a posição da pessoa e são activadas de acordo com a localização do nó móvel. Essa localização é obtida através de triangulação baseada nas posições conhecidas dos nós fixos e a potência recebida do nó móvel. É também apresentada a possibilidade de efectuar transmissão de voz utilizando o rádio IEEE 802.15.4, uma vez que já existem rádios com largura de banda necessária para efectuar transmissão de voz.

Em [3] e [15] é feita a combinação da informação fornecida por redes de sensores e sistemas de vídeo-vigilância. Através de uma inferência lógica que considera sequências de eventos são tomadas decisões tal como é possível observar em 2.2. O ocupante da casa usa um sensor não intrusivo para determinação da posição e comunicação por voz, mas não é necessária qualquer interacção com a tecnologia. À semelhança do trabalho anterior a privacidade é um tema fulcral e todo o tratamento de imagem é feito localmente usando *Smart Cameras*¹.

¹ câmaras que para além de captar imagem também podem tratar a imagem e obter resultados a partir desta

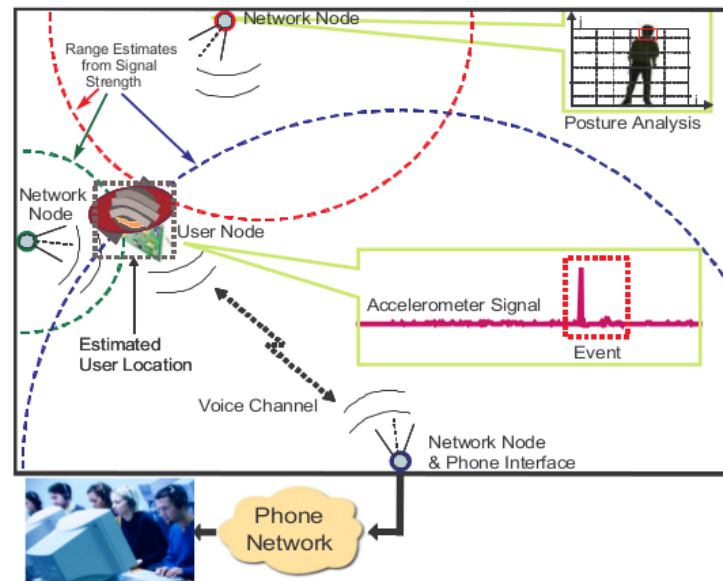


Figura 2.1: Arquitectura do sistema proposto em [2].

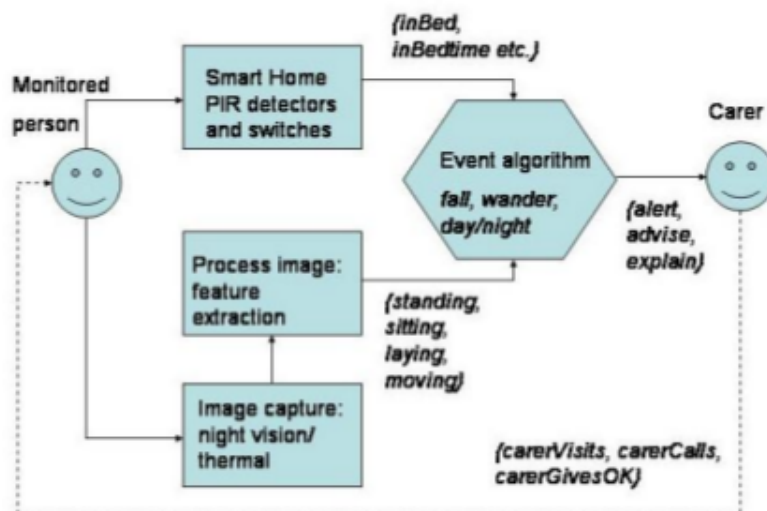


Figura 2.2: Arquitectura de fusão de decisão referida em [3].

No trabalho [16] é feita a aplicação de um sistema de monitorização num lar de idosos através de vídeo e áudio sem recurso a sensores portáteis. O trabalho referencia a insuficiência de profissionais em contraste com o rápido crescimento da população idosa e o pouco tempo que estes têm disponível para cada idoso. Emerge assim a necessidade de obter um conjunto de dados de forma autónoma e usado para detectar situações de perigo de atempadamente, como por exemplo a instabilidade do andar ou registos comportamentais que favorecem a prescrição de medicamentos psicotrópicos. Os grandes desafios indicados são a localização por vídeo, a correcta identificação e marcação das pessoas no campo de visão e a análise das suas actividades individuais.

2. Estado da Arte

Partindo do conceito *aging in place*, onde idosos vivem de forma independente e segura nas suas próprias casas, o trabalho [4] apresenta, a monitorização de quedas mas também funcionalidades utilitárias como a detecção de objectos, calendário, vídeo-conferência e livro de endereços. Recorrendo a câmaras e a técnicas de *machine learning* o sistema não necessita que o utilizador use um sensor. O sistema tem uma abordagem centralizada devido à forte exigência de processamento em tempo real e memória necessárias. A detecção de objectos é feita verificando mudanças na imagem ou procurando objectos de acordo com as suas características.

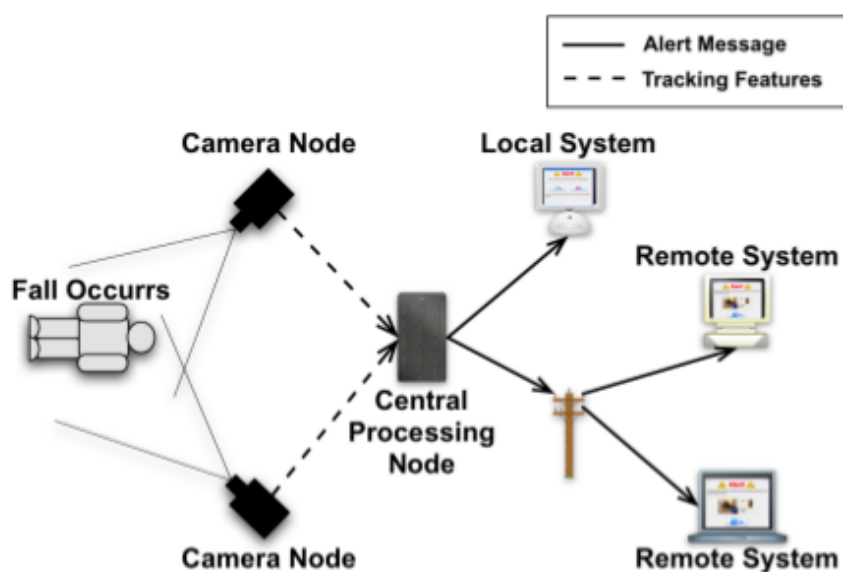


Figura 2.3: Processo de detecção de quedas e alertas descrito no trabalho [4].

Em [17] é utilizado o sinal áudio em conjunto com o vídeo para inferir acerca de uma possível queda. O sinal áudio torna-se essencial para distinguir entre uma pessoa que se sentou ou que caiu. Consideram-se processos de *textitMarkov*² que permitem perceber se o comportamento do indivíduo está de acordo com o previsto ou não e assim tomar as medidas necessárias.

Embora cada aplicação tenha as suas mais-valias e a precisão dos sistemas onde o sinal vídeo é utilizado seja bastante elevada, existe a questão da privacidade que resulta numa baixa aceitação deste tipo de sistemas por parte de pessoas idosas.

A grande preocupação nos trabalhos identificados permanece na detecção de quedas e na fiabilidade dessa detecção.

2.2 Monitorização com Sensores *Wearable*

Com a evolução dos sensores wireless aparecem cada vez mais soluções que permitem fazer uma monitorização contínua do estado de saúde de uma pessoa, independentemente da

²Processo sem memória onde podem ser feitas previsões do futuro com base somente no estado presente, onde o futuro é independente do passado

sua localização ou actividade. A redução do tamanho dos sensores permite idealizar a criação de vestuário com sensores embutidos, suficiente leve e confortável para poder ser usado diariamente. Para além da monitorização há também a possibilidade de administrar medicamentos, recorrendo a actuadores, automaticamente ou de forma manual por um profissional de saúde de forma remota.

Em [5] é abordada a *Body Sensor Network* (BSN) como solução para a detecção precoce de problemas cardíacos. Através de um conjunto de sensores equipados com medidor de temperatura, medidor de pulso, acelerómetro e até sensores capazes de obter um electrocardiograma³ (ECG), um electromiograma⁴ (EMG) ou um electroencefalograma⁵ (EEG). O sistema abordado tem um nó coordenador para onde todos os outros enviam informação e é usada a norma IEEE 802.15.4, que com suficiente largura de banda permite a transmissão da informação necessária.

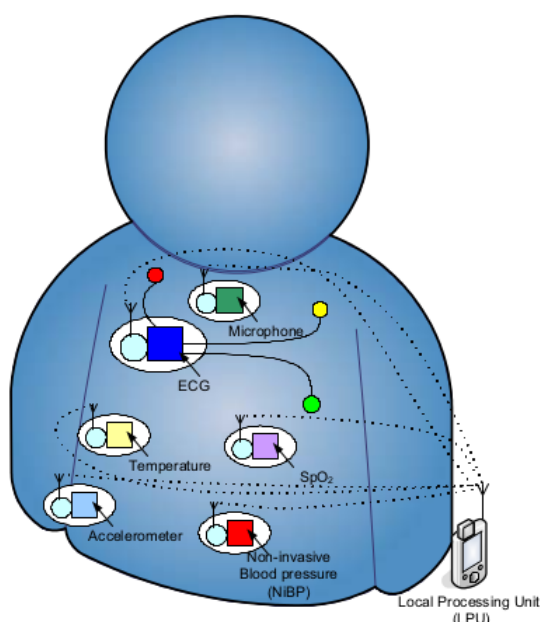


Figura 2.4: Exemplo de uma BSN [5].

A aplicação corre em TinyOS, open-source e com uma gestão de energia eficiente. É referida a estrutura modular do sistema operativo que permite escolher componentes conforme a sua aplicação, o que facilita bastante a utilização de diferentes tipos de sensores.

De referir o grupo de estudo IEEE 802.15 TG6⁶ que pretende estabelecer a norma para as *Body Area Networks* (BANs), que define um protocolo de comunicação para dispositivos de baixa potência que operem dentro, em ou à volta do corpo humano.

Em [6] é feita uma discussão sobre o tipo de antena e protocolo *Medium Access Control* (MAC) para *Wireless Body Area Networks* (WBANs), bem como sobre diversas aplicações

³Representação gráfica da actividade eléctrica do coração

⁴Representação do potencial eléctrico gerado pelas células dos músculos

⁵Representação da actividade do cérebro, obtida por pequenos sinais eléctricos chamados impulsos

⁶<http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>

2. Estado da Arte

para este tipo de redes. Na Figura 2.5 podemos observar que o tráfego é categorizado em 3 categorias: *On-demand* iniciado pelo médico ou nó coordenador para obter uma determinada informação de um ou mais sensores, *Emergency* iniciado pelos nós quando ultrapassam um determinado *threshold* e *Normal* que não apresenta qualquer elemento temporal crítico.

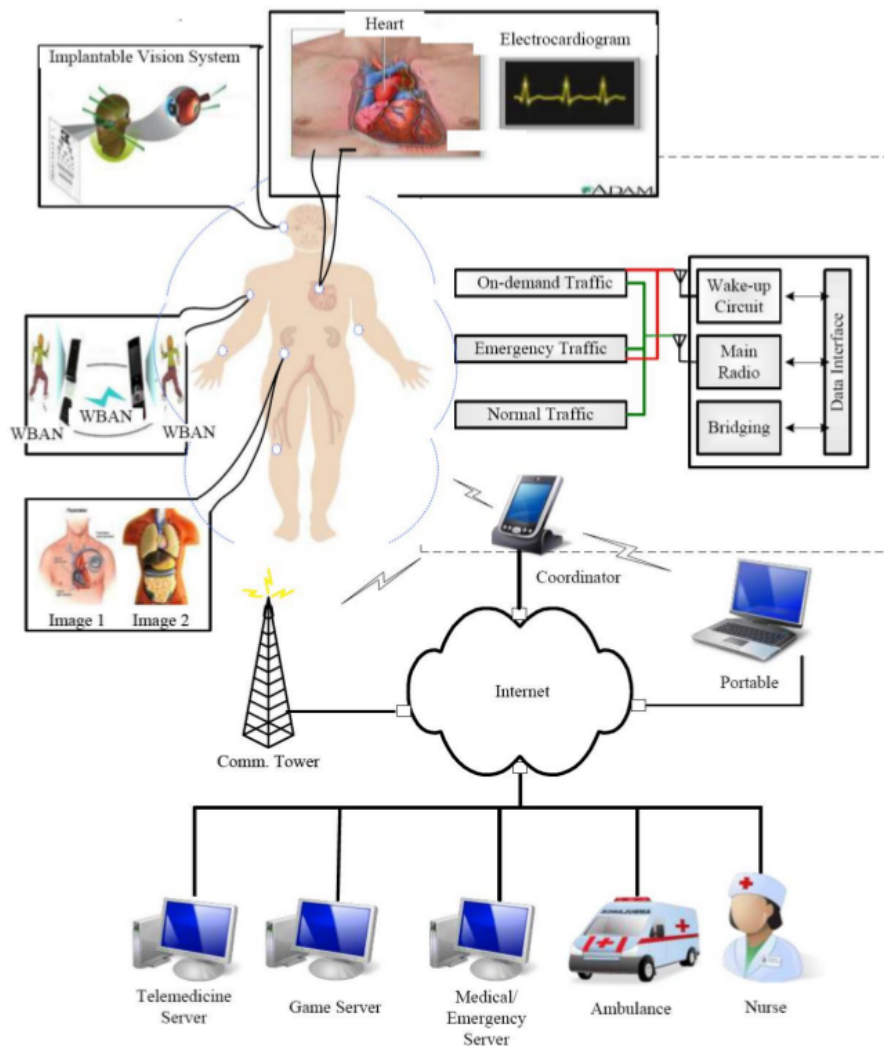


Figura 2.5: Exemplo de uma WBAN [6].

É referido o impacto do corpo na propagação do sinal através da constante dielétrica alta que este possui bem como através da condutividade parcial do tecido muscular que pode absorver parte do sinal, factores que se tornam ainda mais significativos quando as antenas são de muito pequena dimensão. Outro aspecto relevante referido neste trabalho é o facto de não existir no IEEE 802.15.4 um mecanismo fiável para o envio das mensagens *On-demand* e *Emergency*. Como possível solução para este problema é apontada a utilização das IEEE 802.15.4 *Guaranteed Time Slots* (GTS) para lidar com eventos críticos.

Por fim, o trabalho [6] indica através da Tabela 2.1 um conjunto de possíveis aplicações

2.3 Monitorização com Sensores Domésticos

| Application Type | Sensor Node | Data Rate | Duty Cycle (per device)% time per | Power Consumption | QoS (Sensitive to Latency) | Privacy |
|----------------------------------|--------------------------|-----------|--------------------------------------|-------------------|----------------------------|---------|
| In-body Applications | Glucose Sensor | Few Kbps | <1% | Extremely Low | Yes | High |
| | Pacemaker | Few Kbps | <1% | Low | Yes | High |
| | Endoscope Capsule | > 2Mbps | <50% | Low | Yes | Medium |
| On-body Medical Applications | ECG | 3 Kbps | <10% | Low | Yes | High |
| | SpO2 | 32 bps | <1% | Low | Yes | High |
| | Blood Pressure | <10 bps | <1% | High | Yes | High |
| On-body Non-Medical Applications | Music for Headsets | 1.4 Mbps | High | Relatively High | Yes | Low |
| | Forgotten Things Monitor | 256 Kbps | Medium | Low | No | Low |
| | Social Networking | <200 Kbps | <1% | Low | No | High |

Tabela 2.1: Aplicações para redes de sensores *In-body* e *On-body* [6].

para sensores. Doenças cardiovasculares, detecção de doenças oncológicas, sistemas de telemedicina são algumas das aplicações mencionadas.

No trabalho [18] é analisada a coexistência entre *Wireless Local Area Networks* (WLANs) e *ZigBee* que operam na mesma frequência de 2.4GHz. A problemática de um número elevado de módulos WLAN, com potência de transmissão mais elevada, impossibilitar a comunicação entre módulos *ZigBee* é abordada. É sugerida como solução a implementação de um algoritmo implementado na *Wireless Sensor Network* (WSN) que força a que, quando não existem frequências disponíveis, a WLAN seja obrigada a abandonar o canal deixando assim espaço para o sistema *ZigBee* comunicar.

[19] propõe um projecto que integra tecnologias WSN com redes públicas de comunicação por forma a construir um sistema eficiente de cuidados de saúde para idosos em casa. O sistema apresenta quatro funcionalidades principais: monitorização interior, monitorização exterior, actividade e decisão com base no estado de saúde. É feita a medição e colecção de parâmetros do corpo e da casa e enviada para um servidor central através de várias redes disponíveis.

Uma das principais desvantagens abordada na pesquisa efectuada é o facto de ter de existir de forma contínua um contacto com o corpo do idoso, de vários sensores, o que pode causar desconforto. Muitos idosos poderão não estar predispostos para usar uma BSN durante um tempo prolongado. Existe também a possibilidade de interferência com *pacemakers* ou outros equipamentos médicos que tenham sido colocados no idoso.

2.3 Monitorização com Sensores Domésticos

Neste tipo de monitorização recorre-se a sensores instalados em electrodomésticos e outros dispositivos utilizados pelos residentes. São obtidos padrões comportamentais através da correlação com a utilização dos diversos aparelhos numa casa. Uma das maiores vantagens deste tipo de monitorização é a privacidade, uma vez que a informação fornecida por cada sensor não contém qualquer identificação da pessoa que o acciona. Usam-se dispositivos do dia-a-dia o

2. Estado da Arte

que não implica mudanças de comportamento, como por exemplo com a utilização dos sensores *Wearable* e as BSN. Esta abordagem é chamada de *artefact computing model* e representa um paradigma de mudança na interacção pessoa-máquina na sua forma explícita para uma forma implícita.

Identificam-se vários tipos de sensores aplicáveis a dispositivos domésticos:

- Sensores de pressão;
- Sensores de movimento e proximidade;
- Sensores de temperatura;
- Sensores RFID;
- Interruptores;
- Sensores de vibração;
- Sensores de caudal de água ou gás;
- Sensores de corrente;

No artigo [12] aborda-se a prestação de cuidados de saúde aos idosos num complexo construído pela *Elite Care*⁷. Com o objectivo de dar maior autonomia aos residentes são criados ambientes personalizados de sensores. O sistema permite identificar residentes que precisam de cuidados imediatos ou iluminar o caminho para um residente que se vá durante a noite à casa-de-banho. A informação monitorizada neste sistema pertence a três categorias: sinais vitais, sinais de entrada/saída e movimento. Na Tabela 2.2, a partir de um estudo feito com questionários feitos aos residentes é obtido o grau de intrusão de cada uma das tecnologias implementadas.

| Category | Function | Rating |
|--|--|--------|
| Computing infrastructure and Web servers | Apartment consoles, personalized databases, database | High |
| Mobile computing devices | Personal badge locators with help functions used by all residents | Medium |
| Wireless networking | RF and IR locators | Medium |
| Device discovery | Static configuration | Low |
| Service discovery | Static configuration | Low |
| Multimodal user interfaces at apartment consoles | Environmental sensors for location, weight, and speech recognition | High |
| Pervasive databases | Personalized databases for status and history | High |
| User authentication | Statically configured | Low |
| Secure networking | Short range transmission of limited data, relying on the facility's physical security. | Low |

Tabela 2.2: Grau de intrusão por tecnologia usada em [12].

⁷<http://www.elite-care.com>

[20] usa sensores de pressão para localização. É referida, a título de exemplo, a aplicação do sistema a uma pessoa com doença de Alzheimer num estágio médio e cuja detecção do movimento permite activar ecrãs que se ligam quando a pessoa se aproxima e indicam as opções de percurso na casa. Os melhores sensores conseguem identificar a posição e direcção do utilizador, no entanto a \$10800 por metro quadrado não é uma alternativa viável. No projecto são usados os *Phidgets* 1.5 polegadas que para 32.5 metros quadrados custa \$4000. Sendo o custo uma desvantagem evidente são propostas alternativas, como por exemplo a redução de sensores às zonas previsíveis de passagem ou a utilização de modelos de previsão que preencham as secções sem sensores.

Em [21] é abordado o *PlaceLab*. Situado em Cambridge é um laboratório vivo para estudo das tecnologias ubíquas. Está optimizado para moradias 1 habitantes. Foram criadas para este laboratório 15 divisões e em cada foram colocadas redes de 25 a 30 sensores.

O projecto *Mediacup* [7] faz uma análise da adaptação de sensores, processamento e comunicação a dispositivos domésticos. Neste artigo uma caneca é adaptada com sensores de movimento e temperatura e ligada em rede com diversos outros dispositivos. Num cenário completo, todos os objectos de uso diário numa casa poderiam ser adaptados. É usado um processador de 1MHz para redução do consumo energético e o carregamento feito usando um campo electromagnético instalado num pires. É utilizada a tecnologia *Infrared* (IR) para a comunicação, através de mensagens, com transdutores que usam uma arquitectura *Car Area Network* (CAN) integrada por sua vez com uma LAN (Figura 2.6)

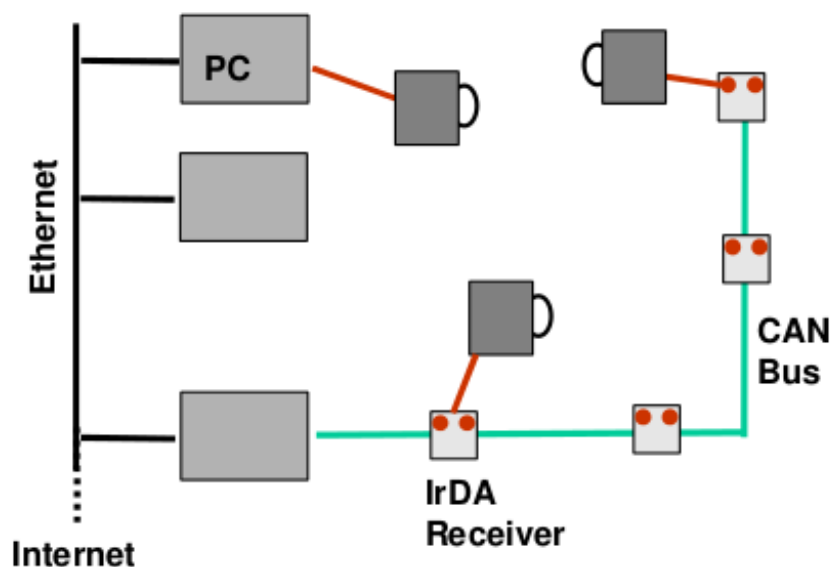


Figura 2.6: Infraestrutura de rede *Mediacup* [7] que integra IR, CAN e LAN.

3

Trabalho Relacionado

Conteúdo

| | | |
|-------|--|-----------|
| 3.1 | Monitorização Doméstica de Idosos | 16 |
| 3.1.1 | Necessidades nos Cuidados de Saúde | 16 |
| 3.1.2 | Necessidades na Monitorização | 17 |
| 3.2 | Localização em Redes de Sensores Wireless | 19 |
| 3.2.1 | Medidas de Localização | 19 |
| 3.2.2 | Sistemas de Localização | 20 |
| 3.3 | Encaminhamento em Redes de Sensores Wireless | 22 |
| 3.3.1 | Desafios e Decisões de Design | 22 |
| 3.3.2 | Protocolos de Encaminhamento | 23 |

3.1 Monitorização Doméstica de Idosos

Em [14] faz-se uma análise de aspectos fundamentais na monitorização doméstica de idosos ouvindo os profissionais de cuidados de saúde. São também neste mesmo trabalho sugeridas diversas propriedades monitorizáveis e feita uma análise global da rede de cuidados de saúde.

3.1.1 Necessidades nos Cuidados de Saúde

No estudo intitulado “*The Activities of Daily Living Study*” em [14] são examinados questionários (91) feitos a profissionais de saúde que prestam cuidados de monitorização ao domicílio. Pretende-se determinar a forma como a tecnologia pode ajudar pessoas idosas a envelhecer em casa, tendo em conta os profissionais de saúde, a necessidade de autonomia do idoso e as necessidades da família e amigos.

Designam-se *Case Managers* (CMs) aos profissionais de saúde que prestam cuidados ao domicílio (ex:enfermeiros,médicos). Os CMs interagem de forma activa com as pessoas idosas presencialmente ou por telefone. Avaliam a habilidade do idoso e a sua predisposição para a introdução de novos equipamentos. Uma parte significativa da monitorização do CMs são as chamadas *Activities of Daily Living* (ADLs), uma lista de actividades que permite medir a função cognitiva e física do idoso (Tabela 3.1).

Esta lista permite definir numa escala de 0-muito dependente a 6-independente, o grau de dependência do idoso. São também apresentados desafios à introdução de novas tecnologias pelos CMs, nomeadamente:

- Receio de perda do emprego por parte dos CMs;
- Problemas de aceitação da nova tecnologia por parte dos idosos, visto que estes têm tendência a esconder informação com receio de irem para a um lar de idosos;
- Problemas de privacidade;

O processo de integração de um sistema de monitorização apenas pode ser um sucesso se os profissionais de saúde estiverem activamente envolvidos na sua implementação.

São identificadas diversos problemas de saúde nos idosos, sendo os mais comuns a fraqueza, diabetes, surdez, perda de visão, deficiência nutricional e demência moderada.

Na Tabela 3.2 o estudo identifica as tecnologias e a sua aceitação por parte dos idosos. A comunicação e a segurança são identificados claramente como muito valorizados, através dos botões de emergência e sistemas de segurança, enquanto que a tecnologia de monitorização coloca mais incerteza e desconfiança aos idosos.

| ACTIVITIES POINTS (1 OR 0) | INDEPENDENCE: (1 POINT) NO supervision, direction or personal assistance | DEPENDENCE: (0 POINTS) WITH supervision, direction, personal assistance or total care |
|--|---|---|
| BATHING POINTS: _____ | (1 POINT) Bathes self completely or needs help in bathing only a single part of the body such as the back, genital area or disabled extremity. | (0 POINTS) Needs help with bathing more than one part of the body, getting in or out of the tub or shower. Requires total bathing. |
| DRESSING POINTS: _____ | (1 POINT) Gets clothes from closets and drawers and puts on clothes and outer garments complete with fasteners. May have help tying shoes. | (0 POINTS) Needs help with dressing self or needs to be completely dressed. |
| TOILETING POINTS: _____ | (1 POINT) Goes to toilet, gets on and off, arranges clothes, cleans genital area without help. | (0 POINTS) Needs help transferring to the toilet, cleaning self or uses bedpan or commode. |
| TRANSFERRING POINTS: _____ | (1 POINT) Moves in and out of bed or chair unassisted. Mechanical transferring aides are acceptable. | (0 POINTS) Needs help in moving from bed to chair or requires a complete transfer. |
| CONTINENCE POINTS: _____ | (1 POINT) Exercises complete self control over urination and defecation. | (0 POINTS) Is partially or totally incontinent of bowel or bladder. |
| FEEDING POINTS: _____ | (1 POINT) Gets food from plate into mouth without help. Preparation of food may be done by another person. | (0 POINTS) Needs partial or total help with feeding or requires parenteral feeding. |

Tabela 3.1: Índice de independência nas ADLs [13].

| Technology | Definitely | Maybe | Never | Unsure | What's that? | Already have |
|------------------------|------------|-------|-------|--------|--------------|--------------|
| Emergency call buttons | 77% | 22% | 0% | 0% | 0% | 1% |
| Home security system | 57% | 39% | 1% | 2% | 0% | 1% |
| Cell phones | 51% | 42% | 2% | 1% | 0% | 3% |
| Internet | 18% | 66% | 4% | 8% | 1% | 3% |
| Computers / Laptops | 16% | 64% | 6% | 10% | 1% | 3% |
| Motion detectors | 13% | 58% | 6% | 22% | 0% | 1% |
| Microphones | 8% | 43% | 18% | 31% | 0% | 0% |
| Cameras | 6% | 51% | 11% | 31% | 0% | 1% |
| PDA's | 5% | 51% | 12% | 30% | 2% | 0% |

Tabela 3.2: Uso de tecnologia pelos Idosos [14].

3.1.2 Necessidades na Monitorização

Com base nos resultados do estudo referenciado na Secção 3.2.1 o trabalho [14] faz uma análise de diversas temáticas de utilização de um sistema de monitorização.

3. Trabalho Relacionado

Localização doméstica. Determinar se o idoso se levantou pela manhã e os seus padrões de movimento são também apontadas como duas informações importantes. Uma granularidade menor que a divisão pode por isso ser importante sendo necessária uma maior precisão do sistema.

Agendamento de visitas ao domicílio. Saber se o idoso está ou não em casa é apontado pelos CMs como um factor de melhoria no agendamento de visitas ao domicílio.

Visitas ao Hospital e Socialização. A integração do sistema de monitorização doméstico com outro baseado em GPS e integrado no sistema de saúde permitiria para todos os intervenientes no sistema saber onde estava um idoso a qualquer momento para além do ambiente doméstico.

Número de ocupantes da casa. Sabendo os padrões de ocupação da casa é possível perceber quais os momentos em que os idosos têm menos apoio familiar. Em casos mais agudos esta monitorização permitiria determinar se era ou não seguro para o idoso continuar em sua casa durante uma determinada altura do dia.

Animais de estimação. A maioria dos clientes dos CMs entrevistados tinham animais de estimação o que pode ser um problema para sistemas baseados em sensores de pressão.

Oportunidades de instrumentação. São apresentadas diversas oportunidades de instrumentação sem grande necessidade da mudança de hábitos como a aplicação de sensores a bengalas, andarilhos ou cadeiras de rodas. O facto de existir uma baixa partilha deste tipo de objectos indica que seriam uma boa hipótese de monitorização não-intrusiva.

Privacidade. É bastante refutada a utilização de câmaras, microfones ou PDAs enquanto que os sensores de movimento poderiam ser alternativas viáveis.

| Very Important to Know | | Very Difficult to Collect | | Top Ten |
|------------------------|-----|---------------------------|-----|--------------------|
| Falling | 99% | Taking medication | 11% | Taking medication |
| Taking medication | 93% | Eating/nutrition | 10% | Falling |
| Eating/nutrition | 84% | Falling | 10% | Eating/nutrition |
| Toileting | 82% | Socializing | 9% | Toileting |
| Bathing | 80% | Getting out of bed | 7% | Getting out of bed |
| Getting out of bed | 78% | Cooking | 4% | Bathing |
| Grooming/hygiene | 74% | Toileting | 4% | Cooking |
| Dressing | 68% | Bathing | 3% | Socializing |
| Cooking | 61% | Grooming/hygiene | 3% | Grooming/hygiene |
| Leaving the house | 56% | Dressing | 3% | Dressing |

Tabela 3.3: Classificação das ADLs [14].

Escolha das ADLs a monitorizar. Na Tabela 3.3 é feita uma classificação das ADLs. O maior valor acrescentado está naquelas que são mais difíceis de obter mas mais importantes para serem conhecidas pelo CM.

Atenção à actividade das famílias ou assistentes. É importante perceber se existe de facto

um apoio real dos familiares ou outros assistentes ao idoso, para além de saber que o mesmo está acompanhado.

Monitorização do uso de equipamentos. A inclusão nos equipamentos de saúde de sensores que analisem o estado do equipamento ou a força exercida pelo idoso no mesmo, poderiam ajudar a determinar melhor o ponto em que é necessário passar de uma bengala para um andador ou de um andador para uma cadeira de rodas.

3.2 Localização em Redes de Sensores Wireless

A chave para obter uma localização fiável é representar de forma precisa os efeitos da degradação causada pelo canal de propagação no sinal. A propagação no mundo real sofre diversas perturbações causadas por obstruções, reflexões e pessoas ou objectos em movimento, o que torna esta representação um problema de elevada complexidade. Nesta secção enumeram-se o tipo de medições que permitem inferir uma localização e analisa-se bibliografia relacionada com o objectivo identificar algoritmos de localização distintos, as suas vantagens e desvantagens na aplicação ao objecto deste trabalho.

3.2.1 Medidas de Localização

Vários tipos de medições permitem inferir uma localização, nomeadamente:

- *Time of Arrival* (TOA)
- *Time Difference of Arrival* (TDOA)
- *Received Signal Strength* (RSS)
- *Phase of Arrival* (POA)
- *Angle of Arrival* (AOA)

Na medida do **TOA** mede-se o tempo que um sinal demora a chegar ao nó de destino. A distância entre origem e destino é obtida multiplicando o atraso entre o momento da transmissão e o momento da recepção do sinal pela velocidade de propagação do sinal. O requisito mais importante é a sincronização entre nós que obriga à existência de hardware de maior complexidade e a troca de mensagens de sincronização. Ruído aditivo e efeitos multi-caminho são as maiores fontes de erro neste tipo de medição.

Utilizando o **TDOA** é medida a diferença entre os tempos de chegada em diversos nós dum mesmo sinal enviado pelo emissor. Um mínimo de dois nós é necessário para uma estimativa em duas dimensões da posição do do emissor. À semelhança do TOA é necessária sincronização entre os nós o que obriga uma vez mais a hardware complexo que aumenta o custo do nó.

3. Trabalho Relacionado

O RSS é a medida da potência do sinal recebido. Este método não necessita de qualquer hardware especial para sincronização. A potência do sinal é uma função da distância, cuja localização pode ser baseada num modelo, onde se admite que as características de propagação do sinal são bem conhecidas ou então baseada num mapa de medições, *Radio Map* (RM), onde é feita uma amostragem da potência em diversas localizações.

Com a medida POA o objecto de medição é o ângulo de chegada. Este método usa a diferença na fase do sinal para determinar a localização do nó emissor.

Por último a medida de AOA indica o ângulo a que o sinal chega ao receptor, medido com antenas direccionais ou um conjunto de antenas. São usadas relações geométricas simples para calcular a posição do nó emissor.

3.2.2 Sistemas de Localização

Os esquemas de localização são diversos e variam conforme o tipo de aplicação.

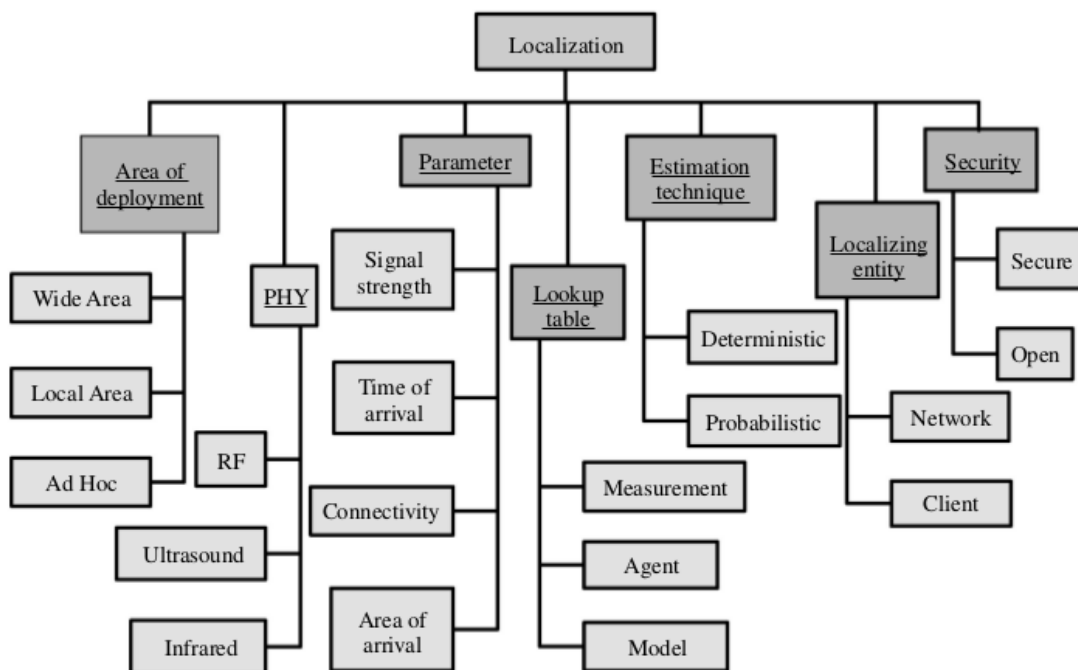


Figura 3.1: Classificação da localização em redes WSN [8].

A partir da Figura 3.1 é possível, desde já, fazer algumas observações relativas ao tema deste trabalho.

Área de Instalação: A área de instalação deverá ser local uma vez que estamos perante um ambiente doméstico.

PHY: O sinal rádio obtido deverá ser a RF pois o infravermelho necessita de estar na linha de visão o que não será sempre possível num ambiente doméstico e o ultra-som, embora tenha uma precisão bastante elevada é uma tecnologia cara.

Medida de Localização: Dada o baixo custo do hardware a utilizar a medida deverá ser a potência do sinal.

Tabela de Procura: A monitorização será feita no interior onde o percurso do sinal sofre muitas perturbações. Assim sendo a colecção de medidas prévia será a opção indicada uma vez que o modelo de propagação é altamente complexo e pode variar bastante e a utilização de agentes aumenta bastante o custo.

Técnica de Estimação: Neste caso a resposta não é tão evidente e terão de ser comparadas as precisões de cada uma das opções: Determinístico ou Probabilístico.

Entidade localizadora: As entidades a localizar são os nós móveis e como tal deverá ser a rede a efectuar a localização para efectuar uma poupança de energia no nó móvel.

Segurança: Embora se tenha optado por deixar esta questão fora do âmbito deste trabalho por limitações do simulador, um sistema de monitorização doméstica não poderia ser aberto pelas questões de privacidade abordadas na Secção 3.1.2.

Feitas algumas opções são analisados alguns trabalhos que se enquadram nas características escolhidas.

O RADAR [22], é um método determinístico onde é feita a localização recorrendo a diversas *Base Stations* (BSs) numa WLAN, apresenta segundo os autores uma precisão de 2.94 m em 50% dos casos. Este esquema de localização usa a potência do sinal RF de vários *Access-Points* (APs) para triangular a posição do nó móvel. Tem uma fase *offline* onde é construído um mapa rádio do local, em que o nó móvel envia pacotes (*beacons*) para os nós fixos que registam cada amostra, sendo o conjunto de amostras reunido numa tabela com tuplos da forma (x, y, d, ss_i, snr_i) para cada BS_i . Posteriormente na fase *online* é feita uma comparação entre os sinais recebidos e o mapa rádio que permite obter a coordenada mais próxima para a potência registada. Através do centróide das várias posições obtidas para cada AP obtém-se então a coordenada estimada do nó móvel.

Em [9] temos o MoteTrack que, com base no trabalho RADAR, sugere um esquema para uma rede de sensores wireless. É indicada uma precisão de 2m em 50% dos casos e de 3m em 80% dos casos. Este sistema de localização foca a robustez, a distribuição do algoritmo e a precisão da localização. Na Figura 3.2 podemos observar o sistema MoteTrack. $B1$, $B2$ e $B3$ são nós fixos e M um nó móvel. Na fase *offline* é feita uma recolha pelo nó móvel, para cada posição, de várias mensagens assinatura enviadas pelos nós fixos B_i dando origem a uma tabela de tuplos $(x, y, B_i, P_i, RSSI_{medio})$ que constitui o mapa rádio. Na fase *online* o nó móvel recebe a assinatura do nó fixo e volta a enviar essa informação para o nó fixo para que este determine posição com base nas amostras que detém. Cada nó fixo devolve a sua estimativa para o nó móvel que calcula o centróide das diversas posições recebidas.

O HORUS [23], um método probabilístico, apresenta uma precisão de 0.86 a 1.32m para 90% dos casos. Num método probabilístico é guardada informação sobre as distribuições da potência

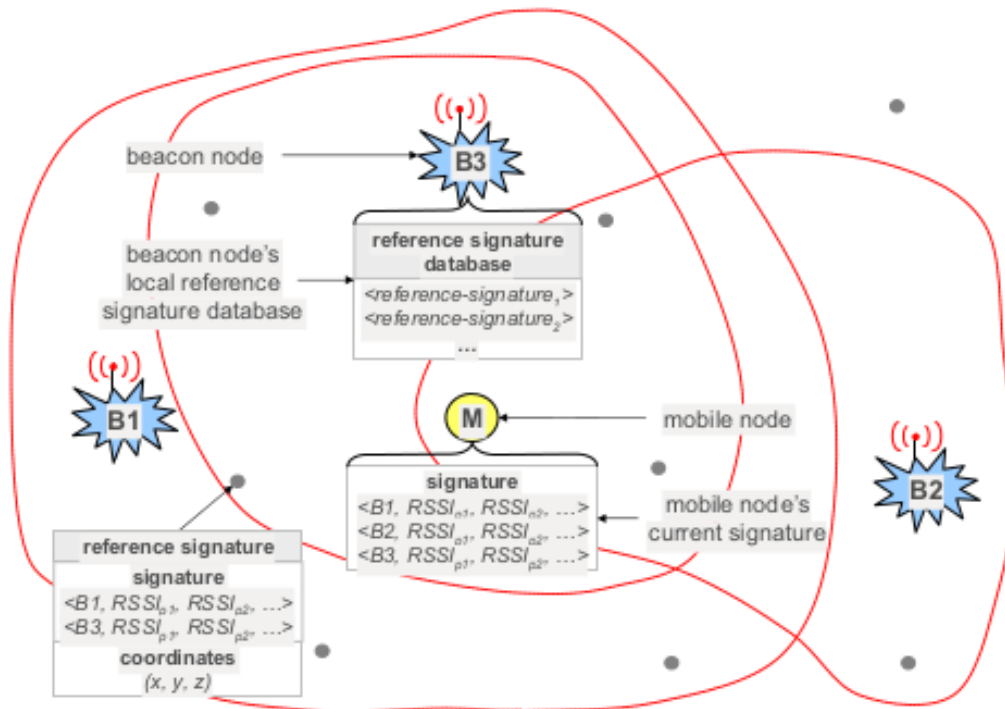


Figura 3.2: Sistema de localização MoteTrack [9].

do sinal em vez da média como num método determinístico. O objectivo do HORUS é atingir um alto nível de precisão e baixas necessidades de processamento. Usa, à semelhança do MoteTrack técnicas de *clustering* para reduzir o espaço de procura quando tenta obter uma posição a partir do mapa rádio. O sistema é constituído também por uma fase *offline* onde é feita a construção de um mapa rádio que é depois dividido em *clusters*. Na fase *online* é feito no nó móvel o cálculo da posição recorrendo a várias filtros, que vão passo a passo melhorando a precisão da localização.

3.3 Encaminhamento em Redes de Sensores Wireless

Com a redução do custo dos sensores wireless tornou-se possível construir WSNs com centenas ou milhares de nós. A falta de um esquema global de endereçamento, as condicionantes energéticas ou a possibilidade de existirem nós que se movimentam provocando modificações na topologia da rede recorrentes, faz surgir a necessidade de encontrar um protocolo de encaminhamento adequado.

3.3.1 Desafios e Decisões de Design

Em [24] são abordados os diversos desafios no design de protocolos de encaminhamento.

Uma WSN apresenta diversas restrições tais como fornecimento de energia limitado pelo uso de bateria, processamento limitado ou largura de banda reduzida devido a rádios relativamente simples.

Instalação dos nós. A forma como os nós são instalados depende do tipo de aplicação e pode ser determinística ou aleatória. Se for aleatória a distribuição não é uniforme o que pode requerer *clustering*. A distância de transmissão é reduzida o que obriga a que a comunicação seja feita através de vários nós.

Tolerância a falhas. Alguns sensores podem falhar devido à falta de energia, dano físico ou interferência. Essas falhas não podem por isso condicionar impedir a comunicação e devem existir protocolos MAC e de encaminhamento que consigam detectar essa situação e reformular a topologia da rede.

Modelo de aquisição de dados. A forma como é feita a aquisição de dados é dependente da aplicação e pode ser orientada ao tempo, para aplicações de monitorização periódica ou ao evento para e à *query*, para nós que reagem a mudanças na medição de parâmetros ou a um pedido feito pela *Base Station* (BS).

Homogeneidade dos nós ou ligações. Os nós podem ter todos iguais capacidades sendo a rede homogénea ou então podem ter capacidades diferenciadas, havendo nós mais básicos e outros mais complexos.

Escalabilidade. Devido ao elevado número de nós possível numa WSN qualquer protocolo de encaminhamento deve ser escalável reagindo de forma automática à adição ou remoção de nós da rede.

Dinâmica da rede. A maior parte das arquitecturas assume que os nós estão fixos. No entanto para aplicações em que a topologia muda a estabilidade dos caminhos torna-se um assunto importante e algum tipo de actualização periódica ou redescoberta de novos caminhos torna-se necessário.

Agregação de dados. Os dados de vários sensores podem ser agregados para que o número de transmissões sofra uma redução. A agregação pode ser feita com remoção de duplicados, valores mínimos, valores máximos e valores médios.

Quality of Service (QoS). Em algumas aplicações os dados têm de ser entregues com sucesso após um determinado limite de tempo após a sua obtenção, caso contrário perdem significado ou introduzem erros desnecessários no sistema. Este limite de tempo pode ser gerido de forma dinâmica conforme a qualidade da transmissão.

3.3.2 Protocolos de Encaminhamento

Os protocolos nas WSNs podem ser classificados conforme a sua estrutura em *flat-routing* onde todos os nós têm as mesmas capacidades e papéis na rede, *hierarchical-routing* em que existem nós com capacidades diferenciadas e papéis diferentes e *location-based routing* onde a

3. Trabalho Relacionado

posição dos nós é parte integrante do protocolo de encaminhamento.

Flat-routing

O *Sensor Protocols for Information via Negotiation* (SPIN) [10] surge com a necessidade de resolver três problemas nos métodos clássicos de envio de mensagens (*Flooding* e *Gossiping*), a implosão causada pela recepção de várias mensagens repetidas vindas de vários nós diferentes, a sobreposição resultante da dos dados obtidos por sensores próximos e a falta de adaptação aos recursos existentes no nó. Na Figura 3.3 está um exemplo onde são utilizadas os três tipos de mensagens ADV (*advertisement*), REQ (*request*) e DATA. O nó A pretende enviar uma mensagem para o nó B e envia um ADV (a). B está pronto para receber e envia para A um REQ (b). A recebe o REQ e envia uma mensagem DATA para B (c). B continua o processo da mesma forma para os seus nós vizinhos. Este protocolo permite poupar energia e reduzir o envio de informação redundante mas não dá garantias de entrega de dados.

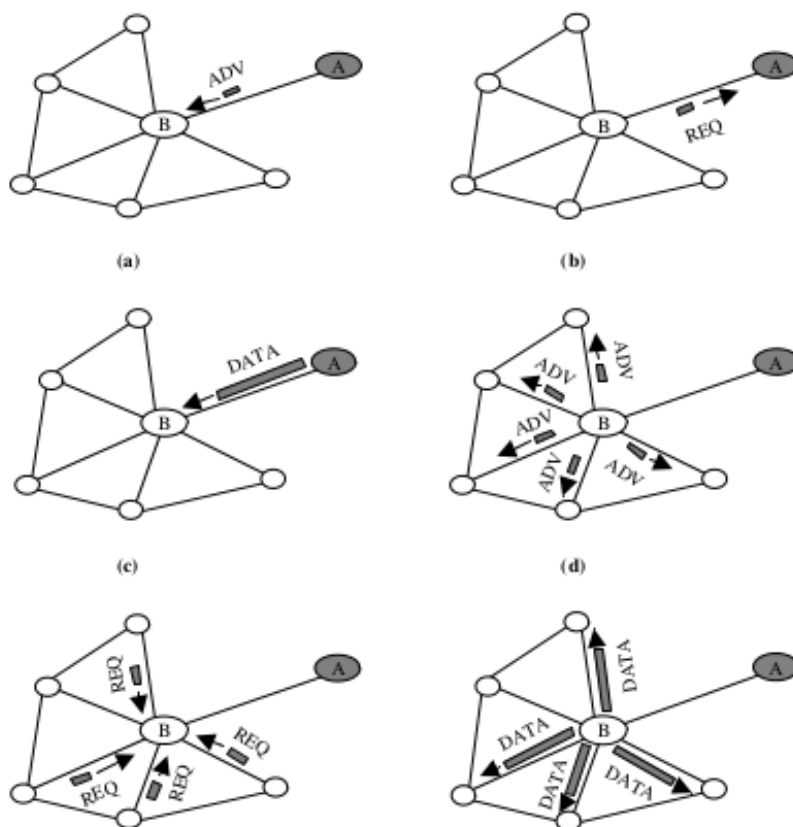


Figura 3.3: Protocolo SPIN [10].

O *Direct Diffusion* (DD) [25] introduz um método de procura através da propagação de interesses e criação de gradientes construídos à medida que um determinado percurso vai sendo utilizado cada vez mais utilizado.

O *Ad hoc On-demand Vector Routing* (AODV) [26] introduz o conceito da descoberta de ca-

minhos e da persistência dos mesmos de forma distribuída por todos os nós. É um protocolo *On-demand* que só entra em acção quando é necessário enviar uma nova mensagem e com mecanismos de *Self-healing* que permitem recuperar um caminho quando por alguma razão existiu uma alteração de topologia. Apresenta duas fases, uma de descoberta de caminho e outra de utilização desse caminho.

Em [27] é abordado o *Dynamic Source Routing* (DSR) semelhante ao AODV tem como objectivo diminuir a largura de banda consumida pelas mensagens de controlo e necessidade de manutenção através de *beacons*. O percurso é guardado na mensagem e vai sendo actualizado à medida que, na fase de descoberta de caminho, esta vai passando em cada nó.

Hierarchical-routing

No trabalho [28] é proposto o *Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH), um protocolo baseado em *clusters*, que usa coordenação entre nós e através de uma mudança aleatória do *cluster-head* distribui de forma eficiente o consumo de energia por todos os nós. Este protocolo consegue reduzir o consumo de energia até oito vezes menos que outros protocolos hierárquicos. O facto dos nós estarem agrupados em *clusters* permite que a informação dos diversos nós não coordenadores possa ser agregada antes de ser enviada para uma BS. Como desvantagens tem o facto de não ser aplicável em redes de grande área, tem um *overhead* extra de mensagens controlo e assume que todos os nós iniciam o seu funcionamento com a mesma energia e que tanto um nó coordenador como um nó simples consomem a mesma energia. Na Figura 3.4 está um exemplo de aplicação.

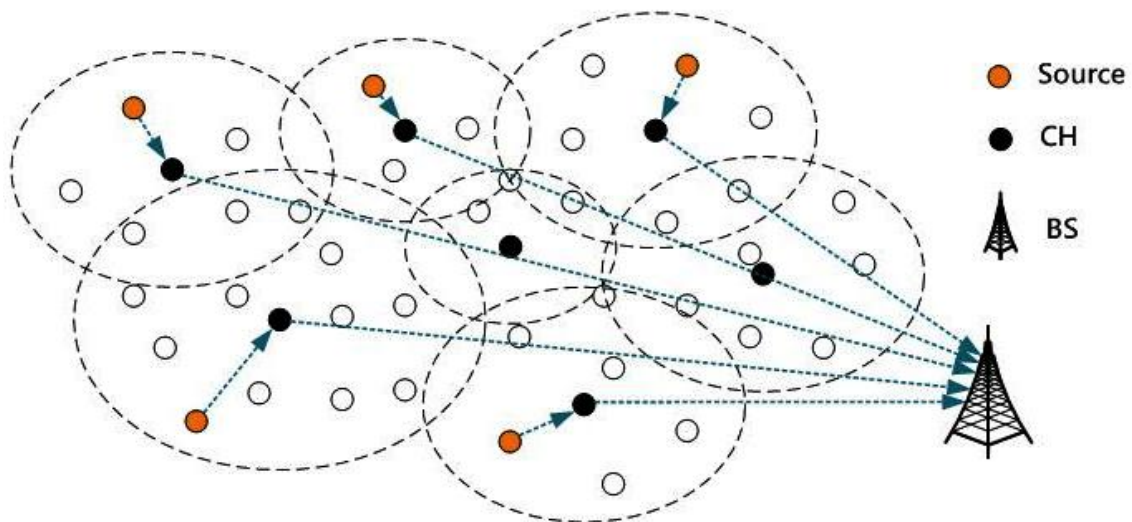


Figura 3.4: Exemplo de funcionamento do protocolo LEACH.

Outro protocolo hierárquico é o *Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems* (PEGASIS) [29] que surge como um melhoramento do LEACH. Este protocolo aumenta o tempo de vida de cada nó usando técnicas colaborativas, onde cada nó fala apenas com o seu vizinho mais próximo e transmite alternadamente para a BS, eliminando assim a necessidade de forma-

3. Trabalho Relacionado

ção de *clusters* de forma dinâmica e existência de vários nós coordenadores. Como desvantagens o facto de se assumir que todos os nós conseguem comunicar com a BS directamente, que os nós têm o mesmo nível de energia e podem desligar-se ao mesmo tempo ou a possibilidade do coordenador único se tornar um *bottleneck* no sistema.

Geographic-based Routing

Em [30] é abordado o *Geographical and Energy Aware Routing* (GEAR). Este protocolo surge em redes com um número elevado de sensores e onde poderão ser feitas consultas a determinadas zonas geográficas da rede, sem que tal seja feito com recurso a *flooding*. São utilizadas heurísticas baseadas na energia dos nós e informação sobre a sua posição para encaminhar um pacote para uma determinada região.

4

Ambiente de Trabalho

Conteúdo

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | Objective Modular network Test-bed (OMNeT++) | 28 |
| 4.2 | Mixed Simulator (MiXiM) para OMNeT++ | 31 |
| 4.3 | Simulação de Obstáculos para MiXiM | 33 |

4. Ambiente de Trabalho

As WSNs são compostas por inúmeros sensores wireless munidos de reduzidas capacidades de processamento, comunicação e armazenamento. Antes da implementação de aplicações que recorram a sensores wireless e respectiva arquitectura base (por exemplo, o TinyOS [31]) em aplicações reais, torna-se necessário avaliar a eficiência e robustez das mesmas, recorrendo a simulações que englobem tanto a componente aplicacional do nó como a rede no seu todo.

Nesta dissertação sugere-se a criação de um ambiente de trabalho que resulta da utilização conjunta de três sistemas: a *Objective Modular Network Test-bed* (OMNeT++) [11], uma *framework* base de simulação por módulos, o *Mixed Simulator* (MiXiM) [32], uma união de várias *frameworks* para OMNeT++, vocacionadas para a simulação de sensores wireless e um componente de simulação de obstáculos para o MiXiM [33].

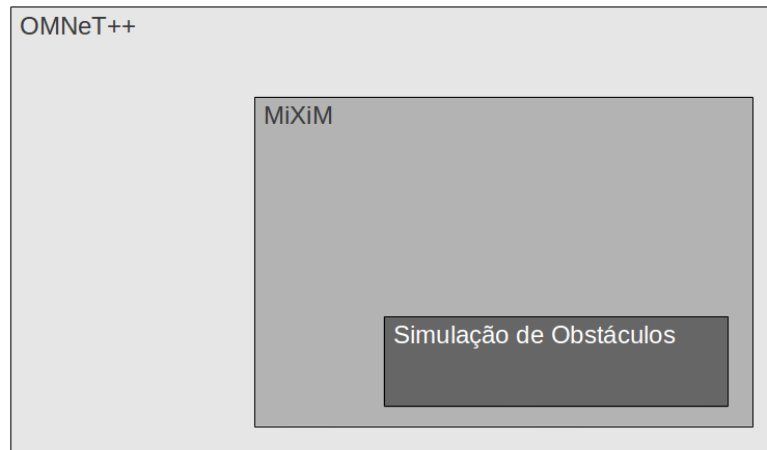


Figura 4.1: Representação modular do ambiente de trabalho.

4.1 Objective Modular network Test-bed (OMNeT++)

O OMNeT++¹ é uma plataforma de simulação baseada em módulos, escrita em C++ e com um IDE baseado em Eclipse. Cada módulo pode ser do tipo simples ou composto. Os módulos compostos são constituídos por módulos simples ou por outros módulos compostos criando assim uma estrutura hierárquica de dependência. Todos os módulos assentam sobre um módulo de sistema, responsável pela realização da simulação. A comunicação entre módulos é feita através do envio de mensagens, que podem ser tão especializadas quanto o necessário, enviadas por canais de comunicação de entrada e saída. Na Figura 4.2 está um diagrama exemplificativo desta arquitectura.

A topologia de cada módulo e a forma como interliga com outros, é descrita utilizando a linguagem *Network Description* (NED) sendo posteriormente a implementação feita em C++. É utilizado um ficheiro de configuração (ex: omnetpp.ini) que permite criar diversos cenários

¹<http://http://www.omnetpp.org/>

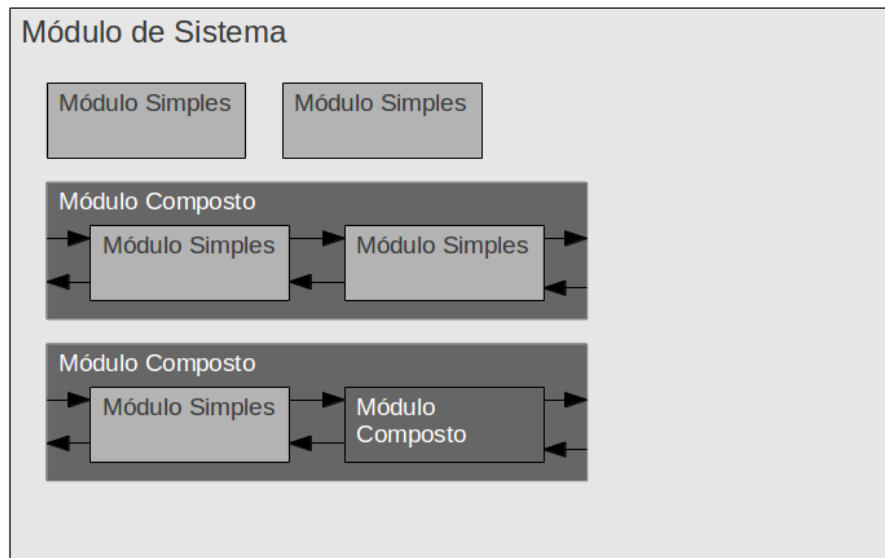


Figura 4.2: Estrutura modular do OMNeT++.

possíveis definindo para cada um, por exemplo, parâmetros dos módulos, tempo de simulação, *seed* para números aleatórios, etc. Esta solução permite a utilização de apenas um executável para diversas cenários.

Na Figura 4.3 é possível observar a estrutura interna de um executável OMNeT++.

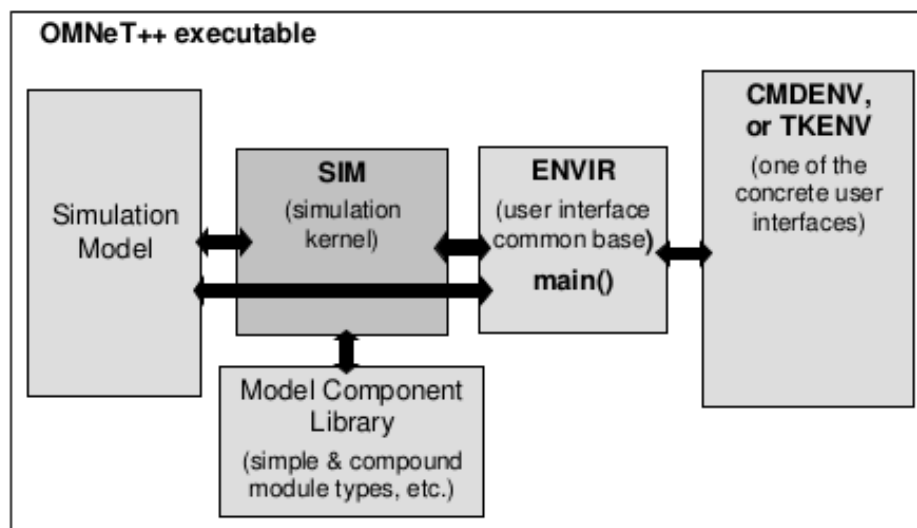


Figura 4.3: Arquitectura lógica de um executável OMNeT++ [11].

A *Model Component Library* contém o código compilado dos módulos simples e compostos. Os módulos são instanciados e o *Simulation Model* é construído pelo *Simulation Kernel* (SIM) no início da execução. A simulação é então executada num ambiente definido pelo utilizador que pode ser um dos disponibilizados no OMNeT++ (*Tkenv* ou *Cmdenv*) ou outro (ambiente criado

4. Ambiente de Trabalho

pelo utilizador ou embebido noutra aplicação). Para cada ambiente podem escolhidos ficheiros de configuração (*.ini) e cenários definidos em cada ficheiro de configuração. O ambiente *Cmdenv* corre na linha de comandos de forma rápida enquanto que o ambiente *Tkenv* fornece um ambiente gráfico capaz de animar de forma automática o percurso das mensagens ou as posições dos nós (Figura 4.4).

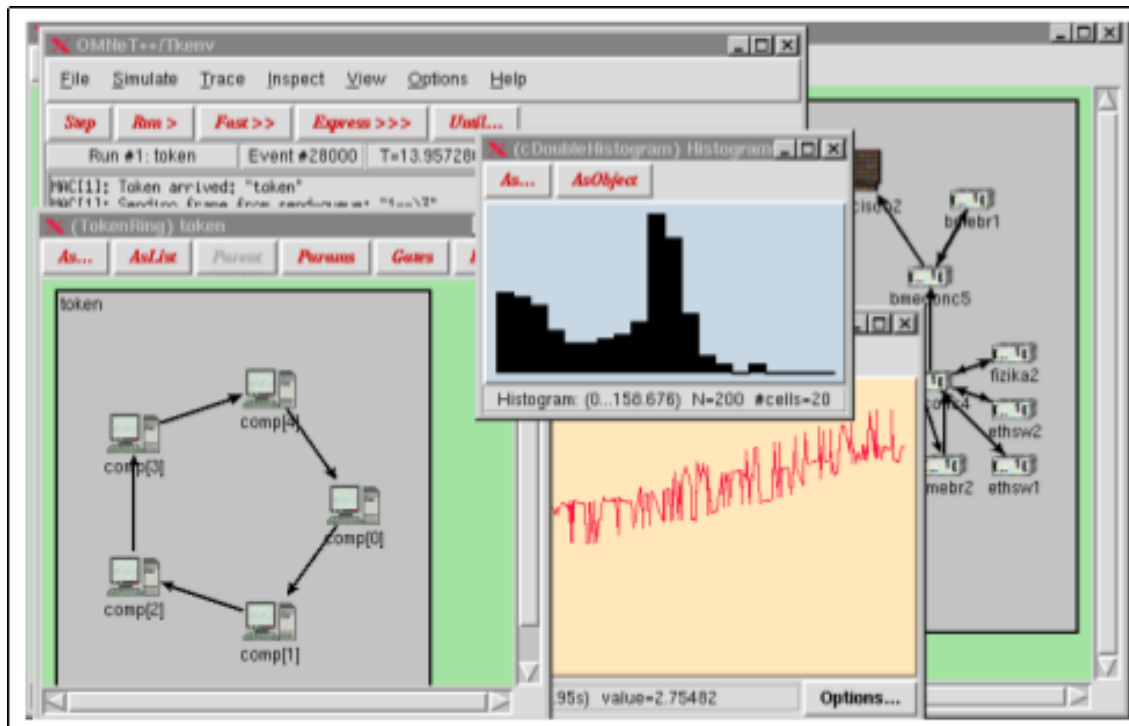


Figura 4.4: Ambiente de simulação Tkenv no OMNeT++ [11].

O OMNeT++ foi a plataforma base escolhida para este trabalho pelas seguintes razões:

- A partilha dos resultados deste trabalho com a comunidade OMNeT++, promovendo a continuidade do trabalho efectuado nesta dissertação;
- A reutilização e combinação de módulos já construídos;
- A orientação por objectos que permite uma flexível extensão das classes base;
- A existência de um ambiente gráfico automático para uma melhor visualização e *debug* da simulação;
- A biblioteca extensa incluída que oferece suporte para estatística, colecção de dados, apresentação gráfica, números aleatórios e estruturas de dados;
- A possibilidade simular vários cenários mudando apenas parâmetros num ficheiro de configuração, sem necessidade de nova compilação.

4.2 Mixed Simulator (MiXiM) para OMNeT++

O MiXiM² resulta da combinação de quatro *frameworks*: a *Mobility Framework* (MF) que introduz suporte à mobilidade, o *CHannel SIMulator* (ChSim) que adiciona modelos detalhados de propagação, o MAC Simulator e a Positif Framework que adicionam o MAC. Esta plataforma foi criada especificamente para simulação de redes wireless introduzindo várias novidades úteis na simulação de WSNs, tais como:

- Módulos para sensores wireless com diversas camadas e simulação de bateria;
- NICs de sensores wireless existentes no mercado (Texas Instruments CC1100 e CC2420);
- Novos modelos de propagação de sinal, como por exemplo o *Two-Ray Ground Path Loss* ou o *Log-normal Shadowing*;
- A possibilidade de ter na mesma simulação vários canais para diferentes frequências o que permite ter na mesma simulação comunicação WI-FI e GSM.
- A decisão da qualidade do sinal e sua recepção feita pelo nó receptor;
- Novos módulos de mobilidade.

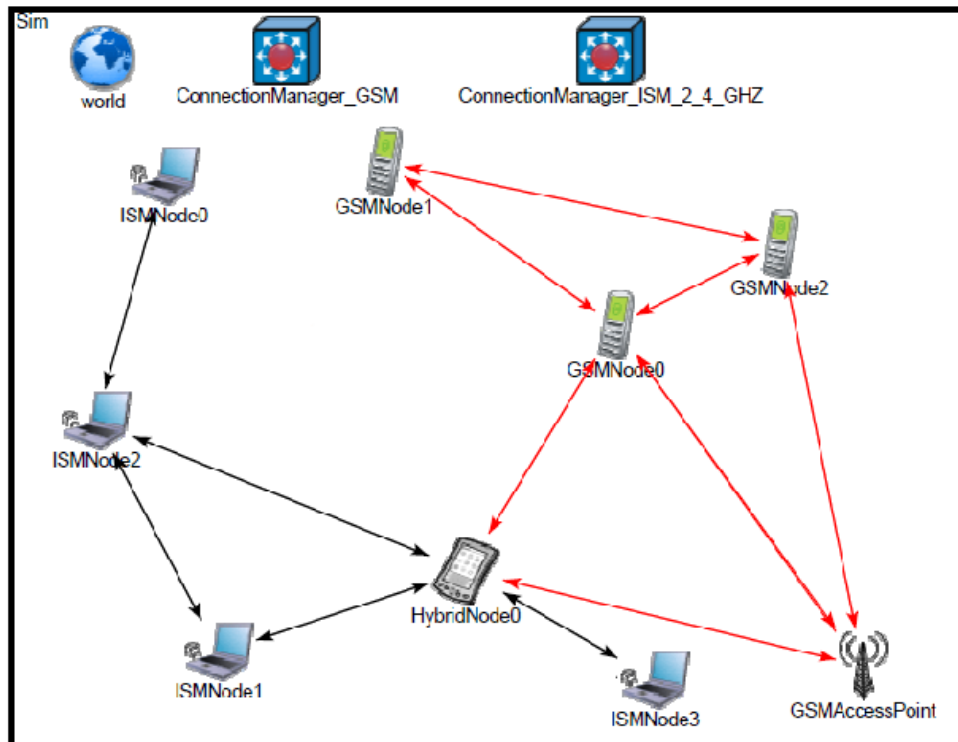


Figura 4.5: Simulação de uma rede no MiXiM [32].

Na Figura 4.5 temos a estrutura do MiXiM que pode ser dividido em dois tipos de módulos:

²<http://mixim.sourceforge.net/>

4. Ambiente de Trabalho

- Módulos de Simulação: módulo *world* responsável pela configuração do ambiente (dimensões da área de trabalho, gestão de parâmetros globais) e *ConnectionManager* responsável pela gestão das ligações entre nós. De notar que o MiXiM suporta vários nós de ligação, tantos como os canais de transmissão existentes;
- Módulos de Nó: módulos com vários sub-módulos que implementam cada uma das camadas lógicas e físicas presentes num nó de uma rede wireless.

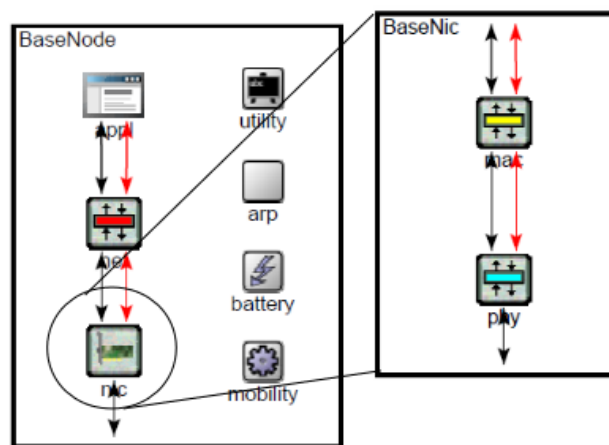


Figura 4.6: Módulo de nó no MiXiM [32].

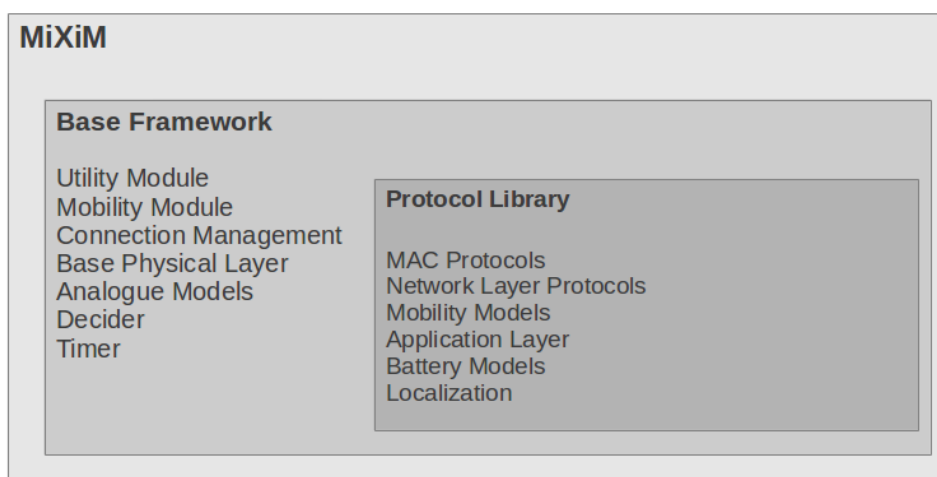


Figura 4.7: Divisão lógica da *framework* MiXiM.

Na Figura 4.6 observa-se em detalhe o módulo de nó onde estão presentes as camadas lógicas de um sensor wireless, o NIC constituído pelas PHY e MAC, a camada *Network* (Netw) e a camada de aplicação. Existem ainda paralelamente vários sub-módulos, nomeadamente o *mobility* que trata da posição e movimentação do nó na área de trabalho, o *battery* que simula o

consumo de energia, o *arp* que trata do endereçamento e o *utility* que serve para efeitos utilitários na partilha de informação durante a simulação.

O MiXiM pode ser dividido de forma lógica numa plataforma base e numa biblioteca de protocolos conforme se pode observar na Figura 4.7. A plataforma base tem todos componentes necessários para criar uma simulação. A biblioteca de protocolos tem diversas extensões da plataforma base que permitem diversificar a quantidade de protocolos e modelos existente.

Importa analisar como funciona a camada PHY no MiXiM. A potência do sinal é influenciada pelo canal de propagação, influência que pode ser modelada por atenuações causadas por efeitos de *path loss*³, *shadowing*⁴ e *fading*⁵. Para além disso também a frequência do sinal, a potência de envio e o *bit-rate* (modulação e codificação) no tempo, espaço e frequência podem afectar a potência do sinal recebido.

Para modelar este complexo processo o MiXiM implementa uma classe especial de sinal que é associada a cada mensagem e implementa a camada PHY tal como esquematizado na Figura 4.8.

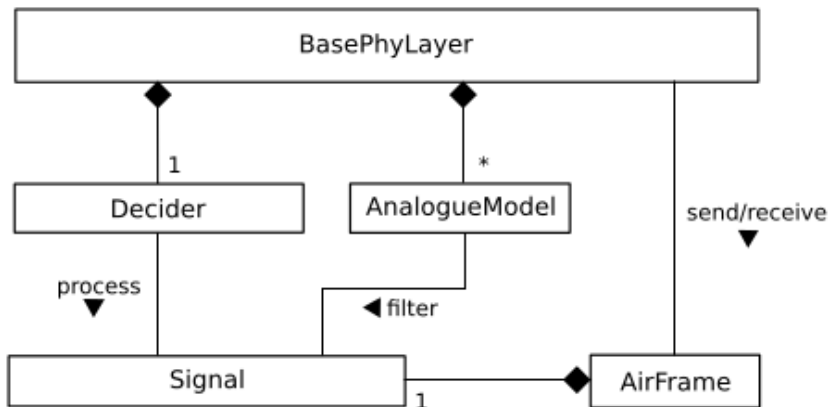


Figura 4.8: Camada PHY do MiXiM [32].

Quando recebe uma mensagem vinda do exterior (*AirFrame*), a camada PHY envia a mensagem para o modelo analógico que irá calcular a atenuação do sinal e para o *Decider* que verifica se o sinal é ruído com base na potência recebida e calcula os bit-errors. Depois deste momento a camada PHY calcula o atraso de propagação e de transmissão da mensagem cabendo à camada MAC determinar com base nos *bit errors* se mensagem é válida ou não.

4.3 Simulação de Obstáculos para MiXiM

Embora esteja referida em [32], a simulação de obstáculos, como parte integrante do MiXiM, esta nunca chegou a ser implementada. Assim foi necessário procurar uma solução que

³Atenuação causada pelo ar.

⁴Atenuação causada por obstáculos.

⁵Atenuação causada pela multi-propagação de um sinal derivada de diversas reflexões.

4. Ambiente de Trabalho

permitisse simular a existência de obstáculos no ambiente de trabalho.

O trabalho [33] implementa a simulação de obstáculos no MiXiM e a sua representação no ambiente Tkenv. O modelo descrito não contempla efeitos de reflexão ou difracção e pretende ser computacionalmente rápido. A configuração dos obstáculos é feita através de um ficheiro XML. Na Listagem 4.1 está o código XML necessário para desenhar o obstáculo da Figura 4.9.

```
1 <obstacles>
2   <poly id="wall#0" type="brickWall20cm" color="#F00" shape="12.8,10 13,10 13,15 12.8,15" />
3 </obstacles>
```

Listagem 4.1: Exemplo de configuração XML de obstáculos.

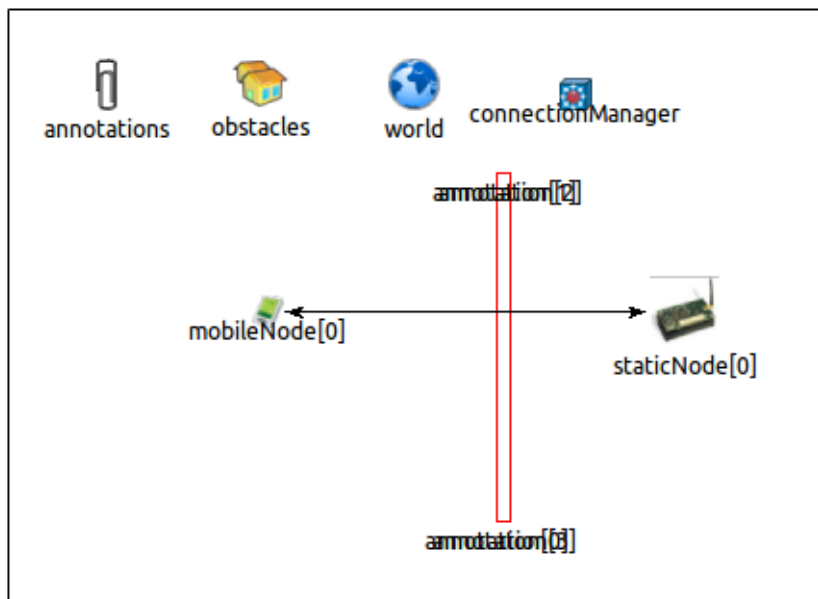


Figura 4.9: Simulação de uma rede MiXiM com obstáculos.

Para melhor perceber a solução encontrada analisa-se a base matemática do modelo.

Sabendo que a potência recebida de um sinal é dada por:

$$P_r[dBm] = P_t[dBm] + G_t[dB] + G_r[dB] - \sum L_x[dB] \quad (4.1)$$

onde P é potência, G é ganho e L_x são os termos que traduzem as perdas. No MiXiM as perdas já são calculadas como descrito na secção anterior pela camada PHY mas não contemplam as perdas provocadas por obstáculos.

É então sugerido um termo para a potência provocada por obstáculos:

$$L_{obs}[dB] = \beta n + \gamma d_m \quad (4.2)$$

Os termos β e γ são calculados com base nos resultados obtidos experimentalmente e representam a atenuação por metro e a atenuação por parede respectivamente. Para o trabalho [33] os valores obtidos foram $\beta \approx 9dB$ e $\gamma \approx 0.4dB/m$.

Devido à não utilização de nós reais neste trabalho, que permitissem chegar a valores reais, optou-se por considerar, com base no Tabela 4.2 do manual da *3Com Wireless Antenas*⁶, os seguintes valores:

| Profundidade(cm) | β (dBm) | γ (m) |
|------------------|---------------|--------------|
| 20 | 106.3 | 0 |
| 10 | 26.575 | 0 |

Tabela 4.1: Valores de atenuação por metro e por parede usados neste trabalho.

| BUILDING MATERIAL | 5GHZ ATTENUATION (dBi) | 2.4GHZ ATTENUATION (dBi) |
|--|---------------------------|-----------------------------|
| Solid Wood Door 1.75 " | 10 | 6 |
| Hollow Wood Door 1.75 " | 7 | 4 |
| Interior Office Door w/Window 1.75 "/0.5 " | 6 | 4 |
| Steel Fire/Exit Door 1.75 " | 25 | 13 |
| Steel Fire/Exit Door 2.5 " | 32 | 19 |
| Steel Rollup Door 1.5 " | 19 | 11 |
| Brick 3.5 " | 10 | 6 |
| Concrete Wall 18 " | 30 | 18 |
| Cubical Wall (Fabric) 2.25 " | 30 | 18 |
| Exterior Concrete Wall 27 " | 45 | 53 |
| Glass Divider 0.5 " | 8 | 12 |
| Interior Hollow Wall 4 " | 3 | 5 |
| Interior Hollow Wall 6 " | 4 | 9 |
| Interior Solid Wall 5 " | 16 | 14 |
| Marble 2 " | 10 | 6 |
| Bullet-Proof Glass 1 " | 20 | 10 |
| Exterior Double Pane Coated Glass 1 " | 20 | 13 |
| Exterior Single Pane Window 0.5 " | 6 | 7 |
| Interior Office Window 1 " | 6 | 3 |
| Safety Glass-Wire 0.25 " | 2 | 3 |
| Safety Glass-Wire 1.0 " | 18 | 13 |

Tabela 4.2: Atenuação de materiais de construção comuns para frequências de 5GHz e 2.4 GHz.

⁶<http://www.scribd.com/doc/32613170/3Com%C2%AE-Wireless-Antennas>

5

Arquitectura do Sistema

Conteúdo

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1 | Sistema de Monitorização EMoS | 38 |
| 5.1.1 | Nó Móvel (MN) | 39 |
| 5.1.2 | Nó Fixo (SN) | 41 |
| 5.1.3 | Nó Base (BN) | 41 |
| 5.2 | Camada NIC | 43 |
| 5.3 | Camada Network : <i>AODVRoute</i> | 43 |
| 5.3.1 | Tipos de Mensagens | 44 |
| 5.3.2 | Estruturas de dados | 45 |
| 5.3.3 | Modo de Funcionamento | 46 |
| 5.4 | Camada Application | 47 |
| 5.4.1 | HORUS Modificado | 47 |
| 5.4.2 | Módulo de Nó Móvel | 47 |
| 5.4.3 | Módulo de Nó Fixo | 47 |
| 5.4.4 | Módulo de Nó Base | 47 |
| 5.5 | Mobilidade | 47 |

TODO: Pequeno resumo do capítulo

5.1 Sistema de Monitorização EMoS

Propõe-se nesta tese o *Elder Monitoring System* (EMoS), uma solução simulada para o problema da monitorização de pessoas em ambiente doméstico. O EMoS é uma rede WSN constituída por diversos nós wireless colocados de forma homogénea numa casa. Embora o sistema possa efectuar a monitorização de todo o tipo de pessoas, neste trabalho é focada a monitorização de idosos ou pessoas com necessidades especiais.

São sugeridas opções de hardware comercialmente disponível para cada componente do sistema pretendendo-se desta forma ir para além da simples simulação e obter parâmetros reais para a configuração da mesma. Alguns aspectos de hardware mencionados não serão simulados por limitação de tempo na execução deste trabalho e também por não corresponderem ao âmbito estabelecido no Capítulo 1.2.

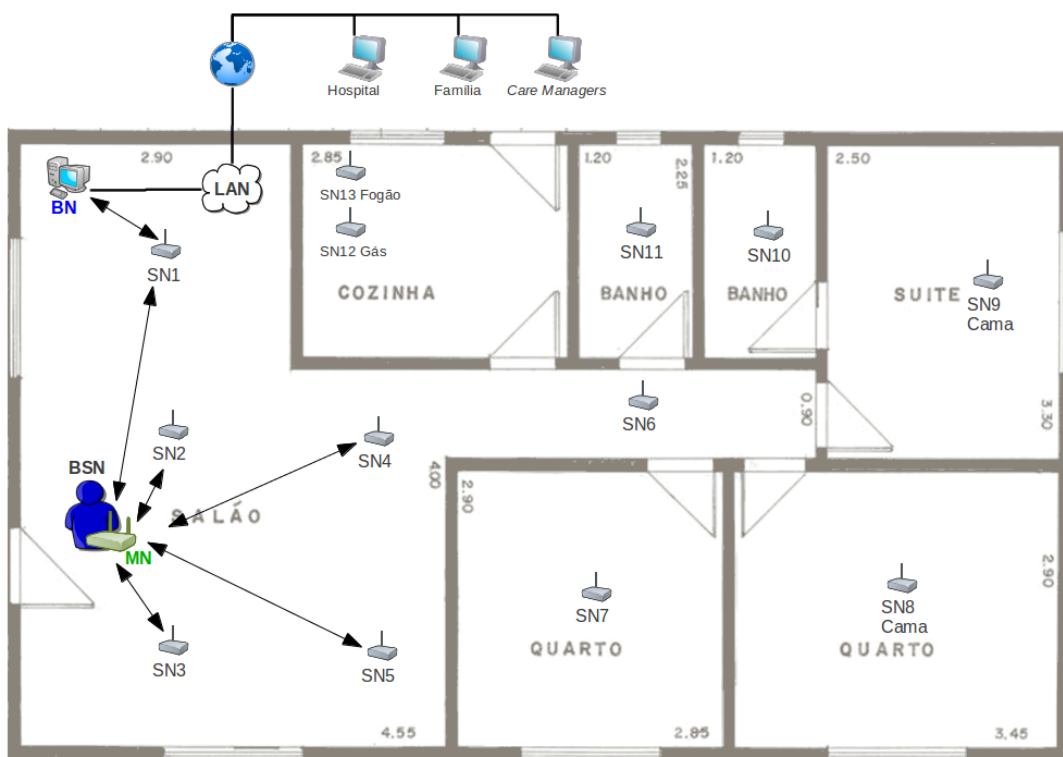


Figura 5.1: Esquema modular do *Elder Monitoring System* (EMoS).

O sistema EMoS (Figura 5.1) é caracterizado pelos seguintes tipos de dispositivo:

- Nó Móvel (*Mobile Node* (MN)): Monitorização de pessoas e calibração do sistema;
- Nó Fixo (*Static Node* (SN)): Envio de *beacons* para localização, comunicação e monitorização doméstica;

- **Nó Base (*Base Node* (BN)):** Gestão central do sistema recebendo os dados de monitorização ou pedidos do utilizador e enviando mensagens para a rede WSN ou para o exterior através de uma LAN.

Os nós estáticos estão ligados à rede eléctrica e enviam periodicamente mensagens de assinatura em modo *broadcast*. No caso dos nós *SN8*, *SN9*, *SN12* e *SN13*, pode existir também envio de mensagens para outros nós estáticos ou para o nó base. Isto pode acontecer quando por exemplo, é detectado gás no caso do *SN12*, quando é ligado/desligado o fogão no caso do *SN13* ou quando alguém se deita/levanta numa das camas onde estão os sensores *SN8* e *SN9*.

O nó de base recebe informação dos nós estáticos ou do exterior através da LAN e toma decisões com base nessa informação. Pode, por exemplo, avisar num monitor que existe alguma anomalia na casa, enviar uma mensagem para o nó móvel ou para um nó fixo, ou comunicar com o exterior caso seja necessário.

O nó móvel pode funcionar em dois modos: calibração e normal. No modo de calibração limita-se a receber assinaturas dos nós fixos e a registar essa informação, gerando num ficheiro XML com o mapa rádio do casa. No modo normal recebe de igual forma as assinaturas, mas periodicamente envia de volta para o nó estático mais próximo, um conjunto de médias das potências recebidas. O nó estático por sua vez envia esta informação para o nó base que irá calcular a localização do nó móvel.

Todos os nós formam uma estrutura em *flat-routing* usando o AODV para comunicar e apresentam uma estrutura interna idêntica (Figura 5.2). O sistema é perfeitamente escalável, sendo possível adicionar-se vários outros nós móveis. No caso de existir um número muito elevado de nós móveis é possível criar novos nós base associados a *clusters* de nós fixos, que comuniquem através da LAN para eliminar sobreposições.

Neste trabalho foi criada uma camada *Network* comum para todos os nós e uma camada *Application* por cada tipo de nó que implementa cada um dos tipos descritos. Nas próximas secções é feita uma exposição detalhada de todo o sistema.

5.1.1 Nó Móvel (MN)

O nó móvel é um sensor equipado com rádios IEEE 802.15.4 e Bluetooth, um acelerómetro, um botão de pânico e capacidade de armazenamento em cartão SD. O facto de ter dois tipos de rádio permite-lhe comunicar com ambas as redes BSN para monitorização local biomédica e WSN. Está instalado num objecto de uso diário, como uma bengala, um andalho ou uma cadeira de rodas e possui baterias recarregáveis. O carregamento é feito no sítio habitual de apoio da bengala ou então por ligação com as baterias de uma cadeira de rodas eléctrica.

A rede BSN é composta por um electrocardiógrafo e um medidor de pressão arterial ambos equipados com Bluetooth, que efectuem monitorização contínua. Quando detectam uma situação anómala comunicam a mesma ao nó móvel. Na simulação este comportamento é recreado

5. Arquitectura do Sistema

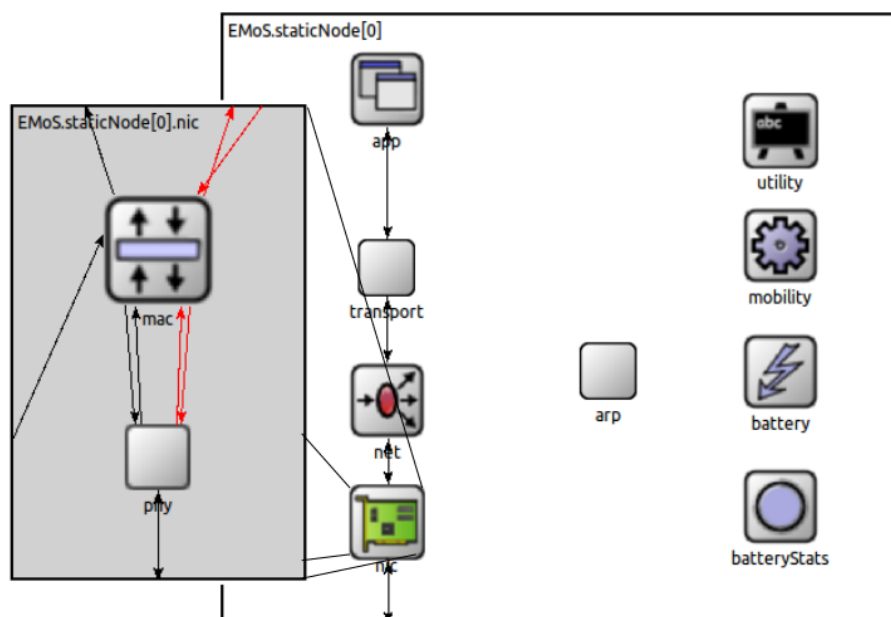


Figura 5.2: Estrutura interna de um nó no sistema EMoS.

com um temporizador aleatório no nó móvel que simula a comunicação vinda da BSN ao nível da aplicação.

Como solução de hardware sugere-se a utilização do módulo *Wasp mote* (Figura 5.3, com rádio *XBee-802.15.4* (Figura 5.4), da *Libelium*¹ que permite a utilização de dois tipos de rádio, tem acelerómetro integrado, microSD e pins para obtenção do RSSI.

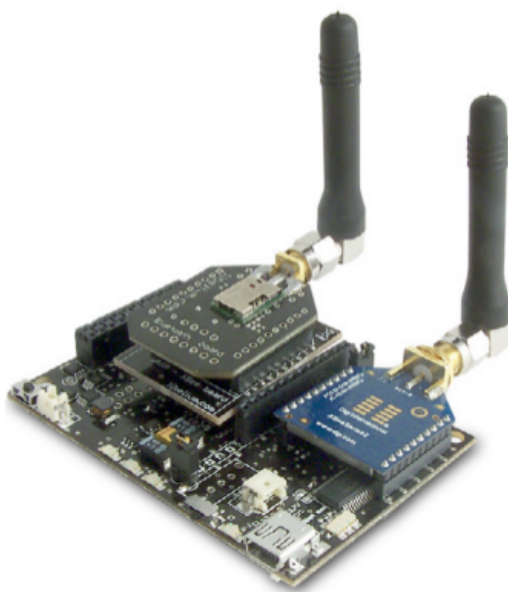


Figura 5.3: Módulo *Wasp mote* da *Libelium*.

¹<http://www.libelium.com/products/waspote>



Figura 5.4: Rádio *XBee* IEEE 802.15.4 usado no módulo *Waspmote*.

O rádio *XBee* simulado terá os seguintes parâmetros obtidos do manual ²⁾:

| Parâmetro | Valor |
|---------------------------------|-------------|
| Modulation | O-QPSK |
| Receiver Sensitivity | -92 dBm |
| Transmit Power | 1mW |
| Sleep Current | <10 μ A |
| Current Consumption RX | 50 mA |
| Current Consumption TX (P=0dBm) | 45 mA |

Tabela 5.1: Parâmetros do rádio *XBee* da *Digi*.

5.1.2 Nó Fixo (SN)

O nó fixo está equipado com rádio IEEE 802.15.4. Ficará ligado à rede eléctrica dada a necessidade de estar periodicamente a enviar assinaturas em *broadcast*. O hardware escolhido para a implementação deste nó será o *MicaZ* com rádio *Texas Instruments CC2420* da *Crossbow*³ (Figura 5.5).

A escolha deste nó é motivada pelo baixo custo do mesmo e o facto de ser o nó que estará presente em maior número na rede.

O rádio *Texas Instruments CC2420* tem os seguintes parâmetros obtidos do manual⁴;

5.1.3 Nó Base (BN)

O nó base tem como função efectuar toda a gestão centralizada da informação gerada por cada um dos sensores. Dada a grande necessidade de rapidez de processamento, espaço de

²http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_H.pdf

³<http://www.xbow.com/>

⁴<http://www.ti.com/lit/gpn/cc2420>



Figura 5.5: Módulo *Micaz* da *Crossbow*.

| Parâmetro | Valor |
|---------------------------------|--------------|
| Modulation | O-QPSK |
| Receiver Sensitivity | -95 dBm |
| Transmit Power | 1.1mW |
| Sleep Current | 0.02 μ A |
| Current Consumption RX | 18.8 mA |
| Current Consumption TX (P=0dBm) | 17.4 mA |

Tabela 5.2: Parâmetros do rádio *Texas Instruments CC2420*.

armazenamento e comunicação com o exterior, optou-se por usar um PC ligado a uma LAN que está por sua vez ligada à Internet. Assim o hardware para a implementação física deste nó e que fará a ponte entre o PC e a rede WSN, será o *Wasmote Gateway*, com rádio *XBee-802.15.4* (Figura 5.4), da *Libelium*.



Figura 5.6: Módulo *Wasmote Gateway* da *Libelium*.

Este nó usa o mesmo rádio que o *Wasmote*, com parâmetros para simulação já registados na Tabela 5.1.

5.2 Camada NIC

Esta camada é constituída pelo MAC e PHY.

Tal como descrito na Secção 4.2 a camada PHY do MiXiM tem um conjunto de modelos analógicos e um *decider* que calculam as diversas atenuações e *bit-errors* do sinal. Para o simulação deste sistema optou-se por usar um conjunto de três modelos analógicos que vão introduzir atenuação no sinal recebido.

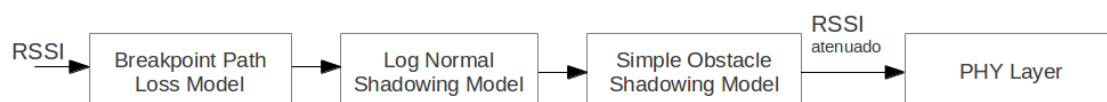


Figura 5.7: Sistema linear correspondente à aplicação dos modelos analógicos à potência do sinal recebido pelo nó.

Optou-se por usar o modelo *Breakpoint Path Loss*, um modelo empírico que permite recriar a atenuação de um sinal a longas distâncias, onde a partir da *BreakPoint distance* o sinal sofre uma atenuação com declive superior e o *Log Normal Shadowing* que permite simular as perdas provocadas pelas diversas reflexões existentes dentro de um edifício. Para simular a existência de obstáculos é utilizado o *Simple Obstacle Shadowing* que tal como descrito na Secção 4.3 permite recriar a atenuação causada pelas paredes da habitação. Dada a falta de dados reais que permitam inferir os parâmetros do modelo, utilizaremos parâmetros de configurações usadas nos exemplos do MiXiM para simulação de redes WSN.

Paralelamente à atenuação do sinal há também o cálculo dos *bit-errors* da mensagem levada a cabo pelo bloco *decider*. Este foi configurado com uma probabilidade de erro de $BER = 1 \times 10^{-8}$ e modulação O-QPSK.

O ficheiro de configuração da camada NIC está disponível no Anexo A.

5.3 Camada Network : AODVRoute

A tecnologia ZigBee é hoje bastante usada nas redes WSN com vários produtos para as mais diversas áreas. O ZigBee usa como primeiro protocolo na camada *Network* o *Ad hoc On-demand Vector Routing* (AODV) e seguidamente quando este falha um protocolo hierárquico. Assim por forma a garantir uma compatibilidade do sistema desenvolvido com o ZigBee optou-se por implementar este protocolo no MiXiM.

O AODV é um protocolo *on-demand* que permite descobrir um caminho apenas quando este é necessário, recuperar caminhos perdidos e reutilizar caminhos já encontrados. Achou-se por isso conveniente implementá-lo no MiXiM para ser usado no EMoS. Este usa caminhos bidireccionais, o que significa que quando é feita a descoberta de um novo caminho são sempre gerados dois, acelerando o processo de procura de novos caminhos. A utilização de contadores sequenciais

5. Arquitectura do Sistema

impede a formação de loops em todo o processo e é feita manutenção sobre os caminhos para eliminar os que deixaram de ser usados durante um determinado espaço de tempo.

Neste trabalho foi implementada uma versão do AODV que apenas contém as funcionalidades necessárias para descoberta de um novo caminho ou para a recuperação de um caminho perdido. O *multicast* bem como a reparação local de caminhos perdidos (*local-repair*⁵ não foram implementadas. Ao módulo implementado foi dado o nome de *AODVRoute*.

5.3.1 Tipos de Mensagens

O AODV funciona utilizando pelo menos três tipos de mensagens para descobrir o caminho de um nó A para um nó B.

- *Route Request* (RREQ);
- *Route Response* (RREP);
- *Route Error* (RERR).

Pode ainda existir um quarto tipo de mensagem, opcional, o *Route Response Acknowledge* (RREP-ACK), utilizado quando existe o perigo de existirem ligações unidireccionais que impeçam a chegada de um RREP, mas que não será referido neste trabalho.

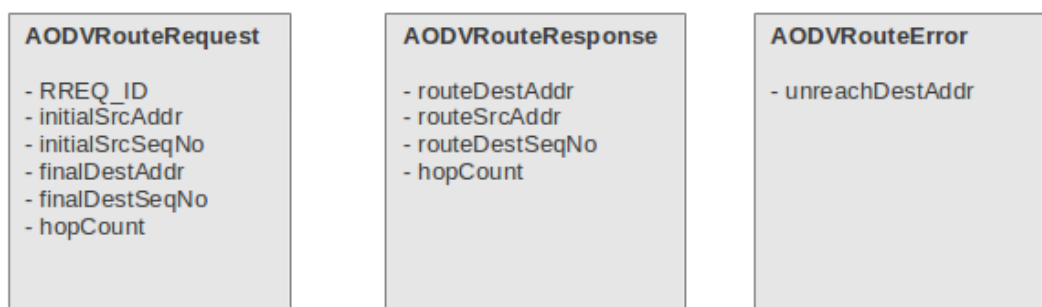


Figura 5.8: Tipos de mensagens do AODVRoute.

Na Figura 5.8 estão as mensagens criadas no MiXiM. A criação de mensagens no OMNeT++ é relativamente simples uma vez que todo o *boilerplate code* é gerado automaticamente. Assim é necessário apenas definir ficheiros do tipo *msg* com os parâmetros necessários. Cada uma das mensagens definidas para este módulo estende a mensagem *NetwPkt*, uma mensagem genérica para a camada *Netw* com endereços de emissor e receptor e *Time To Live* (TTL). Para além dos campos herdados existem também os seguintes para cada tipo de mensagem:

⁵reparação que ocorre localmente quando um nó intermédio falha no encaminhamento da mensagem.

- *AODVRouteRequest* : endereços e números de sequência para o nós emissor e receptor, o *RREQ_ID* que é obtido de um contador existente para o efeito no nó emissor e o contador de saltos que permite perceber em que ponto do caminho está o RREQ;
- *AODVRouteResponse* : endereços de emissor e receptor, número de sequência do nó de receptor e número de saltos até ao receptor;
- *AODVRouteError* : endereço do nó de destino que não foi encontrado.

5.3.2 Estruturas de dados

Foram criadas três estruturas de dados neste novo módulo:

- *pktMap* : utilizada para guardar os pacotes que vieram da camada APP por nó de destino, num FIFO quando para estes ainda não existe um caminho encontrado;
- *RREQVector* : utilizada para guardar os pacotes RREQ recebidos;
- *routeMap* : utilizada para guardar as rotas em cada nó e a lista de precursores⁶ dessa rota.

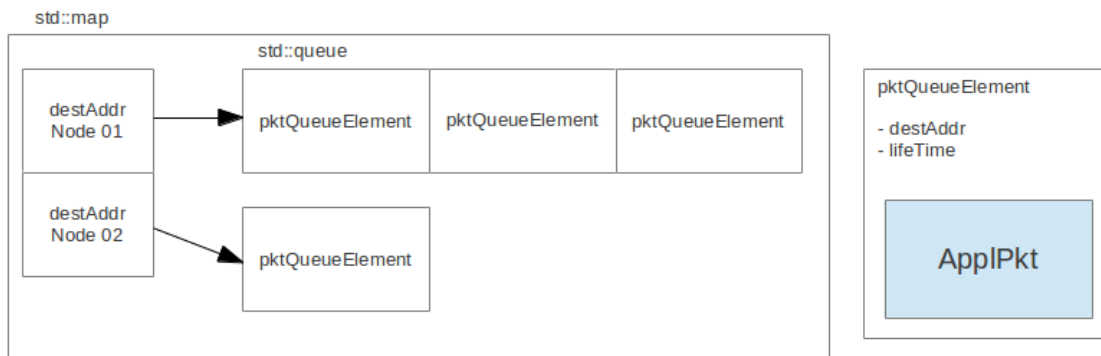


Figura 5.9: PktMap - estrutura para a gestão dos pacotes de aplicação em espera.

Na Figura 5.9 observamos a estrutura PktMap. Este mapa de pares do tipo de endereços e filas de pacotes, guarda para cada nó de destino os pacotes em espera de um caminho para o seu destino final. Cada elemento da fila tem como parâmetros o endereço do nó de destino, o tempo de vida do elemento ($t_0 + t$) e o pacote que foi enviado da camada APP. Esta estrutura é sujeita a uma manutenção periódica que elimina todos os elementos para os quais $t_{sim} > lifetime$. O tempo de vida é suficientemente curto para que não exista uma disparidade grande entre o momento que foi encontrado um caminho e a nova posição do nó móvel.

Na Figura 5.10 observamos a *RREQVec*, estrutura que guarda a chave pares *RREQ_ID* e *srcAddr*, por forma a distinguir univocamente todos os RREQs recebidos de um determinado nó evitando assim o envio de um RREQ que já foi anteriormente enviado.

⁶Precursor de um caminho, é um nó que antecede o nó actual no caminho e só existe depois de ter enviado pelo menos uma mensagem pelo nó actual.

5. Arquitectura do Sistema



Figura 5.10: RREQVector - estrutura que guarda os RREQs recebidos num nó.

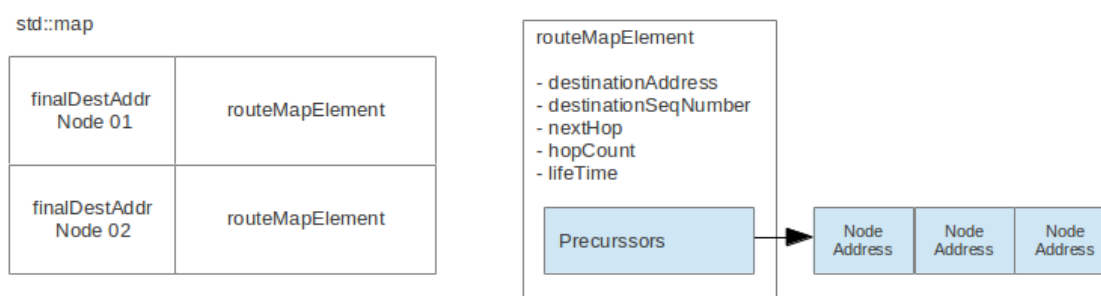


Figura 5.11: RouteMap - estrutura que guarda os caminhos encontrados para nós destino.

Finalmente na Figura 5.11 temos a estrutura *RouteMap* que guarda a informação dos caminhos encontrados em cada nó. Estão presentes em cada *routeMapElement*, o nó final de destino do caminho, o número de sequência conhecido do destino, o próximo nó do caminho, o número de nós entre o nó actual e o nó de destino, o tempo de vida do caminho usado para garantir que os caminhos que deixaram de ser usados não ficam a ocupar espaço no limitado armazenamento disponível e uma lista de nós precursores que servirá para para enviar um RERR de volta para todos os nós que anteriormente usaram o caminho que deixou de existir.

5.3.3 Modo de Funcionamento

Neste trabalho a camada de aplicação poderá gerar vários tipos de mensagens. Essas mensagens poderão ser em *broadcast* no caso das mensagens de assinatura enviadas pelos nós fixos ou *unicast* quando existe um nó que pretende comunicar com outro. Todos os nós do sistema EMoS podem comunicar uns com os outros, no entanto, nem sempre de forma directa. Sendo a camada *Network* comum a todos os nós o comportamento é idêntico para todos.

Suponhamos que a camada de aplicação de um nó fixo pretende enviar uma mensagem para o base, informando, por exemplo que o existe uma fuga de gás. A partir desse momento o nó é anexada informação de controlo (*NetwControlInfo*) à mensagem com o endereço *Network* da nó de destino e esta é enviada para a camada abaixo.

5.4 Camada Application

5.4.1 HORUS Modificado

5.4.2 Módulo de Nó Móvel

5.4.3 Módulo de Nó Fixo

5.4.4 Módulo de Nó Base

5.5 Mobilidade

6

Resultados

Conteúdo

| | | |
|-----|--|----|
| 6.1 | Potência Recebida | 50 |
| 6.2 | Criação dos RadioMaps e RadioMapClusters | 50 |
| 6.3 | Localização | 50 |
| 6.4 | Throuput | 50 |
| 6.5 | Escalabilidade | 50 |
| 6.6 | Tolerância a Falhas de Nós | 50 |

6. Resultados

Pequena introdução.

6.1 Potência Recebida

Histogramas das potências recebidas para situação parada, em movimento e com obstáculos;
Correlação entre amostras

6.2 Criação dos RadioMaps e RadioMapClusters

Demonstração do caminho escolhido para construir os radiomaps e mobilidade utilizada

6.3 Localização

Análise dos erros de posição; Análise do boost de performance por causa do uso de clusters;
Análise do efeito do centro de massa e do time avg;

6.4 Throuput

Análise do throughput nos diversos casos de estudo Análise de pacotes perdidos

6.5 Escalabilidade

Análise do ponto em que é necessário adicionar mais uma baseStation Análise do sistema com mais que uma base station

6.6 Tolerância a Falhas de Nós

Verificar os efeitos na localização da remoção de nós da rede.

7

Conclusões e Trabalho Futuro

7. Conclusões e Trabalho Futuro

Aquilo que se deveria ter feito mas não se fez por alguma razão. Eventuais evoluções ou melhorias ao trabalho feito. Possibilidade do sistema auto-construir o radioMap com base em nos estaticos que conhecem a sua posicao.

Bibliografia

- [1] D. of Economic and S. A. P. Division, World Population Aging 1950-2050, United Nations Std., 2001. [Online]. Available: <http://www.un.org/esa/population/publications/worldageing19502050/>
- [2] A. M. Tabar, A. Keshavarz, and H. Aghajan, "Smart home care network using sensor fusion and distributed vision-based reasoning," in In Proc. of VSSN 2006. ACM Press, 2006, pp. 145–154.
- [3] H. K. Aghajan, J. C. Augusto, C. Wu, P. J. McCullagh, and J.-A. Walkden, "Distributed vision-based accident management for assisted living," in ICOST, ser. Lecture Notes in Computer Science, T. Okadome, T. Yamazaki, and M. Makhtari, Eds., vol. 4541. Springer, 2007, pp. 196–205. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/icost/icost2007.html#AghajanAWMW07>
- [4] A. Williams, D. Xie, S. Ou, R. Grupen, A. Hanson, and E. Riseman, "Distributed smart cameras for aging in place," in In ACM SenSys Workshop on Distributed Smart Cameras, 2006.
- [5] C. Otto, A. Milenković, C. Sanders, and E. Jovanov, "System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring," J. Mob. Multimed., vol. 1, no. 4, pp. 307–326, Jan. 2005. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2010498.2010502>
- [6] S. Ullah, P. Khan, N. Ullah, S. Saleem, H. Higgins, and K. S. Kwak, "A review of wireless body area networks for medical applications," IJCNS, vol. 2, no. 8, pp. 797–803, 2009. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/ijcns/ijcns2.html#UllahKUSHK09>
- [7] M. Beigl, H.-W. Gellersen, and A. Schmidt, "Mediacups: experience with design and use of computer-augmented everyday artefacts," Computer Networks, vol. 35, no. 4, pp. 401–409, 2001. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/cn/cn35.html#BeiglGS01>
- [8] I. Amundson and X. Koutsoukos, "A survey on localization for mobile wireless sensor networks," in Mobile Entity Localization and Tracking in GPS-less Environments, ser. Lecture Notes in Computer Science, R. Fuller and X. Koutsoukos, Eds. Springer Berlin / Heidelberg, 2009, vol. 5801, pp. 235–254. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-04385-7_16

- [9] K. Lorincz and M. Welsh, "Motetrack: a robust, decentralized approach to rf-based location tracking." Personal and Ubiquitous Computing, vol. 11, no. 6, pp. 489–503, 2007. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/puc/puc11.html#LorinczW07>
- [10] W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks." in MOBICOM, H. Kodesh, V. Bahl, T. Imielinski, and M. Steenstrup, Eds. ACM, 1999, pp. 174–185. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/mobicom/mobicom1999.html#HeinzelmanKB99>
- [11] A. Varga, "The omnet++ discrete event simulation system," Proceedings of the European Simulation Multiconference (ESM'2001), June 2001.
- [12] V. M. Stanford, "Pervasive computing: Applications - using pervasive computing to deliver elder care." IEEE Distributed Systems Online, vol. 3, no. 3, pp. 10–13, 2002. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/dsonline/dsonline3.html#Stanford02>
- [13] M. Wallace and M. Shelkey, "Monitoring functional status in hospitalized older adults." Am J Nurs, vol. 108, pp. 64–71; quiz 71–2, 2008.
- [14] D. H. Wilson, "Assistive intelligent environments for automatic in-home health monitoring," Ph.D. dissertation, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, September 2005.
- [15] A. Keshavarz, A. M. Tabar, and Ham, "Distributed vision-based reasoning for smart home care," in ACM SenSys Workshop on Distributed Smart Cameras DSC 06, 2006.
- [16] A. G. Hauptmann, J. Gao, R. Yan, Y. Qi, J. Yang, and H. D. Wactlar, "Automated analysis of nursing home observations," in Pervasive Computing, IEEE, vol. 3. Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, PA, USA, April-June 2004, pp. 15–21.
- [17] B. U. Töreyn, Y. Dedeoglu, and A. E. Çetin, "Hmm based falling person detection using both audio and video." in ICCV-HCI, ser. Lecture Notes in Computer Science, N. Sebe, M. S. Lew, and T. S. Huang, Eds., vol. 3766. Springer, 2005, pp. 211–220. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/iccv/iccv-hci2005.html#ToreyinDC05>
- [18] B. H. Jung, J. W. Chong, S. H. Jeong, H. Y. Hwang, S. M. Kim, M. S. Kang, and D. K. Sung, "Ubiquitous wearable computer (uwc)-aided coexistence algorithm in an overlaid network environment of wlan and zigbee networks," in Proceedings of the 9th international conference on Communications and information technologies, 2009.
- [19] J. Y. Jung and J. W. Lee, "Zigbee device design and implementation for context-aware u-healthcare system," in Proceedings of the Second International Conference on Systems and Networks Communications, ser. ICSNC '07. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007, pp. 22–. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/ICSNC.2007.88>

-
- [20] Y. Kaddoura, J. King, and A. S. Helal, "Cost-precision tradeoffs in unencumbered floor-based indoor location tracking," Proceedings of the third International Conference On Smart homes and health Telematic (ICOST), Sherbrooke, Qu?bec, 2005.
- [21] S. S. Intille, K. Larson, J. S. Beaudin, J. Nawyn, E. M. Tapia, and P. Kaushik, "A living laboratory for the design and evaluation of ubiquitous computing technologies," in CHI '05: CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems. New York, NY, USA: ACM, 2005, pp. 1941–1944.
- [22] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "Radar: An in-building rf-based user location and tracking system," in INFOCOM, 2000, pp. 775–784.
- [23] M. A. A. A. Y. A. Rehim, "Horus: A wlan-based indoor location determination system," Ph.D. dissertation, University of Maryland, April 2004. [Online]. Available: <http://www.lib.umd.edu/drum/handle/1903/1364>
- [24] M. Ayaz, I. Baig, A. Abdullah, and I. Faye, "A survey on routing techniques in underwater wireless sensor networks." J. Network and Computer Applications, vol. 34, no. 6, pp. 1908–1927, 2011. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/jnca/jnca34.html#AyazBAF11>
- [25] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks." in MOBICOM, R. L. Pickholtz, S. K. Das, R. Cáceres, and J. J. Garcia-Luna-Aceves, Eds. ACM, 2000, pp. 56–67. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/mobicom/mobicom2000.html#IntanagonwiwatGE00>
- [26] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (aodv) routing," in EXPERIMENTAL RFC 3561, July 2003.
- [27] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch, "Ad hoc networking," in In Ad Hoc Networking, edited by Charles E. Perkins, Chapter 5. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2001, ch. DSR: the dynamic source routing protocol for multihop wireless ad hoc networks, pp. 139–172. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=374547.374552>
- [28] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks." in HICSS, 2000. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/hicss/hicss2000-8.html#HeinzelmanCB00>
- [29] PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems, vol. 3, 2002. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/AERO.2002.1035242>
-

- [30] Y. Yu, R. Govindan, and D. Estrin, "Geographical and energy aware routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," UCLA - University of California, Los Angeles, Tech. Rep., 2001.
- [31] J. L. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. E. Culler, and K. S. J. Pister, "System architecture directions for networked sensors." in ASPLOS, L. Rudolph and A. Gupta, Eds. ACM Press, 2000, pp. 93–104. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/asplos/asplos2000.html#HillSWHCP00>
- [32] A. Köpke, M. Swigulski, K. Wessel, D. Willkomm, P. T. K. Haneveld, T. E. V. Parker, O. W. Visser, H. S. Lichte, and S. Valentin, "Simulating wireless and mobile networks in omnet++ the mixim vision." in SimuTools, S. Molnár, J. R. Heath, O. Dalle, and G. A. Wainer, Eds. ICST, 2008, p. 71. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/simutools/simutools2008.html#KopkeSWWHPVLV08>
- [33] C. Sommer, D. Eckhoff, R. German, and F. Dressler, "A Computationally Inexpensive Empirical Model of IEEE 802.11p Radio Shadowing in Urban Environments," in 8th IEEE/IFIP Conference on Wireless On demand Network Systems and Services (WONS 2011), Poster Session. Bardonecchia, Italy: IEEE, January 2011, pp. 84–90.



Apêndice 1

Listagem A.1: Ficheiro XML de configuração da camada NIC.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <root>
3   <!-- ANALOGUE MODELS -->
4   <AnalogueModels>
5     <AnalogueModel type="BreakpointPathlossModel">
6       <!-- IEEE 802.15.4 path loss channel model -->
7       <parameter name="alpha1" type="double" value="2"/>
8       <parameter name="L01" type="double" value="40.2"/>
9       <parameter name="breakpointDistance" type="double" value="8.0"/>
10      <parameter name="alpha2" type="double" value="3.3"/>
11      <parameter name="L02" type="double" value="58.8"/>
12      <parameter name="carrierFrequency" type="double" value="2.4E+9"/>
13    </AnalogueModel>
14    <!-- we add a log-normal shadowing effect on top of the IEEE 802.15.4 path loss -->
15    <AnalogueModel type="LogNormalShadowing">
16      <parameter name="mean" type="double" value="0.0"/>
17      <parameter name="stdDev" type="double" value="6"/>
18      <parameter name="interval" type="double" value="1"/>
19    </AnalogueModel>
20    <!-- we add obstacle shadowing on top of the log-normal shadowing effect -->
21    <AnalogueModel type="SimpleObstacleShadowing">
22      <parameter name="carrierFrequency" type="double" value="2.4E+9"/>
23    </AnalogueModel>
24  </AnalogueModels>
25  <Decider type="Decider802154Narrow">
26    <!--Length of Start Frame Delimiter (used to compute probability of successful
27      synchronization)-->
28    <parameter name="sfdLength" type="long" value="8"/>
29
30    <!--minimum possible bit error rate (BER floor)-->
31    <parameter name="berLowerBound" type="double" value="1e-8"/>
32
33    <!--modulation type-->
34    <parameter name="modulation" type="string" value="oqpsk16"/>
35  </Decider>
36 </root>

```