

Denise Janson Ferreira

***MAD-RSSF: Uma Infra-estrutura de Monitoração
Integrando Redes de Sensores Ad-Hoc e uma
Configuração de Cluster Computacional***

Florianópolis – SC

Junho / 2007

Denise Janson Ferreira

***MAD-RSSF: Uma Infra-estrutura de Monitoração
Integrando Redes de Sensores Ad-Hoc e uma
Configuração de Cluster Computacional***

Trabalho apresentado à Universidade Federal
de Santa Catarina para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências da Computação.

Orientador:

Prof. Dr. Mário Antônio Ribeiro Dantas

CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA
CENTRO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Florianópolis – SC

Junho / 2007

Agradecimentos

Dedico meus sinceros agradecimentos para:

- o professor doutor Mário Antônio Ribeiro Dantas, pela orientação e incentivo;
- a equipe do Laboratório de Pesquisa em Sistemas Distribuídos (LaPeSD), pelo apoio e ajuda em diversos momentos;
- a minha família pelo apoio e compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho.

Resumo

Atualmente tem-se observado um constante aumento no uso de aplicações orientadas ao paradigma de computação móvel empregando redes de sensores sem fio. O maior desafio neste cenário é aumentar o tempo de vida da rede. A integração de agregados de computadores com redes de sensores sem fio pode representar uma interessante solução de computação de alto desempenho para o ambiente monitorado. O pacote de software OSCAR facilita o manuseio de ambientes de agregados de computadores. Este trabalho visa a modelagem e implementação do MAD-RSSF (Monitoramento de Alto Desempenho - Redes de Sensores sem Fio). O MAD-RSSF representa a integração de um agregado com uma rede de sensores sem fio, visando prover ao ambiente uma forma diferencial de suporte às aplicações.

Abstract

Nowadays has been verified a steadily increase in the use of mobile computing, especially with appliance such as sensors. The main challenge in this scenario is to increase network sensor lifetime. The integration of clusters with sensor networks can represent an interesting answer for high-performance computing to the monitor environment. The OSCAR software package is an useful single system image to management cluster of workstations. This work is related to the design and implementation of MAD-RSSF. The MAD-RSSF represents a cluster integration with a wireless sensor network. It provides to the environment a differential support to applications.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1	Introdução	p. 9
2	Redes Sem Fio	p. 11
2.1	Taxonomia das Redes Sem Fio	p. 12
2.2	Tecnologias de transmissão em redes sem fio	p. 14
2.3	Modos de Acesso ao Meio	p. 14
2.3.1	Descrição de Protocolos	p. 16
2.4	Redes Sem Fio Infra-Estruturadas e Ad-hoc	p. 17
2.4.1	Redes Sem Fio Infra-estruturadas	p. 17
2.4.2	Redes Sem Fio Ad-hoc	p. 18
2.5	Redes de Sensores Sem Fio	p. 20
2.5.1	Nodos Sensores	p. 21
2.5.2	Aspectos da Rede	p. 23
2.5.3	Principais Características de Redes de Sensores Sem Fio	p. 26
3	Computação Distribuída	p. 28
3.1	Classificação	p. 28
3.2	Arquiteturas MIMD	p. 29
3.2.1	Multiprocessadores	p. 30

3.2.2	Multicomputadores	p. 32
3.3	Agregado de Computadores	p. 34
3.3.1	OSCAR	p. 35
4	O MAD-RSSF e Trabalhos Relacionados	p. 37
4.1	MAD-RSSF	p. 37
4.1.1	Descrição do Ambiente	p. 37
4.1.2	Arquitetura do MAD-RSSF	p. 39
4.2	Trabalhos Relacionados	p. 43
5	Resultados Experimentais	p. 45
	Conclusões e Trabalhos Futuros	p. 46
5.1	Conclusões	p. 46
5.2	Trabalhos Futuros	p. 46
	Referências Bibliográficas	p. 47

Lista de Figuras

2.1	Cobertura das Redes Sem Fio	p. 13
2.2	Camadas Física e de Enlace do 802.11	p. 15
2.3	Topologias: Rede Estruturada X Rede Ad-hoc	p. 19
2.4	Esquema de Arquitetura de um nodo Sensor (ILYAS; MAHGOUB, 2005)	p. 22
2.5	MicaDot	p. 23
2.6	Trajetória das Informações (AKYILDIZ et al., 2002)	p. 24
2.7	Fusão de Dados Paralela	p. 25
2.8	Fusão de Dados Serial	p. 26
3.1	<i>Classificação das Arquiteturas MIMD (DANTAS, 2005)</i>	p. 30
3.2	<i>Exemplos de Configurações Genéricas de Multiprocessadores (DANTAS, 2005)</i>	p. 30
3.3	<i>Arquiteturas Computacionais com Múltiplos Processadores (DANTAS, 2005)</i>	p. 34
3.4	<i>Configuração de cluster utilizando OSCAR</i>	p. 35
4.1	Estação Base e Nodos Sensores	p. 38
4.2	Arquitetura do ambiente	p. 39
4.3	Esquema do ambiente proposto	p. 40
4.4	Arquitetura do MAD-RSSF	p. 42
4.5	Diagrama com as principais classes	p. 43
4.6	Diagrama de seqüência do alerta	p. 44
5.1	Alerta no PDA	p. 45

Lista de Tabelas

2.1	Padrões 802.11	p. 12
2.2	Bluetooth x Wi-Fi	p. 17
4.1	Características do ambiente	p. 39
4.2	Características da rede de sensores	p. 40

1 Introdução

O uso de redes sem fio se tornou um aspecto diferencial para um grande número de aplicações distribuídas. Além disso, a crescente velocidade do aparecimento de novas tecnologias para computação móvel trouxe vários benefícios aos usuários de dispositivos móveis. Por outro lado, esse fato trouxe uma série de desafios de pesquisa para prover serviços de software em nível similar ao encontrado em redes estruturadas. Isto ocorre principalmente devido ao fato dos dispositivos móveis possuírem, geralmente, características limitadas no nível de memória principal e secundária, processamento, largura de banda. O programador deve ter preocupações com as constantes interferências de conexão, além de cuidados para poupar energia, aumentando o tempo de vida da bateria(DANTAS, 2002).

O paradigma da mobilidade nos permite ter acesso remoto a informações a qualquer momento, em qualquer lugar, ampliando os conceitos de computação distribuída. Tem sido realizado grande esforço científico no sentido de aprimorar as técnicas de acesso seguro, confiável e rápido a dados em ambientes wireless. Essas facilidades se popularizam progressivamente, fornecendo uma grande variedade de serviços e aplicações para usuário em diversos setores.

Um segmento de estudo dentro da computação móvel é o de redes de sensores sem fio. O uso desses pequenos dispositivos, que geralmente utilizam bateria como fonte energética, possibilita mudanças radicais quanto à forma como as pessoas interagem com o ambiente. É um paradigma que tem revolucionado as formas de interação dos programas com os usuários, aumentando consideravelmente a flexibilidade dos sistemas(KUORILEHTO; HÄNNIKÄINEN; HÄMÄLÄINEN, 2005). Entretanto, ainda há ainda vários quesitos a serem explorados.

Muitas situações exigem uma grande quantidade de sensores para monitorar o ambiente. Estes, por sua vez, trocam uma série de mensagens e dados que devem ser processados e armazenados. Algumas operações de conversão e estatística sobre essa quantidade de informações exigem muito processamento. Um computador sozinho pode não suportar e não teria espaço suficiente para armazenar todos os resultados. O uso de um agregado de computadores auxilia o processamento requerido sobre os dados, com o uso de técnicas de computação paralela e

compartilhamento de recursos.

O OSCAR (Open Source Cluster Application Resources) (OSCAR, 2007) é uma solução para executar aplicações em sistemas de configuração distribuída. Possui várias ferramentas que auxiliam os programadores, evitando que necessitem de conhecimentos profundos de computação distribuída.

Diversas aplicações poderiam fazer uso da integração de agregados de computadores e redes de sensores sem fio, como sugere-se neste artigo e ilustrados nos exemplos de (YU; WANG; MENG, 2005), (MAINWARING et al., 2002) e (WERNER-ALLEN et al., 2005). Tais projetos visam o monitoramento de ambientes naturais para detecção de interações animal-planta e detecção de desastres ambientais. A monitoração destes ambientes gera uma grande quantidade de dados que devem ser tratados e distribuídos pelos usuários dos respectivos sistemas.

A contribuição desta pesquisa está no desenvolvimento do MAD-RSSF, como uma forma de integração de redes de sensores sem fio com um agregado de computadores configurado com o OSCAR. Dessa forma espera-se fornecer suporte a grandes fluxos de dados, havendo processamento e armazenamento de grandes quantidades de informações provenientes da uma rede de sensores. O agregado de computadores permite tratar destes dados de forma transparente ao usuário.

O trabalho está organizado da seguinte forma. No Capítulo é feita uma revisão de redes sem fio, apresentando redes de sensores sem fio como um de seus segmentos. No Capítulo 2 são abordados alguns aspectos da computação móvel e distribuída, além de apresentar o OSCAR. O protótipo proposto é mostrado no Capítulo 4, assim como trabalhos relacionados. No Capítulo 5 estão os resultados experimentais. E, finalmente, no Capítulo 6 são feitas as conclusões sobre a pesquisa e destacando sua contribuição e indicando propostas para trabalhos futuros.

2 *Redes Sem Fio*

Nos últimos anos, a proliferação de dispositivos computacionais móveis (por exemplo, laptops, handheld, dispositivos digitais, assistentes digitais pessoais (PDAs) e wearable computers) tem revolucionado o mundo da computação. Estamos migrando da era da computação pessoal (PC-Personal Computer), isso é um computador por pessoa, para a era da computação ubíqua, no qual usuários individuais utilizam ao mesmo tempo, diversas plataformas eletrônicas na quais informações podem ser acessadas a qualquer hora em qualquer lugar (ILYAS, 2003). Neste cenário, as redes sem fio aparecem como solução para comunicação entre esses dispositivos.

Redes sem fio são as redes nas quais as conexões que interligam os aparelhos são efetuadas sem cabeamento físico. Em uma LAN tradicional, os dados são transmitidos como pulsos elétricos (ou sinais) por meio de uma ligação física (portadora). Da mesma forma, em uma rede sem fio, há transmissores, receptores, e uma portadora onde os dados são modulados(DANTAS, 2002).

Este paradigma oferece algumas facilidades, sendo a principal destas a flexibilidade pela desnecessidade do uso de cabos. Os usuários possuem maior mobilidade, podendo se mover livremente enquanto conectados de forma transparente à rede. Além disso, permite conexão em ambientes com dificuldades de passagem de cabos.

Entretanto, ainda há uma série de desafios no desenvolvimento de estruturas de redes sem fio. Dentre estes:

- **Atenuação:** é a diminuição da intensidade do sinal propagado. Ocorre quando a distância entre os elementos em comunicação é muito grande. Para solucionar o problema são utilizados repetidores ou amplificadores pelo trajeto;
- **Ruídos/Interferências:** sinais indesejados de frequências próximas que são captados entre a transmissão e a recepção;
- **Desconexões:** redes sem fio sofrem freqüentes desconexões causadas por diversos fatores

como mudanças nas condições atmosféricas; interferências do meio físico (obstáculos); ou a mobilidade do usuário para regiões sem sinal, chamadas de sombras.

- **Múltiplos caminhos:** quando o sinal transmitido encontra objetos sólidos e altera seu caminho se propagando para diferentes direções. Pode ocorrer a dispersão do sinal, que será enviado para outros destinos. Também pode ocorrer a reflexão do sinal, sendo recebido várias vezes.

2.1 Taxonomia das Redes Sem Fio

A padronização das redes sem fio para níveis de camada de enlace e física foi dada até então pelo IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers. Estes padrões agregam características técnicas bem peculiares a cada tipo de rede sem fio. Desta forma, elas podem ser classificadas dependendo da aplicação e da tecnologia utilizada:

- **Redes de Área Corporal Sem Fio (WBAN - Wireless Body Area Network):** consiste de um conjunto de sensores compactos e móveis que se intercomunicam. Possuem restrições de recursos e por isso transmitem dados para uma estação base, a qual pode realizar operações sobre os dados.
- **Redes Pessoais Sem Fio (WPAN - Wireless Personal Área Network):** voltada para conexão de computadores a dispositivos periféricos (impressoras, PDAs). Cobrem pequenas distâncias e possuem baixas velocidades comparada a outros tipos. É incorporado ao Grupo de Trabalho IEEE 802.15 e compatível com a especificação Bluetooth v1.1 (ILYAS, 2003).
- **Redes Locais Sem Fio (WLAN - Wireless Local Área Network):** oferece pequena dispersão geográfica, com altas taxas de transmissão. É padronizada pelo Grupo de Trabalho IEEE 802.11. Subdivide-se entre os padrões 802.11b (Wi-Fi), 802.11a, 802.11g (ILYAS, 2003).

A tabela 2.1 mostra respectivamente a velocidade, a frequência e a compatibilidade, diferenciando os padrões 802.11.

Tabela 2.1: Padrões 802.11

802.11b	802.11a	802.11g
1,2,5,5 e 11 Mbps	6,9,12,18,24,36,48 e 54 Mbps	6,9,12,18,24,36,48 e 54 Mbps
2,4 GHz	5,8 GHz	2,4 GHz
802.11g	802.11a	802.11b

- Redes Metropolitanas Sem Fio (WMAN - Wireless Metropolitan Area Network): possui cobertura geográfica maior que a WLAN e altas taxas de transmissão. Foi desenvolvido na tentativa de ligar casas e empresas ao núcleo de redes de telecomunicações no mundo inteiro. Padronizada pelo Grupo de Trabalho IEEE 802.16 (DANTAS, 2002).
- Redes Distribuídas Sem Fio (WWAN - Wireless Wide Area Network): possui grande dispersão geográfica (DANTAS, 2002).

A figura 2.1 ilustra uma comparação de alcance conforme a configuração da rede, baseado em dados de (ILYAS, 2003).

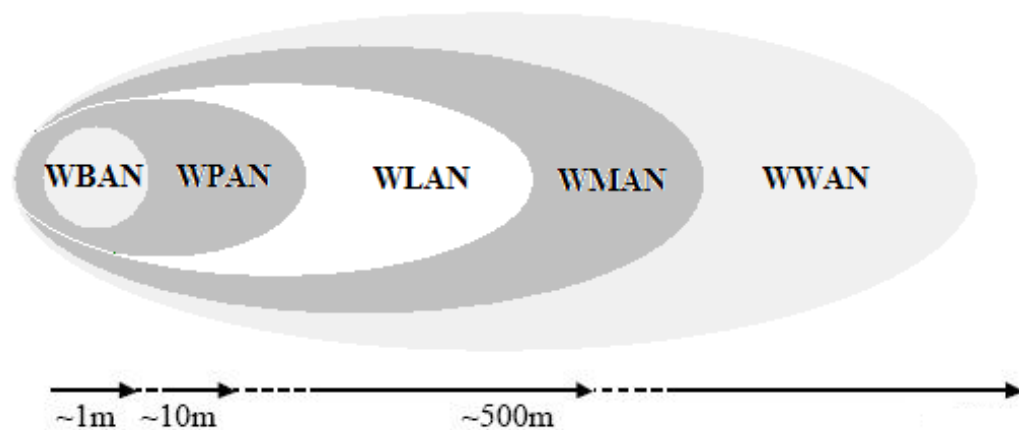


Figura 2.1: Cobertura das Redes Sem Fio

2.2 Tecnologias de transmissão em redes sem fio

Uma variedade de mecanismos de comunicação substituem os cabos tradicionais e fios da rede. Segundo (SANTOS, 2005), algumas tecnologias de transmissão de dados sem fio são:

- Infravermelho: permite velocidades baixas, de 1 Mbps e 2 Mbps; é suscetível a interferências de luminosidade e climáticas do ambiente; não pode atravessar objetos opacos; opera na faixa de frequência de 100 Thz; limitação de alcance de até 400m. (ILYAS, 2003).
- Banda estreita: transmite e recebe informações utilizando apenas o suficiente do espectro de frequência para passar a informação. O receptor de rádio filtra todas as frequências, exceto a determinada pelo sistema. Esse sistema não é adequado para transmissão de dados.

- **Espalhamento de Espectro:** é o mais usado em redes sem fio. Transmite várias partes do sinal separadamente através de um amplo espectro de frequência, ao invés de transmiti-lo continuamente sobre uma banda de frequência estreita. Quando o receptor faz a operação inversa, o sinal é reconstituído com um sinal de banda estreita. Possui ondas de rádio de alcance limitado e usa muito da largura de banda. Divide-se em duas técnicas, espectro de dispersão de saltos de frequência (FHSS- Frequency Hopping Spread Spectrum) e espectro de dispersão de sequência direta (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum).
- **Multiplexação ortogonal por divisão de frequência (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing):** técnica recente com objetivo de alcançar maior largura de banda. Possui uma taxa de 54Mbps e utiliza faixa de frequência mais ampla.

Outra técnica mais recente que também busca maior largura de banda é a espectro de dispersão de sequência direta de alta velocidade (HR-DSSS - High Rate Direct Sequence Spread Spectrum): possui uma velocidade de 11 Mbps e mesma faixa de frequência do 802.11.

2.3 Modos de Acesso ao Meio

A camada de enlace de dados (MAC - Medium Access Control) do IEEE 802.11 permite dois métodos de controle de acesso: o distribuído, ou modo Distributed Coordination Function (DCF), e centralizado, ou modo Point Coordination Function (PCF).

O modo DCF não requer uma unidade controladora central e, portanto, é aquele empregado para configurar o sistema IEEE 802.11 como uma rede ad hoc sem fio. Neste modo de operação o protocolo MAC deverá resolver o problema da contenção, dado que todos os terminais de uma região tentam acessar o mesmo meio (VAXEVANAKIS; ZAHARIADIS; VOGIATZIS, 2003). O protocolo empregado é o Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA).

Por outro lado, o modo PCF requer a existência de uma entidade que controle as transmissões de todos os terminais, caracterizando o acesso como livre de contenção. Este modo não é adequado para redes ad hoc, pela necessidade de uma controladora central.

A figura 2.2 ilustra as camadas física e de enlace do 802.11.

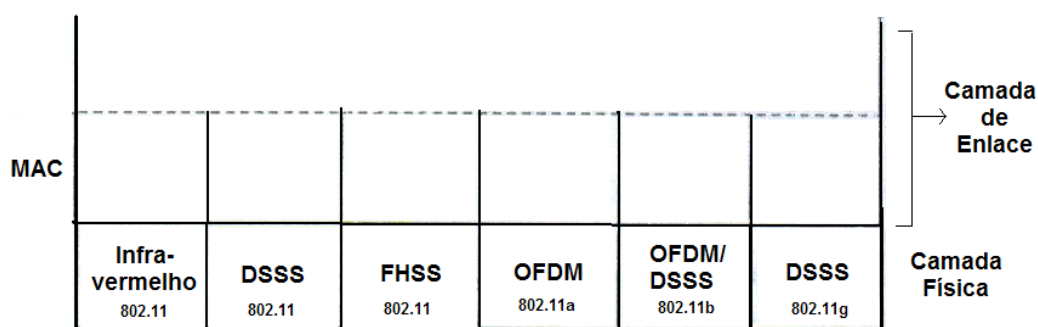


Figura 2.2: Camadas Física e de Enlace do 802.11

2.3.1 Descrição de Protocolos

IEEE 802.11

O padrão 802.11, também conhecido como Ethernet sem fio, é o padrão utilizado para redes locais. Especifica o protocolo de controle de acesso ao meio (MAC) e diferentes camadas físicas de alcance e velocidades diversas. O grupo de trabalho da família do IEEE 802.11 é atualmente a mais ativa no ramo de redes sem fio. Este protocolo foi proposto visando estabelecer um padrão para redes locais sem fio para comunicação de dados em redes sem fio com frequências: 2.4 GHz e 5.0 GHz.

A primeira proposta do padrão previa a possibilidade de uso tanto de rádio frequência quanto de infravermelho para comunicação, mas não considerava nenhum parâmetro de qualidade de serviço. Desta forma, o 802.11b, operando a 2.4 GHz e taxa de transmissão de 11 Mbps se tornou o padrão mais utilizado. O 802.11a também foi extensão do inicial, possibilita taxas de transferência de até 54 Mbps. O sucesso do IEEE 802.11b encorajou o desenvolvimento do padrão IEEE 802.11g, que ainda é compatível ao padrão IEEE 802.11b e possui taxa de transferência por volta de 54 Mbps. Estas versões mais recentes utilizam exclusivamente radiofrequência /cite13).

A diversidade dos padrões fez com que as manufaturas desenvolvessem o padrão Wi-Fi, com intuito de construir dispositivos compatíveis à especificação do IEEE 802.11. As faixas de frequências em que o padrão Wi-Fi opera não necessitam de licença para instalação ou manuseio. Desta forma, esta tecnologia se torna muito atrativa para uso, sendo necessário licença apenas para uso comercial.

HomeRF

O HomeRF (Home Radio Frequency) foi desenvolvido para redes residenciais. O grupo de trabalho do padrão desenvolveu sua especificação para uma grande variedade de dispositivos interoperáveis, o protocolo de acesso sem fio compartilhado (SWAP -Shared Wireless Access Protocol). O SWAP é uma especificação aberta que permite interligar equipamentos digitais como computadores, aparelhos periféricos, telefones e outros dispositivos em uma rede local sem fio. Dessa forma, os dispositivos compartilham informações e se comunicam por meio de voz e transferência de dados em um cômodo, sem os gastos com o uso de fiação.

O HomeRF é uma especificação barata e opera a 2.4GHz ISM, desenvolvida para uso doméstico. Assemelha-se ao padrão IEEE 802.11, tendo a vantagem de ter tráfego de voz. A taxa de transferência vai até 10 Mbps.

Bluetooth

A tecnologia Bluetooth foi desenvolvida com o objetivo de interligar a baixo custo aparelhos eletrônicos pessoais como telefones celulares, notebooks, PDA's, computadores de mesa, impressoras e transdutores. Desta forma, tornou-se um padrão para comunicação sem-fio, com um canal de comunicação seguro, de curto alcance, baixo consumo de energia e baixo custo. Qualquer aparelho que possua um chip Bluetooth pode realizar comunicação através de ondas de rádio na faixa de frequência de 2.4 GHz, sem a necessidade de licença (EKLUNG et al., 2002).

O padrão utiliza baixa taxa de transferência, de 20Kbps a 55 Mbps. Possui também pequena área de cobertura, tendo raio de alcance de 10 m, geralmente, dependendo da classe do dispositivo. Além disso, poucos dispositivos podem se conectar ao mesmo tempo dentro de uma mesma área. O padrão possui canais de voz.

O Bluetooth utiliza uma configuração de mestre-escravo. O mestre se comunica com os outros escravos, sendo tudo organizado dinamicamente na conexão. Essa configuração é chamada de piconet ou picorede.

A tabela 2.2 mostra comparação de parâmetros entre os protocolos Bluetooth e Wi-Fi, baseado em dados de (EKLUNG et al., 2002).

Tabela 2.2: Bluetooth x Wi-Fi

	802.11 (Wi-Fi)	802.15 (Bluetooth)
Frequência	2.4GHz	2.4GHz
Raio de alcance	Até 500 metros	10 metros
Taxa de Transferência	11 Mbps - 55 Mbps	20Kbps - 55 Mbps
Número de Usuários	Dezenas	Dezenas

2.4 Redes Sem Fio Infra-Estruturadas e Ad-hoc

2.4.1 Redes Sem Fio Infra-estruturadas

Uma rede sem fio estruturada é caracterizada pela existência de um Ponto de Acesso para o qual todos os dispositivos móveis de uma determinada célula devem estar conectados. A célula é um grupo de estações conhecido como conjunto básico de serviços (BSS - Basic Service Set).

O Ponto de Acesso é responsável por quase todas as funcionalidades da rede. Por meio deste que os dispositivos têm acesso a uma rede cabeada. Em uma rede de uma organização, para aumentar a área de cobertura é possível ter várias unidades de células, cada qual com um Ponto de Acesso respectivo. Estes Pontos de Acesso são ligados a estrutura da organização, chamada de Sistema Distribuído. Toda conexão da célula à estrutura é definida como conjunto estendido de serviços (ESS - Extended Service Set).

2.4.2 Redes Sem Fio Ad-hoc

Por outro lado, redes sem fio ad-hoc são especificadas como configurações que não possuem Pontos de Acesso. Ou seja, permite que os nodos se comuniquem diretamente entre si ou através de múltiplos saltos dentro da rede usando receptores e transmissores sem fio, sem a necessidade de uma infra-estrutura fixa (ILYAS, 2003). Essa é a principal característica que distingue as redes móveis ad-hoc de outras redes sem fio.

Desta forma, a idéia de redes ad-hoc é ter redes temporárias formadas por propósitos específicos por um curto período de tempo. Nessas redes as aplicações podem ser móveis e os ambientes podem mudar dinamicamente. Logo, seus protocolos devem ser auto-configuráveis, para assim se ajustarem ao ambiente bem como a mudanças de trajeto, tráfego e missão.

As redes ad-hoc representam sistemas distribuídos complexos, que incluem nodos móveis sem fio que podem se organizar livre e dinamicamente de forma arbitrária dentro de uma topologia de rede temporária e caracterizam-se por um sistema autônomo de nodos móveis independentes, que podem operar de modo isolado.

Dentre as vantagens desse tipo de rede, pode-se citar o fato de serem flexíveis, ser construída de forma rápida, sem a necessidade de uma infra-estrutura fixa. Além disso, não dependem de um ponto central que determine sua organização e controle, evitando assim que o desempenho da rede seja afetado, caso um nodo em particular venha falhar.

Por outro lado, redes ad-hoc introduzem uma série de desafios. Sua natureza de múltiplos saltos e a possível falta de uma infra-estrutura fixa introduz problemas de pesquisa tais como configuração da rede, descoberta de dispositivos, e manutenção da topologia, bem como endereçamento ad-hoc e auto-roteamento (WU; STOJMENOVIC, 2004).

A figura 2.3 mostra a topologia de uma rede infra-estruturada, a esquerda, com pontos de acesso que os dispositivos das células de alcance destes se comunicam. E a direita há um ambiente ad-hoc, com os dispositivos independentes de um ponto central de comunicação, interligados diretamente.

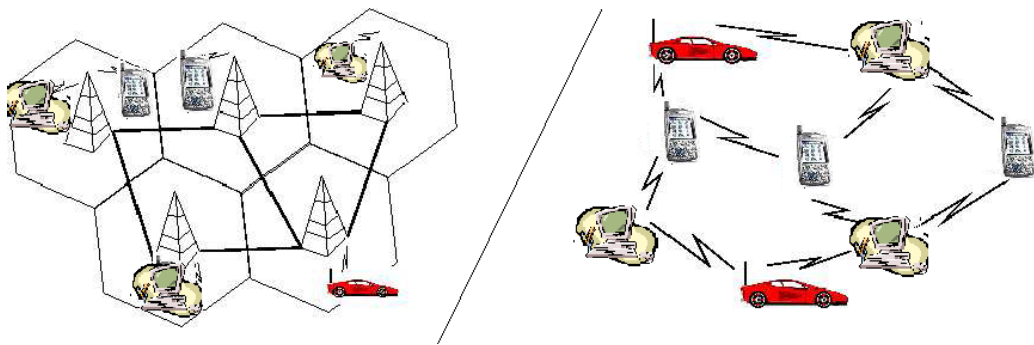


Figura 2.3: Topologias: Rede Estruturada X Rede Ad-hoc

Principais Características de Redes Ad-hocs Sem Fio

- **Mobilidade:** a dinâmica da topologia permitindo que os nodos sejam rapidamente reposicionado é uma das principais característica das redes ad-hoc. Rápida disposição em áreas com nenhuma infra-estrutura freqüentemente implica na exploração de uma área geográfica por parte dos usuários havendo a necessidade de formação de grupo coordenados sob o pretexto de cumprir uma missão. A mobilidade pode se dar de modo individual e aleatório ou mobilidade de todo grupo movimentando-se ao longo de trajetos pré-planejados (PRASANT; KRISHNAMURTHY, 2005). O modelo de mobilidade possui impacto direto com a seção de roteamento influenciando o desempenho da rede.
- **Largura de banda:** possuem largura de banda limitada comparado a redes fixas;
- **Permite comunicação multi-hop:** uma rede multi-hop é uma rede em que na comunicação diversos nodos fazem parte do trajeto da origem até o nodo destino (PRASANT; KRISH-

NAMURTHY, 2005). Esses múltiplos saltos auxiliam na conservação de energia, pois as distâncias de comunicação entre os nodos é menor. Também permite que nodos que não se alcançam possam se comunicar, por meio dos saltos através dos outros nodos da rede.

- **Auto-organização:** nodos numa rede ad-hoc devem determinar autonomamente seus próprios parâmetros incluindo endereços, trajetos de comunicação, grupos, posicionamento, controle de potência e energia, etc.
- **Energia:** a maioria dos nodos em redes ad-hoc possuem restrições de energia. Dessa forma, os algoritmos devem estar sempre voltados ao controle do consumo de bateria, para aumentar o tempo de vida da rede.
- **Segurança:** há vários desafios na área da segurança em redes ad-hoc, visto que as limitações dos dispositivos restringem muito a capacidade de controle nesta área. Essas redes estão mais vulneráveis a ataques tanto passivos quanto ativos. Um dos problemas é que não é possível ter controle da abrangência do sinal que está sendo transmitido, podendo os dados ser, então, acessado por terceiros na rede. Devido a complexidade dos protocolos de redes ad-hoc esses ataques são bem mais difíceis de se detectar do que em redes infra-estruturadas. Ataques passivos são exclusivos das redes ad-hoc, e podem ser mais maliciosos do que os ativos (PRASANT; KRISHNAMURTHY, 2005).
- **Redes Heterogêneas:** uma rede ad-hoc pode ser composta por diferentes dispositivos que se interligam para realizar tarefas. PDAs, laptops, celulares, computadores de mesa, diferentes plataformas devem poder se comunicar, compoento um ambiente heterogêneo.
- **Redes Relativamente Dispersas:** a adoção do paradigma de trabalho de redes adhoc é justificado segundo na dispersão geográfica dos nodos que compõe a rede. Visto que, se os nodos da rede estiverem muito próximos um do outro a comunicação single-hop seria suficiente e nenhuma comunicação multi-hop entre os nodos seria necessária.
- **Entrega de informação location-aware:** usando transmissores de rádio fixo, informações de ciência de posição podem ser entregues para usuários interessados.

2.5 Redes de Sensores Sem Fio

Recentes avanços nas áreas de comunicação sem fio, micro-processadores, materiais de sensoriamento, micro sistemas eletro-mecânicos permitiram o desenvolvimento de pequenos nodos sensores multifuncionais inteligentes. Estes nodos possuem um chip com capacidade de

processamento e sinais para comunicação de dados. São baratos, com necessidade de pouca bateria e capazes de se comunicar a pequenas distâncias. A tendência é que, com a evolução na área, estes dispositivos fiquem sempre mais baratos e sejam usados em larga escala.

Este contexto introduz o paradigma da rede de sensores sem fio. Rede de Sensores Sem Fio é um termo geral que engloba diversas variações em composição e implantação. Pode ser definida como uma rede sem fio consiste de um grande número de dispositivos autônomos, distribuídos e densamente espalhados em um ambiente onde ocorre o fenômeno a ser monitorado. A comunicação entre os nodos é sem fio e a curtas distâncias, comparado a outras redes sem fio. Estes dispositivos podem ter sensores, para monitorar de forma cooperativa com outros dispositivos da rede. Ou podem servir apenas para roteamento de mensagens pela rede, não tendo sensores (ILYAS; MAHGOUB, 2005).

2.5.1 Nodos Sensores

Os sensores são pequenos dispositivos autônomos, com baixa capacidade de processamento, comunicação e bateria. Cada nodo pode ter vários sensores, sendo estes de temperatura, umidade, som, pressão, acelerômetros, ou qualquer outro fenômeno físico que possa ser medido (DYO, 2005). Esses sensores podem ter algum nível de inteligência, produzir respostas ao ambiente ou não.

Há diferentes grupos de desenvolvimento de plataformas de hardware de sensores, dentre estes: Mica, Telos, eyesIFX. Os protocolos para comunicação utilizados tem sido IEEE 802.11, HomeRF e Bluetooth. Cada plataforma possui componentes com características próprias, mas algumas unidades são básicas para todos os nodos.

Componentes básicos dos micro-sensores

O nodo sensor na rede pode ter diferentes funções:

- Sensoriamento - quando o nodo executa funções de sensoriamento, capturando fenômenos do ambiente;
- Processamento - tarefa de processar as informações obtidas do ambiente, tomando decisões na rede;
- Tráfego - tarefa de transmitir informações e dados pela rede, servindo de roteadores.

Geralmente os nodos micro-sensores consistem de 4 componentes básicos para realização destas tarefas, os quais podem ser observados na figura 2.4:

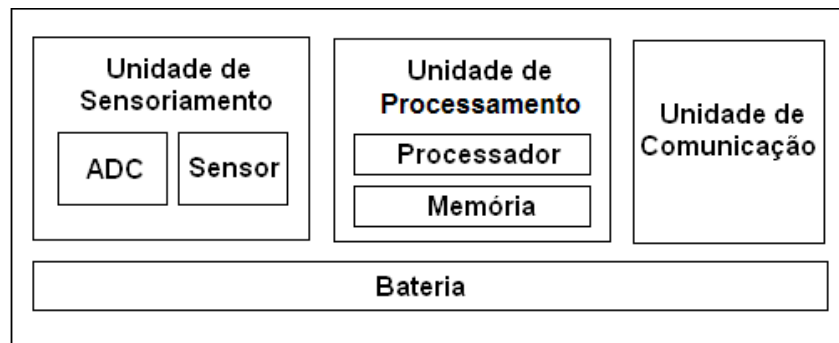


Figura 2.4: Esquema de Arquitetura de um nodo Sensor (ILYAS; MAHGOUB, 2005)

- Unidade de sensoriamento, dividida em duas subunidades

os sensores propriamente ditos, que capturam eventos do ambiente, produzindo sinais análogos baseados nos fenômenos observados;

um conversor análogo digital (ADC), responsável por receber os sinais análogos produzidos pelos sensores e convertê-los em sinais digitais, para poderem ser processados pelo dispositivo.

- Unidade de processamento: é a unidade que recebe as informações digitais do ADC, sendo responsável por realizar pequenas operações sobre os dados coletados. Esta unidade também gerencia os procedimentos de colaboração do sensor para com os outros nodos sensores da rede, respondendo a determinados eventos e executando algumas tarefas.

uma unidade de memória consideravelmente limitada;

um processador, também de recursos limitados.

- Unidade de comunicação, que conecta o nodo a rede de sensores, responsável pela transmissão e recepção de mensagens na rede.
- Unidade de energia, que é a unidade mais importante para manter o nodo ativado na rede.

O tamanho reduzido desses equipamentos é uma grande vantagem na interação com o ambiente a ser monitorado. Há sensores que medem centímetros. Entretanto esta redução do tamanho implica no aumento das limitações de seus componentes. A figura 2.5 mostra o tamanho de um MicaDot comparado a uma moeda!

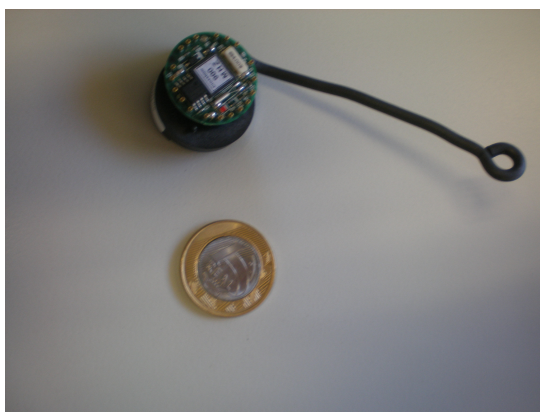


Figura 2.5: MicaDot

Geralmente a capacidade de sensoriamento é melhorada com o tempo de exposição, pois em alguns casos os nodos recebem a função de modificar os valores do meio, corrigindo falhas. Os dados que passam pela rede são sinais ainda parcialmente processados ou, dependendo da aplicação podem não ter passado por operações. Desta forma, o destinatário final recebe dados ainda em formato de sinal digital não processado. (JIANG; MANIVANNAN, 2004).

2.5.2 Aspectos da Rede

A maioria das redes de sensores possuem alta densidade de nodos, os nodos são muito sujeitos a falhas e a topologia da rede pode mudar dinamicamente. As redes de sensores podem consistir de nodos homogêneos ou alguns nodos podem possuir características especiais, como maior capacidade de armazenamento ou processamento .

Geralmente, uma estação base (base station) é necessária para coletar as informações sensorizadas pelos nodos sensores. Os dados coletados são enviados a um servidor central ainda em formato de sinal digital cru, ou em hexadecimal, ou com processamento parcial dos dados. Isso porque possuem baixa capacidade de processamento. Quando o servidor termina seu processamento sobre os dados, envia via internet ou satélite ao aparelho do usuário final, o qual pode executar as tarefas necessárias com as informações coletadas (AKYILDIZ et al., 2002). A figura 2.6 ilustra essa trajetória das informações na rede.

A posição dos nodos não precisa ser predeterminada, o que permite espalhá-los aleatoriamente em locais inacessíveis (STANKOVIC et al., 2003). O grande desafio da rede de sensores sem fio é aumentar o tempo de vida da rede. Devem ser usadas políticas de roteamento para manter energia, visto que a comunicação sem fio exige mais bateria que o simples processamento. O sensoriamento possui um consumo de 1 nJ por amostra. Com os processadores modernos, operações computacionais consomem apenas 1 nJ por instrução. Por outro lado, as

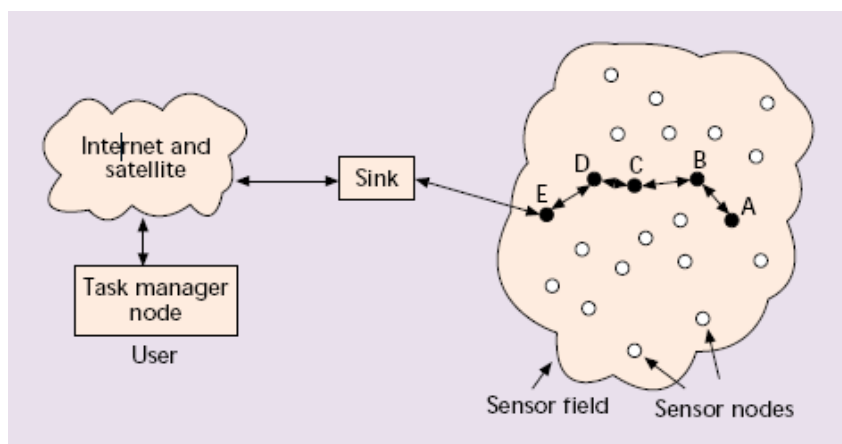


Figura 2.6: Trajetória das Informações (AKYILDIZ et al., 2002)

técnicas de rádio frequência consomem por volta de 100 nJ por bit, a uma distância de 10 a 100 m, o que faz a comunicação ter alto custo comparada ao sensoriamento e processamento (ILYAS; MAHGOUB, 2005).

Fusão de Dados

A fusão de dados é a forma de comunicação com que os sensores trocarão informações para que chegue ao destino final. Redes com alta densidade de nodos são passíveis de falhas na comunicação e nos próprios nodos. A rede pode gerar divergências quanto aos sinais recebidos. Uma das funções no tratamento da fusão de dados é desenvolver um método efetivo para interpretação automática das informações, geradas por uma rede de sensores de larga escala, filtrando possíveis ruídos.

Além de aumentar a confiabilidade das leituras dos sensores, dependendo da abordagem utilizada a fusão de dados pode também economizar energia dos nodos, aumentando a vida útil da rede. Pela análise da rede, pode ser necessário coletar amostras apenas de alguns nodos de determinada região para tomar determinada decisão. Esta abordagem economiza bateria dos nodos não coletados, visto que a transmissão na comunicação é um dos fatores que mais influencia nos gastos com energia do nodo.

Existem três modelos de comunicação no tratamento da fusão de dados, segundo (PATIL; DAS; NASIPURI, 2004).

1. Fusão de dados paralela: determinado número de nodos envia sinais diretamente para a estação base;
2. Fusão de dados serial: utiliza técnicas de roteamento para coletar o dados da rede e en-

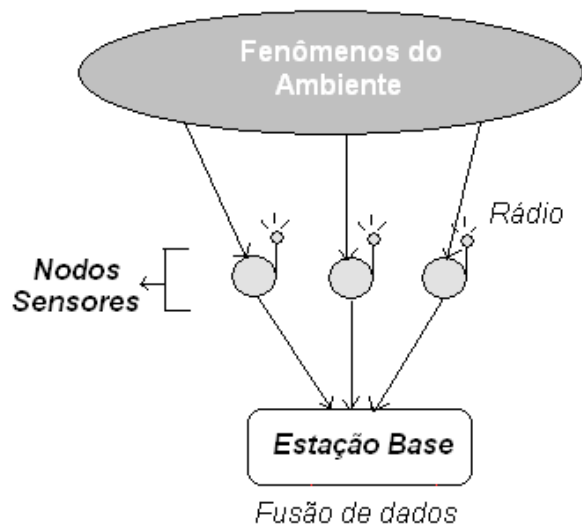


Figura 2.7: Fusão de Dados Paralela

caminhá-los ao destino final 2.8;

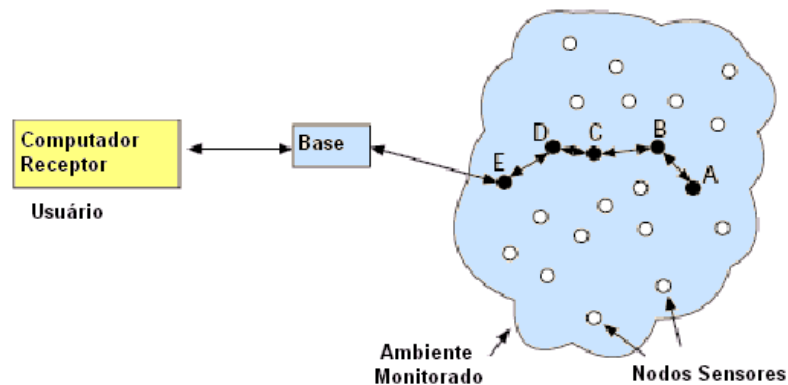


Figura 2.8: Fusão de Dados Serial

3. Fusão de dados híbrida: são formados agregados na rede. Os nodos comunicam unicamente com nodos de seu agregado e apenas alguns nodos ficam responsáveis pela comunicação com os outros clusters ou com a base.

2.5.3 Principais Características de Redes de Sensores Sem Fio

- Limitações de energia, potência de transmissão de dados, memória e poder de processamento (ZHAO; AMMAR; ZEGURA, 2004).
- Topologia varia de forma dinâmica, prevendo perda de nodos por termino de bateria, ou fatores externos tirá-lo da área de alcance da rede;

- Alta escalabilidade;
- Auto-organização;
- Possui tolerância a falhas, por serem redes densamente povoadas;
- Centradas em dados, não depende da localização dos nodos, mas sim das informações vindas do fenômeno monitorado (MAURI; MARKO; D., 2005);
- Comunicação baseada em broadcast de pequeno alcance e roteamento multihop;
- Alta densidade e esforço cooperativo entre os nodos;

Redes de Sensores Sem Fio X Redes Ad-hoc

Vários protocolos propostos para redes sem fio ad-hoc tradicionais serem propostos para redes de sensores sem fio, entretanto, não são estritamente adequados às características únicas deste tipo de rede. Para ilustrar este problema, serão citadas algumas das diferenças entre estas redes, segundo (AKYILDIZ et al., 2002):

- O número de nodos em uma rede de sensores pode ser muito maior que em redes ad-hoc;
- Os nodos sensores são densamente espalhados, enquanto em redes ad-hoc isso geralmente não acontece;
- Nodos sensores possuem tolerância a falhas, visto que as redes são densas, o que é um problema em redes ad-hoc;
- A topologia de redes de sensores se modifica muito rapidamente;
- Redes de sensores geralmente utilizam paradigmas de comunicação broadcast, enquanto a maioria das redes ad-hoc usa comunicação ponto a ponto;
- Os nodos sensores são limitados em recursos de energia, memória e capacidade de processamento, enquanto os nodos de redes ad-hoc são geralmente mais potentes.
- Os nodos sensores nem sempre possuem identificação global (ID), devido a grande quantidade de nodos, e também para evitar sobrecarga da rede.

3 *Computação Distribuída*

Com os avanços tecnológicos na área da computação e comunicação digital, a demanda por esses serviços tem aumentado. Aplicações científicas, industriais e comerciais tem progressivamente exigido maior desempenho dos sistemas. Neste contexto, o uso de ambientes distribuídos se tornou uma solução para várias organizações obterem melhor performance com seus programas. O contínuo barateamento de hardware e de meios físicos para comunicação, assim sua disponibilidade no mercado, tem contribuído para a maior implantação destes ambientes.

Sistemas distribuídos, sob aspecto de arquitetura de máquinas para execução de aplicativos, devem ser vistos como configurações com grande poder de escala pela agregação dos computadores existentes na rede (DANTAS, 2005), permitindo que aplicações clientes tenham acesso remoto a outras máquinas para compartilhamento de informações e recursos.

A principal vantagem destes sistemas é a possibilidade de compartilhar recursos computacionais que muitas vezes estariam ociosos na rede, acelerando a execução de tarefas, disponibilizando maior espaço para armazenamento de informações e possibilitando o uso de qualquer outro recurso conectado. Muitos são flexíveis, permitindo a retirada ou adição de recursos. Os softwares podem ser desenvolvidos direcionados a um ambiente distribuído, o que pode melhorar ainda mais a performance do programa. Além disso, sistemas com mais recursos disponíveis apresentam maior tolerância a falhas, havendo a possibilidade de replicar os processos em computadores distintos.

3.1 **Classificação**

A Taxonomia de Flynn, que surgiu a mais de 30 anos é a mais conhecida para classificação de ambientes de hardware. Ainda é muito utilizada hoje em dia, apesar de ter um pouco de dificuldade em abranger todas as arquiteturas atuais. Esta abordagem foca no número de instruções executadas em paralelo versus o conjunto de dados para os quais as instruções são submetidas. A seguir as divisões dos ambientes, pela classificação de Flynn:

- **SISD (Single Instruction Single Data):** realiza uma única instrução por vez, ou seja, utilizando um único processador. O SISD representa a grande parte de computadores convencionais com instruções sendo executadas seqüencialmente. Possui um único fluxo de instruções para um único fluxo de dados.
- **SIMD (Single Instruction Multiple Data):** realiza uma única instrução por vez, mas sobre múltiplos dados. Isso ocorre devido à ocorrência de facilidades de hardware para armazenamento, podendo ser um vetor, ou um array. Os processadores recebem uma mesma instrução de uma unidade de controle, mas operam sobre diferentes conjuntos de dados. Dessa forma, a mesma instrução é processada sob diferentes itens de dados. Ocorre um fluxo único de instruções com um fluxo múltiplo de dados.
- **MISD (Multiple Instruction Single Data):** seria o fluxo de múltiplas instruções sob o fluxo de um único dado. Neste caso várias unidades de processamento recebem diferentes instruções sob um mesmo conjunto de dados e derivados. Há controvérsias sobre o MISD, muitos autores não o consideram, por não haver conhecimento de arquitetura de máquinas deste tipo.
- **MIMD (Multiple Instruction Multiple Data):** fluxo de múltiplas instruções com o fluxo de múltiplos dados. Nesta classificação, a arquitetura possui vários processadores e estes podem executar instruções independentes entre si sob diferentes fluxos de dados. Esta estrutura é própria para o desenvolvimento de algoritmos paralelos. Nesta categoria estão grande parte dos sistemas multicomputadores.

3.2 Arquiteturas MIMD

Para que várias instruções sejam executadas simultaneamente na arquitetura MIMD, é necessário que vários processadores operem juntos, de forma cooperativa ou concorrente. Desta forma vários aplicativos podem ser executados por vez, ou então apenas um, mas com as tarefas desta aplicação distribuídas entre estes processadores.

A arquitetura MIMD pode ser classificada de acordo com o tipo de organização da memória principal, memória cache e também pela forma de interligação dos processadores, e pelo tipo de dispositivos de interconexão destes componentes. A figura 3.1 mostra uma classificação usual das arquiteturas MIMD de acordo com (DANTAS, 2005).

O ambiente é classificado em multiprocessadores e multicomputadores, podendo ter um meio de interconexão comutado ou em barra. Estes conceitos serão abordados nas próximas

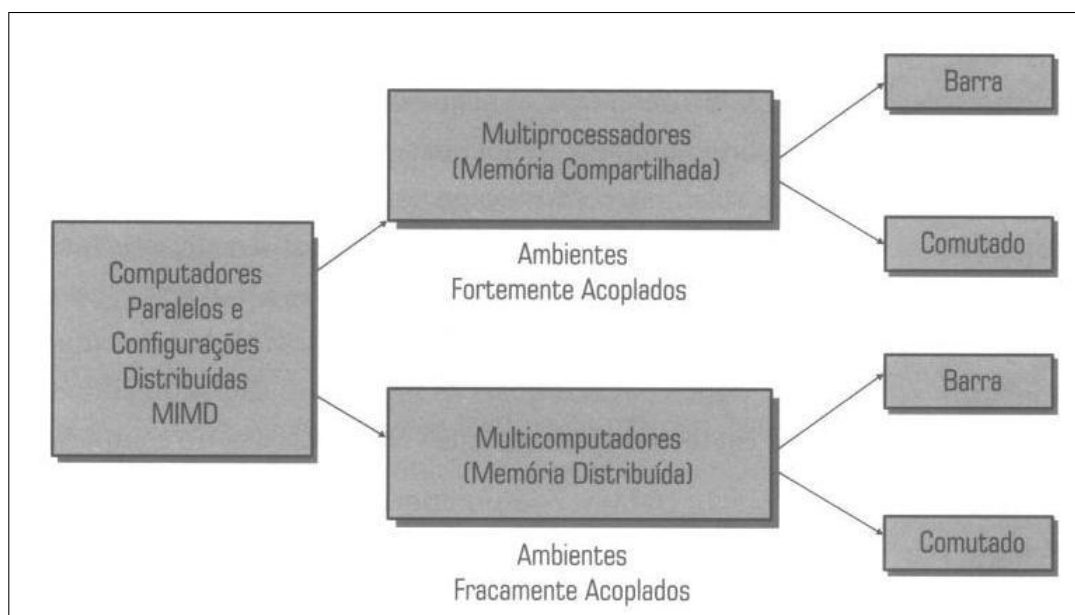


Figura 3.1: *Classificação das Arquiteturas MIMD (DANTAS, 2005)*

subseções.

3.2.1 Multiprocessadores

Um ambiente multiprocessador possui vários processadores compartilhando uma única memória ou um conjunto de memórias. Ela é dita como fortemente acoplada pelo fato dos processadores e memórias serem ligados através de um sistema local de interconexão. Quando a interconexão entre processadores e memórias é feita por meio de uma barra, caracteriza-se uma configuração compartilhada. Já quando esta interligação é realizada por meio de equipamento de comutação é estabelecida uma configuração comutada, vide figura 3.2.

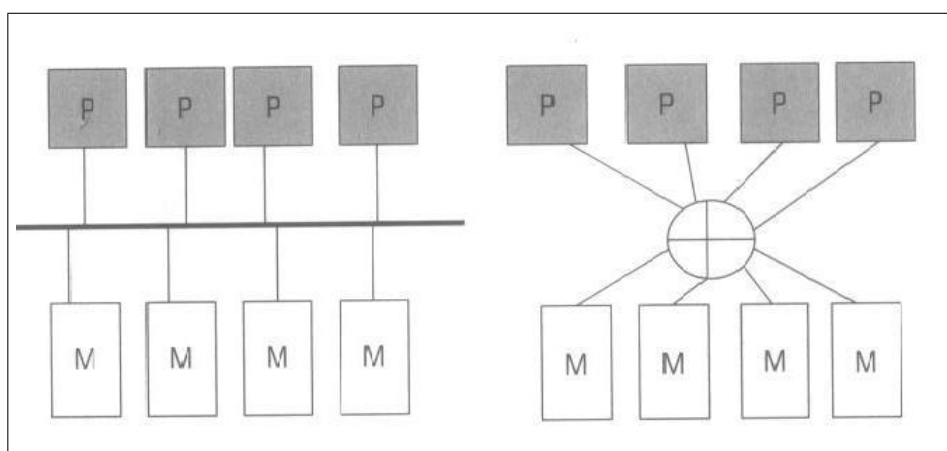


Figura 3.2: *Exemplos de Configurações Genéricas de Multiprocessadores (DANTAS, 2005)*

Em sistemas multiprocessadores a memória é compartilhada globalmente, ou seja, o espaço

de endereçamento é único para todos os processadores.

Algumas Arquiteturas Multiprocessadores

- **SMP (Symmetric Multiprocessors):** são arquiteturas de compartilhamento total. Nestas configurações, dois ou mais processadores são interligados a uma única memória, compartilhando, assim, todos os recursos disponíveis. Os processadores acessam a um único sistema operacional, e de forma simétrica, tendo os mesmos custos de acesso a memória. Esta arquitetura permite que qualquer processador execute qualquer tarefa, independente da localização dos dados para a tarefa na memória. Com o suporte do sistema operacional é possível que esses sistemas alterem as tarefas entre os processadores, com objetivo de realizar balanceamento de carga de forma eficiente.

O SMP é uma arquitetura muito utilizada em ambientes que os softwares utilizam multi-threads. Geralmente programas que são executados nesses ambientes apresentam melhora na performance mesmo que tenham sido desenvolvidos para ambientes de monoprocessamento. Isso ocorre porque as interrupções de hardware, que muitas vezes suspendem a execução do programa, podem ser executadas em um processador que esteja ocioso. Em situações que mais de um programa esteja rodando ao mesmo tempo, a performance também aumenta, visto que eles podem ser executados por diferentes processadores de forma simultânea.

O suporte ao SMP é deve ser feito no próprio sistema operacional, para que o sistema reconheça todos os processadores. Quando muitas tarefas estão sendo executadas podem ocorrer perdas na eficiência do hardware. Os programas são desenvolvidos para que enviem tarefas que utilizem o potencial máximo do processador. Para atingir o potencial máximo em uma SMP as tarefas devem ser enviadas a cada processador separadamente, de forma que possam executar de forma simultânea.

O acesso à memória RAM é serializado. Este fato e o tratamento da coerência de cache causam um certo atraso a medida que aumenta o número de processadores no ambiente. Não possui boa escalabilidade, já que o sistema de interconexão geralmente usado é o de barramento.

- **ccNUMA (Cache Coherence Non-Uniform Memory Access):** pode escalar até centenas de processadores e utiliza modelo de acesso a memória chamado de NUMA (Acesso a Memória Não Uniforme). Neste modelo o tempo de acesso à memória depende da localização da memória com relação ao processador. Desta forma, o processador pode ter acesso mais rápido à sua memória local. Já se tiver acesso a uma memória de outro

processador o tempo de acesso será maior. O modelo de programação simples do SMP é preservado, ficando a escolha do programador utilizar memória local ou uma memória remota quando necessário.

Grande parte das arquiteturas utiliza memória cache com objetivo de poder explorar localmente referência de acessos à memória. Entretanto, a manutenção de coerência de cache em uma configuração utilizando NUMA gera um atraso. É utilizado um dispositivo especial para manter a coerência de cache, configurando uma NUMA com coerência de cache, ccNUMA.

Há uma comunicação entre os processadores dos controladores para manter consistência da imagem das memórias quando mais de um cache armazena dados de um mesmo endereço de memória. Assim, quando ocorre de vários processadores acessarem uma mesma área de memória sucessivamente, decai a performance. Há suporte do sistema operacional para evitar a frequência deste tipo de acesso.

3.2.2 Multicomputadores

Nos ambientes multicomputadores há várias máquinas independentes compartilhando processamento. Cada processador possui sua memória local e a comunicação entre os processos ocorre apenas por troca de mensagens entre os que estão sendo executados. Este contexto nos introduz ao conceito de computação paralela, em que uma mesma tarefa é dividida em tarefas menores, as quais são adaptadas para serem executadas em vários processadores simultaneamente, caracterizando um sistema de alto desempenho (High Performance Computing - HPC) (DIWAN; GANNON, 1999).

Em multicomputadores, cada máquina na rede é chamada de nó. Um nó pode ter mais de um processador, sendo, neste caso, um multiprocessador. Milhares desses nós interligados por dispositivos de interconexão de alta velocidade caracterizam máquinas com configuração massivamente paralelas (Massively Parallel Processors - MPP). Estas arquiteturas são fracamente acopladas, pois a comunicação entre os processos ocorre apenas por meio de troca de mensagens (DANTAS, 2005). Não há compartilhamento direto de memória entre os processos em execução. Cada nó possui sua própria cópia do sistema operacional, cache e memória local.

Troca de Mensagens em Multicomputadores

A troca de mensagens entre os processos ocorre por meio do uso de pacotes. Entre estes podemos citar o PVM (Parallel Virtual Machine). O PVM é um conjunto integrado de fer-

ramentas de softwares e bibliotecas que emulam um framework de computação concorrente de propósito geral, flexível, heterogêneo, ou seja, que permite arquitetura de software-hardware diferente para cada computador interconectado em rede, ou homogêneo, com arquiteturas iguais. O principal objetivo do sistema PVM é permitir que este conjunto de computadores possa ser usado cooperativamente de forma transparente para o usuário, em concorrência ou em computação paralela (SPRINGER, 2001).

Características do PVM:

1. O usuário pode configurar o conjunto de computadores que deseja usar para a tarefa, adicionando ou retirando computadores durante a operação. Esta característica é importante para tolerância a falhas.
2. As aplicações tem acesso ao hardware de forma transparente, como atributos. Podendo adaptar-se ao conjunto de computadores mais apropriado para as tarefas.
3. Possui uma coleção de tarefas computacionais, cada qual executando parte do carregamento de uma aplicação. Estas tarefas comunicam-se entre si por meio de mensagens. O tamanho da mensagem é limitado apenas pelo tamanho da memória disponível.
4. Fornece suporte a sistemas heterogêneos, em termos tanto de máquina quanto de redes de comunicação e de aplicações.
5. Fornece suporte a multiprocessadores, por meio da passagem de mensagens nativas, para que o multiprocessador tire vantagem do hardware.

Outro pacote que facilita a troca de mensagens é o MPI (Message Passing Interface). O MPI é a especificação de uma biblioteca para passagem de mensagens. Foi proposta como um padrão por um comitê de vendedores, programadores e usuários (OJIMA et al., 2005).

O MPI foi modelado para prover acesso a hardwares e sistemas distribuídos de forma paralela. É usado para clusters, redes heterogêneas, computadores paralelos. Sua principal vantagem é a portabilidade. Além disso, é flexível, possui uma especificação precisa e facilidade de uso.

O desenvolvimento de aplicações paralelas apresenta vários desafios. Entre estes está o de manter a distribuição entre os recursos disponíveis nos termos padrões usados, posse de recursos, alocação eficiente e riscos envolvidos. Outro desafio é dar suporte a heterogeneidade desses recursos, os quais são de diferentes arquiteturas, capacidades, especificações, interfaces e ambientes operacionais. A complexidade do processo de desenvolvimento é alta. Além disso,

há a questão de manter boa performance e confiabilidade do programa. Muitas vezes esses dois pontos podem entrar em conflito, sendo necessário sacrificar na confiabilidade para reduzir custos de processamento em favor de uma melhor performance (CHEN; SHA; XIAO, 2005).

Algumas Arquiteturas Multicomputadores

- **MPP (Massively Parallel Processors):** consiste de vários computadores, nós individuais, independentes, com memória distribuída e com pelo menos um processador cada. Um dispositivo de interconexão de alta velocidade conecta os nós à rede, interligando estes computadores. Ou seja, cada nó possui uma memória cache e local acopladas e pode ser multiprocessador. Cada nó tem também seu próprio sistema operacional instalado, no qual as aplicações executam localmente.

A comunicação entre os nós é realizada por meio de troca de mensagens utilizando pacotes padrões como MPI e PVM. São arquiteturas fracamente acopladas e possuem alto nível de escalabilidade, visto que cada nó possui sua própria área de armazenamento.

- **Agregado de Computadores (Clusters):** computadores são agregados para a execução de determinadas aplicações de uma organização. Será abordado mais profundamente na próxima seção.
- **Computação em grade (Grids):** agregam ambientes geograficamente dispersos, com objetivo de melhorar a qualidade de serviços, criando uma malha de serviços. São utilizados recursos de diversos computadores de uma rede para resolver um único problema. Geralmente estes problemas necessitam de muito processamento e acessam enormes quantidades de dados. Assim, permite a junção de recursos geograficamente distribuídos, oferecendo acesso de forma consistente e barata a recursos, independentemente de seus locais físicos ou do ponto de acesso.

A internet é um exemplo que interconecta grande variedade de recursos, como supercomputadores, clusters, sistemas de armazenamento, sendo um ambiente de melhor esforço. Ou seja, esses diferentes ambientes são tratados igualmente, apresentando como um único recurso unificado.

A figura 3.3 mostra as a classificação das arquiteturas computacionais com múltiplos processadores.

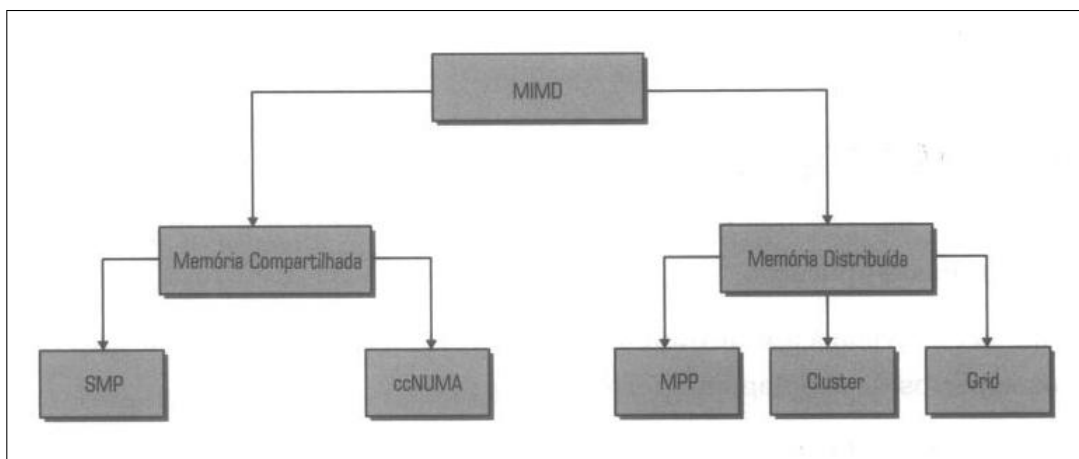


Figura 3.3: *Arquiteturas Computacionais com Múltiplos Processadores (DANTAS, 2005)*

3.3 Agregado de Computadores

Este trabalho se baseia em uma configuração de agregado de computadores (cluster). Um agregado utiliza vários computadores em conjunto para a execução de aplicações. O objetivo é a realização de tarefas complexas em paralelo pela rede. Desta forma, é melhorada a performance do sistema e aumenta disponibilidade de recursos para a execução das tarefas.

Em agregados, o sistema de imagem única (SSI) é uma parte importante do ambiente que manuseia os recursos disponíveis na rede de forma global e transparente (VALLEE et al., 2005). Essa característica cria a ilusão de estar sendo usada uma única máquina, em vez da rede.

O cluster pode estar configurado de forma dedicada ou não dedicada:

- configurações não dedicadas: os computadores são conectados a rede sem que haja uma interoperabilidade dos recursos. Para que os computadores interajam é necessário programação.
- configurações dedicadas: utilizam de pacotes de software centrais que são responsáveis pelo controle lógico do ambiente agregado. Desta forma o sistema sabe previamente parâmetros da rede como capacidade de armazenamento dos discos, tipo de processadores, etc. O uso destes pacotes permite melhor escolha na distribuição das aplicações e tarefas.

Exemplo de pacotes são OSCAR, OpenMosix, Condor.

3.3.1 OSCAR

Hoje em dia percebe-se que clusters se apresentam como uma solução interessante para o desenvolvimento de aplicações científicas, industriais e comerciais. Por isso, devem apresentar certo nível de segurança, disponibilidade e ferramentas para facilitar seu manuseio. Essas facilidades são alcançadas com o OSCAR (Open Source Cluster Application Resources).

O OSCAR consiste de um pacote de software completamente integrado e fácil de instalar e modelado para clusters de alta performance. Tudo o que é necessário para a instalação, compilação, manutenção, e uso de clusters no linux está incluído neste pacote (OSCAR, 2007). Há vários pacotes no programa que auxiliam o usuário a monitorar processos paralelos, compartilhar recursos do sistema, o que auxilia a melhora da performance do sistema. Bibliotecas e ferramentas como MPI e PVM fazem parte do software. A figura ?? mostra um exemplo de configuração de cluster utilizando OSCAR.

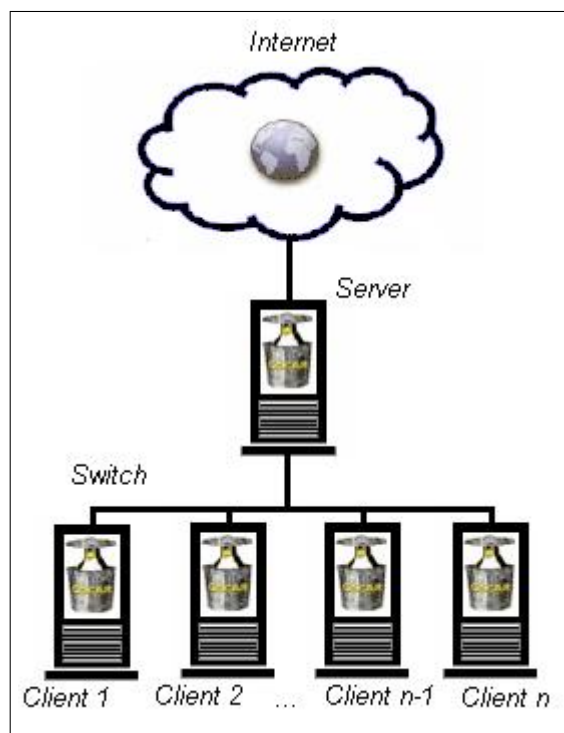


Figura 3.4: Configuração de cluster utilizando OSCAR

O ambiente do OSCAR é geralmente composto de três componentes principais:

- Servidores: máquinas que provêem serviços ao cluster, responsável pela submissão de tarefas aos nodos clientes. Atua como servidor de PBS, de arquivos NFS e outros.
- Gateway: deve ter pelo menos duas placas de rede, uma para a rede interna do cluster e outra para a rede externa. Essa separação tem como objetivo proteger o cluster. O nível de

segurança pode ser configurado de acordo com as necessidades do usuário. Geralmente o nodo servidor é usado com ambas as funcionalidades, de servidor e de gateway.

- Clientes: máquinas responsáveis pelo processamento, executando todas as tarefas enviadas ao cluster. O OSCAR permite redes tanto homogêneas quanto heterogêneas.

4 *O MAD-RSSF e Trabalhos Relacionados*

4.1 MAD-RSSF

4.1.1 Descrição do Ambiente

Infra-estrutura

Redes de sensores sem fio geralmente geram grande quantidade de informação, visto que cada nodo pode sensoriar e transmitir dados. Os nodos sensores possuem limitações de recursos, de modo que cada um realiza apenas poucas operações sobre os dados sensoriados. A Figura 4.1 mostra os componentes da rede de sensores sem fio utilizados neste trabalho, da família Mica2.

A estação base é o circuito de maior tamanho, ligado a um cabo. É ela que se comunica com a rede de sensores, levando os dados diretamente ao computador. Na figura há também dois MicaDots, mostrado anteriormente, e um mote Mica2.

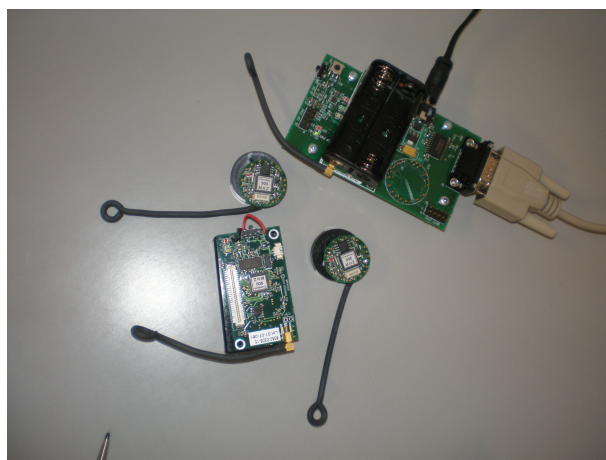


Figura 4.1: Estação Base e Nodos Sensores

As informações que chegam para o usuário estão apenas parcialmente processadas. Estes

valores coletados podem ser utilizados para diferentes funções, dependendo da aplicação. Operações estatísticas, cálculos probabilísticos, respostas em tempo limitado, são alguns exemplos de operações que podem consumir muito tempo de processamento. Considerando uma rede com milhares de nodos, haverá um enorme fluxo de dados para serem processados e sem necessariamente uma periodicidade fixa. Neste caso, o uso de uma única máquina comum não é adequado, pois acabaria por exigir demais de memória e processamento, sobrecarregando o sistema. Além disso, não há espaço suficiente para armazenamento dos resultados, ou de um histórico de estados do ambiente.

Uma solução para este caso é o uso de agregados de computadores. No atual trabalho foi montada uma arquitetura MIMD, multicomputador utilizando-se de um agregado de computadores. Desta forma é possível executar aplicações em paralelo, além do armazenamento distribuído dos dados entre nodos do agregado. Entretanto, o manuseio destes sistemas exige profundo conhecimento em computação, redes e programação, o que demanda tempo. Este custo pode ser evitado com o uso de ferramentas e softwares próprios. Neste trabalho foi usado o OSCAR, que auxilia na programação para compartilhamento de recursos e no controle da carga de processamento do sistema.

Para facilitar o acesso ao sistema monitorado, o MAD-RSSF permite controle remoto dos resultados. O acesso à distância oferece mobilidade ao usuário, tornando o sistema muito mais flexível. Desta forma o usuário pode ter visualização dos dados coletados em determinado intervalo de tempo, sem a necessidade de estar em local fixo.

Além de responder a requisições remotas, o MAD-RSSF também possui um sistema de segurança que alerta o PDA caso receba valores fora de uma determinada faixa de aceitação. Este sistema de alerta verifica anormalidades no ambiente, ou possível desestabilidade. A Figura 4.2 mostra a infra-estrutura do sistema.

Ambiente Experimental

O ambiente experimental é composto por componentes de acordo com as tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1: Características do ambiente

Mestre	Escravo	Palm Tungsten
1.8 Ghz	1 Ghz	400 MHz
Pentium IV	Via Nehemiah	Intel® XScale
512 Mb	1 Gb	64 Mb
Fedora Core 5.0	Fedora Core 5.0	Palm O.S.

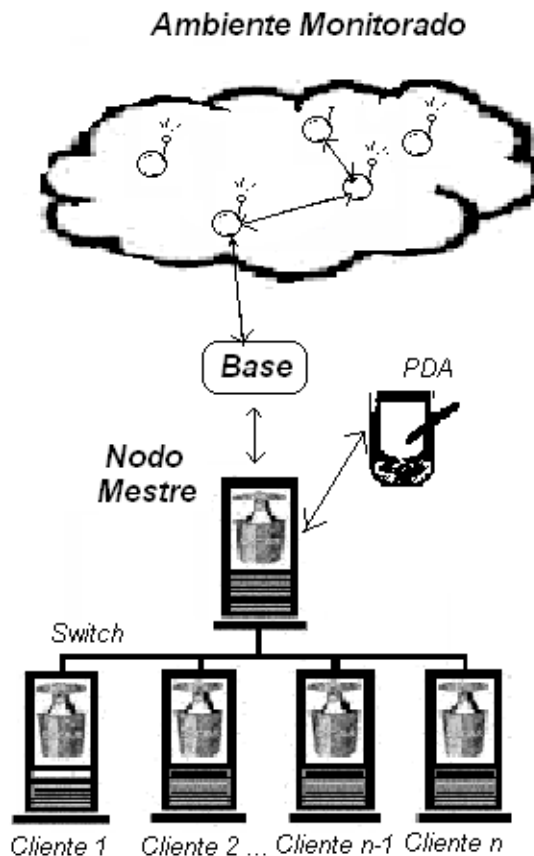


Figura 4.2: Arquitetura do ambiente

Tabela 4.2: Características da rede de sensores

Componente	Modelo	Rádio Frequência
Nodo Sensor	Mica2	915 Mhz
Placa do sensor	MTS300	-
Placa de programação	MIB510	-

4.1.2 Arquitetura do MAD-RSSF

A principal contribuição do MAD-RSSF está na integração entre redes de sensores sem fio e um agregado de computadores usando o Oscar, com monitoração remota do ambiente por meio de dispositivos móveis. Desta forma, pode ser considerada uma solução de alto desempenho para monitoramento de ambientes de redes de sensores sem fio com grandes quantidades de informações e dados sensorizados a serem processados e armazenado por meio do agregado com o OSCAR. O MAD-RSSF ainda oferece a possibilidade de visualização dos resultados por meio de dispositivos móveis. A Figura 4.3 mostra o esquema do ambiente proposto.

Nesta sessão serão apresentados aspectos da configuração do MAD-RSSF, bem como da rede de sensores. Será abordada a arquitetura do sistema e sua interação com a rede de sensores

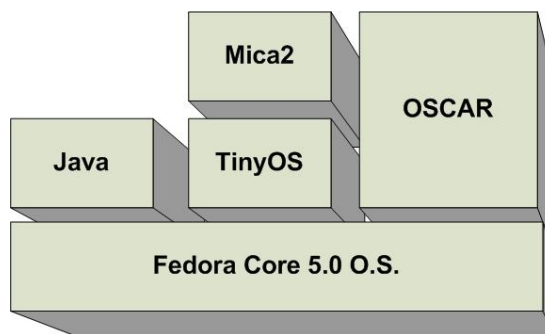


Figura 4.3: Esquema do ambiente proposto

com o dispositivo para visualização dos resultados.

Esquema da Rede de Sensores

Para sistema operacional dos motes foi escolhido o TinyOS, por ser software aberto e destinado a minimizar o consumo de energia. Este é um dos fatores mais importantes na escolha do sistema, visto que o principal desafio em redes de sensores é aumentar o tempo de vida da bateria dos nodos. O TinyOS é um sistema operacional orientado a eventos com objetivo de minimizar o consumo de energia e a comunicação a rádio. Assim, só executa comandos quando há ocorrência de algum evento, o que evita o uso do processador quando não é necessário (TINYOS, 2007).

O TinyOS utiliza a linguagem NesC para programar nos motes (CROSSBOW, 2007). NesC é uma extensão da linguagem C, a qual conecta componentes das aplicações com suas respectivas configurações (TINYOS, 2007). O programa transferido para os sensores é um leitor de temperatura ambiente, o qual periodicamente coleta leitura de temperatura dos sensores e os envia à estação base. O valor de cada leitura é um inteiro de 16 bits não sinalizado. Foi utilizado no programa dos nodos alguns componentes como um contador, para marcar a periodicidade das leituras, e um DemoSensor, responsável por decidir qual sensor vai ser utilizado e qual a plataforma (mica2, no caso). Após a coleta da temperatura, uma mensagem com os valores é transmitida pelo rádio (TINYOS, 2007), e então a estação base a recebe.

A fusão dos dados é feita de forma centralizada, as informações são transferidas diretamente dos nodos à estação base. Este nodo da base é programado para receber os pacotes e encaminhá-los ao nodo mestre do agregado de computadores, por uma porta serial. Estes pacotes então podem ser monitorados localmente por meio de programas do próprio TinyOS. O MAD-RSSF trata os valores dos pacotes recebidos e os deixa disponível para acesso remoto.

Descrição do MAD-RSSF

O MAD-RSSF que integra a rede de sensores com o OSCAR foi implementado em Java. Quando a estação base recebe os pacotes da rede, os encaminha para o MAD-RSSF, que fica encarregado de todas as operações necessárias sobre estes valores. Eles são convertidos para unidades padrões e é realizada algumas operações sobre estes valores. O sistema distribuído auxilia no caso da realização de tarefas de alto processamento sobre estes dados, em aplicações de grande porte. Caso o MAD-RSSF encontre valores coletados fora da faixa padrão determinada pelo usuário, para com todas as tarefas e envia uma mensagem de alerta ao usuário remoto, que carrega o dispositivo móvel. Esta função é interessante para aplicações críticas, que detectam incêndios (YU; WANG; MENG, 2005), ou cuja qualidade de algum produto decai fora de determinadas condições ambientais.

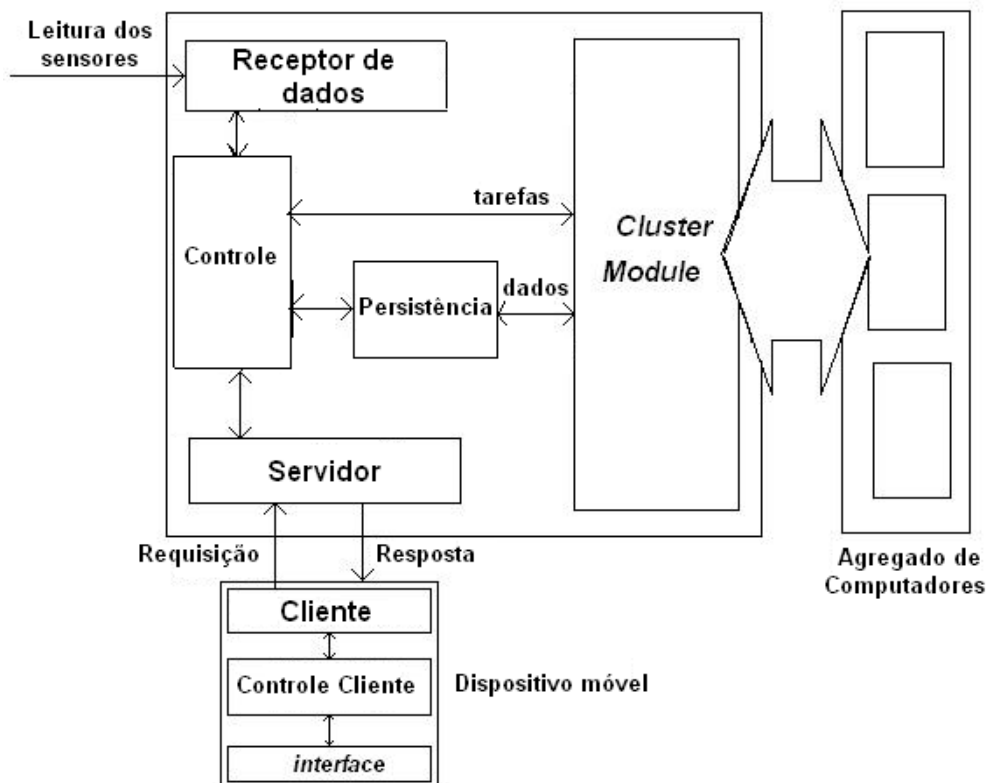


Figura 4.4: Arquitetura do MAD-RSSF

O MAD-RSSF gera um histórico dos valores coletados, para futura avaliação do ambiente. O OSCAR auxilia no armazenamento destes dados de forma distribuída pelos computadores. O sistema recebe continuamente pacotes da rede de sensores, em poucas horas é gerada quantidade enorme de dados que devem ser processados e armazenados. O OSCAR possui ferramentas que permitem execução de tarefas em paralelo e distribuição de arquivos pelo agregado. Desta forma, o MAD-RSSF interage com as máquinas, fazendo com que cooperem com as tarefas.

O monitoramento do ambiente pode ser feito localmente, ou por meio de dispositivos móveis. O MAD-RSSF pode receber requisições de usuário remotos para controle do ambiente em determinado período. Podem ser requeridos tanto os últimos valores coletados, como os valores dentro de um determinado intervalo de tempo. Estes dados são adquiridos do histórico armazenado. A figura 4.4 mostra o esquema de integração entre os módulos do programa e o agregado de computadores.

O esquema da implementação, o Receptor de dados é o módulo que recebe continuamente os valores de leitura da rede de sensores. Esses valores são enviados para um módulo de controle, tem as funções de controlar se há alguma variável ambiente fora do comum, e também a função de armazenar esses valores, formando um histórico de informações. Em paralelo, o módulo servidor espera requisições. Caso haja alguma anormalidade, todo o sistema para, com intuito de gerar o alerta.

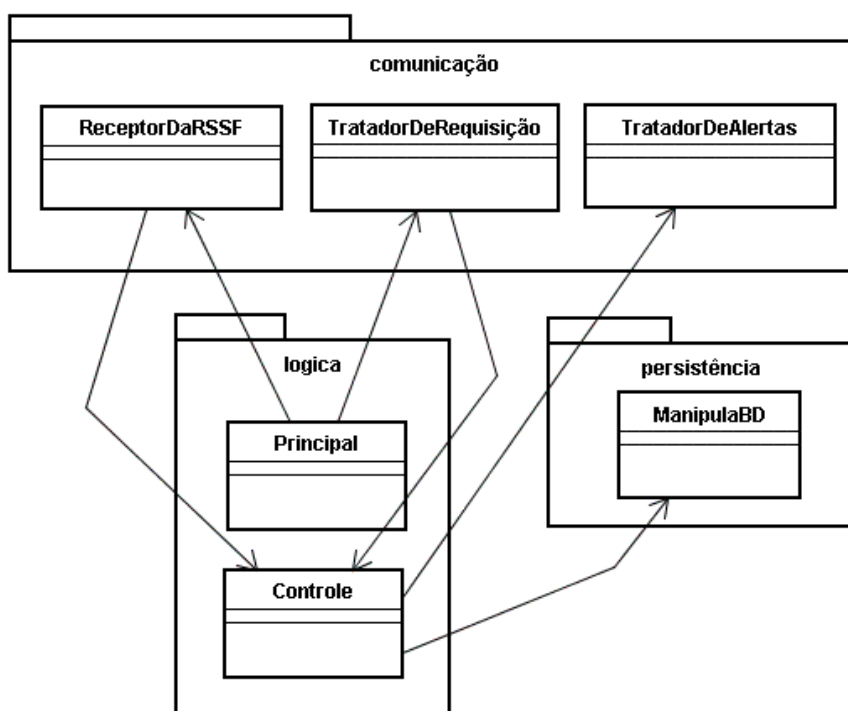


Figura 4.5: Diagrama com as principais classes

A figura 4.5 mostra a relação entre as principais classes do MAD-RSSF. A classe Principal é responsável pela iniciação do sistema, ativando o ReceptorDaRSSF e o TratadorDeRequisição. O ReceptorDaRSSF é o que trata da recepção dos dados da rede de sensores e o TratadorDeRequisição é o que recebe requisições de consultas a base de dados, feitas por usuários móveis. Ambos objetos estão sempre ouvindo a rede. O Controle é responsável pelo processamento sobre os dados sensorizados, ele executa operações e armazena os resultados por meio do ManipulaBD. É o ManipulaBD que tem acesso direto a forma de armazenamento. As requisições do

TratadorDeRequisições também são respondidas por meio do Controle, o qual executa a busca por meio do ManipulaBD.

Ao receber os dados do ReceptorDaRSSF, a primeira ação do Controle é avaliar se esses dados não mostram ser valores de risco ao sistema. Os valores são de risco quando a maioria dos sensores enviam dados com valores fora de um padrão determinado pela aplicação. Caso isto aconteça é disparado um alerta para o dispositivo móvel, antes mesmo de armazenar os dados. As mensagens de alerta possuem prioridade máxima no sistema. O diagrama da figura 4.6 mostra a seqüência do envio da mensagem de alerta.

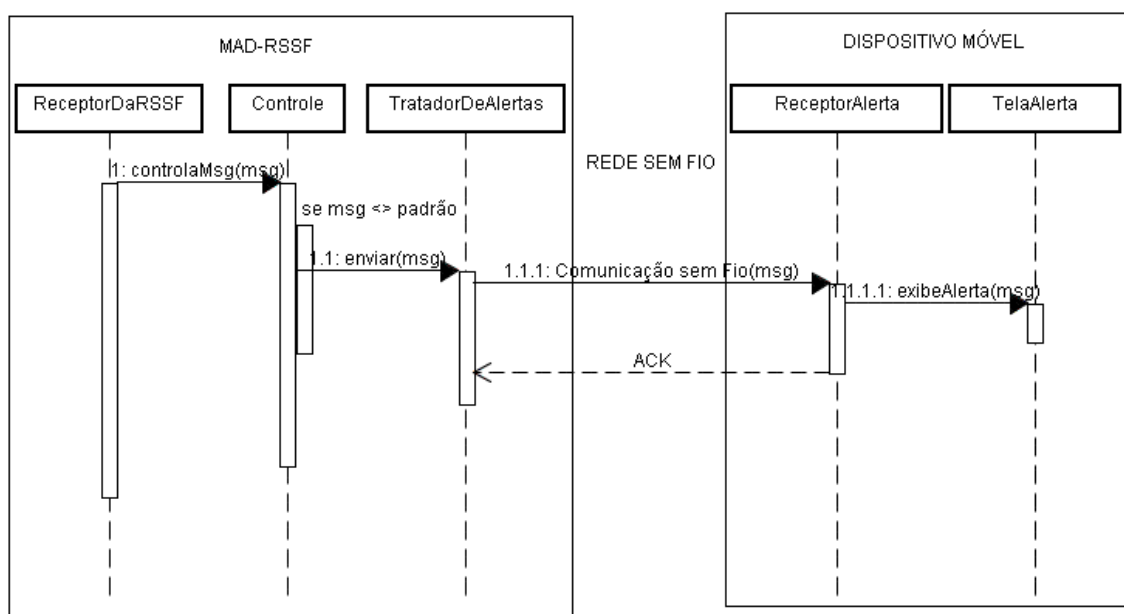


Figura 4.6: Diagrama de seqüência do alerta

Quando não há dados de risco, os valores são armazenados normalmente, continuando a criação do histórico de monitoramento do ambiente.

4.2 Trabalhos Relacionados

Computação de alto desempenho e redes sem fio são tecnologias que estão relacionadas com este trabalho. Nesta Seção serão descritos alguns esforços na junção de computação pervasiva e agregados computacionais. Dyo (DYO, 2005) propôs um modelo para conectar redes de sensores sem fio e dispositivos móveis. A idéia do trabalho é que usuários de dispositivos móveis possam fazer requisições espaciais em um ambiente de redes de sensores. Desta forma pode-se monitorar determinadas regiões isoladamente, com a vantagem da mobilidade. O trabalho explora agregação e algoritmos de coleta de dados. Dyo desenvolveu uma abordagem

descentralizada, na qual não há um computador central para conectar o dispositivo móvel do usuário com a rede de sensores.

Em (DANTAS; RISTA, 2005) é apresentado um projeto que utiliza LAN sem fio e computação móvel para monitoramento de uma configuração de agregados de computadores. Nosso trabalho se propõe a continuação deste, integrando redes de sensores sem fio a ambientes de agregados de computadores.

5 *Resultados Experimentais*

O MAD-RSSF mostrou-se uma boa solução para monitoramento de redes de sensores sem fio. O sistema recebe grande quantidade de pacotes vindas dos sensores, sendo necessário sincronia de mensagens. Ao mesmo tempo, diferentes tarefas podem estar sendo realizadas sobre esses dados que estão chegando, juntamente com os já armazenados no histórico de mensagens.

O uso de dispositivos móveis é uma interessante solução, visto que permite locomoção pela área enquanto é feito o monitoramento. Por meio de requisições pode-se obter resultados de algum intervalo de tempo. Esses valores são guardados em cache, caso seja necessário uso posterior.

O sistema de alertas é prioritário sobre qualquer outra tarefa, inclusive requisições. Dependendo do tamanho da rede de sensores, os alertas são lançados apenas quando há um conjunto de sensores indicando anormalidade. A figura 5.1 mostra uma mensagem de alerta que chegou ao PDA.

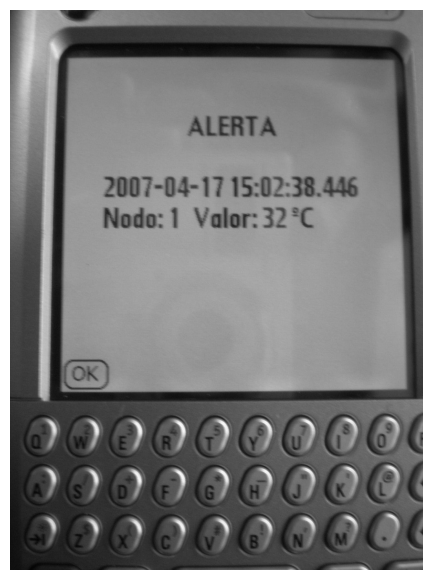


Figura 5.1: Alerta no PDA

Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1 Conclusões

Neste artigo foi apresentado o protótipo do MAD-RSSF, o qual representa uma importante ferramenta para integrar de forma eficiente redes de sensores sem fio, agregados de computadores em ambiente OSCAR e dispositivos móveis para requisição de consultas.

Considerando que nos últimos tempos o custo dos sensores sem fio vem diminuindo rapidamente, em alguns anos estes dispositivos poderão ser adquiridos aos milhares. Este contexto lança uma série de desafios aos quais o MAD-RSSF auxilia, por meio da distribuição em massa e processamento paralelo.

O uso de dispositivos móveis para monitorar ambientes oferece maior flexibilidade ao usuário de obterem informações do sistema a qualquer momento, estando em movimento, não necessariamente em local fixo.

Experimentos empíricos foram realizados considerando uma região monitorada por dispositivos móveis. O MAD-RSSF ainda está em desenvolvimento e os atuais resultados indicam que foi alcançado com sucesso nossos objetivos de monitoração sem fio.

5.2 Trabalhos Futuros

Há vários desafios a serem ainda alcançados como trabalhos futuros. Entre estes, o de introduzir diferentes topologias e roteamento à rede de sensores; usar aplicações de tempo real com o MAD-RSSF; tornar o MAD-RSSF escalável e adaptável, de forma que possa oferecer suporte a diferentes aplicações.

Referências Bibliográficas

- AKYILDIZ, I. F. et al. A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, v. 40, p. 102–114, Agosto 2002.
- CHEN, K. F.; SHA, E.-M.; XIAO, B. Universal routing in distributed networks. *11th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, v. 2, p. 555 – 559, 2005.
- CROSSBOW. *Crossbow technology inc.* URL: <http://www.xbow.com/>, 2007.
- DANTAS, M. *Computação Distribuída de Alto Desempenho*. [S.l.]: Axcel, 2005.
- DANTAS, M. A. R. *Tecnologias de Redes de Comunicação e Computadores*. 1^a. ed. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2002.
- DANTAS, M. A. R.; RISTA, C. A wireless monitoring approach for a ha-oscar cluster environment. *HPCS 2005. 19th International Symposium on High Performance Computing Systems and Applications*, n. 15-18, p. 302 – 306, May 2005.
- DIWAN, S.; GANNON, D. A capabilities based communication model for high-performance distributed applications: The open hpc++ approach. *Parallel and Distributed Processing. 13th International and 10th Symposium on Parallel and Distributed Processing*, v. 1471, p. 105 – 109, 1999.
- DYO, V. Middleware design for integration of sensor network and mobile devices. *Proceedings of the 2nd international doctoral symposium on Middleware, ACM International Conference*, v. 114, p. 1 – 5, July-Aug. 2005.
- EKLUNG, C. et al. Ieee standard 802.16: A technical overview of the wirelessman tm air interface for broadband wireless access. *IEEE Communications Magazine*, v. 40, n. 6, p. 98–107, 2002.
- ILYAS, M. *The Handbook of Ad hoc Wireless Networks*. Florida Atlantic University: CRC Press, Inc., 2003.
- ILYAS, M.; MAHGOUB, I. *Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems*. [S.l.]: CRC Press, 2005.
- JIANG, Q.; MANIVANNAN, D. Routing protocols for sensor networks. *CCNC 2004. First IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, n. 5-8, p. 93 – 98, Janeiro 2004.
- KUORILEHTO, M.; HÄNNIKÄINEN, M.; HÄMÄLÄINEN, T. D. A survey of application distribution in wireless sensor networks. *EURASIP Journal on wireless communications and networking*, v. 5, p. 774–788, Outubro 2005.

- MAINWARING, A. et al. Wireless sensor networks for habitat monitoring. *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, p. 88–97, 2002.
- MAURI, K.; MARKO, H.; D., H. T. A survey of application distribution in wireless sensor networks. *EURASIP Journal on wireless communications and networking*, n. 5, p. 774–788, 2005.
- OJIMA, Y. et al. Design of a software distributed shared memory system using an mpi communication layer. *ISPAN 2005. 8th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks*, p. 8 pp., 2005.
- OSCAR. *OSCAR (open source cluster application resources)*. <http://oscar.openclustergroup.org/>, 2007.
- PATIL, S.; DAS, S.; NASIPURI, A. Serial data fusion using space-filling curves in wireless sensor networks. *IEEE SECON 2004*, p. 182–190, 2004.
- PRASANT, M.; KRISHNAMURTHY, S. V. Ad hoc networks technology and protocols. ©2005 Springer Science + Business Media, Inc., 2005.
- SANTOS, A. R. D. *Wireless LAN - Projeto de Redes Locais Sem Fio*. Belo Horizonte: Instituto On-line Informática Ltda, 2005.
- SPRINGER, P. L. Pvm support for clusters. *IEEE International Conference on Cluster Computing*, p. 8–11, 2001.
- STANKOVIC, J. A. et al. Real-time communication and coordination in embedded sensor networks. *Proceedings of the IEEE*, v. 91, p. 1002–1022, Julho 2003.
- TINYOS. *TinyOS 2.0 Tutorials*. 2007. URL: <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/html/tutorial/>.
- VALLEE, G. et al. Ssi-oscar: a cluster distribution for high performance computing using a single system image. *HPCS 2005. 19th International Symposium on IEEE High Performance Computing Systems and Applications*, p. 319 – 325, 2005.
- VAXEVANAKIS, K.; ZAHARIADIS, T.; VOGIATZIS, N. A review on wireless home network technologies. *ACM Mobile Computing and Communications Review*, v. 7, n. 2, p. 59–68, Abril 2003.
- WERNER-ALLEN, G. et al. Monitoring volcanic eruptions with a wireless sensor network. *Proceedings of the Second European Workshop on Wireless Sensor Networks*, p. 108–120, Fevereiro 2005.
- WU, J.; STOJMENOVIC, I. Ad-hoc networks. *published by the IEEE Computer Magazine*, v. 37, p. 29–31, Fevereiro 2004.
- YU, L.; WANG, N.; MENG, X. Real-time forest fire detection with wireless sensor networks. *Proceedings on International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, v. 2, p. 1214–1217, Setembro 2005.

ZHAO, W.; AMMAR, M.; ZEGURA, E. The energy-limited capacity of wireless networks. *First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, IEEE SECON*, p. 279 – 288, Outubro 2004.