

AMR System - Based Computer Vision and Wireless Communication

Jorge R. Beingolea G.¹, Carlos R. P. Dionisio¹, Sergio T. Kofuji¹, Tadayoshi Tiba²

¹Integrated – University of Sao Paulo (USP)

CEP 05508-970– São Paulo – SP – Brazil

²Materials Research laboratory –MRL, SP - Brazil.

{jorge,carlos,kofuji}@pad.lsi.usp.br, tchiba@pad.lsi.usp.br

This paper presents the proposal of an Automatic Meter Reading System (AMR) integrating Computer Vision and Wireless Communication. The AMR system reads the numeral meter through a video micro-camera, process the collected image using a Optical Character Recognition (OCR) module embedded in the sensor node. The results are sent through ZigBee wireless links to the center of management. It is used mesh topology for communication. Initial results show that the system provides precise monitoring of several kinds of measuring devices in real time. ZigBee and mesh network provided the coverage needed in this kind of application, namely, remote measurements of numeral meters

Keywords: AMR, Computer Vision, OCR, ZigBee, Mesh Topology.

Sistema Automatizado de Leitura de Medidores Baseado em Visão Computacional e Comunicação Sem Fio

Este Artigo apresenta a proposta de um Sistema Automatizado de Leitura de Medidores (AMR) integrando Visão Computacional e Comunicação Sem Fio. O Sistema AMR realiza a leitura dos caracteres numéricos do medidor através de uma micro-camera. A coleta dos dados da imagem é realizada pelo Sistema de Reconhecimento de Caracteres (OCR) embutida num modulo sensor. O resultado do processo é transportado através dos nós utilizando o padrão de comunicação ZigBee que integra uma topologia em malha para maximizar o desempenho da rede. Os módulos ZigBee encontram-se conectados a uma central de gerenciamento. O sistema proposto proporciona maior segurança, confiabilidade e desempenho na leitura dos medidores.

1 Introdução

A busca de soluções para a automatização do processo de leitura de medidores (de água e energia elétrica) vem gradativamente ganhando espaço. A motivação principal para isso reside nas vantagens técnicas que a automatização poderia oferecer, tanto do ponto de vista da confiabilidade, quanto na redução de custos na leitura diária do consumo dos medidores.

O presente trabalho aborda o projeto conceitual e de implementação de um sistema automatizado para leitura de medidores de consumo de água e energia elétrica residenciais. Nessa abordagem são explorados conceitos e técnicas, os quais podem ser estendidos para o sistema automatizado, que visam contribuir para a evolução desse tipo de sistema. Algumas destas técnicas são abordadas em [Shutao et. al, 2005], onde se propõe a aplicação de um novo método baseado em visão computacional para AMR. Bannak and Nascimento (2002), propõem a utilização de um sistema eletrônico que integra um Smart Card para a leitura de medidores de energia elétrica. Em [Silva, E.F., et. al. 2007], é desenvolvida a proposta de um sistema heterogêneo com o objetivo de determinar os domínios de problemas de medição. Hafner, Erig and Lopes S. (2005) propõem a utilização de lógica reconfigurável para a criação de um novo medidor de qualidade, embarcado, com características particulares de processamento e armazenamento de dados. Gordan Štruklec and Vedran Bilas (2006), desenvolvem um AMR para leitura de medidores de água com comunicação sem fio (ZigBee), o sistema considera a utilização de sensores acoplados aos medidores que processam e armazenam informação do consumo dos medidores. Um dos trabalhos possivelmente mais relevantes é o desenvolvido em [Liting Cao, Jingwen Tian and Yanxia Liu, 2008], onde é proposto um AMR baseado numa rede de comunicação RF, o protocolo de comunicação utilizado é ZigBee. Os autores implementam módulos sensores embarcados nos medidores que realizam a leitura dos mesmos transferindo a informação coletada, que parte de um canal ZigBee para um canal CDMA (Celular), o qual se integra a uma rede TCP infra-estruturada para o tratamento dos dados coletados.

Alguns aspectos em comum podem ser facilmente observados entre as diversas iniciativas. O primeiro deles é a criação de soluções em hardware e software embarcados para otimizar a qualidade na leitura dos medidores. Outro aspecto é a integração de sistemas heterogêneos de hardware, software e comunicação sem fio, o que permite um maior entendimento da informação que está sendo compartilhada por meio de modelos lógicos de informação e visualização dos dados coletados em tempo real.

O objetivo deste trabalho é apresentar um sistema integrado (software e hardware) que permita a automatização dos sistemas de leitura de medidores. As técnicas e ferramentas utilizadas neste sistema podem oferecer uma contribuição para a busca de soluções dos atuais problemas existentes, principalmente no que se refere à automatização dos processos de aquisição de dados do consumo de água e energia elétrica e no combate às fraudes. Alguns dos aspectos relevantes deste projeto é o processamento de imagens de vídeo em tempo real transportadas através de um canal ZigBee que permite atingir grandes áreas de cobertura (vários prédios) mediante o uso da topologia malha.

Na seção 2 é apresentado um overview dos componentes do sistema. Na seção 3 é descrito o processo de aquisição e tratamento da imagem. Já na seção 4 é abordado o processo de comunicação ZigBee e os resultados prévios do hardware utilizado. Finalmente, na seção 5 são apresentadas as conclusões.

2 Visão do Sistema

Atualmente, o processo de leitura de medidores é feito de forma manual, por funcionários das próprias companhias provedoras do serviço ou por leituristas de companhias terceirizadas. Esse procedimento gera custos adicionais ao faturamento do serviço, os quais são repassados ao consumidor. Porém, no sistema proposto de monitoramento remoto da leitura de medidores, se as imagens de vídeo adquiridas dos medidores proporcionam informação útil, haverá a eliminação de custos adicionais na leitura e o processo será muito mais confiável.

A implementação do sistema de automatização na leitura de medidores é descrita em três camadas, sendo cada uma destas independentes na sua implementação, o que facilita a otimização futura para um melhor desempenho do sistema. As camadas podem ser observadas no diagrama da Figura 1.

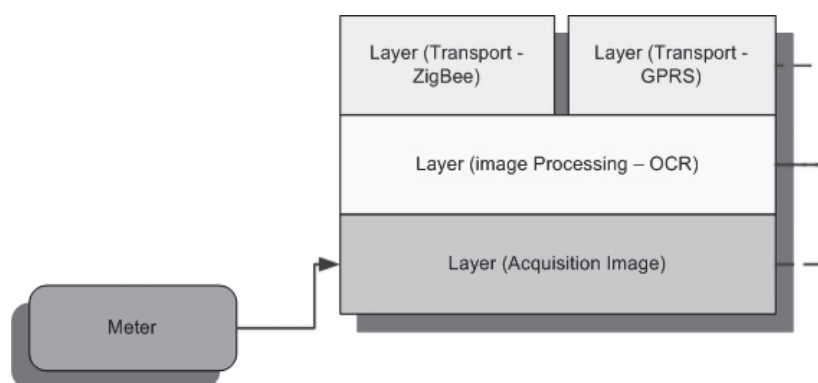


Figura 1. Diagrama de Blocos do sistema.

a) Aquisição e Processamento de Vídeo

O módulo de aquisição da imagem é composto por um CCD (Charge Coupled Device) com um sistema foto detector e por um conjunto de LEDs acoplados à base do CCD, que tem como função prover uma iluminação adequada para a leitura do medidor. O módulo de reconhecimento da leitura é um OCR (Optical Character Recognition), o qual roda num sistema embarcado e constitui o hard-core do sistema. O OCR é o software que se encarrega do reconhecimento ótico dos caracteres, extraindo de imagens de vídeo os caracteres em formato texto. O sistema embarcado em conjunto processa as imagens e determina a leitura precisa do medidor.

A imagem do medidor é capturada pelo módulo de aquisição e o valor da leitura é obtido por meio do módulo de reconhecimento. Este valor é uma sequência pequena

de dígitos que é rapidamente transmitida para uma central de gerenciamento de dados, por meio de um canal de comunicação sem fio. O módulo de reconhecimento realiza também a validação da leitura do medidor. Quando a sequência de dígitos obtida não contrasta com a última leitura validada pelo sistema, um código de erro é ativado e enviado para a central em forma de um alerta.

b) Comunicação Sem Fio: ZigBee

O resultado dos valores coletados pelo CCD na leitura dos medidores, como parte do processo de consumo diário de água ou energia elétrica e que são traduzidos pelo OCR por meio de um complexo processo matemático, são transmitidos por um canal sem fio escolhido, no caso ZigBee.

Este canal possui as características necessárias para ser parte deste sistema de automatização. Sua flexibilidade na implementação, baixo custo e consumo de energia, combinados com um maior alcance da rede por meio de novas topologias de rede, constituíram-se em um fator determinante para sua escolha.

c) Roteamento ZigBee

Os sistemas de comunicação desenvolvidos para redes sem fio devem considerar sempre que a conectividade entre os nós é realizada por meio de múltiplos saltos (Multihop). Assim, o tipo de comunicação empregada deverá providenciar as condições necessárias para que todos os nós da rede consigam uma comunicação efetiva, mesmo que esta seja realizada de forma indireta por meio de seus vizinhos. Uma rede ZigBee maximiza suas características de roteamento fazendo uso de topologias inovadoras de rede, que fazem parte deste padrão, neste caso a topologia malha.

d) Topologia Malha

Nas redes de tipo malha, os nós atuam como encaminhadores de pacotes de outros nós, os quais não se encontram na área de conexão direta com os seus destinos. Fato este que permite maior alcance, melhor cobertura da rede e o fácil acesso aos diferentes recursos que existem dentro da mesma. Assim, considerando a distância existente entre os domicílios dos consumidores, a aplicação da topologia malha demonstra ser a melhor opção em função do seu suporte à alta densidade, possibilitando o alcance de grandes áreas de cobertura [Beingolea, G. J. and Kofuji, S. 2008]. Entretanto, o padrão ZigBee possui limitações de alcance em ambientes Indoor em função da faixa de frequência e do tipo de modulação empregada. Por esta razão foi realizada uma análise dos novos módulos ZigBee existentes no mercado, os quais oferecem um melhor comportamento Indoor.

e) Gerenciamento

O resultado do processo do AMR é transmitido para uma central de gerenciamento de dados empregando a comunicação sem fio ZigBee. Nesta central, a informação obtida pode ser tratada por diferentes plataformas de gerenciamento e de tratamento de dados, sendo que uma base de dados relacional, como o padrão aberto SQL, pode ser utilizada para o armazenamento e gerenciamento dos dados coletados. Neste módulo de gerenciamento, as análises de validade podem ser efetuadas comparando-se o valor da leitura com o histórico do medidor. Finalmente a leitura atual, o histórico do medidor e outras informações podem ser acessíveis por meio de interfaces de gerenciamento via web.

3 Vídeo e Processamento da Imagem

Técnica de Reconhecimento Automático do Medidor

a) Processo Geral de Reconhecimento do Medidor

O reconhecimento preciso, sem erro, da leitura do medidor é muito difícil ou impossível de se obter, uma vez que não existe um método OCR com taxa de erro nula. Porém, devido à flexibilidade do sistema em considerar a informação inicial do modelo do medidor e a possibilidade de processar uma sequência de imagens, por meio de uma mesma amostragem (leitura) e outros parâmetros de qualidade que não são abordados neste trabalho, podemos alcançar uma taxa de erro nula. A Figura 2 ilustra o processo de reconhecimento da leitura do medidor.



Figura 2. Diagrama de Blocos do Sistema de Aquisição e Processamento da Imagem.

A leitura automatizada do medidor compreende os seguintes passos: captura da imagem pela câmera, segmentação, eliminação de artefatos, extração de descritores e reconhecimento.

b) Elementos de um Medidor

O sistema proposto, de leitura automática remota, pode ser aplicado a diferentes tipos de medidores, por exemplo o medidor de água ilustrado na Figura 3. A forma da cobertura deste medidor é circular e o relógio é retangular contendo quatro dígitos pretos

e dois dígitos vermelhos localizados na parte superior. Estas informações iniciais podem ser usadas para determinar a menor imagem retangular contendo os dígitos. Existem outros elementos, tais como letras, símbolos do tipo de medidor e caracteres, que variam segundo o idioma impresso no medidor.

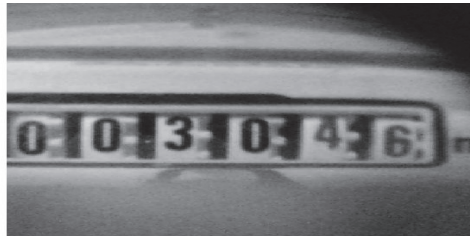


Figura 3: Imagem do Medidor

c) Captura da Imagem do Medidor

A câmera captura e digitaliza a imagem do medidor. Frequentemente, este processo pode levar à degradação da imagem, devido, por exemplo, ao desvio do CCD fora de foco, à mudança de dígito, à iluminação inadequada e ao ruído. Desta forma, os dígitos poderiam aparecer incompletos ou embaçados, rotados ou cortados, o que causaria dificuldades no reconhecimento dos dígitos nas imagens obtidas em uma leitura do medidor.

d) Pré-processamento da Imagem

Geralmente, após a aquisição da imagem, esta é pré-processada seguindo os seguintes passos:

- **Operação de Suavização:**

Os filtros de suavização são utilizados para eliminar o ruído na imagem do medidor. Por exemplo, a média é um filtro linear gaussiano, em que cada pixel torna-se uma média ponderada dos seus vizinhos, que atenua as variações da intensidade luminosa na vizinhança de um pixel. Já a mediana é um filtro não linear útil para remover linhas ou pixels isolados, preservando a resolução espacial da imagem. Esta funciona bem em imagens com ruído binário, mas não funciona de forma eficiente em imagens com ruído gaussiano. Estes algoritmos são aplicados de modo a reduzir o ruído e preparar as imagens para seu posterior processamento, como a segmentação.

▪ Segmentação:

Um simples dígito deve ser separado do background antes de passar pelo reconhecimento do sistema. Uma segmentação precisa é uma das tarefas mais difíceis no processamento da imagem. Geralmente, o algoritmo utilizado é baseado na descontinuidade e semelhança na intensidade. Este método convencional, para extrair objetos a partir de uma imagem, tem um alto custo em tempo de processamento. Neste trabalho, o sistema proposto extrai da imagem somente a área onde se encontram os dígitos, chamada de região de interesse. Ao utilizarmos esta pequena área selecionada, aumentamos a velocidade no processo de reconhecimento. A Figura 4 mostra a região de interesse da imagem de um medidor e sua imagem binária. A segmentação adota o método de Otsu [Jin Li-Sheng, 2005], fazendo com que a imagem resultante em níveis de cinza seja convertida em branco e preto.



Figura 4. Região de interesse da imagem de um medidor e sua respectiva imagem segmentada.

A segunda etapa do processo de segmentação elimina a massa de artefatos da imagem por meio de uma operação morfológica de abertura, que é aplicada para remover detalhes irrelevantes na imagem. Outros artefatos podem ser apagados empregando-se características próprias dos dígitos (largura e altura). Estes resultados da segmentação, eliminação de artefatos e ruído estão ilustrados na Figura 5.



Figura 5. Imagem limpa de artefatos da imagem segmentada de um medidor

e) Reconhecimento de Elementos da Imagem do Medidor

Basicamente, o módulo de reconhecimento do sistema transforma o problema de reconhecimento 2D para um problema de casamento 1D. Na fase de treinamento, o módulo extrai descritores 1D da imagem binária de cada dígito que serão utilizados para

o reconhecimento das dez classes numéricas. O histograma fila e coluna podem ser utilizados para determinar a posição de cada dígito. Na classificação supervisionada de um dígito, seus descritores são comparados com um conjunto de curvas 1D que correspondem às dez classes numéricas.

4 Processo de Comunicação Sem Fio

Como mencionado no início deste texto, o protocolo de comunicação escolhido foi o ZigBee. Este padrão de comunicação proporciona um conjunto de características que viabilizam sua aplicação neste projeto. Entretanto, o mesmo apresenta algumas limitações em função do ambiente de propagação, sendo que por este motivo foi necessário realizar alguns experimentos prévios antes de determinar qual seria o módulo de rádio ZigBee a ser utilizado neste projeto.

4.1 Experimento de Comunicação Indoor

Na realização dos experimentos foi utilizado um cenário real (Figura 6), obtendo-se assim resultados de maior exatidão que podem servir de auxílio nas futuras implementações deste e de outros projetos.

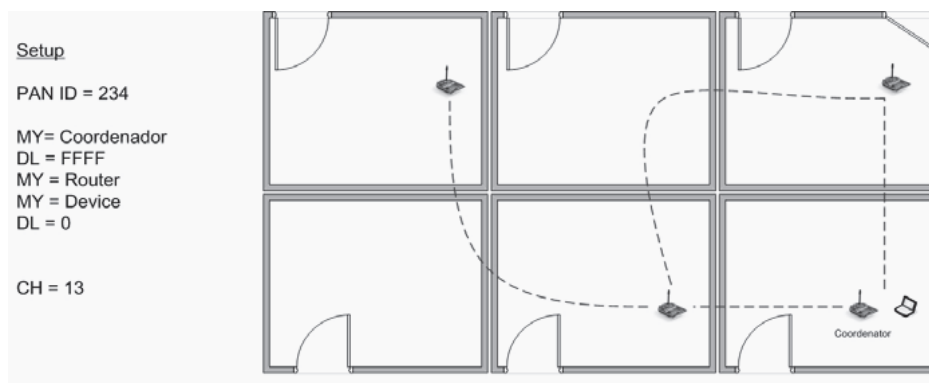


Figura 6. Cenário dos experimentos

a) Hardware

Nos experimentos foram consideradas duas redes ZigBee, porém, não iguais. A primeira rede (A) corresponde aos módulos Xbee Serie 2 [XBee, 2008]. O módulo rádio possui uma potência de transmissão de 1mW TX current 45 mA, RX corrente 50 mA, supply voltage 2.8 – 3.4 VDC, Frequency band 2.4 GHz and Antenna Options Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector.

A segunda rede (B) foi composta pelos módulos XBeePro serie 2 da DigiCom [XBee, 2008]. E, neste caso, os módulos de rádio possuem uma potência de transmissão de até 10 mW, TX current 250 mA, Rx current 55 mA, supply voltage 2.8 – 3.4 VDC, Frequency Band 2.4 GHz and Antenna Options Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector.

Os módulos de rádio utilizados possuem um método de programação API e AT, sendo este último o mesmo tipo de programação por comandos que são utilizados nos modems de conexão à Internet. A interface de programação utilizada foi a X-CTU.

b) Vazão e Taxa de perda de pacotes

Como observado na Figura 6, o cenário corresponde a um ambiente Indoor no qual foi testado o AMR-VOCR. No experimento realizado foram testadas ambas as redes, de forma paralela. Os resultados de vazão de dados (Gráfico 1) correspondem ao envio de 100 frames de 32 bits com um time rate de 1000 msec e uma sequência de amostragem igual a 5.

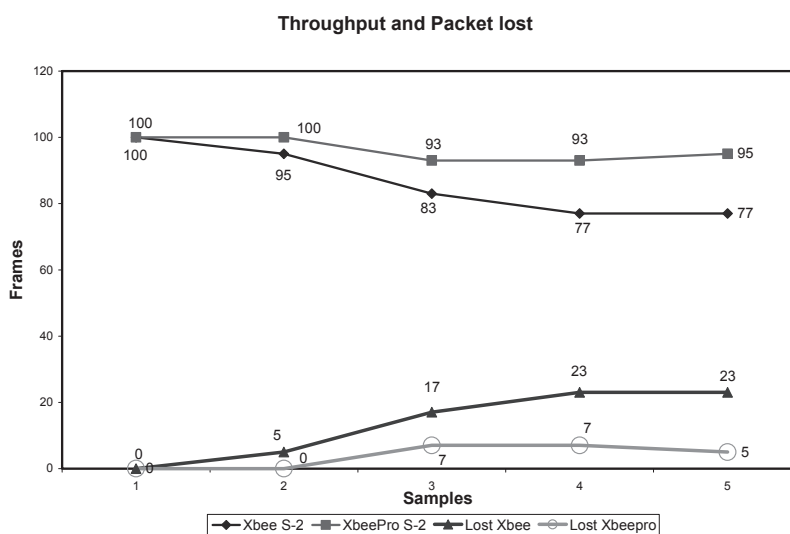


Gráfico 1: Vazão e Taxa de perda de pacotes (XBee and XBeePro)

Os resultados apresentados no Gráfico 1 expõem um melhor comportamento da rede B no ambiente Indoor, com uma perda máxima de 7 frames (0.07 frames por cada 10 frames transmitidos).

No entanto, foi necessário confirmar o comportamento da rede por meio da análise de RSSI. Os resultados podem ser visualizados no Gráfico 2.

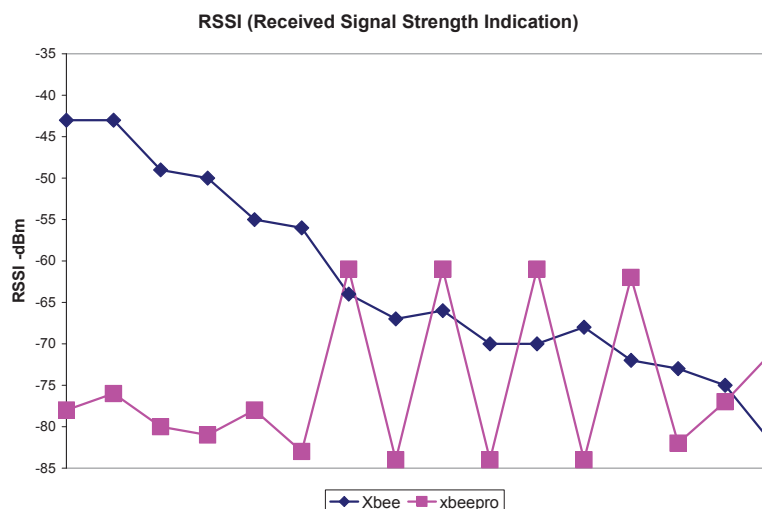


Gráfico 2: Experimentos de RSSI

É possível verificar um comportamento mais estável do RSSI para o modelo na rede **B**. Enquanto que **A** experimenta uma queda constante do RSSI, o que evidencia a pouca sensibilidade do receptor e a baixa potência de transmissão, combinados a sua maior sensibilidade a obstáculos em ambientes Indoor. Considerando que os valores apresentados são expressos em dBm, pode-se fazer a conversão por meio da Fórmula (1).

$$dBm = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{1mW} \right) \quad (1)$$

Dá mesma forma, a conversão de dBm para mW pode ser obtida por meio da Fórmula (2).

$$mW = 10^{dBm/10} \quad (2)$$

O objetivo da conversão é validar os resultados em função da potência de saída do transmissor, empregada em mW e vice-versa.

4.2 Descrição da implementação da rede.

A implementação da rede malha segue a arquitetura proposta pelo padrão IEEE 802.11s, a qual considera quatro tipos de nós na organização da rede: i) STA – Client or Station: requer os serviços da rede, mas não provê nenhum tipo de serviço de descoberta

ou roteamento de pacotes; ii) MP – Malha Point: é o nó que participa na formação e operação da rede malha; iii) MAP – Malha Access Point: mantém o AP para prover serviços aos clientes da rede; e iv) MPP – Malha Portal Point: proporciona os serviços de gateway entre uma rede malha e uma rede externa, como a Internet.

Baseados nas características mencionadas anteriormente do padrão IEEE 802.11s para redes malha, os componentes integrantes da rede são:

- O coordenador inicia a rede definindo o canal de comunicação usado, gerencia os nós da rede e armazena informações sobre eles;
- Os roteadores são responsáveis pelo encaminhamento das mensagens entre os nós da rede; e
- Os dispositivos finais podem ser bem mais simples, estabelecendo comunicação com apenas outro nó da rede.

Observa-se na Figura 7 que cada um dos medidores está conectado a um módulo ZigBee, o qual encaminha a informação através dos medidores sobre as características da rede malha. Cada um destes módulos possui a configuração Router/Device, o que permite encaminhar a informação entre eles quando um dos nós estiver fora do alcance do nó coordenador, também considerado em algumas aplicações como data sink.

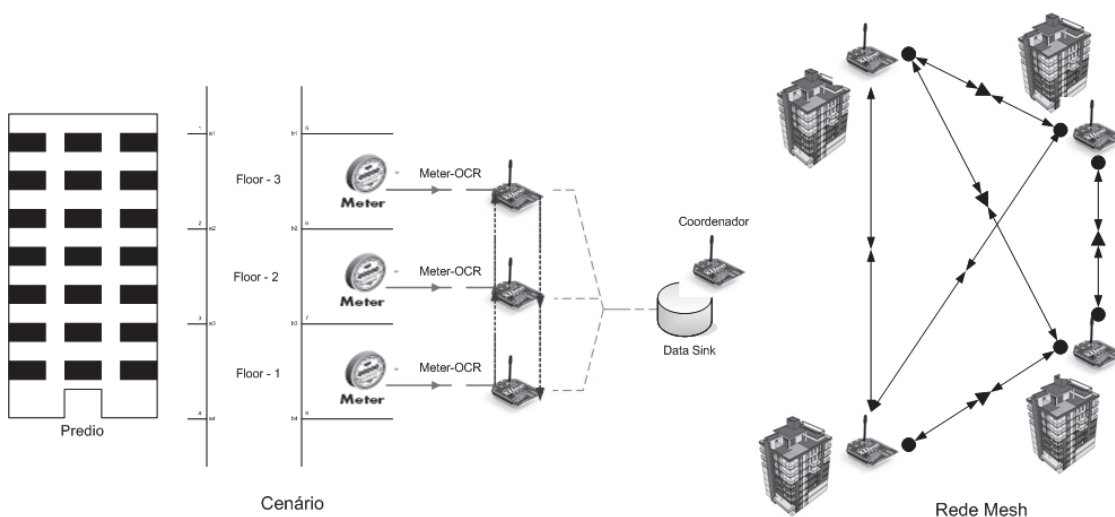


Figura 7. Cenário da implementação

Quando a comunicação na rede interna é estabelecida, inicia-se a segunda etapa do processo de comunicação. Nesta etapa há a conexão de um módulo ZigBee a um concentrador implementado em hardware, que inclui: uma interface ethernet provida pelo módulo ConnectCore 9U da Digi [9U, 2007]; duas portas RS232; e uma interface em software para visualização de tráfego da porta serial e da porta ethernet.

Na primeira porta RS232 encontra-se conectado um nó coordenador que gerencia a rede e retransmite os dados à central de gerenciamento. Na segunda porta RS232 tem-se um modem GPRS. No segundo extremo da rede, a recepção e tratamento da informação são por conta do provedor. A flexibilidade do sistema e do tratamento da informação transmitida permite uma fácil adaptação e tradução dos dados por qualquer sistema GPRS (Figura 8).

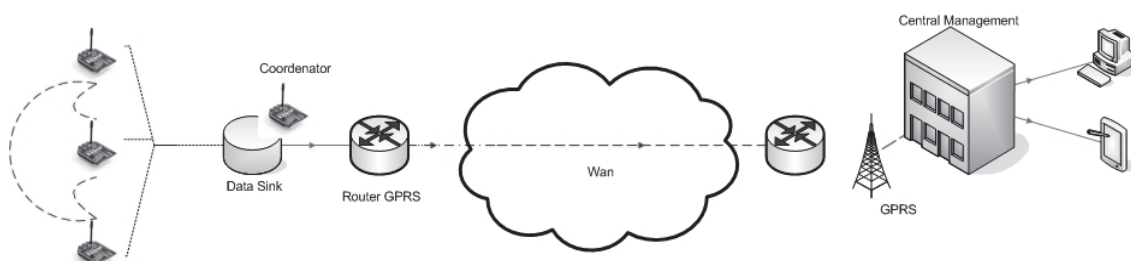


Figura 8. Cenário de transmissão ZigBee e GPRS

É importante mencionar que, em uma rede malha, o papel do coordenador é determinante no funcionamento da mesma. Se não existe um coordenador na rede, não existe rede malha. No entanto, algumas alterações no padrão 802.11s promoveram a criação de novos firmware's, permitindo a comunicação entre routers sem haver a necessidade de um coordenador, porém esse processo não é característico do padrão.

Conclusões

Os resultados obtidos no desenvolvimento e implantação dessa proposta evidenciam importantes vantagens para a continuidade do projeto e para sua implantação definitiva em residências, a fim de facilitar a leitura de medidores por meio de uma eficiente técnica de AMR-VOCR. Algumas das vantagens identificadas neste projeto são:

- ✓ A facilidade de controle das contas de consumo de água ou energia elétrica para locadoras prediais, no caso de desocupação de imóveis;
- ✓ Em construções novas, os medidores podem ser instalados em cada andar do edifício;
- ✓ A eliminação da necessidade de realizar leitura local por um funcionário da empresa locadora de serviços, reduzindo assim os custos elevados, particularmente no caso de usuários que residem em locais remotos; e
- ✓ A garantia de segurança e privacidade dos usuários, ao se evitar o acesso de um funcionário leiturista aos seus domicílios.

A segunda etapa deste projeto inclui o desenvolvimento de uma interface Web, que permitirá administrar o conjunto de aplicações necessárias para receber, armazenar e processar a informação em uma base de dados que possa ser vista em uma página web.

Referências

A. Bannak e J. C. Nascimento, “Sistema Eletrônico de Medição de Energia Elétrica com Pré-Pagamento utilizando Smart Card”, In: *COBRAPI 2002 - 1º Congresso Brasileiro de Automação e prédios Inteligentes*, PUC, Curitiba, mar. 2002.

Beingolea, Jorge R. and S. Kofuji, “An Evaluation Of The Networks Topologies Star And Malha Of The Zigbee Standard: Analise In Real Environments”, In: *5º CONTECSI - International Conference on Information Systems and Technology Management*, São Paulo, p. 1932-1934, 2008.

E. F. V.

Silva, J. C. B. Leite, O. Loques, A. Corradi, “Sistema de Integração de Tecnologias de Agregação de Medição”, In: *CBA 2004 - XV Congresso Brasileiro de Automática*, Gramado, p. 1-6, 2004.

Digi-ConectCore 9U, “UNC-90: DataSheet”, 2007. Disponível em: http://www.digi.com/pdf/prd_em_unc90.pdf. Acesso em: abril 2008.

Gordan Štruklec and Vedran Bilas “Wireless Automatic Water-meter Reading System”. XVIII IMEKO World Congress - International Measurement Confederation. Pag. 1-6. Brazil, 2006.

J. Li-Sheng, T. Lei, W. Rong-ben, G. Lie, and C. Jiang-wei, “An improved Otsu image segmentation algorithm for path mark detection under variable illumination”, In: *Intelligent Vehicles Symposium, 2005. Proceedings. IEEE*, p. 840-844, June 2005.

Liting Cao, Jingwen Tian and Yanxia Liu, “Remote Real Time Automatic Meter Reading System Based on Wireless Sensor Networks” In (ICICIC'08)The 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control. Pag. 1-4 Dalian. China, 2008.

Shutao Zhao, Baoshu Li, Jinsha Yuan, Guiyan Cui. “Research on Remote Meter Automatic Reading Based on Computer Vision”. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian. China 2005

XBee Serie2 e XBeePro Serie2. “Datasheet”, 2008. Disponível em: http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000866_C.pdf. Acesso em: mar. 2008.