

Uma Rede Local Sobre a Rede Elétrica Utilizando CDMA

Ademar Luiz Pastro e Eduardo Parente Ribeiro

Resumo—Este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados obtidos, através de simulações, sobre a viabilidade do uso da técnica CDMA para o compartilhamento simultâneo da rede elétrica por diversos usuários, visando a implantação de uma rede local (LAN) tendo a rede elétrica como meio de comunicação de dados.

Palavras-Chave—Espalhamento de Espectro, CDMA, LAN, Rede Elétrica.

Abstract—The proposed work has for its main purpose to present the results achieved through simulations about the viability of use the CDMA technique to simultaneously sharing of powerline by several users in order to implement a Local Area Network using the powerline as a communication channel.

Index Terms—Spread Spectrum, CDMA, LAN, Powerline.

I. INTRODUÇÃO

A rede de distribuição de energia elétrica está presente em praticamente todas as instalações prediais, seja de uso residencial, comercial ou industrial, o que torna atrativa a sua utilização como meio físico para a transmissão de dados digitais, visando atender às necessidades de comunicação, automação e controle.

Tendo em vista que, todos os equipamentos elétricos estão obrigatoriamente conectados à rede elétrica, estes poderão ser comandados a partir de qualquer ponto onde a rede esteja presente, abrindo um leque de possíveis aplicações na área de automação e controle, principalmente nas áreas de automação residencial e automação predial.

A rede elétrica pode também, ser utilizada para implantar a espinha dorsal de uma rede local (LAN) [1]. Desta forma, em um prédio de escritórios, podemos ter todos os computadores, impressoras, telefones e outros dispositivos, interligados através da rede elétrica, sem necessidade de implantação de uma infra-estrutura de comunicação específica.

No entanto, qualquer solução que utilize a rede elétrica como meio para transmissão de dados digitais, deve ser suficientemente robusta para garantir a confiabilidade necessária, de modo a manter a taxa de erro de bits dentro de parâmetros aceitáveis.

Considerando que a rede elétrica foi projetada e instalada para o transporte de energia elétrica, existem características da rede elétrica que fazem com que a mesma não seja o meio de comunicação mais adequado. Dentre estas características, podemos enfatizar as mudanças bruscas nas características da rede, alterações na impedância em função de cargas sendo ligadas e desligadas, diferentes níveis de atenuação do sinal em função da frequência, diversidade de fontes de ruído contínuos ou impulsivos, além de outros tipos de interferências [1]-[4].

Neste contexto, as técnicas de espalhamento de espectro são indicadas para a transmissão de dados através da rede elétrica [5]-[7]. Este trabalho tem por objetivo investigar a viabilidade de uma topologia alternativa para uma LAN sobre a rede elétrica, utilizando a técnica Direct Sequence/Code Division Multiple Access (CDMA).

Dos trabalhos pesquisados sobre este assunto, a maioria aborda o uso das técnicas de espalhamento de espectro para a transmissão de dados em paralelo, com objetivo de aumentar a taxa de transmissão de bits. No artigo de Chen e Chiueh[2], é enfatizado o uso da rede elétrica para a transmissão de dados em paralelo utilizando multiplexação por divisão de código, através de uma técnica denominada MBOK. Marubayashi e Tachikawa[3] abordam um sistema denominado Sistema de Espalhamento de Espectro Paralelo Combinatório, no qual os dados são transmitidos em paralelo através da rede elétrica. Da mesma forma, Hooijen[7] aborda o espalhamento de espectro por seqüência direta para a transmissão de dados em paralelo através de sub-canais criados na rede elétrica, cada um deles utilizando códigos de espalhamento distintos.

O uso da técnica CDMA, para a transmissão de dados em paralelo através de sub-canais, utilizando códigos de espalhamento distintos é tratado por Hachem et ali[9], com objetivo de aumentar a taxa de transmissão.

Um apanhado geral sobre o estado da arte da transmissão de dados através da rede elétrica é feito por Pavlidou et ali[10], onde é enfatizada a vantagem da utilização de técnicas de espalhamento de espectro, no que diz respeito à robustez contra interferências e capacidade de múltiplo acesso, além de

abordar o controle de acesso ao canal de comunicação, bem como os protocolos de comunicação utilizados na rede elétrica.

II. TOPOLOGIA DA LAN

A proposta deste trabalho consiste em uma topologia alternativa para uma rede local “peer-to-peer” sobre a rede elétrica, utilizando CDMA, conforme mostrado na figura 1.

Na topologia proposta, k usuários (*unidades*), estão conectados à rede, sendo que, cada unidade possui um código de espalhamento de espectro (PN) específico. Além disso, existe um código de espalhamento de uso comum, conhecido por todas as unidades participantes.

Cada unidade específica, tem condições de recuperar os dados a ela endereçados, que estão trafegando pela rede, utilizando para isto seu próprio código de espalhamento. Da mesma forma cada unidade pode recuperar os dados de uso comum, que são enviados através de mensagens do tipo *broadcast*, dirigidas a todas as unidades.

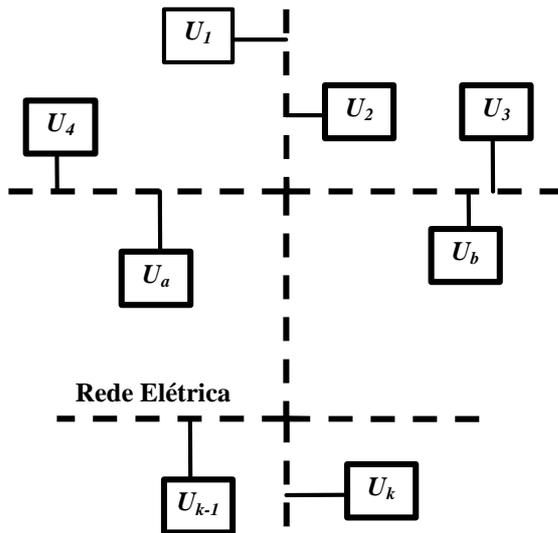


Fig. 1. Topologia proposta para a LAN.

Através desta topologia, para que a unidade a possa enviar uma mensagem para a unidade b , deve inicialmente enviar uma requisição do tipo *broadcast*, fornecendo o endereço lógico da unidade de destino desejada (b), além do código de espalhamento da unidade de origem (a). Esta mensagem é enviada a todas as unidades, utilizando o código de espalhamento de uso comum. A unidade de destino, se estiver liberada para receber mensagens, detecta esta solicitação e, através do código de espalhamento da unidade de origem, que veio com a mensagem, retorna uma resposta à unidade solicitante —utilizando o código de espalhamento de espectro da unidade solicitante— informando qual é seu próprio código de espalhamento.

A partir deste instante, é estabelecido um canal de

comunicação exclusivo (ponto a ponto) entre as unidades a e b , sendo que cada uma das unidades transmite os dados utilizando o código de espalhamento da outra e recebe dados utilizando seu próprio código.

Está claro que, todo este procedimento deve estar sujeito às regras de um protocolo específico, que permita um gerenciamento efetivo do tráfego de mensagens entre as unidades participantes da rede, o que não faz parte do escopo deste trabalho.

Através desta topologia, é possível o compartilhamento simultâneo do canal de comunicação —neste caso a rede elétrica— por todas as unidades conectadas à rede, tornando assim a rede elétrica um meio conveniente para aplicações nas áreas de automação residencial, automação predial, segurança e automação de escritórios.

Também é possível o acesso à Internet, desde que uma das unidades da rede esteja conectada à rede telefônica, ou a uma rede externa com acesso à Internet.

III. METODOLOGIA UTILIZADA

O CDMA é uma técnica de acesso múltiplo a um canal de comunicação, que utiliza técnicas de espalhamento de espectro, dentre as quais, o espalhamento de espectro por sequência direta (DS/SS).

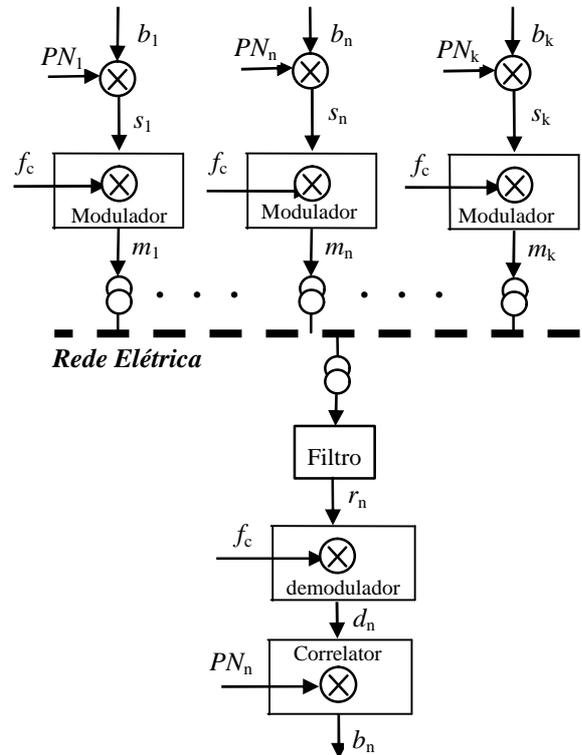


Fig. 2. Modelo CDMA.

Este trabalho foi centrado na investigação, através de uma série de simulações, sobre a viabilidade do compartilhamento simultâneo da rede elétrica por um determinado número de

usuários, utilizando o CDMA. O diagrama em blocos do modelo utilizado para as simulações, está mostrado na figura 2. Existe um número k de usuários compartilhando a rede elétrica para a transmissão de dados, todos eles utilizando a mesma faixa de frequência.

O sinal binário (b_n), a ser transmitido por um usuário qualquer (n) é multiplicado por um código de espalhamento (PN_n), de comprimento N , resultando em um sinal com espectro de frequência espalhado (s_n). Este sinal de banda larga é então modulado e injetado na rede elétrica.

No receptor, após uma etapa de sincronização, o sinal recebido (r_n), que é o resultado da soma de todos os sinais transmitidos pelos k usuários mais o ruído adicionado ao meio de comunicação, é demodulado e multiplicado novamente pelo mesmo código PN_n utilizado no espalhamento, para restaurar o código binário original.

Somente o usuário que conhece o código PN_n utilizado no processo de espalhamento tem condições de recuperar o sinal a ele endereçado. Para os demais usuários, este sinal é percebido como ruído.

Assim, no modelo proposto, todos os usuários podem compartilhar o meio de comunicação —no caso a rede elétrica— de forma simultânea.

IV. CONSIDERAÇÕES SOBRE RÚIDO NA REDE ELÉTRICA

O comportamento da técnica CDMA em um canal de comunicação sujeito ao ruído gaussiano é conhecido na literatura. Para o caso da rede elétrica, embora diversos modelos tenham sido propostos, não existe ainda um modelo único que caracterize o canal de comunicação de maneira adequada [8]. A rede elétrica possui diferentes níveis de atenuação do sinal em função da frequência, além de sofrer mudanças bruscas em suas características, como alterações na impedância em função da frequência, da topologia da rede e de cargas sendo ligadas e desligadas. Além disso, a rede elétrica está sujeita a uma diversidade de fontes de ruído, que podem ser caracterizados como: ruído colorido de fundo, interferências de banda estreita, ruídos impulsivos periódicos e ruídos impulsivos aleatórios.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas baterias de simulações utilizando código de espalhamento de comprimentos $N=31$, $N=63$ e $N=127$, considerando dois tipos de abordagem: inicialmente, foi considerado um canal de comunicação sujeito à apenas um ruído gaussiano (AWGN) e, posteriormente, foram realizadas as mesmas simulações utilizando dois conjuntos de amostras de ruído medido na rede elétrica, com objetivo de avaliar como um caso particular de ruído real se afasta do modelo AWGN teórico. A função de transferência foi considerada uma passa tudo, para se estudar isoladamente apenas o efeito do ruído aditivo.

A densidade espectral dos dois conjuntos de amostras de ruído medido (r200 e r200n), utilizados nas simulações, está mostrada na figura 3.

As amostras de ruído utilizadas nas simulações, foram

obtidas através de medições efetuadas na rede elétrica, utilizando uma placa National (conversor A/D de 16 bits), com uma frequência de amostragem $f_c = 200\text{kHz}$.

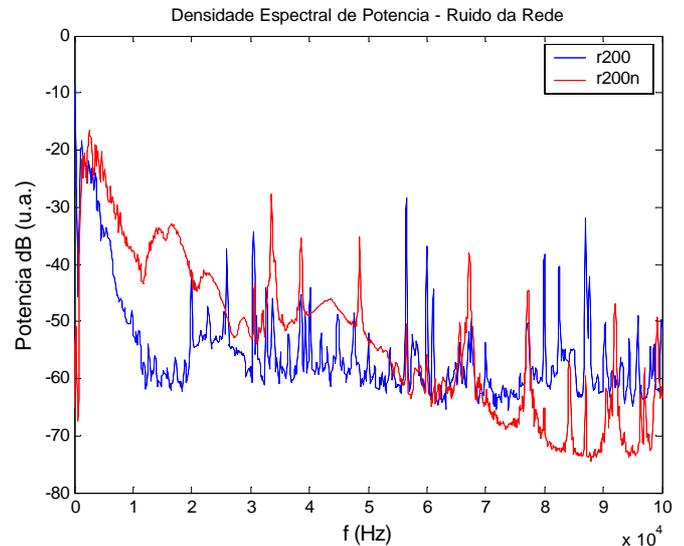


Fig. 3. Densidade espectral de potência do ruído medido na rede elétrica.

V. RESULTADOS OBTIDOS

Para avaliação da viabilidade da topologia proposta para uma LAN sobre a rede elétrica, utilizando CDMA, foram efetuadas simulações com seqüências Gold (PN) de diferentes comprimentos. Foram utilizadas seqüências Gold devido ao grande número de seqüências que podem ser obtidas, com uma boa autocorrelação e uma correlação cruzada controlada, o que facilita a sincronização do sinal recebido com a seqüência PN gerada localmente.

Todas as simulações foram efetuadas, considerando modulação BPSK, tendo como objetivo principal, investigar qual o número máximo de usuários que poderiam compartilhar a rede elétrica simultaneamente, dentro de parâmetros aceitáveis da taxa de erro de bits (BER).

Na figura 4, é mostrado um gráfico comparativo entre as taxas de erro de bits para um canal com ruído gaussiano com as taxas de erro de bits para um canal com ruído medido na rede, considerando uma seqüência PN de comprimento $N = 127$, sendo k o número de usuários compartilhando simultaneamente o canal de comunicação.

As linhas com marcas no gráfico da figura 4, representam as taxas de erros obtidas nas simulações, para ruído AWGN e ruído medido na rede, enquanto a linha contínua representa a taxa de erro teórica para a modulação BPSK ($k=1$) e ruído AWGN, calculada pela equação abaixo[11]:

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (1)$$

Onde:

P_b é a probabilidade de erro,
 E_b é a energia de um bit,
 N_0 é a densidade espectral do ruído

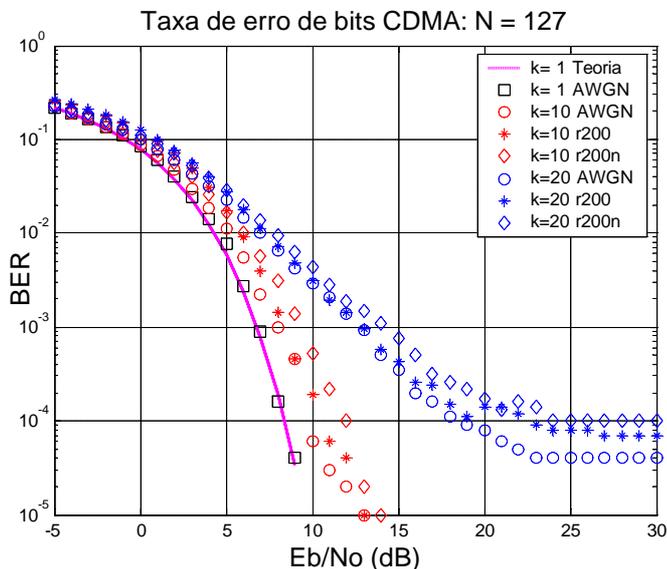


Fig. 4 – Taxa de Erro CDMA: AWGN x ruído medido na rede para código de espalhamento de comprimento $N = 127$

Pode-se observar no gráfico da figura 4 que, os resultados obtidos na simulação para $k = 1$, coincidem com a curva da taxa de erro teórica, o que mostra a validade do modelo utilizado para a simulação. A taxa de erro vai aumentando gradativamente, à medida que aumenta o número de usuários (k), devido à interferência mútua (MAI) entre os diversos usuários. Também pode ser observado, a partir dos resultados das simulações, que as taxas de erro de bits para a rede elétrica são maiores que as taxas de erro de bits para um canal com ruído gaussiano, tornando evidente o cuidado a ser tomado para a utilização da rede elétrica como meio de transmissão de dados digitais.

VI. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi proposta uma topologia para uma LAN sobre a rede elétrica, utilizando a técnica CDMA, com a realização de uma bateria de simulações para avaliar sua viabilidade. Os resultados obtidos nas simulações para um canal sujeito ao ruído gaussiano, são compatíveis com os resultados teóricos esperados, mostrando que o modelo utilizado é adequado objetivo proposto.

Os resultados obtidos nas simulações realizadas a partir das amostras de ruídos medidos na rede elétrica, mostraram a viabilidade da topologia de rede proposta.

O número de usuários que podem compartilhar simultaneamente a rede é função do comprimento da

seqüência PN utilizada como código de espalhamento de espectro.

Nos gráficos de resultados apresentados, pode-se observar que, para uma seqüência PN de comprimento $N = 127$, podemos ter até 20 usuários simultâneos, mantendo uma taxa de erro de bits abaixo de 10^{-4} . Para seqüências PN de comprimento maior, o número de usuários que podem compartilhar a rede elétrica simultaneamente aumenta proporcionalmente.

É importante salientar que, através da topologia proposta, assim que seja estabelecido um canal de comunicação entre duas unidades, o compartilhamento da rede elétrica ocorre de forma simultânea, não existindo situações de colisão como nas redes convencionais. Todos os usuários conectados à rede podem transmitir ou receber dados simultaneamente. Através da topologia proposta e de um protocolo de comunicação adequado, é possível transformar a rede elétrica na espinha dorsal de uma LAN.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Radford, "Spread-Spectrum data leap through ac power wiring", *IEEE Spectrum*, vol. 33, n. 11, pp. 48-53, Nov. 1996.
- [2] Y. F. Chen e T. D. Chiueh, "Baseband Transceiver Design of a 128-Kbps Power-Line Modem for Household Applications", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 17, n. 2, pp. 338-344, Abr. 2002.
- [3] G. Marubayashi e S. Tachikawa, "Spread Spectrum Transmission on Residential Power Line", *Proc. 4th IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, pp. 1082-1086 Set. 1996.
- [4] L. Chan e R. Donaldson, "Amplitude, Width, and Interarrival Distributions for Noise Impulses on Intra-building Power Line Communication Networks", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 31, n. 3, pp. 320-323, Ago. 1989.
- [5] A. M. J. Goiser, "Direct-Sequence Spread-Spectrum Modem for Data Communications Over Power-Lines", *Proc. MILCOM 97*, pp. 1052-1056, Nov. 1997.
- [6] Y. Ozawa, T. Arai e R. Kohno, "Spread Spectrum Data Transmission System Using the Earth Returning Circuit on a Low-voltage Distribution Line", *Proc. 4th IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, pp. 1097-1101, Set. 1996.
- [7] O. G. Hooijen, "A Robust System for Digital Data Transmission over the Low Voltage Network Using Spread Spectrum Techniques", *Proc. 4th IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, pp. 804-808, Set. 1996.
- [8] E. Biglieri, "Coding and Modulation for a Horrible Channels", *IEEE Communication Magazine*, vol. 41, n. 5, pp. 92-98, Mai 2003.
- [9] W. Hachem, et al, "Multiple Access Communication Over the Power Line Channel: A CDMA Approach", *Global Telecommunications Conference GLOBECOM '01*, vol 1, pp. 420-424, Nov 2001.
- [10] N. Pavlidou, et al, "Power Line Communications: State of the Art and Future Trends", *IEEE Communications Magazine*, pp. 34-40, Abr 2003.
- [11] Simon Haykin, "Communication Systems". John Wiley & Sons, Inc, 2001.