

Um Protocolo para Automação Hospitalar Dirigido a Endereçamento Multicast

Ricardo A. M. Valentim¹, Antônio H. F. Moraes², Diego R. Carvalho², Gláucio B. Brandão², Ana M. G. Guerreiro², Carlos A. Paz de Araújo³

¹Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte (CEFET-RN)
Natal – RN – Brazil

²Departamento Computação e Automação – Universidade Federal do RN (UFRN)
Natal, RN – Brazil

³Symetrix Corporation, Colorado Springs, Colorado; Department of Electrical and
Computer Engineering, University of Colorado at Colorado
Springs Colorado – USA

valentim@cefetrn.br, {higor, diegorc, glaucio, anamaria}@dca.ufrn.br,
carlos@symetrixcorp.com

Abstract. This paper presents a Multicycles Protocol for Hospital Automation (MP-HA) which works over multicast addressing and use a Master-Slave architecture. The protocol creates a segmented logical network based on multicast addressing associated to hospital beds. The objective of MP-HA is to ensure the determinism on network through medium access control mechanism increasing the transmission throughput. Thus, it creates a periodical environment making use of the cycles concept, in parallel, which is called multicycles.

Resumo. Este artigo apresenta o PM-AH (Protocolo Multiciclos para Automação Hospitalar), esse protocolo funciona sobre endereçamento multicast e utiliza uma arquitetura mestre-escravo. O PM-AH é um protocolo que cria uma segmentação lógica baseada em grupos multicast associados aos leitos da rede hospitalar de forma transparente. O objetivo do PM-AH é através do controle de acesso ao meio garantir o determinismo na rede e otimizar o fator de utilização do meio de transmissão. Para tanto, cria um ambiente periódico, porém utilizando o conceito de ciclos executando-os em paralelo, o qual é chamado multiciclos.

1 Introdução

Os avanços na área da eletrônica têm contribuído para uma crescente demanda em aplicações distribuídas que permitam a utilização de dispositivos com poder de processamento embarcado (Dietrich e Sauter, 2000). Um exemplo são as redes industriais que já fazem uso de nós inteligentes utilizados no controle de processos. Para Pedreira et. al., (2005), isso ocorre devido à tendência de descentralização da computação, que agora converge para um ambiente distribuído.

Verificando o presente contexto, as funcionalidades passam a estar presentes em vários elementos de processamento, ao contrário da computação centralizada que

encapsulava funcionalidades em um único processador com maior poder de processamento. Na automação industrial existem conceitos e alguns deles foram previstos em 1976 por Nitzan e Rosen, tais como: aquisição de dados para controle de processos; monitoramento e processamento de sinais; redução de custos; otimização de processos (Nitzan e Rosen 1976). Estes conceitos já estão a algum tempo sendo incorporados na área médica, ou seja, passam também a ser utilizados na automação hospitalar (Brooks e Brooks 1998).

Neste sentido, a automação hospitalar passa a requisitar aplicações que visam melhorar os processos encontrados no ambiente de um hospital. Como exemplo, é possível citar trabalhos de pesquisas de Murakami, et al, (2006), Várady, P., et al, (2002) e Varshney, (2006) os quais propõem sistemas de monitoramento de pacientes.

Todavia, existe um problema pertinente ao processo de automação hospitalar, baseado no padrão Ethernet (IEEE 802.3), que naturalmente é um padrão de rede não-determinístico (Dolejs et. al., 2004). Isto inviabiliza a automação de alguns processos que necessitam de confiabilidade e que imponham restrições temporais. Ao contrário, as redes de automação industrial utilizam tecnologias com suporte à restrições temporais, prioridade e confiabilidade (Thomesse 1999), tais como: Profibus, WorldFIP, Foundation Fieldbus, Controller Area Network (CAN) e DeviceNet.

As tecnologias de redes utilizadas na automação industrial apresentam-se como uma solução para automação hospitalar, porém a sua implantação é de alto custo e baixa interoperabilidade (Carreiro, et. al, 2005), tornando-as pouco atraente. Neste sentido, as redes Ethernet são propostas como uma tecnologia a ser aplicada na automação industrial, devido as vantagens desta tecnologia, tais como: expressiva interoperabilidade, alto desempenho e baixo custo, (Dolejs et. al., 2004).

Neste contexto, os trabalhos sobre Ethernet para automação industrial criam protocolos que visam garantir determinismo e confiabilidade. Podem ser referenciados como exemplos de pesquisas nesta área, os seguintes trabalhos: o TDMA (Time Division Multiple Access) de Brito et al., (2004), o VTPE (Virtual Token-Passing Ethernet) de Carreiro et al., (2005), o FTT-Ethernet (Pedreiras 2005) e o H-BEB (Moraes e Vasques 2005). Tais abordagens são eficientes em garantir o determinismo na rede. Todavia, não apresentam política de escalabilidade e podem apresentar problemas com relação à otimização de alocação do canal. Tais aspectos ocorrem quando: São observados slots ociosos na rede (abordagens baseadas em TDMA e suas variações); Existência de ciclos longos (abordagens baseadas em passagem de token e TDMA); Rejeição de novos nós na rede (abordagens baseadas no controle de admissão de nós); Utilização de tecnologia já em desuso (abordagens baseadas em CSMA-CD - Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection).

Este artigo apresenta o Protocolo Multiciclos para Automação Hospitalar (PM-AH), customizado para ambientes hospitalares garantindo o determinismo e otimizando o fator de utilização do meio de transmissão.

Diferentemente dos protocolos utilizados na Ethernet industrial, o PM-AH trabalha sobre uma abordagem de segmentação lógica da rede. O processo de divisão lógica da rede é transparente e fundamentada sobre endereçamento multicast. Funcionando sobre IP e Switch Ethernet com suporte a multicast em nível 2.

2 Visão Geral do PM-AH

O PM-AH é um protocolo que utiliza o conceito de segmentação de grupos de mensagens, pois, trabalha sobre o Protocolo IP, apoiando-se sobre endereçamentos *multicast*. Através de endereçamento *multicast* o PM-AH associa um leito hospitalar a um grupo *multicast* e um grupo *multicast* a vários dispositivos médicos de monitoramento e/ou atuação (nós de rede). Esta estratégia permite ao PM-AH definir um método de segmentação de rede transparente ao usuário (operador da estação supervisora), e também cria um vínculo associativo entre as mensagens e os leitos (pacientes). Desta forma, uma mensagem enviada de um nó do *leito n*, será recebida somente por outro nó do mesmo leito interessado na respectiva mensagem e pelo provedor de serviço PM-AH, apto a receber todas as mensagens. Um aspecto importante do PM-AH na utilização do envio de mensagens utilizando endereçamento *multicast* é o aumento do fator de utilização da rede, pois esta estratégia promove um mecanismo que torna mais eficiente o processo de distribuição das mensagens, pois evita redundância no envio de dados, dada estratégia adotada no PM-AH agregada às características das transmissões *multicast*.

A Figura 1 exibe a arquitetura do PM-AH, ilustrando uma visão geral do contexto descrito nesta seção, onde o PM-AH divide um ciclo em duas janelas de tempo: uma síncrona e outra assíncrona. As janelas de mensagens síncronas são utilizadas para transmissão de mensagens de controle e dados. As janelas de mensagens assíncronas são utilizadas para disparo de alarmes e mensagens de controle.

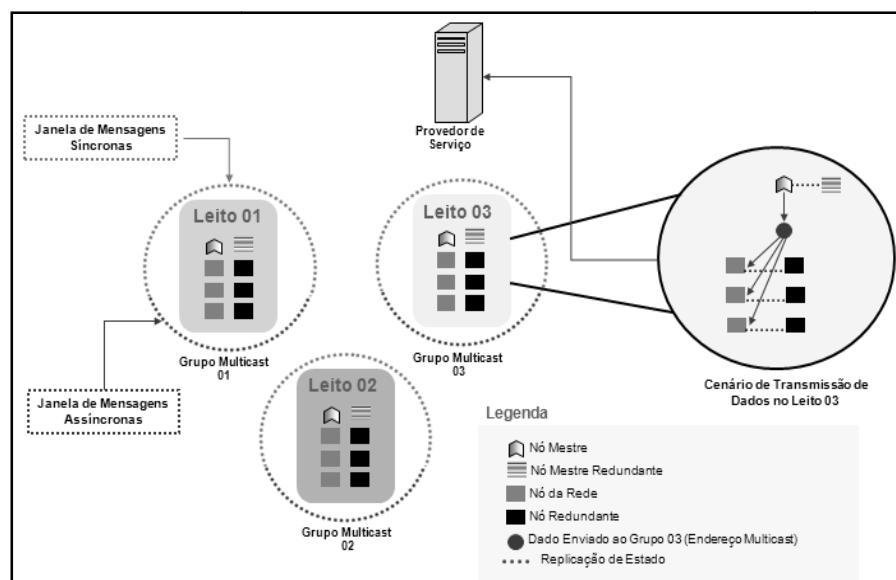


Figura 1 - Visão Geral: Arquitetura do PM-AH

Ainda na Figura 1 (cenário de transmissão de dados no leito 03) é observado o envio de dados através de endereçamento multicast, permitindo que o dado seja enviado uma única vez para todo o grupo. Essa característica contribui para redução no custo de comunicação do protocolo. A opção no PM-AH pela tecnologia Ethernet ocorre em função do seu alto desempenho, baixo custo, e expressiva interoperabilidade (Dolejs et. al., 2004). Outra característica que motiva adoção do padrão Ethernet no PM-AH é que a maioria dos ambientes hospitalares tem a sua rede dados baseado neste padrão. Desta

forma, o custo para implantação será reduzido devido à utilização da infra-estrutura de rede já existente.

A coordenação de rede do PM-AH é fundamentada em uma estrutura mestre-escravo e no conceito de multiciclos. A estrutura mestre-escravo é baseada na passagem de *token* e impõe cenários onde não existe disputa ao meio de transmissão, criando um ambiente determinístico na rede. Sobre a perspectiva de multiciclos, o PM-AH cria vários ciclos independentes e paralelos que não geram interferência, nem concorrência com dispositivos que fazem parte de ciclos distintos. Com isso, o PM-AH permite otimizar os ciclos temporais, pois os ciclos não crescem em função da quantidade de nós que fazem parte da rede, e sim, em função da quantidade de nós inscritos em cada grupo (leito hospitalar). Desta forma, melhorando o desempenho da rede, pois, a segmentação lógica baseada em *multicast* cria ciclos menores, permitindo assim, um envio mais rápido das mensagens em cada grupo. No PM-AH, um ciclo tem o seu tempo de vida determinado pelo somatório dos *slots* de tempo utilizados para as transmissões das mensagens no mesmo. O mestre tem o papel de coordenar os ciclos gerados em seu grupo (leito), garantindo a sincronização dos nós de rede e consequentemente os respectivos períodos para envio das mensagens de cada nó.

3. Elementos do PM-AH

3.1 Provedor de Serviços (PS)

O PM-AH é composto basicamente de quatro elementos: Provedor de Serviços (PS), Mestre, Ciclos e Mensagens.

O papel do PS no PM-AH é prover serviços essenciais à rede (iniciação, verificação de comunicabilidade e reindexação de nós) e capturar as todas as mensagens trocadas na rede. A captura das mensagens tem como objetivo fornecer dados para o Supervisório, permitindo que equipes médicas possa monitorar os pacientes. No PM-AH, a iniciação e a formação dos grupos multicast é realizada por meio de tabelas de associação. Na Figura 2 é possível verificar a estrutura da tabela de armazenamento criada no PM-AH.

Um fator importante na estruturação dos dados é a tabela de endereços (leito ► multicast) que associa um leito a um grupo multicast. É a partir desta tabela que o provedor de serviço informa a um nó em qual grupo multicast ele deve estar inscrito antes de enviar suas mensagens de dados.

A tabela grupos (leito ► dispositivo) ilustrada na Figura 2 é montada dinamicamente a partir da inscrição dos nós na rede. Um aspecto que pode ser verificado nesta tabela são os campos: Mestre: campo que indica se o nó é ou não mestre de um grupo (1 – Mestre, 0 - Escravo); Índice: este campo mostra a seqüência de inscrição dos nós em grupo (leito). Esta informação serve para indicar ao mestre a quem deve ser passado o token.

A tabela de dispositivos (dispositivo ► porta) faz uma associação do dispositivo a uma porta de comunicação para troca de dados entre dispositivos afins de um mesmo grupo.

Tabela de Endereços: leito ▶ multicast		Tabela de Dispositivos: dispositivo ▶ porta	
Leito	Endereço Multicast	Porta	Descrição
01	xxx.xxx.xxx.010	10000	Sensor de Glicose
02	xxx.xxx.xxx.011	10001	S. Pressão Arterial
03	xxx.xxx.xxx.012	10002	S. Temperatura
04	xxx.xxx.xxx.013	10000	Infusor de insulina
05	xxx.xxx.xxx.014	10003	Infusor de Soro

Tabela de Grupos: leito ▶ dispositivo			
Leito	Mestre	Índice	Dispositivo
01	1	1	01
01	0	2	03
02	1	1	03
03	1	1	04
04	1	1	05

Figura 2 – Tabelas de apoio do PM-AH

3.2 Mestre

O mestre de grupo no PM-AH é indicado pelo provedor de serviços. O processo de definição de mestre tem início no envio de uma mensagem de solicitação de inscrição em grupo multicast (msigm). Ao ser iniciado, o nó envia uma msigm ao provedor de serviços e nesta é informado o número do leito e se o mesmo é habilitado a ser mestre. O provedor de serviço ao receber uma msigm, verifica se já existe algum nó associado ao leito com status de mestre. Caso não exista, o provedor envia uma mensagem de confirmação de inscrição em grupo multicast (mcigm) confirmando sua inscrição no grupo e informado ao nó que ele é mestre do grupo. O nó mestre sempre recebe índice 1 e os demais receberão o índice anterior mais 1.

O nó Mestre tem o papel de coordenar os ciclos de seu grupo (leito) multicast. Para tanto, o mestre conhece os dispositivos que fazem parte do seu grupo. O nó, ao ser indicado como mestre recebe uma mensagem relativa aos índices dos nós presentes em seu leito. Esta coordenação é realizada através da passagem de *token*, o qual é passado de acordo com o índice de cada dispositivo e somente um dispositivo por vez recebe o *token*. Os *tokens* são enviados através de uma mensagem de passagem de *token* (*mpt*) que indica qual dispositivo terá a posse do meio físico. A partir de então, o dispositivo enviará uma mensagem de dado (*md*) para o seu grupo multicast e provedor de serviço.

A coordenação da rede através do mestre utilizando o conceito de multiciclos e de passagem de *token* contribui da seguinte forma: Evita problemas de enfileiramento de pacotes no *switch*, deste modo, eliminando problemas contenção da rede; Garante o determinismo da rede, pois o fluxo de dados é controlado; Aumenta a escalabilidade da rede; Otimiza os tempos do ciclo, haja vista que não existirá *slot* de tempo ocioso na rede.

3.2 Ciclo Temporal: Janela Síncrona e Assíncrona

O PM-AH é um protocolo que trabalha sobre ciclos de tempo, um ciclo no PM-AH é dividido em duas janelas de tempo: síncrona e assíncrona. O inicio e termino de um ciclo no PM-AH é marcado quando o nó mestre envia uma mensagem de inicio de janela síncrona aos elementos de seu grupo.

O tempo de uma um ciclo no PM-AH é igual ao tempo da janela síncrona mais o tempo da janela assíncrona. A Equação 1, mostra como deve ser feito o cálculo do tempo da janela síncrona (T_{js}).

$$T_{js} = \left(\sum_{m=1}^q T_{pm} * T_v \right), \quad T_p = \left(\frac{d}{c * \beta} \right), \quad T_v = \frac{L}{R} \quad \text{Onde,} \quad (1)$$

q = Quantidade de nós inscritos no grupo (considerando o nó mestre);

T_{pm} = Tempo de propagação da mensagem no meio físico:

d = distância que a mensagem vai percorrer;

c = velocidade da luz;

β = fator determinado em função do meio de transmissão;

T_v = Tempo de transmissão da mensagem em função da vazão da rede:

L = comprimento da mensagem e

R = Taxa de Transmissão.

3.3 Mensagem de Solicitação de Inscrição em Grupo Multicast (msigm)

As mensagens de solicitação de inscrição em grupo multicast (msigm) são mensagens que são disparadas pelos dispositivos ao serem iniciados. Estas mensagens são enviadas a cada 1 segundo, até que o nó que a enviou receba a primeira mensagem de confirmação de inscrição em grupo multicast (mcigm). O formato da mensagem é ilustrado na Figura 3 e descrito na Tabela 1.

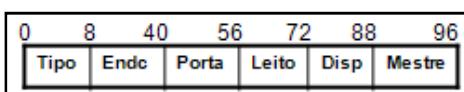


Figura 3 – Formato de um msigm

Tabela 1 – Descrição do formato msigm

Campo	Tamanho	Descrição
Tipo	8 bits	Tipo da mensagem que está sendo enviada.
Endc	32 bits	Endereço multicast para inscrição em grupo.
Porta	16 bits	Porta de destino.
Leito	16 bits	Número do leito onde o dispositivo se encontra.
Disp	16 bits	Tipo de dispositivo.
Mestre	8 bits	Identifica se o nó está apto a ser um mestre de grupo.

3.4 Mensagem de Confirmação de Inscrição em Grupo Multicast (mcigm)

As mensagens de confirmação de inscrição em grupo multicast (mcigm) são enviadas pelo provedor de serviço como resposta às msigm. Uma mcigm confirma o grupo em qual o dispositivo está inscrito, informa o índice do dispositivo no grupo e indica se o

dispositivo é o mestre do grupo. O formato da mensagem é ilustrado na Figura 4 e descrito na Tabela 2.

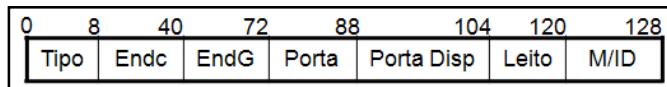


Figura 4 – Formato de uma mcigm

Tabela 2 – Descrição do formato mcigm

Campo	Tamanho	Descrição
Tipo	8 bits	Tipo da mensagem que está sendo enviada.
Endc	32 bits	Endereço multicast para recebimento de confirmação de inscrição em grupo.
EndG	32 bits	Endereço multicast do grupo.
Porta	16 bits	Porta de destino.
Porta Disp	16 bits	Porta do dispositivo. Utilizada para indicar em qual porta um dispositivo recebe mensagens de seu grupo.
Leito	16 bits	Leito onde o dispositivo se encontra.
M/ID	16 bits	Campo que indica se o nó é um mestre e qual o seu ID (índice no grupo).

3.5 Mensagem de Reindexação de Nós (mrn)

As mensagens de reindexação de nós (*mrn*) são enviadas pelo provedor de serviço ao nó mestre de cada grupo. Esta mensagem indica para o mestre quais nós estão ativos no seu grupo. Portanto, não haverá passagem de *token* para nós que não estejam ativos, o que contribui para melhorar o fator de utilização na rede. As mensagens de *mrn* têm o campo LN (lista de nós) de 128 bits que representam quais dispositivos estão ativos ou inativos. O índice do bit indica o dispositivo e seu valor indica o status do nó. Bits com valores iguais a ‘0’ indicam nós inativos e bits com valor ‘1’ indicam nós ativos. A Figura 5 ilustra o formato de uma *mrn* e a Tabela 3 descreve os campos.

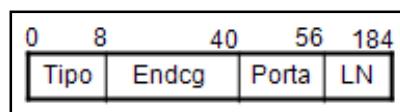


Figura 5 – formato de uma mrn

Tabela 3 – Descrição do formato mrn

Campo	Tamanho	Descrição
Tipo	8 bits	Tipo da mensagem que está sendo enviada.
Endcg	32 bits	Endereço multicast do grupo.
Porta	16 bits	Porta de destino.
LN	128 bits	Contém informação a respeito dos nós não fazem mais parte do grupo (leito).

3.6 Mensagem de Dados (md)

As mensagens de dados (md) são enviadas em janelas síncronas por qualquer dispositivo para o grupo multicast que este esteja inscrito. Os nós que estiverem associados à porta da mensagem irão processá-la. Um fator importante incluído nas mensagens de dados é a redundância temporal implementada através do campo DA (Dado Anterior). Este campo armazena o dado da mensagem do período anterior. O formato de uma mensagem de dados é ilustrado na Figura 6 e descrito na Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição do formato de uma mensagem de dados

Campo	Tamanho	Descrição
Tipo	8 bits	Tipo da mensagem que está sendo enviada.
End	32 bits	End. multicast para recebimento confirmação de inscrição em grupo.
Porta	16 bits	Porta de destino. Este campo está relacionado ao tipo de dispositivo.
Dado	16 bits	Dado a ser enviado ao(s) dispositivo(s).
DA	16 bits	Dado do período anterior.

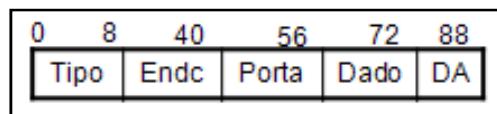


Figura 6 –Formato de uma mrn

3.7 Resultados Experimentais

Os resultados abordados estão dirigidos a verificação da periodicidade e eficiência dos multiciclos no PM-AH. Portanto, observando o determinismo sobre os seguintes aspectos de sincronismo: Instantes em que o mestre transmite o *token*; Instantes da transmissão de dados por parte dos escravos.

Para realizar os testes foi criado um cenário com dois grupos, cada um contendo um mestre e um escravo. Todo o cenário de teste foi construído utilizando computadores convencionais e um software desenvolvido na linguagem de programação Java para emular o protocolo PM-AH. Para tanto, considerando a execução dos multiciclos em paralelo sobre endereçamento multicast. A Figura 7 ilustra o cenário de teste implementado.

O cenário de teste foi dividido em dois grupos os quais são segmentados em dois endereços multicast distintos. Diante destes cenários, foram gerados 1000 ciclos com período temporais de 100ms. No experimento citado foram gerados ciclos em paralelo (multiciclos), onde foi possível observar o determinismo na periodicidade do PM-AH para os dois grupos. Foram utilizados neste experimento quatro computadores com as seguintes configurações: Processador AMD de 1.8Ghz; Memória RAM de 512MB; Interface de Rede 100Mbps e um Switch Ethernet 100Mbps com suporte a endereçamento multicast.

Com base no cenário de teste, foi possível observar que o PM-AH garantiu 100% de sincronismo entre as passagens de tokens e o envio de dados através dos nós,

conforme gráfico da Figura 7. O gráfico também mostra um atraso médio nos envios dos tokens de 58 μ s.

Outro aspecto relevante observado nos testes de sincronismos é a ausência na perda das mensagens de *mpt*. O experimento também permitiu realizar a medição dos tempos de transmissão das *md*. Para análise, foram examinados os tópicos apresentados na Tabela 5.

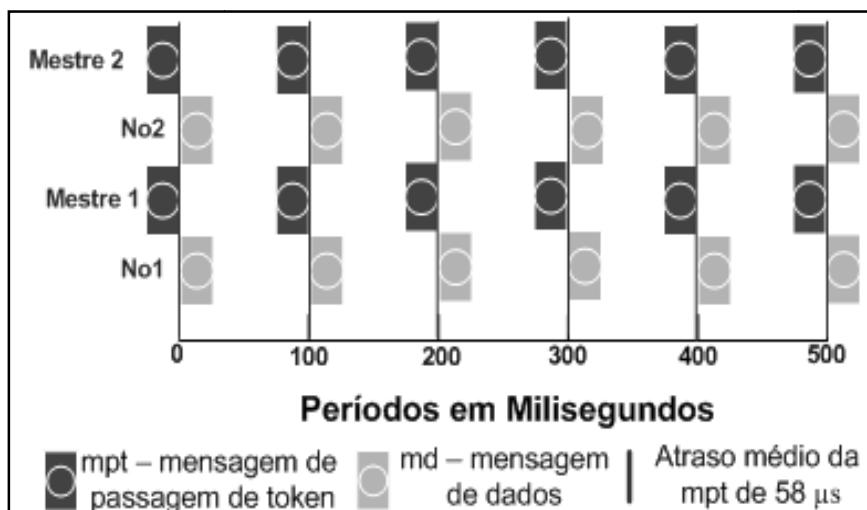


Figura 7 – Gráfico de sincronismo

Os resultados da Tabela 5 apresentam uma tendência constante nos atrasos das mensagens de dados trocadas entre os dispositivos nas janelas síncronas. Essa tendência pode ser verificada no desvio padrão que se mostra muito abaixo do tempo médio, representando um expressivo fator de determinismo, pois os valores de tempo de entrega de dados estão sempre muito próximo a média.

Tabela 5 - Análise dos Tempos de Atrasos das mds

Tópico	Valor
Desvio padrão	22×10^{-4}
Tempo médio	68,58 μ s
Variância	49×10^{-8}
Jitter médio	23×10^{-4}

4. Considerações Finais

O PM-AH é um protocolo que está sendo desenvolvido pelo LAHB – Laboratório de Automação Hospitalar e Bioengenharia da UFRN. Neste sentido, os estudos sobre este protocolo são realizados considerando as necessidades do processo de automação dos hospitais universitário da UFRN, os quais são considerados de excelência na área de saúde. Assim, tais necessidades refletem as demandas emergentes por aplicações distribuídas que permeia o processo de automação hospitalar.

Como foram mostrados, os primeiros resultados através do protocolo são positivos incentivando a pesquisa do grupo em modelar e implementar o protocolo embarcado.

Referências Bibliográficas

- Brito, A. E. M., Brasileiro, F. V., Leite C. E., Buriti, A. C. Comunicação Ethernet em Tempo-Real para uma Rede de Microcontroladores, Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2004) – Brasil, setembro 2004.
- Brooks, J.; Brooks, L. Automation in the medical field. Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE Volume 17, Issue 4, July-Aug. 1998 Page(s):76, 81.
- Carreiro, F., Moraes, R., Fonseca, J. A e Vasques, F. "Real-Time Communication in Unconstrained Shared Ethernet Networks: The Virtual Token-Passing Approach", submitted at Emerging Technologies and Factory Automation - ETFA, Catania, Italy, 2005.
- Dietrich, D., Sauter, T. Evolution Potentials for Fieldbus Systems. WFCS 2000, IEEE Workshop on Factory Communication Systems. Porto, Portugal, September 2000.
- Dolejs, O., Smolik, P., e Hanzalek Z. "On the Ethernet use for real-time publish-subscribe based applications". In 5th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, Vienna, Austria, Sep. 2004.
- Nitzan, D.; Rosen, C.A. Programmable Industrial Automation. Transactions on Computers. Volume C-25, Issue 12, Dec. 1976 Page(s):1259 – 1270.
- Moraes, R.; Vasques, F., "Real-time traffic separation in shared Ethernet networks: simulation analysis of the h-BEB collision resolution algorithm," Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, 2005. Proceedings. 11th IEEE International Conference on, vol., no.pp. 89- 92, 17-19 Aug. 2005.
- Murakami, Alexandre ; Gutierrez, M. A. ; Lage, Silvia Helena Gelas ; Rebelo, Marina de Fátima de Sá ; Ramires, José Antonio Franchini. A Continuous Glucose Monitoring System in Critical. IEEE Computers in Cardiology, v. 32, p. 10-14, 2006.
- Pedreira, P., Almeida, L., Gai, P. and Giorgio, B. "FTT-Ethernet: A Flexible Real-Time communication Protocol That Supports Dynamic QoS Management on Ethernet-Based Systems". IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 1, Nº. 3, August 2005.
- Thomesse, J.-P. "Fieldbus and interoperability" Contr. Eng. Pract., vol. 7, no. 1, pp. 81–94, 1999.
- Várady, P., Benyo, Z. and Benyo, B. An open architecture patient monitoring system using standard technologies. IEEE Transactions on Information Technologies in Biomedicine, Vol. 6, No. 1, pp.95–98, 2002.
- Varshney, U. Patient monitoring using infrastructure – oriented wireless LANs. International Journal of Electronic Healthcare, Volume 2, Number 2 / 2006, 149 – 163, 2006.