

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE LINHAS TELEFÔNICAS PARA TRANSMISSÃO DIGITAL DE DADOS

por

FONTES LEITE, J.T.¹; SERRANO SANTOS, A.² e SALES VASCONCELOS, A.C.³.

RESUMO – Com o objetivo principal de empregar linhas telefônicas comutadas para a transmissão sistemática de dados entre unidades remotas portáteis e microcomputadores centrais, foi realizado um estudo das ocorrências de erros de transmissão em comunicações realizadas dentro do Campus I da UFPb, na cidade de João Pessoa(PB) e entre a cidade de João Pessoa e as cidades de Campina Grande(PB) e Olinda(PE). Todas as comunicações foram implementadas empregando o protocolo de detecção/correção de erros XMODEM, com velocidade de transmissão de 1200 bits/seg. Os resultados obtidos mostram uma adequação das linhas estudadas para o fim proposto.

Palavras-Chave: Transmissão de dados, modem, protocolo de comunicação, eletrocardiograma.

INTRODUÇÃO

Com o advento de microcontroladores de tecnologia CMOS, pode-se hoje pensar na aplicação de técnicas de comunicação digital voltadas para a instrumentação, empregando sistemas remotos de aquisição de dados, portáteis, de baixo consumo, capazes de transmitir com grande eficácia e através da linha telefônica, sinais biológicos como o eletrocardiograma ou dados de estações meteorológicas, até um microcomputador servidor.

O uso de linhas telefônicas comutadas para a transmissão de dados está sujeito, no entanto, a diversas perturbações como interferência eletromagnética, linha cruzada, falhas temporárias na portadora, ligações envolvendo redes com grande distorção, etc (Martin, 1969; McNamara, 1982). No caso específico da transmissão do eletrocardiograma, a maioria dos sistemas difundidos até então emprega técnicas analógicas, que apesar de permitirem a transmissão em tempo real, possuem as desvantagens de serem bastante susceptíveis às

¹-Professor Adjunto da Universidade Federal da Paraíba/Pesquisador do Núcleo de Estudos e Tecnologia em Engenharia Biomédica.

²-Bolsista de Iniciação Científica-CNPq/Curso de Informática/UFPb.

³-Engenheiro Eletricista/Aluno do Mestrado em Engenharia Biomédica-UFPb.

perturbações das linhas e de necessitarem de acopladores posicionados em torno dos fones do telefone, dificultando deste modo o seu uso na prática (Hill, 1972; Watts, 1977; Nose, 1980). Além destes inconvenientes, as transmissões analógicas de dados são inadequadas para o estabelecimento de procedimentos automáticos de comunicação e para o envio de dados numéricos ou de quaisquer outras informações codificadas, como a hora e dia da transmissão, identificação do paciente, etc.

Por outro lado, os sistemas digitais podem incorporar diversas vantagens, como a discagem automática, o atendimento de uma chamada automaticamente, a aquisição multicanal de sinais em intervalos de tempo previamente programados e a transmissão de dados até um microcomputador servidor, para o devido processamento. Tais sistemas podem empregar também, procedimentos de detecção e correção de erros (protocolos XMODEM, KERMIT, YMODEM, etc), com retransmissão automática de pacotes, produzindo taxas de erro extremamente baixas (Gofton, 1987). O protocolo XMODEM, por exemplo, com controle de correção de erro do tipo CRC-CCITT, é eficiente em 99,995% das ocorrências de erro (Scwaderer, 1988).

No Brasil, particularmente nos últimos anos, o sistema telefônico não tem sido submetido a uma adequada manutenção preventiva, de maneira que tornou-se um fato corriqueiro ligações telefônicas de baixa qualidade, com grande atenuação e com ocorrência freqüente de linhas cruzadas. Deste modo, a grande potencialidade das linhas telefônicas para a implementação de pequenas redes com unidades remotas de aquisição de dados e um microcomputador servidor, pode estar comprometida, devido ao péssimo estado de conservação das linhas.

Neste trabalho, avaliou-se o desempenho de algumas linhas telefônicas, visando o seu emprego sistemático para transmissão de dados, a partir do protocolo de detecção/correção de erros XMODEM.

SISTEMA DESENVOLVIDO

A figura 1 mostra a montagem experimental empregada. Foram usados dois microcomputadores compatíveis com IBM-PC/XT, acoplados à linha telefônica através de MODEMs do tipo "Hayes" (ELEBRA mod. PROMODEM). Um dos microcomputadores possui um cartão de conversão analógico/digital com resolução de 10 bits.

O software do sistema foi desenvolvido em linguagem C e o mesmo trata da programação das portas seriais, do controle dos MODEMs, da aquisição A/D e visualização em tempo real no monitor (720x348) do sinal amostrado, da transmissão e recepção de dados através de um protocolo para detecção e correção de erros e do acompanhamento das ocorrências destes erros durante as comunicações.

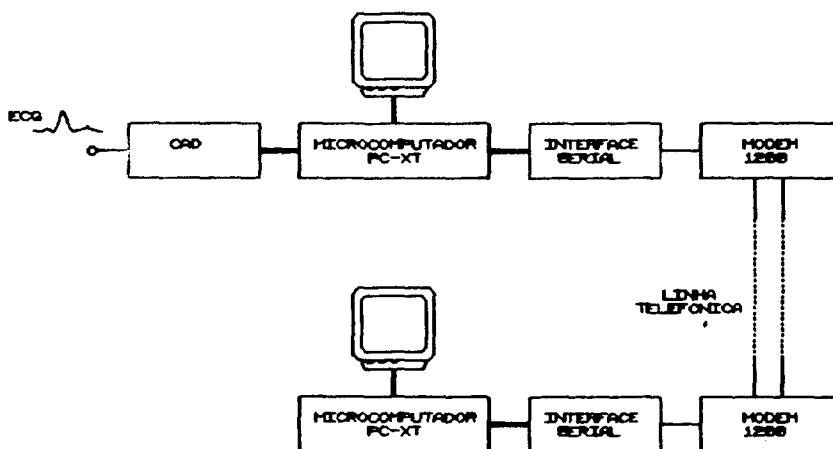


Figura 1 - Diagrama de blocos do sistema empregado.

Os dados foram transmitidos no formato de 1 bit de start, 8 bits de dados e 1 bit de stop, sem paridade e com uma velocidade de 1200 bits/seg - (1200 N,8,1). O protocolo de comunicação implementado foi o XMODEM (Gofton, 1987). Neste protocolo, os arquivos são transmitidos em blocos de 128 bytes de dados, inicializados pelo caracter de controle SOH (cabeçalho) e pelo número do pacote em curso, seguido do seu complemento de um. Cada bloco é finalizado por um controle de correção de erro do tipo CRC-CCITT (McNamara, 1982; Schwaderer, 1988), calculado em dois bytes. O sistema receptor calcula o CRC-CCITT dos dados recebidos, sinalizando para o transmissor a integridade ou deterioração dos dados recebidos, através dos caracteres de controle ACK ou NAK (do inglês "acknowledged" e "not acknowledged", respectivamente). Perdas de sincronização podem ser detectadas pela conferência dos dados relacionados com o número do pacote em curso. Durante a transmissão, diversos tipos erros podem ser detectados e corrigidos, como erro de cabeçalho, pacote recebido com problemas, pacote recebido anteriormente, erro de sincronização e remoto não responde. O número máximo de erros admitido por bloco é igual a 10. Caso este número seja ultrapassado, o receptor cancela a comunicação enviando o caracter CAN.

TESTES REALIZADOS

Um sinal gerado por um simulador de eletrocardiograma (Kontron Medical - Arrhythmia Simulator mod. 994) foi amostrado a uma frequência de 200 Hz, durante um tempo

de 60 segundos. Este tempo foi considerado como o tempo máximo necessário para a aquisição de um eletrocardiograma convencional com 12 derivações. A partir do sinal amostrado, foi constituído um arquivo sob forma binária, com 24000 bytes, correspondendo a um total de 188 blocos a serem transmitidos.

A unidade receptora foi inicializada em modo "resposta automática", permitindo o pronto estabelecimento da comunicação entre os sistemas.

Foram realizadas um total de 80 ligações para transmissão do arquivo de dados, distribuídas em 4 classes de comunicações distintas:

classe a- 20 comunicações entre dois ramais do centro telefônico do campus universitário da UFPb/João Pessoa.

classe b- 20 comunicações dentro da cidade de João Pessoa, com linhas localizadas em centrais distintas.

classe c- 20 comunicações entre as cidades de João Pessoa (PB) e Campina Grande(PB) - 120 Km.

classe d- 20 comunicações entre as cidades de João Pessoa (PB) e Olinda(PE) - 110 Km.

As ligações de cada uma das classes foram realizadas em 4 horários distintos (9:00, 11:00, 13:00 e 15:00), com 5 comunicações cada um deles.

Os seguintes parâmetros foram monitorados:

- a - número de chamadas atendidas, mas sem estabelecimento do protocolo inicial.
- b - número de comunicações efetuadas, mas com perda intermediária de portadora.
- c - número de cada um dos tipos de erro (erro de cabeçalho, pacote recebido com problemas, pacote recebido anteriormente, erro de sincronização e remoto não responde).
- d - número total de erros em cada transmissão bem sucedida.
- e - tempo de transmissão de cada arquivo.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Em todas as chamadas atendidas pela unidade receptora houve o pronto estabelecimento da comunicação entre MODEMs e nenhuma das comunicações foi interrompida bruscamente por perda de portadora.

Em nenhuma das comunicações foram observados erros de sincronização. Estes erros ocorrem, normalmente, em situações de ruídos bastante severos. As tabelas 1, 2, 3 e 4 mostram, para cada uma das classes, a ocorrência dos principais erros detectados e corrigidos pelo protocolo. A figura 2 mostra a frequência do número total de erros por comunicação, em cada classe.

TABELA 1 - ERROS NAS COMUNICAÇÕES ENTRE RAMAIS - CLASSE A

TESTE NÚMERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
REMOTO NÃO RESPONDE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ERRO DE CABEÇALHO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PACOTE RECEB. COM PROBLEMAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PACOTE RECEB. ANTERIORMENTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ERRO DE SINCRONIZAÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NÚMERO TOTAL DE ERROS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 2 - ERROS NAS COMUNICAÇÕES LOCAIS (JOÃO PESSOA) - CLASSE B

TESTE NÚMERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
REMOTO NÃO RESPONDE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ERRO DE CABEÇALHO	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	1	-	-	1	-	-	-
PACOTE RECEB. COM PROBLEMAS	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	3	1	-	-	1	-	-
PACOTE RECEB. ANTERIORMENTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ERRO DE SINCRONIZAÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NÚMERO TOTAL DE ERROS	-	1	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	1	4	1	-	1	1	-	-

TABELA 3 - ERROS NAS COMUNICAÇÕES ENTRE JOÃO PESSOA (PB) E CAMPINA GRANDE (PB) - 120km - CLASSE C

TESTE NÚMERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
REMOTO NÃO RESPONDE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ERRO DE CABEÇALHO	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PACOTE RECEB. COM PROBLEMAS	8	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-
PACOTE RECEB. ANTERIORMENTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ERRO DE SINCRONIZAÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NÚMERO TOTAL DE ERROS	11	-	-	-	1	-	-	-	-	-	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 4 - ERROS NAS COMUNICAÇÕES ENTRE JOÃO PESSOA (PB) E OLINDA (PE) - 110km - CLASSE D

TESTE NÚMERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
REMOTO NÃO RESPONDE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
ERRO DE CABEÇALHO	-	-	-	-	-	1	1	-	1	1	-	-	1	1	2	-	3	-	-	-
PACOTE RECEB. COM PROBLEMAS	3	-	1	2	2	-	2	4	2	2	6	3	1	2	3	2	1	4	4	-
PACOTE RECEB. ANTERIORMENTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
ERRO DE SINCRONIZAÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NÚMERO TOTAL DE ERROS	3	-	1	2	2	-	3	5	2	3	7	5	1	3	4	4	1	7	4	-

Apesar da ocorrência de diversos erros, sobretudo nas comunicações interestaduais, todas as 80 transmissões foram bem sucedidas, com o arquivo de dados integralmente reconstituído na recepção.

Todas as comunicações realizadas dentro do campus universitário (classe a) tiveram ocorrência nula de erros. Já nas classes b, c e d foram detectados e corrigidos erros em 45%, 20% e 85% das comunicações, respectivamente. Apesar destes números serem relativamente elevados, o número médio de erros em cada uma das classes e o número máximo de erros por comunicação (tabela 5), podem ser considerados como pequenos, uma vez que o número máximo de erros admitido em uma comunicação bem sucedida é igual a 1880. Este número é calculado considerando que todos os 188 blocos do arquivo foram transmitidos com sucesso somente após a ocorrência do número máximo de erros admitido em cada um deles, que é igual a 10. Deve-se salientar, no entanto, que uma comunicação bem sucedida realizada nestas condições é pouco provável, visto que a mesma se daria especialmente em condições severas de ruído, implicando, provavelmente, em um cancelamento prematuro da comunicação, devido a ultrapassagem do número máximo de erros admitido por bloco. Em nenhuma das comunicações o número de erros por bloco foi superior a 3.

Aparentemente não existe uma correlação entre o horário das comunicações e o número de erros. Os erros dependem, provavelmente das condições específicas de cada linha. Fenômenos como umidade, proximidade com interferências eletromagnéticas, como o acionamento de um motor durante uma comunicação podem comprometer o desempenho.

O tempo necessário para a transmissão do arquivo de 24000 bytes é /de 4'16" (microcomputadores com relógio de 8 MHz). Este tempo aumenta, com o aumento da ocorrência dos erros. A transmissão com maior ocorrência de erros (teste número 1 - classe c) foi realizada em 4'40", implicando em um aumento no tempo de transmissão de aproximadamente 9%.

Os resultados obtidos mostram um bom desempenho do protocolo de detecção/correção de erros XMODEM, sugerindo que as linhas telefônicas empregadas podem ser utilizadas para a transmissão sistemática de dados, desde que haja um protocolo eficiente de detecção e correção do erros. Esta possibilidade permite um amplo campo de aplicação, visto que as informações brutas podem ser amostradas por sistemas portáteis dedicados, em alguns casos serem submetidas a um tratamento de sinal prévio e em seguida transferidas para microcomputadores servidores, onde serão processadas e armazenadas.

Como próxima etapa deste trabalho serão testados algoritmos para a compressão de dados do eletrocardiograma, visando a diminuição dos tempos de transmissão. Pretende-se desenvolver também, uma rede com sistemas portáteis para aquisição e transmissão, controlados por um microcomputador servidor, visando a implementação de um projeto de âmbito estadual para diagnóstico remoto do eletrocardiograma.

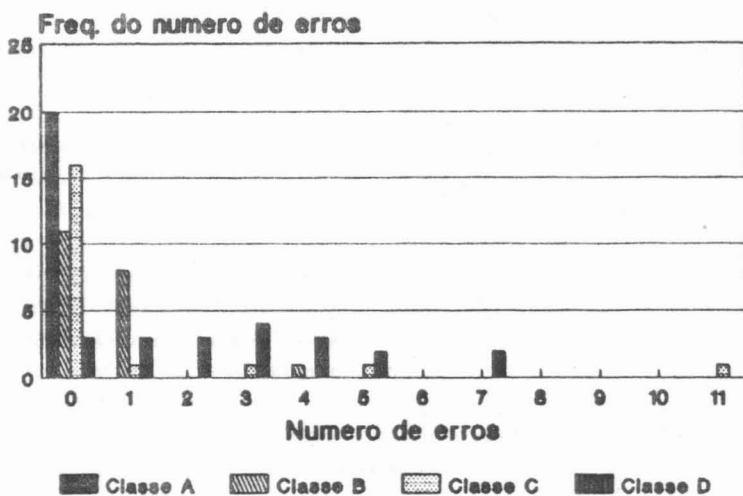


Figura 2. Frequência do número total de erros por comunicação, em cada classe.

Tabela 5- Número máximo de erros por comunicação e Erro Médio em cada classe.

classe a :	Número máximo de erros por comunicação	0
	Erro Médio	0
classe b :	Número máximo de erros por comunicação	4
	Erro Médio	0,60 ± 0,94
classe c :	Número máximo de erros por comunicação	11
	Erro Médio	1,00 ± 2,67
classe d :	Número máximo de erros por comunicação	7
	Erro Médio	2,85 ± 2,11

REFERÊNCIAS

- BERSON A.S., WOJICK J.M. and PIPBERGER H.V. (1977), "Precision requirements for electrocardiographic measurements computed automatically", *IEEE Trans. Biom. Eng.* 24(4),382-385.
- DALLA PORTA F., FANTUZZO D. and SIGALOTTI G.B. (1981), "A micro-controlled electrocardiograph for a three channel automatic acquisition of ECG" *Change in Health Care Instr. due to Microprocessor tech.* 91-98.
- FOSTIK M., CONWAY T. DWINELL R. and SINGER J. (1980) "Low-power electrocardiographic data-acquisition module for microprocessor systems" *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, 18,95-103.
- GOFTON P.W. (1987), *Techniques de communication série*, SYBEX, 323p.
- HILL D.W and PAYNE J.P. (1972), "The use of analogue telephone data links for the transmission of physiological signals", *British J. of Anaesth.* 44,562-567.
- MARTIN J. (1969), "Telecommunication and the computer" Prentice-Hall Inc.
- MASTURZI E. (1983) "La telediagnosi cardiaca computerizzata", *Sistemi e Automazione*, 234,185-192.
- McNAMARA J.E. (1982), "Technical aspects of data communication", *Digital Equipment Corporation*, 330p.
- NOSE Y., NAKAMURA M., INOUE T and TAJIMI T. (1980) "Evaluation of telephone transmission for computer electrocardiographic interpretation in Japan", *Med. & Biol. Eng. & Comput.* 18,727-730.
- SCHMITT N.M., HARUTUNYAN K.Z., GATTIS, J.L. and BISSET J.K. (1979), "ECG data compression for the emergency setting", *J. Clin. Eng.* 4(1),49-53.
- SCHWADERER W.D. (1988), "C Programmer's Guide to NetBios", *Howard W.Sans and Company*, 314p.
- THAKOR N.V., WEBSTER J.G. and TOMPKINS W.J. (1982), "A battery-powered digital modem for telephone transmission of ECG data", *IEEE Trans. Biom. Eng.* 29(5),355-359.
- WATTS M.P. and MACFARLANE P.W. (1977), "3-lead electrocardiogram transmission over post office telephone lines", *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, 15,311- 318.

EVALUATION OF THE PUBLIC TELEPHONE NETWORK FOR DIGITAL DATA TRANSMISSION

ABSTRACT – We measured the errors in digital transmission, using the public telephone network. Four series of transmissions were performed, employing the university telephone system, the telephone system in the city of João Pessoa (PB) and the telephone system between João Pessoa and the cities of Campina Grande (PB) and Olinda (PE). All communication was performed with the transmission rate of 1200 bits/sec., with the XMODEM protocol. The results show that the studied telephone lines are adequate to develop a system for acquisition and transmission of signals like electrocardiogram.