

SISTEMA DE TELEMETRIA BIDIRECIONAL COM APLICAÇÕES EM BIOMÉDICA

por

R.N. de LIMA¹, R.C.S FREIRE², G.S. DEEP²

RESUMO -- Apresenta-se um sistema de telemetria bidirecional composto de uma unidade central (UC) e de quatro unidades remotas (UR's) para aplicações em biomédica. Cada unidade é baseada no microcontrolador MC68HC11A8 e no circuito integrado LM1872. O microcontrolador faz a aquisição, a conversão analógico/digital e a codificação em largura de pulso dos sinais a serem transmitidos, além da decodificação dos pulsos recebidos. O LM1872 faz a demodulação do sinal de RF recebido pela antena, além da decodificação dos pulsos obtidos pela demodulação.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de telemetria são utilizados para a realização de medidas físicas e observação de variáveis à distância. Eles são formados, basicamente, de um sensor e de um transmissor remotos, de um meio de transmissão e de um receptor.

O enlace entre o sensor e o receptor pode ser realizado através de cabos elétricos, de portadora em rádio-frequência, de ondas luminosas (infra-vermelho) e de ultra-som. Os enlaces através de cabos elétricos possuem algumas limitações, tais como: alcance de transmissão para uma dada precisão; baixas taxas de transmissão e perda da capacidade de multiplexação, (Gruenberg, 1967).

Os enlaces através de infra-vermelho e de ultra-som têm sido usados em alguns trabalhos (Staskos et Pincock, 1977; Takahashi et Pollak, 1985), porém apresentam alguns problemas, tais como: consumo elevado, alcance limitado e susceptibilidade ao ruído ambiente, sobretudo no caso de ultra- som.

Com exceção da transmissão de alguns sinais por linhas telefônicas, é mais comum o uso de portadora em rádio-frequência em sistemas de telemetria.

Várias são as aplicações a que se destinam os sistemas de telemetria. No setor

¹-Mestrando em Engenharia Elétrica, UFPB, Campina Grande-PB

²-Professores de Engenharia Elétrica, DEE/UFPB, Campina Grande-PB

industrial, permitem a medição de grandezas em locais de difícil acesso e em ambientes perigosos (Gruenberg, 1976; Freire, 1988). Na biotelemetria são usados para o monitoramento clínico de pacientes e para a aquisição remota de dados fisiológicos de seres humanos e de animais (Jeutter, 1983).

Na pesquisa biomédica, a telemetria tem sido usada nos seguintes casos: na avaliação das funções fisiológicas associadas com a mão humana (Freire e Deep, 1989); na avaliação e reeducação da marcha [4]; na avaliação das condições fisiológicas de atletas durante a prática de exercícios e na obtenção de informações fisiológicas de animais (temperatura corporal, detecção do período de ovulação, etc) (Jeutter, 1983).

No monitoramento clínico, a telemetria tem sido usada para avaliar as condições de pacientes que se recuperam de ataque cardíaco (Jeutter, 1983); para monitorar remotamente pacientes em situação de emergência, facilitando o diagnóstico e a ação quando da chegada deles em um hospital (Jeutter, 1983); para monitorar pacientes em situação de isolamento (Jeutter, 1983) e para monitorar pacientes durante uma cirurgia, proporcionando-lhe isolamento elétrica (Kley et Davis, 1976).

Eletrocardiograma (ECG), eletroencefalograma (EEG), temperatura, atividade respiratória e pH são alguns dos principais dados fisiológicos que podem ser monitorados através de um sistema de telemetria (Freire, 1988; Jeutter, 1983).

O avanço da microeletrônica e dos circuitos integrados para desempenhar funções complexas tem permitido o aumento da versatilidade dos sistemas de telemetria, com um consequente aumento na confiabilidade e na precisão de medidas. Seguem algumas considerações relacionadas com as diversas técnicas empregadas nos sistemas de telemetria.

A multiplexagem por divisão em tempo é usada na maioria dos sistemas de telemetria, permitindo-lhes não só a transmissão de vários canais, mas também, melhores resolução, precisão e confiabilidade (Jeutter, 1983). A modulação dupla é usada para melhorar a relação sinal/ruído e facilitar a transmissão de sinais dc.

Essa modulação dupla se apresenta sob diferentes formas em diversos trabalhos, tais como: PFM-FM, PWM-AM, PWM-PPM, PCM-PFM, PAM-FM e FM-FM (Freire, 1988).

A escolha do tipo de modulação dupla é feita considerando-se alguns aspectos, tais como: a largura de faixa disponível pelo sistema para transmissão; a relação sinal/ruído desejada na saída do sistema como função da potência transmitida; a relação sinal/ruído no receptor acima da qual o sistema deve operar e a eficiência com que o sistema pode utilizar a capacidade de canal (Gruenberg, 1967).

Consumo, peso e tamanho reduzidos são aspectos importantes nos sensores telémétricos usados em biomédica, sobretudo nos sensores implantáveis. Diversos trabalhos sobre telemetria de curta distância já discutiram esses aspectos, além do tipo de modulação e de multiplexagem, com em Jeutter, (1983).

O uso de um microcontrolador para a realização da aquisição; do processamento de dados e da multiplexagem, também chamada de codificação, pode reduzir a complexidade do sensor telemétrico, além de torná-lo mais versátil (Freire e Deep, 1989; Martinet, 1988).

A maioria dos sistemas de biotelemetria é composta de um sensor telemétrico e de um receptor, onde as informações são enviadas sempre do sensor para o receptor, caracterizando, portanto, um sistema unidirecional.

A comunicação bidirecional é necessária em algumas situações, tais como:

- 1 - quando se deve mudar os parâmetros de medição (ganho dos amplificadores, período de amostragem, etc) a partir de processamentos feito pelo receptor;
- 2 - quando da existência de um sistema com um só receptor e múltiplos sensores, geograficamente distribuídos.

Entre as aplicações do uso de sistemas de biotelemetria bidirecionais, pode-se citar o monitoramento de vários pacientes em um hospital ou de vários atletas durante suas atividades, o qual pode ser realizado a partir de um comando gerado na unidade central (UC), necessitando, assim, de uma comunicação bidirecional.

A seguir, apresentam-se as considerações de projeto e de implementação de um sistema de telemetria bidirecional para aplicações em biomédica.

CONSIDERAÇÕES GERAIS DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA BIDIRECIONAL

Nos sistemas de telemetria, um sensor telemétrico ou uma unidade remota (UR) faz a aquisição, tratamento, codificação e transmissão de dados para um receptor ou uma unidade central (UC), que por sua vez faz a demodulação, decodificação, tratamento e armazenagem dos dados recebidos.

A transmissão dos dados, por uma unidade remota, pode ser feita contínua ou periodicamente. Essa periodicidade pode ser independente ou comandada pela unidade central.

Em alguns sistemas de telemetria, a solicitação de dados é feita pela UC a partir da geração de um campo magnético de valor suficiente para ligar um "reed switch" na UR. Os dados são então enviados por esta através de ondas de rádio (Ayachi, 1984). Entretanto, devido às limitações inerentes a geração de um campo magnético para comando de chaves mecânicas, o alcance desses sistemas é limitado a algumas dezenas de centímetros.

O alcance pode ser muito maior se a solicitação for feita através de ondas de rádio. Neste caso, a UC pode também solicitar de uma UR:

- 1 - mudanças nas condições de medição, tais como: ganho de amplificadores, intervalo de amostragem, etc;
- 2 - que seja enviada somente dados referentes a um determinado período de amostragem;
- 3 - a sua reprogramação, caso a UR seja baseada em microprocessador.

Generalizando-se este sistema de telemetria bidirecional, chega-se à concepção de um sistema representado no diagrama de blocos da figura 1.

Cada uma das unidades central (UC) e remotas (UR) é composta por um receptor e um transmissor.

O sistema apresentado neste trabalho é composto de uma unidade central e de quatro unidades remotas, baseadas no microcontrolador MC68HC11 e no receptor LM1872. A comunicação da UC com uma determinada UR é estabelecida depois que a UC envia o código correspondente a esta UR.

A UC solicita dados de uma UR enviando um código através de ondas de rádio, o qual é recebido por todas as UR's, mas sendo correspondente apenas a uma delas. Esta UR envia, então, os dados solicitados, e a UC pode solicitar dados de outra UR.

Os periféricos usados pela UC para comunicação entre operador e o sistema de telemetria, para armazenagem, impressão e visualização dos dados recebidos das UR's são, respectivamente: teclado, unidade de armazenagem, impressora e visor.

CONSIDERAÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

No sistema de telemetria apresentado neste trabalho, usa-se uma dupla modulação para facilitar a transmissão de sinais dc: a primeira é uma modulação em largura de pulso e a segunda uma modulação ASK em rádio frequência.

Para evitar a utilização de diferentes portadoras de rádio frequência e uma faixa espectral larga, optou-se pela utilização de uma única frequência de portadora para todos os transmissores da UC e das URs. Assim, somente um dos transmissores pode estar transmitindo em um determinado instante.

A faixa de cidadão (27MHz) foi escolhida para a primeira implementação pela maior facilidade de se encontrar no mercado componentes para esta faixa. Entretanto, os resultados também são válidos para uma das faixas de telemetria próximas (30 ou 49 MHz), com fácil adaptação.

O fato de existirem no mercado circuitos integrados específicos para telecomando simplificou a implementação do sistema de telemetria. Um exemplo desses circuitos é o par LM1871 e LM1872, já usado anteriormente em um sistema de telecomando Freire, 1984).

O LM1871 (National Databook, 1984) é um circuito integrado, cuja estrutura interna possibilita, na sua operação normal, a modulação de uma portadora em ASK e a geração de 3 a 6 pulsos modulados em largura de pulso. O número de pulsos enviados é controlado pelos canais digitais A e B, conforme mostrado na figura 3.

O LM1872 é um circuito integrado que possui um amplificador de RF, um oscilador local, um misturador, um amplificador de FI, um demodulador e um decodificador. Além de fazer a demodulação do sinal de RF, o LM1872 fornece quatro canais independentes de informação. Dois desses canais fornecem pulsos modulados em largura enviados pelo transmissor; e os outros dois são canais ON/OFF, que geram um código correspondente ao número de pulsos enviados pelo LM1871 ou por outro circuito que use a estratégia de codificação dele.

Inicialmente, pensou-se em utilizar esse par. Porém com o uso do microcontrolador para realizar a aquisição, o processamento e a codificação dos pulsos, exceto a transmissão, optou-se em substituir o LM1871, por um circuito com dois transistores (figura 2) para fazer a transmissão. Apesar de não ser usado o LM1871, a sua estratégia de codificação, mostrada na figura 3, foi usada, possibilitando dessa forma, o uso do LM1872, que além da demodulação do sinal de RF, fornece alguns sinais que são usados para decodificação dos pulsos recebidos e para a identificação das unidades remotas, conforme explicado posteriormente.

Transmissor e receptor

A implementação do transmissor foi realizada, usando-se o circuito da figura 2 (Freire, 1988).

O sinal codificado, gerado pelo microcontrolador, que substitui o LM1871, modula uma portadora de 27 MHz em ASK.

O circuito da figura 4 representa um receptor baseado no LM1872. As saídas ON/OFF são controladas a partir do número de pulsos transmitidos pela UC (comunicação UC - UR), o qual representa o endereço ou identificação de uma UR.

O sinal de sincronismo Vsync (figura 4) juntamente com um comparador e as saídas analógicas P1 e P2, geradas pelo LM1872 a partir do sinal recebido pela antena, facilitam a decodificação dos pulsos P3, P4, P5 e P6 (figura 3) pelo microcontrolador.

A unidade central e cada uma das unidades remotas devem ter, além de um transmissor e um receptor, um circuito lógico que decida quando deve transmitir ou receber dados. Neste sistema isso é realizado através de software. Além disso, cada UR deve ter também um sistema de aquisição e processamento de dados.

Aquisição e processamento de dados

Para tornar o sistema de telemetria mais versátil e confiável, usou-se um microcontrolador na UR para realizar a aquisição e processamento dos dados e na UC para implementar a lógica de controle do sistema, além da aquisição e processamento de dados.

O microcontrolador escolhido é do tipo MC68HC11A8 e tem uma configuração interna com 8k de memória ROM, 512 bytes de EEPROM, 256 bytes de RAM, um conversor A/D de 8 bits com oito entradas multiplexadas, um temporizador de 8 bits com 3 entradas, 4 saídas e 1 entrada/saída, comunicação série síncrona e assíncrona e duas portas para endereços/dados.

Na figura 5, apresenta-se a configuração geral das unidades remotas e central. A diferença entre elas é que na UC não há aquisição dos sinais, portanto as entradas PE0, PE1 e PE2 não são usadas.

Quando nenhum dado está sendo enviado ou solicitado, todas as unidades devem ficar em estado de espera com seus receptores ligados e transmissores desligados, bastando para isso fazer o pino do microcontrolador PA4 = "0", através de software.

Para a central solicitar dados de uma unidade remota (ver figura 6), ela deve enviar uma sequência de pulsos, com um número de pulsos que corresponda ao código AB de 2 bits, referente a UR da qual se deseja obter dados (figura 3). Observa-se que este sistema de telemetria poderá ter no máximo 4 unidades remotas, salvo se for utilizada outra estratégia de codificação, como discutido nas conclusões deste trabalho.

A sequência de pulsos é gerada no microcontrolador e modula em ASK a portadora de rádio-frequência a partir do pino PA4.

Na unidade remota, o receptor LM1872 faz a demodulação e envia para o microcontrolador o código AB de 2 bits através de suas entradas PC0 e PC1, os pulsos decodificados P1 e P2 através das entradas PA0 e PA1 e o sinal de sincronismo, Vsync através do comparador e de seu pino PA2.

O microcontrolador fica testando continuamente a entrada PA2 para detectar uma transmissão de outra unidade. Caso ela indique a presença de algum sinal, o microcontrolador testa as entradas PC0 e PC1 com o código armazenado na sua EEPROM.

Depois de detectado o seu código, o microcontrolador faz a aquisição dos dados nas suas entradas analógicas PE0, PE1 e PE2 e gera uma sequência de pulsos na saída PA4 a partir dos dados obtidos no seu conversor A/D. Esta sequência de pulsos modula a portadora em ASK.

O receptor LM1872 da central recebe então os dados modulados em largura de pulsos. Através de seu temporizador, o microcontrolador decodifica as larguras dos pulsos,

obtendo, assim, os dados solicitados.

Nessa fase inicial, foram feitos alguns testes que consistiram na transmissão e recepção de sinais dc. Os resultados obtidos foram satisfatórios. A estratégia de comunicação usada, foi a já descrita anteriormente, onde a UC solicita dados de uma UR, porém outras estratégias estão em fase de implementação, através de software.

CONCLUSÕES

Apresentou-se um sistema de telemetria bidirecional para aplicações em biomédica, formado por uma central e quatro unidades remotas. Este sistema é baseado no microcontrolador MC68HC11.

O número de unidades remotas pode ser ampliado sem necessidade de aumentar a complexidade dos circuitos, bastando para isso modificar o software. Uma possibilidade para 16 unidades remotas é a codificação de cada UR com 4 bits: 2 recebidos diretamente do LM1872 na forma digital pelos pinos PC0 e PC1 e os outros dois, modulados em largura de pulso, recebidos pelos pinos PA0 e PA1 do temporizador.

Em cada UR, o número de canais monitorados é 3, porém esse número pode ser ampliado através da modulação dos intervalos entre pulsos S1, S2, S3 e S4, aumentando, assim, o número de canais analógicos para 7. Ou ainda, transmitindo serialmente os dados em pacotes de 3 a 7 pulsos.

Os resultados preliminares obtidos com o protótipo experimental, mostram a viabilidade de utilização deste sistema em várias aplicações no campo de engenharia biomédica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES, pela concessão de bolsas de pesquisa durante a execução deste trabalho.

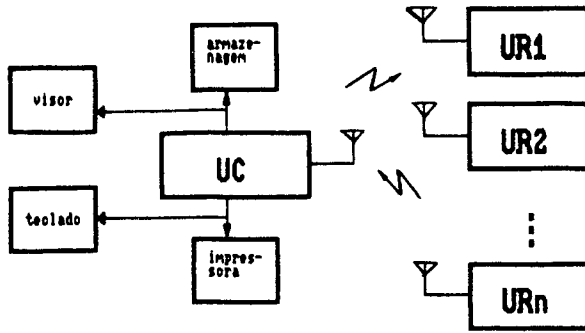


Figura 1. Sistema de telemetria com unidade central e n unidades remotas.

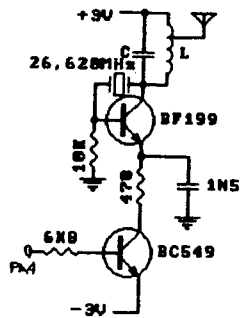


Figura 2. Transmissor Ask.

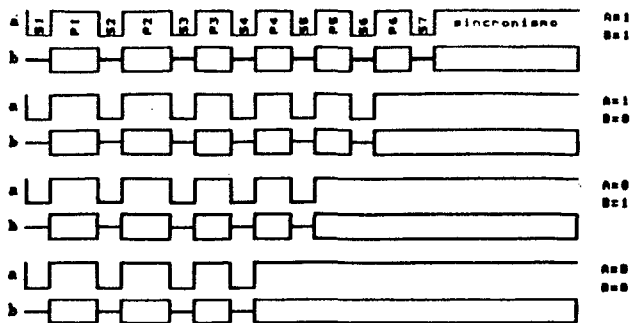


Figura 3. Sinais Gerados e decodificados.

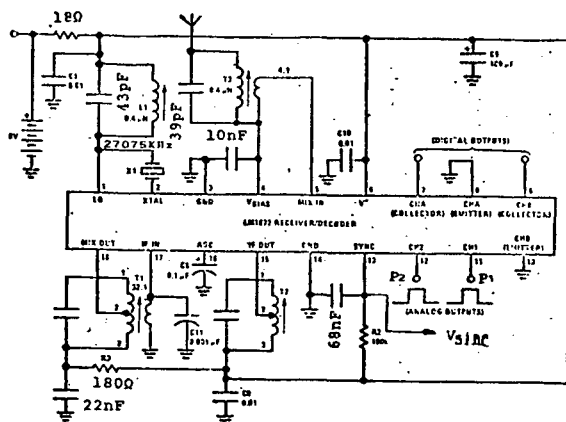


Figura 4. Receptor com LM1872.

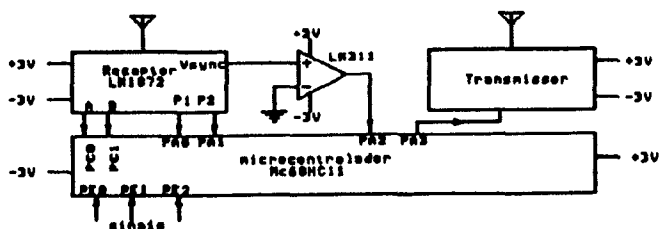


Figura 5. Transmissor, receptor e microcontrolador de cada unidade.

REFERÊNCIAS

- ANȲNIMOS, MC68HC11A8 HCMOS Single-Chip Microcontroller, Motorola Semiconductor Technical Data - Advance Information, 1988.
- AYACHI, M. (1984), " Etude de la Faisabilité d'un Capteur-Emeteur Implantable pour la Mésure des contraintes Osseuses au Niveau de l'Articulation Coxo-Femorale, INPL - ENSEM, França.
- FREIRE, R.C.S. & DEEP, G.S. (1989), " Sensor Telemétrico Tridimensional de Força de Preensão, pp. 619-626, RBE, vol 6, n 2.
- FREIRE, R.C.S., (1988), " Conception de Procédés de Telemesure ", Tese de Doutorado, INPL - ENSEM, França.
- FREIRE, R.C.S., et al, " Network of Telecontrolled Cars to Teach Traffic Rules to Children ", Anais do 7º CBA.
- GRUENBERG, (1967), Handbook of Telemetry and Remote Control, pp. 1-9, pp. 2.37.
- JEUTTER, D.C., (1983), " Overview of Biomedical Telemetry Techniques ", Med. Biol. Engg.
- KLEIN, F.F AND DAVIS, D.A. (1976), " A Low-Powered 4- Channel Physiological Radio Telemetry System for Use in Surgical Patient Monitoring, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. BME-23, november.
- MARTINET N. (1988), Conception, Realisation et Experimentation d'un Capteur Tridimensionnel pour l'Etude Quantifiée de la Prehension, Tese de Doutorado em Medicina, Université de Nancy I, França.
- NATIONAL LINEAR DATABOOK, ANȲNIMOS 1984.
- STASKO, A.B ET PINCOCK, D.G, (1977), " Review of Underwater Biotelemetry, with Emphasis on Ultrasonic Technique," Journal of the Fisheries Research Board of Canada, vol.34, n-9, pp. 1-9.

TAKAHASHI, M. ET POLLAK, V., (1985), " Near Infra-Red Telemetry System", Medical & Biological Engineering & Computing, july, 23, pp. 387-392.

BIDIRECTIONAL TELEMTRY SYSTEM FOR APPLICATION IN BIOMEDICAL SYSTEM

ABSTRACT-- A bidirectional telemetry system consisting of a central unit and 4 remote units, for applications in biomedical systems is described. Each unit is based on 68HC11A8 microcontroller and integrated circuit LM1872. The data acquisition, A/D conversion and coding of input signals based on pulse width, besides the demodulation of the PWM pulses in the receiver, are done in the microcontroller. The demodulation of rf signals and decoding of the pulses obtained after demodulation is done in the integrated circuit LM1872.

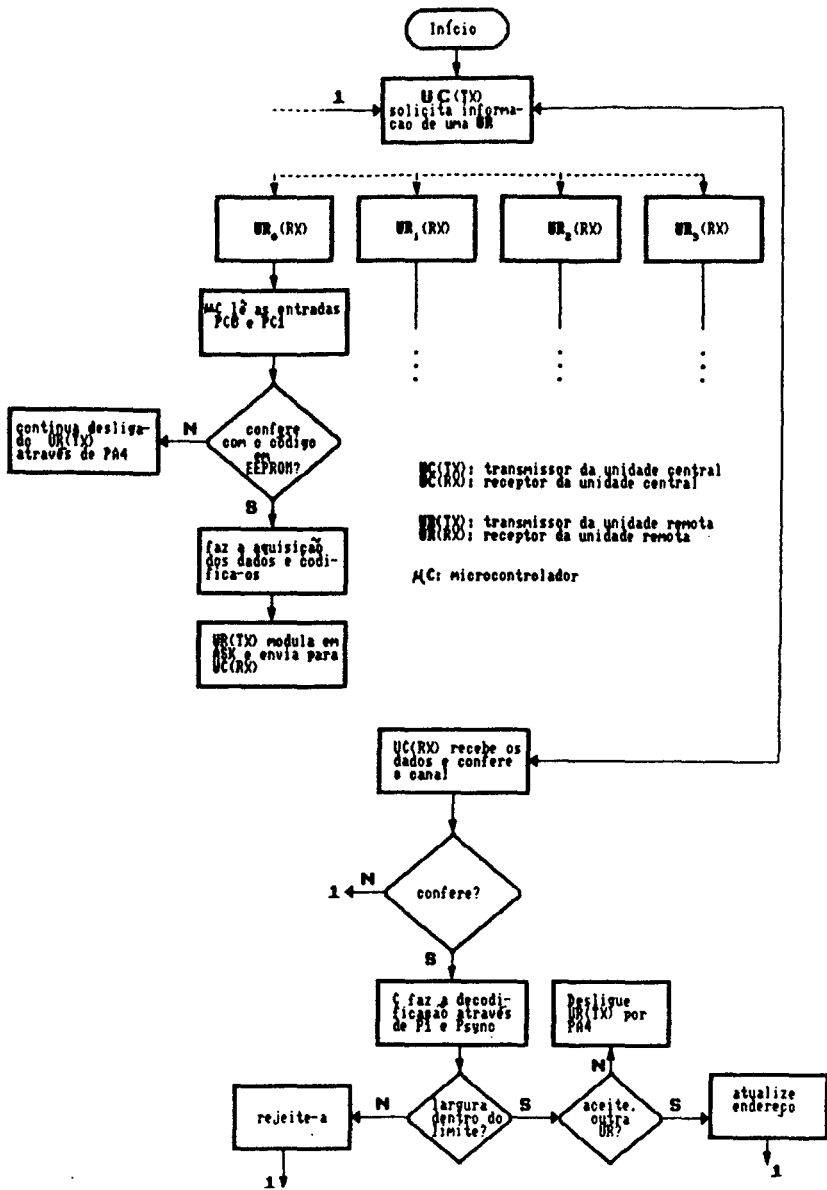


Figura 6. fluxograma de comunicação, quando a UC solicita dados de uma UR.