SENSOR TELEMÉTRICO TRIDIMENSIONAL DE FORÇA DE PREENSÃO

por

R.C.S. FREIRE[1], G.S. DEEP[2]

RESUMO -- Neste trabalho apresenta-se um sistema de telemetria a ser utilizado junto com um sensor de força de preensão para avaliação das funções fisiológicas associadas com a mão humana. O sensor é baseado em extensômetros e o transmissor utilizado neste sistema é baseado em um microcontrolador que, além de efetuar a conversão analógico/digital e codificar os sinais correspondentes às forças, também desempenha as funções de auto-compensação dos desequilíbrios iniciais das pontes de Wheatstone usados no sensor. Os dados são enviados em série com uma velocidade de 9600 bauds por um transmissor de RF na faixa de 27 MHz, com modulação OOK.

INTRODUÇÃO

Os mecanismos de regulação de preensão dos objetos pela mão humana, são estudados usando sensores especiais. Esses estudos apresentam dificuldades de normalização, reprodutibilidade e avaliação temporal e espacial dos gestos manuais. Um sensor proposto por Martinet (1988) é composto de três anéis, montados em planos mutualmente perpendiculares, coincidentes com as coordenadas cartesianas x, y e z, contidos dentro de um cubo, de tal maneira que cada um dos anéis está em contato com um par de faces opostas como mostrado na figura 1. Em cada anel são montados dois extensômetros, de tal forma que um destes extensômetros está sujeito a uma força de tração e o outro a uma força de compressão, quando o cubo é seguro pela mão.

Estes dois extensômetros de cada anel formam dois braços adjacentes de uma ponte de Wheatstone, com excitação d.c., onde os outros dois braços são formados por dois extensômetros que não estão sujeitos a nenhuma força. Estes últimos dois braços fazem parte das três pontes, envolvendo os extensômetros ativos dos três anéis acima mencionados. O arranjo destas pontes está mostrado na figura 1-b. As tensões $V'_x = V_x - V_{ref}$, $V'_y = v_y - v_{ref}$ e $V'_z = v_z - v_{ref}$ representam as forças exercidas nas faces opostas, nos eixos x,y e z, respectivamente.

A medição e registro da variação das tensões correspondentes às forças de preensão nas diferentes direções, fornecem as informações necessárias para o estudo envolvendo os aspectos motores e neurológicos. No instrumento proposto por Martinet (1988) para estes transdutores as tensões de saída do transdutor eram ligados aos circuitos de condicionamento e processamento através de cabos, introduzindo assim forças adicionais no transdutor por causa do peso destes cabos, e resultando assim em erro na medição da força de preensão.

[1]Pesquisador CNPq, DEE, Universidade Federal da Paraiba
Caixa Postal, 10004, Campina Grande-PB.

[2]Professor de Engenharia Elétrica, DEE/UFPb, Campina Grande-PB.

Propõe-se neste trabalho, eliminar estes cabos e prover uma transferência, sem fio, de dados entre o transdutor e o circuito de condicionamento. Consegue-se isto através de uma ligação radio-telemétrica.

Na figura 2 mostra-se um diagrama de blocos do sistema de telemetria proposto, no qual a maioria dos blocos dispensam maiores comentários. É proposto usar um microcontrolador tipo MC68HC11 para codificação do sinal em forma digital e execução de algumas tarefas de condicionamento do sinal de interesse. O uso deste microcontrolador, também visa melhorar a confiabilidade do sistema e torná-lo mais compacto e versátil, comparado com sistema de telemetria baseados em hardware convencional. O sinal transmitido é captado por um receptor AM comercial, e posteriormente processado adequadamente.

A seguir são apresentadas as características principais do microcontrolador MC68HC11 utilizado na presente implementação, os diferentes aspectos de condicionamento do sinal, incluindo auto-zeramento não convencional do desequilíbrio inicial das três pontes, na ausência das forças aplicadas, descrito por Freire (1986), bem como alguns resultados do funcionamento do sistema.

O MICROCONTROLADOR MC68HC11

O microcontrolador usado no presente trabalho é do tipo MC 68HC11; ele contém internamente um conversor A/D de 8 bits com um multiplexador de 8 canais na entrada, 256 bytes de RAM, 512 bytes de EEPROM, um contador temporizador de 16 bits e portas de comunicação série síncrona e assíncrona (Motorola, 1988). Estas características e seu pequeno peso e tamanho, além de um consumo relativamente baixo (20mA x 5V em funcionamento normal) tornam esse microcontrolador particularmente adequado para uso em sistemas de telemetria (Freire, 1988).

As principais funções do MC68HC11 no sistema de telemetria proposto, são de aquisição de dados, autozeramento do desequilíbrio inicial das três pontes de extensômetros e codificação dos sinais elétricos originado nas pontes do sensor.

PROCESSAMENTO E CONDICIONAMENTO DOS SINAIS

Na figura 3 mostra-se o circuito completo do sistema de aquisição para o sensor de preensão baseado em extensômetros, e o transmissor do sistema de telemetria proposto. As tensões $V'_x = v_x - v_{ref}$, $V'_y = v_y - v_{ref}$ e $V'_z = v_z - v_{ref}$, representam as forças de preensão exercidas nos três pares de faces opostas do sensor. Através de um experimento relativamente simples, mediu-se os ganhos mecânicos A_x, A_y e A_z do sensor, para esforços nas três direções x, y e z constatou-se que:

$$\frac{Ax}{Ay} = 1{,}19 \text{ e } \frac{Ax}{Az} = 1{,}98 \qquad (1)$$

Para obter-se tensões elétricas idênticas para forças iguais, os ganhos G_x, G_y e G_z dos amplificadores associados com as três pontes dos extensômetros devem ser tais que:

$$A_x G_x = A_y G_y = A_z G_z \qquad (2)$$

Como pode-se verificar no circuito da figura 3, estes ganhos

são: $G_x = 470$, $G_y = 560$ e $G_z = 918$. Sendo assim, as tensões de saída do amplificador A_2, A_4 e A_6 correspondem respectivamente as forças nos eixos x, y e z. Essas tensões são convertidas para a forma digital pelo conversor A/D do MC68HC11.

COMPENSAÇÃO DO DESEQUILIBRIO INICIAL

No repouso, quase sempre existe uma tensão de desequilíbrio numa ponte de Wheatstone compreendida de quatro extensômetros. Este desequilíbrio é provocado por pequenas diferenças nos valores das resistências dos extensômetros e por assimetrias na configuração do sensor. É importante compensar ou cancelar este desequilíbrio para assegurar o desempenho satisfatório do transdutor e instrumentação associada. No sistema proposto neste trabalho, este desequilíbrio é compensado com o uso do microcontrolador.

A solicitação para compensação de desequilíbrio inicial das três pontes é feita por uma interrupção XIRQ através da chave de pressão S (Figura 3). Esta interrupção provoca o ajuste das larguras de pulsos de 3 trens de pulsos gerados pelo temporizador com frequência de 30,5 Hz. A largura de pulso de cada um destes trens é sucessivamente ajustada, de tal forma que o seu valor médio seja suficiente para cancelar o desequilíbrio inicial de cada uma das três pontes do sensor. As tensões de saída dos amplificadores A8, A10 e A12 são os valores médios dos três trens de pulso acima referidos. A largura dos pulsos pode ser ajustada com a precisão de 16 bits. Uma vez efetuada a compensação do desequilíbrio inicial das pontes, os dados necessários para definir os ciclos de trabalho dos trens de pulsos são armazenados na EEPROM. Isto dispensa a operação de compensação do desequilíbrio a cada vez que o sistema é ligado. A modificação destes dados é efetuada somente quando solicitado através da chave de pressão.

OPERAÇÃO DO SISTEMA DE TELEMETRIA

O fluxograma da figura 4 mostra as etapas da operação da parte de aquisição e transmissão de dados do sistema de telemetria realizado.

Quando o sistema de telemetria é ligado o contador de programa é carregado com o endereço do início da EEPROM ($B600). Isto é garantido pelo modo de funcionamento "bootstrap" escolhido através dos pinos MODA e MODB do microcontrolador e pela resistência entre os pinos PD0 e PD1.

A primeira tarefa executada é o carregamento dos registros do temporizador (como mostrado no fluxograma da figura 4), com os dados referentes as larguras dos pulsos dos trens de pulsos para compensação dos desequilíbrios iniciais das pontes. Em seguida é feita a conversão das tensões das três pontes para a forma digital (em 64 μseg). Esses dados (3 bytes referentes as três tensões) acrescentados de um byte de sincronismo são enviados em série, como mostrado na figura 5, através da porta de comunicação série PD1 do microcontrolador. Um bit de "start" e um bit de "stop" são acrescentados antes e após cada byte de dado ou de sincronismo, de modo que são enviados 40 bits para cada ciclo de amostra dos sinais.

Os dados são enviados continuadamente com uma velocidade de 9600 bauds, portanto a frequência de amostragem é de 240 Hz.

A sequência de dados na porta de comunicação série (pino PD1)

modula em OOK uma portadora de 27 MHz gerada no oscilador de RF, a cristal, formado pelos transistores T1 e T2.

Como mostrado no diagrama de blocos da figura 2, o sinal RF, é captado por um receptor AM comercial e o sinal demodulado é recuperado e enviado em série para um microcomputador pessoal, no qual este sinal é processado para apresentar os resultados da medição na forma desejada.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Com a finalidade de avaliação da ligação telemétrica entre o sensor e o microcomputador pessoal usado para tratamento e análise do sinal adquirido, fizeram-se alguns experimentos e um dos resultados é mostrado na figura 6.

O sensor encontra-se em repouso na superfície de uma mesa, sobre uma das faces do eixo z. As tensões de saída dos amplificadores das três pontes, são zeradas através da compensação do desequilíbrio inicial. No instante T1, o sensor é segurado na mão pelas faces do eixo x e isto provoca uma tensão positiva representando a força de compressão. Durante este intervalo a tensão do canal z torna-se negativa e isto é provocado pelo desaparecimento da força de compressão no eixo z exercida pelo peso do sensor sobre a superfície da mesa. Quando o sensor é segurado pelas faces do eixo y (intervalo T3 - T4) e levantado da superfície da mesa um resultado semelhante é obtido. Durante o intervalo T5 - T6, a força é exercida nos dois pares de faces opostas dos eixos x e y. Estes resultados, no mínimo confirmam a operação satisfatória do sistema de telemetria.

CONCLUSÕES

O sistema de rádio-telemetria apresentado neste trabalho tem um alcance de alguns metros, que é suficiente para a aplicação a que se destina.

O uso do microcontrolador MC68HC11 no transmissor do sistema de telemetria permite a realização de várias tarefas (conversão analógico-digital de até 4 sinais, codificação do sinal correspondente à força de preensão, compensação automática do desequilíbrio inicial das pontes) em um circuito compacto, bem mais confiável e de baixo consumo elétrico.

Os experimentos preliminares realizados com este sensor e sistema de telemetria proposto, indicam que é perfeitamente viável usar este sistema no estudo dos mecanismos de regulação da mão humana pelo aspecto neurológico e funções motoras.

É interessante salientar que o microcomputador na parte de receptor pode ser substituído por um outro microcontrolador.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela conceção de bolsas de pesquisa durante a execução deste trabalho.

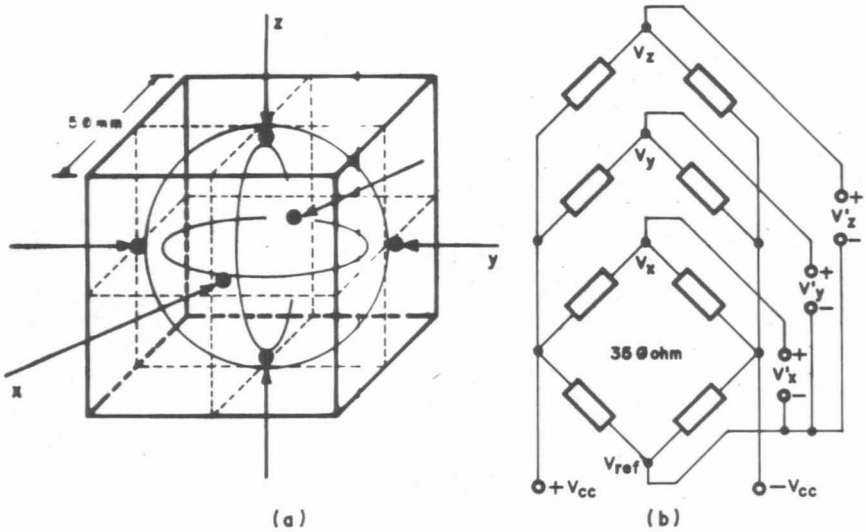

Figura 1: a - Sensor tridimensional de forças de preensão
b - Pontes de extensômetros.

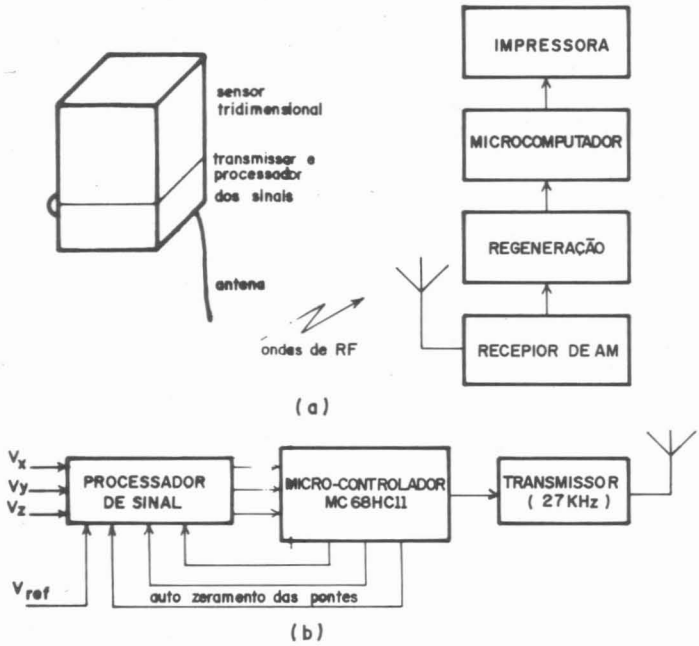

Figura 2: a - Diagrama de blocos do sistema de telemetria
b - Diagrama de blocos do transmissor e processador.

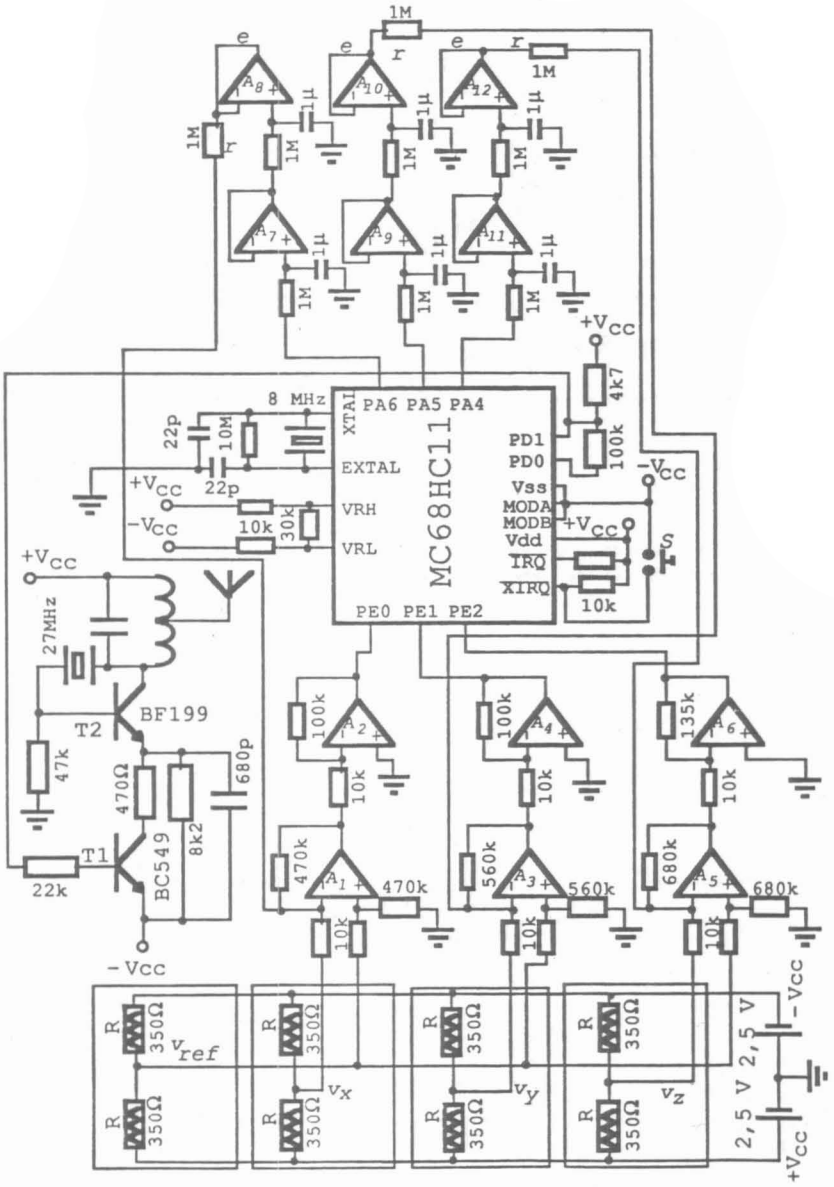

Figura 3. Circuito do sistema de telemetria.

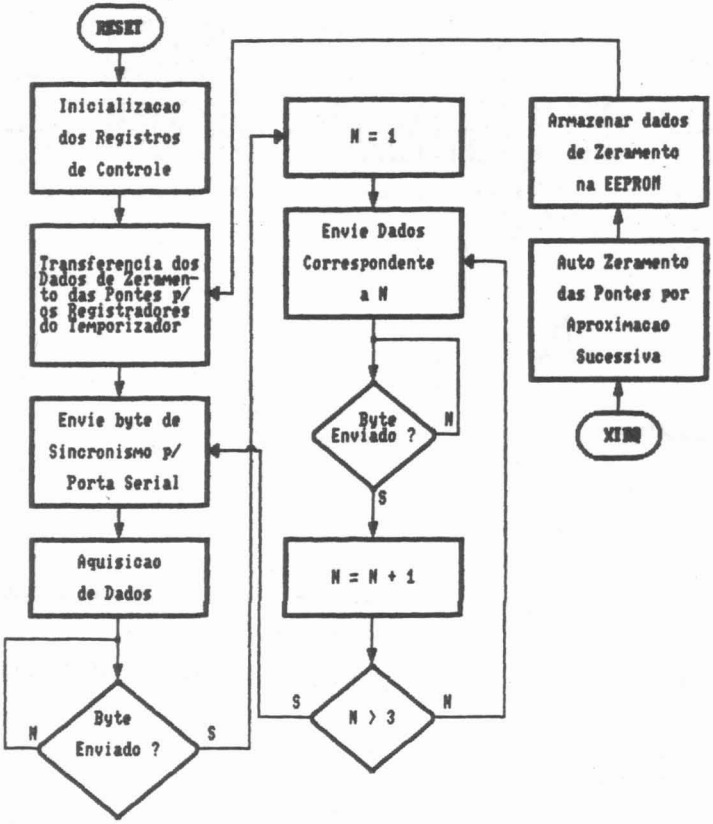

Figura 4. Fluxograma do sistema de radiotelemetria.

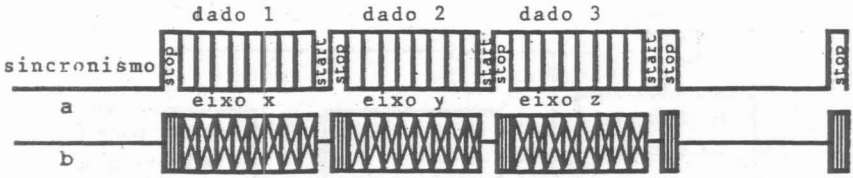

Figura 5. a - Dados na porta série do MC68HC11
b - Modulação OOK

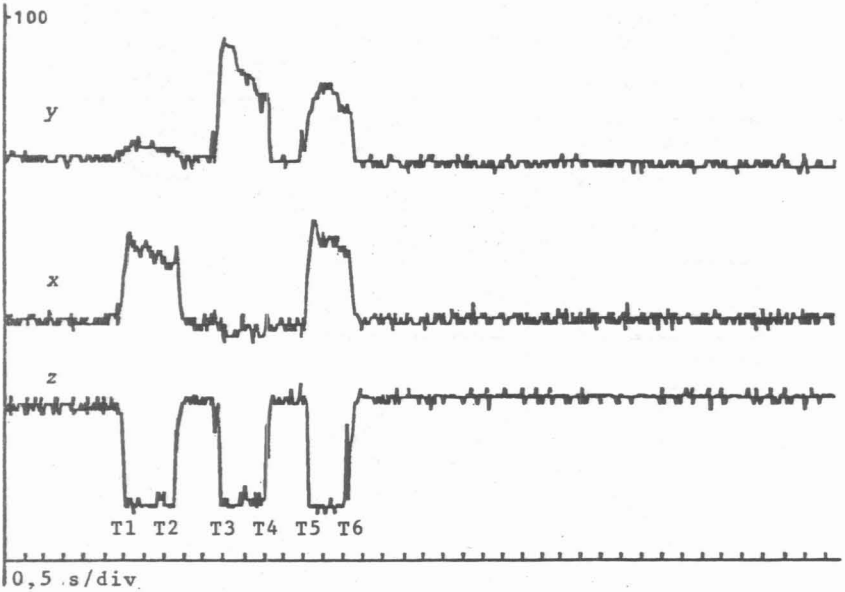

Figura 6. Curvas produzidas pelo microcomputador pessoal usando o sistema de radio-telemetria.

REFERÊNCIAS

FREIRE, R.C.S., e ABIGNOLI. M. (1986), "Auto-equilibragem em pontos de strain-gages"", Anais do 6º Congresso Brasileiro de Automática, novembro, Belo Horizonte, pp. 305-309.

FREIRE, R.C.S., MUHLEN, S.S., DEMORISE, J.C., ABIGNOLI, M. e YUROUD, E. (1988), "A Telemetry System Controlled by a Single-Chip Microprocessor", Anais do the 2nd International Conference on Electrical Drives, Poiana Brasov, Romênia, Vol. 1, pp.AP.2.1-AP.2.10.

FREIRE, R.C.S.(1988), Conception de Procedes de Telemesure:Application aux capteurs de Micro-Deplacements et de Micro-Deformations utilises dans les Domaines Industriels er Biomedicaux, Tese de Doutorado, INPL, França.

MARTINET, N.(1988), Conception, Realisacion et Experimentation d'un Capteur Tridimensionnel pour l'Etude Quantifiée de la Prehension, Tese de Doutorado em Medicina, Universitede Nancy I, França.

MOTOROLA (1988), MC68HC11 HCMOS Single Chip Microcontroller, Motorola Semiconductor, Phoenix, Estados Unidos.

A TRI-DIMENSIONAL GRIPPING FORCE TELEMETRIC SENSOR

A telemetry system to be used with a gripping force transducer employed in the physiological evaluation of the functions of a human hand is developed. The transducer is based on strain gages and the transmitter employs a microcontroller which, besides performing A/D conversion and coding of the input signal, also does the autocompensation of the initial unbalance of the Wheatstone bridges containing the force sensors. The resulting data is serially sent ou to an RF transmitter at a baud rate of 9600, employing OOK modulation.