

# SENSOR DE MOVIMENTO E VARIAÇÃO DE ÁREA POR IMAGEM COM APLICAÇÕES EM NEUROFISIOLOGIA

Wagner Leonardo Ferraz, Luciana Cristine da Silva e Hugo Vieira Neto

Departamento de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil

e-mail: hvieir@utfpr.edu.br

**Abstract:** This work presents an image processing system based on PIC microcontrollers, which is capable of detecting movement and area variations in specimens used for experiments in neurophysiology of animal behaviour. The proposed method presents several advantages when compared to conventional methods currently used. *Ex vivo* experimental results indicate the viability of the developed system for the desired application.

**Palavras-chave:** Processamento embarcado de imagens, registro de movimento e variação de área, neurofisiologia do comportamento animal.

## Introdução

O registro de movimentos biológicos é o método utilizado na pesquisa de neurofisiologia do comportamento animal, onde um padrão de comportamento é induzido por estímulos em laboratório. Em experimentos de aprendizado e memória ou na medida de dilatação superficial de músculo cardíaco, por exemplo, tornam-se relevantes as observações das reações físicas originadas por estímulos térmicos, químicos, mecânicos ou elétricos [1], que possibilitam quantificar e estudar tais fenômenos. A preparação em estudo – organismo animal ou músculo dissecado inserido em um recipiente com água e soluções químicas que prolongam seu tempo de vida – processa o estímulo em seu sistema nervoso e reage com atividades mecânicas em seu sistema efector, gerando um modelo de resposta característico do seu comportamento, conhecido como paradigma estereótipo. Pode-se citar como exemplo experimentos de estímulo de músculo de sapo, sístole/diástole de coração de rato e também a contração em minhocas e sanguessugas.

O mecanismo do paradigma de comportamento é estudado registrando-se as atividades elétricas de neurônios e células musculares com macro e microeletrodos, analisando-se o resultado em um osciloscópio [1, 2]. Atividades mecânicas geralmente são registradas por transdutores mecanoelétricos, que convertem a energia mecânica do movimento em um sinal elétrico, com a finalidade de possibilitar medidas quantitativas no osciloscópio. Um transdutor mecanoelétrico tradicional é ativado pela elongação de uma mola metálica ligada diretamente ao sistema efector da preparação. Os movimentos de contração e extensão do efector são então registrados como ondas positivas e negativas pelo osciloscópio, sendo que

os parâmetros analisados são a amplitude e a velocidade do movimento – ambos sofrem influência do amortecimento exercido pela mola dos transdutores mecanoelétricos convencionais.

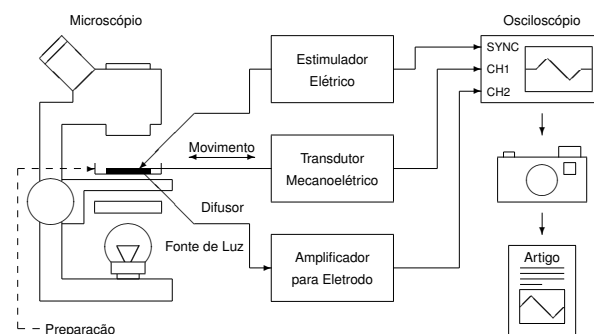


Figura 1: Sistema convencional de estimulação e registro.

A Figura 1 ilustra a composição de um sistema convencional de estimulação e registro com o uso um transdutor mecanoelétrico em uma preparação animal [3]. O estímulo e o sinal elétrico resultante do movimento do efector são registrados ao longo do tempo no osciloscópio, sendo que as formas de onda obtidas são comumente fotografadas para documentar o experimento. A varredura do osciloscópio é sincronizada com o início do estímulo, que também sincroniza o início da exposição do filme fotográfico ou outra forma de captura.

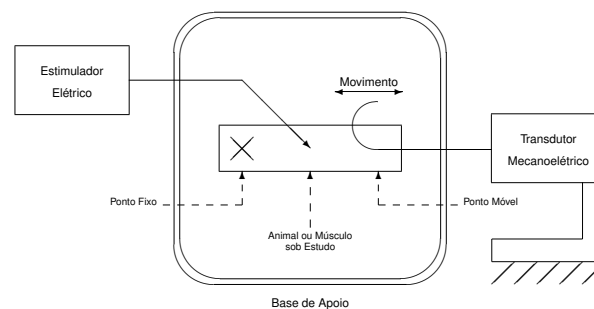


Figura 2: Detalhe da preparação sob o microscópio.

Uma representação esquemática da preparação vista pelo microscópio é dada na Figura 2, destacando-se a existência de um ponto fixo junto à base de apoio e um ponto móvel, onde um gancho liga a preparação ao transdutor, causando lesões que acabam por diminuir o tempo de vida do experimento. Este sistema permite apenas uma leitura unidirecional, longitudinal ao ani-

mal ou músculo em estudo, sendo que a mola exerce uma resistência contrária à contração muscular. Após o estímulo, a preparação não volta exatamente para o estado anterior, exigindo um processo de recalibração para um novo registro. Para evitar a interferência com o uso da mola, estuda-se maneiras alternativas de realizar o registro de movimento utilizando-se de sensores fotoelétricos [4].

A proposta deste trabalho é a de avaliar a viabilidade de capturar e quantificar a contração muscular do espécime em estudo a partir de imagens adquiridas por um sistema embarcado compacto e de baixo custo a ser acoplado diretamente ao microscópio da Figura 1, eliminando a interferência do transdutor mecanoelétrico. Pra tanto, propõe-se a realização de uma medida óptica da diferença entre a área de superfície da preparação antes e depois do estímulo, sem nenhum contato físico com a preparação.

**Materiais e Métodos**

O tipo de imagem a ser processada possui excelente contraste entre o objeto de interesse e o plano de fundo devido à utilização de um sistema de iluminação *back-light*, possibilitando o uso da técnica de limiarização [5]. A Figura 3 apresenta um exemplo de limiarização de uma imagem típica de preparação, onde observa-se que o objeto de interesse é completamente composto de *pixels* escuros, enquanto o plano de fundo é composto de *pixels* claros quase que em sua totalidade.

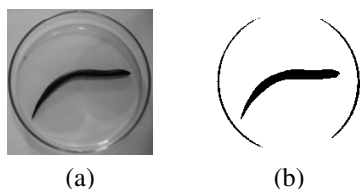


Figura 3: Exemplo de limiarização de uma imagem típica – (a) imagem original; (b) imagem limiarizada.

O método de detecção de movimento e variação de área proposto é bastante simples e consiste na contagem de *pixels* claros ou escuros em cada imagem adquirida. Uma simples subtração dos valores das contagens realizadas em quadros subsequentes revela a quantidade de movimento ou variação de área do espécime em estudo. A simplicidade do método permite que o mesmo seja implementado com microcontroladores simples, sem a necessidade de arquiteturas de alto desempenho (ARM ou DSP).

O diagrama em blocos do sistema de processamento de imagens implementado é mostrado na Figura 4, onde é realizado o interfaceamento de um módulo baseado no sensor de imagem OV6620 [6] a microcontroladores PIC18F252 [7]. O módulo sensor disponibiliza um barramento de 8 bits para transferência dos dados relativos à informação de luminância (Y7 a Y0) adquiridos pelo sensor, sincronizada pelo sinal *pixel clock* (PCLK). Os sinais de referência horizontal (HREF) e sincronismo vertical (VSYN) informam o microcontrolador de processa-

mento, através de interrupções, sobre o encerramento da transferência de linhas e quadros, respectivamente.

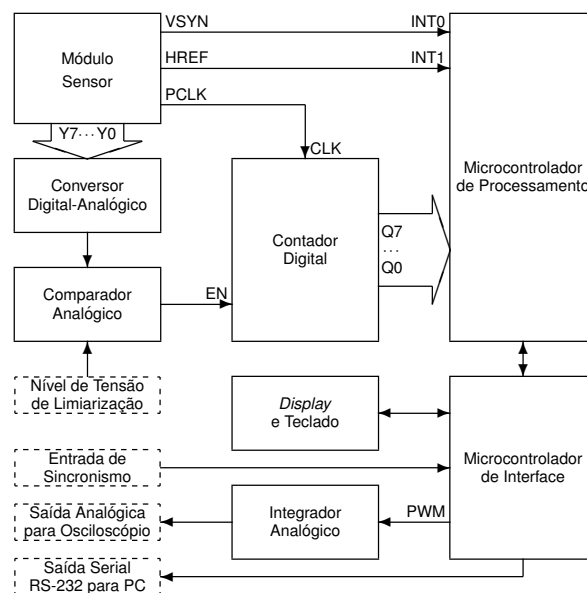


Figura 4: Diagrama em blocos do sistema sensor de movimento e variação de área por imagem.

A limiarização da imagem é realizada por um comparador analógico após a conversão D/A da informação de luminância proveniente do módulo sensor, sendo o nível de tensão de comparação ajustável por meio de um potenciômetro (ajuste de sensibilidade). A saída do comparador analógico habilita ou não um contador digital de 8 bits que recebe o sinal PCLK do módulo sensor, o que resulta na contagem de *pixels* claros de cada linha da imagem limiarizada.

A resolução máxima do sensor é de  $352 \times 288$  *pixels*, mas o sinal PCLK é dividido por dois antes de ser aplicado ao contador digital para que não ocorra estouro na contagem, resultando numa resolução máxima efetiva de  $176 \times 288$  *pixels*. O sinal HREF gera uma interrupção indicando ao microcontrolador de processamento que a leitura da contagem de *pixels* claros da linha atual deve ser realizada. A totalização da contagem de *pixels* claros por quadro ocorre por *software* e é sincronizada pela interrupção gerada pelo sinal VSYN. A taxa de transferência de imagens do sensor é programada para 50 quadros por segundo, correspondendo a uma amostra de movimento ou variação de área a cada 20ms. Maiores informações técnicas sobre a implementação de *hardware* e *software* são dados com riqueza de detalhes em [8].

A alta taxa de transferência de dados e o seu processamento em tempo real pelo microcontrolador de processamento tornaram necessária a inclusão de um segundo microcontrolador de interface, responsável pela comunicação do sistema com o mundo externo. Esse segundo microcontrolador provê uma interface homem-máquina na forma de um *display* alfanumérico e um teclado simples, além de receber a entrada de sincronismo do estimulador elétrico e de gerar a saída analógica para o osciloscópio, mantendo a compatibilidade com a forma de realização dos experimentos de neurofisiologia do

comportamento animal atualmente adotada. Além disso, o sistema disponibiliza ainda uma saída serial no padrão RS-232, que possibilita a transferência dos dados registrados para um microcomputador pessoal, e uma saída de vídeo composto no padrão RS-170 (esta última não representada na Figura 4), que possibilita a visualização das imagens em um monitor de vídeo em tempo real.

O algoritmo que é executado no microcontrolador de processamento armazena as contagens de *pixels* claros de cada quadro proveniente do módulo sensor, linha a linha, realizando o somatório das diferenças entre quadros subsequentes conforme equações 1 e 2:

$$\text{Se } (c_i - p_i) > 0, \text{ então } S_P = S_P + (c_i - p_i); \quad (1)$$

$$\text{Se } (c_i - p_i) < 0, \text{ então } S_N = S_N + (p_i - c_i), \quad (2)$$

onde  $c_i$  é a contagem de *pixels* claros da linha  $i$  do quadro corrente,  $p_i$  é a contagem de *pixels* claros da linha  $i$  do quadro prévio,  $1 < i < 288$ ,  $S_P$  é o somatório das diferenças positivas entre quadros e  $S_N$  é o somatório das diferenças negativas entre quadros, sendo que  $S_P$  e  $S_N$  são zerados ao início de cada quadro. No caso de  $c_i = p_i$  não há variação de área ou movimento entre os quadros na linha  $i$ .

A medida de movimento  $M$  entre quadros subsequentes é dada por:

$$M = S_P + S_N, \quad (3)$$

sendo o movimento relativo  $M_R$  entre quadros subsequentes dado por:

$$M_R = \frac{M}{N} \times 100\%, \quad (4)$$

onde  $N = 176 \times 288 = 50688$  (total de *pixels* por quadro).  $M_R$  varia entre 0 e 100%.

A medida de variação de área  $\Delta A$  entre quadros subsequentes é dada por:

$$\Delta A = S_P - S_N, \quad (5)$$

sendo a variação relativa de área  $\Delta A_R$  entre quadros subsequentes dada por:

$$\Delta A_R = \frac{\Delta A}{N} \times 100\%, \quad (6)$$

onde  $N = 176 \times 288 = 50688$  (total de *pixels* por quadro).  $\Delta A_R$  varia entre -100 e 100%.

**Resultados**

Foram realizados experimentos para determinar a fidelidade dos valores registrados pelo sistema aos eventos físicos que os originaram, permitindo a comprovação de que o sistema apresenta uma solução aceitável para o problema em questão. Como existe a necessidade de antever os resultados esperados para poder compará-los aos resultados práticos obtidos, foram utilizadas imagens de formas geométricas bidimensionais simples (Figura 5), cujas áreas podem ser facilmente calculadas e posteriormente comparadas aos valores registrados pelo sistema implementado.

Os experimentos *ex vivo* foram divididos em quatro etapas: a) teste estático, b) teste dinâmico, c) teste de detecção de movimento e d) teste de variação de área.

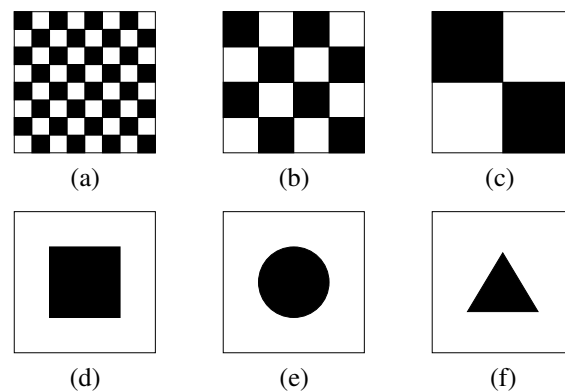


Figura 5: Imagens utilizadas para os experimentos *ex vivo*.

**Teste Estático** – Para a execução do teste estático foram utilizadas todas as imagens da Figura 5, que foram impressas e posicionadas sob o sensor a uma distância fixa (24,5cm) de modo a cobrir todo o seu campo visual. A lente do sensor foi inicialmente bloqueada, de maneira a iniciar a captura de um evento com valor nulo, e posteriormente desbloqueada para que o sistema pudesse calcular a variação de área totalmente escura para a área escura da imagem de teste em questão. O tempo de captura foi de 3 segundos por imagem, suficiente para a estabilização dos valores medidos, que são listados na Tabela 1, juntamente com os valores teóricos esperados e a exatidão das respectivas medidas. Para este teste não importa se o sistema está configurado como sensível movimento ou a variação de área, pois todas as exposições são estáticas e realizadas a partir de uma situação de escuro total – apenas o momento de transição é considerado.

Tabela 1: Resultados do teste estático.

Imagem	Valor Esperado	Valor Medido	Exatidão
Figura 5a	48,98%	51,64%	94,57%
Figura 5b	48,98%	49,04%	99,88%
Figura 5c	48,98%	48,60%	99,22%
Figura 5d	72,22%	68,90%	95,40%
Figura 5e	76,52%	75,01%	98,03%
Figura 5f	87,53%	86,26%	98,55%

**Teste Dinâmico** – No teste dinâmico é analisada a capacidade do sistema em perceber que não existe a variação de área de um objeto em foco, embora exista o movimento da imagem. Neste caso, o sistema foi configurado como sensível a variação de área e foi mantida a mesma distância entre a imagem de teste e o sensor utilizada no teste estático (24,5cm). Foram utilizadas apenas as imagens (d), (e) e (f) da 5, porém impressas sem suas molduras. O procedimento adotado para este teste leva em consideração que a imagem de teste seja movimentada dentro do limite do campo visual do sensor, ou seja, o desenho apenas se desloca no plano da base não havendo alteração em suas dimensões. Portanto, a resposta esperada para todos os casos é igual a zero. O período de captura de cada evento foi ajustado para 1 segundo por imagem, sendo cada uma delas deslocada no sentido diagonal do campo visual, sem exceder seus limites. Os resultados obtidos podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 2: Resultados do teste dinâmico.

Imagem	Valor Esperado	Valor Medido	Exatidão
Figura 5d	0,00%	2,93%	97,07%
Figura 5e	0,00%	2,55%	97,45%
Figura 5f	0,00%	0,82%	99,18%

**Teste de Detecção de Movimento** – Este teste verifica o movimento de um objeto em foco. Para tanto, foi utilizada apenas a imagem (d) da Figura 5 sem a moldura. Inicialmente, a imagem captada pelo sensor foi completamente clara, sendo a imagem de teste gradualmente inserida e logo depois removida do campo visual do módulo sensor. O gráfico registrado pelo sistema, configurado para detecção de movimento, pode ser observado na Figura 6. Neste caso, é calculado o módulo da variação de área e tanto o evento de inserção quanto o de remoção do objeto resultam em valores positivos. Observa-se na Figura 6 que a área sob o gráfico em torno de ambos os pontos de maior amplitude é proporcional à área do objeto. Entretanto, percebe-se que seus formatos são diferentes, assim como seus pontos amplitude máxima. Isto ocorre devido à diferença de velocidade de deslocamento da imagem de teste, que foi inserida com uma velocidade mais lenta do que retirada, demonstrando assim mais uma característica do sistema: a capacidade de determinar o tempo de duração de um evento – uma contração muscular por exemplo – e sua intensidade, representada pela área sob o gráfico de cada evento isolado.

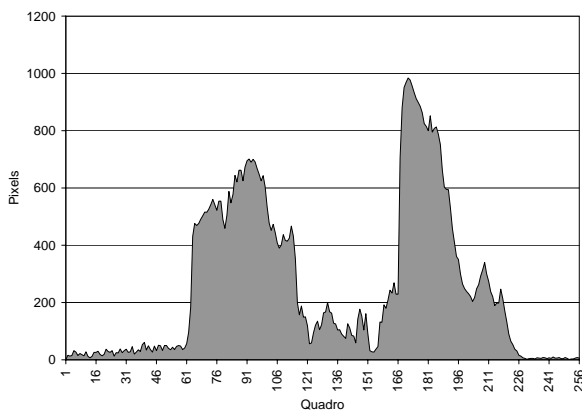


Figura 6: Resultados do teste de detecção de movimento.

**Teste de Variação de Área** – Alterando a configuração do sistema para variação de área e variando a distância entre o papel impresso e o módulo sensor, foi possível simular a variação de área do objeto. O resultado obtido neste experimento é representado graficamente na figura 7. Inicialmente a figura do quadrado estava próxima o suficiente para tornar a imagem adquirida totalmente escura. Conforme a imagem de teste foi afastada do sensor, a área de pixels claros aumentou e formou o primeiro pico (positivo) do gráfico. Ocorreu uma breve pausa quando o papel encontrava-se junto à base do experimento. Finalmente, o papel foi aproximado novamente do módulo de imagem, provocando um aumento da quantidade de pixels escuros e gerando o segundo pico (negativo) do gráfico. Observa-se que o valor da área sob

a região positiva do gráfico é bem próximo do valor da área sob a região negativa, pois representam decréscimo e acréscimo de área de um mesmo objeto, respectivamente.

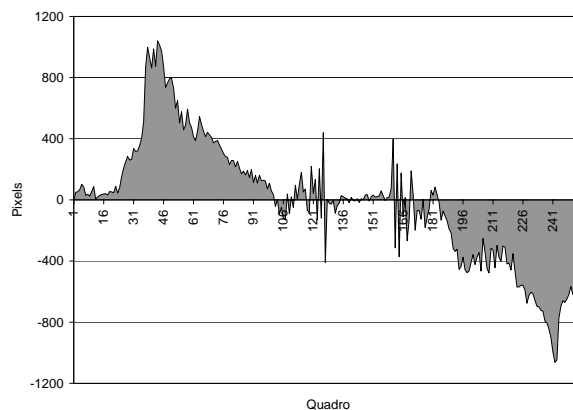


Figura 7: Resultados do teste de variação de área.

**Discussão**

Sobre os resultados apresentados deve ser observado o seguinte detalhe: o correto ajuste da sensibilidade (limiar de binarização) é decisivo para uma captura coerente das imagens, pois se este for muito baixo aumentará demasiadamente a área escura detectada e se for muito alto diminuirá demasiadamente esta área. O ajuste de sensibilidade ideal foi obtido em um ponto levemente mais sensível que o ponto de maior nitidez da imagem limiarizada – este ponto ocorre quando é percebido o chamado ruído de limiarização nas bordas do objeto em análise.

Os resultados quantitativos do teste estático (Tabela 1) revelam exatidão variando de 94,57% a 99,88% nas medidas de área, com média de 97,61% ± 2,14%. Já os resultados quantitativos do teste dinâmico (Tabela 2) revelam exatidão variando de 97,07% a 99,18% nas medidas de movimento, com média de 97,90% ± 0,65%. Considera-se que a exatidão obtida nestes testes é bastante adequada para a aplicação em questão, sendo as pequenas discrepâncias entre valores medidos e esperados atribuídas principalmente à influência da iluminação externa no arranjo experimental.

Nos testes finais (Figuras 6 e 7) não foi considerada a exatidão dos valores obtidos, mas sim a capacidade de distinção entre detecção de movimento e variação de área. Com base nas informações qualitativas destes testes foi possível comprovar a eficácia do método proposto na determinação do movimento e da variação de área de um objeto em uma imagem bidimensional.

**Conclusão**

O método proposto mostra-se aplicável a experimentos na área de neurofisiologia do comportamento animal com a vantagem de não necessitar de contato físico com a preparação, permitindo assim a aquisição de dados livres de off-set e com ajuste de sensibilidade. Além disso, o sistema implementado torna possível a análise posterior dos



resultados através do armazenamento dos dados adquiridos, que podem ser transferidos a um computador pessoal ou reproduzidos na sua saída analógica para visualização em um osciloscópio.

Foi obtida uma exatidão média de cerca de 97% nas medidas realizadas com o sistema implementado, o que é considerado aceitável em comparação aos métodos convencionais eletromecânicos de aquisição de dados. Para maximizar a exatidão das medidas, o plano de fundo das imagens deve permanecer estático durante a captura de um evento e o objeto em foco deve formar uma sombra única, pois áreas fracionadas aumentam o erro das medidas devido ao modo como os cálculos são realizados pelo sistema (diferenciação da contagem de *pixels* de quadros subsequentes linha a linha).

O ajuste de sensibilidade deve ser realizado em conjunto com a observação das imagens do experimento em um monitor de vídeo, de forma a garantir a obtenção de um ponto de operação adequado, resultando em pouco ruído de limiarização nas bordas do objeto em foco e melhorando sensivelmente a resposta do sistema. A iluminação da preparação deve ser do tipo *backlight* e ter intensidade constante, pois variações de intensidade luminosa causam variações no ponto ótimo de limiarização e conseqüentemente aumentam o erro das medidas.

Trabalhos futuros envolvem a realização de experimentos *in vivo* para a comparação dos desempenhos do método proposto e do método convencional.

## Referências

- [1] Erlanger, J., Gasser, H. S. (1937), *Electrical Signs of Nervous Activity*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- [2] Bureš, J., Petrán, M., Zachar, J. (1960), *Electrophysiological Methods in Biological Research*. Prague: Publishing House of The Czechoslovak Academy of Sciences.
- [3] Chang, Y. C., Ferraz, W. L. (1999), Transdutor mecanoelétrico, modelo TME-ISBM-D. In: *Anais da XXI Reunião Anual da Federação de Sociedades de Biologia Experimental*, Caxambu.
- [4] Chang, Y. C., Ferraz, W. L. (2006), Transdutor mecanoelétrico, modelo TME-ISBM-D1, de registro sem interferência da mola do aparelho. In: *Anais da XXI Reunião Anual da Federação de Sociedades de Biologia Experimental*, Águas de Lindoia.
- [5] Marques Filho, O., Vieira Neto, H. (1999), *Processamento Digital de Imagens*. Rio de Janeiro: Brasport.
- [6] Omnivision (1999), *OV6620 Datasheet: Single Chip CMOS CIF Color Digital Camera*. Omnivision Technologies Inc., Sunnyvale.
- [7] Microchip (2006), *PIC18FXX2 Data Sheet: High-Performance, Enhanced Flash Microcontrollers with 10-Bit A/D*. Microchip Technology Inc., Arizona.
- [8] da Silva, L. C., Ferraz, W. L. (2010), Sensor de movimento por imagem com aplicações em neurofisiologia. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.