

SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMENTO COM SENSORES INFRAVERMELHO

Tiago Miziara Sisto¹; Eduardo Lobo Lustosa Cabral²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Sistemas de captura e análise de movimento têm o objetivo de registrar o movimento de uma pessoa, um animal, ou mesmo um objeto e reconstruir a sua trajetória no espaço. Em razão do grande número de aplicações esses sistemas têm sido cada vez mais utilizados nas mais diversas áreas, incluindo: medicina esportiva, fisioterapia, indústria de entretenimento (vídeo games, filmes, animação etc) e medicina veterinária. Diferentes tecnologias são utilizadas atualmente nos sistemas de captura de movimento, sendo que as mais comuns são: câmeras digitais, sensores eletromagnéticos, sensores inerciais, dispositivos eletromecânicos e sistemas acústicos. Esse projeto consiste no desenvolvimento e análise da operação de um par emissor-receptor de luz infravermelha com capacidade de medir a distância entre os dois. A análise da operação do par tem a finalidade de determinar os seus limites de operação (intervalo de distâncias capaz de ser medido e frequência de operação). Esse par emissor-receptor infravermelho pode ser utilizado futuramente em um sistema de captura de movimento.*

Introdução

Os sistemas utilizados na mensuração e análise de movimento também são conhecidos como sistemas de captura e análise de movimentos (SCAM). Sistemas de captura e análise de movimento têm o objetivo de registrar o movimento de uma pessoa, um animal, ou mesmo um objeto e reconstruir graficamente sua trajetória no espaço bidimensional ou tridimensional. Em razão do seu grande número de aplicações esses sistemas têm sido cada vez mais utilizados nas mais diversas áreas, incluindo: a medicina esportiva, a fisioterapia, a indústria de entretenimento (vídeo games, filmes, animação etc) e a medicina veterinária. Entre as inúmeras aplicações de um SCAM destacam-se, por exemplo: estudo e análise dos movimentos de um atleta para melhorar o seu desempenho; análise de movimentos de indivíduos com lesões causadas por práticas esportivas; identificação precoce de características especiais em animais; criação de um ambiente de realidade virtual para jogos de vídeo game ou mesmo reabilitação física; e animação realística de personagens de desenho animado (pessoas, animais e objetos).

O processo de captura de movimento de pessoas e animais consiste em obter os movimentos que são realizados a todo instante de tempo por um indivíduo ou um grupo de indivíduos. Pode-se capturar o movimento de corpo inteiro, ou simplesmente o movimento de uma parte do corpo, tal como, o movimento da face, ou das mãos e dedos. Os sistemas de captura de movimento também podem ser utilizados para capturar o movimento de objetos. Em geral a captura de movimentos é realizada em um ambiente controlado. Diversos tipos de tecnologia são utilizadas atualmente nos sistemas de captura de movimento, as mais comuns são: sistema de câmeras, sistema de sensores eletromagnéticos, sistema de sensores inerciais, dispositivos eletromecânicos e sistemas acústicos.

Objetivos

O objetivo desse projeto é analisar a tecnologia de sensores infravermelhos para ser utilizada em um sistema de captura de movimento. Assim, faz parte dos objetivos desse projeto desenvolver um hardware eletrônico que consiste em um conjunto emissor-receptor de infravermelho com a função de medir a distância entre os dois. Esse hardware é baseado em um micro-processador e, portanto, é também objetivo desse projeto desenvolver o seu software de controle.

Com o hardware desenvolvido serão realizados testes para se determinar o intervalo de distâncias mínima e máxima possível de ser medido e a frequência máxima com que é possível obter as medidas de distâncias entre um emissor e um receptor. Esses dois parâmetros permitem verificar a qualidade de um sistema de captura de movimento e as suas possíveis aplicações.

Ressalta-se que não é objetivo desse projeto desenvolver um sistema de captura de movimento baseado na tecnologia de luz infravermelha.

Justificativas

A maior parte dos sistemas atuais não consegue capturar movimentos com alta frequência e com um grande número de marcas. Dessa forma, os dispositivos baseados em luz infravermelha são uma boa alternativa porque são capazes de operar em alta frequência e porque os emissores são de tamanho reduzido, permitindo o uso de uma grande quantidade dos mesmos. Ressalta-se que os emissores de infravermelho são *leds*. Além disso, os dispositivos de luz infravermelha apresentam tecnologia simples, baixo custo, facilidade de uso e boa adaptação.

A determinação dos limites mínimo e máximo das distâncias que o par emissor-receptor pode medir e da frequência de operação do par emissor-receptor permite verificar a qualidade de um sistema de captura de movimento baseado nessa tecnologia.

Material e Métodos

Sistemas existentes

Os sistemas acústicos são sistemas baseados na tecnologia acústica (Prinz, 1997) e geralmente empregam transdutores de ultra-som na aquisição dos dados do movimento. Nesses sistemas utilizam-se pares emissor/receptor onde geralmente os transmissores encontram-se fixos nas principais articulações do ator enquanto que os receptores (geralmente quatro) são posicionados no ambiente de captura. Os emissores são sequencialmente acionados para produzir sinais sonoros característicos que serão captados pelos receptores, que então por meio de um processo de triangulação calculam a posição de cada emissor. Utilizando como dado o tempo decorrido entre a emissão do sinal pelo emissor e o seu recebimento pelo receptor (no caso do ultra-som levando-se em conta a velocidade do som no ambiente), consegue-se calcular a distância percorrida pelo som do emissor até cada um dos quatro receptores. Com pelo menos quatro distâncias do emissor a quatro receptores é feito o processo de triangulação (Avidan & Shashua, 2000) obtendo-se a posição do emissor no espaço. Um dos problemas dos sistemas acústicos é a dificuldade de se obter uma descrição correta dos dados num instante desejado devido ao caráter sequencial do disparo dos emissores. Além disso, nos sistemas acústicos o número de emissores utilizados é limitado e esta tecnologia está sujeita a problemas de reflexões do som que podem afetar a qualidade dos dados. Como vantagem, esse tipo de sistema não possui problemas de oclusão, típico de sistemas ópticos e interferência por objetos metálicos percebido em sistemas magnéticos.

Nos sistemas eletromecânicos são empregados sensores de posição angular, em geral utilizam-se potenciômetros, posicionados nas articulações de uma estrutura mecânica fixa no corpo do ator. Na medida em que a estrutura mecânica se movimenta junto com o ator os sensores fornecem a posição angular de cada articulação do corpo com uma taxa de amostragem desejada. A grande desvantagem desse tipo de sistema é que estrutura mecânica fixa no corpo do ator forma uma “armadura” que dificulta o seu movimento.

Os sistemas que utilizam sensores inerciais, conforme descrito por Flavel et al (2002), são capazes de obter diretamente a posição e velocidades linear de cada sensor fixo no corpo do ator. Os dados cinemáticos obtidos de cada ponto dependem dos sensores utilizados, em geral utilizam-se acelerômetros, mas também se pode utilizar um conjunto de acelerômetros e giroscópios, permitindo nesse caso obter não somente a posição e velocidade lineares como também a posição e velocidade angulares de cada ponto do corpo instrumentado. A vantagem desse tipo de sistema reside no fato de que eles não exigem muita capacidade computacional o que facilita o projeto de um sistema que opera em tempo real, além de exigirem pouca ou nenhuma calibragem. Eles também apresentam custo acessível, mas tem a desvantagem de serem obtrusivos ao movimento.

Os sistemas magnéticos (Yoon *et al.*, 2006) caracterizam-se pela velocidade de processamento na estimativa do movimento, sendo possível obter taxas de amostragem de até 500Hz. Neste tipo de método, emprega-se um conjunto de sensores que são posicionados nas articulações do ator. Tais sensores medem a posição 3D e orientação das articulações em relação a uma antena transmissora, que emite um sinal de pulso. Os sistemas magnéticos são mais acessíveis em termos de custo. A maior desvantagem desse método é a interferência causada por objetos metálicos próximos ao local de captura. Sua exatidão é também fortemente influenciada pela distância entre a antena e os sensores (Richards, 1999). Mesmo assim, esse método apresenta uma das melhores precisões.

Os sistemas baseados em infravermelho empregam emissores e receptores infravermelho para a aquisição dos dados do movimento. Nesses sistemas utilizam-se transmissores que se encontram fixos nas principais articulações da pessoa enquanto que os receptores são posicionados no ambiente de captura. Os receptores capturam os sinais emitidos pelos emissores e por meio da mudança de fase entre os sinais emitidos e recebidos calculam a distância entre o emissor e o receptor. Tendo a informação de distância entre o emissor e pelo menos três receptores, por meio de um processo de triangularização calcula-se a posição do emissor no espaço. As vantagens desse tipo de sistema é a possibilidade de captura de movimentos em alta frequência e a pouca interferência da luz visível. Contudo, esses sistemas têm a desvantagem dos emissores poderem ficar oclusos em relação aos receptores pelo corpo do próprio ator.

Nos sistemas óptico-eletrônicos são utilizadas câmeras de vídeo em conjunto com marcadores fixos ao corpo do ator. Nesse caso são fixados nas principais articulações do ator marcadores que se destacam na cena através de seu contraste de cor e câmeras de vídeo são utilizadas para registrar o movimento desses marcadores. As câmeras são posicionadas estrategicamente no espaço para permitir o rastreamento dos marcadores durante o movimento do ator. As imagens dos marcadores são analisadas por um programa de computador que rastreia a posição dos marcadores nas imagens geradas pelas câmeras. Em seguida, outro programa analisa a variação das posições de cada marcador e por meio de um conjunto de formulações matemáticas reconstrói-se a trajetória de cada marcador no espaço tridimensional. Os sistemas ópticos têm custo elevado do que os demais sistemas que empregam outros métodos em razão da alta

tecnologia utilizada no processo. As câmeras são de alta resolução e alta velocidade e os programas de análise dos dados são complexos e, assim, o seu desenvolvimento é muito caro. Sua vantagem é a liberdade de movimentação oferecida ao ator durante a execução do movimento, já que os marcadores não oferecem resistência aos seus movimentos. Outra vantagem desse método é não existir um limite para o número de marcadores posicionados no ator, o que permite alcançar um maior nível de detalhe na representação dos movimentos. No geral, esse método apresenta a mesma precisão dos sistemas que utilizam o método magnético (Hassan *et al.*, 2007). Esses sistemas apresentam algumas desvantagens, tais como: necessitam de um programa para calcular as coordenadas tridimensionais dos marcadores, o que pode dificultar a reconstrução do movimento em tempo real, e a possibilidade de ocorrer oclusão de marcadores durante o processo de captura, dificultando a reconstrução da trajetória de partes do corpo do ator.

Estudo teórico

Essa seção descreve com detalhes a luz infravermelha e as formas de gerar e detectar esse tipo de luz.

A quantidade de energia de uma onda luminosa está relacionada ao seu comprimento de onda, assim, comprimentos de onda mais curtos possuem maior energia. Na luz visível o violeta possui mais energia e o vermelho possui menos. A Figura 1 apresenta o espectro da luz visível e de regiões próximas ao visível. Observa-se que o espectro infravermelho se encontra próximo do espectro da luz visível.

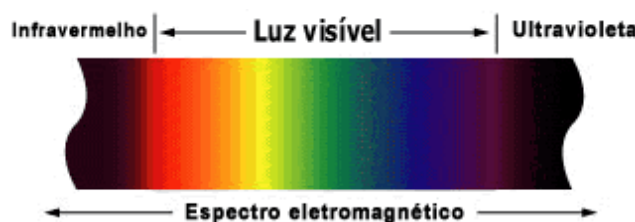


Figura 1. Espectro da luz visível.

A frequência das ondas infravermelhas varia entre 300 GHz ($1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$) e 300 THz ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hertz}$). A luz infravermelha pode ser dividida em três categorias, como segue:

- Infravermelho próximo (IV próximo): é a região do espectro infravermelho mais próximo da luz visível, com comprimento de onda variando de 0,7 a 1,3 microns ou de 700 a 1.300 bilionésimos de metro;
- Infravermelho médio (IV médio): a região do IV médio possui comprimentos de onda que variam de 1,3 a 3 microns. Tanto o IV próximo quanto o IV médio são usados em uma grande variedade de dispositivos eletrônicos, incluindo os controles remotos;
- Infravermelho térmico (IV térmico): essa região ocupa a maior parte do espectro infravermelho, com comprimentos de onda na faixa de 3 microns até mais de 30 microns.

A diferença fundamental entre o IV térmico e os outros dois é que o IV térmico é emitido por um objeto em vez de ser refletido por ele. A luz infravermelha é emitida por um objeto como consequência do que ocorre no nível atômico das substâncias que compõem o objeto.

Concepção do sistema de captura de movimento

O sistema de captura de movimento desenvolvido nesse trabalho consiste de um conjunto de emissores e receptores de luz infravermelho. Os emissores ficam fixos no objeto do qual se deseja capturar o movimento e os receptores ficam fixos no ambiente. As posições dos receptores em relação a um sistema de coordenadas global são conhecidas.

Os emissores consistem de um circuito eletrônico com um *led* infravermelho que emite luz na forma de um trem de pulsos com uma frequência determinada quando acionado por um sinal de controle. Os receptores consistem de um circuito eletrônico com um foto-receptor sensível à luz infravermelha, que capta o sinal emitido pelo emissor e converte as variações do feixe de luz em variações de corrente elétrica.

A posição no espaço de cada emissor é calculada por um processo de triangularização. Assim, o sinal emitido por um emissor é detectado por vários receptores. Observa-se que pelo menos quatro receptores devem captar o sinal do emissor para ser possível calcular a posição do emissor. A triangularização é realizada usando-se equações da geometria que fornecem a distância entre dois pontos no espaço, sendo que esses dois pontos são a posição do emissor e a posição de cada receptor. As distâncias entre o emissor e os receptores são calculadas pelas diferenças de fase do sinal do emissor recebidos pelos receptores. O sinal emitido pelo emissor é captado por pelo menos quatro receptores em diferentes instantes de tempo. A diferença de tempo de recepção nos quatro receptores informa a diferença na distância percorrida pelo sinal para atingir cada receptor. Como as posições dos receptores são conhecidas pode-se, por meio da diferença de fase entre os quatro sinais, calcular a posição do emissor e também a sincronização do relógio do emissor com o relógio dos receptores, evitando-se a necessidade de sincronização temporal dos emissores e receptores.

Para realizar a triangularização e, assim, calcular a posição no espaço dos emissores, além dos circuitos emissores e receptores, o sistema de captura de movimento necessita de um circuito eletrônico para calcular as diferenças de fase dos sinais captados pelos emissores. Nota-se que a diferença de fase é proporcional ao tempo de viagem do sinal que é por sua vez proporcional à distância percorrida, dessa forma, conhecendo-se a frequência do sinal e a velocidade de propagação do mesmo é possível calcular as distâncias de cada receptor ao emissor. As diferenças de fase devem ser calculada por um circuito eletrônico para evitar erros de quantização. As diferenças de fase obtidas pelo circuito detector de fase são então adquiridas em um microprocessador, que realiza os cálculos necessários para obter a posição dos emissores.

O sinal emitido pelos emissores consiste em uma trem de pulsos. A frequência desse sinal depende do intervalo de distâncias que se deseja medir. Assim, se for desejado medir distâncias de até 10 metros, então o comprimento da onda emitida deve ser de no mínimo 20 metros para evitar ambigüidade. Como $f = \lambda/c$ (onde f é a frequência da onda, λ é o comprimento de onda e c é a velocidade da luz no ar) então, para $\lambda = 20\text{m}$, f deve ser igual a 15 MHz.

Ressalta-se que nesse trabalho foram desenvolvidos somente os circuitos eletrônicos dos emissores e dos receptores, que estão descritos a seguir.

Circuito emissor

O circuito elétrico dos emissores é composto por um diodo emissor de infravermelho (*led*), um transistor, uma fonte de tensão, resistores e um sinal de controle, como mostra a Figura 2.

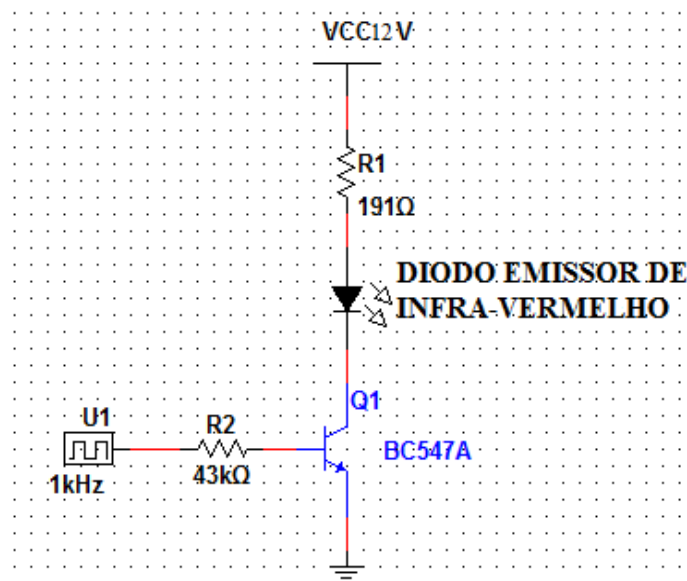


Figura 2. Circuito elétrico do hardware do emissor.

O sinal de controle é gerado por microprocessador. Esse sinal consiste de uma onda quadrada com largura de pulso de 1 ms. A corrente gerada no microcontrolador é muito baixa e, portanto, não tem potência suficiente para acionar o *led* de infravermelho. Assim, foi utilizado um transistor para amplificar essa corrente, como mostra o circuito da Figura 2. A distância que a luz emitida pelo *led* emissor alcançada depende da corrente que passa por esse *led*, assim, quanto maior a corrente maior a distância alcançada. Para se calcular distâncias em um intervalo de 0 a 5 metros a corrente necessária é da ordem de 1A.

As características do led utilizado no circuito são: tensão reversa 5 V; corrente de pico (300 pps, 1 ms) 3A; corrente direta 50 mA; e potência de dissipação 100 mW. Para controlar o circuito foi utilizado um microcontrolador Arduino modelo MEGA. O software para acionar o circuito foi desenvolvido em linguagem C e está apresentado na Figura 3.

```
int ledPin = 13;
void setup()
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  delay(1); // espera 1 ms.
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  delay(1); // espera 1 ms.
}
```

Figura 3. Software de controle do circuito emissor.

Circuito receptor

O circuito elétrico dos receptores é composto por um fototransistor de silício, um resistor, um transistor e fonte de tensão. A Figura 4 apresenta um esquema desse circuito.

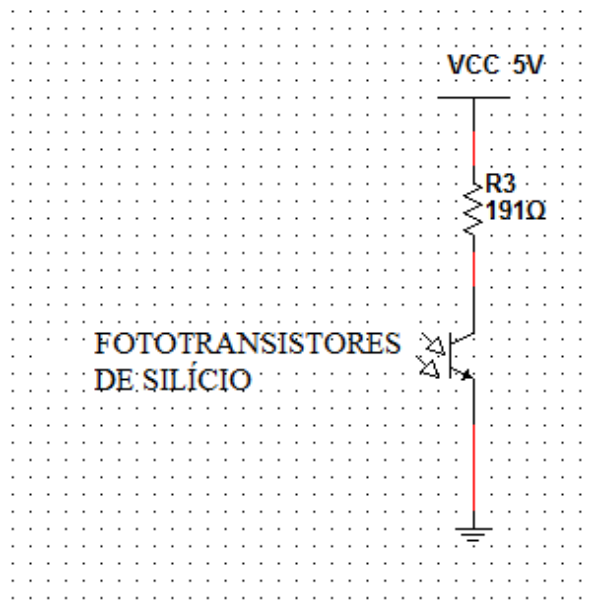


Figura 4. Circuito elétrico do hardware do receptor.

As características do fototransistor utilizado no circuito são: tensão coletor-emissor 30 V; tensão emissor-coletor 5 V; corrente de coletor 100 mA; potência de dissipação 100mW.

Resultados e Discussão

Foi montado um par emissor-receptor para testar o funcionamento do processo e verificar os limites de distância e frequência que o sistema pode trabalhar.

Por meio de testes com o par verificou-se que:

- Quanto maior a frequência utilizada para acionar o *led* do emissor, maior a corrente que pode passar pelo *led* e, conseqüentemente, maior a distância que emissor e receptor por estar entre si;
- A distância máxima capaz de ser detectada é de aproximadamente 10 m;
- Não se tem uma distância mínima limite;
- A frequência mínima do sinal emitido para o qual o par é capaz de operar é da ordem de 1kHz;
- Não podem existir barreiras entre o emissor e os receptores e os dois precisam estar alinhados para que o sinal emitido seja detectado.

Conclusões

Os objetivos desse trabalho foram alcançados, ou seja, foi desenvolvido (projetado e montado) e testado com sucesso um par emissor-receptor para ser utilizado em um sistema de captura de movimento. Observa-se porém, que esse sistema possui algumas desvantagens, tais como, oclusão do receptor por obstáculos e necessidade de alinhamento entre o emissor e o receptor. Esses aspectos negativos dificultam a captura da luz infravermelha, porém, se no sistema de captura de movimento forem utilizados um grande número de receptores esses problemas são contornados.

Referências Bibliográficas

- Avidan, S. & Shashua, A. Trajectory triangulation: 3DD reconstruction of moving points from a monocular image sequence. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, no. 22, p. 348-357, 2000.
- Flavel, S. C.; Nordstrom, M. A. & Miles, T. S. A simple and inexpensive system for monitoring jaw movements in ambulatory humans. *Journal of Biomechanics*, no. 35, p. 573-577, 2002.
- Hassan, E. A.; Jenkyn, T. R. & Dunning, C. E. Direct comparison of kinematic data collected using an electromagnetic tracking system versus a digital optical system. *Journal of Biomechanics*, no. 40, p. 930-935, 2007.
- Prinz, J. F. The cybermouse: a simple method of describing the trajectory of the human mandible in three dimensions. *Journal of Biomechanics*, no. 30, p. 643-645, 1997.
- Richards, J. G. The measurement of human motion: A comparison of commercially available systems. *J. Human Movement Science*, no. 18, p. 589-602, 1999.
- Yoon, H.-J.; Zhao, K. D.; Rebellato, J.; An, K.-N. & Keller, E. E. Kinematic study of the mandible using an electromagnetic tracking device and custom dental appliance: Introducing a new technique. *Journal of Biomechanics*, no. 39, p. 2325-2330, 2006.