

Sistema de Localização Mútua para Robots Utilizando Ultra-Sons

José M. N. Vieira, Sérgio I. Lopes, Carlos C. Bastos e Pedro N. Fonseca

Dep. de Electrónica e Telecomunicações - IEETA

Universidade de Aveiro – 3810-193 Aveiro

Telefone: +351.234.370.500, Fax: +351.234.370.545

Neste artigo é descrito um sistema de localização para robots participantes no campeonato de futebol robótico Robocup. O sistema proposto tira partido do facto de um dos jogadores - o guarda-redes - conseguir determinar mais facilmente a sua posição absoluta no campo. O sistema de ultra-sons, determina a posição relativa entre cada um dos jogadores e o guarda-redes utilizando “chirps” de ultra-sons detectados por correlação. Foram desenvolvidas unidades de processamento com o DSP 2812 para cada robot e os resultados obtidos, apesar de preliminares, garantem uma precisão aceitável na determinação da posição dos robots.

Introdução

Os ultra-sons são utilizados desde há longa data em sistemas robóticos com o objectivo de detectar obstáculos e até de realizar a localização mútua de robots [1, 2, 3]. Os sistemas disponíveis comercialmente realizam estas tarefas recorrendo a técnicas relativamente rudimentares em relação à tecnologia disponível hoje em dia. Além disso, existe a percepção de que os ultra-sons possuem um potencial não explorado, evidente quando se estudam as características sensoriais dos morcegos e golfinhos.

O projecto Cambada surgiu em 2002 com o propósito de construir um equipa de futebol robótico para participar no Robocup [5]. Desde cedo se percebeu a necessidade de uma correcta localização dos robots no campo, de modo a ser possível às camadas de software de mais alto nível delinearem correctamente as estratégias de jogo. O sistema de localização existente na equipa Cambada, baseia-se na análise das imagens recolhidas pelas câmaras de vídeo dos robots e na correcta identificação dos marcadores visuais existentes no campo. No entanto, estas estratégias revelaram-se insuficientes e tornou-se necessário estudar uma forma alternativa de realizar a localização dos robots no campo de modo a complementar a informação fornecida pela visão.

Neste trabalho descreve-se um sistema capaz de realizar a localização dos robots no campo utilizando ultra-sons. Foram utilizadas técnicas de processamento digital de sinal de modo a tornar o sistema mais versátil e robusto a interferências. Foi desenvolvido para cada robot, uma unidade de processamento digital de sinal baseada no DSP 2812 da Texas Instruments. Esta unidade foi concebida

de modo a permitir no futuro a implementação de algoritmos mais complexos e robustos de localização.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na secção seguinte apresenta-se uma descrição do problema de localização dos robots utilizando ultra-sons e a solução proposta. Segue-se uma análise resumida das técnicas de correlação para a medição do tempo de propagação. Esta secção é seguida de uma descrição do sistema proposto para resolver o problema da localização dos robots. Teremos finalmente alguns resultados experimentais realizadas no campo de futebol robótico da Universidade de Aveiro e as conclusões.

Localização de robots com ultra-sons

No sistema proposto, o robot que desempenha o papel de guarda-redes funciona como referência uma vez que se encontra normalmente junto à baliza, tendo assim disponível um ambiente mais controlado para permitir determinar a sua localização com base apenas na visão. Cada robot possui 4 pares de emissor/receptor de ultra-sons de forma a conseguir total cobertura do campo à sua volta. O processo de medida realiza-se do seguinte modo:

1. O guarda-redes emite um sinal de ultra-sons para o campo, que será detectado por todos os robots após um tempo t_k , em que k é o número do robot.
2. Cada um dos robots responde após um período de tempo T_k , tal como é indicado na figura 1 para o caso de termo 4 robots. Temos assim multiplexagem temporal dos sinais emitidos pelos robots.
3. O guarda-redes recebe as respostas dos robots após um período de tempo dado por $\tau_k = 2t_k + T_k$.
4. Como o guarda redes possui dois sensores a uma distância d um do outro, os sinais recebidos irão ser detectados com um pequeno atraso relativo. Tal como indicado na figura ?, o atraso é dado por $\Delta t = c / d \sin(\theta)$, em que c é a velocidade do som ($340m/s$) e θ o ângulo de incidência da onda sonora.

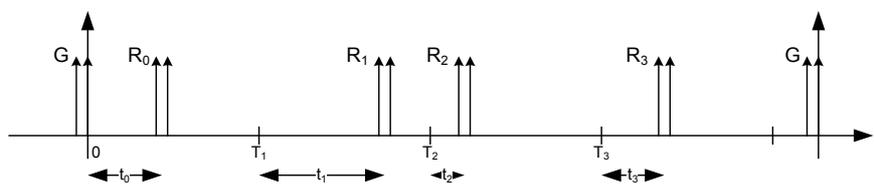


Figura 1. Multiplexagem temporal das respostas dos robots assinaladas pelas letras R_k . O par de “chirps” emitidos pelo guarda redes é assinalado pela letra G .

Como o campo de futebol robótico tem 12×6 metros, temos um tempo máximo de propagação de ida e volta de $72ms$. A multiplexagem adoptada foi de $100ms$ para cada robot, sendo o atraso na resposta de cada robot dado por $T_k = 100 \times k ms$.

Os sensores de ultra-sons

Para o sistema proposto optou-se por utilizar transdutores de ultra-sons de baixo custo, apostando nas técnicas de processamento digital de sinal para a resolução dos problemas. Os sensores de ultra-sons foram caracterizados realizando medidas numa câmara anecóica. Na figura 2 temos à esquerda a resposta em frequência dos transdutores utilizados que apresenta uma característica passa-banda em torno dos 40kHz e uma largura de banda de cerca de 2kHz. À direita, temos o diagrama de radiação, onde se pode constatar que dispõe de uma abertura útil de cerca de $\pm 60^\circ$. Na figura 3 podemos ver a cobertura do campo por parte dos receptores de ultra-sons do guarda-redes, verificando-se que as zonas laterais do campo não são cobertas pelos sensores frontais. Para esta zona do campo, foi decidido ter apenas um par emissor receptor no robot para determinar apenas a distância.

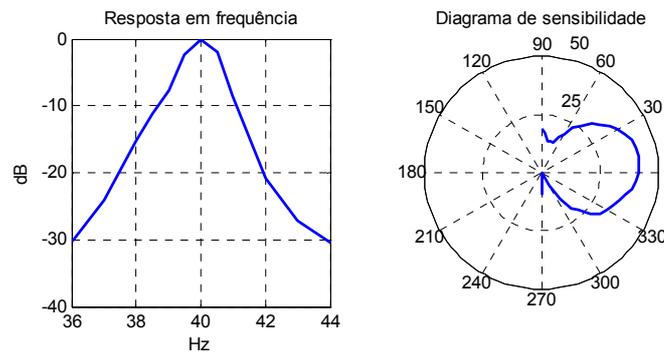


Figura 2. Resposta em frequência (à esquerda) e diagrama de radiação à direita dos sensores de ultra-sons utilizados.

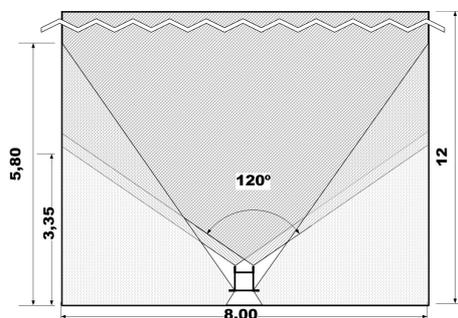


Figura 3. Cobertura do campo pelos receptores de ultra-sons do robot guarda-redes. A partir dos 3,35 metros os dois receptores de ultra-sons conseguem cobrir em simultâneo o campo.

Métodos de correlação para a medição do tempo de propagação

Os métodos de correlação permitem a detecção óptima [4] de sinais conhecidos mesmo em condições desfavoráveis de relação sinal ruído. Considere-se o sinal transmitido $s_T(t)$ e o sinal recebido $s_R(t) = A s_T(t - \tau_k)$, em que A é a amplitude do sinal recebido e τ_k é o tempo que decorre entre o sinal emitido pelo robot e a recepção da resposta. Uma vez medido o tempo τ_k para o robot k , pode-se calcular a distância L_k pela expressão:

$$L_k = c \frac{\tau_k - T_k}{2}.$$

O sinal enviado consiste numa sinusóide modulada em frequência de forma linear de 39 a 41kHz em cerca de 2,6ms. Esta duração foi condicionada pela forma como se implementou a correlação no DSP e que permite apenas um máximo de 256 amostras estando-se a utilizar uma frequência de amostragem de 100kHz. Esta técnica de correlação permite melhorar a detecção do sinal recebido em cerca de 42dB uma vez que a amplitude do máximo da função de autocorrelação do “chirp” $s_T(t)$ é aproximadamente igual a $N/2$ em que N é o número de amostras. Na figura 4 podemos observar a função de autocorrelação do “chirp”.

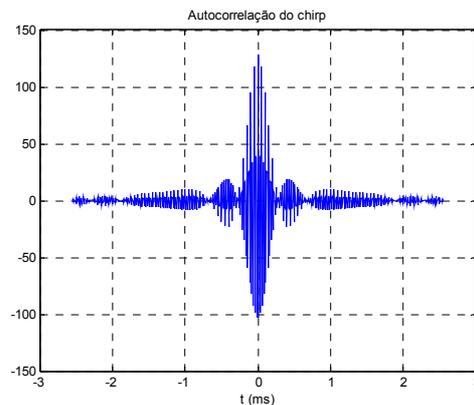


Figura 4. Função de autocorrelação do “chirp” utilizado.

Note-se o efeito de compressão da duração do pulso de 2,6ms para cerca de 0,5ms e que permite determinar com maior precisão o instante de chegada dos pulsos.

Um dos objectivos alcançados com a utilização do método de correlação foi o de melhorar a robustez do sistema a interferências provocadas por outros robots equipados com transdutores de ultra-sons e que emitam os tradicionais pulsos de sinusóides, sendo as frequências mais utilizadas os 40kHz e 50kHz. Na figura 5 podemos ver que para o caso das interferências dentro da gama de resposta em frequência do “chirp” que estas são detectadas à saída do correlador com uma amplitude 10 dB inferior à do “chirp”. Por outro lado podemos ver na mesma figura que a resposta em frequência do correlador para o caso do “chirp” utilizado, atenua as interferências de 50kHz em cerca de 30dB em relação às ocorridas na banda.

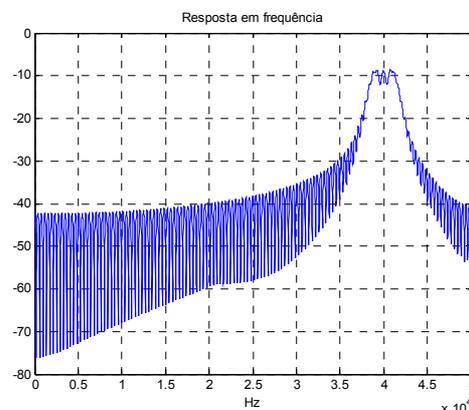


Figura 5. Resposta em frequência do filtro óptimo de detecção do “chirp”.

Uma vez que a detecção do “chirp” por correlação depende em grande medida da informação contida na frequência, a quantificação grosseira imposta pelo conversor digital/analógico de 12 bits utilizado na aquisição de sinal não afecta a detecção.

Descrição do sistema experimental

Para realizar o processamento digital de sinal foi seleccionado o DSP da Texas Instruments TMS320F2812 disponível nos kits de desenvolvimento da TI de baixo custo. Este DSP possui uma ADC de 12 bits com 16 canais multiplexados que permite a este sistema integrar em futuras versões, uma detecção de obstáculos com ultra-sons. Foi igualmente acrescentado a este kit, uma DAC de 8 canais e a respectiva electrónica analógica de condicionamento de sinal. O sistema possui igualmente um termómetro electrónico para permitir compensar os efeitos da variação de temperatura na velocidade do som obtendo-se assim medidas mais exactas. A implementação dos filtros óptimos do tipo FIR para realizar a correlação foi realizada na forma directa. Para este tipo de filtro o DSP 2812 apenas consegue a velocidade máxima para filtros com um número de coeficientes igual ou menor que 256. Em futuras versões este aspecto será ultrapassado realizando todo o processamento no domínio da frequência não existindo esta limitação no cálculo das FFTs. Além disso, esta forma de realizar a correlação é muito mais eficiente do ponto de vista computacional.

Resultados e Conclusões

Uma vez que o sistema ainda se encontra em fase de desenvolvimento, foram realizadas algumas medidas com vista a testar o seu funcionamento. Os teste de medição da distância deram resultados com uma precisão acima do necessário para a aplicação em causa tendo-se obtido para além de um erro sistemático dependente de factores como a temperatura ambiente, por exemplo, um desvio padrão do erro de cerca de 3mm.

Também foram realizadas algumas medidas na determinação do ângulo tendo-se montado um farol activo em cima de um robot e posicionado este em todos os pontos de uma grelha com um espaçamento de 1metro definida sobre o campo de futebol robótico. Para averiguar a robustez das medidas em condições reais de jogo, o robot foi rodado sobre si próprio enquanto as medidas de localização eram realizadas pelo guarda-redes. Na figura 6 podemos observar os resultados obtidos. As medidas foram convertidas para o comprimento do arco de modo a dar uma ideia mais precisa do erro em metros na determinação da posição do robot. O guarda-redes encontrava-se na posição $x=3$, $y=0$. Note-se que os erros maiores ocorrem quando o robot se encontra à direita porque os receptores do guarda-redes não cobrem esta zona, e quando o robot se encontra mais afastado devido à diminuição da relação sinal/ruído. No entanto, consegue-se para a maior parte do campo uma precisão na medição angular inferior a 20cm.

Estes resultados, apesar de não explorarem toda a potencialidade disponível no sistema são já suficientemente precisos para complementarem a localização baseada na visão.

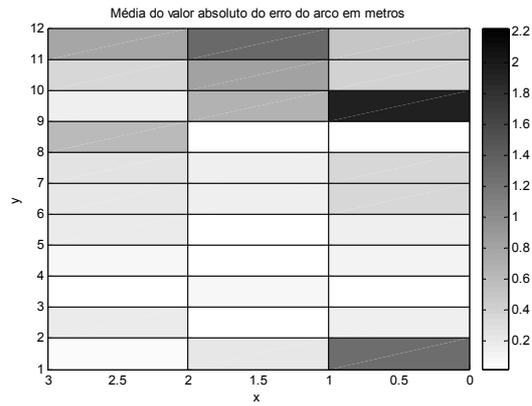


Figura 6. Nesta figura temos representado na forma de nível de cinzento o valor absoluto do erro de medição do ângulo em que o robot se encontrava. Um robot colocado em frente do guarda redes terá um ângulo zero.

Agradecimentos

Os autores deste artigo gostariam de agradecer a amável colaboração do professor José Rocha Pereira na disponibilização da câmara anecóica do Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro, onde foram realizados os testes de caracterização dos sensores de ultra-sons.

Referências

- [1] Moravec, Hans P. and Elfes, Alberto, "High Resolution Maps from Wide Angle Sonar", Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.116-121, IEEE, Washington D. C., March, 1985.
- [2] Elfes, Alberto, "Sonar-Based Real World Mapping and Navigation", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.4, N.3, pp.249-265, June, 1987.
- [3] Barshan, Billur and Kuc, Roman, "Differentiating Sonar Reflections from Corners and Planes by Employing an Intelligent Sensor", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.12, N.6, pp.560-569, June, 1990.
- [4] Sabatini, Angelo M., and Rocchi, Alessandro, "Sampled Baseband Correlators for In-Air Ultrasonic Rangefinders", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.45, N.2, pp.341-350, April, 1998.
- [5] Lopes, L. Seabra, et al, "CAMBADA: Team Description Paper", Robocup2004, Symposium, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, July, 2004.