

## CRAB – Um robot caranguejo

Ricardo Abreu, Tiago Meireles, José Luís Azevedo, Pedro Fonseca, Luís Almeida

**Resumo** – Este artigo descreve de forma sucinta o robot CRAB que representou a Universidade de Aveiro numa competição mundial de robótica móvel integrada no “7<sup>eme</sup> Festival International des Sciences et Technologies” que decorreu de 23 a 28 de Maio de 2000, em Vierzon, França.

As especificações técnicas da competição exigem que os robots sejam capazes de seguir uma linha com cerca de 60m de comprimento, de ultrapassar rampas com 20% de inclinação e de recolher um conjunto de bolas de bilhar colocadas a cerca de 80cm da linha e em cima de pequenos e estreitos suportes. O CRAB cumpre todas as especificações da competição e possui a particularidade de ser controlado por um sistema distribuído baseado na rede CAN com dois nodos de baixo poder de cálculo.

**Abstract** - This paper presents a brief description of the CRAB robot developed by the team of the University of Aveiro that participated in a world mobile robotics competition in the scope of the 7<sup>th</sup> International Festival of Science and Technology that took place in Vierzon, France, from the 23<sup>rd</sup> to the 28<sup>th</sup> of May 2000.

The technical specifications of the competition require that the robots are able to follow a line 60m long, to go over ramps 20% steep and to gather billiard balls placed 80cm away from the line and on narrow and short poles. The CRAB robot meets all those specifications and has a distinctive feature of being controlled by a distributed system based on CAN with two low processing-power nodes.

### I. AS REGRAS DA COMPETIÇÃO

Desde 1994 que vem sendo organizado em França o *Festival International des Sciences et Technologies*, uma iniciativa da empresa francesa *Découvertes et Communication* liderada pelo reputado jornalista Maurice Uguen. O aspecto mais mediático e mais importante do festival é o campeonato mundial de robótica móvel organizado com a colaboração estreita de investigadores académicos ligados à área da robótica móvel e no qual a Universidade de Aveiro tem participado desde 1996. Nas edições anteriores também outras equipas nacionais participaram neste evento nomeadamente do Instituto Superior Técnico e da Universidade do Minho o que fez com que em 98 e 99 a delegação portuguesa fosse a mais numerosa logo a seguir à francesa.

Este ano a equipa da UA foi a única que participou no referido campeonato, em particular na categoria livre, tendo alcançado o 3<sup>o</sup> lugar entre 7 equipas. Para além desse resultado, foi atribuído à equipa da UA o Prémio Especial do Júri para aquela categoria, distinguindo, assim, o robot da UA como sendo o mais eficiente e inovador.

A categoria livre é uma das categorias que compõe o campeonato, juntamente com a monotipo. Enquanto que os robots da categoria livre são desenvolvidos num enquadramento mais flexível em que as equipas podem usar os materiais e componentes que entenderem, na monotipo a construção dos robots tem de obedecer a certos requisitos comuns (chassis, motores, rodas e bateria) pelo que a diversidade de soluções está mais limitada.

Em qualquer dos casos, o robot tem que ser autónomo em todos os sentidos, desde a sua fonte de energia até ao seu controlo. Assim, não existe qualquer ligação entre este e o exterior, nem mesmo via rádio.

Também em ambas as categorias o robot tem que ser capaz de percorrer um percurso sinalizado por uma linha (ora branca sobre fundo preto ora preta sobre fundo branco) com cerca de 60 metros de comprimento e 5 centímetros de largura. O percurso é fechado, sendo o local de partida/chegada assinalado por uma linha perpendicular ao eixo da pista com 1 metro de comprimento. O local de partida e o sentido do percurso só é dado a conhecer pelo director de pista no início da prova. O robot deve parar automaticamente ao passar na linha de chegada sofrendo uma penalização de 10 segundos caso não o faça.

No caso da categoria livre, a pista tem uma ou duas variações de relevo que são constituídas por uma rampa com 20% de inclinação. Existem, ainda, 3 bolas de bilhar que o robot terá de recolher e transportar até final da prova. As bolas encontram-se em locais desconhecidos à partida, ao longo do percurso, a 80 centímetros do eixo da pista. Cada bola está pousada num suporte de 4 cm de diâmetro e 20cm de altura, revestido com um material reflector. O robot tem que recolher as bolas sem fazer tombar o suporte. Cada bola não apanhada ou a queda do suporte implica uma penalização de 30 segundos.

A classificação de cada prova é estabelecida adicionando ao tempo efectivamente gasto no percurso as penalizações devidas. Depois é atribuída uma pontuação a cada equipa equivalente ao lugar de classificação, i.e. 1 ponto para a

1ª, 2 para a 2ª, etc. O campeonato consta de 3 provas, a de velocidade, a de velocidade com rampas e a de velocidade com bolas de bilhar. A classificação final é obtida adicionando as pontuações obtidas nas 3 provas vencendo a equipa que apresentar a menor soma.

A figura 1 ilustra o traçado da pista (1.a), o perfil das rampas (1.b) e os suportes das bolas de bilhar (1.c).

Ao longo das próximas secções apresentaremos o robot construído pela equipa da UA para a edição 2000 do referido campeonato.

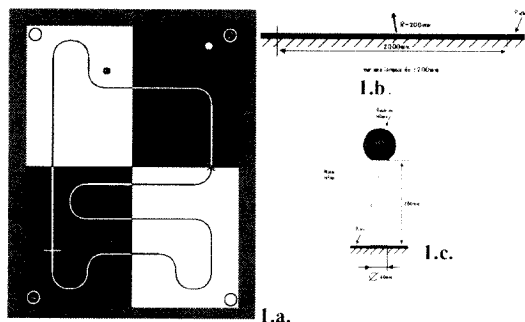


Figura 1. Traçado da pista, rampas e bolas de bilhar

## II. ROBOT CRAB: DECOMPOSIÇÃO EM SUBSISTEMAS

O robot construído pela equipa da UA foi baptizado com a sigla CRAB que em inglês significa caranguejo. Este nome ficou a dever-se ao sistema de recolha de bolas de bilhar baseado numa tenaz (ou garra). Por outro lado, CRAB também é uma sigla que significa *CAN-based Robot with Astonishing Behaviour*, nome completo do robot que revela por um lado a característica de utilizar um sistema de controlo distribuído baseado na rede CAN e por outro, com algum humor, a diversidade e robustez dos seus comportamentos.

O CRAB é composto por vários subsistemas que serão descritos de seguida: energia, motricidade e direcção, seguimento de linha, detecção de relevo e detecção e recolha de bolas de bilhar.

### A. Energia

A energia para a actividade do robot é exclusivamente eléctrica, obtida a partir de 2 a 4 baterias de 12 Volt colocadas na plataforma inferior do robot, no eixo dos motores. Esta colocação permite minimizar o contributo das baterias para o momento de inércia total do robot, facilitando assim as mudanças de direcção e, conseqüentemente, o controlo do robot no seguimento da linha. Enquanto uma das baterias alimenta a parte de controlo, as restantes (1 a 3 em série) são usadas para alimentar o circuito de potência dos motores do robot.

A opção de utilizar 1, 2 ou 3 baterias para os motores tem a ver com o nível de desempenho pretendido, permitindo colocar nos motores tensões próximas de 12V, 24V ou 36V respectivamente.

### B. Motricidade e direcção

O movimento do robot é assegurado por dois grupos motrizes independentes, cada um deles constituído por um motor, caixa redutora e roda. Os motores são de limpa-pára-brisas de carro, trazendo já a caixa redutora acoplada. A roda, com aproximadamente 16 cm de diâmetro, foi montada directamente sobre o eixo de saída da caixa redutora.

A tensão de alimentação nominal dos motores é de 12V DC. Contudo, conforme referido atrás, para obtenção de maior velocidade, o circuito de controlo dos motores foi concebido para tolerar uma sobrealimentação de 36V DC. Os motores foram submetidos a testes extensivos tendo-se também revelado capazes de tolerar essa sobrealimentação pelo menos durante um conjunto de horas suficiente para os ensaios e provas necessários à participação no campeonato. Contudo, dados os níveis elevados de sobrealimentação será recomendado dispor de pelo menos um par de motores suplentes...

Directamente no eixo de cada motor foi montado um codificador incremental bifásico para permitir o controlo em malha fechada do respectivo grupo motriz.

Os movimentos de curva e rotação são obtidos fazendo girar as rodas a velocidades e/ou sentidos diferentes, respectivamente (direcção diferencial).

#### B.1. Característica dos motores em malha aberta

Para se proceder a um controlo mais eficaz da velocidade de rotação de cada motor foi traçada a respectiva curva de resposta ao degrau em malha aberta e em vazio, i.e. com o robot levantado (fig. 2).

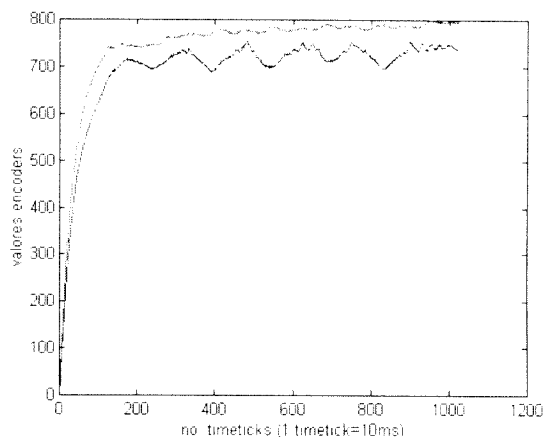


Figura 2. Resposta ao degrau dos motores em vazio

Verificou-se que os dois motores têm velocidades ligeiramente diferentes quando se lhes aplica o mesmo PWM, facto explicado por assimetrias de construção e de instalação (e.g. alinhamentos imperfeitos). Verificou-se, ainda, que um dos motores apresenta uma oscilação de baixa frequência ao atingir a velocidade final, provavelmente devida a algum factor de atrito e à utilização de uma velocidade relativamente baixa (aprox. 0.4m/s em termos de velocidade linear do robot). Perante a

observação da resposta ao degrau evidenciada na figura 2, e desprezando a oscilação atrás referida, é possível afirmar que os motores utilizados se podem aproximar por um sistema de primeira ordem com uma constante de tempo cujo valor se pode deduzir através da tangente às curvas na origem. Assim, por determinação gráfica, as constantes de tempo dos motores podem ser aproximadas a 350ms e 420ms, respectivamente.

Uma vez que a resposta dos motores em carga, i.e., com todo o peso do robot aplicado no chão, terá constantes de tempo ainda maiores, decidiu-se utilizar uma frequência de amostragem suficientemente mais pequena para se conseguir uma boa aproximação digital a um sistema de controlo analógico. O valor utilizado para o período de amostragem foi de 10 ms.

### B.2. Controlo dos motores em malha fechada

Para se conseguir efectuar um controlo mais dinâmico dos movimentos do robot decidiu-se efectuar o controlo em malha fechada da velocidade dos motores. A figura 3 mostra o esquema utilizado, i.e. um controlador do tipo proporcional-integral (PI). Neste caso, o sinal de controlo é obtido a partir da soma do erro actual (i.e. diferença entre a velocidade actual e a velocidade desejada) com o integral do próprio erro. A utilização de uma componente integradora no controlo da velocidade dos motores permite obter um erro nulo na resposta ao degrau, em regime estacionário.

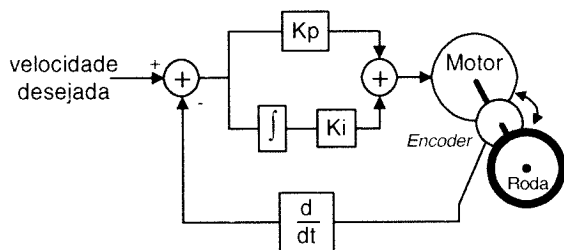


Figura 3. Malha de controlo de cada motor

Existem, contudo, diversas formas de aproximar o integral do erro. A forma utilizada foi a de acumulador com truncatura do sinal de controlo. Fez-se ainda uma correcção suplementar para diminuir o valor do integral sempre que houvesse truncatura. Assim, quando o sinal de controlo crescia em módulo acima de um certo valor, era truncado e o respectivo excesso (diferença entre o valor não truncado e truncado) era deduzido ao integral do erro. Este método permite reduzir o impacto negativo na estabilidade do controlo causado pelo atraso inerente a um valor de integral do erro muito elevado.

A figura 4 mostra as curvas obtidas para a resposta ao degrau em malha fechada. O decaimento representado no gráfico após o tracejado corresponde ao desligar da alimentação dos motores e, conseqüentemente, passa-se em malha aberta. A tensão de alimentação utilizada foi de 36V, o *setpoint* de 3000 impulsos de encoder por tick (10ms), i.e. aproximadamente 1.5m/s em termos de velocidade linear do robot, e velocidade inicial de zero. O

gráfico contém 512 amostras. A malha de controlo esteve fechada durante as 256 amostras iniciais.

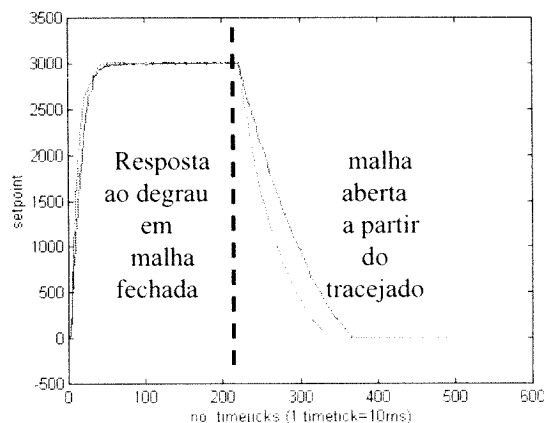


Figure 4. Resposta ao degrau em malha fechada

Conforme se pode observar, e o comportamento dos motores é praticamente idêntico. A resposta é bastante satisfatória já que não apresenta *overshoot* e o valor em estado estacionário corresponde ao *setpoint* desejado e esperado. Note-se a diferença de comportamento dos dois motores assim que a malha de controlo é aberta.

### C. Seguimento de linha

O subsistema de seguimento de linha é o principal subsistema de guiamento do robot uma vez que, segundo as especificações da competição ele tem de, essencialmente, seguir uma linha traçada no chão.

#### C.1. Régua de sensores da linha

A determinação da posição da linha relativamente ao robot é feita por intermédio de 16 foto-sensores digitais montados numa régua de 35cm de comprimento (fig. 5). Esta régua encontra-se situada na parte da frente do robot e orientada transversalmente face ao respectivo eixo. Os sensores estão regularmente espaçados de 2cm e emparelhados com um emissor de infravermelhos para iluminar o chão. Desta forma é possível distinguir o chão preto do branco através da ausência ou presença de reflexão, respectivamente.

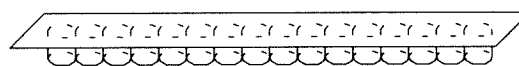


Figura 5. Régua dos sensores de linha

Para atenuar interferências exteriores ou mútuas entre sensores adjacentes, os 16 pares emissor-receptor foram colocados cada um dentro de um pequeno tubo preto, de secção circular. Os tubos estão encostados uns aos outros, sendo as áreas de visão aproximadamente contíguas e ligeiramente sobrepostas.

### C.2. Algoritmo de controlo do seguimento de linha

O valor do desvio do robot relativamente à linha, medido com o auxílio da régua de sensores, é utilizado como sinal de erro numa malha de controlo. O objectivo é fazer o robot curvar de forma a tentar alinhar-se com a linha, ou mais precisamente, a tentar colocar a linha sob a posição central da régua de sensores.

O valor do desvio é construído a partir das leituras digitais dos sensores de linha, atribuindo pesos a cada sensor, de valor negativo de um lado e positivo do outro, e de módulo crescente da zona central para as extremidades. De facto, embora possam ser efectuadas várias distribuições de pesos (e.g. quadrática, linear por troços) a distribuição utilizada no CRAB é linear (fig. 6).

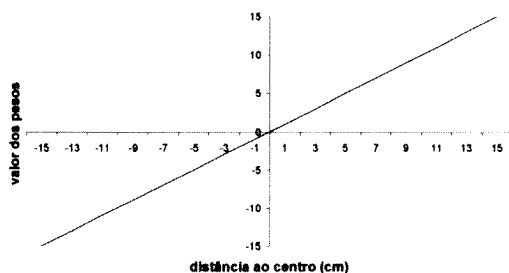


Figura 6. Pesos atribuídos aos sensores da linha

O tipo de controlo realizado é proporcional-derivativo (PD). Neste caso, o sinal de controlo é obtido pela adição do sinal de erro (desvio do robot) à derivada desse erro (fig. 7). A aproximação da derivada foi efectuada com uma simples subtração da amostra do erro anterior à actual. A utilização da componente derivativa torna-se necessária para ajudar a combater o atraso causado pela inércia do robot. Torna-se, assim, possível percorrer percursos sinuosos com maior velocidade. O lado negativo da utilização da componente derivativa é a amplificação de ruído que se nota através dum comportamento mais nervoso sempre que o robot circula sobre zonas da pista onde o traçado contém imperfeições, ou em transições da cor do fundo, etc..

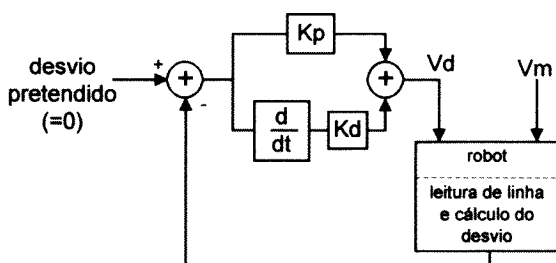


Figura 7. Malha de controlo do seguimento de linha

Note-se que a saída de controlo é a velocidade diferencial ( $V_d$ ) a aplicar entre os dois motores, i.e. o grau de curvatura desejado para a trajectória do robot. A velocidade a aplicar a cada roda, é obtida pela sobreposição do sinal de controlo ( $V_d$ ) com a velocidade

média ( $V_m$ ), i.e.  $V_{dir,esq} = V_m \pm V_d/2$ . A velocidade média é normalmente mantida constante.

Sobre o algoritmo PD descrito acima realizou-se uma pequena variante que consta de aumentar a velocidade média ( $V_m$ ) sempre que o desvio da linha se mantenha baixo durante um certo número de amostras consecutivas. A velocidade é imediatamente reduzida assim que é detectado um desvio superior a um dado limiar. Este esquema, que demonstrou ser eficaz, permite acelerar o robot em rectas, mantendo uma velocidade moderada em curva.

### C.3. Detecção do fim de pista

Como já foi referido anteriormente, o fim do percurso é assinalado por uma linha de 5cm de largura e 1m de comprimento perpendicular ao eixo da pista. Uma vez que o robot pode atingir 2,5m/s em recta, com um período de amostragem de 10 ms pode-se garantir a recolha de 2 amostras sobre a linha de fim.

Assim, sempre que o robot detectasse todos os sensores com o mesmo nível lógico durante duas amostras consecutivas determinaria o fim da pista. Contudo, este esquema não funcionou bem pois, dado o comprimento da régua de sensores, bastava que o robot passasse sobre o troço de fim ligeiramente desalinhado, e.g. devido a uma oscilação no controlo de seguimento da linha, que os sensores dos extremos poderiam detectar níveis lógicos diferentes. Deste modo, a detecção de fim passou a ser feita desprezando os sensores dos extremos.

### D. Detecção de relevo

Uma das especificações da competição é a exigência dos robots serem capazes transpor pequenas rampas colocadas ao longo do percurso, com 20% de inclinação.

Duas questões se levantam com a transposição das rampas: por um lado o subsistema de seguimento de linha tem de tolerar alterações de inclinação do chão; por outro lado, devido à velocidade relativamente elevada que os robots atingem poderá ser necessário reduzir a velocidade durante a transposição. No caso do CRAB optou-se por instalar a régua dos sensores de linha sobre um sistema basculante e por instalar um sensor de alteração de declive que permitisse ao sistema do controlo adoptar um perfil de velocidades diferente aquando da transposição das rampas.

#### D.1. O sistema basculante

Uma das características dos sensores de linha utilizados no CRAB é a sua relativa sensibilidade à distância ao chão. Uma vez que a régua de sensores está colocada à frente do eixo motriz, se esta fosse colocada de forma fixa a distância dos sensores ao chão sofreria grandes variações que perturbariam o seu funcionamento. Assim, usou-se um estrutura basculante apoiada sobre uma pequena roda livre (fig. 8) que permite manter os sensores de linha a uma distância do chão aproximadamente constante quer

durante a entrada e saída da rampa quer durante a passagem sobre o ponto mais alto.

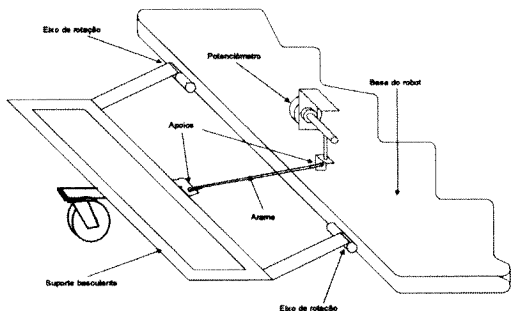


Figura 8. O sistema basculante para suporte dos sensores de linha

**D.2. O sensor de variações de inclinação**

Após alguns ensaios de transposição das rampas mantendo a velocidade constante tornou-se claro que, para não danificarmos o robô, teríamos de reduzir a sua velocidade. Os pontos críticos eram a entrada e saída da rampa e, principalmente, o ponto mais alto. Para detectar as variações de relevo foi desenvolvido um sensor baseado num potenciômetro fixo ao chassis do robô e cujo eixo estava ligado ao suporte basculante através de um arame (fig. 9).

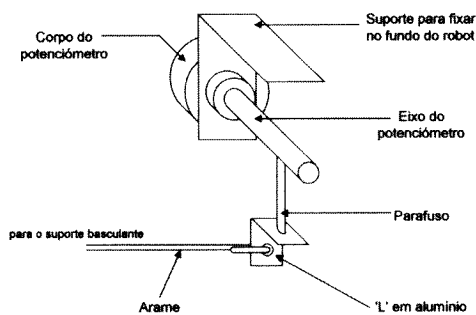


Figura 9. O sensor de variações de inclinação do chão

Assim, usando este sensor o sistema de controlo pode reduzir a velocidade do robô em qualquer dos pontos críticos referidos atrás, tornando a transposição das rampas mais suave e mais precisa. Sempre que o sistema basculante fica alinhado com o chassis do robô, o que acontece em superfícies planas, incluindo a subida e descida das rampas, a velocidade normal do robô é reposta.

**E. Detecção e recolha de bolas de bilhar**

Para além do seguimento de linha e transposição de rampas, as especificações da competição impõem ainda a necessidade de recolher e transportar até final um conjunto de bolas de bilhar. Estas estão colocadas a cerca de 80cm da linha sobre pequenos suportes que não devem ser derrubados.

O subsistema do CRAB encarregue desta tarefa é composto por duas partes, os detectores dos suportes das bolas e o sistema de recolha propriamente dito.

**E.1. Detectores dos suportes de bolas**

Os detectores são colocados um de cada lado do robô. Cada detector é formado por um par de sensores infra-vermelhos com modulação, semelhantes aos usados nos receptores dos telecomandos das TVs e videos. Sob os sensores são colocados vários LEDs infra-vermelhos, modulados com uma frequência compatível com os sensores referidos, por forma a iluminar as zonas laterais do robô. Estes detectores são colocados de forma paralela ao chão por forma a evitar a influência da luz nele reflectida. Para além disso, é utilizado um limiar relativamente alto (muito dependente do material de revestimento dos suportes das bolas) para minorar a probabilidade de falsas detecções. Assim que um suporte de bola é detectado durante o percurso do robô ao longo da linha, o sistema de controlo inicia o procedimento de recolha de bola.

**E.2. Sistema de recolha de bolas**

O sistema de recolha de bolas é formado por um detector de suporte semelhante aos descritos acima, por uma barreira de infra-vermelhos e por uma garra (fig. 10) e está colocado na traseira do robô.

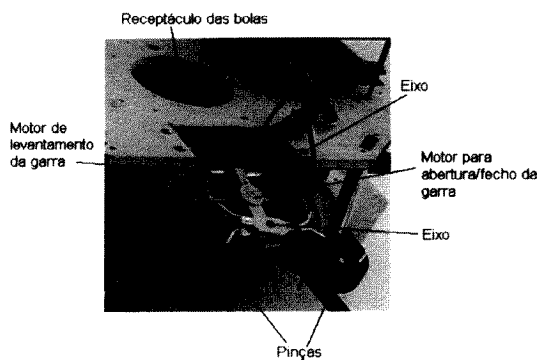


Figura 10. Sistema de recolha de bolas

O detector é usado para orientar o robô para o suporte da bola. A barreira dá informação ao sistema de controlo de que o suporte já se encontra à distância adequada do robô para que a garra possa recolher a bola.

A garra, por sua vez, possui dois graus de liberdade correspondentes aos movimentos de aperto e de levantamento ou rotação num plano vertical. As bolas recolhidas são depositadas num compartimento adequado no interior do robô.

**E.3. Procedimento de recolhas das bolas**

O sistema de detecção e recolha das bolas de bilhar é controlado por uma máquina de estados, despoletada pela detecção de um suporte de bola por um dos detectores

laterais. O procedimento de recolha começa com a paragem do robot sobre a linha, seguida de um movimento de rotação do robot por forma a orientar a traseira, onde está colocado o sistema de recolha de bolas, para o suporte detectado. A rotação termina assim que o suporte é detectado pelo sensor instalado na traseira do robot. Inicia-se, então, uma fase de ajustes de direcção e de aproximação suave do robot ao suporte. Logo que este é detectado pela barreira de infra-vermelhos, o robot pára e executa uma correcção final de orientação de modo a que o suporte fique centrado, i.e., na direcção da garra. Esta orientação relativamente precisa é efectuada a partir da diferença entre os valores captados pelos dois sensores do detector de suportes traseiro. Quando o suporte fica na posição adequada é accionada a garra que recolhe a bola para o respectivo compartimento interno do robot. Posteriormente, estes movimentos são desfeitos até que o robot regresse à linha, altura em que retoma o trajecto normal.

É de salientar que todos os movimentos parciais estão limitados no tempo, i.e. se a máquina de estados não transitar para o estado seguinte dentro de um certo intervalo de tempo o movimento respectivo é desfeito fazendo o robot regressar ao seguimento da linha. Esta característica confere bastante robustez ao sistema de detecção e recolha de bolas, tornando-o capaz de resistir a falsas detecções, fazendo com que o robot regresse sempre à linha quer haja ou não bola para ser recolhida.

### III. PERSPECTIVA GLOBAL: INTERLIGAÇÃO DOS SUBSISTEMAS

Nesta secção apresentamos a instalação e interligação dos vários subsistemas identificados e descritos atrás para se obter um robot que exhiba o conjunto de funcionalidades exigidas pelo regulamento do campeonato.

#### A. O sistema de controlo

Conforme referido anteriormente, o sistema de controlo do CRAB assenta numa filosofia distribuída, i.e., são utilizadas várias unidades processadoras (neste caso apenas duas placas controladoras) que comunicam entre si para desenvolver as funcionalidades pretendidas. Este sistema de controlo foi realizado com base num sistema CANivete com dois nodos. Este sistema usa uma rede CAN (*Controller Area Network*) para interligar os vários nodos baseados no microcontrolador 80C592 da Philips (usa o *core* do Intel 8051). O sistema CANivete tem ainda a particularidade bastante útil de permitir efectuar, apenas através de um nodo, o interface entre o sistema distribuído e o sistema de desenvolvimento baseado num PC. Isto permite, por exemplo, carregar os programas em cada nodo a partir do PC de desenvolvimento, sem ter de ligar/desligar fichas. Os programas para nodos remotos são recebidos do PC pelo nodo de interface (*gateway*) via RS232, e logo enviados para os nodos respectivos via CAN.

As características principais dos nodos do sistema CANivete que foram usados no CRAB são as seguintes:

- Microcontrolador de 8 bit (8051)
- Frequência de *clock* interna próxima de 1MHz (aprox. 1 ou ½ instrução por  $\mu$ s)
- 2 contadores para geração de sinais PWM
- 3 timers, 2 de 8-bit e um de 16-bit
- ADC de 8 entradas analógicas com resolução de 10 bit
- Interface CAN
- Duplo interface RS232

A programação das placas controladoras é feita em 'C' usando um *cross-compiler* adequado que corre no PC de desenvolvimento.

A distribuição, pelas placas controladoras, das funcionalidades necessárias foi efectuada do seguinte modo: numa placa foi instalado o controlo em malha fechada da velocidade dos motores e na outra o controlo do seguimento de linha e de recolha das bolas de bilhar. A comunicação processa-se de forma unidireccional, da segunda para a primeira, já que o controlo do seguimento de linha e a recolha das bolas fornecem ordens (*setpoints*) de velocidade para cada roda que são executadas pelo controlo dos motores.

Cada placa controladora tem associada um placa electrónica de interface através da qual se faz a ligação com os actuadores e sensores respectivos. Assim, a placa de interface associada aos motores contém toda a electrónica de suporte para controlo de potência dos motores e leitura dos codificadores incrementais bifásicos, bem como alguns mecanismos de protecção. Por seu lado, a placa de interface associada ao seguimento de linha contém a electrónica necessária para o bom funcionamento dos sensores de linha, de relevo, de suporte de bola, e para controlo da garra para apanhar as bolas. A figura 11 ilustra a constituição e organização do sistema de controlo do CRAB.

Note-se, ainda, que a função de *gateway*, i.e. interface com o PC de desenvolvimento, é desempenhada pela placa controladora responsável pelo seguimento de linha e recolha das bolas.

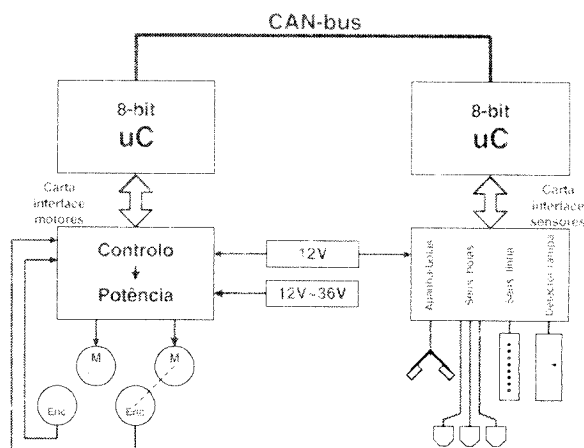


Figura 11. Sistema de controlo do CRAB

Metaforicamente, podemos comparar o sistema de controlo do CRAB ao de um navio. Neste caso, o respectivo comandante recolhe todos os dados que necessita para decidir a direcção e velocidade a aplicar ao navio e, em face deles, toma uma decisão. Estando a decisão tomada, o comandante envia as suas ordens para a casa das máquinas, por forma a que o navio tome o rumo pretendido. A *casa das máquinas*, no caso do CRAB, é o conjunto de placas controladora e de interface encarregue do controlo dos motores. Por seu lado, o *comandante* é o conjunto das placas controladora e de interface responsáveis pelo seguimento de linha e recolha de bolas.

A figura 12 mostra o esquema de controlo global do robot, com as malhas de controlo de cada roda inseridas na malha de controlo do seguimento de linha.

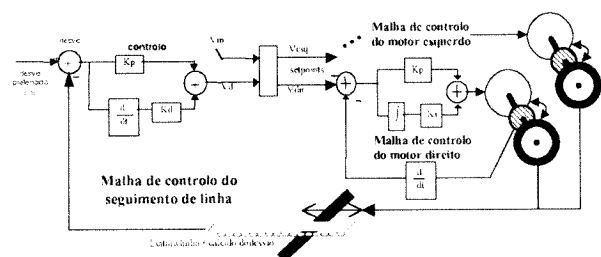


Figura 12. Malha de controlo global do CRAB

plataforma inferior, nomeadamente o subsistema de seguimento de linha na parte dianteira (lado esquerdo da figura), as baterias instaladas sobre o eixo motriz, os detectores associados ao subsistema de detecção e recolha das bolas de bilhar e a placa controladora encarregue do controlo dos motores.

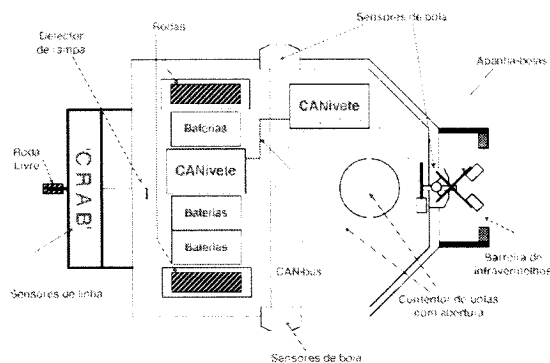


Figura 13. Vista superior do CRAB

Embora não apareça na figura, existe ainda um botão de paragem de emergência, que corta o circuito de alimentação dos motores, instalado na plataforma superior, perto da parte traseira do robot.

IV. CONCLUSÃO

Este artigo descreve resumidamente o robot CRAB (fig. 14), desenvolvido pela equipa da UA para participar no campeonato de robótica móvel, integrado na 7ª edição do Festival International de Science et Technologie que decorreu em Vierzon, França, de 23 a 28 de Maio de 2000.

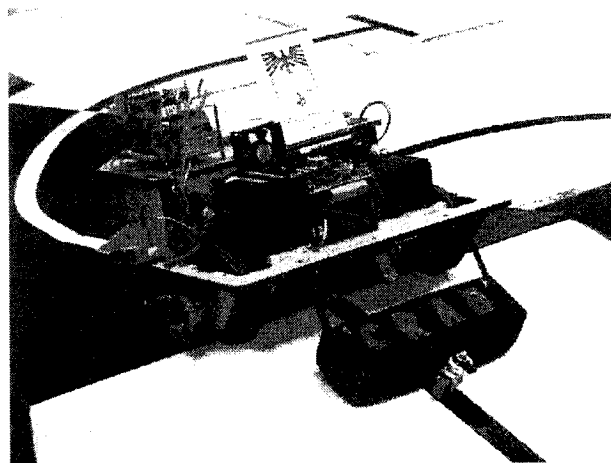


Figura 14. Fotografia do CRAB transpondo uma rampa

De forma sucinta pode dizer-se que o CRAB segue uma linha traçada no chão e que é capaz de executar um conjunto de tarefas suplementares das quais se destaca a capacidade de detectar e recolher bolas de bilhar colocadas a alguma distância da linha sobre pequenos suportes.

B. Arbitragem comportamental

O robot CRAB exhibe vários comportamentos distintos, como resposta a estímulos do exterior, e.g. pára no final do trajecto, abranda nas rampas, pára para recolher as bolas. Cada desses comportamentos gera velocidades diferentes para as rodas. Para decidir sobre qual dos comportamentos deve ser utilizado em cada instante, para controlar o movimento do robot, construiu-se um árbitro que segue a seguinte lista de critérios:

- 1º se encontra fim de pista então pára;
- 2º se não encontra fim de pista mas detecta suporte de bola então inicia manobra de recolha da bola;
- 3º se não encontra fim de pista nem detecta suporte de bola mas detecta rampa então segue linha na rampa.
- 4º se não aconteceu nenhum dos anteriores segue a linha no chão.

C. Estrutura física do CRAB

A figura 13 mostra uma vista superior do robot onde é possível observar a localização física de cada um dos subsistemas referidos atrás.

O chassis do robot é constituído por duas plataformas de madeira de contraplacado marítimo sendo a superior, mais pequena, usada apenas para suportar uma das placas controladoras do sistema de controlo bem como a garra do subsistema de recolha de bolas. Na figura 13 pode-se ver a sua instalação na parte traseira do robot (lado direito da figura). Todos os restantes subsistemas estão instalados na

Conseguiu-se que o robot cumprisse todas as especificações técnicas do campeonato com um bom nível geral de desempenho. Note-se que obteve um 3º lugar entre 7 equipas, conseguindo resultados relativamente próximos dos dois primeiros classificados, atingindo velocidades próximas de 2m/s. Também reconhecedor do valor técnico do CRAB é a distinção que lhe foi atribuída com o Prémio Especial do Júri.

Das características do CRAB merecem especial relevo o sistema basculante de seguimento da linha para transposição de rampas, o sistema de garra para recolha das bolas de bilhar, um circuito de potência eficaz capaz de fornecer aos motores a energia necessária à execução de correcções rápidas de movimento e a realização do sistema de controlo sobre um sistema CANivete, com duas placas controladoras interligadas por uma rede CAN.

Refira-se ainda que o CRAB foi desenvolvido ao longo do ano lectivo 1999/2000 por um grupo de dois alunos, Ricardo Abreu e Tiago Meireles, no âmbito da disciplina de Projecto da Licenciatura em Engenharia de Electrónica e Telecomunicação da UA. O projecto foi orientado pelos docentes José Luís Azevedo, Luís Almeida e Pedro Fonseca.

Antes de terminar gostaríamos de expressar os nossos agradecimentos a todas as pessoas que deram sugestões e propuseram melhoramentos para a construção do CRAB.

#### BIBLIOGRAFIA

- “CANivete- Manual de utilizador”, Micro I/O Serviços de Electrónica L<sup>da</sup>, 1999.
- “CAN specification version 2.0”, Bosch GmbH, 1991.
- “80C51 Based 8-bit Microcontrollers”, Philips, 1997.
- Paret, Dominique, “Le bus CAN- Controller Area Network”, Dunod, Paris, 1996.
- “8 bit microcontroller with on-chip CAN”, Philips Semiconductors, 1996.
- Mota, Alexandre, “Apontamentos da disciplina *Teoria de Sistemas*”, Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro.
- Silva, Tomás Oliveira, “Apontamentos da disciplina *Sistemas de Controlo*”, Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro.
- Almeida, Luís, “Modelização de Pequenos Robots: Um Exemplo” Revista do DETUA Dep. de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro, Vol. 2, Nº 1, Setembro 1997.