

Nova Abordagem para o Ensino da Robótica baseada na Modificação do RoboSapien

Pedro Dinis Gaspar*, António Espírito Santo*, Humberto Santos*, Bruno Ribeiro*

* Departamento de Engenharia Electromecânica

Universidade da Beira Interior

Rua Fonte do Lameiro – Edifício 1 das Engenharias, 6201-001 Covilhã

Telf: +351 275 329 925; e-mail: dinis@ubi.pt, aes@ubi.pt, humberto@ubi.pt, bruno@ubi.pt

Resumo — O ensino da robótica no ensino superior integra diversos conhecimentos adquiridos durante os cursos que apresentam esta área específica nos seus conteúdos programáticos. Estes conhecimentos prendem-se fundamentalmente com conceitos mecânicos e eléctricos/electrónicos. Adicionalmente, a experiência prática destes conceitos é parte importante do ensino na engenharia. Porém, a sua aplicação requer variados recursos laboratoriais por vezes reduzidos. Com o intuito de ultrapassar esta dificuldade, e atingir os objectivos pretendidos, com a apreensão de conhecimentos na área da robótica, é apresentada uma abordagem para o seu ensino baseada na modificação do robot RoboSapien. Para o propósito em causa, esta abordagem mostrou-se uma valiosa ferramenta de ensino, permitindo o reforço de vários conceitos chave relacionados com a integração de conhecimentos de cinemática, de dinâmica, de controlo de sistemas, de sistemas embutidos, de aquisição de dados e de microprocessadores. Adicionalmente, esta abordagem para o ensino da robótica apresentou-se como um desafio motivante e estimulante para os estudantes.

1. Introdução

A robótica é crescentemente utilizada como um veículo de motivação de aprendizagem de sistemas embebidos, inteligência artificial, programação e de até mesmo generalidades sobre tópicos de ciência e engenharia. Tipicamente, os cursos de robótica envolvem na sua componente laboratorial a construção e programação de robots simples, normalmente constituídos por um microcontrolador (μC), sensores fim de curso, emissor-receptor de infravermelhos para controlo à distância, motores DC ou de passo, podendo o conjunto ser montado num qualquer tipo de estrutura. Este é um dos objectivos primordiais da disciplina de Automação e Robótica do curso de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior (UBI). Esta disciplina pretende integrar grande parte do conhecimento adquirido durante o curso, tanto em conceitos mecânicos como eléctricos/electrónicos baseados no desenvolvimento de projectos que contenham elaboração de hardware e software para aplicações específicas, e simultaneamente apresentar aos estudantes conceitos fundamentais de robótica. Mesmo sendo esta disciplina subdividida por dois semestres, torna-se bastante exigente cumprir os objectivos propostos devido à panóplia

de conceitos que é necessário que os estudantes apreendam. No ano académico anterior (2005-2006), esta disciplina foi reformulada de modo a aumentar os conceitos transmitidos aos alunos e para lhes permitir o desenvolvimento de projectos mais integrantes. Esta nova abordagem segue algumas de indicações propostas por [1-11] destinadas a melhorar pedagogicamente o perfil do ensino da robótica.

No curso de Engenharia Electromecânica, os alunos começam muito cedo a possuir conhecimentos no que toca a sistemas embebidos baseados no μC MSP430 da Texas Instruments. Nas aulas laboratoriais de Instrumentação e Medida, este μC é usado na aplicação dos conceitos teóricos relativos ao condicionamento de sinal e aquisição de dados. A utilização deste μC prende-se fundamentalmente com o seu baixo custo; a disponibilidade de kits de desenvolvimento de hardware e de ambientes de desenvolvimento integrado de software, de custo reduzido; ao número de periféricos incluídos no μC ; as características de baixo consumo energético; ao elevado número de portos; à acessível programação em linguagem C/C++ ou assembler; e muito relevante para o ensino destes conceitos, a rápida curva de aprendizagem que permite que os alunos iniciem num estado ainda embrionário de conhecimento sobre esta temática, a criação das suas próprias aplicações. Todavia, esta potencialidade requer uma introdução ao μC MSP430, a sua arquitectura, a hierarquia da memória, os módulos internos, portos de entrada/saída, periféricos e conceitos de programação em C. Quando os alunos chegam à disciplina de Automação e Robótica, possuem já conceitos de controlo de sistemas, sensores e instrumentação, aquisição de dados e programação de microprocessadores, sendo o desenvolvimento de projectos dificultado por assuntos relativos ao hardware, que tipicamente requerem bastante tempo para a sua construção e montagem.

No decorrer da *Advanced Technical Conference* - ATC 2005, promovida pela *Texas Instruments* (TI), aquando das discussões relativas ao ensino da robótica, surgiu a colaboração entre o Departamento de Engenharia Electromecânica (DEM) da UBI com a TI, cujo objectivo residia na substituição da electrónica de regulação e comando do RoboSapien (RS) pelo μC TI MSP430 e replicar a operação do RS, desenvolvendo, assim um veículo de demonstração de tecnologia, evidenciando as

capacidades deste μC e utiliza-lo como meio de motivação dos alunos. A utilização do RS nas aulas laboratoriais de Automação e Robótica permitiu a consumação dos precedentes objectivos definidos para a disciplina, além de se tornar numa abordagem que captou a atenção dos alunos para a aprendizagem de conceitos relacionados com robótica. Outro benefício desta abordagem resultou no trabalho de equipa entre os alunos em tópicos multidisciplinares. Deste modo integraram diferentes áreas do saber, em contraste com as metodologias tradicionais de ensino que tendem a promover o individualismo e competição entre os alunos.

2. Metodologia

Os objectivos desta abordagem do ensino da robótica foram distribuídos pelos vários grupos de trabalho, cada um envolveu-se numa tarefa em particular, com a finalidade de prossecução do objectivo comum baseado em procedimentos de engenharia inversa:

A. Características do RoboSapien

Esta tarefa consistiu na investigação das características do RS. Paralelamente à leccionação das aulas de índole teórica, são expostos os tópicos fundamentais que envolvem a robótica e especificamente robots com aplicações em tarefas de manufatura, sistemas de coordenadas, actuadores, nomenclatura e características de dispositivos de robots como sejam os manipuladores, aplicações de robots, programação e classificação, sensorização táctil e visão artificial, entre outros tópicos. Relativamente a esta tarefa, todos os alunos investigaram as características do RS e, separadamente, identificaram e exploraram, detalhadamente, as que se englobavam nos tópicos acima descritos.

O RoboSapien (Fig. 1) é um robot humanóide projectado por Mark W. Tilden e comercializado pela WowWee para o mercado de brinquedos. Mede cerca de 34 cm e possui um peso 2.1 kg, incluindo as quatro pilhas (tipo D) localizadas nos pés. Este robot biomórfico foi projectado para ser facilmente modificado ou alterado, já que se acede a toda a electrónica no seu interior muito facilmente e esta encontra-se toda identificada. Assim, uma comunidade crescente têm-se dedicado a modificar e adicionar novas funcionalidades ao robot.



Fig. 1. RoboSapien.

O RS encontra-se pré-programado com movimentos controlados por controlo remoto por infravermelhos, tendo capacidade de locomoção, apanhar objectos com qualquer uma das garras e, até mesmo, atira-los com uma força razoável. Possui também um altifalante que lhe permite exprimir várias vocalizações. O controlo remoto do RS possui 21 botões. Com o auxílio de 2 botões de mudança, ficam acessíveis 67 comandos diferentes de execução do robot. Está equipado com um nível básico de programação. Os utilizadores podem pré-programar um conjunto de instruções de modo a construir macros ou mini-programas de execução de movimentos.

Na Internet podem facilmente ser encontrados sites dedicados à apresentação de modificações realizadas ao RS, como sejam: a integração de uma câmara de vídeo sem fios; a inclusão de um *display* que apresenta texto; faróis; sintetização de voz; controlo do volume; controlo do RS por rádio frequência; entre outros. Porém, nenhuma destas modificações do RS original consistiu na substituição do controlador. Todas estas novas funcionalidades consistiram na integração de hardware [12-15], ou mesmo integração de um μC adicional [16], como é exemplo a substituição da cabeça do RS por um PDA para possibilitar a comunicação com um PC, fornecendo-lhe deste modo capacidade de percepção do ambiente envolvente através da câmara de vídeo [17]. Este último exemplo de modificação do RS teve por objectivo a constituição de duas equipas de 3 RS destinadas a realizarem o primeiro jogo a nível mundial de futebol praticado por robots humanóides no torneio Robocup German Open 2005.

B. Análise da cinemática e dinâmica do robot

Na análise da cinemática e dinâmica (avaliação dos movimentos do robot e suas características) provou-se que, devido ao seu baixo centro de massa, o robot é muito estável. É accionado por 7 motores DC, possuindo um em cada perna que move duas articulações nas ancas e nos joelhos mantendo os pés ortogonais ao tronco. O motor do tronco inclina a parte superior do corpo lateralmente, permitindo a deslocação do centro de massa. Estes três motores locomovem o RS já que este balança a parte superior do corpo lateralmente para atingir um deslocamento periódico da projecção do centro de massa de um pé para outro. O RS pode caminhar para trás de modo semelhante, assim como rodar sobre si mesmo. Também possui um motor em cada ombro para levantar ou baixar os braços e um motor em cada cotovelo para rodar os antebraços e abrir as garras constituída por três dedos. A localização dos motores do RS é apresentada na Fig. 2.

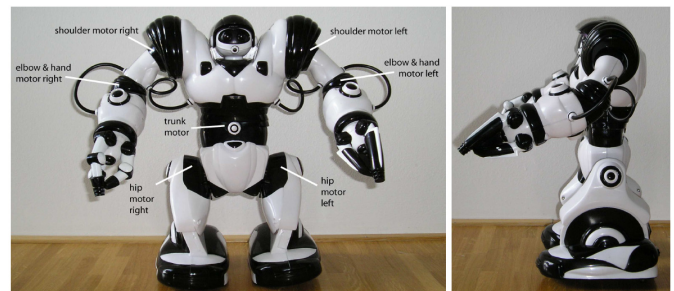


Fig. 2. Localização dos motores do RS [17].

O padrão de locomoção dinâmica do RS conforme exposto em [17] é apresentado na Fig. 3.

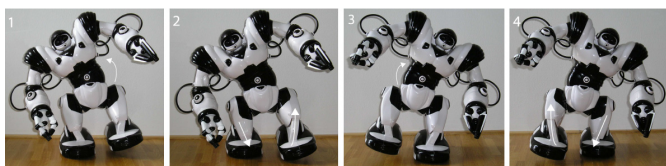


Fig. 3. Padrão dinâmico de locomoção do RS [17].

(1) O motor do tronco inclina a parte superior do corpo para a direita. O centro de massa fica alinhado com o pé direito, em consequência deste movimento o pé esquerdo levanta do solo.

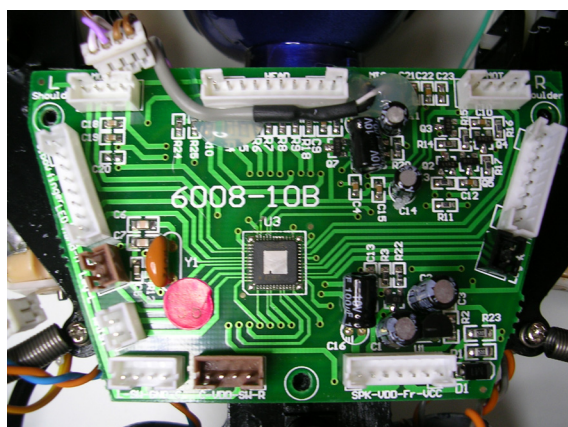
(2) Os motores das pernas movem-se em sentidos opostos, resultando no movimento para frente. À medida que a parte superior do corpo baixa, o pé esquerdo fica em contacto com o solo.

(3,4) Movimentos simétricos a (1,2).

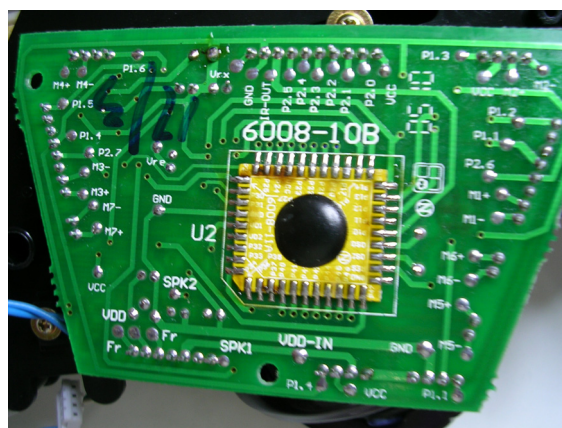
C. Análise dos actuadores, sensores e condicionamento de sinal

A seguinte tarefa requereu a desmontagem do robot para permitir uma análise mais detalhada dos actuadores (motores), da electrónica de regulação, dos sensores e respectivo condicionamento de sinal, e das PCB integradas no robot original.

Conforme indicado anteriormente, as PCB do RS (Controlador U2 e *driver* dos motores U3) encontram-se acessíveis e com as ligações identificadas, indicando as ligações dos motores (M), portas de entrada/saída (P), alimentação das pilhas (VDD) e alimentação regulada (Vcc = 3,6 V) e o neutro (Gnd). A primeira tarefa consistiu em identificar detalhadamente todas as ligações da PCB exposta na Fig 4. O controlador original foi desenvolvido com o propósito específico de controlar o funcionamento do robot. Encontra-se coberto por uma cola impedindo a obtenção e qualquer informação adicional. Além disso, os alunos listaram todos os componentes e dispositivos integrados na PCB e avaliaram as suas funções.



(a) Vista frontal.



(b) Vista traseira.

Fig. 4. PCB original do RS.

Paralelamente, outros grupos de trabalhos encontravam-se dedicados à listagem de actuadores, sensores e dispositivos de saída. Determinaram-se as características mecânicas/eléctricas do interruptor de alimentação, do *driver* dos motores, dos 4 sensores de toque montados nos pés, dos 2 sensores de toque montados nos dedos indicadores, dos sensores fim de curso montados nos ombros e cotovelos, do sensor sonoro e dos 7 LEDs montados nos olhos e dedos.

Após a desmontagem do robot, foram analisados os sinais digitais adquiridos aos portos da PCB para avaliar o estado dos portos de saída do μC original quando o robot executava um comando específico.

Este procedimento consistiu na aquisição de sinais digitais dos portos, inicialmente para um único motor, e posteriormente para os comandos que combinam vários movimentos ao mesmo tempo, sendo também adquiridos os tempos de activação/inactivação de cada motor. Esta tarefa foi conseguida fazendo uso de um osciloscópio Tektronix™ TDS220 para aquisição dos sinais digitais representativos de movimentos isolados e por um analisador de sinais PM3580 da Logic Analyzer para os movimentos que combinam accionamento de vários motores. Na Fig. 5 é apresentada uma fotografia dessa fase dos trabalhos.

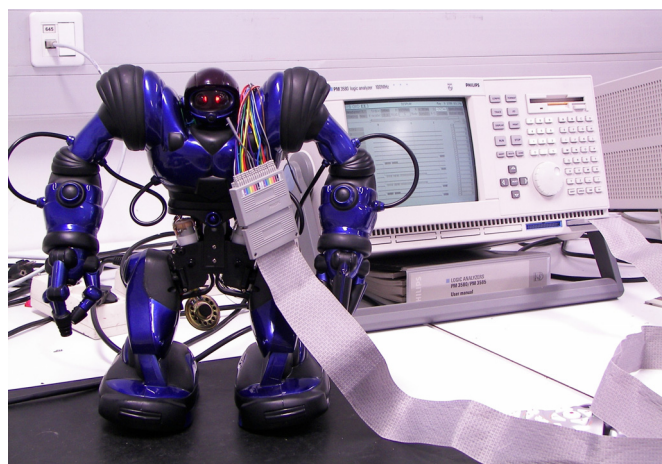
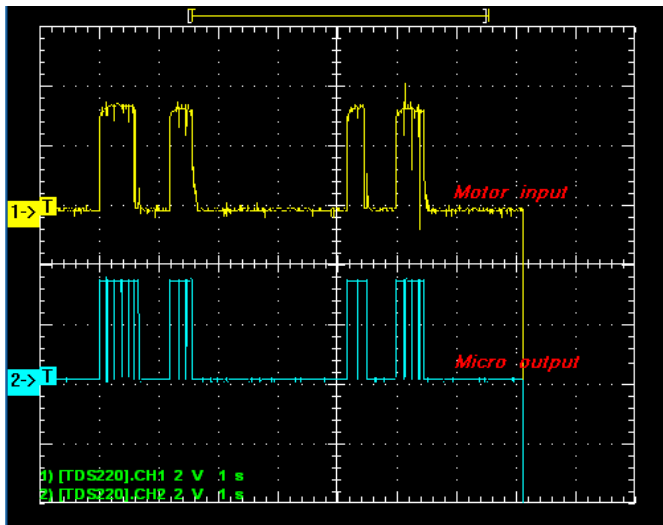
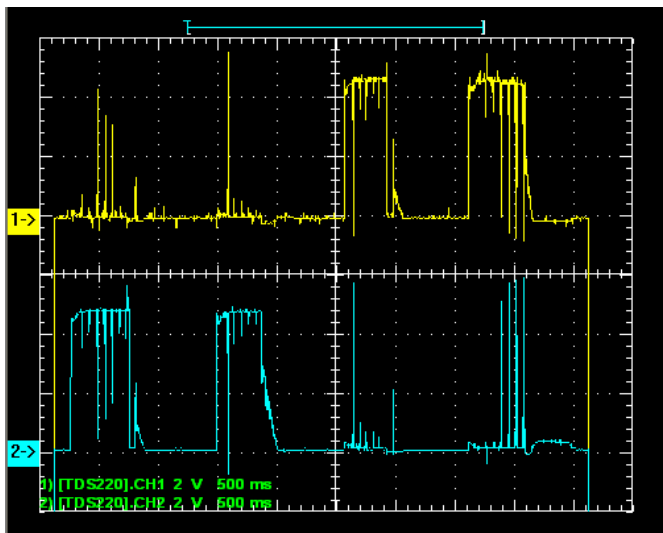


Fig. 5. Utilização do analisador lógico de sinais para adquirir os sinais aos portos dos motores.

A análise dos sinais digitais de cada motor foi realizada por comparação do sinal de saída do controlador original com o sinal recebido pelo motor. Na Fig. 6 são expostos os gráficos obtidos com o osciloscópio digital para um movimento isolado.



(a) Sinal de saída vs. sinal de saída do motor



(b) Movimento do ombro esquerdo de trás para a frente e vice-versa.

Fig. 6. Sinais digitais para um movimento isolado.

A análise dos sinais digitais relativos à acção combinada de vários motores requereu a ligação aos portos de saída do controlador original ao analisador lógico de sinais para medição do tempo de actuação. Assim para todos os comandos combinados definidos no controlo remoto foi recolhida a informação desejada. As funções gráficas foram obtidas apenas para um dos lados (esquerdo) de movimentação do robot, já que para o outro lado (direito) os movimentos são iguais mas com operação dos motores em sentido contrário. Na Fig. 7 é apresentado o exemplo da aquisição dos sinais digitais de saída para o movimento combinado “Oops” Nesta função, o sinal “M1+” (Ombro esquerdo para a frente) encontra-se activo durante 531 mseg e o restante tempo (2125 mseg) inactivo. O sinal digital “M3+” (Ombro direito para a frente) apresenta os

mesmos estados, já que ambos os ombros executam o mesmo movimento ao mesmo tempo.

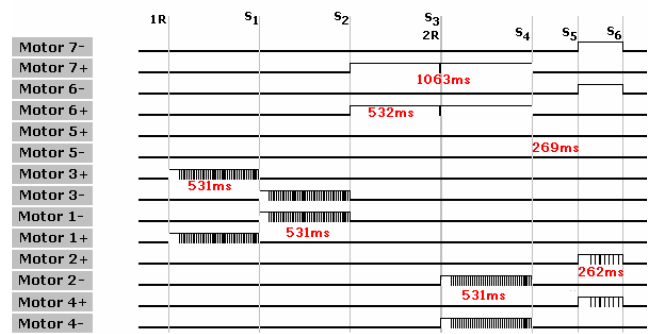


Fig. 7. Sinais digitais para um movimento combinado “Oops”.

Uma das seguintes tarefas reside na análise do padrão dos olhos (LEDs) do RS, já que este depende do comando executado. O controlador original do RS possui 3 saídas para cada olho. Como os olhos apresentam distintos padrões para cada condição de funcionamento, a análise deste padrão pode ser utilizada com uma indicação da evolução digital dos sinais de controlo.

De seguida foi analisado o envio/recepção de comandos através do comando remoto por infravermelhos (IR). Para os comandos de entrada é utilizada uma entrada série directa ao pino IR-OUT (activo em “baixo”, 1200 bps). A frequência de relógio é de 1/1200 (~ 0.833 mseg) em que o sinal se encontra normalmente a “alto”. Determinou-se que para o byte de dados, o tempo de codificação do sinal depende do valor do bit, sendo enviado inicialmente o bit mais significativo (MSB – Most Significant Bit) a 39,2 kHz. O MSB é sempre 1 e os códigos válidos dos comandos variam entre 0x80 a 0xFF. Cada comando IR possui um preâmbulo no qual o sinal vai ao estado “baixo” durante 8/1200 seg. Se o bit de dados é igual a 0, o sinal passa ao estado “alto” durante 1/1200 seg, e se for 1, o sinal passa ao estado “alto” durante 4/1200 seg. Na Fig. 8 é apresentado o exemplo do comando IR “Wake Up”: 0xB1.

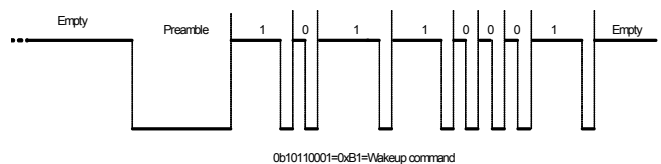


Fig. 8. Exemplo de comando IR – Função “Wake Up”: 0xB1.

Durante este período, outro grupo de trabalho esteve envolvido no agrupamento de toda a informação de modo a desenhar detalhadamente os esquemas electrónicos e, simultaneamente, analisar qual o μC da família MSP430 seria o mais adequado para replicar as funções do controlador original. Assim, foram desenvolvidos novos esquemáticos baseados nos dispositivos de controlo e no μC da TI. Escolheu-se o μC MSP430F149, fazendo uso dos seguintes recursos *on-chip* para controlar o RS: (1) portos (saída): P6.0 – P6.7 e P2.0 – P2.5 para os motores; (2) portos (saída): P4.0 – P4.7 para os LEDs; (3) porto (entrada): P1.1 para o sinal IR; e (4) portos (entrada): P1.2 – P1.3 para os interruptores. Na Fig. 9 é apresentado um esquema na nova PCB.

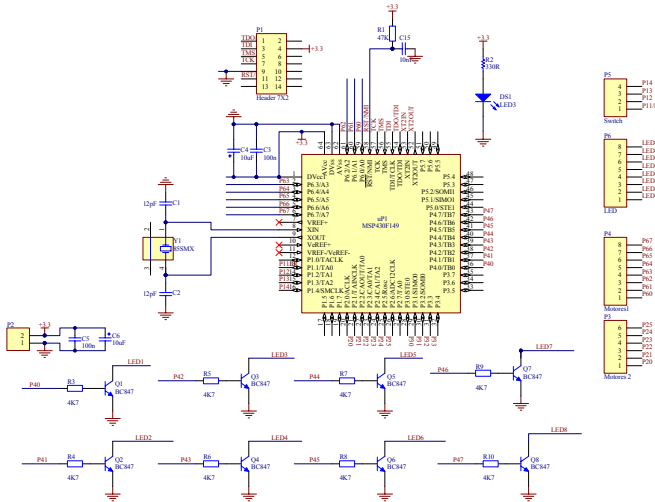
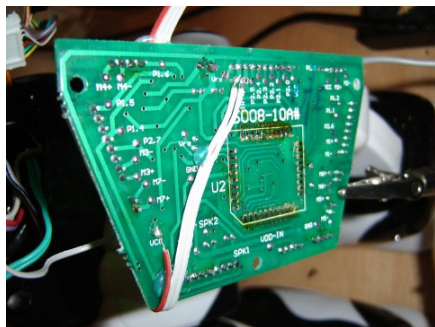
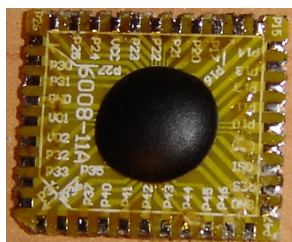


Fig. 9. Esquemático na nova PCB.

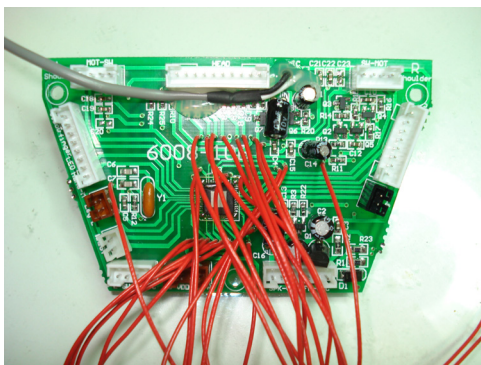
Esta tarefa foi concluída com o desenho e fabricação da nova PCB e montagem de todos os componentes e dispositivos nesta. Na Fig. 10 é apresentada uma fotografia detalhada da PCB original após remoção do controlador. Na Fig. 11 são apresentadas as fotografias na nova PCB e as ligações à placa original.



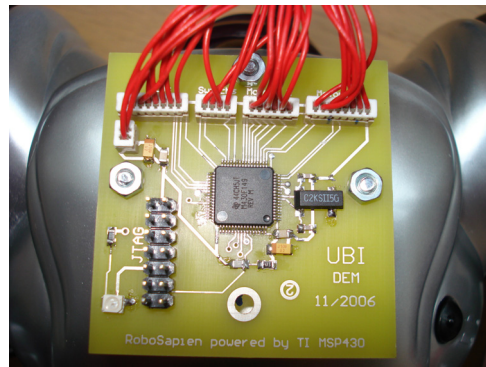
(a) PCB original sem o controlador.



(b) Controlador original.
Fig. 10. PCB original.



(a) Ligações à PCB original.



(b) PCB destinada a alojar o MSP430.

Fig. 11. Nova PCB com o microcontrolador MSP430.

D. Programação em C

A seguinte tarefa consistiu na elaboração do código em linguagem C do μ C MSP430, especificado para executar a dinâmica do robô. O princípio básico do software assentou em 4 conceitos:

1) Organização da informação relativa às acções do RS:

Existe uma tabela de apontadores para garantir um rápido acesso à informação "access table". Nesta tabela estão registados todos os endereços das estruturas com a informação necessária às acções do RS. As acções são diferenciadas, mediante a informação contida nas estruturas "data movements ()". A estrutura "data movements" apresenta a informação relativa à temporização e sequência (sequenciamento) das funções para todos os motores, o estado inicial e, ainda, a informação de fim de actividade. É com base no estado inicial dos motores que estes vão alternando de estado (on/off), sempre que um temporizador atinja a contagem 0. Quando atingida a contagem zero, o temporizador seguinte é activado. O motor termina de funcionar quando é atingida a contagem zero e o próximo temporizador apresenta a contagem 0.

2) Motores lógicos:

Os motores do RS apresentam 3 estados; Rodar no sentido dos ponteiros do relógio; rodar no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio e parado. Para obter esta funcionalidade, cada motor foi desdobrado em dois motores, que são designados por motores Lógicos. Exemplo: O motor físico M1 é representado por dois motores lógicos M1+ e M1- dependendo do sentido de rotação. Os motores lógicos M1+ e M1- não podem possuir o mesmo estado pois causaria em curto circuito. Se M1 = estado 0, então M1+ = "alto" e M1- = "baixo", e consequentemente o motor físico M1 rodaria no sentido contrário aos ponteiros do relógio.

3) Descodificação de comandos:

Os comandos chegam ao RS através de sinais IR, estes sinais são descodificados e o comando resultante irá desencadear uma acção de recarregamento da memória, com a nova informação para a reacção System stack.

4) Função de activação dos motores (System task):

Quando chega ao RS um novo comando, este, depois de descodificado, conduz ao carregamento em memória de informação para a nova acção do RS. É sobre essa informação, alojada em RAM, que esta função vai trabalhar, ela não conhece que tipo de acção está a decorrer, simplesmente executa as temporizações, altera o

estado dos motores e LEDs e carrega as novas temporizações, até terminar a acção desencadeada. Esta função está associada um temporizador do MSP430 e é executada com um período de 1 mseg. Com o intuito de simplificar o software esta função também monitoriza os estados dos interruptores de emergência.

D. Teste e desenvolvimento de novas funcionalidades

A última tarefa consistiu na realização de testes para avaliação e ajuste dos movimentos do robot. Durante esta tarefa, os alunos propuseram o desenvolvimento de novas funcionalidades. Os testes provaram um funcionamento do RS idêntico à versão original. A substituição da electrónica de regulação e comando pelo μ C MSP430 do RS foi concluída com sucesso, tornando num excelente veículo de demonstração de tecnologia. Pedagogicamente, a combinação do RoboSapien e do μ C MSP430 nas aulas laboratoriais permitiu exemplificar conceitos chave de robótica e as capacidades dos sistemas embebidos. A substituição pelo μ C MSP430 dotou o RoboSapien de capacidade evolutiva, já que nos próximos anos pretendem-se apresentar aos alunos projectos que envolvam o desenvolvimento de novas funcionalidades, como sejam: (1) comunicações sem fios; (2) expansão da capacidade de computação por integração de um DSP de modo a que o RS seja capaz de reconhecer comandos de voz; e (3) desenvolvimento de uma aplicação em PC em linguagem de alto nível de modo a integrar-lhe novas acções e movimentos.

5. Conclusões

Apresentou-se a estrutura de ensino na disciplina de Automação e Robótica do curso de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior, vocacionada à integração de conhecimentos multidisciplinares adquiridos ao longo do curso. A modificação do RoboSapien provou ser uma valiosa ferramenta de ensino para a consumação deste objectivo, permitindo o reforço de diversos conceitos chave leccionados no decorrer das aulas de Automação e Robótica. Sendo a aplicação prática muito importante nos cursos de engenharia mas também com grande necessidade de recursos, esta abordagem para o ensino da robótica provou ser muito motivante e estimulante para os alunos, permitindo um controlo de tempo e custos no desenvolvimento de projectos práticos. Em última instância, permitiu reduzir o custo de projecto por aluno e tornou disponível aos alunos o desenvolvimento de uma grande variedade de *upgrades* ao RS baseados em novas tecnologias. Com esta alternativa pedagógica, os alunos ganham muito mais experiência prática do que na metodologia tradicional. Adicionalmente, um dos desafios que enfrentam os docentes de temáticas relacionadas com a robótica encontra-se relacionado com a dificuldade em dotar os alunos de capacidade de integração e transmitir tópicos de cinemática, dinâmica, controlo de sistemas, sistemas embebidos, aquisição de dados e programação de microprocessadores, aplicados ao mundo real. A utilização

do RoboSapien para este propósito é suficientemente complexa, mas não esmagadora, para desafiar e motivar os alunos para a temática da robótica.

Agradecimentos

Agradece-se à *Texas Instruments* pela colaboração no trabalho, e em particular a Robert Owen e Christian Speck pela disponibilização de todos os elementos necessário à prossecução dos objectivos.

Referências

- [1] I. Horswill, "A laboratory course in behavior-based robotics," *Intelligent Systems and Their Applications, IEEE*, vol. 15, issue 6, Nov.-Dec. 2000.
- [2] M. Rosenblatt, and H. Choset, "Designing and implementing hands-on robotics labs," *Intelligent Systems and Their Applications, IEEE*, vol. 15, issue 6, Nov.-Dec. 2000.
- [3] J. A. Piepmeier, B. E. Bishop, and K. A. Knowles, "Modern robotics engineering instruction," *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, vol. 10, issue 2, June 2003.
- [4] B. A. Maxwell, and L. A. Meeden, "Integrating robotics research with undergraduate education," *Intelligent Systems and Their Applications, IEEE*, vol. 15, issue 6, Nov.-Dec. 2000.
- [5] R. Kuc, E. W. Jackson, and A. Kuc, "Teaching introductory autonomous robotics with JavaScript simulations and actual robots," *IEEE Trans. Education*, vol. 47, issue 1, Feb. 2004.
- [6] L. Enrique Sucar, J. Noguez, and G. Huesca, "Project oriented learning for basic robotics using virtual laboratories and intelligent tutors," *Frontiers in Education*, 2005. FIE '05. in *Proc. 35th Annual Conference*, Oct. 2005.
- [7] M. Krugman, "Teaching behavior based robotics through advanced robocamps," *Frontiers in Education*, 2004. FIE '04. in *Proc. 34th Annual Conference*.
- [8] J. M. Conrad, "Stiquito for robotics and embedded systems education," *Computer*, vol. 38, issue 6, May 2005.
- [9] K. S. Rawat, and G. H. Massiha, "A hands-on laboratory based approach to undergraduate robotics education," *Robotics and Automation*, 2004. in *Proc. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference*, vol. 2, Apr 26-May 1, 2004.
- [10] D. J. Ahlgren, "Meeting educational objectives and outcomes through robotics education," *World Automation Congress*, 2002. in *Proc. of the 5th Biannual*, vol. 14, 9-13 June 2002.
- [11] K. Nagai, "Learning while doing: practical robotics education," *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, vol 8, issue 2, June 2001.
- [12] Microbi's RS mods. <http://www.angelfire.com/droid/rsv2/>.
- [13] RS RF Sound Mod. <http://home.comcast.net/~robosapien/rfmod.htm>.
- [14] RS Camera Mod. <http://home.comcast.net/~jsamans/robo/robocam.htm>.
- [15] RSPets RoboSapien page. <http://www.aibohack.com/robosap/>.
- [16] Mark C's RS Hacking Site. <http://homepages.strath.ac.uk/~lau01246/robot/myhackrs.shtml>.
- [17] S. Behnke, J. Muller, and M. Schreiber, "Playing Soccer with RoboSapien", in *Proc. of The 9th RoboCup International Symposium*, Osaka, Japan, paper #97, July 2005.