

# Location and Automatic Trajectory Calculation of Mobile Objects using Radio Frequency Identification

Jose Xavier, Pedro Henriques Abreu, Luis Paulo Reis  
Lab. de Inteligência Artificial e Ciência de Computadores  
Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto- FEUP/UP  
Porto, Portugal  
ee06091@fe.up.pt, pha@fe.up.pt, lpreis@fe.up.pt

Marcelo Petry  
Robótica e Sistemas Inteligentes - INESC Porto  
Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto- FEUP/UP  
Porto, Portugal  
marcelo.petry@fe.up.pt

**Abstract**—The area of object/people location consists on the identification of their instantaneous movement in a given area of space and during a given time frame. This location takes an important role because it can help rectify trajectories (in the case of autonomous objects) or improve the performance (in the case of sport practices). In this research project, a system based on RFID that automatically rectifies a location and calculates a wheelchair trajectory in a pre-defined route will be presented. For that, a commercial location system was used as well as a wheelchair and two routes: a linear one and a complex route. In order to correct the trajectory a low pass filter was also used. The obtained results showed that this approach decreased 38% of the mean squared error and in more than 7 centimeters the maximum error. In the future this research work will be enclosed in a new project where a multi agent system capable of executing a management of an autonomous wheelchair set in a hospital environment will be developed.

**Keywords**—Localização; RFID; Filtro Passa Baixo; Cadeira de Rodas;

## I. INTRODUÇÃO

A localização de objectos inseridos num determinado ambiente é uma área de estudo com bastante interesse para a comunidade científica pois o valor que acrescenta quando aplicada em diferentes sectores é bastante significativo. Estes sectores podem ir desde a localização de transportes até à localização de pessoas. São alguns exemplos:

- No caso dos transportes as vantagens são facilmente perceptíveis como por exemplo:
  - Nos transportes aéreos [1];
  - Monitorização dos transportes de mercadorias [2];
  - Planeamento de trajectórias em tempo real utilizado nos automóveis [3];
  - Ou a vigilância de estradas [4].
- A localização de produtos ao longo de uma cadeia de distribuição é alvo de estudo com vista a reduzir os custos de logística [5].
- A localização de pessoas tem também bastante interesse como por exemplo a nível clínico [6] ou desportivo [7].

Uma outra área onde esta temática ocupa um lugar de destaque é em ambiente hospitalar onde a gestão e a localização de objectos móveis é crucial no bom funcionamento do serviço. Desses objectos destacam-se as cadeiras de rodas cuja quantidade (elevada) e distribuição geográfica dificultam a sua gestão. Este projecto visa melhorar esse factor, apresentando um sistema capaz de localizar em tempo real uma cadeira de rodas e calcular a sua trajectória num determinado percurso. Para isso, foi utilizado um sistema de localização baseado na tecnologia RFID que através do uso de uma etiqueta consegue calcular automaticamente a sua localização. A partir daí utilizando a informação previamente recolhida e um filtro passa baixo, conseguiu-se obter a trajectória da cadeira reduzindo o ruído.

No futuro, este trabalho servirá de base a um projecto mais complexo [8] cujo objectivo assentará na criação de um sistema multi-agente constituído por um conjunto de cadeiras de rodas autónomas cujo principal função será o transporte de doentes dentro do hospital (por exemplo para realizarem um exame e voltarem ao internamento).

Este artigo está organizado da seguinte forma: na secção seguinte será realizado um comparativo entre as tecnologias de que suportam os sistemas de localização existentes. Na secção 3 será apresentada de forma detalhada a metodologia utilizada neste projecto. Os resultados serão apresentados na secção 4 e na secção 5 serão realizadas algumas conclusões e considerações para trabalho futuro.

## II. TRABALHO RELACIONADO

Nesta secção será realizada uma pequena introdução às tecnologias de localização existentes no mercado e uma breve comparação atendendo à área de aplicação a que se refere este trabalho científico.

### A. Global Positioning System (GPS)

O GPS [9] é um sistema de localização baseado em satélites que começou por ser utilizado pelas forças armadas dos Estados Unidos da América para localização de inimigos em ambientes de guerra e que, posteriormente começou a ser usado pelo público em geral.

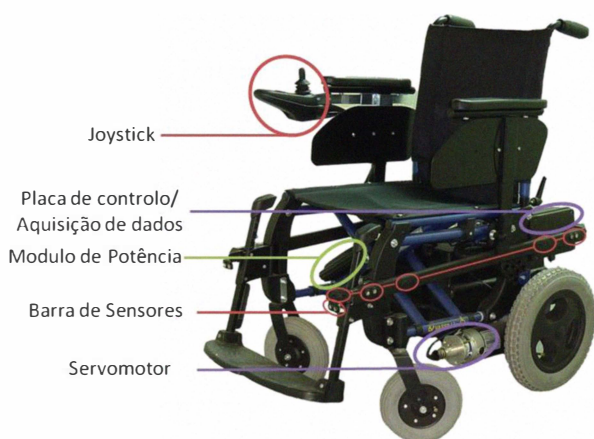


Figure 1. Exemplo da Cadeira de Rodas utilizada no projecto.

Esta tecnologia apresenta bons resultados quer a nível de precisão quer a nível de custos da sua utilização no entanto apresenta uma grande limitação: só pode ser usada em ambientes abertos. Basicamente o seu funcionamento baseia-se na comunicação entre um receptor e vários satélites e consequentemente, quando o receptor se encontra em edifícios fechados ou entre obstáculos físicos, a comunicação com os satélites não é possível [10][11].

### B. Radio Frequency Identification (RFID)

O RFID é um método sem fios de identificação automática capaz de fazer o seguimento de objectos ou pessoas utilizando ondas de rádio. Os sistemas de localização baseados nesta tecnologia são compostos por três entidades diferentes: etiquetas, leitores e servidores. As etiquetas podem ser classificadas em activas (utilizam alimentação interna, e conseguem comunicar com os leitores até uma distância de 40 metros) ou passivas (não necessitam de alimentação interna e conseguem comunicar com os leitores até uma distância de 13 metros). Os leitores têm como função receber e armazenar a informação proveniente das etiquetas num servidor para posterior cálculo de posição [12].

Os sistemas de RFID comuns utilizam a banda UHF contudo, as necessidades mais recentes destes sistemas levaram a que a largura de banda utilizada fosse maior. Assim passou-se a utilizar a *UltraWide Bandwidth*. O espectro de rádio utilizado vai desde os 3.1Ghz até aos 10.6Ghz permitindo resolver problemas como as reflexões de sinal e interferências possibilitando assim, medir com precisão a posição através do *Time Difference Of Arrival* (TDOA) e *Angle Of Arrival* (AOA)[13]. Outra vantagem desta tecnologia é a capacidade de localização de objectos em áreas maiores [14].

### C. Wi-Fi

Wi-Fi é o nome da tecnologia de redes sem fios mais utilizada actualmente. Esta tecnologia utiliza ondas de rádio para providenciar ligações sem fios à Internet e redes locais. Para além disso, esta tecnologia pode servir de base a um sistema de localização utilizando pelo menos um ponto de acesso *Received Signal Strength Indication* (RSSI) embora a precisão seja baixa pela falta de triangulação.

### D. Bluetooth

O Bluetooth é um protocolo de ligação sem fios presente na maior parte dos telemóveis disponíveis actualmente no mercado. Embora este protocolo possa ser utilizado em sistemas de localização, o alto consumo de bateria [15], o fraco alcance e o processo de ligação pouco transparente transforma esta tecnologia inadequada para um sistema de localização eficiente.

### E. ZigBee

O ZigBee define várias especificações na criação de uma *Wireless Sensor Network* (WSN). É possível criar sistemas de localização utilizando estas redes quer através da utilização do RSSI ou TDOA para estimar a posição. No caso do TDOA é possível obter uma precisão de 2 metros no entanto, neste caso, uma boa sincronização de relógio é indispensável sendo por isso necessário adicionar a cada dispositivo hardware com a função de realizar uma boa sincronização de relógio [16].

#### 1) Inertial Measurement Unit (IMU)

A localização pode também ser obtida através da utilização de um IMU. Um IMU é normalmente equipado por um acelerómetro de 3 eixos e um giroscópio de 3 eixos. A utilização dos diferentes sensores permite obter a posição através de dois métodos diferentes e assim através da utilização de um filtro, para fundir a informação de ambos os sensores, obtém-se a posição relativa com maior precisão. No entanto para se obter essa posição é necessário integrar o sinal o que faz com que o ruído seja também integrado aumentando assim o erro das medições [17].

### F. Baseado em Imagem

A maior parte dos sistemas baseados em visão utilizam um sistema multi-câmaras com rede dedicada que, através de um processamento de imagem consegue localizar objectos numa realidade. Contudo a necessidade de uma boa resolução da imagem implica processamentos mais pesados e computadores com elevado poder de processamento [18,19].

A utilização de assinatura térmica é outro método que usa visão para localização de objectos. Contudo, embora estes sistemas apresentem bons resultados em alguns ambientes como por exemplo em oceanos (com o objectivo é o de localizar seres vivos) [20], apresentam limitações importantes como o custo do equipamento e ser uma tecnologia restrita a objectos que emitam temperatura.

### G. Comparação de Tecnologias de Localização

A Table I apresenta a comparação das diferentes tecnologias tendo em conta algumas das principais características analisadas. A classificação do desempenho foi avaliada utilizando uma escala de -2 a +2 em que -2 significa um desempenho fraco e +2 um muito bom desempenho.

Através da análise da tabela é fácil constatar que para a nossa realidade, a tecnologia que apresentou melhores resultados foi RFID com a utilização de UWB apresentando como única desvantagem o preço. Neste sentido para este projecto foi adquirido uma solução de localização comercial (descrita nas secções seguintes) que utiliza como base esta tecnologia.

TABLE I. COMPARAÇÃO DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS APRESENTADOS (ADAPTADO DE [21])

Tecnologia	Características Principais			
	Custo	Precisão	Alcance	Consumo de Energia
GPS	+2	+1	+2	-2
RFID	0	0	-2	+1
RFID UWB	-1	+2	+1	+2
Wi-Fi	+1	-1	0	-1
Bluetooth	0	-1	0	-2
ZigBee	0	+1	-1	+2
IMU	-1	0	-	-1
Multi-Câmaras	-1	+1	+1	0
Assinatura Térmica	0	+2	0	-1

### III. METODOLOGIA

Após uma pesquisa sobre sistemas de localização que utilizam como base a tecnologia RFID UWB (previamente descrita) foi seleccionada a solução apresentada pela empresa Ubisense<sup>1</sup>. Nessa solução são utilizados dois métodos para estimação da posição: o AOA e o TDOA (previamente descritos). A utilização destes métodos permite-lhe obter uma precisão até 18cm variando em função do tipo de obstáculos presentes no ambiente e do ruído que se encontra na faixa UWB.

O *Hardware* utilizado, por esta solução, é constituído por sensores e etiquetas. A comunicação entre os sensores é realizada através de dois cabos Ethernet, um para troca de dados entre sensores e outro para cálculo da diferença de tempo (TDOA). Por fim ainda faz parte desta solução uma plataforma de software a qual, possibilita configurar todo o sistema (por exemplo configurar a posição das antenas, a periodicidade da taxa de aquisição dos valores de localização entre outros), bem como visualizar e localizar em tempo real as etiquetas.

Neste projecto foi desenvolvida uma aplicação cujo objectivo principal se baseou na visualização e desenho dos dados fornecidos pelo sistema Ubisense e aplicação de um filtro com vista à redução do ruído proveniente dos dados do sistema de localização. O processo de filtragem é constituído por duas etapas fundamentais. Na primeira etapa, a aplicação desenvolvida interpreta um ficheiro XML que contém os dados provenientes do sistema de localização. Esta operação é efectuada recorrendo à *Framework LINQ to XML* da linguagem C# e basicamente consiste em gravar para cada etiqueta uma lista com todas as suas posições ao longo do tempo. Na segunda etapa do processo, foi utilizado um filtro passa-baixo que permitiu a eliminação do ruído proveniente dos dados do sistema de localização.

$$y_i = \alpha x_i + (1 - \alpha)y_{i-1}. \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{\Delta_T}{\tau + \Delta_T}. \quad (2)$$

A equação 1 apresenta a versão discretizada do filtro passa-baixo em que o resultado  $y_i$  é a soma do valor actual,  $x_i$ , e do valor anterior,  $y_{i-1}$ , tendo associado um peso  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ). Esse valor é definido pela equação 2 e varia em função do tempo de amostragem  $\Delta_T$ , e da constante de tempo definida  $\tau$ .

Por fim, é utilizado um *framebuffer* para desenho dos pontos o que permite a sua representação sempre que a janela de aplicação referente ao desenho esteja activa.

### IV. RESULTADOS

Nesta secção, os resultados de dois testes de localização e identificação de trajectórias com a utilização da tecnologia RFID serão apresentados. Apesar do sistema Ubisense fornecer a posição (x, y, z) das etiquetas a cada período de 25ms, esta informação contém uma quantidade significativa de ruído. Desta forma, a utilização de filtros para correcção de dados ocupam um papel primordial sobretudo em aplicações de condução autónoma.

#### A. Validação do Sistema de Localização

O primeiro teste consistiu na avaliação do ruído das posições fornecidas pelo sistema RFID e do filtro escolhido. Para tal, o sistema foi montado numa área livre de obstáculos medindo 10x10 metros. No centro desta área, ao nível do chão, foi traçada uma trajectória recta medindo 3 metros. A etiqueta RFID foi então conduzida ao longo desta trajectória a uma velocidade constante de aproximadamente 0,1m/s.

Os dados recolhidos nesta experiência estão representados na Fig. 2. O percurso real encontra-se representado a verde enquanto a vermelho estão representados os pontos obtidos através do sistema de localização, sem a aplicação de qualquer tipo de filtro. A notória interferência do ruído na localização da etiqueta pode então ser atenuada com a utilização de um filtro passa-baixo. Na Fig. 3 pode-se visualizar a verde o trajecto real percorrido pela etiqueta e a vermelho os pontos fornecidos pelo sistema de localização após a aplicação filtro passa-baixo com uma constante de tempo de 0,95s.

Analisando os resultados ilustrados na Fig. 4 (apresenta o erro quadrático médio em função da coordenada x visto que a coordenada y se mantém constante ao longo do percurso), com a utilização do filtro passa-baixa o erro quadrático médio foi reduzido em 38% (tendo o filtro passa baixa apresentado o valor de 0.00171 para o erro quadrático médio, enquanto os dados sem tratamento apresentaram um valor de 0.00277). No que concerne ao erro máximo, os resultados obtidos foram de 0.14232 para 0.21772 cm (melhorando em 35% com a utilização do filtro). Estes resultados demonstram por um lado a necessidade inequívoca de, nestes ambientes ser necessário o uso de filtros para tratamento dos dados e por outro que me mesmo um simples filtro passa-baixa *per si* consegue melhorar de forma significativa a qualidade dos dados.

<sup>1</sup> Mais informações disponíveis em <http://www.ubisense.net>

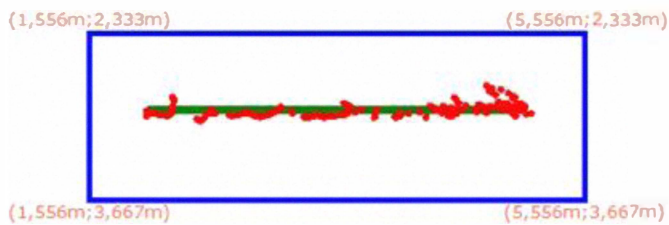


Figure 2. Localização ao longo de recta para validação, sem filtro.

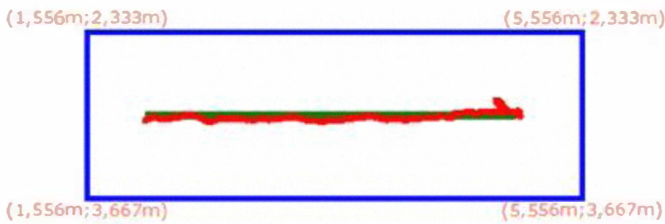


Figure 3. Localização ao longo de recta para validação, com filtro.

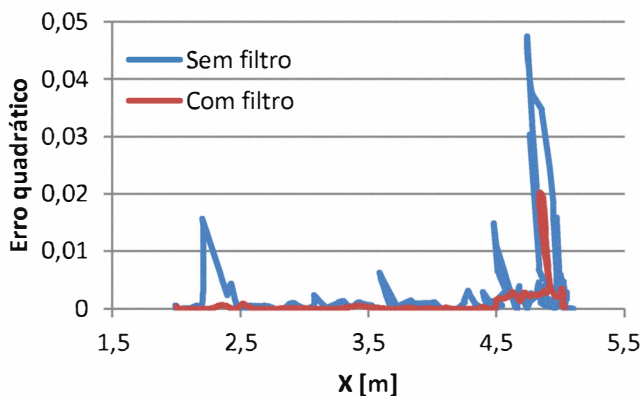


Figure 4. Erro quadrático em função da coordenada x.

### B. Aplicação do algoritmo de filtragem

A segunda experiência consistiu na aplicação do algoritmo de filtragem na localização da cadeira de rodas desenvolvida no projecto IntellWheels [8] durante testes de condução. Durante os testes, foi solicitado aos voluntários que conduzissem a cadeira de rodas num percurso pré-definido utilizando um dos modos de controlo existentes. Após a validação da primeira versão da aplicação esta foi usada para visualizar e filtrar os dados referentes à utilização do Ubisense na cadeira de rodas.

O sistema de localização foi instalado nos cantos de uma sala com aproximadamente 40 m<sup>2</sup>. Nesta sala foram colocados diversos obstáculos de forma a permitir a navegação da cadeira de rodas no percurso pré-determinado. Na Fig. 5 é ilustrado o percurso a ser realizado pela cadeira de rodas assim como o posicionamento dos sensores no espaço. A recolha dos dados de posição da cadeira de rodas foi realizada através da colocação de uma etiqueta na cadeira de rodas, aplicando-se o tratamento anteriormente descrito.

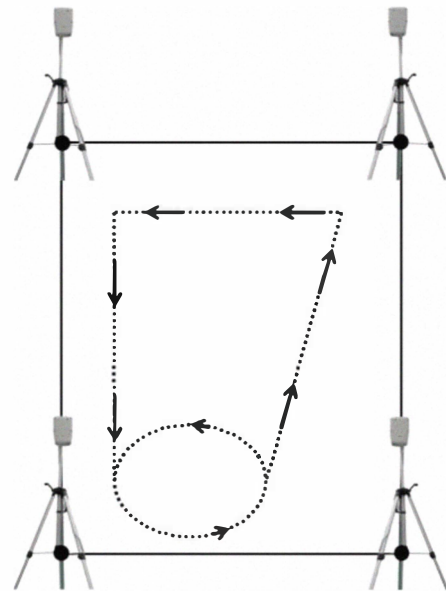


Figure 5. Setup dos sensores de localização no percurso pré-definido.

Como anteriormente descrito existe uma diferença entre a aplicação e a não aplicação do filtro. Um exemplo gráfico que suporta esta afirmação está representado na Fig. 6, onde a posição (x,y) da cadeira de rodas é representada ao longo do percurso não efectuando qualquer tratamento de ruído aos dados. Em contraponto, na Fig. 7, para os mesmos dados, é realizado uma representação gráfica filtrando os dados.

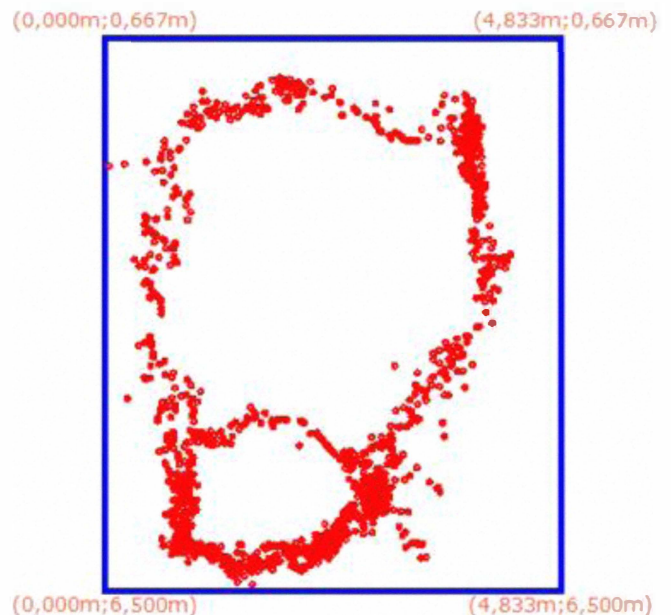


Figure 6. Percurso efectuada pela cadeira de rodas, sem filtro.

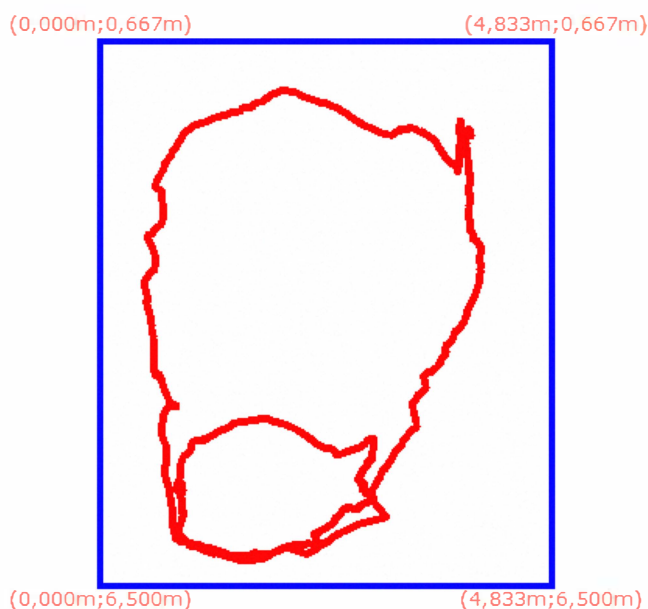


Figure 7. Percurso efectuado pela cadeira de rodas, com filtro.

## V. CONCLUSÃO

Neste trabalho de investigação um sistema capaz de calcular automaticamente a localização e trajetória de um objecto móvel (cadeira de rodas) foi apresentado. Os objectivos do projecto consistiram fundamentalmente na validação do sistema de localização e conseqüente redução do ruído nos dados obtidos. Para o primeiro objectivo foi realizado uma experiência simples que consistia no seguimento de um objecto que se deslocava num percurso recto. Para o segundo objectivo foi desenhado um circuito que englobava mudanças de direcção e a utilização de um filtro passa baixo para redução de ruído nos dados. Os resultados alcançados demonstraram que a abordagem utilizada melhorou substancialmente a qualidade dos dados (redução de 38% do erro quadrático médio e mais de 7 cm no erro máximo).

O próximo passo deste trabalho científico visa a sua integração com um projecto mais complexo cujo objectivo se baseia na criação de um sistema multi-agente capaz de automaticamente realizar a gestão de um conjunto de cadeiras autónomas dentro de um universo hospital. Para isso, será necessário em primeiro lugar, reduzir o valor do ruído, proveniente do sistema de localização, para valores residuais. Esta tarefa implicará estudo comparativo de filtros (por exemplo *Kalman* e Partículas) e aplicação daquele que apresente os melhores resultados para o nosso ambiente. Outro factor preponderante neste sistema é estimar, em cada instante, qual é a direcção da cadeira. Para isso, serão utilizadas 5 etiquetas espalhadas pela cadeira percebendo desta maneira a orientação das suas rodas e diminuindo o problema oclusão (em caso de oclusão de uma ou mais etiquetas as outras compensaram). Após a conclusão destas duas etapas, a cadeira será equipada com duas câmaras de vídeo que ajudaram na aquisição de imagens para posterior tratamento e envio de comandos que irão dotar a cadeira de comportamentos autónomos.

Outras áreas que podem ser exploradas utilizando o sistema desenvolvido é a área do desporto (por exemplo no futebol). Cada vez mais é importante classificar, de uma forma objectiva o desempenho dos jogadores de futebol. Neste sentido um projecto futuro poderia consistir em desenvolver um sistema híbrido constituído por uma aplicação RFID que seria responsável pela localização dos jogadores num jogo e um sistema de câmaras que exclusivamente seria responsável pela localização da bola. A partir da obtenção destes dados, com o mínimo ruído possível, poder-se-ia construir uma ferramenta que fosse capaz de automaticamente calcular informações de alto nível, individuais e colectivas, do jogo.

## AGRADECIMENTOS

M. P. agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento através da bolsa de doutoramento de referência SFRH/BD/60727/2009. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Laboratório de Inteligência Artificial e Ciência de Computadores e pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através do projecto "INTELLWHEELS - Intelligent Wheelchair with Flexible Multimodal Interface" (ref. FCT/RIPD/ADA/109636/2009).

## REFERENCES

- [1] B. Wong and S. Gaukrodger. "Improving future air traffic punctuality: "pinch-and-pull" target windows", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol.82(4), pp. 207-16, 2010.
- [2] P. Arpaia, G. Lucariello and A. Zanesco. "Multi-agent remote predictive diagnosis of dangerous good transports ", *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference* vol. 3, pp.1685-1690, 2005.
- [3] L. Li and Y. Zhang. "A Markov Model for Headway/Spacing Distribution of Road Traffic", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 11(4), pp. 773-785, 2010.
- [4] N. Mandellos, I. Keramitsoglou, and C.T. Kiranoudis, "A background subtraction algorithm for detecting and tracking vehicles," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, pp. 1619-1631, 2011.
- [5] J.M. Ko, C. Kwak, Y. Cho, and C.O. Kim, "Adaptive product tracking in RFID-enabled large-scale supply chain," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, pp. 1583-1590, 2011.
- [6] W.-H. Chen, H.H. Chang, T.H. Lin, P.C. Chen, L.K. Chen, S.J. Hwang, D.H.J. Yen, H.S. Yuan, and W.C. Chu, "Dynamic Indoor Localization Based on Active RFID for Healthcare Applications: A Shape Constraint Approach," *International Conference on Biomedical Engineering and Informatics*, pp. 1-5, 2009.
- [7] C.B. Santiago, A. Sousa, and L.P. Reis, "Survey on Team Tracking Techniques Applied to Sports," *Image (Rochester, N.Y.)*, 2010.
- [8] R.A.M. Braga, M. Petry, A. P. Moreira and L. P. Reis. "Concept and Design of the Intellwheels Platform for Developing Intelligent Wheelchairs", Springer-Verlag, *LNEE/ Informatics in Control, Automation and Robotics*. Vol 37. pp. 191-203, 2009.
- [9] D.B. Fogel, T. Fukuda, and L. Guan, "Scanning the issue/technology," *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, pp. 1415-1422, 1999.
- [10] B. Nejtkovsky, K. Kesler, and J. Stevens, "Real time monitoring of vehicle/track interaction," *In Proceedings of the Rail Transportation Conference*, pp. 25-31, 2005.
- [11] Z. Yu, "Gps train location and error analysis which based on the track fitting of the railway's geometric locus," *Proceedings of the International Conference on Electronic Measurement*, 2005.
- [12] C. Chao, "Determining technology trends and forecasts of rfid by a historical review and bibliometric analysis from 1991 to 2005," *Technovation27 Journal*, vol. 27, pp. 268-279, 2007.
- [13] M. Bouet and A.L. dos Santos, RFID tags: Positioning principles and localization techniques, *IFIP Wireless Days*, pp. 1-5 , 2008.

- [14] C. Roblin, M. Ieee, A. Sibille, S.M. Ieee, M.Z. Win, and F. Ieee, "Ultrawide Bandwidth RFID : The Next Generation ?," Proceedings of the IEEE, vol. 98 (9), pp. 1570-1582, 2010.
- [15] P. Jappinen and P. J., "Preference-aware ubiquitous advertisement screen," In Proceedings of IADIS-e-Commerce, pp. 99-105, 2007.
- [16] H. Cho, H. Jang, and Y. Baek, "Practical Localization System for Consumer Devices using Zigbee Networks," Evaluation, vol. 56, pp. 1562-1569, 2010.
- [17] J. Borenstein and L. Ojeda, "Heuristic Drift Elimination for Personnel Tracking Systems," Journal of Navigation, vol. 63, pp. 591-606, 2010.
- [18] V. Kettner and R. Zabih, "Bayesian multi-camera surveillance," vol. 2, pp. 117-123, 1999.
- [19] O. Javed, "Tracking across multiple cameras with disjoint views," Proceedings Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, vol.2, pp. 952-957, 2003.
- [20] V. Raizer, "Validation of two-dimensional microwave signatures," In Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 2694-2696, 2003.
- [21] P. Abreu, V. Vinhas, P. Mendes, L.P. Reis and J. Garganta, "Real-Time Wireless Location and Tracking System with Motion Pattern Detection, Robot Location and Map Building, edited by H. Yussuf, vol.1, pp. 467-492, 2010.