

Um protótipo para orientação de invisuais em espaços fechados combinando técnicas de multilateração, inerciais e magnéticas, usando redes 802.11 e dispositivos móveis

Rui Mansilha, João Pedro Gomes, Carlos R. Cunha

Instituto Politécnico de Bragança - EsACT

Mirandela, Portugal

ruimansilha@mail.telepac.pt, jpgomes@ipb.pt, crc@ipb.pt

Resumo- Neste artigo, que versa um trabalho em curso, são apresentados os resultados de um protótipo que visa possibilitar aos cidadãos invisuais a aquisição autónoma de bens de consumo em hipermercados. O protótipo implementa uma arquitectura que combina técnicas inerciais, magnéticas e de multilateração, suportadas por redes 802.11 e dispositivos móveis. São apresentados os resultados preliminares de posicionamento e orientação obtidos em testes realizados num hipermercado, e discutidos os principais constrangimentos observados bem como os desafios para trabalho futuro.

Palavras-chave- Redes 802.11; dispositivos móveis; posicionamento; orientação; cidadãos invisuais

I. INTRODUÇÃO

A promoção de uma sociedade aberta e inclusiva, que aceite e respeite a diferença e percepcione a inclusão social das pessoas com deficiência como um dos deveres de cidadania é um dever de todos e de cada um de nós [1]. Na prossecução deste desiderato, e no que concerne aos cidadãos com deficiência visual, tem sido produzida legislação no sentido da referida inclusão, tendo-se criado vários grupos de trabalho no domínio técnico-científico, vincadamente multidisciplinar, no qual a componente tecnológica se tem demonstrado um importante potenciador das soluções apresentadas. A principal área de trabalho, tem sido o desenvolvimento de mecanismos de acessibilidade, aos conteúdos dos sítios Web [2, 3, 4, 5], em alguns casos de forma a possibilitar a compra de bens de consumo em sítios de comércio electrónico [6]. Esta abordagem, visando claramente a inclusão, fornece formas alternativas à compra física, e traduz, em nosso entender, a solução possível à falta de mecanismos que possibilitem a orientação de invisuais em espaços fechados (e.g. hipermercados).

Ao longo do trabalho desenvolvido foram identificados os principais constrangimentos associados ao processo de compra autónoma por parte de um cidadão invisual, tais como: a determinação da posição do utilizador com adequada precisão, a sua orientação e conseqüente necessário apoio no processo de deslocação, os mecanismos que lhes permitam a identificação dos produtos e o apoio específico no caso de existirem problemas que obriguem a um apoio humano externo. Alguns destes constrangimentos, como são o caso das formas de identificação do produto no momento da sua recolha e a

facturação dos mesmos, à luz da regulamentação do mercado de venda de produtos afiguraram-se passíveis de serem ultrapassados *per se*, já que são cada vez mais os produtos, nas prateleiras dos hipermercados, que oferecem informação em Braille e os hipermercados que possibilitam a emissão de facturas igualmente em Braille. No entanto, subsistem lacunas na capacidade de posicionar e orientar de forma eficaz os utilizadores invisuais no processo de compra. Este ponto é no entanto crucial para se promover a compra de produtos *in loco*. Este facto levou-nos à revisão do estado da arte do que tem sido a investigação e as soluções de posicionamento e orientação apropriados para espaços fechados.

As redes IEEE 802.11 apresentam comprovado potencial para suportarem sistemas de posicionamento sendo vários os projectos onde são usadas. Em [7] é apresentado um sistema de tracking de terminais Wireless Local Area Network (WLAN) baseados em Time of Arrival (TOA) apresentando margens de erro de 1.5 metros. Em [8] foi desenvolvido soluções de posicionamento em interiores recorrendo WLAN e baseadas em Extended Kalman Filter (EKF) que são igualmente estudados por [9]. Em [10] é apresentado um modelo de posicionamento em interiores baseado na análise das potência de sinal de pontos de acesso WLAN e na construção optimizada de mapas de potências de sinal. Em [11] é apresentado um sistema de posicionamento em interiores baseado na utilização de mapas de potências de sinal temporais e adaptativos.

Ainda que sejam várias as abordagens no desenvolvimento de soluções de posicionamento e orientação em espaços fechados recorrendo unicamente a redes WiFi, a sua precisão ainda se afigura escassa para um eficaz posicionamento e orientação. No entanto, em nosso entender, o aumento das potencialidades dos dispositivos móveis – nomeadamente a integração de uma forte componente sensorial (e.g. sensores de proximidade, magnéticos e inerciais) abre novas potencialidades para o desenvolvimento de arquitecturas de posicionamento e orientação, assente em dispositivos móveis, mas suportadas por uma abordagem que não se esgote na aplicação de técnicas de posicionamento e orientação ausentes exclusivamente nas redes WiFi. Tendo por base uma abordagem em que são conjugadas múltiplas fontes de dados, é neste artigo apresentado um protótipo que implementa uma

arquitectura que foi desenhada para suportar um sistema de posicionamento e de orientação de invisuais em espaços fechados. Este trabalho, que se encontra em curso, visa possibilitar a compra autónoma de bens de consumo, em hipermercados, por parte de cidadãos invisuais.

Este artigo apresenta no capítulo II a arquitectura com a qual abordamos o problema. No capítulo III é apresentada uma descrição do protótipo através de uma especificação das principais classes implementadas. Por último, no capítulo IV, são tecidos comentários sobre os resultados obtidos e efectuadas considerações sobre o trabalho futuro.

II. ARQUITECTURA PROPOSTA

A arquitectura usada como referência para o desenvolvimento do protótipo (Fig. 1) apresenta um módulo de aquisição de dados que, utilizando alguns sensores do equipamento, recolhe os valores que serão processados no módulo de posicionamento. Este fornece a indicação da posição e da orientação do indivíduo, que é usada pelo módulo de orientação para calcular o trajeto a seguir. Há ainda um módulo responsável pela interacção com o utilizador sob a forma táctil e de voz.

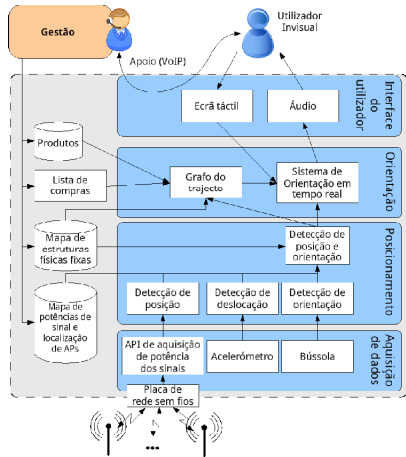


Figura 1 Arquitectura proposta

A. Aquisição de dados

Os dados usados na determinação da posição são adquiridos na totalidade pelo dispositivo móvel.

Primariamente são usadas as potências dos sinais oriundos dos vários pontos de acesso sem fios (AP) existentes no local, através da interface de rede sem fios do referido dispositivo. Estas serão usadas para efectuar uma primeira estimativa de localização.

Adicionalmente, são obtidos os valores da aceleração do dispositivo móvel em três eixos perpendiculares, através de um acelerómetro, permitindo detectar mudanças de posição.

É usada ainda a bússola digital integrada que será útil não só para o cálculo do posicionamento mas também na transmissão de indicações de navegação.

A utilização de múltiplas fontes de informação revela-se importante para aumentar a precisão do posicionamento, pois o cruzamento dos vários dados obtidos permite ultrapassar incoerências e valores pontuais não esperados.

B. Posicionamento

O posicionamento inicial é uma localização bem definida, o que permitirá criar um ponto de referência de precisão que será útil para o início do processo.

A partir daí, o sistema de posicionamento deverá conseguir manter localizado o indivíduo no espaço, com uma precisão que possibilite conduzi-lo junto à prateleira do produto que pretende e num período de tempo que permita a sua marcha ao ritmo habitual. Para o conseguir são conjugados dois métodos, o posicionamento com base nas potências de sinal e o sistema de navegação inercial (SNI).

O posicionamento com base nas potências de sinal usa uma técnica semelhante ao *fingerprinting*, sendo necessária a construção prévia de um mapa de potências a partir da amostragem das potências recebidas em cada ponto de uma malha representativa de toda a área relevante para o posicionamento. A partir daí, é possível estimar a localização actual com base nas potências recebidas em cada instante.

Um dos problemas a ultrapassar neste método é a inconstância das potências recebidas num dado ponto ao longo do tempo, impossibilitando uma relação directa entre potência do sinal e distância ao AP. Tal afecta não só a construção do mapa de potência como também a posterior comparação desses valores de referência com os valores obtidos num dado instante. Para o minimizar são aplicadas filtragens estatísticas aos valores de potência obtidos. Uma estimativa de posicionamento é conseguida usando uma função de distribuição de probabilidade que permite criar uma matriz de densidade de probabilidade que indica a probabilidade de posicionamento em cada ponto do mapa. Esta estimativa inicial de posicionamento servirá de ponto de partida ao SNI.

O SNI permite detectar mudanças de posição, usando o acelerómetro para medir a aceleração e a bússola para determinar a direcção geográfica do movimento, possibilitando obter, através das respectivas variações de velocidade e de deslocamento, uma estimativa final de posicionamento. Esta última, por sua vez, será conjugada com novo cálculo do posicionamento com base nas potências de sinal permitindo aumentar a precisão do posicionamento. A precisão do SNI é, porém, afectada pelos movimentos corporais aleatórios que originam incorrecções nos valores calculados. No entanto, os movimentos resultantes da acção de caminhar detectados pelo acelerómetro permitem ainda implementar um pedómetro que permitirá, depois da necessária calibração para o utilizador, calcular o número de passos dados o que será mais um elemento a considerar para obter uma maior exactidão da posição estimada.

Quando o posicionamento com base nas potências de sinal e o sistema de navegação inercial devolvem informação incompatível entre si, devido a alguma situação como as descritas atrás, recorre-se à multilateração, aumentando a precisão do posicionamento pelo cálculo da distância do indivíduo aos vários AP em função das potências dos sinais obtidos.

Importa ainda referir que é utilizada uma estratégia de análise de proximidade no cálculo de novas posições. Isto significa que se considera apenas os pontos em redor da posição anterior no cálculo da nova posição, aumentando assim a precisão da localização e, simultaneamente, diminuindo as necessidades de processamento do dispositivo.

C. Orientação

O sistema de orientação é responsável pela determinação da rota a seguir pelo utilizador, que será aquela que permita a passagem por todos os locais pretendidos e minimize a distância percorrida. Os locais a percorrer correspondem à localização dos produtos a adquirir, os quais são introduzidos previamente no sistema por um funcionário a pedido do utilizador.

Primeiramente, é necessário determinar a ordem pela qual os produtos são recolhidos. Trata-se de um caso típico do problema do caixeiro-viajante ao qual se aplicou um algoritmo genético para o resolver, motivado pela sua capacidade de encontrar uma boa solução em pouco tempo. Esta abordagem não garante que se encontre o melhor trajecto, mas permite obter em tempo útil uma solução muito próxima disso. Após a determinação do trajecto inicia-se o processo de orientação do indivíduo pelos vários pontos de passagem e, paralelamente, o sistema continua a tentar encontrar um trajecto melhor que, caso seja encontrado, substituirá o anterior, não considerando, obviamente, os pontos de passagem já visitados.

O percurso a seguir até à localização do próximo produto da lista é determinado recorrendo ao algoritmo de Dijkstra [12]. Para tal, o mapa do local é representado no formato de um labirinto e os movimentos possíveis são limitados a apenas duas direcções perpendiculares para diminuir a complexidade das instruções a fornecer.

D. Interface do utilizador

Atendendo ao facto do sistema se destinar a ser usado por um utilizador invisual, os métodos de interacção usados serão o sonoro e o táctil, respectivamente para enviar e receber informação do utilizador.

III. PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

O trabalho foi dividido em três partes principais: posicionamento, orientação e interface. Cada uma delas é suportado por diferentes threads da aplicação. O posicionamento é responsável por encontrar a localização actual, combinando o posicionamento WiFi com o SNI. A orientação é responsável por executar algoritmo de encaminhamento para encontrar o caminho mais curto entre duas posições e a interface é responsável pela representação gráfica da informação e interacção; condição que foi implementada para ajudar na melhor compreensão dos progressos, durante o processo de desenvolvimento. Este protótipo foi colocado em funcionamento num cenário real (i.e. hipermercado), usando um PDA HTC Hero com sistema operativo Android, com um processador Qualcomm 528Mhz e 288 MB de memória RAM e seis AP CISCO AIR-AP1131G.

1) Threads e Sincronismos

O protótipo executa simultaneamente várias threads. A sincronização das comunicações entre threads é um dos desafios principais para evitarmos descertos de memória

provocados por duas ou mais threads a comunicar ao mesmo tempo. As convergências das mensagens são orientadas para a classe Positioning. A complexidade da permuta de mensagens implicou lidar com a sincronização, através de uma protecção, chamada de bloqueio. Quando uma thread acede à memória, este activa o bloqueio que impede qualquer outra thread de concretizar a sua função.

2) InertialNavigationSystem

O SNI é executado sob uma classe MapActivity. Esta classe, inicializa a thread para receber amostras do acelerómetro e da bússola digital, quando disponível. As amostras são recebidas com uma periodicidade que depende da velocidade do processamento. Após a divisão dos dados, estes são enviados para a classe DeviceSensor onde são filtrados para obter a gravidade ou o campo magnético. Estes dois vectores são então combinados para obter uma matriz de rotação e adquirir a orientação magnética da actual posição do dispositivo.

Os valores do acelerómetro são adicionados numa fila segundo a lógica FIFO. Com o cálculo do desvio padrão das amostras da lista obtém-se o estado actual do dispositivo (i.e. parado, quando o desvio padrão é inferior; e, em movimento, se está acima do mesmo).

3) WifiPositioning

Semelhante ao INS, o WifiPositioning é responsável pela actualização do varrimento dos sinais WiFi provenientes da classe MapActivity. Este conjunto de medidas é utilizado para correlacionar com o Mapa de Potências para conceber a posição estimada.

4) Positioning

A classe Positioning absorve os resultados das equações matemáticas de todas as classes do WiMarket. Estabelece o modelo de correlação WiFi com o vector do movimento SNI. A posição actual é ainda confirmada com a multilateração.

5) Maze

A classe Maze executa os cálculos de forma a obter a rota mais favorável até um dado destino. Os percursos são harmonizados em linhas e não em diagonais. Sempre que necessário progredir para um novo destino bastará, ao invisual, tocar no ecrã do dispositivo e o novo caminho será calculado.

6) Trilateration

A classe Trilateration está incumbida de processar os cálculos de trilateração/multilateração (i.e. dependendo do número de AP considerados no instante) de forma a conceber uma matriz de probabilidades. Cada célula da matriz é tida como se de uma actual posição fosse. Convertido o sinal dBm em distância e sabendo a distância entre o ponto de acesso a essa posição da matriz, é possível determinar uma zona de maior taxa de incidências. A formula utilizada foi $((-rssi-40.0)+1.0)*2.0)+8.0$ [13].

As principais classes de posicionamento e orientação do protótipo, descritas anteriormente, são apresentadas na Fig. 2.

B. Diagrama de Posicionamento e Navegação do WiMarket

As principais classes de posicionamento e navegação do protótipo, descritas anteriormente.

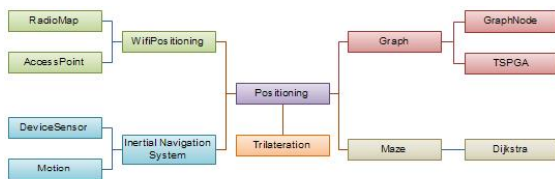


Figura 2 Diagrama com as principais classes de posicionamento e navegação.

C. Exemplos de funcionamento do protótipo

Exemplos de apresentação do protótipo como auxiliar ao processo de desenvolvimento e testes.

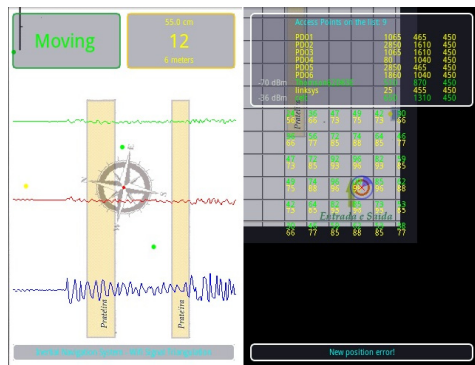


Figura 3 Visor do estado do pedómetro, acelerómetro e bússola digital (à esquerda) e do estado das correlações (à direita).

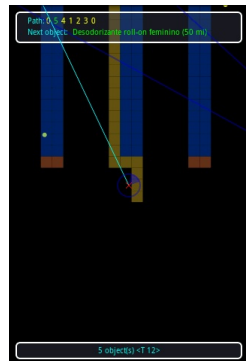


Figura 4 Visor do caminho calculado no processo de deslocação.

IV. DISCUSSÃO E TRABALHO FUTURO

O protótipo desenvolvido tem sido testado num hipermercado de média dimensão, o que tem sido determinante na revelação de problemas que, inevitavelmente, surgem num ambiente real. Dois exemplos que os ilustram são a dificuldade em calcular a distância aos AP nos casos de pequenas variações das potências dos sinais, o que se verificava não só no caso de grandes

distâncias mas também nas pequenas distâncias pelo facto dos AP estarem posicionados a uma altura considerável: deslocações do invisual em (x,y) representam na prática uma muito menor variação de distância aos AP numa perspectiva (x,y,z); o facto de os AP não estarem à altura do dispositivo móvel, faz com que a variação da deslocação do indivíduo não corresponda ao mesmo valor absoluto da variação da distância ao AP.

Neste momento, o trabalho futuro centra-se na optimização dos algoritmos de posicionamento e deslocação e na utilização de filtros de sinal mais eficientes. Será ainda necessário averiguar a satisfação do utilizador invisual relativamente à solução implementada, para que a aplicação possa suprir, de forma adequada, as necessidades do invisual.

A evolução dos resultados obtidos nos testes realizados permitem-nos considerar que a arquitectura proposta para resolver este problema de posicionamento e orientação com base em múltiplas fontes de informação é promissora e demonstra potencial de evolução à medida que as capacidades dos dispositivos móveis aumentam, bem como na medida da estabilidade dos sinais emitidos pelos dispositivos 802.11 melhora.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ACAPO, in <http://www.acapo.pt/index.php/acapo>, consultado a 4 de Fevereiro de 2010.
- [2] J. Yuquan Shi, "The accessibility of Queensland visitor information centres' websites", *Tourism Management*, vol. 27(5), 2006, pp. 829-841.
- [3] Clerk Paul T. Jaeger, "Assessing Section 508 compliance on federal e-government Web sites: A multi-method, user-centered evaluation of accessibility for persons with disabilities", *Government Information Quarterly*, vol. 23, issue 2, 2006, pp. 169-190.
- [4] Max I.V. Ramakrishnan, Jalal Mahmud, Yevgen Borodin, Muhammad Asiful Islam, Faisal Ahmed, "Bridging the web accessibility divide", *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 235, Proceedings of the 4th International Workshop on Automated Specification and Verification of Web Systems, 2009, pp. 107-124.
- [5] Stefan Leuthold, Javier A. Bargas-Avila, Klaus Opwis, "Beyond web content accessibility guidelines: Design of enhanced text user interfaces for blind internet users", *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 66, Issue 4, April 2008, pp. 257-270
- [6] E. Pontelli, T. C. Son, "Designing intelligent agents to support universal accessibility of E-commerce services", *Electronic Commerce Research and Applications*, vol. 2, issue 2, pp. 147-161.
- [7] M. Ciurana, F. Barcelo-Arroyo, S. Cugno, "Tracking mobile targets indoors using WLAN and time of arrival", *Computer Communications* vol. 32, 2009, pp. 1552-1558.
- [8] J. Yim, C. Park, J. Joo, S. Jeong, "Extended Kalman Filter for wireless LAN based indoor positioning", *Decision Support Systems*, vol. 45, 2008, pp. 960-97.1
- [9] Y. Chiou, C. Wangb, S. Yeh, M. Su, "Design of an adaptive positioning system based on WiFi radio signals", *Computer Communications* vol. 32, 2009, pp. 1245-1254.
- [10] Sayrafian-Pour e Kaspar, "A Robust Model-based Approach to Indoor Positioning Using Signal Strength", Simula Research Laboratory, Fornebu, Norway, 2005.
- [11] J. Yin, Q. Yang, L. Ni "Adaptive Temporal Radio Maps for Indoor Location Estimation", *Proceedings of IEEE PerCom*, 2005.
- [12] Dijkstra, E. W. "A note on two problems in connexion with graphs", *Journal of Numerische Mathematik* vol 1, pp. 269-271, 1959.
- [13] R. Mardeni, O. Shaifull Nizam, *European Journal of Scientific Research*, vol. 46 pp. 048-061, 2010.