

Desenvolvimento de Plataforma de Robótica Móvel para a Detecção de uma Fonte de Odor

Andy Blanco¹, Amarilys L. López², Alejandro Durán¹, Alejandro R. G. Ramirez²

¹Laboratorio de Investigaciones en Electrónica del Estado Sólido, Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana, Zapata y G S/N, 10400, Vedado, La Habana, Cuba

²Mestrado em Computação Aplicada, Universidade do Vale de Itajaí, CEP 88122-000, São José, Santa Catarina, Brasil

{andy, duran}@imre.oc.uh.cu, amarilyslimalopez@yahoo.es,
ramirez@univali.br

Abstract. *Mobile robotics systems for odor detection have motivated an increasing interest by the research community. Several applications can be founded in monitoring air and water; drugs, gas and explosive detection; demining tasks; exploring caves or tunnels and human rescue missions, among others. Concerning to the detection of volatile compounds, the localization of the odor source by a mobile robot constitutes a serious challenge for scientists and engineers nowadays. In this paper to senses chemical concentrations in order to follow a plume of gas and locate its source, a mobile robot platform is presented. So the technologies employed are described and simulations and experiments are presented and analyzed. This work is supported by the international cooperation CAPES-MES (Brazil-Cuba).*

Resumo. *Recentes aplicações da robótica móvel na detecção de odores têm motivado o crescente interesse da comunidade científica. As aplicações são diversas e voltadas para a medição da contaminação do ar e a água, na detecção de fugas de gases, drogas, explosivos e pessoas, dentre outras. Um problema relacionado ao sensoriamento de substâncias químicas é a localização da fonte de emissão do odor. Neste artigo é proposta uma plataforma, baseada em um robô móvel, que usa as leituras de sensores químicos de concentração, com o objetivo de seguir uma nuvem de gás e localizar sua origem. Com essa finalidade são descritas as tecnologias empregadas e são apresentadas e analisadas as simulações e os experimentos realizados. Esta pesquisa forma parte das atividades do projeto de cooperação internacional CAPES-MES (Brasil-Cuba).*

1. Introdução

Os odores podem ser classificados em agradáveis e desagradáveis e sua percepção tem um importante papel na evolução das espécies [Bell e Tobin, 1982]. De fato, muitos animais captam, através dos odores, a presença da fêmea, de inimigos ou das presas. Destacam-se algumas espécies, como as mariposas, que possuem em suas antenas órgãos que percebem os aromas, em especial das fêmeas [Kowadlo e Russell, 2008].

A detecção de uma fonte de odor pode ser dividida em três fases: a detecção da presença de certo gás, a localização da fonte de emissão, guiado por sensores químicos e

outros meios e o reconhecimento da fonte identificada, usando técnicas de reconhecimento de padrões. Na robótica, o foco da maioria dos trabalhos publicados tem sido o da localização, segundo a revisão realizada em Kowadlo e Russell [Kowadlo e Russell, 2008].

Tradicionalmente o próprio homem, ou auxiliado por animais, realiza a detecção de odores, por exemplo, na detecção de explosivos, substâncias químicas ou substâncias radioativas. Porém, essa atividade é complexa, envolve riscos, e em determinados casos o tempo de detecção se torna uma variável decisiva, por exemplo, na localização de pessoas vítimas de catástrofes, ou na procura de substâncias tóxicas ou explosivas, na detecção de fugas de gás, dentre outras aplicações. Assim, a robótica móvel começa a ser considerada, podendo auxiliar na realização dessas tarefas com maior segurança [Ishida e Nakamoto, 2001]. Comparados aos animais, os robôs podem ser desenvolvidos rapidamente e com baixo custo, podem trabalhar por longos períodos de tempo, sem fadiga, e podem navegar em áreas perigosas para o homem e para os próprios animais.

Nesse sentido são realizados estudos biológicos procurando desenvolver algoritmos que sejam capazes de reproduzir as habilidades dos animais na localização de odores [Vickers, 2000]. Alguns percursos são inspirados em simples comportamentos reativos, que imitam os movimentos biológicos, por exemplo, em forma de *zigzag* ou em espiral [Lochmatter, 2009]. Outros algoritmos mais elaborados são baseados na informação química do ambiente e o fluxo de ar [Farrell, 2002]. Em Marques [Marques, 2002] os autores incorporam um modelo analítico de distribuição de gás para o seguimento da nuvem de odor. Nesse trabalho, o gradiente de concentração, determinado pelo modelo, junto à informação do fluxo de ar, são usados para determinar um vetor que guia ao robô através da nuvem. Outros métodos foram projetados para ambientes com pouco fluxo de ar, onde se dificulta sua medição. Lilienthal e seus colaboradores melhoram a localização de odor nessas condições através do uso de um modelo analítico, construído utilizando mapas de grades [Lilienthal, 2005].

O artigo está organizado em cinco seções. Na segunda seção é introduzida a robótica como ferramenta de auxílio para a detecção de odores. Na terceira seção são descritos os materiais e métodos empregados com ênfase na plataforma de *hardware* e *software* desenvolvida. Na quarta seção são mostrados os resultados experimentais e de simulação alcançados até a fase atual do trabalho. Para finalizar, na quinta seção são realizadas as considerações finais e as perspectivas para trabalhos futuros.

2. A robótica e a detecção de odores

O uso da robótica na localização de odores apenas começou no início da década de 1990. Um dos trabalhos pioneiros pode ser consultado em [Ishida, 1994]. Atualmente, as plataformas de *hardware* e *software* para a implementação de protótipos de robôs móveis em nível de pesquisa, no âmbito da detecção de odores, são diversas. Além dos sistemas desenvolvidos usando microcontroladores comerciais e elementos mecânicos projetados à medida, utilizam-se outras arquiteturas mais conhecidas como, por exemplo, o robô Kephra [Lochmatter e Martinoli, 2009], o Koala em [Martinez e Huges, 2006] e em [Webb, 1998] é utilizado o LEGO RCX.

Este trabalho é seqüência da pesquisa iniciada em [Ramirez et al, 2010], na qual foi utilizada uma plataforma baseada no LEGO NXT, que foi adaptada para realizar o sensoriamento químico e navegar em busca da origem da emissão de gases de etanol. O algoritmo de controle era puramente reativo, de tipo Braitenberg [Braitenberg, 1984].

Na sequência, em [Ramirez et al, 2011] procurou-se aprofundar o estudo das características da nuvem de etanol, a partir do mapeamento da concentração do gás no ambiente de testes. Nesse trabalho, o mapeamento foi realizado a partir das leituras dos sensores de gás em uma grade pré-selecionada, sendo utilizadas para identificar os parâmetros de um modelo de distribuição de gás que considerou uma turbulência homogênea e um fluxo de ar constante e unidirecional, o qual, segundo Kowadlo e Russell (2008), pode ser encontrado em algumas situações práticas e em ambientes controlados.

Na atual proposta, foi construído um robô móvel, e projetadas suas interfaces de *hardware* e *software*, de modo a poder contar com uma plataforma robusta e customizada para realizar o estudo do problema da localização de uma fonte de odor, combinando um comportamento biológico (busca em espiral) com a aplicação do gradiente de concentração, utilizando como referência um modelo de distribuição do gás obtido experimentalmente, proporcionando características de uma navegação que não é estritamente reativa.

3. Materiais e métodos

Esta seção descreve a plataforma projetada para o estudo do problema da detecção de odores, a qual foi denominada de ANDALEs.

3.1. Plataforma de robótica móvel

O sistema robótico, ANDALEs, mostra-se na Figura 1 (a). Baseia-se em quatro blocos funcionais, Figura 1 (b), sendo eles: Módulo de Potência e de Motores de Corrente Contínua (1), Placa de controle de potência (2) (www.robot-electronics.co.uk), Processador AVR (www.atmel.com) (3) e um nariz eletrônico baseado em dois sensores de tipo MOS TGS2610 (4) (www.figaro.com) para a detecção de vapores de etanol. O computador pessoal permite supervisionar o comportamento do robô a partir dos dados provenientes da porta serial do Processador.

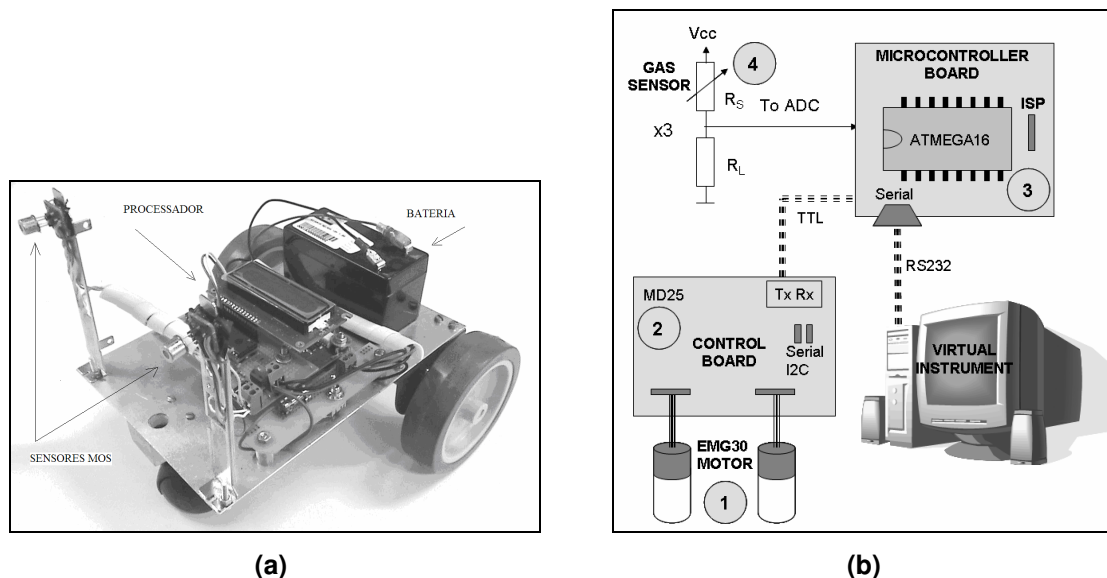


Figura 1. Fotografia (a) e diagrama em blocos (b) do sistema robótico ANDALEs.

3.2. Firmware e Software

O programa Robot.C desenvolvido inclui diferentes sub-rotinas que são executadas segundo níveis de interrupção predefinidos. O mesmo configura os conversores analógicos para digital, realiza as leituras dos sensores, converte os valores lidos em comandos de velocidade e ajusta os dados (escala), conforme os limites de velocidade permitidos pelos motores.

Para estudar o comportamento do robô, os dados provenientes dos sensores e os comandos de movimento são enviados serialmente a um computador, onde são visualizados através de em um Instrumento Virtual (VI), programado usando o LabVIEW 7.1 (National Instruments). Na Figura 2 (a) aprecia-se o painel frontal do VI e em (b) o diagrama em blocos (código) do programa.

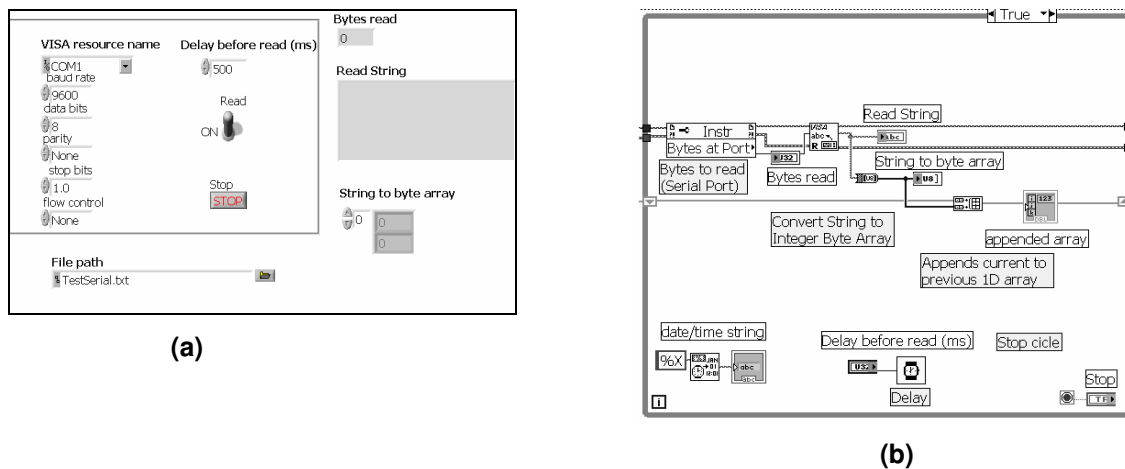


Figura 2. Painel frontal (a) e código do VI (b).

No painel frontal, se estabelecem os parâmetros da configuração da comunicação serial. No diagrama de código foram usadas funções para a comunicação com diferentes dispositivos do padrão VISA (Virtual Instrument Standard Architecture). A função *Configure VISA Serial*, configura a porta serial e o ciclo While, mostrado na Figura 2 (b) permite ler a informação enviada pelo microcontrolador. O formato dos dados ocupa dez bytes, com a informação descrita a seguir:

- Comando de velocidade do Motor Left (três bytes: endereço da placa MD25 (00), endereço do Motor Left (49), e valor da velocidade (0-128))
- Comando de velocidade do Motor Right (três bytes: endereço da placa MD25 (00), endereço do Motor Right (50), e valor da velocidade (0-128))
- Leitura do Sensor Left (dos bytes: Endereço (00), Leitura (0-255))
- Leitura do Sensor Right (dos bytes: Endereço (01), Leitura (0-255))

O comando STOP aborta a execução do laço While, são lidos os dados da memória e se organiza uma matriz, onde cada linha representa um ciclo de leitura e as colunas contem os valores enviados aos motores e lidos dos sensores, descritos anteriormente, a qual é armazenada em um arquivo de texto, podendo ser lida através do Bloco de Notas ou o programa EXCEL (Microsoft), por exemplo.

3.3. Mapeamento da distribuição do etanol

O mapeamento do ambiente foi realizado usando a plataforma projetada. Os testes são executados em um ambiente controlado, com dimensões de 117 x 73 cm. Como mostrado na Figura 3, o veículo é colocado inicialmente distante da fonte de odor, que consiste em um pote contendo etanol. Um ventilador é colocado 5 cm atrás do pote, o qual ventila o ambiente de forma forçada. Uma vez que o ventilador é ligado, o pote é agitado e, após dez segundos, inicia-se o processo de coleta das amostras de gás. O sistema permanece um minuto de repouso entre os experimentos, tempo durante o qual o ambiente é arejado.

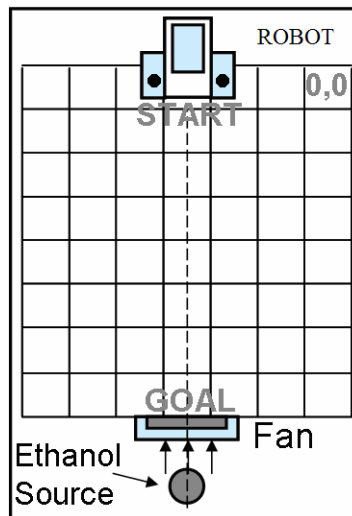


Figure 3. Ambiente controlado de testes.

Para construir o mapa do ambiente (distribuição do gás), o robô é posicionado em uma grade formada por 56 pontos do espaço, que foram selecionados levando em conta as dimensões do veículo. São realizadas dez medições em cada posição da grade e a média das leituras de cada sensor é armazenada. Os valores de concentração lidos são representados por números entre 1 e 1024, onde 1024 representa o valor mínimo de concentração.

3.4. Modelo de odor

Diferentes pesquisadores reportam o uso do modelo de distribuição de gás simplificado, desenvolvido em [Hinze, 1975], atualizado em Lilienthal [Lilienthal, 2005]. Nesse modelo, o valor médio da concentração em um determinado ponto do espaço pode ser descrito pela Equação (1).

$$C_i(x, y) = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot K} \exp\left(\frac{-U}{2 \cdot K} \cdot (d - \Delta x)\right) \quad (1)$$

onde $C(x, y)$ é a concentração no ponto do espaço (x, y) , q é a taxa de liberação do vapor de gás, K é o coeficiente de difusão turbulenta, e U é a velocidade do fluxo de ar. Os parâmetros de d e Δx são descritos pelas equações (2) e (3):

$$d = \sqrt{(x_s - x)^2 + (y_s - y)^2} \quad (2)$$

$$\Delta x = (x_s - x) \cdot \cos \theta + (y_s - y) \cdot \sin \theta \quad (3)$$

A Equação (2) permite calcular a distância entre a fonte de odor e o ponto (x, y) , onde (x_s, y_s) representa a origem da emissão do gás. A Equação (3) permite determinar a projeção do deslocamento do robô (Δx) em relação à fonte de odor $[(x_s-x), (y_s-y)]$ considerando o sentido do fluxo de ar. O parâmetro θ é o ângulo formado pelo vetor do fluxo do ar e o eixo x , medido no sentido anti-horário.

4. Resultados

Esta seção apresenta os resultados experimentais e de simulação alcançados até a fase atual da pesquisa.

4.1. Dados experimentais

A Figura 4 (a) ilustra a média das leituras de concentração proveniente dos sensores S1 (left) e S2 (right), e representa o mapeamento espacial da nuvem de gás. Cabe destacar, que foi usada uma escala de cores para representar os valores de concentração medidos, sendo que a maior concentração é representada pela cor vermelha, enquanto que o azul obscuro representa as zonas de menor concentração.

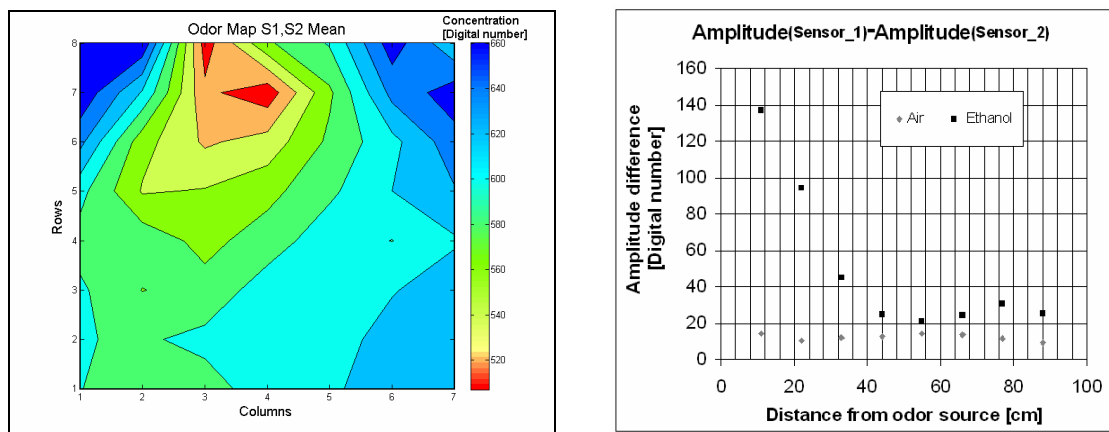


Figura 4. Mapeamento (a) e diferença das leituras de concentração (b).

A Figura 4 (b) mostra as diferenças de amplitude medidas no ar sem etanol (pontos grises) e com a presença do gás de etanol (pontos pretos). Estas medidas correspondem à média das leituras de concentração na linha central da grade mostrada na Figura 3 (linha tracejada). Pode concluir-se que, na presença do ar limpo, a resposta dos sensores é similar, sendo aproximadamente constante, porém na presença de etanol existe uma diferença crescente na resposta dos sensores, principalmente em locais próximos à fonte de odor (0,0). Essa diferença se deve, principalmente, ao fenômeno da difusão dos vapores de etanol no ar a também ao fluxo turbulento, introduzido pelo ventilador e essa diferença deve ser considerada no algoritmo de navegação.

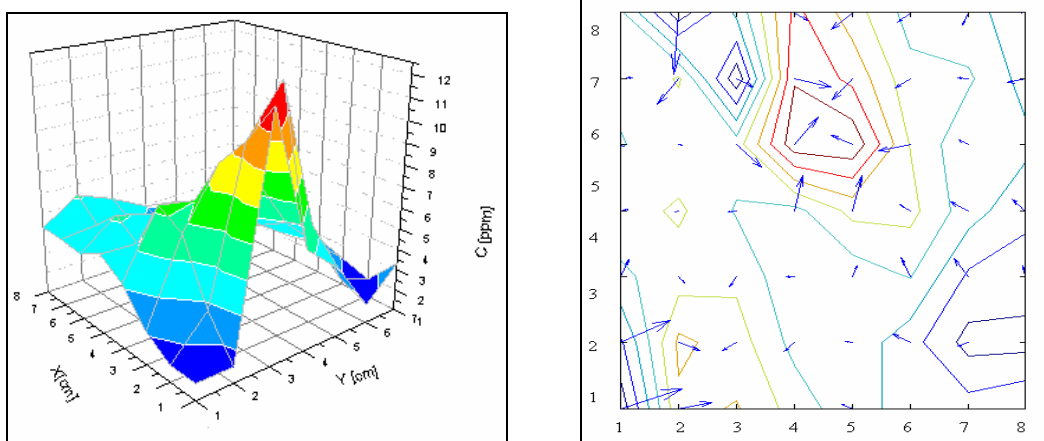
4.2. Ajuste dos parâmetros do modelo de odor

Para realizar o ajuste dos parâmetros do modelo aos dados experimentais registrados são reportados diferentes métodos, tal como os algoritmos de otimização não linear, o método do gradiente descendente e o filtro de Kalman. Nesta pesquisa foi empregado o método de ajuste não linear, com auxílio do programa Origin (Origin), que possui a vantagem de poder realizar o ajuste de múltiplas variáveis independentes.

Tabela 1. Resultado do ajuste dos parâmetros do modelo de concentração

Parâmetro	Valor
Status do ajuste	100 (%)
U	0,5196
K	0,09115
q	3,54921
Número de pontos	56
Graus de liberdade	53
Chi-Sqr reduzido	0,00912

Na Figura 5 (a) observa-se o comportamento Gaussiano dos dados obtidos experimentalmente, o qual coincide com o fenômeno de difusão turbulenta [Hinze, 1975].

**Figura 5. Perfil de odor (a) e gradientes de concentração (b).**

A Figura 5 (b) ilustra os gradientes de concentração (setas) que, dependendo da posição espacial, estarão direcionados à fonte de odor. Para obter os gradientes foram usadas as funções *meshgrid*, *gradient*, *contour* e *quiver*, do Matlab (www.mathworks.com).

A informação sobre o gradiente de concentração pode ser extraída quando o robô se movimenta a uma velocidade relativamente baixa. Deve considerar-se que o sistema de medição empregado geralmente filtra os picos de concentração. Esta filtragem é devida à lenta resposta transitória dos sensores de tipo MOS, quando comparada às flutuações turbulentas da concentração. Desta forma, um robô equipado com sensores MOS, aparenta navegar em um ambiente com uma turbulência inferior à real [Martínez, 2006].

4.3. Navegação

A partir do modelo de concentração de gás, obtido experimentalmente, foi realizado um estudo, em nível de simulação, com o objetivo de projetar um algoritmo que orienta-se a navegação do robô através da nuvem de gás. As simulações foram baseadas na plataforma proposta em [Liu e Lu, 2008]. Nesse ambiente, são considerados dois tipos

de fluido: o ar e o gás em estudo, onde uma fonte libera o gás, originando a nuvem. A simulação é limitada ao espaço bidimensional, sendo que os dados do mapeamento realizado estão disponíveis em um arquivo, em formato ASCII, e podem ser lidos pelo algoritmo de navegação. Considera-se que o tamanho do robô e seu movimento não influenciam na propagação da nuvem. A abordagem utilizada requer da média das leituras de concentração e não usa a informação do fluxo de ar (apenas as medidas de concentração).

A Figura 6 (a) ilustra as componentes físicas da simulação. A Figura 6 (b, c) também mostra os percursos seguidos pelo robô, em duas situações diferentes. Inicialmente, quando não for alcançado um valor umbral de concentração, o robô executará um algoritmo de tipo espiral até achar vestígios do gás (b). Posteriormente, quando alcançado o referido umbral, o algoritmo de busca pelo centro da nuvem (plume-centered) guiará o robô até localizar a origem da emissão (c). Observa-se que a nuvem é seguida com sucesso e a fonte de odor é detectada.

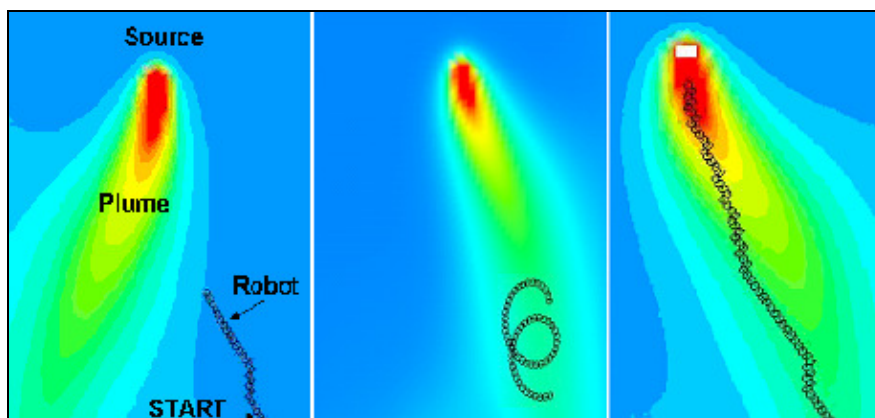


Figura 6. Elementos (a), movimento em espiral (b) e detecção da emissão (c).

4.4 Interface com o Labview

Para comprovar o comportamento experimental do robô, foram aplicados diversos estímulos de concentração (vapor de etanol), verificando-se também a velocidade de resposta.

A Figura 7 (Motor Power and Sensor Data vs Sample) representa a relação entre a variação de potência fornecida ao motor e a concentração de odor. Neste caso, por exemplo, se a leitura do sensor for nula (curva cinza), o qual representa um valor máximo de concentração, envia-se 130 como sendo o valor da potência máxima (curva azul) a ser aplicada no motor, e o robô se encaminhará no sentido desse aumento de concentração. E se a leitura for 250 (ausência do gás etanol) o valor de potência será nulo, nesse caso e o robô procurará no sentido contrário. Pode observar-se a relação linear entre ambas as grandezas na Figura 7.

A Figura 7 (Motor Power vs. Sensor Data) representa a relação linear entre a potência de saída e o valor de concentração medida (em uma média de 900 valores, aproximadamente). Ao variar a concentração de forma linear, a potência variará também de forma linear, mas inversamente, em relação à leitura do sensor.

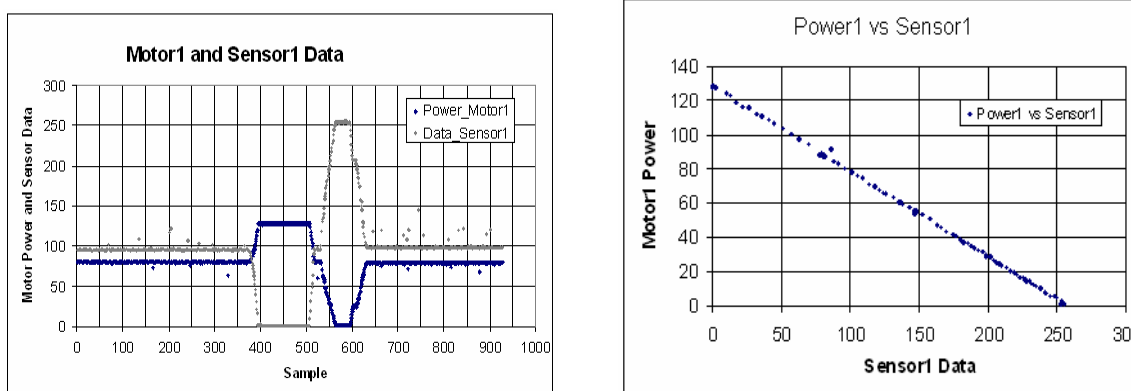


Figura 7. Resultados experimentais.

5. Conclusões

A detecção de odor está gerando um crescente interesse na comunidade acadêmica e diversas são as aplicações e as implicações sociais dessa problemática. Um dos principais assuntos abordados é o da detecção da fonte de emissão do gás.

O objetivo almejado nesta pesquisa foi o de contribuir no desenvolvimento de robôs equipados com a habilidade de detectar e localizar odores, permitindo entender melhor os mecanismos biológicos presentes nos animais, de modo a poder substituí-los nessas tarefas.

As técnicas de navegação propostas fazem uso da informação ambiental, obtida através das medidas de concentração de gases realizadas por sensores químicos, com a finalidade de comandar o movimento de um robô para rastrear e localizar a fonte do odor.

A aplicabilidade da plataforma proposta mostra-se a través dos resultados de simulação e experimentais alcançados. No entanto, o modelo de distribuição de gás utilizado é apenas aproximado, o qual pode conduzir a erros se as condições são muito diferentes das assumidas. Trabalhos futuros poderão ser direcionados à validação experimental da técnica proposta e o estudo de outros modelos de distribuição.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado em parte pela “Red Piloto de Cooperación Universitaria mediante Red multidisciplinaria con ámbito regional” (08CAP2.0655) e pela “Universidad de Alcalá de Henares” (Espanha), assim como também pelo Projeto de cooperação internacional entre Cuba e Brasil CAPES-MES 069/09: “Desenvolvimento de uma plataforma de robótica móvel e narizes eletrônicas para a detecção de substâncias no meio ambiente” (Brasil) e pelo CNPq (edital 10/2010).

Referências

- Bell, W. J. and Tobin, T. R. (1982). Chemo-orientation. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, **57**: 219–260.

- Braitenberg, V. (1984). *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*. Boston, MA, The MIT Press.
- Farrell, J. A., Murlis, J. J., Long, X., Li, W. e Cardé, R. T. (2002). Filament-Based Atmospheric Dispersion Model to Achieve Short Time-Scale Structure of Odor Plumes. In *Environmental Fluid Mechanics*. Kluwer Academic Publishers, p. 143–169.
- Hinze, J. (1975). *Turbulence*. New York, McGraw-Hill.
- Ishida, H. (1994). Study of autonomous mobile sensing system for localization of odor source using gas sensors and anemometric sensors. *Sensors and Actuators A*, **45**(2): 153–157.
- Ishida, H., Nakamoto, T., Morizumi, T., Kikas, T. e Janata, J. (2001). Plume-tracking robots: A new application of chemical sensors. In *Biological Bulletin*, vol. 200, p. 222-226.
- Kowadlo, G. e Russell R.A. (2008). Robot Odor Localization: A Taxonomy and Survey. In *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 27, p. 869-894.
- Lilienthal, A., Streichert, F. and Zell, A. (2005). Model-based shape analysis of gas concentration gridmaps for improved gas source localization. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, p. 3564–3569.
- Liu, Zhenzhang e Lu, Tien-Fu. (2008) A Simulation Framework for Plume-Tracing Research,. In *Proceedings of the Australasian Conference on Robotics & Automation*. Canberra, Australia (ACRA08).
- Lochmatter, T., Heiniger, N., e Martinoli. (2009). A Localizing an odor source and avoiding obstacles: Experiments in a wind tunnel using real robots. In *Proceedings of the 13th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN 2009)*.
- Marques, L., Nunes, U. e de Almeida, A. (2002). Olfaction based mobile robot navigation. In *Thin Solid Films*, Vol. 418 (1), p. 51–58.
- Martinez, D.; Rochel, O.; Hugues, E. (2006) A biomimetic robot for tracking specific odors in turbulent plumes. In *Autonomous Robot*. Special Issue on Mobile Robot Olfaction, Vol. 20 (3), p. 185-195.
- Ramirez, A. R. G., Blanco, A., López, A. L., Bertol, D., Durán, A. (2010). Environmental odor perception: an evaluation of a platform based on LabVIEW and the LEGO NXT for odor detection. In *ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference 2010*.
- Ramirez, A. R. G., Blanco, A., López, A. L. López, De Pieri, Edson R., Durán, A. (2011). An infotaxis based odor navigation approach. In *ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference 2011*.
- Vickers, N. (2000). Mechanisms of animal navigation in odor plumes. In *Biological Bulletin*, p. 203–212.
- Webb, B. (1998). Robots, crickets and ants: models of neural control of chemotaxis and phonotaxis. In *Neural Networks* vol.11 (7-8), p 1479-1496.