

DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR PARA TESTES DE ROTINAS PARA RECONHECIMENTO DE MARCAS DE REFERÊNCIAS EM AMBIENTES TIPO *OUTDOOR* VIA SENSOR LASER

Abraão Marques Tavares

PUC Minas – IPUC – Engenharia Mecatrônica, Av. Dom José Gaspar, 500 – Belo Horizonte – MG, 30535-610, abraaomt@yahoo.com.br

Daniel Ricão Canelhas

PUC Minas – IPUC – Engenharia Mecatrônica, Av. Dom José Gaspar, 500 – Belo Horizonte – MG, 30535-610, canelhas@uai.com.br

Marcelo Becker

PUC Minas – IPUC – Engenharia Mecatrônica - GEAR, Av. Dom José Gaspar, 500 – Belo Horizonte – MG, 30535-610, marcelo.becker@pucminas.br

Denílson Laudaes Rodrigues

PUC Minas – IPUC – Engenharia Mecatrônica - GEAR, Av. Dom José Gaspar, 500 – Belo Horizonte – MG, 30535-610, denilsonlr@pucminas.br

Resumo. *Um dos problemas mais difíceis de serem resolvidos em robótica móvel é o da auto-localização e correção de trajetória em ambientes tipo outdoor. O presente trabalho representa o primeiro passo dado por nosso grupo de robótica para a implementação em um robô móvel, dotado de sensor laser SICK LMS 200, de rotinas para o auxílio à navegação do robô em rotas pré-estabelecidas através de reconhecimento de padrões e posicionamento global via DGPS. Na fase atual de desenvolvimento do projeto foram detectadas as características gerais dos ambientes em que o robô móvel deverá navegar no campus universitário e desenvolvido um simulador em MatLab para, através dos dados do sensor laser, testar as rotinas para auxílio à navegação.*

Palavras-chave: *Reconhecimento de Marcas, Sensor Laser, Robôs Móveis, Ambiente outdoor.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente verifica-se um grande aumento no interesse em pesquisas em robótica móvel focando aplicações onde o robô deve executar tarefas em ambientes externos, ou seja, *outdoor*. Nesse contexto, verifica-se que cada vez mais o planejamento e a execução de movimentos autônomos são necessários, i.e., o robô deve executar tarefas sem a interferência humana. Tal habilidade é essencial tanto em aplicações em ambientes hostis (p.e.: exploração espacial, ambientes contaminados, exploração oceânica e de petróleo a grandes profundidades, etc.), como também no campo de robôs de serviço que atuam em ambientes mais próximos ao ser humano, ajudando-o em tarefas como manuseio de lixo, tarefas de limpeza, movimentação de cargas, auxílio a mobilidade de portadores de deficiências, etc.

Para se obter um grau mínimo de autonomia, deve-se levar em conta que o ambiente no qual o robô irá operar pode ser extremamente dinâmico, ou seja, sujeito a alterações nas posições de objetos que o compõem. Torna-se então necessário fornecer ao robô informações a respeito da área

circunvizinha a ele. Isso é feito através do emprego de sensores que monitoram constantemente o ambiente e o robô (p.e.: sinais de odometria, sensores infravermelho, ultra-som, laser, visão, etc.), em inglês, *sensing*. Em geral o emprego de apenas um desses tipos de sensores não é suficiente para extrair todas as informações necessárias para que o robô possa se movimentar com segurança. Isso se deve às limitações inerentes a cada tipo de sensor. Por exemplo, um sensor laser é incapaz de detectar uma porta de vidro transparente, mas um sensor de ultra-som, pode detectá-la sem maiores problemas; um outro exemplo é o emprego exclusivo de odometria para monitorar o deslocamento de um robô móvel, após alguns metros de deslocamento, observa-se que a distribuição de incerteza quanto ao posicionamento do robô cresce tomando uma forma característica conhecida por “distribuição tipo banana” (Figura 1).

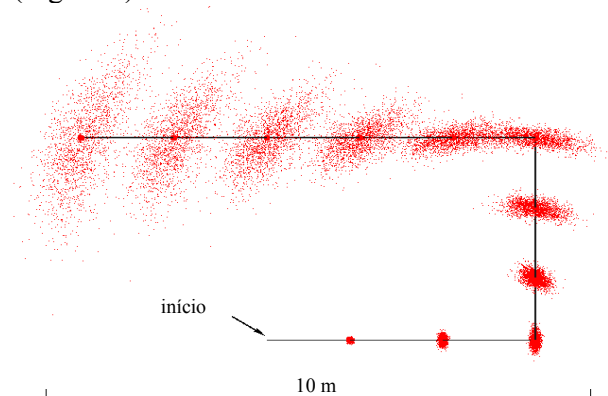


Figura 1. Exemplo típico de limitação de sensor devido aos erros inerentes: emprego exclusivo de odometria no deslocamento de um robô móvel (Thrun, 2004.).

Por isso, muitas vezes empregam-se vários sensores ao mesmo tempo, na tentativa de que a combinação das informações obtidas por cada um possa reduzir as limitações inerentes a eles e, conseqüentemente, os erros de interpretação do ambiente. Esse procedimento é conhecido por fusão sensorial (Castellanos *et al.*, 2001). Tendo sido obtidas as informações a respeito do ambiente no qual o robô irá executar suas tarefas, é necessário então processar todas elas e gerar os comandos apropriados, ou seja, tomar decisões baseadas no quadro que se apresenta, em inglês, *reasoning*. Isso é realizado por um algoritmo cujos sinais de entrada são os dados dos sensores e a tarefa a ser executada. Baseado nessas informações, o algoritmo deve tomar todas as decisões autonomamente para executar a tarefa. Em aplicações de robótica móvel, o algoritmo deve ser capaz de lidar com as seguintes questões: “Onde o robô está? Onde ele deve ir? Como chegar lá?” (Leonard e Durrant-Whyte, 1992). Percebe-se que as duas primeiras questões estão relacionadas ao problema de localização do robô em um ambiente, enquanto que a terceira, ao problema de navegação. Para tentar resolver o problema de localização do robô móvel foram desenvolvidas muitas técnicas, entre as quais, o uso de marcas de referência no ambiente (*landmarks*) que auxiliam o robô a se autolocalizar, reduzindo os erros de posicionamento e o uso de mapas, construídos ou não pelo próprio robô (Castellanos *et al.*, 2001; Dissanayake, *et al.*, 2001, entre outros).

O presente trabalho relata os primeiros resultados obtidos pela metodologia em desenvolvimento para permitir que um robô móvel possa navegar de forma autônoma pelo *campus* universitário. Para tal será empregado tanto um mapa métrico 3D previamente desenvolvido do *campus*, como marcas de referência e sensoriamento através de DGPS (*Differential Global Position System*) e Laser. Futuramente será também empregado um sistema visão artificial com duas câmeras CCD para se obter um sistema de visão *stereo*.

2. NAVEGAÇÃO *OUTDOOR* AUTÔNOMA

O caso da navegação *outdoor* em robôs móveis é um tópico extremamente interessante, mas que devido às diversidades de ambientes, requer diferentes níveis de autonomia, tipos de

combustível (fóssil, baterias, solar, etc.) e tipos de sensores. Um exemplo claro disso é imaginar que, um robô móvel movendo-se tanto em meio a uma floresta ou em um descampado, embora ambos ambientes possam ser definidos como ambientes tipo *outdoor*, possuem graus de dificuldade claramente diferentes (Panzieri *et al.*, 2002).

Verifica-se que o sucesso da navegação autônoma (ou de qualquer sistema de controle baseado em sensoramento) depende basicamente de o quão bem se pode controlar as alterações no ambiente no qual o veículo irá se deslocar. Como citado anteriormente, em um ambiente bem controlado (estático) pode-se definir algumas marcas de referência conhecidas (*landmarks*, como por exemplo *transponders*, marcas visuais, etc.) e, através da detecção dessas marcas reduzir o erro de posicionamento do robô e navegar no ambiente com mais segurança. Esse sistema de navegação é geralmente baseado em um modelo prévio do ambiente (*model based design method*) que não é muito eficiente em ambientes complexos e dinâmicos, ou seja, sujeitos a alterações (Weng e Chen, 2000). O ideal é empregar métodos que não dependam de modelagem prévia do ambiente (*model-free design methods*) ou que não dependam exclusivamente dessa modelagem.

Com relação aos sensores a serem empregados para navegação *outdoor*, verifica-se que sensores de ultra-som não são recomendados pois, além de possuírem um raio de ação pequeno, podem ter sua confiabilidade afetada pela ação do vento e da chuva (Panzieri *et al.*, 2002). Outro problema é que o ambiente pode ser muito dinâmico, ou seja, obstáculos de grandes dimensões podem surgir e desaparecer rapidamente (por exemplo, carros ou caminhões estacionados em um estacionamento). Isso acaba dificultando muito a autolocalização do robô, caso o mesmo não disponha de um sistema de localização baseado em um mapa virtual atrelado a um posicionamento global (GPS/DGPS). Recai-se então em sensores tipo laser, câmeras CCD, DGPS, etc. e na fusão de todas essas informações através do emprego de um filtro de Kalman estendido, EKF, combinando todos os erros dos sensores, e permitindo que a navegação do robô seja feita com o mínimo de erro possível (Panzieri *et al.*, 2002). Deve-se ressaltar que o emprego de EKF é bastante documentado na literatura para resolver os mais diversos problemas de navegação, tendo aplicações em foguetes, mísseis, submarinos, robôs móveis, etc (Leonard e Durrant-Whyte, 1992 e Crowley, 1989).

3. GPS / DGPS

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema de posição e tempo, baseado em 24 satélites, lançado e mantido pelo governo norte-americano. Cada satélite descreve uma volta na órbita terrestre em aproximadamente 12 horas, ou seja, não são geo-estacionários. Implementada inicialmente para aplicações militares (Crossley, 1994; Kaplan, 1996 e Mensah-Bonsu, 2000), a tecnologia GPS é extremamente confiável. A essência de seu funcionamento baseia-se na medida de distâncias entre 4 ou mais satélites e o receptor do GPS, chamadas de pseudodistâncias. Mas, o sistema GPS não é a prova de erros. Erros podem ter várias origens, algumas das quais não completamente compreendidas. Algumas das fontes de erros conhecidas são relativas à interferência e reflexão de sinais dos satélites. Além disto, por razões de segurança nacional, os sinais do GPS tinham até o ano de 2.000 um erro inserido da ordem de 60 m (Mensah-Bonsu e Heydt, 2003).

Uma maneira de diminuir o erro de um GPS é comparar uma posição fornecida por um GPS com uma posição previamente conhecida, empregando essa diferença como forma de correção. Esse conceito é conhecido como DGPS, ou GPS Diferencial, *Differential Global Position System* (Hurn, 1993). O erro então é drasticamente diminuído, tornando possível que aplicações civis possam ser desenvolvidas com precisão da ordem de 1,0 m, incluindo-se aí aplicações no setor automobilístico (Inagawa *et al.*, 2002 e Kato *et al.*, 2002).

Na proposta de implementação de DGPS no robô móvel para navegação *outdoor* no *campus* universitário, serão empregados 2 receptores de GPS. O primeiro será embarcado no robô móvel e o segundo, montado em um prédio do *campus* universitário. Através da combinação desses dois sinais, será obtido o DGPS.

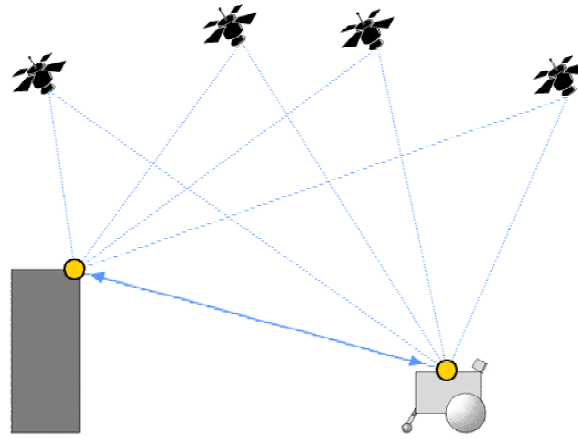
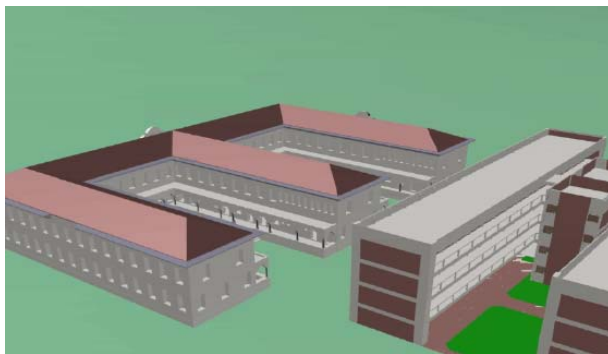


Figura 2. Proposta de implementação de um sistema de localização *outdoor* baseado em DGPS e com o emprego de 2 receptores de GPS, odometria e laser para um robô móvel.

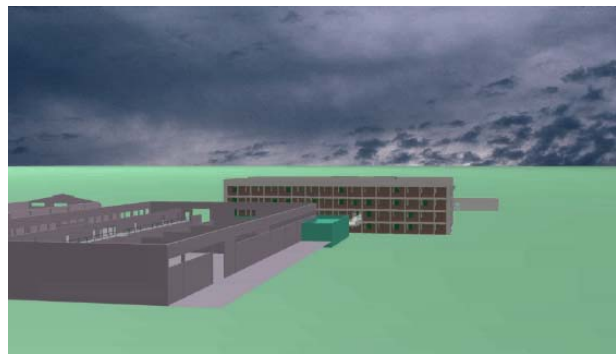
4. METODOLOGIA

A aplicação em desenvolvimento está relacionada com a navegação *outdoor* de um robô móvel no *campus* universitário já previamente modelado em 3-D (Figura 3). A proposta em desenvolvimento para solucionar esse problema é:

1. Empregar um sistema DGPS para fornecer uma estimativa de localização do robô móvel no *campus* universitário;
2. Empregar dados de odometria para também estimar a localização de deslocamento do robô móvel no *campus* universitário;
3. Embarcar um sensor laser SICK LMS 200 e um sistema com 2 câmeras CCD (visão *stereo*) no robô móvel para reconhecimento de *landmarks* e auxílio à navegação (autolocalização e desvio de obstáculos);
4. Empregar um controlador de navegação para o robô móvel baseado em Diagrama de Voronoi. Esse Navegador empregará dados fornecidos por odometria, DGPS, câmeras CCD e laser para ter uma estimativa da localização do robô móvel e definir os deslocamentos a serem executados;



(a)



(b)

Figura 3. Exemplo de desenhos 3-D do *campus* universitário onde o robô móvel realizará navegação *outdoor*.

Como muitos dos deslocamentos no *campus* universitário serão realizados em vias e tendo em vista que o erro de estimativa de auto-localização empregando odometria e DGPS, após alguns metros de deslocamento, pode também chegar a ordem de metros, tornou-se necessário o uso de

landmarks ao longo do trajeto para reduzir esse erro a níveis aceitáveis e seguros tanto para o robô móvel, como para os pedestres que compartilharão a via com o robô. Como *landmarks* escolheu-se a característica do perfil da via na qual o robô móvel irá se deslocar. Esse perfil foi previamente mapeado, ou seja, juntamente com o mapa 3-D do *campus* universitário, mapeou-se também as vias de acesso a cada prédio e o tipo de perfil de cada via. Logo, todas essas informações são constantemente atualizadas (no caso de alguma alteração / reforma) e disponibilizadas para que o robô móvel as empregue em sua geração e correção de trajetórias.

No caso específico de correção de trajetória, a situação de maior risco, que não envolve nenhum contato com humanos e animais, ocorre quando o robô móvel está percorrendo uma certa trajetória pré-estabelecida próxima a grandes variações de perfil de terreno, como por exemplo, declives, encostas, escadas, etc. O robô móvel pode estar estimando que sua posição está correta (ou melhor, dentro de uma faixa de erro aceitável) enquanto que, na realidade, ele está na eminência de “dar um passo em falso” e sofrer danos devido a quedas, capotagens, etc.

Como pode ser observado na Figura 4, um problema menos trabalhoso de ser resolvido na autolocalização refere-se a determinação da posição do robô móvel com relação às margens laterais da via de deslocamento. Se o robô for capaz de localizar-se com relação às sarjetas da via, ou determinar com certa exatidão sua distância com relação às margens da via, ele será capaz de evitar grande parte das possíveis situações de risco às quais ele estaria sujeito. Para tal um sensor SICK LMS 200 será embarcado no robô móvel e dotado de 1 grau de liberdade (no eixo *pitch*, ou de guinada, eixo *x* na Figura 4-a). Desta forma, é possível obter uma leitura das distâncias entre o sensor e o piso da via e, conseqüentemente, uma drástica redução no erro de autolocalização através do DGPS.

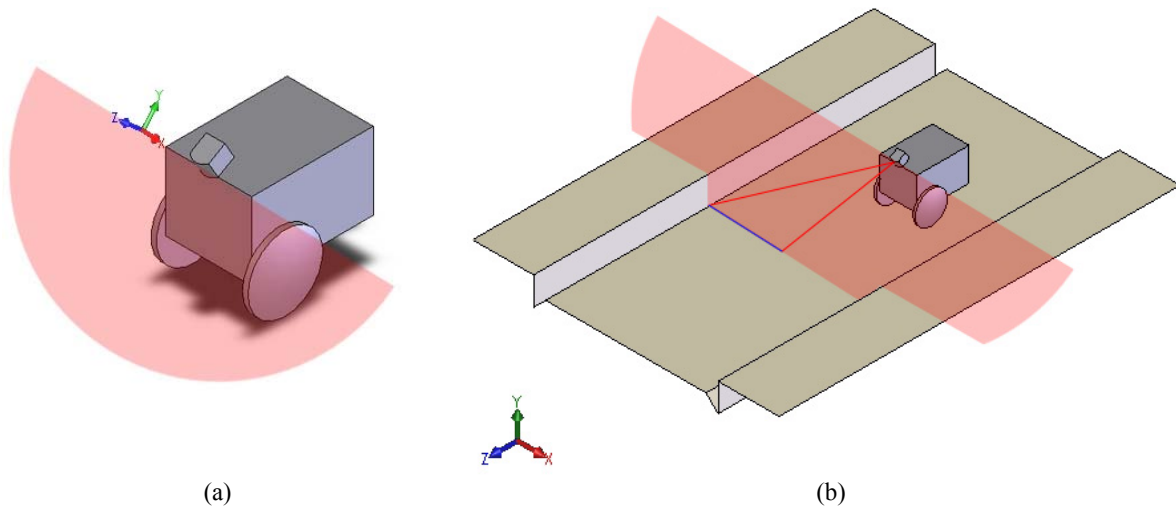


Figura 4. Robô móvel com sensor SICK LMS 200 embarcado: (a) grau de liberdade no eixo *pitch* e (b) representação do robô movimentando-se ao longo da via.

5. IMPLEMENTAÇÃO

Para simular a detecção das bordas da via na qual o robô móvel irá se deslocar no *campus* universitário, desenvolveu-se inicialmente a seguinte metodologia implementada em um programa de simulação desenvolvido em MatLab (fluxograma apresentado na Figura 5):

1. Baseado no perfil da via que se deseja simular, o programa gera um par de vetores (dimensão 361×2) que representa os sinais do sensor laser SICK LMS 200 em coordenadas polares, ou seja, ângulo do sensor de $0,5^\circ$ em $0,5^\circ$ de 0° a 180° e distância medida entre o sensor e o perfil da via em metros;

2. Emprega-se uma função de ruído para simular as irregularidades do perfil da via e erros de medição nas distâncias;
3. Calcula-se então a média dos valores para distância entre o sensor e o perfil da via;
4. Segue-se então o processo de decisão onde se compara a média obtida com cada distância;
 - a. Se a distância for maior que a média para um dado ângulo do sensor, ela será igualada ao valor médio;
 - b. Se a distância for menor que a média para um dado ângulo do sensor, o valor da distância original será mantido;
5. Calcula-se novamente a média dos valores para que o valor médio aproxime-se mais ainda às distâncias no setor navegável do perfil;
6. Encontram-se os dois valores nos quais a média é mais próxima ao valor da distância, ou as bordas do setor navegável da via.
7. Finalmente, obtém-se a distância entre o robô móvel e as bordas.

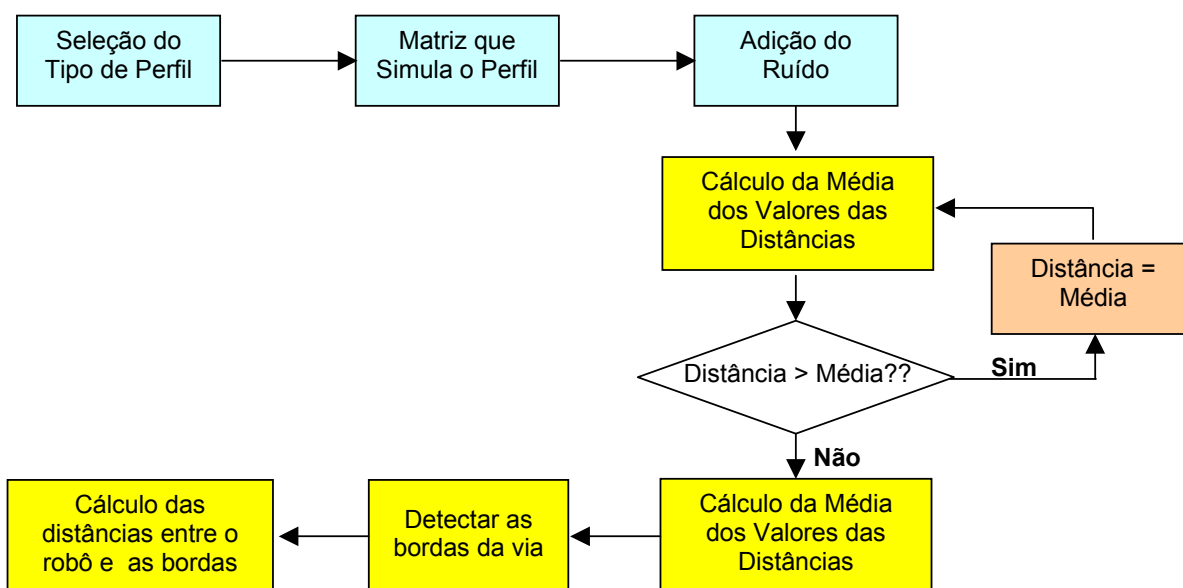


Figura 5. Fluxograma do programa de simulação desenvolvido em MatLab.

Através do programa desenvolvido em MatLab, pode-se verificar a viabilidade das rotinas desenvolvidas para o auxílio à autolocalização.

6. RESULTADOS

Foram simulados diversos perfis diferentes encontrados no *campus* universitário (Figura 6). Para cada perfil, os dados foram gerados seguindo os 3 primeiros blocos do fluxograma da Figura 5. Apesar de simples, a técnica empregada mostrou-se eficaz na detecção das bordas de todos os perfis simulados (Figuras 7 a 10). Em todas as figuras, a linha vermelha representa a média dos pontos que simulam os dados do sensor laser SICK LMS 200; os dois círculos vermelhos representam a posição detectada para a borda da via e o gráfico polar mostra a representação do “corte” do ambiente feito pelo sensor laser (observar a Figura 4-b).

Observa-se que, para um ambiente sem a presença de pessoas movimentando-se junto ao robô móvel, a rotina desenvolvida atende bem às necessidades de correção no processo de autolocalização do robô móvel. Através das distâncias medidas pelo sensor laser e a detecção das bordas do ambiente, pode-se facilmente determinar a distância entre o robô e as bordas da via.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6. Fotos de diferentes tipos de perfil de via do *campus* universitário.

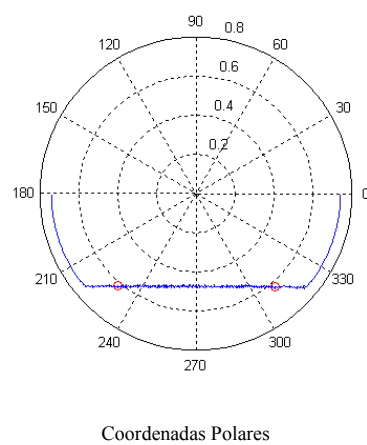
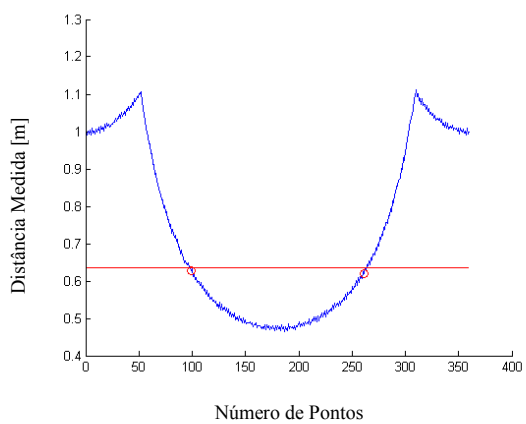
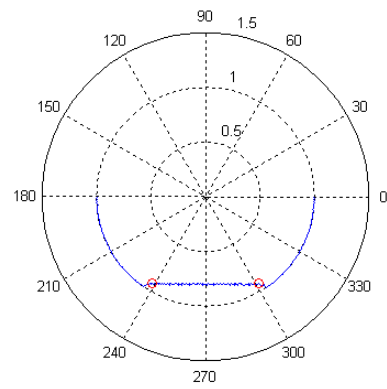
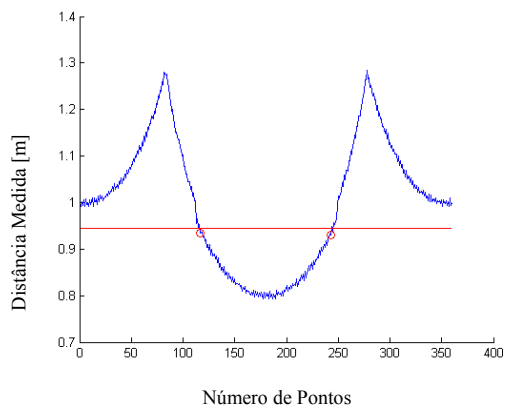
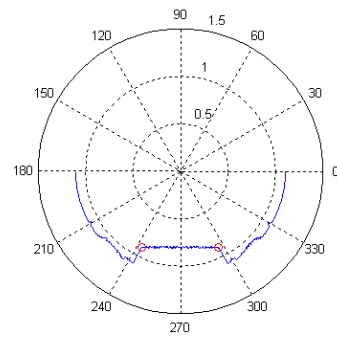
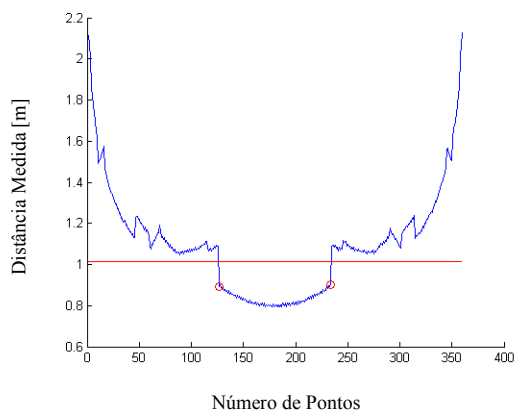


Figura 7. Resultados de simulação da detecção de bordas do perfil da Figura 6-a.



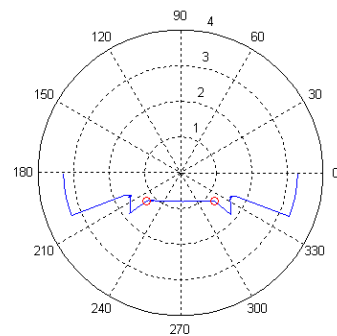
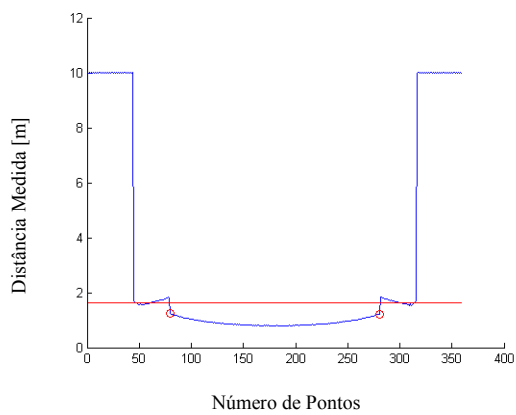
Coordenadas Polares

Figura 8. Resultados de simulação da detecção de bordas do perfil da Figura 6-b.



Coordenadas Polares

Figura 9. Resultados de simulação da detecção de bordas do perfil da Figura 6-c.



Coordenadas Polares

Figura 10. Resultados de simulação da detecção de bordas do perfil da Figura 6-d.

7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Observa-se pelos resultados obtidos com a aplicação das rotinas de detecção das bordas da via que será possível reduzir o erro de autolocalização via DGPS. Porém, como citado anteriormente, não foram simuladas situações em que existe a presença de várias pessoas movimentando-se ao redor do robô móvel. Deve-se então realizar mais simulações com essa condição para verificar viabilidade de aplicação dessas rotinas. Muito provavelmente será necessário empregar fusão sensorial (com visão via câmera CCD) para classificar os sinais provenientes do laser como perfil de via ou pessoas. Então, como próximos passos do desenvolvimento do projeto pode-se citar a implementação de todas as rotinas em C++ e QNX visando seu emprego embarcado no robô e em tempo real, a construção mecânica do mecanismo de 1 GDL para o sensor laser SICK LMS 200.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castellanos, J. A. *et al.*, 2001, “Multisensor fusion for simultaneous localization and map building”, IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 17, N. 6, pp. 908 – 914.
- Crossley, P., 1994, “Future of the global positioning system in power systems”, Develop. Use Global Positioning Syst., pp. 7/1–7/5.
- Crowley, J. L., 1989, “World modeling and position estimation for a mobile robot using ultrasonic ranging”, IEEE Journal of Robotics and Automation, pp. 674 – 680.
- Dissanayake, M. W. M. G., *et al.*, 2001, “A solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem”, IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 17, N. 3, pp. 229 – 241.
- Hurn, J., 1993, “Differential GPS Explained”, Sunnyvale, CA: Trimble Navigation Ltd.
- Inagawa, T, *et al.*, 2002, “Shift control system development (NAVI.AI-SHIFT) for 5 speed automatic transmissions using information from the vehicle’s navigation system”, SAE Paper 2002-01-1254.
- Kaplan, E., 1996, “Understanding GPS: Principles and Applications”, Boston MA: Artech House.
- Kato, S. *et al.*, 2002, “Vehicle Control Algorithms for Cooperative Driving With Automated Vehicles and Intervehicle Communications”, IEEE Trans. on Intelligent Transportation System, Vol 3, No. 3, pp.155-161.
- Leonard, J. J. e Durrant-Whyte, H. F., 1992, “Directed sonar sensing for mobile robot navigation”, Kluwer Academic Publishers, 350 p.
- Mensah-Bonsu, C. e Heydt, G.T., 2003, “Real-time digital processing of GPS measurements for transmission engineering”, IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 18, Issue: 1, pp.177 – 182.
- Mensah-Bonsu, C., 2000, “Instrumentation and measurement of overhead conductor sag using the differential global positioning satellite system,” Tese de Doutorado, Arizona State Univ., Tempe, Aug. 2000.
- Panzieri, S. *et al.*, 2002, “An outdoor navigation system using GPS and inertial platform”, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Volume: 7, Issue: 2, pp.134 – 142.
- Thrun, S., 2004, Homepage: <http://robots.stanford.edu/index.html>: acessado em Janeiro de 2004.
- Weng, J. e Chen, S., 2000, “Visual learning with navigation as an example”, IEEE Intelligent Systems, Volume: 15, Issue: 5, pp. 63 – 71.

Abstract. *One of the most difficult problems in Mobile Robotic systems is the auto-localization behavior and navigation in outdoor environments. This paper relates the first steps in a research on this topic. Our goal is the complete implementation on a real mobile robot of navigation and auto-localization procedures. The robot will use DGPS and laser data to recognize its position on pre-determined paths on our university campus. The results obtained in MatLab simulations were encouraging.*