

ROBÔ CÃO GUIA PARA AUXÍLIO A DEFICIENTES VISUAIS EM RECINTOS FECHADOS

Daniel Mauricio Muñoz, damuz@unb.br¹
Diego Felipe S. Gomez, defesanchez@unb.br¹
Walter de Britto Vidal Filho, wbritto1@gmail.com²
Carlos H. Llanos Quinteros, llanos@unb.br¹

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, DEM, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte –Brasília- DF
Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia, DEMEC, Rua Acadêmico Hélio Ramos S/N, Recife-PE

***Resumo:** O presente artigo aborda o estudo e desenvolvimento de um projeto conceitual de um robô móvel destinado ao auxílio a deficientes visuais na navegação em ambientes internos não usuais. Dois algoritmos de planejamento de trajetória foram implementados e testados no protótipo, usando grafos de visibilidade e diagramas de Voronoi.*

***Palavras-chave:** Tecnologia assistiva, robótica móvel, robô guia*

1. INTRODUÇÃO

O movimento através de lugares não rotineiros é uma tarefa comum que as pessoas realizam todos os dias, sem se dar conta da dificuldade que esta tarefa representa para um portador de deficiência visual. A principal dificuldade desta tarefa não está em desviar dos obstáculos, mas em se localizar, localizar o ponto de destino e determinar o caminho até ele, ou seja, a navegação pelo ambiente. Aproximadamente 0.6% da população mundial podem passar por esta dificuldade, pois segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2002, cerca de 37 milhões de pessoas não tinham visão (Calder, 2007). Dispositivos eletrônicos para auxiliar a movimentação de deficientes visuais vêm sendo desenvolvidos desde a década de 60. Após a década de 70, dispositivos empregando sensores por ultrassom ou fotoemissores, aliados a miniaturização da eletrônica, geraram dispositivos práticos que se tornaram produtos. Podem-se citar o PathSounder e Mowat Sensor Fig. (1) como exemplos do primeiro tipo e o LaseCane do segundo (Brabyn,1982). Eram dispositivos de mão que localizavam obstáculos e alertavam a presença por sinal sonoro ou vibrações. Também nesta época, foram desenvolvidos dispositivos de cabeça com o Sonic Guide (Brabyn,1982).



Figura 1. Mowat.



Figura 2. Ultracane (tecnoAssis, 2010). Figura 3. K-Sonar (fsbinsight, 2010).



Em Calder (2009) alerta-se para as deficiências de alguns dispositivos, quanto ao projeto, tanto na ergonomia como na interface com o usuário, pois muitos possuem interfaces de difícil interpretação, são pesados ou desconfortáveis. Atualmente, a maioria ainda emprega sinais sonoros e vibrações para indicar obstáculos e a distância destes. No mercado, hoje em dia, ainda encontra-se antigos dispositivos como o Mowat e novos dispositivos com o Ultracane Fig. (2) e o K-Sonar Fig. (3) que anexam à bengala branca um sistema de ultrassom. Estes produtos apresentam pouca aceitação devido ao custo elevado e ao foco do projeto que está na detecção do obstáculo e não na navegação pelo ambiente. A principal vantagem deles está em evitar obstáculos aéreos, como galhos e letreiros, além de ter um alcance de detecção de 3 a 4 m. O dispositivo mais utilizado atualmente para localizar obstáculos é a bengala branca. É um produto barato, leve e fácil de utilizar que permite determinar as distâncias do usuário aos obstáculos. Contudo possui alcance de 1 m e não localiza obstáculos aéreos como pode ser visto na Fig. (4). Com o intuito de facilitar a navegação pela cidade, cães foram treinados para identificar obstáculos fixos e móveis, desníveis, escadas e buracos Fig. (5). Os

chamados cães-guia possuem maior eficiência em ambientes conhecidos, podendo levar facilmente o usuário de casa para o trabalho, através de lugares que ele já percorreu antes. O custo da aquisição e treinamento especializado destes animais é o principal limitador da sua aceitação. Contudo a dificuldade de movimentação em ambientes desconhecido ainda é um problema. Quando um deficiente tem que localizar uma loja em um centro comercial, o cão guia e a bengala só o auxiliam a evitar os obstáculos, não localizam o lugar, nem determinam a orientação para chegar ao lugar desejado.



Figura 4. Bengala branca.



Figura 5. Cão-Guia.

2. ROBÓTICA MÓVEL ASSISTIVA

A robótica móvel atingiu grandes avanços atualmente, sendo usada em diversos campos, um deles é na orientação de pessoas. Exemplos atuais são os robôs empregados em museus como guias turísticos, tais como, o robô Minerva (Thrum et al, 1999) e o RHINHO (Burgard et al, 1999) que foram testados no Museu Nacional de História da América em Washington, D.C. e no Museu Germânico em Bonn, Alemanha, respectivamente. A idéia parece nova, empregar robôs móveis na orientação de pessoas, mas devido a semelhança do problema de navegação de deficientes visuais e de robôs móveis, esta foi uma das primeiras tentativas de emprego da robótica assistiva. Em 1981, foi desenvolvido no Japão o robô Meldog destinado a orientação de cegos (Tachi et al, 1981). Devido às limitações tecnológicas da época e do foco em ambientes externos, a idéia não evoluiu para um produto. Esta idéia, contudo, continuou sendo pesquisada no Japão (Mori et al, 1994), aparecendo várias versões de robô como HARANOBU (H. Mori & S. Kotani, 1998) onde utilizaram uma cadeira de rodas motorizada como base para o robô, equipada com sistema de visão, sonar e sistema GPS. Neste trabalho se demonstrou que o robô era inferior a um cão guia em ambientes externos, quanto à mobilidade e desvios de obstáculos. Para ambientes externos a locomoção por rodas é um forte limitador.

Kulyukin et al (2004) adaptaram um robô móvel para auxílio à deficientes visuais empregando identificação de posição por radio-frequência para diminuir os erros de posicionamento. Com este robô testaram os algoritmos de navegação e a comunicação homem-máquina.

Observa-se que os sistemas robóticos para auxílio a deficientes visuais empregaram uma vasta gama de sensores, internos e externos, para percepção do ambiente, bem como computadores embarcados. Uma questão a ser investigada seria quais são os recursos mínimos para desenvolver um robô móvel assistivo viável economicamente e tecnicamente.

3. METODOLOGIA

O projeto de um sistema robótico para auxílio a deficientes visuais começa pela análise das necessidades do usuário, desenvolvimento do conceito e estudo da viabilidade do conceito. O estudo de viabilidade visa determinar viabilidade econômica e técnica.

Neste trabalho objetivou-se verificar se as tecnologias robóticas disponíveis podem ser empregadas no desenvolvimento de um robô cão-guia, bem como, determinar os requisitos de projeto e recursos tecnológicos mínimos para um robô móvel cumprir esta tarefa.

3.1. Necessidades

A necessidade básica é a navegação, apesar dos dispositivos eletrônicos de auxílio à mobilidade desenvolvidos até hoje objetivarem a detecção de obstáculos, ficando ao usuário a necessidade de montar um mapa mental do ambiente e escolher um caminho. Na detecção de obstáculos, os pontos mais críticos são objetos aéreos e pequenos buracos que não são detectados pela bengala e podem passar despercebidos pelo sensoriamento. Pela revisão de literatura, observa-se que os robôs móveis foram empregados como guias em museus, feiras e se mostraram satisfatórios. A aplicação do robô como cão-guia em ambientes externos não mostrou viabilidade, na época, de substituir o cão-guia. Contudo, em ambientes internos, a sua viabilidade tecnológica é possível, bastando determinar uma solução de mínimo custo para viabilizar economicamente o conceito.

3.2. Parâmetros de Projeto

A revisão de literatura aponta os principais parâmetros que devem ser considerados no projeto conceitual de um robô móvel para esta aplicação. São estes:

- Velocidade do robô
- Dimensões máximas
- Peso
- Alcance
- Interface robô-usuário
- Tipo de sensoriamento necessário
- Tipo de unidade de processamento embarcada

A velocidade do robô deve ser compatível a de um deficiente visual caminhando, o que ocorre a uma velocidade menor do que um não deficiente, pela insegurança. Em Kulyukin et al (2004), utilizou-se uma velocidade 2,5 km/h. Em (Provenza,1996), obtém-se 4,5 km/h para velocidade de caminhada de um homem sem deficiência. É aceitável usar essa última como velocidade máxima do robô. As dimensões máximas podem ser obtidas por analogia na norma NBR9050, onde se determinam os espaços nas edificações para acessibilidade de deficientes. Um deficiente com cão-guia ocupa o espaço de 0,90 m de largura e o espaço ocupado por uma pessoa é 0,6 x 0,6 m Fig. (6). Dessa forma, espera-se que um robô móvel para assistência deva ocupar uma área máxima de 0,9 x 0,6 m. O peso do mesmo vai influenciar no alcance deste e na capacidade de ser levantado para transporte e manutenção. A capacidade de carga de um homem sem esforço excessivo está entre 10 e 15 kg (Provenza,1996). A interface com o usuário e o sensoriamento são elementos fundamentais para a viabilidade. As interfaces observadas na literatura (Tachi et al, 1981; Mori et al,1994; Kulyukin et al, 2004) empregam sinais sonoros, comandos de voz e contato. Uma forma de interface é imitar a comunicação entre o cão-guia e o usuário que é feita pela guia rígida presa nas costas do cão, desta forma, uma haste presa ao robô e segura pelo usuário seria o meio mais intuitivo de informar o caminho ao deficiente visual. O sensoriamento deve advertir contra obstáculos e determinar a posição do robô em relação ao referencial. No primeiro caso, pode-se usar sensores de proximidade ou presença e, no segundo, sensores de odometria e orientação. Observa-se que foram empregados desde sensores de odometria até ultrassom, além de GPS, sistema de visão, varredura laser (Tachi et al, 1981; Mori et al,1994; Kulyukin et al, 2004).

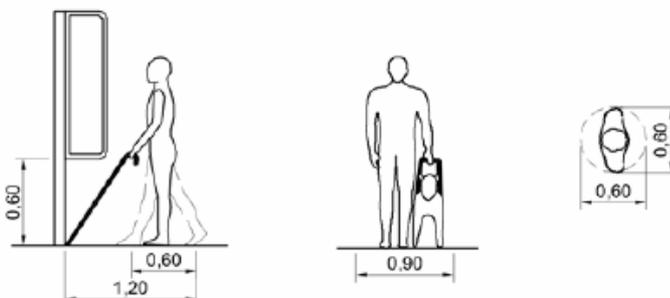


Figura 6. Espaço ocupado (NBR9050).

O alcance pode ser obtido pela média diária de caminhada de um homem, mas como o objetivo do robô é auxiliar várias pessoas em centros comerciais, optou-se por usar o alcance médio de cadeiras de rodas motorizadas que está em 15 km.

4. PROJETO CONCEITUAL

O conceito escolhido separa o processamento do planejamento do controle da trajetória para reduzir o peso computacional no robô. Desta forma, na arquitetura escolhida Fig. (7), um PC gera o caminho que é transferido ao controlador do robô e este controla o sistema de acionamento para levar o usuário ao destino.

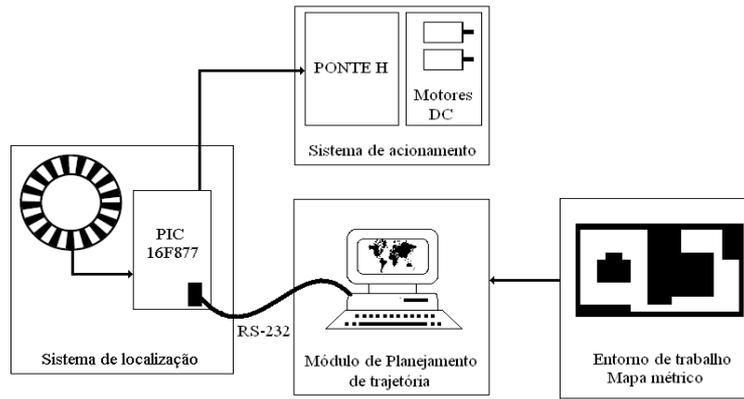


Figura 7- Arquitetura escolhida.

A idéia básica seria utilizar o robô em ambientes como os centros comerciais e os empresarias, onde o deficiente chega a um balcão de informações, questiona como chegar a um setor e utiliza o robô guia que o conduz ao local e o trás de volta depois. Neste conceito, pode-se centralizar o planejamento em um PC, transferindo a um sistema embarcado baseado em microcontrolador a tarefa a ser cumprida, reduzindo o custo do sistema embarcado.

4.1. Sistema Mecânico

Existem alguns tipos de configurações para a plataforma mecânica, contudo observou-se na revisão dois tipos mais empregados: tração diferencial e tração única (com controle dianteiro) (fig.8). A primeira apresenta uma roda livre e duas de tração, cada uma com um motor que acionadas em sentidos contrários, permite o robô girar sob um eixo central. A segunda possui uma roda controlada e duas com a mesma tração, permitindo giro sob um eixo externo 'O'.

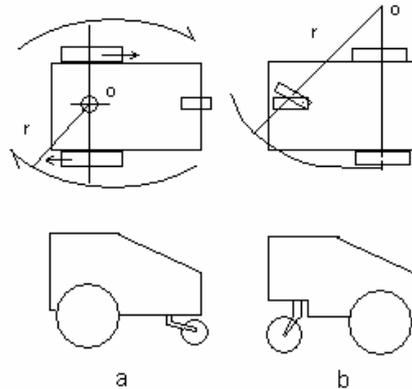


Figura 8. Tricíclo com roda livre traseira a) e com roda controlada b).

Escolheu-se a configuração da Figura 8a, por permitir manobras numa área menor, o que possibilita uso em ambientes internos reduzidos. Desta forma, o conceito mecânico é visto na figura 9 e o protótipo implementado para testar o conceito na figura 10.

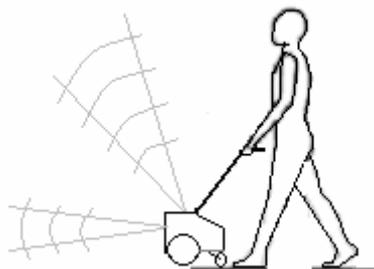


Figura 9. Conceito da plataforma.



Figura 10. Protótipo.

4.2. Sistema Eletrônico

O sistema eletrônico foi idealizado para utilizar o mínimo de recursos e testar o conceito de um sistema de baixo custo. Os sensores escolhidos foram de odometria e presença. Os sensores de presença não fornecem a distâncias até o obstáculo, só alertam de sua presença a uma distância mínima. Poderiam ser empregados sensores por infravermelhos, capacitivos, por ultrassom e de contato mecânico. Devido às limitações de recursos, empregaram-se sensores por contato, utilizando hastes flexíveis para ampliar o alcance da detecção, na configuração “bigode de rato”. Empregaram-se dois a frente e um de cada lado do robô. Para odometria, empregou-se encoder com 100 traços/volta, um para cada roda motora, usados também no controle de velocidade. A placa de comando foi desenvolvida utilizando-se um microcontrolador PIC 16F877, recebendo sinais de tensão dos sensores em lógica digital e uma comunicação serial via RS-232. A placa de potência desenvolvida emprega duas pontes H, uma para cada motoredutor, encapsuladas em um CI, o L298. Futuramente devem ser colocados sensores de ultrassom, principalmente para detecção de obstáculos aéreos. A fonte de energia foi uma bateria automotiva de 12v e 7Ah.

4.3. Sistema Computacional

A navegação de robôs móveis considera três etapas fundamentais. A primeira etapa é chamada de percepção do ambiente, para o qual é utilizada a informação dos sensores para gerar um mapa do ambiente, ou também pode ser utilizado um mapa (métrico ou topológico) previamente fornecido. A segunda etapa, chamada de localização, relaciona as informações dos sensores com o mapeamento, visando manter uma localização do robô no ambiente de trabalho. A terceira etapa, chamada de tomada de decisões, considera o planejamento e geração de trajetórias. A figura 11, resume os tópicos relacionados com a navegação de robôs.

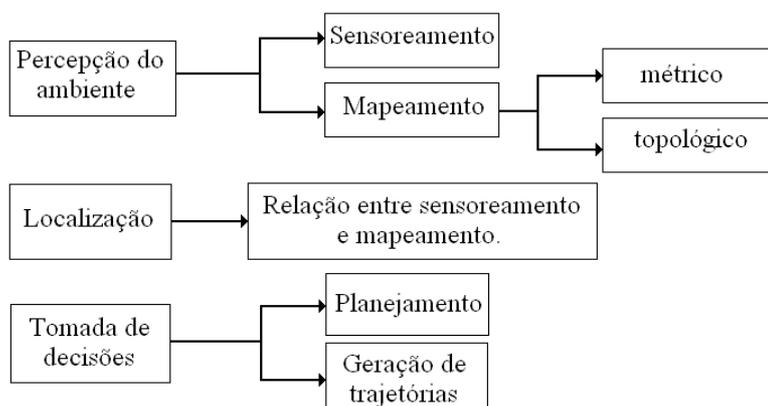


Figura 11. Navegação de robôs móveis.

No contexto do presente trabalho, considera-se que o mapeamento é do tipo métrico determinístico e é fornecido ao sistema. Entretanto, a localização do robô no ambiente de trabalho é realizada usando a informação dos sensores dispostos na estrutura do robô.

O planejamento de trajetória é definido como a busca de um caminho livre de obstáculos desde uma posição inicial até uma posição final no ambiente de trabalho do robô móvel. O planejamento requer o uso da informação conhecida do ambiente, uma descrição da tarefa de navegação e algum tipo de estratégia. Desta forma, o planejamento de trajetória é definido pelo modelo do ambiente e do algoritmo de busca utilizado.

Existem diversas técnicas para a definição de uma função que permita deslocar o robô desde uma posição inicial até uma posição final. Todas as técnicas objetivam a definição de um caminho que possa garantir que o veículo não colidirá com obstáculos e que cumpra as restrições cinemáticas e dinâmicas do robô.

No contexto do presente trabalho, duas técnicas de busca de caminhos foram implementadas: algoritmo por grafos de visibilidade e algoritmo por diagramas de Voronoi.

4.3.1. Algoritmo por Grafos de Visibilidade

Os grafos de visibilidade fornecem um enfoque geométrico que soluciona o problema de planejamento. Este método opera com modelos poligonais do ambiente e permite trabalhar no plano e no espaço. Um grafo de visibilidade é definido por uma dupla (N, g) , sendo N o conjunto de nós conformados pelo ponto inicial (Pi) , ponto final (Pf) e os vértices dos obstáculos. A função g , definida de $N \times N$ é não nula se dois nós referenciados encontram-se conectados. Desta forma, os nós estão conectados apenas se são *visíveis*, ou seja, é possível alcançar o segundo nó a partir do primeiro (ou vice versa), seguindo a linha reta que os une, sem interceptar algum obstáculo do ambiente.

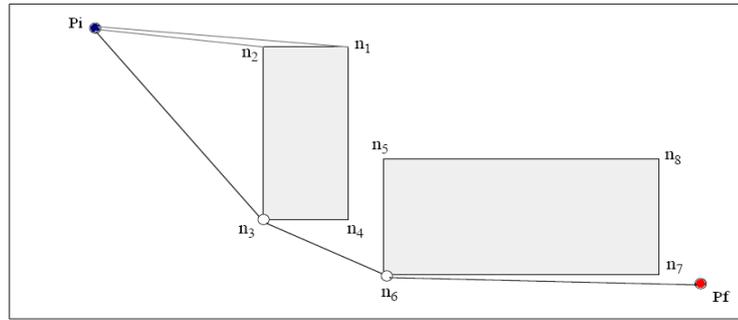


Figura 12. Método de navegação por Grafos de Visibilidade.

A figura 12 apresenta uma exemplificação do método de busca do caminho desde uma posição inicial (P_i) até uma posição final (P_f).

Partindo do ponto inicial P_i , o conjunto de nós visíveis é formado por $\{n_1, n_2$ e $n_3\}$, sendo estes nós conectados mediante um grafo de visibilidade com o ponto P_i . Se n_3 é o nó mais próximo do ponto P_f , este será o novo nó que deverá ser expandindo segundo a metodologia anterior. Desta forma, o próximo nó será o ponto n_6 , que por sua vez possui visibilidade com o ponto final P_f .

A metodologia por grafos de visibilidade tem um comportamento eficaz em ambientes fechados, e portanto, pode ser de interesse em aplicações em que o robô possui uma sistema de telemetria confiável.

4.3.2. Algoritmo por Diagramas de Voronoi

A técnica de planejamento de trajetórias por diagramas de Voronoi é baseada na conectividade do espaço livre do ambiente de trabalho do robô móvel e, por tanto, permite gerar uma representação geométrica do espaço livre, proporcionando trajetórias seguras.

Os diagramas de Voronoi fundamentam-se na divisão do espaço em regiões de pertinência a diferentes localizações, segundo uma função de distância.

Supôs-se que o robô é modelado como um ponto operando em um subconjunto W do espaço Euclidiano bidimensional. O espaço W , denominado espaço de trabalho, está conformado por obstáculos $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ que são considerados conjuntos fechados. O conjunto de pontos em que o robô pode se movimentar livremente é conhecido como *espaço livre* e é definido pela seguinte equação.

$$E_{livre} = \left\{ W \setminus \bigcup_{i=1}^{i=n} C_i \right\} \quad (1)$$

Isto é, o espaço livre é o conjunto de pontos que pertencem ao espaço de trabalho e que não são obstáculos.

O Diagrama de Voronoi divide o espaço livre em uma série de regiões distintas chamadas de *Regiões de Voronoi*, cada uma das quais é formada pelo conjunto de pontos do espaço que se encontram mais próximos de um objeto. Os pontos do espaço que limitam duas regiões de Voronoi formam as bordas do diagrama e os pontos em que confluem duas ou mais bordas do diagrama formam os vértices do diagrama de Voronoi.

A figura 13 representa um diagrama de Voronoi com os seus elementos básicos. Este algoritmo de planejamento gera trajetórias que maximizam a distância entre o robô e os obstáculos e também são usados para construção de mapas topológicos, dado que utilizam uma decomposição por regiões.

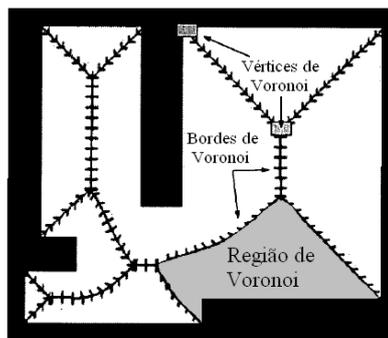


Figura 13. Método de navegação por Diagramas de Voronoi

4.3.3. Busca Gulosa pela Melhor Escolha

Este algoritmo faz parte das estratégias de busca com informação, na qual se utiliza conhecimento específico do problema para encontrar uma solução. Um nó (um ponto de trajetória) é escolhido para expansão com base em uma função de avaliação $f(n)$. Tradicionalmente, o nó com a avaliação mais baixa é selecionado para expansão, sendo que a avaliação calcula a distância até o objetivo. A busca gulosa pela melhor escolha tenta expandir o nó mais próximo à meta, supondo que isso provavelmente levará a uma solução rápida. Deste modo, são avaliados os nós usando apenas uma função heurística: $f(n) = h(n)$. Onde $h(n)$ é o custo de caminho mais econômico do nó n até o nó objetivo (Russe e Norving, 2007).

Este algoritmo foi utilizado na geração de trajetória por grafos de visibilidade, onde a função heurística $h(n)$ foi definida da seguinte forma:

$$h(n) = \sqrt{(x_f - x_s)^2 + (y_f - y_s)^2} \quad (2)$$

Onde o subscrito f representa a posição final e o subscrito s representa a posição do ponto (nó) a ser expandido.

O sistema computacional desenvolvido possui dois módulos: planejamento e navegação reativa

O módulo de planejamento de trajetória foi desenvolvido em uma linguagem de alto nível rodando em um PC, na ferramenta MatLab. Este módulo recebe uma imagem binarizada do ambiente de trabalho e os pontos inicial e final da trajetória. Em seguida, é realizado o cálculo da trajetória e os resultados são escritos em um arquivo que finalmente será carregado no controlador do robô via porta serial do PC.

No robô roda um programa em microcontrolador, de navegação reativa que executa a sequência de passos para cumprir a trajetória recebida via serial, controlando a velocidade dos atuadores em malha fechada, monitorando a odometria e sensores de presença. Quando um obstáculo é encontrado inicia-se um procedimento para contorná-lo e retornar a trajetória previamente definida. Foi implementado um algoritmo para realizar uma trajetória de desvio retangular, utilizando os sensores laterais como auxílio.

5. TESTES EXPERIMENTAIS

Foi escolhido o andar superior de um laboratório como ambiente de teste. Uma ferramenta de CAD foi utilizada para gerar um planta em escala de 1:27, conforme Fig. (13a). A área de teste tem medidas de 8,59 m de comprimento por 5,72 m de largura, o que foi representado por 594x378 pixels na imagem. Objetivando facilitar o processamento da imagem, foi realizada uma binarização da mesma, sendo os obstáculos representados em cor preta e os espaços livres em cor branca, Fig. (13b).

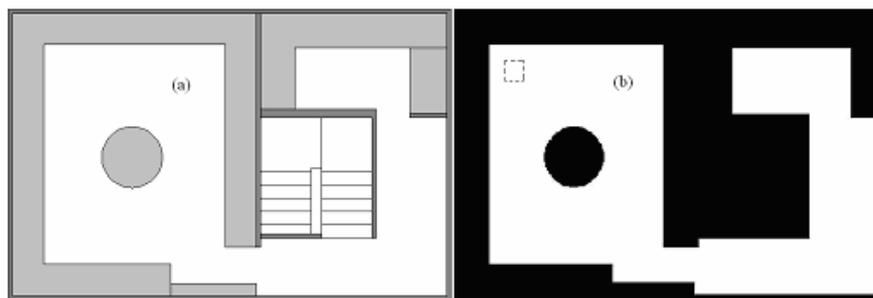


Figura 13. Planta do laboratório (a) original em escala. (b) binarizado.

Após a binarização, a imagem é dividida em células de 40x40 cm, equivalente a 27x27 pixels, valores que representam o tamanho do robô. Desta forma, é possível dilatar a representação gráfica dos obstáculos, além de processar a imagem de uma forma mais rápida, dado que na figura pixelizada, cada pixel corresponde a uma possível posição do robô. Por outro lado, a pixelização da imagem favorece a busca de caminhos, pois o vetor de busca é menor. A figura 14 apresenta a pixelização realizada na imagem de entrada.



Figura 14. Pixelização e dilatação de obstáculos.

Três algoritmos de planejamento de trajetória foram implementados, a saber:

- ◆ *Geração de trajetória manual:* Neste caso, os pontos de trajetória são fornecidos pelo usuário sobre uma imagem ampliada do ambiente de trabalho binarizado e pixelizado. Cada novo ponto é adicionado fazendo *click* sobre a tela com a condição de que cada ponto seja adicionado nos espaços livres de forma que, entre dois pontos adicionais consecutivos, uma linha reta não colida com um obstáculo.
- ◆ *Geração de trajetória baseada em grafos de visibilidade:* Neste caso, os pontos de trajetória são calculados automaticamente sobre a imagem pixelizada. Primeiramente são encontrados os pontos de vértice dos obstáculos e posteriormente se aplica um algoritmo de grafo de visibilidade para encontrar os possíveis novos pontos de trajetória. Um algoritmo de busca *Gulosa pela Melhor Escolha* (Russell e Norving, 2004) foi implementado no intuito de encontrar uma solução.
- ◆ *Geração de trajetória baseada em diagramas de Voronoi:* Neste caso, os pontos de trajetória são calculados automaticamente sobre a imagem pixelizada. Primeiramente são encontrados os pontos de vértice dos obstáculos e dos contornos da área de trabalho. Posteriormente se aplica o diagrama de Voronoi da imagem encontrando os vértices de Voronoi que correspondem aos pontos de trajetória nos espaços livres que distam dos obstáculos a mesma distância. Um algoritmo de busca *Gulosa pela Melhor Escolha* (Russell e Norving, 2004) foi implementado no intuito de encontrar uma solução.

Foram realizadas experiências utilizando as três técnicas implementadas no módulo de planejamento. Inicialmente geraram-se manualmente duas trajetórias, conforme Fig.(15), no ambiente gráfico do programa que era convertido numa lista de instruções passadas ao robô via RS232. Nos dois casos, o robô alcançou o ponto objetivo. Encontrou-se um erro de posição final (nos eixos x e y) de $\pm 3,6\%$ numa distância percorrida de 18 metros. Testou-se neste caso a transferência via RS232 e a odometria. Em seguida gerou-se pelo módulo de planejamento, utilizando a técnica de grafos de visibilidade, duas trajetórias. Foi observado um erro na posição final (nos eixos x e y) de $\pm 3,0\%$ num percurso de 16 metros. Observa-se que a segunda trajetória passa muito próximo ao primeiro obstáculo, permitindo testar os sensores de presença. A aplicação de grafos de visibilidade encontrou, em todos os casos, uma solução de trajetória. Uma melhoria seria implementar restrições para garantir distâncias mais seguras dos obstáculos e caminhos mais curtos.

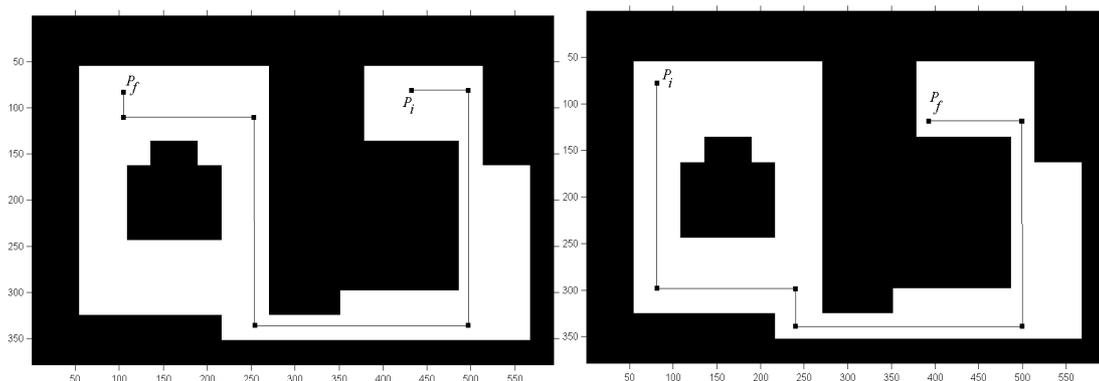


Figura 15. Geração manual de duas trajetórias.

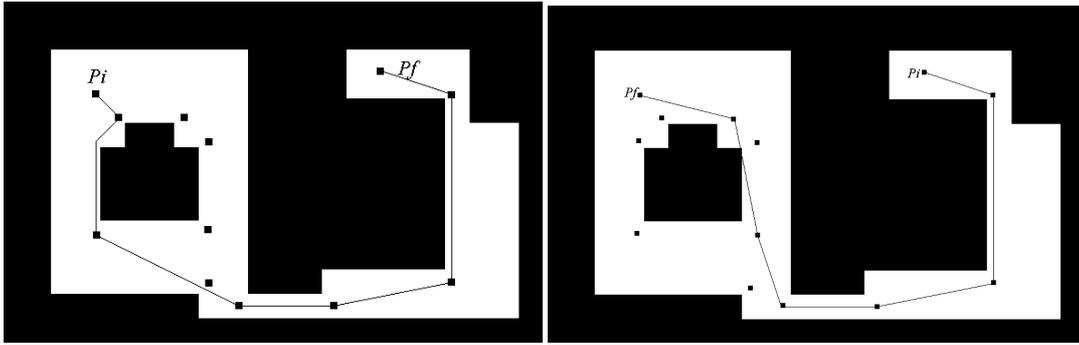


Figura 16. Geração de trajetória por grafo de visibilidade.

Por fim, empregou-se a técnica dos diagramas de Voronoi, onde dada a posição do robô, posição inicial (P_i), é calculado um diagrama de Voronoi levando em conta os pontos de vértice, os pontos dos cantos do ambiente e a posição atual. Sempre que se alcança uma nova posição é calculado um novo diagrama de Voronoi e determinada uma nova trajetória e assim sucessivamente. Um algoritmo de busca *Gulosa pela Melhor Escolha* (Russell e Norving, 2004) foi utilizado para encontrar uma possível solução de trajetória, embora em alguns casos não seja a melhor solução.

Na figura 17, os pontos com marca "+" representam os pontos de vértice e os cantos do ambiente. Estes pontos formam uma matriz utilizada para calcular o diagrama de Voronoi, representado pelo conjunto: {bordas de Voronoi e pontos de vértice de Voronoi}. Os pontos de vértice de Voronoi que se encontram no espaço livre formam o conjunto de possíveis pontos de trajetória do robô. A figura 17 mostra dois passos da mesma trajetória sendo gerada por Voronoi.

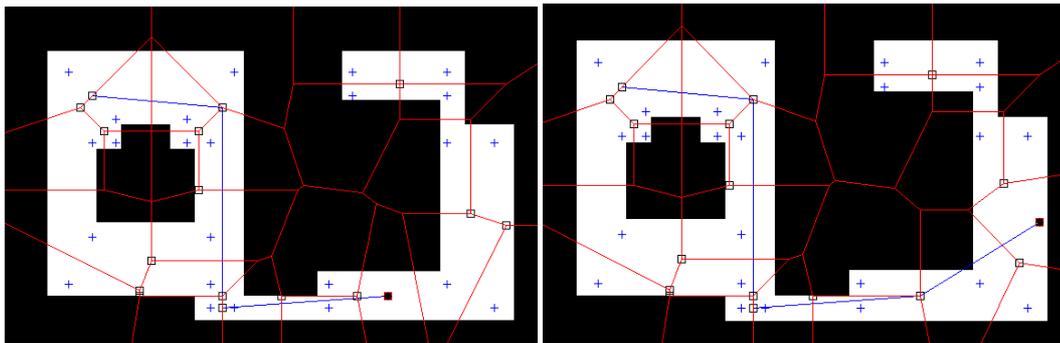


Figura 17. Geração de uma trajetória por Voronoi.

Os erros de posição encontrados em todos os testes realizados podem ser ocasionados pela propagação de erros na orientação inicial do robô, assim como, por erros na odometria. Além disso, erros de arredondamento no processamento digital da imagem do ambiente podem propagar-se durante a geração das trajetórias, devido à divisão do espaço de trabalho em células, além de possíveis erros de medida na geração do mapa do laboratório. Os algoritmos de planejamento de trajetória se mostraram eficientes, gerando caminhos viáveis em um intervalo de tempo aceitável.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresenta uma proposta de sistema robótico móvel utilizado como assistente de navegação de deficientes visuais em recintos fechados. A abordagem utilizada neste trabalho considera o fornecimento de mapas métricos no intuito de realizar o planejamento de trajetórias de forma *offline* e o emprego de componentes eletrônicos e de processamento de baixo custo. Os resultados alcançados constituem uma primeira investigação no processo de desenvolvimento de uma solução para auxílio à integração de deficientes visuais a sociedade por meio de sistemas robóticos.

7. REFERÊNCIAS

- Burgard W., Cremers A., Fox D., Hähnel D., Lakemeyer G., Schulz D., Steiner W., Thrun S., 1999, "Experiences with an Interactive Museum Tour-Guide Robot", *Artificial Intelligence*, no. 114 pp. 3-55.
- Calder, D.J., 2009, *Travel Aids For The Blind – The Digital Ecosystem Solution*, *Industrial Informatics*, INDIN 2009. 7th IEEE International Conference on 23-26 June 2009, Pag(s):149 – 154.
- Fsbinsight, site: <http://www.fsbinsight.co.uk>, acessado em janeiro de 2010
- H. Mori, S.Kotani and N.Kiyohiro, 1994, "A Robotics Travel Aid. HITOMI", IROS'94.

- John A. Brabyn, 1982, New Developments in Mobility and Orientation Aids for the Blind, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. BME-29, No. 4, April.
- Kulyukin, V.; Gharpure, C.; Nicholson, J.; Pavithran, S.; 2004, "RFID in robot-assisted indoor navigation for the visually impaired", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Volume 2, Issue , 28 Sept.-2 Oct.
- Mori H., Kotani S., 1998, "Robotic travel aid for the blind: HARUNOBU-6". in Second European Conference on Disability, Virtual Reality, and Assistive Technology, Sövde, Sweden.
- Provenza, Francesco, 1996, "Pro-tec Manual do Projetista de Máquinas", Editora F. Provenza, São Paulo, 589 p.
- Russell S., Norving P., , 2004, "Inteligência Artificial", ed. Elsevier.
- Tachi, S., Komoriya, K., Tanie, K., Hosoda, Y., Abe, M.; 1981, "guide dog Robot-its Basic plan and some experiments with MELDOG MarkI, Mechanisms and machine Theory, 16, pp.21-29.
- TecnoAssis, site: <http://www.tecnologia-assistiva.org.br>, acessado em janeiro de 2010.
- Thrum S., Bennowitz M., Burgard W., Cremers A., Dellaert F., Fox D., Hähnel D., Rosenberg C., Roby N., Schutle J., Shultz D., 1999, "Minerva: A Second Generation Mobile Tour-Guide Robot", In Proceedings of the IEEE International on Robotics and Automation (ICRA-99), Antwerp, Belgium.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído nesse trabalho.

GUIDE DOG ROBOT FOR AID THE VISUALLY IMPARED INDOORS

Daniel Mauricio Muñoz, damuz@unb.br¹

Diego Felipe S. Gomez, defesanchez@unb.br¹

Walter de Britto Vidal Filho, wbritto1@gmail.com²

Carlos H. Llanos Quinteros, llanos@unb.br¹

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, DEM, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte – Brasília- DF

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia, DEMEC, Rua Acadêmico Hélio Ramos S/N, Recife-PE

Abstract: *This paper describes the conceptual design of a mobile robot to aid the visually impaired in navigating indoors. Two path planning algorithms were implemented and tested on the prototype, using visibility graphs and Voronoi diagrams.*

Palavras-chave: *Assistive technology, mobile robotics, guide robot.*