1
Introdução

A robótica ocupa um papel fundamental na indústria. O emprego de manipuladores e máquinas capazes de automatizar processos repetitivos, cansativos, perigosos e inslubre para o ser humano eleva a qualidade do produto e diminui os custos finais com a produção. Longe das fábricas, todavia, a robótica ainda possui pouca representatividade.

Um dos motivos dessa disparidade é a diferença entre o ambiente controlado das fábricas onde o robô normalmente realiza um trabalho repetitivo e os outros ambientes que são dinâmicos e imprevisíveis. Um dos maiores desafios para um robô autônomo é a capacidade que este possui de localizar-se e mapear o ambiente ao seu redor. A esta tarefa é dado o nome de Localização e Mapeamento Simultâneos ou *SLAM* (*Simultaneous Localization and Mapping*) (Thrun, 2005), (Moravec & Elfes, 1985), (Matthies & Elfes, 1988), (J L Crowley, 1989), (A Elfes, 1991), (Konolige, 1997), (Oliveira, Silva, Lira, & Reis, 2009), (Kang, An, Kim, & Oh, 2010), (Lee & Song, 2010).

Um robô móvel terrestre (o foco deste trabalho) usualmente é composto por três sistemas: atuadores, sensores e processadores. Os atuadores são usados para interagir com o seu entorno e para locomoção, quando rodas, pernas ou esteiras são conectados a eles. Os sensores devem ser capazes de extrair informações úteis do meio, informações que serão interpretadas e tratadas pelos processadores e transformadas em ações ou comandos que deverão ser executados pelos atuadores. A capacidade que um robô terá de alcançar o seu objetivo se dará pelo bom relacionamento entre estes três sistemas.

Os sensores podem ser classificados em dois grupos: proprioceptivos e exteroceptivos. Sensores proprioceptivos são relativos ao estado do próprio robô, tais como nível da bateria, encoders (giro dos atuadores), bússola (orientação), GPS (posição global) e acelerômetro. Sensores exteroceptivos são relativos a tudo que é externo ao robô, tais como sensores de distância, fotômetro (luminosidade) e câmeras (aquisição de imagens). Os sensores proprioceptivos mais comuns são a bússola e o *encoder*. Juntos são capazes de fornecer a posição do robô no mundo com boa precisão, mas devido a ruídos e fatores externos, como o derrapar das

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921387/CA

rodas, o *encoder* acaba por acrescer erros cumulativos à localização do robô. Para superar este problema usam-se sensores capazes de identificar marcos fixos no ambiente em que o robô está inserido, e através destes corrigir o erro da posição do robô (Thrun, 2005), (Ulrich Nehmzow, 2003). Através dos marcos fixos o robô, ao observá-los, é capaz de corrigir pequenos erros em sua posição. Sensores de distância é uma classe de sensores exteroceptivos bastante utilizados para este fim. Os mais utilizados são: *Laser Range Finder* (*LRF*), Sensores Infravermelhos e o Sonar. O *LRF* é, dentre os citados, o mais usado e que possui os melhores resultados, pois é capaz de fornecer uma grande quantidade de informação em apenas uma leitura, ou seja, com ele é possível extrair características do ambiente dado apenas uma posição do robô, no entanto é o mais caro, com valores atuais de em torno de 2500 dólares a unidade.

O Sensor Infravermelho é barato, mas extrai pouca informação do meio em uma única leitura e ainda possui alcance reduzido, cerca de 100 cm. Todavia, é preciso e possui uma grande acurácia. Sensores baseados em luz, entretanto, apresentam problemas quando usados em superfícies translúcidas e/ou escuras. O sonar, por sua vez, costuma retornar leituras ruins em superfícies porosas que absorvem o som (como cortinas ou almofadas) e leituras errôneas quando o ângulo de incidência[1] é muito grande, geralmente acima de 45º. O som quando é emitido pelo sonar propaga-se em todas as direções mesmo que o modelo construtivo do sonar tente direcioná-lo da melhor forma possível, o som ainda varrerá o ambiente à sua frente em uma área em formato aproximado de um cone, como mostrado na Figura 1, de forma que não é possível saber exatamente em que local o som foi refletido, uma vez que o sonar registra apenas o primeiro[2] eco ou a menor distância. O sonar destaca-se, entretanto, com seu custo reduzido e grande alcance, tradicionalmente por volta de 250 a 500 cm.

[1] Termo usado para descrever o ângulo com que a luz incide em uma superfície, neste trabalho este termo é adaptado, significando o ângulo que o eixo principal do sonar faz com a reta perpendicular ao plano de incidência do som no ponto onde o eixo principal do sonar cruza com o plano.

[2] Apenas as classes de sonares que leem o eco de menor tempo serão consideradas, entretanto, existem sonares mais sofisticados que são capazes de registrar outros tipos de informações.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921387/CA

Um bom sistema de localização deve ser capaz de identificar marcos a sua volta e usá-los como pontos de referência para sua localização. Os marcos no ambiente podem ser naturais ou artificiais. Marcos naturais são características inerentes ao meio, por exemplo: árvores em florestas ou paredes em casas. Marcos artificiais são características inseridas artificialmente e que são facilmente reconhecidas pelos sensores do robô, tais como código de cores, QRCodes e fontes de luz. Usufruir dos dados oriundos dos sensores exteroceptivos afim de detectar marcos no mundo da forma mais confiável possível é um dos grandes desafios dos algoritmos de localização e por conseguinte do SLAM, principalmente tratando-se de marcos naturais.

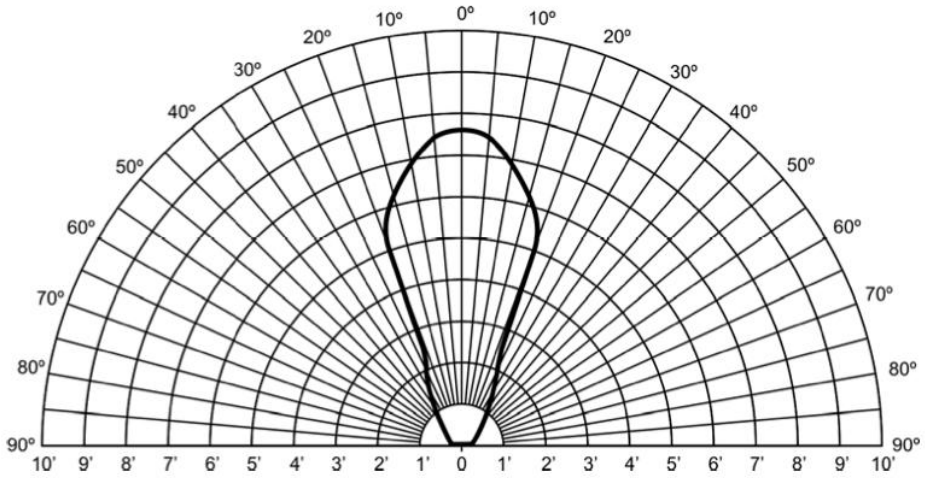


Figura 1 – Área de percepção do sonar PING)))TM Ultrasonic Distance Sensor (#28015). (Specifications, 2009)

Fica claro, portanto, que quanto melhor a qualidade e quanto mais informações os sensores exteroceptivos conseguirem fornecer, maior será a capacidade de localização e mapeamento do robô. Neste trabalho, optou-se por utilizar um robô equipado apenas com sonares, uma bússola e *encoders* para realizar o SLAM. A escolha dessa configuração está intimamente ligada ao baixo custo de produção de um robô desse porte. Uma plataforma que prova a veracidade desta afirmação está no produto da empresa LEGO, o LEGO Mindstorms (Lego, 2005), vendido como brinquedo, mas amplamente utilizado em diversas universidades do mundo como plataforma de pesquisa e possui todos os sensores acima citados (Oliveira et al., 2009), (Lew, Horton, & Sherriff, 2010).

A plataforma LEGO Mindstorms constitui de módulos que podem ser montados de diversas formas, adaptando-se a necessidade do usuário, fazendo

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921387/CA

dela uma excelente plataforma para experimentos em curto prazo e de baixo custo. Todavia o NXT, que é a central de processamento do LEGO Mindstorms, ainda não possui poder computacional para tarefas mais complexas, por este motivo O NXT é usado apenas para interpretar comandos oriundos de um PC e envia-lo os dados dos sensores. O NXT recebe os comandos e envia dados via link Bluettooth, tecnologia que já está desenvolvida no NXT e possui amplo suporte. As Figuras Figura 2 e Figura 3 mostram o protótipo utilizado neste trabalho.

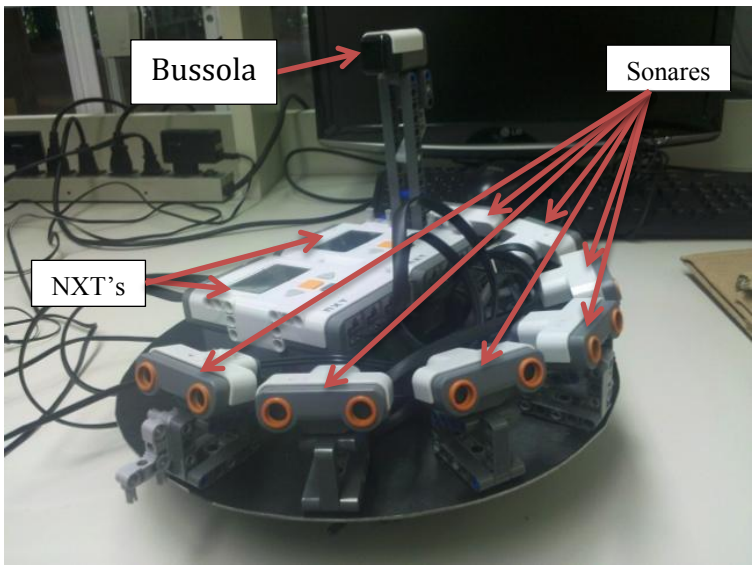
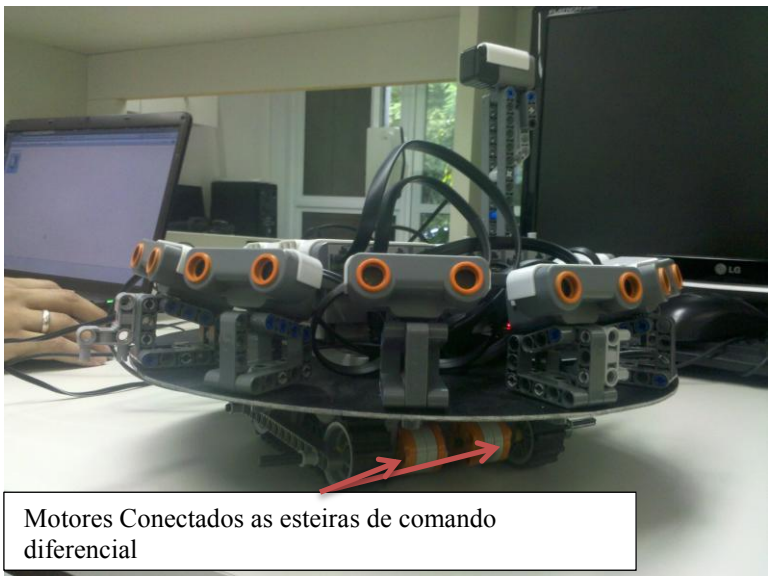


Figura 2 - Protótipo utilizado para testes em ambientes reais, vista 1.



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921387/CA

Figura 3 - Protótipo utilizado para testes em ambiente reais, vista 2.

Usualmente utilizam-se comunicação via rádio frequência com protocolos mais específicos, deixando o sistema mais rápido. Entretanto o desenvolvimento de uma comunicação destes moldes levaria tempo e aumentaria os custos do protótipo, optou-se, portanto, por utilizar o bluetooth, que é o protocolo de comunicação via rádio padrão do NXT e que é amplamente utilizado, inclusive pela biblioteca para MatLab, *RWTH – Mindstorms NXT Toolbox*, que permite controlar o NXT via Matlab e que foi utilizada neste trabalho.

O robô apresentado nas figuras acima (Figura 2 e Figura 3) foi utilizado para resolver o problema da Localização e Mapeamento Simultâneos – SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) através de uma abordagem híbrida, denominado LMS-H (Localização e Mapeamento Simultâneos – Híbrido). Um mapa de ocupação em grade, construído pelo robô ao longo de sua exploração, descreve o ambiente como ocupado ou vazio. Simultaneamente, pontos extraídos em cada leitura do sonar são unidos em clusters, formando retas para constituir o mapa de representação contínua. Como não é possível inferir exatamente em que local o objeto responsável pela reflexão do som se encontra ou que parte específica do objeto refletiu o som, utilizou-se o mapa de ocupação em grade para desconsiderar pontos em locais considerados vazios.

Como a leitura do sonar possui pouca informação a respeito do objeto detectado, é necessário "observar" o objeto de vários ângulos diferentes. Os mapas em grade de ocupação são capazes de definir, com certa precisão, regiões de baixa e alta probabilidade de ocupação, e cada vez que uma região é observada novamente, mesmo que por outro sensor, mais se saberá a respeito dela. Se tomarmos uma parede como exemplo, sempre que ela é observada de pontos diferentes, melhor ela será representada no meu mapa, pois quanto mais pontos eu tiver da reta que representa esta parede mais próxima ela ficará da real.

A ideia, portanto, é encontrar e agrupar pontos que fazem, de fato, parte de um determinado obstáculo, no caso específico: paredes e depois, mantê-los, atualizá-los e utilizá-los como referência para a localização do robô, criando um mapa formado por retas. As retas encontradas desta forma servirão de marcos. O robô, então, utilizará estes marcos para aprimorar sua localização via Filtro de Kalman Estendido.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921387/CA

O desafio é elaborar uma metodologia que seja capaz de lidar com os fatores adversos oriundos dos sensores de baixo custo e ainda assim prover ao robô a capacidade de realizar o *SLAM*.

1.1 Motivação

Um robô de uso doméstico para ser fabricado e vendido em larga escala deve, acima de tudo, possuir baixo custo. Todavia, deve manter a capacidade de realizar a tarefa para a qual foi designado. Dar a um robô esta capacidade, implica em equipá-lo com hardwares e algoritmos que juntos sejam úteis para realizar tarefas corriqueiras.

O sonar é um dos sensores exteroceptivos de menor custo do mercado, entretanto, algumas de suas características já citadas anteriormente desencorajam o seu uso.

A motivação deste trabalho, portanto, é encontrar uma metodologia capaz de utilizar o sonar e outros dois sensores proprioceptivos bastante comuns aos robôs móveis, a bússola eletrônica e os encoders, de modo a se obter um robô de baixo custo para realizar tarefas de Localização e Mapeamento Simultâneos em ambiente tipicamente feito por humanos, onde a todas as superfícies são composta por superfícies planas que podem ser representados por retas em duas dimensões.

1.2 Objetivos

1.2.1 Gerais

Capacitar um robô equipado com sonares, bússola e encoders a realizar o SLAM em ambientes estruturados contendo apenas superfícies que possam ser representadas por retas em duas dimensões.

1.2.2 Específicos

- Desenvolver um método capaz de identificar retas de um ambiente estruturado com o uso apenas de sonares como sensores exteroceptivos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921387/CA

- Utilizar as retas identificadas como marcos naturais e utilizá-las como referência para o processo de Localização e Mapeamento Simultâneos.

1.3 Contribuições deste Trabalho

As principais contribuições desse trabalho são:

- Uma nova abordagem da utilização do mapa de ocupação em grade para melhorar a estimação de retas no ambiente;
- Uma nova metodologia para detecção e atualização do mapa de retas;
- Construção de um protótipo com a plataforma LEGO Mindstorms.

1.4 Organização do Trabalho

O restante deste desse trabalho está organizado da seguinte forma: O Capitulo 2 descreve as principais técnicas utilizadas bem como as características intrínsecas do sonar e como este pode ser representado. O Capítulo 3 mostra com detalhes a implementação do modelo proposto. O Capitulo 4 descreve os resultados obtidos com o modelo e por fim o Capítulo 5 traz as conclusões, discussões e possíveis trabalhos futuros.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921387/CA