

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SLAM COM ODOMETRIA VISUAL PARA VANT DE INSPEÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS

Cláudia Regina de Sousa e Silva¹
Igor Yepes²

Resumo

O presente trabalho aborda um estudo das principais bibliotecas existentes para implementação de técnicas de SLAM 2D, dentro do paradigma de software livre, visando a seleção da mais adequada para aplicação prática em um VANT (Veículo Aéreo não Tripulado) autônomo. Procura estudar trabalhos correlatos, verificando o atual estado da arte na área de SLAM, realizando análise de bibliotecas livres que permitem trabalhar com Mapeamento e Localização Simultânea, como Viso, BoofCV, OpenCV, MRPT. A OpenCV foi identificada como a biblioteca mais apropriada para o desenvolvimento de aplicações SLAM em um robô móvel, a qual permitirá gerar um protótipo inicial de um sistema SLAM 2D para mapeamento indoor, que será posteriormente instalado em um VANT a ser utilizado em situações de monitoramento pelo Corpo de Bombeiros e órgãos de defesa civil.

Palavras-chave: VANT; Monitoramento *indoor*; SLAM; Mapeamento 2D; Bibliotecas para SLAM.

Abstract

This paper reports a study of the major existing libraries to implement techniques of 2D SLAM, within the free software paradigm, aimed at selecting the most suitable for practical application in an autonomous UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Looking study related work, checking the current state of the art in the area of SLAM, performing analysis of free libraries that let you work with mapping and simultaneous location like Viso, BoofCV, OpenCV and MRPT. OpenCV was identified as the most suitable library for the development of SLAM applications on a mobile robot, which will generate an initial prototype of a 2D SLAM system for indoor mapping, which will be subsequently installed on a UAV to be used in monitoring situations by the fire department and civil defense agencies.

Keywords: UAV; Indoor monitoring; SLAM; 2D mapping; Libraries for SLAM.

Introdução

Boas (2011) e Santana (2011) consideram que uma das grandes dificuldades encontradas pela robótica móvel

autônoma na atualidade é o problema da localização e mapeamento simultâneos, também conhecido como SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*). Consiste na construção de um mapa e na simultânea identificação da localização de um robô autônomo dentro desse ambiente. A solução desses problemas não pode ser obtida de forma independente, visto que são necessárias informações providas por ambos (robô e ambiente). Antes que o robô possa responder a questão de sua localização a partir de um conjunto de observações, ele necessita conhecer de que ambiente essas informações foram coletadas. Ao mesmo tempo, é complicado identificar a localização de um robô sem um mapa.

Simultaneous localization and mapping (SLAM)

Existem diversos estudos envolvendo utilização de VANT (Veículo Aéreo não Tripulado) nas mais diversas áreas. Na atualidade nos deparamos com as mais variadas situações de catástrofes do tipo natural ou artificial, como incêndios, terremotos, inundações, desabamentos, furacões e ações criminosas. Para atendimento e socorro em tais circunstâncias, lança-se mão da utilização de pessoas especializadas como militares, policiais, bombeiros e paramédicos, os quais buscam a preservação da vida e a proteção patrimonial e ambiental. Em todos esses casos, os grupos de resgate atuam tomando decisões sob extrema pressão física e psicológica, colocando em risco a própria vida na realização das ações necessárias para o resgate das vítimas ou avaliação da estabilidade das estruturas afetadas em geral, com poucos dados iniciais que sirvam de subsídio.

Buscando utilizar tecnologias robóticas para apoio a esses profissionais, reduzindo sua exposição a riscos e visando também reduzir o número de vítimas, têm sido utilizadas diversas ferramentas e iniciados vários estudos para aplicação no processo de busca e resgate de vítimas (MICIRE, 2002; WITKOWSKI, 2008; SUGIYAMA, 2010; NAGATANI; NAIDOO, 2011; KOHLBRECHER, 2012).

Fica evidente que o mapeamento de uma área afetada por desastre de qualquer natureza é de relevante importância para as equipes de especialistas que atuarão nas atividades de resgate e salvamento, de forma que tenham em mãos informações úteis e confiáveis que possam subsidiar atividades USAR (*Urban Search and Rescue*). Uma técnica bastante utilizada para realizar a tarefa de mapeamento com

¹Estudante do Curso de Sistemas de Informação da UNITINS, Bolsista do PIBIT-UNITINS/CNPq; e-mail: claudiaregina1106@hotmail.com

² Professor/Pesquisador UNITINS; e-mail: igor.y@unitins.br

robôs móveis é o SLAM, o qual visa à construção do mapa de um entorno desconhecido no qual o robô se encontra, ao mesmo tempo em que estima sua posição e trajetória ao deslocar-se em tal ambiente.

Segundo Herrera (2011), embora a tecnologia ofereça sensores cada vez mais precisos, pequenos erros na medição são acumulados comprometendo a precisão na localização, ficando evidentes quando o robô retorna a uma posição inicial depois de percorrer um longo caminho. Para melhoria do desempenho do SLAM é necessário representar sua formulação usando teoria das probabilidades. O SLAM com Filtro Estendido de Kalman (EKF-SLAM) é uma solução básica, e apesar de suas limitações é a técnica mais popular. O *Fast SLAM*, por outro lado, resolve algumas limitações do EKF-SLAM usando uma instância do filtro de partículas conhecida como Rao-Blackwellized. Outra solução bem sucedida é o DP-SLAM, o qual usa uma representação do mapa em forma de grade de ocupação, com um algoritmo hierárquico que constrói mapas 2D bastante precisos.

Problema e justificativa

No Brasil, os VANTs estão se tornando uma realidade cada vez maior, com aplicações voltadas principalmente à área da agricultura, vigilância e monitoração de recursos. O problema de localização e mapeamento simultâneos tem sido uma das principais preocupações dos pesquisadores na área de robótica móvel nas últimas duas décadas, e tem sido formulado e resolvido de múltiplas maneiras,

algumas delas baseadas em técnicas probabilísticas. A Robótica Probabilística é uma subárea da robótica que tem como base teórica as técnicas estatísticas para representar informação e tomar decisões. Tem como objetivo procurar a melhor representação das incertezas próprias do ambiente de trabalho onde o robô está inserido (DÍAZ, 2008). Nesse sentido, o Corpo de Bombeiros do Estado do Tocantins e outros órgãos de defesa civil têm como um dos problemas enfrentados a inspeção de áreas indoor de difícil acesso ou que oferecem risco à integridade humana, como interior de edificações em ruínas, resultantes de desabamentos, explosões, incêndios ou ação criminal, para os quais um VANT munido de uma câmera, sensores adicionais e um sistema de SLAM, representam uma ferramenta de grande utilidade prática, uma vez que pode gerar o mapeamento da área de forma a subsidiar uma posterior ação humana.

Dessa maneira, este estudo se justifica pela geração de uma ferramenta de uso prático em missões USAR por parte do Corpo de Bombeiros Militar do Tocantins e órgão de Defesa Civil, e servirá de subsídio para reconhecimento *indoor* de áreas afetadas por fenômenos naturais ou de natureza criminosa, inicialmente fornecendo um mapeamento 2D da área analisada. Por ser esta a etapa inicial do trabalho, os estudos serão focados no aprendizado das técnicas de SLAM e desenvolvimento do sistema de mapeamento 2D. Futuramente será desenvolvido o sistema de forma mais completa, permitindo o mapeamento 3D de áreas afetadas, fornecendo um mapa mais efetivo para equipes de resgate e monitoramento, como pode ser observado na Figura 1.

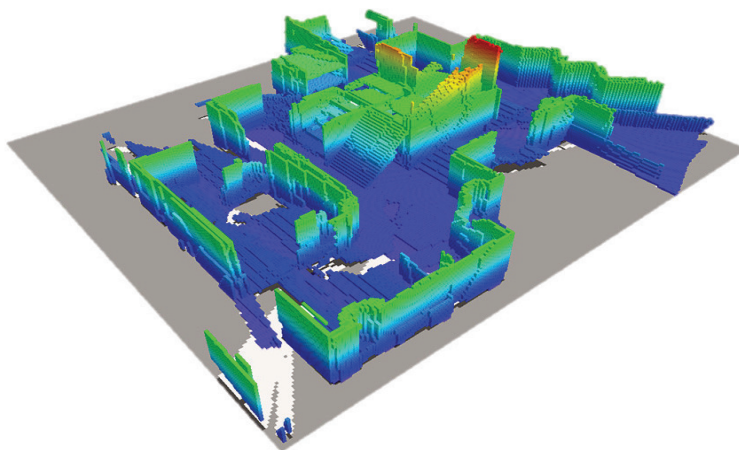


Figura 1 – Exemplo de mapeamento 3D gerado por técnicas de SLAM

Fonte: <http://rrt.fh-wels.at/sites/robocup/mapping.html>

Material e métodos

Este trabalho visa o estudo de bibliotecas para a solução do problema do SLAM, tendo como plataforma uma câmera acoplada em um VANT construído pelo Grupo de Pesquisa para uso em missões USAR pelo Corpo

de Bombeiros Militar do Tocantins e órgãos de Defesa Civil do Estado. Os testes preliminares foram realizados em notebook, com o usuário efetuando o deslocamento pelo ambiente para realizar o mapeamento e localização. Posteriormente, o sistema utilizará as imagens transmitidas

pela aeronave em tempo real para análise pelo sistema de SLAM.

O desenvolvimento do algoritmo consiste em

três processos: extração de características, seleção de características e filtragem ou otimização, conforme pode ser visualizado na Figura 2.

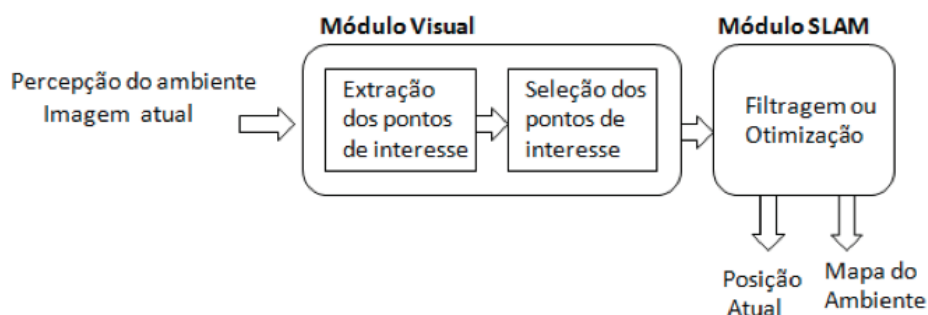


Figura 2 – Sequência de passos para estimar a posição da câmera e criar o mapa do ambiente.

Inicialmente são extraídas características marcantes nas imagens capturadas, formadas pelas projeções dos marcos visuais presentes na cena. A seguir é realizado o rastreamento dos pontos característicos encontrados nas imagens: esse procedimento está vinculado ao processo de combinação dos marcos detectados no instante atual com os detectados anteriormente. Essa etapa retorna as coordenadas dos marcos visuais extraídos, que são posteriormente utilizados no processo de filtragem para estimar o mapeamento e obter a posição atual da câmera no ambiente. Para realização dessas etapas foi utilizada a biblioteca OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*), empregada para o desenvolvimento de aplicações na área de

visão computacional, provendo os métodos necessários para extração, seleção de características e filtragem.

Os experimentos iniciais foram realizados diretamente no computador, sem necessidade de embarcar o sistema em uma unidade robótica. Os testes preliminares do SLAM foram realizados pelo pesquisador, simplesmente se deslocando pelo ambiente de testes com o *notebook*, com a *webcam* virada para frente, de forma a capturar as imagens necessárias para uso e análise pela biblioteca, permitindo uma coleta de dados inicial bastante simplificada, mas suficiente para avaliar a usabilidade de cada uma das bibliotecas em foco. Nesse momento, o interesse é em testar cada biblioteca na correta detecção do deslocamento, sem preocupação com o mapeamento do ambiente, conforme demonstra a Figura 3.

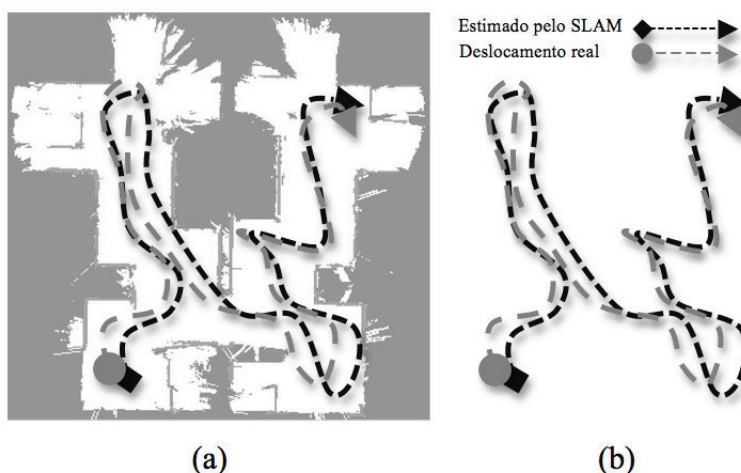


Figura 3 – SLAM com mapeamento 2D do ambiente (a) e com mapeamento somente da trajetória (b)

No desenvolvimento dos sistemas necessários para os testes, foi utilizada a linguagem C, conforme análise realizada para escolha da mais apropriada e de acordo com os requisitos da biblioteca selecionada. Foram realizadas diversas baterias de testes em ambientes controlados, propiciando os devidos ajustes no sistema, o que permitiu selecionar a biblioteca Open CV para desenvolvimento do protótipo.

Posteriormente, o uso com o VANT permitirá uma

análise mais precisa e detalhada da efetividade do sistema, pois poderão ser realizados testes com simulação de situações reais enfrentadas pelos militares do Corpo de Bombeiros e em missões de resgate, salvamento, inspeção e monitoramento realizadas por integrantes de órgãos de defesa civil.

Para este trabalho e para o desenvolvimento dos sistemas computacionais necessários, foi adotada a seguinte

metodologia:

- pesquisa bibliográfica sobre Visão Computacional e técnicas de SLAM;
- estudo e avaliação das principais bibliotecas com recursos de SLAM;
- seleção da biblioteca a ser utilizada com base em análise comparativa;
- estudo da forma de análise das imagens coletadas em tempo real para geração do mapeamento.

OpenCV

A OpenCV é uma biblioteca de visão computacional e de *software* de aprendizado de máquina licenciado pela BSD (*Berkeley Software Distribution*). Seu objetivo é proporcionar uma infraestrutura comum para aplicações de visão por computador.

A biblioteca conta com mais de 2500 algoritmos, os quais podem ser usados para detectar e reconhecer rostos, identificar objetos, extrair modelos 3D de objetos, encontrar imagens similares a partir de um banco de dados, reconhecimento de padrões entre outros. Ela suporta as linguagens de C++, C, Python, Java e MATLAB, sendo compatível com os sistemas operacionais Windows, Linux, Android e Mac-OS. Uma vez instalada a biblioteca, deve-se adicionar ao caminho padrão do sistema (PATH) as pastas onde estão os arquivos que serão utilizados.

No OpenCV, o *SurfFeatureDetector* dispõe o método *detect* para realizar a detecção características em uma

imagem. O método armazena os pontos detectados da imagem em um vetor de *keypoints*, que é uma classe de dados para detectores de pontos.

As imagens são formadas por *pixels*, e no âmbito computacional as imagens podem ser reduzidas para matrizes numéricas, Essas matrizes são formadas por números que representam os valores de intensidade dos pontos de *pixels* da imagem. OpenCv é uma biblioteca de visão computacional que tem como principal objetivo processar e manipular essa informação. Para isso a OpenCv usa o tipo *Mat*, que serve para armazenar os valores de *pixel* de uma imagem. Para escrever uma matriz para um arquivo de imagem, usa-se o *imread*. O *imread* tem como parâmetro o nome do arquivo a ser carregado e *flags*, que especificam o tipo de cor de uma imagem a ser carregada.

Após detectar as características nas imagens, deve-se criar os descritores dos pontos característicos detectados. O *SurfExtractorDescriptor* utiliza o método *compute* para criar o descritor da imagem. O descritor computado é armazenado em uma variável do tipo *Mat*.

O método *compute* armazena somente características relevantes dos pontos característicos detectados na imagem, de acordo com critérios estabelecidos pela técnica empregada.

Após definidos os descritores da imagem, pode-se utilizar o *FlannBasedMatcher* para fazer a correspondência entre dois descritores. A Figura 4 ilustra a criação de um vetor de correspondência pelo *FlannBasedMatcher*.

```
FlannBasedMatcher metCorrespondencia;  
std::vector< DMatch > vetCorrespondentes;  
metCorrespondencia.match(descritor1, descritor2, vetCorrespondentes);
```

Figura 4 – Criação de um vetor de pontos correspondentes entre dois descritores
Fonte: os autores.

A classe *FlannBasedMatcher* dispõe o método *match* para realizar as devidas correspondências armazenando-as em um vetor do tipo *Dmatch*. Para isso, elas recebem os descritores criados pelo método *compute* da classe *SurfExtractorDescriptor*. *DMatch* é uma classe para descritores de pontos chave, que contém, entre outros, um atributo com o valor da distancia entre os pontos de características.

Resultados e discussão

Foi concluída satisfatoriamente a etapa referente à pesquisa bibliográfica sobre Visão Computacional e técnicas de SLAM, necessária para aquisição do conhecimento vital para o desenvolvimento do sistema proposto no projeto de pesquisa. Com base nesse estudo, verificou-se a viabilidade de uso de VANT do tipo quadrotor para uso de técnicas de SLAM, pela sua flexibilidade e facilidade de mobilidade.

O levantamento do referencial teórico possibilitou selecionar as principais ferramentas existentes para desenvolvimento de soluções SLAM, sendo possível, mediante análises realizadas em diversos artigos científicos, definir a seleção da biblioteca gráfica OpenCV, a qual, segundo diversos estudos, apresenta-se como a mais estável e completa para esse tipo de aplicação. Em paralelo, verificou-se que a linguagem de programação *Processing* e seu ambiente de desenvolvimento, apresentam facilidade e vantagens em se tratando da integração com a OpenCV.

Trabalho paralelo a este, ajudou a definir a câmera a ser embarcada no VANT para uso pela OpenCV, bem como a forma de transmissão das imagens em tempo real para a unidade de controle, onde será efetuado o processamento dos dados, extração de características e posterior geração do mapeamento de trajetória desenvolvido pelo VANT. Optou-se pelo uso de uma câmera *Boscam HD19 ExplorerHD Full*

HD 1080p FPV Video Camera, integrada com um transmissor *AV FPV584-F Pro-Duo Plug and Play 5.8 GHz 400mW Wireless System*, encarregado do envio das imagens em tempo real para processamento na central. Tal configuração é a desejável, uma vez que serve tanto para aplicação com o algoritmo de SLAM quanto para outras missões com o VANT que exijam captura de imagens com boa resolução e com transmissão em tempo real.

Foi realizado o planejamento do sistema de visão computacional necessário, momento no qual foram encontradas diversas complicações, principalmente no que se refere ao uso de complexos cálculos matemáticos. Essa situação exigiu um maior esforço de estudo e pesquisa, pois a implementação de tais técnicas tornou-se mais demorada do que era inicialmente esperado, gerando um pouco de atraso nas atividades previstas.

Para detectar objetos em uma cena ou verificar se uma cena atual é ou não a mesma em comparação com alguma já adquirida, são necessários algoritmos capazes de extrair características invariantes no aspecto de rotação e escala em relação ao ponto de observação, para posteriormente fazer a comparação entre duas imagens. A técnica SURF apresenta essas características.

Nos testes realizados, nenhuma técnica de eliminação de ruído foi empregada, apenas mostra os pontos correspondentes detectados pelo *FlannBasedMatcher* sem o filtro de menor distância.

O algoritmo para correspondência entre imagens utilizado é muito elementar. Deixa muito espaço para melhorias, por exemplo, o critério para correspondência leva em consideração apenas os descritores estabelecidos, em um cenário real, onde elementos podem apresentar formas, texturas e, conseqüentemente, características semelhantes, e apenas o uso de descritores não serviria. Uma técnica que poderia ser adotada neste caso é o Reconhecimento de Padrões.

Outro ponto a ser trabalhado é que, para cada imagem um objeto é instanciado, o que não seria adequado, uma vez que sistemas de SLAM trabalham com muitas imagens, e instanciar um objeto para cada uma não seria viável em nível de velocidade de processamento. O ideal é se trabalhar com vetores de imagens, vetor de pontos chaves e vetor de descritores na classe a ser implementada para cada uma das etapas.

Tal como descrito no projeto, este trabalho visa futura aplicação do SLAM na navegação de VANTs, munindo equipes de bombeiros e outros órgãos de defesa civil com uma ferramenta de apoio a missões em ambientes com risco à integridade humana, permitindo inspecionar e mapear ambientes hostis antes da ação de equipes de resgate. Os VANTs construídos pelo grupo ÍCARO já estão em boas

condições para voo estável, tendo sido testados por membros do Corpo de Bombeiros Militar do Tocantins, e estão prontos para incorporar os sensores necessários para inserção do sistema SLAM.

Referências

BOAS, Elias Ramos Vilas. Mapeamento e Localização Simultânea de Ambientes Dinâmicos Aplicados na Navegação de Veículo Autônomo Inteligente. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, 2009.

DÍAZ, Claudia Patrícia Ochoas. Técnicas Probabilísticas de Localização e Mapeamento aplicadas à Robótica Móvel. 2008. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, UNB, Brasília, 2008.

HERRERA, Luis Ernesto Ynoquio. Mobile Robot Simultaneous Localization and Mapping using DP-SLAM with a single Laser Range. 2011. (Dissertação de Mestrado) Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2011.

KOHLBRECHER, S.; PETERSEN, K.; STEINBAUER, G.; et al. Community-driven development of standard software modules for search and rescue robots. In: International Workshop on Safety Security and Rescue Robotics (SSRR). IEEE, 2012.

MICIRE, Mark. Analysis of robotic-assisted search and rescue response to the World Trade disaster. M.Sc. Thesis University of South Florida, 2002.

NAGATANI, K.; KIRIBAYASHI, S.; OKADA, Y.; et al. Redesign of rescue mobile robot quince - Toward emergency response to the nuclear accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. In Safety, Security and Rescue Robotics. In: Workshop, IEEE International, pp. 13–18. 2011.

NAIDOO, Y.; STOPFORTH, R.; BRIGHT, G. Development of an UAV for search & rescue applications. AFRICON 2011. IEEE, 2011.

SANTANA, André Macêdo. Localização e Mapeamento Simultâneos de Ambientes Planos Usando Visão Monocular e Representação Híbrida do Ambiente. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Computação) – UFRN, Brasil, 2011.

SUGIYAMA, H.; TSUJIOKA, T.; MURATA, M. Autonomous chain network formation by multi-robot rescue system with ad hoc networking. In: International Workshop on Safety Security and Rescue Robotics (SSRR). IEEE, 2010.

WITKOWSKI, U. *Self-Optimizing Human-Robot Systems for Search and Rescue in Disaster Scenarios*. Proceedings of the 7th International Heinz Nixdorf Symposium, 2008.