

Implantação do Sistema MobiLysa em Espaços Inteligentes Programáveis

Vinicius H. Izabel¹, Matheus D. de Oliveira¹, Mateus S. Menines¹,
Raquel F. Vassallo², Leonardo A. Silva¹, Alexandre P. do Carmo¹

¹Instituto Federal do Espírito Santo
Coord. de Eletrotécnica - Guarapari, ES, Brasil

²Universidade Federal do Espírito Santo
Dep. de Engenharia Elétrica - Vitória, ES, Brasil

{viniciushernech07, matheusdutra0207, mateus.menines09}@gmail.com

{alexandre.carmo, leonardo.assis}@ifes.edu.br, raquel.vassallo@ufes.br

Abstract. *Lysa is a robot that works as a guide dog to assist visually impaired people by warning them about obstacles that appear in their way. However, this robot is still not able to guide the person to a desired location during their motion. Therefore, hoping to fulfill this objective in indoor places, we proposed the MobiLysa system, which integrates services to localize, control and navigate the robot Lysa and help guiding users to get to locations chosen by them. This is done through a programmable intelligent space based on computer vision, which provides all services and cloud computing needed for the system. This paper describes the MobiLysa system deployment in a programmable intelligent space and the first experiments to test the navigation services, using a mobile robot, to demonstrate proof of concept of the proposal.*

Resumo. *O cão-guia robô Lysa foi desenvolvido para auxiliar pessoas com deficiência visual em sua locomoção alertando sobre os obstáculos no caminho. Entretanto este robô ainda não é capaz de guiar a pessoa até um local desejado. Com a premissa de cumprir este objetivo, foi criado o MobiLysa, que é um sistema que integra o processo de localização, controle e navegação da Lysa em ambientes internos, o que é feito por meio de um espaço inteligente programável baseado em visão computacional. Este artigo relata a implantação desse sistema em um espaço inteligente programável e a realização dos primeiros testes experimentais dos serviços de navegação usando um robô móvel para a prova de conceito do sistema.*

1. Introdução

De acordo com dados do IBGE do ano de 2010 [IBGE 2010], o Brasil possuía cerca de 6,5 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência visual, sendo 528.624 incapazes de enxergar e o restante possuindo baixa visão ou visão subnormal. Diante deste fato, muitas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para auxiliar pessoas cegas ou com baixa visão durante sua locomoção. Um exemplo são aplicativos para reconhecimento de objetos e obstáculos por meio da câmera do *smartphone*, ou métodos de localização e locomoção utilizando o GPS. Entretanto, essas tecnologias possuem baixa confiabilidade e ainda

são inacessíveis para a maioria dos seus usuários. Logo, atualmente, as pessoas com deficiência visual utilizam, majoritariamente, bengalas ou um cão guia para se locomover diariamente [Freitas 2018].

Os cães guias são muito úteis para locomoção de pessoas com deficiência visual, mas é um recurso extremamente limitado. Para um cão estar apto a desempenhar esse tipo de função, este deve ser de uma raça específica e possuir um temperamento dócil e destemido, além de passar por um treinamento com um adestrador especialista. A pessoa que queira obter um cão guia deverá passar por um treinamento para se adequar, sendo que nem todas se adaptam ao cão-guia, sentindo-se mais seguras com o uso da bengala [Freitas 2018]. Outro ponto agravante é o custo. De acordo com o Instituto Íris, uma das instituições especialistas em cães-guia no Brasil, o custo para preparar e doar um animal é de aproximadamente 35 mil reais. Por último, um cão-guia é um recurso com baixa durabilidade, já que um cachorro se aposenta após 8 anos desempenhando sua função.

Dada essa problemática, a *startup* capixaba Vixsystem [Vixsystem 2020] desenvolveu o robô Lysa, que implementa funções de um cão-guia, sendo capaz de avisar e desviar de obstáculos no caminho, evitando uma possível colisão. Entretanto, este robô não tem a capacidade de guiar uma pessoa automaticamente para um local desejado. Com o intuito de desenvolver um sistema de locomoção com alta confiabilidade em ambientes internos, foi criado o MobiLysa, que visa incluir o robô Lysa em um espaço inteligente baseado em visão computacional [Cotta et al. 2019].

O sistema MobiLysa é composto por um conjunto de microsserviços que englobam a localização do robô por visão computacional, o seu controle de alto nível por realimentação visual, planejamento de caminhos por campos potenciais e módulos de reconhecimento por voz para definição de locais de destino desejados.

O MobiLysa começou a ser desenvolvido em 2019 na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), onde já se encontra parcialmente implementado no Visio (Laboratório de Visão Computacional e Robótica). Entretanto, para mostrar a flexibilidade, replicabilidade e escalabilidade do projeto é de interesse que o MobiLysa seja implantado também em outros locais com características e câmeras diferentes para validar o sistema e avaliar os ajustes e acréscimos necessários para a sua melhoria. Desta forma, este artigo tem como objetivo demonstrar a implantação do MobiLysa em outro espaço inteligente programável, além de avaliar o funcionamento dos primeiros serviços de localização e navegação através de experimentos práticos. Assim, ao longo deste trabalho, é descrito o processo de implantação do MobiLysa no espaço inteligente do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) - Campus Guarapari. Por fim, foram realizados experimentos para validar a implantação do sistema, como a estimativa do erro de localização por meio da calibração das câmeras do espaço e teste de controle de trajetória de um robô diferencial por realimentação visual.

2. Trabalhos Relacionados

Este artigo visa relatar a implantação do sistema MobiLysa, que envolve a localização e navegação do robô Lysa em ambientes internos. Dessa forma, serão mencionados e discutidos os trabalhos referentes a diferentes metodologias de localização em espaços inteligentes programáveis.

A localização é um processo fundamental para realizar o controle do robô no espaço. Algumas tecnologias são utilizadas na literatura para melhorar a estimativa da postura de robôs móveis. Em [Jian 2015], por exemplo, foi utilizado um sistema composto por vários leitores de identificadores de rádio frequência RFID (*Radio Frequency Identification*) colocados em posições conhecidas do ambiente, e também sobre o robô. Dessa forma, é possível estimar sua postura com elevada precisão. Já em [Monteiro et al. 2020], utiliza-se um sistema estéreo de câmeras acopladas ao robô para identificar *landmarks* no ambiente, minimizando a incerteza da sua posição a cada detecção do marcador. Entretanto estes métodos exigem que novos dispositivos sejam adicionados no ambiente e no robô, o que gera um problema quando se tem diversos robôs trabalhando no ambiente, além de maximizar o custo da aplicação.

Contudo, a utilização da odometria visual pode ser uma candidata à resolução do problema de localização. O espaço inteligente descrito em Rampinelli na UFES [Rampinelli et al. 2014], realiza este método para o controle de robôs móveis por meio de uma rede de câmeras. Cotta [Cotta et al. 2019] ressalta que a precisão da localização melhora quando há sobreposição de regiões visualizadas pelas câmeras, melhorando a estimativa da posição do robô no espaço.

Por fim, Carmo [do Carmo et al. 2020] propõe em seu trabalho um espaço inteligente baseado em visão computacional, onde é feito o controle de formação de dois robôs móveis, em que a localização é obtida por meio da identificação de um marcador constituído pelo centroide de 2 círculos coloridos. Santos [Santos et al. 2019] também utiliza marcadores fiduciais para a identificação e localização de robôs, estimando sua posição e comparando com o referencial dos sensores de odometria integrado ao robô móvel.

3. O MobiLysa

O MobiLysa é uma aplicação composta por uma cadeia de microsserviços, tendo como base serviços de localização por visão computacional. Esta aplicação é executada sobre um espaço inteligente programável (PIS - *Programmable Intelligent Space*) instalada sobre uma infraestrutura de comunicação e computação [do Carmo 2021].

3.1. Localização por visão computacional

O processo de localização do robô no MobiLysa é feito por meio de câmeras instaladas no espaço inteligente, utilizando-se técnicas de visão computacional e processamento digital de imagens. A adoção de um método de localização baseado em visão computacional se deve à alta precisão e a não propagação de erros durante a navegação do robô, pois não guarda relação direta com a odometria do robô. [Cotta et al. 2019].

Atualmente, cada robô dentro do espaço inteligente é identificado e localizado por um marcador visual do tipo ArUco acoplado ao topo da sua plataforma, como mostrado na Figura 1. O ArUco é um padrão binário que é facilmente detectado e cujas informações de postura (posição e orientação) são recuperadas sem ambiguidades.

A localização do robô é feita através de microsserviços de detecção de ArUco, conversão de referencial (entre o referencial do ArUco, do robô e do ambiente), correção e estimativa da sua postura. Para que a localização tridimensional do marcador possa ser realizada de forma visual, deve-se ter um sistema de câmeras corretamente calibrado. A calibração das câmeras permite obter informações métricas no referencial do mundo a



Figura 1. Robô RobIS-D2 com marcador ArUco

partir das imagens 2D capturadas do ambiente [Zhang 2000]. O resultado da calibração é um conjunto de parâmetros que incluem a geometria interna e óptica da câmara, assim como o seu posicionamento e orientação no espaço tridimensional.

Muitos locais possuem uma rede de câmeras instaladas para monitorar o ambiente devido a razões de segurança. Esse sistema, se corretamente calibrado, também pode ser usado para localizar dispositivos móveis [do Carmo 2021]. As várias câmeras permitem cobrir maior área de visualização do ambiente e localizar o alvo desejado em um espaço maior. Além disso, com mais imagens, é possível inferir uma estimativa de localização mais confiável quando o mesmo ponto é visualizado por mais de uma câmara do espaço.

As limitações da localização por visão computacional consistem na alta dependência da qualidade da calibração, variações de luminosidade, além da grande quantidade de dados, o que exige alta largura de banda e baixa latência entre os nós de processamento. Entretanto, existem soluções consolidadas para lidar com estes problemas. Por exemplo, uma vez feita a calibração, não há necessidade de recalibração a menos que as câmeras tenham sua posição ou orientação alterada. Além disso, a luminosidade tende a ser constante em ambientes internos e a alta quantidade de dados pode ser resolvida se a infraestrutura permitir que o processamento mais pesado seja paralelizado e executado na nuvem, tornando sua utilização viável [do Carmo 2021].

3.2. Espaço inteligente com microsserviços

Um espaço inteligente pode ser definido como um espaço físico equipado com uma rede de sensores e atuadores, além de serviços de computação. Tais elementos devem ser gerenciados por uma infraestrutura de hardware e software responsável por coletar e analisar os dados, gerar as decisões e atuar quando necessário. A diferença entre os espaços inteligentes, comumente implementados e o PIS, proposto em [do Carmo 2021], é a incorporação de novas funcionalidades como a orquestração multinível centrada na observabilidade e programabilidade granular de infraestrutura.

A arquitetura PIS, também adotada neste trabalho, se baseia no conceito de PaaS (*Platform as a Service*) que propicia um ambiente de desenvolvimento completo, abstraindo toda a infraestrutura (servidores, armazenamento e rede). Dessa forma, ocorre um compartilhamento de recursos de forma mais eficiente, em que serviços que foram projetados para uma aplicação específica podem também ser utilizados em outras aplicações [do Carmo 2021]. Além disso, foi adotado um modelo de arquitetura baseada em microsserviços (MSA). Um microsserviço é um componente pequeno, independente e de escopo limitado que fornece suporte à interoperabilidade por meio de comunicação baseada em mensagens [Nadareishvili et al. 2016]. Diferentemente de uma arquitetura

monolítica (MA), a MSA constrói aplicações através dos serviços que são modularizados e de baixo nível de acoplamento, gerando inúmeras vantagens que giram em torno da eficiência, escalabilidade e estabilidade dos sistemas.

3.3. Aplicação e ligação dos microsserviços do sistema MobiLysa

A Figura 2 apresenta os microsserviços que compõem o sistema MobiLysa. Esses são descritos individualmente a seguir:

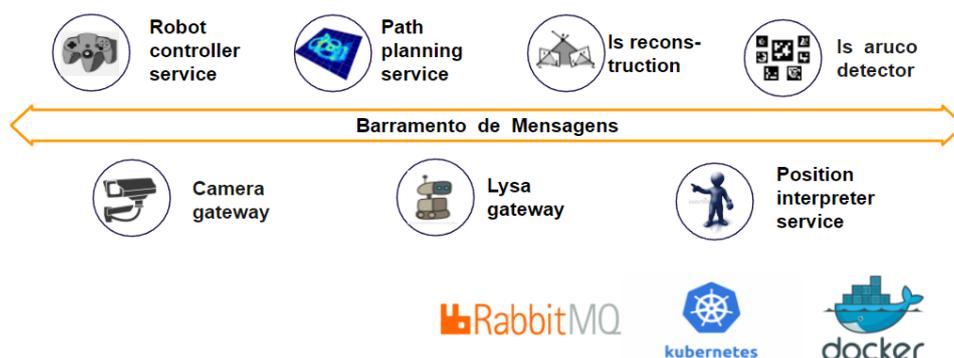


Figura 2. Microsserviços que compõem o sistema MobiLysa

- **Camera gateway:** Responsável por intermediar a comunicação entre as câmeras existentes no ambiente e o espaço inteligente;
- **Lysa gateway:** Realiza a interface entre um robô, no caso a Lysa, e o espaço inteligente;
- **Is aruco detector:** Detecta os marcadores ArUco presentes nas imagens e publica as respectivas localizações no referencial da câmera;
- **Is Reconstruction:** Consome a localização provinda do is-aruco-detector e faz a reconstrução tridimensional do marcador no referencial do mundo utilizando a imagem de todas as câmeras disponíveis no espaço;
- **Robot controller service:** Calcula sinais de controle (velocidade linear e angular) necessários para executar uma dada tarefa e envia esses comandos para o microsserviço Lysa gateway;
- **Path planning service:** Realiza o planejamento de caminhos e o desvio de obstáculos estáticos;
- **Position interpreter service:** Converte uma palavra vinda de um comando de voz em um lugar de destino relacionado a ela;
- **Barramento de Mensagens:** Exerce a função de um *broker*, propiciando a comunicação entre os demais microsserviços.

O MobiLysa funciona por meio da comunicação entre esses microsserviços. O usuário, por meio da fala, diz o nome do local que deseja ir. O reconhecimento por voz associa a palavra dita a uma coordenada do espaço, a qual é passada para o microsserviço de planejamento de caminhos. Este, por sua vez, irá traçar uma trajetória de onde o usuário se encontra, até o local desejado, usando um mapa do ambiente. Essa trajetória é enviada para o controlador de alto nível, que conhece a localização atual do robô por

meio dos microsserviços: *Camera gateway*, *Aruco detector* e *Is reconstruction*. Dada a posição atual e a trajetória, o controlador enviará sinais de controle para o robô por meio do *Lysa gateway*, e o robô guiará a pessoa até o local desejado.

4. Implementação

Para implantação do MobiLysa em um ambiente inteligente qualquer, é necessário realizar algumas etapas. As principais são a construção da entidade *gateway* tanto para as câmeras do espaço quanto para o robô a ser utilizado, a calibração de todas as câmeras presentes no ambiente e ajustes nos parâmetros externos configuráveis de cada microsserviço.

4.1. Construção do *gateway* das câmeras e do robô

Os *gateways* expõem recursos físicos dos dispositivos como serviços. Para isso, eles devem traduzir a forma de interação de cada um desses dispositivos (câmeras, robôs etc.) em um modelo padronizado na arquitetura do espaço inteligente.

Para as câmeras, foi construído um algoritmo em Python que obtém as imagens em tempo real disponibilizando-as para os demais microsserviços por meio do Barramento de mensagens. Já no robô, o *gateway* foi construído para ser executado internamente. Assim, esse módulo abstrai as suas funcionalidades, para que este receba sinais de controle e se comunique com os demais microsserviços.

4.2. Calibração das câmeras

O método de calibração utilizado foi o proposto por Zhang [Zhang 2000]. As etapas realizadas são descritas abaixo:

1. Obter um conjunto de imagens do padrão de calibração em diferentes orientações e posições no espaço;
2. Detecção dos vértices dos ArUcos que constituem o padrão de calibração em todas as imagens obtidas;
3. Aplicar o algoritmo de iteração e otimização para obtenção dos parâmetros intrínsecos, extrínsecos e de distorção da câmera.

Para a primeira etapa, foram obtidas cerca de 300 imagens do padrão de calibração para cada uma das 4 câmeras do laboratório. O padrão de calibração utilizado foi o CharUco, que une a precisão do padrão do tipo “tabuleiro de xadrez” com a facilidade de detecção do marcador ArUco. O padrão utilizado é mostrado na Figura 3.

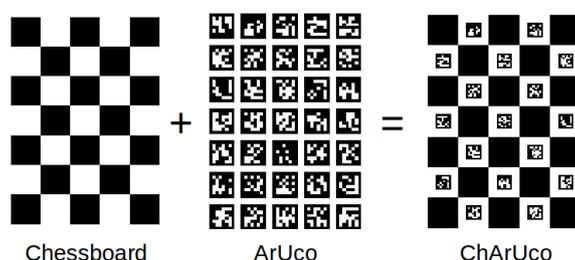


Figura 3. CharUco

Após a calibração, foram realizados testes para averiguar se os resultados eram satisfatórios. Para isso, calculou-se o erro entre as posições de marcadores físicos distribuídos no chão do laboratório (medidos e adotados como *ground truth*) e suas posições

estimadas pelo microsserviço de reconstrução 3D. Os resultados referentes à qualidade da calibração serão mostrados na Seção 5 - Resultados e Experimentos.

4.3. Ajustes de parâmetros e configuração de microsserviços

Além de construir um *gateway* e realizar a calibração das câmeras, deve ser ajustada a sua resolução e FPS (*Frames Per Second*). Ainda, é necessária a configuração dos parâmetros relacionados aos microsserviços: ganhos do controlador, tamanho e ID do marcador ArUco.

4.4. Estrutura física

O espaço inteligente do IFES possui uma área retangular de aproximadamente 60m² e 4 câmeras fixas no teto da sala. Além disso, neste trabalho, foi utilizado o serviço de nuvem do IFES - Campus Guarapari para a execução dos microsserviços que compõem o MobiLysa. A lista de equipamentos dessa estrutura física está descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Estrutura física

Quant.	Equipamento	Descrição/Modelo
4	Câmera	Intelbras VIP 1230 D G2 f
3	Servidor	Sistema operacional: Ubuntu 16.04.5 LTS RAM: 128GB HD: 3.2TB CPU: 2 x Processador Intel® Xeon® Gold 6230 2.1GHz

5. Experimentos e Resultados

Esta seção apresenta os experimentos realizados para avaliar o desempenho da implantação do sistema MobiLysa no espaço inteligente programável do IFES - Campus Guarapari.

5.1. Experimento 1 : Mapa de calibração

Este experimento visa determinar o erro de localização resultante da calibração das câmeras do ambiente. Para a sua realização, foram posicionados 35 ArUcos no chão do laboratório, onde foi feita a calibração das câmeras, conforme mostrado na Figura 4 (a). A posição onde os marcadores estão foram medidas manualmente e representam o *ground truth*. Utilizando os dados de calibração obtidos, estimou-se, através de um algoritmo, a localização de cada marcador na perspectiva de cada câmera. A Figura 4 (b) mostra a posição estimada de cada ponto por cada uma das câmeras e também pelo microsserviço Is-Reconstruction, além do erro médio euclidiano associado a cada um dos pontos.

Analisando os resultados é possível perceber que a estimativa de localização dos marcadores mais ao centro do laboratório têm maior precisão, e as medidas nas extremidades são mais dispersas. Isso se deve principalmente à distância dos marcadores nas regiões opostas a cada câmera, assim como à distorção radial em barril, causada pelas lentes das câmeras de segurança utilizadas. O erro médio euclidiano considerando todas as medidas de todas as câmeras do laboratório foi de 3,94 cm e o erro máximo (referente ao ponto mais crítico) foi de 30,19 cm. Dado que as dimensões do robô utilizado no experimento são 40X36cm, nota-se que o erro médio de localização é aceitável para o controle do robô no seu espaço de trabalho.

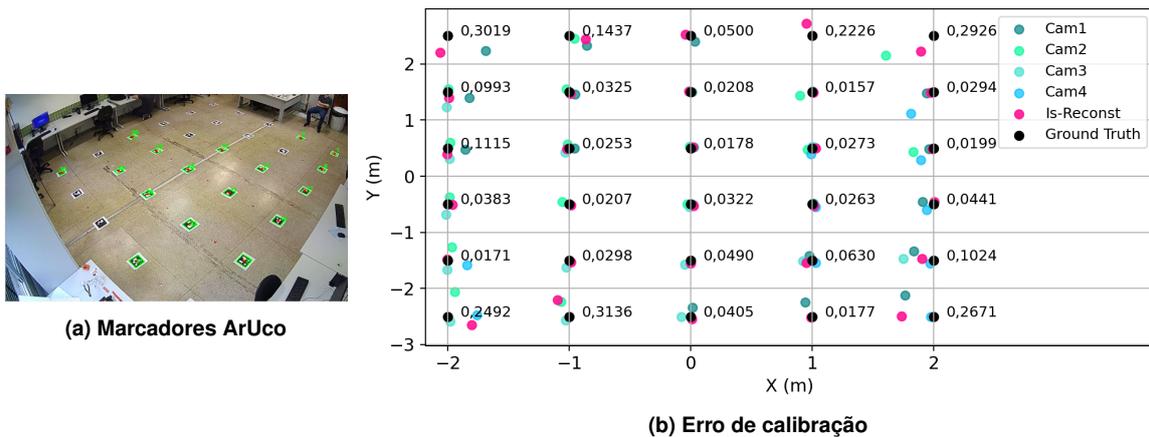


Figura 4. Mapa de calibração

5.2. Experimento 2: Controle de trajetória do robô

O controle do robô no sistema MobiLysa é realizado por um controlador não linear de cinemática inversa que utiliza, atualmente, apenas a realimentação visual para calcular as ações de controle para o robô. Neste experimento, deseja-se avaliar a precisão deste controlador em realizar uma dada trajetória.

A trajetória escolhida é a Lemniscata de Bernoulli devido a sua variação na velocidade e complexidade do caminho. Pode-se considerar a trajetória dividida em duas partes: trajetória simples (linha reta com velocidade constante) e trajetória complexa (caminho curvo com acelerações positivas e negativas). A diferença entre a trajetória desejada e a realizada pelo robô é definida como o erro da trajetória e é dada pelo erro euclidiano. A Figura 5(a) mostra a trajetória prevista e a trajetória realizada pelo robô, e a Figura 5(b) o erro associado em cada parte da trajetória.

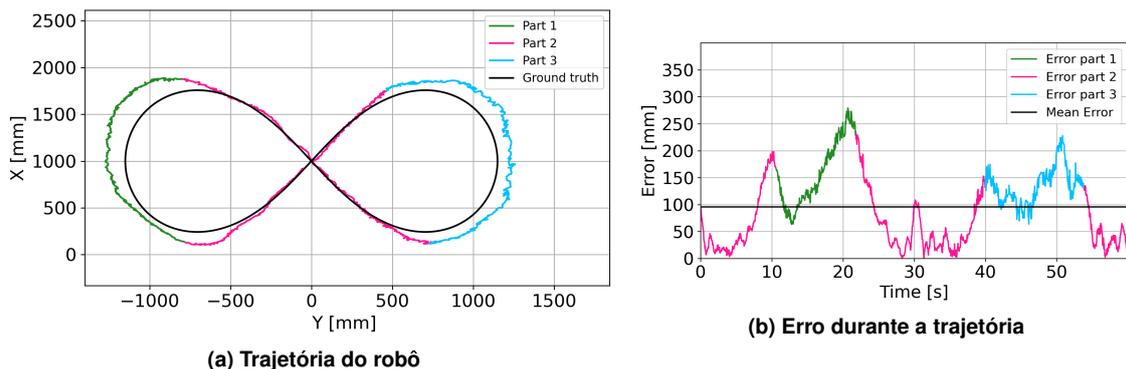


Figura 5. Controle de trajetória

Por meio do experimento verifica-se baixo erro na parte simplificada da trajetória (cor rosa), conforme esperado. O erro associado à parte complexa (cor azul) se deve não apenas à complexidade do caminho, mas também ao erro de localização que está associado à calibração das câmeras do ambiente. A trajetória da lemniscata teve seu início deslocado do centro do laboratório no eixo “x” por 1 metro positivo, fazendo com que a execução da tarefa ocorresse onde o erro de localização é maior, conforme visto na Figura 4 (a). Isso é feito para avaliar o desempenho do controlador no pior caso possível.

Nessas condições verificou-se um erro máximo de trajetória de 27,68 cm. O erro de trajetória médio considerando todo o trajeto foi de 9,55 cm, como mostrado na Figura 5 (b). Tal resultado apresenta uma precisão aceitável para a aplicação MobiLysa e válida os microsserviços de localização e navegação implementados.

Devido ao robô Lysa estar sendo remodelado pela empresa, este não foi disponibilizado para a realização deste experimento, portanto foi utilizado o robô mostrado na Figura 1. Entretanto o sistema MobiLysa foi projetado para ser funcional utilizando qualquer robô móvel do tipo tração diferencial, devido a sua estrutura física ser abstraída pelo *gateway* do robô. Isso permite que o sistema MobiLysa seja facilmente adaptado para diferentes robôs e espaços inteligentes onde o sistema for implantado.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

O sistema MobiLysa apresentado neste artigo traz uma proposta para localização e navegação de robôs móveis em ambiente internos, garantindo maior acessibilidade à pessoas com deficiência visual nesses locais. Dessa forma, neste trabalho realizou-se a implantação desse sistema em um espaço inteligente programável diferente do que foi desenvolvido originalmente. Para isso, foram construídos novos *gateways* para as câmeras existentes no local, a calibração dessas câmeras e a execução dos microsserviços que compõem o sistema. Experimentos para testar a precisão da estimativa de localização no ambiente e controle de trajetória no espaço foram realizados para validar a implementação do sistema. O primeiro experimento gerou um mapa de calibração com um erro médio aceitável para a realização do controle do robô por realimentação visual. Com isso, o controle de trajetória foi realizado no segundo experimento e observou-se que o desempenho do controlador utilizado foi satisfatório. Desse modo, é possível concluir que a implantação do MobiLysa em um espaço inteligente foi exequível, tornando o sistema viável a ser replicado em estruturas similares, conforme a proposta inicial.

Futuras melhorias no projeto estão previstas. Entre elas está a criação de um microsserviço de fusão sensorial que aumentará a confiabilidade da localização do robô no mundo, permitindo o robô navegar em zonas mortas (regiões que não possuem cobertura total de câmeras), assim como um microsserviço de mapeamento que auxiliará o planejamento de caminhos, desviando dos obstáculos estáticos no ambiente. Além disso, estão sendo analisados métodos de detecção e reconhecimento do robô Lysa por meio de redes neurais artificiais. Isso permitirá que o marcador visual utilizado atualmente seja descartado, mantendo a estética original do robô, o qual será futuramente comercializado pela a empresa criadora do mesmo.

7. Agradecimentos

Este trabalho é parte do Projeto “MOBILYSA - Sistema de localização e navegação do cão-guia robô Lysa para ambientes internos baseado em visão computacional”, financiado pela FAPES - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, através do EDITAL FAPES Nº 01/2020 APOIO A PROJETOS INOVADORES E SPIN OFF.

Referências

- Cotta, W. A. A., Machado, F., Vassallo, R. F., do Carmo, A. P., Garcia, A. S., and de Araujo Sellin, N. (2019). Mobilysa-sistema de localização e controle do cão-guia robô lisa para ambientes internos baseado em visão computacional. In Anais Estendidos do XXV Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web, pages 159–162. SBC.
- do Carmo, A. P. (2021). Uma Arquitetura de Microserviços centrada na Observabilidade Multinível para Espaços Inteligentes baseados em Visão Computacional. PhD thesis, Universidade Federal do Espírito Santo Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Elétrica Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
- do Carmo, A. P., de Queiroz, F. M., dos Santos, C. C., de Assis Silva, L., and Vassallo, R. F. (2020). Uso de um espaço inteligente baseado em visão computacional para o controle de formação de robôs móveis. In Anais do XII Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva, pages 171–180. SBC.
- Freitas (2018). 8 curiosidades sobre o cão-guia. Disponível em: <https://fundacaodorina.org.br/blog/8-curiosidades-sobre-o-cao-guia/>. Acesso em: 26 fevereiro 2022.
- IBGE (2010). Censo demográfico 2010. características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd2010religiaodeficiencia.pdf>. Acesso em: 25 janeiro 2022.
- Jian, Mi, T. Y. (2015). Performance analysis of mobile robot self-localization based on different configurations of rfid system. In 2015 IEEE international conference on advanced intelligent mechatronics (AIM), pages 1591–1596. IEEE.
- Monteiro, N. S. et al. (2020). Localização e planejamento de movimento de robôs móveis em ambientes internos utilizando processos de decisão de markov.
- Nadareishvili, I., Mitra, R., McLarty, M., and Amundsen, M. (2016). Microservice architecture: aligning principles, practices, and culture. "O'Reilly Media, Inc."
- Rampinelli, M., Covre, V., Queiroz, F., Vassallo, R., Freire, T., and Mazo, M. (2014). An intelligent space for mobile robot localization using a multi-camera system. page 15041. Sensors.
- Santos, G. d. S., Cardoso, E., and Reis, M. A. d. (2019). Localização de robôs móveis em ambiente internos usando marcos fiduciais. In Anais do V Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia., pages 226–233.
- Vixsystem (2020). Vixsystem - soluções em tecnologia da informação. Disponível em: <https://www.vixsystem.com.br/>. Acesso em: 09 fevereiro 2022.
- Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 22(11):1330–1334.