

Proposta de uma arquitetura multimodal interativa aplicada a uma cadeira de rodas inteligente baseada em um sistema de navegação social^{*}

Heli N. Silva^{*} Emanuelle G. Paulino^{*} José Díaz-Amado^{*}
João Erivando Soares Marques^{*}

^{} Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Bahia - IFBA, Vitória da Conquista, BA
(helineres@hotmail.com, emanuellegoncalvespaulino@gmail.com,
jose_diaz@ifba.edu.br, erivando@ifba.edu.br).*

Abstract: This article presents a multimodal software architecture, developed to incorporate the functionalities of an autonomous robotic system with social interactions. The architecture will be implemented in a wheelchair, making it intelligent and enabling more than one form of navigation, always considering the data obtained from the environment and people.

Resumo: O presente artigo apresenta uma arquitetura de software multimodal, desenvolvida para incorporar as funcionalidades de um sistema robótico autônomo com interações sociais. A arquitetura será implementada em uma cadeira de rodas, tornando-a inteligente e possibilitando mais de uma forma de navegação, sempre considerando os dados obtidos do ambiente e das pessoas.

Keywords: Wheelchair; layered architecture; multimodal system; autonomous system; social navigation

Palavras-chaves: Cadeira de rodas; arquitetura em camadas; sistema multimodal; sistema autônomo; navegação social

1. INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo a sociedade foi se modificando, alterando as culturas, e obtendo novos hábitos e costumes, seja no modo de agir, pensar e se relacionar, além de evoluir sua estrutura. Essa transformação está diretamente relacionada ao desenvolvimento tecnológico, que permitiu, e ainda permite nos dias de hoje, tornar mais fácil a execução das atividades em empresas e no cotidiano, melhorando o desempenho nas indústrias e aumentando a qualidade de vida das pessoas.

Por meio dos avanços tecnológicos foram desenvolvidos os sistemas robóticos, sendo inicialmente utilizados para realizar atividades repetitivas em indústrias, com o objetivo de aumentar a produtividade, como abordado por Chen et al. (2021). Entretanto, por meio de novas descobertas científicas, os sistemas robóticos foram aprimorados e passaram a ser empregados visando uma interação direta com seres humanos, sendo capazes de ajudá-los fisicamente ou socialmente. Esse campo da robótica, chamado de robótica social, vem crescendo cada vez mais, e tem como objetivo a construção de robôs de serviço sociais.

Os robôs de serviço auxiliam os humanos na execução de suas tarefas. Seu princípio de funcionamento pode ser

^{*} Esta pesquisa foi apoiada financeiramente pela Chamada Pública 05/2020 - Seleção de projetos de apoio ao empreendedorismo inovador com foco na Economia 4.0 e pelo PIBIC/PIBITI.

resumido na percepção, na decisão e na ação. A percepção é feita através de sensores que atuam como dispositivos de entrada do robô e é responsável pela coleta de dados do ambiente, e em alguns casos, também das pessoas que estão no local. A tomada de decisão equivale ao sistema nervoso humano, fazendo com que o robô seja capaz de reformular sua estratégia de acordo com os dados obtidos através da percepção, parando ou modificando seu plano de ação ao longo do caminho. A ação, controlada pela tomada de decisão, é feita por meio de atuadores, responsáveis pela locomoção do robô e pela manipulação de objetos.

Mesmo com a evolução da tecnologia, ainda é um desafio desenvolver sistemas robóticos inteiramente autônomos, pois além de interagirem com o ambiente, também interagem com os seres humanos, o que interfere diretamente nas decisões do sistema, ou seja, para garantir que a melhor decisão seja tomada, o sistema segue parâmetros de comportamento social, levando em consideração o local em que está inserido e as pessoas ao seu redor, respeitando as zonas proxêmicas de acordo com o ambiente e mudando suas ações conforme os sentimentos das pessoas, garantindo respostas condizentes com cada situação e assegurando a segurança e o bem-estar dos indivíduos.

Devido à sua complexidade, o sistema autônomo é organizado em uma arquitetura robótica. De acordo com Zhu (2005), a arquitetura deve ser composta por conjuntos substituíveis e independentes de peças elementares, além

disso, suas partes individuais, assim como o todo, devem ser capazes de serem reutilizadas em diferentes ambientes, facilitando a adaptação às mudanças, e ajudando a gerenciar a complexidade, apresentando harmonia, simetria e previsibilidade.

Este artigo é uma atualização do trabalho desenvolvido por Moitinho et al. (2021) e tem como principal objetivo apresentar as modificações propostas para uma arquitetura de software multimodal, das quais podem ser destacadas a (i) expansão dos módulos relacionados à comunicação do sistema com módulos implementados on-line e com o usuário, (ii) a utilização de um ambiente de simulação para a implementação da arquitetura em um modelo simulado da cadeira de rodas e a (iii) inclusão de diversos trabalhos de foram desenvolvidos paralelamente para serem implementados no sistema, principalmente na área de percepção de navegação. A arquitetura foi desenvolvida com o intuito de ser implementada em uma cadeira de rodas, visando seu funcionamento como um sistema robótico autônomo que realize interações sociais.

2. ESTADO DA ARTE

Durante a execução de um projeto de um sistema robótico social é fundamental o desenvolvimento de uma arquitetura de software para facilitar a compreensão e o desenvolvimento do sistema. Segundo Bass et al. (2021), a arquitetura de um sistema é um conjunto de estruturas necessárias para a racionalização sobre o mesmo, os quais englobam elementos de software, cada um com uma função específica, conexões entre eles, que estabelecem ordem de prioridade, precedência e restrições entre os componentes, e suas propriedades.

Os sistemas autônomos possuem dois tipos de arquitetura, de acordo com Behere (2012): a cognitiva e a de controle. A arquitetura cognitiva tem como foco a percepção, o planejamento e a tomada de decisões, enquanto a arquitetura de controle tem como foco o controle em tempo real, fusão de sensores e segurança, desenvolvendo técnicas que trazem segurança e respostas rápidas. Na prática, ambos os conceitos estão incluídos nas arquiteturas, o que demonstra a complexidade desses sistemas.

Os sistemas robóticos sociais têm na interação homem máquina uma complexidade em obter informações do usuário corretamente, por conta das diferentes condições enfrentadas pelos usuários desse tipo de cadeira de rodas, como abordado por Eid et al. (2016), Voznenko et al. (2018) e Karpov et al. (2019) que exploram diferentes formas de interação do usuário com o sistema; e construir um certo grau de confiança pelo usuário, para isso é necessário que o sistema possua um certo grau de familiaridade e confiabilidade, como realizado por González et al. (2017). Como modelos de arquitetura cognitiva, robôs sociais devem analisar um ambiente em constante mudança e com pessoas ao seu redor, de modo a realizar a melhor tomada de decisão para a situação de forma autônoma e aumentar a sua integração social, como em Infantino et al. (2018) e Sacoto et al. (2017).

Paralelamente, a mobilidade dos sistemas também se faz importante. Modelos arquitetônicos cognitivos e de controle são utilizados para a locomoção da cadeira de ro-

das. Arquiteturas de controle objetivam a utilização de técnicas para a obtenção de respostas com rapidez e que proporcionem segurança, como realizado em Baklouti et al. (2017). Para contornar possíveis falhas no sistema, como leituras incorretas de sensores e erros nos atuadores, são necessários sistemas e arquitetura de controle para lidar de forma segura e inteligente com a execução de tarefas, mapeamento, localização, navegação, planos de rotas, planos de ações e interação com humanos, como aborda Wolf et al. (2009).

Para tornar a arquitetura do sistema mais fácil de ser compreendida pelos pesquisadores da área, ela deve seguir normas e padrões, como os definidos por Hilliard (2000). O modelo arquitetônico escolhido para o desenvolvimento deste projeto foi a arquitetura em camadas, um modelo bastante conhecido. Segundo Fielding (2000), a arquitetura em camadas separa os componentes de software em grupos levando em consideração alguns parâmetros e estabelecendo uma organização topológica e hierárquica. Cada camada dentro da arquitetura possui um determinado nível de abstração e uma função para o funcionamento do sistema; os componentes desses grupos comunicam-se internamente, entretanto são independentes dos componentes das outras camadas, comunicando-se com eles através de uma interface bem definida. Essa restrição permite que os componentes possa ser substituídos sem alterar o circuito, desde que a interface seja mantida, ampliando a modularidade do sistema.

Para a implementação dessa arquitetura, está sendo utilizado o Robot Operating System (ROS). Segundo Quigley et al. (2009), é uma plataforma de código aberto composta por um conjunto de ferramentas e bibliotecas, que auxilia no desenvolvimento de sistemas robóticos, e que possibilita realizar a verificação, visualização e simulação dos sistemas desenvolvidos, como realizado por Cashmore et al. (2015). Além disso, o ROS permite a implementação de algoritmos em várias linguagens de programação e a modularização de vários componentes do sistema.

O trabalho de desenvolvimento de arquitetura funcional desenvolvido por Behere and Torngren (2015) foi utilizado como base para a elaboração da arquitetura proposta. Nesse artigo é descrito como a organização de uma arquitetura voltada para veículos autônomos deve ser realizada, apresentando a função de cada camada e a forma como a comunicação interna é realizada.

Jiang et al. (2018) propõe uma arquitetura em camadas para robôs autônomos interativos. Ela possui controladores reativos, que agem em em casos mais simples e utilizam representações estáticas das tarefas para determinar as ações a seres realizadas, e deliberativos, que agem nos casos mais complexos resolvendo dinamicamente os objetivos as serem cumpridos.

Neste artigo, a arquitetura desenvolvida é apresentada detalhadamente, mostrando as funções de cada camada e como elas se comunicam internamente para que o sistema inteligente se mova de forma autônoma e respeitando os padrões de comportamento social.

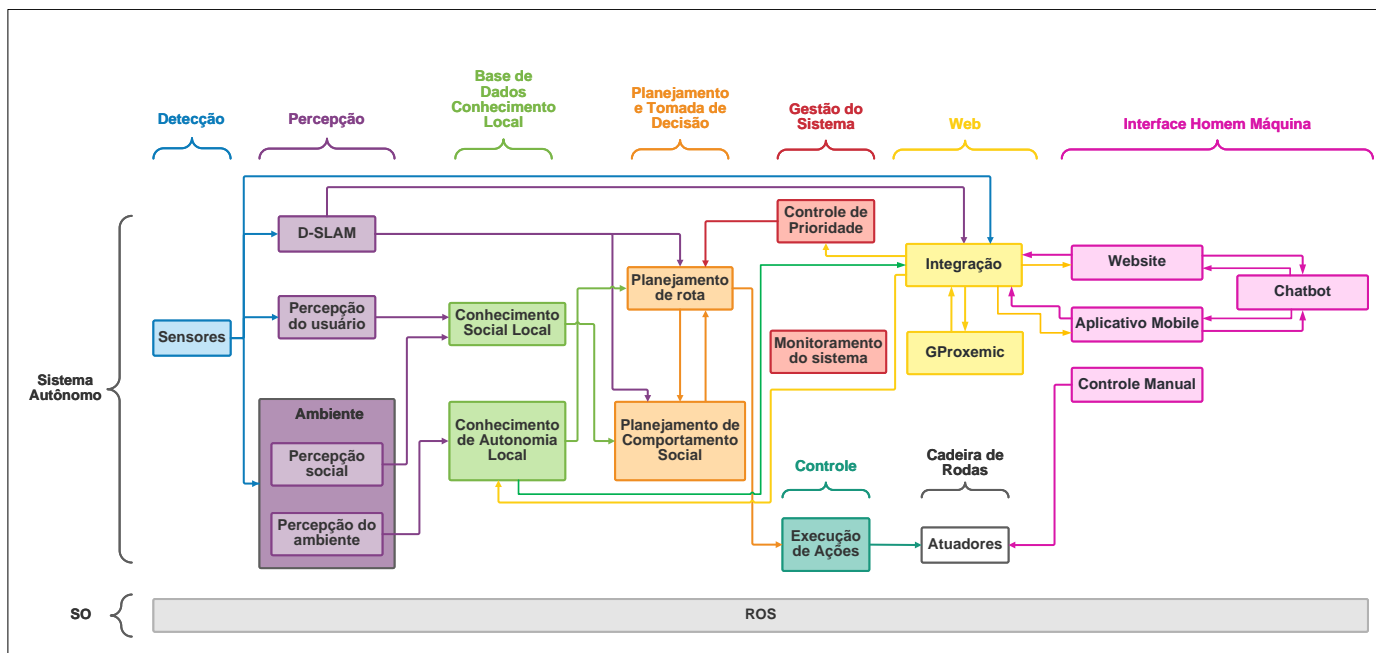


Figura 1. Arquitetura de software da cadeira de rodas inteligente.

3. METODOLOGIA

3.1 Detecção

Alguns conjuntos de algoritmos e tecnologias são necessários para o pleno funcionamento de um sistema autônomo. Tais conjuntos podem ser divididos em alguns grupos: percepção, planejamento, tomada de decisão e Interface Homem-Máquina (IHM).

Dessa forma, dados do ambiente são obtidos pelo sistema através de diversos sensores. Por meio dos algoritmos de percepção, esse dados são traduzidos em informações úteis para os algoritmos de percepção e tomada de decisão que geram os comandos necessários para o cumprimento dos objetivos definidos pelo usuário através da interface homem-máquina. Tais comandos são seguidos pelos atuadores.

Para realizar e determinar o funcionamento desses algoritmos, se faz necessária uma arquitetura de software. Foram estudados e discutidos diversos trabalhos relacionados à robótica móvel e sistemas autônomos e pôde-se observar que em grande parte dos sistemas as arquiteturas são organizadas em camadas que contêm grupos de componentes em comum. Essa divisão em camadas proporciona um aumento da flexibilidade e da escalabilidade da arquitetura, permitindo a substituição de componentes de uma camada sem comprometer o funcionamento do sistema, desde que a interface de comunicação com as outras camadas sejam mantidas. Tendo isso em vista, na arquitetura proposta por esse artigo, a distribuição é realizada em oito camadas: detecção, percepção, banco de dados, planejamento e tomada de decisão, gestão do sistema, web e interface homem-máquina.

A Figura 1 ilustra a arquitetura proposta para a cadeira de rodas autônoma.

Composta por sensores encarregados de obter dados do ambiente no entorno do sistema inteligente, essa camada permite a interpretação de desses dados pela camada de Percepção e garante ao sistema um representação do ambiente externo com o nível de precisão necessário.

Dessa forma a camada de Detecção se comunica com três camadas na arquitetura proposta, a camada de Percepção, permitindo que as informações obtidas pelos sensores sejam compartilhadas com o restante do sistema para que o ambiente externo seja bem representado pelo sistema, e as camadas Web e Interface Homem-Máquina, disponibilizando as informações dos sensores para que o usuário veja as informações coletadas pelo sistema e fortaleça o vínculo com o sistema.

3.2 Percepção

A camada de Percepção é responsável por converter os dados obtidos pelos sensores em informações úteis para o sistema, permitindo que uma representação do ambiente ao seu entorno seja criada para auxiliar na tomada de decisões. As principais funcionalidades da percepção são a localização, detecção e rastreamento de obstáculos em um determinado ambiente. A percepção social, que foi utilizada na cadeira de rodas, também pode ser incluída nessa camada, permitindo uma melhor navegação em um ambiente com a presença de humanos.

De acordo com Bailey et al. (2006), o **SLAM** (Simultaneous Localization and Mapping) é uma evolução do método tradicional utilizado por sistemas autônomos para o mapeamento e auto-localização no espaço em que estão inseridos. Já o **D-SLAM** (Dynamic Simultaneous Localization and Mapping) permite a operação em ambientes dinâmicos. O OntoSLAM, desenvolvido por Cornejo-Lupa et al. (2021b), é uma ontologia capaz de modelar todos os

aspectos relacionados ao conhecimento obtido no SLAM incluindo Informações do Robô, Mapeamento do Ambiente, Informações do Tempo e Informações do Espaço de Trabalho. Juntamente com a estratégia de validação de ontologia desenvolvida por Cornejo-Lupa et al. (2021a) e a abordagem para melhorar a navegação em ambientes com a presença de seres humanos proposta por Inofuente-Colque et al. (2021), o OntoSLAM será utilizado de forma a incrementar a capacidade do sistema de navegar em ambientes dinâmicos com a presença de seres humanos.

O mapa do ambiente e a localização do sistema são dados essenciais para a determinação do início e o fim de um objetivo determinado pelo usuário, além do trajeto realizado para cumprir tal objetivo. Dessa forma, este módulo compartilha informações com os componentes da camada de Planejamento e Tomada de Decisão, para que estes possam realizar o cálculo de rota e com os módulos da camada de Interface Homem-Máquina e o módulo Integração, onde o mapa será utilizado para que o usuário defina o objetivo.

A **Percepção do Usuário** é responsável por analisar as informações dos sensores dedicados ao usuário e aos indivíduos no ambiente através de algoritmos capazes de determinar os sentimentos de uma pessoa através de aspectos corporais, com sua expressão, comunicação verbal e não verbal e frequência cardíaca, com um certo nível de precisão. Essas informações são armazenadas nos bancos de dados e ficarão disponíveis para serem utilizadas pelo Planejamento e Tomada de Decisão posteriormente.

O método EMONTO (EMotion ONTOlogy), desenvolvido por Heredia et al. (2021), permite a detecção de emoções através de imagens utilizando dados como expressão facial, gráfico de esqueleto postural, características do corpo e contexto ambiental; essas informações passam pelo método de fusão EmbraceNet+. Já o trabalho de Graterol et al. (2021) propõe uma estrutura para permitir que robôs sociais detectem emoções, se baseando no EMONTO e convertendo voz em texto para utilizar o processamento de linguagem natural na detecção de emoções. Por fim, Heredia et al. (2022) propõem uma arquitetura para reconhecimento de emoções, capaz de trabalhar com diversas fontes e tipos de dados e gerenciar diferentes níveis de qualidade de dados e falta de informações. Cada modalidade de dados é analisada de forma independente e posteriormente os resultados são unidos com o EmbraceNet+. Esses métodos permitirão que a cadeira inteligente detecte de forma mais precisa o humor de cada indivíduo e possa adaptar o seu comportamento mais adequadamente.

O módulo de **Percepção do Ambiente** identifica possíveis obstáculos no entorno da cadeira de rodas. Utilizando dos dados obtidos pelos sensores em algoritmos capazes de realizar essa análise e caracterização dos objetos ao redor da cadeira de rodas desenvolvendo uma representação do ambiente com um certo nível de precisão. Dessa forma, as informações resultantes são armazenadas nos componentes de bancos de dados e fornecidas para serem utilizadas pelos componentes de Planejamento e Tomada de Decisão.

Para uma melhor navegação em ambientes como hospitais e museus, será utilizado o ODRM (Object Detection and Recognition algorithm supported by Ontologies and applied to Museums), algoritmo desenvolvido por Tejada-

Mesias et al. (2021). Ele é capaz de realizar a detecção de objetos pequenos e o gerenciamento da alta densidade de múltiplos objetos, possibilitando que a detecção do ambiente ocorra corretamente, e conseqüentemente a navegação.

A **Percepção Social** é responsável por analisar os indivíduos ao redor da cadeira de rodas utilizando algoritmos que identificam os sentimentos das pessoas com um certo grau de precisão através de fatores como postura, rosto e fala, além de considerar restrições sociais presentes no local como idade, sexo, gênero, cultura e nacionalidade que são representadas por zonas proximicas, como aponta Rios-Martinez et al. (2015). As informações obtidas são armazenadas no componente da camada de banco de dados e também fornecidas para serem utilizadas pelo módulo de Planejamento do comportamento social.

É importante enfatizar a importância da utilização dos componentes voltados à percepção social, pois essa tecnologia permite ao sistema uma melhor integração na sociedade ao realizar suas ações considerando a situação física, emocional e cultural das pessoas no entorno da cadeira de rodas autônoma, aumentando a segurança e o bem-estar delas. É possível constatar essa afirmação ao realizar a análise de possíveis situações de interação entre humanos e o sistema autônomo social. Na situação ilustrada pela Figura 2, é possível observar que a cadeira de rodas identifica um indivíduo assustado por conta da sua aproximação e recalcula sua trajetória de modo que mantém uma distância considerável da pessoa. Dessa forma, essa funcionalidade, além de aumentar a segurança do usuário, pode evitar conflitos entre seres humanos.

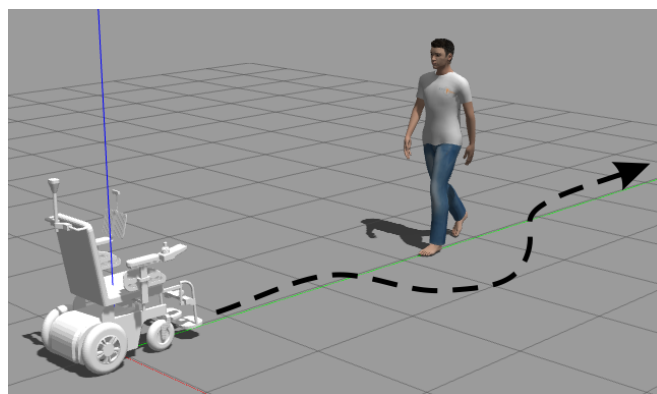


Figura 2. Representação de uma situação na qual a cadeira de rodas inteligente desvia de um indivíduo

3.3 Base de Dados de Conhecimento Local

Essa camada é responsável por armazenar dados de grande importância para o funcionamento do sistema autônomo social. Ela armazena as informações traduzidas pela camada de Percepção e que serão utilizadas pelo Planejamento e Tomada de Decisão. Essas informações serão representadas e organizadas seguindo a ontologia proposta por Cornejo-Lupa et al. (2021b), o OntoSLAM, e validadas conforme a estratégia proposta por Cornejo-Lupa et al. (2021a). Para melhorar a flexibilidade e a organização dois módulos foram incluídos nessa camada: **Conhecimento de Autonomia Local** e **Conhecimento Social Local**. O primeiro

armazenas as informações referentes ao ambiente recebidas do módulo de Percepção do Ambiente e envia essas informações para serem utilizadas no Planejamento de Rota. Já o segundo armazena os dados fornecidos pela Percepção do Usuário e Percepção Social provendo-os ao módulo de Planejamento de Comportamento Social.

3.4 Planejamento e Tomada de Decisão

Sendo uma camada essencial para o funcionamento do sistema, os algoritmos nela incluídos são responsáveis por utilizar as informações fornecidas pela Percepção para determinar as ações a serem executadas pela cadeira de rodas para que os objetivos determinados sejam cumpridos adequadamente. Na arquitetura proposta essa camada possui dois componentes: **Planejamento de Rota** e **Planejamento de Comportamento Social**

O **Planejamento de Rota** é o módulo encarregado de determinar as ações a serem executadas para o cumprimento dos objetivos utilizando as informações fornecidas pelas outras camadas para determinar as ações a serem tomadas em função do cumprimento dos objetivos determinados. O trabalho de Amado et al. (2019) demonstra como a navegação autônoma é afetada por diferentes configurações de imagens, mostrando como a percepção é fundamental para um bom planejamento de rota.

Por outro lado, o **Planejamento de Comportamento Social** utiliza as informações oriundas da camada de Percepção, no âmbito social, para auxiliar o Planejamento de Rota a adaptar as ações definidas de forma a obedecer as restrições sociais e considerar variáveis como os sentimentos dos usuários das pessoas ao seu redor. Daza et al. (2021) propõem em seu trabalho uma abordagem de navegação autônoma baseada nos princípios da teoria proxêmica e demonstram como as zonas proxêmicas podem auxiliar o sistema a adaptar o seu comportamento na presença de humanos analisando a respeitando a proximidade entre eles. De forma complementar, no trabalho de Vilasboas et al. (2021) é desenvolvido o GProxemic, que fornece ao sistema informações sobre a zona proxêmica adequada de acordo com a posição geográfica do mesmo.

O Planejamento de rota recebe dados do D-SLAM, bancos de dados, Planejamento de Comportamento Social e Controle de Prioridade; e envia informações para Planejamento de Comportamento Social e para a camada de controle como pode ser observado da Figura 1. As conexões realizadas estão mais detalhadas na Figura 3.

Inicialmente o Planejamento de Rota recebe uma tarefa definida pelo usuários através de alguma das formas de interação da IHM. Para a execução dessa tarefa são necessárias algumas informações: o mapeamento do ambiente e a localização do sistema no mesmo, para que seja possível determinar os pontos inicial e final de uma tarefa e os obstáculos entre eles para que seja possível determinar um trajeto; dados da percepção do ambiente para que seja possível realizar o desvio de obstáculos e manobras da cadeira de rodas; e dados da percepção social, para que seja possível modificar as ações definidas de modo a respeitar as restrições sociais ao redor da cadeira e os sentimentos das pessoas em volta e do usuário. Essas informações são fornecidas pelo módulo D-SLAM da camada de percepção,

pelos bancos de dados e o componente Planejamento de Comportamento Social, respectivamente. Assim, os algoritmos determinam a menor rota para o objetivo e se necessário a alteram por conta de algum obstáculo ou restrições sociais.

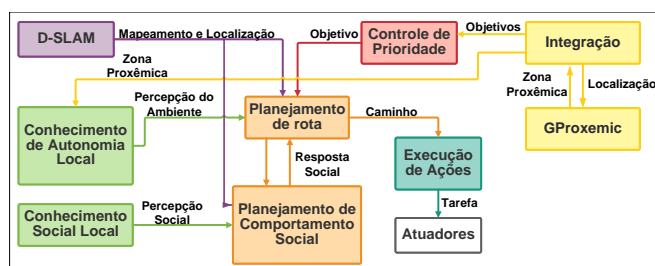


Figura 3. Conexões da camada de Planejamento de Rota

3.5 Gestão do Sistema

Nessa camada estão presentes alguns componentes importantes para o sistema: Controle de Prioridade e Monitoramento do sistema.

O **Controle de Prioridade** é o componentes responsável por gerir as diferentes formas de entrada de objetivo disponíveis. Este módulo recebe as informações do objetivo definidas pelo usuário e organiza as diferentes formas de interação homem-máquina e define a prioridade de cada uma no caso de entradas simultâneas de duas interfaces de forma a evitar conflitos de informação.

Independente do nível do preparo, todo sistema inteligente está sujeito a falhas e é necessário identificá-las para que possam ser corrigidas. O **Módulo de Monitoramento** é o componente encarregado dessa função, analisando os fluxo de dados do sistema e o funcionamento de cada unidade em busca de comportamentos indesejados para que o erro não se propague e afete o desempenho da cadeira de rodas inteligente.

É possível observar que o módulo de Controle de Prioridade recebe informações dos componentes das camadas IHM e Web, pois o controle manual possui uma conexão direta e o módulo de Integração envia as informações recebidas das outras interfaces.

3.6 Web

A camada Web engloba os componentes remotos do sistema e que são acessados através da internet: Integração e GProxemic.

O módulo de **Integração** é responsável por intermediar a conexão do Website e do Aplicativo Mobile com o restante do sistema, convertendo a informação para ser utilizada por todos os módulos. Informações são trocadas com diversos módulos: o D-SLAM, os sensores e os bancos enviam os dados coletados para que serem fornecidos ao usuário se requisitadas; o Website e o Aplicativo Mobile enviam informações do objetivo definido pelo usuário e recebem dados do sistema; por fim o GProxemic recebe os dados de sensores e envia informações da zona proxêmica recomendada.

O **GProxemic** é um sistema desenvolvido por Vilasboas et al. (2021) que utiliza a geolocalização para definir a zona proxêmica adequada ao ambiente em que o robô está inserido. Esse módulo recebe dados de geolocalização do sistema que foram traduzidos pela integração e serão armazenados nos bancos de dados.

3.7 Interface Homem Máquina

Responsável por intermediar a comunicação entre o usuário e sistema inteligente, a camada de Interface Homem Máquina (IHM) permite que o usuário interaja com o sistema definindo objetivos a serem seguidos e solicitando informações. Essa camada é composta pelos módulos que possibilitam essa interação: Controle Manual, Website, Aplicativo Mobile e Chatbot. É importante ressaltar que a interface entre o sistema e usuário desempenha um papel importante na construção de um vínculo de confiança, por isso é necessário que o sistema forneça ao usuário informações das ações que estão sendo realizadas e o motivo disso.

O **Controle Manual** inclui formas controle da cadeira de rodas nas quais o usuário tem completo controle da direção, enviando comandos diretamente para os atuadores.

O **Website** permite o controle remoto do sistema e a obtenção de informações, possibilitando uma maior flexibilidade e facilidade para o controle de vários dispositivos semelhantes. De forma semelhante, o **Aplicativo Mobile** fornece ao usuário uma forma de controlar o sistema através de um smartfone, permitindo que a definição do objetivo e a obtenção de dados do sistema. Ambos os módulos se comunicam com o Chatbot e enviam os comandos do usuário para a Integração.

Por fim, o módulo **Chatbot** possibilita a comunicação por voz ou texto do usuário com o sistema, semelhante a uma assistente virtual. Ele é utilizado tanto pelo Website quanto pelo Aplicativo Mobile para intermediar a comunicação com o usuário. Possui uma saída e uma entrada tanto para o Website e quanto para o Aplicativo Mobile.

3.8 Controle

A camada de Controle é responsável por controlar as entradas de objetivo recebidas e enviar comando para os atuadores. Essa camada possui algoritmos responsáveis por converter as informações do objetivo em ações de aceleração, frenagem e direção permitindo que a cadeira de rodas siga o percurso definido até o objetivo.

Duas conexões são presentes, como representado da Figura 1, uma entrada do planejamento de rota que determina os objetivos a serem cumpridos e uma saída para os atuadores, com as ações a serem executadas.

4. RESULTADO

A arquitetura proposta para uma cadeira de rodas inteligente descrita na Seção 3 apresenta diversas funcionalidades e tecnologias que possibilitam a implementação desse sistema multimodal, de acordo com as necessidades do usuário. Três modos de navegação com diferentes níveis de autonomia são disponibilizados pelo sistema: o modo

manual, o modo autônomo e o modo autônomo social. Além disso, a arquitetura também dispõe da possibilidade de controle remoto, aumentando significativamente a variedade de aplicações desse sistema. A Figura 4 ilustra quais módulos são utilizados para cada tipo de navegação.

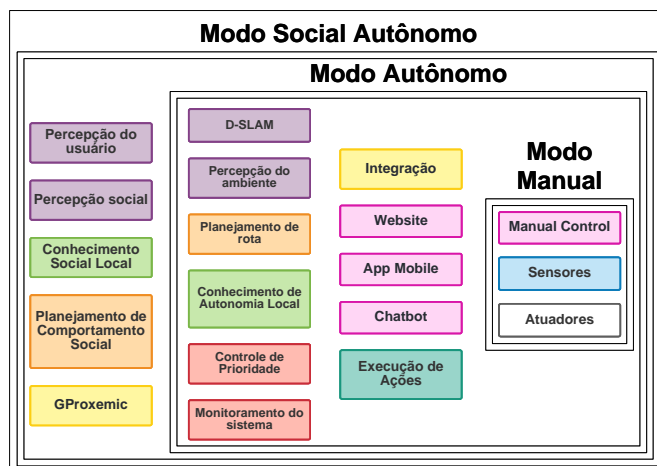


Figura 4. Conexões da camada de Planejamento de Rota

Os sistemas autônomos estão sujeitos a falhas seja pela possibilidade de erros se propagarem pelos algoritmos do robô e inutilizarem o sistema ou por conta de danos em componentes que prejudicam o sistema e a sua autonomia. Por conta disso, diversos sistemas autônomos utilizam maneiras de se controlar o sistema através de algum **modo manual**, e para a cadeira de rodas não é diferente. Existem duas formas de realizar esse controle no sistema proposto: pelo joystick presente no braço da cadeira de rodas ou através de comandos de voz pré-definidos.

Apesar da percepção social ser uma ferramenta muito importante e útil para sistemas autônomos que circulam em ambiente com seres humanos por considerar as emoções destes em suas decisões, existem limitações dos seus algoritmos em determinadas situações. Ambientes movimentados, por exemplo, podem reduzir a precisão da detecção dos sentimentos. Para casos como esse o **modo autônomo** pode ser utilizado. Nesse modo todas as principais características de um sistema autônomo estão disponíveis, porém os módulos relacionados à percepção social são desativados, como pode ser observado na Figura 4. Dessa forma os aspectos sociais não são considerados na tomada de decisão, permitindo à cadeira de rodas o funcionamento adequado para situações como a descrita.

O **modo autônomo social** é o modo padrão de funcionamento do sistema, no qual todas as funcionalidades descritas na arquitetura de software estão ativas e são utilizadas. Nesse modo de controle as pessoas ao redor da cadeira de rodas e os sentimentos das mesmas são levados em consideração para o planejamento das ações a serem tomadas. Este modo é o mais indicado na maioria das situações rotineiras para pessoas que dependem desse equipamento para a locomoção, pois este permite a identificação da reação das pessoas ao redor e do usuário às ações tomadas pela cadeira e a tomada de decisão baseadas nisso. Dessa forma o sistema pode realizar ações para resolver problemas antes que o usuário peça por elas, aumentando

a segurança das pessoas no ambiente em que a cadeira está inserida.

Além dos modos de controle citados, também é possível a realização do controle remoto da cadeira de rodas. Essa funcionalidade é possível graças ao módulo de Integração e as IHM's conectadas a ele. Como abordado na Seção 3, o módulo de Integração permite a comunicação entre o sistema e as interfaces conectadas a ele por meio da internet. O Website e o Aplicativo Mobile permitem que, com a devida permissão, o sistema obedeça a ordens recebidas remotamente por eles, proporcionando uma grande gama de aplicações nas quais a cadeira de rodas pode ser utilizada. Uma delas é a utilização em hospitais, por exemplo, permitindo o deslocamento de pacientes de um lugar a outro sem a necessidade de uma pessoa encarregada, evitando equívocos de deslocamento e reduzindo índices de contaminação por reduzir o contato entre o paciente e outras pessoas.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada pelo Grupo de Inovação e Pesquisa em Automação e Robótica (GIPAR) e pelo Instituto Federal da Bahia (IFBA) *campus* Vitória da Conquista.

5. CONCLUSÃO

Neste artigo foi apresentada a arquitetura de software multimodal, elaborada com o intuito de facilitar a compreensão do sistema inteligente aplicado à cadeira de rodas, permitindo um melhor desenvolvimento e execução do projeto, garantindo uma visão ampla de seu funcionamento e de sua organização, além de permitir a realização de alterações com maior facilidade.

Na arquitetura desenvolvida, os componentes do sistema foram organizados em camadas compostas por módulos com características comuns. Dessa forma, a arquitetura foi dividida em oito camadas: detecção; percepção; base de dados de conhecimento local; planejamento e tomada de decisão; gestão do sistema; web; interface homem máquina e controle.

A fim de garantir que o usuário tivesse maior segurança e controle da cadeira de rodas, foram definidos três modos de navegação diferentes: modo manual, modo autônomo e modo social autônomo, além de disponibilizar o controle remoto do sistema.

Como trabalhos futuros, a arquitetura será implementada em um modelo 3D da cadeira de rodas e serão realizados testes para a validação da mesma. Após a validação, ela será incorporada ao sistema robótico por meio do Robot Operating System (ROS), que consiste em uma coleção de frameworks de software, que possibilita a comunicação entre os módulos por meio do envio e do recebimento de dados, permitindo o monitoramento do sistema e realização de modificações na arquitetura de software caso necessário.

REFERÊNCIAS

Amado, J.A.D., Gomes, I.P., Amaro, J., Wolf, D.F., and Osório, F.S. (2019). End-to-end deep learning applied

- in autonomous navigation using multi-cameras system with rgb and depth images. In *2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 1626–1631. IEEE.
- Bailey, T., Nieto, J., Guivant, J., Stevens, M., and Neboit, E. (2006). Consistency of the ekf-slam algorithm. In *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 3562–3568. IEEE.
- Baklouti, E., Amor, N.B., and Jallouli, M. (2017). Reactive control architecture for mobile robot autonomous navigation. *Robotics and Autonomous Systems*, 89, 9–14.
- Bass, L., Clements, P., and Kazman, R. (2021). *Software Architecture in Practice*. SEI Series in Software Engineering Series. Addison Wesley Professional. URL <https://books.google.com.br/books?id=y-AgzzEACAAJ>.
- Behere, S. (2012). Architecture support for automobile autonomy: A state of the art survey.
- Behere, S. and Torngren, M. (2015). A functional architecture for autonomous driving. In *2015 First International Workshop on Automotive Software Architecture (WASA)*, 3–10. IEEE.
- Cashmore, M., Fox, M., Long, D., Magazzeni, D., Ridder, B., Carrera, A., Palomeras, N., Hurtos, N., and Carreras, M. (2015). Rosplan: Planning in the robot operating system. In *Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling*, volume 25, 333–341.
- Chen, H., Wen, Y., Zhu, M., Huang, Y., Xiao, C., Wei, T., and Hahn, A. (2021). From automation system to autonomous system: An architecture perspective. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(6), 645.
- Cornejo-Lupa, M., Barrios-Aranibar, D., Cardinale, Y., Ticona-Herrera, R., Andrade, M., and Diaz-Amado, J. (2021a). A strategy to validate knowledge representation in service robots through experimentation applied to the slam domain. In *2021 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2021 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2021 Workshop on Robotics in Education (WRE)*, 1–6. IEEE.
- Cornejo-Lupa, M.A., Cardinale, Y., Ticona-Herrera, R., Barrios-Aranibar, D., Andrade, M., and Diaz-Amado, J. (2021b). Ontoslam: An ontology for representing location and simultaneous mapping information for autonomous robots. *Robotics*, 10(4), 125.
- Daza, M., Barrios-Aranibar, D., Diaz-Amado, J., Cardinale, Y., and Vilasboas, J. (2021). An approach of social navigation based on proxemics for crowded environments of humans and robots. *Micromachines*, 12(2), 193.
- Eid, M.A., Giakoumidis, N., and El Saddik, A. (2016). A novel eye-gaze-controlled wheelchair system for navigating unknown environments: case study with a person with als. *IEEE Access*, 4, 558–573.
- Fielding, R.T. (2000). *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. University of California, Irvine.
- González, J.C., Pulido, J.C., and Fernández, F. (2017). A three-layer planning architecture for the autonomous control of rehabilitation therapies based on social robots. *Cognitive Systems Research*, 43, 232–249.
- Graterol, W., Diaz-Amado, J., Cardinale, Y., Dongo, I., Lopes-Silva, E., and Santos-Libarino, C. (2021). Emotion detection for social robots based on nlp transfor-

- mers and an emotion ontology. *Sensors*, 21(4), 1322.
- Heredia, J., Cardinale, Y., Dongo, I., and Diaz-Amado, J. (2021). A multi-modal visual emotion recognition method to instantiate an ontology. In *16th International Conference on Software Technologies*, 453–464. SCITEPRESS-Science and Technology Publications.
- Heredia, J., Lopes-Silva, E., Cardinale, Y., Diaz-Amado, J., Dongo, I., Graterol, W., and Aguilera, A. (2022). Adaptive multimodal emotion detection architecture for social robots. *IEEE Access*, 10, 20727–20744.
- Hilliard, R. (2000). Ieee-std-1471-2000 recommended practice for architectural description of software-intensive systems. *IEEE*, <http://standards.ieee.org>, 12(16-20), 2000.
- Infantino, I., Augello, A., Maniscalco, U., Pilato, G., and Vella, F. (2018). A cognitive architecture for social robots. In *2018 IEEE 4th International Forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI)*, 1–5. IEEE.
- Inofuente-Colque, K., Ferreira-Andrade, S., Barrios-Aranibar, D., Cardinale, Y., and Diaz-Amado, J. (2021). An approach to improve simultaneous localization and mapping in human populated environments. In *2021 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2021 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2021 Workshop on Robotics in Education (WRE)*, 240–245. IEEE.
- Jiang, Y., Walker, N., Kim, M., Brissonneau, N., Brown, D.S., Hart, J.W., Niekum, S., Sentis, L., and Stone, P. (2018). Laair: A layered architecture for autonomous interactive robots. *arXiv preprint arXiv:1811.03563*.
- Karpov, V., Malakhov, D., Moscovsky, A., Rovbo, M., Sorokoumov, P., Velichkovsky, B., and Ushakov, V. (2019). Architecture of a wheelchair control system for disabled people: Towards multifunctional robotic solution with neurobiological interfaces. , 11(1 (eng)).
- Moitinho, V., Brito, F., Diaz-Amado, J., Costa, V., Sousa, D., Prado, E., Libarino, C., and Soares, J.E. (2021). Proposal of a multimodal robotic architecture considering social constraints applied to an intelligent wheelchair. In *2021 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2021 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2021 Workshop on Robotics in Education (WRE)*, 162–167. IEEE.
- Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Wheeler, R., Ng, A.Y., et al. (2009). Ros: an open-source robot operating system. In *ICRA workshop on open source software*, volume 3, 5. Kobe, Japan.
- Rios-Martinez, J., Spalanzani, A., and Laugier, C. (2015). From proxemics theory to socially-aware navigation: A survey. *International Journal of Social Robotics*, 7(2), 137–153.
- Sacoto, K.Y.A., Delgado, M.A.S., Cedeño, J.E.C., and Chang, J.E.A. (2017). Sistemas de reconocimiento en la robótica social. *Revista UNIANDES Episteme*, 4(3), 332–343.
- Tejada-Mesias, A., Dongo, I., Cardinale, Y., and Diaz-Amado, J. (2021). Odrom: Object detection and recognition supported by ontologies and applied to museums. In *2021 XLVII Latin American Computing Conference (CLEI)*, 1–10. IEEE.
- Vilasboas, J.P., Sampaio, M.S.C., Moreira, G.F., Souza, A.B., Diaz-Amado, J., Barrios-Aranibar, D., Cardinale, Y., and Soares, J.E. (2021). Application of social constraints for dynamic navigation considering semantic annotations on geo-referenced maps. In *IECON 2021–47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 1–7. IEEE.
- Voznenko, T.I., Chepin, E.V., and Urvanov, G.A. (2018). The control system based on extended bci for a robotic wheelchair. *Procedia computer science*, 123, 522–527.
- Wolf, D.F., Simões, E., Osório, F.S., and Junior, O.T. (2009). Robótica móvel inteligente: Da simulação às aplicações no mundo real. In *Mini-Curso: Jornada de Atualização em Informática (JAI), Congresso da SBC*, 13. sn.
- Zhu, H. (2005). *Software design methodology: From principles to architectural styles*. Elsevier. URL <http://www.dim.uchile.cl/~juaperez/beto/libro.guia.pdf>.