

OTIMIZANDO ROTAS: O CÁLCULO POR TRÁS DAS NAVEGAÇÕES MODERNAS UTILIZANDO SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO INERCIAL

Bianca Gabrielly Oliveira Silva¹

Yago Souza Silva¹

Adriana Vital Tavares¹

Ana Clara Silva Franco¹

Maria Eduarda Hoppen de Souza¹

Maxlei Vinicius Candido de Freitas²

Resumo: Os frequentes problemas no tráfego evidenciam a importância de sistemas que facilitem o transporte, independentemente do veículo utilizado. Atualmente, os sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System), como o GPS, são amplamente utilizados para fornecer localização em tempo real. No entanto, esses sistemas enfrentam limitações em áreas de cobertura deficiente, onde não existe bom alcance do sinal enviado pelo satélite. Visando contornar essas limitações, este estudo propõe a utilização de um Sistema de Navegação Inercial (INS) integrado ao GNSS. O funcionamento desse sistema é fundamentado no cálculo de integrais, combinando dados de aceleração e velocidade ao longo do tempo para estimar continuamente a posição, que posteriormente é associado às coordenadas enviadas pelo GPS, através do Filtro de Kalman. Este estudo, com base em revisões bibliográficas, levantará e analisará informações de pesquisas anteriores para verificar a viabilidade desse sistema em cenários urbanos complexos, além de explicar seu funcionamento utilizando cálculos. As estimativas teóricas e análises de outros estudos sugerem que o INS, ao integrar dados de sensores, pode replicar trajetórias com precisão, mesmo em ambientes desafiadores, onde o sinal GNSS é insuficiente ou ausente.

Palavras-chave: GNSS. Sistema de Navegação Inercial. Cálculo Integral. Acelerômetros.

INTRODUÇÃO

A presente pesquisa se justifica com a crescente necessidade de sistemas de navegação mais precisos em áreas urbanas, onde existem desafios à mobilidade. A crescente urbanização

¹ Discente do Curso de Engenharia Civil, biancagaby90@gmail.com

² Docente do Curso de Engenharia Civil.

e o aumento da demanda por soluções de mobilidade têm revelado limitações significativas nos sistemas de navegação tradicionais, como o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), amplamente utilizado para fornecer informações de localização em tempo real. Em áreas urbanas densas, onde arranha-céus, túneis e outros obstáculos físicos interferem na qualidade do sinal de satélite, a precisão da navegação é severamente comprometida, impactando negativamente a gestão do tráfego e a segurança dos deslocamentos (LI et al., 2020).

O INS, que opera por meio de acelerômetros e giroscópios para calcular a posição, velocidade e orientação de um veículo, funciona de maneira independente dos sinais externos, oferecendo uma solução robusta em ambientes onde o GNSS é ineficaz (Groves, 2013). A fusão dessas duas tecnologias melhora substancialmente a precisão da navegação em áreas com cobertura limitada, otimizando o fluxo de veículos e auxiliando no planejamento urbano. A implementação desse sistema pode aprimorar o controle do fluxo de veículos, reduzindo o risco de acidentes, além de oferecer suporte para projetos de engenharia de tráfego, como a otimização de rotas. No entanto, a implementação desse sistema híbrido apresenta desafios, como o custo elevado e a necessidade de calibração constante dos sensores, o que requer uma análise aprofundada de sua viabilidade (Mori, 2013).

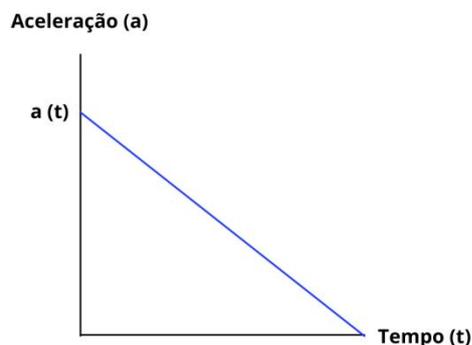
METODOLOGIA

A metodologia deste estudo consistirá em uma abordagem qualitativa, baseada em revisão bibliográfica e análise de estudos de caso, com o objetivo de avaliar a viabilidade da integração do Sistema de Navegação Inercial (INS) com o Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS) em cenários urbanos complexos. A pesquisa se concentrará na coleta e análise de dados de pesquisas anteriores, relatórios técnicos e artigos científicos, a fim de entender os benefícios, limitações e desafios dessa combinação tecnológica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acelerômetro mede a aceleração do veículo ao longo do tempo, permitindo determinar as mudanças na dinâmica de movimento por meio da integração dos dados obtidos.

Figura 1: Aceleração em Função do Tempo



Fonte: Autoria própria.

O Sistema de Navegação Inercial (INS) utiliza esses dados para calcular a posição do veículo. A aceleração medida é integrada uma vez para determinar a velocidade e, em seguida, integrada novamente para estimar a posição, utilizando sensores como acelerômetros e giroscópios.

A fórmula apresentada ilustra o processo de integração utilizado no INS. Inicialmente, a aceleração em função do tempo $a(t)$ é integrada para obter a velocidade $v(t)$, conforme a equação:

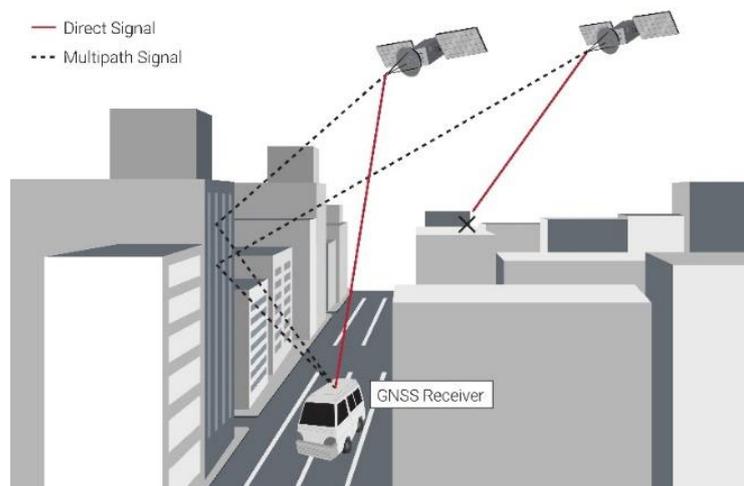
$$v(t) = \int a(t)dt$$

Em seguida, a velocidade é integrada novamente para estimar a posição $S(t)$:

$$S(t) = S_0 + \int v(t)dt$$

Onde S_0 é a posição inicial. Esse processo é fundamental para o INS, pois permite atualizar continuamente a posição do veículo com base nas medições de aceleração e velocidade. Cada instante de tempo fornece novos dados que são integrados para ajustar a estimativa de posição em relação à localização real do veículo.

Figura 2: Bloqueio de sinal GNSS



Fonte: Vectornav

A Figura 3 ilustra como a falha na recepção do sinal GNSS ocorre e gera imprecisão no cálculo de coordenadas e na seleção de rotas ideais para o percurso desejado com base na geolocalização (LI et al., 2020). No entanto, a simples combinação dos dois sistemas não é suficiente para garantir a máxima precisão. Para integrar de maneira eficiente as informações do INS e GNSS, utiliza-se o Filtro de Kalman, uma técnica de fusão de dados que possibilita a correção contínua das estimativas da posição ao longo do tempo.

O funcionamento do Filtro de Kalman baseia-se em duas fases principais: previsão e atualização. Na fase de previsão, o INS fornece uma estimativa da posição com base nos dados de aceleração e velocidade acumulados. Entretanto, essa estimativa carrega consigo os erros inerentes aos sensores inerciais. Na fase de atualização, o filtro ajusta essa estimativa com base nos dados obtidos do GNSS, corrigindo qualquer discrepância significativa entre a posição calculada e a posição real fornecida pelos satélites. Se o GNSS estiver em uma área de boa cobertura, o filtro atribui maior peso às informações de satélite, corrigindo de forma mais agressiva a posição estimada pelo INS. Em contrapartida, quando o sinal GNSS é fraco ou ausente, o filtro prioriza os dados recebidos pelo INS (Dominghetti et al., 2022).

A implantação de um sistema híbrido INS/GNSS, apesar de promissora, enfrenta desafios significativos. O primeiro obstáculo reside nos custos elevados dos sensores de alta precisão, que precisam ser calibrados com frequência para garantir a confiabilidade dos dados. Além disso, o desenvolvimento de algoritmos como o Filtro de Kalman exige um nível avançado de processamento de dados, o que pode aumentar o custo e a complexidade dos sistemas de navegação veicular.

Outro desafio importante é a degradação da precisão do INS ao longo do tempo. O INS opera por meio de integrações sucessivas de dados de aceleração, resultando em erros cumulativos nas estimativas de velocidade e posição. Em um curto período, essas imprecisões podem ser mínimas, mas, à medida que o tempo passa, elas se ampliam, tornando o INS menos confiável sem correções externas (Groves, 2013). Isso significa que, para um funcionamento eficiente, é necessária a cobertura intermitente do GNSS ou de outro sistema de navegação por satélite.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação do Sistema de Navegação Inercial (INS) com o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) oferece uma solução na melhora da precisão do cálculo de

rotas e da localização em tempo real desde ambientes urbanos até em locais mais remotos. Nesses cenários, o INS utiliza a inércia para determinar a posição e orientação do veículo mesmo quando o sinal GNSS apresentar falhas sequenciais.

Esses erros acumulam-se porque o sistema realiza integrações sucessivas: a aceleração é integrada para obter a velocidade, e a velocidade é integrada para obter a posição. Pequenos desvios nas medições iniciais, que podem ser insignificantes no curto prazo, acabam se amplificando com o tempo, resultando em desvios consideráveis na navegação (CHIU, 2020). Por isso, o INS requer correções periódicas com dados GNSS, sempre que disponíveis, para recalibrar o sistema e garantir que ele continue fornecendo informações precisas. Todavia, essa é uma solução tecnológica aplicada na melhora do tráfego, e o aprimoramento de sensores e algoritmos pode mitigar esses desafios. Essa combinação representa um passo importante para a navegação moderna, mostrando que o futuro do tráfego eficiente depende da fusão inteligente entre tecnologias complementares.

REFERÊNCIAS

MORI, Anderson Moraes. **O uso de sistema inercial para apoiar a navegação autônoma.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DEPARTAMENTO de Controle do Espaço Aéreo. **INS - Sistema de Navegação Inercial.** Disponível em: <https://www.decea.mil.br/index.cfm?i=utilidades&p=glossario&single=2269>. Acesso em: 20 set. 2024.

LI, Y.; WANG, J.; ZHANG, S.; XIE, H.; WANG, S. **A novel GNSS/INS integration strategy for urban positioning.** *Journal of Navigation*, v. 73, n. 4, p. 752-769, 2020.

GROVES, P. D. **Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems.** 2. ed. Boston: Artech House, 2013.

CHIU, Y.-T. **Trying out indoor navigation using inertial sensing.** Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/trying-out-indoor-navigation-using-inertial-sensing>. Acesso em: 20 set. 2024.

DOMINGHETTI, Alisson Magno; SILVA, Felipe Oliveira; LIMA, Danilo Alves; FERREIRA, Marcos Tadeu Xavier. **Integração de sistemas de navegação inercial com atualizações estacionárias e restrições de movimento.** Anais do Congresso Brasileiro de Automática, v. 20, n. 1, p. 924-931, 2022.