

Algoritmos para Redução da Incerteza na Análise de Dados Georreferenciados

Igor Henrique Siriani,
Fabricio Aparecido Breve
Unesp
Rio Claro, Brasil
igor.siriani@unesp.br

Resumo—Este trabalho explora a mitigação de erros em dados GNSS aplicados à agricultura de precisão e manutenção de rodovias. Fatores como erros de órbita, atrasos atmosféricos e multipath afetam a precisão dos sistemas GNSS, limitando sua confiabilidade em ambientes variados. A pesquisa implementa algoritmos como K-Nearest Neighbors e Particle Swarm Optimization para identificar e minimizar outliers, aprimorando a qualidade dos dados e tornando a tecnologia mais acessível. As soluções visam ampliar o uso de geolocalização precisa, beneficiando operações rurais e logísticas.

Área: Inteligência Computacional.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems) são amplamente utilizados em aplicações que requerem dados precisos de localização, mas estão sujeitos a erros de órbita, relógio dos satélites, atrasos ionosféricos e troposféricos, multipath e obstruções ambientais [1]. Esses fatores afetam a precisão dos dados, especialmente em ambientes urbanos e áreas de baixa velocidade, onde o multipath é mais prevalente, dificultando a diferenciação entre sinais diretos e refletidos [2].

Erros de órbita resultam de imprecisões nas trajetórias dos satélites, causadas por perturbações gravitacionais e variações atmosféricas, enquanto erros de relógio ocorrem devido a variações nos relógios atômicos dos satélites, influenciados por temperatura e efeitos relativísticos [3]. Esses erros precisam ser mitigados para melhorar a precisão dos sistemas GNSS.

As abordagens de mitigação de erros GNSS incluem soluções de hardware, técnicas de filtragem e métodos de pós-processamento. Soluções de hardware, como antenas GNSS de alta sensibilidade e técnicas de diversidade de antenas, minimizam o impacto de multipath e aumentam a robustez dos sinais recebidos [4]. Técnicas de filtragem, como o filtro de Kalman, são eficazes para suavizar trajetórias, mas têm limitações em ambientes de baixa mobilidade [5].

Técnicas de pós-processamento, como o RTK (Real-Time Kinematic) e o uso de programas especializados, como o RTKLIB, são essenciais para melhorar a precisão dos dados GNSS, corrigindo erros sistemáticos e otimizando a trajetória após a coleta [6]. Essas técnicas aumentam significativamente

a precisão dos dados, permitindo sua aplicação em agricultura de precisão, logística e navegação autônoma.

Apesar das diversas soluções, cada uma apresenta limitações. Equipamentos de hardware são caros e volumosos, inviáveis para pequenos agricultores ou espaços limitados. Filtros como o de Kalman são ineficazes em baixas velocidades, dificultando a distinção entre sinais válidos e reflexos. Técnicas de pós-processamento, como o RTKLIB, dependem de dados de referência nem sempre disponíveis. Assim, a busca por soluções acessíveis e eficazes para reduzir a incerteza dos dados GNSS continua sendo um desafio.

II. CONCEITOS E TÉCNICAS

O sistema desenvolvido para a coleta de dados GNSS utilizou seis placas de circuito impresso (PCBs), cada uma equipada com microcontrolador, memória flash, sensor de rotação, módulo Bluetooth e o módulo GNSS Ublox M8QCAM, que suporta múltiplas constelações, incluindo GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou. Esses componentes foram integrados para permitir a coleta autônoma de dados de localização e sua transmissão sem fio para um dispositivo central.

As PCBs passaram por um rigoroso processo de teste e calibração para garantir a precisão dos dados coletados. Cada PCB foi configurada para coletar e armazenar dados dos sensores, com o módulo GNSS atualizando a posição a cada três segundos. A comunicação via Bluetooth facilitou a transferência dos dados para análise posterior em um computador central.

A coleta de dados foi realizada em parceria com uma empresa de manutenção de rodovias, utilizando roçadeiras equipadas com os módulos GNSS e sensores. Essa colaboração permitiu a obtenção de dados reais em campo, garantindo um cenário representativo para análise. Os dados foram analisados para calcular a área trabalhada pelas roçadeiras, empregando técnicas de suavização e algoritmos como K-Nearest Neighbors (KNN) para ponderar a confiabilidade dos pontos GNSS, identificando e minimizando a influência de pontos de baixa precisão no cálculo da área.

III. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

A análise experimental focou no cálculo da área trabalhada avaliando a confiabilidade das nuvens de pontos coletadas pelas roçadeiras equipadas com módulos GNSS. Foram

processados pontos de latitude e longitude para identificar outliers e avaliar a precisão das medições, implementando sete algoritmos principais: União de Áreas (Padrão), Fechamento, K-Nearest Neighbors (KNN), KNN ponderado pela distância euclidiana, KNN ponderado por sigmoide, KNN-Misto (combinação de KNN ponderado por sigmoide e Fechamento) e Betweenness Centrality. Esses algoritmos ajudaram a identificar pontos confiáveis e excluir dados comprometidos, sendo o KNN-Misto o mais eficaz em condições de baixa velocidade, minimizando a influência de pontos de baixa confiabilidade, conforme demonstrado pelas métricas de erro médio e desvio padrão.

Os resultados preliminares mostraram que a combinação dos métodos KNN ponderado por sigmoide e Fechamento proporcionou uma melhoria significativa na precisão da área calculada em comparação aos métodos convencionais de filtragem. A técnica de fechamento morfológico foi empregada para suavizar contornos e eliminar pequenos buracos nos dados, assegurando uma distribuição mais consistente dos pontos de dados.

Tabela I: Taxa de erro da área calculada por cada algoritmo

Algoritmo	Área 1 (%)	Área 2 (%)	Área 3 (%)	Média (%)	Desvio Padrão
Padrão	26,34	141,50	7,06	58,30	0,59
Fechamento	1,90	36,06	8,33	15,43	0,15
KNN	7,87	11,70	35,00	18,19	0,12
KNN-Distância	11,35	6,78	75,96	31,36	0,32
KNN-Sigmoide	3,00	1,31	18,00	7,44	0,07
KNN-Misto	0,00	4,56	1,42	1,90	0,02
Betweenness Centrality	79,58	17,29	86,16	61,01	0,31

Fonte: O autor (2024)

A Figura 1 mostra três subfiguras (a-c) que representam os resultados dos algoritmos Padrão, Fechamento e KNN-Misto, aplicados em uma área de brita onde a roçadeira não deveria ter operado. Apesar disso, há pontos de coordenadas registrados nessa área, indicando possíveis erros ou *outliers* nos dados de posicionamento.

Figura 1: Polígonos formados pelos algoritmos sobre conjunto de validação



(a) Padrão

Na subfigura (a), o algoritmo Padrão mostra vários pontos de coordenadas na área de brita, evidenciando a necessidade



(b) Fechamento



(c) KNN-Misto

Fonte: O autor (2024)

de remover os pontos indesejados de forma eficaz. A subfigura (b), que utiliza o filtro morfológico de Fechamento, melhora significativamente a situação, removendo muitos dos pontos fora da área de trabalho adequada. No entanto, ainda restam alguns pontos incorretos.

A subfigura (c), que representa o algoritmo Misto, demonstra a melhor performance na remoção de pontos indesejados, resultando na eliminação quase completa dos pontos na área de brita. Este resultado destaca a eficácia do algoritmo Misto em melhorar a precisão dos dados de posicionamento e garantir que apenas os pontos relevantes sejam considerados na análise.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para trabalhos futuros, recomenda-se expandir o uso das técnicas desenvolvidas para a correção de trajetos em tempo real, além de integrar outros sensores, como acelerômetros e giroscópios, para melhorar a robustez das correções. Além disso, estudos comparativos com outros métodos de filtragem e correção poderão fornecer uma avaliação mais abrangente da eficácia do KNN ponderado em diferentes cenários operacionais, contribuindo para avanços na precisão dos sistemas GNSS.

REFERÊNCIAS

- [1] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, *GPS - Theory and Practice*. Springer-Verlag Wien, 2008.
- [2] C. Han, Y. Yang, and Z. Cai, *BeiDou Navigation Satellite System and its time scales*. Metrologia, 2011.
- [3] G. SEEBER, *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications*. Walter de Gruyter, 2003.
- [4] E. D. KAPLAN and C. J. HEGARTY, *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House Publishers, 2006.
- [5] G. Welch and G. Bishop, *An Introduction to the Kalman Filter*. Chapel Hill, 1995.
- [6] T. TAKASU and A. YASUDA, *Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB*. International Symposium on GPS/GNSS, 2009.