

XDraw algoritmo taikymai difrakcijos modeliavimui naudojant 3D vektorinius pastatų duomenis

Applications of XDraw algorithm for diffraction modeling using 3D vector building data

Rimvydas Aleksiejūnas¹, Karolis Stankevičius¹

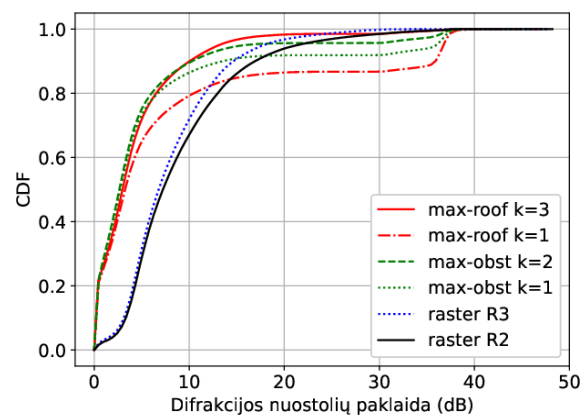
¹Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius
karolis.stankevicius@ff.vu.lt

Naujos kartos belaidžio judriojo ryšio tinklai diegiami aukštesniuose gigahercų dažniuose, artimuose submilimetrinėms bangoms. Populiariausia 5G tinklų dažnių juosta yra 3,5 GHz, tačiau planuojama naudoti 26 arba 28 GHz ir aukštesnes dažnių juostas. Aukštesni radijo dažniai lemia papildomus difrakcijos nuostolius, ypač tankiai apstatytose miestų teritorijose. Tikslus difrakcijos nuostolių prognozavimas yra svarbus belaidžio tinklo planavimui ir optimizavimui. Iki šiol korinio ryšio aprėpties prognozavimui dažniausiai buvo naudojami rastriniai pastatų stogų aukščio duomenys, kurių skiriamoji geba yra iki vieno metro [1]. Skaitmeniniam difrakcijos nuostolių įvertinimui, kai naudojami rastriniai kliūčių aukščio duomenys, taikomi greiti apytiksliai algoritmai, tokie kaip XDraw ir įvairios jo realizacijos [2]. Šiuo metu daug susidomėjimo sulaukia vektoriniai 3D miestų modeliai, pasižymintys submetrinio detalumu. Tačiau vektorinių duomenų analizės algoritmai yra lėti ir nėra veiksmingų greitų skaitinių metodų.

Šio darbo tikslas – sukurti greitą skaitmeninį difrakcijos algoritmą, kuris veiktų su didelio tikslumo vektoriniais 3D pastatų duomenimis. Tai turėtų leisti pasiekti didesnę radijo bangų nuostolių įvertinimo tikslumą, lyginant su rastriniais skaičiavimais. Siūlomame modelyje difrakcijos nuostoliai apskaičiuojami pagal ITU-R P.526 rekomenduojamą modelį. Metodas pagrįstas atstumo tarp aukščiausios kliūtės radijo bangų kelyje ir radijo spindulio centro linijos nustatymu. Šis atstumas vėliau naudojamas Frenelio difrakcijos integralui apskaičiuoti, kuris parodo difrakcijos nuostolius dėl kliūčių išilgai kelio. Difrakcijos nuostolius galima toliau tikslinti lyginant su sklidimo modeliais kalibruotais pagal matavimo rezultatus, pavyzdžiui, Hata tipo modeliais.

Siūlomas algoritmas sukurtas remiantis rastrinio XDraw metodo principais [2], tačiau sklidimo geometrijai aprašyti naudojami vektoriniai pastatų duomenys. XDraw yra $O(N^2)$ algoritmas, analizuojantis sklidimą žiedais, pradėdamas nuo antenos taško ir tolstant link analizuojamos srities kraštų. Analizės sritis padalijama į vienodai nutolusius kvadratinis tinklelio elementus, kurių kiekvienas aplankomas tik vieną kartą. Kiekviename kvadrate randami radijo spindulių susikirtimai su esamais pastatais, įvertinama difrakcija ir pridedami anksčiau aplankyti taškai, esančių arčiau antenos, difrakcijos rezultatai. Siūlomi du anksčiau apskaičiuotų taškų aproksimacijos būdai: aukščiausios kliūtės (*max-obst*) ir aukščiausio stogo (*max-roof*) difrakcijos nuostolių metodai.

Difrakcijos nuostoliai apskaičiuoti 600 m spinduliu aplink bazinės stoties anteną 900 MHz dažnyje naudojant pastatų duomenis iš Amsterdamo miesto 3D BAG [3] atvirų duomenų rinkinio yra pateikti 1 pav. Čia pavaizduotas skirtumas tarp geometriškai tikslaus ir aproksimuotų modelių.



1 pav. Difrakcijos nuostolių įvertinimo paklaidos kumuliatyvinė pasiskirstymo funkcija (CDF) naudojant vektorinius (*max-roof*, *max-obst*) ir rastrinius (*raster*) aproksimacijos metodus

Mažiausia aproksimacijos paklaida gaunama taikant XDraw metodą *max-roof*, kai į analizę yra įtraukiamos bent $k = 3$ ankstesnės kliūtys. Toliau didinant k , šio algoritmo tikslumas reikšmingai nepagerėja. Vektoriniai XDraw algoritmai yra lėtesni už rastrinius, tačiau juos galima lygiagretinti ir taip padidinti greitaveiką. Geriausi lygiagretinimo rezultatai Python aplinkoje pasiekiami naudojant nepriklausomais CPU procesais pagrįstas *multiprocessing* bibliotekas. Gauti rezultatai rodo vektorinių XDraw algoritmų pranašumą, leidžiantį pasiekti aukštesnį tikslumą dėl mažesnio geometrinės informacijos praradimo, lyginant su rastriniais XDraw algoritmais, kai pastatų aukščio duomenų apdorojimui pagreitinti taikomos $O(N^2)$ tipo aproksimacijos.

Reikšminiai žodžiai: difrakcijos nuostoliai, XDraw algoritmas, 3D vektoriniai pastatų duomenys, ITU-R P.526 modelis, aprėpties analizė.

Literatūra

- [1] A. Colpaert, Vinogradov and S. Pollin, *Sensors* **18**, 4311 (2018).
- [2] J. Zhang, S. Zhao and Z. Ye, *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens* **14**, 2017–2029 (2021).
- [3] R. Peters, B. Dukai, S. Vitalis, J. van Liempt, and J. Stoter, *Photogramm Eng & Rem Sens* **88**, 165–170 (2022).