

# CubeSat antenų spindulių formavimas ir Doplerio poslinkis daiktų interneto taikymams

## CubeSat antenna beamforming and Doppler shift for IoT applications

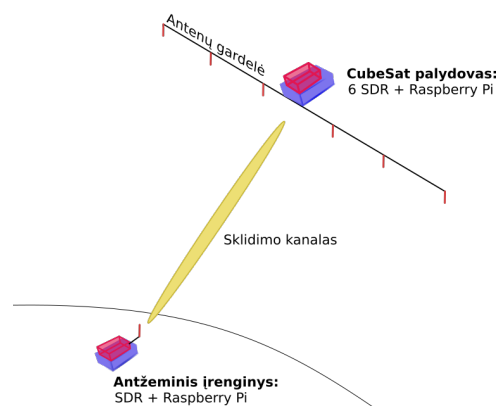
Rimvydas Aleksiejūnas<sup>1</sup>, Saulius Rudys<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius  
[rimvydas.aleksiejunas@ff.vu.lt](mailto:rimvydas.aleksiejunas@ff.vu.lt)

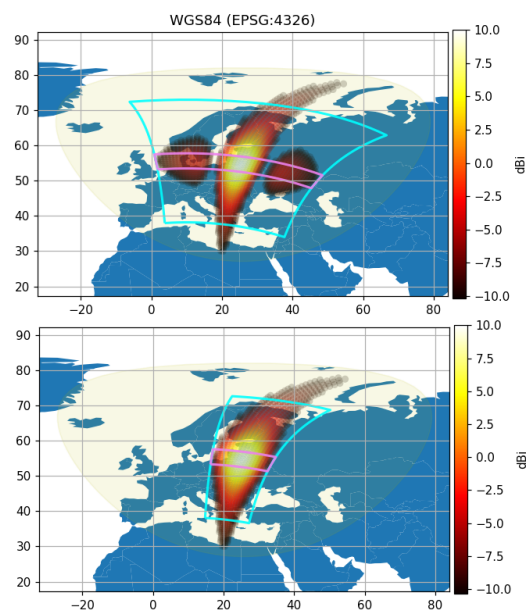
Pastaruoju metu mažieji CubeSat palydovai tampa puikia priemone globalaus ryšio sistemoms aptarnaujančioms antžemines daiktų interneto (angl. Internet of things, IoT) įrenginius [1]. CubeSat palydovai skrendantys apskritiminėmis Saulės sinchroninėmis orbitomis kiekvieną Žemės tašką aplanko tuo pačiu dienos metu, taigi gali būti efektyviai panaudojamas duomenų iš IoT sistemų surinkimui.

Radio signalo spindulio valdymui palydovuose paprastai įrengiamos antenų gardelės. Tiesinės antenų gardelės panaudojimo CubeSat ryšiai schema pavaizduota 1 pav. Čia radio siųstuvo-imtovo funkcijas vykdo programuojamas radijas (angl. software defined radio, SDR), o duomenų apdorojimą atlieka mažų matmenų ir žemos galios Raspberry Pi kompiuteriai. Paprastai antenų gardelė montuojama skersine kryptimi palydovo judėjimo atžvilgiu, todėl spinduliavimo diagrama tampa sufokusuota skersine kryptimi [2]. Išilgine palydovo judėjimo kryptimi lieka plati antenos diagrama apimanti daugelį antžeminių imtuvų ir tokiu būdu dėl interferencijos mažinanti signalo triukšmo santykį. Papildomas spinduliavimo diagramos susiaurinimas skersine kryptimi galimas panaudojant antenų gardelės amplitudžių pasiskirstymą, kaip pavyzdžiui binominį, Teiloro arba Dolfo ir Čebyševo [3].

Dėl palydovo judėjimo atsirandantis Doplerio poslinkis gali būti panaudojamas papildomam antžeminių radio signalų išskyrimui pagal dažnį. Kaip pavyzdį panagrinėsime 800 km aukštyje skriejančią palydovą, palaikantį IoT ryšį jam skirtame 868 MHz dažnių ruože. Tokiu atveju gaunamas maksimalus Doplerio poslinkis  $\pm 20$  kHz. Šio darbo metu buvo įvertintos Doplerio poslinkio zonos išilgai palydovo trajektorijos, kurios pavaizduotos 2 pav. kartu su spinduliavimo diagramomis suprojektuotomis pagal WGS84 projekciją. Į spinduliavimo diagramas yra įskaityti ir laisvosios erdvės sklaidimo nuostoliai, o pačios diagramos apribotos -20 dB lygiu nuo maksimalios galios. Spinduliavimo diagrama su vienodos amplitudės antenų gardelės žadinimu skersine kryptimi tęsiasi apie 3100 km įskaitant šalutinius lapelius, o panaudojus Dolfo ir Čebyševo amplitudžių pasiskirstymą spinduliavimo diagramos plotis sumažėja iki 1100 km. Jei toks palydovinis ryšys naudojamas pakankamai siauram dažnių diapazonui, kaip pavyzdžiui Weightless-P IoT ryšiai, užimančiam 12,5 kHz juostos plotį, tai priimamas signalas gali būti filtruojamas pagal 12,5 kHz pločio Doplerio poslinkio langus, kurių erdvinis išsidėstymas pavaizduotas 2 pav. violetine spalva ( $\pm 6,25$  kHz) ir šviesiai mėlyna spalva (du langai po 12,5 kHz).



1 pav. Antenų gardelės panaudojimo CubeSat palydoviniams ryšiams schema



2 pav. Keturių elementų antenų gardelės spinduliavimo diagramos ant Žemės paviršiaus: kai žadinimo amplitudės vienodos (viršuje) ir esant Dolfo ir Čebyševo amplitudžių pasiskirstymui (apačioje)

*Reikšminiai žodžiai: antenų gardelė, spindulių fokusavimas, CubeSat palydovai.*

### Literatūra

- [1] I.F. Akyildiz and A. Kak, *Computer Networks* **150**, 134-149 (2019).
- [2] S. Rudys, L. Mačiulis, M. Milaševičius, and D. Bručas, in: *Proceedings of 40th ESA Antenna Workshop on Antenna Developments for Terrestrial and Small-Space Platforms* (Noordwijk, 2019), pp. 1-6.
- [3] R. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, 2nd ed. (Artech House, Boston, 2005).