

ABSTRAK

Penelitian ini membahas performa komunikasi uplink pada sistem *Direct-to-Satellite Internet of Things* (DtS-IoT) dengan mempertimbangkan kemungkinan tabrakan paket antara perangkat yang tidak terkoordinasi. Dua pendekatan protokol ALOHA dibandingkan: pertama, menggunakan modulasi LoRa-CSS dalam kanal tunggal, dan kedua, skema frekuensi-hopping yang sesuai dengan LR-FHSS. Model analitik dikembangkan untuk memperkirakan probabilitas keberhasilan transmisi ($P(S)$) dan divalidasi melalui simulasi Monte Carlo.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa LR-FHSS mampu menjaga $P(S)$ tetap tinggi (>0.9) hingga jumlah perangkat aktif mencapai lebih dari 1800, bahkan untuk payload besar. Sebaliknya, performa LoRa-CSS mulai menurun drastis saat jumlah perangkat melebihi 1000, terutama pada skenario dengan payload besar dan time-on-air yang panjang. Dengan demikian, LR-FHSS lebih unggul dalam kondisi jaringan padat dan payload besar, sementara LoRa-CSS tetap relevan untuk aplikasi hemat energi dan payload kecil.

Penelitian ini memberikan fondasi kuantitatif untuk pemilihan protokol uplink dalam desain sistem DtS-IoT serta membuka peluang pengembangan jaringan satelit yang lebih andal dan skalabel.

Kata Kunci: DtS-IoT, tabrakan paket, probabilitas sukses, uplink satelit, LoRa-CSS, LR-FHSS, ALOHA, simulasi Monte Carlo

ABSTRACT

This study investigates the uplink communication performance of Direct-to-Satellite Internet of Things (DtS-IoT) systems by considering potential packet collisions among uncoordinated devices. Two ALOHA-based protocol approaches are compared: first, using LoRa-CSS modulation in a single channel, and second, a frequency-hopping scheme corresponding to LR-FHSS. An analytical model is developed to estimate the probability of successful transmission ($P(S)$) and is validated through Monte Carlo simulations.

Simulation results show that LR-FHSS can maintain a high $P(S)$ (>0.9) even with more than 1800 active devices, including in scenarios with large payloads. In contrast, the performance of LoRa-CSS begins to degrade significantly when the number of devices exceeds 1000, especially in scenarios involving large payloads and long time-on-air. Therefore, LR-FHSS is superior in dense network conditions and with large payloads, while LoRa-CSS remains relevant for energy-efficient applications with small payloads.

This research provides a quantitative foundation for selecting uplink protocols in DtS-IoT system design and opens up opportunities for developing more reliable and scalable satellite networks.

Keywords: DtS-IoT, packet collision, success probability, satellite uplink, LoRa-CSS, LR-FHSS, ALOHA, Monte Carlo simulation