

# オーバーリーチ信号の LLR 合成による 低軌道衛星間マルチホップ通信の伝送品質改善効果

## Transmission Quality Improvement by Overreached Signal LLR Combining in LEO Multi-Hop Communications

石本 将太郎  
Shotaro Isimoto

杉山 隆利  
Takatoshi Sugiyama

工学院大学大学院工学研究科電気・電子工学専攻  
Graduate School of Engineering, Kogakuin University

### 1. まえがき

近年, Beyond5G/6G において衛星, ドローン, HAPS などを用いた非地上系ネットワーク (NTN: Non-Terrestrial Network) による超カバレッジ拡張が検討され, その中で低軌道衛星 (LEO: Low Earth Orbit) を用いた衛星コンステレーションが注目されている[1]. 本稿では, 衛星コンステレーションで必須の LEO 間マルチホップ通信の伝送品質の向上を目的としたオーバーリーチ信号の LLR 合成を提案し, その伝送品質改善効果を定量的に示す.

### 2. 提案方式

図 1 に LEO 間マルチホップ通信の動作例を示す. 衛星コンステレーション内の 3 機の LEO による, LEO B を介して LEO A から LEO C へのマルチホップ通信に着目すると, 各リンクで同一周波数を利用する場合はリンク毎にタイムスロットに時間分割しての送受信となる. 図 1(a) のタイムスロット 1 では LEO A から LEO B に信号  $\alpha$  を送信するが, 微弱なオーバーリーチ信号  $\hat{\alpha}$  が LEO C でも受信される. この  $\hat{\alpha}$  は回線設計上, それ単体では受信レベルの低下により正しい通信はできない[2]. 次に, 図 1(b) のタイムスロット 2 では, LEO B が送信した  $\alpha$  を LEO C が受信する通常のマルチホップ通信を実施する. 本稿では, タイムスロット 2 で受信した  $\alpha$  のビット誤り率を僅かでも改善するため, タイムスロット 1 で受信した  $\hat{\alpha}$  を  $\alpha$  に LLR 合成することで, ビット毎の確からしさの向上を期待するものである.

### 3. シミュレーション

表 1 にシミュレーション諸元を示す. Ka 帯の衛星コンステレーションの一例として StarLink[3] を想定すると, 図 1(a) に示す LEO A から見た LEO B と LEO C の角度差  $\theta$  は  $1.44^\circ$  で, 図 2 に示す LEO 搭載用アンテナのビームパターン[4] からオーバーリーチ信号の受信レベルは主ビーム方向と比べて 16[dB] 低減することがわかる.

図 3 にオーバーリーチ信号を LLR 合成した LEO 間マルチホップ通信の BER 特性を示す. 伝送パラメータは WiFi ベースとし一次変調 QPSK, 誤り訂正は符号化率  $r=1/2$  の畳み込み符号化-ビタビ復号法とした. 例えば  $BER=10^{-4}$  点における所要 SNR は, LLR 合成なしでは 3.85[dB] なのに対して, LLR 合成ありでは 3.75[dB] となり, 0.1[dB] の改善効果が得られた.

### 4. おわりに

オーバーリーチ信号の LLR 合成による LEO 間マルチホップ通信の伝送品質改善法を提案し, 僅かながら伝送品質が改善することを明らかにした.

#### 参考文献

- [1] 辻宏之 他, “非地上系ネットワークにおける衛星通信の研究開発,” 信学技報, SR2021-25, 2021 年 7 月.
- [2] N Otsuki, et al, “Wireless Network Coding Diversity Technique Based on Hybrid AF/DF Relay Method Employing Adaptive Power Control at Relay Node for Bidirectional Two-Hop Wireless Networks,” IEICE Trans. Commun, Vol.E95-B, No.12, Dec. 2012.
- [3] SpaceX, “StarLink,” SpaceX, <https://www.starlink.com/>, 閲覧日 2023 年 11 月 24 日.
- [4] 大倉拓也 他, “非地上系ネットワークにおける航空搭載用薄型電子走査アレーアンテナの研究開発,” 信学会誌, Vol. 106, No. 5, pp. 393-399, 2023 年 5 月.

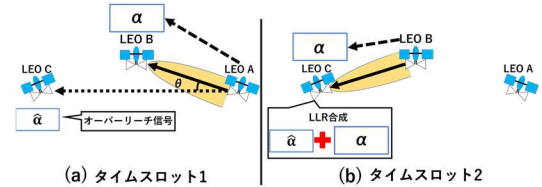


図 1 LEO 間マルチホップ通信の動作例

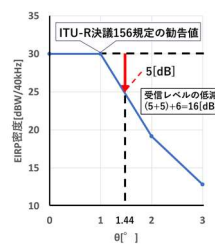


図 2 LEO 搭載用アンテナのビームパターン

表 1 シミュレーション諸元

周波数帯	Ka 帯
衛星コンステレーション	StarLink
LEO 数	1500 [機]
LEO 間の距離	347.86 [km]
$\theta$	$1.44^\circ$
誤り訂正方式	畳み込み符号化 ( $r=1/2$ ) 軟判定ビタビ復号法
1 次変調	QPSK
2 次変調 所要帯域幅 FFT ポイント サブキャリア数	OFDM 20 [MHz] 64 48
伝搬チャネル	AWGN

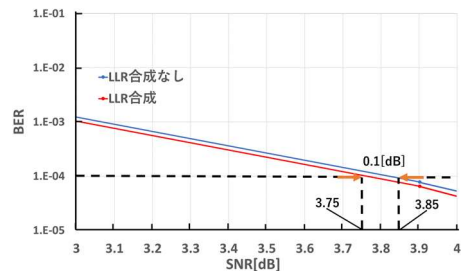


図 3 オーバーリーチ信号を LLR 合成した LEO 間通信の BER 特性