

LEO衛星ネットワーク上のキャッシュ配信の衛星選択法

丹 和奏[†] 上山 憲昭[†]

[†] 立命館大学情報理工学部

〒567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150

E-mail: †is0623sr@ed.ritsumei.ac.jp, ††kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

あらまし 近年、地上インフラが未整備な地域や災害時の代替通信手段として、低軌道（LEO: Low Earth Orbit）衛星ネットワークが注目されている。LEO衛星は高度2000km以下を高速で周回し、地上との距離が近いことによる低遅延通信が可能であり、Starlinkに代表される大規模運用も進んでいる。しかしアップリンクは制約が大きく大容量配信では地上局がボトルネックとなる。この課題に対し、衛星自体にキャッシュを搭載し、直接ユーザに配信する方法が有効とされる。しかし通信可能時間は数分程度に限られ頻繁なハンドオーバーが発生する。ハンドオーバー先衛星が要求コンテンツを保持していない場合はキャッシュミスが生じ、再取得による遅延や中断が発生する。本研究では通信途中のキャッシュミス抑制を目的に、キャッシュ保持状況と通信可能時間を同時に考慮する衛星選択手法を提案する。可視衛星群の中から要求コンテンツを保持する衛星を抽出し、単一衛星で配信できない場合は後続衛星のキャッシュ状況を確認する。複数候補がある場合は完全キャッシュヒット率の達成、ハンドオーバー回数の少なさ、配信完了時間の順に優先度を設定する。評価指標には通信に関与するすべての衛星が対象コンテンツを保持する場合を完全キャッシュヒットと定義して用いる。計算機シミュレーション評価ではStarPerfを用いてStarlink型のLEO衛星構成を再現し、ユーザ要求は指数分布、コンテンツ人気はZipf分布に従い発生させる。比較対象として、最大通信時間の衛星を選択する方式を評価し、提案方式は全てのZipf係数で比較方式を上回り、特にZipf係数が1.4以下で顕著な向上を示し、全体として提案方式の有効性が確認された。今後は、遅延やパケットロスなど物理層要因や現実的なISL制約を組み込んだ評価を行い、さらにGEO衛星を併用した多層ネットワークへの拡張を課題とする。本研究はキャッシュ戦略とハンドオーバー戦略を統合した新たな衛星選択法を提示し、LEO衛星ネットワークにおける安定した配信実現に貢献する。謝辞 本研究はJSPS科研費（JP25K03113, JP23K28078）の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。キーワード 低軌道衛星、キャッシュ配信、ハンドオーバー

Satellite Selection Method for Cache Delivery in LEO Satellite Networks

Wakana TAN[†] and Noriaki KAMIYAMA[†]

[†] College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

2-150, Iwakura-cho, Ibaraki, Osaka 567-8570, Japan

E-mail: †is0623sr@ed.ritsumei.ac.jp, ††kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

Abstract In recent years, Low Earth Orbit (LEO) satellite networks have garnered attention as alternative communication infrastructures in regions lacking terrestrial infrastructure and during natural disasters. LEO satellites, orbiting at altitudes below 2,000 km, enable low-latency communication due to their proximity to Earth. Large-scale constellations, such as Starlink, are already in operation. However, uplink capacity is severely limited, making ground stations a bottleneck for large-scale content delivery. To address this issue, caching content directly on satellites and delivering it to users has been proposed as an effective approach. Nonetheless, since communication durations are limited to only a few minutes, frequent handovers occur. If the handover target satellite does not cache the requested content, a cache miss leads to delays and service interruption due to retrieval from other sources. This study proposes a satellite selection method that simultaneously considers both cache availability and communication duration to suppress cache misses during content delivery. Among the set of visible satellites, those holding the requested content are selected. If a single satellite cannot complete the delivery, the cache status of subsequent satellites is evaluated. When multiple candidates exist, selection is prioritized in the following order: achieving a perfect cache hit, minimizing the number of handovers, and shortening the delivery completion time. A perfect cache hit is defined as a situation in which all satellites involved in the session hold the requested content. In the simulation-based evaluation, the StarPerf simulator was used to reproduce a Starlink-like LEO satellite configuration. User requests were generated according to an exponential distribution, and content popularity followed a Zipf distribution. As a baseline, the conventional method that selects the satellite with the longest communication duration was used for comparison. The proposed method outperformed the baseline across all Zipf coefficients, showing particularly significant improvements for coefficients of 1.4 or less, which confirms its overall effectiveness. Future work includes evaluations incorporating physical-layer factors such as delay and packet loss, as well as realistic ISL constraints. Additionally, we aim to extend the proposed method to a multi-layer network that incorporates GEO satellites. This study presents a novel satellite selection method that integrates both caching and handover strategies, contributing to stable content delivery in LEO satellite networks.

Key words LEO satellites, cache delivery, handover