

LEO 衛星の局所的キャッシュ法

Local caching method for LEO satellites

岡崎 直人

上山 憲昭

Naoto Okazaki

Noriaki Kamiyama

立命館大学 情報理工学部

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

1. はじめに

地上インフラを展開できない地域へネットワークを接続する方法として LEO (Low Earth Orbit) 衛星の活用が有効である [1]. LEO 衛星はカバー範囲が広い上、低電力・低遅延・大容量の通信が可能である. しかし LEO 衛星はアップリンクのスループットが低いという欠点がある. これは地上に存在するサーバから LEO 衛星経由で大容量のコンテンツを配信をする際にボトルネックとなる. そのため LEO 衛星にキャッシュを設置し, LEO 衛星からのキャッシュ配信が有効である. しかし従来の CDN ではキャッシュは不動で, 人気度の空間的な局所性を活かすことでキャッシュヒット率向上が可能であるが, LEO 衛星は高速で移動するため, コンテンツ人気度の空間的な局所性を活用できない. そこで本稿では衛星をグルーピングすることでコンテンツ人気度の局所性に対応できるキャッシュ方式を提案する. そして計算機シミュレーションによる性能評価を行い, 提案方式を用いることでキャッシュヒット率が向することを示す.

2. 想定環境

計算機シミュレーションでは Starlink 社の, 表 1 に示すモデルを用いる.

parameter	value
VELOCITY (km/s)	27,000
LATITUDE	-90.0~90.0
LONGITUDE	-180.0~180.0
INCLINATION(°)	53.0
HEIGHT(km)	550.0
MINIMUM ELEVATION ANGLE(°)	40.0
PLANE	24
SATELLITES PER PLANE	66

表 1: Parameter

通信はユーザと衛星が直接行うものとし, 衛星がキャッシュしていない場合, ユーザと通信する衛星が衛星間通信を通してコンテンツを取得し, ユーザは衛星を通じてコンテンツを取得する. オリジナルのコンテンツはいずれかのオリジンサーバが一つだけ保持するものとする. ユーザと通信する衛星がキャッシュミスをした場合, その衛星はオリジンサーバと通信する衛星を見つけ出し, ユーザと通信する衛星までの経路をダイクストラ法 (重みはホップ数) を用いて決定する. 簡略化のため, 要求されたコンテンツは一つの衛星で応答できるものとし, ハンドオーバーは発生しないと仮定する.

各衛星はキャッシュを持ち, ダイクストラ法を使用する際には衛星間通信を利用する. このため, 各衛星はルータ兼キャッシュの役割を果たしており, ICN (Information-Centric Networking) のような構造と言える.

3. 提案方式

提案方式では衛星をグルーピングし, グループごとにキャッシュするコンテンツを分散させる. この方式により, 任意の場所からの要求が発生した際, その要求に応じられる異なるグループの衛星が存在することで, コンテンツのバリエーションが高まり, キャッシュヒット率が向上する. その結果, オリジンサーバへアクセスする回数が減少する. 図 1 では衛星をグルーピングしなかった場合 (a) とグルーピングした場合 (b) のコンテンツのバリエーションを例示している. グルーピングしていない場合, 全ての衛星が似たコンテンツをキャッシュすることになり, 局所性に対応できない. 提案方式ではユーザがコンテンツを要求した際には通信可能範囲内で同じグループの衛星が優先してユーザと通信するようにする. ユーザと通信する衛星がコン

テンツを持っていなかった場合, 衛星間通信を利用してオリジンサーバからコンテンツを取得する. また, 経路の途中で同じグループの衛星があった場合は, その衛星もコンテンツをキャッシュする.

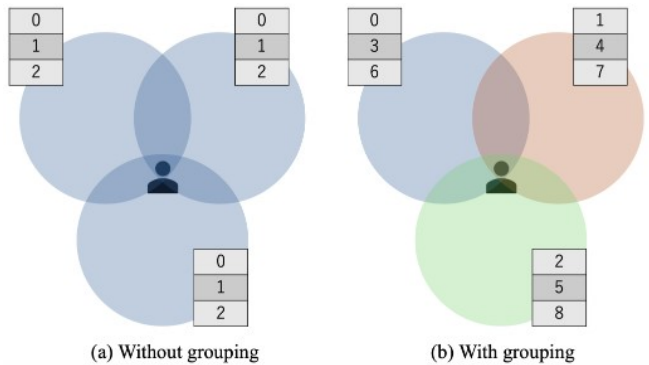


図 1: Grouping Satellite

3. 性能評価

提案方式の有効性を計算機シミュレーションにより評価する. 隣接する衛星は異なるコンテンツをキャッシュした方が, 全体のキャッシュヒット率は向上する. そのためグループ数を G とするとき, 同一軌道面上の衛星に対し, 順番に属するグループを $1, 2, \dots, G, 1, \dots$ のように割り当てる. キャッシュ置換方式は LRU を想定し, コンテンツ数 $M = 1,000$ に対してキャッシュサイズは 10 とする. 衛星数 1,584 で 100 秒間シミュレーションを行う. ユーザはパラメータ $\theta = 0.8$ の Zipf 分布に従い, ランダムに選択したコンテンツを要求する.

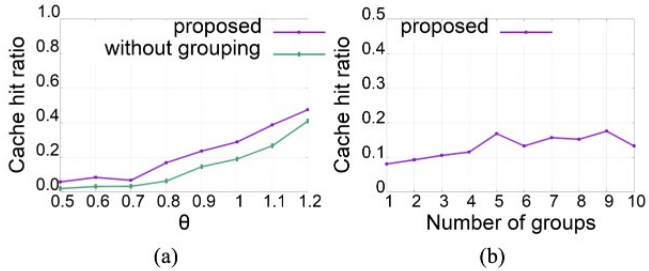


図 2: Cache Hit Ratio

図 2(a) に θ の変化に伴う, キャッシュヒット率を示す (グループ数=5). グルーピングしなかった場合と比べてどの θ 値でも提案方式の方が優れている. また図 2(b) にグルーピング数に対してキャッシュヒット率を示す. グループ分けをしなかった場合 (図の 1 の場合) と比較し, グルーピングした方がヒット率が向上している. このことから提案方式の有効性が確認できる. 本稿ではユーザと通信する衛星がキャッシュヒットしなかった場合, オリジンサーバまで取得することを想定しているが, 経路途中にコンテンツがキャッシュされている場合, その衛星からコンテンツを取得できる. そのため今後は, 平均ホップ数についても評価したい.

謝辞 本研究成果は JSPS 科研費 21H03436 と 21H03437 の助成を受けたものである. ここに記して謝意を表す.

参考文献

[1] R. Deng, Ultra-Dense LEO Satellite Constellations: How Many LEO Satellites Do We Need?, IEEE Trans. Wireless Communications, Vol. 20, Issue 8, Aug. 2021