

分散協調色キャッシュにおけるキャッシュクオリティの定式化

電気通信大学大学院 情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻

吉永研究室 桜井 健人



国立大学法人

電気通信大学
The University of Electro-Communications

研究背景・目的

- 動画データの高需要とモバイル通信量の急増。端末間通信 (D2D通信) 活用が注目
- D2D通信では、電波干渉管理やユーザの利己的 (自己中心的) 性質が基礎課題

モバイルエッジサーバに勧誘するユーザを“戦略的に少数選定できる”手法を提案する

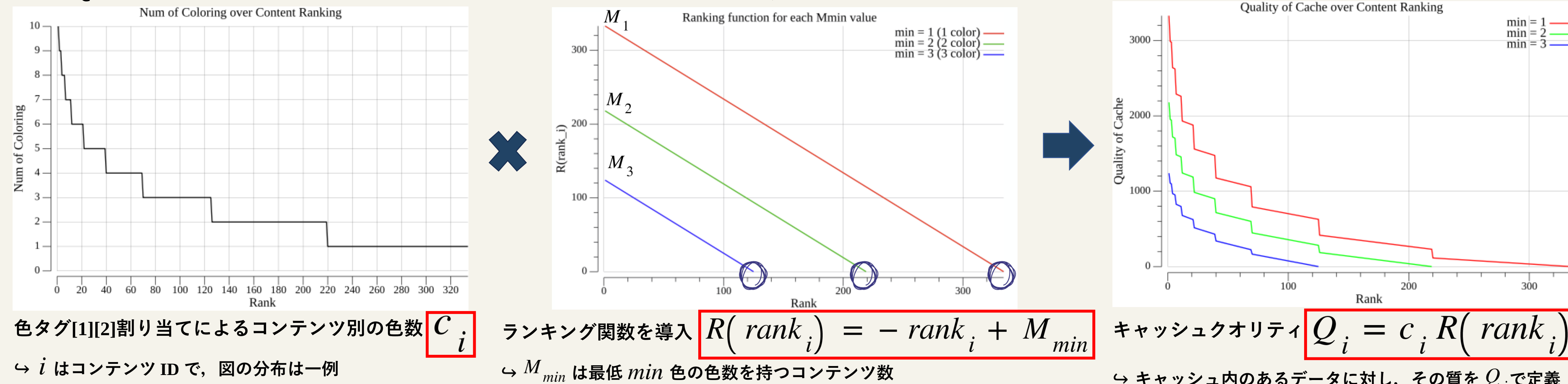
D2D通信の基礎課題

相互電波干渉
リソース管理の複雑化

ユーザの利己的性質
バッテリーやストレージを他者のために使用したくない

キャッシュクオリティ Q の定式化と予測貢献度 PdC (Predicted Contribution)

- ・ ユーザキャッシュデータのクオリティに注目し、 Q として定式化
- ・ Q が高いデータを持つユーザは、D2D通信を想定した際、他者からのリクエストに応答できる確率大 (貢献確率大)
- ・ Q からネットワークにおける予測貢献度 PdC を算出し、PdC が高い特定ユーザのみをモバイルエッジサーバに勧誘



予測貢献度

$$PdC = \sum_{i=1}^N Q_i$$

↳ N はユーザがキャッシュしているコンテンツ数

- ・ Q_i の総和をネットワークに対する予測貢献度と定義
- ・ 指標によりモバイルエッジサーバとして機能すべきユーザが明確化
→ 必要最小限のサーバ配置を戦略的に実現可能
- ・ 指標は色タグ割り当てのアルゴリズムに同期して軽量に算出
- ・ ランキング関数の加工によってリクエスト傾向に応じた動的な対応も検討する

ネットワークシミュレーション

シミュレーション概要

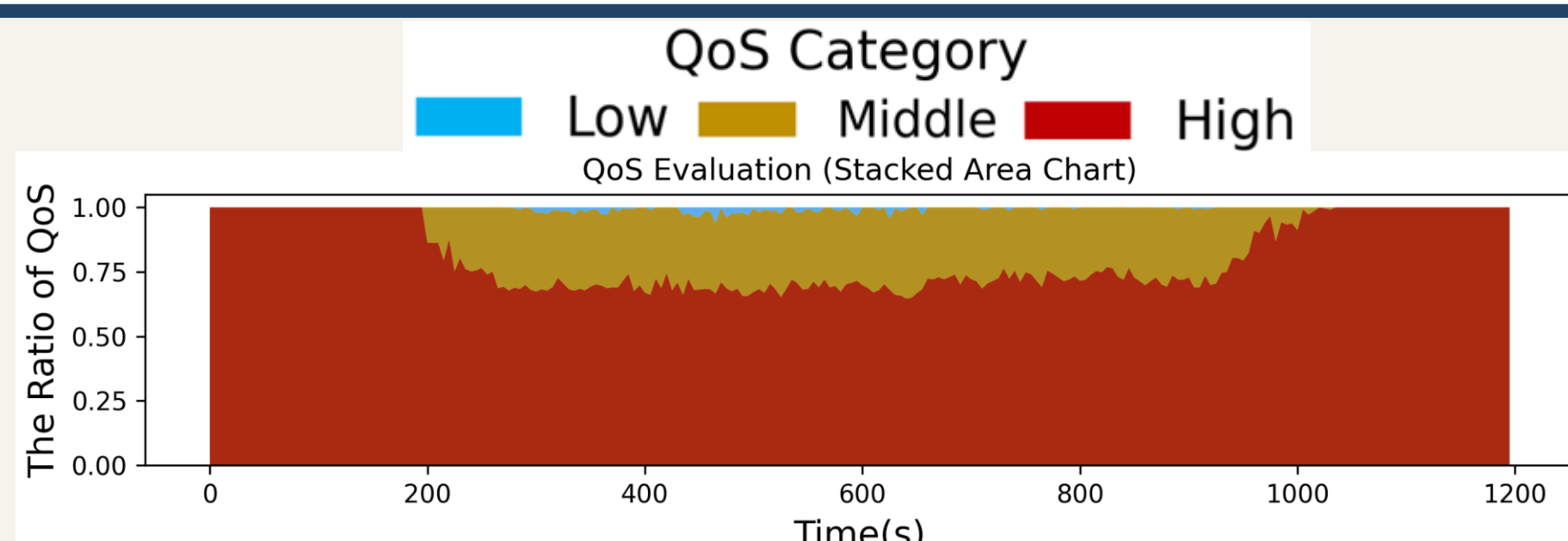
- ・ スタジアムやライブ会場、パビリオン施設を想定した環境
- ・ 単一5G基地局の通信範囲内にユーザ1000人がランダム分布 (一様分布)
- ・ SVC方式の動画データが5000個存在する配信サイトを想定
- ・ Sub6帯のパラメータで無線通信を行い、ユーザの視聴画質をQoSと定義
- ・ データ取得種別は自端末キャッシュ or 基地局端末間通信 or 端末間通信

エッジサーバ生成手法別のユーザQoS比較

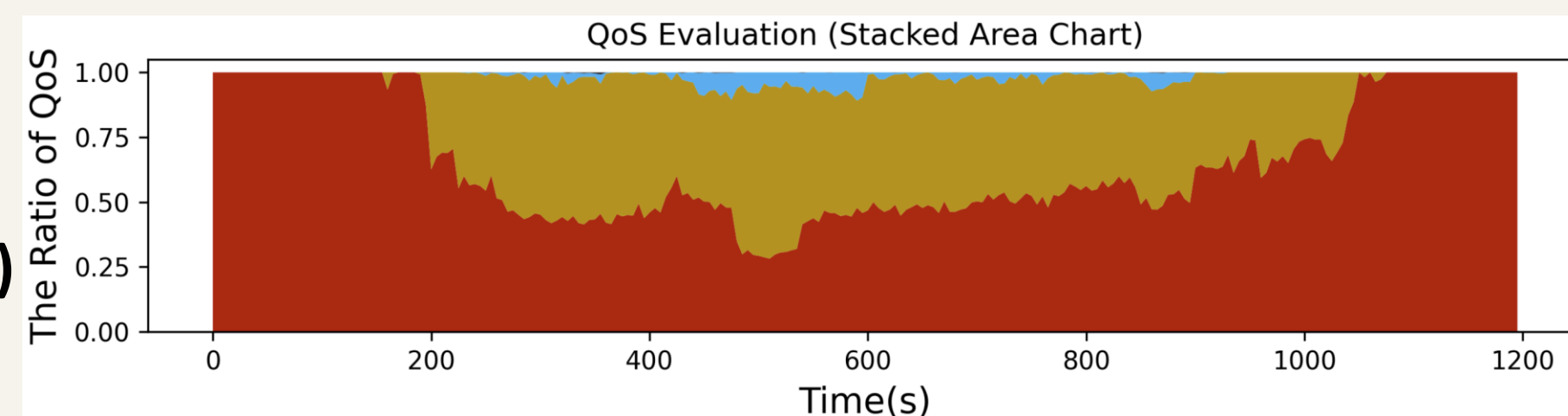
- ・ 色タグ更新タイミングで、全ユーザから10%のみをサーバに勧誘
- ・ 以下A, B, Cのサーバ勧誘種別でシミュレーションを行いQoSを比較
 - A. PdC値の上位10%ユーザをサーバ勧誘 (予測貢献度が高いユーザを勧誘)
 - B. ランダムに10%のユーザをサーバ勧誘 (予測貢献度に依らずランダム勧誘)
 - C. PdC値の下位10%ユーザをサーバ勧誘 (予測貢献度が低いユーザを勧誘)

結果と考察

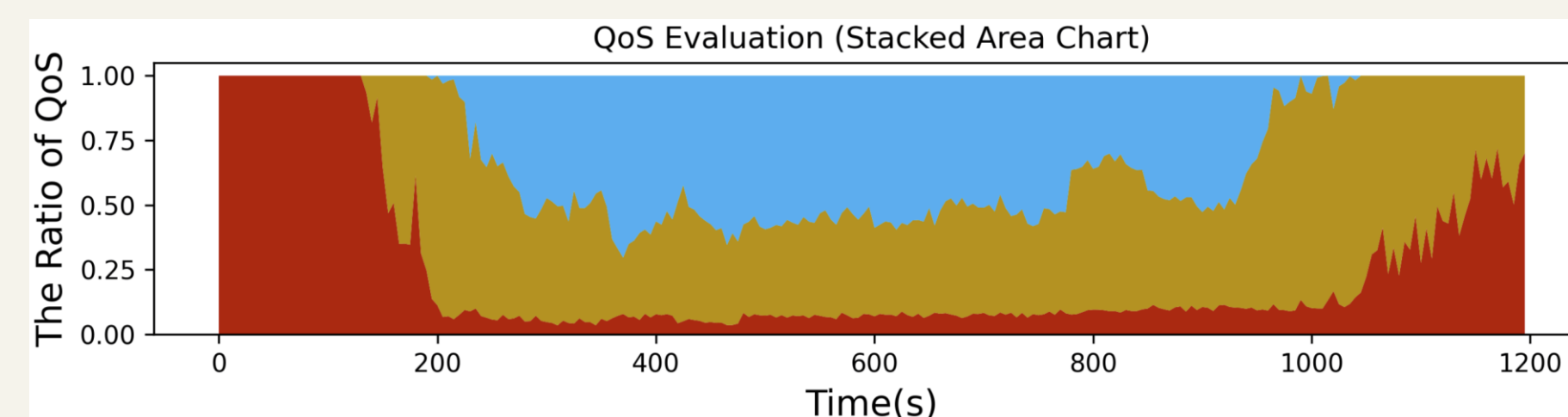
- ・ A, B, Cの勧誘種別QoSがそれぞれ図A, B, C
- ・ 高画質で視聴したユーザは時間平均で **A: 74.8%, B: 54.6%, C: 11.5%**
- ・ AではPdCが高いユーザを戦略的にサーバ勧誘するためD2Dが活発化
→ 最も高い視聴品質を提供 (PdCによるQoS管理が可能)
- ・ Bではランダムにユーザをサーバ勧誘するため視聴品質が不安定
- ・ CではPdCが低いユーザがサーバに勧誘され視聴品質が大きく低下
→ 最悪選択を行わないためにもPdCに基づいた勧誘制御が有効



図A. PdC値 上位10% がエッジサーバとなる場合のユーザQoS



図B. エッジサーバをランダムに10%抽出した場合のユーザQoS



図C. PdC値 下位10% がエッジサーバとなる場合のユーザQoS

今後の展望

- ・ 端末密度差が存在する環境に適合可能な予測貢献度指標の提案
- ・ サーバユーザに対してインセンティブを与え、ネットワークへの協力促進を具体的側面から検討
- ・ ランキング関数の最適加工
 - ・ リクエスト傾向別に使用する係数プリセットを用意
 - ・ 減衰率を調整し、クオリティ計算に与える重みを変更
- ・ 評価指標の検討と具体的考察
- ・ 多様なネットワークパラメータ、リクエストパターンでの検証
- ・ 他アルゴリズムや学習モデルとの比較検討

参考文献

- [1] Takuma NAKAJIMA, Masato YOSHIMI, Celimuge WU, and Tsutomu YOSHINAGA. Color-based cooperative cache and its routing scheme for telco-cdns. IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E100.D, No. 12, pp. 2847–2856, 2017.
- [2] Taiki Akiba, Celimuge Wu, and Tsutomu Yoshinaga. Load-based content allocation scheme for realizing efficient mobile cooperative cache. International Journal of Networking and Computing, Vol. 13, No. 2, pp. 93–117, 2023.