

修士学位論文要約（平成29年3月）

# 多対多ライブストリーミングのための D2D ネットワークの経路制御手法 安部 充

指導教員：菅沼 拓夫， 学位論文指導教員：阿部 享

## A Method of D2D Network Routing for Multipoint to Multipoint Live Streaming Mitsuru ABE

Supervisor: Takuo SUGANUMA, Research Advisor: Toru ABE

In dense area of wireless communication devices, D2D communication using an existing multicast routing protocol increases unnecessary data streaming duplication and then decreases its network bandwidth use efficiency. In this paper, we propose a protocol for D2D network routing, which determines communication passes based on service context to reduce unnecessary data streaming duplication for unevenly-distributed groups of different service requests. We evaluate the performance of the proposed protocol through several simulation experiments.

### 1. 序論

IoT デバイスから獲得されるストリーミングデータをエッジ・コンピューティング技術により実時間で流通させる IoT サービスへの期待が高まっている。これに対し本研究では、多対多ライブストリーミングを対象とし、Device-to-Device 通信（D2D 通信）によりストリーミングデータを効率的に流通させる制御手法の実現を目指している。既存のマルチキャストルーティングプロトコルを用いた D2D 通信では、高密度に無線通信端末が存在する場合、データの複製の増加への対処が不十分である。

そこで本研究では、同一の動画を要求するユーザが周辺に多い端末をサービス・コンテキストに基づき予測し、その端末が経路集約を行うようマルチキャスト経路を予め構成する D2D ネットワーク経路制御プロトコルを提案する。

### 2. 関連研究と課題

無線通信技術の発展に伴い、D2D ネットワークを対象としたマルチキャストルーティングプロトコルが数多く提案されている。文献<sup>1)</sup>の手法は、積極的な経路集約が未考慮であるため、無駄なデータの複製が増加する可能性がある。文献<sup>2)</sup>の手法は、経路変更のための制御パケットを周知する必要があるが、多対多ライブストリーミングのように高頻度でデータ通信を行う状況において、高密度に存在する無線通信端末へ制御パケットを送信する場合、制御パケットの損失による経路変更の失敗率が高まり、無駄なデータの複製が増加する恐れがある。

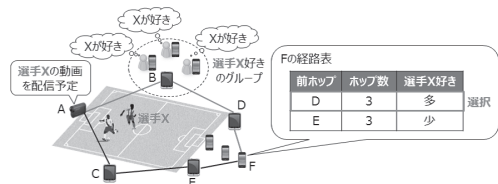


図 1: 提案プロトコルの概要

### 3. D2D ネットワーク経路制御プロトコルの提案

前章で述べた課題を解決するため、D2D ネットワーク経路制御プロトコルでは、同一のライブ動画を要求するユーザが周辺に多い端末をサービス・コンテキストに基づき予測し、その端末が経路集約を行うようマルチキャスト経路を予め構成する。ここでのサービス・コンテキストは、「現実世界で決定づけられる位置情報、イベント情報、観測可能な統計情報」と定義する。本稿では、サービス・コンテキストとしてグループの地理的な偏在に着目する（図 1）。

本研究で想定するネットワークモデルにおける構成要素を以下に示す。

$Sender(s \in S)$  : カメラから取得したストリーミングデータを複製し次ホップノードへ配信する。

$reLayer(l \in L)$  :  $S$  から取得したストリーミングデータを複製し次ホップノードへ中継する。

$Receiver(r \in R)$  : ジャンル  $G$  の要素  $genre_k$  に対応する嗜好に基づき、ライブ動画を要求する確率（要求確率）を仮定する。

$l$  と  $r$  は、 $L_i$  が中継可能な  $genre_k$  のライブ動

画に対する要求帯域  $A_i$  の期待値  $E[A_i]$  を考慮し,  $genre_k$  のライブ動画を要求する際の使用経路を決定する. 式 (1) の  $E[A_i]$  が大きいほど,  $L_i$  の周辺に  $genre_k$  のライブ動画を要求する可能性の高い  $r$  が多くなる.

$$E[A_i(k)] = \sum_{r' \in R_i} E[b(r')] \times p(r', k) \quad (1)$$

$R_i$  は,  $L_i$  の 1 ホップ隣接に存在する  $r$  の集合である.  $E[b(r')]$  は,  $r'$  がライブ動画を要求する際に使用する帯域  $b(r')$  の期待値である. ここでの要求確率  $p(r', k)$  は, 式 (2) の確率密度関数  $f(r', k)$  により算出する.

$$\begin{aligned} p(r', k) &= \frac{f(r', k)}{\sum_{i=1}^{N_g} 1/i^c} \\ &= \frac{1/u^c}{\sum_{i=1}^{N_g} 1/i^c} \quad (2) \\ &\text{where } u = \text{rank}(r', k) \end{aligned}$$

$u$  は,  $r'$  が好きな  $genre_k$  の順位であり, 関数  $\text{rank}(r', k)$  により決定する.  $c$  は, Zipf 分布のパラメータである.

$L_j$  は, 1 ホップ隣接の  $R_i$  から取得した 要求確率  $p(i, k)$  に基づき, 式 (1) の  $E[A_j(k)]$  を算出する.  $S_m$  は, 自身が提供可能な  $genre_k$  の動画情報を付与した経路要求をフラッディングする. このとき, 制御パケットの氾濫による QoS の下落を抑制するため, ストリーミング配信準備前に経路要求を周知する. 経路要求を受信した  $L_j$  は, 前ホップの  $l$  が算出した要求帯域の期待値に  $E[A_j(k)]$  を加算し経路要求を中継する.  $R_i$  と  $L_j$  は, 最小のホップ数を含む経路から, 要求帯域の期待値の総和が最大となる経路を選択する. 以上の手順により, データの配信状況に応じた経路集約のための経路変更なしにデータの複製の利用効率を改善する経路を構成する.

#### 4. 実験と評価

D2D ネットワーク経路制御プロトコルの有効性を検証するため, 提案手法により無駄なデータの複製が減るかを検証する実験を行った. 実験では, ストリーミング配信準備前に最小ホップ数の経路を予め選択するマルチキャストルーティングプロトコル (単純手法 1) と,  $r$  ヘストリーミング配信中の  $l$  を含む経路を選択するために経路変更を行うマルチキャストルーティングプロトコル (単純手法 2), 提案プロトコルの性能を比較した. 評価基準は, 単位時間あたりの経路使用時間とした.

図 2 の実験結果より,  $c$  が 0.2 以上のとき, 提案手法の平均経路使用時間が, 単純手法 1 の平均経路使用時間より平均で約 10.5 秒短く, 単純手法 2 の平均経路使用時間より平均で約 1.1 秒短いことを確認した.

図 3 の実験結果より, 提案手法の平均経路使用時間は, グループの偏在度が中のとき小と比較して約

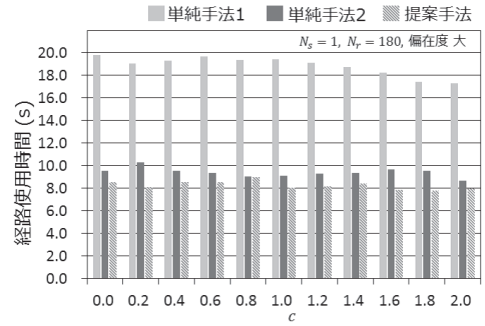


図 2: 実験結果 ( $c$  vs 平均経路使用時間)

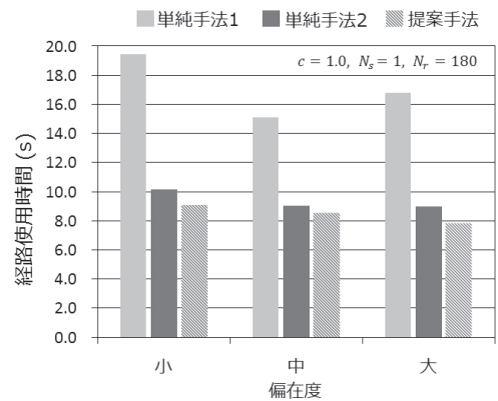


図 3: 実験結果 (偏在度 vs 平均経路使用時間)

0.5 秒短く, グループの偏在度が大的とき中と比較して約 0.7 秒短いことを確認した. 以上より, グループが偏在する環境において, 嗜好がストリーミングデータの要求に影響する場合, 経路変更なしに複製の利用効率を改善したと言える.

#### 5. 結論

サービス・コンテキストを考慮した D2D ネットワーク経路制御プロトコルを提案した. また, シミュレーション実験による提案プロトコルの性能評価について述べた. 実験結果より, 無線通信端末が高密度に存在する状況において高効率な D2D 通信を実現できることを確認した.

#### 参考文献

- 1) L. Sung-Ju, G. Mario, and C. Ching-Chuan, "On-Demand Multicast Routing Protocol," Proc. IEEE WCNC, pp.1298–1302, Sept. 1999.
- 2) K. Han et al., "MEGCOM: Minimum-Energy Group COMMunication in Multihop Wireless Networks," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.63, no.4, pp.1790–1801, May 2014.