

MANET における周期ブロードキャストによる 広域動画配信のためのマルチホップ中継再配信方式の提案と評価

桂健太[†] 湯素華[†] 小花貞夫[†]

近年、スマートフォン等の携帯端末を対象としたビデオ・オン・デマンド (VoD) サービスの需要が増大している。携帯端末上での VoD を実現するための配信方式として、周期ブロードキャストがあげられるが、各端末が配信端末から直接受信するため、配信範囲が限られている。そこで、本稿では、受信済みの端末を周期ブロードキャストの中継端末として動作させることで、周期ブロードキャストをマルチホップ・モバイルアドホックネットワーク (MANET) へ拡張し、中継端末の選択手法を提案する。シミュレーションにより提案方式と既存方式とを比較し、端末の密度が大きい環境でも高いデータ到達率と高速な配信が実現できていることを確認した。

Multi-Hop Video Dissemination with Periodic Broadcast in MANET

KENTA KATSURA[†] SUHUA TANG[†] SADAO OBANA[†]

Widespread of mobile nodes (e.g., smartphones) has led to a quick increase in Video-on-Demand (VoD) service in the recent years. But separate communications between mobile nodes and source nodes often consume much bandwidth. Periodic broadcast is one of the effective methods scalable with the number of joining mobile nodes, (i) broadcasting video content to all nearby mobile nodes simultaneously, and (ii) tuning the period to ensure a short delay. However, the dissemination range is limited by the direct wireless communication between the disseminating node and mobile nodes. In this paper, we propose to use relay nodes to extend periodic broadcast to cover the whole network, and study how to select a small number of relay nodes to (i) satisfy video quality and (ii) finish video delivery within a short time. Extensive simulation evaluations confirmed that the proposed scheme works well in multi-hop dense networks and achieves both higher packet delivery rate and faster delivery speed compared with state-of-the-art methods.

1. はじめに

近年、スマートフォン等の携帯端末の性能向上と、4G(第四世代移動通信システム)の整備・普及に伴って、携帯端末向けの様々なサービスの需要が増大している。ビデオ・オン・デマンド (Video on Demand, VoD) サービスもその中の一つである。VoD は、視聴者が動画を観たいときにコンテンツを試聴することができるサービスである。テレビ放送等ではユーザの意思と関係なく、番組表にしたがって順次動画コンテンツ (番組) が常に流れてくるが、VoD ではユーザが望む動画を必要ときに配信・再生することができる。そのため、多くの VoD サービス [1][2][3][4] では、それぞれの視聴者端末 (PC 等) が VoD を提供するサーバにアクセスし、必要な動画コンテンツをダウンロードする方式をとっている。これは一般にクライアント/サーバ方式と呼ばれる。

モバイル環境における VoD の実現方式としては、3G/4G 等の携帯ネットワークや Wi-Fi を利用したクライアント/サーバ方式と、携帯端末を無線通信で相互に接続しネットワークを構成するモバイルアドホックネットワーク (Mobile Ad Hoc Network: MANET) 上で P2P ファイル共有技術を用いた方式 [5][6] が提案されている。

クライアント/サーバ型システムと MANET 上で動作す

る P2P ファイル共有技術を用いたシステムでは、無線ネットワークが混雑していない状況においては、安定して動画視聴が可能である反面、一箇所に携帯端末が密集している環境だと、ネットワークの輻輳により動画の視聴に必要な速度が出ない状況が発生する。例えば、花火大会や各種イベント等の人口密度が高くなる状況では、多くの人が動画の視聴を試みると、ネットワークの混雑により、一台一台が利用できる通信容量が極端に小さくなるため、満足に視聴できなくなるという問題が発生する。

その問題を解決する配信手法として、周期ブロードキャスト [7]を用いた VoD 配信方式 [8]が提案されている。周期ブロードキャストでは動画コンテンツを特定の端末 (配信端末) が周囲に向けてブロードキャストすることで、視聴者数が増えても、必要なデータ通信量は増加しないため、人口密度が大きい環境における VoD システムとして優れている。

既に提案されている周期ブロードキャストを利用した VoD 配信方式では、各視聴者の端末が配信端末からブロードキャストされた動画コンテンツを直接受信する必要があるが、配信端末の通信範囲外の端末は動画を受信できないという問題がある。

この問題を解決するために、本稿では、前述の周期ブロードキャストによる VoD 配信手法を MANET 上でのマル

[†] 電気通信大学 大学院情報理工学研究科
Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

チホップを利用する形に拡張し、中継端末がより遠くの視聴者端末に動画コンテンツを配信することで、広い敷地を使って行われる各種イベントにおいても、携帯端末で VoD サービスを利用可能にする。

また、コンピュータシミュレーションにより、各携帯端末における再生途切れ時間（バッファリングタイム）や再生終了までにかかる時間等の評価を行い、提案方式の有効性を検証する。

2. 先行研究

モバイル環境における VoD システムは、携帯端末から利用できる 3G/4G ネットワークと Wi-Fi ネットワークを利用可能である。本章では、先行して提案されている VoD システム／サービスをいくつかのグループに分類し、それぞれの概要を述べる。

2.1 クライアント／サーバ型 VoD システム

現在、最も一般的に利用されており、既に多くのサービスが提供されているのが、クライアント／サーバ型の VoD システムである。これらのシステムでは各携帯端末は 3G/4G ネットワークまたは Wi-Fi を利用して、インターネット経由でサーバから見たい動画を受信する。この仕組みは有線ネットワークで利用されるものと同等であり、モバイル環境に最適化されていない。

3G/4G ネットワークがあればどこでも使えるため、現在位置にかかわらずサービスを提供できるというのが最大の特徴である。逆に、花火大会や音楽イベント等、多くの人が一箇所に集まる状況においては、無線ネットワークが輻輳しやすい。これは、動画の視聴者それぞれが、サーバと個別に通信する必要があるためである。視聴者数を n 、動画のビットレートを r [bps] とすると、必要な通信容量は rn [bps] となり、視聴者が増えるほど必要な通信容量は増加する。利用可能な通信容量は限られているため、人が多く密集した環境においては、輻輳が発生することで通信を行うことが困難になってしまい、多くの視聴者にサービスを提供できない可能性が大きいという問題がある。また、多数の端末が同時に動画をダウンロードすることで、コンテンツサーバやその周辺のネットワークに負荷が集中してしまうという問題も存在する。

2.2 P2P ファイル共有技術を用いたシステム

前述のコンテンツサーバにかかる負荷を軽減するために、MANET 上に P2P 技術を適応した配信方式の研究が行われている [5][6]。この方式では、周囲の他の携帯端末と協力して動画コンテンツをダウンロードする。

[5]では P2P ファイル共有技術 BitTorrent [9]を MANET 上に実装しクロスレイヤ処理による最適化を行っている。BitTorrent-Mobile [6]ではクロスレイヤではなく、アプリケーション層の改良のみで MANET 上に BitTorrent を実装し

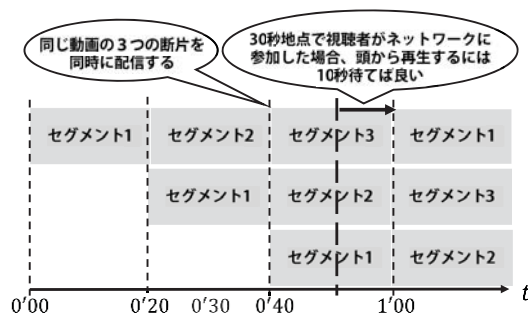


図1 周期ブロードキャストの例

ている。クロスレイヤで実装する場合、同じ携帯端末上の他のアプリケーションの動作に影響を与えている可能性を考慮した結果、アプリケーション層のみでの改良を行ったとしている。この手法では通常のユニキャストによるデータの送受信に加えて、UDP ブロードキャストを用いて周囲の端末に対してデータを送信する機能の追加実装を施している。

しかし、この方式においても中心となるのはユニキャストであり、動画の視聴者数が増えると必要な通信容量は増加するため、クライアント／サーバ型と同様に、視聴者が密集した環境においてはサービスの提供が難しいという問題がある。

2.3 周期ブロードキャストを用いた VoD システム

視聴者が密集した環境に適した方式として、周期ブロードキャストを用いた VoD システム MobiVoD [8]が提案された。このシステムでは、周期ブロードキャストと呼ばれる方法で、周囲の視聴者に向けて、動画をストリーミング配信する。ストリーミング配信では、動画データを一度にまとめて送るのではなく、毎秒ごとに動画データを送信する。そのため、ネットワークに途中参加した視聴者は、既に配信された部分を視聴出来ない。周期ブロードキャストでは、動画を最後まで配信した後、先頭から再度配信をする。また、データを再配信するまでの時間を短くするため、図1に示すように、送信対象の動画を複数のセグメントに分け、異なるセグメントを同時に送信する。動画の長さを l 、セグメント数を k とすると、各セグメントの送信周期は $\frac{l}{k}$ となる。

これによって、視聴者は、再生開始までの待機時間を $\frac{1}{k}$ とすることが可能である。

このシステムでは動画をブロードキャストするため、視聴者数が増加しても必要な通信容量が増加しないという特徴がある。動画のビットレートを r とすると、利用する通信容量は rk [bps] となる。

具体的に [8]では、動画のオリジナルデータを持つサーバ、視聴者であるクライアント、そしてサーバ上の動画を周期

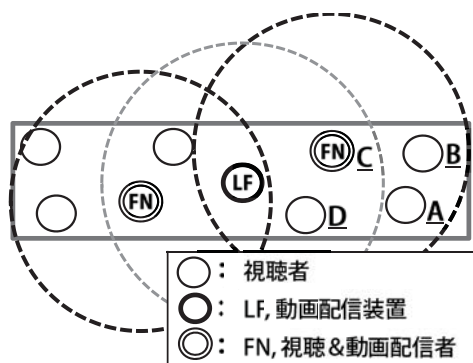


図2 提案手法の概要図

ブロードキャストする配信用端末であるローカルフォワード(LF)の3種類の端末からなる。

このVoD配信手法において視聴者は常にLFの通信範囲に位置しなければならない。広範囲をカバーするためには、多くのLFの設置を事前に行う必要がある。そのため、常設の会場外で開催されるイベント等には対応しにくいという問題がある。

3. マルチホップ中継再配信方式の提案

3.1 提案方式概要

前章で示した通り、端末が密集した環境においては周期ブロードキャストを用いた配信方式が有効であるが、先行研究では、配信範囲が配信者の周辺に限定されているという問題がある。

それを解決する手法として、動画を既に受信し終わり、動画データをすべて持つ視聴者端末に、周囲に向けて周期ブロードキャストにて再配信させる方式を提案する[10]。その再配信する視聴者端末を「**フォワード端末(FN)**」と定義する。先行研究のVoDシステムにおいて、LFの通信範囲外にいたために動画を視聴することが出来なかった視聴者も、提案方式ではFNの通信範囲にいれば動画を受信できる(図2)。以下、LFとFNを総称してフォワードと呼ぶ。

動画データを受信し終わった視聴者端末の全てがFNになると、通信容量を無駄に消費することになるため、適切な端末をFNとして選択する必要がある。例えば、通信が混雑している地点の端末が新たにFNになると、効率よく動画を配信することが出来ず、さらに周囲のFNに悪影響を与える可能性が高い。

各視聴者端末は、それぞれ動画を受信するために適したフォワードを必ず1つ以上持ち、このフォワードのことを**適格フォワード(AF: Appropriate-Forwarder)**と呼ぶ。各視聴者端末は1つのAFからのデータを主として、他のフォワードから届くデータもキャッシュに保存し、動画の再生を行う。

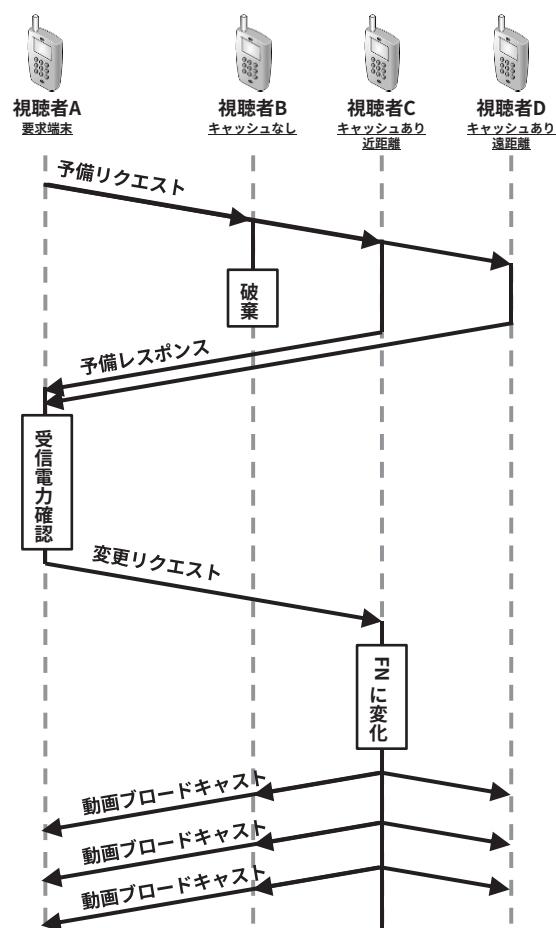


図3 提案手法のシーケンス図

3.2 フォワード端末の作成手順

視聴者（図3における視聴者A）は、周囲にAFに適したフォワードがない場合やAFがネットワークから離脱してしまった場合、またAFとの通信状況が悪化し動画受信に適さなくなった場合、以下の手順に従ってAFとなる新たなFNの作成を行う。

手順1 周囲のフォワードがAFに該当するか確認する。AF判定基準は3.2.1節で後述する。AFが存在する場合、AFから動画を受信し、この作成手順を終了する。この確認作業は定期的に行われる。

手順2 AFが存在しない場合、周囲の端末に対して、「FN変更予備リクエスト」をブロードキャストする。この時、リクエストを送信した端末を「要求端末」と定義する。

手順3 FN変化予備リクエストを受信した周囲の視聴者は、自身が動画の全てのキャッシュを持っていない場合はリクエストを破棄する。

全てのキャッシュを持っている場合は、3.2.3節で述べる近隣フォワードチェック機能により、自

自身が FN になることが可能かチェックする。FN になることが可能であれば、自身がどの程度 FN に適しているかを判定するための情報である周囲の通信混雑度を含めた予備レスポンスを要求端末に返信する。

手順 4 要求端末は一定時間経過するまで、周囲の視聴者からの予備レスポンスを受信し、それをもとに FN に適している端末を選択する。端末の選択方法は 3.2.2 節で述べる。適している端末が存在しない場合は、さらに一定時間待機し、手順 1 からやり直す。存在する場合、その端末に「変化リクエスト」を送信する。

手順 5 変更リクエストを受信した端末は FN となり、周囲への動画の配信を開始する。

これらの手順中において、ブロードキャストで送信する予備リクエストや変更リクエスト等では、到達率を上げるために、数回再送を行うこととする。

3.2.1 AF 判定基準

周囲のフォワーダの中で、平均パケット到達率が設定した閾値以上のものを AF と認定する。ここでパケット到達率は、あらかじめ電波の受信電力とパケット到達率の対応テーブル (4.2 節) を作成しておくことで、受信電力からパケット到達率を取得できるものとする。

3.2.2 FN 選択基準

予備レスポンスを送ってきたそれぞれの FN 候補端末に対して、次の 2 つの項目について確認を行う。以下、確認対象の FN 候補端末を F' とする。

(1) 配信に必要な通信容量が確保可能か

F' における周囲の通信混雑度 R から、利用可能な通信容量を算出する。単位時間あたりの、周囲で送受信されたデータ量 (ビット量) を S [bps] とし、通信速度の理論値 (IEEE 802.11g の場合 54 [Mbps]) を B_R とする。MAC(Media Access Control)制御等のオーバーヘッドによりスループットは低下するため、実効スループット B_E は係数 β を用いて $B_E = B_R \times \beta$ と表す。これを用いることで、通信混雑度 R は

$$R = \frac{S}{B_E} \quad (1)$$

で表される。 F' が利用可能な通信容量 B' は

$$B' = B_E(1 - R) \quad (2)$$

で表される。周期ブロードキャストにおいて、送信に必要な通信容量は rk であるため、

$$B' \geq r \cdot k \quad (3)$$

の条件を満たす場合、FN に適しているとする。

(2) 要求端末が動画をストレス無く視聴可能かどうか

動画フレームの受信率が閾値 α 以上になるかどうか、パケット到達率 P

$$P = \frac{N_R}{N_S} \quad (4)$$

を利用して確認する。ただし、送信したパケット数を N_S 、受信したパケット数を N_R とする。この時、

$$P \geq \alpha \quad (5)$$

が満たされれば FN に適しているとする。ここで P は、要求端末における F' が発する電波の受信電力から、4.2 節で述べる受信電力とパケット到達率のテーブルを用いて算出する。

3.2.3 近隣フォワーダチェック機能

予備リクエストを受信した視聴者は、まず自身が動画の完全キャッシュを所持していない場合、FN に適していないとして、リクエストを無視する。

次に、自身の至近距離にフォワーダがないかを確認する。要求端末は、フェージングやシャドーイングの影響により、一時的にリクエストを受信した視聴者の周囲にいる AF に成り得るフォワーダを見逃してしまっている可能性がある。自身の至近距離にフォワーダがいる場合、自身が FN になるよりも、既に存在する当該フォワーダが AF として認定されたほうが、より効率的に通信容量を利用できていると言える。以上の理由により、至近距離にフォワーダが存在する場合、リクエストを無視する。

4. 評価実験

4.1 シミュレーション実験概要

提案方式と 4.1.1 節で述べる比較方式を汎用ネットワークシミュレータ QualNet 7.1 [11] 上に実装し、提案方式が効果を発揮するか性能評価を行った。また、比較方式として BitTorrent と BitTorrent-Mobile を Qualnet 上に実装した。

まず初めに、提案方式において、パケット到達率閾値 α を変化した場合の評価を行う。その次に、端末の数を変化させた場合の影響について評価する。また 3.2.3 節で述べた近隣フォワーダチェック機能の効果を測定するために、機能を有効にした場合と無効にした場合についても評価する。最後に、提案方式と比較方式での再生完了までにかかる時間について比較し、提案方式の優位性を示す。

それぞれの評価実験において、端末が再生完了後に離脱しない場合とする場合の 2 通りの評価を行った。

評価軸として、それぞれの端末の再生途切れ時間（バッファリングタイム）と、再生完了までの時間を用いた。

4.1.1 シミュレーション条件

提案方式、比較方式で共通となるシミュレーションフィールドや通信方式の設定を表 1 にまとめた。シミュレーションフィールドは、花火大会を模した横長のものに設定した。また、2 波モデルをパスロスモデルとして利用し、シャドーイングモデルには常に一定の減衰を生じさせる「Constant モデル」を利用する。フェージングモデルには「レイリーフェージングモデル」を用いる。

次に、配置する端末と配信する動画のシミュレーション条件について表 2 に示す。端末数には提案方式であらかじめ配置する LF や、比較方式であらかじめ配置するトラッカー兼シーダーも含まれる。これらの端末はフィールドの中央に配置し、それ以外の端末はランダムに配置する。端末は 0 から 3 分の間にランダムで参加する。離脱の影響を評価する場合は、再生完了後、50%の確率でネットワークから離脱する。離脱するタイミングは 1 から 2 分の間でランダムとしている。

提案方式と比較方式のそれぞれで利用するシミュレーション条件を表 3、表 4 に示す。提案手法における係数 β は今回 1 とした。また、比較手法におけるルーティングプロトコルには、RFC として標準化されている AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) [12]を利用する。

4.2 パケット到達率と受信電力テーブルの作成

提案方式で利用するパケット到達率と受信電力のテーブルを事前に作成した。これは提案方式のシミュレーションと同様に、Qualnet 7.1 上にテーブル作成用アプリケーションを実装し実験した結果を用いることとした。

送信用端末と受信用端末との距離を 1[m]から 500[m]まで 1[m]ずつ増やして、パケット到達率を測定した。全送信パケット 18000 個の内、受信したパケットの割合をパケット到達率とする。同時にパケット受信時の受信電力についても毎回取得し、最終的にその位置における平均受信電力を求める。この実験を、シード値を変えて数回繰り返し結果を平均する。最後に、求めた平均受信電力とパケット到達率をデータとしてテーブルを作成する。実験で求めたパケット到達率と受信電力の関係を図 4 に示す。また、距離と受信電力のグラフを図 5 に示す。

4.3 閾値 α の評価

AF 判定に利用するパケット到達率の閾値 α を変化させて、平均途切れ時間と再生開始までの時間について評価を行った。 α は 0.50, 0.75, 0.90 の 3 種類について、それぞれ端末数を 50 と 100 の場合で測定した。

表 1 シミュレーション条件（共通の環境条件）

フィールドサイズ	400[m] × 10[m]
通信方式	802.11a/g
伝送速度	54 [Mbps]
使用周波数	2.4 [GHz]
パスロスモデル	TWO-RAY
シャドーイングモデル	CONSTANT
フェージングモデル	RAYLEIGH

表 2 シミュレーション条件（端末・動画条件）

端末数	25,50,75,100,125,150
端末位置	ランダム
端末がネットワークに参加するタイミング	0 – 3 [min] (ランダム)
端末がネットワークを離脱するタイミング	50%の確率で離脱 動画再生完了後から 1 – 2 [min] (ランダム)
動画の長さ	30 [s]
動画のビットレート	512 [Kbps]
動画のフレームレート	30 [fps]
再生を許可するフレームレート	15 [fps]

表 3 シミュレーション条件（提案手法）

周期ブロードキャストの分割送信数	3
動画の再生タイミング	AF 発見時
係数 β	1

表 4 シミュレーション条件（比較手法）

ルーティングプロトコル	AODV
ピースサイズ	256 [Kbytes]
ブロックサイズ	16 [Kbytes]
Keep Alive 間隔	30 [s]
チョークアルゴリズムの動作間隔	10 [s]
動画の再生タイミング	動画の全受信時

端末数 50 と 100 の場合の平均途切れ時間と閾値 α の関係を図 6 に示す。いずれの端末数の場合も、閾値 α が 0.5 の場合が最も平均途切れ時間が大きい。この場合、パケット到達率が 0.5 以上のフォワードを AF と判定し、それ以上の到達率になるフォワードを自分から作成しようとしなため、再生が開始した後も、多くの場合でパケット到達率が低いままとなり、再生途切れが何度も発生していると考えられる。それと比べて、閾値 α が 0.9 の場合が最も平均途切れ時間が小さいという結果が出た。これらの結果から、閾値 α は 0.90 を利用するのが妥当であると考えられ、以降の実験ではそれを使う。

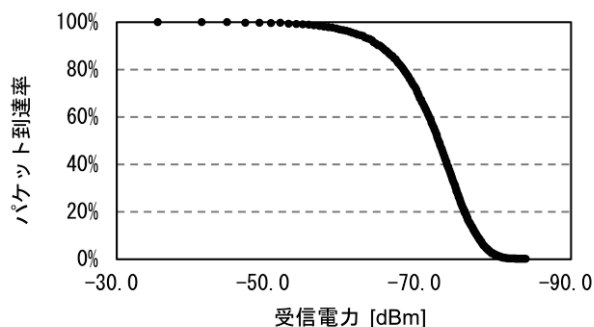


図 4 パケット到達率と受信電力の関係

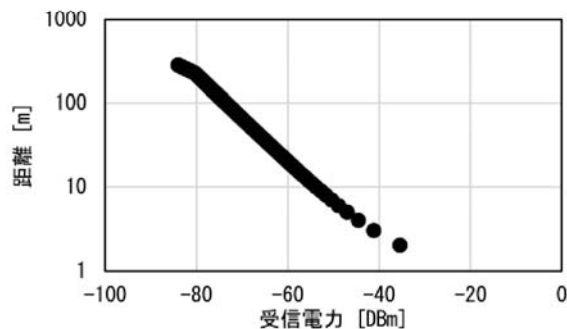


図 5 受信電力と距離の関係

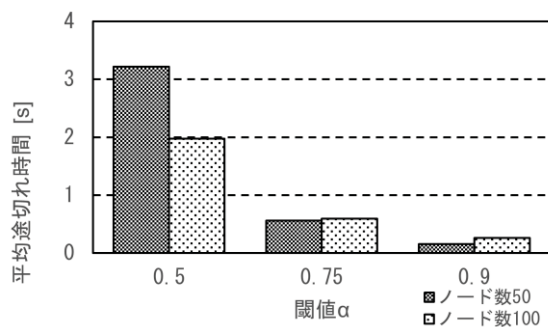


図 6 閾値 α と平均途切れ時間の関係

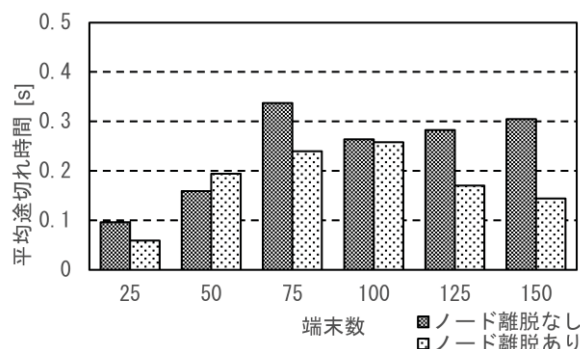


図 7 端末数と平均途切れ時間の関係

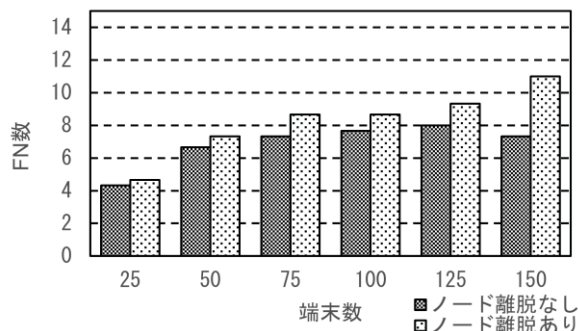


図 8 端末数と FN の数の関係

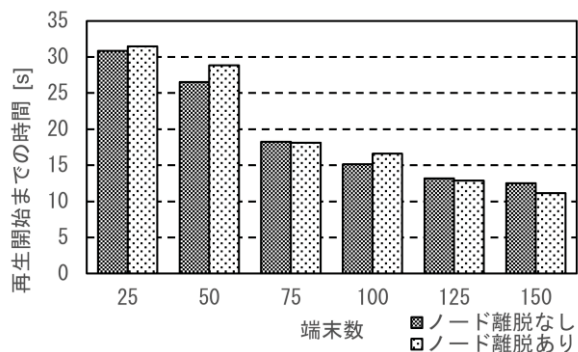


図 9 端末数と再生開始までの時間の関係

4.4 端末数を変化させた場合の評価

(1) 端末の離脱がない場合

端末の離脱がない場合の平均途切れ時間の結果を図 7 に示す。端末数が少ない場合は、通信が混雑していないため平均途切れ時間は短い。端末数が増えるにしたがって平均途切れ時間は増加していくが、端末数が 75 程度からは一定の値に落ち着いている。これは、フィールド内のフォワーダが一定数でエリア内の端末を全てカバーできるためであると考えられる。FN 数の平均を図 8 に示す。端末数 75 以降のフォワーダ端末の数を見てみると、7 から 8 程度で落ち着いている。この結果から、提案方式は端末数が増えたとしても問題なく動作することがわかる。

また、図 9 に再生開始までの時間の平均を示す。端末数が増えるほど、再生開始までの時間が短くなっていることがわかる。図 8 より FN の数は変化していないことから、

端末の密度が上がることによって、より適切な位置の端末が FN となることができ、再生までの時間が短くなったと考えられる。

(2) 端末の離脱がある場合

離脱なしの実験と同じく、端末数が増えても、平均途切れ時間が増加していないことがわかる。また、再生開始までの時間についても、端末の離脱がない場合と同様に、端末数が増えた場合に再生開始までの時間が短くなっていることがわかる。

4.5 近隣フォワーダチェックの有効性の確認

近隣フォワーダチェックを有効にした場合と、無効にした場合でどのような影響があるか評価し、端末の離脱がある場合の結果を示す。評価軸としては、平均途切れ時間・再生開始までの時間に加えて、各視聴者周辺でのデータ通信量を評価する。

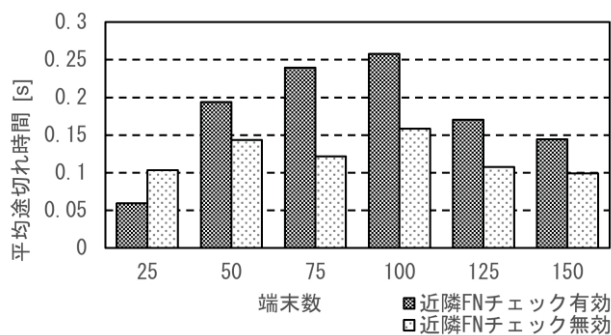


図 10 近隣フォワードチェックの影響 - 平均途切れ時間

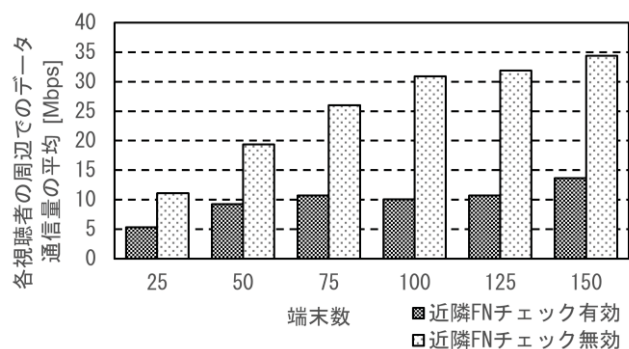


図 13 近隣フォワードチェックの影響 - 各視聴者周辺のデータ通信量

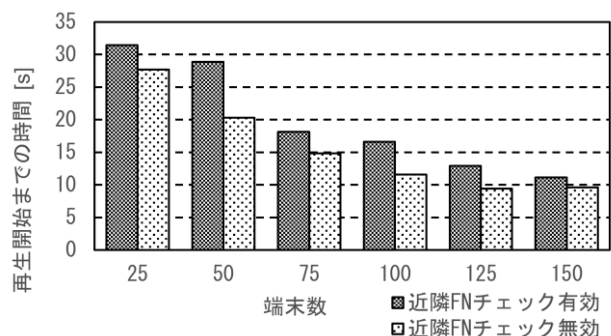


図 11 近隣フォワードチェックの影響 - 再生開始までの時間

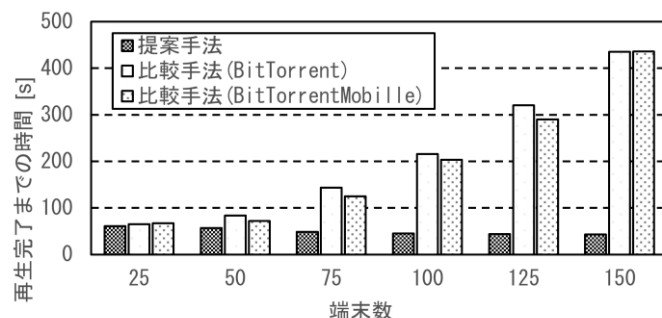


図 14 提案手法と比較手法 - 再生完了までの時間(端末離脱なし)

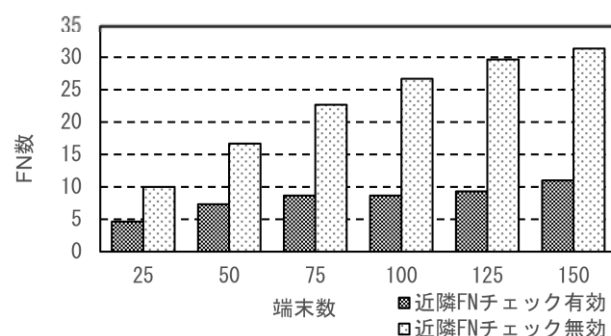


図 12 近隣フォワードチェックの影響 - FN 数

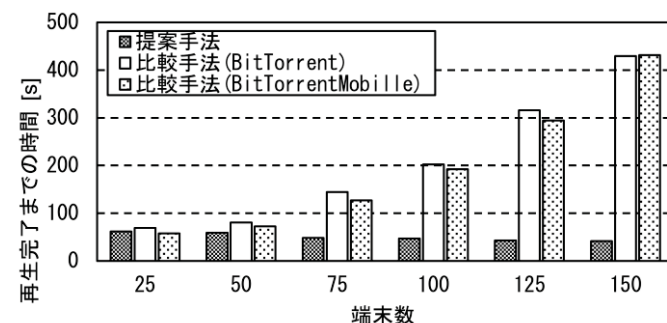


図 15 提案手法と比較手法 - 再生完了までの時間(端末離脱あり)

シミュレーション結果を図 10 から図 13 に示す。平均途切れ時間・再生開始までの時間については若干の増加が見られる。また、FN の数は近隣フォワードチェックが無効の場合に比べて 2 倍以上になっている。また、それぞれの視聴者周辺でのデータ通信量も FN の増加に伴って大きく増大している。このことから、近隣フォワードチェックを用いることで、平均途切れ時間・再生までの時間が少し増加するが、FN の数を大幅に抑えられ、周囲の通信容量の効率的な利用が出来ることがわかった。

4.6 提案方式と比較方式の比較評価

提案方式と比較方式 (BitTorrent と BitTorrent-Mobile) の比較評価を行う。それぞれの方式において、再生タイミングが異なり、前項までで用いた平均途切れ時間や再生開始までの時間では公平に評価できないため、ここでは、再生完了までの時間を評価軸とする。

端末の離脱がない場合、提案方式と 2 つの比較方式の結果を図 14 に示す。提案方式では端末数が増えても、再生完了までの時間は増加せず、逆に端末数が増え FN 数が一定の値に落ち着くまで再生完了までの時間が短くなっていることがわかる。比較方式では、端末数が増えるに従って、再生完了までの時間が大幅に増加している。これは、ユニキャストを使うため、端末数が増えることで通信量が増加し、チャンネルの輻輳が発生したことが原因だと考えられる。BitTorrent-Mobile はブロードキャストを併用しているため、少ない端末数では BitTorrent より良い結果を残しているが、端末数が極端に多い場合では、ユニキャストによるチャンネルの輻輳により、BitTorrent と同等の結果になった。

端末の離脱がある場合についての結果を図 15 に示す。端末の離脱がある場合でも無い場合と同様に、提案方式は端末数が増えても問題なく動画を配信できていることがわ

かる。比較方式についても、再生完了までの時間は、端末の離脱が無い場合とほぼ同等の結果になっている。

5. まとめと今後の課題

本稿では、MANETにおいて周期ブロードキャストを用いた広域動画配信のためのマルチホップ中継再配信方式を提案しネットワークシミュレータ上に実装し評価を行った。比較方式(BitTorrent, BitTorrent-Mobile)では端末数が増加した場合に、動画の再生完了までの時間が大きく増加したが、提案方式では、増加しないことを確認した。また、提案方式に含まれる近隣フォワードチェック機能により、端末数が増加した場合におけるデータ通信量の増加を抑えられることを確認した。

以上により、提案方式はモバイル環境におけるVoD配信方式として、端末が密集した環境においても再生途切れを抑えながら動画を配信できることがわかった。これによって、例えばスポーツ試合のハイライト動画の会場への配信や、野外音楽イベントでのPV映像の配信、花火大会等で開始前に昨年の映像や協賛企業のCM等を配信することが可能となる等、様々な用途に利用できると考えられる。

今回のシミュレーションでは、端末の途中参加・離脱については評価したが、端末の移動に伴うトポロジの変化等については確認できていない。また、実環境においては、受信電力は状況の変化に伴って大きく変化することが考えられるため、提案方式で用いた受信電力とパケット到達率のテーブルの代わりに、実際にパケット到達率を測定する手法が必要だと考えられる。さらに、今回は比較方式としてBitTorrentとBitTorrent-Mobileを用いたが、両者ともに動画配信に最適化されている手法ではない。そのため、BitTorrentを動画配信に最適化させた手法についても同様に評価し、提案方式の有効性を確認する必要がある。

今後は前述の通り、より実環境に則した状況においても、他の手法に比べて優位性があることを確認するとともに、中継端末の選択手法を改良し、より再生途切れ時間が短く、素早い動画視聴が可能な配信手法にする予定である。

参考文献

- 1) dビデオ, <http://pc.video.dmkt-sp.jp/>.
- 2) Hulu, <http://www.hulu.jp/>.
- 3) U-NEXT, <http://p.unext.jp/>.
- 4) アクトビラ, <http://actvila.jp/>.
- 5) S. Rajagopalan, C.-C. Shen, "A Cross-layer Decentralized BitTorrent for Mobile Ad hoc Networks," Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops, 3rd Annual International Conference on, pp.1-10 (2006).
- 6) N. C. Quental, A. d. S. G. Paulo, "Exploiting application-layer strategies for improving BitTorrent performance over MANETs," IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), pp.691-692 (2011).
- 7) C. C. Aggarwal, J. L. Wolf, P. S. Yu, "A permutationbased pyramid broadcasting scheme for video-on-demand systems," In Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Multimedia Systems'96, pp. 118-126 (1996).

- 8) D. A. Tran, M. L. K. A. Hua, "MobiVoD: a video-on-demand system design for mobile ad hoc networks," Mobile Data Management, 2004. Proceedings. IEEE International Conference on, pp.212-223 (2004).
- 9) BitTorrent, <http://www.bittorrent.com/>.
- 10) 桂 健太, 越川 徹, 小花 貞夫: MANETにおける動画のマルチホップ周期ブロードキャストに関する一考察, 電子情報通信学会総合大会 2014, B-7-64 (2014).
- 11) Qualnet, <http://web.scalable-networks.com/content/qualnet>.
- 12) Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, <http://tools.ietf.org/html/rfc3561>.