

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 18 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500096

研究課題名(和文)無線メッシュネットワークにおけるレイヤ2でのマルチキャスト方式

研究課題名(英文)Layer 2 multicast routing for wireless mesh networks

研究代表者

森野 博章 (HIROAKI, MORINO)

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50338654

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：無線メッシュ網において今後はモバイルユーザが撮影するライブ映像の配信サービスが増加することが考えられ、帯域利用効率の点から送信端末の移動をサポートするマルチキャストが不可欠である。本研究では網を複数のIPサブネットに分割しサブネット内ではレイヤ2マルチキャストをサブネット間ではレイヤ3マルチキャストを行うHi-mobilecastを提案した。性能評価により、Hi-mobilecastはPIM-SMと比較してレイヤ3マルチキャスト機能を備える必要のあるAPの数を削減しつつ、エンドエンドのホップ数、達成可能な配信レートに相当する指標でそれぞれPIM-SMとほぼ同等の特性を実現できることを示した。

研究成果の概要(英文)：Services to provide live streaming video from mobile sources are becoming widespread, including Ustream. It is expected that this type of services will be deployed in local community networks using wireless mesh networks. For these services, multicast routing supporting mobile sources is the key issue to be addressed. In this paper, we propose a low-cost multicast routing architecture named Hi-mobilecast, where the target network is divided into multiple IP subnets, in each of which an only pre-determined single AP has the layer 3 multicast router function and the rest of APs have layer 2 multicast function for intra-subnet communication. Performance evaluation shows Hi-mobilecast achieves almost the same performance as existing PIM-SM in terms of end-to-end hop length from the source to terminals along the multicast tree as well as maximum achievable video data rate while reducing the total number of APs which have the layer 3 multicast functions compared to PIM-SM.

研究分野：情報通信工学

キーワード：無線メッシュ網 layer2 ルーティング VLAN マルチキャスト クロスレイヤ

1. 研究開始当初の背景

無線 LAN AP 間をマルチホップで接続した無線メッシュ網は AP に接続するバックボーンの有線網設備が比較的少なくてすみ費用面で有利であることなどから、対象地域で独自のサービスを提供する通信インフラとして地方自治体や企業に注目されている。例として動物園内の動物の挙動をモバイルカメラで撮影し映像を入園者の端末及び外部にリアルタイムで配信するシステム[1]、道路交通流監視[2]などがある。また、平常時には拠点に設置したセンサの情報を収集しそれに基づいて住民に各種の情報サービスを提供するバックボーンとして、被災時にはセルラー網が一時的に利用できなくなった場合の代替の通信インフラ・放送インフラとしてそれぞれ動作するプラットフォーム技術として NerveNet が提案されており[3]、宮城県女川町、和歌山県白浜町において実証実験が始まっている[4][5]。

2. 研究の目的

インターネット上でニコニコ生放送や Ustream 等のモバイルユーザによるライブ中継が増加していることを考えると、今後は無線メッシュ網においても地域のイベント開催時などには個人がモバイル端末を用いて網内でライブ映像配信をするシーンが増えることが考えられる。そうしたケースでは撮影者は移動しながら撮影・配信することもあり得るため、網側では送信元端末の移動をサポートするマルチキャストルーティングが必要になる。

従来の代表的なマルチキャストルーティングプロトコルである PIM-SM[6]で上述のこの要求を満たそうとすると網のすべての AP にマルチキャストルータの機能を持たせる必要があるが、マルチキャストルータは比較的高価であり、AP 数が多い網での運用は現実的でない。そこで本研究では PIM-SM によるレイヤ 3 マルチキャストと IGMP snooping によるレイヤ 2 マルチキャストを組み合わせることにより、より少ない数のマルチキャストルータで既存方式とほぼ同等のルーティング特性を実現する手法を提案する。

3. 研究の方法

本論文で想定する無線メッシュ網によるライブ映像のマルチキャスト配信では、映像を視聴する受信端末は静止しており送信元端末のみが移動する。各 AP ではレイヤ 3 およびレイヤ 2 でのパケットレベルでの優先制御が行われ、映像データを含むパケットが他のデータ通信のパケットよりも優先して中継されるとする。この想定の下で、ルーティングプロトコルが構築するマルチキャスト木に求められる性能指標として、映像配信の通信品質を維持する観点から以下の 2 点を挙げる。

(1) 送受信端末間のホップ数

(2) 1 つの無線リンクを経由するマルチキャスト木の最大論理リンク数

(1) は映像の配信遅延に対応する指標であり、送信端末から各受信端末までのマルチキャスト木に沿ったホップ数の平均値および分散を考慮する必要がある。(2) は各マルチキャストセッションが実現可能な情報配信レートの最大値に対応する指標である。網内の全ての無線リンクの伝送速度が同一であれば、

マルチキャストセッションで実現可能な情報配信レートはマルチキャスト木が経由する各無線リンクの中でそのセッションが利用可能な帯域が最も狭いリンクで決定される。この利用可能帯域に対応する指標として、本論文では最大論理リンク数に着目する。ここで論理リンクはレイヤ 3 マルチキャスト木またはレイヤ 2 マルチキャスト木を構成するノード間のリンクを指す。

4. 研究成果

本研究では、従来の代表的なレイヤ 3 ルーティングである PIM-SM と後述する IGMP snooping 機能[7]を持つスイッチによるレイヤ 2 マルチキャストを組み合わせた Hi-mobilecast を考案した。Hi-mobilecast は PIM-SM をそのまま無線メッシュ網に適用する場合と比較して網全体でマルチキャストルータ機能を持つ必要のある AP の数を削減しつつ、従来とほぼ同等のルーティング特性を得ようとする方式である。以下に、その原理と動作を説明する。

4.1 システムの基本構成

本方式では、網の AP をグループに分け各々に異なる IP サブネットを割り当てる。各サブネットでは 1 つの VLAN グループを設定してサブネット内の全 AP を所属させる。この中の 1 台の AP には PIM-SM の代表ルータ、すなわちマルチキャストルーティングを含む IP ルータの機能を持たせる。この AP を AP-MR と呼び、以降 AP-MR を表記する。AP-MR 以外の AP には IGMP snooping を備えたレイヤ 2 スwitch の機能を持たせる。この AP を以降 IGMP snooping 機能付き AP と呼ぶ。IGMP snooping は IP マルチキャストと組み合わせる形でレイヤ 2 スwitch でのマルチキャストを実現する機能である。IP マルチキャストルータがネットワーク内の全ての端末に対して発する Query メッセージ、それに対して新たに参加を希望する端末が送る Join メッセージ、あるいは既に参加している端末による Report メッセージを含む IGMP パケットがそれぞれ IGMP snooping 機能を持つスイッチに接続されたリンク上を流れると、スイッチはこれらのパケットを盗み見て(snoop)、どのインターフェイスの下流にマルチキャストメンバが存在するか学習し、マルチキャストメンバが存在するインターフェイスにのみマルチキャストパケットを送信する。本機能により、レイヤ 2 でのマルチキャストが可能となる。IGMP snooping 機能を備えるスイッチはマルチキャストルータと比較すると安価であるため、網内の複数の AP にマルチキャストルータ機能を付け、それ以外の AP にこの機能を持たせることで比較的低コストでマルチキャストを実現できる。

各 AP は、自らの無線セルで収容する端末を AP 間で構成する VLAN グループへレイヤ 2 のブリッジにより接続する。送信端末から送られるマルチキャストパケットは、同じサブネット内の AP 間ではレイヤ 2 マルチキャストのみで中継される。一方、異なるサブネットの AP 間および同じサブネットでの AP-MR と各端末の間のエンド・エンドでは PIM-SM によるレイヤ 3 マルチキャストで送受信が行われる。従って、異なるサブネット間のパケットの送信は必ず各サブネットの AP-MR を経由する。こうして、網内に設置するマルチキャストルータの数を減らしつつ効率的なマルチキャストを実現する。例として、網を 4

つのサブネットに分割した際の Hi-mobilecast のシステム構成を図 1 に示す。

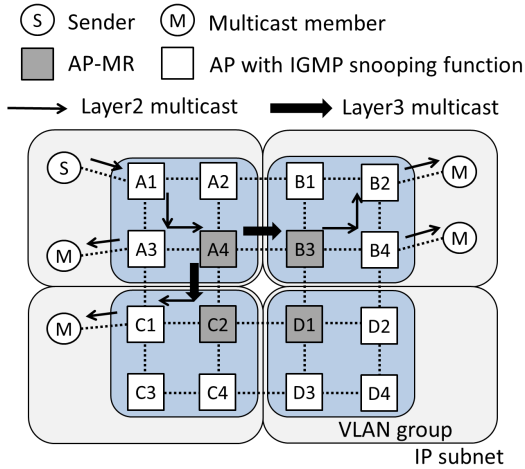


図 1 Hi-mobilecast におけるシステム構成の例

AP-MR 間のパケット送受信を効率化するため、AP-MR は互いに隣接するように配置される。マルチキャストメンバ管理については、網の AP-MR の中の一台に PIM-SM の RP(Rendezvous Point)の機能を持たせ、このノードが管理を行う。PIM-SM はセッションの開始直後は RPT モードで動作し RP と他の AP-MR を結ぶマルチキャスト木には RP を根とする最短経路木が使用されるがセッションの途中で SPT モードに移行し、送信端末の最寄りの AP-MR を始点とする最短経路木が使用される。

各 IP サブネット内での端末と AP-MR 間のパケットの送受信は VLAN グループに設定された AP-MR を始点とする最短経路木に沿ってレイヤ 2 で行われる。経路上の各 AP は IGMP snooping により、経路に沿った下流にマルチキャストメンバが存在する場合にのみその無線リンクにパケットを中継する。PIM-SM SPT モードでは送信端末の移動に伴って AP-MR 間を結ぶマルチキャスト木を再構築する必要があるが、再構築には文献[8]の手法を用いることとする。

図の例に示されるように、Hi-mobilecast では全ての AP がマルチキャストルータの機能を持ち、送信端末を根として各受信端末へ至る最短経路木を構築する場合と比較すると経路のホップ数は増加する。この特性は網をどのようにして複数のサブネットに分割するか、さらに各サブネットのどの AP に AP-MR の機能を持たせるかに大きく依存する。次節では AP-MR の配置方法と網を複数のサブネットへ分割する方法を述べる。

4.2 AP-MRの配置およびサブネットの決定手法

本方式では社会ネットワークの研究分野で広く用いられる媒介中心性[11]の指標を用いて AP-MR を配置する。網のある 1 つのノードの媒介中心性指標値は、そのノードが他の任意の 2 つのノードの間を結ぶ最短経路の中継ノードとして使用される回数で定義される。なお 2 つのノードを結ぶ最短経路が k 本

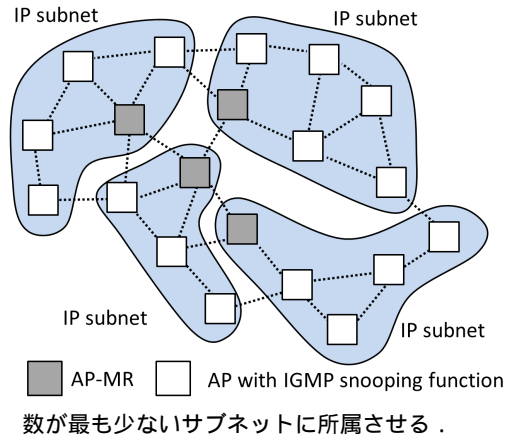
存在する場合は各中継ノードの使用回数は $1/k$ としてカウントされる。ここでは網内に設定するサブネットの数が N である時、媒介中心性指標値が大きい順に AP を選び出し、この中で互いに隣接するという条件を満たす N 個の AP を AP-MR とし、それぞれをサブネットの代表ルータとする。

次に AP-MR に選出されなかった AP を各 AP-MR が構成するサブネットに所属させる。Hi-mobilecast における送受信端末間ホップ数特性等を考慮すると、各サブネットに所属する AP 数なるべく等しくなるように設定すべきである。そこで各 AP が所属するサブネットを以下の手順で決定する。

着目する AP から N 個の各 AP-MR に至る経路の最小ホップ数を求める

のホップ数が最も小さくなる AP-MR がただ一つであれば AP-MR が構成するサブネットに所属させる。

のホップ数が最も小さくなる AP-MR が複数存在する場合はその時点で所属している AP の



数が最も少ないサブネットに所属させる。

サブネット数 $N=4$ の場合の本方式によるサブネット構成例を図 2 に示す。

図 2 Hi-mobilecast における AP-MR の配置とサブネット構成の例

4.3 エリア内にランダムに配置された AP によるネットワークポロジでの性能評価

4.3.1 ネットワークモデル

700m x 700m のエリアに、通信距離 200m の AP を配置して無線メッシュ網を構築する。AP 数を 30 台とする。各 AP はエリア内のランダムな場所に配置され、互いの通信距離内にある全ての AP 間に通信リンクが設定される。AP の配置パターンは 25 種類作成する。評価に使用するネットワークポロジの一例を図 5 に示す。ここでは構築されるマルチキャスト木の特性を評価するため送信端末、受信端末ともにセッション中に移動しないものとして、各試行で送信端末と各受信端末の位置をランダムで決定し、結果の平均を求める手法を採った。試行回数は各ポロジについて 1000 回とした。

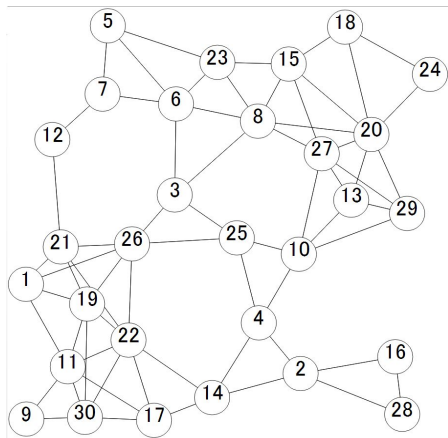


図3 ネットワークトポロジーの例

Fig.5 Network topology example used in the evaluation

4.3.2 評価指標と方法

3. で述べたように、送受信端末間ホップ数と無線リンクを経由する最大論理リンク数を性能評価指標として用いる。送受信端末間のホップ数については平均値と90%値を指標として用いる。APの配置パターンは25種類、各配置で送信端末と受信端末が接続されるAPはランダムに選択し1000回の試行を行い、平均値はこれら全ての試行の結果の平均をとる。一方90%値については各AP配置パターンについて1000回の試行の結果の90%値を得て、その値を平均したものをを用いる。無線リンクを経由する最大論理リンク数については平均値と標準偏差を指標として用いる。

評価においては以下の2方式を比較対象とする。

(1)PIM-SM RPT

網内の全てのAPをAP-MRとしてRPTモードでマルチキャストを行う方式。端末が移動した際の再経路構築が容易であるが、全てのマルチキャストセッションでRPを通過する必要があるため送受信端末間ホップ数は増加する。

(2)PIM-SM SPT

網内の全てのAPをAP-MRとしてSPTモードでマルチキャストを行う方式。送受信端末間ホップ数は常に最適値となる。本性能評価では提案方式の送受信端末間ホップ数特性がこの方式にどれだけ近いかが焦点となる。

以下の2つのシナリオで評価を行った。

評価方法(1) ネットワークに存在するマルチキャストセッションは常に1つとし、セッションに参加する受信端末数を固定する。各受信端末はそれぞれランダムに選んだ異なるAPに接続する。ここではHi-mobilecastにおいて網内に設定するIPサブネットの数Nを変化させ、2つの指標のうち送受信端末間ホップ数を用いて各方式を評価する。

評価方法(2) ネットワークに存在するマルチキャストセッションを5つとし、各セッションの受信端末数を変化させる。各セッションの送信端末は1台であり、受信端末数はセッション間で同一である。(1)と同様、受信端末はそれぞれ異なるAPに接続する。ここでは無線リンクを経由する最大論理リンク数の指標で各方式を評価する。

4.3.3 評価結果

図4は、前述の評価方法(1)に沿って得た、送受信端末間ホップ数の平均値と90%値を示している。なお、PIM-SM RPT、PIM-SM SPTではサブネットが設定されずこの図では値が一定であるため、特性をそれぞれ点線で表示している。この結果から、Hi-mobilecastにおける送受信端末間ホップ数の平均値はIPサブネット数Nが増加するにつれて減少し、PIM-SM SPTの値に近づいていくことが分かる。Nが15の時のHi-mobilecastの平均値は約3.3、PIM-SM SPTが2.9であり、この条件でPIM-SM SPTからの増加率は約14%にとどまっている。なお、PIM-SM RPTでは平均値は約4.1であり、N=15のHi-mobilecastはPIM-SM RPTと比較して約26%減少している。次に90%値の結果を見ると、平均値の特性と同様にNが増加するほどHi-mobilecastの値が減少しており、N=15の場合約5.2となっている。PIM-SM SPTの値は約4.8であり、この条件でPIM-SM SPTと比較した増加率は9.2%と10%以下に抑えられていることが見てとれる。

次に図5は評価方法(2)に従って得た、無線リンクを経由する最大論理リンク数特性を示している。4.2.1の送受信端末間ホップ数の特性から得られた知見に基づき、Hi-mobilecastについてはIPサブネットの数N=15とした場合の値を示している。PIM-SM SPTと比較したHi-mobilecastの値の増加率は受信端末数が1台の場合に最大で14%となっている。一方PIM-SM RPTと比較すると受信端末数が1台の場合に減少率が最大で47%である。PIM-SM RPTでは送信端末からRPへ向かうトラフィックとRPから各受信端末へと向かうトラフィックの一部がRPに接続する同じ無線リンクを経由するため、受信端末数が1の場合で既に他の方式より値が大きく、受信端末数の増加につれさらに値が増える。一方、トラフィックがRPを経由しないHi-mobilecastとPIM-SM SPTでは上記の問題は生じないため、受信端末数の増加に伴う最大論理リンク数の増加の度合いは緩やかである。Hi-mobilecastの値がPIM-SM SPTと比較してわずかに大きい理由はPIM-SM SPTでは全てのAP間リンクをマルチキャスト木で使用することができるのに対し、Hi-mobilecastではサブネット間を跨る経路ではAP-MR間の無線リンクのみが使用可能であるためこれらのリンクにマルチキャストパケットが集中するからであると考えられる。しかしながら、増加率は最大でも15%以下に収まっている。

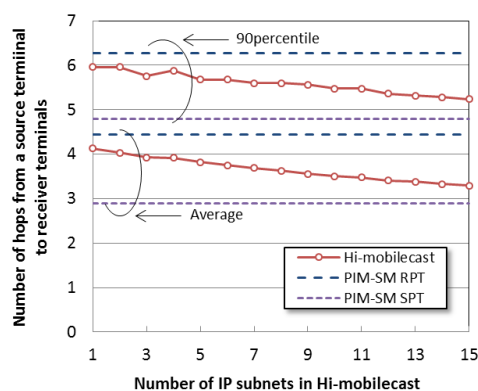


図4 送受信端末間ホップ数特性

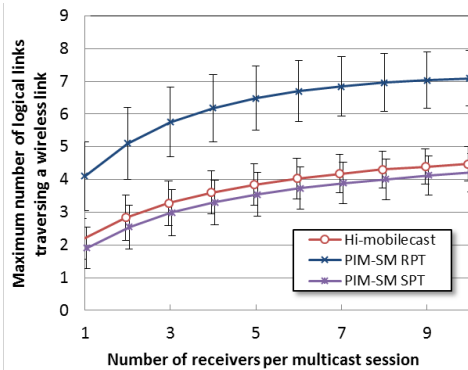


図5 無線リンクを経由する最大論理リンク数特性

文 献

- [1] 吉田高明, 和田晴太郎, 伊藤英之, 澤田砂織, 山内英之, 長谷川淳一, 中村行宏, 「京都市動物園での情報通信技術活用への取り組み - 動物園に適したインフラと動物コンテンツの活用 - 」情報処理学会デジタルプラクティス vol.3, no.4, pp.305-312, 2012年10月
- [2] “交通量調査(ThinkTube)”
http://www.thinktube.com/services/computervision/trafficanalysis, 参照 Feb. 20, 2015.
- [3] Masugi INOUE, Masaaki OHNISHI, Chao PENG, Ruidong LI and Yasunori OWADA, “NerveNet: A Regional Platform Network for Context-Aware Services with Sensors and Actuators,” IEICE Trans. Commun., vol.E94-B, no.3, pp.618-629, Mar 2011.
- [4] “宮城県女川町で運用開始! 被災自治体での災害に強い無線ネットワークの実証実験”
http://www.nict.go.jp/press/2014/03/19-1.html 2014年3月。
- [5] 井上真杉, 大和田泰伯, 浜口清, 坂本和夫, 「和歌山県西牟婁郡白浜町での耐災害ネットワークの実証計画について ~ 安全安心な観光の町「白浜」を目指して ~ 」信学技報, MoNA2014-85, pp.123-127, 2015年1月。
- [6] D. Estrin, D. Farinacci, D. Thaler, I. Kouvelas, S. Deering, M. Handley, V. Jacobson, C. Liu, P. Sharma, L. Wei, “Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification”, IETF RFC2362, June, 1998.
- [7] M. Christensen, K. Kimball and F. Sloensky, “Considerations for IGMP and MLD Snooping Switches,” IETF Internet-draft, Work in Progress, Jul.2003.
- [8] Thomas C. Schmidt, Matthias Wählisch, Maik Wodarz, “Fast adaptive routing supporting mobile senders in Source Specific Multicast,” Telecommunication Systems, vol.43, pp.95-108, Oct. 2009.
- [9] 大和田泰伯, 井上真杉, 大西真晶, 森野博章, 実藤亨「アドホック/ネットワークの応用展開: NerveNetにおけるリアルタイム広告配信実証実験」信学技報 USN2011-42, pp.125-128, 2011年10月
- [10] 井上真杉, 大西真晶, 森野博章, 実藤亨「マネージド無線ネットワークによるセンサアプリケーションプラットフォーム」信学技報 USN2008-55, pp.99-104, 2008年10月。
- [11] 林 和真, 城所 哲夫, 大西 隆「広域都市圏形成に向けた知識交流の空間分布に関する実証的研究-韓国におけるクラスター政策に着目して」都市計画論文集, vol.46, no.3, pp.355-360, 2011年11月。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)
〔学会発表〕(計 5 件)

藤本雅敏, 森野博章,
「移動送信ノードに対応する無線メッシュ網 2 階層マルチキャストルーティングのホップ数特性評価」
電子情報通信学会総合大会 B-15-12 2015 年 3 月。

藤本雅敏, 森野博章,
「移動送信ノードに対応する無線メッシュ網の 2 階層マルチキャストルーティング~ リンクストレスを考慮したマルチキャストルーティングの配置決定手法~」
電子情報通信学会技術研究報告 MoNA2014-11 2014 年 5 月。

Hiroaki Morino and Ryoma Iio,

“Group based two layer multicast for wireless mesh networks supporting mobile sources,”
Proc. of the Sixth International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON 2013) in conjunction with IS-CANDAR 2013. Dec 2013.(Best Paper Award)

飯尾亮真, 森野博章,
「移動送信端末をサポートする無線メッシュネットワークの 2 階層マルチキャストにおけるデータ送信速度の評価」
電子情報通信学会東京支部学生研究発表会 No.85 2014 年 3 月

飯尾亮真, 森野博章,
「無線メッシュネットワークにおける移動送信端末をサポートする 2 階層マルチキャスト方式とルーティング配置手法の検討」
電子情報通信学会技術研究報告 MoNA2013-21 2013 年 8 月。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森野博章 (HIROAKI MORINO)
芝浦工業大学工学部准教授
研究者番号: 50338654