

大規模 IPv6 無線 LAN における 制御用マルチキャストパケットの観測と分析

前田香織^{†1} 近堂徹^{†2} 相原玲二^{†2}

IPv6 ではプラグアンドプレイ機能の実現などマルチキャストが積極的に使用されているが、多数のマルチキャストパケットによる端末のリソース消費問題や無線 LAN (L2) において再送制御されないことによるパケット損失問題などが課題として指摘されている。今後 IPv6 が普及したときに、IPv4 に比べてマルチキャスト通信による弊害が顕在化する可能性がある。そこで本研究では実際に多数の端末が接続された無線 LAN に流れているマルチキャストパケットの実態を調査した。1 日に平均約 1000 台の端末が接続する無線 LAN において IPv4 と IPv6 のマルチキャストパケットを約 3 ヶ月間実測した結果、IPv4 と IPv6 ではそれぞれ同程度のマルチキャストパケットが流れていることが判明した。これにより今後 IPv6 が普及した時、無線 LAN に頻りに接続される機器に対するマルチキャストの影響について考察する。

Observation and Analysis of Control Multicast Packets in a Large-Scale IPv6 Wireless LANs

KAORI MAEDA^{†1} TOHRU KONDO^{†2}
REIJI AIBARA^{†2}

IPv6 often uses multicast in signaling such as Plug-and-Play. However, resource consumption and low communication quality in lossy wireless LANs by a lot of multicast packets are problems. When IPv6 is deployed as a main protocol, the effect of these problems may become serious compared to IPv4. In this paper, we show the results of actual monitoring of IP multicast/broadcast packets in a large-scale IPv6 wireless LANs used by about one thousand machines per day. The paper shows analysis of captured packets during about three months. The result shows that IPv6 traffic of signaling multicast packets is not so heavy compared to IPv4. Finally, the paper considers the effects of these signaling multicast packets to devices connected to wireless LANs after IPv6 is widely deployed.

1. はじめに

マルチキャスト通信はブロードキャストと同様、端末のリソース消費や消費電力増加を引き起こしたり、無線 LAN などにおいてはユニキャスト通信と違って再送制御が行われないためパケット損失による通信が劣化したりすることが指摘されている。IoT (Internet of Things) により多種多様な端末が接続されると、特に省電力、低 CPU 性能、少ないメモリ、スリープモードをもつような小型デバイスへの影響が問題視されている。これに対して、IETF では NDP (Neighbor Discovery Protocol) の仕様を IEEE802.15.4 ベースのリンクに対応するように拡張された[1]。また、6lo (IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes) WG では引き続き条件の厳しい端末やネットワークにあわせたヘッダの圧縮等を検討している。その他、こうした制約を考慮した IPv6 ルーティングプロトコルも提案されている[2]。

一方、無線 LAN において一斉に多数への配信を低帯域で可能にするマルチキャスト配信のメリットを生かす用途も想定されることから、IEEE802.11v では FMS (Flexible

Multicast Service)によってマルチキャストフレームの選択受信ができる省電力化の仕様が定められた。無線 LAN を用いて美術館や公園などでの動画や音声による案内の配信や緊急情報配信など無線 LAN を用いたマルチキャスト配信のニーズを想定し、[3]は FMS で調整されていないマルチキャストフレームの配送タイミングを制御することでさらなる省電力効果の向上を目指している。

このようにマルチキャスト通信は課題を持つものの、今後も様々な無線ネットワークで使用することが想定される。特に IPv6 ではプラグアンドプレイ機能実現などにマルチキャストを積極的に使用するプロトコルが使われることから、IPv6 が普及すると、多数のマルチキャスト通信によって端末に及ぼす影響が顕在化すると予想される。しかし、IPv6 ネットワークにおいて、マルチキャストパケットがどの程度流れているかを実態調査した例はほとんどなく、この予想の根拠は示されていない。そこで、本研究では実際に多数の端末が接続された IPv6 ネットワークに流れているマルチキャストパケットの実態を把握するための調査をした。本研究の目的は調査を通して、今後 IPv6 が普及した時のマルチキャスト通信が IPv4 の時に比べてどのような影響があるのかを明らかにすることである。ここでは、無線 LAN の接続頻度が高い機器 (ノートパソコン、タブレ

^{†1} 広島市立大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

^{†2} 広島大学情報メディア教育研究センター
Information Media Center, Hiroshima University

ット、スマートフォンなど)による影響を調べた結果を示す。以降、このような機器を無線 LAN ベースの機器と呼ぶこととする。

以降、2章では関連研究を、3章では無線 LAN 配下のマルチキャスト(ブロードキャスト含む)パケットの測定方法を述べる。4章でその集計や分析結果を示し、5章で結果の考察を行う。最後に6章で今後のまとめと課題について示す。

2. 関連研究

2.1 IPv6 マルチキャストの課題と解決のための提案

NTT 情報流通プラットフォーム研究所では IPv6 導入時に発生する問題をまとめ、その対策を示している[4]。この文献は 2011 年にまとめられたもので、主に L2 のマルチキャスト未対応の機器の存在やマルチキャストの実装に不具合があった場合に通信ができなくなるという問題点を指摘している。後述するが、今回の調査でも古い NIC のドライバに不具合があるものが見つかったが、この文献で指摘された通信不可の問題はほとんど見られない。

IETF では 6lowpan (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks)[5]のワーキンググループ(WG)では、省電力、小型、低 CPU 性能、少ないメモリ、スリープモードをもつような端末を、パケット損失が発生しやすく狭帯域のネットワークで使う(例えばセンサーネットワーク)場合に、IPv6 の NDP の仕様はオーバーヘッドが大きいことを問題視し、その対策を検討している。IEEE802.15.4 ベースのリンクに対応する IPv6 の仕様拡張を行い[1]、ほぼその作業を終えて、6lo (IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes) [6]WG に引き継がれた。ここではこのような厳しい条件の端末やネットワークにあわせて、ヘッダの圧縮等を行うことで負荷の低減を図っている。

これらの課題に対して、ルーティングや名前解決に関する提案もある。例えば、RPL(IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks) [2]では親ルータがルーティングに必要なメッセージを経路表に相当する情報も含めて送信する仕組みをもち、経路表をもてない端末も使用できる。また、経路情報維持のためのメッセージの発行には Trickle タイマを用い、制御パケット数を減少するようにする提案もある[7]。名前解決やサービス検知の処理を軽量化する提案もある[8]。IoT により IPv6 の端末数が膨大になり、端末の性能が一様でない場合も処理が可能になるようなサービス検知のプロトコルの提案をしている。

これらの関連研究において IPv6 の制御用パケットがマルチキャスト送信されることに対する課題を指摘し、その対応策が提案されているが、IPv6 ネットワークにおけるマルチキャストパケットの実態を示すものはない。

2.2 IPv6 におけるマルチキャスト通信の実態

短期間の調査としては IETF の開催されたホテルの Wi-Fi

で収集された結果が示されている[9]。本研究では 1 日に平均約 1000 台の端末を収容する無線 LAN において 3 ヶ月に渡って IPv4 と IPv6 のブロードキャストとマルチキャストパケットを実測し、分析した結果を示す。

3. パケットの観測

3.1 調査対象

広島大学のキャンパスで運用されている無線 LAN のネットワークを大学の許可を得て、調査の対象とした。ネットワークの構成は図 1 のように、6 つのセグメント (VLAN) からなり、IPv6 は 6 つとも /64、IPv4 は 4 つが /22、2 つが /24 のアドレス空間をもつ。接続する端末は大学の構成員や学外者の持ち込みのパソコン、スマートフォンなどで、使用用途は大学生活で日常的に使う Web 検索やメール処理などが多い。次に、6 つの VLAN のうち、一番接続台数の多い VLAN #3 の利用状況を図 2 に示す。大学のバックボーン向け (アップリンク) は IPv4 と IPv6 を分離して観測できるため図 2 の (a) と (b) に示し、ダウンリンクは分離して測定できてないため合計を (c) に示す。これより、全体のトラフィックの中で IPv6 が約 2 割であることがわかる。

3.2 調査方法

最初に調査対象ネットワークのネットワークに流れるマルチキャストパケット (ブロードキャスト含む) を、図 1 のキャプチャ用サーバ 1 ですべてキャプチャし、記録した。測定期間は 2014 年 1 月 28 日から 4 月 30 日までの約 3 ヶ月である。次に、VLAN#3 においてネットワークに流れたマルチキャストパケットをクライアントが実際にどの程度受信したかを調べるために、キャプチャ用サーバ 2 で計測をした。期間は 2014 年 7 月 9 日～15 日の 1 週間である。同期間、ネットワークに流れたパケットの測定もサーバ 1 で測定した。測定で使用した機器の諸元を表 1 に示す。

キャプチャには以下の tcpdump コマンドを用い、VLAN ごとにコマンドを実行し、1 日毎 (1:00AM～翌日 1:00AM)

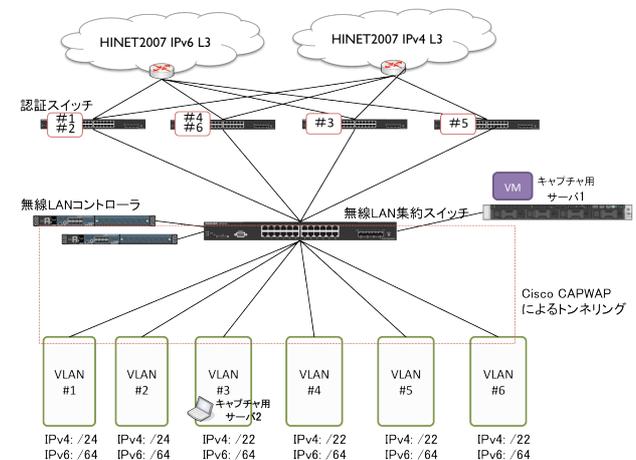
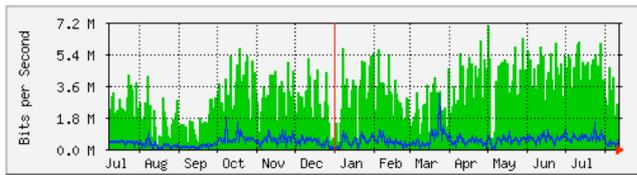
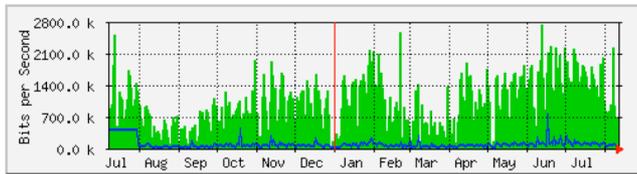


図 1 測定環境

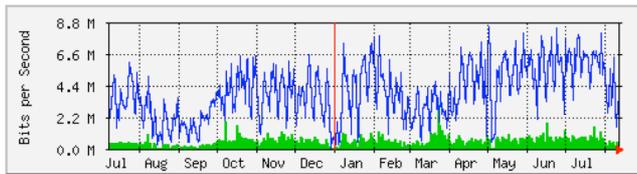
Figure 1 Measurement environment



(a) アップリンク (IPv4)



(b) アップリンク (IPv6)



(c) ダウンリンク (IPv4/IPv6)

図 2 VLAN #3 の利用状況

Figure 2 VLAN #3 Traffic

にキャプチャした結果をファイルとして出力する。

```
tcpdump -i (vlan_if_name).${vlan} -G 86400
-w ${vlan}-${Y%m%d%H%M%S}.pcap
```

このコマンドにより、24時間(86400秒)ごとにVLANとキャプチャ開始日時の入ったファイル名の1ファイルに記録される。これをキャプチャ用サーバの各インタフェースで動作させることにより、インターフェースで観測される全てのパケットを取得した。

4. 計測結果

4.1 無線 LAN の利用規模

最初に今回の計測環境で計測した結果から、無線 LAN の利用規模や IPv4 と IPv6 の利用割合などの状況を示す。

表 1 測定環境の機器諸元

Table 1 Devices in the measurement environment

機器の種類	製品名, OS 等	台数
無線 LAN コントローラ	Cisco 5500 Series Wireless Controller	2
無線 LAN アクセスポイント	Cisco AIR-LAP1024N-P-K9 / AIR-LAP1131AG-P-K9 / AIR-CAP1602I-Q-K9	約 400
無線集約スイッチ	Alaxala AX2430s	1
認証スイッチ	Alaxala AX2530s	4
キャプチャサーバ 1	仮想サーバ: CPU 1vCPU, Mem 2GB 物理サーバ: CPU Intel Xeon X3360@2.83GHz, Mem 8GB	1
キャプチャサーバ 2	CPU: Intel Core2Duo U7600@1.2GHz メモリ: 2GB Wireless: Intel Wireless WiFi Link 4965AGN	1

表 2 は VLAN ごとの計測期間中の 1 日の平均接続台数を示す。値は 1 日ごとに接続された端末のユニークな MAC アドレスの数を抽出し、3 ヶ月の平均を算出したものである。全 VLAN を合計すると 1 日に IPv4 で 1134.2 台が、IPv6 で 1063.3 台が無線 LAN に接続していたことになる。このうち、一番利用の多い VLAN #3 のユニーク MAC アドレス数を調べると 3 ヶ月で 4794 台 (IPv4)、4681 台 (IPv6) であった。このことから、対象とした無線 LAN ネットワークは大規模な利用環境であることが言える。

表 2 で、いずれの場合も IPv4 の接続台数が IPv6 より多いが、現状では IPv6 の通信機能を無効にしている端末や IPv4 通信しかできない端末がいることを示している。

4.2 マルチキャストパケットの流量

前節で示した通り、無線 LAN はかなりの規模で利用されているが、実際にマルチキャストパケットがどの程度の流量になっているかを示すために、一番利用の多かった VLAN #3 の測定結果を表 3 に示す。①は測定期間が 1 月末から 4 月の比較的閑散期の 3 ヶ月、②と③は繁忙期の 7 月の 1 週間で、ネットワークはネットワーク全体に流れたパケットを、クライアントはクライアントが受信したパケットを表す。①の閑散期の VLAN #3 以外の VLAN ではこれ以下の流量である。後に示すとおり、①と②とで測定期間

表 2 VLAN ごとの 1 日の平均接続台数

Table 2 Daily average of the number of connected terminals to each VLAN

VLAN/ プロトコル	平日		土曜		休日	
	v6	v4	v6	v4	v6	v4
#1	94.2	101.3	41.2	46.8	31.9	37
#2	23.9	28.9	18	22.3	12.8	17.1
#3	356.6	376	156.4	167	114.9	123.2
#4	222.8	238.9	121.5	133.5	110.9	123.2
#5	202.8	214.9	81.2	87.7	52.5	58.2
#6	163	174.2	81.5	89	62.6	69.5

表 3 VLAN #3 のマルチキャストパケット流量

Table 3 Multicast packets traffic in VLAN #3

	プロトコル	平均パケット数/秒	平均パケットサイズ(Byte)	平均トラフィック (bps)
①ネットワーク (2~4月3ヶ月)	v4	5.3	112.2	4747.5
	v6	4.3	116.5	3972.4
②ネットワーク (7月1週間)	v4	9.2	121.9	8970.0
	v6	7.1	117.1	6652.7
③クライアント (7月1週間)	v4	5.9	161.0	6372.0
	v6	0.3	135.0	324.0

が変わってもマルチキャストパケットの内訳の結果は大きくは変わらない。③のクライアントで測定された受信パケットが受信すべきものが対象となり、②に比べると特にIPv6のパケットの処理量はかなり少ないことがわかる。

4.3 マルチキャストパケットの集計方法

IPv6 と IPv4 のマルチキャストパケットの内訳について集計した。集計したマルチキャストの種類は表4の通りである。ステートフルアドレス自動設定に関して IPv4 は DHCP サーバが用意されているが、IPv6 の設定サーバは用意されてない。DHCP の lifetime は 3600 秒である。IPv6 の端末側から一方的にサーバ検索しているだけで、アドレス付与は RA (ルータ広告) によって行われている。SSDP と ws-discovery は UPnP の機器の検索や使用できるサービスの検索用で主に Microsoft の端末で使用される。ローカルの名前解決に使用されるプロトコルの LLMNR は主に Microsoft の機器で使用され、IPv4 の WINS に代わるものである。mDNS は Apple の機器で主に使われている。IPv4 のみで使用されているものが3つあり、HSRPv0 はルータの死活確認で、主に Cisco 社の機器で使用されている。BJNP はキャノンのプリンタやスキャナーなどを検索するのに使用され、Teredo は IPv6 通信時に IPv4 のネットワークしかない場合に IPv4 ネットワークをトンネルするための先を探索するために使用されるメッセージを示す。

集計では IPv6 と IPv4 のマルチキャストパケットの種類、

表 4 マルチキャストパケットの種類

Table 4 Types of multicast packets

分類 (定義等)	名称	v4/v6	宛先アドレス (ポート)
グループメンバーシップ	MLDv2	v6	ff02::16
	IGMPv3	v4	224.0.0.22
自動アドレス割当	RS	v6	ff02::2
	RA	v6	ff02::1
	DHCPv6	v6	ff02::1:2.547
	DHCP	v4	255.255.255.255
アドレス解決 (RFC4291)	NS	v6	ff02::1:ff/104
	NA	v6	ff02::1
アドレス解決	ARP	v4	255.255.255.255
UPnP 機器検出	SSDP	v6	ff02::c (1900)
		v4	239.255.255.250 (1900)
サービス検出	ws-discovery	v6	ff02::c (3702)
		v4	239.255.255.250(3702)
ローカル名前解決 (RFC4795, 主に Windows)	LLMNR	v6	ff02::1:3 (5355)
		v4	224.0.0.252 (5355)
ローカル名前解決 (RFC6762, 主に AppleOS)	mDNS	v6	ff02::fb
		v4	224.0.0.251 (5353)
ルータ監視(Cisco)	HSRPv0	v4	224.0.0.2.1985
BJNP プリンタ/スキャナー検索	BJNP	v4	224.0.0.1.8612
IPv4 トンネリング (RFC4380)	Teredo	v4	224.0.0.253.3544

宛先アドレス、ポート番号を抽出ワードとして、集計用のシェルスクリプトを作成して行った。スクリプトではパケットの抽出時に全ノードアドレスや、全ルータアドレスなど抽出ワードが重複する場合これらが合計されないようにしている。後述するが、RFC4291[10]で定義され、IANA で割当てられている IPv6 アドレスを割当目的以外に使用して、マルチキャストアドレスを送信しているものもあったため、これも合計から除いている。

4.4 マルチキャストパケットの内訳

VLAN や期間によらずネットワークに流れるマルチキャストパケットの内訳の傾向は同じであったため、図3には VLAN #3 のネットワークに流れているマルチキャストパケット (表3の①の期間) とクライアントが受信したパケット (表3の③の期間) の内訳を示す。

4.5 宛先アドレス別の内訳

IPv6 のマルチキャストの宛先アドレス別にどれくらいのパケットが出ているかについて調べた。以下の3つのアドレスを対象として、VLAN #3 のネットワーク側に流れたパケットを集計した結果を表5に示す。

- ・全ノードアドレス(ff02::1/128)
- ・全ルータアドレス(ff02::2/128)
- ・要請ノード (SN) マルチキャストアドレス(ff02::1:ff/104)

この結果から、接続端末台数によらず、要請ノードマルチキャストアドレス宛のパケットの割合が90%前後であることがわかる。全ノードアドレス宛のパケットは接続端末台数によってばらつきがあるものの3~12%が流れている。これらのパケットは全クライアントが L2 で受信するものであり、低消費電力のセンサーネットワークの端末などへ影響を及ぼす。

5. 考察

計測と集計の結果、前章で示した通り、多くの利用者が使用している無線 LAN に流れているマルチキャストパケットの実態を見ることができた。測定した環境は IPv4 と IPv6 が混在し、ほぼすべての端末が IPv4 と IPv6 に対応するものの、実際の通信は IPv4 が多い。今後 IPv6 通信のみになると、IPv4 で使用されていた制御パケットが IPv6 マルチキャストパケットに置き換わることによる影響および IPv6 で増加する制御パケットによる影響が考えられる。こ

表 5 宛先別 IPv6 マルチキャストパケット内訳

Table 5 Breakdown by destination of IPv6 multicast packets

	全パケット	全ノード	全ルータ	要請ノード
平均 (個数)	361429	6966	6389	196350
最大 (個数)	928955	16028	15266	442655
最小 (個数)	27042	583	730	17232
平均流通パケット数	4.2	0.1	0.1	2.3

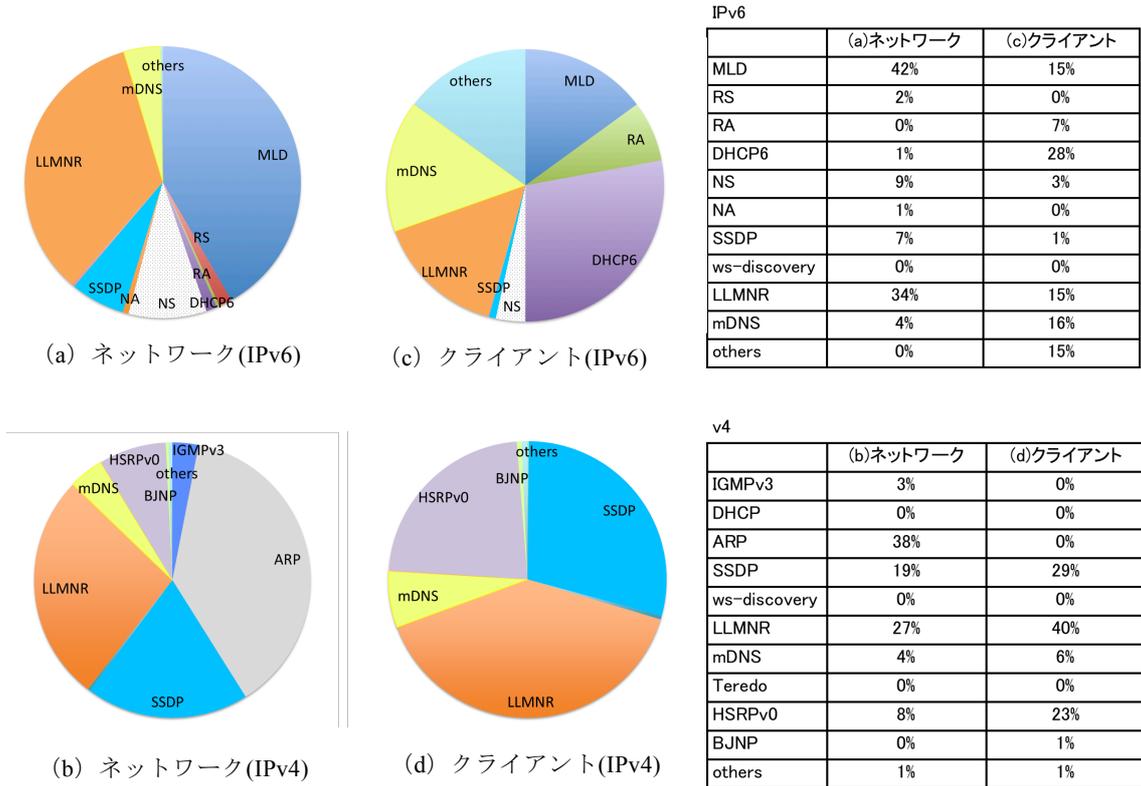


図3 VLAN #3のマルチキャストパケットの内訳
Figure 3 Breakdown by types of multicast packets in VLAN#3

れらを踏まえてマルチキャストパケットがネットワークや受信クライアントに及ぼす影響について考察する。

5.1 IPv6 マルチキャストパケットへの置換による影響

(1) LLMNR, mDNS, SSDP, ws-discovery

表4に示す通り、サブネット内の名前解決やサービス検索のパケットはデュアルスタックの端末からはIPv4とIPv6のどちらも使用されており、重複して送信されている状態である。特にLLMNRやmDNSはIPv6に置き換わったとしても現在IPv4で配信されている図3の(b)や(d)と同等のトラフィックがネットワークに流れるもので、それを大幅に上回るとは想定されない。

(2) ARPとNS/NA

表2や表3からIPv4とIPv6の平均接続端末台数やトラフィックの差は1割程度であるが、図3の(a)と(b)を比べるとARPはNSに比べかなり大きなウェイトを占めている。

これはIPv4通信の割合が高いことを示している。このことを確かめるために、測定期間の1日を抽出してVLAN#3の2014年4月21日のデータでARPやNSのMAC照会先(MACアドレスを照会する端末のIPアドレス)ごとにどれくらいのパケットが出ているかを調べるスクリプトを作成して集計した。その結果、NSパケットの照会先の88%がゲートウェイルータで、一方、ARPパケットの照会先は

ゲートウェイルータ宛が8.9%、残りはそれ以外の端末等を照会していた。現在、端末自身のIPアドレスの重複を調べるためにIPv4においてARP(Gratuitous ARP: GARP)を使う傾向があり、WindowsやMac OSではTCP/IPスタックの起動時(インタフェースアップ時)にGARPでIPアドレス重複を確認しているパケットが観測された。調査したVLAN#3においても起動時に複数個のARPを送出する端末が多数確認された。

今後、IPv6の利用に移っていく場合もアドレス解決のパケットが占める割合は現在のARP相当であり、さらに増えるものではない。ブロードキャスト宛のARPやGARPがと異なり、NSは要請ノードマルチキャストアドレス宛なので、ネットワークを流れるパケット流量は変わらないが、クライアントのICMPv6処理が必要な割合は減る可能性がある。

(3) 自動アドレス設定

IPv6ではIPv6に対応する端末がネットワークに接続すると、RAとRSによるステートレス自動設定が行われる。端末はRSでアドレス配布のルータを探し、その返答はユニキャストで受け取る。それとは独立にルータからRAが定期的に送信されているため、両者のパケットが送出されていることがわかる。今回の調査におけるRAの設定は以

下のとおりである。

```
M フラグ : OFF, 0 フラグ : OFF
Router-lifetime : 1800 秒
Router preference: high
Valid-lifetime : 2,592,000 秒
preferred-lifetime : 604,800 秒
```

今回の調査対象ネットワークでは DHCPv6 で IP アドレス配布をせず、前述のように RA の M フラグも 0 に設定しているが、内訳結果をみると 1~6% の割合で DHCPv6 サーバを検索するパケットが送出されており、DHCPv6 に対応する OS を搭載した端末が増えてきているといえる。

5.2 IPv6 で増加する制御パケットによる影響

IPv4 に比べ IPv6 で増加する制御パケットは MLD である。図 3(a) に示すとおり現状でも IPv6 において MLD の割合は大きい。MLD は機能的には IPv4 の IGMPv3 と同様であるが IGMPv3 の割合は 3% 程度である。IPv4 ではマルチキャストを用いたサービスがほとんど使用されていないため、マルチキャスト通信に対応しない設定が多く、マルチキャストグループのメンバー確認が必要な場面がないことから、IGMPv3 のメッセージが流れることは少ない。

一方、IPv6 はプラグアンドプレイのようにネットワーク接続時からマルチキャストアドレスを使用したメッセージが流れるため、ほとんどの機器でマルチキャスト通信できる設定となっており、端末やルータからグループメンバー確認のメッセージが送信されるため、MLD のメッセージも多い。しかし、今後 IPv6 ユニキャスト通信が増加したとしても、マルチキャスト通信が増加しない限り、これ以上 MLD は増加しないと考えられる。現在ほとんどの端末が既に IPv6 に対応していること並びに表 3 のトラフィックや送出平均パケット数から考えて、MLD が接続している無線 LAN ベースの機器に影響を及ぼすレベルではないと言える。

5.3 セキュリティ上の懸念点

(1) 制御用マルチキャストパケットで取得できる情報

今回の観測において、IPv6 のプラグアンドプレイの他、ローカルの名前解決やサービス検索など利用者の利便性を高めるためにユーザの意識しないところで制御用のパケットとして端末の情報がマルチキャストやブロードキャストで流れている状況が観測された。例えば、端末の名前に設置場所、利用者名などを含んだ文字列を使用しているものがあつた。利用者はそれを他の端末で観測されることを想定していないが、不正に利用される可能性も含んでいる。

(2) 不正パケット

NDP による自動アドレス割当において、不正 RA は意図的（不正利用のため）に送信される以外に、端末の設定不備によって送信されることも課題となっていたが[11]、今回の調査対象ネットワークでは調査期間中には不正 RA を送信している端末はなかった。

ただし、RFC で定義されず、IANA で割り当てを受けていないマルチキャストアドレス宛のパケットが一部の VLAN で流れていた。具体的にはパケットの種類は MLD メッセージと解釈されるが、宛先は ff02::fb (mDNS のアドレス) となっているパケットである。以下にその例を示す。

[例]

```
2014-03-16 01:03:12.921900 (端末の MAC アドレス) >
33:33:00:00:00:fb, ethertype IPv6 (0x86dd), length 86:
fe80::523d:e5ff:fe1a:1b40 > ff02::fb: HBH ICMP6,
multicast listener reportmax resp delay: 0 addr:
ff02::fb, length 24
```

調査したところ、NIC のチップ (Intel i217-LM) のドライバに問題があり、該当する NIC からこのパケットが送出されていることがわかった。既に問題が修正されたドライバが出ており、今後問題が継続するわけではない。

6. おわりに

本論文では日常的に使用されている大規模無線 LAN において、IPv6 のマルチキャストパケットがどの位流れているか、その内訳はどのようなものかに関する調査について述べた。調査結果から、現在、問題視されている近隣探索プロトコルのパケット (NS, NA, RS, RA) は IPv4 においても同等の機能を実現するためにマルチキャストやブロードキャストのパケットが送出されていることを示し、IPv6 が本格的に普及した場合でも大きな問題にならないという見通しを示した。ただし、IPv6 ではマルチキャストが基本機能として含まれているため、マルチキャストを利用する新たなアプリケーションやサービスが普及することも考えられる。その場合、マルチキャストグループメンバー確認のパケット (MLD) が大幅に増加する可能性があることには注意が必要である。

こうした制御用のマルチキャストパケットは定期、不定期に送出され、送出頻度によっては端末への影響は大きくなる可能性があるが、今回のような大規模な無線 LAN においても、現状のような利用形態であれば、無線 LAN ベースの機器や無線 LAN に支障となるような問題は生じていない。もちろん、小型、省電力型の特殊な端末への影響を与える可能性はあるが、そのような場合は自動アドレス設定を使わないなど制御用のマルチキャストパケットを削減する運用などで問題を回避するべきであろう。

謝辞 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費助成金 2430027, 24500083 の支援を受けて実施しました。

参考文献

- 1) Arch Rock, P. Thubert, "Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks," IETF, RFC6282, Sept. 2011.
- 2) T. Winter, Ed., P. Thubert, Ed., A. Brandt, J. Hui, R. Kelsey, P. Levis, K. Pister, R. Struik, JP. Vasseur, R. Alexander, "RPL: IPv6 Routing

Protocol for Low-Power and Lossy Networks,” IETF, RFC6550, Mar.2012.

3) Yuta Morisawa, Yoshihiro Kawahara, Tohru Asami, “Power-Saving Mechanism for IEEE 802.11 Clients in a Multicast Multimedia Streaming,” 2014 IEEE 38th Annual International Computers, Software and Applications Conference, pp.289-298, Jul. 2014.

4) IPv6 導入時に発生する問題と対策, NTT 情報流通プラットフォーム研究所ネットワークセキュリティプロジェクト, Sep. 2011.
<http://wiki.nttv6.net/cgi-bin/wiki.cgi> (2014/09/11 参照).

5) “IPv6 over Low power WPAN,” IETF,
<http://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/> (2014/09/11 参照).

6) “IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes (6lo),” IETF,
<http://datatracker.ietf.org/wg/6lo/> (2014/09/11 参照).

P.Levis, T.H. Clausen, J. Hui, O. Gnawali, and J.Ko, “The trickle algorithm,” IETF, RFC6206, Mar. 2011.

7) George Oikonomou, Iain Philips, “Stateless Multicast Forwarding with RPL in 6lowPAN Sensor Networks,” Proc. of 8th IEEE International Workshop on Sensor Networks and Systems for Pervasive Computing 2012. pp. 272-277, Mar. 2012.

8) Antonio J. Jara, Pedro Martinez-Julia and Antonio Skarmeta, “Light-weight multicast DNS and DNS-SD(ImpDNS-SD): IPv6-based resource and service discovery for the Web of Things,” Proc. of 2012 6th IEEE International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, pp. 731-238, July. 2012.

9) Erik Nordmark and Eric Vyncke, “ND on wireless links and/or with sleeping nodes: Problems,” Proc. of IETF89, Mar.2014.
<http://www.ietf.org/proceedings/89/slides/slides-89-6man-9.pdf>

10) IPv6 Multicast Address Space Registry, June. 17, 2014.
<http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/ipv6-multicast-addresses.xhtml> (2014/09/11 参照).

11) 北口善明, “IPv6 におけるセキュリティの課題の分析,” 信学技報, IA2012-05, pp.25-30, June 2012.