

放送型マルチキャストサービスを対象とした大規模試験装置の評価

渡里 雅史[†] 田上 敦士[†]
長谷川 輝之[†] 阿野 茂浩[†]

IP マルチキャストを対象とした試験環境の構築には、多数のマルチキャストクライアントが必要である。専用ハードウェアによる試験装置では、様々なネットワーク・端末の模擬が可能であるが、クライアント数に応じた試験通信ポートを装備する必要があるため、高コストとなる。一方、PC ベースの試験装置では、Network Interface Card の搭載数の制限から複数の装置が必要となり効率的な試験は実現不可能である。本稿では、評価試験を安価にかつ効率的に行う方法として、1 つの通信ポートを持つ汎用 PC と IEEE 802.1Q (Tagged VLAN) 技術に対応した安価なレイヤ 2 スイッチを用いて、多数のマルチキャストクライアントをエミュレーションする方式を提案する。また、提案方式を用いたネットワーク装置のフルレート負荷評価検証ならびに任意のクライアントのトラフィックモニタリング精度について報告する。

Evaluation on Scalable Client Emulation Method for IP Multicast Services

MASAFUMI WATARI,[†] ATSUSHI TAGAMI,[†] TERUYUKI HASEGAWA[†]
and SHIGEHIRO ANO[†]

Tests intended for IP multicast based broadcasting services require a set of clients as receivers of the multicast traffic. Arranging these clients based on PC terminals is not efficient as it requires to configure and operate multiple number of PCs simultaneously. On the other hand, hardware testers offer simulation suites to fulfill various clients' behavior, however to equip a dedicated test interface per client is extremely expensive. This paper proposes a low cost method to emulate multiple multicast clients efficiently using a IEEE 802.1Q (Tagged VLAN) enabled layer 2 switch and a PC with a single ethernet port. We also describe its usage for evaluating layer 2 and 3 nodes and its ability to monitor specific traffic destined to arbitrary clients.

1. はじめに

インターネットのブロードバンド化にともない、IP マルチキャストを用いた放送型サービスが普及しつつある。商用サービスはすでに各社において展開されており^{1)~3)}、今後は FTTH の普及につれて、より高画質のコンテンツを高品質に配信することが期待されている。また、総務省では「通信と放送の融合」を加速するため、IP マルチキャストを用いた地上デジタル放送の再送信を検討しており⁴⁾、さらなる高信頼化・高品質化が IP 配信インフラに求められる。一方で、IP マルチキャストは、パケットの複製などユニキャストとは異なる処理をとまうことから、使用するネットワーク装置によってトラフィックの転送処理性能が著し

く異なることも想定される。このため、サービス展開に先立ち、実環境に近い形態を用いたネットワーク装置の事前検証が必要不可欠となる。

このような事前検証を目的とした試験環境の構築に際しては、多数のマルチキャストクライアントを用意する必要がある。PC ベースで試験クライアントを構成する場合は、各 PC に搭載可能な Network Interface Card (NIC) の数に限りがあるため、複数台の PC を用意する必要があり効率的な試験は行えない。特に、同時にマルチキャスト受信を開始するなど制御パケットを同期させた高負荷試験の実現は困難である。これに対して、専用ハードウェアによる試験装置では、様々なネットワーク・端末の模擬をはじめ、高負荷に対応した試験内容が用意されている⁵⁾。しかしながら、専用試験装置ではマルチキャストクライアント数に応じた試験通信ポートを装備する必要があるため、高コストとなり問題となる。このため、安価でかつ効率的

[†] 株式会社 KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories Inc.

なネットワーク装置の試験手法確立が求められている。

多数のクライアントを用いた負荷試験を行う場合、ユニキャストとマルチキャストでは、各クライアントに対する要求条件が異なる。前者では、各クライアントが独立にデータトラフィックを送受信し、さらに TCP を用いる場合は送達確認 (ACK) を返送することが求められる。すなわち、各クライアントではトラフィックの受信処理にともない応答処理が必要となる。一方で後者においては、各クライアントでマルチキャストトラフィックの受信に必要な IGMP などの制御パケットのみを処理すればよく、必ずしも全受信トラフィックを処理する必要はない。また、同一パケットの複製転送が中心であることから、性能評価についても任意の試験ポートを選択してモニタリングできれば十分である。

そこで、筆者らは、上記の要求条件をふまつつネットワーク装置の評価用試験を安価にかつ効率的に実現するために、1 つの通信ポートを持つ汎用 PC と IEEE 802.1Q (Tagged VLAN)⁶⁾ 技術に対応した安価なレイヤ 2 スイッチ (L2 スイッチ) を用いて、多数のマルチキャストクライアントをエミュレーションする方式を提案した⁷⁾。さらに提案方式を用いて、22 のギガビットイーサネットポートを持つ L2/L3 のネットワーク装置に対応するフルレートの通信評価試験が可能であること、また、各マルチキャストクライアント宛てのトラフィックが高精度でモニタリング可能であることを検証した。本稿では、提案方式の詳細ならびにテストベッドを用いた評価について述べる。

本稿の構成は以下のとおりである。2 章で IP マルチキャストの概要について説明し、3 章でネットワーク装置の評価用試験を実現する大規模試験装置について述べる。4 章で提案方式を用いた多数クライアントエミュレーションの動作検証ならびに提案方式を用いたネットワーク装置の転送処理性能評価の結果を示し、5 章で有用性に関する考察を行う。最後に 6 章で結論をまとめる。

2. IP マルチキャスト

多数のクライアントへの同時配信が必要な放送型サービスでは、IP マルチキャストを用いることで、IP ユニキャストに比べてネットワーク全体に流れるトラフィック量を大幅に削減した効率的な配信が可能となる (図 1)。IP マルチキャストは、マルチキャストネットワークを構成する各 L3 ルータにおいて、マルチキャスト経路制御プロトコルを用いて配信木を管理することで、トラフィックをフラディングさせることなくコンテンツ配信を実現する。マルチキャストクライアント

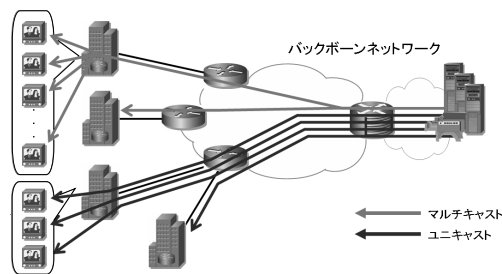


図 1 IP マルチキャスト概要
Fig. 1 Overview of IP multicast.

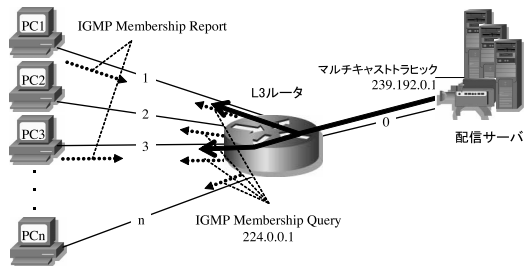


図 2 IGMP 動作概要
Fig. 2 Overview of IGMP.

は Internet Group Management Protocol (IGMP)⁸⁾ を用いてマルチキャストグループへの参加・離脱を行い、L3 ルータは、構築された配信木に従ってコンテンツを必要なサブネットに対して複製・転送する。

図 2 に IGMP の動作概要を示す。L3 ルータは、ネットワーク内の全クライアントに対して、IGMP Membership Query を定期的に送信する。配信サーバからのマルチキャストによるコンテンツ受信を希望するクライアント (PC1 と PC3) は IGMP Membership Report を送信する。これを受信した L3 ルータは、0 番ポートからのマルチキャストトラフィックを PC1 と PC3 が接続する 1 番と 3 番ポートに複製して転送する。新たに IGMP Membership Report を受信した場合は、対象のポート用にトラフィックを複製することで、多数のクライアントへの同時配信を可能にしている。

以上は、L3 における IP マルチキャストの動作概要であるが、近年広く普及している L2 スイッチにおいても IGMP スヌーピングと呼ばれる機能を用いて、同様にマルチキャストトラフィックのフラディングを抑制している。IGMP スヌーピングに対応した L2 スイッチは、各ポートにおいて IGMP Membership Query や IGMP Membership Report の転送を監視することで、同一サブネット内の出力すべきポートを把握し、当該ポートにのみマルチキャストフレームを複製して転送する。

このように、IP マルチキャストでは、L2 スイッ

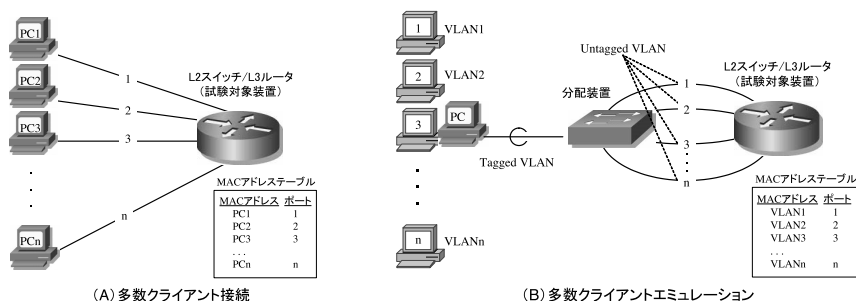


図 3 提案方式に基づく接続構成

Fig. 3 Overview of proposed multiple client emulation.

チ/L3 ルータにおいてマルチキャストトラフィックのフラディングを抑制している。一方、クライアント数に応じてより多くの複製処理が必要となるため、L2 スイッチ/L3 ルータの転送処理性能によっては、これらの装置がサービス提供のボトルネックとなることも想定される。このため、実運用に先立ち、事前に L2 スイッチ/L3 ルータの性能を把握しておくことが重要である。

3. 大規模試験装置

L2 スイッチ/L3 ルータを対象とした転送処理性能試験を安価にかつ効率的に行う方法として、汎用の PC と Tagged VLAN 技術を用いて、多数のマルチキャストクライアントをエミュレーションする方式について提案する。設計方針は以下の 3 点である。

- 1 つの通信ポートで複数のクライアントの通信ポートをエミュレーションする。
- L2 スイッチ/L3 ルータ両機器を対象とした試験手法を実現する。
- マルチキャストトラフィックのモニタリングをクライアント単位で実現可能とする。

3.1 VLAN を用いた多端末エミュレーション

試験対象の L2 スイッチ/L3 ルータ（以降、試験対象装置と呼ぶ）に対して多数のクライアント接続を実現する方法として、試験対象装置のポート数に相当した通信インタフェースを 1 台の PC で用意することが考えられるが、汎用の PC では搭載できる NIC の数に限りがあるため、効率的な試験を行うことはできない。そこで、筆者らは、Tagged VLAN 技術に対応した安価な L2 スイッチ（以降、分配装置と呼ぶ）を用いて、多数のクライアント接続をエミュレーションする方式を提案する。図 3 に多数のクライアントを接続する構成 (A) と、提案方式に基づく汎用 PC と分配装置を用いた接続構成 (B) を示す。

Tagged VLAN は、スイッチなどで構成される物理

LAN セグメント内に複数の仮想 LAN (VLAN) セグメントを構築する技術である。本技術に対応したスイッチでは、各通信ポートは単一あるいは複数の VLAN に所属できる。複数の VLAN に所属する通信ポートは、Tagged ポートと呼ばれ、本ポートで送受信するすべてのイーサネットフレームに対して Tag と呼ばれる識別情報 (VLAN ID) を付加し、所属する VLAN を識別している。一方、通信ポートが単一 VLAN にのみ属する通信ポートは、Untagged ポートと呼ばれ、通常の (tag 情報のない) イーサネットフレームを送受信している。図 3 (B) は Tagged VLAN の仕様を応用した構成であり、分配装置では、PC 側の通信ポートを Tagged ポートとして、試験対象装置側の複数の通信ポートを夫々異なる VLAN に属する Untagged ポートとして設定している。本構成では、PC と分配装置において適切な VLAN ID を用いることで、通常のイーサネットフレームを分配装置の所望の通信ポートから出力できる。同様に、分配装置の任意の通信ポートから入力された通常のイーサネットフレームには対応する VLAN ID が付与され、PC の VLAN 仮想インタフェースで受信できる。すなわち、ポート n で入出力されたフレームを VLAN n の仮想インタフェースに対応付けることにより、ポート単位でクライアントのエミュレーションが可能となる。また、試験対象装置とは通常のイーサネットフレームで通信を行うため、多数のクライアントを試験対象装置に接続した図 3 (A) に相当する構成が実現できる。

3.2 L2 スイッチへの対応

通常、各 VLAN 仮想インタフェースに割り当てられる MAC アドレスは物理インタフェースと同一の MAC アドレスであるため、試験対象装置が L2 スイッチである場合には、図 3 (B) に示すような分配装置と試験対象装置を複数のリンクで接続する構成が問題となる。L2 スイッチは、転送されるイーサネットフレームからクライアントの接続先ポートを学習し、そ

の内容を MAC アドレステーブルに保持している。通常、各クライアントのインタフェースは異なる MAC アドレスであり、ポートごとに異なる MAC アドレスのエントリが学習される。同一 MAC アドレスが複数のポートで学習された場合は、該当するエントリはつねに上書きされ、MAC アドレステーブルは破綻する。

したがって、L2 スイッチの試験対象装置に対して多数のクライアントを安定してエミュレーションするためには、各ポートに異なるクライアントがあたかも接続しているかのように、異なる MAC アドレスを学習させる必要がある。そこで、各クライアントに相当する VLAN 仮想インタフェースにはそれぞれ異なる MAC アドレスを設定する。L2 スイッチの MAC アドレステーブルは、VLAN 仮想インタフェースごとに設定された MAC アドレスを学習するため、複数の異なるクライアントが接続されている場合と同様の MAC アドレステーブルを構成することができる。

また、IEEE 802.1D (STP: Spanning Tree Protocol)⁹⁾ を動作させたまま、分配装置と L2 スイッチを複数のリンクで接続した場合、ループ回避のため有効なリンクが 1 つに限定され、他のリンクは切断状態となってしまう。そのため、分配装置では STP 機能を無効にするとともに BPDU (Bridge Protocol Data Unit) 制御フレームをフィルタし、L2 スイッチの STP 動作有無にかかわらず複数のリンク接続を保持できるようにする。

以上により、L2 スイッチの試験対象装置においても多数のクライアントをエミュレーション可能となる。

3.3 トラフィックモニタリング

IP マルチキャストでは、ネットワーク装置においてトラフィックの複製・転送処理がともなうため、各通信ポートから出力されるトラフィック精度は、使用するネットワーク装置によって著しく異なることが想定される。そのため、各通信ポートから出力される各クライアント宛てのトラフィックは、それぞれモニタリングできる必要がある。

提案方式を用いて、前述したエミュレーションと並行して任意のクライアント宛てのトラフィックをモニタリングする場合は、PC 側において対象の VLAN 仮想インタフェースでパケットをキャプチャ可能である。しかしながら、多数のクライアントをエミュレーションする場合は、多重化する Tagged VLAN のリンクに各クライアント宛てのトラフィックが集中するため、リンクがあふれることも考えられる。そこで、必要に応じて分配装置には IGMP パケットのみを許可するフィルタを導入し、エミュレーションに不要なパケッ

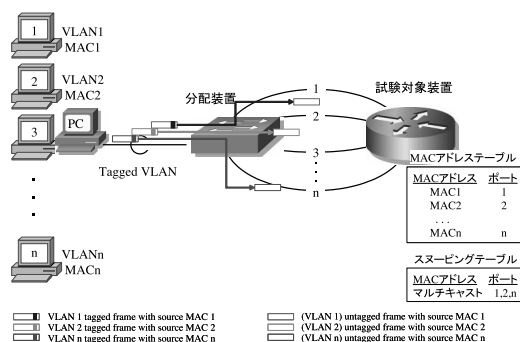


図 4 Tagged VLAN を用いたフレームの転送経路

Fig. 4 Transfer route of each Tagged VLAN frame.

トを遮断することとする。この場合も以下の手順によりクライアント単位のモニタリングは実現可能である。

- (1) 分配装置にミラーポートを作成し、パケットキャプチャ用の別のインタフェースまたは機器に接続する。
- (2) 分配装置においてモニタリングするクライアントに対応するポートとミラーポートの対応付けを行う。

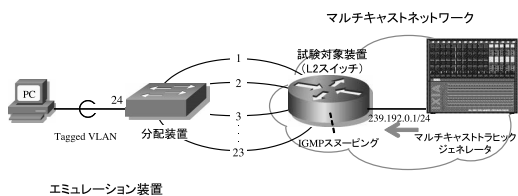
3.4 動作概要例

3.1 節～3.3 節の設計に基づく動作概要を説明する。各マルチキャストクライアントに対応したイーサネットフレームの転送経路を図 4 に示す。

PC の VLAN 仮想インタフェースから送信される各イーサネットフレームには、それぞれに tag 情報が付加される。分配装置内では、各 tag 情報に基づきスイッチング処理を行い、対象のポートからイーサネットフレームを出力する。出力された本フレームは、tag 情報が外されたイーサネットフレームとなるため、試験対象装置では通常の IGMP クエリとして認識される。試験対象装置が L2 スイッチであり、IGMP スヌーピングに対応している場合は、マルチキャストアドレスの転送先ポートがスヌーピングテーブルに追加される。

4. 評価

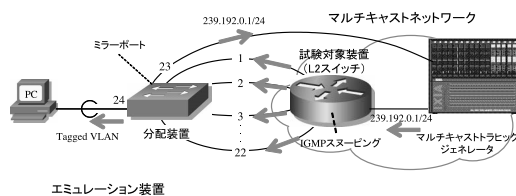
提案エミュレーション方式の評価を行うため、テストベッドを構築しエミュレーションの動作検証を行う。また、マルチキャストクライアント数に応じた試験対象装置の転送処理性能を測定するとともに、クライアント単位に対応したモニタリングの動作検証を行う。さらに、比較評価として、実際に多数のクライアントを用いた場合における試験対象装置の転送処理性能を測定する。以下、実験構成について説明し、評価結果をまとめる。



エミュレーション装置

図 5 多端末エミュレーションの実験構成

Fig. 5 Client emulation conformance test.



エミュレーション装置

図 6 試験対象装置性能評価の実験構成

Fig. 6 SUT performance test.

表 1 実験環境における分配装置の設定
Table 1 Distribute switch configuration.

ポート番号	VLAN の設定	接続先
1-23	Untagged VLAN 1-23	試験対象装置
24	1-23 の Tagged VLAN	PC

4.1 実験構成

評価で用いた実験構成および分配装置の設定詳細をそれぞれ図 5 と表 1 に示す．分配装置として 24 のギガビットイーサネットポートを持つ L2 スイッチ (Cisco Catalyst 2970¹⁰⁾) を用意し，Linux の動作する汎用 PC 1 台と組み合わせてエミュレーション装置を構成した．各機器において VLAN を利用するため，汎用 PC では Linux OS に搭載された Tagged VLAN 機能を有効にするとともに，物理インタフェースに対して，分配装置のポート数相当の VLAN 仮想インタフェースを設定した．また，各 VLAN 仮想インタフェースごとに異なる MAC アドレスと同一サブネット内の異なる IP アドレスを割り当てた．分配装置側においては，1-23 番ポートを Untagged VLAN として設定し，各ポートごとに PC と同じ VLAN ID を割り当てた．また，24 番ポートは Tagged VLAN として設定し，PC のギガビットイーサネットインタフェースと接続した．

マルチキャストクライアントエミュレーションの検証を行うため，マルチキャストトラフィックジェネレータ (IXIA)¹¹⁾ を用意し，単一のマルチキャストグループアドレスに対してトラフィックを配信した．マルチキャストトラフィックジェネレータは，試験対象装置に接続した．試験対象装置は L2 スイッチとし，IGMP スヌーピングを有効にすることで，各ポートにおいて IGMPv2 Membership Report メッセージを検出するまでトラフィックを転送しない構成とするとともに，その他のポートを分配装置の 1-23 番ポートに接続した．

4.2 エミュレーション動作検証

多数のマルチキャストクライアントのエミュレーション動作を検証するため，図 5 の実験構成において，PC の任意の VLAN 仮想インタフェースからマルチキャストトラフィックジェネレータが配信するマルチキャスト

アドレスに対して IGMPv2 Membership Report を送信した．その結果，試験対象装置において IGMP スヌーピングが動作し，対象ポートからトラフィックが流れ始め，PC の VLAN 仮想インタフェースで受信した．また，他の VLAN 仮想インタフェースには転送されていないことを確認した．IGMP スヌーピングの動作は，試験対象装置においてスヌーピングテーブルを表示するコマンドを実行し，テーブルへの該当ポート追加を確認することで検証した．

同様の手順をすべての VLAN 仮想インタフェースで順次実行することで，試験対象装置のポート数に相当したマルチキャストクライアントのエミュレーション動作を確認した．実験環境で用いた 24 の通信ポートを有する分配装置では，最大 23 クライアントをエミュレーション可能であった．

4.3 提案方式を用いた試験対象装置の性能評価

提案方式は多数のマルチキャストクライアントのエミュレーションが可能であるため，本方式を用いることで，マルチキャストクライアント数に応じた試験対象装置の性能評価試験が実施可能である．そこで，前述のエミュレーション環境下において，マルチキャストトラフィックを受信するクライアントを順次増やした場合の試験対象装置の転送性能を検証した．

試験対象装置の転送処理性能評価は，マルチキャストトラフィックジェネレータのギガビットイーサネットポートからフルレート (1,200 バイトフレーム，102,459.02 pps) で送信されるマルチキャストパケット数と，実際に転送処理されたマルチキャストパケット数を比較することで行った．正常に転送されたマルチキャストパケット数をカウントするため，表 1 における分配装置の 23 番ポートを 1 番ポートのミラーポートとして設定し，マルチキャストトラフィックジェネレータの別ポートに接続した (図 6)．これにより，マルチキャストトラフィックジェネレータから送信されるマルチキャストパケットは，試験対象装置で転送処理された後，再び受信可能となり，転送処理されたパケット数のカウントが可能となる．なお，エミュレーションするマルチキャストクライアント数に応じて，

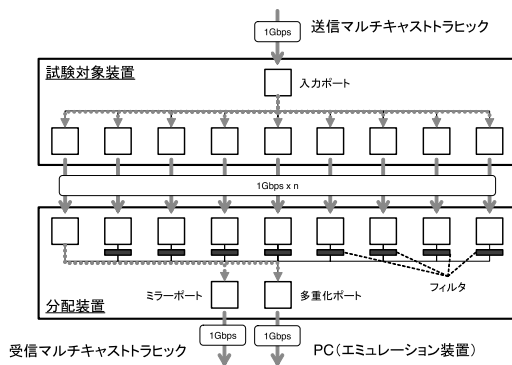


図 7 分配装置におけるフィルタの設定

Fig. 7 Configuration for traffic filtering.

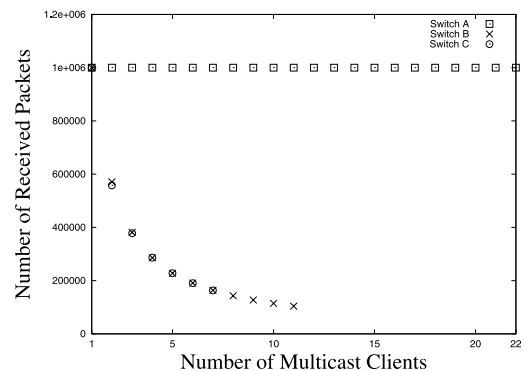


図 8 マルチキャストトラヒックの転送処理性能

Fig. 8 Multicast traffic switching performance.

表 2 試験対象装置のスペック

Table 2 SUT hardware specification.

	スイッチ A	スイッチ B	スイッチ C
ポート数	GbE×24	GbE×12	GbE×8

多重化する分配装置の Tagged VLAN リンク (24 番ポート) があふれるため、分配装置の 2-22 番ポートには IGMP パケットのみを許可するフィルタを導入した (図 7)。

試験対象装置は、異なるベンダの L2 スイッチを 3 種類 (以降、スイッチ A、スイッチ B、スイッチ C とする) 用意しそれぞれで検証した。各機器のスペックを表 2 に示す。

図 8 に各試験対象装置における、マルチキャストクライアント数に応じたマルチキャストトラヒックの転送処理性能を示す。横軸はマルチキャストクライアント数であり、縦軸はマルチキャストトラヒックジェネレータから送信された 100 万パケットに対して、再び受信できたパケット数である。スイッチ A では、マルチキャストクライアント数に関係なくすべてのパケットを転送できており、100%の転送処理性能であった。スイッチ B およびスイッチ C では、2 クライアントに対してそれぞれ 57%と 56%の転送処理性能であり、7 クライアントに対してはともに 16%の転送処理性能と、クライアント数に応じてほぼ同様に転送処理性能が低下した。通信ポート数を多く有したスイッチ B は、11 クライアントに対して 10%の転送処理性能であった。

以上の結果より、試験対象装置の転送処理性能を検証する手法として、提案手法が有効であることを確認した。あわせて、スイッチ A の結果より、提案方式はフルレートの高負荷状態においても任意のクライアント宛てのトラヒックをパケット単位でモニタリングで

きることを確認した。また、分配装置を介してすべてのパケットを転送できたスイッチ A の結果より、分配装置の転送処理性能がボトルネックとならないことも検証できた。

4.4 複数クライアント接続時における比較評価

提案方式におけるクライアントエミュレーションが、実際に多数のクライアントが接続した場合と同じ状況を模擬できているかどうかを検証するため、複数の PC を接続して図 6 と同じ実験を行った。クライアントには同一機種・スペックの PC を 5 台用意し、各 PC の通信ポートをそれぞれ試験対象装置の通信ポートに接続した。

各試験対象装置を用いた試験の結果、マルチキャストクライアント数に対する受信パケット数は、提案方式で得られた図 8 の結果と完全に一致した。すなわち、提案方式は、実際に多数のクライアントを接続した場合と同じ試験が可能であることを確認できた。また、受信パケット数は、全クライアントで共通であったことから、任意のポートを選択したトラヒックモニタリング手法が有効であることも確認した。

また、提案方式を用いてより多数のクライアント接続を模擬した場合と、通常のクライアント接続との差異を比較検証するため、実際に接続したクライアントの CPU 稼働率と、提案方式における PC の CPU 稼働率を比較した (図 9)。通常のクライアントにおける平均 CPU 稼働率は 19.54%であったのに対して、提案方式を用いたスイッチ A と PC による 23 台のクライアントエミュレーションでは 19.71%であった。多数クライアント接続との差異は、エミュレーションクライアントごとに送受信するマルチキャスト制御メッセージのみであるため、提案方式がクライアント数にかかわらず高い精度でエミュレーション可能であることを確認した。

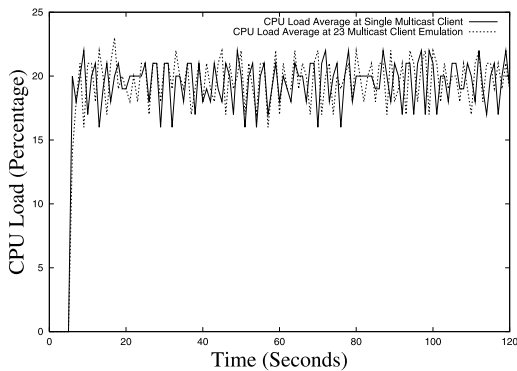


図 9 CPU 稼働率の比較
Fig.9 Comparison of CPU load average.

5. 考 察

本章では、提案手法の有効性を検証する。まず、従来手法と比較を行うとともに、提案手法におけるオーバヘッドを明確化する。また、提案手法の拡張性として、大規模化への対応について述べる。

5.1 従来手法との比較

従来のクライアントエミュレーションは、バックボーンネットワークに近い試験環境の構築が目的であり、その手法の多くは、1つまたは少数の試験通信ポートを用いて、複数のクライアントの振舞いを実現するものであった。すでに専用の試験装置では、1つの試験通信ポートを用いて数千台規模のクライアントのエミュレーションが可能であり、各クライアントに対応したトラフィック特性をきめ細かく指定できる試験内容が用意されている⁵⁾。

一方、提案方式は、1つの試験通信ポートを用いた複数のクライアントのエミュレーションに加え、そのクライアントの物理的な通信ポートをエミュレーション可能としている点で異なる。IP マルチキャストのような、L2/L3 ネットワーク装置の複数の通信ポートを対象とする性能評価を行う場合は、相当数の試験通信ポートが必要となり、従来の手法では対応できていない。

また、様々なネットワークおよび装置の性能評価試験を可能とするベンチマークシステム^{12),13)}は、測定対象となる通信ポートに比例して、多数の測定用 PC 端末を用意する必要がある。提案方式では、複数の PC 端末を用意する必要がないため、そのための手間や設置・設定コストを大幅に削減可能となり、また、高負荷試験などで必要となる全クライアントの同期制御が可能となるため、効率的な試験が実現できる。

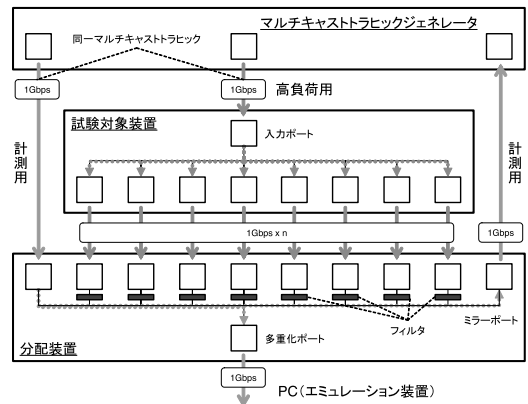


図 10 モニタリング精度評価の実験構成
Fig.10 Configuration for traffic monitoring.

5.2 提案方式におけるモニタリング精度

映像や音声などのコンテンツを扱う放送型サービスでは、配信データの遅延またはジッタはサービス品質を大きく左右するため、各クライアント宛でのトラフィック品質を高い精度でモニタリングできる必要がある。提案手法におけるクライアントエミュレーションは、PC 単体ではなく分配装置と組み合わせる装置を構成しているため、モニタリング精度については、分配装置の導入により発生する遅延またはジッタを考慮する必要がある。そこで、従来手法との比較として、分配装置のオーバヘッドを算出し、提案手法におけるモニタリング精度を検証した。検証のための実験構成を図 10 に示す。

モニタリング精度の検証は、分配装置内における配信データの遅延およびジッタを計測することで行った。計測は、分配装置における転送処理時間のみを対象とするため、試験対象装置を経由しない接続構成で、タイムスタンプ情報などを埋め込んだフレームを計測装置で送受信することで行った。また、高負荷状態における分配装置の転送処理精度と比較するため、試験対象装置を用いて分配装置の全ポートにフルレートのトラフィックを入力した場合の評価も行った。

実験は、マルチキャストトラフィックジェネレータからのマルチキャストトラフィックをフルレート(1,200 バイトフレーム, 102,459.02 pps)で生成し、計測用マルチキャストトラフィックを用いてフレーム単位の遅延およびジッタの計測を行った。表 3 に負荷の有無それぞれの場合における測定結果をまとめる。

表 3 に示すように、分配装置におけるマルチキャストフレームの転送処理時間は、負荷の有無にかかわらず、平均で約 18 μ sec 前後であった。また、マルチキャストクライアントエミュレーションを有効にし、分配

表 3 分配装置の遅延・ジッタ計測結果
Table 3 Delay and jitter with distribute switch.

フルレート負荷	最小	最大	平均
無し	17.84 μ sec	18.18 μ sec	18.07 μ sec
有り	17.50 μ sec	19.46 μ sec	18.47 μ sec

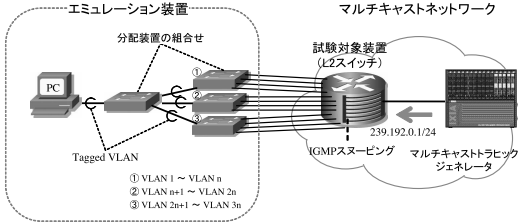


図 11 分配装置の複数接続

Fig. 11 Applicability for testing larger SUTs.

装置に高負荷をかけた場合においても、転送処理時間の最小値と最大値の差は 2μ sec であった。IP 放送を対象とした評価では、ジッタについて数 $10 \sim 100 \mu$ sec 程度の精度が必要となるが¹⁴⁾、提案手法を用いた場合もより高い精度は実現可能である。

5.3 大規模化への拡張性

本方式は、複数の分配装置を組み合わせることで、1 台の汎用 PC を用いてより多くのクライアントをエミュレーションすることも可能である (図 11)。これにより、試験対象装置のポート数が 1 台の分配装置のポート数よりも多い場合においても、複数の分配装置を用いることで必要ポート数分のクライアントをエミュレーション可能となる。4.2 節では、24 ポートのスイッチを用いて最大 23 クライアントのエミュレーションを実現したが、たとえば図 11 に示すように、4 台のスイッチを組み合わせることで、69 クライアント ($n=23$ の場合) をエミュレーションすることが可能となる。VLAN ID が 12 bit であり、理論上は約 4 千台のクライアントに対応すること、また、4.4 節で得たエミュレーション PC における平均 CPU 稼働率の結果と 5.2 節における遅延・ジッタの計測結果から、より多数の分配装置を組み合わせることで、数百台規模のクライアントエミュレーションは十分可能である。

ただし、フルレートの試験を行う場合は 3.3 節で述べたとおり、多重化する Tagged VLAN のリンクがあふれるため、適切な箇所にフィルタを導入する必要がある。

6. まとめ

本稿では、1 つの通信ポートを持つ汎用 PC と Tagged VLAN 技術に対応した安価な L2 スイッチを

分配装置として用いることにより、多数のマルチキャストクライアントをエミュレーションする方式を提案した。大規模試験環境の構築に際しては、多数のクライアントを用意する必要があるが、専用ハードウェアによる試験装置は高価であることや、PC ベースの試験装置では NIC の搭載数に限りがあること、また、複数クライアントの同期制御が困難であることが問題であった。提案方式では、Tagged VLAN 技術を用いて分配装置の出力ポートを制御することにより、1 台の汎用 PC で実現した。また、試験対象装置の MAC アドレステーブルの頻繁な書き換えを防止することで、L3 ルータだけでなく L2 スイッチの試験にも対応した。

実験環境を用いて、提案方式が多数のクライアントを安定してエミュレーション可能であることを確認した。提案方式を用いて、22 のギガビットイーサネットポートを持つ試験対象装置に対応した、フルレートのマルチキャスト通信試験評価が可能であることを示した。また、任意のクライアント宛でのトラフィックが高精度でモニタリングできることを確認した。さらに、提案方式は多数の分配装置を組み合わせることで、より多くのポート数を搭載する試験対象装置にも対応可能である。これらにより、より安価にかつ効率的に大規模なエミュレーション環境が構築可能となった。

謝辞 日頃よりご指導いただき KDDI 研究所秋葉所長に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) MOVIE SPLASH. <http://www.kddi.com/>
- 2) 4th MEDIA. <http://www.plala.or.jp/>
- 3) BBTv. <http://www.bbtv.com/>
- 4) 地上デジタル放送の利活用の在り方と普及に向けて行政の果たすべき役割, 総務省情報通信審議会, 平成 16 年諮問第 8 号第 3 次中間答申 (Aug. 2006).
- 5) Agilent Technologies. <http://www.agilent.com/>
- 6) Virtual Bridged Local Area Networks, IEEE std 802.1Q, 2003 Edition, ISBN 0-7381-3663-8 (2003).
- 7) 渡里雅史, 田上敦士, 長谷川輝之, 阿野茂浩: 放送型マルチキャストサービスを対象とした大規模試験装置の検討, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2006) シンポジウム, pp.125-128 (2006).
- 8) Fenner, W.: Internet Group Management Protocol, Version 2, RFC 2236 (1997).
- 9) Media Access Control Bridges, IEEE Std 802.1D, ISBN 0-7381-3982-3 (2004).
- 10) Cisco Catalyst 2970 シリーズスイッチデータ

シート, Cisco Systems (2003).

- 11) IXIA. <http://www.ixiacom.com/>
- 12) Murayama, Y. and Yamaguchi, S.: DBS: A Powerful Tool for TCP Performance Evaluations, *SPIE Proc. Performance and Control of Network Systems* (1997).
- 13) Netperf, The Public Netperf Homepage. <http://www.netperf.org/>
- 14) Kamimura, K., Hasegawa, T., Hoshino, H., Ano, S., and Hasegawa, T.: A Practical Multicast Transmission Control Method for Multi-channel HDTV IP Broadcasting System, *The 6th Pacific-Rim Conference on Multimedia* (2005).

(平成 18 年 10 月 30 日受付)

(平成 19 年 4 月 6 日採録)



渡里 雅史

平成 15 年慶應義塾大学環境情報学部環境情報学科卒業。平成 17 年同大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了。同年 KDDI (株) 入社。以来、研究所にて、IP ネットワーク制御の研究に従事。現在 (株) KDDI 研究所 IP 品質制御システムグループ研究員。



田上 敦士 (正会員)

平成 7 年九州大学工学部情報工学科退学。平成 9 年同大学大学院システム情報科学研究科修士課程修了。同年 KDDI (株) 入社。以来、研究所にて、高速通信プロトコル、オーパレイネットワークに関する研究に従事。現在 (株) KDDI 研究所 IP 品質制御システムグループ研究主査。



長谷川輝之 (正会員)

平成 3 年京都大学工学部電気工学第二学科卒業。平成 5 年同大学大学院修士課程修了。同年 KDDI (株) 入社。以来、研究所にて、高速通信プロトコル、次世代インターネットの研究に従事。現在 (株) KDDI 研究所 IP 品質制御システムグループ主任研究員。平成 15 年度電波産業会電波功績賞受賞。



阿野 茂浩 (正会員)

昭和 62 年早稲田大学理工学部電子通信工学科卒業。平成元年同大学大学院修士課程修了。同年 KDDI (株) 入社。以来、研究所にて、ATM 交換方式、IP ネットワーク管理・制御、次世代インターネットの研究に従事。現在 (株) KDDI 研究所 IP 品質制御システムグループリーダー。平成 7 年度本会学術奨励賞受賞。