

次世代ホームネットワークにおける トラヒック特性を考慮した動的トラヒックコントロール法の提案

寺田 昌平^{*1}, 埴 大^{*2}, 小口 喜美夫^{*3}

Dynamic Traffic Control Method Based on Traffic Characteristics in the Next Generation Convergence Home Network

Shohei TERADA^{*1}, Dai HANAWA^{*2}, and Kimio OGUCHI^{*3}

ABSTRACT : The advance of broadband and ubiquitous technologies will bring us the NgCHN (Next generation Convergence Home Network). This paper first introduces NgCHN architecture, and then proposes an effective dynamic traffic control method. In the proposed method, the HGW (Home GateWay) identifies the traffic characteristics of each home terminal in advance, calculates the optimum timing to prevent burst collision, and then grants permission rights to the terminals to send traffic. An experiment that verifies the effectiveness of the proposed method is also introduced. Finally our conclusions will be given.

Keywords: Home network, Traffic characteristics, Home Gateway

(Received Sept. 20, 2008)

1. 序 論

1. 1 研究背景

近年, 図1に示すように日本におけるブロードバンド技術の普及は目覚しく, 特にFTTH (Fiber To The Home)の加入者数が急増しており[1], 2010年には2000万件の加入が期待されている。ブロードバンドの普及に伴い, 家庭へのギガビットクラスのネットワーク環境の提供もまた現実のものとなりつつある。また, デジタルカメラやHDD (Hard Disc Drive)レコーダに代表されるように,

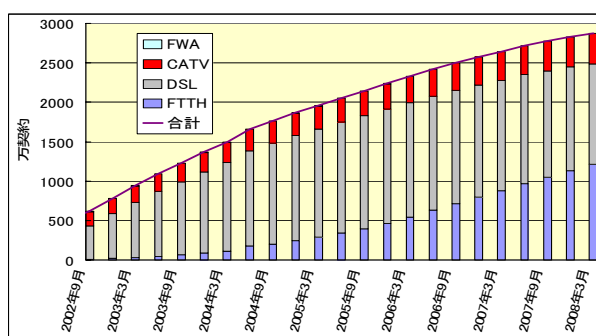


図1 ブロードバンド契約数の推移 [1]

^{*1} : 工学研究科電気電子工学専攻修士学生

^{*2} : 理工学部情報科学科助教

^{*3} : 理工学部情報科学科教授

従来はスタンドアローンで用いられてきた様々な機器がデジタル化, ネットワーク化されつつあり, 真のホームネットワークと呼ばれるべきものが構築されつつある。今後もブロードバンド技術とホームネットワーク技術は進化し続け次世代ホームネットワークと呼べる環境が出現すると考えられる。

1. 2 次世代ホームネットワークの概要

図2に次世代ホームネットワークのイメージ[2, 3]を示す。現在のホームネットワークではPCとIP電話, 一部のAV機器のみがネットワークに接続されており, 他の

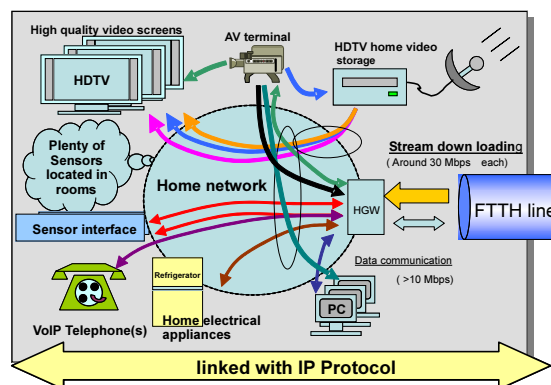


図2 次世代ホームネットワークイメージ[2]

電子機器はスタンドアローンで動作している。次世代ホームネットワークでは、これらの機器類に加え、HD (High Definition)規格に対応した高品質のビデオスクリーン、ネットワークに対応した情報家電、多種多様なデータを取得しネットワークに送信するセンサ群、様々なデータを蓄積するホームサーバの役割を果たす大容量のストレージデバイス、そしてネットワークの管理や中継を行う HGW (Home GateWay)が收容される。家庭内の各端末と広域ネットワークは HGW を介して通信を行う。

IPTV はコンテンツプロバイダから広域ネットワークを通じて配信され、ユーザは HD 品質の映像をオンデマンドでプロバイダからダウンロードし、ホームサーバに記録し好きなときに楽しむことができる。IPTV は次世代ホームネットワークにおける主要コンテンツの一つとなる。センサネットワークはもう一つの主要コンテンツとなる。家庭内のセンサから取得された様々なデータを分析し、日常生活にフィードバックすることで生活支援を行うことが可能になる。

1. 3 家庭内端末のドメイン分類

HGW とホームサーバを除く家庭内の端末は以下の 5 つのドメインに分類される。各ドメインに含まれる機器類を合わせて示す。

- ・ SN (Sensor Network) ドメイン

各種センサ、データ処理端末、取得データやヴィジュアル化したデータの簡易表示端末

- ・ AV ドメイン

高品質ディスプレイ、オーディオ機器

- ・ PC ドメイン

PC、周辺機器

- ・ Tel/ Fax ドメイン

IP 電話、Fax

- ・ HA (Home Appliance) ドメイン

多様な情報家電

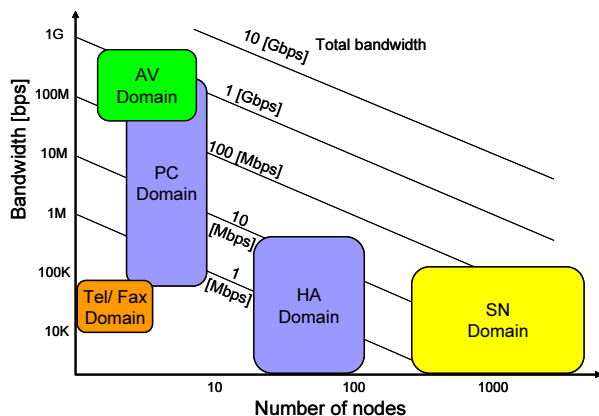
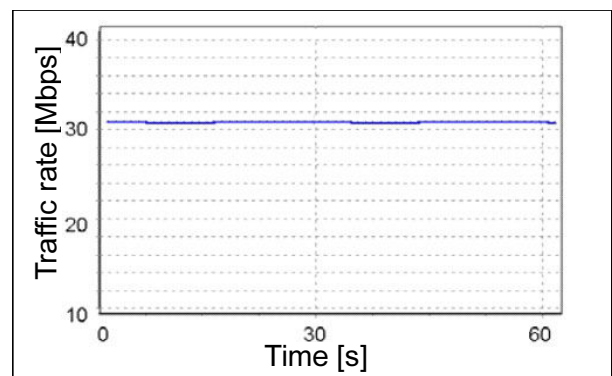


図 3 各ドメインの要求帯域幅

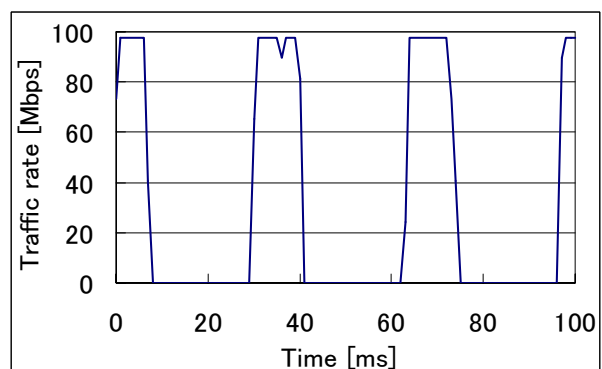
また、各ドメインの要求帯域幅の想定結果を図 3 に示す。横軸には家庭内に配置される各ドメインのノード数、縦軸には各ドメインに属する単一ノードあたりの必要帯域幅を示す。各ドメインの要求帯域幅を合計すると、次世代ホームネットワークには数 Gbps のネットワーク帯域幅と、それ以上の帯域幅を有する伝送媒体が必要となる。

2. トラフィック特性を考慮した帯域制御法の検討

次世代ホームネットワークにおいて主要コンテンツとなる動画や音声データのストリーミング転送を行うアプリケーションは規則的なバーストをミリ秒単位で送信する傾向を有する。動画ストリーミングアプリケーションである DVTS (Digital Video Transport System) [4]は平均 30Mbps でデータ転送を行うが、ミリ秒単位で測定を行うと図 4 のように瞬間的に 100Mbps 以上のデータを出力することが報告されている[5]。次世代ホームネットワークではこのようなバースト型トラフィックが複数転送され中継ノードでオーバーラップし、バッファオーバーフローが発生することにより、品質劣化を引き起こす可能性がある。



DVTS traffic measured by around one second



DVTS traffic measured by around one millisecond

図 4 DVTS トラフィックの特性

2. 1 バーストラフィックのオーバーラップによる影響の測定

動画ストリーミングトラフィックのオーバーラップによる品質への影響を測定するため、100Mbpsの帯域幅を持つ伝送リンクに3本のDVTSトラフィックを流す実験環境を構築し、パケットロスを測定した。測定系を図5に示す。各DVカメラと送信PCはIEEE1394で接続され、各送信PCから受信PCまでのリンクは帯域幅100MbpsのEthernetカテゴリ5eケーブルで構成されている。

送信PC_n($n=1,2,3$)から受信PC_nまでDVTSトラフィックを流し、10分間計測した所、平均42.6%のパケットロスと画面上には多量のブロックノイズが発生した。これはHUB1においてDVTSトラフィックのバーストがオーバーラップし、バッファオーバーフローが発生したためと考えられる。本測定結果より次世代ホームネットワークではトラフィック特性を考慮した帯域制御法の必要性が明らかとなった。

2. 2 ストリーミングアプリケーションに対するRSVPの有効性の評価

本研究ではストリーミングアプリケーションに対する帯域制御法として、RSVP (Resource reSerVation Protocol)[6]の有効性の評価をシミュレーションにより行った。シミュレーションにはネットワークシミュレータns-2[7]を用いた。RSVPは各データの必要帯域幅を中継ノードに伝え、データ転送の前に予約することによってデータの品質を確実に保証する技術である。

RSVPは本来広域ネットワーク上でデータの品質保証を行うために考案されたが、運用面やネットワーク上を流れるデータのルーティングが複雑になること、そしてネットワークの拡張性が低いことなどの理由から普及していない。しかし家庭内では流れるデータがある程度想定でき、ルーティングも複雑にならず高い拡張性が要求されない。従ってRSVPはホームネットワークに適したプロトコルになり得る。RSVPの評価に用いたシミュレーションモデルを図6に示す。

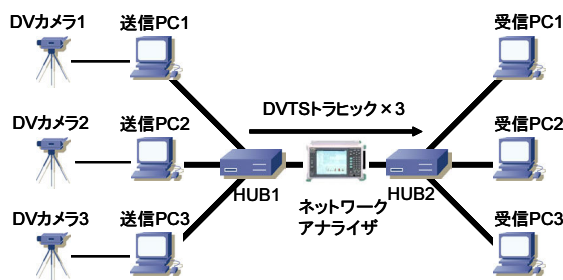


図5 バーストラフィックオーバーラップの測定系

ノード間のリンク帯域幅は全て97.7Mbps、リンク遅延は10msとした。バーストラフィックにはDVTSデータを用いた。RSVPパラメータである“Bucket size”と“Rate”を変化させ、それぞれパケットロスが発生しない値を測定した。ここで、“Bucket size”は中継ノードにおけるデータの送信許可権を表すトークンを保持するためのバッファメモリのサイズを、“Rate”はRSVPにより予約する帯域をそれぞれ示す。

シミュレーション開始から0.3秒後にノードn0からn4へリンクの帯域幅を占有する97.7Mbpsのバックグラウンドトラフィックを流し、0.5秒後にn1からn5へバーストラフィックを送信した。シミュレーションは4秒後にバックグラウンドトラフィック、4.1秒後にバーストラフィックを終了した。本シミュレーションでは、バックグラウンドトラフィックがリンク帯域を全て占有する構成となっているため、RSVPの効果を正しく測定できる系になっている。

シミュレーション結果を図7に示す。グラフ中右上のハッチング領域ではパケットロスが発生せず、DVTSトラフィックにおけるRSVPの最適なパラメータ設定は“Bucket size”83KByte, “Rate”30Mbpsということが明らかとなった。

結論として、それぞれのアプリケーションのトラフィック特性に対して、最適なパラメータ設定を適用することを条件に、RSVPは有効であるということを明らかとし

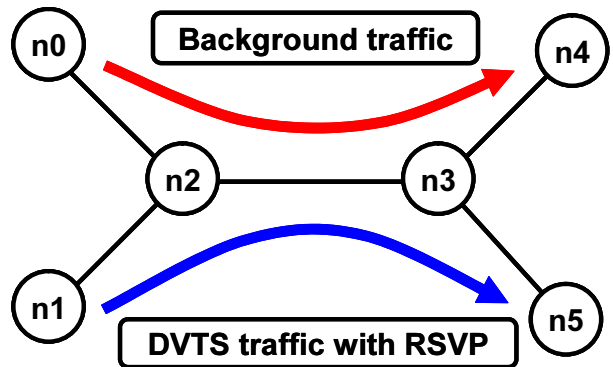


図6 RSVP評価用シミュレーションモデル

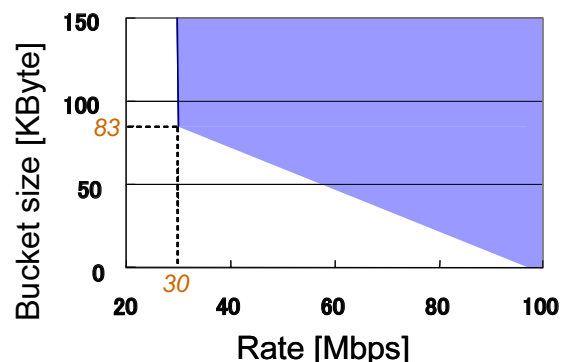


図7 RSVP評価シミュレーション結果

た。しかし、RSVP の欠点として、事前に各トラヒックの特性を把握し最適なパラメータを割り当てなければならないこと、RSVP を適用しないトラヒックはバーストのオーバーラップによりパケットロスが発生し品質劣化が起きてしまうことが挙げられ、RSVP の利用だけでは根本的な解決にはならない。

2. 3 中継ノードにおけるトラヒック特性のデータベース化の検討

ミリ秒単位のバーストトラヒックのオーバーラップを回避する方法として、中継ノードにおけるトラヒック特性のデータベース化と、データベース化された特性を応用する動的帯域制御法を提案する[8]。

本提案方式における前提として、ネットワークポロジにはスター型を用いる。従って本提案方式では中継ノードと HGW は同義となる。データベース化する項目をモデル化したイメージを図 8 に示す。HGW がデータベース化するトラヒック特性の項目は IBG (Inter Burst Gap), IFG (Inter Frame Gap), 送受信 IP アドレス, UDP や TCP 等の転送プロトコル, ポート番号, そして送信端末と HGW 間の MRTT (Mean Round Trip Time), 周期 T の 8 項目とする。

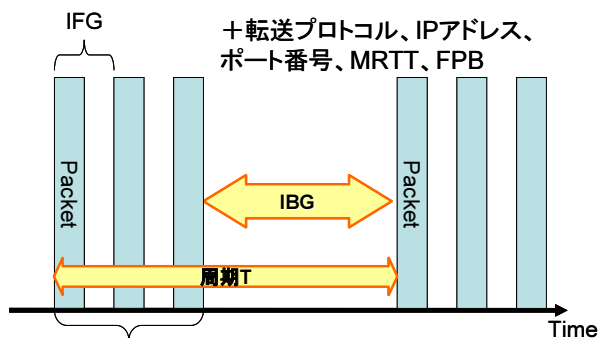


図 8 データベース化項目のモデル化イメージ

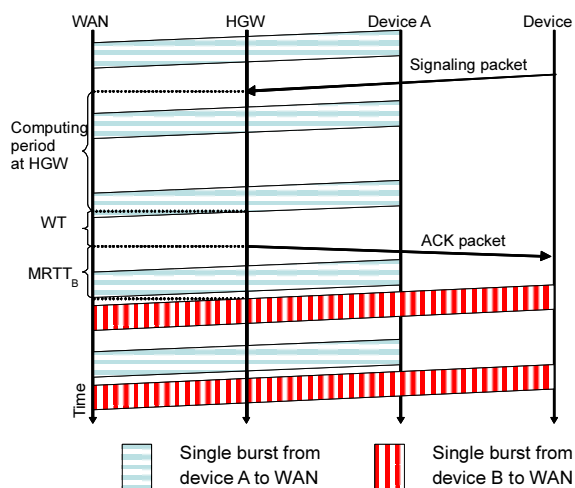


図 9 提案方式におけるタイムシーケンス

2. 4 トラヒック特性のデータベースを用いた動的帯域制御法の提案と検証

図 9 に提案するトラヒック特性のデータベースを用いた動的帯域制御法の流れを示す。

- 1) 新たに接続された機器が初めてトラヒックを送信するときに、暫定的にトラヒック特性をデータベース化する。データベースは必要に応じて上書き更新される。
- 2) 端末 A がミリ秒単位のバースト特性を有するトラヒックを送信する場合、事前に HGW にトラヒック送信の許可を求めるパケットを送信する。
 - 3.1) ミリ秒単位のバースト特性を有するトラヒックが他に流れていない場合には、HGW は端末 A に送信を許可するパケットを送信し、端末 A が許可パケットを受け取った時点でトラヒックの送信を開始する。
 - 3.2) A 以外の端末がバースト特性を有するトラヒックを既に送信している場合、端末 A からの送信許可を求めるパケットを受け取った HGW は、データベースから各トラヒックの特性を参照し、オーバーラップが発生しないタイミングを算出し一定時間待機する。
- 4) HGW はトラヒックの送信を開始するよう指示するパケットを端末 A に送信する。端末 A はこのパケットを受信後、トラヒックの送信を開始する。

本提案方式の特徴として、各端末の同期制御が不要であること、ソフトウェアのみの簡易な導入、高いネットワークの利用効率などが上げられる。

提案方式の検証を行った実験系を図 10 に、送信したバーストトラヒックの詳細を表 1 に、2 分間の測定結果を表 2 に示す。なお本実験において、HGW はデータベース化項目を事前に取得しているものとする。

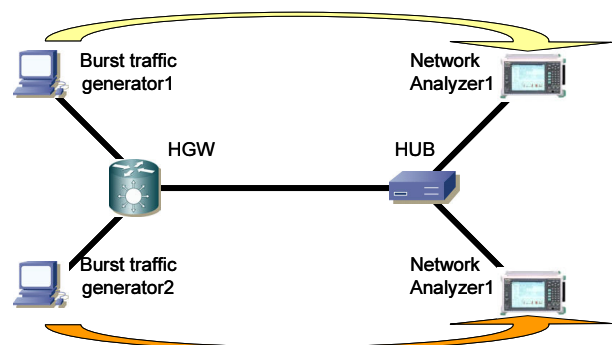


図 10 提案方式適用実験系

表 1 送信バーストトラヒックの詳細

Burst Time	Idle Time	Peak Bit Rate	Average Bit Rate	Packet Size	IFG	FPB	Protocol
150 [ms]	350 [ms]	100 [Mbps]	28.5 [Mbps]	1000 [Byte]	81.5 [us]	1842	UDP

2. 5 検証結果の考察

図 11(a)に提案方式動作開始直後から2分間のスループットを、図 11(b)に通常のベストエフォート動作時のスループットを示す。図 11(a)は提案方式においてトラフィックジェネレータの CPU クロック同期制御を行っている状態であるとみなすことができる。この状態において、トラフィックジェネレータ B からのトラフィックは正しく制御されることでオーバーラップが発生せず、またパケットロスも発生しなかった。

本結果より、トラフィックジェネレータの CPU クロック同期を行うことを条件として、提案方式は有効であることを示した。家庭内において、本稿で示したような急激なミリ秒単位のバースト特性を有する端末の数はあまり増加することが想定されないため、CPU のクロック同期は非現実的な手法ではないと考えられる。

3. まとめ

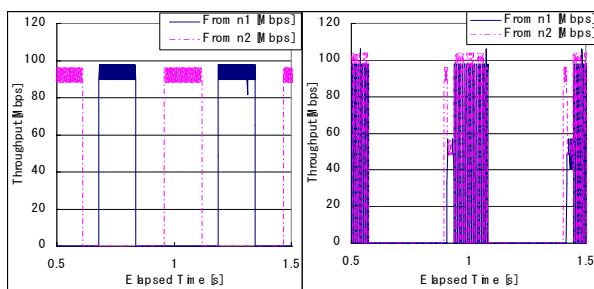
次世代ホームネットワークにおいて主要コンテンツとなるストリーミングアプリケーションが送出する、ミリ秒単位のバーストラフィックのオーバーラップによるコンテンツの品質劣化を確認した。この結果より、次世代ホームネットワークにおいてはトラフィック特性を考慮した帯域制御法が不可欠であることが明らかとなった。

ミリ秒単位のバースト特性を有するトラフィックのパケットロスを防ぐ方法として RSVP の有効性をシミュレーションにより評価した。結論として、アプリケーションのトラフィック特性に応じたパラメータを用いることで RSVP は有効となった。

バースト特性を有するトラフィックの中継ノードにおけるオーバーラップを回避する手段として、HGW にトラヒ

表 2 検証実験結果(2分間測定)

	Proposed method (CPU clocks are synchronized)				Normal operation (Best effort)			
	Sent Packet	Received Packet	Packet Loss Rate	Average Throughput	Sent Packet	Received Packet	Packet Loss Rate	Average
Traffic From n1	431028	431028	0 [%]	28.4 [Mbps]	434712	364625	16.1 [%]	23.6 [Mbps]
Traffic From n2	434712	434712	0 [%]	28.3 [Mbps]	432870	367744	15.0 [%]	23.8 [Mbps]



(a) 提案方式動作開始直 (b) ベストエフォート動
図 11 測定スループットの比較

ック特性をデータベース化する機能の導入を検討した。また、データベースを用いた動的なオーバーラップ回避法の提案と検証を行った。トラフィックジェネレータの CPU クロック同期を行うことを条件として、提案方式は有効であることを示した。

本提案方式は、様々なトラフィック特性に対して応用が可能であり、将来的に多様なサービスを収容する次世代ホームネットワークの実現に貢献すると考えられる。

4. 参考文献

- [1] 総務省, “ブロードバンドサービス等の契約数(平成 20 年 3 月末)”, 平成 20 年 6 月 17 日発表(報道資料), accessed Sept. 16/2008
http://www.soumu.go.jp/s-news/2008/pdf/080617_1_bs.pdf
- [2] K. Oguchi, K. Tojo, T. Okodo, Y. Tsuchida, T. Yamaguchi, and T. Murooka, “Next generation home networking and relevant technologies”, Proc. of SPIE, Vol.5626, pp.163-168, Feb., 2005
- [3] S. Terada, Y. Kakishima, D. Hanawa, and K. Oguchi, “Physical Configuration of the Next Generation Home Network”, IEICE Trans. Communications, Vol. E91-B, No.7, pp.2169-2177, July 2008
- [4] DVTS Consortium, accessed Sept. 16/2008
<http://www.dvts.jp/en/index.html>
- [5] K. Tojo, et al., “Measurement of burst traffic characteristics of next generation home network”, OECC 2005, Paper 6A4-6, pp. 166-167, Seoul, Korea, July 5-8, 2005
- [6] R. Braden, et al., Resource ReSerVation Protocol (RSVP), Sept. 1997, RFC 2205, accessed Sept. 16/2008
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2205.txt>
- [7] The Network Simulator ns-2, accessed Sept. 16/2008
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [8] Shohei Terada, Yu Kakishima, Shingo Yamakawa, Dai Hanawa, and Kimio Oguchi, “Dynamic traffic control method for QoS improvement in the Next generation Convergence Home Network”, NOC2008, Gigabit/s Home Networks and Radio over Fibre, pp.182-187, Krems, Austria, July 1-3, 2008