

平成 13 年年度

学士学位論文

パケットアセンブリ装置性能評価とその高 機能化に関する研究

A improvement research on Packet Assembly system
performance based on transmitting evaluation

1020301 谷岡 亮介

指導教員 島村 和典

2001 年 2 月 8 日

高知工科大学 情報システム工学科

要 旨

パケットアセンブリ装置性能評価とその高機能化に関する研究

谷岡 亮介

近年、インターネットの爆発的な普及に伴いネットワーク技術は飛躍的に進歩を遂げている。また、ネットワークアプリケーションの種類やトラフィック量も急増している。従って、ネットワーク内を流れるパケット数やホップ数が急増し、コアルータの負荷が急増している。また、従来のベストエフォート型の転送制御では、様々なアプリケーショントラフィックに対しての QoS (Quality of Service) 保証ができない。

そこで、エッジルータにおいてパケットアセンブリを行い、コアルータの負荷軽減を試みる研究を行っている。つまり、コアルータにおける負荷軽減を行うことにより、QoS 保証をすることを目指している。パケットアセンブリは、同じ宛先のパケット連結を行い、コアネットワークに流れるパケット数を減少させる。これによりルータにおけるヘッダ処理が減少し、コアルータの負荷軽減が可能になる。従って、効率の良いデータ転送が行えるので、QoS 保証をすることが可能となる。

過去のパケットアセンブリ研究においては、シミュレーションや擬似アセンブリによるデータ測定を行い、その有効性を検証してきた。本論文では、パケットアセンブリ装置を用いて、実環境におけるパケットアセンブリの性能測定を行った。この取得したデータにより、パケットアセンブリの有効性を検証すると共に、その問題点や改良点を挙げている。

また、パケットアセンブリの課題として、遅延やアセンブリに適さないアプリケーショントラフィックの識別を行うことが挙げられる。そこで、パケットアセンブリに適したスケジューリング方式の提案も行っている。

キーワード パケットアセンブリ, 実環境, 負荷軽減, コアルータ, エッジルータ

Abstract

A improvement research on Packet Assembly system performance based on transmitting evaluation

Ryosuke Tanioka

Recently, with explosive spread of the Internet, network technology has made progress. The type of application and traffic quantity also have increased. Therefore, the number of packets and the number of hop in the network has increased remarkably, so that the load of core router has increased remarkably. The transmission control based on traditional best-effort type cannot guarantee Quality of Service about various application traffic. Then, load reduction of core routers is investigated by conducting Packet Assembly at edge router. That is, QoS guarantee is aimed at by performing load reduction in core router. Packet Assembly is conducted by the combination of the same address or same subnetmask packets at edge router, and decreases the number of packets in core network. The header processing at the core routers decreases by this way, and load reduction of a core router is enabled. Therefore, since efficient data transmission can be performed, it becomes possible to guarantee QoS. In the past Packet Assembly research, the effect was investigated by the simulation or Defragment Assembly, and the validity of Packet Assembly has been verified. In this thesis, Packet Assembly performance was measured using Packet Assembly device in real network. The validity of Packet Assembly was verified with the data acquired in this research, and the problem and the improved point of Packet Assembly are given. On the other hand, there are delay for the application traffic which doesn't suit assembly as Packet

Assembly's problems. Then, the Scheduling system which suits Packet Assembly is proposed.

key words Packet Assembly,real network,load reduction,core router,edge router

目次

第 1 章	研究目的	1
1.1	パケットアセンブリの目的	1
1.2	本研究の目的	1
第 2 章	研究背景	3
2.1	背景	3
2.1.1	小サイズパケットの存在	3
2.1.2	ルータの負荷	5
2.2	既存の技術	5
2.2.1	MPLS(Multi-Protocol Label Switch)	5
2.2.2	FAST(Framed ATM over SONET/SDH transport)	6
第 3 章	パケットアセンブリ	7
3.1	デフラグメント	7
3.2	パケットアセンブリシステム	7
3.2.1	シングルフローアセンブリ	9
3.2.2	マルチフローアセンブリ	9
3.2.3	パケットアセンブリフォーマット	9
3.2.4	付加ヘッダ	11
3.2.5	パケットアセンブリモード (本実験アセンブリ装置の設定項目)	13
3.3	評価方法	14
3.4	問題点	16
第 4 章	パケットアセンブリ装置性能実験・評価	17
4.1	測定内容	17

4.1.1	測定環境	17
	パケットアセンブリ装置設定項目	17
	測定環境	18
4.1.2	アセンブリ装置での測定項目・結果	18
	1 . パケット最大連結数	18
	2 . パケット平均連結数	19
	3 . アセンブリ装置負荷	20
4.1.3	ATM ルータでの測定	21
	1 . ATM ルータの負荷	21
	2 . ATM ルータ内パケット数	22
4.2	考察	22
4.2.1	パケットアセンブリ評価	22
	1 . パケットアセンブリ最大連結数	22
	2 . パケットアセンブリ平均連結数	23
	3 . パケットアセンブリ装置負荷	23
	4 . ATM ルータ負荷	24
	5 . ATM ルータ内パケット数	24
	6 . 遅延と帯域低下	24
4.2.2	パケットアセンブリ装置改善点	25
	考察による装置改善点	25
	その他の装置改善点	26
4.3	今後測定すべき項目	27
4.4	結論	28
第 5 章	アセンブリ装置高機能化の提案 - スケジューリング方式 -	29
5.1	高機能化への目的	29

5.2	従来のスケジューリング方式	29
5.2.1	スケジューリング方式	30
5.2.2	パケットアセンブリスケジューリング - 本実験装置 -	31
5.3	パケットアセンブリスケジューリング	32
5.3.1	構成	32
5.3.2	ユーザ設定項目	35
5.3.3	本実験装置との違い	35
5.4	考察	36
5.5	今後の課題	36
第 6 章	まとめ	37
	謝辞	38
	参考文献	39

目次

2.1	ネットワーク上におけるパケット分布	4
3.1	パケットアセンブリネットワーク構成	8
3.2	IP cut header Assembly Format	9
3.3	TCP/IP cut Assembly Format	10
3.4	No cut Asembly Format	10
3.5	No cut Asembly Format	10
3.6	IPv4 ヘッダ	11
3.7	IP パケットの付加ヘッダ	12
3.8	TCP/IP パケットの付加ヘッダ	12
3.9	アセンブリモード設定画面	14
4.1	実験環境	17
4.2	パケット最大連結数 (FTP サーバ側)	18
4.3	パケット最大連結数 (クライアント側)	19
4.4	パケット平均連結数 (FTP サーバ側)	19
4.5	パケット平均連結数 (クライアント側)	20
4.6	アセンブリ装置負荷の比較 (FTP サーバ側)	20
4.7	アセンブリ装置負荷の比較 (クライアント側)	21
4.8	ATM ルータ負荷の比較	21
4.9	ATM ルータ内パケット数の比較	22
4.10	今後予定する実験環境	27
5.1	本実験装置のスケジューリング	31
5.2	パケットアセンブリスケジューリング	32

5.3	パケット分類の流れ	33
5.4	送信制御の流れ	34

表目次

2.1 データリンク毎の MTU	4
----------------------------	---

第 1 章

研究目的

本章では、パケットアセンブリにおける研究目的と本研究の目的について述べている。

1.1 パケットアセンブリの目的

基幹ネットワーク内において、ホップ数、パケット数が急増し、コアルータの負荷が増大している。そこで、エッジルータにおいてパケットアセンブリ [1] を行うことにより、コアルータの負荷軽減を行うことを目的とする研究を行っている。パケットアセンブリは、エッジルータにおいてパケットを連結することにより、基幹ネットワークを流れるパケット数を減少させる。パケット数が減少することから、ルータ内でのヘッダ、ルーティング処理や入出力キュー間の移動などを減少させることができるので、コアルータの負荷が軽減できる。従って、コアルータの負荷軽減を行うことによって、効率の良い転送が行え、QoS を保証することが実現できる。

1.2 本研究の目的

過去のパケットアセンブリ研究においては、デフラグメントを用いたパケットアセンブリ [2] やシミュレータ [3] を用いて、パケットアセンブリについての性能評価を行ってきた。そこで本研究は、パケットアセンブリ装置を用いて、実環境におけるパケットアセンブリの性能評価を行い、その有効性を検証することが目的である。コアルータやパケットアセンブリ装置において、過去の測定項目に加え、擬似アセンブリやシミュレーションにおいては測定できなかった項目の測定や、実環境において発生してしまう問題点を見つけ出し検証して

いく。

また、パケットアセンブリにはいくつかの課題があるので、その課題を克服して、パケットアセンブリ装置の性能向上を目指す目的がある。そこで、「パケット受信 格納 連結 送信」一連の動作に着目して、パケットアセンブリに適さないフローの分別を実行する、パケットアセンブリスケジューリング方式を提案している。

第 2 章

研究背景

本章では、これまでの研究背景の説明と類似技術の紹介をしている。

2.1 背景

近年、ネットワーク技術が飛躍的進歩を遂げたことから、インターネットの爆発的な普及が進み、ネットワークアプリケーションの種類やトラフィック量が増大している。更に多くのサービスが展開され、これからもネットワークに対する期待は非常に大きい。ネットワークアプリケーショントラフィックの増加は、従来の Best-effort 型のトラフィック制御では QoS 保証が行えない事態を招いている。そのため、それぞれのネットワークアプリケーションに適した QoS 保証が重要となっている。QoS パラメータとしては、遅延、揺らぎ、ロス率などがある。そこで、ネットワークアプリケーションの特性に適したトラフィック制御を行うことが重要となっている。

2.1.1 小サイズパケットの存在

基幹網において、MTU(Maximum Transmission Unit) よりもパケットサイズが小さいパケットが多く存在している。その理由としては、IP パケット転送の際には、データリンク毎に定められた MTU 以下のサイズ(表 2.1)でパケットが転送されることが挙げられる。しかし、中継ルータでのデフラグメントは禁止されており、MTU の小さいネットワークから MTU の大きいネットワークに転送する際にも小さいサイズのまま転送されてしまう。また、初期転送時から小さいサイズでパケットが転送される場合もある。

データリンク	MTU(Byte)
IP over ATM	9180
IEEE 802.4 Token Bus	8166
IEEE 802.5 Token Ring	4464
FDDI	4352
Ethernet	1500
PPP	1500
IEEE 802.3 Ethernet	1492

表 2.1 データリンク毎の MTU

実際の基幹網において流れるパケットサイズは、1500Byte 以下のパケットがほぼ大多数を占めており、その中でも 44Byte のパケットサイズが約 40%を占めている（図 2.1）。小さいサイズのパケットが基幹網に与える影響としては、IP ヘッダの転送処理の負荷増大や帯域使用率の低下が挙げられる。

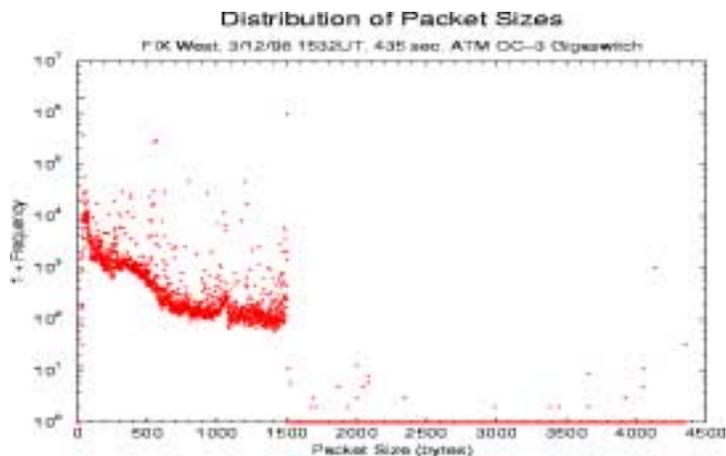


図 2.1 ネットワーク上におけるパケット分布

現在では、技術の発展に従って高品質の基幹網が配備されているので、基幹網内の伝送効率を向上させることが重要となっている。そこで、エッジルータでパケットの連結を行い、

パケットサイズを次ネットワークの MTU にできるだけ近づけてパケットを転送して、転送処理の負荷軽減と帯域を有効利用することが重要となる。

2.1.2 ルータの負荷

IP 転送はルータにより、パケット毎に処理されている。パケット数の急激な増加により、ルータの処理回数が増え負荷が増大している。ルータの処理としては、ルーティング処理、パケットヘッダ処理、チェックサムの計算、入出力キュー間の移動があり、ルータの負荷は per packet によって決まる。また、ホップ数も増加傾向にある。ホップ数が増加してしまうと、各ノードにおいてパケット処理による負荷が掛かってしまった場合、各ノード毎の遅延が積み重なり重大な遅延となって現れる。データ転送量が増加している今日のネットワーク内において、決められた帯域でいかに IP パケットをより高速に転送するかが重要な課題である。よって、IP 転送を行う際にどのようにしてパケットの処理回数を減らすことが重要となっている。そこで、基幹ネットワーク内のルータ負荷を軽減するための IP パケット転送方式として、パケットアセンブリの研究を行っている。

2.2 既存の技術

2.2.1 MPLS(Multi-Protocol Label Switch)

MPLS は、シスコ社のタグスイッチング技術をベースに誕生した、IETF 標準のテクノロジーである。IP パケットの転送が可能な、いかなるメディア上でも利用することができる。MPLS は、ラベルをもとにパケットを転送して行くという画期的な方法である。入力側の LER (Label Edge Router) では、着信したパケットの処理を行い、ラベルの選択と適用が行われる。中継点のルータは、そのラベルを読みとってパケットを適切に転送する。パケットの分類や集中分析、フィルタリングなどの処理は、全て入力側の LER で一度実行されるだけである。出力側の LER ではラベルがはがされ、パケットは最終的な宛先へ転送される。MPLS の特徴として、ルータにかかる負荷を軽減することで、高速化を実現するこ

と、IP 層の経路情報を元にするので、ATM の下位層のルーティングプロトコルが不要で、ATM / フレームリレーと IP の緊密な統合が可能になること、ラベルによるネットワークの分離によって「IP - VPN」を実現すること、IP ネットワークにおいて ATM での高度な QoS 制御を利用することが挙げられる。また、MPLS を導入することにより経済性、パフォーマンス、セキュリティの向上や運営管理、拡張の容易さが望める。同様の技術として Ipsilon Networks(現 Nokia) の「IP スイッチ」、Cisco Systems の「タグスイッチ」、東芝の「CSR(Cell Switch Router)」などが挙げられる。[4] MPLS とパケットアセンブリの違いは、MPLS はパケットにラベルを付加することにより IP 転送を行うが、パケットアセンブリはパケットを連結して IP 転送を行うことや、MPLS はエッジルータや基幹網内の中継ルータにおいても MPLS 対応のルータでなければならないが、パケットアセンブリはエッジルータにのみ実装すれば通常の IP 転送が行える。また、パケットアセンブリされたパケットは通常の IP 転送を行えることから、MPLS との親和性も図れると考えられる。

2.2.2 FAST(Framed ATM over SONET/SDH transport)

FAST は、ATM Forum が行っている研究の 1 つである。FAST は、SONET/SDH 上で、可変長の ATM フレームを伝送する技術である。ATM は、5Byte のヘッダに、48Byte のデータを付けた合計 53Byte の固定長セルを使って伝送する。一方 FAST では、4Byte の固定長ヘッダと、最大 64KByte の可変長のデータ・フィールドでフレームを構成する。IP パケットは可変長のデータ・フィールドに格納する。大きな可変長フィールドを採用したことで、IP パケットを短い ATM セルに分割する必要がなくなり、効率の高い IP パケット伝送が期待できる。類似技術として、米ルーセント・テクノロジーズの「SDL」(simple data link) や NTT の「MAPOS」(multiple access protocol over SONET) が挙げられる。[5] この様な大きいサイズのフレームが使用されるようになれば、ますます小さいサイズのパケットの再構築が必要となり、パケットアセンブリの有効性が大きくなると考えられる。

第3章

パケットアセンブリ

本章では、パケットアセンブリの仕組み、問題点、計測すべき項目について述べている。パケットアセンブリはエッジルータにおいてパケット連結を行い基幹網に IP パケットを転送する方式である。

3.1 デフラグメント

データリンクによって最大転送単位 (MTU) は異なる。従ってパケットは、必要に応じてホストやルータにおいて分割化処理 (Fragmentation) が行われる。そこで、終点の宛先ホストにおいては、パケットを再構築する必要がある。このことをデフラグメントと呼ぶ。IP パケットが同じ経路を辿るとは限らなかつたり、分割化されたパケットが途中で失われたり、別のルータを通過する際にまた分割化しなければならないといった理由からルータに大きな負荷がかかるために、現在では経路途中のデフラグメントは行われていない。[6]

パケットアセンブリは、このデフラグメント処理に似ている。違うところは、デフラグメントするためにはフラグメントされた全パケットが必要であるが、パケットアセンブリにおいては必要ないことである。また、エッジルータのみにおいてパケットアセンブリを行うことで、余計なパケット連結や分割を減らしている。

3.2 パケットアセンブリシステム

パケットアセンブリは、アクセス網から基幹網に入るエッジルータにおいてパケットを連結する。基幹網内の中継ルータにおいては、通常の IP 転送が行え、再びエッジルータにパ

ケットが到着したときパケットを分割する。よって、基幹網のエッジルータにのみ実装すればパケットアセンブリシステムが構築できる。パケットを減少させることにより、基幹網内のルータの転送処理が減少することから負荷が軽減され、効率の良い転送が行えるようになる。

以下に、パケットアセンブリの例を示す。

- [1] アクセス網 A から送信された小さいサイズの packets が、エッジルータにおいてパケット連結 (アセンブリ) され、アセンブリされた packets が基幹網に転送される。
- [2] アセンブリされた packets がコアネットワーク内に転送される。
- [3] アセンブリされた packets がエッジルータにおいて、元の packets サイズに分割 (リアセンブリ) され、アクセス網 B に転送される。

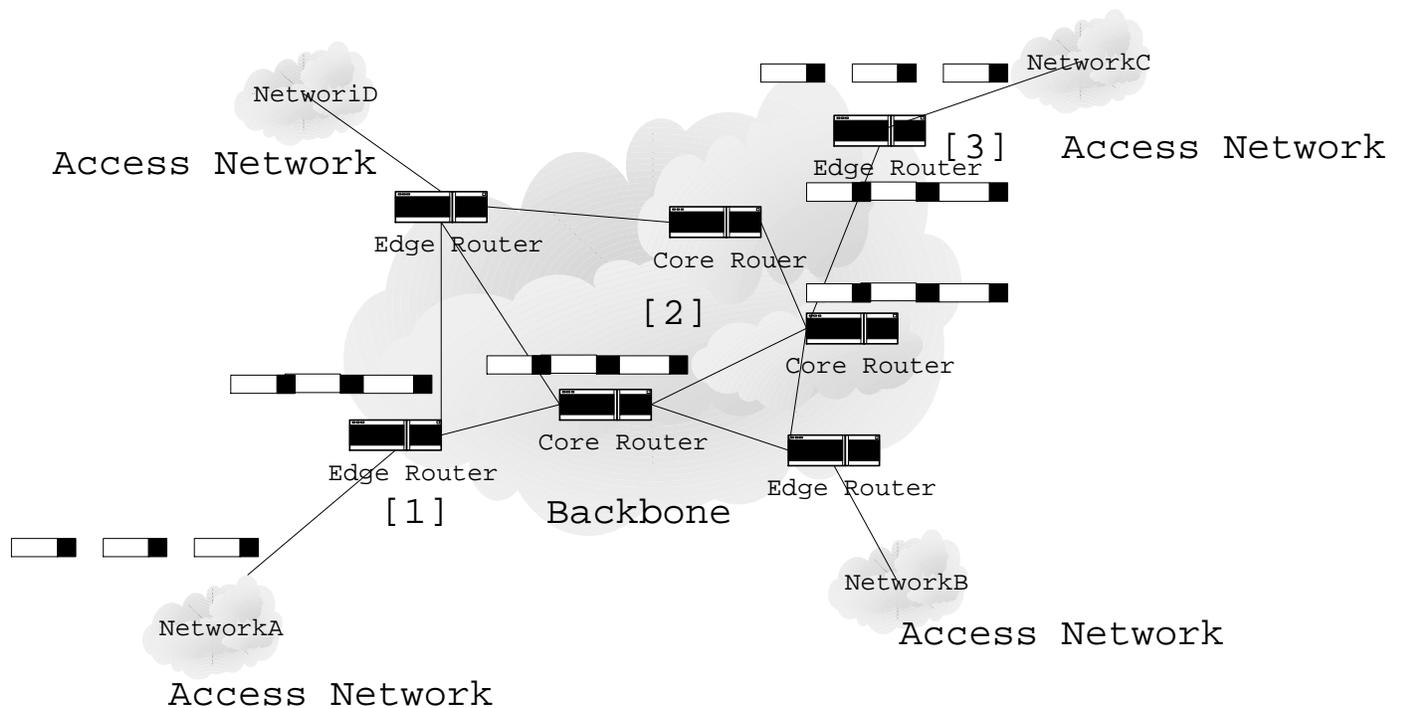


図 3.1 パケットアセンブリネットワーク構成

3.2.1 シングルフローアセンブリ

シングルフローアセンブリは、受信パケットの送信元 IP アドレス及び、宛先 IP アドレスが一致するパケットをアセンブリする。TCP の場合は、同一の宛先ポート、送信元ポートも一致しなければならない。

3.2.2 マルチフローアセンブリ

マルチフローアセンブリは、受信パケットの同一の送信元サブネットマスク及び、宛先サブネットマスクのパケットをアセンブリする。(但し、パケットアセンブリするクラスは、クラス B とクラス C とする。)本方式を使うことによりフローが集約され、よりパケットアセンブリの性能が向上すると考えられる。

3.2.3 パケットアセンブリフォーマット

アセンブリフォーマットには以下の 4 種類がある。

IP header cut Assembly

IP header cut Assembly は、IP パケットのヘッダ部の一部をカットし、各ヘッダ部の連結及び、各パケットデータ部の連結を行った後データを転送する方式である。本方式では、IP より上位層について単なる IP データとして扱う為、例えば UDP 等の上位プロトコルをパケットアセンブリ処理することができる。

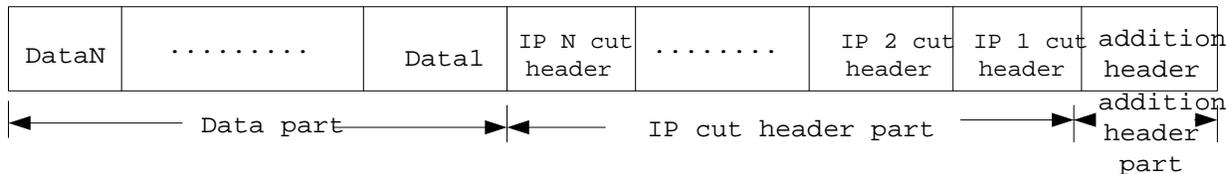


図 3.2 IP cut header Assembly Format

TCP/IP header cut Assembly

TCP/IP header cut Assembly は、TCP/IP パケットのヘッダ部の一部をカットし、

各ヘッダ部の連結及び、各パケットデータ部の連結を行った後、データを転送する方式である。本方式では、TCP をパケットアセンブリ処理することができる。

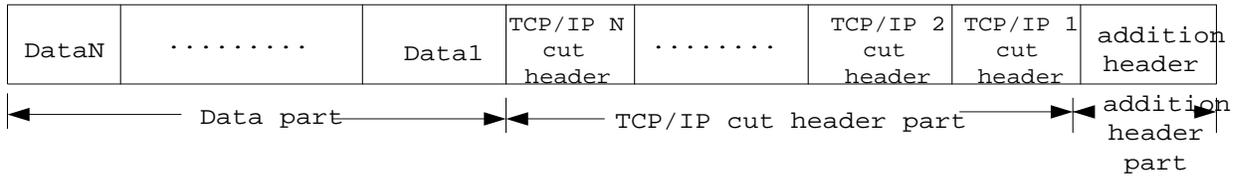


図 3.3 TCP/IP cut Assembly Format

No cut Assembly

No cut Assembly は、パケットデータのヘッダ部を何も操作せずに、各ヘッダ部の連結及び、各パケットデータ部の連結を行った後、データを転送する方式である。

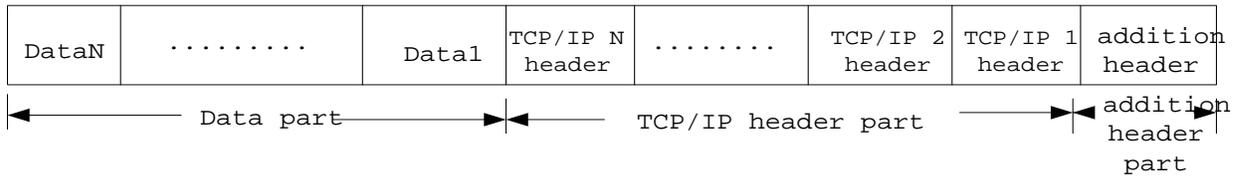


図 3.4 No cut Assembly Format

Marker Assembly

Marker Assembly は、上記の各アセンブリフォーマットのヘッダ操作をパケット毎に行い、操作された各々のパケットを順次連結した後、データを転送する方式である。

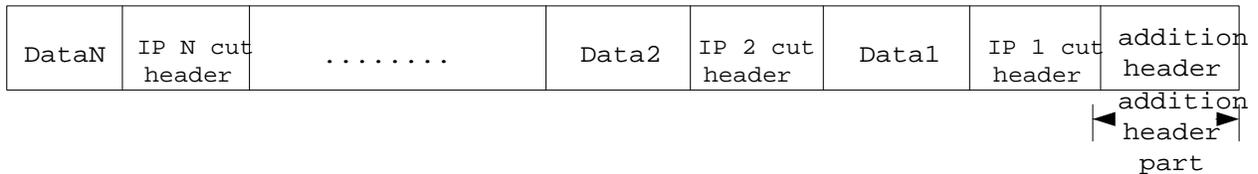


図 3.5 No cut Assembly Format

3.2.4 付加ヘッダ

IP ヘッダはルータの転送処理において重要な役割を果たしている。なぜなら IP ヘッダは、宛先 IP アドレス、プロトコル番号、TTL 等の様々な情報を持っており、それを基にルータは転送処理を行っているからである。

パケットアセンブリを行う際には、送信元アドレス、宛先 IP アドレスを見て、パケットを連結するか判断する。パケットを連結すると IP ヘッダにいくつかの問題点が浮上してくる。

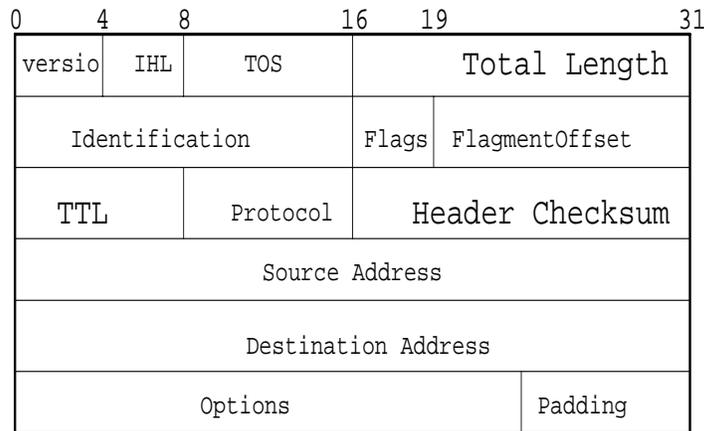


図 3.6 IPv4 ヘッダ

まず最初に、Total Length の書き換えが必要になる。Total Length は、パケット全体の Byte 長を示す。パケットを連結してしまうと、連結したサイズ分だけパケット長を書き換えなければならない。次に、Header Checkesum の再計算が必要である。Header Checksum は、IP ヘッダが壊れていないか保証するための物である。IP ヘッダを書き換えてしまうことから、再計算の必要がある。最後に、TTL の統合が挙げられる。TTL はパケットがネットワーク内に存在してもよい時間を秒単位で示したものである。パケットを連結すると複数の TTL が存在してしまうので、アセンブリされる最初のパケットが持つ TTL 値に統合する必要がある。

そこで、これらの問題を解決するために付加ヘッダを付け加える。付加ヘッダは、IP パケットの先頭に付け加えられる。利点としては、誤った IP ヘッダの上書きを防ぐことや、

アセンブリ, リアセンブリ処理の高速化が挙げられる。

0	4	8	16	19	31
versio	IHL	TOS	Total Length		
Identification			Flags	FlagmentOffset	
TTL	Protocol		Header Checksum		
Source Address					
Destination Address					
not used		Length	TTL Record	assembly num	

図 3.7 IP パケットの付加ヘッダ

Not used: 未使用フィールド

Length: 付加された情報部で、アセンブリされたパケット数をセットする。

TTL record: 付加された情報部で、アセンブリした先頭 IP パケットの TTL をセットする。

Assembly Num: 付加された情報部で、アセンブリ方式をセットする。

0	4	8	16	19	31
versio	IHL	TOS	Total Length		
Identification			Flags	FlagmentOffset	
TTL	Protocol		Header Checksum		
Source Address					
Destination Address					
not used		Length	TTL Record	assembly num	
Source Port			Destination Port		
Sequence Number					
Acknowledgement Number					
Offset	Reserved	TCP flag		Window	
Checksum			Urgent Pointer		

図 3.8 TCP/IP パケットの付加ヘッダ

3.2.5 パケットアセンブリモード（本実験アセンブリ装置の設定項目）

TOS 値によるパケットアセンブリルート設定

IP ヘッダにおいて 8bit で構成される TOS (Type Of Service) の TOS フィールド (4bit) を利用して、パケットアセンブリルート (格納キュー) を設定する。設定可能な範囲は、0 ~ 15 である。設定された各ルートにおいては、下記の設定項目が各ルートごとに設定できる。また、この TOS 値に従って、パケットアセンブリを実行するか、しないかも設定できる (TOS 値が、どのルートにも一致しなければ、パケットアセンブリは実行されない)。

パケットアセンブリタイムアウト値設定

パケットが連結することができる最大の待ち時間の設定を行う。パケットアセンブリタイムアウト値のカウント方法は、最初のパケットがパケットアセンブリキューに挿入されてから設定時間に達する迄である。設定範囲は、100 ~ 3000[msec] 以内で行うことができる。

最大パケット連結数の設定

パケットアセンブリの最大連結数の設定を行う。最大で 170 個 (1 ~ 170) まで連結することができる (但し、パケットサイズが 9180Byte を超えない範囲である)。

パケットアセンブリフォーマットの設定

パケットアセンブリフォーマットを、No cut Assembly, IP header cut Assembly, TCP/IP header cut Assembly, Marker Assembly (No cut Assembly), Marker Assembly (IP header cut Assembly), Marker Assembly (TCP/IP header cut Assembly) の計 6 種類から選択する。

TCP フロー制御

TCP フロー制御の設定を「ON」にすることで、TCP フロー制御が実行できる。TCP フロー制御が「ON」の場合は、トラフィックが輻輳状態になり、エラー再送が検出された時点で、初めてパケットアセンブリ処理を実行し、輻輳状態を少しでも回避させようと動作する。TCP フロー制御が「OFF」の場合は、通常のパケットアセンブリが実行される。

マルチフローアセンブリの設定

マルチフローアセンブリの設定を「ON」にすることで、マルチフローアセンブリが実行できる。マルチフローアセンブリの設定が「OFF」の場合は、シングルフローアセンブリが実行される。

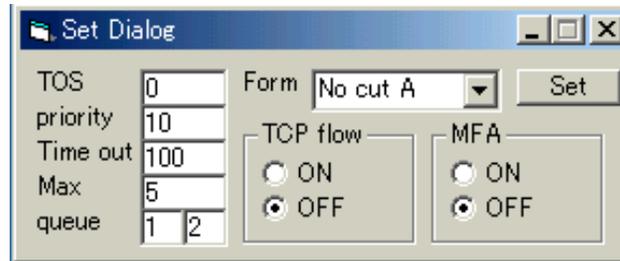


図 3.9 アセンブリモード設定画面

3.3 評価方法

パケットアセンブリの評価方法を以下に挙げる。

1．基幹網内ルータの負荷

パケットアセンブリの主な目的が、基幹網内のルータの負荷軽減であるから、同じ条件の実験環境の基でパケットアセンブリ転送時と通常の IP パケット転送時における基幹網内の中継ルータ負荷測定を行い、比較して評価する。ルータの負荷軽減の効果としては、パケット減少率と同等の負荷軽減率が得られれば十分であると考えている。

2．アセンブリ装置の負荷

基幹網内の負荷が軽減しても、エッジルータの負荷が余りにも高くなれば、ネットワーク全体の負荷が上がってしまうので、パケットアセンブリを実行する効果がなくなってしまうので、同じ条件の実験環境の基でパケットアセンブリ転送時と通常の IP パケット転送時のアセンブリ装置負荷を比較する必要がある。また、どれだけ負荷がかけられるかも測定する必要がある。

3．アセンブリ装置内の遅延

パケットアセンブリは、パケットを連結させる際に遅延が発生する。そこで、同じ条件の実験環境の基でパケットアセンブリ転送時と通常の IP パケット転送時の遅延差を比較し評価する必要がある。

4 . ネットワーク全体の遅延

パケットアセンブリは、パケットを連結させる際に遅延が発生する。そこで、この遅延がフローにどれくらい影響を与えるか測定する必要がある。

5 . アセンブリ装置におけるパケットが連結数

エッジルータにおいて、パケット連結数がどれくらいかを測定することにより、パケットアセンブリの有効性を検証する必要がある。

6 . 基幹網に転送する際の帯域幅

パケットアセンブリは、パケットを連結させる際に遅延が発生する。そのため、帯域の低下が予測されるので、同じ条件の実験環境の基でパケットアセンブリ転送時と通常の IP パケット転送時の測定を行い評価する必要がある。

7 . パケットロス

パケットアセンブリを実行することにより、パケットロスが発生するか、同じ条件の実験環境の基でパケットアセンブリ時とノーアセンブリ時の比較を行い評価する必要がある。

8 . シングルフローアセンブリとマルチフローアセンブリの比較

マルチフローアセンブリは、フローの集約を行い、パケットアセンブリの向上を実現する。そこで、同じ条件の実験環境の基でシングルフローアセンブリとマルチフローアセンブリの測定を行い、マルチフローアセンブリの有効性を実証し、その効果どれくらいであることを示していく必要がある。

9 . TCP Ack のパケットアセンブリ

ネットワーク内の大半を占めるパケットの種類は TCP である。よって、パケットサイズが小さい Ack のパケットアセンブリが重要となる。Ack には、再送処理があるので、タイムアウト時間内にパケットアセンブリを終了し、Ack を送信先の端末まで転送する必要がある。しかし、パケットアセンブリは、パケットを連結させる際に遅延が発生してしまうの

で、再送処理に影響を与える可能性がある。そこで、実際に TCP フローを流し、Ack パケットアセンブリについて検討する必要がある。

3.4 問題点

パケットアセンブリの問題点を以下に挙げる。

1 . 遅延

パケットアセンブリは、パケットを連結させる際に遅延が発生する。そこで、アセンブリ装置内の遅延をどれくらいに抑えるかが課題になる。アセンブリ装置内で発生する遅延は2つある。パケットを連結する際の遅延と、パケットを連結するための待ち時間(パケットアセンブリタイムアウト時間)の遅延がある。連結する際の遅延は CPU の性能によるが、パケットを連結するための待ち時間による遅延は、パケットアセンブリの実験において検証していく必要があり、検証した結果から効率の良いパケットを連結するための待ち時間を得ることができると考える。また、この遅延がフローにどのくらい影響を与えてしまうのか検証しなければならない。

2 . TCP の Ack 処理

ネットワーク内の大半を占めるパケットの種類は TCP である。よって、パケットサイズが小さい Ack のパケットアセンブリが重要となる。Ack のパケットサイズは 50Byte 程と小さい。そこで、パケットアセンブリをする必要性がでてくるのだが、問題が1つ起こってくる。それは、TCP 特有の再送処理にある。しかし、パケットアセンブリには、パケットを連結させる際に遅延が発生してしまう問題がある。よって、タイムアウト時間内にパケットアセンブリを終了し、Ack を送信先の端末まで転送する必要がある。そこで、その問題を解決するために、Ack のパケットアセンブリ手法の検討を行わなければならない。

第 4 章

パケットアセンブリ装置性能実験・ 評価

本章では、まず、測定環境を説明してから、測定内容・結果を示し、パケットアセンブリに対する評価と装置の改善点を述べ、今後の実験内容についても触れている。

4.1 測定内容

4.1.1 測定環境

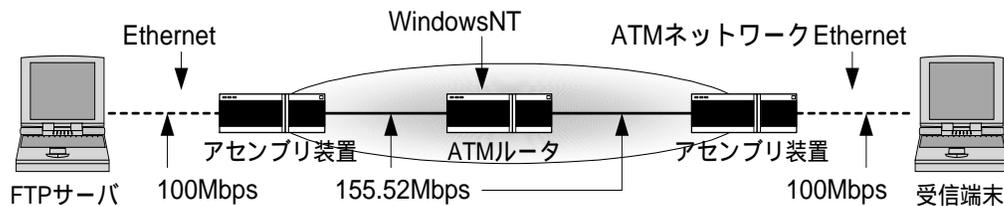


図 4.1 実験環境

パケットアセンブリ装置設定項目

TOS 値の設定をアセンブリを実行する場合もしない場合も「0」とする

パケットアセンブリタイムアウト値を 100[msec] に設定

アセンブリするパケットサイズは最大で、ATM の MTU である 9180Byte に設定

パケットアセンブリフォーマットは、No cut Assembly とする

パケットアセンブリを行わない場合の測定は、パケットアセンブリする個数を「1」と

する

TCP フロー制御は、「OFF」とする

測定環境

FTP サーバ側から 5Mbyte のファイルを TCP パケットで受信端末に転送する

送信パケットサイズを、250Byte,500Byte,1000Byte,1500Byte に変えて、パケットを送信する

ネットワーク環境として、

「FTP サーバ アセンブリ装置」間と「アセンブリ装置 受信端末」間は Ethernet,

「アセンブリ装置」間は ATM とする

ATM ルータは、WindowsNT で構築している

4.1.2 アセンブリ装置での測定項目・結果

1. パケット最大連結数

FTP サーバ側とクライアント側のアセンブリ装置において、各送信パケットサイズごとのパケット最大連結数の測定を実施した。

測定ツールは、アセンブリ装置に付属しているものを使用した。

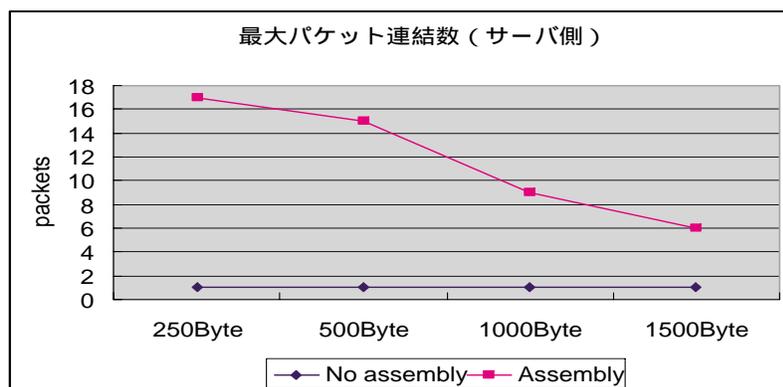


図 4.2 パケット最大連結数 (FTP サーバ側)

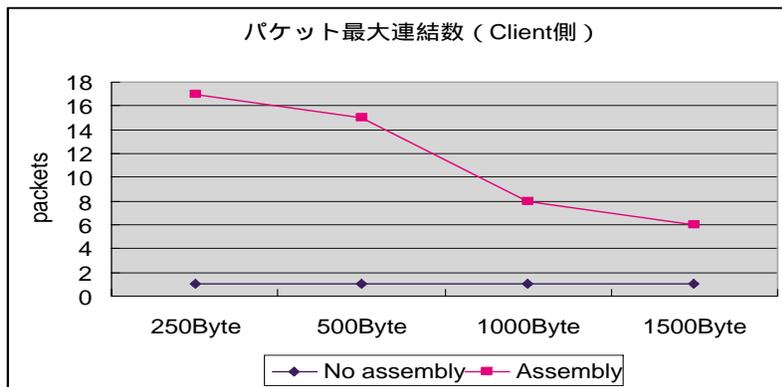


図 4.3 パケット最大連結数 (クライアント側)

2 . パケット 平均連結数

FTP サーバ側とクライアント側のアセンブリ装置において、各送信パケットサイズごとのパケット平均連結数の測定を実施した。

測定ツールは、アセンブリ装置に付属しているものを使用した。1[sec] ごとの平均パケット連結数が計算される。

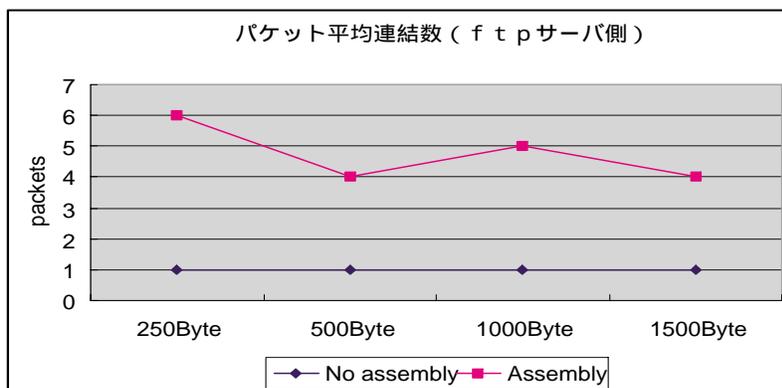


図 4.4 パケット平均連結数 (FTP サーバ側)

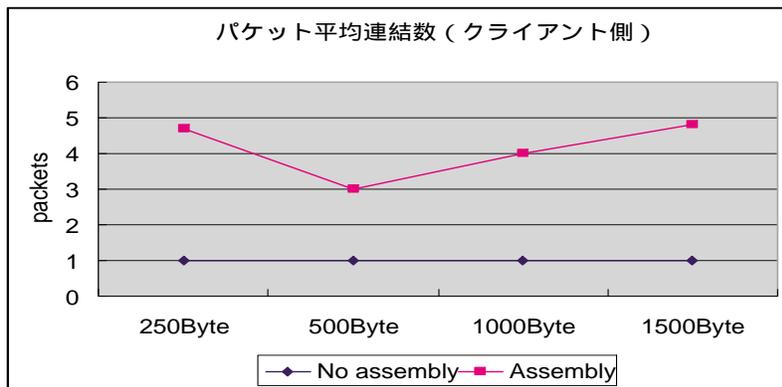


図 4.5 パケット平均連結数 (クライアント側)

3 . アセンブリ装置負荷

FTP サーバ側とクライアント側のアセンブリ装置において、パケットアセンブリを実行する場合としない場合のアセンブリ装置負荷の比較を、各送信パケットサイズごとに測定を実施した。

測定ツールは、アセンブリ装置に付属しているものを使用した。1[sec] ごとの平均アセンブリ装置負荷 (step 数) が計算される。

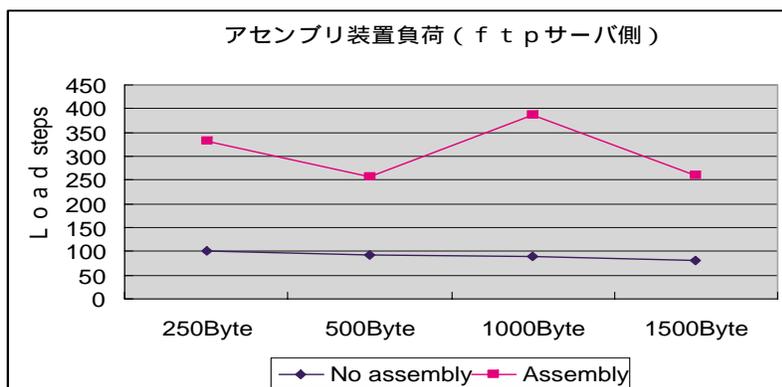


図 4.6 アセンブリ装置負荷の比較 (FTP サーバ側)

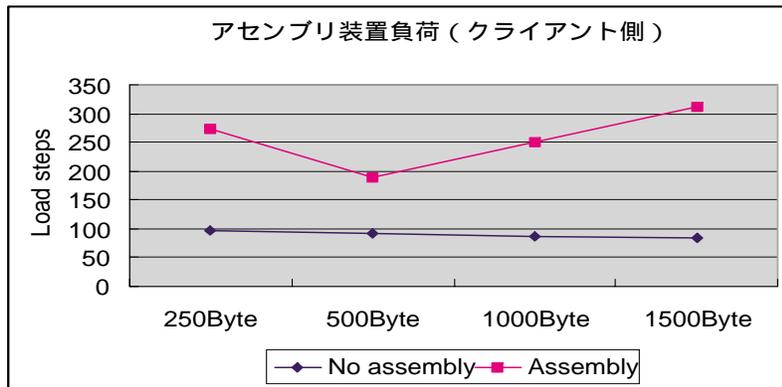


図 4.7 アセンブリ装置負荷の比較 (クライアント側)

4.1.3 ATM ルータでの測定

1. ATM ルータの負荷

パケットアセンブリを実行する場合としない場合の ATM ルータの負荷の比較を、各送信パケットサイズごとに測定を実施した。

負荷の測定ツールは、WindowsNT 付属のパフォーマンスモニタを使用した。Processor 処理の 1 [sec] の平均負荷を計算する。

Processor Time は、あるプロセッサが非アイドル状態のスレッドの実行に費やした時間をパーセンテージで表した値とする。

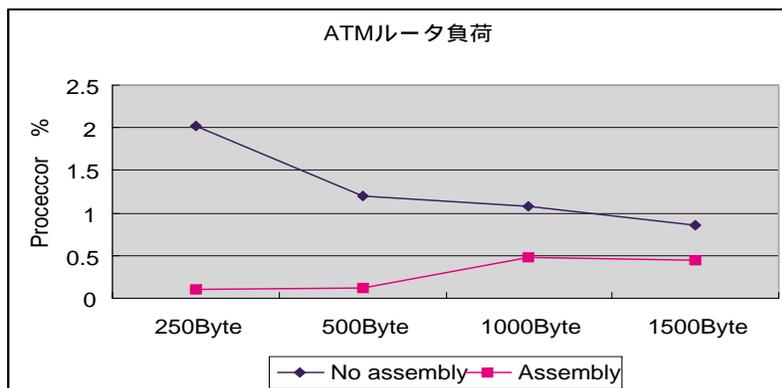


図 4.8 ATM ルータ負荷の比較

2 . ATM ルータ内パケット数

パケットアセンブリを実行する場合としない場合の ATM 内パケット数の比較を、各送信パケットサイズごとに測定を実施した。

パケット数の測定ツールは、ATM Sniffer を使用した。「アセンブリ装置 ATM ルータ」間において ATM Sniffer を繋ぎ、TCP パケットをキャプチャする。

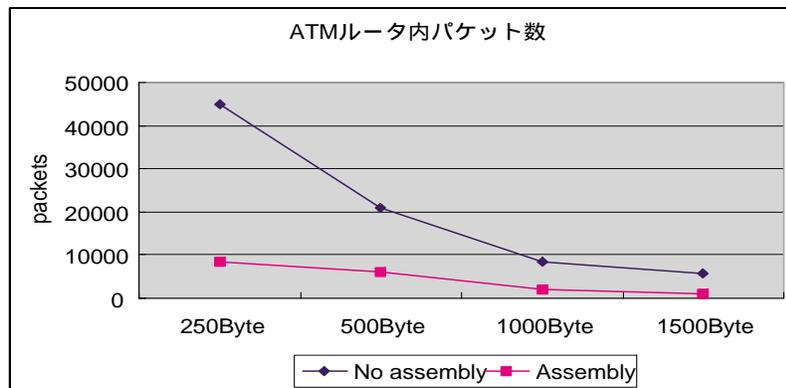


図 4.9 ATM ルータ内パケット数の比較

4.2 考察

4.2.1 パケットアセンブリ評価

1 . パケットアセンブリ最大連結数

FTP サーバ側、クライアント側の両アセンブリ装置において、100[msec] のパケットアセンブリタイムアウト値の設定でパケットアセンブリを実行した場合、送信パケットサイズが 1000Byte 以上の場合は、9180Byte (ATM の MTU) 迄パケットアセンブリすることができたが、500Byte 以下のパケットサイズにおいては、9180Byte を満たす迄パケットアセンブリすることができなかった。実際のネットワークにおいては小サイズのパケットが大多数を占めている。そこで、アセンブリタイムアウト値を 100[msec] 以下に設定するか、パケッ

トを連結する個数を適度に指定する必要があることがわかった。また、小サイズの packets においては 9180Byte 迄アセンブリできないので、Ethernet のデータリンクにおいても packets アセンブリを実行することで、エッジルータでの packets アセンブリをより有効的なものにする可以考虑。

2 . packets アセンブリ平均連結数

この実験結果の予測として、packet サイズが小さいもの程、より packet 連結が実行されると考えていた。特に、FTP サーバ側のアセンブリ装置においては、主に 5Mbyte のファイルのデータが packets アセンブリされているので、送信 packet サイズが小さい程 packets が連結すると予測できると考えた。しかし、実際の結果は FTP サーバ側, クライアント側両アセンブリ装置において、500Byte の時、最小の平均連結数となった。この原因について考察しているが、未だその原因突き止めていない。そこで、原因解明のために FTP サーバ・受信端末において、Ethereal (packets キャプチャソフト) による packet 解析を行っていく予定である。

3 . packets アセンブリ装置負荷

packets アセンブリ装置の負荷の結果は、packets アセンブリ平均連結数のグラフと類似するグラフとなり、FTP サーバ側, クライアント側の両装置においての負荷は、通常時の転送時に比べ 2.1 ~ 4.3 倍以内に収まった。また、この値がルータの処理 (step 数) 能力において許容範囲にあるかどうか問題である。しかし、アセンブリ装置はルータとは動作が異なる。そこで、アセンブリ装置とルータの負荷比較をどのように行っていくかが今後の課題となる。

4 . ATM ルータ負荷

パケットアセンブリを実行した場合、送信パケットサイズが 1000Byte 以上の場合は、ATM ルータの負荷を $1/2$ 以下まで軽減することができ、送信パケットサイズが 500Byte 以下の場合は、負荷を $1/10$ 以下に迄軽減することができた。このことから、サイズが 500Byte 以下のパケットについては、十分に満足な結果が得られと考えており、このことは、小サイズパケットが多数存在する現状のネットワークにおいて、パケットアセンブリが有効であることを示すことができたと言える。また、MTU の小さいデータリンクから MTU の大きいデータリンクに転送するエッジルータにおいて、パケットアセンブリが有効的であることが言える。

5 . ATM ルータ内パケット数

パケットアセンブリを実行した場合、コアルータ内のパケット数は、 $2/7 \sim 1/6$ 以下に減少させることができた。このことから、IP ヘッダ処理等が減ることからコアルータの負荷軽減に繋がることが良く分かった。また、コアルータ内のパケット数が $1/5$ 減少したとしても、コアルータ負荷が等しく $1/5$ に軽減されないことから、パケット数の減少率が直接負荷の軽減率にかかわらないことがわかった。

6 . 遅延と帯域低下

上記のパケット最大連結数の考察から、遅延と帯域の低下が起きていると考えられる。その理由として、500Byte 以下のパケットにおいては、パケットが連結する最大個数でも 9180Byte を満たさないことが挙げられる。このことから、連結されるパケットは毎回 100[msec] 待たされることになるので余分な待ち時間が多く存在することになるので、この時間が遅延となり、帯域を低下させることになる。また、この帯域の低下により、ATM ルータの負荷の軽減に影響が出てしまうことになる。帯域の低下による ATM ルータ負荷の軽減

は望ましいものではない。そこで、遅延と帯域の低下を抑制する必要がある。その方法として、最も簡単なやり方はパケットアセンブリタイムアウト値を 100[msec] 以下に設定することである。タイムアウト値を具体的にどれくらい設定するかは、これからの測定による。しかし、実際のネットワークの状態は、時間・場所等様々な要因により常に変化しているので、タイムアウト値を一定に設定することは余り望ましくないと考えられる。次に、提案する方法としては、パケットサイズやパケット間隔から、パケット連結を制御する機能をパケットアセンブリ装置に追加することである。これは、パケットサイズやフローからのパケット間隔の予測を行い、パケットを連結する個数を決定するものである。具体的な方法についてはこれから検討していくつもりである。また、この方法は、パケットを連結する個数をタイムアウト値にすることも良いと考えられる。何故なら、タイムアウト値が固定値ではなくなるので、常に化するネットワーク状態に対応できるものと考えられるからである。

4.2.2 パケットアセンブリ装置改善点

考察による装置改善点

1 . パケットアセンブリタイムアウト値

アセンブリ最大連結数や遅延、帯域の低下の考察に述べたようにパケットアセンブリ装置において、パケットアセンブリタイムアウト値を 100[msec] 以下の設定が行えるようにすべきであることがわかったので、より小さい値のパケットアセンブリタイムアウト値を設定できるようにする必要がある。今後測定に必要な具体的なタイムアウト値の設定範囲は、1 ~ 100[msec] 以内であると考えている。この問題は、次号機のパケットアセンブリ装置において改善される予定であり、パケットアセンブリタイムアウト値の設定範囲は、0 ~ 1000[msec] となる。

2 . パケット連結 (タイムアウト値) 制御機能

遅延と帯域の低下の考察において述べたように、パケットアセンブリの性能向上を求める上でパケット連結やタイムアウト値の制御機能を付加する必要があると考えている。これは、

パケットサイズやフローからパケット間隔などを予測し、パケット連結数やタイムアウト値を決める機能である。フローの予測方法等の具体的な方法については、今後検討していく予定である。

その他の装置改善点

1．複数端末間によるパケットアセンブリ制御

本研究で使用したパケットアセンブリ装置は、1対1の通信においてしかパケットアセンブリを実行できない。これでは、実ネットワークに近い環境で測定することやマルチフローアセンブリの評価ができないので、複数端末間でのパケットアセンブリが実行できるようにする必要がある。この問題は、次号機のパケットアセンブリ装置において改善される予定である。

2．優先スケジューリング送信機能

これは、アセンブリルートごとに設定された優先度を基に、パケットアセンブリ後のパケット送信順序に優先付けを行う機能である。優先度の設定は最大で33の優先付けが行える。この優先制御を実行することによって、フローに対して差別化を行うことから、ある程度のQoSを保証することができるようになる。この機能は、次号機のパケットアセンブリ装置において付加される予定である。

3．ルーティング機能

本実験装置においては、ルーティング機能が実装されていなかった。よって、Ethernet Ethernet, Ethernet ATM, ATM ATM 間のルーティング機能が、次号機のパケットアセンブリ装置において付加される予定である。

4．ARP (Address Resolution Protocol)

本研究で使用したパケットアセンブリ装置には、ARPに対応していなかったため、送信・受信端末において静的に付け加えていた。そこで、次号機のパケットアセンブリ装置においてARP応答の機能が追加される予定である。

4.3 今後測定すべき項目

1. リアセンブリ処理の負荷測定

本研究の測定においては、リアセンブリ処理の負荷が測定できなかった。連結パケットを分解するだけなので、パケットアセンブリ処理程は負荷でないと予測できるが、ネットワーク全体の負荷として比較する際に用いるので測定を行う必要がある。また、分解する際に、遅延が発生し、フローに影響を与え帯域に影響を与えてしまうか測定する必要がある。

2. 複数の送信・受信端末数によるパケットアセンブリ評価

本研究の測定においては、1対1の通信でのパケットアセンブリ評価を行った。その理由として、実験に使われたパケットアセンブリ装置は、1対1の通信においてしかパケットアセンブリを実行できない条件があったからである。今後、パケットアセンブリ装置を実用化していくためには、複数の端末間（ネットワーク間）の通信による測定は行わなければならない。下記に今後の実験環境予定図を示す。

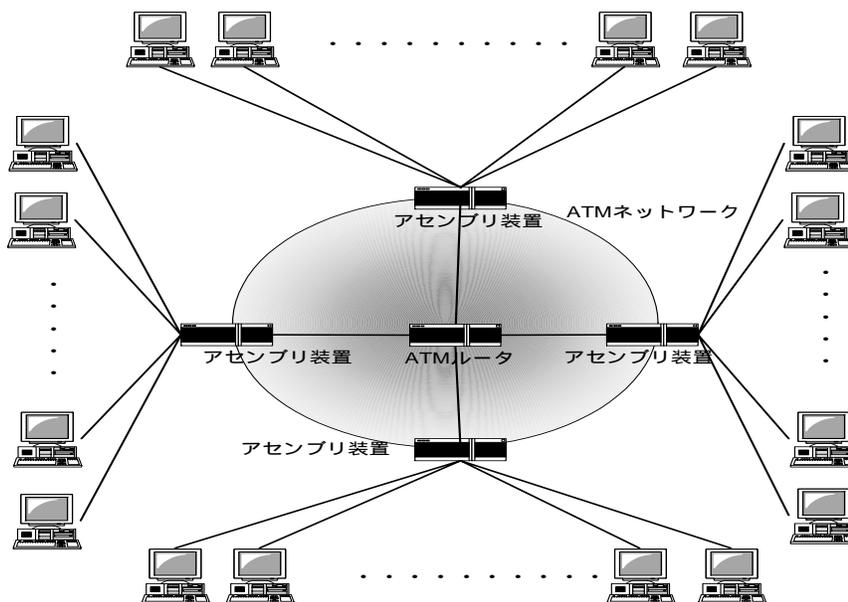


図 4.10 今後予定する実験環境

今後は、複数の端末間によるパケットアセンブリの有効性を実証しながら、問題点を抽出していく予定である。

3 . シングルフローアセンブリとマルチフローアセンブリの比較

上記でも述べたが、複数の端末間の通信が実行できないため、シングルフローアセンブリとマルチフローアセンブリの比較が行えなかった。マルチフローアセンブリは、サブネットマスク毎のアセンブリを実行するために複数の端末間の通信が必要条件となるからである。実際に、マルチフローアセンブリがシングルフローアセンブリより有効であるか実証し、またその効果がどれくらいであることを示していく予定である。

4 . TCP Ack のパケットアセンブリ

本研究において、TCP フローを実際に転送したが、Ack パケットの検証は行わなかった。そこで、パケットアセンブリを実行している場合の TCP パケットをキャプチャし、Ack が実際にどのように動いているかを調査していき、適切なパケットアセンブリ方法を検討していく予定である。

5 . パケットアセンブリタイムアウト値

パケットアセンブリパケット最大連結数の考察から、パケットアセンブリタイムアウト値を 100[msec] 以下に設定する必要があることが分かったことから、タイムアウト値を変更しながらパケットアセンブリの実験を実施し、適切なタイムアウト値を検証していく予定である。

4.4 結論

今回の測定を行った結果、ATM ルータ負荷軽減においてパケットアセンブリ方式の有効性を実証できた。しかし、検証すべき課題も多く残っており、遅延と帯域低下といった問題点も浮き出てきた。この問題に関しては、パケット連結(パケットアセンブリタイムアウト値)制御機能を追加することにより、遅延と帯域低下を抑制できることから、パケットアセンブリ装置の性能向上が実現できるので、アセンブリ装置の高機能化が実現できると踏んでいる。

第 5 章

アセンブリ装置高機能化の提案 - スケジューリング方式 -

本章では、まず高機能化の目的を述べ、スケジューリング方式の説明と紹介を行い、パケットアセンブリスケジューリングについて述べている。

5.1 高機能化への目的

パケットアセンブリには、パケットを結合・分割する際に発生する遅延、リアルタイムパケットや経路制御プロトコルなどのパケットアセンブリに適さないトラフィックの分別方法、TCP の Ack のアセンブリ方法など様々な課題がある。よって、このような課題を解決して、パケットアセンブリを更に向上させる必要がある。そこで今回、主にパケットアセンブリに適さないパケットの分別を解決するパケットアセンブリスケジューリングを考案した。

5.2 従来スケジューリング方式

実際のネットワークにおいて、ルータは複数の入力フローと 1 本の出リンクしか存在しない。そこでパケットを 1 本または複数のキューに格納し、一定のアルゴリズムに従ってキューから 1 個ずつ順にパケットを取り出して、出リンクに送出する必要がある。この送出順序を選択するスケジューリングアルゴリズムをスケジューリング方式という。[7]

5.2.1 スケジューリング方式

①FIFOQ(First in First out Queueing)

FIFOQ は従来の Best-effort 型のスケジューリング方式である。すべてのフローの packets を到着順に 1 本のキューに格納し、キューの先頭から順に出力する。よって、フロー毎の出力レートは入力レートに比例する。また、小さなバーストならばそのまま転送される。現在の多様なアプリケーショントラフィックが存在するネットワークにおいては、この方式で QoS を保証することができない。[7]

②PQ(Priority Queueing)

PQ はフロー毎の優先度を定め、そのフローすべての packets にフローの優先度を記入してキューに格納する。ゲートウェイでは優先度に従って packets を処理する。優先度の高いフローは順次 packets が送出されるが、優先度の低いフローは枯渇する恐れがある。[7]

③WFQ(Weighted-Fair Queueing)

WFQ は各フロー毎にキューを用意して、packets を格納する。ゲートウェイにおいては、重み付けをされた各フローをラウンドロビン方式により packets を送出する。動的に帯域幅を割り当てられるので他のフローの影響を一定以下に抑えることができる。また、ラウンドトリップ遅延の変動問題にも対応しており、量の多い通信が複数行われても転送レートと到着間隔が予測可能となる。しかし、各フロー毎にキューを用意するのでメモリを浪費してしまうので、ハードウェアでの実装が高価になる。[8]

④CBQ(Classed-Based Queueing)

CBQ は同一の出力リンクに出力されるフローを階層的なクラスに分類して、packets をキューに格納してから、各クラスに出力レートを与える。CBQ スケジューラーは、各フローに静的な帯域を確保するだけでなく、各クラスに静的な帯域を割り当てるように入力フローの帯域を制御できる。しかし、他のクラスの帯域に余裕がある場合（子クラスの親が違う）でも静的に帯域が決められているため、効率的な転送が行え

ない場合がある。[7]

5.2.2 パケットアセンブリスケジューリング - 本実験装置 -

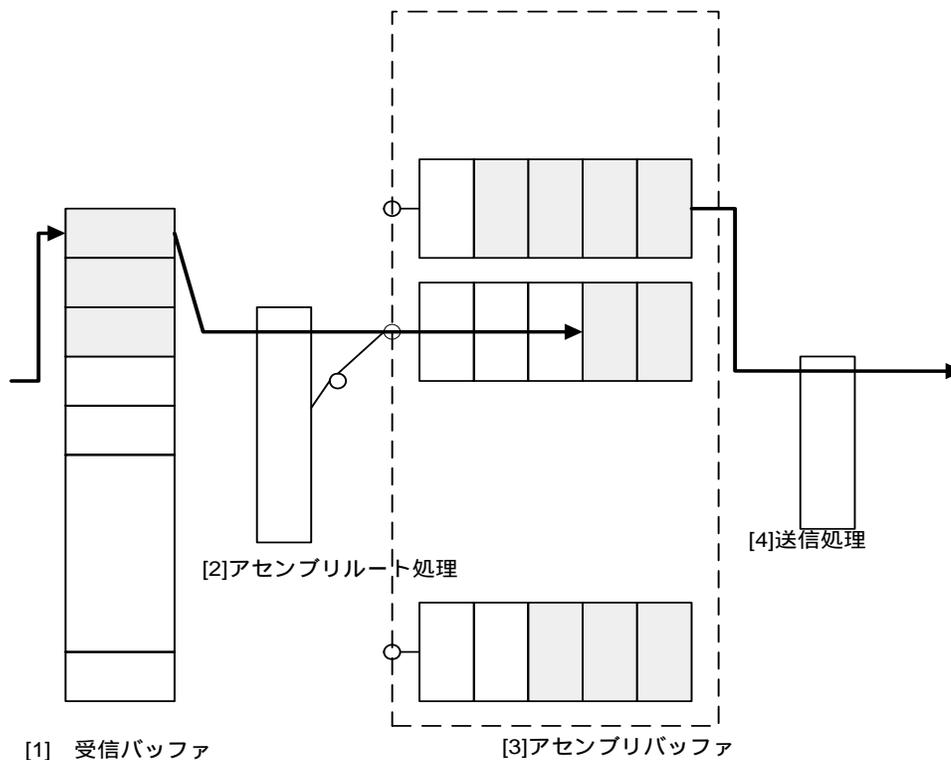


図 5.1 本実験装置のスケジューリング

[1] 受信バッファ

この受信バッファは、装置に受信されたパケットが格納される場所である。

[2] アセンブリルート処理

TOS 値によるアセンブリルート処理が行われる場所である。

[3] アセンブリバッファ

アセンブリされるパケットが格納され、パケットアセンブリが実行される場所である。

[4] 送信処理

アセンブリされたパケットを送信する場所である。

送信方法は、アセンブリルートをラウンドロビンで監視し、パケット連結が完了されたアセンブリパケットから順に送信する。

5.3 パケットアセンブリスケジューリング

5.3.1 構成

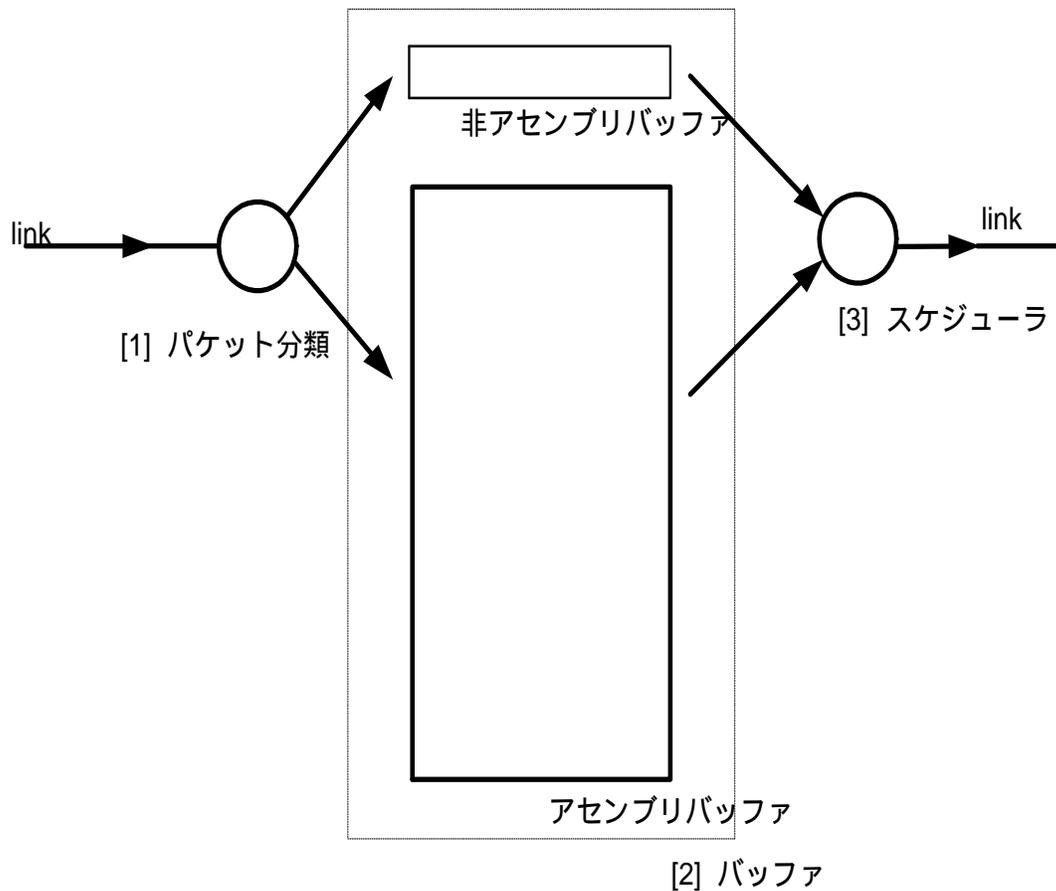


図 5.2 パケットアセンブリスケジューリング

[1] パケット分類

プロトコル番号, ポート番号によるアセンブリ実行選択

プロトコル番号とポート番号を参照して、アセンブリバッファに格納するか、非アセンブリ

バッファに格納するか決定する。

シングルフローアセンブリ or マルチフローアセンブリの確認

アセンブリバッファがシングルフローアセンブリかマルチフローアセンブリのどちらのモードか確認する。

同一の宛先 IP アドレス(サブネットマスク), 送信元 IP アドレス(サブネットマスク) によるアセンブリルート(キュー)処理。

宛先 IP アドレス, 送信元 IP アドレスを参照してパケットのアセンブリルート(キュー)を決定する。

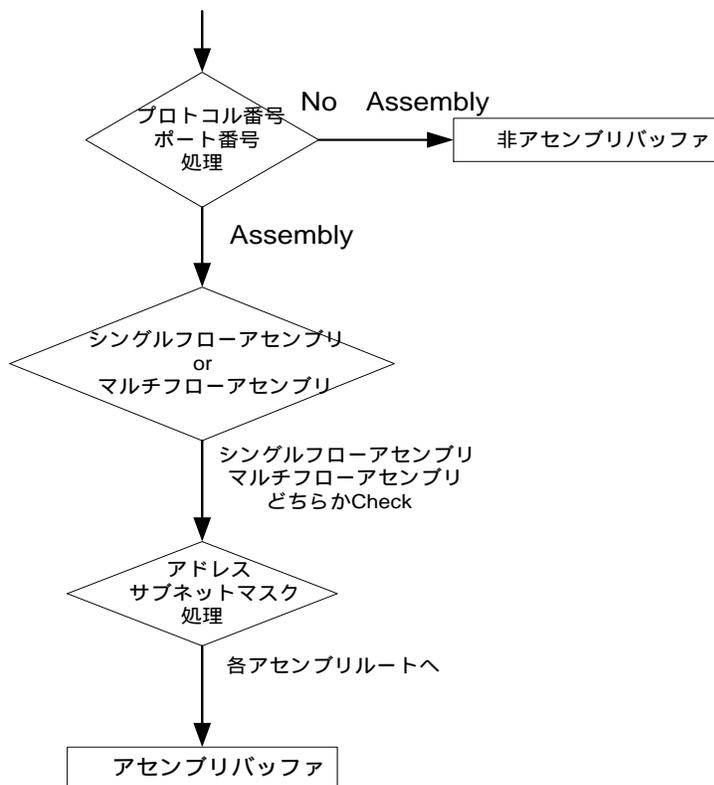


図 5.3 パケット分類の流れ

[2] バッファ

非アセンブリバッファ

パケットアセンブリを実行されないパケットが格納される。

アセンブリバッファ

パケットアセンブリを実行されるパケットが格納され、パケットアセンブリが実行される。

[3] スケジューラ

送信制御

1. 非アセンブリバッファにパケットが格納されているかの判断

非アセンブリバッファにパケットが格納されていると判断された場合、パケットの送出を開始する。

2. アセンブリバッファに連結が完了したパケットがあるかの判断

アセンブリバッファにパケット連結が完了したパケットがあると判断された場合、パケットを送出する。連結が完了されたアセンブリパケットは、アセンブリされていないパケットに割り込んで優先的に送出される。但し、非アセンブリバッファにおいて、パケット量がある閾値を超えて存在した場合、非アセンブリバッファのパケット量が閾値の半分以下の量になるまで、パケットを優先的に送出する。

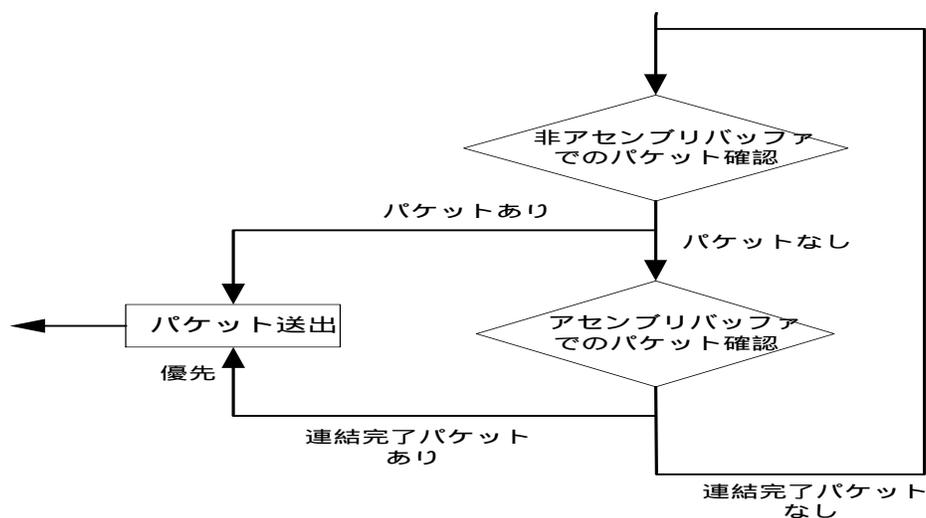


図 5.4 送信制御の流れ

優先送信制御

プロトコル番号、ポート番号とアドレスの参照により、アセンブリルートの連結パケットに

対して優先送信制御を行う。

5.3.2 ユーザ設定項目

プロトコル番号, ポート番号によるパケットアセンブリの設定

パケットアセンブリを実行しないプロトコル番号, ポート番号を設定する。

プロトコル番号, ポート番号とアドレス(サブネットマスク)による優先送信制御の設定
優先送信制御を行いたいプロトコル番号, ポート番号やアドレス(サブネットマスク)を設定する。

5.3.3 本実験装置との違い

1 . プロトコル番号, ポート番号によるアセンブリ実行選択

本実験装置においては、TOS 値によって、パケットアセンブリの実行やアセンブリルート決定を行っている。しかし、TOS による優先制御は現在の殆どのネットワークにおいては、要求は無視されたり、制御機構を実装することが難しく、要求が不正に設定されている場合に不公正さを生じることから利用されていないのが現実である。そこで、IP パケットに必ず含まれているプロトコル番号, ポート番号を参照することで、これらの問題を解決しようとしている。

2 . 優先送信制御

本実験装置においては、優先送信制御は行っていない。優先送信制御を行うことで、フローに対して差別化をおこなえることから、ある程度の QoS を保証することができるようになる。例えば、あまり利用されないプロトコルのフローについては、優先度を低くし、利用頻度の高いプロトコルについては優先度を高く設定したり、あるレベルの高いサービスを受けているアドレスのフローについては優先度を高く設定し、レベルの低いサービスを受けているアドレスのフローについては優先度を低く設定したりすることで QoS を保証することができる。

5.4 考察

このパケットアセンブリスケジューリング方式を採用した場合、

- 1．優先送信制御を行うことで、ある程度の QoS が保証できる。
- 2．ユーザの設定項目を増やしたことからある程度のネットワーク環境に対応できることからパケットアセンブリ装置に汎用性を持たせることができた。

この 2 点が改善されると考えている。

また、プロトコル番号、ポート番号で、パケットアセンブリを実行するかしないかの設定が行えることから、目的であるパケットアセンブリに適さないフローの分別が実行できると考えている。

5.5 今後の課題

まず、送信制御において、非アセンブリバッファが輻輳した場合の具体的な閾値について検証を行っていく必要がある。次に、パケットアセンブリスケジューリングをプログラミングによる実装を行うか、パケットアセンブリ装置への実装を行い、従来のパケットアセンブリのスケジューリング方式より有効性であるかを実証しなければならない。また、遅延など他のパケットアセンブリの問題点を改善できるパケットアセンブリスケジューリングの提案を行っていく必要がある。

第 6 章

まとめ

本稿では、パケットアセンブリ装置を用いて従来の IP パケット転送と比較し、特に ATM ルータ負荷軽減においてパケットアセンブリの有効性を実証した。しかし、まだ、検証すべき項目も多数あり、遅延と帯域の低下といった問題点も発見された。この問題点は、パケット連結（パケットアセンブリタイムアウト値）の制御機能を追加することにより抑制しようと試みている。遅延と帯域の低下を抑制することができれば、パケットアセンブリ装置の性能が向上したことになるので、装置の高機能化が図れたことになる。

また、パケットアセンブリに適さないパケットの分別するパケットアセンブリスケジューリングを提案した。このパケットアセンブリスケジューリングを採用することにより、ある程度の QoS が保証され、パケットアセンブリ装置に汎用性を持たせることができ、パケットアセンブリに適さないパケットの分別が行えるようになる。

今後は、より実ネットワークに近い環境で測定を行いながらパケットアセンブリの有効性を検証すると共に、パケットアセンブリの高機能化を図っていく。

謝辞

本研究を行う際に、指導を頂いた島村和典 学科長や通信・放送機構高知トラフィックリサーチセンタの神田敏克氏には、助言、指導を頂き深く感謝いたします。また、副査となっ
ていただいた岡田守 教授、岩田誠 教授にも深く感謝いたします。最後に、同研究室の共同
研究者の浦西慶規さん、山田敦さん、その他島村研究室の方々に感謝いたします。

参考文献

- [1] T.Kanda and K.Shimamura, "Load reduction for the node processors in core networks by packet assembly," IEEE CQR Technical Committee, CQR International workshop 2001 in Tucson, U.S.A.
- [2] 「高速パケットでフラグメント自律化方式の制御に関する研究」学士学位論文 平成12年度, 小林寛征, 高知工科大学
- [3] 「ネットワークトランスファ性能評価とその高機能化に関する研究」学士学位論文 平成12年度, 浦西慶規, 高知工科大学
- [4] <http://www.cisco.com/japanese/warp/public/3/jp/solution/sp/mpls/mpls1.html>, Cisco
- [5] <http://www4.nikkeibp.co.jp/NCC/nccnews/ncc577.html>
- [6] 「マスタリング TCP/IP 入門編第2版」竹下隆・村山公保・荒井透・苅田幸雄 共著, オーム社
- [7] 「詳解 ネットワーク QoS 技術」戸田巖, オーム社
- [8] 「ギガビットイーサネット徹底解説」StephenSaunders 編 井早優子 訳 林田朋之・米澤寿員 監訳, 日経BP社