

ISSN 1343-2001

TOKYO  
UNIVERSITY  
OF  
INFORMATION  
SCIENCES

# 東京情報大学 研究論集

Vol.4 No.2・3合併号 抜刷

池田博昌, 山本 幹

アクティブネットワーク技術とその応用

東京情報大学

2001. 3

# アクティブネットワーク技術とその応用

池田 博昌\* 山本 幹\*\*

## 1. まえがき

近年の急速なインターネットの進展に伴い、ネットワーク技術にも新しい考え方が導入されるようになってきた。従来のインターネットでは、ネットワーク内のノードであるルータは、パケットが到着すると送出すべき出力ポートを選択するというルーチング処理と、その出力ポートへ送出するというフォワーディング処理を、その主たる処理対象としてきた。1996年ごろよりDARPAにおいて、このような従来の情報ネットワークの概念を大きく変革するものとして、アクティブネットワークが提案された。

アクティブネットワークとは、文献 [1] において、「ルータがアプリケーション層までの処理を実行することを許すネットワーク」として定義されている。また、「ユーザがプログラムを注入することで、ネットワークをプログラムすることが可能である」ことも、アクティブネットワークの大きな特徴として挙げられている。

アクティブネットワークの概念が提案された技術的背景として、次の3つの要素がある。一つには、プロトコル仕様変更への迅速な対応を可能とする技術が望まれていたことが挙げられる。従来の標準化プロセスを通じてのネットワークプロトコルの変革には、非常に長い時間を要する。例えば、マルチキャスト通信 [2] を実現するには、ルータがマルチキャストに対応したものである必要がある。全ルータがマルチキャスト対応のものに置き替わるには相当の期間を要するため、マルチキャスト対応ルータ同士をトンネリング技術により接続し、Mboneを形成するということで対応してきている。ここで、アクティブネットワーク技術が導入されれば、新しいプロトコルをプログラムという形でルータに注入することで、簡単に対応できる。もう一つの技術的背景として、すでにネットワーク内でネットワーク層以上の簡単な処理を実行するものとして、ファイアウォール、Web Proxyなどの技術が先行して導入されていることが挙げられる。また、Javaなどの、セキュリティを保証しつつプログラムの可搬性を提供するソフトウェア技術の進展も、その技術的背景の一つとして挙げられる。

アクティブネットワークという概念自体が新しいものであり、現在はその基本アーキテクチャの開発に向けて国内外で研究が進められている [3] [5] [6] [7] [8]。新しい技術が普及するには、インターネットの普及にWWWなどのマルチメディアアプリケーションが大きく寄与したように、新技術の導入によりユーザの利便性を大きく改善するアプリケーションの開発が必須である。

本稿では、アクティブネットワークの基本アーキテクチャを概説し、筆者らの研究を含め、アクティブネットワークについて推進されている研究を紹介し、この技術がどのように従来のネットワークの概念を打破しようとしているのかを述べることにしたい。

\* 東京情報大学教授

\*\* 大阪大学大学院工学研究科

## 2. アクティブネットワークの基本アーキテクチャ

アクティブネットワークを実現するための基本アーキテクチャとしては、ユーザがルータにプログラムを注入する方法によって、プログラマブルスイッチ方式とカプセル方式の2つの方式が提案されている。

プログラマブルスイッチ方式とは、ネットワーク内で実行すべき処理プログラムを事前にルータに注入しておき、ネットワーク内で処理を必要とするパケットにはどのプログラムを実行すべきかを識別するための識別子を格納し、パケット到着時にこの識別子で示されたプログラムに従って処理を実行する方式である（図1(a)）。

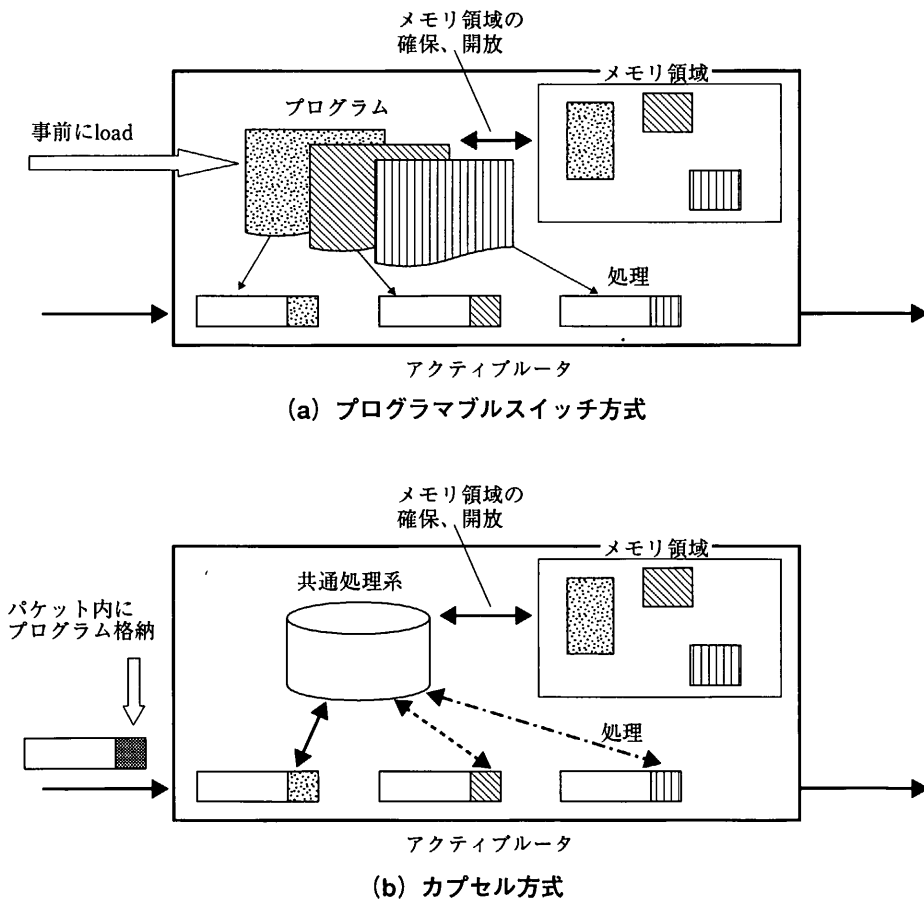


図1 アクティブネットワークの基本アーキテクチャ

カプセル方式では、ネットワーク内で実行すべき処理プログラムを各パケットに内蔵して転送する。ルータにおいては、共通処理系が用意されており、パケットに内蔵されてきたプログラムにしたがって処理を実行する（図1(b)）。カプセル方式では、処理内容をすべてプログラムとしてパケットに格納する必要があるために、用いられる言語も低レベルのものに限られ、さらに処理できる内容もその言語を用いてパケットに収容できるサイズのものに制約される。これに対し

て、プログラマブルスイッチ方式では、事前に処理内容を示すプログラムをルータに注入しておくので、ある程度の高機能言語の使用が可能であり、また処理内容もある程度複雑な内容のものが可能である。

プログラマブルスイッチ方式を採用した研究例として、MITで開発されているANTS (Active Node Transport System) [9] などがある。カプセル方式を採用した研究例としては、BBNで開発されているSmart Packet [10] や、NECで開発されているストリームコードを用いたアクティブネットワーク [6] [7] などがある。カプセル方式とプログラマブルスイッチ方式の双方を統合的に用いた方式として、UPENNとBellCoreが開発しているSwitch Ware [5] がある。プログラマブルスイッチ方式を採用した場合、ユーザの注入したプログラムがネットワーク資源であるルータの処理能力、メモリなどを使用できるので、特にセキュリティに関して厳しい管理を行うのが一般的である。例えば、ANTSでは言語にJavaを用いており、セキュリティに関しては言語レベルで保証するというスタンスを取っている。また、カプセル方式を用いた場合には、低レベル言語を用いてできるだけパケットに格納するプログラムを短くするという点が重視されている。例えば、NECが開発しているストリームコードでは、ルータでのハードウェア処理を可能とするためにアセンブリレベルの言語を用意し、さらにループなどの処理を排除することで、ルータにおけるデータフロー処理により高速性を実現している。

現在ラベルスイッチなどルータは高速化の一途をたどっており [11]、アクティブネットワーク技術を導入することでルータ本来の機能である経路選択ならびにフォワーディング処理に支障があらはならない状況にあることは確かである。特にバックボーンネットワークでは多くのトラヒックが集約されるため、より高速な処理が必要である。このような観点から、バックボーンネットワークではカプセル方式のような高速処理を可能とするような方式が適しているであろう。また、エッジルータでは、ある程度高速性を犠牲にしても複雑な処理が可能であるプログラマブルスイッチ方式を採用することで、多様なサービスをユーザに提供できるメリットがある。このような使い分けを可能とするためには、アクティブネットワークアーキテクチャとしては、Switch Wareのようにカプセル方式およびプログラマブルスイッチ方式の両者を統合的に適用できる方式が望ましい。アクティブネットワークの基本アーキテクチャに関する研究は、まだプロトタイプの開発などにとどまっており、それぞれのプロジェクトの向かっている方向も異なっている。今後どのような方向に集約していくかは、アクティブネットワークが実際に使われるようになり、ユーザの要求にどの方式がもっともこたえられるか、今後現れるであろうキラーアプリケーションにどの方式が最も合致するかという点で決まっていくであろう。

### 3. アクティブネットワークの適用領域

アクティブネットワークは、ネットワーク内のルータがアプリケーション層までの処理を実行するという点、およびユーザがネットワーク内のルータでの処理をプログラムできる点の、2つの点で“Active”であると言われている。アクティブネットワークのこのような定義を見ると、ルータにユーザが希望するいかなる処理も実行させられるように解釈できるが、実際にはいくつかの制約がある。それらの制約としては、以下の3つが考えられる。

- ① 必然性 (有効性) : ネットワーク内で処理を行うことに必然性があるか、もしくは有効性がある。

- ② 軽負荷性：ルータでの処理によるオーバーヘッドが少ない。
- ③ 部分動作性：ネットワーク内のすべてのルータがアクティブネットワーク機能を実装しているわけではないので、一部のルータのみがアクティブネットワーク機能を実装している状況で有効に動作する。

ネットワーク内ノードであるルータは、多数のユーザ間で共有する共有資源であり、それゆえ一ユーザが資源を独占する状況が発生しないような制約が必要である。ネットワーク内で処理を行う必然性がないにも関わらず、いたずらにルータに処理を委ねるのは、共有資源を無駄に利用することとなる。こういった意味において、①に挙げた条件は必須のものである。①に挙げた条件におけるネットワーク内処理は、2つの処理に分類できる。一つはネットワーク内でしか実行できない処理であり、もう一つはネットワーク内で実行することによりユーザの享受するサービスが向上するなどの性能向上が見られる処理である。例えばネットワーク内の輻輳状況、ルーティング情報などの把握が、前者の範疇に入る。後者の例としては、例えばキャッシュによる一時的な情報蓄積などが有効なアプリケーションがある。

ルータ資源を有効に利用するという観点から、アクティブネットワーク機能を実装したルータでの処理内容が軽負荷で実現できることも重要な条件である。ルータでの処理が重ければ、他のユーザへのルータ処理機能の配分が制限されることで他に与える影響が大きいのみならず、ルータにおける処理時間が大きくなり自らの応答時間を劣化させることになる。このことは、ネットワーク内で処理させることによる有効性を必要条件とする、前述の①の条件に反することにもつながる。また、ルータは今日高速化の一途をたどっており、アクティブネットワーク技術の導入によるオーバーヘッドはできるだけ小さいことが望まれる。このような条件から、上記②のルータでの処理の軽負荷性は、非常に重要な要件といえる。

アクティブネットワーク技術を導入するためには、ルータをアクティブネットワーク技術対応のものに置き換える必要がある。しかし、アクティブネットワーク機能が全ルータに導入されるには相当の期間を要する。前述のように、アクティブネットワーク技術が広く普及するにはその有効な応用技術の出現が必須であるが、応用技術が全ルータがアクティブネットワーク対応であることを要求するものであっては、アプリケーションによる普及効果は期待できない。すなわち、初期のアクティブネットワーク応用技術には、ルータの一部のみがアクティブネットワーク技術対応であっても、十分にユーザの享受するサービス性能の向上を実現できることが要求される。これが、上記の条件③に示した、部分動作性である。

## 4. アクティブネットワークの応用技術

以下の節では、アクティブネットワークの応用技術として提案されているいくつかの事例を取り上げ、上記の制約条件をどのように満足するかという視点で各事例について考察する。

### 4.1 信頼性マルチキャストへの適用

インターネット上で1対多もしくは多対多通信、すなわちマルチキャスト通信を行う場合には、IPマルチキャストが用いられる [2]。IPマルチキャストは、UDPをベースとしており、パケットロスに対する対応など信頼性に対する補償は全く行われぬ。株式情報やニュースの配信サービスをマルチキャストで実現しようとする場合には、パケットロスなどで失われた情報を補償する

ことが必要である。このような信頼性を重視するマルチキャスト通信として、信頼性マルチキャスト通信の重要性が認識されつつある [12] [13]。

信頼性マルチキャスト通信においては、再送制御が重要な技術課題である。パケットが正常に受信された時にACK信号を返送する方式を用いた場合には、マルチキャストされた情報を受け取ったすべての受信局からのACKが送信局に集中する、いわゆるACK implosionが発生するため、送信局において再送制御に要するオーバーヘッドが大きくなるという問題がある [14]。これに対して、パケットが誤って受信された時にNAK信号を返送する方式を用いることである程度のオーバーヘッドの解消は可能である [14] が、NAKが送信局に集中する可能性があるため、本質的な解決策とはなっていない。また、再送制御を局所的に行うLocal Recoveryという方法も考案されている [15] が、ネットワーク帯域などの資源の無駄な使用を完全に排除できるわけではない [16]。

これらの方法は、エンドユーザ側に位置するホストが発生するNAKや再送パケットを低減するための方策を講じるという点で、End-to-Endアプローチとなっている。これに対して、ネットワーク内のルータが積極的に再送制御に関与する方法がいくつか提案されている。例えば、文献 [17] では、下流の受信局から送られてくるNAKのうち最初のNAKだけを送信局へと送出し、それ以外の冗長なNAKは廃棄するという処理をルータに実行させている(図2 (a))。これにより、送信局に到達するNAKは各パケットにつき最大一つとなり、送信局での再送制御に要するオーバーヘッドを大幅に低減するとともに、冗長NAKによるネットワーク帯域の浪費も防げる。さらに、文献 [18] では再送パケットをネットワーク内のルータでキャッシュしておき、それ以降に到着したNAKに対してルータが再送を行うことを提案している(図2 (b))。

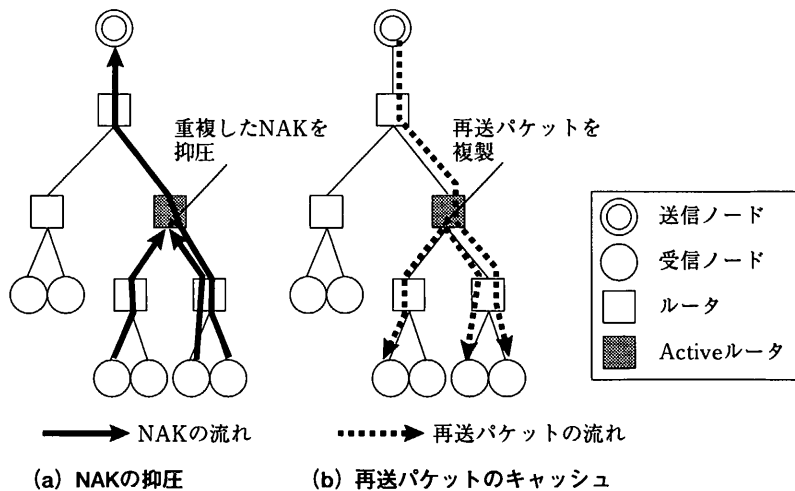


図2 信頼性マルチキャスト通信におけるアクティブルータの働き

これらの手法を、3節における制約条件の観点から考察してみる。マルチキャスト通信は、一般に多数の受信局が存在し、送信局は不特定であるものの、あるパケットについては送信局は唯一である。送信局から送出されたパケットは、ルータを分岐点として送信局から多数の受信局へと分岐していくツリー状の経路上を伝送される。ネットワーク内には、多数の分岐点が存在し、ここでNAKを集約することで、送信局にNAKが集中することを回避している。このことは、分岐点において冗長NAKを削除することで、再送制御をネットワーク内に分散させていることに他なら

ない。NAK集約は、ネットワーク内でのみ可能な処理であり、条件①を満足している。また、マルチキャスト経路上に位置するルータに再送パケットをキャッシュするという事は、再送制御に要する遅延を低減するという観点、および送信局の再送制御オーバーヘッドを低減するという観点から非常に有効な方法であり、条件①を十分満足している。

次に、条件②の軽負荷性については、到着するNAKの最初のものを送出し、それ以降を廃棄するという簡単な処理を行うという意味で、軽負荷性もある程度は考慮されている。また、キャッシュについては最初に伝送するパケットをキャッシュするという考え方もあるが、あえて再送パケットのみのキャッシュに留めていることは、条件②の軽負荷性を考慮してのことである。

条件③の部分動作性については、方式提案を行った論文 [17] および [18] では詳しく論じられていなかったため、筆者等は文献 [19]、[20] で述べたように、この点に着目した評価を行った。それによると、約15%のルータにアクティブネットワーク機能が導入された段階で、End-to-Endアプローチによる再送制御プロトコルによって得られる性能より優れた性能が得られることが示されている(図3、図4)。図4においては、アクティブルータの配置に着目して性能改善効果を評価しており、MAN、WANいずれにおいても10~20%のアクティブルータの導入により遅延時間が短縮されることがわかり、アクティブネットワーク技術導入戦略が明らかとなっている。すなわち、割合としてはMANおよびWANルータのいずれに配置しても同様の効果が得られるものの、通常WANはトラフィック集約効果が大きくルータの数も少ないことから、台数効果としてはWANに配置する方が有効であることが分かる。これらより、信頼性マルチキャストへの適用は条件③も満足していることが分かる。

#### 4.2 QoS制御への応用

画像情報の符号化技術として、品質に及ぼす影響の大きい部分から小さい部分を複数のレベルに分割コーディングして、それぞれのレベルに異なる優先権を付与して送出し、輻輳が発生した場合には画像品質に影響の少ない低レベル部分だけを廃棄させる方法が提案されている。これをマルチキャスト通信に応用し、輻輳が発生したルータにおいて低レベル画像情報から廃棄する方

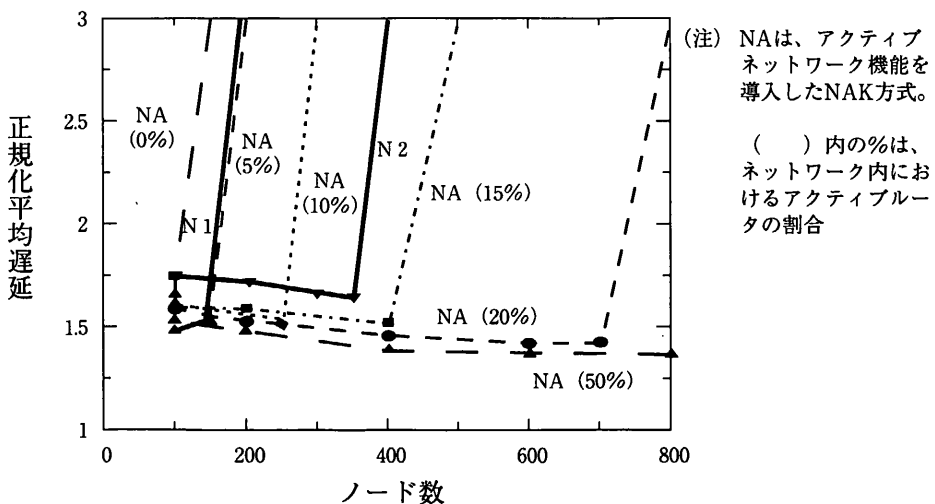


図3 信頼性マルチキャスト通信におけるアクティブネットワーク技術の効果

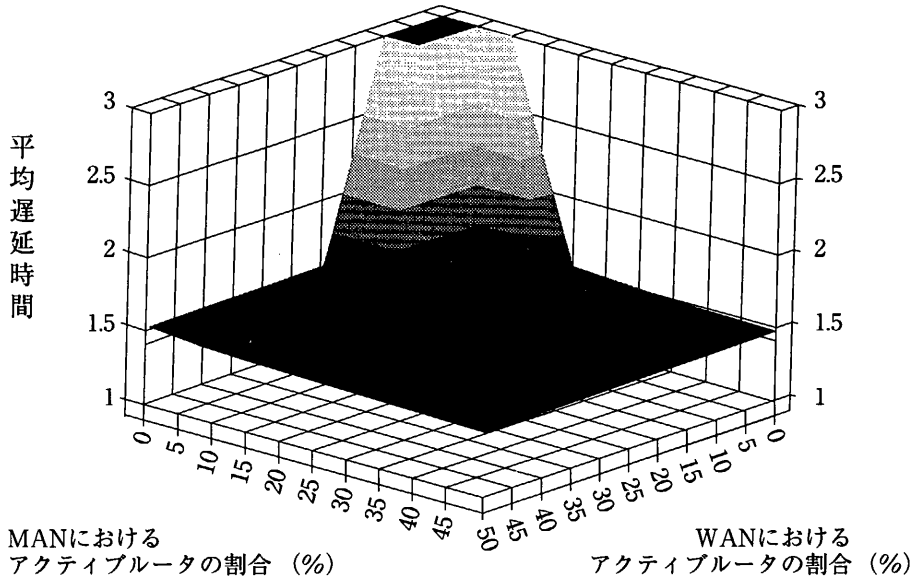


図4 信頼性マルチキャスト通信におけるアクティブルータの配置

法が、[21] [22] [23] などで扱われている。文献 [7] では、ストリームコードを用いたアクティブネットワークにおいてこのような階層化コーディングを用いた画像情報をマルチキャストする場合の実験結果が提示されている。

マルチキャスト通信におけるQoS制御にアクティブネットワーク技術を適用した場合、輻輳状況はネットワーク内でのみ観測可能であるという点で必然性を具備しており、アクティブネットワーク技術によってユーザが画像のコーディングレベルを設定できるためネットワークが提供する優先権制御とは独立に画像コーディングレベルを設定できる点で有効性も満足している。つまり、制約条件①は満足されている。

文献 [7] ではプログラムソースも提示されており、アクティブルータに実行させるべき処理が非常に簡易な形で記述できる点で、制約条件②の軽負荷性も満足していることがわかる。

部分動作性という点では、例えば一部のルータがアクティブルータでなく画像情報のコーディングと無関係にパケットが廃棄された場合、階層コーディングがうまく動作しない。ただし、輻輳の発生したルータがアクティブルータでさえあれば、それ以外のルータがアクティブルータでなくても、画像コーディングを考慮した廃棄が可能であり有効に動作する。このような点での部分動作性は満足しているが、輻輳が発生しやすいポイントにアクティブルータを配置するなどの対応をとればより有効に動作させることが可能である。

#### 4.3 TCPトラヒック制御への応用

アクティブネットワーク技術を、TCPにおける輻輳制御に応用した方式が、[24] において提案されている。本方式においては、ルータにおいて輻輳すなわちパケットロスを検知した場合に、それ以降の該当セッションへのパケット送出過程を、そのルータが送信ノードである場合にものに置き換える。また、ルータはこの動作による状態変化を、送信局へとフィードバック情報を用



いて通知する。この通知が送信局へ到達するまでに、送信局から送出されたパケットについては、ルータが送出すべきでない判断した場合、すなわち自身が決定したパケット送出過程を満足しないパケットについては廃棄する。このような動作により、状況によっては15%程度のスループット改善がみられることを示している。また最悪でも、通常のTCPと同様のスループットが得られることが示されている。

トラフィック制御への応用という観点からは、無線リンクへの応用例もある。エンドユーザのアクセス網に無線リンクを含む場合には、スロースタートアルゴリズムが頻繁に起動されるため、TCPの性能が大幅に劣化することが知られている。これを解決する方法として、無線リンクと有線部分との接続点にあたるルータでTCPコネクションを分割するという方法が提案されている[25]。著者らはアクティブネットワーク技術の応用には言及していないが、アクティブネットワーク技術で対応できる方法である。

これらの方法について、まず制約条件①の観点から考察してみる。前者の方法では、パケットロス自体はネットワーク内部のルータしか知り得ない情報ではない。受信局から送られるACKにより、送信局はパケットロスを検知しうる。ただし、ネットワーク内部のルータが、輻輳を検知して即座に対応することにより、輻輳に対する即応性が大幅に改善できる。この点から、前者の方法は条件①を満足している。また、後者においては、無線リンクと有線網との接続点でTCPを分割することにより、無線リンクの低品質性を有線網から隠蔽するという点で有線網部分の性能改善に有効であり、条件①を満足している。

前者の方法では、ルータを通る各セッションごとに状態を記録すること、パケットロスを検出した際に送信局と同様のウィンドウ変化によるパケット送出過程を作り出すこと、ならびにその状態変化を送信局へ通知すること、の大きく分けて3つの動作がルータに要求される。この方法においては、パケットロスを検出した後に送信局から到着したパケットを一旦ルータにおいて蓄積し、ルータの送出過程にあわせて送出するという考え方も適用可能であることが文献[24]に記されている。ただし、この方法を用いた場合にはルータに相当の処理負担を強いることとなり、現状では単にルータの送出過程に違反するパケットを廃棄するにとどめている。これは、②の条件を指向した考え方である。また、後者の方法では、一旦TCPコネクションをアクティブルータで分断するため、ルータが送信局および受信局の動作を模倣する必要がある。本方式については、軽負荷性を満足するという方向での改善の余地がある。

前者の方法では、アクティブルータがない状況では単に従来のTCP輻輳制御がエンドノードにおいて動作するため、部分動作性は保証される。後者についても、アクティブルータは無線および有線の接続点以外には不要であることから、部分動作性は保証される。輻輳状況の検知および輻輳に対する即応性という点から、アクティブネットワーク技術のトラフィック制御への適用の可能性は大きいと思われる。こういった意味において、制約条件①はどのような方法でも満足できるものの、いたずらに制御を複雑化し軽負荷性を軽視した場合には、他のアプリケーションに与える影響が大きくなる。こういった状況に陥らないために、ネットワーク内に処理させるべき内容とエンドノードで対応すべき内容とを見極めることが重要である。

#### 4. 4 キャッシュへの応用

クライアントとサーバとの経路上に存在するアクティブルータ上に設定したキャッシュにWeb情報を保存し、他のクライアントからのアクセスに対してこのキャッシュから応答するという方

式が、[26] [27] で提案されている。

通常は、あらかじめ設定したエンドノード部分にしかキャッシュできないのに対し、アクティブネットワーク技術を適用した場合にはクライアントとサーバの経路上にキャッシュ機能を設定でき、より少ない遅延でコンテンツを取得することが可能となる。すなわちネットワーク内においてキャッシュすることの有効性をうまく利用しており、条件①は満足している。

また、ルータにおいて該当する情報だけをキャッシュに保存するという点で、簡単な処理で実現できるため、軽負荷性も満足している。さらに、一部のルータだけがアクティブルータであったとしても、アクティブルータだけでキャッシュ機能をサポートすれば、エンドユーザから見た遅延性能は悪くても従来通りであり、途中でキャッシュにヒットすれば性能が向上されるという点で、部分動作性も満足している。

キャッシュ機能をアクティブルータに配置する応用例は、アクティブネットワーク技術の有効な方法であるが、現状ではヒット率が低くキャッシュをおくことによる性能改善がそれほど大きくない。このような状況では、あえてルータに処理をさせる必要性が認められない。この要因として、キャッシュのReplacementなどキャッシュの性能を大きく左右する因子について、従来方式ではエンド部でのキャッシュ制御方式を踏襲しており、ネットワーク内にキャッシュした場合に適応していないことが挙げられる。また、ネットワーク内のキャッシュの配置問題、すなわちキャッシュ機能をサポートするアクティブルータをどこに配置するかという点についてもさらに検討が加えられるべきである。これらの技術的課題を克服するために、ネットワークキャッシュのヒット率を向上させるためのReplacement Policyなど、解決すべき課題が多く残されている。

#### 4. 5 サーバ負荷分散への応用

アクティブネットワーク技術をサーバ負荷分散に応用し、ルータに最適サーバ選択処理を行わせる方式として、Active Anycastが文献 [28] [29] において提案されている。本方式では、クライアントは単にサーバ群を指すAnycastアドレスを指定するだけでよい。一般のAnycastにおいては、対応するサーバ群の中から最近隣サーバがルータにおいて選択され、該当パケットは最近隣サーバへの出方路へと送出される [30]。これに対して、Active Anycastにおいては、ルータが把握しているサーバの負荷情報をもとに最適サーバが選択される。すなわち、図5において、Anycastアドレスを受信したアクティブルータでは、Server 2が軽負荷で動作していることを知っており、プロセス4でServer 2へのアドレスに変換している。

サーバの負荷情報を各エンドユーザが独自に把握しようとする、全エンドユーザが複数のサーバに対して負荷情報を獲得する必要があるため、大量の負荷情報がネットワーク内を流れることとなる。これに対して、Active Anycastではネットワーク内のルータが負荷情報を獲得するので、ネットワークを流れる負荷情報は全体として少なくて済む。こういった意味において、ネットワーク内でサーバ選択処理を行うことによる効果は大きく、制約条件①をActive Anycastは満足している。

ルータは、クライアントからの接続要求パケットのAnycastアドレスを最適サーバアドレスへと変換するという処理と、負荷情報獲得処理の2つの処理を行う。Anycastアドレスを最適サーバアドレスへ変換するという処理は、獲得した負荷情報に基づいた最適サーバの決定さえ行えば、一般にルータが行っている経路選択と基本的に同様の処理であり、処理に要する負荷は非常に小さい。負荷情報の獲得は、サーバから送られてくる情報を蓄積するだけでよいので、これも負荷として

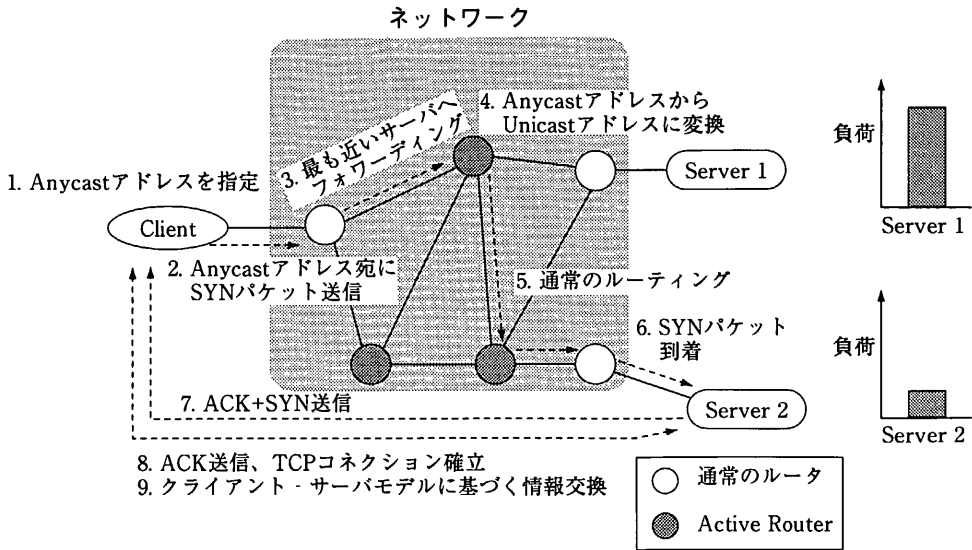


図5 Active Anycast方式の動作

は小さい。すなわち、Active Anycastは制約条件②を満足している。

Active Anycastにおいて、クライアントからの接続要求がアクティブネットワーク機能を導入していないルータに到着した場合には、通常のAnycastにおける処理が施され最近隣サーバへと送出される。最近隣サーバへの経路上に一つでもアクティブネットワーク技術対応ルータがあれば、それが最適サーバへと接続要求パケットの宛先アドレスを変更してくれる。すなわち、一部のルータがアクティブルータであるという状況で十分に動作する。文献 [28] においては、全ルータのうちのアクティブルータの割合を変化させた状況での性能評価を行っている (図6)。それによると、全体の20%のルータがアクティブネットワーク機能を実装した段階で、サーバ負荷分散が

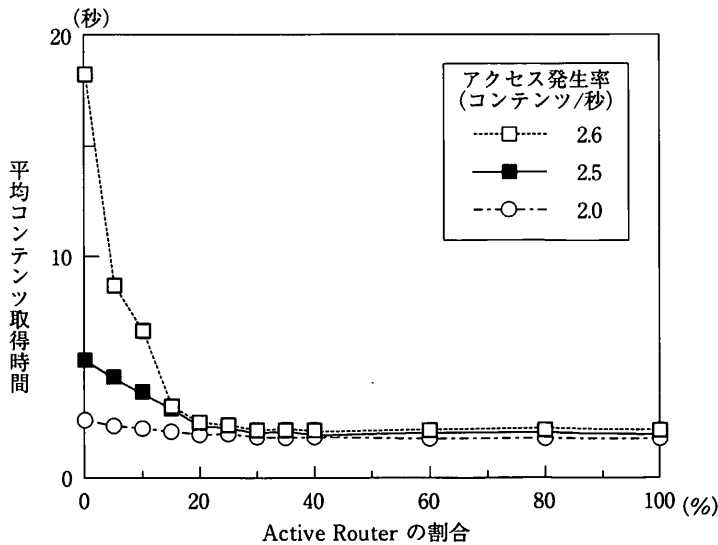


図6 Active Anycastにおけるアクティブルータの効果

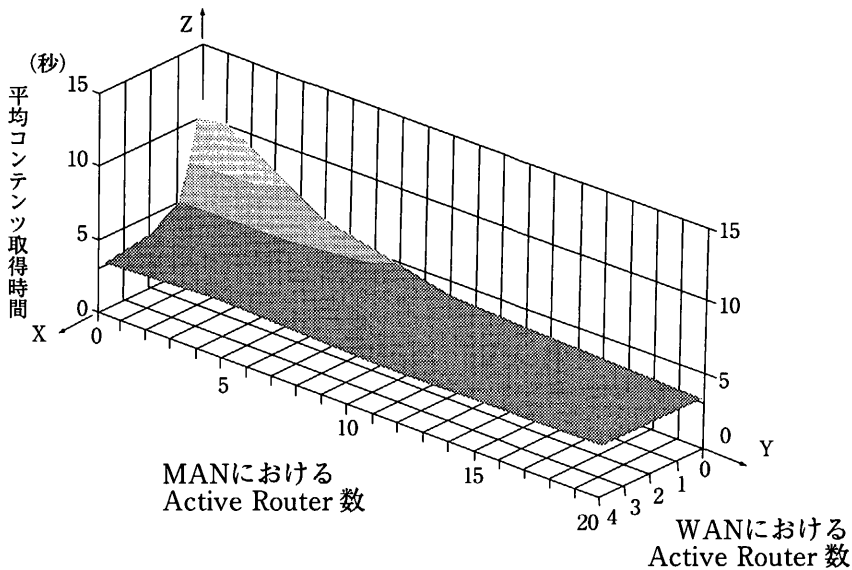


図7 Active Anycastにおけるアクティブルータの配置

有効に図られることが示されている。また、WANにおいて接続要求パケットが集約されるために、MANなどに配置するよりもWANルータにアクティブルータを配置する方が有効であることが示されている（図6）。このように、一部のルータがアクティブルータである状況で有効に動作することから、Active Anycastは③の部分動作性も満足している。

## 5. むすび

アクティブネットワーク技術は、アプリケーション層までの処理を、ユーザごともしくはアプリケーションごとにネットワーク内のルータで実行可能とする、新しいネットワークアーキテクチャの概念である。研究開発が始まったばかりの新しい概念であるため、現時点ではこの概念を実現するルータの基本アーキテクチャなどの研究が主に進められている。このような新しい技術が、広く普及するためには、ユーザが享受するサービスを大幅に向上させる点で大きなインパクトをもつアプリケーションの出現が必要である。

本稿は、アクティブネットワーク技術を今後普及させていく牽引力ともなるべき代表的な応用技術を対象とし、技術的な観点から考察を行った。アクティブネットワーク技術を用いた場合、ネットワーク内で多種多様な処理を施すことができるという夢を抱きがちであるが、本稿ではまず技術的な側面から応用技術に課せられるいくつかの制約があることを明らかにした。具体的には、これらの条件が、必然性、軽負荷性、部分動作性の3つであることを示した。さらに、これまでに提案されてきたアクティブネットワーク応用技術のいくつかについて、これら3つの条件がどのような観点で満足されているかという点を考察した。

今後、アクティブネットワーク技術がインターネットアーキテクチャを変革する技術として受け入れられるためには、さらにユーザの利便性向上にインパクトを与えるアプリケーションの開

発が必須であろう。また、その過程ではアプリケーション開発の応用研究からアクティブネットワーク機能を実装したルータアーキテクチャの研究にフィードバックがかかる、もしくはその逆など、双方の研究が協調しながら進展することが必要であろう。

## 参考文献

- [1] K. Psounis : "Active Networks: Applications, Security, Safety and Architectures", IEEE Communications Surveys, First Quarter 1999.
- [2] S. Deering : "Host Extensions for IP Multicasting", RFC1112, August 1989.
- [3] D.L. Tennenhouse , D. J. Wetherall : "Towards an Active Network Architecture", ACM Computer Communication Review, Vol.26, No.2, pp.5-18, April 1996.
- [4] D. L. Tennenhouse, J. M. Smith, W.D. Sincoskie, D. J. Wetherall, G. J. Minden : "A Survey of Active Network Research", IEEE Communications Magazine, Vol.35, No.1, pp.80-86, January 1997.
- [5] C.A. Gunter, S.M. Nettles and J.M. Smith : "The Switch Ware Active Network Architecture", IEEE Network, Vol.12, No.3, pp.29-36, May/June 1998.
- [6] 日野浩志, 江川尚志 : "高速アクティブネット向けストリームコードプロセッサの試作", 1999年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, SB-6-6, Sept. 1999.
- [7] 江川尚志, 日野浩志 : "ストリームコードを用いたアクティブネットワーク", 信学技報, IN98-66, Sept. 1998.
- [8] 生澤 満, 吉澤 聡, 他 : "Active Edge 基本アーキテクチャの提案", 1999年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, SB6-4, Sept. 1999.
- [9] D.J. Wetherall, J. Guttag, D.L. Tennenhouse : " ANTS: A Toolkit for Building and Dynamically Deploying Network Protocols", Proc. of IEEE Open Arch '98, San Francisco, CA, Apr. 1998.
- [10] B. Schwartz, W. Jackson, W. Strayer, W. Zhou, R. Rockwell, C. Partridge : " Smart Packet for Active Network", Proc. of IEEE Open Arch '99, New York, NY, Apr. 1999.
- [11] S.Keshav, Rosen Sharma : "Issues and Trends in Router Design", IEEE Communications Magazine, Vol.36, No.5, pp.144-151, May 1998.
- [12] C. Diot, W. Dabbous, J.Crowcroft : "Multipoint Communication: A Survey of Protocols, Functions, and Mechanisms", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Sept. 1997.
- [13] K. Obraczka : "Multicast Transport Protocols: A Survey and Taxonomy", IEEE Communications Magazine, Vol.36, No.1, pp.94-102, Jan. 1998.
- [14] M. Yamamoto, J. F. Kurose, D. F. Towsley, H. Ikeda : "A Delay Analysis of Sender-initiated and Receiver-initiated Reliable Multicast Protocols", Proc. of IEEE INFOCOM '97, Kobe, pp.480-488, March 1997.
- [15] S.Floyd, V.Jacobson, S.McCanne, C.G.Liu, L.Zhang : "A Reliable Multicast Framework For Light-Weight Sessions and Application Level Framing", IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.5, NO.6, pp.784-803, Dec. 1997.
- [16] 橋本 隆, 山本 幹, 池田博昌 : "信頼性マルチキャストにおけるLocal Recoveryに関する検討", 信学技法, IN98-159, Feb. 1999.
- [17] T.Speakman, D.Farinacci, S.Lin, A.Tweedy : "PGM Reliable Transport Protocol Specification", Internet Draft draft-speakman-pgm-spec-02, Feb. 1998.
- [18] L.H. Lehman, S.J. Garland, D.L. Tennenhouse : "Active Reliable Multicast", Proc. of IEEE INFOCOM '98, San Francisco, pp.581-589, March 1998.
- [19] 山口 誠, 橋本 隆, 山本 幹, 池田博昌 : "Active Network技術を適用した信頼性マルチキャストプロトコルの性能評価", 信学技報IN99-32, July 1999.
- [20] 山口 誠, 橋本 隆, 山本 幹, 池田博昌 : "Active Network技術を適用した信頼性マルチキャストプロトコルの性能評価", 1999年電子情報通信学会ソサイエティ大会 シンポジウム講演, SB-6-2, Sept. 1999.
- [21] S.McCanne, V.Jacobson, M.Vetterli : "Receiver-Driven Layered Multicast", Proc. of SIGCOMM '96, pp.1-14, August 1996.
- [22] N.Shacham : "Multipoint Communication by Hierarchically Encoded Data", Proc. of INFOCOM '92, pp.2107-2114, March 1992.

- [23] L.Vicisano, J.Crowcroft, L.Rozzo : "TCP-like Congestion Control for Layered Multicast Data Transfer", Proc. of IEEE INFOCOM '98, San Francisco, pp.996-1003, March 1998.
- [24] T. Faber : "ACC: Using Active Networking to Enhance Feedback Congestion Control Mechanisms", IEEE Network, Vol.12, No.3, pp.61-65, May/June 1998.
- [25] H.Balakrishnan, et.al. : "A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links", Proc. of ACM SIGCOMM '96, Sept. 1996.
- [26] S. Bhattacharjee, K.L. Calvert, E.W. Zegpta : "Self-Organizing Wide-Area Network Caches", Proc. of IEEE INFOCOM '98, San Francisco, March 1998.
- [27] U. Legendza, D. Wetherall, J. Guttag : "Improving the Performance of Distributed Applications Using Active Networks", Proc. of IEEE INFOCOM '98, San Francisco, March 1998.
- [28] 三浦 浩一, 西村 健治, 山本 幹, 池田博昌 : "Active Network技術を用いたサーバ負荷分散方式", 1999年テレコムコミュニケーションマネジメントワークショップ TMWS 99-9, March 1999.
- [29] 三浦 浩一, 西村 健治, 山本 幹, 池田博昌 : "Active Network技術を用いたサーバ負荷分散方式", 1999年電子情報通信学会ソサイエティ大会シンポジウム講演, SB-6-1, Sept. 1999.
- [30] C.Partridge : "Host Anycasting Service", RFC 1546, 1993.

# Journal of Tokyo University of Information Sciences

Reprinted from Vol.4 No.2·3

---

Hiromasa Ikeda, Miki Yamamoto

A Study on Active Network Technology and its Applications



2001. 3

Published by Tokyo University of Information Sciences

---