

## 広域分散環境におけるネットワーク管理モデル

上水流 由香†、佐藤 智満‡<sup>1</sup>中村 修\*、砂原 秀樹†

†電気通信大学情報工学科 ‡慶應義塾大学理工学部数理科学科\* 東京大学大型計算機センター

ネットワーク管理プロトコル SNMP は、ネットワーク構成要素の情報をネットワーク上で扱うためのプロトコルである。大規模広域ネットワークにおけるネットワーク管理プロトコルとして SNMP を用いた場合、ネットワーク管理を行うために発生するトラフィックの増加、相互に接続された各ネットワークごとの管理に対するポリシーの違い、大規模広域ネットワークの構成の複雑さなどにより多くの問題が生じる。本論文では、あるネットワークを1つの仮想的なネットワーク構成要素として扱うような抽象的な概念を導入することにより、ネットワーク管理モデルの階層化を提案する。このような管理モデルを用いることにより、大規模広域ネットワークにおける管理プロトコルとして SNMP が利用可能になるとともに、効率的なネットワーク管理が可能となる。

### A Network Management Model for the Internet Based on SNMP

Yuka Kamizuru†, Tomomitsu Sato‡<sup>2</sup>, Osamu Nakamura\*, Hideki Sunahara†,

†Dept. of Computer Science, The University of Electro-Communications

‡Dept. of Mathematics, Keio University

\*Computer Center, The University of Tokyo

1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182, Japan

Traffic overhead can be serious to manage a large number of networks when using exiting network management model used by SNMP. Thus the internet consists of any autonomous networks, the network management of the internet has to carefully be defined with the considerations of underlying networks and their policies. In this paper, a virtual network management agent based on a hierarchical network management model is provided. This model realized a sophisticated way to manage to large number of networks as a single entity and yet protecting information within a network according its local policy of administration. It also reduces overhead caused from exchange network management information.

<sup>1</sup>現在、慶應義塾大学博士後期課程に在学中であり、岩波書店に勤務している。

<sup>2</sup>TomomitsuSato is currently a Ph.D candidate at Keio University and he is alsoemployed by Iwanami Shoten, Publishers.

# 1 はじめに

近年、計算機の利用形態は、大型の計算機によって全ての処理を行う形態から、ネットワークによって相互に接続された複数の計算機を協調させ利用する分散環境へと変化してきている。大学、研究所等では組織内を結ぶローカルエリアネットワークは一般的なものとなり、また各々の組織内ネットワークを相互に接続した広域のネットワークも発展してきている。このような計算機の利用形態の変化に伴い、計算機システムの安定した運用や信頼性の向上などを得るために、ネットワーク管理が重要になってきている。

本論文では、広域ネットワークにおけるネットワーク管理に着目し、まず広域ネットワーク環境でネットワーク管理の現状と問題点を議論した上で、広域ネットワークに適したネットワーク管理モデルを提案する。さらにこのモデルの実現方法の1つとして、既存のネットワーク管理プロトコルである SNMP[1] を拡張した方法を提案する。

2章ではローカルネットワークの管理と比較して、広域ネットワーク管理に要求される項目を挙げる。3章では、その項目を満たすような広域ネットワークの管理モデルを既存のネットワーク管理プロトコル SNMP の応用によって実現するために、代理エージェント (Proxy Agent) の概念を利用した仮想エージェントを提案する。さらに、広域ネットワークを全体の管理のための階層的なネットワーク管理情報の構成を提案する。最後に、全体のまとめと簡単な評価を行い、今後の課題を述べる。

## 2 既存のネットワーク管理

### 2.1 ネットワーク管理

計算機ネットワークは、実際に情報の交換を行う計算機 (ホスト)、途中の制御を行う計算機 (ゲートウェイ)、いくつかの中継デバイス (ハブ、ブリッジ、モデム) などから構成されている。これらの各々が正常に動作して、ネットワークが機能する。一般にネットワーク管理では、いくつかのネットワーク管理項目を挙げる事ができる。例えば、OSI[2] では、以下のような5つの管理機能が挙げられている。

- 障害管理

- 構成管理
- 性能管理
- アカウント管理
- 安全管理

このようにネットワーク管理は、その目的に応じていくつかの項目に分類することができるが、これら全ての項目において必要となるのは管理対象についての情報である“管理情報”である。例えば、ゲートウェイを通過するトラフィックの量や、ゲートウェイのもつ経路情報などが管理情報として挙げられる。

ネットワークの規模の拡大 (相互接続されているホスト数の増加) に伴い、一人の管理者が多くのホストを監視し、管理しているのでは管理者の負担が重くなる。そこで、ネットワーク管理情報を得るための統一されたプロトコルが定義された。このプロトコルの管理モデルでは、管理者は管理対象となるネットワークを構成するデバイスを直接指定する。指定された対象の管理情報は、ネットワークを通じて交換される。このプロトコルに従ったネットワーク管理のためのツールが利用され始めている。

### 2.2 広域ネットワーク管理の現状と問題点

ローカルネットワークがゲートウェイを通してバックボーンと呼ばれるネットワークに接続され、広域ネットワークが構成されており、現在も接続されるネットワークは増加を続けている。WIDE インターネット [5] でも、ネットワークの規模、参加組織ともに拡大を続けており、ネットワークのトラフィックの増加や、構成の複雑化、複数の独立した管理組織の存在などから効果的なネットワーク管理が求められている。広域ネットワークでのネットワーク管理の特徴として以下の事柄が挙げられる。

- ネットワーク構成要素の数が非常に多く、構成が複雑で把握しにくい。
- 複数の独立した管理組織が、協調して管理を行う。

相互接続されるネットワークの増加に比例して、広域ネットワーク全体に含まれるネットワーク構成要素の数も、非常に多くなる。また、広域ネットワークは、ローカルネットワークの細部まで考慮した構

成ではなく、単に既存のローカルネットワークが相互に接続されている。そこで、相互接続される組織が増えるに従って、全体の構造は複雑になりネットワーク全体の構成を把握するの難しくなる。そのため、普段ネットワーク管理を行っていない人が、ネットワークの状況を調査するのは難しい。

また、既存のネットワークの相互接続によって構成されている広域ネットワークでは、あるネットワークの外から、その組織の全てのネットワーク情報の参照を許すことはできない。しかし、ある別々のネットワークに属する2つのホスト間の通信に障害が起こった場合、原因究明のためにローカルネットワーク内部の情報が必要となる場合もある。そこで広域ネットワークの管理のために組織外でも必要とされる情報を選択して、外部からも参照を許すようにする必要はある。

また、広域ネットワークのバックボーンネットワークは広域にわたっているため、バックボーン上の主要なゲートウェイごとに分散した管理が行われている。そこで各地に配置されたゲートウェイでの管理は、その地域の担当者によって行われている。あるホストで、目的とするホストとの間で通信が行えない場合、まずローカルネットワークのホストやゲートウェイを調査する。原因がローカルネットワークにない場合には、他のネットワークの管理担当者と連絡を取り合い、お互いの状況を知らせながら障害原因を調査して対処している。広域ネットワークの管理には、担当するネットワークの詳しい接続状況と、接続されている広域ネットワークの全体的な接続状況の両方の知識が必要である。

## 2.3 広域ネットワーク管理モデルに対する要求事項

広域ネットワークの管理モデルは、以下のような要求を満たすべきである。

- 管理情報の交換によるネットワークのトラフィックをできるだけ抑える

既存の管理モデルでは一つの管理情報をやり取りするたびに、管理者が管理対象との間でネットワークを通じて管理情報の交換を行う。ローカルネットワークを相互接続している広域ネットワークのリンクは、一般にローカルネットワーク内の通信路に比べて容量が小さい。そこで、

ネットワーク間を相互に接続しているリンクでは管理情報の交換によるトラフィックをできるだけ削減する必要がある。ある管理者がローカルネットワークを越えて広域ネットワーク上の、全てのネットワークを構成する要素の情報を得ようとする、管理者と管理対象の数だけメッセージ交換が行われる。つまり、ネットワークの安定した運用のための管理情報の交換が、ネットワークの混雑の原因となるべきではない。

- 管理対象となるネットワーク要素をわかりやすく把握する

既存のネットワークが相互接続されて構成されている広域ネットワークでは、参加するネットワークの増加に伴って、全体の構造は複雑になり、ネットワーク全体の状態を把握するのが難しい。既存のネットワーク管理モデルでは、一人の管理者が、複数ある管理対象のうちの一つを直接指定してネットワークの管理情報をやりとりするため、ネットワークの構成を知らなければ、管理情報を扱うことができない。つまり、広域ネットワークではネットワーク全体の構成を把握することが困難なため、直接必要となる管理対象を指定するネットワーク管理は不可能である。

- ネットワーク管理情報の安全性を保つ

広域ネットワーク上で相互接続されているローカルネットワークでは、その内部はネットワークごとに異なるポリシーで別々に管理されている。例えば、会社では自社のローカルネットワークの構成の細部まで、外部に公表するわけにはいかない。しかし、ローカルネットワーク同士が協調して広域ネットワークを全体を管理するために、例えばあるネットワークから外に出るパケットの数のようにローカルネットワーク外部に対しても提供しなければならない情報もある。

また、異なる広域ネットワーク間も、別のネットワーク組織とはいえ幾つかのゲートウェイによって相互接続されている。そこで、障害によりある広域ネットワークのある目的地へのリンクが使用できなくなった場合には他の組織の広域ネットワークのリンクを代替経路として利用することや、また誤って他の広域ネットワーク

へパケットを送ってしまうこともある。この場合も、お互いに他のネットワークの内部の管理をする必要はないため細かい情報を交換する必要はないが、相互の接続点の情報やパケットの流れなど、部分的な情報が必要となる。つまり、管理者の立場に応じた管理情報が提供されるべきである。

### 3 広域ネットワークにおける管理モデル

ここではまず、2.3節で示した条件を満たすネットワーク管理モデルを提案し、その実現の一手段としてSNMPの拡張を考える。そのため広域ネットワークを抽象的に捉え、SNMPの代理エージェントの概念を利用した、“仮想エージェント”を提案し、それを用いた広域ネットワークの管理を提案する。

#### 3.1 広域ネットワーク全体の管理方法

規模の小さいローカルネットワークの管理を考えた場合、管理対象となるネットワーク上に存在する構成要素各々の情報を用いて管理を行う。一方、広域ネットワークで生じる問題を解決するためには、ネットワークを通じて交換される管理情報を削減し、広域ネットワーク全体ををとりえやすくし、ステーションごとに提供される情報を選択可能にする必要がある。そのために、広域ネットワークを抽象的に捉えることが容易である。そこで、広域ネットワークを捉える場合に“ある組織のローカルネットワーク”などのような抽象的なまとまりも一つのネットワーク構成要素とする。これを“抽象的なネットワーク構成要素”と呼ぶ。つまり広域ネットワークを、抽象的なネットワーク構成要素が相互接続されたネットワークととらえることができる。

さらに、抽象的なネットワーク構成要素が相互に接続される部分を、計算機をネットワークに接続するインターフェースと同様にみなす。これを“仮想インターフェース”と呼ぶ。このモデルを用いることにより広域ネットワークを、抽象的なネットワーク構成要素が仮想インターフェースを通じて通信を行っている仮想的なネットワークとして扱うことが可能となる。仮想インターフェースの情報は、抽象的なネットワーク構成要素の管理情報となる。

例えば、図1のようなトポロジの広域ネットワークで、組織Aのネットワークと、組織Cのネットワークは“抽象的なネットワーク構成要素”となる。この間の物理的なネットワークは、直接接続されたものの他に、組織Bを経由するもの、組織Dを経由するもの計3通りがある。このいずれの経路を利用してでも組織AとCの間で通信を行なうことができる。従って図2のように、AとCは、仮想インターフェースを通じて通信を行っているとみなすことができる。

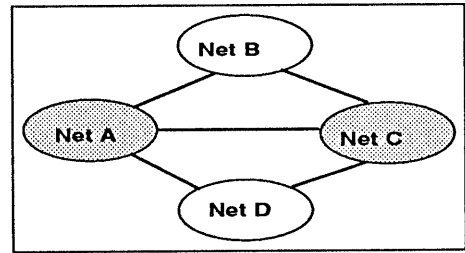


図 1: 広域ネットワークの例

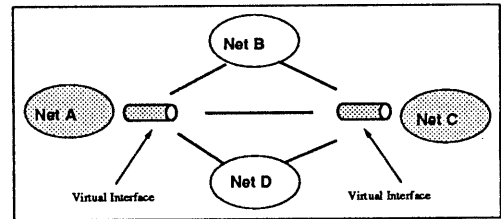


図 2: 仮想的なネットワーク

仮想インターフェースを利用して抽象的なネットワーク構成要素の管理情報を捉えることにより、計算機が相互に接続されたネットワークでの管理情報と同様に取り扱うことが可能になる。例えば、バックボーンネットワーク上である地域では複数のゲートウェイマシンが分担してローカルネットワークへのルーティングを行っている場合に、それらのゲートウェイマシンの集合を一つのゲートウェイのようにみなして、通過するパケットの量を仮想エージェントの情報として扱う。

また多くのネットワークを構成する要素を容易に扱うため、これらを階層的名前空間で定義できるようにする。このことについては後述する。

### 3.2 ネットワーク管理プロトコル SNMP と、代理エージェント

Simple Network Management Protocol(SNMP) [1] は、TCP/IP を用いたインターネットを管理するためのプロトコルである。SNMP により、計算機のベンダやアーキテクチャに依存せずに、ネットワーク管理情報をネットワーク上で交換する統一された方法が提供された。

ネットワークを構成する要素(ホスト、ゲートウェイなど)をネットワーク構成要素と呼ぶ。管理エージェントはそれぞれのネットワーク構成要素上で、各構成要素に関する情報を制御する機能を持つものとし、管理ステーションは管理エージェントに対し管理情報を要求の設定を行う。SNMP のモデルは、図3のように一つのネットワーク管理ステーションと、複数のネットワーク管理エージェントで構成される。管理情報は、Management Information

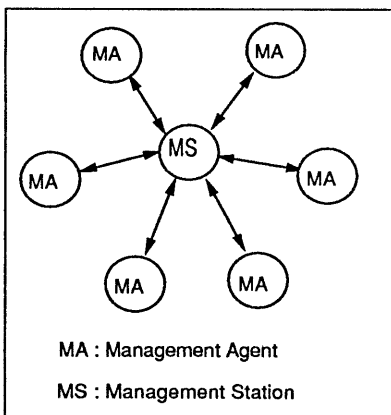


図 3: SNMP の管理モデル

Base(MIB)[3] によって定義され、Structure of Management Information(SMI)[4] に従ってその構造が定義される。エージェントの基本的な機能としては、ステーションの要求に応じた管理情報の設定と応答、特定のイベントによるステーションへのトラップメッセージの送信である。ステーションとエージェント間の通信は、UDP データグラムを用いたメッセージ交換によって行われ、それぞれ管理情報を要求するメッセージ: GetRequest、GetNextRequest、それに応えるメッセージ: GetResponse、管理情報の設定を要求するメッセージ: SetRequest、トラップを発生す

るメッセージ: Trap からなる。

ネットワーク構成要素には、アドレスの付いているゲートウェイやホストなどの計算機以外に、IP アドレスを持たないモデム、ブリッジ、ハブなどもある。SNMP では、これら直接操作できないネットワーク構成要素に対して、それらに代わって SNMP のプロトコルを実装する“代理エージェント (Proxy Agent)”という概念がある。

代理エージェントは、それぞれのデバイスに依存した方法でその情報を扱い、SNMP のプロトコルに従い管理ステーションからの要求によって、管理情報の設定と応答を行う。代理エージェントを用いることにより、モデムやブリッジを含めた全てのネットワーク構成要素を統一された方法で扱うことが可能となる。

### 3.3 仮想エージェントを用いたネットワーク管理モデル

SNMP のネットワーク管理モデルでは、図3に示されるように、一つのステーションが複数のエージェントとの間で管理情報の交換を行う。一つのエージェントは、一つのネットワーク要素に対応する。

広域ネットワークの管理を、仮想的なインタフェースを通じて抽象的なネットワーク構成要素が相互に接続されたネットワークの管理と捉える。このネットワークの管理情報を既存のプロトコルである SNMP のを利用して扱うために、“仮想エージェント”を提案する。仮想エージェントの機能は次の通りである。

- 管理ステーションからの要求によって、ネットワーク管理情報の設定と応答を行い、設定されたイベント発生によってトラップメッセージを発生する。
- 管理情報は抽象的なネットワーク要素の管理情報であり、そのデータは他のステーションが別のエージェント(仮想エージェントも含める)から得られた情報が処理されたものである。
- 抽象的なネットワークの構造は、ネットワーク管理での必要性に基づいて設計される。

仮想エージェントの扱う情報の生成方法を図4に示す。

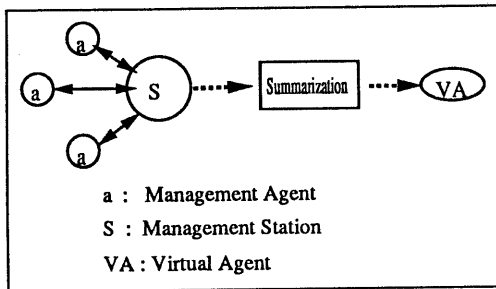


図 4: 仮想エージェント

図の実線の矢印が、ステーションとエージェントの間の情報の受け渡しを示し、点線の矢印が、具体的なネットワーク構成要素の情報の抽象的なものへの処理を示す。つまり、従来のエージェントから得られる情報を処理したものを、仮想エージェントが抽象的なネットワーク構成要素の情報として扱う。抽象的なネットワーク構成要素の情報としては、

- 仮想インタフェースのトラフィック
- 仮想インタフェースの利用状況
- 仮想インタフェース中の物理的経路
- 抽象的ネットワーク要素の状態 (status)

等が挙げられる。

仮想エージェントを用いる利点として、次の事柄を挙げることができる。

1. 管理情報を集めるためのネットワークトラフィックが削減される。

あるローカルネットワークで、その内部に障害が発生しているかどうかを、そのネットワークの外から知りたい場合の例で説明する(図5)。

例えば、ローカルネットワーク全体の状態を把握するためには、ステーションはそのネットワークのエージェント全てに対して問い合わせを行う。図5(a)では、ネットワークの外にあるステーションは、ネットワーク内部のエージェントに直接問い合わせを行っている。図5(b)では、ローカルネットワーク内のステーションが問い合わせ得た情報から、そのネットワークの概要情報に処理されたものを仮想エージェントが扱っている。そこで、ローカルネットワーク外のステーションは、そのネットワークの仮

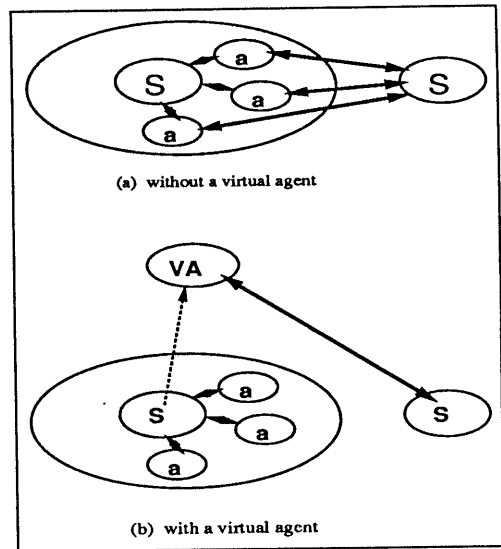


図 5: 仮想エージェントを用いる場合と用いない場合の SNMP によるメッセージ交換

想エージェントに対して問い合わせる。つまりエージェントと、そのエージェントのあるローカルネットワークの外のステーションとの間のトラフィックが削減される。

2. ネットワークの概要の情報を得ることができる。  
上の例のように、ローカルネットワークの外からその全体の状態を問い合わせる場合、内部の構成を知らなければ、ネットワーク内部のネットワーク構成要素の各々に問い合わせることはできない。広域ネットワークを仮想的なネットワークとし、ローカルネットワークを抽象的なネットワーク構成要素として捉えれば、ローカルネットワーク全体の状態は抽象的なネットワーク構成要素の状態として仮想エージェントによって提供される。そのため、詳しいネットワーク内部の構造を知る必要がない。他の例としては、ある2つのローカルネットワークの間のトラフィックの総量を求める場合、複数の経路がもし考えられるとすれば、その総量を、二つのローカルネットワークが直接接続され通信を行っているような抽象的なネットワークでの仮想インターフェースを通るパケットの数として捉えることが可能である。つまり、この情報がある仮想エー

ジェントが扱うなら、ステーションがネットワーク間の物理的な接続の状況を知らなくとも問い合わせが可能である。

3. ネットワークの外のステーションからの問い合わせに対して安全な管理情報の提供が可能  
 広域ネットワークの全体の管理にはネットワーク相互の協調管理が必要である。あるローカルネットワークの内部情報が、外部からも必要とされることもあるが、ネットワークの組織により公表可能なものと不可能なものが存在する。そこで、外部に対して公表可能な情報を仮想エージェントがステーションに対して提供することにより、ローカルネットワークのネットワーク要素それぞれへの直接のアクセスを許さずに限られた情報を公表することが可能になる。また、いくつかの情報を処理することにより、元の詳しい情報は公表不要となる。

### 3.4 仮想エージェントの階層的な構造

図6のように仮想エージェントの扱う抽象的なネットワーク要素の管理情報をさらに処理して、新たに他の仮想エージェントの情報とすることも考えられる。つまり、抽象的なネットワーク情報を用いて、新

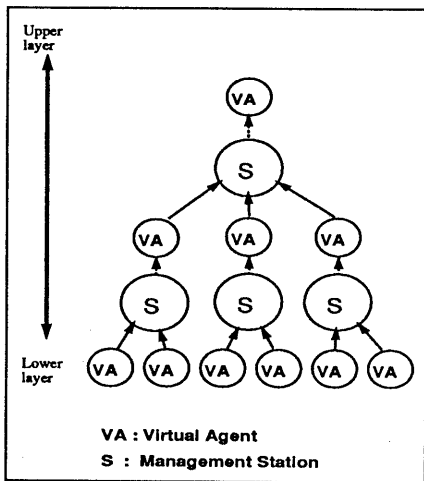


図 6: 仮想エージェントの階層構造

たな抽象的なネットワーク情報を生成する。これにより、階層的なネットワーク情報を構成できる。下位レイヤの情報ほど物理的なネットワーク構成要素に

依存した詳しい情報であり、レイヤが上位になるにしたがって、より抽象化されたネットワーク構成要素の情報となる。

実際の広域ネットワークの管理では、サイトごとに協調分散型の管理を行っている。そこで、自分のサイトのネットワーク情報としては、詳しいものを必要とするが、他のサイトのネットワーク情報としては、例えば各々のゲートウェイを通過するトラフィックよりも、自分のサイトがその結果的受ける影響が把握可能な程度の情報が必要とされる。仮に上位レイヤの情報で不十分であるとすれば、さらに下位の仮想エージェントに問い合わせる。

図7に階層構造の例を示す。ローカルネットワークのゲートウェイ  $g$  が、バックボーンネットワークのゲートウェイ  $G$  に接続されている。仮想エージェントとしては、 $G$  に接続された複数の  $g$  をまとめるもの、バックボーン上のゲートウェイ  $G$  をまとめるもの、さらに3つの仮想エージェントの情報をまとめるものがある。

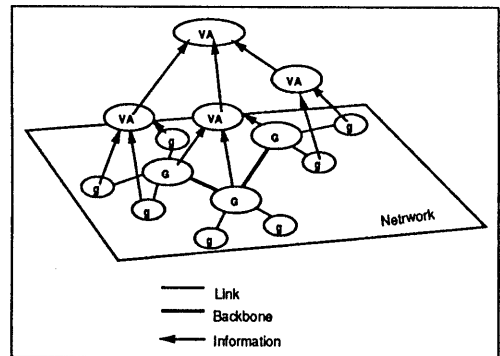


図 7: 階層的なネットワーク管理モデルの例

階層的に抽象的なネットワーク構成要素の管理情報を構成することにより、広域ネットワークの全体的な把握が可能になる。

## 4 まとめ

現在、効率的な広域ネットワークの管理が重要な課題となっている。本論文では、SNMPでの代理エージェントの考え方を利用した仮想エージェントを用いて広域のネットワーク管理のモデルを提案し、考察を行った。仮想エージェントを用いる利点としては、

1) ネットワーク構成要素ごとに管理情報を交換するのと比較して、広域ネットワークとしてのトラフィックが軽減される。2) ネットワーク管理者の求める形で広域ネットワークの状況を捉えられるような情報を作ることができる。3) 組織ごとのネットワーク情報を仮想エージェントが扱うことによって、ネットワークの外部からは各組織のネットワーク情報に直接アクセス不要にすることができる。さらに、仮想エージェントの情報を加工して別の仮想エージェントの情報にすることによって、階層的な管理情報を構成することができる。

例えば、図8のようなネットワークでのトラフィックを考える。点線の囲みの外に対して G1, G3 はパ

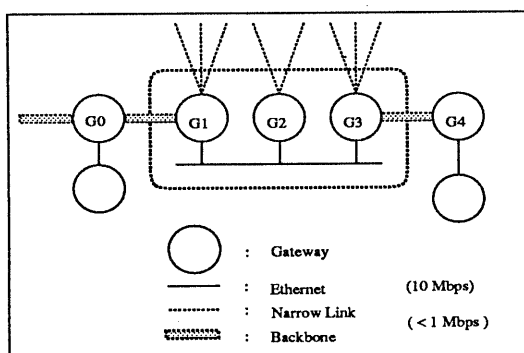


図 8: 広域ネットワークの例

クポーンとの接続インターフェースを持ち、それ以外にローカルネットワークとの接続のために3つのインターフェースを持つ。G2 は他のネットワークとの接続のためインターフェースを2つ持っている。実線がかかれたリンクは回線の容量の大きいイーサネットであり、点線は容量の小さいリンクである。よって、点線で囲まれた内部のゲートウェイ間のトラフィックの量が多くなってもネットワークにあまり影響を与えないが、G1-G0間や、G3-G4間のトラフィックは他の通信に影響を与えることが考えられる。したがって、それらの間のトラフィックはできるだけ削減すべきである。

ここで G0 が、点線で囲まれた部分から出入りするパケットの数の合計をを求める場合を考える。SNMP では、インターフェースごとに入出力するパケットの数をエージェントから得ることができる。そのため、G1, G2, G3 においてインターフェースごとに通

るパケットの数を求め、それらの値を合計しなければならない。G1 G2 G3 はローカルネットワークへのインターフェースを一つずつ持っており、さらに G1 と G3 は外部へ向かうインターフェースも一つずつ持っている。よって G0 は、

$$4(G_1) + 2(G_2) + 4(G_3) = 10$$

のインターフェースの数だけ、エージェントとの間で SNMP のパケットの交換 (GetRequest と GetResponse の組) を行う。ここで、この合計のトラフィック量という情報を扱う仮想エージェントがあるならば、G0 は一つのエージェントとの間で SNMP のパケットを交換だけになる。よって、この場合では SNMP によるトラフィックが、およそ 1/10 に削減されると考えられる。

現在 WIDE インターネットの環境において、広域ネットワークの管理に効果的な仮想エージェントとそのネットワーク情報の、実際の設計について検討中である。

## 謝辞

本論文を書くにあたり、様々な助言を下さいました、WIDE プロジェクトのメンバー、特に NetStat Working Group のメンバーに感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M., and J. Davin, "A Simple Network Management Protocol (SNMP)", RFC 1157, SNMP Research, Performance Systems International and MIT Laboratory for Computer Science, May 1990.
- [2] ISO DIS 7498-4: Information processing systems - Open System Interconnection, Basic Reference Model - Part4: OSI Management Framework
- [3] McCloghrie K., and M. Rose, "Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets", RFC 1156, Hughes LAN Systems, Performance Systems International, May 1990.
- [4] Rose M., and K. McCloghrie, "Structure and Identification of Management Information for TCP/IP-based internets", RFC 1155, Performance Systems International, Hughes LAN Systems, May 1990.
- [5] Jun Murai and others, "Construction of Internet for Japanese Academic Communities", IEEE Proc. of SuperComputing '89, Nov. 1989.
- [6] Marshall T. Rose: "The Simple Book - An Introduction to Management of TCP/IP-based Internets -", Prentice Hall, 1991.