

アドレス指定モデル*

村山 優子
慶應義塾大学

概要

集合論を用いて通信網上のオブジェクトへのアドレス指定をモデル化を試みる。日常の行動や作業手順を数学などのフォーマルな手法を使ってモデル化すると、モデルに沿わない点が出て来る。それが、手法の特異性に帰することもあり、また一方では実際の作業では気が付かない問題が原因となることもある。本モデル化においては、後者による IP 網環境でのアドレス指定問題が判明する。

1 まえがき

本論文では、網オブジェクト、例えば網自体やノードへのアドレス指定の手順のモデル化に必要なオブジェクトのモデル化を試みる。このモデルを基盤として、種々のアドレス指定作業をフォーマルな形で示すことが出来るが、それは、後半で指摘するアドレス指定問題とは直接関わりないので省略する。詳しくは、[9] (Appendix C) を参照されたい。モデル化にあたっては、集合論を用いる [5]。

はじめに、先ず、ある物の集合によって成り立つオブジェクトの名前指定のモデルを作成し、それが、インターネット・プロトコル (IP) [1] 環境下のホストやルータの名前やアドレス指定にどのように適合するかを論じ、現在の IP アドレス指定の問題点を指摘する。

集合論を用いてのアドレス指定のモデル化は、既に、Gopal や Segall により試みられているが [4]。本論文では、アドレス空間と単位オブジェクト集合の間にグループ・オブジェクト集合を挿入したところに新しさがある。

*An Addressing Model

By Yuko MURAYAMA (Faculty of Environmental Information, Keio University)

2 通信環境におけるグループの概念

従来、通信とは、2者間のやりとりとして取り扱われていた[11]。しかし、コンピュータ通信網の発達に伴い、放送型の通信、あるいは、マルチキャスト [2] と呼ばれるグループ型通信が現れ、通信における宛先の概念が広がった。こうした中で、すべての通信形態をグループ通信とみなすことも可能である。ここでは、グループ通信とは、送り手は単体で、受け手が単体あるいは多数と考える。多対多通信については、今後の研究課題としたい。グループ通信では、受け手がグループを構成していると考え、相手が単体の場合は、構成員数が1であるグループである。放送では、受け手が、環境下の全員がグループの構成員である。

通信網自体もノードの集合体であるグループと考えられる。それは、同じプロトコルを解するノードの集合体である。IP 網環境下では、その構成要員の各ノードは、ホストと呼ばれる終端システムと、ルータとよばれる中間システムのいづれかである。

グループは、その存続期間の長さで特徴付けられる。通信網グループ・オブジェクトの存在は比較的安定していて、次世代の通信技術に置き換えられるまで存在するであろう。これに比してマルチキャスト・グループは、もっと流動的な存在である。

ISO(International Organisation for Standardisation) の開放型システム相互接続 (Open Systems Interconnection) 環境における (N)-connection [7] も、グループ・オブジェクトと見る事ができ、($N+1$)-entities 間のつながりが必要な限り存在する。

このように、グループという尺度で、IP 網環境をみると、各ホストやルータ自体も物理的なネットワーク・インターフェースとその IP のプロトコル作業のためのプロセスの集合として存在している。ここで、ホストやルータの構成要素をネットワーク・エンティティと呼ぶことにする。ネットワーク・エンティティは、一つのネットワーク・インターフェースのための IP プロトコル・プロセスと考える。各ホストは一つあるいは複数のネットワーク・エンティティから成る。複数の場合は“multi-homed”なホストと呼ばれる。ホストが複数網に接続されている場合がこれにあたる。この“multi-homed”なホストのうち、一方のインターフェースから入ってきたパケットが、自分以外に宛てられていたとき、それを再送 (forward) しようとするのが、ルータである。

3 グループ名指定作業

この章では、モデル化にあたって、どのような集合が必要となるかをみるため、名前指定作業全体をみる。

グループに名前を指定するには、次のような作業が必要とされる:

1. 名前空間管理

2. 名前とグループ・オブジェクトの対応 (binding) 管理
3. グループ要員構成管理
4. 名前保守

名前空間管理は、現在使用可能な名前空間の管理と保守に深くかかわっている。次のような作業が必要である：

- 有効な名前空間の範囲を知る。
- 使用可能な名前の管理
- 使用可能な名前空間からグループ・オブジェクトのための名前を選ぶ。

名前指定とは曖昧な言葉で、実は2つの意味を持つ；ひとつは、名前空間から、適当な名前を与えられたグループのために選ぶことで、もうひとつは、選んだ名前を当該グループに関連させること (binding) である。ここでは、前者は名前空間管理の1部、そして後者は名前とグループの対応管理というように考える。名前が再利用される場合は、名前とグループ・オブジェクトのつながりを切り放し、その名前を使用可能名前空間に戻す手続きが必要となる。

グループ要員構成管理は、グループを構成するメンバーである単位オブジェクト集合の管理とグループ・オブジェクト集合の間の関連付けに関わる。例えば、IP 網環境では、単位オブジェクトとは、IP ネットワーク・エンティティである。

名前保守とは、現在の名前の活用状況の把握を行い、活用されていないものについては、その名前と対応するグループ・オブジェクトの関連を切り放すかどうかの決定を行う。

網オブジェクトの集中型動的アドレス指定 (centralised dynamic address assignment) の観点 [4] [8] から、アドレス指定作業における注意事項は次のように考えられている：

- ユニークさ (Uniqueness) の保持: どの2つの網オブジェクトも同じアドレスを持つてはいけない。
- 指定 (Assignment) 保証: アドレス空間に使用可能なアドレスが存在する限り、最終的に必ず網オブジェクトにはアドレスが指定される。
- 一貫性 (Consistency): 管理者の認識しているアドレス指定状況と網オブジェクトの認識は一貫したものである。
- 安易な指定解除の回避 (No frivolous unassignment): アドレスは、真に必要でなくなったときにだけ行う。網オブジェクトが存続している限りは同じアドレスを使うべきである。また、再指定の場合、同じアドレスが再び指定されるべきである。

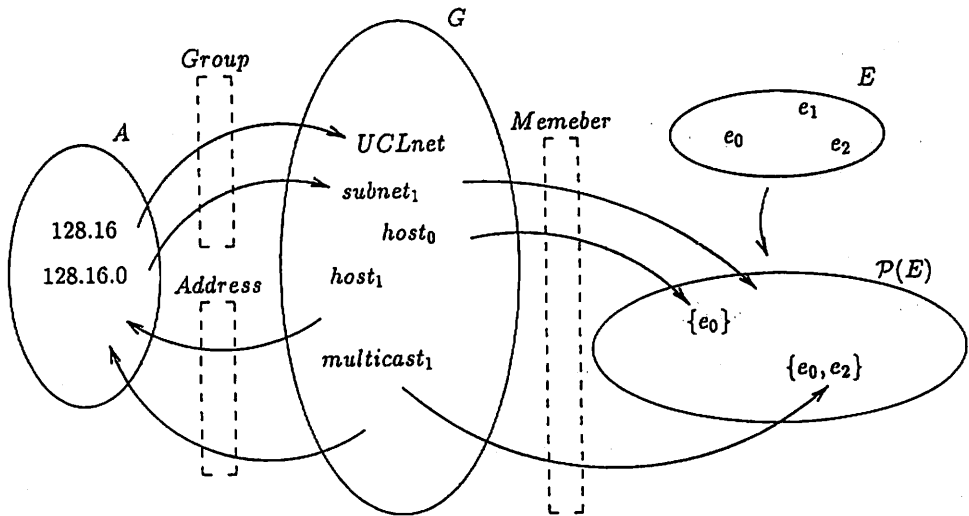


図 1: アドレス指定モデル

最後の注意事項は、移動体通信などの環境下では、あまり適当とは思われないが、網オブジェクトが同じ位置にある場合は、問題はないであろう。これらの注意事項は、それぞれ、ユニークさは、名前空間管理で、指定保証は名前空間管理と名前とグループの対応管理で、一貫性と安易な指定解除の回避は名前保守で、それぞれ考えられなければならない。

4 集合論によるモデル化

大変簡素なモデルを紹介する。モデルは名前空間、グループ・オブジェクト集合、そして単位オブジェクトの組み合わせの集合 (set of sets) の3つの集合とそれらの間に定義された関数によって成り立っている。網環境において、アドレスとは名前であるという、Houzeur の考え [6] に基づき、図1は、モデルを、網環境のアドレス指定に適用した概要を表している。

名前空間を A と呼ぶ。 A には、すべての可能な名前が含まれる。

グループ・オブジェクト集合は、 G とする。 G の要素であるグループ・オブジェクトとは、目的をもって作られたもので、メンバー構成は時によって変わる可能性があるが、グループそのものの意味は変わらない。2章でも説明したように、この、グループ・オブジェクト集合の存在が、この名前指定モデルの新しい点である。

グループを構成する各メンバーをエンティティと呼ぶ。単数あるいは複数のエンティティが一つのグループを形成する。エンティティ e の集合を E とすると、ベキ集合 (power set) $\mathcal{P}(E)$ は、 E の要素 e のすべての組み合わせを要素とする集合である。すなわち、もし E が、 e_0 and e_1 を要素として持つとすると、 $\mathcal{P}(E)$ は、 $\emptyset, \{e_0\}, \{e_1\}$, そして $\{e_0, e_1\}$ 等の部分集合から構成されている。(\emptyset は 空集合を意味する。ベキという名前は、 n 個の要素の有限集合の組み合わせの数が 2^n となることに由来している。すなわち、 E が n 個の要素を持っている時、 $\mathcal{P}(E)$ は 2^n 個の要素を持つ。

$\mathcal{P}(E)$ は、単に構成員の組み合わせであって、これが、グループ・オブジェクトと結びつくことによって、初めて、名前を指定される意味のあるものになる。

集合 $A, G, \mathcal{P}(E)$ の間に、3つの基本的な関数を指定する。

Group は A から G への関数である。ある名前について、それに対応するグループ・オブジェクトを返す。もし、その名に対応するグループがない場合は、 \emptyset を返す。

$$\text{Group}: A - \{\emptyset\} \rightarrow G$$

$$\text{Group}(a \in A) = \begin{cases} g & \text{if } a \text{ has been bound to } g; \\ \emptyset & \text{if } a \text{ has not been bound to any group object.} \end{cases}$$

Group により、すでに、使用されている名前空間を次のように表すことができる：

$$\text{Assigned} = \{a \in A: \text{Group}(a) \neq \emptyset\}$$

Member は、 G から $\mathcal{P}(E)$ への関数で、あるグループ・オブジェクトを構成するメンバーの組み合わせを次のように返す：

$$\text{Member}: G \rightarrow \mathcal{P}(E)$$

$$\text{Member}(g \in G) = \begin{cases} x \in \mathcal{P}(E) & \text{if } g \text{ has any member;} \\ \emptyset & \text{if } g \text{ has no member yet.} \end{cases}$$

Address は、 **Group** とは、逆に、あるグループ・オブジェクトについて、対応する名前を返す。

$$\text{Address}: G - \{\emptyset\} \rightarrow A$$

$$\text{Address}(g \in G - \{\emptyset\}) = \begin{cases} a \in A & \text{if } g \text{ has any address;} \\ \emptyset & \text{if } g \text{ has no address yet.} \end{cases}$$

関数は、一つの引数について、一つの値しか持つ事ができない。従って、このモデルでは、一つのグループは、2つ以上の名前はもつことができないと考える。

5 IP 網環境におけるモデルの適合性

先ず、IP 網環境下での、網オブジェクトの名前指定についての適合性をみる。

IP 網では、各ホストやルータは、名前が付けられる。例えば、国内のある仮想的な大学、さくら大学の情報科学科のホストは、“kochira.cs.sakura.ac.jp” というような名前が付く。また、あるルータは“achira.cs.sakura.ac.jp” というような名前が付く。各ホスト、ルータは、ネットワーク・インターフェースに対応した IP プロセスをメンバーとするグループ・オブジェクトである。これらの名は electronic mail, file transfer や remote terminal access などのネットワーク・アプリケーションのプロセスが、相手を指定する際に使われる。現在のところマルチキャストのグループについては、名がつけられていないが、付けることも可能である。名前に関しては、このモデルは問題なく適用できる。

次に IP アドレスについて考えてみると、不都合が生じる。普通のホストは良いのだが、ルータや異なる複数の網に接続されている “multi-homed” なホストでは問題がある。IP 網では、アドレスは IP プロセス単位で付けられ、各プロセスは個々のインターフェースに対応して存在するため、複数のインターフェースを持つシステムにはその数だけのアドレスが付いてしまう。従って、このモデルには適合しない。何故なら、一つのグループ・オブジェクトに対し、複数のアドレスがある場合、我々のモデル中の Address 関数が存在できないからである。これは、実に重要な IP 網におけるアドレス問題を示している。すなわち、異なる複数の網に接続されているホストやルータへ宛てられたパケットは、その宛先システムの名前からそのアドレスへの変換の際に、すでに、ある意味で、経路が設定されてしまうのである。

筆者の経験として、次のようなことがあった。世界中で広く使用されているある米国の情報システムは、2つの異なる網に接続され、どちらの接続点も使用可能であった。ある時、一方の接続点への経路に問題が起り、筆者のいた地点からそのシステムに到達不可能になってしまった。これは、筆者の環境において、名前からアドレス変換が、ネーム・サーバにより、固定的に一方のアドレスだけに変換されてしまうからであった。結局、ユーザが、他方のアドレスをアプリケーションで直接指定することにより、問題は回避された。もちろん、この場合、ネーム・サーバの固定的な変換にも問題はあるが、根本的な問題は、アドレスが一個の網インターフェースに対して決められてしまうからである。

Shoch の古典的な定義 [12] は次のようである：

あるオブジェクトについて、

名前はそれが何と呼ばれているかを示すもの、
アドレスはそれがどこにあるかを示すもの、
そして経路はそこにどうやって到達するかを示すものである。

しかし、現在の IP アドレスでは、あるオブジェクトが存在している場所を網インターフェース単位で表され、しかも、経路は網単位で為されてしまうため、アドレス (address) と経路 (route) の区別が曖昧となっている。あるいは、現在研究と実用化の進んでいる政策的経路制御 (Policy Routing) [3] のように、管理組織単位での、経路制御が行われるようになれば、この “multi-homed” 問題は、軽減されるが、その管理組織内の網では、やはり同じ問題が存在する。複数の網接続を持つアドレスが、インターフェース単位でなく、網オブジェクト単位で、複数の網の間にあることを示す形であれば、経路はもっと独立したものになるであろう。そうなれば、モデルに適合することになる。

6 むすび

本論文では、簡単なグループ名指定モデルを紹介し、IP 網環境下のアドレス指定に当てはめてみた。

本モデルの新しさは、名前付けの単位であるグループ・オブジェクトの集合が、名前空間と構成要員集合の間に介在することである。これにより、名前をつける単位が、ある意味をもったオブジェクトとなり、構成メンバーはたまたま同じでも異なるグループを正しく示すことができる。

現在の IP 網でのアドレスは、このモデルに完全には適合しない。これは、モデル自体の問題ではなく、アドレス自体に問題がある。

実際の作業のフォーマルな形でのモデル化は、単に記述様式ではなく、先に紹介した BAN ロジック [10] にみられるように、ある既存の事柄を解析し、不都合さを見い出すための手法として便利である。

このモデルを基盤として、アドレス指定作業のフォーマルな記述も試みたが [9]、それをさらに発展させて、作業自体の検証も行っていきたい。

謝辞

Dept. of Computer Science, University College London の Alina DaCruz 氏は、グループの概念を筆者に紹介して下さい、Nigel Chapman 氏からは、集合論をつかったモデル化に助言を頂いた。

参考文献

- [1] V. G. Cerf and E. Cain. The dod internet architecture model. *Computer Networks*, pp. pp.307-318, July 1983. North-Holland.
- [2] S. E. Deering. Multicast routing in internetworks and extended lans. In *Conf. Proc. of SIGCOMM '88 Symposium at Stanford, California*, pp. 55-64, August 1988.
- [3] D. Estrin. Policy requirements for inter-administrative domain routing. *Computer Networks and ISDN Systems*, No. 22, pp. 179-191, 1991.
- [4] I. S. Gopal and A. Segall. Dynamic address assignment in broadcast networks. *IEEE Transaction on Communications*, Vol. COM-34, No. 1, pp. 31-37, January 1986.
- [5] P. R. Halmos. *Naive Set Theory*. Van Nostrand Reinhold Company, 1960. The University Series in Undergraduate Mathematics.
- [6] B. Hauzeur. A model for naming, addressing, and routing. *ACM Transactions on Office Information Systems*, Vol. 4, No. 4, pp. 293-311, October 1986.
- [7] ISO. Iso 7498 information processing systems - open systems interconnection - basic reference model. International Standard ISO 7498, 1984.
- [8] W. M. Loucks, W. I. Kwak, and Z. G. Vranesic. Implementation of a dynamic address assignment protocol in a local area network. In *Proc. 10th Conference on Local Computer Networks*, pp. 149-157, October 1985.
- [9] Y. Murayama. *Configuration Detection and Verification in Computer Networks*. PhD thesis, University of London, December 1991.
- [10] Y. Murayama. Using ban logic for the proof of a registration protocol. I P S J D P S 沖繩研究会報告書, November 1992.
- [11] C. Shannon. *The Mathematical Theory Of Communication*. The University Of Illinois Press: Urbana, 1949.
- [12] J. Shoch. Inter-network naming, addressing, and routing. *Conf. Proc. of IEEE COMPCON Fall 1978*, pp. 72-79, 1978.