

通信とネットワーク

(Communication and Network)

第5回：インターネットプロトコル (その2)

概要

- スタティックルーティング
- ICMP (Internet Control Message Protocol)
- ダイナミックルーティング

11 ルーティング

ルーティングとは？

- パケットの通り道を決めること (routing)

ルーティングはとても重要

- つながる (高い信頼性)。
- 高速で効率的な伝送を実現する。

インターネットのルーティングは大変

- IP アドレスが基本的には**階層化されていない**。
 - － 階層化されていればルーティングは簡単
 - － 自分の階層以下に送りたいホストが存在しない場合は、1つ上の階層に送る。
例：電話番号の管理 (国番号＋市外局番＋市内局番)
- 経路が**複数**ある (効率・経済的な経路，ループしない経路の選択)。
- **経路を変更する**。
 - － 一部の回線が切れたとき
 - － 新しい回線ができたとき

ゲートウェイ (ルータ)

- **2つ以上のネットワークに接続**されている。
(1つのホストが、2つ以上のIPアドレスをもっている)。
 - **ゲートウェイ**：ネットワークへの出入り口
ネットワーク間で、IPパケットの**転送**を行う。
 - **ルータ**：パケットを送る経路を決めるもの
- ルータはルーティングを行う。
通常、ゲートウェイはルータになっている。
- **静的**(スタティック)ルーティング。
 - 通常オペレーティングシステムのカーネルの機能として実現されている。
 - **ルーティングテーブル**を使って実装されている。
ルーティングテーブル自体は通常のホストも所持している。
 - IPパケットを受け取ると、ルーティングテーブルを見て、パケットを**転送**する。
- **動的**(ダイナミック)ルーティング
 - ネットワークの構造変化に対応する。
 - ルーティングテーブルを書き換えることによって実現する。
 - カーネルとは別のプログラムが担当する。
 - ルーティングテーブルの書き換えは、スタティックルーティングでも行われる。

私のマシンから, MITのWebサーバまでのゲートウェイ (traceroute www.mit.edu)

```
1  sekisho.ide.titech.ac.jp (131.112.80.2)  0.285 ms  0.253 ms  0.266 ms
2  131.112.80.67 (131.112.80.67)  0.728 ms  0.786 ms  0.860 ms
3  131.112.255.102 (131.112.255.102)  1.364 ms  1.443 ms  1.613 ms
4  131.112.255.122 (131.112.255.122)  5.099 ms  5.175 ms  5.295 ms
5  131.112.255.118 (131.112.255.118)  3.028 ms  3.037 ms  3.086 ms
6  150.99.186.229 (150.99.186.229)  4.872 ms  5.504 ms  5.745 ms
7  nyc-gate1-RM-P-7-0-0-11.sinet.ad.jp (150.99.203.58)  196.705 ms  193.383 ms  193.767 ms
8  Abilene-NY.gw2.sinet.ad.jp (150.99.200.194)  187.695 ms  194.135 ms  196.103 ms
9  nox300gw1-V1-110-NoX-INTERNET2.nox.org (192.5.89.221)  191.565 ms  191.581 ms  191.649 ms
10 nox1sumgw1-V1-803-NoX.nox.org (192.5.89.237)  193.212 ms  193.212 ms  193.204 ms
11 207.210.143.110 (207.210.143.110)  193.205 ms  193.262 ms  193.286 ms
12 W92-RTR-1-BACKBONE-2.MIT.EDU (18.168.1.25)  193.392 ms  193.348 ms  195.142 ms
13 WWW.MIT.EDU (18.7.22.83)  195.147 ms  195.263 ms  192.756 ms
```

1 : 研究室のゲートウェイ

5 : 東工大のゲートウェイ

8 : SINET (Science Information NETwork) のアメリカ側出口

ルーティングテーブルの例 (netstat -rn at sekisho.ide.titech.ac.jp)

Destination	Gateway	Genmask	Flags	MSS	Window	irrtt	Iface
131.112.80.0	0.0.0.0	255.255.255.192	U	0	0	0	eth0
131.112.80.64	0.0.0.0	255.255.255.192	U	0	0	0	eth1
192.168.1.0	131.112.80.8	255.255.255.0	UG	0	0	0	eth0
169.254.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	0	0	0	eth1
0.0.0.0	131.112.80.67	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth1

- Destination : パケットのあて先
- Gateway : その場合に送るアドレス。0.0.0.0ならば直接接続されている。
- Genmask : Destination において有効なビットを示す。Genmaskで1が立っているビットの部分が一致すれば、そのテーブルの行の情報にしたがってパケットが送られる。
Destination 0.0.0.0, Genmask 0.0.0.0の行は、デフォルトに関する情報を与える。
- Flags :
 - U : 経路は有効
 - G : 経路はゲートウェイに向かっている。
そのゲートウェイを経由する。
 - H : 経路はホストに向かっている。
 - D : 経路はリダイレクトによって生成された。
 - M : 経路はリダイレクトによって修正された。

ルーティングテーブルの例 (netstat -rn)

Destination	Gateway	Genmask	Flags	MSS	Window	irrtt	Iface
131.112.80.0	0.0.0.0	255.255.255.192	U	0	0	0	eth0
131.112.80.64	0.0.0.0	255.255.255.192	U	0	0	0	eth1
192.168.1.0	131.112.80.8	255.255.255.0	UG	0	0	0	eth0
169.254.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	0	0	0	eth1
0.0.0.0	131.112.80.67	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth1

- MSS : (Maximum Segment Size) : TCP 接続における, IP パケットの最大データ長
- Window : TCP 接続における, ウィンドウサイズ
- irtt : 初期ラウンドトリップ時間
- そのゲートウェイにパケットを送るために使用するインターフェース

11.1 スタティックルーティング

- デフォルトゲートウェイ
 - 送り先アドレスに対する明示されたルーティング情報がないときの転送先
- ルーティング情報は**階層化されている** (ネットワークは階層化されていないけれど)。
 - 下位ネットワークは、上位のネットワークに経路情報を**送る**。
 - 上位のネットワークは、下位のネットワークに経路情報を**送らない**。
 - 同位ネットワークは、互いにネットワークに経路情報を**送りあう**。
- 最上位のネットワークは、インターネット上のどこに対してもルーティング可能な経路情報を持っている。
 - Tier 1 と呼ばれるプロバイダー群が持つネットワークなど。
 - そのルーティングテーブルには、デフォルトゲートウェイがない。
- **なぜお互いに経路情報を送りあわないか？**
 - 低性能のルータは、大きなルーティングテーブルを持てないし、持つと遅くなる。
高性能ルータは億円単位
 - 接続料の問題 (下位のネットワークは、上位のネットワークを利用して通信する代わりに接続料を支払う)

11.1.1 ICMP (Internet Control Message Protocol)

- IP パケットに含まれるのプロトコルの1つ
- **ネットワーク自体を制御**するための情報を送信する。
- 例：
 - － エコー応答
 - － 宛先到達不可
 - － 発信元抑制
 - － リダイレクト
 - － エコー要求
 - － ルーター広告
 - － ルータ請願
- ルートを示す例で使った traceroute は、ICMP を使って実現する。
(TTL を少しずつ増やす。)

11.1.2 ICMP ホストおよびネットワーク到達不可・エラー

- ルータにIPパケットが送られてきたが、それを転送することができないとき、**ルーターが発信元に**、「ICMP ホストおよびネットワーク到達不可・エラー」を送信する。
- 転送できない状況：
 - － ルーティングテーブルにあるルータへの接続が切れていて、転送できない。
 - － あて先のネットワークまで到達したが、ホストへの接続が切れていて、転送できない。
 - － 最上位のネットワークのルーティングテーブルにもあて先がない。

例：ping コマンドで、エコー要求を無効なIPアドレスに対して出す。

```
PING 192.92.148.1 (192.92.148.1) 56(84) bytes of data.
```

```
From 131.112.255.118 icmp_seq=3 Destination Host Unreachable
```

```
From 131.112.255.118 icmp_seq=4 Destination Host Unreachable
```

11.1.3 ICMP リダイレクト・エラー

- 同じネットワークに複数のゲートウェイがある (例えば, **G1** と **G2**)。
- そのネットワークのホスト **H** から **G1** にパケットが届いた。
- **G1** のルーティングテーブルでは, **G2** に転送することになっている。
- **G1** は, そのパケットを **G2** に転送する。
- 同時に, **G1** は, **H** に ICMP リダイレクト・エラーのパケットを使って, ルーティングテーブルの書き換えを勧める。
- **H** のルーティングテーブルを書き換えれば, パケットが **G2** に直接流れるようになる。
- 書き換えない場合でも, **G1** は **G2** へのパケット転送を続ける。

11.1.4 ICMP ルータディスカバリー・メッセージ

ルータ広告

- ルーターは自分の接続されているネットワークに、経路情報を広告する。
- 広告は定期的に、ブロードキャスト・マルチキャスト可能なすべてのインターフェースに対して出す。
- 広告の情報の内容：
 - － IP アドレス
 - － 優先度
 - － 継続時間
- そのネットワーク上のホストは、その広告によりルーティングテーブルの書き換えを行う。

ルータ請願

- ホストは、ルータに対して定期的にルータ請願を出し、ルータ広告を要請する。

11.2 ダイナミックルーティング

- **ダイナミックルーティング**：

隣接するルータが、ルーティング情報を交換しあうこと。

- **ルーティングデーモン**：

- ダイナミックルーティングを行うためのプログラム。
- スタティックルーティングを行うプログラムは、通常、OSのカーネルに組み込まれている。

- **IGP** (Interior Gateway Protocol)：

システム内でルータ間通信を行うためのプロトコルの総称

- RIP : Routing Information Protocol
(東工大のネットワークは、RIP-2 (RIP ver.2) を使っている)
- OSPF : Open Shortest Pass First

- **EGP** (Exterior Gateway Protocol)：

異なるシステム間で通信するためのプロトコルの総称

- BGP : Border Gateway Protocol

11.2.1 RIP (Routing Information Protocol)

- UDP, あて先ポート番号 520
- 1つのパケットで, 最大25個の経路を送ることができる。
- それ以上の経路を送るときは, 複数のパケットに分割する。

送るテーブルに関する情報：

- IP アドレス (サブネットマスクは送らない)
- メトリック
 - 1～16の値をとる。(1ホップ～15ホップ, 経路が存在しない)
 - 1ホップ：ルータに直接接続されているネットワーク上のアドレス
 - n ホップ：別の $n - 1$ つのルータを経由して到達できるネットワーク上のアドレス ($n \leq 15$)
 - 16：そのルータを経由する経路がないアドレス

11.2.2 RIP-2

- RIP ver.2

RIP に次の情報が追加されている。

- ルーティングドメイン：
一つのルータで複数のルーティングデーモンを動かすときの，その識別子。
- 経路タグ：EGP と連携する場合に用いるが，明確な定義はない。
- サブネットマスク
- ネクストホップアドレス：あて先に送るために，そのルータが次に転送するアドレス
- 認証情報

11.3 まとめ

- ゲートウェイ
- ルータ
- ルーティングテーブル