初めての経路制御

第 1 章 実験目的

通信ネットワークの仕組みを，ルーティング（経路制御）によるネットワーク構築の実験を通して理解する．

第 2 章 経路制御

経路制御というのは，標識と同じである．

”目的地へ行くためには，ともかくこっちの道を通って行くこと．”

しばらく歩いて行くとまた標識かあり，”目的地へはこちらへ”と導かれる．それを繰り返すことでいずれは目的地に着く．各標識に書かれる経路情報は，次の標識への案内だけで十分という点に注目すべきである．

例えば，ある町に行くのにバスを乗り継いで行きたい．”○○方面はこのバス”という案内でバスに乗って行く．終点についたら，そこでまたバス停の案内を見て，また○○方面のバスはこれかと乗り継いで行くのである．結果，目的とした町に到着することが可能である．最初のバス停で，全ての乗り継ぎのバスがわかるのではない．もし目的地までの全ての乗り継ぎ情報がわかるようにしようと思ったら，バス停の案内板には膨大な情報を書かなくてはならなくなるだろう．目的地に行くために各バス停で得る情報は「とりあえず次に乗るべきバス」だけで十分である．

この例をコンピュータのネットワーク上で考えると，最初のバス停，即ち出発点は自ホスト，次のバス停は異なるネットワークの間にあるゲートウェイにあたる．ゲートウェイはホストまたはルータである．ネットワークが 5 つあるとしよう．すると自ホストのバス停の案内板には，自ホストのネットワークを含めて 5 つの経路情報が書かれることになる．社内のネットワークはこれで良い．しかし，インターネットに接続すると，ネットワークの数は無数に存在する．この経路情報を全て保持する事は不可能でありナンセンスである．こういう場合，経路情報を保持しているプロバイダーに一任される．このときの行き先経路をデフォルト経路という．

このように TCP/IP ネットワークの世界では小規模なネットワークから，インターネットのような大規模なネットワークでも対応できるように設計されている．社内などの小規模ネットワークでは，経路情報を手動で設定することもある．これを静的経路制御 (スタティックルーティング）という．手動ではなくて自動で経路情報を作成するやり方もある．こちらは動的経路制御 (ダイナミックルーティング）という．社内ネットワークの経路制御を簡単にするには，動的経路制御を内部ネットワークで使い，インターネットへはデフォルト経路を設定する事である．

2.1 静的経路制御（static routing) ⟵

2.1.1 利点

静的経路制御には，動的経路制御に比べて明らかに優れている点がいくつかある．最大の利点は予測可能な点である．ネットワーク管理者が予め経路制御表を作成するため，パケットがたどる 2 地点間の経路を常に正確に知り，かつ制御することができる．動的経路制御では，どのホストおよびリンクが稼働しているか，ルータが他のルータからの更新情報をどのように解釈するかによって，パケットがたどる経路が変わってくる．また，静的経路制御は動的経路制御プロトコルを必要としないため，ルータやネットワークに余分なオーバーヘッドがかかることがない．

2.1.2 欠点

静的経路制御は確に動的経路制御より有利だが，欠点がないわけではない．静的経路制御は単純である代わりにスケーラビリティがない．3つのルータに接続された5つのネットワークセグメントであれば，各ルータからすべての宛先への最適経路を計算するのは難しくない．しかし，大半のネットワークはこれよりずっと大きい．十数個を越えるルータで相互に接続された２００のセグメントからなるネットワークだと，どのようなルーティングになるだろうか．

2.2 動的経路制御（dynamic routing) ⟵

2.2.1 利点

動的経路制御が静的経路制御に比べて優れているのは，スケーラビリティと適応性である．動的経路制御されるネットワークは，早くかつ大きく成長できる．また，このようなネットワークの成長，あるいは，1 つ以上のネットワークコンポーネントの故障によってもたらされるネットワークトポロジの変化にも対応できる．

動的経路制御プロトコルでは，ルータは他のルータとやり取りする事でネットワークトポロジについて学習する．各ルータは，その存在と自分が提供できる経路をネットワーク場の他のルータに対してアナウンスする．したがって，新しいルータを追加したり，既在のルータに新しいセグメントを接続したりすると，他のルータはその追加に付いて知り，それに会わせて自身の経路制御表を修正する．管理者がルータをいちいち再設計をして，ネットワークが変更されたことをルータに知らせる必要はない．同様にネットワークを移動した場合も，他のルータはその変更について知らされる．管理者は，移動されたセグメントに接続しているルータの設定を変更するだけでよい．これによりエラーが起こりにくくなる．

2.2.2 欠点

動的経路制御の最大の欠点は，静的経路制御に比べて複雑さが大きい点だ．ネットワークトポロジに関する情報をやり取りするのは,「こっちが到達できる宛先は○○だ」などと言い合うような単純な話ではない．動的経路制御プロトコルに参加するルータは，他のルータに送信する情報を正確に決定しなければならない．それだけではなく，自分が他のルータから学習した複数経路の中から，宛先に到達するための最良の経路を選択する必要がある．その上，ネットワークの変化に対応しようとするなら，古くて使えなくなった情報を経路制御表から削除できなければならない．どれが古くて使えない情報か判断するためのロジックは，ルーティングプロトコルをますます複雑にする．しかし念ながら，ネットワークないのさまざまな状況に対処できるプロトコルほど，その分，複雑になりやすい．複雑になると，プロトコルの実装エラーが発生率が増加する．

第 3 章 実験で使うコマンド

3.1 ifconfig ⏎

ネットワークインタフェースの情報を表示するコマンドである．引数無しで実行するとそのマシンの全てのネットワークインタフェースの情報を表示する．IP アドレス，ネットマスク，Mac アドレス，インタフェースの状態などを知ることができる．

3.2 route ⏎

ルーティングテーブル（経路制御表）を確認したり，設定するコマンドである．Destination はパケットの宛て先の IP アドレスまたは IP アドレスが所属するネットワークアドレスを示す．Destination が”default”となっている行は，パケットの宛て先が他の Destination に載っていない場合に適用される．Gateway はパケットを次に転送すべきルータの IP アドレスを示す．

3.3 ifup/ifdown ⏎

ネットワークインターフェースを有効化・無効化する．

3.4 sysctl ⏎

Linux カーネルパラメータの参照・変更を行う．

3.5 ssh ⏎

SSH プロトコルによって他のマシンと暗号化通信を行うコマンドである．リモート通信には従来 telnet が使われていたが，telnet は暗号化をしない通信でありセキュリティ上よくないため，現在はリモート通信には ssh を使うのが一般的である．

3.6 ping ⏎

ping コマンドは,「あるホストに接続できるかどうか知りたい」,「あるホストが動いているかどうか知りたい」というときに確認できるものである．その仕組みは,「ある大きさのデータを指定された相手のホストに送り，相手

のホストからの返事を待つもの」であり，プロトコルとしては ICMP が用いられている．このプロトコルは，インターネット世界でのエラー内容通知や，制御用のメッセージを送るためのものであり，ping コマンドの場合には echo(エコー要求) というタイプの ICMP メッセージを送信している．メッセージを受け取ったホストは echo reply(エコー応答) というメッセージを送り返してくるので，これが戻ってくれば自分のホストと相手のホスト間のネットワークおよび相手のホストが正常に動作していることになる．

3.6.1 ping コマンドの出力結果について

```
PING gold.router (192.168.7.11): 56 data bytes
64 bytes from 192.168.7.11: icmp_seq=0 ttl=255 time=0.196 ms
64 bytes from 192.168.7.11: icmp_seq=1 ttl=255 time=0.148 ms
64 bytes from 192.168.7.11: icmp_seq=2 ttl=255 time=0.110 ms
64 bytes from 192.168.7.11: icmp_seq=3 ttl=255 time=0.115 ms
```

1 行目は，gold へ 54bytes のデータを送信する．2 行目からは echo reply を受け取った結果だが，ping コマンドはデフォルトで毎秒 1 回のペースで ICMP echo パケットを送信するため，コマンドを実行すると，1 行づつ時間をおいて表示される．行頭の数値は，受信したパケットの大きさである．シーケンス番号は echo request を送信するときに 0 から順に 1 づつカウントアップされていくわけだが，途中の番号が欠ける場合もある．これは，行きか帰りかはわからないが，途中のパケットが失われたことを意味していて，ネットワークの状態が良くない場合に起こる現象といえる．ttl(Time To Live) は，パケットがどれだけネットワーク間を飛び続けられるかを示している．0 になった時点でパケットは破棄される．最近のシステムは初期値を 255 にしてあるものが多いので，TTL が 244 ということは，相手のホストを出発して自分のところに到達するまでの間，11 台のルーターを経由したと考えられる．RTT(Round Trip Time) は，パケットが相手のホストまで行って再び帰ってくるまでの往復時間を示している．片道の時間ではないことに注目して欲しい．往復時間を半分にすれば片道かというと，行きと帰りでは通る道筋が異なっている場合もある．

ping コマンドは放っておくと動き続けるので，適当なところで Ctrl+c キーを入力して動きを止める．すると最後に次のような統計情報が表示される．

```
---- gold.router ping statistics ---
100 packets transmitted, 100 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 0.105/0.141/0.199/0.020 ms
```

送出した echo request パケットの数と戻ってきた echo reply パケットの数，失った (戻ってこなかった) パケットの割合，RTT の最小値や平均値，最大値，標準偏差が表示される．

3.6.2 ping コマンドによるネットワーク状況の判断

出力結果より，まず，icmp_seq の値に着目する．たまに番号が 1 つ飛ぶ程度であればほとんど問題ないが，シーケンス番号がひどく飛ぶようであれば，ネットワークの状態はかなり悪いと考えられる．そのようなケースでは，相手のホストをリモートから利用しても反応がないなどの症状が発生する．次に RTT に着目する．RTT は小さい値の方が良いわけだが，最小値は回線速度や経由するルーター数である程度決まってしまう．したがって，ばらつき加減を見た方が良い．最後の統計情報に注目して，最小値と最大値が大きく離れている場合には，混雑している可能性が高い．

3.7 traceroute

トレースルート (traceroute) は，データグラムが目的地まで経由するルータ，すなわち経路を知るためのアプリケーションであり，ICMP time exceeded message を利用する．Time exeeded message はデータグラムの寿命である TTL が 0 となった時にルータパケットが廃棄されたことを発信源に知らせるメッセージである．

3.8 tcpdump

ネットワーク上を流れるパケットを監視するコマンドである．実行すると，指定したネットワークインタフェース上を通過する全てのパケットの情報を画面に表示し続ける．不要なパケットの情報を表示しないように条件を付けることもできる．

3.9 quagga ⏎

クアッガ (quagga) コマンドは，RIP に対応した動的経路制御コマンドである．実行することで動的に経路制御表が作成される．

3.10 nano ⏎

nano エディタを呼び出す．

第 4 章 覚えておいたほうが良い UNIX の基本コマンド

4.1 cd ⏎

指定したディレクトリに移動する．

4.2 ls ⏎

カレントディレクトリにあるファイルおよびディレクトリの一覧を表示する．

4.3 less ⏎

ファイルの中身を閲覧する．

4.4 cat ⏎

ファイルの中身を標準出力 (画面のこと) に出力する．

4.5 mv ⏎

ファイルを指定の場所に移動する．あるいは，指定したファイルの名前を変更する．

4.6 pwd ⏎

カレントディレクトリの絶対パス (つまり今自分がいる場所) を表示する．

4.7 sudo ⏎

後に続くコマンドを管理者として実行する．

第 5 章 nano の使い方

nano は linux に標準でインストールされているテキストエディタである．他に有名なものとしては emacs や vi などがある．nano は扱いに若干の癖があるため，ここに基本操作方法を示す．

```
####エディタの起動####
nano hoge.txt

####文書の保存####
Ctrl+w
------------------------------------------------
| File Name to Write: hoge.txt  <Enter を押す> |
------------------------------------------------

####エディタの終了####
Ctrl+x

# 保存する前に終了しようとすると,
---------------------------------------------------------------------
| Save modiflier buffer (ANSWERING "No" WILL DESTROY CHANGES) ? |
| Y Yes                                                         |
| N No     ^C cancel                                            |
---------------------------------------------------------------------
# というメッセージが表示される．保存しないで終了する時は N(または n) を入力する．
```

様々な経路制御表を手動で設定することでルーティングを理解する.

6.1 仮想マシンへのログイン

本実験は，host1,host2,router1,router2 の計 4 台の仮想マシンを使って行う．まず，各仮想マシンへ ssh で遠隔ログインする．以降の実験は全て手元のコンソール画面にて行う.

```
####仮想マシンへの遠隔ログイン####
ssh host1@192.168.xx.xx
```

6.2 ネットワーク情報の設定

ネットワークの構築を行うにあたって，まずは NIC(Network Interface Card) の設定を行う．UNIX では，あらゆるインターフェースやデバイスをファイルとして扱うという特徴があり，Debian 系の OS では，/etc/network/interfaces が NIC の設定ファイルとして非常に有名である．このファイルを nano エディタで編集し，ネットワーク情報を書き込む.

```
####まずは状況確認をしよう####
ifconfig

####/etc/network/interfaces の編集####
sudo nano /etc/network/interfaces

####指定デバイスにネットワーク情報を書き込む####
auto eth0
iface eth0 inet static
address=192.168.xx.xx
network=192.168.xx.0/24
netmask=255.255.255.0

####端末の再起動####
sudo shutdown -r now

####設定が反映されていることを確認する####
ifconfig
```

6.3 経路制御表を設定する

ここからは，先程設定したホスト間における通信を行う.
IP ネットワークには以下の基本が存在する．すなわち，

ネットワークの基本

- 同一ネットワークに所属する端末は互いに通信可能である.
- 所属ネットワーク外に宛てた通信は，ゲートウェイに問い合わせないと届かない.

host1 と host2 の間を通信する経路を以下に示す.

```
####経路の例（行き帰りが同じ経路の場合）####
行き： host1 → router1 → router2 → host2
帰り： host2 → router2 → router1 → host1
```

この経路を「route」というコマンドを使って構築する．パケットを目的の端末に届けるには，以下に上記の鉄則に従っているかがポイントとなる．

以下に示すサンプルを参考にして，経路テーブルを構築せよ．

```
####経路制御表を表示する####
route

####経路の追加の例####
route add -net 192.168.2.0/24 gw 192.169.4.1
route add default gw 192.169.4.1

####経路の消去の例####
route del -net 192.168.2.0/24 gw 192.169.4.1
```

6.3.1 フォワーディングの有効化

ルータの重要な機能の一つとして，フォワーディングというものがある．これは，ルータがホストから受信したデータを，指定された別のマシンへ一切手を加えずに送信する機能のことで，ルータはこの「パケットのたらい回し機能」とルーティングテーブルを駆使することでルーティングを実現している．この機能は，通常のマシンでは使用する必要が無い上に，全てのマシンにこの機能があると攻撃などに悪用される恐れがあるため，デフォルトでは無効化されている．したがって，Linux マシンをルータとして利用するためには，このフォワーディング機能を有効化する必要がある．

```
####sysctl のコンフィグファイルの編集####
sudo nano /etc/sysctl.conf

####フォワーディングの有効化####
net.ipv4.ip_forward=1

####コンフィグの反映####
sudo sysctl -p
```