

知能情報工学実験 II-1

ネットワークの構築

担 当 : 徳久雅人 (tokuhisa@ike.tottori-u.ac.jp)
実験場所 : 7452 室 (大学院棟 4 階)
実験日 : 平成 15 年 4 月 15, 22 日 / 6 月 3, 10 日
準 備 : フロッピーディスク 1 枚 (実験結果等の運搬用)

1 実験の目的

本実験では、TCP/IP によるネットワークの構築方法を習得する。特に IP に焦点をあて、ネットワークインタフェースおよびルーティングを設定する。また、多くの計算機を接続することを体験する。

2 TCP/IP ネットワーク

2.1 概要

2.1.1 TCP/IP とプロトコル

情報通信をするためには、信号の生成と解釈にきまりが必要で、それを「プロトコル」という。

通信プロトコルの標準モデルに、OSI (Open Systems Interconnection) 参照モデルがある。そのモデルは階層構造を成しており「物理層」、「リンク層」、「ネットワーク層」、「トランスポート層」、「セッション層」、「プレゼンテーション層」、「アプリケーション層」という 7 つの階層が存在する。各層では、通信のある側面を保証しようとしている。上位層は、下位層での保証を基礎として、さらに高度な保証をめざす。

一方、いわゆるインターネットでは、TCP/IP と総称されるプロトコルを用いている。TCP/IP プロトコルでは「ネットワーク層」、「インターネット層」、「トランスポート層」、「アプリケーション層」という 4 つの階層が存在する。

TCP/IP プロトコルは OSI 参照モデルと対応関係がある。TCP/IP プロトコルにおける「ネットワーク層」は OSI 参照モデルにおける「物理層、リンク層」に対応し、同様に「インターネット層」は「ネットワーク層」に、「トランスポート層」は「トランスポート層」に、そして「アプリケーション層」は「セッション層、プレゼンテーション層、アプリケーション層」にそれぞれ対応している。

TCP/IP プロトコルでのネットワーク層は通信媒体を指す。たとえば、イーサネット、無線 LAN、PPP 接続、などがある。

インターネット層は情報を「パケット」という小さな単位に分割し、ネットワークをたどり、そして、間違いのない相手に送信することを目指す。しかし、情報が確実に届くことを保証するものではない。この層では「IP (Internet Protocol)」と呼ばれるプロトコルを用いる。この実現には「IP アドレス」によりネットワーク上で計算機を特定すること、そして「ルーティングテーブル」によりネットワークのつながりを表すことが重要になる。

トランスポート層は、パケットが壊れずに正しい順番で届くことを目指す。また、パケットは「ポート」という計算機内の細分化された入口に届く¹。この層では「TCP (Transmission Control Protocol)」および「UDP (User Datagram Protocol)」という 2 つのプロトコルを用いる。TCP は、この層の目的通りのプロトコルである。一方、UDP は、データの正確さや、到着順序は保証しないが、TCP より高速である。

アプリケーション層は、いわゆるホームページのデータを転送するプロトコル HTTP、メールの送受信のプロトコル SMTP・POP、ファイル転送のプロトコル FTP など、アプリケーションのためのプロトコルが対応する層である。

¹ソケット通信で使用する。

2.1.2 ネットワーク層とインターネット層から見たネットワーク

本実験に関連する事柄について、図1を参照しながら概説する。詳細は次節以降で述べる。

図1は、LAN-1という局所ネットワーク(LAN; Local Area Network)と外部ネットワークを表している。影付きのボックスは、インターネット層の情報であり、それ以外はネットワーク層の情報である。

LAN-1には、PC10、PC11、PC12という3台の計算機と2つのハブがある。

PC10とPC11には、それぞれ1枚のイーサカードが装着されている。PC12には、2枚のイーサカードが装着されている。イーサカードの1枚目、2枚目にeth0、eth1というラベルがつく。イーサカードごとに、IPアドレスとネットマスクが設定されている。

計算機とハブは、LANケーブルで接続されている。また、ハブとハブもLANケーブルで接続されている。ハブは、ネットワーク層で接続する装置であり、これをリピータという。

PC10はeth0を通じてHUB1と接続されている。PC10が出力するパケットが「192.168.1.xx」宛てならば単にeth0から出力する。また、その他に送信する場合は「default」とされるIPアドレスのある計算機に送られる。このように、送信先、IPアドレス、および、イーサカードのラベルとの関係は、ルーティングテーブルに表され、各計算機に設定されている。

PC12はeth0を通じてHUB2と、さらに、eth1を通じて外部ネットワークと接続されている²。ネットワークでは、このように、異なるネットワークを接続する部分がある。これをルータ(router)あるいはゲートウェイ(gateway)と呼ぶ。ルータはIPのレベルで仲介をするものを指し、ゲートウェイはプロトコルの変換を行うものも含む。ルータやゲートウェイでもルーティングテーブルが使用される。

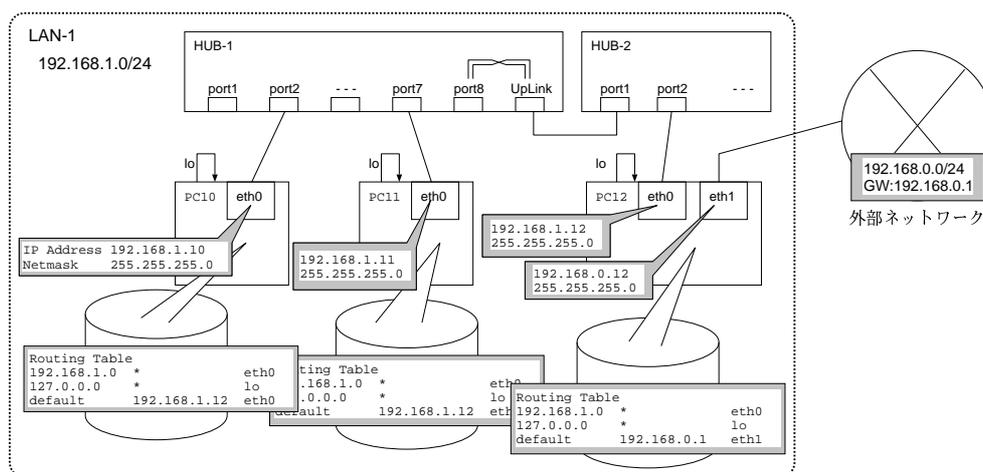


図1: 各種設定・接続の例

2.2 ネットワーク層

2.2.1 ネットワークインタフェース

計算機をネットワークに接続する装置をネットワークデバイスという。イーサカードが最もポピュラーである。また、lo(Local Loopback Device)という自分自身に帰ってくる仮想ネットワークデバイスもある。ネットワークデバイスを総じて、ネットワークインタフェースと呼ぶ。

²実際には、外部ネットワーク内のハブに接続される

2.2.2 ハブ（リピータ）

ネットワーク層において、機器を接続する装置をリピータという。ハブは、100BASE-TX や 10BASE-T で使用するツイストペアケーブルを集積接続する機器である。

ハブには「ポート³」と呼ばれるケーブルの差し込み口が複数個ある。ある 1 つのポートから入力されたパケットは残りのポートから出力される⁴。こうしてハブは、計算機同士を接続することができる。

コリジョン 複数のポートから同時にデータが入力された場合をコリジョンという。同時に入力されたデータは壊れているので、入力のあったポートからコリジョン信号が返される。

ハブ同士の接続（カスケード接続） 接続する計算機の量が多い場合ポートが不足する。その場合、ハブとハブを LAN ケーブルで接続し、ポート数を増やすことができる。これをカスケード接続という。

計算機とハブとを結ぶ LAN ケーブルは、ストレートケーブルを用いる。一方、ハブとハブとを結ぶ場合、通常のポート同士ならばクロスケーブルを用いる。

ストレートケーブルとクロスケーブルは外観から見分け難いため、実際にネットワークを管理する現場では、両ケーブルを同時に用いることは避けたい。そこで、ハブ間をストレートケーブルで結ぶために「カスケードポート（Up-Link ポートともいう）」がある。このポートは内部でクロスケーブルに変換する結線が施され、一般には最終ポートと結びついている。

接続方法は、ハブのカスケードポートにストレートケーブルを差し込み、ケーブルのもう一方をもう 1 つのハブの通常のポートに差し込む。

カスケード接続には制限がある。10BASE-T の場合、ハブ間のケーブルの距離は 100m まで、接続台数は 4 台までである。100BASE-TX の場合、ケーブルの距離は 100m まで、接続台数は 2 台までである。これは、コリジョンを検出するための時間幅とデータ転送の遅延時間の関係に依る。

2.3 インターネット層

2.3.1 IP アドレス

一時的な設定（ifconfig コマンド） ifconfig コマンドは、ネットワークインタフェースの設定に使用される。以下に使用例を示す。

`ifconfig eth0` : イーサカード eth0 の状態を表示する。IP アドレスが割り当てられ、正常起動しているならば「inet addr:192.168.0.18」や「UP」が表示される。

`ifconfig eth0 inet 192.168.0.18 netmask 255.255.255.0` : イーサカード eth0 に IP アドレスとネットマスクを割り当てる。

`ifconfig eth0 down` : イーサカード eth0 を停止する。

`ifconfig eth0 up` : イーサカード eth0 を再開する。

接続の確認（ping コマンド） ping コマンドは、パケットをネットワーク上の計算機に送り、転送状態を確認することに使用される。最も簡単な使い方の例は「ping 192.168.0.17」であり、指定した IP アドレスの計算機への転送状態が以下のとおり表示される。

- 受信できたバイト数、送信シーケンス番号 (comp_seq)、有効期限 (ttl)、応答時間 (ms)

³TCP や UDP で用いるポートと同名であるが、異なるものである。

⁴スイッチングハブと呼ばれるハブは、必要なポートにのみ出力する。

- 送信したパケット数, 受信したパケット数, 受信できなかったパケットの割合 (%), 応答時間の最大値/平均値/最小値

ping コマンドは, 適当なタイミングで「Ctrl+c」で止めてよい.

恒久的な設定 (ifcfg-eth ファイル) ifconfig コマンドで設定した IP アドレス等は, 計算機をリブートすると失われる. そこで, 設定した情報は以下のファイルに保存する.

- /etc/sysconfig/network-scripts/ifcfg-eth0

たとえば, 下記の設定項目がある.

```
DEVICE=eth0
ONBOOT=yes
BOOTPROTO=static
IPADDR=192.168.0.47
NETMASK=255.255.255.0
GATEWAY=192.168.0.7
```

ちなみに, DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol) により IP アドレスを入手する設定ならば BOOTPROTO=dhcp, そうでなければ BOOTPROTO=none あるいは static とする.

2.3.2 ルーティング

「ルーティング (routing)」とは, 送信すべきパケットをどのネットワーク, あるいは, 計算機に送れば良いのかを決めることを言う. そのために「ルーティングテーブル」という送信先と接続ネットワークとの関係を表すテーブルを使用する.

「ルーティングテーブル」だけでは, パケットの送信先が不明である場合には「デフォルトゲートウェイ (default gateway)⁵と呼ばれる計算機に任せる」というきまりがある. そこで, ルーティングテーブルには, デフォルトゲートウェイが記述できるようになっている.

ルーティングテーブルを編集するには「route コマンド」「routed デーモン」, あるいは「gated デーモン」のいずれかをを用いる.

route コマンドで編集する場合を「静的ルーティング (static routing)」と呼ぶ. 一方, デーモンにより随時変更される場合を「動的ルーティング (dynamic routing)」と呼ぶ.

一時的な設定 (route コマンド) route コマンドは, ルーティングテーブルの編集に使用される. 以下に使用例を示す.

route -n: 現在のルーティングテーブルの内容を表示する.

route add -net 192.168.1.0 netmask 255.255.255.0 eth0: 「送信先の IP アドレスのネットワーク部が 192.168.1.xx である場合は eth0 から転送する」という設定をする.

route add -net 192.168.1.0 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.0.1: 「送信先が 192.168.1.xx である場合は 192.168.0.1 に任せる」という設定をする.

route add default gw 192.168.0.1: 「送信先がその他の場合は, 192.168.0.1 に任せる」という設定をする.

⁵デフォルトルータ (default router) とも呼ばれる

`route del -net 192.168.1.0 netmask 255.255.255.0 : 192.168.1.xx` に対するルーティングの情報を削除する .

`route del default` : デフォルトゲートウェイの設定を削除する .

上記の例で , IP アドレスのネットワーク部は「192.168.1.xx」であると述べた . これは直感的な説明である . 正確には「192.168.1.0/24」と記述する「/24」は , ネットマスク「255.255.255.0」が左から数えて 24 ビットぶんが 1 になっていることを表す .

一時的な設定 (`ip_forward`) ルーティングを行う計算機は , 受信したパケットを他の計算機に転送しなければならない . この設定は , `/proc/sys/net/ipv4/ip_forward` というファイルが表している⁶ . ルーティングの計算機として設定する場合には , 以下を実行すればよい .

- `echo 1 > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward`

また , そうでない計算機は , 以下を実行すればよい .

- `echo 0 > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward`

ルーティング経路の確認 (`traceroute` コマンド) `traceroute` コマンドは , 自身の計算機から指定する計算機までのルーティング経路の情報を出力する . 情報の意味は以下のとおりである .

- 経路の終点となるホストの名前と IP アドレス , 最大通過ルータ数 (hop 数)
- ルータのレスポンス時間 (3 回ぶん)

`ping` コマンドと異なり , 途中で止めてはいけなない . しばらく待つこと .

恒久的な設定 (`static-routes` ファイル) `route` コマンドで手動によりルーティングテーブルが編集できるが , 計算機をリブートすると失われる . Linux では , 計算機の起動時に , `route` コマンドを自動実行するスクリプトがある .

```
/etc/rc.d/init.d/network
```

ここに記述されているこのスクリプトを読むと , 以下のファイルに「`route add`」の際の引数を列挙すれば良いことがわかる .

```
/etc/sysconfig/static-routes
```

恒久的な設定 (`ip_forward`) `/proc/sys/net/ipv4/ip_forward` は , システムをシャットダウンする際「0」に書き換えられてしまう . その様子を観察するためには ,

- `/etc/rc.d/init.d/network reload`

を実行してみるとよい .

- Disabling IPv4 packet forwarding: [OK]

というメッセージの出力の際に「0」に書き換えられている . そのプログラムは , 上記の `network` であり , `bash` というスクリプト言語で記載されている .

ちなみに , システム起動時に `ip_forward` に書き込むタイミングは ,

- Setting network parameters: [OK]

というメッセージが出力されるときである .

⁶印刷の都合読みにくい「ip」と「forward」の間には「アンダーバー()」が存在する .

3 課題

3.1 課題 1

10人で1班とし, 1つのLANを構築する.

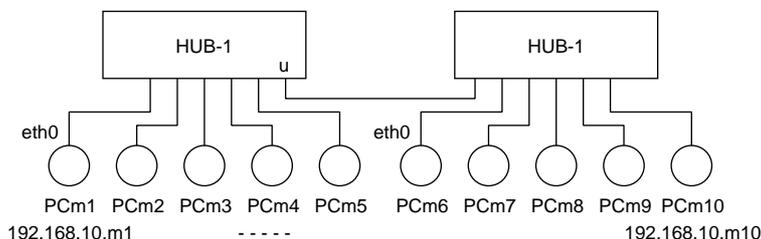


図 2: 課題ネットワーク-1

図 2 のネットワークを以下の仕様に従って構築せよ. 設定は一時的とする (ファイルに書き込まない).

- 2つのハブに5台ずつ計算機を接続し, ハブ間をカスケード接続する.
- eth0 を用いる.
- 「PC m_i 」のIPアドレスは「192.168.10. m_i 」とする.
- 担当する計算機から, 他の全ての計算機に ping が通じる.

報告事項 1

- (1) 担当計算機における `ifconfig eth0` の結果
- (2) 担当計算機から, 他の全ての計算機への ping の結果 (各 7 行程度)

報告事項 2 ハブを3台にし, 各ハブに計算機を3台あるいは4台接続する

- (1) 3つのハブを通過する ping の結果
- (2) 最も端の計算機 (たとえば, 図 2 の PC m_1) に, 9台が一斉に ping をした結果

報告事項 3 ハブを5台にし, 各ハブに計算機を2台接続する

- (1) 5つのハブを通過する ping の結果
- (2) 最も端の計算機に, 9台が一斉に ping をした結果

結果の保存方法 コマンドライン上で「`script /root/ファイル名`」を実行し, ping コマンドなどを実行する. 実行結果は, コンソールに表示されるし, 指定したファイルにも出力される. 最後に `exit` コマンドにより `script` コマンドを終了する.

3.2 課題 2

3人で2つのLANを構築する。

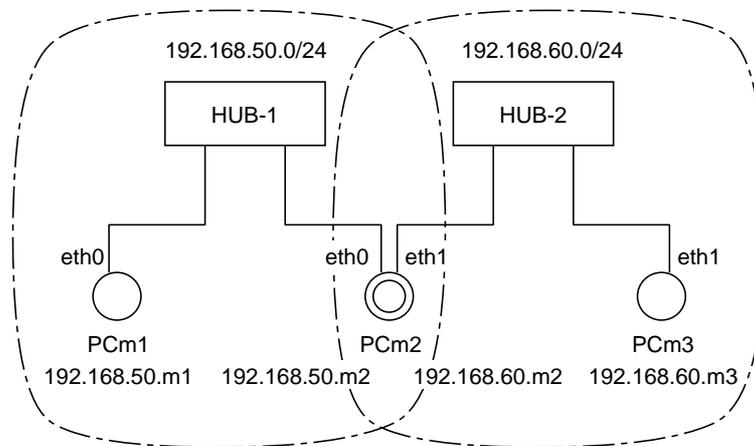


図 3: 課題ネットワーク-2

図 3 のとおりに配線し，PCm1 と PCm3 の間で ping が通るようにルーティングを設定せよ．設定は一時的とする．

報告事項 4 PCm1,PCm2,PCm3 について，route -n の結果を示せ

報告事項 5 以下の間での ping の結果を示せ．

- (1) PCm1 から PCm2(eth0) へ
- (2) PCm1 から PCm2(eth1) へ
- (3) PCm1 から PCm3 へ

報告事項 6 以下の間での traceroute の結果を示せ．

- (1) PCm1 から PCm2(eth0) へ
- (2) PCm1 から PCm2(eth1) へ
- (3) PCm1 から PCm3 へ
- (4) PCm3 から PCm1 へ

3.3 課題 3

3人で1つのグループをつくり、計算機3台から成るLANを構築する。そして、図4に示すネットワーク全体を構築する。このネットワークの仕様は以下の通りである。

- 全体は、計算機3台から成る10個のLAN(LAN- n と呼ぶことにする ($n = 1, 2, \dots, 10$)), および、それらを統合する2つのLAN(LAN-11 および LAN-12) から成る。
- 1つのグループが LAN- n を担当する。
- LAN- n は、1台のゲートウェイ、2台の通常計算機、および1つのハブで構成する。
 - ネットワークアドレスは「192.168. n .0/24」とする。
 - ホストアドレスは、計算機本体のラベル PC m に従い「 m 」とする。
 - LAN- n の内部への接続は、各計算機の eth0 を使う。
 - LAN- n の外部への接続は、LAN- n 内のゲートウェイを経由する。
 - LAN- n 内ゲートウェイは、LAN- n の内部のルーティングを行うが、外部に対しては後述する PC g に任せる。
- LAN-11, および, LAN-12 は、それぞれ5つのLANをまとめる中間レベルのネットワークである。
 - ネットワークアドレスは「192.168.11.0/24」(LAN-11 のとき) ; 「192.168.12.0/24」(LAN-12 のとき) とする。
 - LAN- n 内ゲートウェイの eth1 は、LAN-11 あるいは LAN-12 に接続する。eth1 の IP アドレスは「192.168.11. n 」(LAN-11 のとき) ; 「192.168.12. n 」(LAN-12 のとき) とする。
 - 以上を恒久的に設定する。
- LAN-11 と LAN-12 の間に、計算機 PC g が1台配置される。
 - eth0 は LAN-11 と接続し、eth1 は LAN-12 と接続する。
 - eth0 に「192.168.11. $g + 100$ 」、eth1 に「192.168.12. $g + 100$ 」という IP アドレスを割り当てる。
 - LAN-11 内、LAN-12 内、および、LAN-11 と LAN-12 間のルーティングを行う。
 - 以上を恒久的に設定する。

なお、PC g は、ルーティングテーブルはグループ担当の LAN- n に配信されるように自力で行う。計算機の設置・配線は、最初に LAN- n の構築を済ませたグループが行う。

報告事項 7 LAN- n の3台の計算機について

- (1) リポート後の「ifconfig」および「route -n」の結果を報告せよ。
- (2) 「ifcfg-eth0(ゲートウェイは ifcfg-eth1 も) 」および「static-routes」の内容を報告せよ。
- (3) その他の設定ファイルの内容を報告せよ。

報告事項 8 LAN- n 内のある計算機から他の LAN- n' 内のある計算機までの「traceroute」の結果を示せ。また、その関連するネットワークを図示し、経路を説明せよ。

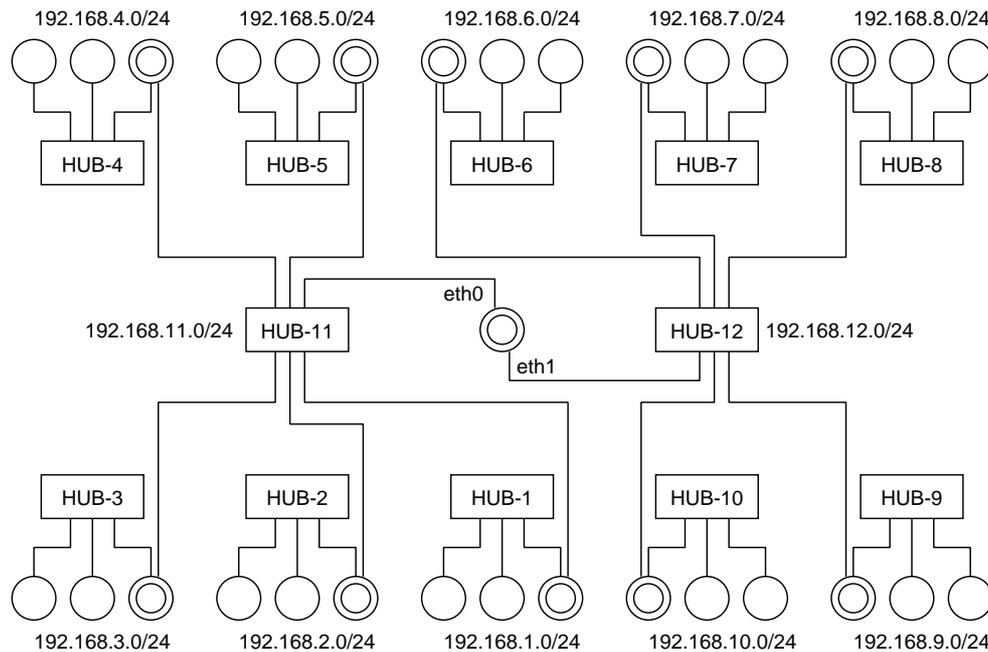


図 4: 課題ネットワーク-3

4 レポートの作成要領

レポートは各自が 1 部作成する。A4 用紙に、鉛筆やボールペンによる手書き、または、ワープロによる印刷によるものとする。枚数の制限はない。表紙には、実験テーマ名、実験日、レポート提出日、自分の名前・学籍番号、班名、3 人組みのメンバ名、を書く。左上をステープラ等で止める。

レポートの本体は、「1. 実験の目的」、「2. 実験機材の説明」、「3. 報告事項」、「4. 考察」という章立てを少なくとも設ける。参考にした文献や Web ページがあれば「参考文献」という項を設けて紹介する。

また、今後の参考のために感想を最後に載せて下さい。

レポートの提出日は、実験最終日から 6 日目の 17:00 までとする。提出場所は、計算機 C 講座前 (1504 室) の提出箱とする。

提出日の 17:30 より、実験に使用した計算機の初期化を行うことがある。よって再実験は困難であるため、実験は慎重かつすみやかに行うこと。

なお、無断で実験を欠席した場合、情報工学実験 II 全体で不合格になる場合がある。病気のため欠席や提出遅れとなる場合には、病院で診断書を書いてもらい徳久に提出すること。その他のやむを得ない場合も、きちんと徳久に直接連絡すること。

参考文献

國安和廣: フリー UNIX で作るネットワークサーバ, 秀和システム, 1998.

@ I T: <http://www.atmarkit.co.jp/fsys/>