

ネットワーク実験

はじめに

ネットワーク実験開始時(第 1 回)に小テストを行います。本指導書内容に関することです。実験日前に、本指導書をよく読んで「何が分からないのか」が明確にしておいてください。また、実験データの持ち出しのために、実験当日は USB メモリを持参してください。

実験を実施して分かることが多数あると思います。また、それが実験の目的でもあります。分からないことは、やさしい TA などに質問してください。質問の際には、指導書の「この部分分からない」と明示的に指摘して質問して下さい。

本実験には、基本的に危険はありませんので、実験グループのメンバーがそろい¹実験時間となったら教員などの指示を待つことなく実験を開始してください。

最終回の実験日以外には、実験システムをそのまま実験途中の状態で放置して実験を終了してかまいません。ただし、自実験グループが使用しているクライアント計算機、オシロスコープ、電源などは適切に停止し、コンセントも抜いてください。また、本日の実験予定が終了した旨をやさしい TA などにどこまでの実験を終了したかを申告して、その日の実験終了の確認を受けてください。

1. 目的

Ethernet における実効伝送能力をさまざまな環境で計測し、実際のネットワークにおける通信能力を理解する²。

2. 実験概説

本実験では実効伝送能力の測定対象として、10Base-T を用いる。10Base-T の意味は、10(10Mbit/S)Base(band)-T(Twisted pair)である。最大で毎秒 10Mbit のデータを伝送することが可能である。しかし実際に伝送可能なデータ量は、伝送方法や伝送環境により大きく異なる。

本実験では、ネットワークプロトコルとして TCP/IP と UDP/IP を比較する。また、伝送環境として、直接通信を行う場合とルータを介して伝送する場合の比較を行い、雑音電圧を注入した場合に伝送性能に与える影響について調べる。

¹ 実験は基本的に、実験グループ全体の実験です、グループの全員が実験を目前で体験することが必要です。休みの連絡があった場合には、連絡のあったメンバーを除いて実験を実施してかまいません。また、5 分程度待っても連絡がない場合には、残りのメンバーで実験を実施してかまいません。

² この実験は、ネットワークを介して実際にどの程度の情報が送れるかを計測します。

コンピュータネットワーク (Ethernet) (予習)

コンピュータネットワークは、多くの階層から構成されている (表 1)。一番下は、物理層である。最近は、Ethernet では、100Base-TX および 1000Base-T 方式がよく利用されている。このとき、物理層のケーブルは、「より対線」であり、そこに流れる電気信号は、ディジタル論理値の 0/1 を電圧に割り当てて表現している。これは AM ラジオで、搬送波を振幅変調しているのと似ている。(一方 FM ラジオでは搬送波を周波数変調している。) Base の意味は、基本信号周波数 (ベースバンド) のまま伝送することである。上記物理層の上にデータリンク層として Ethernet が実現されている。Ethernet は、多重アクセスプロトコルとして CSMA/CD 方式を採用している。

表 1 OSI 参照モデル

第 7 層	アプリケーション層：ユーザが操作するインターフェース。
第 6 層	プレゼンテーション層
第 5 層	セッション層
第 4 層	トランスポート層：ネットワークにおける通信管理。
第 3 層	ネットワーク層：ネットワークにおいて通信経路の選択。
第 2 層	データリンク層：通信機器間の直接的な信号の受け渡し。
第 1 層	物理層：電気信号の変換等。

CSMA/CD 方式(Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection):

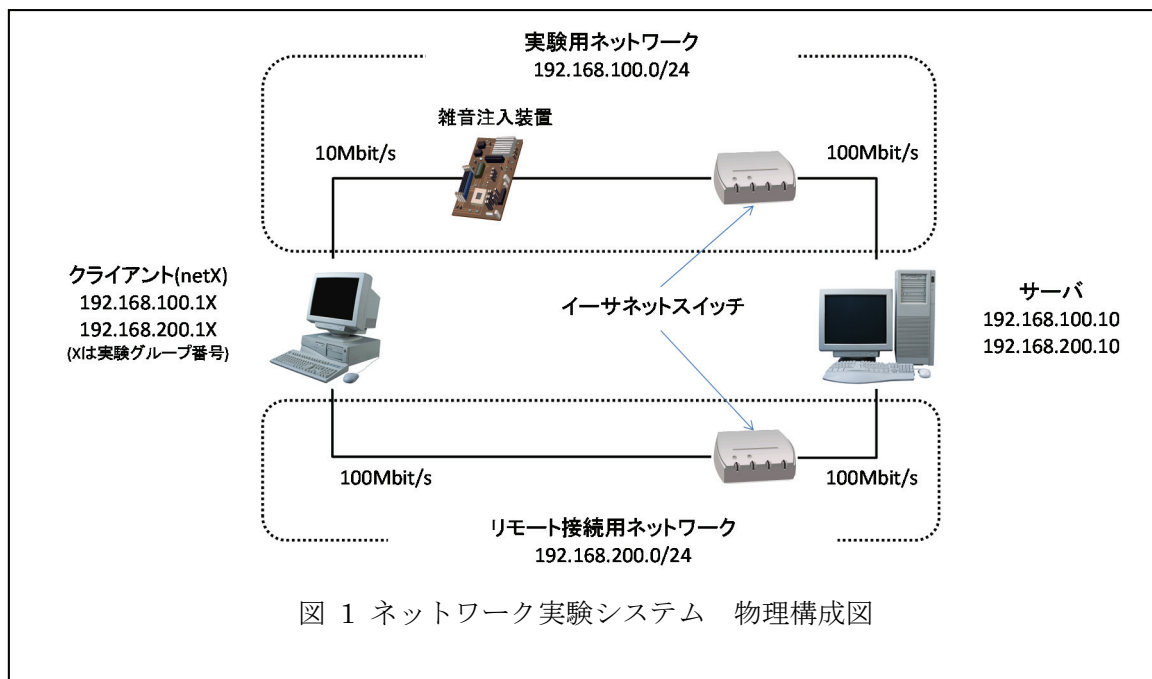
Ethernet では、ホスト A から送出されたデータは、同じ Ethernet に繋がっている全ホストへ届けられる。つまり「1 対全」の通信であり、ホスト A はホスト B 宛てのデータを送出しても、関係の無いホスト C や D にも届いてしまう。つまり、任意のホスト A と B との 1 対 1 のみでの通信は不可能である。各端末を区別するためにイーサネット機器は全て固有の MAC アドレスを持つ。ホスト C および D は一旦受け取るが自分宛てのデータでない為、これを廃棄する。

また、「1 対全」の通信であるため、既にホスト A と B が通信している時にホスト C が新たにデータを送出すると、データの衝突 (コリジョン) が発生してしまう。コリジョンが発生すれば通信は成り立たない。Ethernet では、コリジョンを回避するためにデータ送出の手順が決められている。まずホストは、自分の繋がっている Ethernet 内でフレーム (データ) が流れていないか確認する。もし既に別のホストが通信していれば、ランダムな時間だけ待って再び確認する。フレーム (データ) が流れていなければ、自分のフレーム (データ) を送出する。しかし別のホストも同時に送り出していたら、ここでコリジョンが起こる。コリジョンを検知したホストは、ランダムの時間待ち、再度同じフレームを送出する。これが CSMA/CD と呼ばれる通信方式である。

同じデータが到達するネットワークをコリジョンセグメントと言い、物理層により全体の長さが固定されている。それ以上の規模のネットワークを構築する場合、ブリッジ、もしくはそれが多ポート化したイーサネットスイッチ（スイッチングハブ）、ルータ等を用いてネットワークを分割しなければならない。

ネットワークの形は、最初に標準化された 10BASE-5 や、10BASE-2 などは、バス型ネットワークを構成していたが、現在、普及している 10BASE-T や 100Base-TX および 1000Base-T などでは、スイッチを介してスター型につなぐ方式になっている。

現在では有線の Ethernet では全二重通信＋スイッチングハブが主流であり、CSMA/CD 方式は実質的に使われなくなっている。ただし、無線 LAN(Wifi)では類似の CSMA/CA(Collision Avoidance)方式により、信号の衝突を回避した多重アクセスが実現されているため、現在においても重要な概念である。



3. 実験システム³

実験システムは、各グループに 1 台の計算機 (クライアント) と全体で 1 台の計算機 (サーバ) で構成される。各グループで見ると、目の前にある 1 台のクライアントと、少し離れた場所にある 1 台のサーバ、およびそれらを結ぶケーブルから構成される (図 1)。サーバは (図 1 右)、Windows Server 2003 で、片方向 200Mbit/s のバンド幅⁴を持っている。これをクライアント 7 台 (図 1 左、1 台のみ表示) で共有している。クライアントの実験用ネットワークインターフェースは、10Mbit/s に設定する。サーバは、各クライアントあたり、約 28Mbit/s のバンド幅を持っている。ゆえにサーバ側のバンド幅は、全クライアントの実験用ネットワーク接続からの伝送パケットを受信するのに十分である。

この実験では実験用とリモート接続用の 2 つのネットワークを使用する。前者は ping (4.1.3 参照) などのコマンドを使用してパケットを送信するネットワーク (192.168.100.0/24) で、雑音注入装置を介してサーバに接続する。後者はサーバへリモート接続し、サーバ側の設定確認および nc, recv (4.1.3 参照) コマンドの実行などを行うためのネットワーク (192.168.200.0/24) である。

上記の様に、リモート接続用に別のネットワークインターフェースが準備されているため、実験用ネットワーク接続はリモート接続の影響を受けない⁵。

³ 実験システムは、意図的なノイズ注入を行う実験などでネットワークの健全性を阻害する可能性があるために、大学のネットワークには一切接続されていません。データなどを回収記録するために USB メモリなどを利用してください。

⁴ 伝送可能な通信路の容量。全 2 重動作に設定すると上りと下りのそれぞれで 100Mbit/s の伝送速度が得られる。

⁵ 実際には、計算機などの処理負荷の影響が現れる。

4. ネットワーク実験詳細

4.1 準備

- 4.1.1 まず、ネットワークケーブルを接続する。実験用ネットワークは、クライアント拡張インターフェース側⁶から、サーバ拡張インターフェース側に接続されているスイッチングハブに接続する。リモート接続用ネットワークは、クライアントのマザーボード上インターフェース (ビルトインインターフェース (図 2))側から、サーバのビルトインインターフェース側に接続されているスイッチングハブに接続する。ケーブルをスイッチングハブに接続するときは班番号と同じポートに接続すること。端子と穴を良く見ると差し込み方向が確認できる。ロックされるまでしっかりと差し込むこと。抜くときには、レバー (図 3) を押さえて、ロックを解除して抜くこと。(無理に抜くと壊れる！)



図 2 ビルトインインターフェース

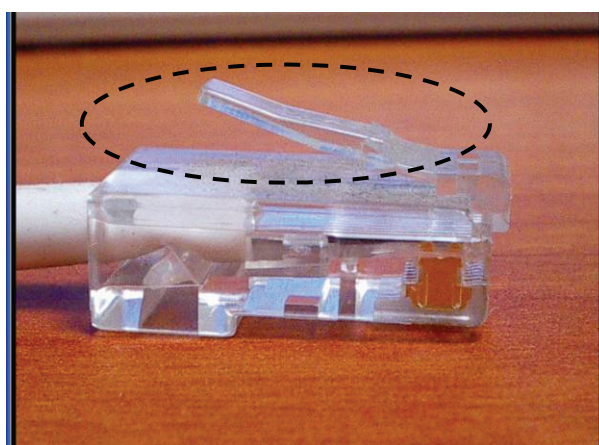


図 3 ケーブルコネクタ

⁶ 計算機のマザーボードではなく、PCI カードに実装されている。

4.1.2 クライアントの電源を投入して，ログイン⁷する．

4.1.3 使用コマンドの確認

Windows のコマンドプロンプトではなく，Cygwin を使用する．
Cygwin は，デスクトップ上のショートカット（右アイコン）から



起動することが出来る．また，スタートメニューの中から Cygwin Bash Shell を選択して起動することも出来る．使用方法は，基本的には Windows のコマンドプロンプトと同一であるが，実験に使用するコマンドの一部は Windows には存在しない．

図 4 Cygwin のアイコン

ping -h, ipconfig /?, nc -h と入力して，使用するコマンドの使用方法を確認する⁸．

4.1.4 ネットワークインターフェース設定

まず，実験用ネットワークの設定を行う（図 5）．

「ローカルエリア接続のプロパティ」－「インターネットプロトコル (TCP/IP)」のプロパティを開き，「次の IP アドレスを使う」の中で明示的に指定する．

実験用 IP : : 192.168.100.10+X サブネットマスク : : 255.255.255.0

ここで X は，実験グループ番号（例：グループ 5 であれば 192.168.100.15）．⁹

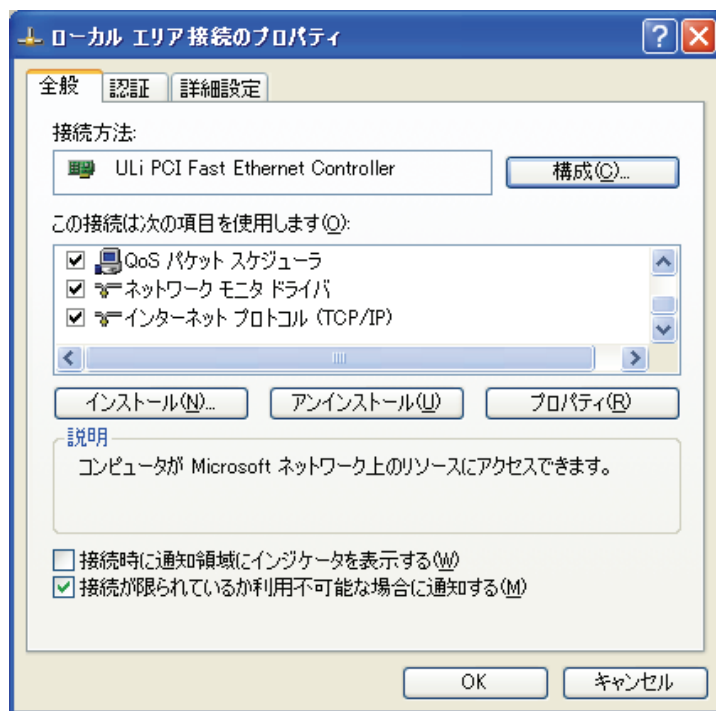


図 5 実験用ネットワーク I/F 設定

⁷ ユーザ名：netX (X はグループ番号)，パスワード：なし．

⁸ レポートに確認内容を記載すること．実験中に実験記録として保存すること．USB メモリなどを準備すること．実験システムのネットワークは，外部ネットワークから隔絶されている．

⁹ レポートに設定（確認）の記録を記載すること．

同様に、リモート接続用ネットワークの設定を行う（図 6）。

リモート接続用 IP : : 192.168.200.10+X サブネットマスク : : 255.255.255.0

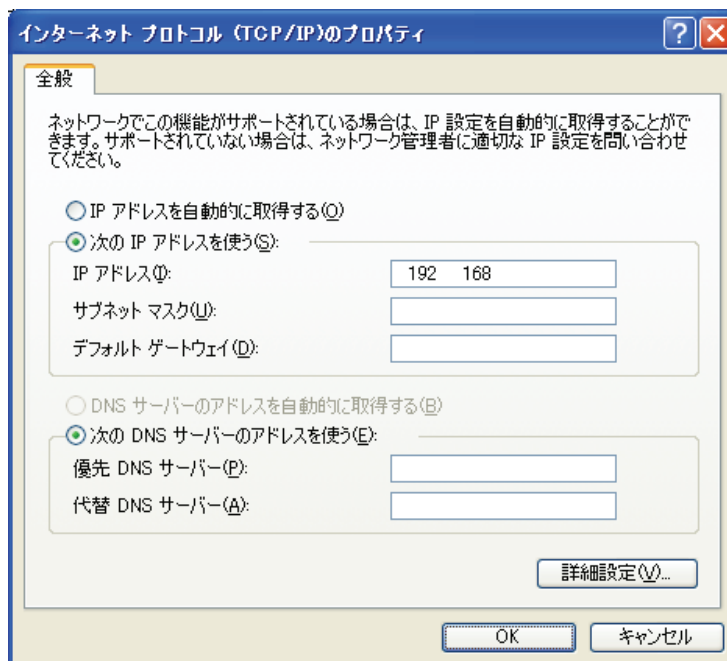


図 6 リモート接続用ネットワーク I/F 設定

- 4.1.5 ネットワークインターフェース確認 : : クライアントの `cygwin` を開き, `ipconfig`¹⁰を用いて実験用インターフェースとサーバリモート接続用インターフェースの IP アドレスなどを確認する¹¹。たぶんこの時点の表示は, 脚注とは異なる。
- 4.1.6 リモートデスクトップ接続¹²を用いて, サーバ (192.168.200.10)に接続¹³して, サーバの実験用インターフェースとサーバリモート接続用インターフェースの IP アドレスなどを確認する。

¹⁰ `ipconfig /all` とすると詳細な情報が表示される。

¹¹ IPCONFIG 実行例

```
$ ipconfig
```

```
Windows IP Configuration
```

```
Ethernet adapter ローカル エリア接続:
```

```
Connection-specific DNS Suffix . : aok.is.utsunomiya-u.ac.jp
```

```
IP Address. . . . . : 192.168.1.11
```

```
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
```

```
Default Gateway . . . . . : 192.168.1.1
```

```
kyota@aoktdat ~
```

```
$
```

¹² 別紙資料できるリモートデスクトップ接続参照

¹³ ユーザ名, パスワード共に `netX` (X はグループ番号)。

- 4.1.7 コントロールパネル・システム・ハードウェア・デバイスマネージャー・ネットワークアダプタ・ネットワークインターフェース (2 種)・プロパティ・詳細設定・connection type を開く (図 7)．2 つのネットワークインターフェースの設定などを確認する¹⁴．実験用ネットワークは 10BaseT Half Duplex に，サーバリモート接続用ネットワークは，標準設定 (Auto-Negotiation あるいは 100BaseTx Full Duplex) に設定されていることを確認する．

注意：実験サーバ側のインターフェースは，すべて 100M full Duplex に設定されている．誤ってこれを変更しないこと．

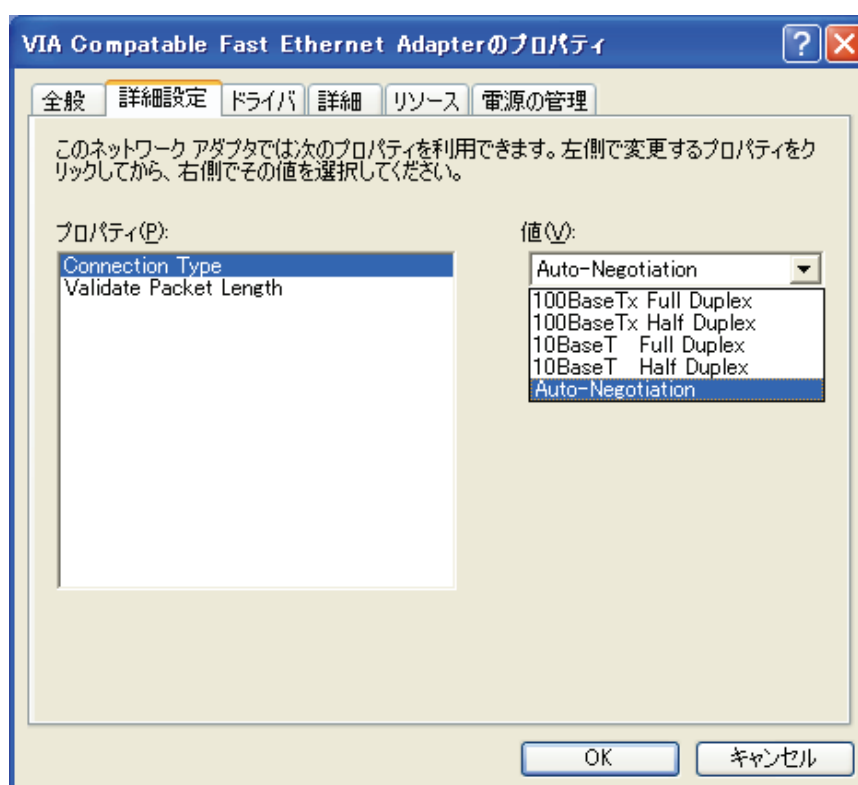


図 7 Ethernet アダプタの設定

- 4.1.8 ネットワークケーブルの接続を確認して，サーバのビルドインネットワークインターフェース¹⁵側にサーバリモート接続用ネットワークが接続されていることを確認する．サーバの拡張ネットワークインターフェース側に実験用ネットワークが接続されていることを確認する．また，ここで再度 ipconfig を用いて接続状態を確認する．¹⁶

¹⁴ 確認事項は，レポートに記載のこと．

¹⁵ 計算機のマザーボードに作りつけられているインターフェース．

¹⁶ 4.1.5 参照

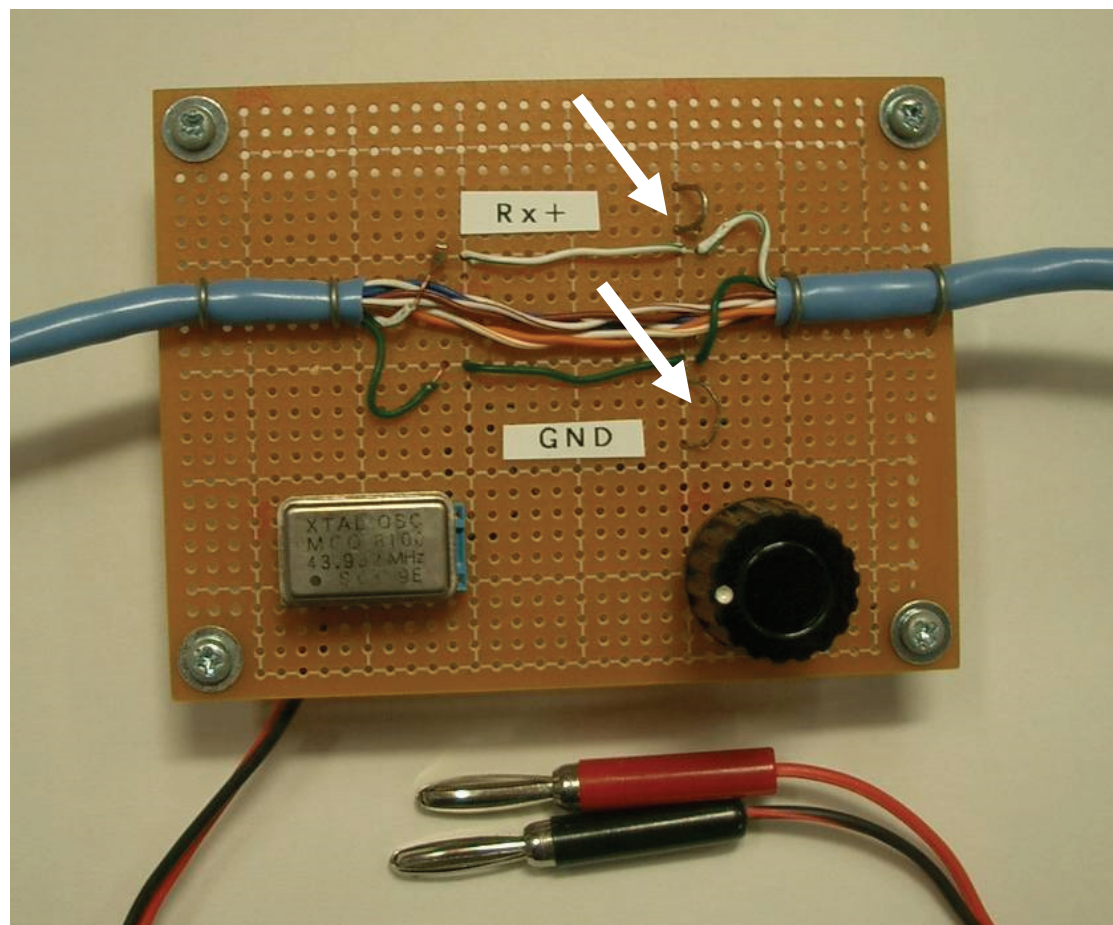


図 8 雑音注入器

4.2 内部ネットワークと外部ネットワークの応答時間、パケットロス率と伝送速度を観測する。

4.2.1 cygwin 上の ping¹⁷ コマンドを用いて、計算機内部応答時間¹⁸とネットワーク応答時間およびパケットロス率を計測する。

使用例 : `ping -f 192.168.100.10 1000 10000` 適当に大きなパケットサイズとパケット数を指示しないと、差異が明らかになりにくい。¹⁹

4.2.2 パケット伝送信号の観測

オシロスコープで雑音注入器 (図 8) の端子²⁰ (図 8 矢印) でパケット伝送状況を直接観測する。

`ping -f XXX` などとして、連続してパケットが送信されるようにして観測すると、容

¹⁷ `ping -f` のようにして大量のパケットを送信して実験を行う。-f をつけないと、1 秒に 1 個ずつパケットを送る。

¹⁸ 応答時間は、パケットを送信してから返事が返ってくるまでの時間を指す。

¹⁹ 例の意味を確認すること。4.1.3 参照。必要に応じて変更すること。

²⁰ プローブおよびプローブのアースリード線を、それぞれ Rx+, GND(Rx-)端子に接続する。

易に観測できる。

パケットの電圧を観測し、記録すること。伝送は、交流信号で行われているので全振幅を観測すること²¹。

nc²², send²³, recv²⁴を使って送信パケットデータの生成および受信パケットデータの計数を行い、内部伝送速度²⁵およびネットワーク伝送速度を計測する。複数の実験グループが運悪く同時に計測するとサーバのプロセッサ能力の制限からネットワークの最大実効速度が出ないので何度か計測し、他のグループの干渉がないことを確かめること。また、開始直後など動作が安定しない部分を除いて、計測結果をまとめること。

送信側使用例：send 100 | nc -v -n 192.168.100.10 1000X

受信側使用例：nc -v -l -n -p 1000X | recv 20 1000²⁶

4.2.3 UDP²⁷伝送の場合、TCP 伝送の場合についてそれぞれ観測し、比較すること。UDP 伝送方法については nc コマンドのヘルプを確認すること (4.1.3 参照)。

4.3 ルータ経由伝送実験

²¹ プローブに組み込まれているアッテネータの影響を考慮に入れるのを忘れないように。

²² nc を使う際には、-n を指定しておくこと。これを指定しないとネームサービスを検索する時間のために遅れが生じる。また、recv で観測パケット単位および観測時間は十分大きくしておくこと。安定した観測ができない。当然、send で送るデータ総量もそれに見合うものとする。10Mbps のネットワークを通じてどの程度のデータが送れるかを考える。観測時間は、20 秒以上あると結果が分かりやすい。

²³ send (C 言語で書かれた本実験用のソフトウェア) 書式：send n 動作：n 個のデータを生成して、出力する。1 個のデータは 10 バイトで構成される。

²⁴ recv (C 言語で書かれた本実験用のソフトウェア) 書式：recv m n 動作：m 秒間計数する。n 個単位で計数する。計数中に m 秒を超えれば終了する。指定時間よりも早く計数が終了すると、次の入力を待ち続けて終了しない。コントロール C などで強制的に終了させる必要がある。係数単位は、Byte である。bit ではない。注意すること。

²⁵ 伝送速度は、単位時間当たり送られるデータの量で表す。bps (ビット毎秒) がネットワーク理論速度との比較には、分かりやすい。

²⁶ 実行結果例：秒 受信バイト数/S 総受信バイト数

DNS fwd/rev mismatch: localhost != athlon64xp.aok.is.utsunomiya-u.ac.jp
connect to [127.0.0.1] from localhost [127.0.0.1] 2978

2	999	999
3	925074	926073
4	2572425	3498498
...		
11	4678317	37733229
12	4898097	42631326
13	4776219	47407545
...		
20	5144850	82026891

too many output retries : Broken pipe

²⁷ User Datagram Protocol の略。ハンドシェイクなどを行わないので、最大伝送速度は大きくなる。

4.3.1 接続

用意されたルータを，クライアントと雑音注入器の間に接続する．その際，クライアントが LAN 側，サーバが WAN 側となるように接続する（図 9）．左端のコネクタが WAN 接続用．右の 4 口は LAN 接続用である．

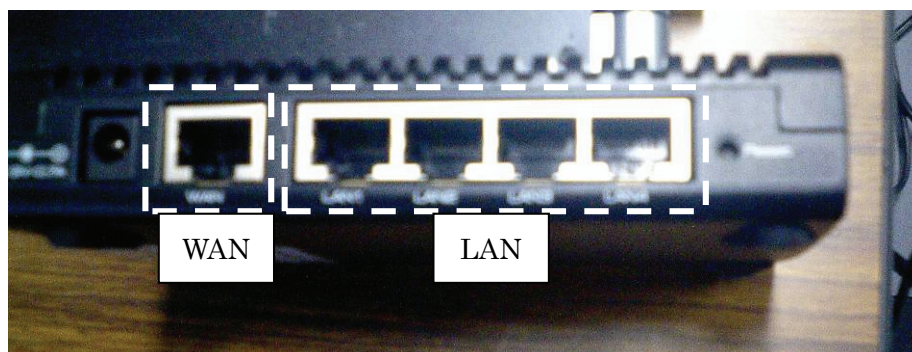


図 9 ルータの接続端子

4.3.2 ルータ設定

はじめに，ルータマニュアル²⁸を参照し，ルータを工場出荷時の状態に戻す．

次に，クライアントのネットワークインターフェース設定を「IP アドレスを自動的に取得する」に変更する（4.1.4 参照）．

最後に，IE を使ってルータの設定画面に接続する．以下は注意点．

WAN 側ネットワークの設定

- ・固定 IP を指定する
- ・アドレスはクライアント側実験用ネットワークアドレスの末尾に+100 した値となるように設定する

LAN 側ネットワークの設定

- ・DHCP を指定する（IP はコマンドプロンプト上 `ipconfig` コマンドで確認可）
- ・LAN ポートアドレスは任意で構わないが、既に使用されている IP アドレスは設定しないこと（誤動作を引き起こす可能性がある）

4.3.3 実験

4.2 で行った計測実験を，ルータを介して行う．10Mbit/s で実験を行っているので，ルータの能力に十分余裕があるので，ルータを介さない場合との差異は小さい．²⁹

²⁸ 実験 1 回目にルータマニュアルを参照して，設定方法などを確認すること．実験記録として残すこと．

²⁹ ルータ経由で UDP 伝送実験を行うとルータが機能不全に陥る場合がある．

4.4 雑音注入実験

- 4.4.1 準備：ルータが接続されている場合は外し、ネットワークインターフェース設定を元に戻す (4.1.4 参照)。雑音注入器に電源およびオシロスコープを接続して、注入雑音波形を観測する。雑音注入器のボリュームは、反時計回りいっぱいに戻しておく。このとき、雑音源とネットワークケーブル間の抵抗が最大となる。電源電圧を上げすぎないように注意すること (7V くらいは何とか大丈夫です。7V などの電圧で放置しないこと、すぐ電圧を下げること。使っている IC は、5V 電源用です)。ネットワークインターフェースや雑音注入器の ICなどを破壊する。オシロスコープで雑音信号を観測しながら、電源電圧を 5V 程度として、雑音注入器のボリュームを調整することで雑音注入具合を調整する。³⁰
- 4.4.2 ボリュームを徐々に時計方向に回すことで、雑音を徐々に注入していく。オシロスコープの波形においても、注入具合が確認できる。ある程度の雑音が加わり始めるとネットワークが不安定になり、回線が切断される (Windows タスクバー上通知領域に「ネットワークケーブルが接続されていません」と表示が出る)。回線が切断された時の雑音注入具合を、オシロスコープで確認・記録をし、雑音振幅を読み取る。
- 4.4.3 上記状態よりも一歩手前の雑音注入具合に戻す (たまに回線が切断される状態とする)。ping -f や nc を使って、大量のパケットを流し続けてパケット通信に雑音が与える影響を確認する。³¹
- 4.4.4 cygwin の ping コマンドを用いて、パケットロス率を確認して、実験を行う。ping -f xxxxxx yyyyy zzzzz のように -f を指定して、実験を行うと大量パケットの実験が短時間で終了する。
- 4.4.5 nc コマンドを用いて、実効伝送速度を計測する。パケットロス率と実行伝送速度の関係を観測する。

注意: 必ず電源装置の出力 (output) を切ってから、電源スイッチ (power) を切ること。

³⁰ 実際にどの程度の注入雑音で影響が出始めるかは、さまざまです。素子におけるインピーダンスなどのほんの少しの特性の差などが影響します。

³¹ 雑音の注入電圧と誤り率は、比例しません。通信路のインピーダンスの変化の影響の方が大きいかもしれません。いづれにしても、ネットワークを壊すことはできます (回復可能な形で)。壊れたネットワークでデジタル通信路がどのように影響を受けるかを観測する。

5. 実験終了

レポートを書くのに十分な情報を観測・記録したことを確認して、実験を終了する。ネットワークケーブル2本(1本は雑音注入器付)、ルータ、オシロスコープ・プローブは、コネクタからはずして、クライアント計算機横に置く。オシロスコープ、電源、計算機は、電源を落としてから、電源コネクタを元から抜いておく。

報告書

配布している確認事項をよく確認して書いてください。サーバのネットワークファイルサービスで公開しています。

下記 URL などを参照してください。

<http://www.report.gusoku.net/kihon/syurui.html>

<http://www.max.hi-ho.ne.jp/lylle/technique4.html>

レポート表紙を配布します。(ファイル)これをレポートの最初につけてください。

この表紙を取り除いた部分をレポートとして扱います。故に、こちらで配布する表紙の次に自分で作成したレポート表紙が必要です。こちらで配布する表紙は、レポート管理用のタグであり作成していただくレポートの表紙ではありません。

必要な資料およびファイルは、下記 URL からダウンロードできます。

<http://www.ced.is.utsunomiya-u.ac.jp/lecture/2014/jikken2/net/>

実験機器

- 雑音注入器: ネットワークケーブルの1つの、より対線に雑音を注入する。33.3MHzの発信回路からの信号をネットワークケーブルに注入する。また、端子を利用してオシロスコープで波形を観測する。
- 電源: 雑音注入器の電源。
- 実験用計算機 (クライアント): パケットの送出など。
- 実験用計算機 (サーバ): パケットの受信など伝送の相手を提供する。
- ルータ: ルータ経由の伝送能力を測定する。
- オシロスコープ: パケット信号、雑音波形および雑音電圧の確認。

参考資料

- できるかな? リモートデスクトップ接続 (ネットワーク演習と共通資料)

最後に

コンピュータネットワークが動作している状況がブラックボックスからグレーボックスくらいになってくれればと願っています。

改訂履歴

日付	氏名	修正内容
2009/4/10	青木 恭太, 北本 拓磨	全般的な修正
2012/4/3	大川 猛	実験概説およびオシロスコープに関する修正 図番号の追加、「はじめに」を冒頭に移動
2012/4/5	大川 猛	send/recv の解説を修正、USB メモリについて記載
2012/12/25	大川 猛	p.4 図 1 のキャプション「構成図」→「物理構成図」 p.4 図中の用語「ハブ」→「イーサネットスイッチ」 p.9 脚注 19 (誤)「5.1.3 参照」 (正)「4.1.3 参照」 p.9 脚注 20 (誤)「GND」 (正)「GND(Rx-)」 p.10 脚注 27 (誤)「User Defined Protocol の略.」 (正)「User Datagram Protocol の略.」 p.10 脚注 24 (誤)「BYTE」 (正)「Byte」 p.10 脚注 24 (誤)「BIT」 (正)「bit」 p.10 脚注 25 (誤)「BPS」 (正)「bps」
2013/4	羽多野裕之	4.4 節「雑音注入実験」刷新
2014/4	羽多野裕之	誤植訂正. 説明追加.