

研究名 高い負荷状態における転送ノード間のトラフィック計測

担当教員 野中弘二
報告者 山口 譲

目次

1章	はじめに -----	1
2章	ネットワークについて -----	2
	2- 1 ネットワークのはじまり	
	2- 2 OSI 参照モデル	
	2- 3 TCP/ IP	
3章	LAN -----	5
	3- 1 システムと接続形態	
	3- 2 ネットワーク機器	
	3- 3 使用機器とそのパフォーマンスへの疑問	
4章	実験 -----	14
	4- 1 実験の目的	
	4- 2 実験機器の仕様	
	4- 3 実験 1 ,実験 2 ,実験 3と各データ	
	4- 4 追加実験とそのデータ	
	4- 5 実験のまとめ	
5章	まとめ -----	27

謝辞

参考資料

1章 はじめに

広く一般に知られることとなったインターネットの普及にともない、Web や電子メールが、官庁、企業、学校をはじめとする様々な場において活用されています。これらほとんどのPC は、Web の閲覧や電子メールの送受信のため、LAN を経由してインターネットに接続されています。LAN などのネットワークにおいて、通信を行う際、ユーザーが気になってくるのは要求に対するレスポンスのよさであると思います。ここでいうレスポンスのよさとは、データ送信時間、速度に起因するものであると考えます。そこで、クライアントサーバモデルにおけるデータ送信速度、つまりユーザー情報の実効スループットを測定することで、ボトルネックとなっている部分を見つけ出し、ネットワーク(LAN)の帯域が有効的に使用されているのか評価を行いたいと考えました。その結果から、ネットワーク構築の際に考慮すべき点について述べていきたいと思えます。上記内容を踏まえ、ネットワークについて学ぶことを目的とし、研究を行っていくことにしました。

本論文は全4章で構成されています。ネットワークについて学んできたことから、第1章ではネットワークについて、第2章ではLANに関する接続形態や、LANにおいて使用されるネットワーク機器について文献を調査しまとめました。第3章では今回行った実験について、実験目的から構成と手順、結果、そこから得られた傾向と導き出された知見をまとめています。第4章では以上のまとめをおこなっています。

2章 ネットワークについて

2-1 ネットワークのはじまり

1980年代コンピュータネットワークの主流は大型コンピュータ(メインフレーム)に、数十から数百の端末が接続され、演算処理やデータ管理などをメインフレーム側で全て処理し、各端末間のデータの流れもコントロールするというシステムでした。メインフレームに接続されている端末は、キャラクタベースのキー入力と画面表示を処理するのみに限られていました。しかし、メインフレーム側に多くの配線が集中してその増減にも対処理が必要で管理の負担が膨大なしものでした。現在でも大規模なデータ管理や複雑な計算処理など業務内容によっては、メインフレームの処理能力に依存しなければならない部分も多くあり、官庁、金融機関、流通企業、一部の学校を中心にこのようなネットワークが構築されています。

パーソナルコンピュータの処理能力が飛躍的に向上してきた1990年代になるとそれぞれのパーソナルコンピュータにワープロや表計算などのさまざまなアプリケーションが搭載され、プリンターなどはそれぞれのパーソナルコンピュータに接続するか、手動の切り替え器を用いて複数のパーソナルコンピュータで共用されていました。それに伴いコンピュータ端末数が多くなってくると、プリンターやファイルを共用したいというニーズの高まりとコンピュータを相互に情報の交換のため水平的に接続する簡便な方法も望まれるようになりました。このようなニーズを受け、UNIX上で動作する通信プロトコルのTCP/IP、コンピュータ同士を共通の配線インフラで接続するEthernetが開発されました。

現在ではクライアントサーバスタイルのネットワークが主流となっています。クライアントサーバシステムは、ネットワーク上のいくつかのサーバと多数のクライアントで構成されます。サーバは実行するアプリケーションによって構成され、各種の情報が書き込まれています。サーバの種類として、ネットワークサーバ、メールサーバ、ファイルサーバなどがあります。各クライアントは、使用するアプリケーション毎に、目的のサーバに対してアクセス要求をだし、サーバがその要求を元にデータ配信やデータの書き換えなどを行うようになっています。この方法では一つの配線インフラを共有できる点や、異なる機種のパersonalコンピュータやワークステーションを接続できる点などのメリットがあります。このサーバとクライアント間の通信は、ネットワークOSのプロトコルによって実行されます。クライアントサーバのシステムは、会社内の部門毎や学校内の教室・研究室毎のLAN(Local Area Network)が構築され、また、幾つものLANが組

み合わさって大規模のネットワークを構築しているケースも見られます。また、LAN は遠隔地の LAN 同士を接続する WAN(Wide Area Network)に広がり、さらに Internet/Intranet の普及が、コンピュータネットワークの導入に拍車をかけています。

2-2 OSI 参照モデル

通信では、信号の変換や伝送、機器の接続などにおいて、信号のやり取りをする手順(プロトコル)が一致していなければ成功しません。その手順を一致させるために次の7つの「階層(レイヤ)」を決め、それぞれの階層(全部で7階層ある)ごとに一致を試みます。「階層」は、ホテルの本館から新館への連絡通路を設けて行き来をしやすくするようなものです。「プロトコル」は、言葉の解釈などに行き違いが起きないように規定してある外交文書のようなもので、世界共通の通信に関する約束事だといえます。

<通信の7階層>OSI 参照モデル

- 7.アプリケーション層(ブラウザなど)
- 6.セッション層
- 5.プレゼンテーション層
- 4.トランスポート層(TCPなど)
- 3.ネットワーク層(IPなど)
- 2.データリンク層
- 1.物理層(イーサネット、トークンリングなど)

ネットワークOS

ネットワーク OS とは、分散しているコンピュータ同士のさまざまな情報を送受信できるようにネットワーク・システムを操作する頭脳的役割を果たします。また、コンピュータ資源の共有や信頼性の高い伝送路の確立を目的として開発されたものです。

ネットワーク OS の代表的なサービスとしては「ファイルの共有」「プリンターの共有」などがあげられます。「ファイルの共有」によりこのパソコンで管理していたデータをサーバー上で管理することができリアルタイムな情報の共有が可能となります。「プリンターの共有」により何台ものローカルプリンターを購入せずに1台のプリンターで対応することが可能になります。これらにより経済的な問題、設置場所の問題が解消されます。このようなサービスをリダイレクター機能を用いて実現しています。リダイレクター機能とはクライアント側に用意されているソフトウェアです。本来ならばスタンドアロンの OS がローカルな環境にてアプリケーション・プログラムが要求するサービスを処理しますが、このリダイレクター機能により物理的に離れているサーバーに処理させます。

ネットワーク OS が全てサービスを提供するわけではなく、ネットワーク OS の役割は送信されてきたデータを損なわずに、忠実に伝えることです。

メディア (物理層とデータリンク層の一部) とドライバー (データリンク層) を通じて送信されてきたデータは、プロトコル (ネットワーク層とトランスポート層) で訳され、ネットワーク OS (セッション層とプレゼンテーション層およびアプリケーション層の一部) を通って、ユーザーが直接操作するアプリケーション (アプリケーション層) へとたどり着きます。また送信する場合はルートを逆にたどるだけです。このようにネットワーク OS は、コンピュータの相互通信のサポートをしているわけですが、ユーザーが「通信」を意識せずに利用できるということを考慮して作られています。

2- 3 TCP/ IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

TCP/ IP プロトコルとは、インターネットを構成するネットワーク間を接続するためのプロトコルであり、インターネットとの接続を可能にするさまざまな通信プログラムにより構成されています。(インターネット層のプロトコルの IP 上にトランスポート層の TCP プロトコルを実装した状態をまとめて呼ぶ名称です。)

TCP/ IP は、UNIX を OS とするコンピュータでは標準の通信方式でしたが、インターネットで採用されたことにより世界標準の通信方式として認められるようになりました。今でも他の通信方式 (SNA など) を使用したネットワークは世界中に存在していますが、インターネット経由の通信を行う場合は TCP/ IP を使用するのがスタンダードと考えられるようになりました。

通信プロトコルの階層では、一番下が物理的な接続を制御しています。そして中間層では、信号の交換手順の制御を、最上層では通信の適用業務 (アプリケーション) に応じた制御を行うようになっていきます。TCP/ IP の場合、最下層には、イーサネットなどのネットワークのプロトコル、中間層には IP、その上に TCP、最上層にメールやファイル転送などのアプリケーションとなります。

ブロードキャスト

ネットワークにおける一斉同報通信です。ネットワーク上に接続されているすべての機器に対して同一メッセージを送信するときに使われます。多数の機器が接続されたネットワークでは、ユーザーが行うデータの送受信のほか、ブロードキャストも多く発生する傾向があります。ブロードキャストは、サービスの発見や経路の探索、サービスの通知などで使われます。

3章 LAN(Local Area Network)

3- 1 システムと接続形態

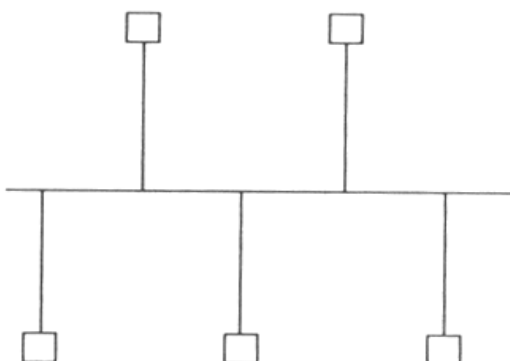
ネットワークの代表的な形である LAN についてシステムと接続形態について述べます。LAN を構成する接続形態としては以下の形があります。

共有バス型

バス型の LAN は中央に幹線 (バックボーン) を配置。幹線とは、人間の背骨みたいなものです。背骨からその他の骨が広がっているように、このバス型でも各端末に接続される支線が広がっています。

小規模向けの LAN 構成形態であって、比較的安価に構築することができます。

LAN のアクセス制御は、接続されている各ノードが分散して行う方式が一般的で、どのエンドホストが故障しても、通常は他の装置に影響を及ぼしません。



CSMA/CD(Carrier Sence Multiple Access with Collision Detection)

イーサネットの機能が装備された装置は、ネットワーク上で集中制御される訳ではなく、各々の機器が独立して動作を行います。そして全てのイーサネット装置は共有されたメディアシステムに接続します。それゆえ全ての通信は共有されたメディアシステム上にブロードキャスト(一斉通知)を行います。これらを前提として、イーサネットでは CSMA/CD によるコンピュータコミュニケーションネットワークを行います。

通信手順は大きく3手順からなり「キャリア検知」「衝突検出」「多重アクセス」に分かれます。

キャリア検出 :通信開始時、通信媒体 (ケーブル) 上に搬送波が伝播されているかの確認を行います。

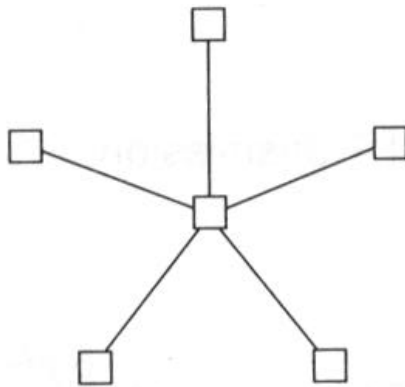
衝突検出 :キャリア検知後、通信媒体に伝搬データがないことを確認した後、送信を開

始するが、他の送信データとの衝突が発生すれば、一足時間内にこれを検出する。
(データの送信を中止する)
多重アクセス:「キャリア検知」「衝突検出」の処理を、最大 1024の端末が平等に実行し、CSMA/CD 通信を行います。

スター型

スター型の LAN は、集線装置 (ケーブルを束ねる装置) が置かれ、そこを中心にケーブルが広がっているような接続形態です。

中央集中型のネットワーク構成を形成するので、制御が容易である反面、中央の集線装置の信頼性が全システムの信頼性を左右します。集線装置が壊れれば、すべてのネットワークがダウンします。

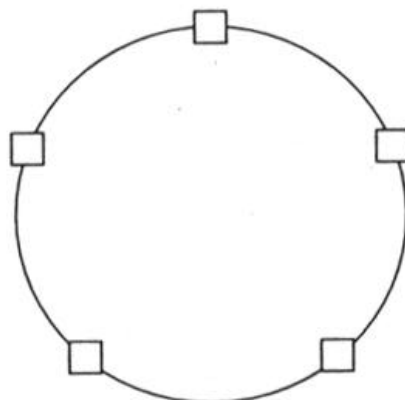


リング型

リング型の LAN は、中央に円 (リング) を作り上げるように接続されます。

拡張性、分散処理の集中管理に優れ、比較的小規模のシステムから大規模なシステムまで適用できます。

信頼性対策として、各ノードや幹線の故障が全システムの障害に波及することのないようにケーブルの二重化、バイパス、ループバックなどの機能を持たせることが多くなっています。



イーサネット(Ethernet)型

一本の伝送路を共有して、複数の端末がデータ送信できるように考えられたものがイーサネット(Ethernet)の始まりです。

Ethernet は 1 秒間に 10M ビット(10Mbit/s)の転送能力が定義されており、その後、FastEthernet で 1 秒間に 100M ビットの転送が可能な規格も出てきています。

Ethernet はアメリカ Xerox 社の Robert Metcalfe によって発明され、Xerox 社・DEC 社、それに Intel 社で実用化された LAN 方式であることから当初 DIX 規格とも呼ばれていました。一本の回線に複数の DTE が接続されるバス型ネットワークですので、原則として信号の衝突が発生し、典型的な共有バス型 CSMA/CD 方式に属します。比較的小規模の LAN に向くことから、現在最も多用されている方式です。

国際標準化団体である IEEE では、これらの定義を下記の名称でまとめています。

Ethernet = IEEE802.3

FastEthernet = IEEE802.3u

GigabitEthernet = IEEE802.3Z,ab

ところで Ether とは、エーテルのことです。と言っても、エチルエーテルとかメチルエーテルなどの化学物質ではありません。20世紀初頭、科学者はこの宇宙はエーテルという普遍的な物質で満たされていると信じていました。そのようなものは存在しないことを証明したのがアインシュタインですから、20世紀の最初の10年までエーテルは立派に人々の意識の中に存在していたのです。Ether ネットは、宇宙の果てまで情報を伝える媒体という意味をこめて、このエーテルに因んで命名されたネットワークです。

トークンリング型

トークン方式は IBM 社が開発した LAN の方式で、イーサネットより信頼性の高い方式です。

イーサネットは早い者勝ちといわれるように先にデータを流したいとアクセスしたコンピュータが同時に一台だけデータを流します。それ以外にアクセスしたホスト自体がバスの使用状況を確認してデータ送信を中止します。これによって運が悪いといつまでもデータを流せない場合もあります。

一方トークン方式では、送信する権限が一定期間ごと決まっており、しばらく待てば、データが流せるようになっています。こう言った意味で信頼性が高いとされています。トークン方式には、トークンパッシング方式と、アーリー トークンパッシング方式があります。速度はそれぞれ 1 秒間に 4M と 16M ビットです。

3-2 ネットワーク機器

ここでは LAN において使用される代表的な機器について述べます。

ハブ

最も一般的に、「ハブ(HUB)」と呼ばれるものは、正式名称をマルチポートリピータといいます。信号の中継器です。PC などネットワークカードに接続されたイーサネットケーブルのもう一方の端を接続し、受信したイーサネットのケーブルを流れる電気信号を増幅・波形整形して、受信したポートも含むすべてのポートに送り出します。これで1つのハブに接続されたすべての機材に信号が伝わるため、相互に通信することができます。ただ、電気信号を増幅・波形整形するだけとはいえ、実際には 10BASE-T や 100BASE-TX など規格やメディアに対応したハブがそれぞれ作られており、そのままでは互換性はありません。10BASE で使うなら10BASE 用のハブ、100BASE で使うなら100BASE 用のハブを使うのが基本です。

ハブのポート数が足りなくなったときには、カスケード接続と呼ばれる方法でハブ同士をつないでポートを増設することが可能です。簡易的にはクロス of UTP ケーブルでハブのポート同士をつないぐこともできます。また、ハブによってはカスケード接続用のポートを持つものや、スイッチの切り替えによって特定のポートをカスケード用に使うことができるものもあります。この場合、普通のケーブル(ストレート)でカスケード接続が可能となります。専用ポートや切り替えスイッチは、単にケーブルの極性をストレート/クロスに切り替えているだけです。なお、カスケード接続用の専用ポートのことを特にアップリンクポートと呼ぶこともあります。

スイッチングハブ

スイッチとは、イーサネットスイッチ、スイッチングハブなどとも呼ばれ、これまで説明してきたハブ(リピータ)と少し異なる性質を持つ機器です。ハブ同様、イーサネットの電気信号の増幅・波形整形も行いますが、さらにイーサネットの MAC アドレスを使って、フィルタリングやブリッジと呼ぶ機能を実現します。しかし、外見的にはハブとほぼ同じで、製品名や型番などの表記がなければ区別が付きにくいものも多いです。ところが、リピータハブに比べると普及は、いまひとつといった感があります。スイッチの具体的な機能や効果があまりよく知られていないことや、とりあえずリピータハブで間に合ってしまうからかもしれません。確かに、小規模なネットワークではスイッチを使うほど複雑な構成は必要ないし、トラフィックも多くないので、効果は分かりにくいでしょう。しかし、インターネットへの常時接続やファイル/プリンタ共有などで一部の機器へのトラフィックが集中する場合には、導入してみるだけの価値はあります。しかも、高度な機能を提供するわりには、設定しなければならないものは特にありません。

ここで、スイッチの利点を解説します。スイッチでは、接続されたポート間を流れるイーサネットパケットから MAC アドレスを読み出し、送信元と宛先のポートだけを相互接続し、それ以外のポートには信号を流さないフィルタリング機能を持ちます。余計なパケットが流れないため、ネットワークのトラフィックを大幅に抑制でき、混雑したネットワークでは結果的に1~2割程度、スレープットが改善されます。ちなみに、スイッチではそれぞれのポートのことを、特に「ネットワークセグメント」と呼ぶことがあります。

また、異なるネットワーク間、つまりセグメント間で 10BASE-T と 100BASE-TX を相互接続することができます。もちろん、1つのポート(ネットワークセグメント)は同じ速度でなければなりません。ほとんどのスイッチでは 10 / 100BASE を両方サポートしているため、スイッチを導入することで相互接続の問題は解消されます。10BASE-T と 100BASE-TX が混在するようなネットワーク環境では、10BASE / 100BASE 両対応のスイッチを導入することで相互接続の問題が解決できます。

さらに、イーサネットの物理的な制限、特に時間に関係する配線距離やハブのカスケード段数が大幅に緩和されるのもスイッチの利点です。事実上、アプリケーションなど上位層のタイムアウト設定によってのみ制限されます。前述のように、スイッチの1つのポートをネットワークセグメントと呼ぶのは、そのポートが1つのイーサネットのセグメントに対応するからです。つまり1つのセグメント(1つのポート)あたりハブは4段(10BASE-T)または2段(100BASE-TX)までカスケード接続ができることになります。最大ケーブル長もイーサネットの最大接続長まで許されます。

これらの役割を理解したうえでスイッチを上手に使いえば、接続台数が増えて混雑したネットワークトラフィックを交通整理し、10Mbps/s や 100Mbps/s の限られた伝送帯域を有効利用することができます。ちょっと集中的にファイルのコピーやグラフィックの多いファイルをネットワーク経由で印刷したりすると、すぐに 10Mbps/s や 100Mbps/s の帯域を使い切ってしまうため、小規模ネットワークといえどもスイッチは役に立ちます。

オートネゴシエーション

オートネゴシエーション機能は、ネットワークカードとハブ、スイッチなどの機器が通信を始める際に、互いの通信方法や速度を自動認識する機能のことです。具体的には半二重通信、全二重通信、10BASE-T、100BASE-TXなどを自動選択します。

メディア速度 通信方式

10Mbps/s 半二重

10Mbps/s 全二重

100Mbps/s 半二重

100Mbps/s 全二重

ちなみに、イーサネットの半二重 / 全二重とは、10BASE-T や 100BASE-TX でサポートされるようになった通信モードです。10BASE-5 (AUI) や 10BASE-2 (COAX) などは、これらのモードの概念はありません。半二重とは、送信中には受信できず、受信中には送信できないモードです。全二重は、カテゴリ5 の UTP ケーブルを使ったときに互いに接続される機器が双方ともサポートしている場合、送信と受信を同時に行うことができるモードです。PC 同士などの間に全二重をサポートするスイッチが入る場合は、一方の PC だけが全二重に対応しており、もう一方が対応していなくても、途中の経路までは全二重通信が可能です。

全二重では、常に送受信が可能なので、10BASE-T ならば送受信がそれぞれ 10Mbps/s で行われるため、合わせて 20Mbps/s の伝送帯域を持つことになります。100BASE-TX なら 100Mbps/s の 2 倍、200Mbps/s の帯域となります。

パーティション

ネットワーク機器でいうパーティションとは、ハブやスイッチなどのポートをグループ化して、ほかのポートと分離することができる機能のことを指します。たとえば、16 ポートのハブを 8 ポート 4 ポート 4 ポートの 3 つのパーティションを設定する、などのように使います。この場合、1 台の 16 ポートのハブを 8 ポートのハブと 4 ポートのハブが 2 つあるのと同じように使うことができます。また、特定のポートやポートに接続されている機器が障害を発生したときに、自動的に切り離してほかに影響を及ぼさないようにする「自動パーティション」機能を持つハブもあります。

スイッチの動作について

スイッチは、すでに述べたように、各ポートを流れるパケットから MAC アドレスを読み出し、送信元と宛先が接続されているポート同士で直接データをやり取りし、ほかのポートにはパケットを流しません。この機能を実現するため、スイッチには、MAC アドレスが登録される経路探索テーブルが内蔵されています。

経路探索テーブルは、基本的に自動的に MAC アドレスを収集するように作られています。これは、イーサネットがパケットの送信時に送信元 MAC アドレスをヘッダに書き込んでいるので、それを記憶しておくようにするのが一般的です。一定時間使われなかった MAC アドレスやポート間のつながり変えなどで移動した結果、同じ MAC アドレスが以前と違うポートに存在するような場合、その情報を破棄して再収集します。

また、スイッチ内部でこのテーブルを用いてパケットを転送する方式として、主に次のような 3 種類の方式が存在します。

カットスルー方式

パケットのヘッダから宛先の MAC アドレスを直接読み出し、パケットを全部受信する前に経路探索テーブルを検索し、宛先のポートに転送する方式。すぐに送り出すため、スイッチによる伝送遅延が 20 マイクロ秒以下と少いため、良好なスループットが得られます。ただし、カットスルーではエラーのチェックが行われません。そのため、転送中のパケットが途中でコリジョンにより破棄されると、場合によっては処理が不完全になり宛先のポートに接続されたネットワーク機器でパケットのフラグメントエラーを発生することがあります。これによって、大量のネットワーク エラーを発生してしまうことがあります。また、機器によっては、まれにフラグメント化されたパケットの内容によってはプロトコル スタックの一部がハングアップしてしまうなど問題を発生させることもあります。高速ではありますが、信頼性に難があるため、最近のスイッチ製品ではあまり採用されていません。オプションでこの方式を設定できるようになっている製品もあります。さらに、ネットワーク エラー率が一定以下ならカットスルー方式で、一定以上になると次のストア&フォワード方式に自動的に切り替える製品もあります。

ストア&フォワード方式

フレーム(データに制御構造を追加したデータ リンク層が扱う形式)を一度すべてスイッチのメモリに読み込み、ヘッダの MAC アドレスを検査して経路探索テーブルを検索した結果、宛先ポートに送り出す方式です。すべてをメモリに読み込む時間だけ余計にかかってしまうので、スループットは犠牲になります。ただ、カットスルー方式に比べ、確実性が高く、また 10BASE と 100BASE など速度が違うポート間で通信するには適した方式です。

フラグメントフリー カットスルー方式

カットスルー方式の改良版で、コリジョンが検出できる時間までの間(コリジョン ウインドウともいふ)、待ち、コリジョンが発生しないことを確認したうえでパケットを処理します。カットスルーの高速性を少しだけ犠牲にすることになりますが、ストア&フォワード並の確実性を得つつ、なお高速というのがこの方式の特徴です。

ルーター

ルーターは、ネットワーク(LAN と LAN、LAN と WAN)間の接続を行うネットワークデバイスの一つです。ルーターは接続形態によってリモートルーター、ローカルルーターと区別して呼ばれます。

ルーターはネットワークアドレスと呼ばれる OSI 参照モデル第 3層「ネットワークレイヤー」の情報を元にネットワーク間のデータ(パケット)配送を行います。この処理をルーティング、またはファワーディング処理といいます。

ネットワークアドレスとはネットワーク管理者によって階層的に管理されたアドレス体系です。これを利用するとことによって管理者の意図する伝送経路でパケット配送することや、ルータ自身が経路を自立的に選択制御して適切に配送することができます。また、パケット配送に関しての制限を行うこともできます。これをフィルタリング処理といいます。特定のアドレスのパケットを破棄処理してしまうことで、不正アクセスを制限するファイアウォールとしても機能します。

リモートルーター

専用回線や ISDN などの WAN を介して接続されるルーターのことを言います。リモートルーターの接続先は WAN の他端にある別のリモートルーターであり同時に LAN のインターフェイスを備えることにより相互の LAN を WAN を介して接続することができます。

ローカルルーター

LAN 同士を相互接続するルーターを言います。リピーターをブリッジで構成されたネットワーク同士も総括的に接続することが可能です。

ルーティング処理

ルーターの配送処理(ルーティング)は宛先ネットワークアドレスに対する配送ルートを表す「ルーティングテーブル」に基づいて行われます。

ルーターに入力したパケットは、データリンクレイヤからネットワークレイヤに処理がわたられネットワークアドレスを参照します。マルチプロトコル処理が可能なルーターではネットワークアドレス体系を認識して適切なルーター制御機能が動作します。アドレスが自分自身宛であればトランスポートレイヤ以上の処理に委ね、ルーター内部に取り込みます。宛先がそれ以外の場合、ルーティングテーブルの検索処理を行い配送先のポートを決定します。この後、TCP/IP ではパケットの次の転送先データリンク(MAC)アドレスを解決する ARP や、IP パケットの生存期間を管理する TTL の減算などの処理を介してポートに配送します。配送されたパケットは CRC チェックなどのデータリンクレイヤ処理、電気・光信号処理など物理レイヤ処理を行った後にネットワーク媒体へ送出します。

3 - 3 使用機器とそのパフォーマンスへの疑問

これまで LAN の接続形態、機器について述べてきましたが必ずしも規格上であるはずの実効値がユーザデータの転送で得られるわけではありません。そこでそれぞれの特性を把握することが必要となってきます。(例をあげますと第四章で述べる実効値では 1対 1で通信を行っていた際、スループットは規格上の半分程度しかでていませんでした。)次章より実効スループットを測定した実験について述べていきます。

4章 実験

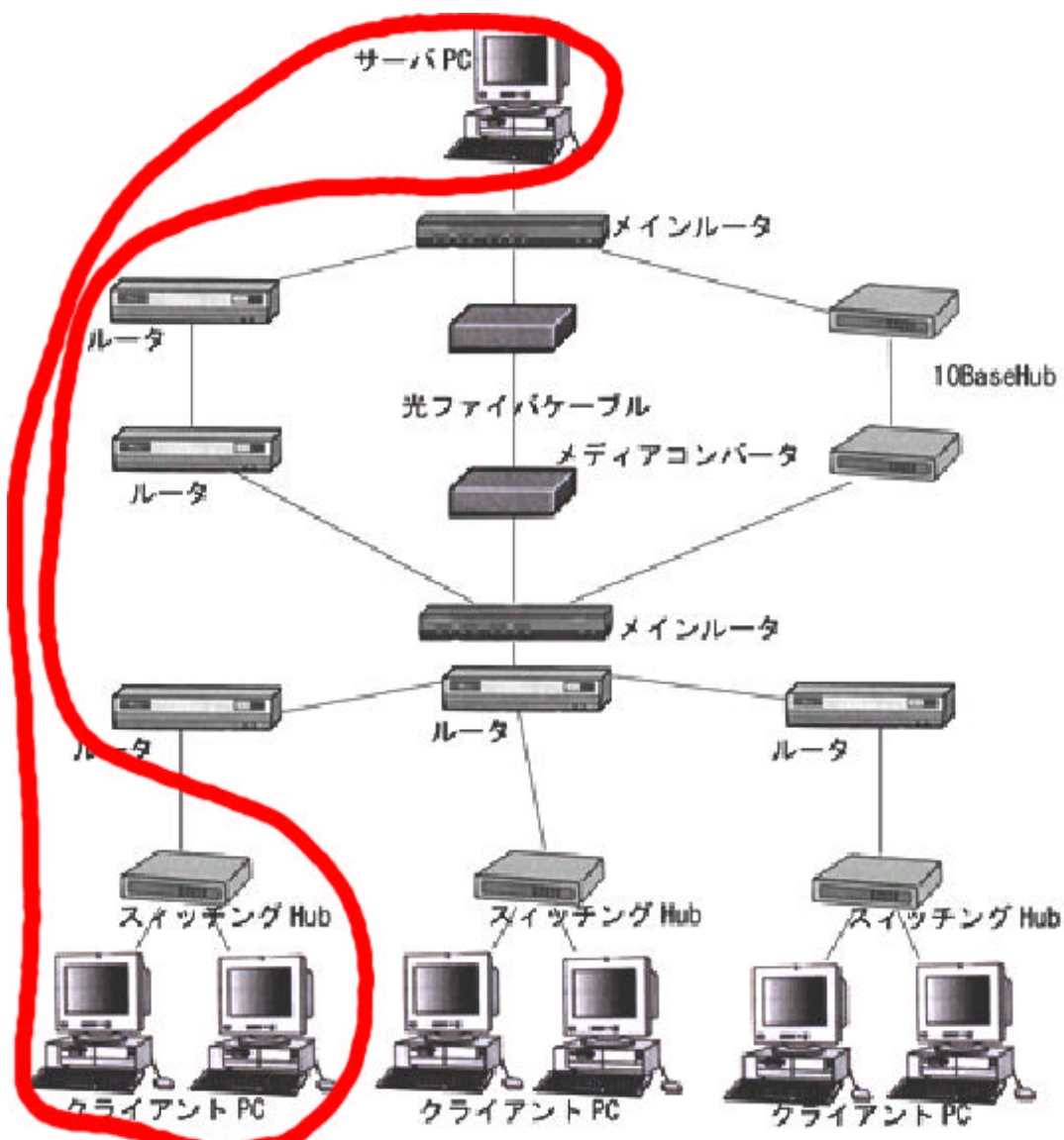
4-1 実験の目的

LAN 環境における 100BASE の規格では伝送速度は 100Mbps(12.5MByte/s)と規定されています。しかし、実際の利用環境でそれだけのファイル転送速度がでているのでしょうか？また 100BASE の中でも100BASE-TX と100BASE-FX という規格があります。通信媒体として100BASE-TX では UTP ケーブルを100BASE-FX では光ファイバーケーブルを使用します。光ファイバケーブルは減衰が少ないため長距離伝送が可能とされています。両者には他にも違いがあるのでしょうか？以上の疑問から実際のスループットなど知ることによりネットワークを構築する際の手法を理解するとともに最適なネットワーク構築を行えるようにすることが目的です。

目的を次のように設定しました。

1. PCネットワーク (LAN)の構築法を修得し、構成の違いによるトラフィックを計測することで性能評価を行う
2. 実効スループットを調べることでボトルネックとなっている部分を理解する。

当初は次ページの図の構成にて 100BASE - TX、100BASE - FX、10BASE - T のラインの比較の実験を行う予定でしたが、予算の都合上メインルータは間に合わず断念しました。そこで現在行える実験として次ページの図の枠で囲った部分で測定を行いました。接続形態としては共有バスのスター型であり 集線装置の役割はスイッチングハブが担っていることになります。100BASE-TX のみで構成した場合と集約する部分に 100BASE-FX を使用した場合とで測定を行い比較検討することとしました。



結論から述べると同じ100BASE の規格であってもUTP ケーブルを用いる TX と光ファイバケーブルを用いる FX ではスループットに違いが生じます。光ファイバケーブルを使用する100BASE-FXの方が転送速度が速いのです。そこで100BASE-FXを高い負荷がかかる部分で使用すると効果的ではないかと考えられます。以下に述べる実験結果でその効果が大きくなる負荷距離の条件を明らかにします。

実験 1ではケーブル長により、ファイル転送速度とスループットに差が生じるのか、クライアントとサーバー間をクロスケーブルで接続した場合と光ファイバケーブルで接続した場合をそれぞれ総ケーブル長 14m、54mにて比較しました。それから実験 2、実験 3ではクライアント数を増やした場合に負荷のかかる集約部分で 100BASE-TX と 100BASE-FX のスループットにどれだけ差が速いのか測定を行いました。

4-2 実験機器の仕様

実験において使用した機器を示します。

使用機器とスペックの一覧

ハード

PC 本体	機種 :Fujitsu FMV-6500DX4 OS :Windows98 CPU :Pentium 500MHz メモリ :128Mbyte HDD :10.2GB
スイッチングハブ	CoregaFSW-8D 8ポートスイッチングハブ
メディアコンバータ	BlackBox Corporation "twister" 100MbpsTX-to-FX MEDIA CONVERTERS

通信媒体

UTP ケーブル	category5 UTP ケーブル
光ファイバケーブル	マルチモードファイバ

ソフト

計測に用いたソフトは以下の通りである。

FTP クライアントソフト	MS-DOS プロンプトよりftp を実行
FTP サーバソフト	Serv-U ver2.4
トラフィック計測ソフト	LAN パケットモニタ - PacMon ver3.13

測定に使用したユーザファイル

音楽データのファイル (Windows の WAVE 形式)325MByte

4-3 実験1、実験2、実験3と各データ

実験1:ケーブル長の違いによるファイル転送時間とスループットの比較

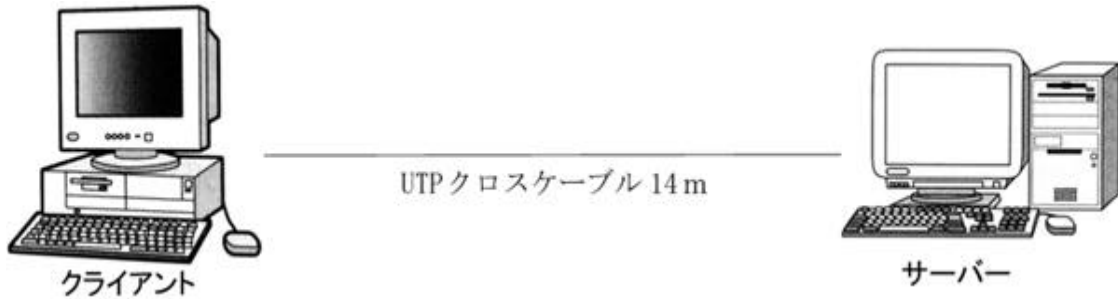


図1-1:クライアントとサーバー間をクロスケーブル14mで接続した場合

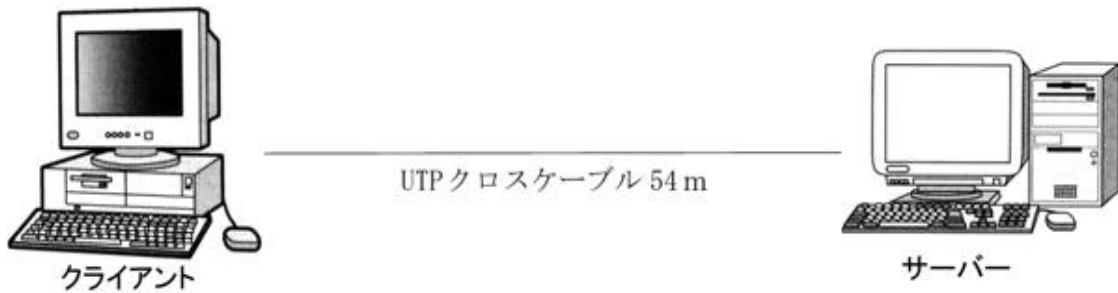


図1-2:クライアントとサーバー間をクロスケーブル54mで接続した場合

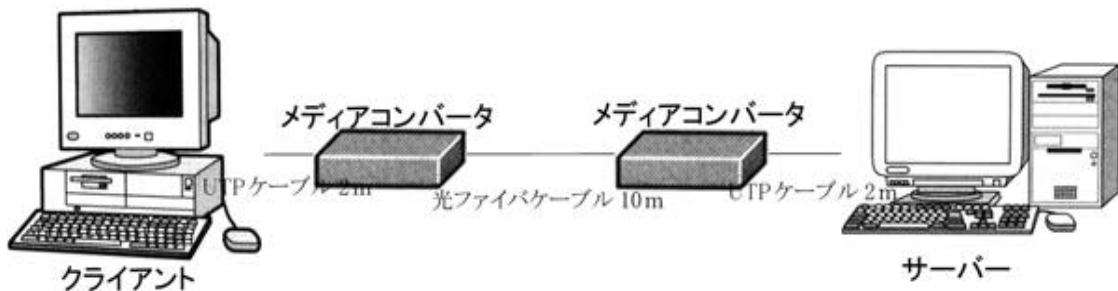


図1-3:クライアントとサーバー間に100BASE-FXを導入し、総ケーブル長14mの場合

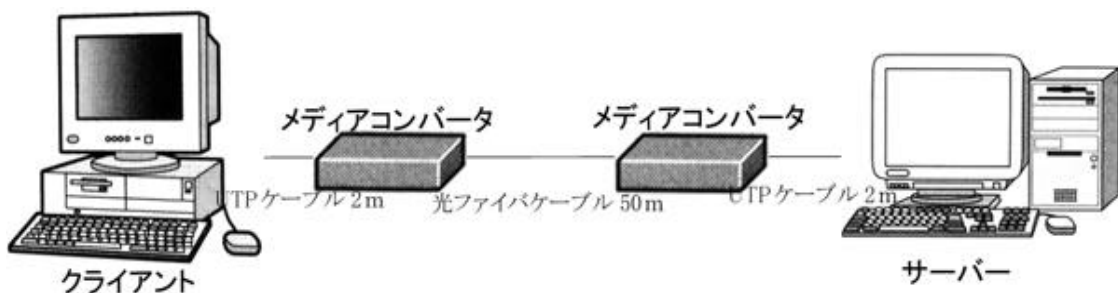


図1-4:クライアントとサーバー間に100BASE-FXを導入し、総ケーブル長54mの場合

図 1- 1と図 1- 2、図 1- 3と図 1- 4の測定値を比較することでそれぞれ伝送距離が長くなった時の比較をおこないます。

図 1- 1と図 1- 3、図 1- 2と図 1- 4からは同じ伝送距離で光ファイバケーブルを使用する 100BASE-FX 比較をおこないます。

実験手順

サーバ側の PC で FTP サーバソフト、クライアント側の PC では MS-DOS プロンプトを起動。

クライアント PC から ftp でサーバ PC に接続して音楽ファイルをダウンロードする。

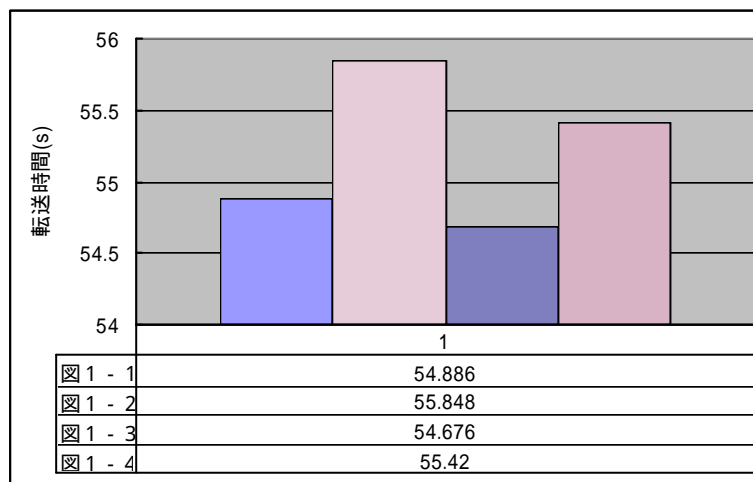
サーバ側の送信スループットとクライアント側の受信スループットを測定。

PC を再起動。

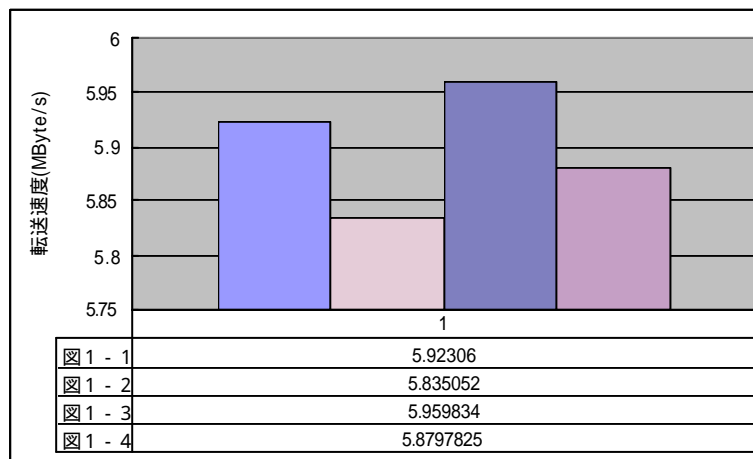
以上の工程を 5 回繰り返し、ファイル受信完了時間とスループットを測定しました。

次に測定値の平均値をだしグラフ化しました。

グラフ 1 : ファイル受信完了までの時間



グラフ 2 : クライアント側のスループット



グラフ1、グラフ2からファイル受信完了時間、スループット共に光ファイバケーブルを使用する100BASE - FXの方がよい測定値を示しています。

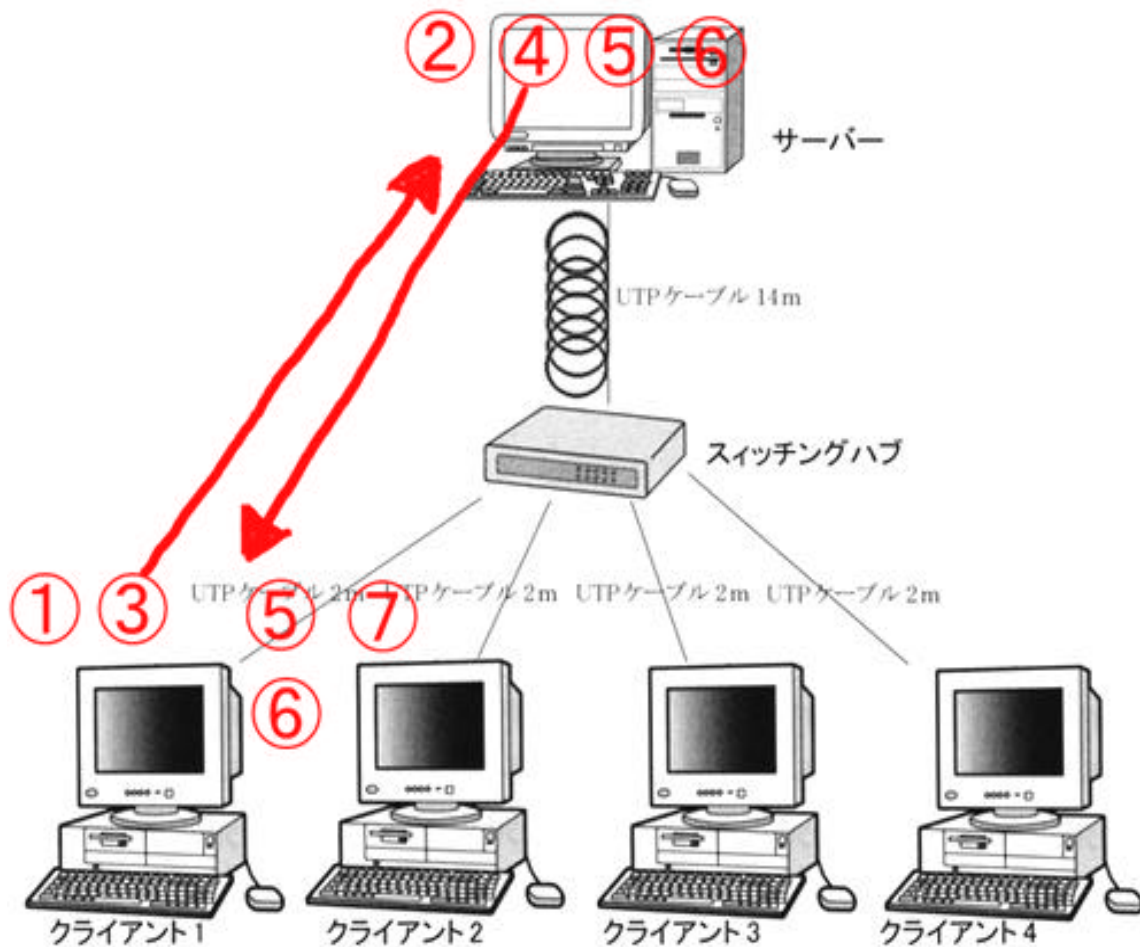
グラフ1よりケーブル長が長くなることによりファイル受信完了までの時間が長くなっています。また、接続距離が同じ場合で比較すると100BASE - TX より100BASE - FXの方が受信時間は短くなっています。

グラフ2からはケーブル長が長くなることによりスループットの低下が認められます。また、接続距離が同じ場合で比較すると100BASE - TX より100BASE - FXの方がスループットの値は高いものとなっています。

以上から100BASE - FX を使用した方がファイル転送速度が高いということが言えます。そこで100BASE FX を負荷の集約するノード間で導入すると有効的なのではないかと考えました。

実験2:100BASE-TX のみで構成した場合の測定、実験3:負荷ノード間に100BASE-FX を用いた測定を行うことにしました。

実験 2 :100BASE-TX のみで構成した場合の測定



実験手順

- クライアントでMS - DOSプロンプトと計測ソフトを起動。
- サーバーでFTPサーバソフトと計測ソフト起動。
- クライアントがMS - DOSプロンプトからFTPコマンドを使用してサーバに接続。
- サーバから音楽ファイルを取得。
- サーバ側の送信スループットとクライアント側の受信スループットを測定。
- PCを再起動
- その後クライアントPCを1台ずつ4台まで増やしていき測定。

以上の工程を5回行いファイル転送時間とスループットの測定を行いました。
次に測定値の平均値をだしグラフ化しました。

実験 3 : 負荷ノート間に 100BASE-FX を用いた測定

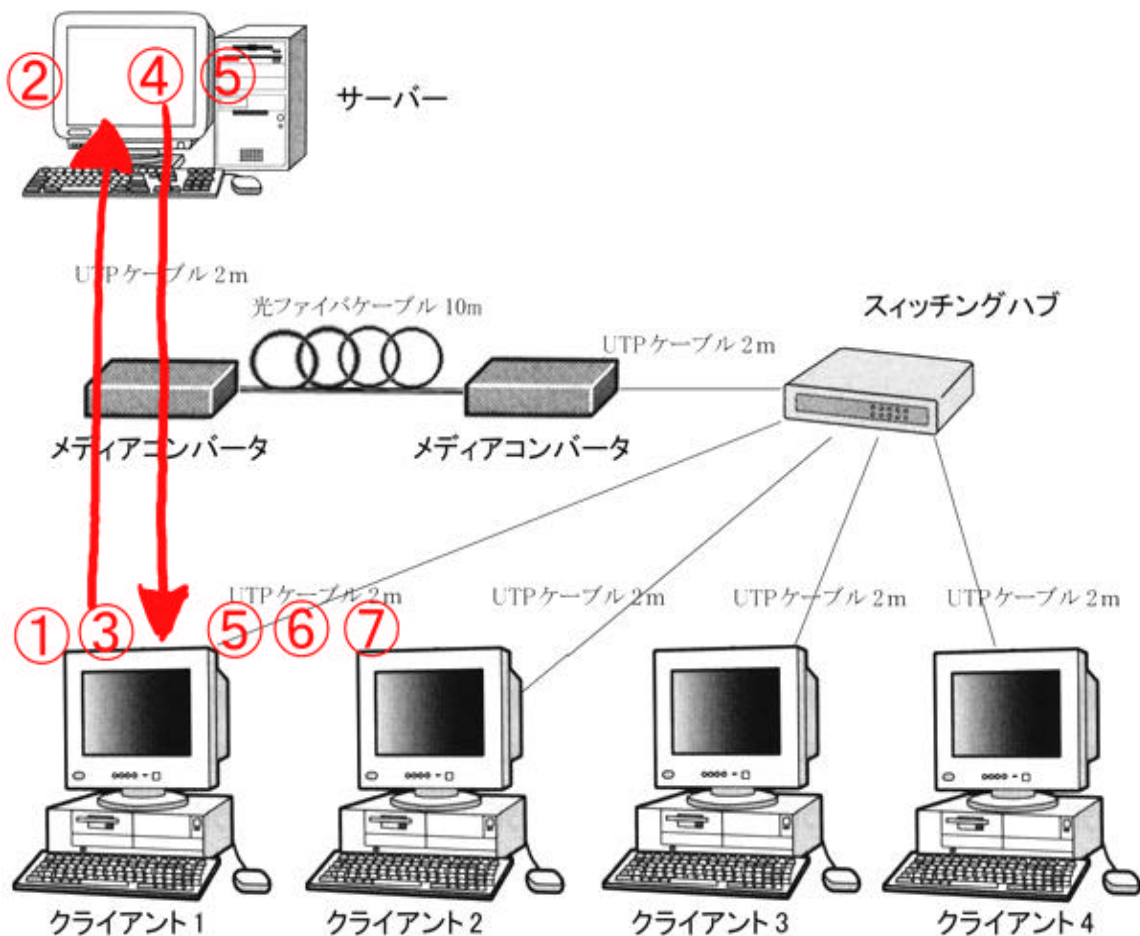


図 3

実験 2 との違いは光ファイバケーブルを使用する 100BASE-FX をサーバーとスイッチングハブ間に導入している点です。

実験手順

クライアントで MS - DOS プロンプトと計測ソフトを起動。

サーバーで FTP サーバソフトと計測ソフトを起動。

クライアントが MS - DOS プロンプトから FTP コマンドを使用してサーバに接続。

サーバから音楽ファイルを取得。

サーバ側の送信スループットとクライアント側の受信スループットを測定。

PC を再起動

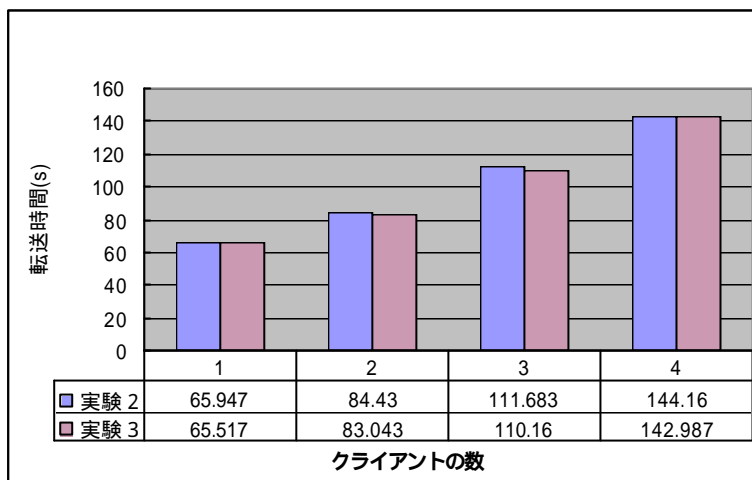
その後クライアント PC を 1 台ずつ 4 台まで増やしていき測定。

以上の工程を 5 回繰り返しファイル転送時間とスループットの測定を行いました。

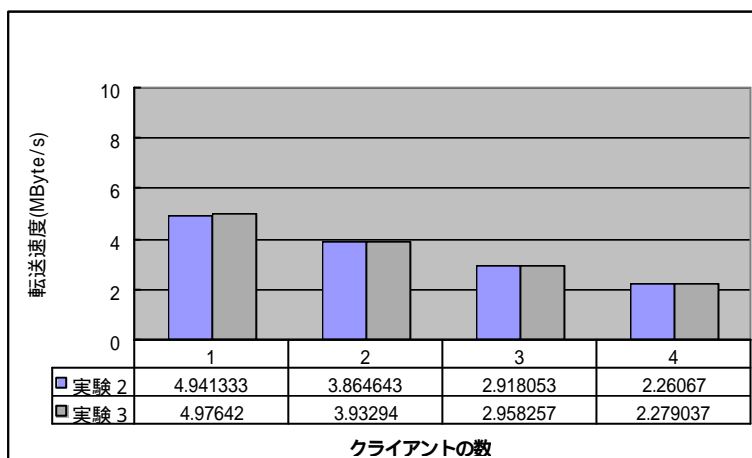
次に測定値の平均値をだしグラフ化しました。

実験 2、実験 3のデータ

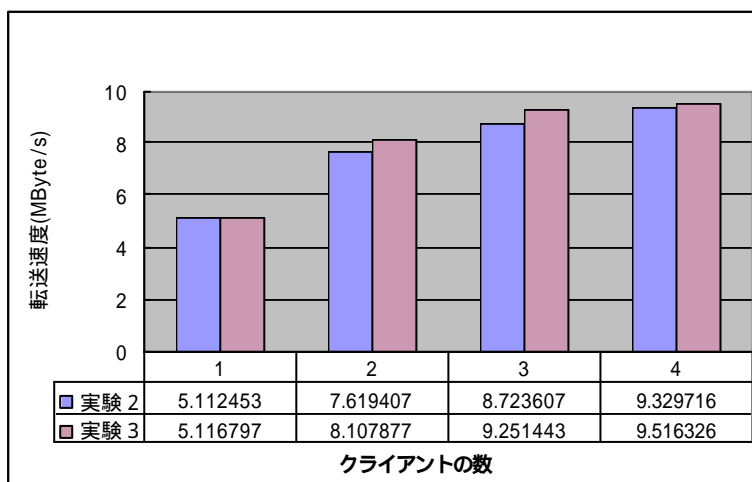
グラフ 3 : ファイル受信完了までの時間



グラフ 4 : クライアント側のスループット



グラフ 5 : サーバー側のスループット



グラフ3はファイル受信完了時間の比較です。クライアントの増加に伴いファイル転送時間は約20%づつ長くなっています。また実験1と実験2を比べると実験2の方がわずかに短時間で送信できています。

グラフ4はクライアント側のスループットの比較です。クライアントが1つ増えるごとにスループットが約20%づつ低下しています。

グラフ5はサーバー側のスループットの比較です。クライアントが1つ増えるにしたがいスループットは増加しています。

クライアントの数が増えるにしたがいクライアント側ではスループットの低下が起きていますが、サーバー側ではスループットは増加しています。また1対1での通信では規格上のスループットの上限12.5MByte/sの半分程度しかできていません。限界近くまでスループットを達成する状況はサーバー側でクライアントの数が多い場合に限られています。

実験2、実験3の比較では僅かではありますがFXを導入した実験3の方がファイル受信完了時間、スループット共に向上していることがわかります。しかし、僅かとは言っても今回行った実験の構成は小規模なものです。大規模なものになれば実験の測定値は大きな差となり現れると推測できます。

4 - 4 追加実験とそのデータ

実験 1 では計測ソフトを使用せずに MS-DOS プロンプト上の FTP でファイル取得後表示されるファイル転送時間、スループットの平均値を記録していました。実験 2、実験 3の測定では計測ソフトを起動して測定を行ったところケーブル長の違いとともに、測定条件の違いがありますが条件による測定値の差ではないのではないかと気づきました。そこで Windows のシステムモニタで CPU 使用率をモニタしながらファイル転送を行いました。CPU 使用率は 1対 1のファイル転送中ではクライアント、サーバー共に 20%前後でしたが、クライアントの数が増すにつれ CPU 使用率は増加してゆきました。また計測ソフト使用の有無によりサーバーの CPU 使用率は 10%近い差がでました。計測ソフトの起動の有無によるスループットの差は大きなもので次ページグラフよりわかります。実験 3の 100BASE - FX を用いた測定において計測ソフトを起動していない場合について測定を行いました。測定データのグラフは次ページで示します。

次ページのグラフ 6、グラフ 7共に実験 3の 100BASE - TX で計測ソフトを起動している場合と起動していない場合での比較です。

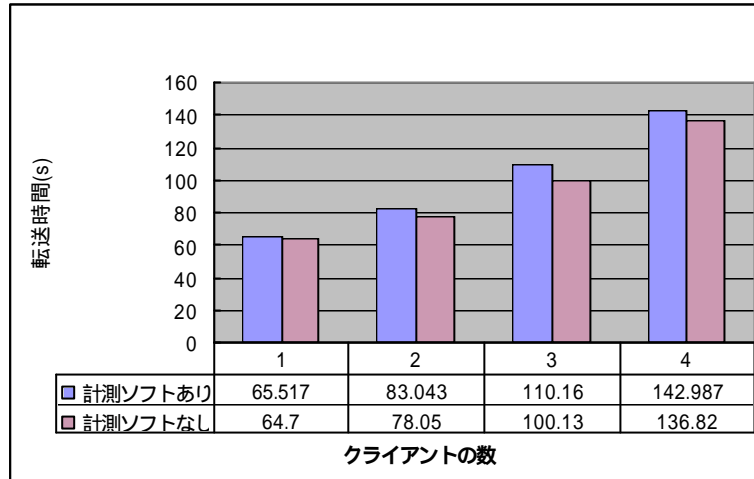
グラフ 6からファイル転送時間について計測ソフトを起動していない場合の方が転送時間は短縮されています。

グラフ 7からスループットについても計測ソフトを起動していない場合の方がスループットは向上しています。

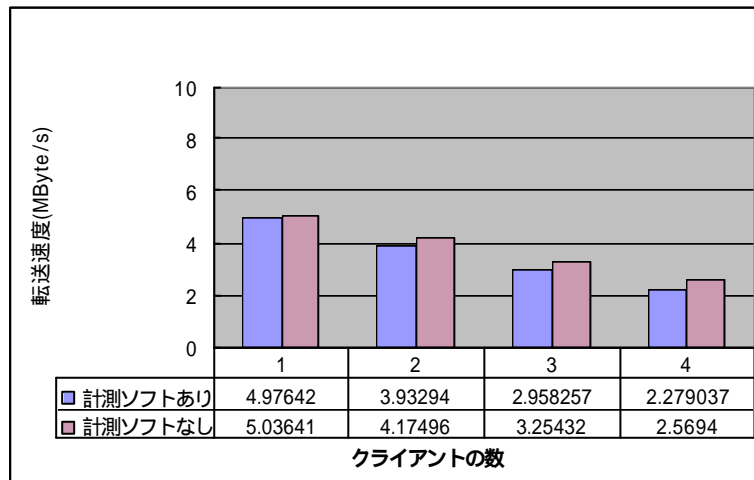
このことから計測ソフトを起動しているとファイル転送時間、スループットともに悪化していることがわかります。ですからファイル転送速度向上のためには余計なプログラムの起動はしない、CPU 使用率の高いソフトは起動しないほうがよいということが言えます。

追加実験のデータ

グラフ6 :計測ソフト起動の有無によるファイル受信完了までの時間比較



グラフ7 :計測ソフト起動の有無によるクライアントのスループット比較



4-5 実験結果のまとめ

これまでの実験により判明したことをまとめると以下ようになります。

- 100BASE TX、100BASE FX とともに接続距離が長くなるとパフォーマンスは低下する。
- 100BASE TX に比べると100BASE FXの方がパフォーマンスは高い。
- スループットが限界近くまで使用されるのはサーバー側でクライアントの数が多い時。
- 負荷のかかる端末自身(サーバー)においてはスペック(CPU、メモリ)が重要となっている。

以上の点からスループットの向上には以下の手法があげられます。

1. 負荷のかかるサーバーにはスペック(高速のCPU、大容量メモリなど)に余裕を持たせる。
2. 100BASE FX は長距離間の接続で導入するだけでなく短距離間の接続においても負荷の高いノード間においては導入する。

グラフ3とグラフ6、またはグラフ4とグラフ7より、実験2、実験3、実験3において計測ソフトを使用していない場合とを比較すると計測ソフトを使用していない場合が最も効果が高くなっています。ですから優先順位は手法1、2の順番となります。

5章 まとめ

光ファイバを使った 100BASE-FX はノイズの影響も少ないため長距離伝送が可能であるとされています。ですが今回の実験により負荷のかかる部分での使用に関して有効であることがわかりました。100BASE FX は長距離間の接続で導入するだけでなく短距離間の接続においても負荷の高いノート間においては導入するメリットが高いと言えます。

ここで実験の目的を振り返ります。

1. PC ネットワーク (LAN) の構築法を修得し、構成の違いによるトラフィックを計測することで性能評価を行う
2. 実効スループットを調べることでボトルネックとなっている部分を理解する。
1については、実験測定環境を構築するたびに、PC のセットアップ、ネットワーク機器の設置、接続など行ってきたことで知識として身につきました。また、実験 1、2、3 によって構成の違いによるトラフィック計測も行いました。
2については、追加実験よりサーバー PC の性能が無視できないほどスループットに差がでることがわかり、ボトルネックとなっていた原因の一つとして明らかにしました。以上で実験の目的として掲げた項目について達成することができました。

卒業研究の大きな目的は「ネットワークについて学ぶ」でしたが、本研究を通して身についた知識は現時点のものであり、技術進歩の早い現代においては、瞬く間に古いものとなっていきます。しかしながら、身についた知識は、ネットワーク知識の基盤として決して無駄になるものではありません。なぜなら、ネットワーク技術は前技術に拡張、改良を加えられているものだからです。これからも身につけたものを疎かにせず、新しい技術に対しては積極的に吸収してゆきたいです。

謝辞

本研究を行うにあたり指導して下さった野中弘二助教授をはじめ神戸宏教授に感謝します。また、一緒に研究をおこなってきた池川浩幸、松本憲治に加えて、濱田正典、中野純史、森本宰民、石川健、正岡元の各氏のご協力があったおかげで完了することができました。感謝します。

参考資料

PerfectNetworkerVer.1.0
アライドテレシス株式会社

LAN 入門
トッパン
G. ヌネマッカー = 著
横川デジタルコンピュータ株式会社 SI 事業本部 = 訳