

目次

1、はじめに	1 ページ
まえがき	
1-1. 通信の歴史とインターネット	
1-2. LAN・イーサネット	
1-3. 研究の意義と目的	
2、研究の目的	5 ページ
3、計測ソフトウェアの製作	6 ページ
3-1. ファイル転送時間の測定に用いるために自作したソフトウェアの概念	
3-2. 測定に用いたプログラムのコードの解説	
4、計測実験	12 ページ
4-1. ネットワーク構成機器の基本性能測定概要	
4-2. ケーブルの長さによるデータの遅延状態差測定実験概要	
4-3. 100BaseT スwitchング HUB の台数によるデータの遅延測定実験概要	
4-4. 光ファイバケーブルのケーブル長による遅延	
4-5. 伝送路に高い負荷をかけたときの通信時間測定実験	
5、実験結果	19 ページ
5-1. 4-1 における実験の測定データ	
5-2. 測定実験 3-3 の結果	
5-3. 4-2 における実験の測定データ	
5-4. 測定実験 3-4 の結果	
5-5. 4-3 における実験の測定データ	
5-6. 測定実験 3-5 の結果	
5-7. 4-4 における実験の測定データ	
5-8. 測定実験 3-6 の結果	
5-9. 4-5 における実験の測定データ	
5-10. 測定実験 3-7 の結果	
5-11. 実験結果より得られる知見	
6、卒業研究の成果・まとめ	30 ページ
6-1. 卒業研究の成果	
6-2. 卒業研究のまとめ	
卒業研究の感想	
謝辞	

1、はじめに

まえがき

20 世紀末から世の中を騒がしている言葉に、IT があります。2000 年の流行語にもなり、政府もしきりに IT、IT と叫んで、振興政策に注力しています。IT とは、インフォメーション・テクノロジー (Information Technology) のことです。

IT と言って、すぐに連想する言葉と言えば、インターネットや LAN、イーサネットなどの情報ネットワーク技術のことだと思います。まず第 1 章では通信やコンピュータネットワークの歴史を振り返り、1-1 では通信の歴史とインターネット、また 1-2 では LAN・イーサネットの事について取り上げています。これらを取り上げた理由として、単に自分自身が情報ネットワーク技術の発達の歴史をあまり知らなかったので知りたかったという好奇心と、それともう一つは、卒業研究を行うにあたり情報ネットワークの歴史の流れを振り返ることで研究に必要な技術的な部分の知識を得るのに最良な手段だと思ったからです。従って、本研究はネットワークの構築方を学び、それら構築したネットワークのトラフィックの測定を行うことを目的としました。先ずは、前記いたしましたようにネットワーク状況を説明します。

1-1. 通信の歴史とインターネット

電気通信の歴史は 1835 年、アメリカのモールスによって、電信機が発明されたことに端を発します。その電信方法は、モールス符号と呼ばれる信号有無の長短を組み合わせた一種のデジタル信号で文字を表現し、その電信機を介して送られてきた符号は、人間の耳と手によって文字への翻訳がなされていました。

その後、電波が空間を伝わるという事実が発見され、導体による通信回線を使用しない方式として無線通信が始まりました。そして 1897 年、イタリアのマルコーニによって、無線通信機が発明されると、送受間に電線を架設する必要がないので、それまでの送受信間の距離を飛躍的にのばすことに成功しました。

無線通信機がマルコーニによって発明される 20 年ほど前の 1876 年、アメリカのグラハム・ベルによって、電話が発明されていました。電話は音声情報を符号化することなく、直接的に音声を送受できるという点で画期的な発明でした。その電話も電信とともに徐々に、普及していきました。最初の頃の電話交換機は、電話交換手が手動で回線の交換を行っていました。そして、その手動交換機も、技術の進歩によって、ステップバイステップ交換機、クロスバ交換機のような自動交換機に置き換わり、今日用いられているような電子交換方式へと進化してきました。電子交換方式とは、コンピュータによってあらかじめ与えられたプログラムにより、自動的に回線接続の変更を行います。その交換機の技術の進歩と同様に、音声処理技術も向上しました。電話のシステムは、長い間、音声波形を電圧振幅に変換する方式のアナログ方式でありました。しかし、技術革新の結果、現在では音声のデジタル符号化伝送方式が広く実現しています。

インターネットの基盤となったネットワークの誕生は、1969年に米国国防総省(DOD)の高等研究計画局(ARPA: Advanced Research Project Agency)が、全米中の主要機関や研究所などにあるコンピュータをネットワークで結び、有事の際には放送や電話に代わる通信網として機能させようというプロジェクトを完成させました。このプロジェクトの名称をARPAnet(アーパネット)と言います。このARPAnetの利用は軍事関係だけでなく、米国の科学技術研究は、産・軍・学一体となっていましたから、IDを許可された民間研究所は多数にのぼり、彼らの中でのARPAnetの利用が急激に増加しました。それに伴って、そのネットワークの拡張、整備が行われ、ネットワークを進化させてきました。そうした環境の中から70年代に入ってネットワークの標準的なプロトコルであるTCP/IPが開発されました。その後、ARPAnetは80年代の半ばに軍事用のMILNET(ミルネット)と研究用に分離され、発展的に解消して今日に至っています。現在、われわれがインターネットとして利用しているネットワークの一部はARPAnetから分離された研究用のものですが、そのネットワークは現在でも、MILNETに接続されています。

80年代は東西冷戦の緩和期にあたり、軍事技術の民用移転があらゆる分野で盛んになり、それと同時にコンピュータ技術の発展期に入り、ネットワークを介したコンピュータ利用に拍車がかかりました。それに伴って、さまざまな分野の公的研究機関が、より高速・大容量のネットワークを求め、独自に構築を始めました。これらのネットワークの利用目的は、スーパーコンピュータの共同利用が目的でした。スーパーコンピュータを共同利用するためには、そのスーパーコンピュータに対して、プログラムまたはファイルを送る、遠隔で操作(Telnet)するといった技術条件の整備も必要でした。これらの整備を担当したのが、全米科学財団NSF(National Science Foundation)です。この頃NSFは、DARPAnetを利用した5台のスーパーコンピュータ相互利用網を計画していましたが、紆余曲折を経て断念し、88年に独自のネットワークNSFnetを稼働させました。このNSFnetの発展によって、全米の大学や研究機関の小さなコンピュータ・ネットワークが次々とつながっていきました。

NSFnetなどによってネットワークの便利さが広く知られるようになると、人々は学術目的に限定されないインターネットの登場を望むようになりました。米国では、早々と1989年頃から自前アクセスポイントを複数持つ回線網を構築し、接続サービスをする「ネットワーク・サービス・プロバイダー(NSP)」が続々と登場しました。これらは商用インターネット交換サービスなので「CIX(Commercial Internet Exchange)」とも言われています。それと同時に情報提供サービスが次々と誕生し、ブラウザビューアなどのソフトウェアの発達とともに、個人でも情報提供することが可能になったのです。これが現在のインターネットサービス環境です。

1-2. LAN・イーサネット

1976年、米国ゼロックス社はLANのさきがけとして、共有バス型の小規模ブロードキャスト型のネットワーク規格としてEthernet(イーサネット)を開発しました。

ゼロックス社では、1972年からパロアルト研究所を中心として、イーサネットの開発を行っていました。この時代は、パッチ処理が主体で、やっとなTSS(Time Sharing System:時分割システ

ム)が普及し始めた時代でした。TSS は、ホストマシンに多くの端末を接続させて時分割によって、あたかも端末のユーザー一人一人がホストマシンを占有しているかのように使うものでした。しかしながら、端末が増えると当然、ホストマシンが各端末に割り当てることができる CPU の能力が分割されて、処理速度が遅くなってしまいました。パロアルト研究所は、早くからTSSの限界を克服するためのものとして、LAN に注目し、研究していました。その目標としたところは、パソコン、ワークステーションの誕生により、小型コンピュータを対等な関係で相互に水平分散に接続できるネットワークの開発でした。その結果、誕生したのがイーサネットです。最初のイーサネットの伝送速度は、3Mbit/s でした。やがて、商品化されたイーサネットの性能は、10Mbit/s もあり、当時のモデムの通信速度である 9.6Kbit/s に比べると約 1000倍もの速さがありました。

イーサネットの利点として次のような点が挙げられます。共有バス型のトポロジーにより、接続機器の脱着が容易であることや、配線が柔軟であること、しかも通信制御も分散型で端末側に自由度があるなどの点であります。したがって、イーサネットは見る間に普及して、LAN 標準化の元祖となったのでした。

ゼロックス社で開発されたイーサネットは、1979年には、DEC 社と Intel 社を加えて共同開発され、3社の頭文字を取り DIX 仕様として業界規格となりました。そのDIX 仕様のイーサネットは、伝送速度が 10Mbit/s のベースバンド方式で同軸ケーブルの最大ケーブル長が 500m なので、10Base5 と呼ぶものとなりました。その後、米国電気電子技術者協会によって、LAN を標準化するために設立された IEEE802 委員会が、イーサネットを基にして標準化したのが IEEE802.3 規格です。現在では、伝送速度 100Mbit/s を持つ 100BaseTX やギガビットイーサ等が普及しつつあります。

1-3. 研究の意義と目的

今まで記してきたように TCP/IP、Ethernet 規格を基礎とした情報ネットワークと LAN ですが、伝送路に性能速度をそのまま反映したデータ交換は実際、実現していません。

これは、ネットワークにおける7層の階層構造がありそれぞれの層において様々な約束事が取り決められているからであります。まず下位層から順番に、物理層、データリンク層、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です。

それぞれが行う役割は以下の通りです。

物理層...ケーブルやコネクタの規格、0、1の信号に対する電圧。

データリンク層...1つのパケットの識別方法。

ネットワーク層...ネットワークに接続するコンピュータのアドレス。

トランスポート層...誤りがあった場合の再送手順、受け取ったパケットのデータ復元。

セッション層...通信の開始と終了の合図。

プレゼンテーション層...使用する文字コードの種類。

アプリケーション層...電子メール、FTPなど利用者が使う具体的なサービスについて。

これらの階層構造により、各層で付与されるヘッダ、チェック機能、エラーが発生した場合の対処、コネクションの制御、競合バッファ、インターフェース、プロトコルなどハード面・ソフト面に様々な原因を持つ実通信帯域の制限があります。従来は文字ベースの情報が主流であり、ネットワークに対する負荷が小さかったため、トラフィックの性能低下が顕在化しませんでした。現在ではコンピュータのハードウェアやソフトウェアの発達により、動画や音声などの大容量のデータ転送を各ユーザが要求したため、実用帯域を有効に利用できるネットワークの設計指針が重要になってきています。

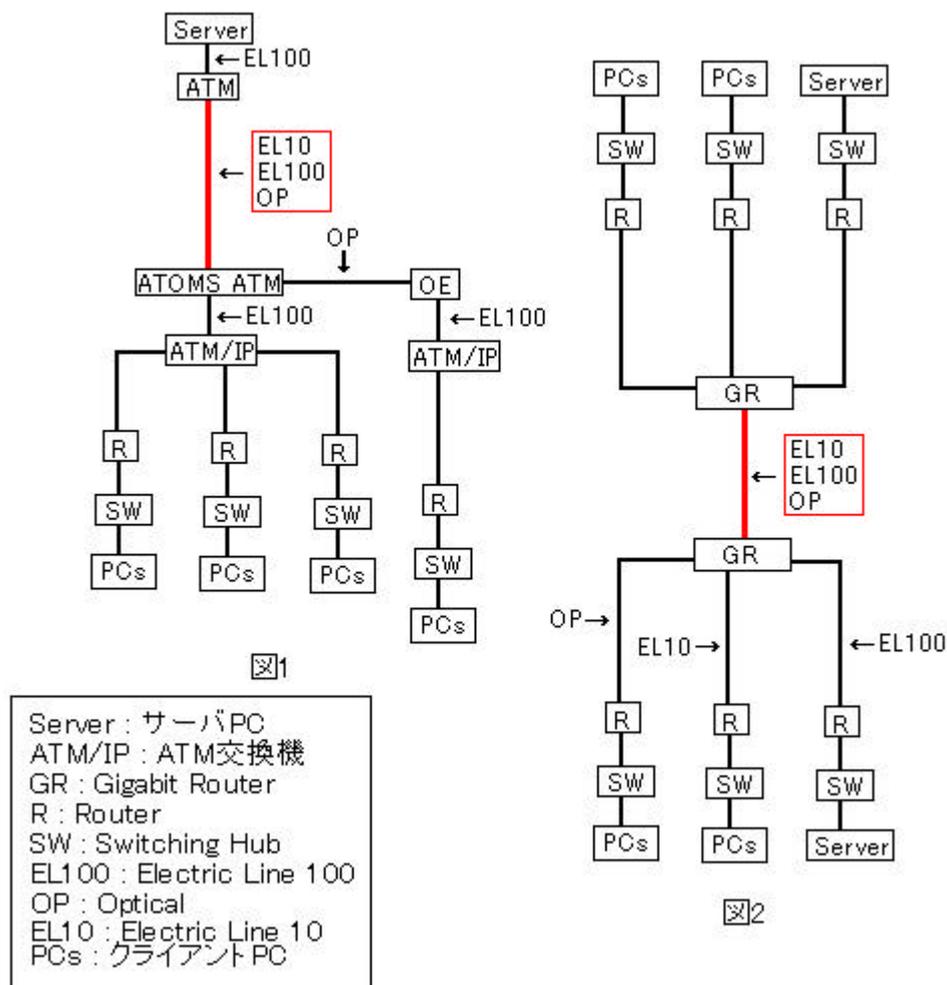
本研究では、現状の代表的ネットワーク形態の様々な条件でのデータ転送能力の実態を公証スペックと比較し、トラフィック低下の原因を解析し、問題を回避する有効なネットワーク形態を導く指針を得ることを目指します。

参考文献

- 田中公治・黒田康太 著 「データ通信システム」
- 松下温 著 「通信ネットワークの基礎」
- 斎藤孝 著 「LANのしくみがわかる本」
- 松島秀行 著 「インターネットのことがわかる本」

2. 研究の目的

研究における最終目的として、LAN(Local Area Network)環境において、効率のよい高速のネットワークを構築する手法を確立するための計測ソフトウェアを作成し、それを用いて構築したネットワークのトラフィックの測定を行うことです。



当初予定していた性能評価のためのネットワーク構成例

図に示すような構成のネットワークを構築して、そのネットワークに対してトラフィックの測定を行うのが当初の実験計画でした。

しかしながら、予算の関係上、このようなネットワークのハードウェア構成を構築することが出来なかったため、下記に上げる目的を骨子にして、実験を行いました。

1. 効率のよいネットワーク構成の指針を示します。
2. HUB、ケーブルなどの遅延の特性や転送速度の測定を行います。
3. これらの測定を行うための測定用ソフトウェアの作成を行います。

3.計測ソフトウェアの製作

3-1. ファイル転送時間の測定に用いるため自作したソフトウェア概念

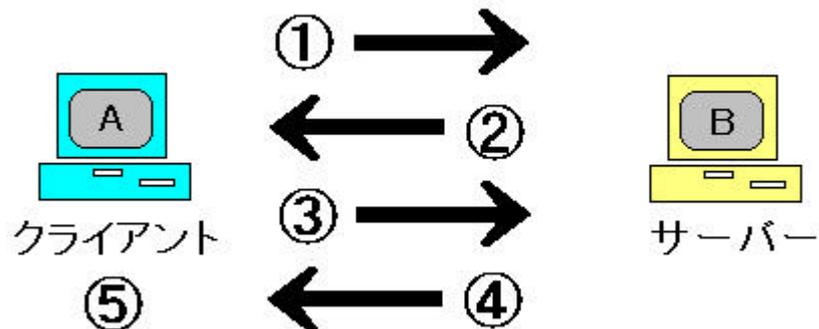


図 3

クライアント、サーバモデルにおけるTCP 接続データ通信手順の説明

サーバに対して TCP 接続の要求。

TCP 接続の確認。

データの送信開始。

データ受信終了の信号。

通信時間の測定。

3-2. 測定に用いたプログラムのコードの解説

サーバ側

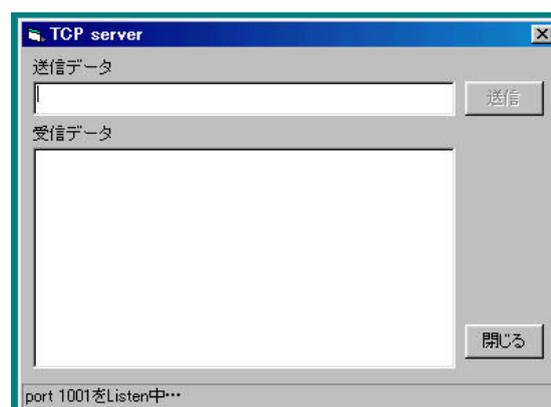


図 4 サーバアプリケーションを起動したところ

プログラムコード抜粋

(a) サーバアプリケーションを起動したときの処理

```
Private Sub Form_Load()  
'送信ボタンを押せないようにします  
Command1.Enabled = False  
'ポートの指定  
Winsock1.LocalPort = 1001  
StatusBar1.SimpleText = "port 1001 を Listen 中..."  
Winsock1.Listen   いつでもTCP 接続が出来るように、ポート1001 を監視させる。  
End Sub
```

(b) クライアントより接続の要求を受けたときの処理

```
Private Sub Winsock1_ConnectionRequest(ByVal requestID As Long)  
'接続を閉じてから新しい接続を受け付けます  
Winsock1.Close  
'requestID パラメーター付きの要求を受け付けます  
Winsock1.Accept requestID  
'送信ボタンを押せるようにします  
Command1.Enabled = True  
StatusBar1.SimpleText = "接続されました."  
End Sub
```

(c) データを受信したときの処理

```
Private Sub Winsock1_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)  
'受信データ用の変数を定義します  
Dim strdata As String  
'受信データの取りこみ  
Winsock1.GetData strdata  
'受信終了の信号  
Winsock1.SendData "Dend"   データ受信終了の信号 (クライアントに送信する。)  
'受信データの表示  
List1.AddItem strdata  
End Sub
```

クライアント側

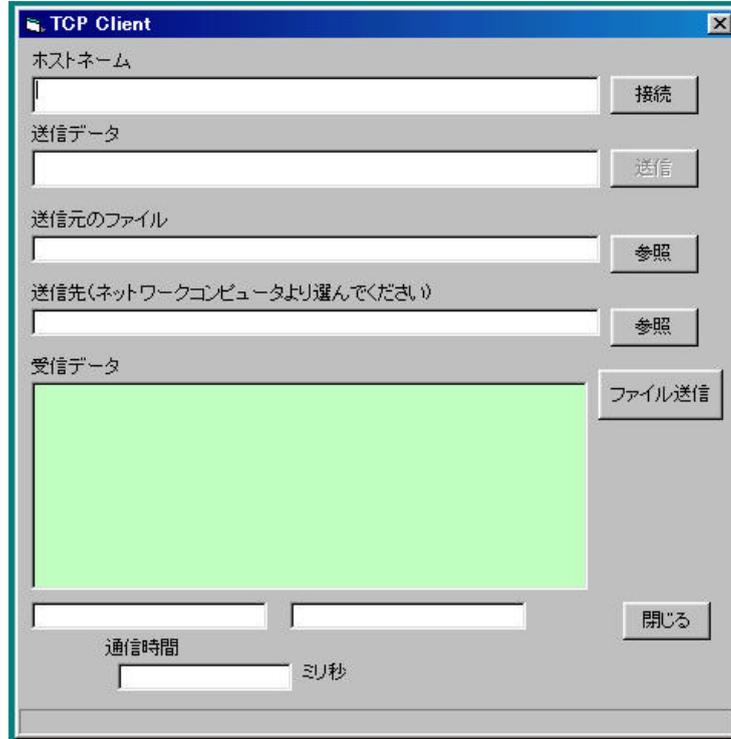


図 5 クライアントアプリケーションを起動したところ

プログラムコード抜粋

(d) サーバに接続するときの処理

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
'先にオープンしている場合もあるのでクローズ
```

```
Winsock1.Close
```

```
'送信ボタンを押さないようにします。
```

```
Command1.Enabled = False
```

```
'ホスト名のチェック
```

```
If Text1.Text = "" Then
```

```
    StatusBar1.SimpleText = "ホスト名を入力してください。"
```

```
    Exit Sub
```

```
End If
```

```
'ホスト名を入力、あるいは IP アドレスの入力
```

```
Winsock1.RemoteHost = Text1.Text
```

```
'ポートの指定
```

```
Winsock1.RemotePort = 1001
```

```
'接続を開始します。
```

```
StatusBar1.SimpleText = "接続中..."
```

```
Winsock1.Connect     Text1 に入力された IP にポート1001 で接続する。
```

End Sub

(e) 指定されたファイルをリモートコンピュータに送るときの処理

```
Private Sub Command6_Click()  
'データの送信  
Winsock1.SendData "送信"  
kaishi = GetTickCount()  
Text3.Text = kaishi    測定の開始時刻  
    Dim objFileSystem As Object  
'ファイルシステムオブジェクトへの参照  
Set objFileSystem = CreateObject("scripting.filesystemobject")  
'ファイルをコピー  
objFileSystem.copyfile Text5.Text, Text6.Text  
'オブジェクトの開放  
Set objFileSystem = Nothing  
End Sub
```

(f) サーバからデータが送られてきたときの処理

```
Private Sub Winsock1_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)  
Dim strdata As String  
Dim Code As String  
'受信データの取りこみ  
Winsock1.GetData strdata  
Code = Left(strdata, 4)  
'受信データの表示  
List1.AddItem strdata  
Select Case Code  
Case "Dend":    データが送られてきたときの処理  
Owari = GetTickCount()  
Text4.Text = Owari    測定の終了時間  
End Select  
Text7.Text = Text4.Text - Text3.Text    総通信時間の表示  
End Sub
```

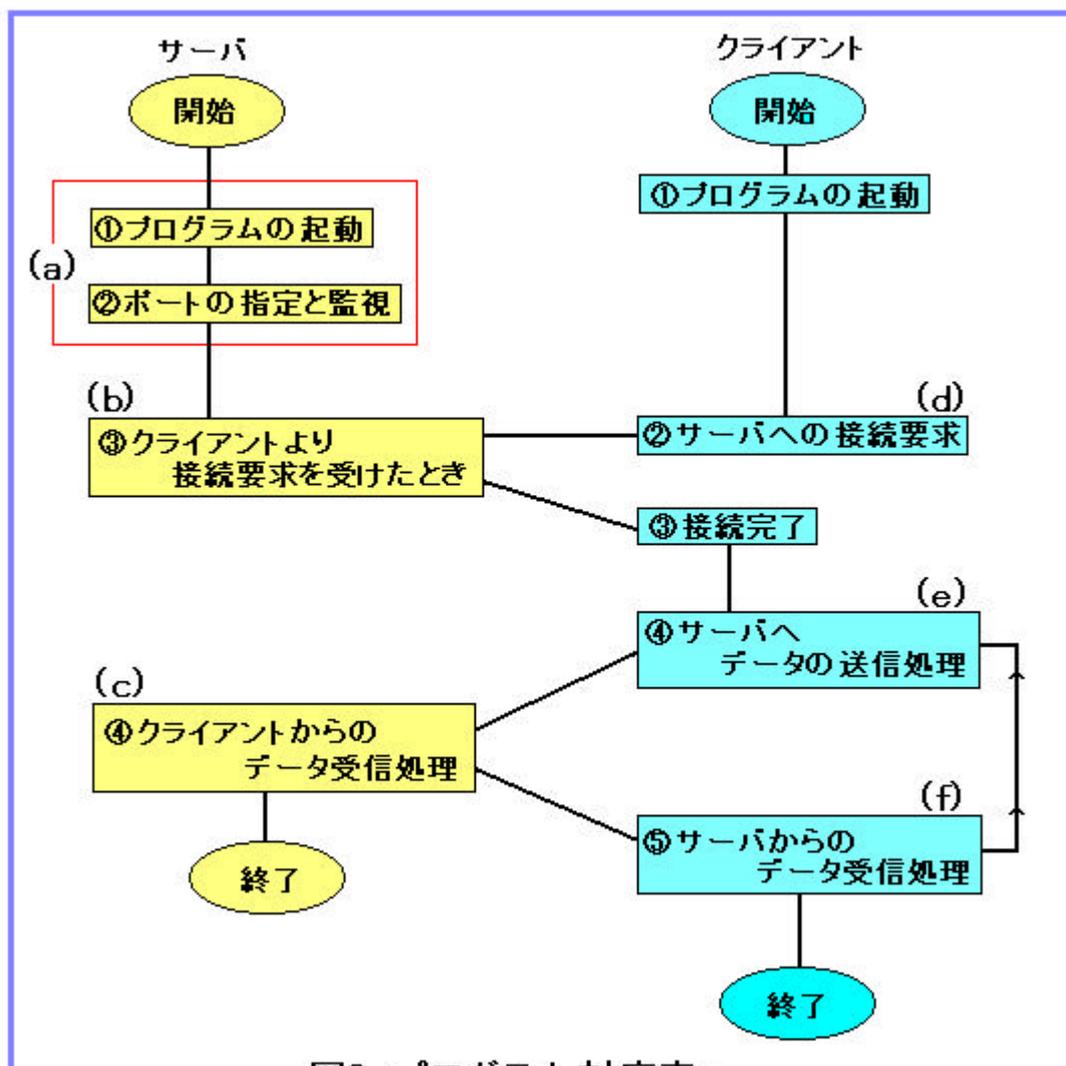


図6 プログラム対応表

プログラム対応表についている(a)～(f)の記号は、プログラムコード抜粋の部分につけられている記号と対応しています。

プログラムについての補足説明

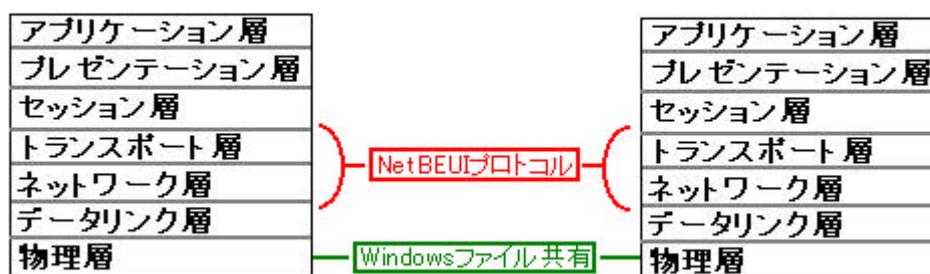
このプログラムは、Microsoft Visual Basic 6.0 によって作成されています。

なぜ、Visual Basic 6.0 を用いたかと言うと、短期間である程度のプログラミングの学習が容易だからであります。しかしながら、プログラムの動作が遅い、リナックスなどの他の OS に移植が出来ない等の欠点があります。前者の問題は、Visual Basic が OS である Windows 上で動作しているためであります。しかし、処理装置などの性能が向上したため、あまり気にする必要は無いようです。後者については、Visual Basic は、Windows 専用のプログラミング言語であり、リナックスには互換性がないので、この問題については改善のしようがありません。

ファイルの転送方式についての説明

今回の実験でファイルの転送速度を評価するのにあたって、「Windows のファイル共有」を使用しています。この「Windows のファイル共有」は、NetBEUI の通信プロトコルを使用しています。通信の階層モデルで言うとネットワーク層とトランスポート層の規定に基づいています。さらに、Windows のファイル共有では、HUB 直結などの Layer1 接続でなければならないなどの制約があります。

ネットワークにおける7層の階層構造



参考文献 谷口功 著 「ネットワーク・コンピューティングの常識辞典」

、 の実験の意味
、 の測定実験によって、10BaseT HUB と 10BaseT スイッチングHUB における性能差を比較できます。

の実験の意味
100BaseT スイッチングHUB の性能が測定できます。

の実験の意味
光ファイバケーブルを用いることで、O-E、E-O コンバータの性能が測定できます。

の実験の意味
LAN ケーブルと光ファイバケーブルとの比較ができます。

使用した機器

100BaseT スイッチングHUB および、10BaseT スイッチングHUB コレガ Fast SW-8D

10BaseT HUB RH505EL

O-E、E-O コンバータ(100Base) BLACK BOX twister 724-746-5500

光ファイバケーブル 11m

4-2. ケーブルの長さによるデータの遅延状態差測定実験概要

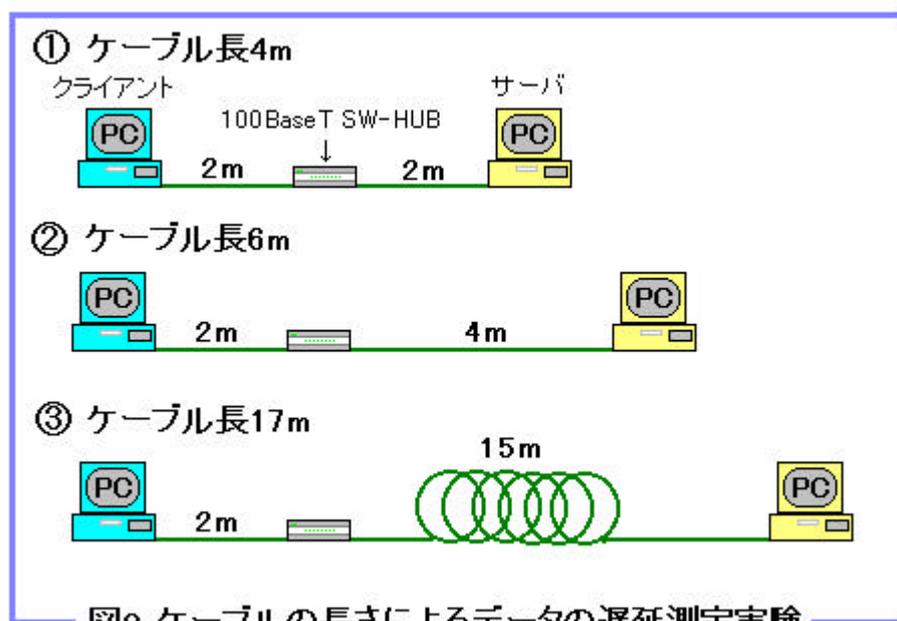


図8 ケーブルの長さによるデータの遅延測定実験

この実験は、ケーブル長の変化によるデータの遅延、転送速度の低下を測定する実験を行いました。実験の概要は以下の通りです。

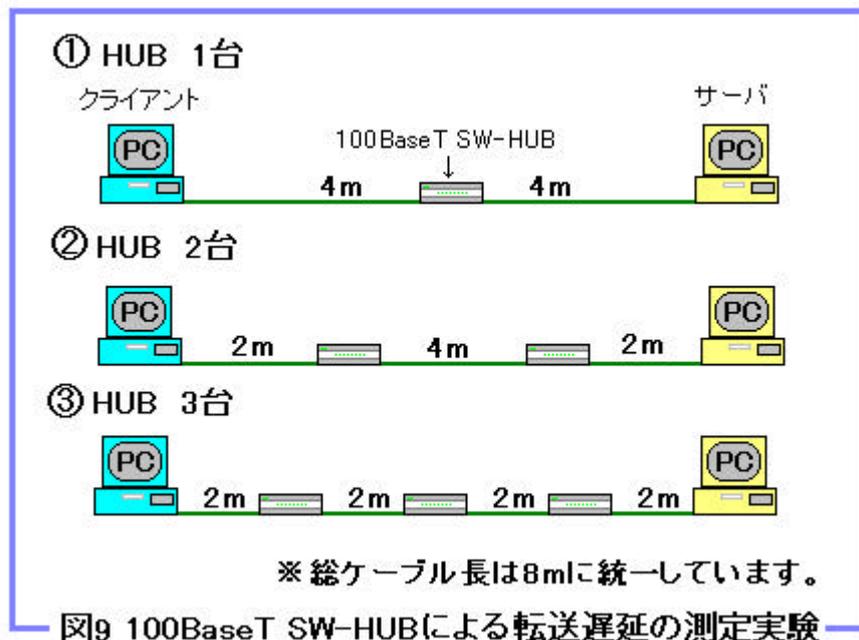
- の場合 伝送路のケーブル長、合計 4m。
- の場合 伝送路のケーブル長、合計 6m。
- の場合 伝送路のケーブル長、合計 17m。

～ のそれぞれの場合において、30MB と 120MB のそれぞれのファイルをクライアントPCからサーバPCへと送信(コピー)します。

使用した機器

100BaseT スイッチングHUB コレガ Fast SW-8D
LAN ケーブル(2m × 2 本 ・ 4m × 1 本 ・ 15m × 1 本)

4-3. 100BaseT スイッチングHUB の台数によるデータの遅延測定実験概要



この実験は、HUB をカスケード接続して HUB 台数を増やしていった時のデータ転送時間の遅延、転送速度の低下を測定する実験を行いました。実験の概要は以下の通りです。

の場合 接続されているHUB が1 台の時。

の場合 接続されているHUB が2 台の時。

の場合 接続されているHUB が3 台の時。

～ のそれぞれの場合において、30MB と120MB のそれぞれのファイルをクライアントPC からサーバPC へと送信(コピー)します。

注意点

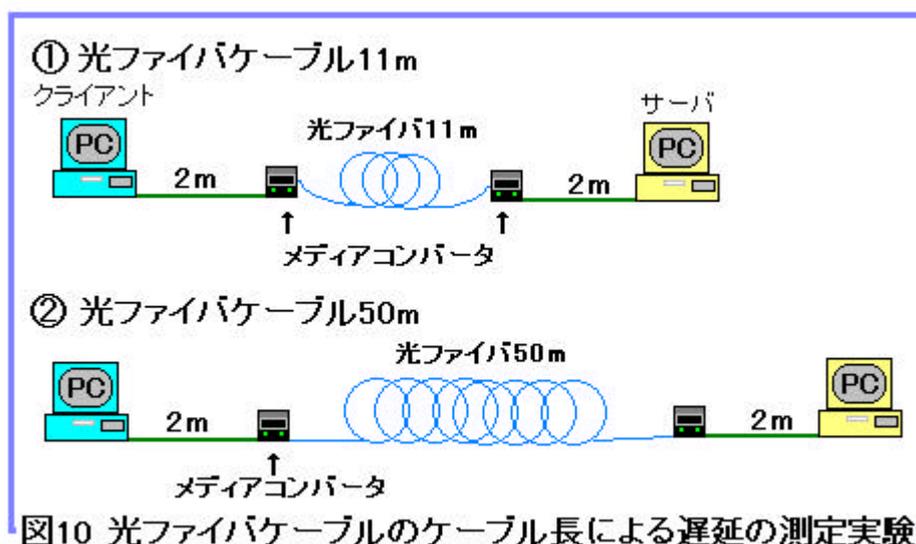
～ の LAN ケーブルの長さは、ケーブルの長さによる遅延差を避けるためいずれの場合も総延長 8m に統一しました。

使用した機器

100BaseT スイッチングHUB ×3 台 コレガ Fast SW-8D

LAN ケーブル(4m ×2 本 ・ 4m ×4 本)

4-4. 光ファイバケーブルのケーブル長による遅延



この実験は、O-E、E-O メディアコンバータを使って光ファイバケーブルの長さによる遅延差を測定する実験を行いました。実験の概要は以下の通りです。

場合 サーバ PC とクライアント PC 間に各 2m の LAN ケーブルで O-E、E-O メディアコンバータをつなぎ、その間を 11m の光ファイバケーブルで結びました。

場合 と同様に、サーバ PC とクライアント PC 間に各 2m の LAN ケーブルで O-E、E-O メディアコンバータをつなぎ、その間を 50m の光ファイバケーブルで結びました。

、 のそれぞれの場合において、30MB と 120MB のそれぞれのファイルをクライアント PC からサーバ PC へと送信(コピー)します。

使用した機器

LAN ケーブル(4m × 2 本 ・ 4m × 4 本)

O-E、E-O コンバータ BLACK BOX twister 724-746-5500

光ファイバケーブル(GI 125/50-MMF-2pararell) 11m 50m

4-5. 伝送路に高い負荷をかけたときの通信時間測定実験

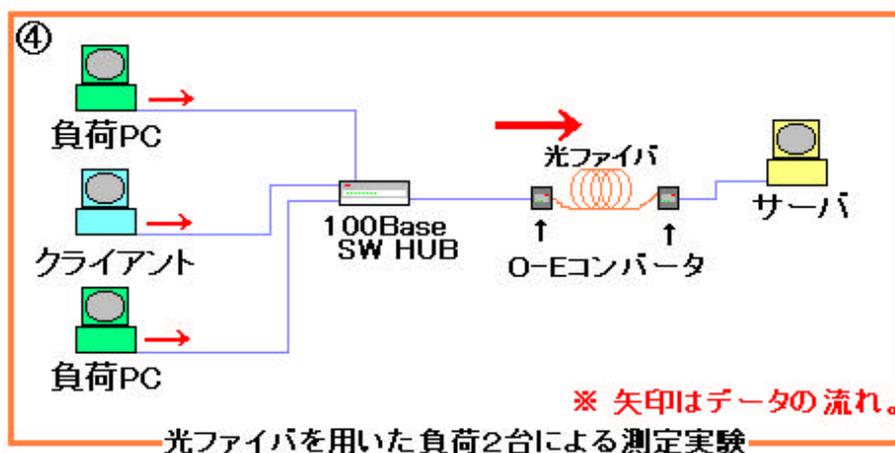
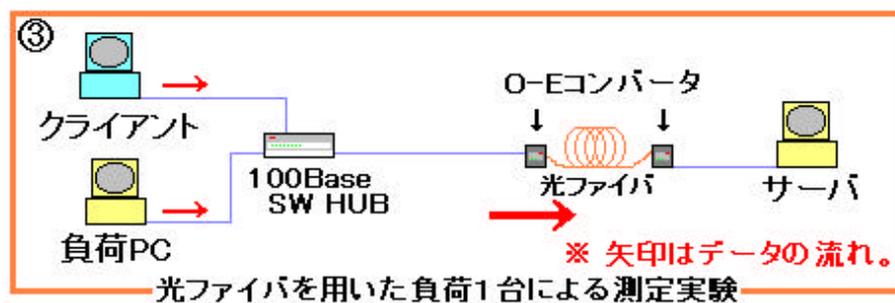
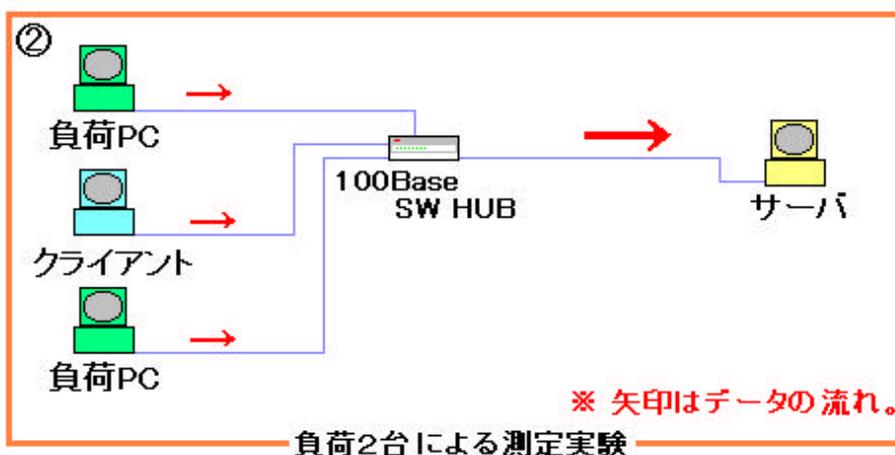
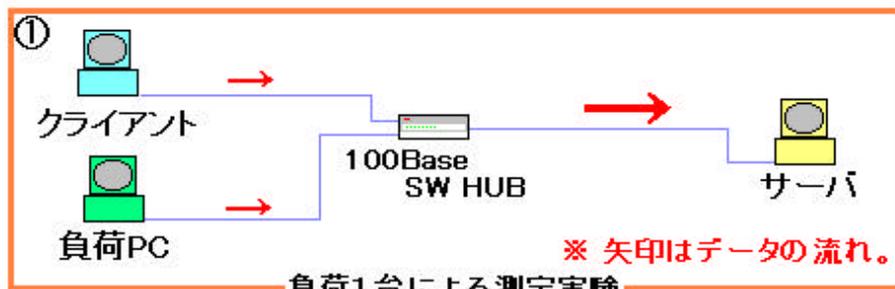


図 11 伝送路に高い負荷をかけたときの通信時間測定実験

この実験は、送信時間および、転送速度に並列して入射する大量データによる高い負荷が及ぼす影響を調べるために行いました。

実験概要は、図に示す通りです。

この測定の負荷用のデータとして、総データ量 1GB 程度のファイルを用意し、ウインドウズ上のファイルの共有サービスを用いて PC クライアントと、別のPC からファイルをサーバとしている PC に送信することで、負荷をかけました。

の実験では、負荷 1 台で、クライアントから30MB のファイルをサーバに送信しました。

の実験では、負荷 2 台で、クライアントから30MB と125MB のファイルをそれぞれサーバに送信しました。

の実験では、伝送路に 11 メートルと50メートルの光ファイバそれぞれを用い、負荷1台で、クライアントからそれぞれ 30MB と125MB のサイズのファイルを送信しました。

の実験では、負荷を 2台にして、と同様に伝送路に 11 メートルと50メートルの光ファイバそれぞれを用い、クライアントからそれぞれ 30MB と125MB のサイズのファイルを送信しました。

使用した機器

LAN ケーブル(2m × 5 本)

100BaseT スイッチングHUB コレガ Fast SW-8D

O-E、E-O コンバータ BLACK BOX twister 724-746-5500

光ファイバケーブル(GI 125/50-MMF-2pararell) 11m 50m

5. 実験結果

5-1. 4-1 における実験の測定データ

それぞれの機器における性能測定実験の結果は以下のようになりました。

の場合(10BaseT HUB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	29165	1.028
2 回目	29152	1.029
3 回目	29150	1.029
平均	29155.6	1.028

の場合(10BaseT スイッチングHUB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	30728	0.976
2 回目	30598	0.980
3 回目	30653	0.979
平均	30659.6	0.978

の場合(100BaseT スイッチングHUB・ケーブル 3m)

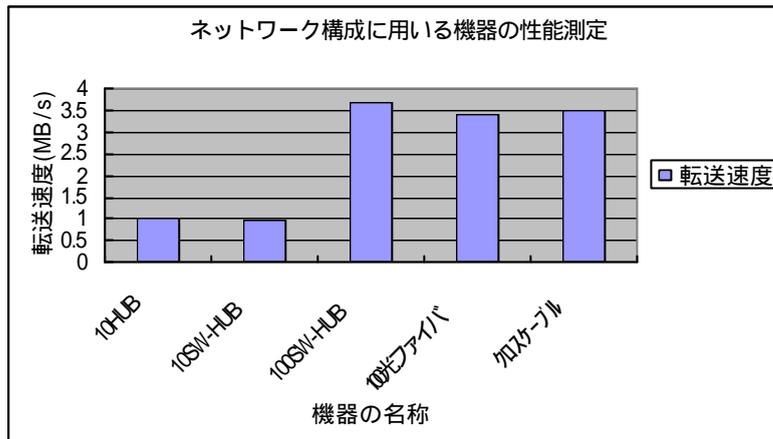
回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	9912	3.027
2 回目	7612	3.941
3 回目	7480	4.011
平均	8334.7	3.660

の場合(光ファイバケーブル 11m)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	8028	3.737
2 回目	9094	3.299
3 回目	9214	3.256
平均	8778.7	3.417

の場合(クロスケーブル 11m)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	8706	3.446
2 回目	7960	3.769
3 回目	8923	3.362
平均	8529.7	3.517



参考・ネットワーク構成に用いる機器の性能測定

5-2. 測定実験 4-1 の結果

、の実験より、10BaseT スwitchングHUB と比べて、10BaseT HUBの方が、若干、送信時間が短いことがわかりました。時間差にすると、約 1 秒程度です。この遅延は、HUB のSwitchング、または、内部の回路構成の違いによるものだと考えています。

さらに、転送速度について、10Base HUB の理論上の最高転送速度が 1.25MB/s であるから、ほぼ転送速度の限界に近いことがわかります。

の場合の転送速度に注目してみると、最大で 4MB/s、平均では 3.6MB/s であり、100Base HUB の理論上の最高転送速度が、12.5MB/s であるから、実効的伝送帯域は、何らかの制限により半分程度しか利用できていません。これらの原因として考えられるものとして、パケット分割の時などに付与されるヘッダや、データの監視ビットなどによる実効的帯域低下だと考えられます。

の場合の光ファイバケーブルについては、この場合の最大で 3.7MB/s、平均では 3.4MB/s であり、この結果から の場合と同様のことが言えます。

の場合のクロスケーブルについては、この場合の最大で 3.7MB/s、平均では 3.5MB/s での場合の光ファイバケーブルとほぼ同様の結果が出ました。

5-3. 4-2 における実験の測定データ

ケーブルの長さによるデータの遅延測定実験の結果は以下のようになりました。

の場合(ケーブル長 4m)

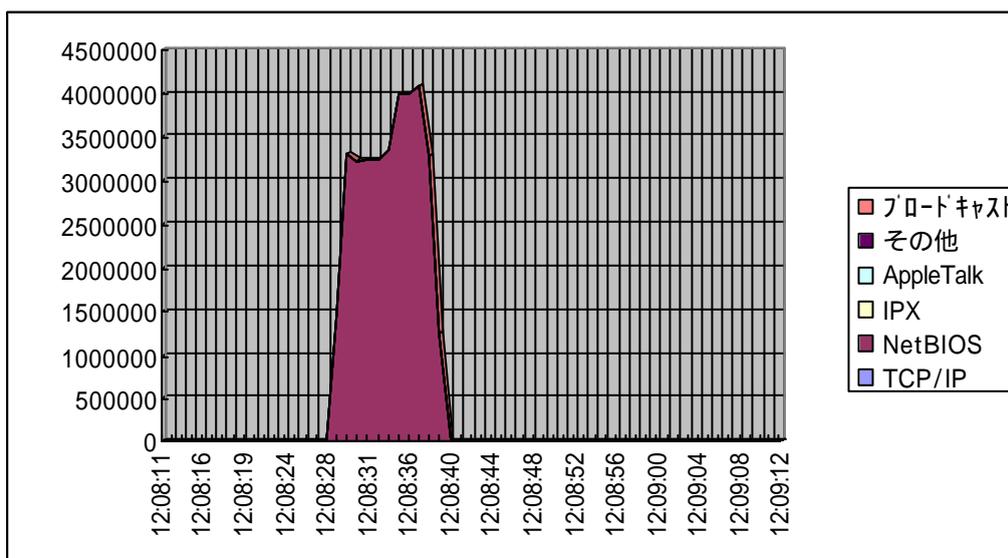
転送ファイル容量 30MB			転送ファイル容量 120MB	
回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)	送信時間(m/s)	転送速度(MB/s)
1 回目	8468	3.542	37468	3.203
2 回目	8869	3.383	35283	3.401
3 回目	8513	3.524	36079	3.326
平均	8617	3.481	36277	3.308

の場合(ケーブル長 6m)

転送ファイル容量 30MB			転送ファイル容量 120MB	
回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)	送信時間(m/s)	転送速度(MB/s)
1 回目	8690	3.452	36442	3.293
2 回目	8651	3.468	35850	3.347
3 回目	9271	3.236	38038	3.155
平均	8870	3.382	36777	3.263

の場合(ケーブル長 17m)

転送ファイル容量 30MB			転送ファイル容量 120MB	
回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)	送信時間(m/s)	転送速度(MB/s)
1 回目	8970	3.344	36327	3.303
2 回目	8714	3.443	38915	3.083
3 回目	9013	3.329	36027	3.331
平均	8899	3.371	37090	3.235



参考・LAN ケーブルによるファイル容量 30MB 転送速度の様子

5-4. 測定実験 4-2 の結果

今回の測定結果から、十数メートル程度の LAN ケーブルでは遅延の発生の有無を確認することができませんでした。データでは、わずかながら遅延が発生しているように見えますが、転送ファイル容量が 30MB 時で 6m の平均の転送時間から 4m の平均の転送時間を引くとその差は 253ms となります。次に、6m の平均の転送時間から 17m の平均の転送時間を引くと差が 29ms となり、この結果から距離は約 3 倍になっているのに、遅延の数値が減少していて、遅延の数値が矛盾していることがわかります。120MB の場合でも同様な矛盾が生じます。そのため、この遅延のように見える数値は、遅延なのか遅延でないのかの判断が付かず、今回の実験においては、はっきりした遅延の測定をすることはできませんでした。

5-5. 4-3 における実験の測定データ

100BaseT スイッチングHUB の台数によるデータの遅延測定実験の結果は以下のようになりました。

の場合(HUB が 1 台)

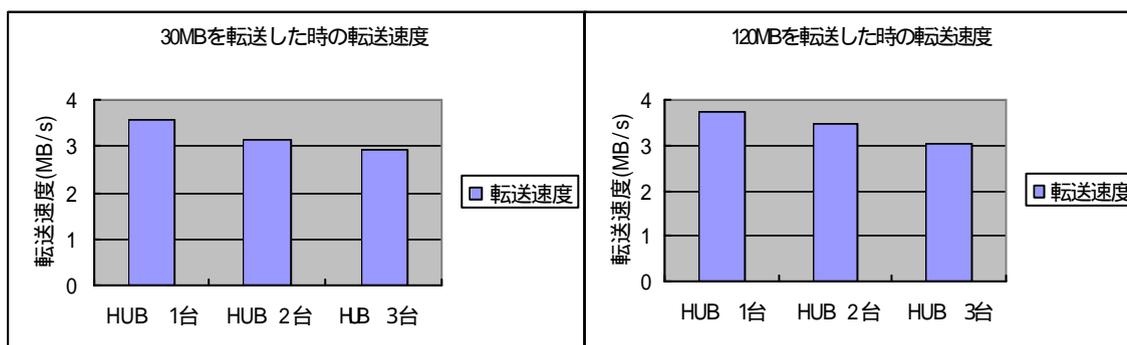
転送ファイル容量 30MB			転送ファイル容量 120MB	
回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)	送信時間(m/s)	転送速度(MB/s)
1 回目	8391	3.575	31672	3.799
2 回目	8379	3.580	32343	3.710
3 回目	8388	3.577	32167	3.731
平均	8386	3.577	32060	3.743

の場合(HUB が 2 台)

転送ファイル容量 30MB			転送ファイル容量 120MB	
回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)	送信時間(m/s)	転送速度(MB/s)
1 回目	9849	3.046	35733	3.358
2 回目	9073	3.307	33739	3.557
3 回目	9602	3.124	33816	3.549
平均	9508	3.155	34429	3.485

の場合(HUB が 3 台)

転送ファイル容量 30MB			転送ファイル容量 120MB	
回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)	送信時間(m/s)	転送速度(MB/s)
1 回目	10019	2.994	39649	3.027
2 回目	11170	2.686	39400	3.046
3 回目	9558	3.139	39013	3.076
平均	10249	2.927	39354	3.049



参考 :30MB、120MB のファイルを転送した時の転送速度の変化

5-6. 測定実験 4-3 の結果

この結果からHUB をカスケード接続して、HUB の台数が増えると遅延が発生することがわかります。転送ファイルの容量が30MB の場合には、1 台 HUB が増えるごとに約 1 秒程度の遅延が発生しています。転送ファイル容量が 120MB の場合には、1 台目と 2 台目の平均値での遅延は約 2 秒、2 台目と 3 台目の平均値での遅延は約 4 秒と、さっきの値の倍になっています。この結果より、転送するファイルのデータ量によって遅延が変化するようです。

その原因の一つ目として、コネクション設定や再送制御などによるケーブル内を何度も往復する信号のやり取り時間の積み重ねによるものではないか考えています。そして二つ目として、はっきりしたことはよく分かりませんが、HUB に内蔵されているスイッチングの機能とHUB のバッファメモリ処理能力の飽和によるものだと考えています。

5-7. 4-4 における実験の測定データ

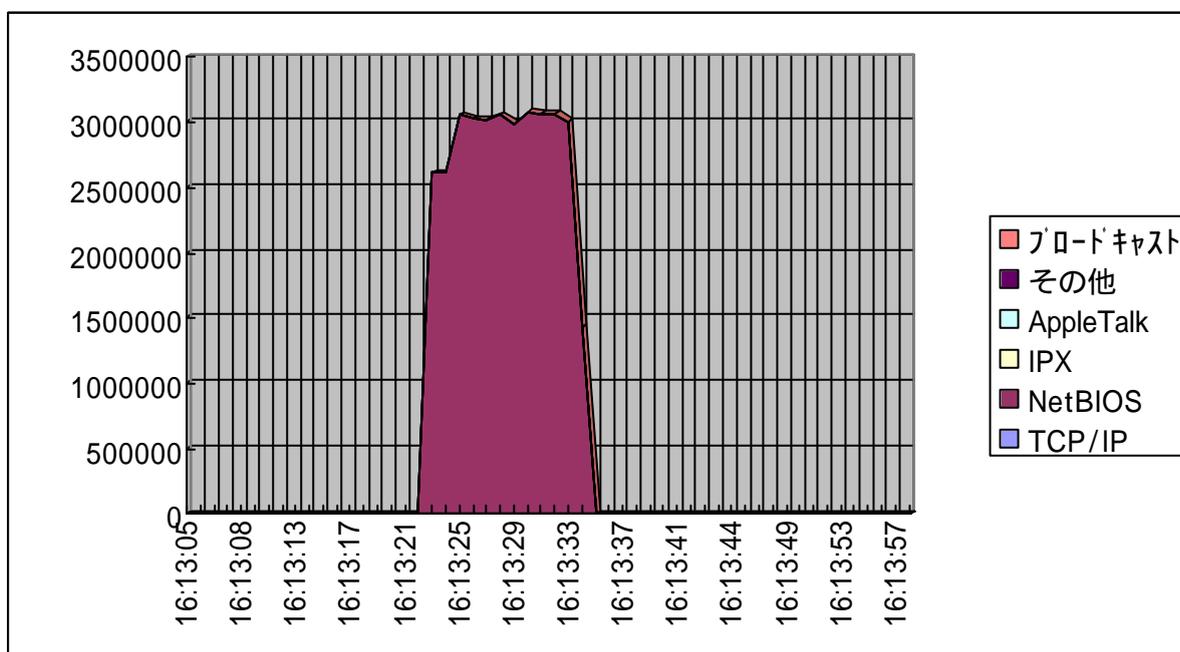
光ファイバのケーブル長によるデータの遅延測定実験の結果は以下のようになりました。

の場合(光ファイバ 11m)

転送ファイル容量 30MB			転送ファイル容量 120MB	
回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)	送信時間(m/s)	転送速度(MB/s)
1 回目	8215	3.652	31646	3.792
2 回目	8531	3.517	31863	3.766
3 回目	8282	3.622	32543	3.687
平均	8343	3.596	32017	3.748

の場合(光ファイバ 50m)

転送ファイル容量 30MB			転送ファイル容量 120MB	
回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	8776	3.418	33579	3.574
2 回目	7798	3.847	32008	3.749
3 回目	7920	3.788	34355	3.493
平均	8165	3.674	33314	3.602



参考 光ファイバケーブルによるファイル容量 30MB 転送速度の様子

5-8. 測定実験 4-4 の結果

今回の測定では、光ファイバのケーブル長による遅延を測定することが出来ませんでした。測定結果から、30MB のファイルを転送したとき、50m 光ファイバの平均の送信時間から11m 光ファイバの平均の送信時間を引くと、遅延の値がマイナス値になり、値に矛盾が生じてしまいます。さらに、120MB の値から遅延を求めた場合でも、その値は真値であるか疑わしい面もあります。これらの理由により、光ファイバのケーブル長による遅延は測定することができませんでした。ちなみに原因は、光ファイバケーブルの接続不良、何らかの原因での光の減衰、コンピュータのデータ処理などが原因として考えられます。

しかし、この実験結果から得たものとして、光ファイバケーブルは 100Base スイッチング HUB と比べると実効伝送速度が速いということがわかり、伝送距離が長い場合には非常に有利な伝送媒体であることがわかりました。

5-9. 4-5 における実験の測定データ

の場合(負荷 1 台・転送ファイルサイズ 30MB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	15021	1.997
2 回目	12051	2.489
3 回目	10674	2.811
4 回目	10112	2.967
平均	11964.5	2.566

の場合(負荷 2台・転送ファイルサイズ 30MB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	10944	2.729
2 回目	13443	2.232
3 回目	10258	2.925
4 回目	9229	3.250
平均	10968.5	2.784

の場合(負荷 2台・転送ファイルサイズ 125MB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	91794	1.362
2 回目	71884	1.739
3 回目	69509	1.798
4 回目	67989	1.838
平均	75294	1.684

の場合(光ファイバ 11m・負荷 1 台・転送ファイルサイズ 30MB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	14652	2.048
2 回目	20843	1.439
3 回目	8846	3.391
平均	14786	2.293

の場合(光ファイバ 11m・負荷 1 台・転送ファイルサイズ 125MB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	99495	1.256
2 回目	84969	1.471
3 回目	80373	1.555
平均	88279	1.427

の場合(光ファイバ 50m・負荷 1 台 転送ファイルサイズ 30MB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	15036	1.995
2 回目	10764	2.787
3 回目	9314	3.221
平均	11704.7	2.668

の場合(光ファイバ 50m・負荷 1 台 転送ファイルサイズ 125MB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	83918	1.490
2 回目	68883	1.815
3 回目	64688	1.932
平均	72496.3	1.746

の場合(光ファイバ 11m・負荷 2 台 転送ファイルサイズ 30MB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	21381	1.403
2 回目	15235	1.969
3 回目	11873	2.527
平均	16163	1.856

の場合(光ファイバ 11m・負荷 2 台 転送ファイルサイズ 125MB)

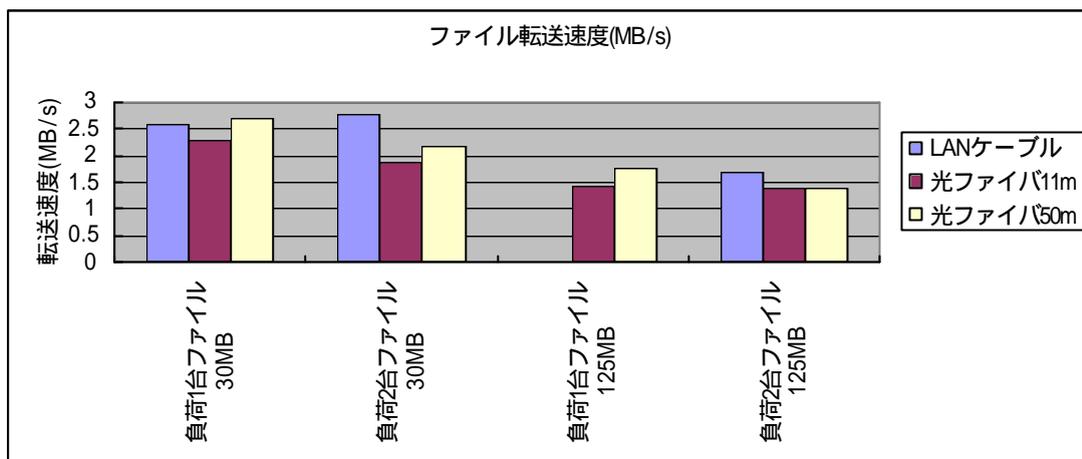
回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	107546	1.162
2 回目	82863	1.509
3 回目	83039	1.505
平均	91149.3	1.392

の場合(光ファイバ 50m・負荷 2 台 転送ファイルサイズ 30MB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	15639	1.918
2 回目	14185	2.115
3 回目	11921	2.517
平均	13915	2.183

の場合(光ファイバ 50m・負荷 2 台 転送ファイルサイズ 125MB)

回数	送信時間(ms)	転送速度(MB/s)
1 回目	100281	1.246
2 回目	87850	1.423
3 回目	79876	1.565
平均	89335.7	1.399



参考 伝送路に負荷をかけたときの転送速度(MB/s)

5-10. 測定実験 4-5 の結果

と の場合において、転送するファイルサイズが 30MB のときには転送速度に顕著な違いは現れませんでした。しかし、 の場合で、転送するファイルサイズを 125MB にすると、ファイルサイズ 30MB のときと比べて、著しい転送速度の低下が見られました。そして、その差は 1.1MB/s もありました。

この測定結果から言えることは、転送速度はファイルサイズに依存すると言えらると思えます。また、 と の光ファイバを用いた場合にしても、同様の結果が得られます。

それから、 の結果を負荷 1 台、負荷 2 台の場合で比較してみると、負荷がかかると、転送速度が低下することがわかります。数値にすると、その差は平均で 0.326MB/s となります。

5-11. 実験結果より得られる知見

- 1、10Base HUB と100Base スイッチング HUB の公証通信速度の差は 10 倍であるが、実際のファイルデータ転送速度の計測結果では、10Base HUB の3 倍程度の転送速度しか出ていない。
- 2、十数メートル程度の LAN ケーブルでは、伝送路遅延があまり大きな影響を与えないと推測される。
- 3、同じケーブル長でもHUB をカスケード多段接続すると顕著な遅延が発生する。
- 4、100Base の E-O、O-E メディアコンバータを用いた光ファイバのデータ転送は、100Base スイッチングHUB のデータ転送と比べて転送速度が若干、速い。
- 5、伝送路に負荷をかけた場合、転送するファイル容量が増えるほど、データ総量の増加以上に転送完了時間の増加が大きくなり、転送速度は低下する。

6、卒業研究の成果・まとめ

6-1. 卒業研究の成果

今回の卒業研究で以下のような成果をあげることができました。

1、計測ソフトウェアを製作することができました。

製作した計測ソフトウェアは、サーバソフトとクライアントソフトの 2 種類のソフトウェアによって構成されています。TCP 接続を行うことで、データ転送の信頼性を高めることができ、Windows のファイル共有でデータファイルを送信できる他にサーバ、クライアントソフト間で文字データを送信できるなどの機能があります。送信時間の測定は、ミリ秒単位で測定できるようにしました。このソフトウェアを製作したことによって、サーバ、クライアントソフトの基本的な構成を学ぶことができました。

2、製作した計測ソフトウェアで測定実験を行いました。

製作したソフトウェアを用いて、さまざまな測定実験を行いました。ミリ秒単位でのデータ転送時間の測定ができるので、精度の高い測定結果を得ることができました。

6-2. 卒業研究のまとめ

測定実験の結果を考慮して今回使用した機器を使ってネットワークを構成する場合、以下のよう条件が挙げられます。

条件 1 HUB のカスケード接続はなるべく避ける。

条件 2 HUB にはたくさんの PC を接続しない。

条件 3 長距離の伝送にはなるべく光ファイバケーブルを用いる。

条件 1 について、HUB のカスケード接続を行った場合、HUB 一台あたり1MB のファイルを転送するのに測定結果から求めるとおよそ 30ms の遅延が発生しています。

どうしてもHUB をカスケード接続しなければならない場合は、カスケード接続されたHUB の下層になるほど接続するPC の台数を少なくするようにしてください。

条件 2 について、HUB にたくさんのPC を接続すると、小さな容量のファイルのやり取りをするくらいなら多少多くの PC を接続してもかまいませんが、例えば音声ファイル、動画ファイルなどの大容量データを扱う場合には、扱うファイルの容量に応じて接続するPC の台数を考えなければなりません。

条件 3 について、今回の実験結果からわかるように光ファイバケーブルは、他の伝送媒体と比べて 0.1 ~ 0.2MB/s 程度、実効伝送速度が速いことがわかり、伝送距離が長い場合には非常に有利な伝送媒体であることがわかりました。

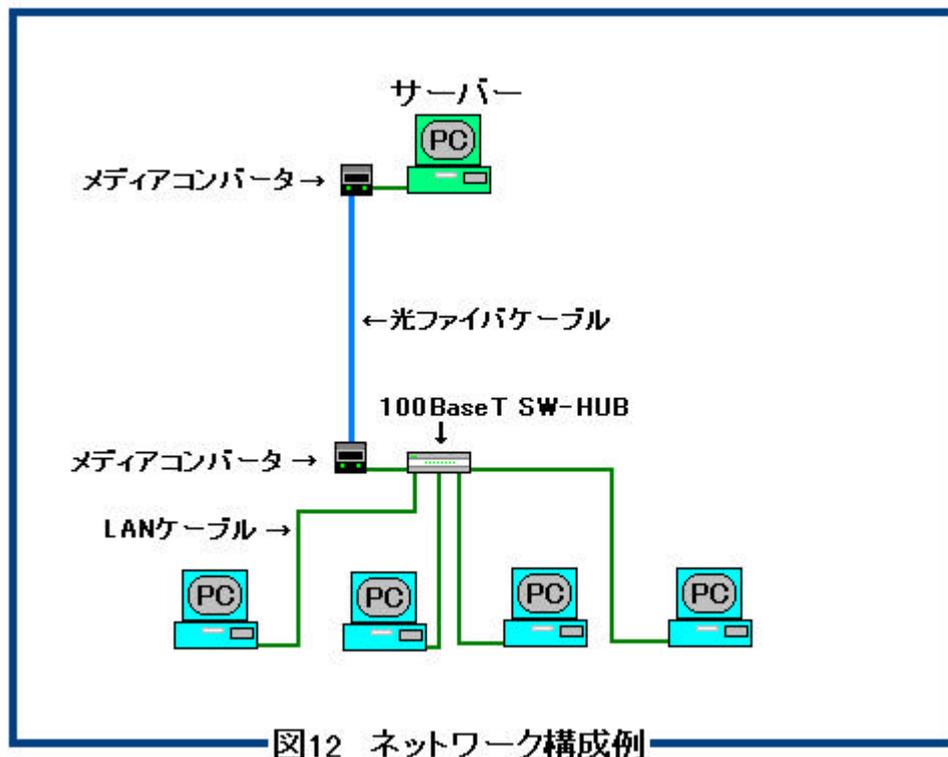


図12 ネットワーク構成例

上図の説明

サーバPC に対する要求が最も多いと仮定した、通信トラフィック特性の場合に有効であると考えられるネットワーク構成の例です。

データの往来が激しいと思われる複数のクライアントとサーバの接続部分に、データの転送速度が若干早く、信号誤りの少ない光ファイバケーブルを使用することにより信頼性と安定性が向上します。

卒業研究の感想

卒業研究を振り返ってみると、「忙しかったけど楽しかった。」と言うのが率直な感想です。この研究を行って、ネットワークの知識だけでなく、それに付随するいろいろな分野の知識を学んだと思います。なぜなら、研究が進んでいくにしたがって問題解決のため次々と新しい知識が必要になりました。例えば、初めはネットワークを物理的に構築するための知識が必要です。次には、構築したネットワークをソフトウェア的に設定しなければなりません。設定が終われば、ネットワークの性能を測定するためのソフトウェアを作らなければならないと言うように、一つ問題が解決すると次の問題が発生するのです。卒業研究は結果を出すのはもちろん大事ですが、発生する問題を一つ一つ解決していく過程の方が重要だと思います。問題を解決していく過程で新たな発見があったり、新たな知識を身につけたりと、自分にプラスになることがたくさんあると思うからです。今回の卒業研究で自分にプラスになったものといえば、ネットワ

ークの知識はもちろん、プログラミングに対する知識も若干身につける事が出来ました。その他にもたくさん得たものはあり、卒業研究をやってよかったと思っています。

謝辞

最後に、夜遅くまで熱心にご指導して下さった野中先生、今回の卒業研究を行うにあたり、実験機材や予算の枠を組んで下さった神戸先生。

自分も卒業研究あるのに、自分たちが困ったときにはいろいろとネットワークのことについて教えてくれたり助けてくれた正岡君、濱田君、中野君。

それから、わからない事だらけのこの卒業研究を一緒にがんばってきた山口君、石川君、森本君。本当にありがとうございました。皆様のお力添えのおかげで、なんとかここまで来ることができました。特に野中先生には、途中で卒業研究の内容を変更したい。」等と言う私のわがまを聞いて頂いた事を感謝しています。そのことでいろいろ迷惑をかけた濱田君、本当にすみませんでした。ここに名前を挙げさせてもらった方々には、大変お世話になり感謝しております。この紙面を借りてお礼を申し上げたいと思います。

ありがとうございました。そして、一緒に卒業研究をがんばってきたみんなに、ごくろうさま。