

# 複合サービス・ローカル・エリア ネットワークの性能評価

江崎修司、西田竹志、宮原秀夫、高島堅助

(大阪大学・基礎工学部)

## 1. はじめに

オフィス・オートメーション(OA)、ラボラトリー・オートメーション(LA)の発達は、近年めざましいものがある。特に各種入出力装置が高速化され、人間がより使いやすいシステムになってきているとともに、従来のオフィスでは考えられなかったような情報までデータ化され、処理されるようになってきた(例えば、電子メール、ワードプロセッサなどによる文書、音声メールによる音声、ファクシミリやCADなどによる画像など)。また、個々に発達してきているシステムを有機的に接続し、統合化されたOA、LAシステムを構築する手段として、ローカル・エリア・ネットワーク(LAN)が脚光を浴びるようになって久しいが、いまだに、データ、画像、音声などを総合的にサービスを行なうネットワークシステムが構築されるには至っていない。

これは、ひとつには、異なった種類の機器をいかに整合性よく接続するかという物理的な問題、個々の機器のデータ処理における通信手順の相違をネットワークシステム側で、どのように吸収するかというプロトコル上の問題などが、障害となっていると考えられる。また、一方、構築されたネットワークシステムの性能がはたして個々のトラヒックが要求するサービス品質を満足させるか、将来のネットワークシステムの拡張に対しても、現在の伝送サービス品質があまり劣化しないようなネットワークシステムを構築するにはどのような方式、構成が適当であるのかといった、ネットワークシステム自体の性能評価が、欠けているためでもあると思われる。

そこで、本論文では、著者らが開発したLANシステム性能評価のためのシミュレータ: PLANS [1] を用いて、様々なトラヒック状況、接続形態を想定し、種々のトラヒックが同一網上を伝送される複合サービス・ローカル・エリア・ネットワーク(IS-LAN: Integrated Service Local Area Networks)のシミュレーションによる事例研究について述べる。

## 2. ネットワーク・モデル

本研究において用いたPLANSでは、LANに接続される端末は、図1に示すようなネットワーク・インターフェース・ユニット(NIU)を介してチャネルにアクセスするという形態がとられている。

また、音声端末(本研究では電話だけを考えている)は、図2に示すようにマルチプレクサを介してNIUに接続されているとしている。音声はデジタル化され、有音部のみをバケット化したものとし、マルチプレクサにより何台かの音声端末が集線され、NIUに接続されるものとしている。

N I U は複数の送信バッファをもつことができ（図 1）、各バッファには優先権を付与することができ、N I U は優先権の高いバッファからパケットの送信を行なう。以後、ある端末に優先権を与えると、1つのN I Uのバッファ内で優先的に送信することを指す。

### 3. シミュレーション・モデル

#### 3. 1 シミュレーション・モデル

ここでは、この研究の対象とするネットワークのシミュレーション・モデルについて示す。

まず、チャンネルへのアクセス方式は 1-persistent CSMA/C D 方式 [2] とする。また、システム・パラメータを以下に示す。

|               |        |           |
|---------------|--------|-----------|
| チャンネル容量       | = 10   | [ Mbps ]  |
| パケットヘッダ長      | = 256  | [ bits ]  |
| ケーブル長         | = 1    | [ Km ]    |
| ボコーディング速度     | = 16   | [ Kbps ]  |
| 音声パケット長       | = 0.5  | [ Kbits ] |
| ジャム長          | = 0.02 | [ msec ]  |
| 音声パケットの最大再送回数 | = 1    | [ 回 ]     |

ある端末のトラヒック強度とは、次式で定義されるものとする。

$$(\text{平均メッセージ到着率}) * (\text{平均メッセージ長}) / (\text{チャンネル容量})$$

次に、この LAN に接続される端末を種類別に示す。

#### A. データ端末 (TSS 端末、画像端末、ホスト・コンピュータ)

この LAN に接続されるデータ端末の属性については表 1 に示す。

ただし、表 1 において M T は次のような意味をもつ。

M T = 0 : メッセージ長は固定長

M T = 1 : メッセージ長は、表 1 のメッセージ・サイズを平均とする指数分布に従う

また、メッセージの発生は、前のメッセージが送信成功してから表 1 の到着率を平均とするポアソン分布に従うものとし、その発生率が平常時より大きい時間帯をラッシュ・アワーとする。

この論文では、端末 (# 1) を TSS 端末、端末 (# 2、# 3) を画像端末、# 1 2 をホスト・コンピュータとして考えている。

## B. 音声端末（電話）

このLANに接続される音声端末の属性については表2に示す。

さらに、NIUについて以下に示す。

- ・ I/Oポート数 = 24 [ /NIU ]
- ・ バッファ・サイズ = 20.0 [ Kbits/NIU ]

以上に示した端末、NIUを用いて次のような5個のシミュレーション・モデルを形成する。

- モデル1 : 20台のNIUで、NIU1台につきデータ端末（#1）5台の割合で接続。
- モデル2-a : 25台のNIUで、20台のNIUにはNIU1台につきデータ端末（#1）5台、5台のNIUにはデータ端末（#2）5台が、NIU1台につき1台の割合で接続。
- モデル2-b : モデル2-aと同じ形態でデータ端末（#2）のかわりにデータ端末（#3）が接続されている。
- モデル2-c : 20台のNIUで、15台のNIUには、NIU1台あたり5台のデータ端末（#1）を接続し、5台のNIUには、NIU1台あたり5台のデータ端末（#1）と1台のデータ端末（#3）を接続。
- モデル3-a : 20台のNIUで、15台のNIUには、NIU1台あたり5台のデータ端末（#1）を接続し、5台のNIUには、NIU1台あたり5台のデータ端末（#1）と1台のデータ端末（#2）を接続。
- モデル3-b : モデル3-aと同じ構成をもつが、データ端末（#1）がデータ端末（#2）に対して優先権をもつ。
- モデル4-a : 20台のNIUで、15台のNIUには、NIU1台あたり5台データ端末（#1）と1台のマルチプレクサが接続され、5台のNIUには、NIU1台あたり5台のデータ端末（#1）と1台のデータ端末（#2）と1台のマルチプレクサを接続。各マルチプレクサにはそれぞれ5台ずつ音声端末（#4）を接続。
- モデル4-b : モデル4-aと同じ構成をもつが、その優先度を（音声端末（#4）） > （データ端末（#1、#2））とする。
- モデル4-c : モデル4-aでの音声端末（#4）をすべて音声端末（#5）におきかえたもの。
- モデル5-a : 各データ端末のメッセージ発生率を変化させ、データ端末の総トラフィック強度が、0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10となるようにデータ端末（#1）1000台を、NIU1台あたり20台の割合で接続する。また、そのトラフィック量の半分のトラフィック量をもつホスト・コンピュータ2台をNIU1台あたり1台の割合で接続する。

モデル5-b : データ端末の総トラヒック強度が、0.02,0.04,0.06,0.08,0.10  
となるようにデータ端末( # 1 ) を接続するが、このモデルでは  
各データ端末の台数を( 1000,2000 というように) 変化させる。

以上のモデルすべてにおいて、ホスト・コンピュータ( # 6 ) 2台がN I U 1  
台につき1台の割合で接続されているものとし、また、モデル3-b、モデル4  
- b においてはN I U 1台あたりのバッファ・サイズを音声端末、データ端末そ  
れぞれ10 [ Kbits] とする。

### 3. 2 シミュレーションの目的

モデル1ではT S S 端末のみを接続した場合のネットワーク特性を明かにする。  
モデル2では、T S S 端末以外に画像端末が接続された場合、同じ量の画像の  
転送が短時間に集中的に行なわれるのと、長時間分散されて行なわれるのとの比  
較( 2 - a , 2 - b )、画像端末がT S S 端末と同じN I U に接続されるのと、  
そうでない場合との比較( 2 - b , 2 - c )を行なう。

モデル3では、画像端末がT S S 端末と同じN I U に接続された場合、T S S  
端末に優先権を与えた場合とそうでない場合の比較を行なう。

モデル4では、モデル3で、さらに同じN I U に音声端末が加わった場合音声  
端末に優先権を与えない場合と、与えた場合の比較( 4 - a , 4 - b ) 音声端末  
がラッシュアワーを持つ場合とそうでない場合の比較( 4 - c , 4 - a ) を行な  
う。

モデル5ではチャンネルへの負荷が表面的には同じように増加したが、それが端  
末1台当たりのメッセージ発生率が増加した場合と、メッセージ発生率は同じだ  
が端末数が増加した場合との比較を行なう。

### 3. 3 評価基準

3. 1 に掲げた各モデルについてシミュレーションを行ないその際のシステムの  
挙動を評価する基準として、以下にあげるものを考える。

- ・平均メッセージ遅延 : メッセージの最初のケットがN I U に到着した  
時点から、このメッセージの最後のケットの伝  
送が終了するまでの平均時間( 単位はmsec )
- ・アンダーフロー率 : ケット遅延がある許容時間( 音声ケットにつ  
いては50 msec 、データケットについては100  
msec ) を越える割合  
( ここでケット遅延とは、ケットがN I U バ  
ッファに入ってから伝送成功するまでの時間であ

）る

- ・ オーバーフロー率 : バッファがいっぱいで棄却されるメッセージの割合
- ・ バケット棄却率 : 再送回数がある許容回数（音声バケットについては1回、データバケットについては16回）を越えるバケットの割合

#### 4. シミュレーション結果

##### 4.1 シミュレーション結果と考察

- ・ モデル1について

平均メッセージ遅延 = 0.1368 [msec]

メッセージ遅延の分散 = 0.001882

これはTSS端末100台でホスト・コンピュータ2台を使用している状況であるが、このような小規模のシステムでは伝送遅延は問題ない。

- ・ モデル2について

モデル2について、a, bそれぞれのTSS端末の特性を比較したものを図3に示す。図3には平均メッセージ遅延、アンダーフロー率の時間的変化を示している。

集中的に画像転送を行なうモデル2-bの方は、短時間であるがTSS端末に非常に大きな影響を与えるのに対し、分散して転送する2-aの方は、長時間にわたって小さいのであるがTSS端末に影響を与えている。また、それぞれの端末が、10:10、10:30、にメッセージ発生率が0になってから端末（#1）におよぼす影響は両モデルとも10分以内でなくなっているが、モデル2-bの方が早く定常状態にもどっている。

次にモデル2-b, cについての平均メッセージ遅延、アンダーフロー率を比較したものを図4に示す。

この図から、画像端末のように非常に負荷の大きいような端末は単独にNIUに接続した方（モデル2-b）が良いことがわかる。また、モデル2-cでは、一時的な負荷による他の端末におよぼす影響がかなり時間が経過した後も残っていることがわかる。これは、NIU間でのトラヒック量の不均衡がもたらすものであると思われる。

また、これらのモデルにおいてメッセージ遅延の割にアンダーフロー率が小さいのは、チャンネルでの伝送遅延はそれほど大きくないのであるが、メッセージが発生してから、端末での待ち時間、NIUの送信バッファでの待ち時間が大きいためと思われる。

#### ・モデル3について

モデル3について、 $a$ 、 $b$ それぞれの平均メッセージ遅延、アンダーフロー率を比較したものを図5に示す。

優先権を与えた場合と、与えない場合との差異はほとんどみられない。図5は、平均メッセージ遅延とアンダーフロー率を示したものであるが、他の評価基準についても同様のことが言える。これは次のような理由による。

各N I Uで優先処理を行なっているとしても、あるN I UでT S SメッセージがないとそのN I Uからは、他のN I UにT S Sメッセージがあるのに画像転送を行なってしまう、そのためT S Sメッセージは画像端末からの影響を受けてしまうからである。

この結果より、このような形態での優先処理はあまり意味がなく、ネットワーク全体での優先権処理を行なうプロトコルを考えなければ、T S S端末の遅延は改善されないと思われる。

#### ・モデル4について

モデル4の平均パケット遅延、モデル4-a、 $b$ のパケット棄却率とオーバーフロー率、モデル4-a、 $c$ のオーバーフロー率、アンダーフロー率の時間的変化をそれぞれ図6、7、8に示す。まず、音声トラヒックに優先権を与えない場合と、与えた場合(4-a、4-b)の比較であるが、4-aの方が4-bよりパケット棄却率が小さいのに平均パケット遅延が大きい。これは、パケット遅延は送信成功したものみの平均をとっており、4-bの方は送信成功したものが少なく、ほとんど1回の送信で成功している(平均再送率はほとんど0)ためであると思われる。

また、パケット棄却率が4-bの方が大きいのは、このモデルでは音声送信用に別のバッファを設けているため、N I Uにはいって実際に送信されるパケット数の多い、(オーバーフロー率が4-aの方が大きい)ためと思われる。この比較より、優先権をつけることの効果はあまりなく、音声用に別の送信バッファを設けることによって、オーバーフロー率が小さくできるが、パケット棄却が大きくなってしまい、という欠点をもつ。しかし、平均遅延は優先権なしの方と異なって音声パケット通信で許容される値(50 msec)を満たしている。

また、音声通信で問題となる要素であるパケット紛失率であるが、これは(オーバーフロー率)、(パケット棄却率)、(アンダーフロー率)の和で与えられる。これはどちらのモデルでも音声パケット通信で許容される10%のぎりぎりのところを満たしている。4-cの方も、バッファでのオーバーフローが大きいため(図8)、実際に送信されているパケット数は少ないので、平均パケット遅延は小さくなっている。よって、優先権処理をするのではなく、音声送信用に別のバッファを設けてバッファ・オーバーフロー率を小さくし、最大再送回数をもう少し大きい値(現在は1)にして、パケット棄却率を小さくするという構成が最適であると思われる。

#### ・モデル5について

モデル5について、a, bそれぞれを比較したものを図9に示す。図9における横軸はデータ端末全体の総トラヒック強度であり、縦軸は平均メッセージ遅延である。ただし、モデル5-bにおいては、シミュレーションを行なった計算機のメモリ不足のため、総トラヒック強度が0.06までのものしか示していない。

平均メッセージ遅延に関して言えば、bはaのほぼ2倍の遅延があることが図からわかる。これは、端末数の増加（ひいてはN I Uの増加）により衝突が起こりやすくなり、そのため再送が多く行なわれるためであると思われる。よって、将来のLANの環境として、端末の接続台数を増すよりも現在の端末の使用率を上げる方がネットワーク性能としてはよいと思われる。

#### 5. むすび

この論文では音声、画像、TSSの3種のトラヒックと種々の接続形態について、あるトラヒックが他のトラヒックに与える影響についてシミュレーション結果より、定量的に考察した。その結果、あるトラヒックに優先権を付与することが必ずしもよいわけではなく、かえって悪い場合もあることが示された。また、ネットワーク全体のトラヒック量が一定の場合、端末の接続台数を増すよりも個々の使用率を上げた方がよい、ということも明かにされた。

本論文では、CSMA/CDを扱っているが、今後は、トークン・リングの場合の性能評価を検討していきたい。

#### [参考文献]

- [1] T.Nishida, M.Murata, H.Miyahara and K.Takashima, "PLANS: Modeling and Simulation System for LAN," Proc. International Conference on Modeling Techniques and Tools for Performance Analysis, May.1984
- [2] Fouad A.Tobagi and V.Bruce Hunt, "Performance Analysis of Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection," Computer Networks, vol.4, pp245-259, 1980
- [3] Stephen S.Lavenberg, "Computer Performance Modeling handbook," Academic Press, 1983

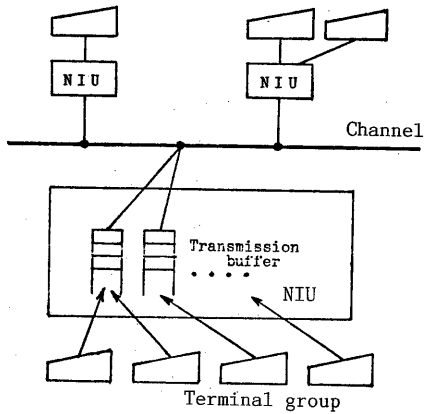


Fig.1 Network Interface Unit (NIU) structure & configuration

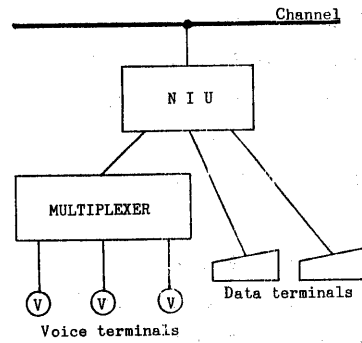


Fig.2 Connection example of voice terminals

| # | arrival rate<br>(mess./sec) | MT | message size<br>(Kbits) | packet length<br>(Kbits) | rush hour<br>time | arrival rate<br>(mess./sec) |
|---|-----------------------------|----|-------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1 | 0.05                        | 1  | 0.5                     | 1.0                      | -                 | -                           |
| 2 | 0.00                        | 0  | 32000.0                 | 1.0                      | 10:00-10:30       | 0.004                       |
| 3 | 0.00                        | 0  | 32000.0                 | 1.0                      | 10:00-10:10       | 0.012                       |
| 6 | 2.50                        | 1  | 4.0                     | 1.0                      | -                 | -                           |

Table.1 Characteristics of data terminals and host computer

| # | load<br>(erlang) | rush hour<br>time | load<br>(erlang) |
|---|------------------|-------------------|------------------|
| 4 | 0.15             | -                 | -                |
| 5 | 0.15             | 09:00-11:00       | 0.30             |

Table.2 Characteristics of voice terminals

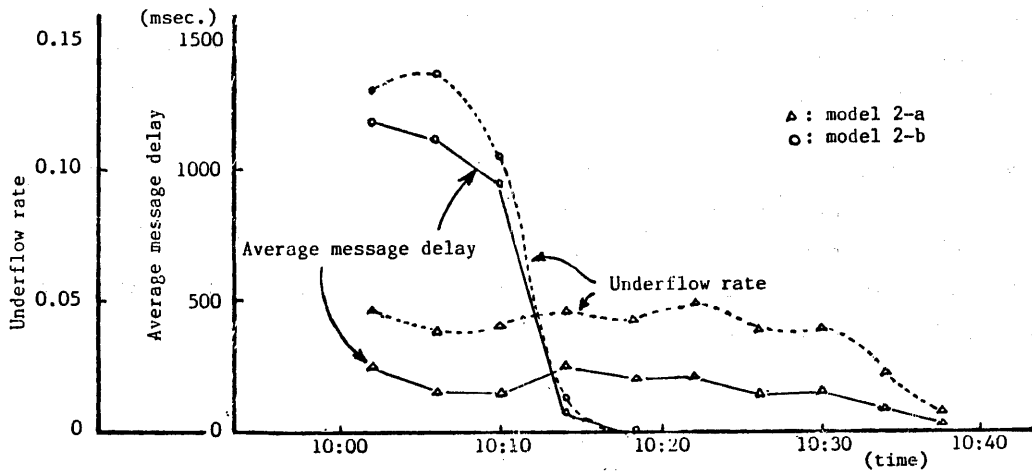


Fig.3 Average message delay & underflow rate (TSS terminal in model 2-a,b)



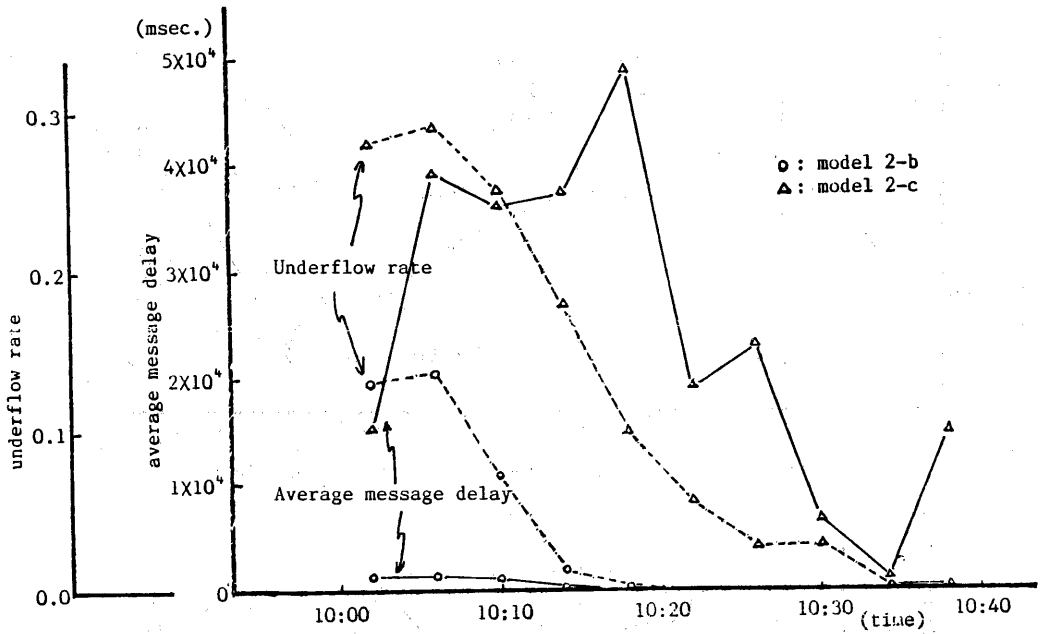


Fig.4 Average message delay & underflow rate (TSS terminal in model 2-b,c)

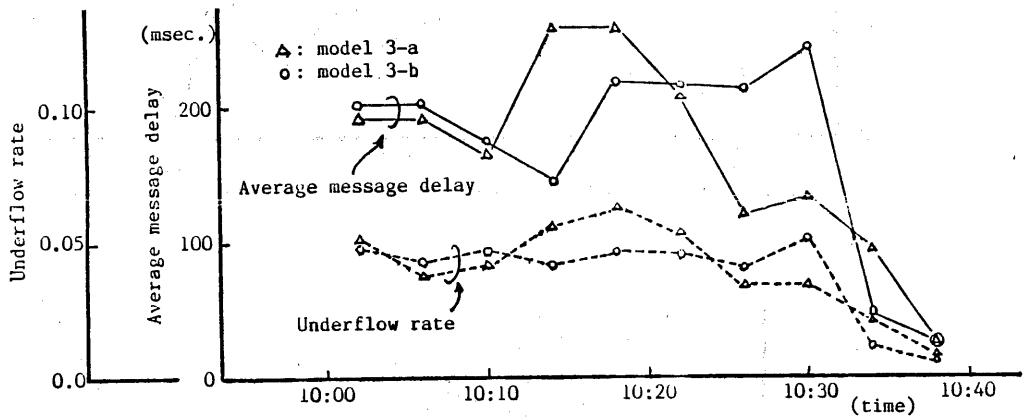


Fig.5 Average message delay & underflow rate (TSS terminal in model 3-a,b)

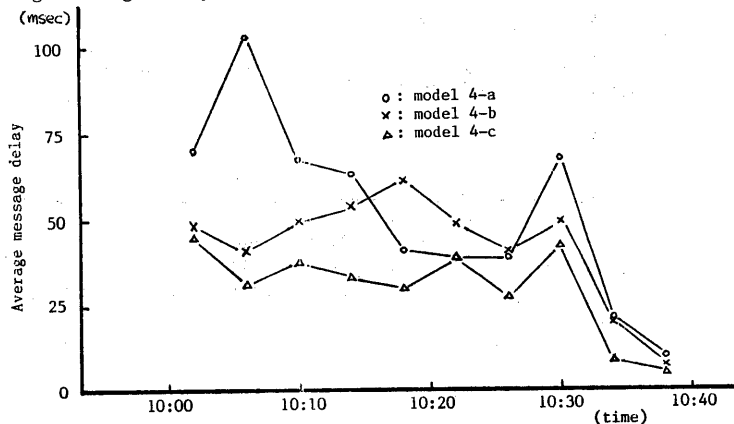


Fig.6 Average message delay (voice terminal in model 4-a,b,c)

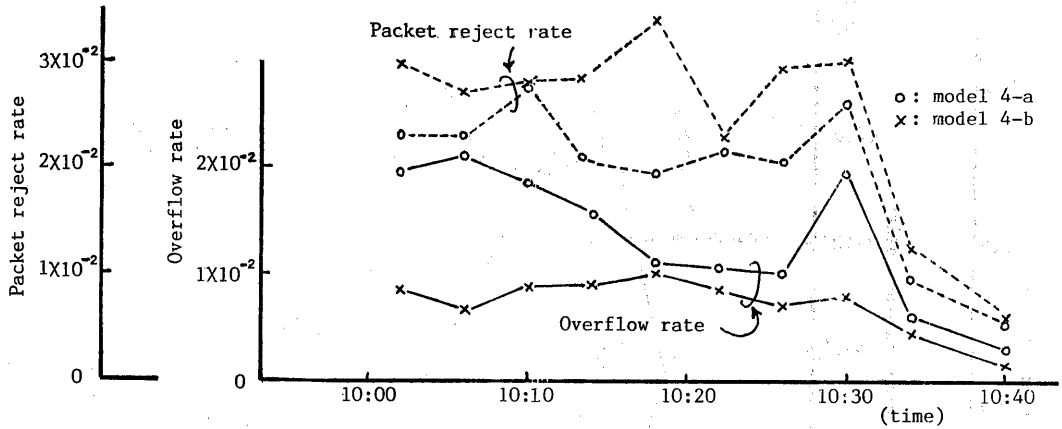


Fig.7 Packet reject rate & underflow rate (voice terminal in model 4-a,b)

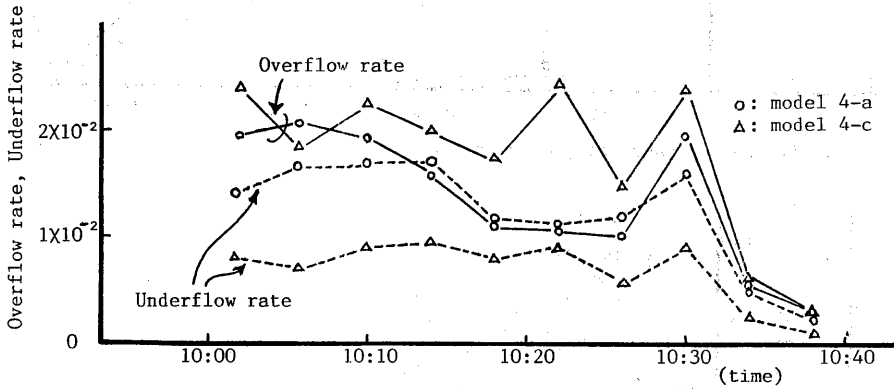


Fig.8 Overflow rate & underflow rate (voice terminal in model 4-a,c)

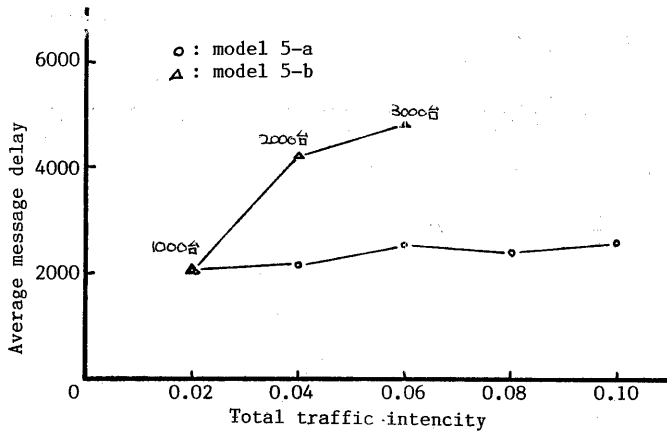


Fig.9 Average message delay vs. total traffic intensity (TSS terminal in model 5-a,b)