

ウィンドウ方式を用いたパケット網の遅延解析

大阪大学工学部	鈴木 洋 (Hiroshi Suzuki)
神戸商科大学	秋吉 一郎 (Ichiro Akiyoshi)
大阪大学工学部	中西 暉 (Hikaru Nakanishi)
同	真田 英彦 (Hidehiko Sanada)
同	手塚 慶一 (Yoshikazu Tezuka)

1. まえがき

エンド・ツー・エンドウィンドウ(W)フロー制御を用いたパケット交換網では、Wサイズの決定が網の設計や性能評価の上で重要な問題である。従来この問題に対して種々の研究がなされてきたが、^{[1]~[3]}特に複数の論理チャネル(LC)を持つ待時系モデルにおいては、厳密な解析が非常に困難であるため未解決の部分が多いのが現状である。このような待時系モデルにおける最適W割当て問題に対する解法としては、数値的解法^[4]、もしくはシミュレーションを併用した近似解析^[5]が一般的である。その中でも Reiser^[8]は Norton の等価流量法^{[6][7]}を用いて網外遅延の近似解析を行い、さらに待時系単一LCモデルにおける最適Wサイズについて考察している。しかし複

数LCトラヒック間の相互影響が十分考慮されておらず、一般性に欠けると考えられる。

そこで本稿では、まず、単一LCモデルにおいて全域平衡方程式から厳密解の陰表現式を導くことにより等価流量法による近似の適用性について考察する。次に、LCトラヒック間の相互影響を反映する実効処理率を数値的に求め、さらに等価流量法を適用することにより複数LCモデルにおける全遅延(網外遅延+網内遅延)の近似解析を行う。本解析は、複数LCモデルにおける最適W割当て問題に対する解法を与えるものである。

2. 解析モデル・仮定

図7は、本稿で用いる待時系の複数LCモデルであり、発着信局間論理チャンネルLC_rごとにW_rのウィンドウ制御が行われるものである。発信局の網外にはLC_rごとに入力待ち行列IQ_rがあり、発生したパケットはWに空きがないときIQに並び、Wに空きがあれば即時に網内へ入る。網内のパケットが目的局に到着すると、Wの空きを示すACKが発信局に返送される。このときIQにパケットが並んでいれば、その先頭が網に入る。解析を行うにあたり、次の仮定を設ける。

- (1) LC_rパケットはIQ_rへ平均 λ_r のポアソン到着をする。
- (2) 回線としてのパケットの伝送処理時間は平均 μ_r^{-1} の指数分布

に従い、各回線での処理時間分布は独立である(独立仮設)。

又、各LCパケットの平均処理時間は同一である。

(3)局処理時間は、伝送処理時間に比べて小さく、無視できる。

(4)局バッファ容量, IQの容量は無限大とする

(5)ACKの返送時間は無視する。

複数LCモデルにおいて一つのLCに注目すると、L段伝送LCは、図1のように網内総客数に制限があり、しかも外部待ち行列をもつL段直列待ち行列モデルとして捉えられる。

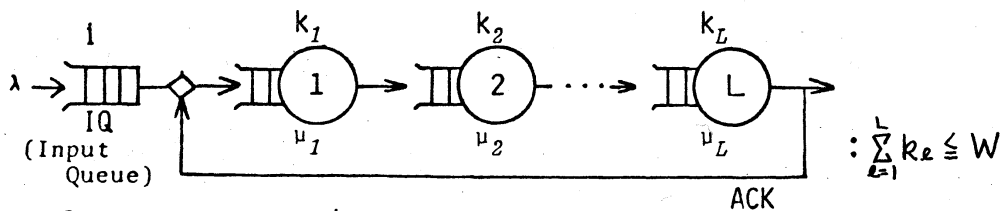


図1. L段伝送LCの待ち行列モデル

3. 全遅延の近似解析

3.1 単一LCモデル

図1の単一LCモデルの全遅延の解析を行う。

まず、以下の記号を定義する。

n : IQに並んでいるパケット数

k_l : 第 l 回線に滞留するパケット数

$\mathbf{k} \equiv (k_1, k_2, \dots, k_l, \dots, k_L)$, $\dim \mathbf{k} = L$

: 網内の状態を表す状態ベクトル

$\mathbf{k}(l^+) \equiv (k_1, \dots, k_{l+1}, \dots, k_L)$

$\mathbf{k}(l^-) \equiv (k_1, \dots, k_{l-1}, \dots, k_L)$

$\mathbf{k}(l, m) \equiv (k_1, \dots, k_{l+1}, \dots, k_{m-1}, \dots, k_L)$

$\mathbf{0} \equiv (0, 0, \dots, 0)$, $\dim \mathbf{0} = L$

W : ウィンドウサイズ

$|k| \equiv \sum_{l=1}^L k_l$: 使用W数(網内容数) $\leq W$

$$\delta_l(k) = \begin{cases} 0, & k_l \leq 0 \\ 1, & k_l \geq 1 \end{cases}, \quad \delta(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 0 \\ 1, & k \geq 1 \end{cases}$$

状態 (i, k) : IQのパケット数 i が i で、網内の状態が k である。

状態 (i, k) : IQのパケット数 i が i で、使用W数 $|k| = k$ である。

図2のようにLCの閉塞が生じるモデルでは局所平衡が成立しないため、定常状態確率 $P(i, k)$ の厳密解を求めることは通常困難である。一方、本稿の関心事は網外及び網内遅延であるので、状態を簡略化した定常状態確率 $Q(i, k)$ を求めれば十分である。ここでは、以下のように $P(i, k)$ の全域平衡方程式を変形することにより、 $Q(i, k)$ の厳密解の陰表現式を導く。 $P(i, k)$ の全域平衡方程式を以下に示す。

• $|k| = 0$ のとき,

$$\lambda P(0, 0) = \mu_L P(0, 0(L+)) \quad (1)$$

• $0 < |k| < W$ のとき,

$$\begin{aligned} [\lambda + \sum_{l=1}^L \mu_l \delta_l(k)] P(0, k) &= \lambda \delta_1(k) P(0, k(1-)) \\ &+ \sum_{l=1}^{L-1} \mu_l \delta_{l+1}(k) P(0, k(l, l+1)) + \mu_L P(0, k(L+)) \end{aligned} \quad (2)$$

• $|k| = W, i = 0$ のとき,

$$\begin{aligned} [\lambda + \sum_{l=1}^L \mu_l \delta_l(k)] P(0, k) &= \lambda \delta_1(k) P(0, k(1-)) \\ &+ \sum_{l=1}^{L-1} \mu_l \delta_{l+1}(k) P(0, k(l, l+1)) + \mu_L \delta_1(k) P(1, k(L, 1)) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\bullet |\mathbf{k}| = W, i > 0$$

$$[\lambda + \sum_{l=1}^L \mu_l \delta_l(\mathbf{k})] P(i, \mathbf{k}) = \lambda P(i-1, \mathbf{k}) + \sum_{l=1}^{L-1} \mu_l \delta_{l+1}(\mathbf{k}) P(i, \mathbf{k}(l, l+1)) + \mu_L \delta_1(\mathbf{k}) P(i+1, \mathbf{k}(L, 1)) \quad (4)$$

ここで、さらに次の記号を定義する。

$$P_l(i, j_l, j) \triangleq \sum_{\substack{|\mathbf{k}| - k_l = j \\ k_l = j_l}} P(i, \mathbf{k}) \quad (5)$$

$$P_{l,m}(i, j_l, j_m, j) \triangleq \sum_{\substack{|\mathbf{k}| - k_l - k_m = j \\ k_l = j_l, k_m = j_m}} P(i, \mathbf{k}) \quad (6)$$

従って、 $Q(i, k)$ は次のように表せる。

$$Q(i, k) \triangleq \sum_{|\mathbf{k}|=k} P(i, \mathbf{k}) = \sum_{k_l=0}^k P_l(i, k_l, k-k_l) = \sum_{k_l=0}^k \sum_{k_m=0}^{k-k_l} P_{l,m}(i, k_l, k_m, k-k_l-k_m) \quad (7)$$

式(7)から、次の関係式が得られる。

$$\sum_{|\mathbf{k}|=k} P(i, \mathbf{k}) \delta_l(\mathbf{k}) = Q(i, k) - P_l(i, 0, k) \quad (8)$$

$$\sum_{|\mathbf{k}|=k} P(i, \mathbf{k}(l+)) = Q(i, k+1) - P_l(i, 0, k+1) \quad (9)$$

$$\sum_{|\mathbf{k}|=k} P(i, \mathbf{k}(l-)) \delta_l(\mathbf{k}) = Q(i, k-1) \quad (10)$$

$$\sum_{|\mathbf{k}|=k} P(i, \mathbf{k}(l, m)) \delta_m(\mathbf{k}) = Q(i, k) - P_l(i, 0, k) \quad (11)$$

式(1)~(4)について、各々 $|\mathbf{k}|=k$ に於る $P(i, \mathbf{k})$ をすべて加え、式(8)~(11)を適用することにより、以下の $Q(i, k)$ の関係式を得る。

$$\lambda Q(0, k) = \mu_L \{ Q(0, k+1) - P_L(0, 0, k+1) \} \quad 0 \leq k < W \quad (12)$$

$$\lambda Q(i, W) = \mu_L \{ Q(i+1, W) - P_L(i+1, 0, W) \} \quad 0 \leq i \quad (13)$$

従って、 $Q(i, k)$ は次のように表現できる。

$$Q(i,k) = \begin{cases} Q(0,0) \cdot \prod_{j=1}^k \left[\frac{\lambda}{\gamma(0,j)} \right] & i=0, 1 \leq k \leq W \\ Q(0,0) \cdot \prod_{j=1}^W \left[\frac{\lambda}{\gamma(0,j)} \right] \cdot \prod_{j=1}^i \left[\frac{\lambda}{\gamma(j,W)} \right] & 1 \leq i, k=W \end{cases} \quad (14)$$

但し、 $\gamma(i,k)$ は状態 (i,k) のときの平均スループットであり、次式で表せる。

$$\begin{aligned} \gamma(i,k) &\triangleq \mu_L \cdot \text{Prob}[\text{ノードLが busy} \mid \text{状態}(i,k)] \\ &= \mu_L \cdot [1 - P_L(i,0,k)/Q(i,k)] \end{aligned} \quad (15)$$

ここで $\gamma(i,k)$ は $P(i,k)$ から求めなければならぬので $Q(i,k)$ の厳密解析の困難さに変りはない。しかしながら $Q(i,k)$ が式(14)のように表現できることは、以下のようなモデル変換による近似の正当性を保証している。つまり、式(14)は、図1のモデルが図2に示すような系内容数に依存する処理率 $\gamma(i,k)$ をもつM/M/1モデルに等価変換されていることを意味しており、このような等価変換を行う近似手法、すなわち等価流量法が本モデルに適用可能である。

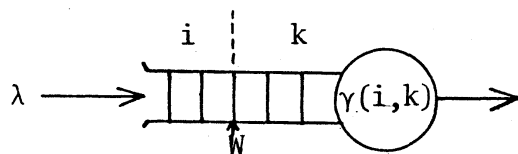


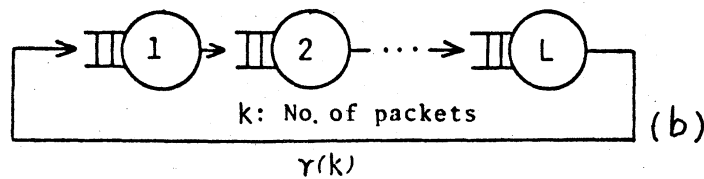
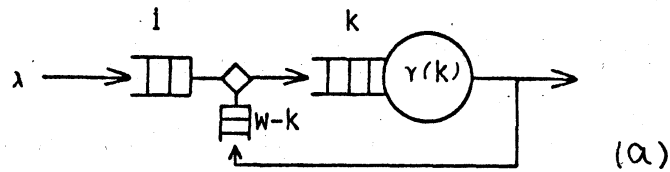
図2. LCの等価変換モデル

等価流量法を用いる場合、スループット γ の計算が問題に

なるが、ここでは Reiser^[8]の方法に従い "Norton equivalent server" を用いて近似する。すなわち、 $\gamma(i, k)$ を図3-(b) の人口 k の閉鎖型待ち行列網のスループット $\gamma(k)$ として近似する。図3-(b)

のモデルは積形式解を持つので、 $\gamma(k)$ は容易に求めることができる。

本手法では、 $\gamma(i, k)$ を網内容数 k のみに依存し



た $\gamma(k)$ によって近似し、図3. "Norton equivalent server" のスループット $\gamma(k)$ IQ での待ち行列長は無視している。従って、 IQ にパケットが並ぶ場合が多くなる時、すなわち入力規制が強い時に誤差が大きくなると考えられる。

以上より、 $Q(i, k)$ に対する近似解が得られ、 \bar{n} , \bar{k} が求まる。さらにリトルの公式を用いると、網外、及び網内遅延が計算でき、全遅延はこれらの和として求まる。

3.2 複数LCモデル

図7のように複数のLCが同一の物理チャネルを共有している場合の全遅延に対する数値解法について述べる。複数LCモデルの解析手段として、損失系モデルにおいては、各LCを閉鎖型マルコフ部分連鎖としてモデル化し、平衡状態方程式の積形式解を利用する方法がある。^[3]しかし待時系モデル

では、発信局でのLCの閉塞を配慮する必要があり、このよう
な取扱いは不可能となる。そこで次のように、各中継段に
おける他のLCトラヒックとの相互干渉を加味した実効処理
時間を近似的に求めることにより、複数LCモデルをより簡
単な単一LCモデルに分解する手法を提案する。本手法によ
り分解された各LCの全遅延は、3.1の方法によって求まる。

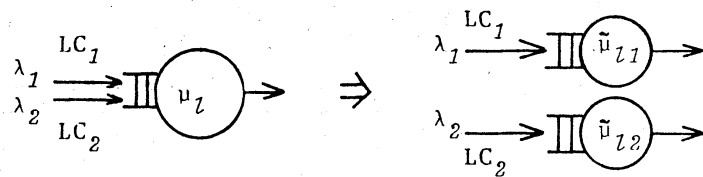


図4. 回線 l における複LCの分解

実効処理時間の計算方法としては、次の3つの方法が考え
られる。

(1) 流体近似 (Fluid Approximation) ^[2]

回線 l の処理能力 μ_l のうちの一部が LC_r に与えられ、残
りの能力は、 l を通過するLCの集合 $R(l)$ のうち LC_r 以外に
割当てられるとする近似法である。実効処理時間は、次式で
与えられる。

$$\tilde{\tau}_{lr} = \left[\mu_l - \sum_{\substack{j \in R(l) \\ j \neq r}} \lambda_j \right]^{-1} \quad (16)$$

(2) 損失系近似 (Loss System Approximation)

LC_r 以外のLCをすべて損失系とみよすことにより、図3-
(b)のモデルをMulti-Closed Chainモデルに拡張する。この損失
系近似モデルは積形式解を持つので、 LC_r の使用W数が k の

ときのスループット $\bar{\mu}(k)$ を直接求めることができる。

(3) 反復法 (Iterative Method)

各回線での各 LC パケットの平均滞留数を独立に求め、これらが複数 LC 間で成立すべき関係式を満たすように実効処理時間を修正し、再度 LC を独立に解析する。

以上3つの方法のうち、

(1) は、短時間で遅延のおよその値を知るのには便利であるが、反面他の LC の W サイズの影響が表現できない。

(2) は、他の LC トラヒックからの干渉を小さく見積もることになり、又、計算時間は網規模が大きくなると飛躍的に長くなる。

(3) は、数値計算上の不安定さが問題になるが、LC 間の相互影響は十分に表現できる。

と考えられる。従って、W 割当て問題の解法としては反復法による近似が最も有効だと考えられる。以下では反復法について詳しく述べる。まず、次の記号を定義する。

$R(l)$: 回線 l を通過する LC の集合

$|R(l)|$: $R(l)$ の要素数

$P(r)$: LC r が通過する中継回線の集合

τ_l : ($\cong \mu^{-1}$)

$\tilde{\tau}_{er}$: LC r パケットの回線 l での実効平均処理時間

t_{er} : LC_r パケットの回線 l での平均滞留時間

n_{er} : LC_r パケットの回線 l での平均滞留パケット数

$n_{el}(j)$: LC_j パケットが回線 l に到着時に見たす LC_r の平均滞留パケット数

$W \triangleq (W_1, \dots, W_k)$, $\lambda \triangleq (\lambda_1, \dots, \lambda_R)$

各 LC_r に対して $\tilde{t}_{er}, l \in P(r)$ を与えると, 3.7 から $Q_r(i, k)$ と $\bar{k}_{er}(k)$ が求まる。但し $\bar{k}_{er}(k)$ は, 図3-(b)のモデルにおける網内容数が k の時の回線 l での平均滞留パケット数である。これらを用いて, n_{er}, t_{er} は次のように近似計算できる。

$$\begin{aligned} \cdot n_{lr} &\approx \sum_{k=1}^W Q_r(0, k) \cdot \bar{k}_{lr}(k) + \sum_{i=1}^{\infty} Q_r(i, W) \cdot \bar{k}_{lr}(W) \quad , l \in P(r) \\ \cdot t_{lr} &= n_{lr} / \lambda_r \end{aligned} \quad (17)$$

サービス時間に関する無記憶性より, LC_r パケットが回線 l で費やす遅延は, 以下のように表せる。

$$t_{lr} = \tau_l \cdot \left[1 + \sum_{j \in R(l)} n_{lj}^{(r)} \right] \quad , l \in P(r) \quad (18)$$

$$t_{lr} = \tilde{\tau}_{lr} \cdot [1 + n_{lr}^{(r)}] \quad , l \in P(r) \quad (19)$$

ここで, 式(18)は複数 LC 間の相互干渉を表現しており, 式(19)は有効処理時間の定義式でもある。式(17)(19)より, \tilde{t}_{er} を与えると $n_{er}(r)$ が求まる。一方, $n_{el}(r), j \neq r$ については,

$$n_{lj}^{(j)} \leq n_{lj}^{(r)} \leq n_{lj} \quad (20)$$

なる関係が成立し,

$$W_j \rightarrow \infty \text{ のとき } n_{lj}(j) \rightarrow n_{lj} \quad (21)$$

$$\sum_{l \in P(j)} [n_{lj} - n_{lj}(j)] \leq 1 \quad (22)$$

であるので, 次のように近似する.

$$n_{lj}(r) \approx a_l * n_{lj}(j) + (1 - a_l) * n_{lj} \quad , \quad j \neq r$$

但し, $a_l = |R(l)|^{-1}$ (23)

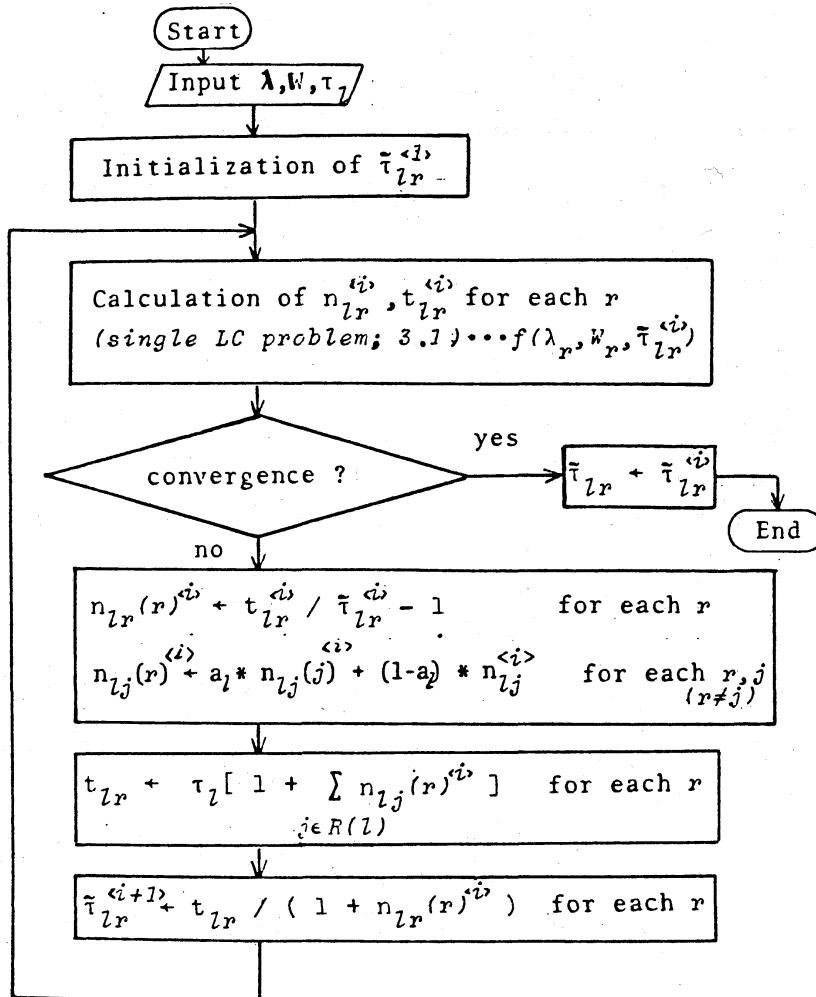


図5. 有効処理時間 $\tilde{\tau}_{lr}$ の数値計算アルゴリズム

以上の関係式を用いると、各LCの実際処理時間は、図5のように反復的に数値計算できる。但し、 $\tilde{\tau}_{er}$ の初期値 $\tilde{\tau}_{er}^{(1)}$ は式(16)の流体近似によって与える。

以上の方法によって分解された単一LCモデル遅延を3.7の方法で求める。求めた各LC_rの全遅延をD_rとすると、網全体の平均網全遅延は次式で与えられる。

$$D_N = \frac{\sum_{r=1}^R D_r \cdot \lambda_r}{\sum_{r=1}^R \lambda_r} \quad (24)$$

4. 数値例 及び 最適W割当て問題

前章の近似解析結果とシミュレーション結果との比較を行い、近似手法の評価を行うとともに、最適W割当て問題について考察する。なお、シミュレーションを行う際の仮定は、2.で述べたのと同じであり、シミュレータは、既に我々が開発したS.S.Q (System Simulator for Queueing Network)を用いた。

4.1 単一LCモデル

図6は単一LCモデル(L=2)の網内遅延、網外遅延及び全遅延特性である。全般に良好な近似精度が得られているが、Wが小さい場合には、特に網外遅延に誤差が生じることがわかる。これは、入力規制が強まるとIQにパケットが並ぶ確率が大きくなり、3.7で予想した $\bar{\tau}(n, k)$, $n \geq 1$ に対する近似誤差の影響が大きくなるためである。

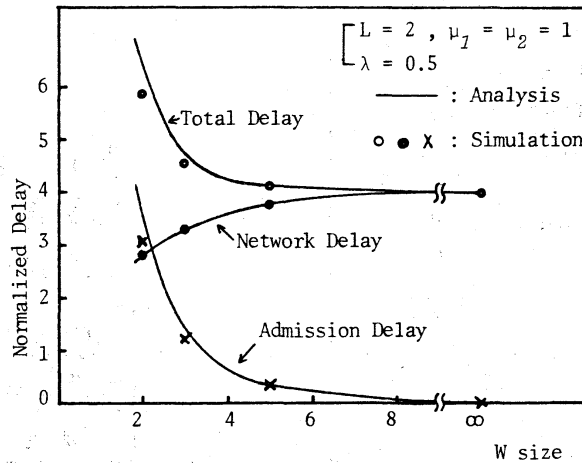


図6. 単一LCモデルの遅延 vs. W 特性

4.2 複数LCモデル

以下に示す5局直列網において、次のようなトラフィック条件を付加したケースに分けて、それぞれの特性を示す。

- CASE A: 均一トラフィック, 均等回線利用率
- CASE B: 不均一トラフィック, 均等回線利用率
- CASE C: 不均一トラフィック, 不均等回線利用率

[CASE A]

図7に、対象モデル、トラフィック分布、Wサイズを示す。

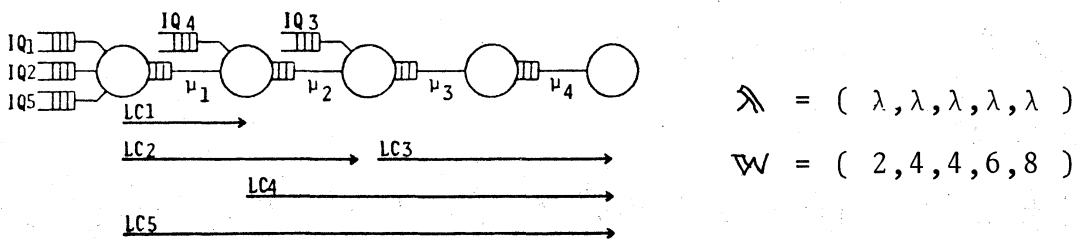


図7. 5局直列網 (CASE A, CASE B)

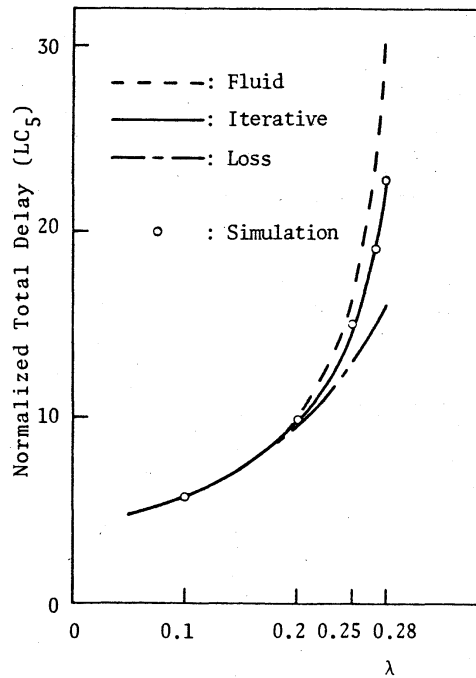


表1. 各近似法による計算時間の比較
(ACOS1000, $\lambda=0.27$)

近似法	計算時間
流体近似	2 msec
反復法*	50 msec
損失系近似	8 sec

* 収束条件は全LC平均網内遅延の階差変動が $\mu^{-1} \times 10^{-4}$ 以下

図8 全遅延(LC₅) vs. λ 特性: CASE A

図8. は, λ カトラヒック量入をパラメータとしたときのLC₅の全遅延特性を示す。中低負荷ではどの方法を用いても良好な近似精度が得られるのに対し, 高負荷になると流体近似, 損失系近似に誤差が生じることがわかる。この傾向は他のLCに対してと同様に見られる。一方, 計算時間については, $\lambda=0.27$ の場合に対し表1の結果を得た。損失系近似は他の方法に比べ長い時間を要するので, 以下では考察の対象から外すことにする。

[CASE B]

対象モデルは図7の5局直列網を用い, 次のようなパラメータを与えた。

$\lambda = (0.2, 0.4, 0.4, 0.2, 0.2)$

$W = (2, W_2, W_3, 6, 8)$

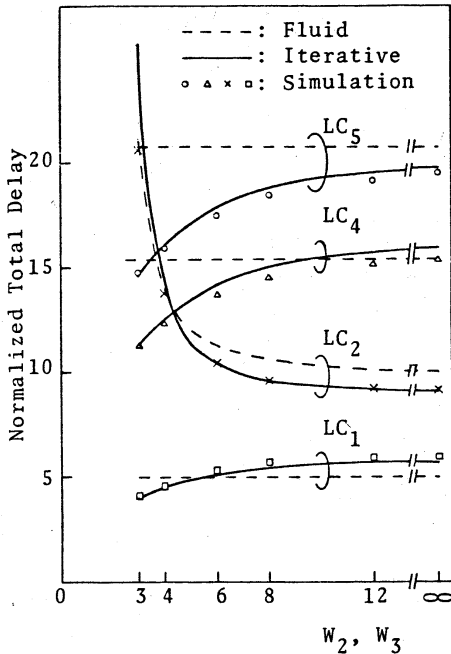


図9は、 W_2, W_3 をパラメータにしたときの各LCの全遅延特性である。流体近似では、 W_2, W_3 の値が他のLCに及ぼす影響は表われないのに対し、反復法では、 W の影響が反映されて、良好な近似精度が得られていることがわかる。

図9. LC別全遅延 vs. W_2, W_3
特性: CASE B

[CASE C]

図10に、対象モデル、トラフィック分布、 W サイズを示す。

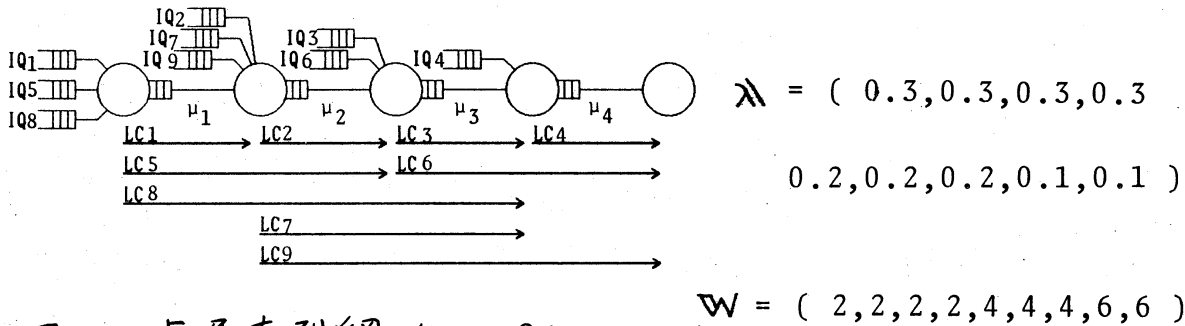


図10. 5局直列網 (CASE C)

表2.には、各LCの全遅延、及びシミュレーション値との誤差が示されている。流体近似を用いるよりも反復法を用いた

方が、かなり良い近似精度が得られることが分る。但し、入力規制の強い LC_2, LC_3, LC_7 については、誤差がやや大きくなるが、これは4.1の単一LCモデルと同様の理由によるものであると考えられる。

表2. LC別全遅延特性: CASE C

LC No.	Simulation	Iterative error (%)	Fluid error (%)
1, 4	2.57	2.58 (0.4)	2.50 (2.7)
5, 6	8.59	8.98 (4.5)	13.00 (51.3)
8, 9	13.58	13.83 (1.8)	22.89 (68.6)
2, 3	16.41	17.90 (9.1)	10.00 (39.1)
7	13.52	15.40 (13.9)	28.25 (108.9)

このように、さほど長い計算時間も必要とせず、しかも不均一トラヒックの条件下でも高精度の近似が行えるという点で、反復法による近似は優れた方法であるといえる。なお、本稿では網外の入力待ち行列IQの容量を無限大と仮定しているが、IQの容量が有限の場合についても同様な手順で近似解析できる。すなわち、単一LCモデルにおいて、 $Q(i, k)$ の陰表現式は、IQの容量が有限でパケットの損失がある場合にも式(14)と同一の形になるので、等価流量法が適用可能である。さらに複数LCモデルにおいては、3.2と全く同様な手順で単一LCに分解できる。この場合、 W の値によって平均スループット λ_r が変化するので、 W の影響が現れない流体近似に比べて反復法、損失系近似の方が近似誤差は小さくなる

ものと思われる。

4.3 最適W割当て問題^[9]

従来、最適Wサイズに関する考察は、主に単一LCモデルを用いて行われ、一般に最適WサイズはLCの伝送段数Lの倍数で表現されることが知られている。^[1]例えばReiserは、待時系における準最適Wサイズとして $W = 2L$ を示している。^[8]

しかし、複数LCモデルにおいて、特にトラヒックが不均一な場合には、このような段数だけに依存したW割当てを行うと遅延特性が劣化することは明白であり、従って、段数だけでなく負荷分布にも依存したW割当てが必要であると考えられる。

そこで、図7の5局直列網において次のような不均一トラヒック条件を付加した場合を取り上げる。

$$\cdot \lambda = (0.15, 0.5, 0.5, 0.15, 0.15)$$

$$\cdot W = (2, W_2, W_3, 6, W_5)$$

図11は、 $W_2 + W_3 + W_5 = \text{const.} (16)$ の条件下で、 W_2, W_3, W_5 を変えたときの平均網全遅延 D_N 特性であり、横軸の r_5/r_2 は LC_5 と LC_2 の入力規制度 ($r_j \triangleq LC_j$ パケットがIQに並ぶ確率 $= \sum_{k=W_r} Q(i, k)$) の比を示すものである。但し、各プロットは反復法によって得られたものである。本図から、 $W = (2, 4, 4, 6, 8)$ のように $W_r = 2L_r$ に従ったW割当てをした場

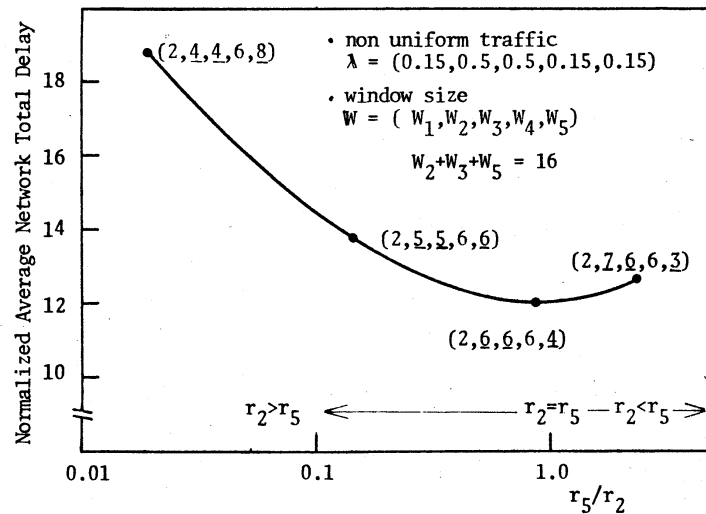


図17. 平均網全遅延 vs. r_5/r_2 特性

合には LC_2 , LC_3 の入力規制度が強すぎるため、これらの網外遅延が大幅に増大し、DN 特性が劣化していることがわかる。これに対し、 $r_5/r_2 = 1$ 、すなわち各 LC の入力規制度を均等化するような W 割当てを行った場合には、段数だけに依存した W 割当てを行った場合に比べて網内総 W 数が同じであるにもかかわらず DN が大幅に低減されていることがわかる。このような傾向はトラヒックパターン、トポロジーを変えても現われる。^[9]

以上のことから、不均一トラヒック状態に対する有効な W 割当ては、同一物理回線を共有する各 LC の入力規制度の均等化を図るよう行うことであり、またそれは網内の総 W 数を増加させる、範囲で行うことができると考えられる。

5. まとめ

本稿では、 W 制御を用いた一般的な待時系パケット網に適

用可能な近似解析手法を提案し、その有効性を示した。また、本解析を用いて複数LCモデルに対する最適W割当て問題について検討した結果、同一物理回線を共有する各LCの入力規制度を均等化するようなW割当てが適切であることを明らかにした。筆者らはこの事を利用して、各LCのトラヒックバランスの過渡変動に適応して動的にW割当てを行うダイナミックW方式を提案している^[10]。今後は、このダイナミックW方式の近似解析による性能評価を行う予定である。

REFERENCES

- [1] Kleinrock L., " On Flow Control in Computer Networks," Proc. of ICC'78, 27.2.1-27.2.5 (1978).
- [2] Pennotti M. and Schwartz M., " Congestion Control in Store and Forward Tandem Links," IEEE Trans. Commun., Vol COM-23, No.12, pp.1434-1443 (Dec. 1975).
- [3] Reiser M., " A Queueing Network Analysis of Computer Communication Networks with Window Flow Control," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-27, No.8, pp.1199-1209 (Aug. 1979).
- [4] Takahashi Y., Shigeta N. and Hasegawa T., " An Approximation Analysis for Congestion Control Scheme in Distributed Processing Systems," Proc. of the International Conference on Performance of Data Communication Systems and their Applications (Sep. 1981).
- [5] 秋吉, 中西, 真田, 手塚, " エンドツーエンドウィンドウフロー制御のむつ網入力順序調整効果," 信学論(B), J65-B, No.4, pp.477-484 (Apr. 1982).
- [6] Chandy K., Herzog U. and Woo L., " Parametric Analysis of Queueing Networks," IBM J. Res. Develop. 19, pp.43-49 (1975).
- [7] Schwartz M., " Performance Analysis of the SNA Virtual-Route Pacing Control," IBM Research Report RC 8490, Yorktown Heights, N.Y. (1980).

- [8] Reiser M., " Admission Delays on Virtual Route with Window Flow Control," Proc. of the International Conference on Performance of Data Communication Systems and their Applications (Sep. 1981).
- [9] 鈴木,秋吉,中西,真田,手塚," 荷時系パケット網の不均一トラヒック下におけるウィンドウ割当てとダイナミックウィンドウ方式について," 信学技報 CS83-95 (Aug. 1983).
- [10] 鈴木,秋吉,中西,真田,手塚." 計算機網におけるダイナミックウィンドウ制御方式," 信学技報 SE83-158 (Feb. 1984)