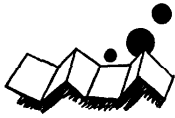


解説



ネットワークアーキテクチャの性能†

矢野 秀一郎** 小出 信介** 岡田 弘幸**

1. はじめに

各計算機メーカーからネットワークアーキテクチャが発表されて10年たつ。DCNA (Data Communication Network Architecture), OSI (Open Systems Interconnection) などの異機種間通信についてのプロトコル標準化も進行している。

最近では利用者はネットワークアーキテクチャを意識することなくシステムを構築することができるようになった。これは通信機能と業務処理の分離というネットワークアーキテクチャのねらいが製品に反映され、利用者は特別の場合を除き通信プロトコルを知る必要がなく通信機能をブラックボックスと見ることができるようになったためである。

利用者は詳細なプロトコルを意識せず、かわりにネットワークアーキテクチャを性能の面から意識するようになる。ネットワークアーキテクチャの適用によりネットワーク資源の共有やネットワークの拡張が容易に可能となったため、ネットワークが大規模化し構成が複雑化するとともに利用方法も高度化している。このようなネットワークでは、システム全体の性能の中でネットワークアーキテクチャに関する性能(以後ネットワーク性能と呼ぶ)の比重が高まり、ネットワーク性能が重要視されることとなった。

本稿では、図-1の通信回線と中継ノードを中心にホストおよび端末コントローラの中で通信プロトコル制御に関する部分を加えた範囲を対象としてネットワーク性能の解説を行う。ネットワークアーキテクチャの一例としてFNA (Fujitsu Network Architecture)を取り上げ、性能に関連するプロトコルを2章に概説する。さらに、3章ではFNAに基づき構築された実際のネットワークにおける性能評価作業を述べる。ネットワークアーキテクチャは各種あるが、そのねらい

および基本的な実現技術はかなり類似性がある。2章、3章の記述は他のネットワークアーキテクチャの性能評価にも充分参考になるものとする。

2. FNA における性能関連プロトコル概要

FNA として規定されているプロトコルのうち、性能に関連する項目を図-2に示す。

図-2の階層構造をもつネットワークでは、ベーシック手順を基にしたネットワークに比べ以下の要因が加わるためネットワークの性能評価が複雑になる(図-3参照)。

- (i) 1本の通信回線を同時に多数のエンド・エンド間コネクションが共有することによる通信回線空き待ち時間
 - (ii) 各階層ごとに送達確認およびフロー制御を行うことによる待ち行列の多段化
 - (iii) 遠隔通信制御装置、複数ホストネットワーク等ノードを多段に経由した通信において、蓄積交換に伴う転送時間の累積と通信回線空き待ち時間の累積
- 以下(1)から(4)に図-2で示した性能関連プロトコルを各階層ごとに概説する。

(1) データリンク層

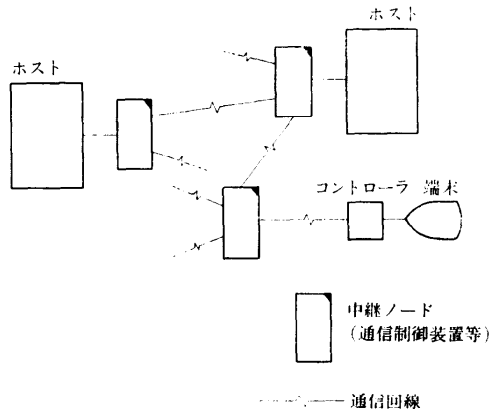
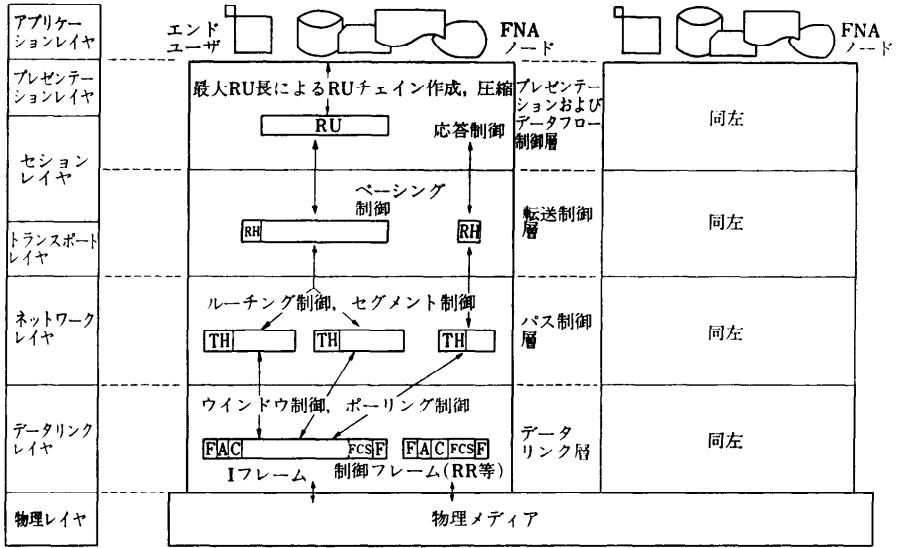


図-1 ネットワーク性能の対象範囲

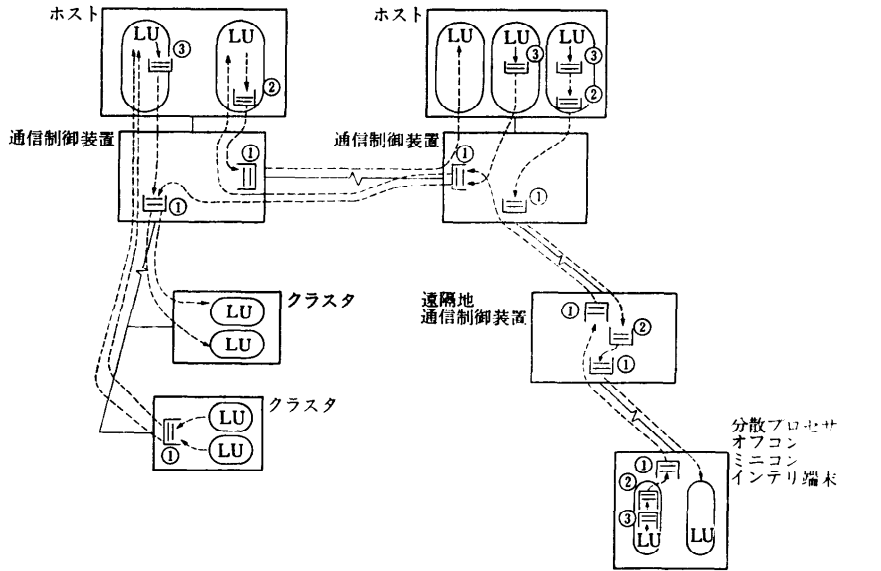
† Performance of Network Architecture by Shuichiro YANO, Shinsuke KOIDE and Hiroyuki OKADA (Fujitsu Limited).

** 富士通(株)情報処理事業本部企画部



(対応するOSI参照モデル)¹⁾

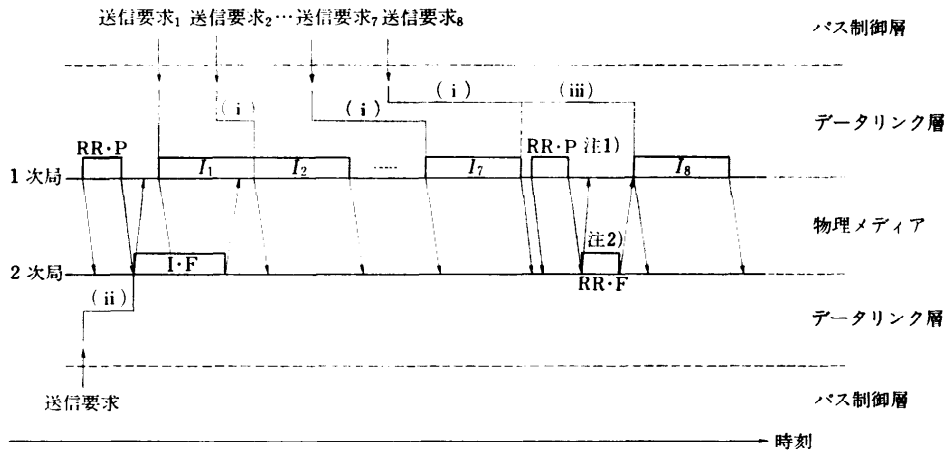
図-2 FNA 階層構造と性能関連プロトコル制御



LU: 論理ユニット
 エンドユーザに提供する通信機能の窓口であり、
 転送制御層とプレゼンテーションおよびデータフ
 ロー制御層の2層にまたがって位置する。
 →: LU 間のデータの流れ (一部を例示)

①: 通信回線空き待ち, 及び HDLC 制御による待ち
 ②: ベージング制御による待ち
 ③: 応答制御による待ち
 ②, ③の有無は製品および運用時のパラメータに
 依存して決まる

図-3 FNA ネットワークにおけるデータの流れと待ちの例



- (i) 通信回線の空き待ち時間 注1) 実際のシステムでは I_1 から I_7 の途中で RR·P が送信されることが多い
(ii) ポーリング待ち時間 注2) N(R) により I_1 から I_7 を正常に受信したことを通知する。
(iii) ウィンドウ制御による待ち時間

図-4 HDLC NRM における待ちの要素

ベーシック手順の多くが半二重通信方式であるのに対し、HDLC 手順は全二重通信方式であり通信回線空き待ち時間の短縮による性能向上が図れる。また、ベーシック手順が伝送テキストごとに応答を必要とするのに対し、HDLC 手順ではウィンドウ制御により許される範囲内で連続転送が可能であり、性能が向上する。

データリンク層における待ちは以下の4つに起因して発生する(図-4 参照)。

- (i) 通信回線空き待ち
- (ii) ポーリング待ち (HDLC NRM における二次局)
- (iii) モジュロ 8 の通番によるウィンドウ制御
- (iv) 伝送誤りによる再送

一般に(i)の比重が高く、衛星通信のように遅延が大きい場合を除きウィンドウサイズを7とすれば(iii)の影響は小さい。(iv)は伝送路のビット誤り率が 10^{-7} 程度の場合にはあまり問題とならない。しかし、ビット誤り率が 10^{-6} 程度になると、フレーム長がある値を超える伝送ではフレーム長が大きくなるに従いスループットは低下する²⁾。

(2) パス制御

パス制御層では以下の制御が性能に関連する。

- (i) ルーチング制御
- (ii) セグメント制御

複数ホストネットワークでは(i)の制御に従って中継ノードを経由した通信が増加する。端末における応

答時間に対し中継ノードが増加するごとに蓄積交換による遅延が加算される。図-5 のネットワークでは、端末AからホストAにアクセスする場合に比べ、端末AからホストBをアクセスする場合、図に示した t_B が応答時間に加算される。

セグメント制御により、バッファ長の制限に合せ転送制御層の転送ユニットを分割し、複数のバス制御層転送ユニットとする。分割を行うとヘッダ付加に伴う転送オーバーヘッドが増加するが、一方、図-5 に示すとおり端末では表示動作を早く開始でき応答時間短縮の効果がある。

(3) 転送制御層

転送制御層ではペーシング制御によりバッファ必要量を調整している。図-6 に示すようにペーシング値を小さくすればバッファ必要量を少なくできるが、ペーシング応答のオーバーヘッドが増加しスループットは悪化する。

なお、ペーシング制御はエンド・エンドコネクションごとに独立に行われる。したがって、3.3節で述べのようにチューニング作業においては、優先度の低いアプリケーションに関するデータ転送の流量をペーシング値を減少することにより調整し、他アプリケーションとの競合を改善することも行われる。

(4) プレゼンテーションおよびデータフロー制御層

プレゼンテーションおよびデータフロー制御層では以下の制御が性能に関連する。

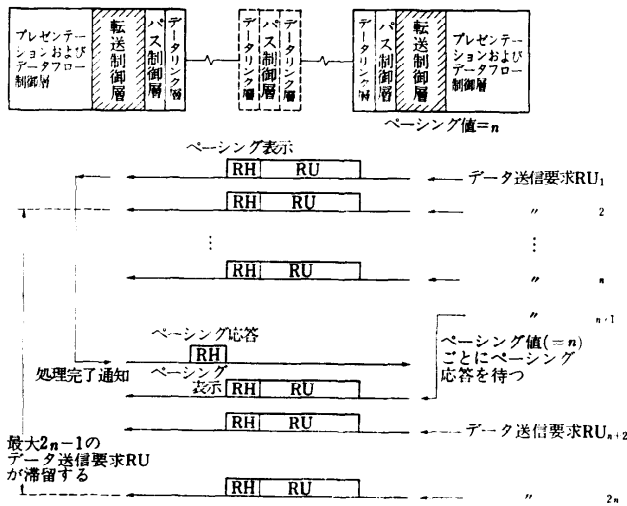
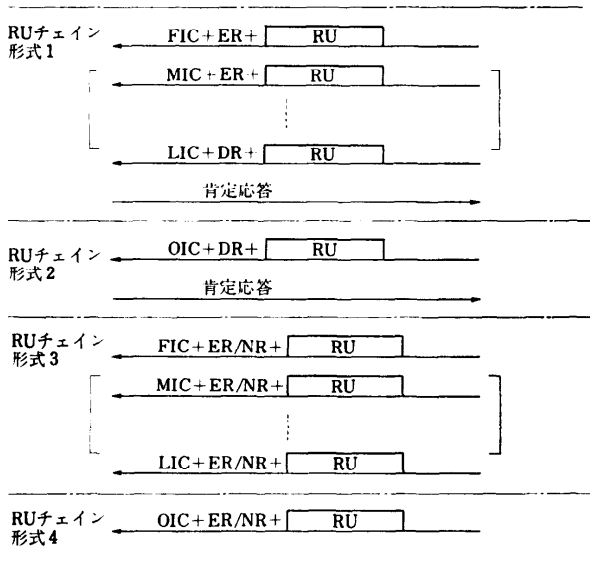
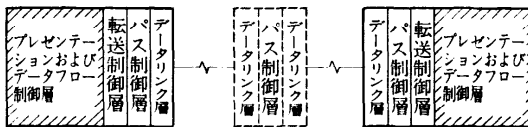


図-6 ベージング制御の概要



DR: 応答必須表示 LIC: チェインの最終 RU 表示
 ER: 肯定時応答不要表示 OIC: 単一 RU によるチェイン表示
 NR: 応答不要表示
 FIC: チェインの先頭 RU 表示 []: 省略可であることを示す
 MIC: " 中間 RU 表示
 注) 正常時のフローのみ示す

図-7 チェインの構成

(i) 圧縮処理

(ii) 最大 RU 長に基づく RU チェインの形成 (当該層における転送ユニットを RU と呼ぶ)

(iii) 応答要求制御

圧縮は通信データ量を減少させ性能の改善が図れる。パッチ伝送を行うアプリケーションにおいて、エンド・エンド間のスループット改善のため圧縮が広く用いられる。ただし、性能の改善率はデータの内容に依存する。

最大 RU 長が大きいほどヘッダ付加によるオーバーヘッドが軽減されスループットの改善が図れる。ただし、バッファ必要量は一般に増加する。

エンドユーザの送信データは図-7 のいずれかの RU チェイン形式により転送する。肯定応答はベージング応答同様オーバーヘッドとなり、応答待ち時間が発生する。

3. ネットワーク性能の評価作業

2章に述べたネットワークアーキテクチャに基づき構築された実際のネットワークにおいて、一般に行われるネットワーク性能の評価作業には以下がある。

- (i) ネットワーク性能の見積り
- (ii) ネットワーク性能の実測・解析
- (iii) ネットワーク性能におけるチューニング
- (iv) ネットワーク性能におけるキャパシティプランニング

上記(i)のために表-1 の手法が用いられる。以下、3.1 節から 3.3 節に上記(ii)から(iv)の概要を説明する。

3.1 ネットワーク性能の実測・解析

3.1.1 測定項目

実測・解析の対象となる測定項目を表-2 に示す。

(1) 資源使用率

資源使用率はチューニングにおけるポトルネック切分けの鍵となる項目であり、またネットワーク管理者が設備計画を立案する上で把握しておくべき重要な項目である。

表-1 ネットワークの性能見積りに用いられる一般的手法

手 法	具 体 例	精 度	コ ス ト
理 論 式	・待ち行列(単独又はネットワークモデル) ⁴⁾ ・マルコフチェーンによりモデル化しこれを解く ⁴⁾	モデル化に際し実システムとの詳細な差異はある程度無視せざるを得ず、他の手法より精度は低い。	計算コストが低く、実システムでの実測コストは不要である。 ただし、プロトコルの理解が必要。
シミュレーション	・GPSS ・SNAP/SHOT ⁷⁾ ・FIVE ¹⁰⁾	理論式よりも実システムをよく反映したモデル化が可能となり精度の向上が図れる。	一般に計算コストが高い。実測コストは不要である。 ただし、プロトコル、製品のインプリメント仕様について理解を要す。
実測値を基にした予測	・統計処理による近似式	類似したシステムでの実測値があればシミュレーションより精度は高い。類似システムでの実測がなければ有効性は低い。	統計処理のための計算コストがいるが、シミュレーションほど高くない。統計データ蓄積のための実測コストが必要。
ベンチマーク	・疑似端末エミュレータの利用 ・実端末使用	最も正確	毎回実測コスト必須

表-2 ネットワーク性能の測定項目

分 類	詳 細 項 目	必要度順位
資源使用率	通信回線使用率 通信制御装置使用率 通信制御プログラムバッファ使用率	1
応答時間	端末応答時間 ホスト内応答時間 通信回線ごとの応答時間内訳	2
スループット	各レイヤにおける 単位時間当りの 転送ユニット数 転送バイト数	3
その他詳細情報	ポーリング状況 転送ユニット再送回数 RNR 等エラー通知回数	4

全二重回線については両方向別々に通信回線の使用率(回線使用率)を求める必要がある。ベーシック手順はほとんど半二重通信方式であり両方向合せた回線使用率を把握すればよかったが、HDLC 手順では通信回線上を両方向独立に多様なトラフィックが流れるからである。

(2) 応答時間

複数ホストネットワークや遠隔地通信制御装置の導入に伴い、複数の通信回線を經由した通信が一般化する。したがってチューニングにおける応答時間の実測・解析に際しては、端末における応答時間のみならず図-5 に示したホスト内および通信回線ごとに応答時間の内訳が必要となる。

(3) スループット

チューニングでは、資源使用率増大の原因調査のた

め各階層のスループットを求めることがある。例えば2章のように階層構造をもつネットワークでは、回線使用率が高い通信回線の負荷内訳を調査するために当該通信回線を經由するすべてのエンド・エンド間コネクションを選び出しそのスループットを知る必要がある。この場合プレゼンテーションおよびデータフロー制御層におけるスループットを実測・解析する。また、通信制御装置の負荷を分析する場合には、各通信制御装置間の HDLC 制御、各 HDLC 端末に対する制御に分類した負荷の内訳を得るためにパス制御層でのスループットを実測・解析する。

3.1.2 測定手法

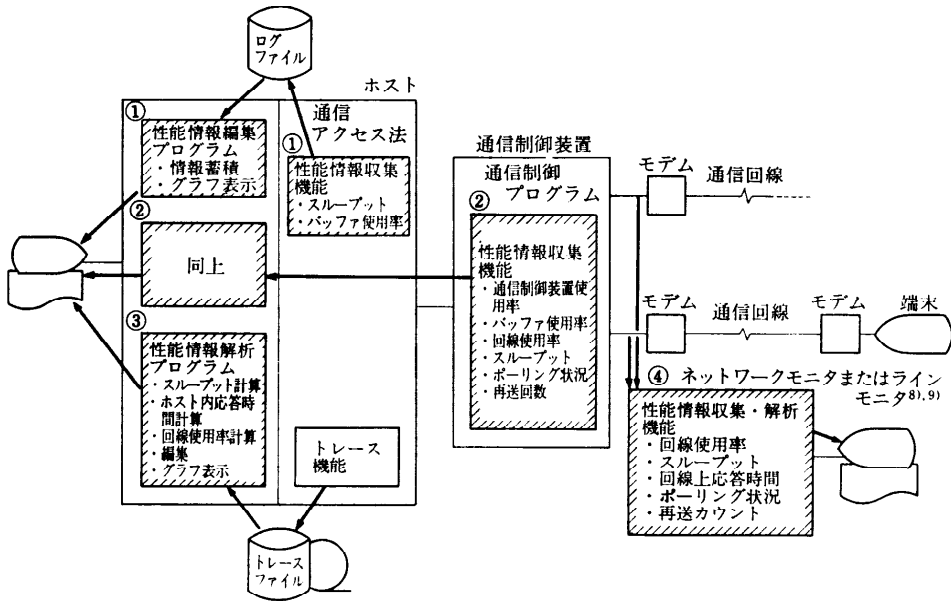
図-8 に表-2 の測定項目に対する測定手法を4つ示した。1つの手法ですべての測定項目を実測・解析することはできない。必要に応じてこれらの手法を併用する。

図-8 のトレースファイルを基にした性能解析プログラムについて、FNA における実現例を紹介する。図-9 に処理の概要を示した。要点は下記のとおりである。

- ホストの通信アクセス法にトレースを指令する。複数ホストネットワークでは全ホストで同時にトレースを採取する。このとき各ホストの時刻を合わせておく必要があるが、精度については手操作による時刻設定でも誤差が問題になることはない。

- 各ホストごとに収集したトレースレコードには、当該ホストノードのパス制御層における転送ユニットとともに、収集時刻、発信元および着信元のリソース名が記録されている。

- 回線使用率の計算にはルーチング制御を考慮す



- ① 通信アクセス法に性能の測定機能を持たせる
- ② 通信制御プログラムに性能の測定機能を持たせる
- ③ 通信アクセス法が出力するトレース情報を解析する
- ④ 通信回線上を流れるデータをモニタし、性能を測定する

図-8 ネットワーク性能の測定手法例

の必要があり、ネットワーク構成定義ファイルを参照する。なお、データリンク層における制御フレームおよび再送Iフレームに関する計算が不足するが、通信回線の品質が悪くない場合、一般に誤差は無視可能である。

- ホスト内応答時間の計算には応答制御等プレゼンテーションおよびデータフロー制御層のプロトコルを考慮する必要があり、転送制御層のヘッダを解析する。

- スループットは各階層ごとに計算する。その結果、回線使用率の内訳を知ることができる。

- 中間集計ファイルは、項目、時刻、リソースをアクセスキーとする3次元のテーブル構造を持つ。中間集計ファイルをホスト間で持ち回り、ホストごとにトレースファイルからの集計結果を追加書きすれば、データ量の多いトレースファイルを1カ所のホストに集める必要はない。

3.2 ネットワーク性能におけるチューニング

3.1節に述べた実測・解析作業によりネットワーク性能を把握した後、性能に問題がある場合チューニングを行う。ネットワーク性能に関するチューニングは、ホスト内におけるチューニングと共にシステム全体のチューニング作業の一部である。一般的なチュー

表-3 代表的なチューニングパラメータ

分類	項目
ソフトウェアに関するチューニングパラメータ	最大転送ユニット長 最大連続転送ユニット数またはウィンドウサイズ ポーリングスケジュール (HDLC NRM のとき) 送信スケジュール 圧縮の有無, 圧縮方法
ハードウェアに関するチューニングパラメータ	通信回線速度 半二重/全二重 分岐数 (HDLC NRM のとき) モデムの RS-CS 時間 通信制御装置構成 ・メモリサイズ ・通信回線走査機構のタイプ (割込単位がビット, 文字, フレーム)

ニング手順を図-10 に示した。ネットワーク性能に関するチューニング項目は製品に依存して多種多様であるが、表-3 に代表的なチューニング項目を示した。

チューニングによるネットワーク性能の変化を定量的に把握するために、FNA での実測例を提示する。この例では表-3 の最大転送ユニット長(最大 RU 長), 最大連続転送ユニット数 (ペーシング値), および通信回線速度を可変とし、ジョブ転送のスループットと

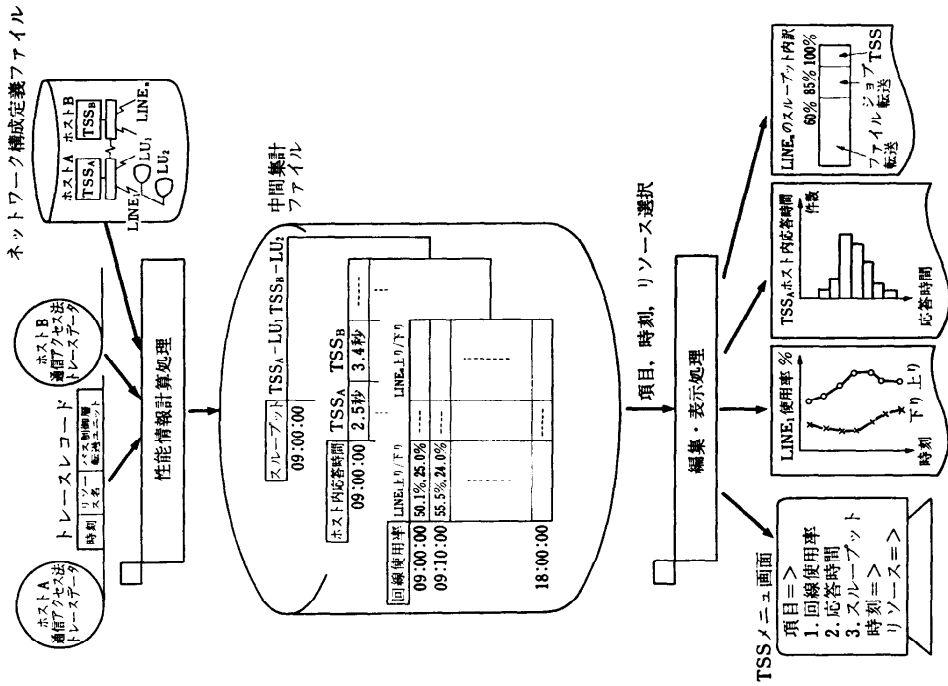


図9 通信アクセス法トレースを基にした性能情報解析処理の概要

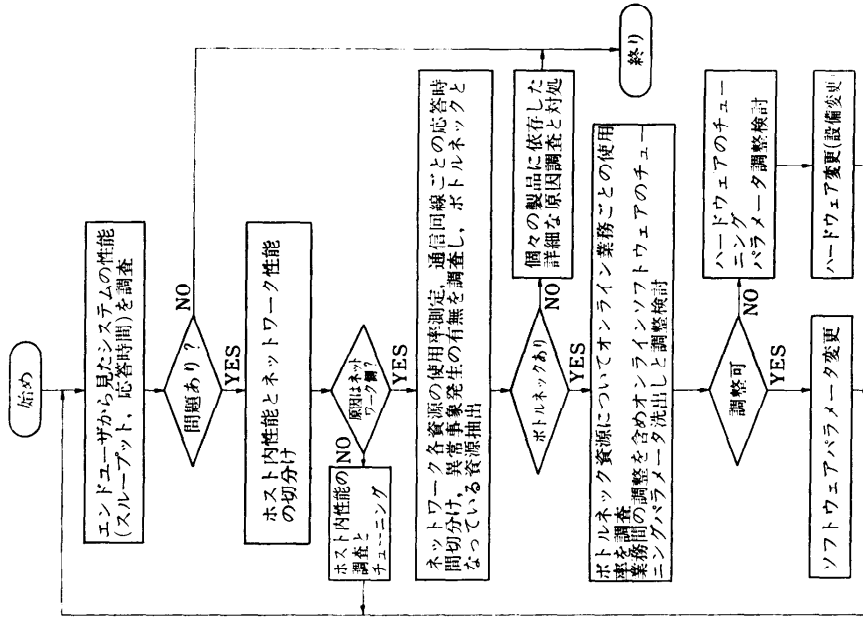


図10 チューニング手順の概要

ジョブ転送と TSS が 1 本の通信回線を共有することによる TSS 応答時間の変化を測定した。

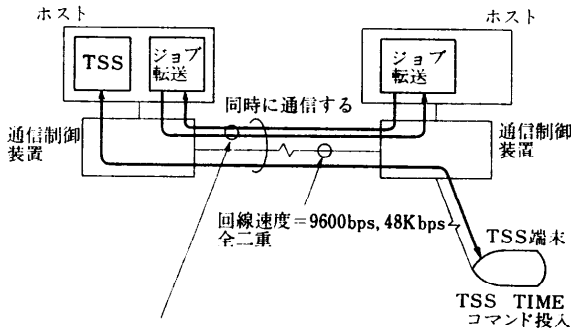
実測システムの構成を図-11 に、実測結果を図-12 から図-19 に示す。なお、ここでいう TSS 応答時間

とは通信制御装置間の通信回線に関する応答時間(図-5 における t_a) のことである。

図-11 のシステムにおいて、ジョブ転送のスループットをなるべく低下させずに通信制御装置間の通信回線に関する TSS 応答時間の改善を目的としてチューニングを行う場合、図-12 から図-19 により以下のパラメータ選択が適切であることがわかる。

(i) 通信回線が 9600 bps の場合、ジョブ転送の最大 RU 長を 512 バイト、同じくペーシング値を 2~4 とするのが望ましい。このとき TSS の応答時間は 2~3 秒である。さらに改善を図るには通信回線の速度向上を必要とする。

(ii) 通信回線が 48 Kbps の場合、ジョブ転送の最大 RU 長を 512 バイト、同じくペーシング値を 8~10 とするのが望ましい。このとき TSS の応答時間は 1~1.5 秒である。



ペーシング値(最大連続送信ユニット数)=1, 2, 3, ..., 10(両方向同値)
 最大 RU 長(最大送信ユニット長)=512 バイト, 1024 バイト(")
 セグメント制御による分割はない

図-11 実測システムの構成

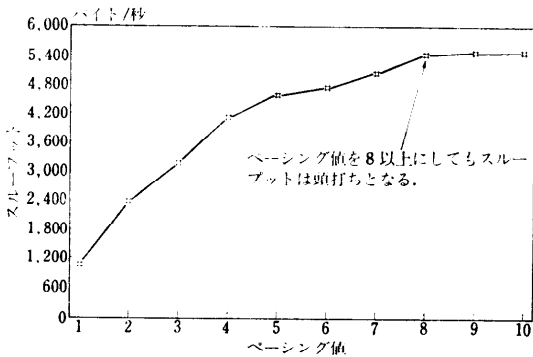


図-12 ジョブ転送スループット実測値 (回線速度 48 Kbps, 最大 RU 長 512 バイト)

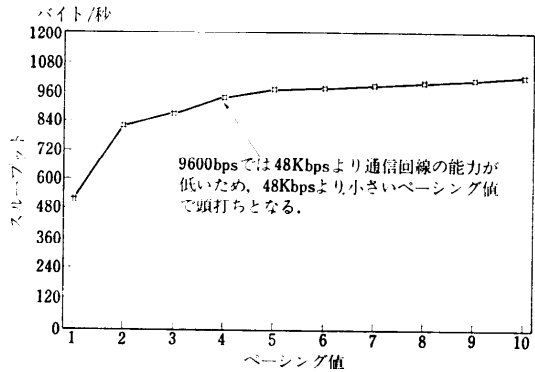


図-14 ジョブ転送スループット実測値 (回線速度 9600 bps, 最大 RU 長 512 バイト)

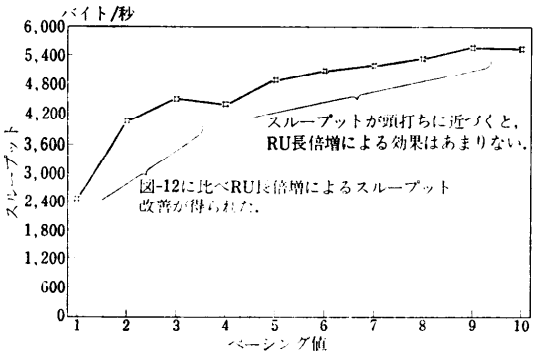


図-13 ジョブ転送スループット実測値 (回線速度 48 Kbps, 最大 RU 長 1024 バイト)

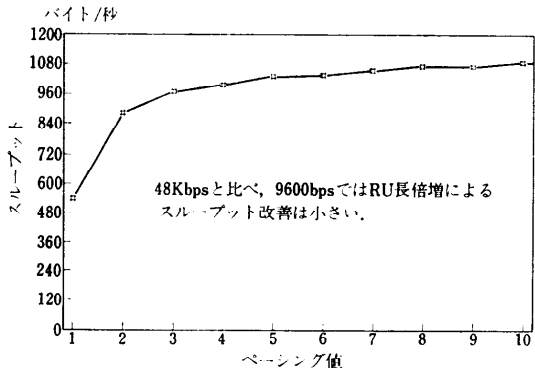


図-15 ジョブ転送スループット実測値 (回線速度 9600 bps, 最大 RU 長 1024 バイト)

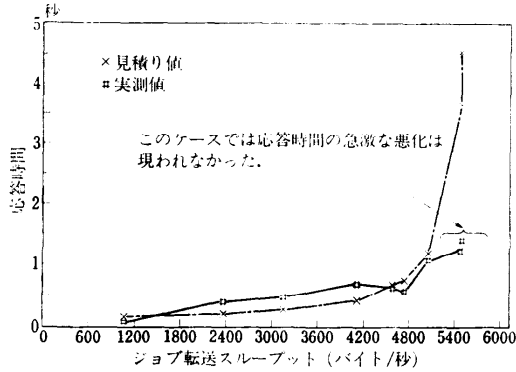


図-16 TSS 応答時間見積り値と実測値 (回線速度 48 Kbps, ジョブ転送最大 RU 長 512 バイト)

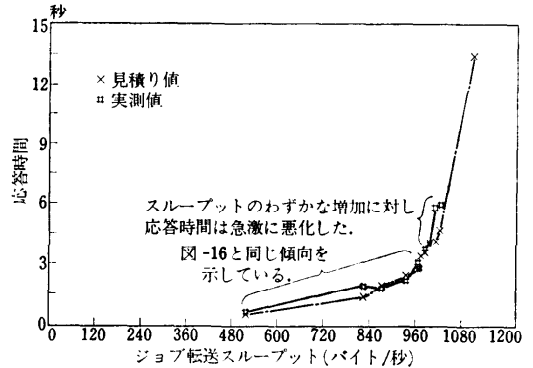


図-18 TSS 応答時間見積り値と実測値 (回線速度 9600 bps, ジョブ転送最大 RU 長 512 バイト)

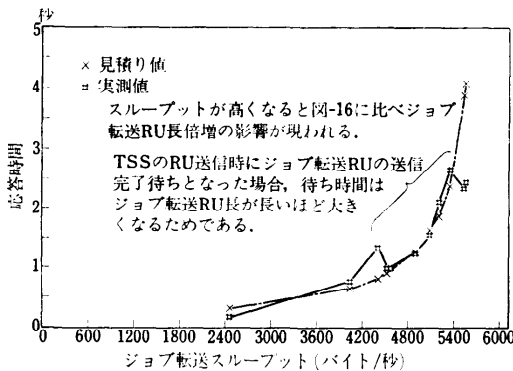


図-17 TSS 応答時間見積り値と実測値 (回線速度 48 Kbps, ジョブ転送最大 RU 長 1024 バイト)

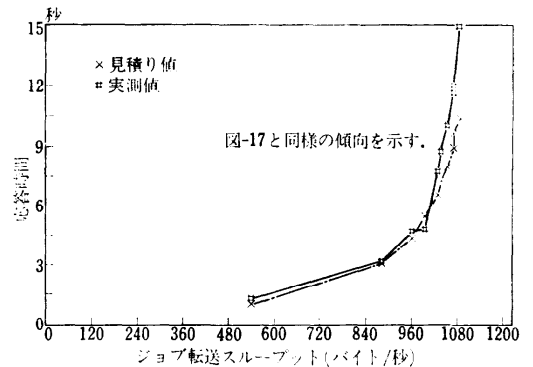


図-19 TSS 応答時間見積り値と実測値 (回線速度 9600 bps, ジョブ転送最大 RU 長 1024 バイト)

なお、図-11 のシステムにおいて多数の TSS 端末が接続され、通信制御装置間の通信回線を経由した TSS の通信量が増加すると、前述のような応答時間の変化が生ずる。この場合ジョブ転送 RU 長を TSS RU 長に、ジョブ転送スループットを通信制御装置間の TSS スループットに対応させれば、図-12 から図-19 が適用でき、応答時間が急激に悪化し始めるスループット値から逆算して TSS の許容多重度を求めることもできる。

3.3 ネットワーク性能におけるキャパシティプランニング

3.2 節の実測結果からも分かるように、ネットワーク資源の使用率がある値を超えると、わずかの負荷増加でも急激に性能が悪化する傾向がある。したがって、性能の変化を定期的、長期的に把握し性能問題が起こる前にこれを予知するとともに、適切な設備計画を立案して満足すべき性能を維持すること、即ちキャパシティプランニングが重要となる。

キャパシティプランニングの体系化はまだ充分ではないが、以下の機能および作業を含み、これまでチューニングとして個々に実施されてきた手法の集大成と見ることができよう。

- 資源使用率、応答時間等のネットワーク性能の測定・収集 (定期的に行うため自動化が望まれる)
 - 収集データの長期蓄積データベース
 - 性能の長期的な変動傾向とオンライン業務ごとおよびネットワーク資源ごとの性能分析・編集表示
 - 今後の性能予測 (性能劣化が問題化する時期の予測)
 - 業務拡張、ネットワーク拡大に伴う性能再見積り
 - 性能に影響する異常事象発生検出と警告
- キャパシティプランニングのための製品開発例がいくつかある^{8),9)-10)}。これらの例は、ネットワークサポート製品自身が性能情報を収集する方式と、ネットワークサポート製品とは独立なモニタ装置であるネッ

トワークモニタによる方式に分類できる(図-8参照)。

4. おわりに

ネットワークアーキテクチャの性能について概説した。パケット交換網、衛星通信、ローカルエリアネットワークについては特に触れなかったが、本稿はこれらの分野に応用する際の手掛りとなろう。これからネットワークアーキテクチャの性能評価に取り組もうとされる方々の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 元岡 達, 苗村憲司: 開放型システム間相互接続標準化の国際動向について, 情報処理学会分散処理システム研究会資料, 8-2 (1981).
- 2) Bux, W., Kümmerle, K. and Truong, H. L.: Data Link-Control Performance: Results Comparing HDLC Operational Modes, Computer Networks, Vol. 6, No. 1, pp. 37-51 (1982).
- 3) Labetoulle, J. and Pujolle, G.: HDLC Throughput and Response Time for Bidirectional Data Flow with Nonuniform Frame Sizes, IEEE Trans. Comput., Vol. C-30, No. 6, pp. 405-413 (1981).
- 4) Reister, M.: Performance Evaluation of Data Communication Systems, Proc. IEEE, Vol. 70, No. 2, pp. 171-196 (1982).
- 5) Wong, J. W.: Queueing Network Modeling of Computer Communication Networks, Comput. Surv., Vol. 10, No. 3, pp. 343-351 (1978).
- 6) Goldberg, R. P., Sarasohn, A. H. and Posner, J. J.: A Tool that Forecasts Effects of Network Growth, Data Communications, Vol. 10, No. 11, pp. 113-126 (1981).
- 7) Stewart, H. M.: Performance Analysis of Complex Communications Systems, IBM Syst. J., Vol. 18, No. 3, pp. 356-373 (1979).
- 8) Terplan, K.: Organizing a Network Administration Center, EDP Performance Review, Vol. 10, No. 8, pp. 1-8 (1982).
- 9) Terplan, K.: Use of Network Monitors for Capacity Planning, Internal Conference on Computer Capacity Management, Chicago, Conference Record, pp. 147-159 (1981).
- 10) Nguyen, H. C. et al.: The Role of Detailed Simulation in Capacity Planning, IBM Syst. J., Vol. 19, No. 1, pp. 81-101 (1980).
- 11) 中山朋子, 是友春樹: ネットワークシミュレーション, 情報処理学会第21回全国大会論文集, pp. 735-736 (1980).

(昭和58年4月19日受付)

