

通信網に関するシミュレーション

川島 幸之助

1. はじめに

通信網は巨大なシステムである。1世紀に及ぶ長い歴史と各種の技術革新により、今日の情報化社会を支えるシステムを形成してきた。さらに、電話トラフィックのみならず、コンピュータ情報、ビデオ情報等を運ぶマルチメディア通信網へと発展しつつある。

通信網を流れる情報、すなわち(通信)トラフィック(交通と区別するときは *teletraffic* を使う)の発生、消滅等は確率的事象としてとらえられる。約90年前にトラフィック理論が開拓され今日にいたっているが、複雑な対象に対しては、理論では十分な解析はできない。たとえば、大規模な通信網の特性解明や、複雑なスケジューリングを含む交換機の性能評価等には、解析的手法の適用は限られているので、計算機を用いたシミュレーション[1]が用いられる。

通信網にシミュレーションを使用した初期の例としては、物理現象から生じる乱数を用いた先駆的研究[2]があるが、その後のデジタル計算機の発展とともに、1965年頃より多くのシミュレーションが実施されている[3]。本稿では、特徴的な3つの最近の実施例を原論文を引用しながら紹介する。

2. 通信網の構成と紹介するシミュレータ

通信網は、簡単にいえば交換機(ノード)と伝送路(リンク)から構成される(図1)。また、多くの国(通信会社)の通信網は、図のような全国的な中継網、地域中継網、およびアクセス網に分けられる。

本稿では、次の3種類のシミュレータを紹介する。

- (1)全国中継面の効率的運用のために各国で研究・導入されつつあるダイナミックルーティング方式の研究用に開発されたシミュレータ
- (2)現在マルチメディア通信に対する通信技術として研究

かわしま こうのすけ NTT通信網総合研究所
〒180 武蔵野市緑町3-9-11

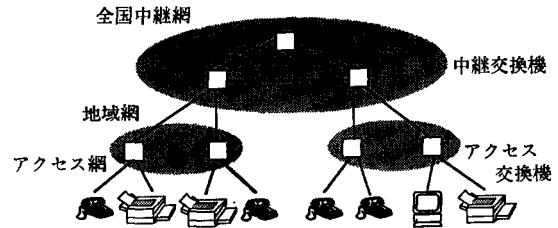


図1 通信網の構成

開発が非常に盛んに行なわれている ATM (Asynchronous Transfer Mode) 技術を端末-端末間に適用した場合の通信品質を解析するために開発されたシミュレータ

- (3)アクセス網に関するものとして、通信サービスを新たに開設したり、移転するときのお客様に対するサービス性を評価するためのシミュレータ

このシミュレータは上記(1)、(2)とは異なって本来の意味の通信を対象としていないが、通信網に関する一種の生産工程管理に関するものとして紹介する。

なお、ノードに関するシミュレーションは、過去多くの実施例があるが、本稿では割愛する。

3. ダイナミックルーティング用シミュレータ

近年、電話サービスの多様化や使用形態の変化、さらには競争状況の進展によって通信網におけるトラフィックはその量、質ともに変化しつつある。このような予期せぬトラフィック変動に柔軟に対処するため、呼の経路選択法、すなわちルーティングを状態に応じて動的に変更するいわゆるダイナミックルーティング[4]が研究、あるいは導入されている。本章では、ルーティングアルゴリズムの研究用に開発されたシミュレータ[5,6]を紹介する。

3.1 基本条件とシステム構成

本シミュレータでは、以下の条件を仮定している。

- ・回線の空/塞状態を模擬する。
- ・各呼処理において交換機内の共通機器および呼発生・消滅時の処理に必要な共通線信号処理は模擬しない。
- ・空回線数等の網情報を収集・管理するセンタを設置す

ることを前提とするルーチング方式では、センタにおける網情報の更新周期、および転送遅延時間を模擬する。

- 呼の生起間隔分布、保留時間分布は任意に設定できる。
- 用いられているシミュレーション方法は、時間追跡法[1]である。時間追跡法は、生起間隔、保留時間、等に任意の分布を指定できる。しかし、各イベントの発生時刻、終了時刻をそれらの処理順序とともに管理する必要があるため、対象とする網や呼量が大規模になると、メモリ量や計算機時間が増大する。

基本構成は、発生時刻、終話時刻の算出、およびそれらの時間データのソーティング処理を行なう時間管理データ作成部と呼処理を行なうシミュレーション実行部からなる(図2)。なお、本シミュレーションでは、交換機内は模擬していないので、待ち行列は生じない。また、プログラミングには汎用言語を用いている。時間管理データ作成処理は、ルーチング方式にかかわらず1つのトラヒック・パターンに対して1回実行すればよい。つまり、シミュレーションで最も処理時間を要する部分である時間管理データ作成処理を前処理化することにより、あるトラヒック・パターンに対する、各種のルーチング方式の性能評価に要する時間を大幅に短縮できる。

3.2 実行手順

シミュレーションの実行手順は、実行モジュール作成プロセスと実行プロセスに分けられる。

(1) 実行モジュール作成プロセス

このプロセスの目的は2つある。1つはユーザーの要求する計算環境で実行可能なシミュレーションプログラムを作ることであり、もう1つはシミュレーションに要

する計算機時間の削減のためユーザーの評価要求に適したシミュレータの実行モジュールを作成することである。実行モジュール作成プロセスは以下の処理から成る。

- 実行環境選択
- シミュレーションプログラムの選択
- データ管理方法の最適化

シミュレーションの高速化のため、時間管理データ作成部、シミュレーション実行部それぞれにおいて以下の技術を取り入れている。

- 一呼処理の分類、ルーチング方式の評価に必要な機能の抽出により、ルーチングシミュレータの特質にあったモジュール化構造を実現している。
- 一時間管理データの構造は、リスト形式であり、ルーチングシミュレータに適したクイックソート技術を取り入れたデータ管理方法を用いている。
- 一回線空塞状態、各種トランザクション等の大容量配列の領域をトラヒック量や網モデルの規模に応じて設定する方法を取り入れている。

(2) 実行プロセス

実行プロセスは、実行モジュール作成プロセスで作成されたシミュレータを実行させるためのプロセスである。シミュレーションを実行するために必要となるデータは、以下の処理によって作成される。

- 網モデル、トラヒックデータ作成
- 時間管理データ作成
- シミュレーションデータ作成……シミュレーションの起動条件、ルーチング方式を定義するパラメータ等の入力データファイルを作成する。
- ジョブファイル作成

本シミュレータにより、各種のダイナミックルーチング方式の比較評価が可能となり、NTT中継網に適した新たな方式が開発された。

さらに現在、通信網の運用に関する各種措置の効果を高速に把握するため、並列処理方式を用いたシミュレータが研究されている[7]。その狙いは、通信網を規定するネットワークアーキテクチャの用語でいえば、回線、パス(論理的伝送路)、設備(物理的伝送路)の各階層に関する状況のシミュレーション結果、および知識ベースによる過去の分析結果の再利用により、オペレータに迅速に判断データを提供することにある。すなわち、現実の通信網の動作状況を計算機上に実現する、一種のバーチャルリアリティをめざすものである。

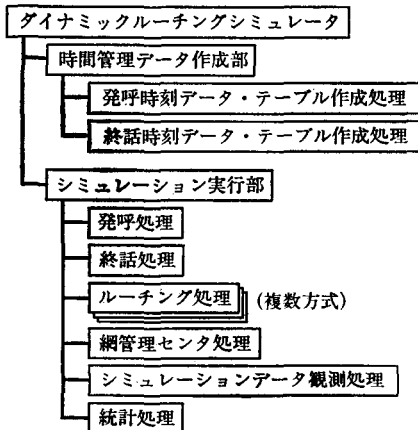


図2 ダイナミックルーチングシミュレーションのシステム構成

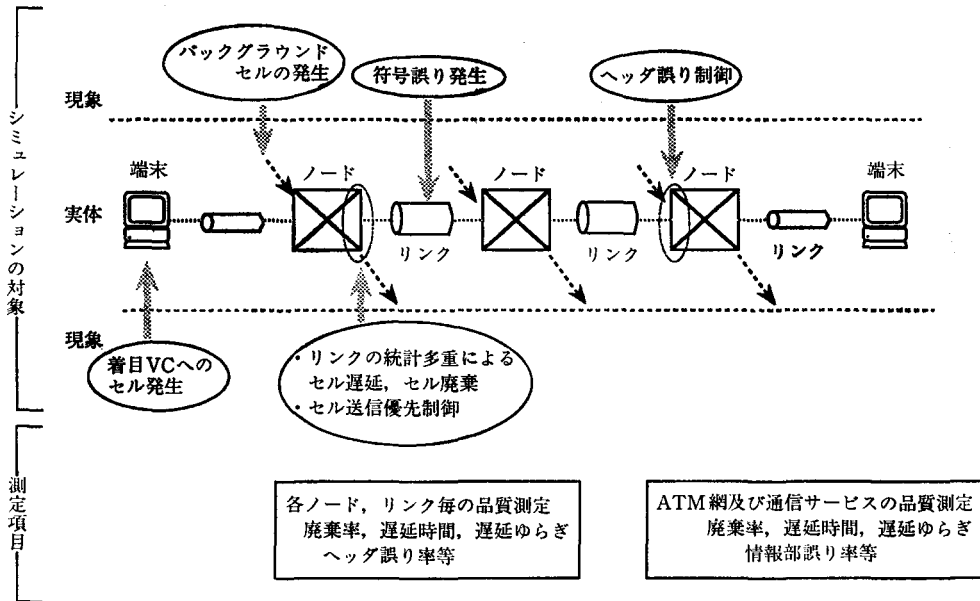


図3 ATM網品質解析用シミュレータの対象と測定項目

4. ATM網品質解析用シミュレータ

マルチメディア情報を運ぶ通信網として、高速広帯域 ISDN(B-ISDN)に対する研究開発が盛んに行なわれているが、その情報伝達方式として期待されているのが ATM(Asynchronous Transfer Mode)技術である[8].

ATM技術は送信情報を固定長の情報に分割し、これに宛先等の制御情報(ヘッダ)を付加してセルと呼ばれる情報ブロックに再構成して通信する技術である。各ノードではヘッダを見てハードウェア論理により次のノードへ送出する。また昨今の伝送路(光ファイバー)の高品質化によりセルの再送処理は網内では実施しない、あるいはフロー制御も非常に簡素化されユーザー間に委ねられている。回線交換技術ではエンドーエンド間には物理的に回線(あるいはタイムスロット)が占有されるが、ATM技術ではパケット交換のように仮に呼の通信経路が設定(Virtual ChannelあるいはVCと呼ぶ)されるのみであり、この上をセルが断続的に転送される。したがってバッファや伝送路のような物理的な共用リソースではトラヒック的な競合が確率的に生じるため、通信中の品質解析が重要な課題となる。そのために開発されたマルチプロセッサ型のシミュレータ[9,10]を紹介する。

4.1 シミュレーション対象

シミュレーションで対象とする範囲を図3に示す。V

C単位での品質を解析対象としているので、セルの発生は品質を測定したいVC(着目VCと呼ぶ)とその他のVC(着目VCと伝送路を共用するVCをまとめてバックグラウンドと呼ぶ)とに分けて行なう。また通信中の品質を対象とし、呼設定過程に関するシミュレーションは省略する。

4.2 基本条件とシステム構成

シミュレータに求められる条件は、①中継ノード数の追加や品質制御方式の変更が簡単に行なえるよう、プログラムやモジュール化されていること、②シミュレーションの実行に要する時間が速いこと、である。この2条件を満たす走行環境として1ノードに1プロセッサを対応させたマルチプロセッサシステムによる分散シミュレータが適している。

ATM網でのセル転送には以下の特徴があるため、プロセッサをタンデムに結合する簡単な形のマルチプロセッサ構成で分散シミュレータが実現できる。

- (1) 1VCのセルが経由するノードは呼設定時に定められ、呼の続く間変化はしない。
- (2) セル転送は発側から着側へ方向に行なわれ、基本的にフィードバック、同一のノードへ戻ることがない。本シミュレータでは、端末と通信網を構成するノード、リンクに着目し、シミュレーション対象を次の3種類に分類している。①発端末と1ノード、②1リンクと1ノード、③着端末。これらでの処理をそれぞれ1プロセッ

サに割り当て、エンドーエンドのセル転送を模擬している。プロセッサシステムは、高並列処理用に開発されたPAXコンピュータ[11]の考えにもとづいている。

これにより、シミュレーション対象の通信網との対応がわかりやすくなるとともに、プロセッサ間の結合度が疎になり、プロセッサごとのプログラムを独立して開発できるようになる。なお、プログラミングには汎用言語を用いている。

本シミュレータでは、シミュレーションの時間管理を行なうために、各セルに時間情報(タイムスタンプ)を乗せ、それをもとに各プログラムモジュールで独立に時間管理する。この方式は集中管理方式(シミュレータ全体の時間管理を担当するプロセッサで各プロセッサから現時刻の報告を受け、全プロセッサの時間を一括して更新する方式)に比べ、各プロセッサ上のプログラム実行がアイドルになることが少なく、時間管理のためプロセッサ間通信を頻繁に行なう必要がないので、シミュレーションの実行速度の点でも優れている。

5. サービス性評価用シミュレータ

電話サービス開通業務は、電話回線の新規加入、移転、付加サービス(キャッチホン等)の追加を処理する業務である。本業務に関するお客様からの注文は、NTTの場合、全国で年間800万件にも達するため、そのサービス性、特に「お客様の注文受付からサービス提供までに要する時間」を評価、短縮することは重要な課題である。

5.1 業務フローとシミュレータ

電話サービス開通業務の業務フロー(作業の流れ)を

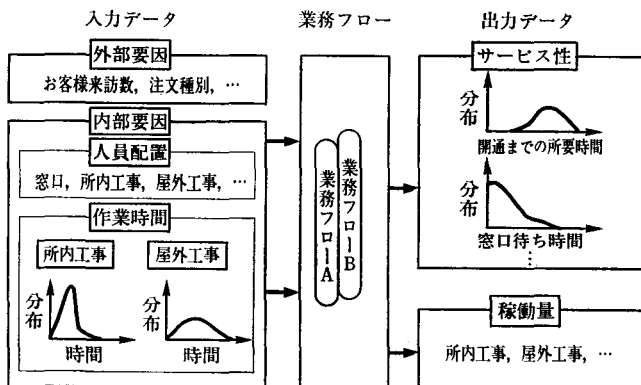


図5 サービス性評価用シミュレータの概要

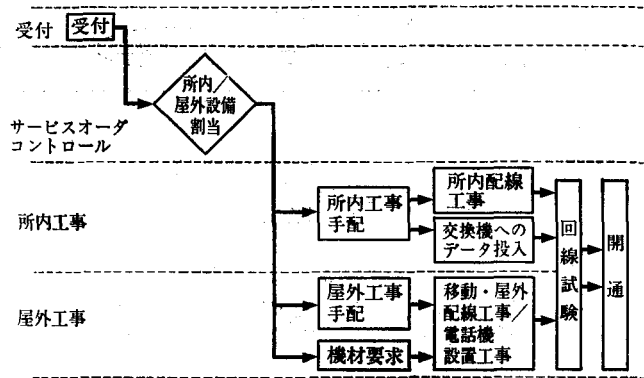


図4 サービス開通業務のフロー概要

図4に示す。サービス性向上をめざして、自動化MDF(Main Distributing Frame)等による作業の自動化と業務フローの見直しが並行して行なわれている。これらの施策がサービス性向上にどの程度寄与できるかを事前にかつ定量的に評価するため、シミュレータ[12, 13]が開発された。本シミュレータは、一種の生産工程シミュレータである。

お客様の注文をシステム中を流れる要素(entity)と見なし、電話サービス開通業務の業務フローを模擬し、シミュレーション言語SLAMIIを用いて作成されている。本シミュレータへの入力データは、お客様来訪数、注文種別(新規申込、移転、付加サービスの追加)等の外部要因と、人員配置、作業時間等、電気通信事業者が決定できる内部要因に分類される。一方、出力データとして、お客様の申込からサービス開通までの所要時間、受付時の待ち時間等を得ることができる(図5)。各種の時間のオーダーは、すでに紹介した2種類のシミュレータに比べて非常に大きく、分、時間である。

5.2 シミュレータの汎用化

上記シミュレータでは、業務フローが変更された場合、そのつど、業務フローに相当するプログラムを作成し直す必要があり、プログラミング技術をもたないユーザーを想定した汎用化が図られた[14]。

汎用化、ユーザーフレンドリー化のために、システムに要求される機能として、次の項目が考えられた。

- ・さまざまな業務フローの容易な入力機能
- ・入力フローをもとにしたシミュレーションモデルの自動生成機能

- ・シミュレーション実行機能
 - ・シミュレーション結果の視覚的な出力機能等
- これらの要求条件を満足するために、次の各モジュールを有するシステムとして実現されている。
- ・GUI (Graphical User Interface) を用いた業務フローおよび各種条件の入力が可能なプリプロセッサ
 - ・シミュレーションモデルの自動生成およびシミュレーション結果の収集を行なうシミュレータ
 - ・シミュレーション結果をもとにしたアニメーション表示および帳票グラフ表示を行なうポストプロセッサ
- なお、プログラミングには、汎用言語を用いている。
- 入力された業務フローデータからシミュレーションモデルを自動生成する方法として、ソースプログラムの自動コーディングが考えられるが、プログラムを実行形式に変換するための処理時間を要するという欠点がある。そこで本システムでは、あらかじめ実行形式に変換してある各ノードごとの処理プログラムを組み合わせることで処理フローテーブルを作成し、これにより業務フローのシミュレーションモデルを表現する方法をとっている。

また、業務の混み具合等を分析するには、時系列データのアニメーション機能が有効である。本シミュレータでも注文の流れ、滞留状況を画面に表示している。

6. おわりに

通信網の運用、新技術の適用、さらにはお客様対応の業務等、さまざまな局面で定量的評価・分析のために、シミュレーションが広く用いられている事例を示した。

昨今のグラフィックス能力の向上、計算機の高速化により、より使いやすい、理解しやすいシミュレータの作成が可能となってきた。今後さらに、通信網を対象としていわゆるバーチャルリアリティ的なシミュレーションも可能であり、シミュレーション技術は今後の通信網構築・運用に対してますます大きな貢献ができるものと期待される。最後に、本稿の作成に際し、NTT通信網総合研究所の井上明也主任研究員、横井忠寛主幹研究員、池内哲之主任研究員をはじめ関係者から、種々のご助力をいただいたことを記し深謝する。

参 考 文 献

[1] 秋丸, 川島: 情報通信トラヒック基礎と応用—電気通信協会 (1993).

[2] 猪瀬 博: 定位形交換線群擬似電子装置, 電気通信学会誌, Vol.37, No.6, pp.398-402 (1954).

[3] 五嶋, 岡田: 通信網におけるシミュレーション技術, 電子情報通信学会誌, Vol.60, No.7, pp.747-752 (1977).

[4] 間瀬憲一: ダイナミックルーチングのモデル化手法, オペレーションズ・リサーチ, Vol.35, No.3, pp.144-148 (1990).

[5] 井上, 山本: ダイナミックルーチング評価支援用大規模ルーチングシミュレータ, 電子情報通信学会交換システム研究会報告, SSE89-67, pp.31-36(1989).

[6] Inoue, A., Yamamoto, H., and Harada, Y.: An Advanced Large-Scale Simulation System for Telecommunication Networks with Dynamic Routing, *Proc. NETWORKS'89*, pp. 77-82 (1989).

[7] Hasegawa, H., and Inoue, A.: Approach to Nationwide Network Simulation Making Virtual Reality for Telecommunication Network Management, *Proc. of the 1992 Winter Simulation Conference*, pp.1374-1379 (1992).

[8] 紀 一誠: ATMのモデル化とその周辺, 日本OR学会第25回シンポジウム「待ち行列—モデリングと解法—」, pp.8-20 (1991).

[9] 横井, 岸本: ATM網エンド—エンド品質解析用シミュレータの構成法, 1990年電子情報通信学会春季全国大会, B-636 (1990).

[10] Yokoi, T., Kishimoto, N. and Fujii, Y.: ATM Network Performance Evaluation using Parallel and Distributed Simulation Technique, *Proc. of ITC14, "Teletraffic and Datatraffic"*, pp.815-820 (1991).

[11] 星野力: PAXコンピュータ, オーム社,(1985).

[12] 小関, 池内: 電話サービス開通業務のサービス性評価, 1992年電子情報通信学会春季大会, B-643 (1992).

[13] Ozeki, S., and Ikeuchi, N.: Customer Service Evaluation in the Telephone Service Provisioning Process, *Proc. of the 1992 Winter Simulation Conference*, pp.1341-1348 (1992).

[14] 今中, 佐藤, 小関, 池内: 加入者系オペレーションフロー評価システムの構築, 1993年電子情報通信学会春季大会, SB-7-2 (1993).