

移動通信網を利用したインターネットアクセス 大規模システムの性能評価手法

沼尻 政吾, 三浦 章, 吉原 桂子, 松村 龍太郎

移動通信網を利用したインターネットアクセスは急激に発展しており、1999年2月に開始したiモードサービスも加入者が急激に伸び、2002年10月15日現在で3,500万人を超す加入者となっている。また、この莫大なiモード加入者を支え、iモードサービスを実現しているPDCPパケット移動通信システム（以下、PDCPシステム）のトラヒックも急増している。このトラヒックの急増に対して、設備増設、更改等の実施が必要であり、その際交換機の処理能力を正確に把握することが必須である。PDCPシステムでは、従来の性能評価方法を踏まえPDCPシステム特有の条件を考慮し、新たな性能評価手法により処理能力を把握している。

本稿では、PDCシステムにおける交換機の性能評価方法について解説する。

1. はじめに

移動通信網を利用したインターネットアクセスは急激に発展している。このような、モバイルコンピューティングにおけるユーザの利便性向上を狙いとして、PDCパケット移動通信システム（PDCP: Personal Digital Cellular-Packet）[1~4]を開発した。主なサービスメニューにはDoPaサービス[5]とiモードサービス[6, 7]があり、特に1999年2月に開始されたiモードサービスは、図1のように加入者が急激に伸びている。

この急激な伸びに伴い、iモードサービスを実現しているPDCPシステムのトラヒックも急増している。トラヒックの急増に対して、タイムリーな設備増設計画等の策定が必要であり、交換機の処理能力を正確に

ぬまじり せいご, みうら あきら, よしはら けいこ
株式会社NTTドコモ 研究開発本部コアネットワーク開発部
〒239-8536 横須賀市光の丘3-5
NTTドコモ R&D センタ
まつむら りゅうたろう
NTT サービスインテグレーション基盤研究所
〒180-8585 武蔵野市緑町3-9-11

iモード加入者数

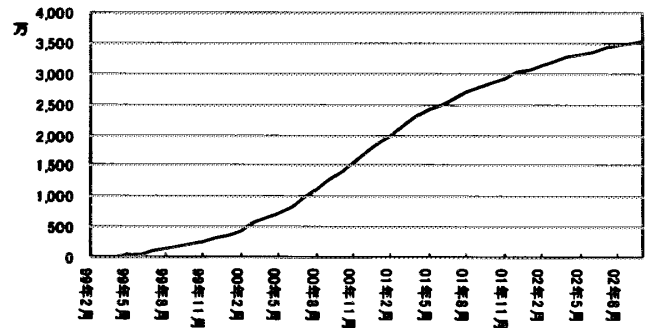


図1 iモード加入者数推移

把握することが必須である。本稿では、PDCPシステムにおける交換機の処理能力を把握するための性能評価方法について解説する。

以下、節2でPDCPシステムの概要と性能評価方法について述べ、節3では新たな性能評価方法について説明する。節4では性能評価式を商用に適用し、誤差補正方法について示す。

節5では定期的に商用データを確認し、誤差補正が必要となる判断方法について示す。節6では補正方法を評価し、最後に節7でまとめる。

2. PDCPシステムの概要と性能評価方法

2.1 ネットワーク概要

PDCPネットワークは、図2に示す通り加入者系処理装置（PPM: Packet Processing Module）、パケット閘門中継処理装置（PGW: Packet Gateway Module）、およびiモード用パケット閘門中継処理装置（MPGW: Mobile Packet Gateway Module）という交換機で構成されている。各交換機は、図3に示すTTC標準JJ70.20にて規定されているVPMSC（Visitor Packet Mobile services Switching Center）およびGPMSC（Gateway Packet Mobile services Switching Center）に各々相当する[1]。

また、各交換機はUnixの汎用機にて実現しており、

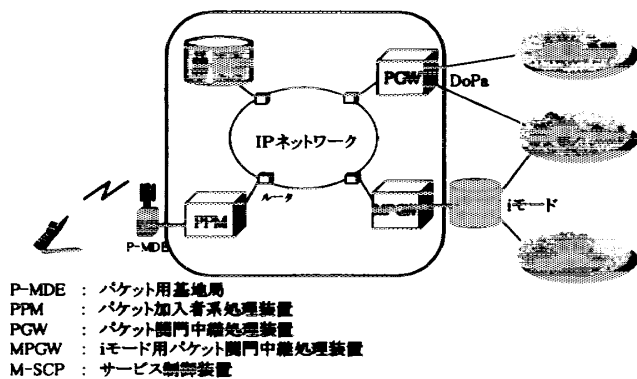


図2 PDC-P ネットワーク構成

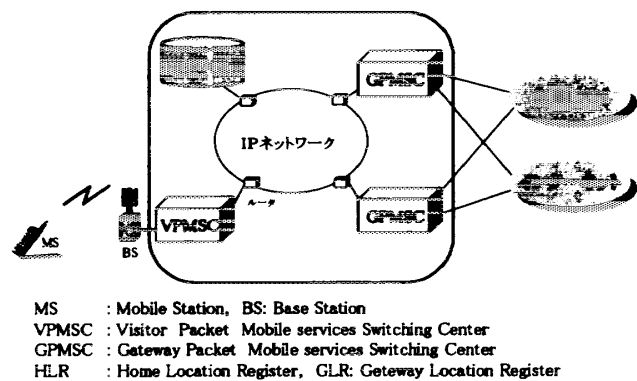


図3 TTC 標準規定によるネットワークモデル

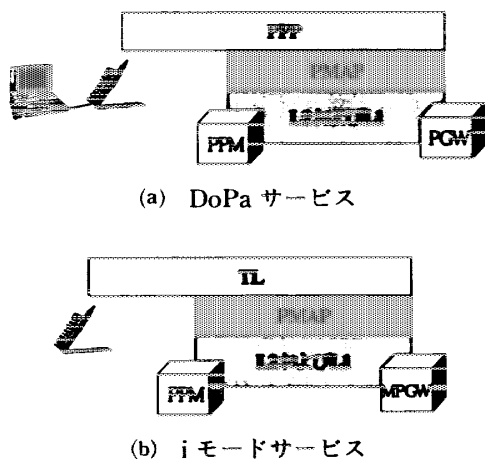


図4 サービス別プロトコルスタック (PMAP: Packet Mobile Application Part)

交換機相互はルータにてLANやWANを形成して接続されている[8]。

PGWおよびMPGWは、それぞれDoPaサービスとiモードサービスをサポートする。各サービスをサポートする際のプロトコルスタックは図4に示す通りであり、ダイヤルアップサービスであるDoPaサービスはPPPにより通信を行うのに対して、iモードはTL (Transfer Layer protocol) [6]により通信を行

う。

また、交換機間はPMAP (Packet Mobile Application Part) と呼ばれるプロトコルで通信が行われる。各々のサービス利用上の特性は以下の通りである。

- (1) DoPa: 従量制課金のメリットを利用し一度接続したら切断せず、ユーザパケットのみを必要に応じて送受信する (DTEを利用したダイヤルアップサービス等)
- (2) iモード: 少量のパケットを必要に応じてパケット接続から開始し送受信を行い、必要なくなれば即時に切断する (このような方法とすることで、保留時間が短くなることから、より多くのユーザがサービスを受けることが可能になる)

2.2 性能評価方法

前述した通り、iモードユーザの急激な伸びによりトラヒックが急増している。それに対応すべくタイムリーな設備計画の策定が必要になっている。設備計画を策定する際の重要な要素としては、以下の3点があげられる。

- (1) 加入者数の推移およびサービス状況 (導入状況、利用特性)
- (2) 上記より決定されるトラヒックの推移
- (3) 交換機を含めたシステムの処理能力

将来の予測されるトラヒックに対して交換機を含めたシステムの処理能力を的確に判断することにより設備計画は策定可能となるため、その処理能力を的確に示すことは必須となっている。

以上の通り、性能評価の目的は、加入者数やトラヒック量等に応じて品質上問題のないシステムを経済的に提供することである。ここでは具体的には、上述した(1)~(3)の3大要素を基にタイムリーに交換機増設や設備更改等の設備計画を実施することを目的としている。

従来交換機では、呼種別ダイナミックステップ (DS) をカウントし、そのDSと呼種別トラヒック数の積および、局規模比例分負荷の和により、CPU使用率の推定を行っていた。DSの算出にあたっては、専用マシンを用いていたことや、専用OS上にアプリケーションを開発していたので、机上あるいはソフトウェア上に測定ツールを組み込んで計数する方法が可能であった。さらに、交換機性能を表現する場合には呼種別のトラヒックも長期間の運用実績の積み重ねにより明確であったことから、精度的にも問題なく直感的にもわかりやすい呼数 (BHC: Busy Hour Call),

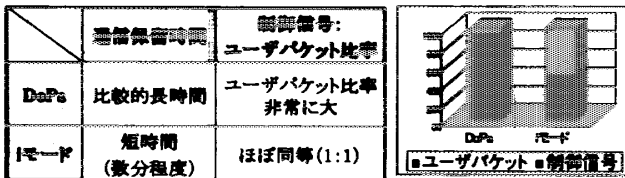


図5 サービスにおけるトラフィック特性

あるいはPPS (Packet Per Second) 換算値を便宜的に使用してきた。

これに対して、PDCPシステムにおいては節2.1で述べた通り汎用Unixマシンを使用しているため、専用の交換機を使用していたそれとは差異がある。具体的には汎用のUnixマシンであるため、OS部分やミドルウェア部分も汎用でありソフトウェアは公開されておらず、DSをカウントすることは困難である。さらに、DoPaサービスとiモードサービスでは、サービス特性を反映して、図5に示すように、制御信号とユーザパケットの割合が全く異なっており、トラフィック傾向の変化も激しいことに加え、制御パケットとユーザパケットの処理負荷が同一でないことから、PPS換算の表現は処理能力を明確には表現し得ない。そこで、PDCPシステムにおいては、実測ベースの値に基づくCPU使用率推定方法を採用することとした。

3. 新性能評価方法

3.1 性能評価への要求条件

PDCPシステムの場合、地域特性、時間特性、ネットワークポロジ等の条件により、各交換機においてトラフィック特性が大きく変動する。設備設計を行う際には、そのようなことも考慮する必要があり、トラフィックの変動に対しても、交換機の処理能力をある精度を保って算出することが求められる。

3.2 実現方法

3.2.1 性能評価式の形式

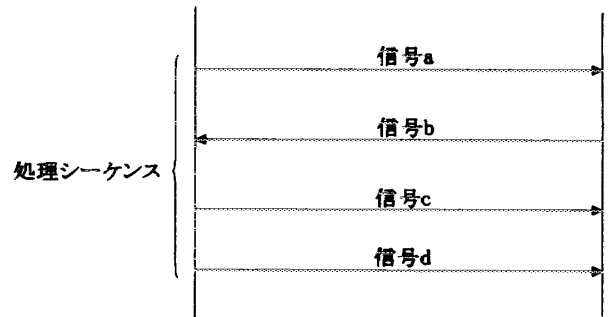
PDCPシステムの各交換機における「呼設定」、 「パケット転送」、 および「チャンネル切り替え」等の各処理はマクロ的には独立しているものと考えられるため、それらの各処理の負荷からCPU使用率は推定できると考えられる。このCPU使用率の算出式を我々は性能評価式と呼んでいる。すなわち、性能評価を行うにあたって処理能力に影響のある各処理に重み付けを実施し、その処理回数に対応している交換機で取得しているトラフィック数との積算和によりCPU使用率

$$CPU使用率 = \sum a_i X_i$$

・ a_i :係数 ・ X_i :パラメタ

X_i :P-MDE数;
送受信ユーザパケット数;
パケット通信量要求数;
着信数;PPM間チャンネル切替数..... (8~10個程度)

図6 性能評価式の定義



※ 信号aの出現回数 = 処理シーケンスの実行回数

図7 トラフィックと処理シーケンス

の導出を行う評価式である。

具体的な式は、図6に示す通り処理の重みを表す係数、その処理の回数を表すパラメタの積算を各処理に対して実施し、その和によってCPU使用率を算出する形式になっている。この式は多変数解析の重回帰分析式に相当し、CPU使用率が目的変数、パラメタが説明変数に相当する。算出方法については、節2で示した理由によりDSをカウントとする手段による算出ではなく、開発環境下において実際に測定を実施することによる算出方法を採用している。

3.2.2 性能評価式の導出方法

性能評価式の形式決定方法は以下の通りである。

- ① 交換機を流れる呼制御信号や保守用信号等全信号に対して処理能力への影響を机上評価し、処理能力に影響のある信号を信号シーケンスの単位でピックアップする。
- ② その信号シーケンス実行回数を示す、交換機で実際にカウントしているトラフィックを求める。

トラフィックと処理シーケンスの実行回数の関係は、具体的には図7に示す通り、信号a~dまでの一連のシーケンスの処理実行回数を示すものは各信号出現回数、例えば信号aの信号出現数に対応するという意味である。このように、シーケンスの実行回数を示すパラメタを抽出し形式を決定する。

性能評価式の形式を定義した後、正常系や準正常系のシーケンスを開発環境下で測定し係数を算出する。

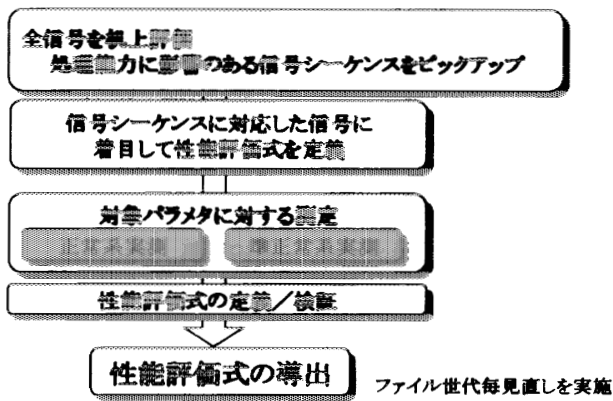
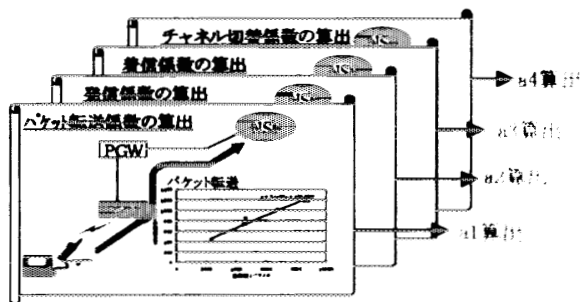


図8 性能評価式導出手順



a_i は $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = (x_1, 0, 0, \dots, 0)$ とし

$$CPU使用率 = a_1 x_1$$

x_1 のみを変動させる事によって算出(単回帰分析)

図9 測定方法 (方法1)

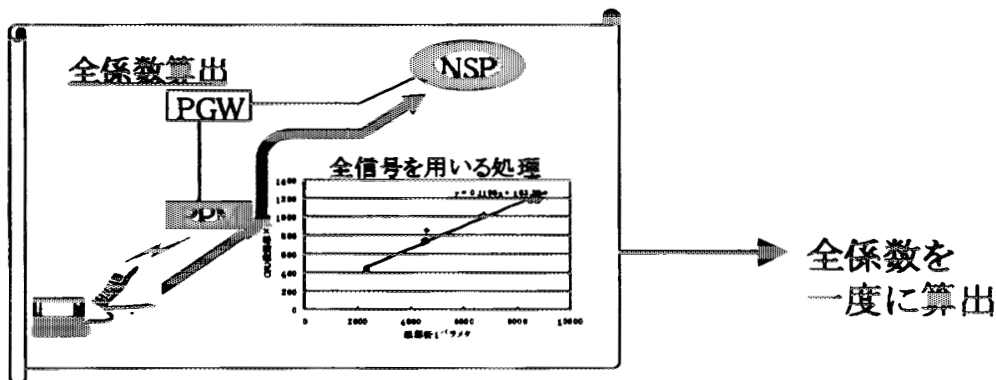
なお、PDCPシステムのアプリケーションは定期的に新機能を盛り込みリリースしており、それに合わせて処理能力に影響のある機能を洗い出すことにより、性能評価式は見直しを実施している。全体のフローは、図8の通りである。

具体的な開発環境下での測定方法は、二つの方法が想定される。

方法1：各係数算出はそのパラメタの負荷のみを発生させ、係数を単回帰分析により各々算出する (図9)

方法2：複数の負荷を同時に発生させ、一度の重回帰分析にて係数を算出する (図10)

方法1は図9に示す通り、ユーザパケット転送の係数を算出する場合は、擬似負荷発生装置から交換機に対してユーザパケット転送のみの負荷を与えることによってパケット転送係数を算出する。その他の処理についても同様にその処理のみに特化した負荷を与え係数を算出する。したがって、各係数は一度の測定により算出するのではなくパラメタごとに測定しそれらを積み上げることで最終的に性能評価式を導出する。性能評価式を数学的にとらえると、 a_1 算出の際には X_1 以外のパラメタを0とし X_1 のみを変動させることによって単回帰分析にて係数 a_1 を算出する。同様に a_2 、 a_3 についても単回帰分析にて算出しそれらを積み上げることによって、重回帰分析の式である性能評価式



全係数は $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ とし

$$CPU使用率 = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n$$

全 X を変動させる事によって算出(重回帰分析)

図10 測定方法 (方法2)

を決定する。

方法2は図10に示す通り、一度に複数の負荷を同時に発生させ、重回帰分析にて係数を算出する。

各パラメタにおける処理がマクロ的には独立であると考えた場合、重回帰式を単回帰分析の積み上げにて導くことは可能であり[9]、擬似負荷発生装置において変動させるパラメタが一つで済むという簡便さから、方法1により係数を算出している。

4. 性能評価式の商用適用と評価

節3で導入した性能評価式を実際に商用適用し評価する。適用のプロセスは以下の(1)~(3)となる。

- (1) 商用適用
- (2) 補正
- (3) 定点観測

まず、(1)により性能評価式を商用に適用する。もし商用データと性能評価式に誤差がある場合、(2)で誤差を補正する。その後、定点観測により定期的に商用データを確認し、誤差がないか確認する。

4.1 商用適用

4.1.1 相対誤差

性能評価式の精度を数量的に決定することは重要である。そこで、性能評価式により算出される値（理論値）がどのくらいの精度で実際に交換機で測定されるCPU使用率（実測値）を近似するかを、24時間分のデータを2乗平均した相対誤差によって評価する。相対誤差は、実測値が理論値に対して何%程度ずれがあるかの目安となる。具体的には、実測値を y_i 、理論値を Y_i 、サンプル数を n とすると相対誤差は、

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n}} / \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{n}}$$

と表せる。相対誤差は、24時間分のデータという広範囲の時間帯の平均をとって定義したものであるので、式の誤差評価の偶然による不確かさを減らすことが可能である。

4.1.2 高精度な交換機の事例

商用の交換機において実際に測定されたCPU使用率（実測値）と同時刻のトラフィックを元に性能評価式より算出されたCPU使用率（理論値）を図11に示す。このグラフより、商用の交換機におけるCPU使用率が開発環境下で算出された性能評価式から求めたCPU使用率と十分一致していることが確認できる。図12は、図11の時間帯に対応した実測値と理論値の差分を理論値にて割ったグラフである。このときの相

CPU 使用率

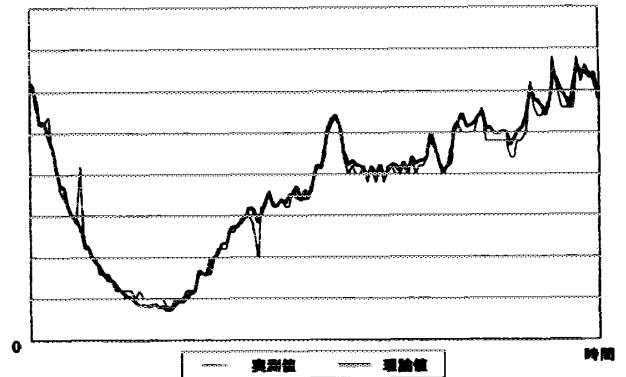


図11 商用適用例1（実測値と理論値の比較）

相対誤差

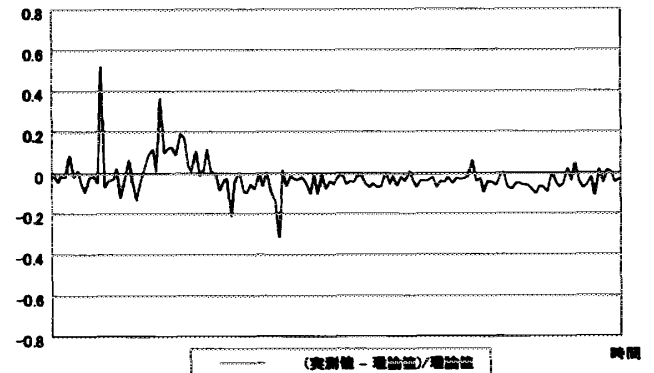


図12 商用適用例1（(実測値-理論値)/理論値）

対誤差は0.06であり、設備計画上、十分な精度である。PDC-Pの性能評価式は大部分の商用交換機に対して、このような傾向にあり、性能評価式は有効である。

4.1.3 乖離が発生している交換機の実例

図13は乖離が発生している交換機の実例を示している。図14は、実測値と理論値の差分を理論値にて割ったグラフである。また、このときの相対誤差は0.34である。乖離が発生する原因としては、以下のものが考えられる。

- (1) パラメタ抽出に漏れた、見えないパラメタの存在
- (2) テバッグ環境と商用環境における規模の違い
- (3) 評価式算出のための測定環境と商用環境におけるトラフィック生起分布の違い

4.1.4 時間推移による精度変化の実例

PPM, PGW, MPGWの各交換機別のある1交換機ずつを対象に、ある時間間隔 t ごとに相対誤差を測定したものを図15に示す。

グラフより、相対誤差は時間の推移と共に変化する事が確認できる。

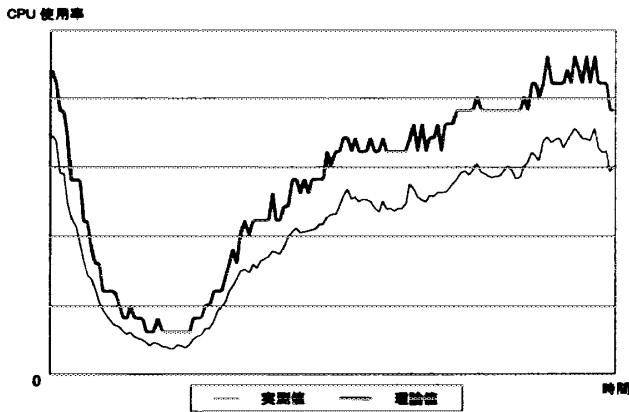


図 13 商用適用例 2 (実測値と理論値の比較)

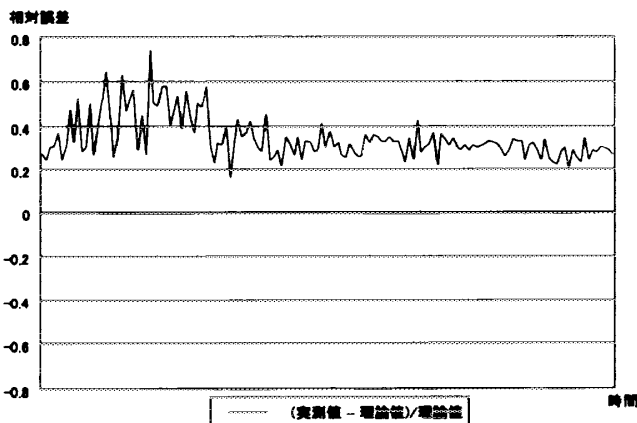


図 14 商用適用例 2 ((実測値 - 理論値)/理論値)

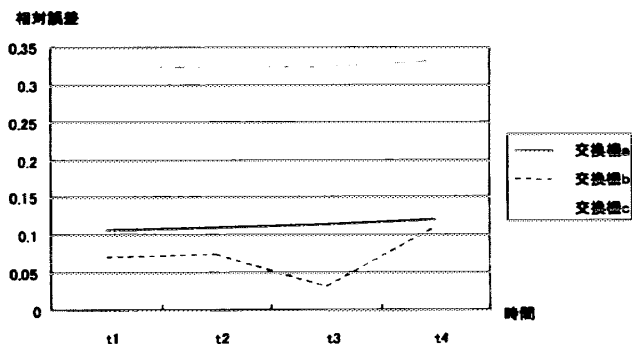


図 15 時間推移による相対誤差の変化

4.2 補正係数を用いた補正方法

4.2.1 補正の目的

乖離が発生している一部交換機に対して原因究明し性能評価式にフィードバックすることは重要であるが、早期に原因究明をすることが困難な場合がある。しかし、設備計画への反映を考えた場合、早期に商用交換機に対して目標精度を実現することが重要となる。したがって、開発環境下で算出した性能評価式を商用交換機に適用できるように補正することが必要となる。

4.2.2 一般的な補正方法

性能評価式は説明変数に関する 1 次式となっている。この 1 次式の一般的な補正方法としては、二つの補正方法が考えられる。

方法 1：評価式全体を定数 N 倍する全体項補正

方法 2：評価式における被疑項のみを定数 N 倍する特定項補正

方法 1 は、もとの評価式のスケールを変更するのみなので実験データの特徴を反映でき、かつ計算が簡易なので実用的な意義が大きい。方法 2 は、被疑項を特定できる場合、精度の高い評価式を算出するのにふさわしい。以降では、全体項補正および被疑項補正について説明する。

4.2.3 全体項補正

交換機のある時点のデータサンプル $i (1 \leq i \leq n)$ について性能評価式を適用して求めた CPU 使用率の理論値を k_i とする。それに対して、実際に交換機を測定して求めた CPU 使用率の実測値を x_i とする。理論値 k_i を補正して、実測値 x_i に近づけるために補正係数 N をかけることを考える。最小 2 乗法の考え方を用いて最も適切な N を求める。具体的には、

$$F(N) \equiv \sum_{i=1}^n (x_i - N \cdot k_i)^2$$

としたとき、 $F(N)$ を最小にする N を求めればよい。 $F(N)$ を N に関して微分して 0 とおき、 N を求めると、

$$N = \left(\sum_{i=1}^n x_i k_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n k_i^2 \right)$$

となる。

4.2.4 被疑項補正

本来、乖離のないように机上計算および測定を実施しているのに、大きな乖離要因は考えにくい。しかし、新たなサービス追加等によりスペックの観点より測定時と商用適用時では、乖離が発生しうる項が存在する。その場合、乖離が発生しうる項、もしくは性能評価式にもっとも多大な影響を与えている項のみ (被疑項) を対象に補正を実施することにより、効率的に補正が実現できる。補正係数の算出は、被疑項が特定できる場合を考えると、最小 2 乗法を用いた方法で算出可能である。性能評価式から求めた CPU 使用率 k_i を被疑項部分 l_i とそれ以外 m_i に分割する。このとき、 l_i のみを N 倍補正し、最適な N を求めればよい。すなわち、

$$F(N) \equiv \sum_{i=1}^n \{ (x_i - m_i) - N \cdot l_i \}^2$$

としたとき、 $F(N)$ を最小にする N を求めればよい。

〈被疑項の特定方法〉

被疑項をスペックの観点から特定し得ない場合は、定量的尺度により求める明確な指針を示すことが重要である。また、被疑項は、評価式を理論的もしくは効率的に補正可能な項であるといえる。したがって、説明変数への寄与率の高い説明変数を表す標準偏回帰係数が有効である。

標準偏回帰係数とは、説明変数と目的変数をそれぞれ、平均値=0、標準偏差=1と正規化しておき、それから重回帰分析によって求めた回帰式の係数のことである。具体的には、目的変数となる実測により算出されたCPU使用率を x_i 、その平均値を μ 、標準偏差を σ 、正規化した x_i を X_i 、説明変数となる各項を k_{ij} 、その平均値を μ_j' 、標準偏差を σ_j' 、正規化した k_{ij} を K_{ij} としたとき、以下の変数から重回帰分析によって標準偏回帰係数を求める。

$$X_i = (x_i - \mu) / \sigma$$

$$K_{ij} = (k_{ij} - \mu_j') / \sigma_j'$$

5. 定点観測

5.1 定点観測の目的

節 4.1.4 で述べた通り、性能評価式の精度は時間と共に変化する。したがって、性能評価式を商用データに適用した場合の精度を定期的に確認し、乖離が大きくなった場合には、評価式を見直す必要がある。本節では、一般的な検定方法である相対誤差検定、平均値検定[14]および F 検定[15]の3手法を用いた観測法について述べる。

5.2 相対誤差検定

相対誤差が目標精度を下回るかどうかを見ることによって補正係数を定期的に見直し、性能評価式を更新する必要があるかどうかを決める手法である。

5.3 平均値検定

平均値の差の検定によって性能評価式による理論値と実測値との間に差がないかどうかを検定する手法である。考え方は以下の通りである。

2組の互いに独立な標本 $\{x_i\} (i=1, \dots, n)$ ならびに $\{x'_j\} (j=1, \dots, n')$ が与えられたとき、両母集団の平均の差 $(\mu_0 - \mu'_0)$ が特定の値 d であるか否かを検定する。ただし、データには分散があるため、単純に平均値が等しいかどうかを比べたのでは、母平均が等しいか判断することはできない。したがって、統計的な検定法を用いて分散によるあいまいさを込めて母平均が等し

いかどうかを判定する必要がある。具体的には、2組の標本の平均値を $M(x)$ 、 $M(x')$ 、サンプル数を n 、 n' 、標準偏差を σ 、 σ' とし、中心極限定理により次の z は正規分布に近似されるとしているのが検定法の根拠である。すなわち、

$$z = (M(x) - M(x') - d) / \sqrt{\frac{\sigma^2}{n} + \frac{\sigma'^2}{n'}}$$

としたとき、帰無仮説として、「母平均に差はない。すなわち、 $d=0$ である」をたてて、 z を両側危険率の臨界値と比較して「それより小さければ、母平均に差があるとはいえない。それより大きければ母平均に差があるといえる」と検定する。

性能評価式への適用を考えた場合、 $\{x_i\}$ は理論値、 $\{x'_j\}$ は実測値に相当し、その平均値の間の差 d が0かどうかを検定するという問題になる。差があれば乖離があるということになって補正が必要となり、差があると断定できなければ乖離があるとはいえないため、補正の必要はないということになる。

5.4 F 検定

分散比 (F 値) の検定によって、新旧回帰式に差があるか、新回帰式が実測値に近いかどうかを検定する手法である。考え方は以下の通り。

標本を $\{x_i\} (i=1, \dots, n)$ 、標本を重回帰分析して求めた回帰式を X_i 、標本 $\{x_i\}$ によらず従来からの回帰式を y_i 、標本数を n 、回帰式の項数を p とすると、新たな回帰式 X_i と従来からの回帰式 y_i の差分の自由度 p の不偏分散と、標本と新たな回帰式の差分の自由度 $n-p$ の不偏分散の分散比は第1自由度 p 、第2自由度 $n-p$ の F 分布に従うことに基づく検定法である。具体的には、

$$F = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - y_i)^2 / p}{\sum_{i=1}^n (x_i - X_i)^2 / (n-p)} \right\}$$

としたとき、帰無仮説として「標本から求めた回帰式は、従来からの式と同じである」をたてて、 F 値の臨界点と比較し「それより小さければ、標本から求めた新たな回帰式は従来からの式と同じである」といえる。

性能評価式への適用を考えた場合、補正係数を更新する判断の基準として次の2点を考慮する。

- (a) 新旧性能評価式の差分が大きいほど更新すべきである。
- (b) 新性能評価式と実測値に近いほど更新すべきである。

このとき、(a)を分子、(b)を分母とする分散比が F 分

布に従うということを根拠に検定する。具体的には、 $\{x_i\}$ がCPU使用率の実測値、 X_i が新たな性能評価式、 y_i が従来からの性能評価式に相当し、新たな性能評価式が、従来からの性能評価式と同じであることを検定するという問題になる。同じであることが、ある有意度においていえれば、補正の必要はないということになる。

6. 評価

6.1 補正方法の評価

節4.1.3 (図13, 14)に示した交換機に対して、全体項補正と被疑項補正の2方式を適用し、両方式の優劣を評価した。

(1) 全体項補正の評価

全体項補正を実施した後の性能評価式適用例は図16, 17に示す通りである。また、このときの相対誤差は0.05であり、補正前の0.34から大きく向上している。したがって、補正を実施することにより精度が十分向上することが確認できる。

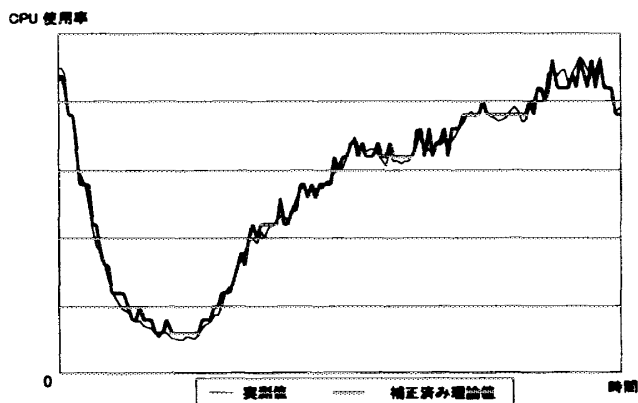


図16 全体項補正 (実測値と補正済み理論値の比較)

(2) 被疑項補正の評価

図18は、標準偏回帰係数を算出した結果を示している。このグラフは、パラメタBの係数を被疑項として選定すべきであることを示している。

この結果より、被疑項をパラメタBと選定し被疑項のみを補正した例は図19, 20に示す通りである。このときの相対誤差は全ての項を補正した際と同様の0.05である。したがって、被疑項のみを補正する手

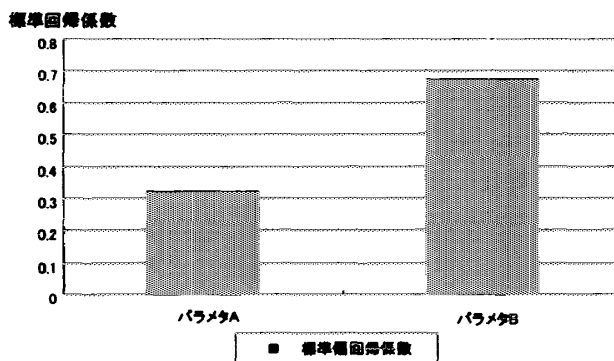


図18 標準偏回帰係数

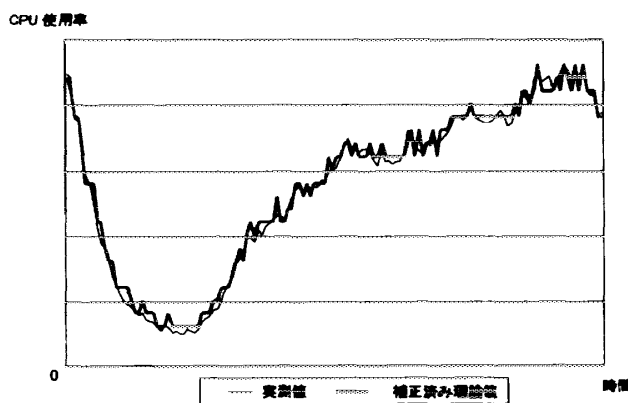


図19 被疑項補正 (実測値と補正済み理論値の比較)

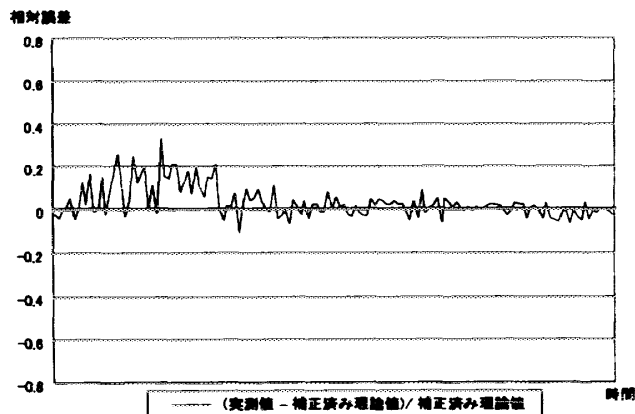


図17 全体項補正 ((実測値-補正済み理論値)/補正済み理論値)

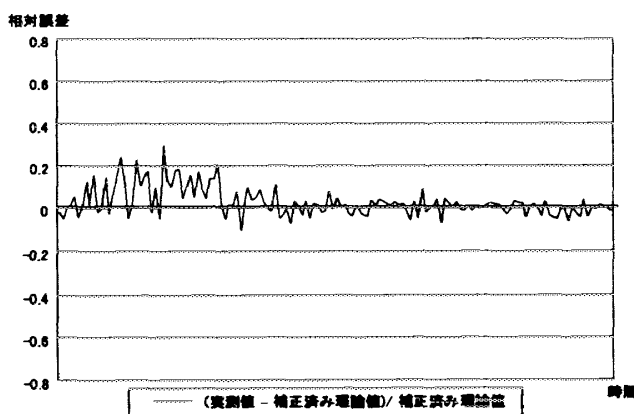


図20 被疑項補正 ((実測値-補正済み理論値)/補正済み理論値)

法が有効であることが確認できる。

6.2 検定方法の評価

節 4.1.4 (図 15) に示した交換機に対して、時間帯 t_1 において全体項補正を実施し、その後各検定法に基づき全体項補正をした結果を示す。評価観点、最大相対誤差と補正回数とする。

(1) 相対誤差検定の評価

目標相対誤差を 10% に設定したとき、補正が再度必要になったポイントは、交換機 b の t_4 のみであり、補正回数は 1 回である。この検定結果に基づき該当ポイントに補正を実施したグラフは、図 21 の通りである。相対誤差が最大のポイントは交換機 a の t_3 であり、0.07、補正回数は 1 回のみである。

(2) 平均値検定の評価

有意度 1% と定め 3 交換機に対して平均値検定を実施した結果は、図 22 の通りである。このグラフは、臨界点を超えた交換機 b の t_4 が補正すべきことを示しており、補正回数は 1 回である。この検定結果に基づき該当のポイントに補正を実施すると図 23 の通りとなる。グラフより、相対誤差が最大のポイントは交換機 a の t_3 であり、0.07 である。

(3) F 検定の評価

有意度 1% と定め 3 交換機に対して F 検定を実施

した結果の例として、交換機 a に適用した場合を、図 24 に示す。このグラフは、臨界点を超えた交換機 a の t_4 にて補正すべきであることを示している。同様に、交換機 b の t_4 および交換機 c の t_3 および t_4 も臨界点を超え補正すべきであるという結果となったため、補正回数は 4 回である。この検定結果に基づき該当のポイントに補正を実施すると図 25 の通りとなる。グラフより、相対誤差が最大のポイントは交換機 a の t_3 であり、0.07 である。

各検定法による最大相対誤差および補正回数は表 1 の通りである。

表 1 より、各検定法による最大相対誤差は全て 0.07 であるが、補正回数は相対誤差検定および平均

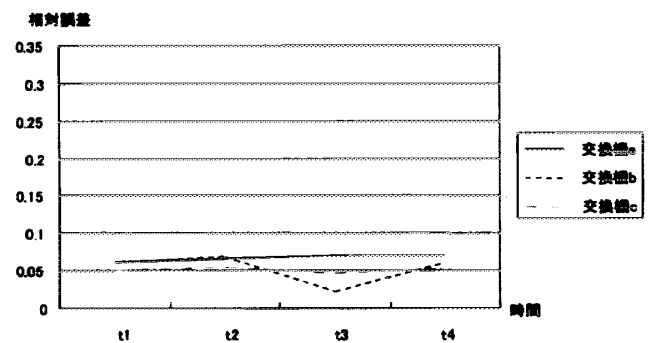


図 23 時間推移による相対誤差の変化 (平均値検定)

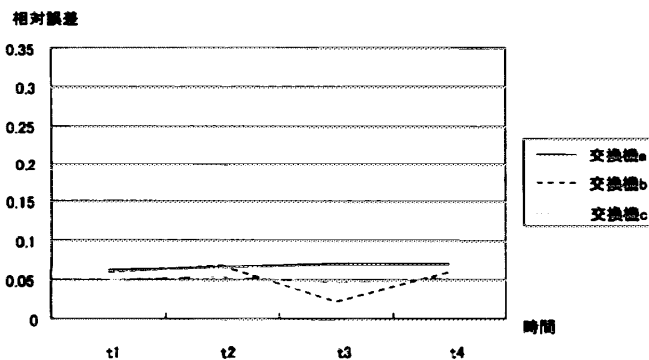


図 21 時間推移による相対誤差の変化 (相対誤差検定)

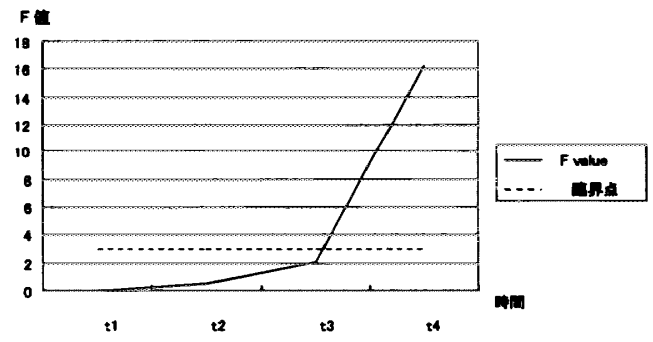


図 24 F 検定 (交換機 a)

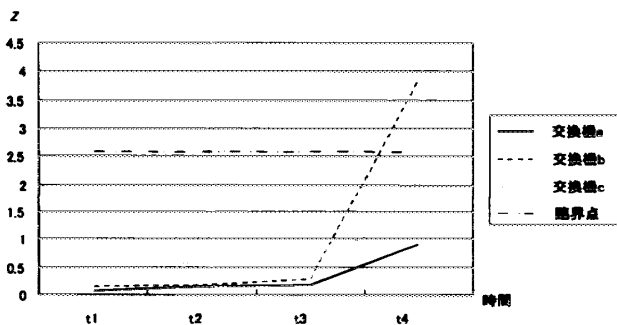


図 22 平均値検定

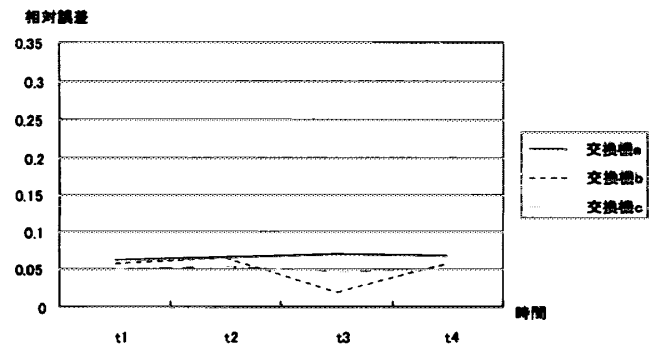


図 25 時間推移による相対誤差の変化 (F 検定)

表1 検定の評価

検定方法	最大相対誤差	補正回数
相対誤差検定	0.07	1
平均誤差検定	0.07	1
F検定	0.07	4

値検定では1回に対して、F検定では4回実施することが確認できる。したがって、相対誤差で精度を評価する場合F検定は厳しすぎる検定法であることが確認できる。

7. おわりに

本稿では、PDCPシステムにおける性能評価式について解説した。運用中の交換機のCPU使用率と比較すると、本方法は約90%の精度でCPU使用率の推定が可能であり、設備計画策定上の十分な値を達成している。また、乖離が発生する場合についても、補正方法を示し補正をすることにより十分な精度を示すことができる。また、時間経過と共に変化する精度に対する対処法について、三つの検定法を評価した。

今後は、定点観測時の検定法に関して、各検定法の適用範囲を明確化する必要がある。また、現状の単回帰分析による評価式の算出方法以外に試験工数等も踏まえ重回帰分析による算出方法を検討し、2方法の優劣を検討することが課題である。

参考文献

[1] 藤谷, “移動通信ネットワークとIP通信技術”, 電子情報通信学会誌, Vol. 83, No. 4, 2000.
 [2] 山本他, “PDCパケット移動通信ネットワーク”, 1995年電子情報通信学会総合大会, SB 5-8, 1995.

[3] 大貫他, “移動パケット通信システム特集 システム概要”, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol. 5, No. 2, 1997.
 [4] 大貫他, “PDCパケット通信方式”, 信学誌, Vol. 81, No. 3, 1998.
 [5] 高橋他, “パケット通信サービス特集 パケット通信サービス接続先選択機能”, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol. 6, No. 3, 1998.
 [6] 花岡他, “iモードサービス特集 ネットワーク方式”, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol. 7, No. 2, 1999.
 [7] 榎, “iモードサービス特集 iモードサービスの概要”, DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol. 7, No. 2, 1999.
 [8] 平田他, “パケット通信サービス特集 処理能力向上 PDC-Pノード系装置の導入”, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol. 5, No. 3, 1998.
 [9] 奥野他, “多変量解析法”, 日科技連.
 [10] “Sun World”, IDG ジャパン, July. 2000.
 [11] 高橋他, “オペレーションシステム特集 ネットワーク設備管理オペレーションシステム (NDOPS, HOPS, POPS)”, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol. 8, No. 1, 2000.
 [12] 三浦他, “Evaluation of the Performance of the Mobile Communications Network Providing Internet Access”, IEICE TRANS. COMMUNI., Vol. E 84-B, No. 12, Dec 2001.
 [13] 鈴木他, “PDCパケット移動通信ネットワークにおける性能評価”, IEICE Technical Report, SSE 2000-288, IN 2000-244, Mar. 2001.
 [14] 林, “統計学講義第2版”, 丸善株式会社.
 [15] P. G. Hoel, “Introduction to Mathematical Statistics”, John Wiley & Sons Ind., 1971.