

待ち行列ネットワーク型性能仕様モデルの 定性改善プランの選択基準

澤高根^{*1}, 中須晶子^{*2}, 廣井和重^{*1}, 江連恭行^{*2}, 三木正章^{*2},
金野孝顕^{*1}, 伊藤潔^{*3}

*1 上智大学大学院 理工学研究科 機械工学専攻 博士前期課程

*2 上智大学 理工学部 機械工学科

*3 上智大学 理工学部 一般科学研究室 情報科学部門

対象システムにボトルネックが存在するとシステム全体に悪影響を及ぼす。著者らはこれを改善するために2つのエキスパートシステムを開発した。すなわちボトルネックサーバを同定しその要因を解明して択一的に選択可能な定性的な改善プランを提示する"Bottleneck Diagnosis Expert System : BDES"と、択一的に選択可能な定量的な改善プランを提示する"Bottleneck Improvement Expert System : BIES"である。このうちどの改善プランを選択してもボトルネックを解消できるが、改善度合いが異なる。全ての改善プランに従ってチューニングを試み、ボトルネックの改善度合いを比較して、そのうち最も効果の大きい改善プランを実施すればよいかもしれない。しかし、この作業には非常に多くの手間と時間がかかり現実的ではない。そこで、多くの例を調べることにより、どのタイプの改善プランを用いれば改善度合いが大きくなるかという選択基準を定める。

Criteria for Selection of Qualitative Tuning Plans for Performance Specification Model in the form of Queueing Network

Takane Sawa, Akiko Nakasu, Kazushige Hiroi,
Yasuyuki Ezure, Masaaki Miki, Takaaki Konno, Kiyoshi Itoh

Faculty of Science and Technology, Sophia University
Kioi-cho 7-1, Chiyoda-ku, Tokyo 102, Japan
itohkiyo@hoffman.cc.sophia.ac.jp

We developed BDES (Bottleneck Diagnosis Expert System) and BIES (Bottleneck Improvement Expert System) which can improve queueing network (QN) bottlenecks. BDES and BIES are based on "qualitative reasoning" and "quantitative reasoning", respectively. This paper is concerned with the criteria of parameter tuning for queueing network type system by the use of BDES & BIES. When personnel choose one of many improvement plans enumerated by BDES and BIES, it is satisfactory to choose the plan, which gets the system to be in the stable state as fast as possible. If personnel chose the improvement plan in comparison with all improvement plans, a considerable amount of time and effort would be spent. If the certain criteria are given in advance, they do not have to compare with all plans without waste of time and effort. It is necessary to provide for personnel the criteria of parameter tuning for QN.

1 はじめに

対象システムに悪影響を及ぼすボトルネックを改善するために複数の改善プランが考えられる。これらの改善プランは、一般にどれを選択してもボトルネックを解消できる。しかし、ボトルネックの改善度合が異なる。各々の改善プランに従ってチューニングを試み、ボトルネックの改善度合を比較して、その内最も効果の大きい改善プランを実施すればよいかもしれない。しかし、この作業には非常に多くの手間と時間がかかり現実的ではない。どのようなタイプの改善プランを選べば改善度合が大きくなるかという、改善プランの選択基準を、多くの例を調べるにより事前にて得ておきたい。

対象システムは、過大な負荷がかかっている、すなわち、そのモデルである待ち行列ネットワークが非常（過負荷）状態にある、あるいはその可能性を持つシステムとする。対象システムに悪影響を及ぼすものとして、稼働率が過大なサーバ（ボトルネックサーバ）に着目する。

著者らは、待ち行列ネットワークのボトルネックを効果的に解消するために、2つのエキスパートシステム、ボトルネック診断エキスパートシステム(Bottleneck Diagnosis Expert System: BDES)と、ボトルネック改善エキスパートシステム(Bottleneck Improvement Expert System: BIES)を開発した。BDES & BIESの詳細は、著者らの論文([ITO89], [ITO90], [ITO91], [SAW89])に示した。

BDESは、各性能パラメータの測定平均値を用いて、ボトルネックサーバ群を列挙し、評価者はその中の1つのボトルネックサーバを選択し、そのサーバに対する定性改善プラン（性能パラメータの増減関係のみを定める）を定性推論([APT86], [BOB85], [DEK85], [MIZ89], [NIS88], [NIS89], [RAJ84])に基づいて列挙する。評価者は、このうち1つの定性改善プランを選択する。BIESは、選択された定性改善プランに従って、定量改善プラン（性能パラメータの定量的な増減値を定める）を列挙する。評価者が、このうち1つの定量改善プランを選択すると、BIESによりボトルネックサーバとこれに影響を受けていた全ての性能パラメータの自動チューニングが行われる。

以上のようにして得られるどの改善プランを選択しても着目しているサーバのボトルネックが改善できる。しかし、ボトルネックの改善度合が異なる。この改善度合について多くの例を調べ、プランの選択基準を定める。このために、複数の定量改善プランの内容をその構成要素から分類し、分類された改善プランによる改善度合を調べた。

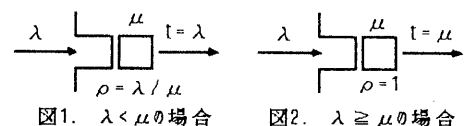
改善度合を測る尺度として、改善プランによる稼働率の減少量、および、相対待ち時間の減少量がある。この尺度によって多くの改善プランを調べた結果、例えば、稼働率の改善の為には、サーバのサービス率の改善の方が到着率の改善よりも有効であるという選択基準が得られた。

2節では、対象とする待ち行列ネットワークについて説明する。3節では、待ち行列ネットワークのボトルネックとこの定性/定量的なチューニングの方法を簡単に述べる。4節では、改善プランによる改善度合を測る尺度を述べる。5節では、この尺度を用いて得られた改善プランを選択する基準を述べる。6節では、この基準によって選択したプランが高い改善度合を持つ実例を述べる。

2 待ち行列ネットワーク

単一のサーバ(server)の5つのパラメータを定義する。
 λ : 単位時間当りにサーバに到着するトランザクションの平均個数 (到着率: arrival rate)
 μ : 単位時間当りにサーバで処理できるトランザクションの平均個数 (サービス率: servicing rate)
 t : 単位時間当りにサーバから出て来るトランザクションの平均個数 (スループット: throughput)
 ρ : サーバが実際にトランザクションを処理する時間の割合 (稼働率: utilization rate)
 q : サーバの前で処理を待つトランザクションの平均個数 (待ち行列長: queue length)
 r : トランザクションがあるサーバを出た後、後続の複数のサーバのいずれに分岐するかを定める確率 (分岐確率: branching probability)

図1と図2に示す通り、 λ と μ が与えられるとその大小関係によりサーバの性能を表す ρ 、 t が決まる。



本稿で対象とする待ち行列ネットワーク(queueing network; 以下QNと略記) ([GEL85] [KLE75])は、複数のサーバが結合してネットワーク構造になったもの(例えば図3の"QN12")である。

対象QNは、トランザクションが全て外部から到着し、処理済みになると外部へ出るオープン型のQNである。

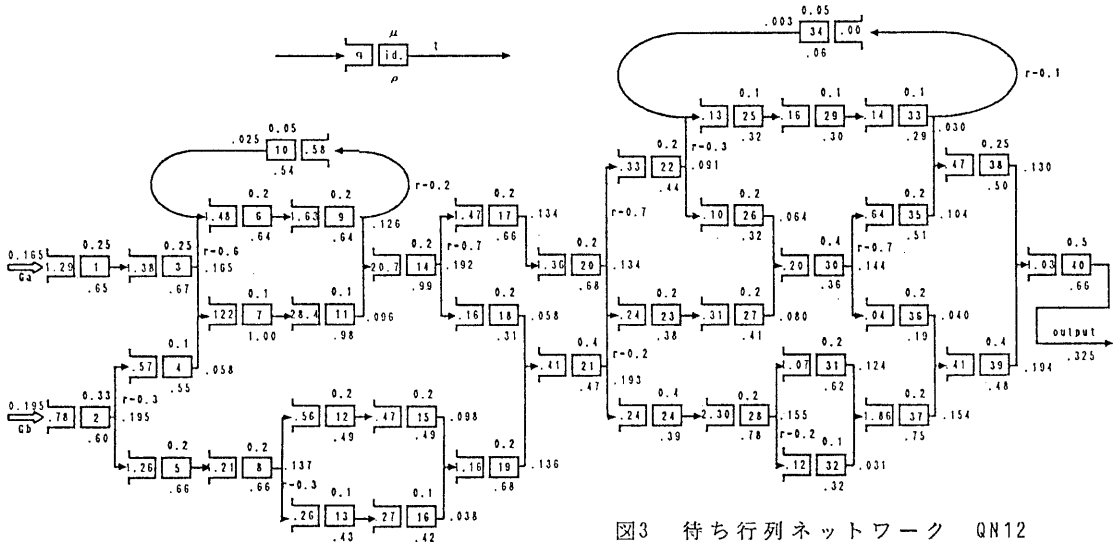


図3 待ち行列ネットワーク QN12

トランザクションは外部から複数のサーバに到着できるが、内部ではそれらを区別しない。即ち、内部ではトランザクションを1種類と考えた単一フロー型のQNである。

列長が1以上のサーバにボトルネックの可能性があると診断する。この行列長1を平均待ち行列長に関するボトルネックランドマーク(QBL)とする。

3 待ち行列ネットワークのボトルネックの診断/改善への定性/定量推論の導入

3.1 ボトルネック

QN内で稼働率が1に極めて近いサーバはボトルネック(bottleneck)である。このボトルネックサーバの待ち行列(queue)は無限に成長する恐れがある。ボトルネックサーバが存在する場合、QNは非定常(過負荷)状態(unstable or overloaded state)である。

稼働率が1に近くないが過大なサーバはボトルネックとなる可能性がある。トランザクションの到着時間間隔やサーバのサービス時間などが大きくなればつきもつ場合、稼働率が1に近くなくても待ち行列長が時には急激に増加する危険性がある。このため、フェールセーフ(failure to safety)の考え方を導入して、稼働率が0.7以上のサーバにボトルネックの可能性があると経験的に診断していることが多い。この稼働率0.7をボトルネックランドマーク(Bottleneck Landmark: BL)とする。

また、稼働率が過大ではないが待ち行列長が過大であるサーバには — 測定がそれほど長時間行われていないかもしれないため — ，測定終了以降にトランザクションが過大に到着して稼働率が大きくなる危険性がある。この過大な待ち行列長は後に徐々に解消されるかもしれないが、ボトルネックの発生の事前防止というフェールセーフの考え方で、測定時に平均待ち行

3.2 BDES & BIESの導入

ボトルネックを解消するために、筆者らは2つのエキスパートシステム、BDESとBIESを開発した。BDESによって提示される定性改善プランは、性能パラメータ間の増減関係のみを定めるものであり、BIESによって提示される定量改善プランは性能パラメータの定量的な増減値を定めるものである。

3.3 単一サーバの定性挙動式および定性改善式

定性推論の考え方に基づいて、ボトルネックの可能性をあることを定性推論記法で表現すると、

- ・ $[\rho] = +$: ボトルネックの可能性がある。このときフェールセーフの考え方で $d\rho = +$ と考える。
- ・ $[q] = +$: ボトルネックの可能性がある。このとき $dq = +$ と考える。

個々のサーバの挙動を表す定性式を構成する。ボトルネックの可能性がない場合とある場合で式の種類が異なる。以下の式を個々のサーバの定性挙動式と呼ぶ。ボトルネックの可能性がある場合b)を特に定性改善式と呼ぶ。

a) 定性的状態 $[\rho] = -$ のとき

- a-1) λ について
 - $d\rho = \pm \leftarrow d\lambda = \pm (\lambda \text{ と } \rho \text{ は同じ方向に増減})$
 - $dt = \pm \leftarrow d\lambda = \pm (\lambda \text{ と } t \text{ は同じ方向に増減})$

- a-2) μ について
 - $d\rho = \mp \leftarrow d\mu = \pm (\mu \text{ と } \rho \text{ は反対方向に増減})$

- $dt = 0 \leftarrow d\mu = \pm(\mu \text{の増減に} t \text{は追従せず})$
- b) 定性的状態 $[\rho] = +$ のとき
- b-1) λ について
- $d\rho = - \leftarrow d\lambda = -(\lambda \text{の減少に} \rho \text{は追従})$
- $dt = 0 \leftarrow d\lambda = -(\lambda \text{の減少に} t \text{は追従せず})$
- b-2) μ について
- $d\rho = - \leftarrow d\mu = +(\mu \text{が増加すると} \rho \text{は減少})$
- $dt = + \leftarrow d\mu = +(\mu \text{が増加すると} t \text{は増加})$
- b-3) q について
- $dq = - \leftarrow d\rho = -(\rho \text{の減少に} q \text{は追従})$
- $d\rho = - \leftarrow dq = -(q \text{の減少に} \rho \text{は追従})$

図3のQN12のボトルネックの可能性のあるサーバの定性挙動式および他のサーバの定性挙動式の個数は約300本である。ボトルネックの改善を行なうときには、これらの式以外にサーバ間の結合情報や分岐確率などの情報が必要である。これらを全て集めて定性挙動推論により解くと、状態数の爆発が起きる。

3.4 BDESの「部分形状と性能パラメータ値に基づいた定性改善式によるボトルネック改善プランの提示」

全てのサーバについて定性式を立式し、それらを組み合わせるのではなく、サーバ間の結合による部分形状毎に性能パラメータ間の増減関係を示した定性改善式を導入する。この定性改善式は専門家の持つ経験則である。

BDESは、この「部分形状に関する経験則」を知識として9つ持つ。これらの知識を用いることによって、使用する性能パラメータの個数が、全てのパラメータに着目する場合に比べてかなり減少する。

例えば、図4は、ボトルネックサーバの改善のためその μ を増加すると t が増加するため、下流の過大な ρ を減少させる知識である。

図5の2つのサーバs1, s2の t が合流してボトルネックサーバs3の λ となっている場合に、どちらか一方または両方の t を減少する必要がある。この場合、 t_1, t_2 の大小関係により改善するパラメータを決める知識である。

図6の知識はまず、ループの機能を変えないために、ループからの r の変更を禁止する。また、ボトルネックサーバs3の λ がループからの出力である場合には、ループ内のパラメータではなくループの入力のみを減少するという知識である。

BDESは、以上のような知識を用いて定性推論を行い、定性改善プランを列挙する。

図3のQN12のボトルネックサーバs7に対する定性的な診断プロセス(挙動推論プロセス)を図7に示す。

図7の最上部のブロック1は、s7のボトルネックを改善したいという診断のゴール($d\rho_7 = -$)である。ブロック1からブロック2,3への分岐はs7に対する定性改善式の適用である。以下、形状と性能パラメータ値に基づいた知識が順次適用されて、図7に示す診断プロセスがBDESにより行なわれる。

この診断プロセスの結果、ブロック2,6,8,9,11の下に、診断ゴール($d\rho_7 = -$)を実現するための択一的な定性改善プランが示されている。

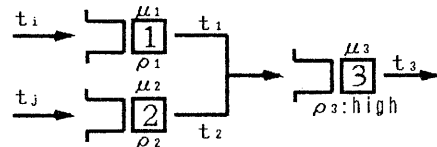


ボトルネックサーバのサービス率を増加すると、下流のサーバの稼働率を減少する必要あり

$$d\rho_1 = - \leftarrow d\mu_1 = +$$

$$d\rho_i = - \leftarrow d\mu_i = +$$

図4 下流への影響知識

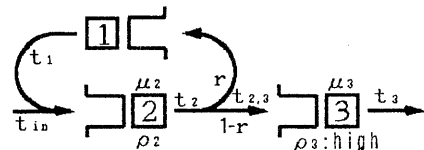


$$t_1 > t_2 \text{ の場合 } d\rho_3 = - \leftarrow dt_1 = -$$

$$t_1 = t_2 \text{ の場合 } d\rho_3 = - \leftarrow dt_i = -$$

$$d\rho_3 = - \leftarrow dt_j = -$$

図5 合流型知識



ループからの分岐確率は修正禁止

$$d\rho_3 = - \leftarrow dt_{in} = -$$

図6 ループ直後のボトルネック改善知識

3.5 BIESの「ボトルネック改善のための性能パラメータの定量推論と定量改善プランの提示」

1つのボトルネックサーバに対する定性的な改善プランに対して、BIESは、このサーバとこれに影響を受ける全ての性能パラメータの値の自動チューニングに関する知識を使って、改善後のパラメータの定量値を推論する。

この推論は、いわゆる“フローバランス”についてのヒューリスティクスに基づくものである。

図8は、図7のBDESの5つの定性的な改善プラン全てに対して定量的なチューニングを行なったプロセスである。定性改善プラン1に対して、BIESがきめ細かな定量

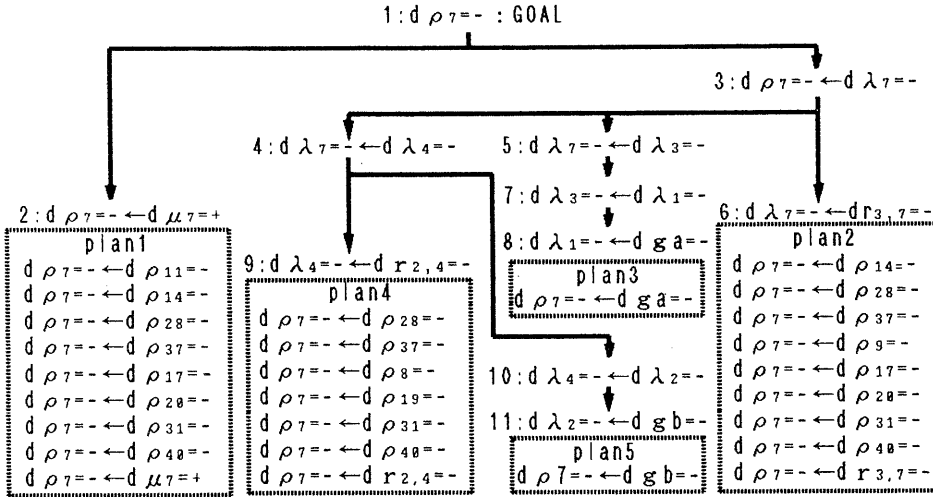


図7 QN12のボトルネックサーバS7に対する定性的診断プロセス

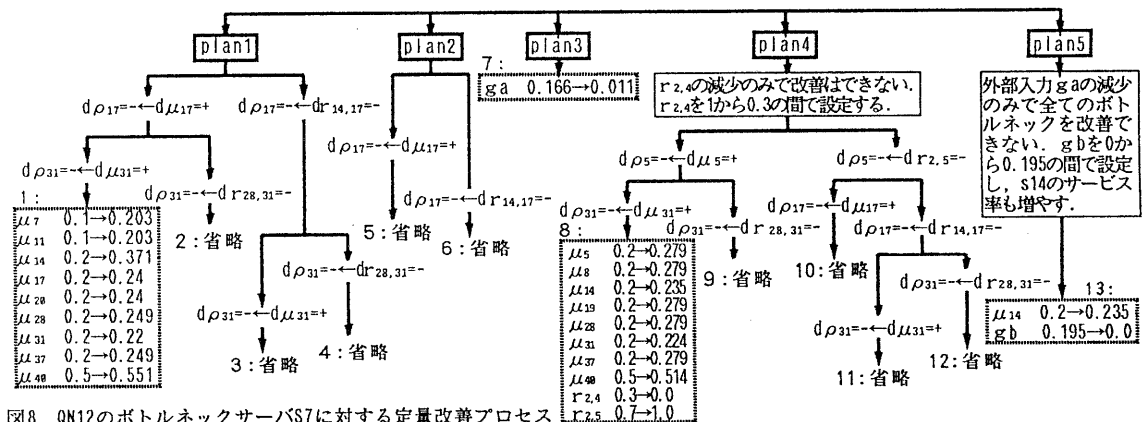


図8 QN12のボトルネックサーバS7に対する定量改善プロセス

推論を行なうと定量改善プランが4個提示される。BDESの定性改善プラン1の中で、定量推論を行うとρ17とρ31も改善する必要があること示している。そのために、それぞれ2種類づつ、計4種類の定量改善策がでてくる。一方、定性推論を行なわないで直接、複数の定量改善プランを列挙することは必ずしも容易ではない。これらは定性推論と定量推論の組合せによる相補性を示している。

4 改善度合を測る尺度

4.1 2つの尺度

BDES & BIESによって得られる改善プランは択一的であり、どのプランを選択しても、着目しているボトルネックの改善ができる。しかし、ボトルネックの改善度合が異なる。従って、どの改善プランを選べば改善度合が大きくなるかという、改善プランの選択基準を

得ておきたい。

この選択基準を得るために、改善度合を測る2つの尺度を用いた。それは、稼働率の減少量と相対待ち時間の減少量である。この尺度によって得られた選択基準を用いて、多くの改善プランの中から1つのプランを選択することができる。前者はモデルで扱われている機械などの装置の能力側からの改善度合いに関する基準であり、後者は装置を使うトランザクション側からの改善度合いに関する基準である。

著者らはどのような改善プランが適切な改善を得られるかということと比較するために、改善プランを分類した。

4.2 尺度1：稼働率の減少量

10000時間でBDES & BIESで得られた改善プランに従ってパラメータを切り替える。このときの稼働率から

15000,30000時間までの稼働率の減少量によってTYPE別優先順位を定める。15000時間で計測するのは切り替えてからの改善の速さであり、30000時間では最終的な改善の大きさを調べる。

4.3 尺度2：待ち時間の減少量

10000時間でBDES & BIESで得られた改善プランに従ってパラメータを切り替える。このときの相対待ち時間から、15000,30000時間までの相対待ち時間の減少量によってTYPE別優先順位を定める。

改善パラメータに切り替えてそのサーバへの到着率が0になったとすると、その後トランザクションは1つも来ないので平均待ち時間を用いると、改善直前と改善後はほとんど値が変わらず一定値をとる。そのため改善度合いを測る尺度にはならない。このため、相対待ち時間を、

相対待ち時間 = 平均待ち時間 / 時間で与える。

5 改善プランの分類と選択基準

著者らはどのような改善プランが適切な改善を得られるかということと比較するために、改善プランを分類した。

5.1 改善プランの分類

この分類は以下の7つの"TYPE"からなる。

TYPE1： ボトルネックの可能性があると診断されたサーバ（以下、「診断サーバ」）のサービス率を増加する。

TYPE2： 診断サーバおよび、その下流のボトルネックの可能性のあるサーバの到着率を減少させるためそのサーバの上流の分岐確率を変更する。

TYPE3： 外部入力を減少する。

TYPE4： 診断サーバのサービス率を増加する。かつ、診断サーバおよび、その下流のボトルネックの可能性のあるサーバの到着率を減少させるためそのサーバの上流の分岐確率を変更する。

TYPE5： 診断サーバのサービス率を増加する。かつ、外部入力を減少する。

TYPE6： 診断サーバおよび、その下流のボトルネックの可能性のあるサーバの到着率を減少させるためそのサーバの上流の分岐確率を変更する。かつ、外部入力を減少する。

TYPE7： 診断サーバのサービス率を増加する。かつ、診断サーバおよび、その下流のボトルネックの可能性のあるサーバの到着率を減少させるためそのサーバの上流の分岐確率を変更する。かつ、外部入力を減少する。

5.2 改善プランの選択基準

多くの待ち行列ネットワークを例として、ボトルネックの改善プランを得て、実際にチューニングしてみた。それらを2つの尺度により比較検討した結果、以下に示す4つの選択基準を得た。

基準a-1：稼働率の改善の速さの選択基準

診断対象のサーバの稼働率の、切り替えてからの改善の速さ(15000時間)で定めた選択基準は次の優先順位から成る。

1. TYPE1の改善プラン
2. TYPE2の改善プラン
3. TYPE3の改善プラン
4. TYPE4の改善プラン
5. TYPE5,6,7の改善プラン

基準a-2：稼働率の改善の大きさの選択基準

診断対象のサーバの稼働率の、最終的な改善の大きさ(30000時間)で定めた選択基準は次の優先順位から成る。

1. TYPE1の改善プラン
2. TYPE3の改善プラン
3. TYPE2の改善プラン
4. TYPE4の改善プラン
5. TYPE5,6,7の改善プラン

基準b-1：相対待ち時間の改善の速さの選択基準

診断サーバの、相対待ち時間を切り替えてからの改善の速さ(15000時間)で定めた選択基準は次の優先順位から成る。

1. TYPE1の改善プラン
2. TYPE4の改善プラン
3. TYPE2の改善プラン
4. TYPE3の改善プラン
5. TYPE5,6,7の改善プラン

基準b-2：相対待ち時間の改善の大きさの選択基準

診断サーバの、相対待ち時間を最終的な改善の大きさ(3000時間)で定めた選択基準は次の優先順位から成る。

1. TYPE1の改善プラン
2. TYPE4の改善プラン

- 3. TYPE3の改善プラン
- 4. TYPE2の改善プラン
- 5. TYPE5,6,7の改善プラン

6 改善例

図3のQN12におけるs7のボトルネックを改善するための全ての改善プランによる改善度合を調べ、5節で得られた改善プランの基準a,及び基準bの有効性を示す。

BDESで得られた5個の定性改善プランから、BIESにより定量推論を行うと13個の定量改善プランが得られた。表1に定性改善プラン番号,定量改善プラン番号,TYPEの関係を示す。この表の中で、網掛けしてあるものを10000時間でパラメータを切り替えて、50000時間までシミュレーションした。その場合の稼働率,相対待ち時間の関係をそれぞれ図9,10に示す。

表1 定性・定量改善プラン番号,TYPEの関係

定性No	定量No	TYPE	定性No	定量No	TYPE
1	1	1	4	8	2
1	2	1	4	9	2
1	3	1	4	10	4
1	4	1	4	11	4
2	5	2	4	12	4
2	6	2	5	13	3
3	7	3			

図9で稼働率の改善度合いを見ると、15000時間でTYPE1>TYPE2=TYPE3-1=TYPE3-2=TYPE4となり、30000時間でTYPE1>TYPE3-1>TYPE3-2>TYPE2>TYPE4となり、15000時間ではTYPE1を除いて区別がつかなかったが全体的に基準a-1,a-2が示す順位とほぼ等しい。

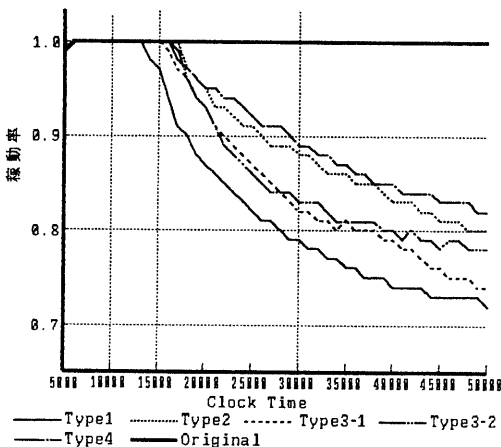


図9 それぞれのTYPEにおける稼働率の改善の度合い

図10で相対待ち時間の改善度合いを見ると、15000時間でTYPE1>TYPE4>TYPE3-2>TYPE3-1≒TYPE2, 30000時間でTYPE1>TYPE4>TYPE3-2≒TYPE3-1≒TYPE2となり、基準b-1,b-2が示す優先順位とほぼ一致した。

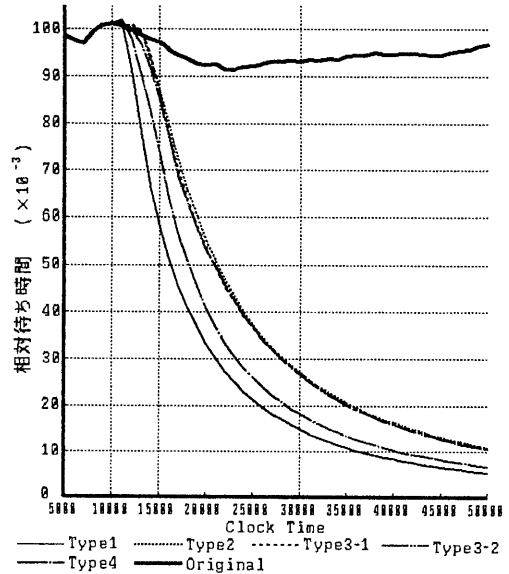


図10 それぞれのTYPEにおける相対待ち時間の改善の度合い

7 おわりに

本稿では、定性/定量推論を用いたBDES & BIESにより得られる定量改善プランをその構成要素によって分類し、分類をした改善プランをより速くボトルネックを解消する、または、より多く待ち時間を減少するという評価基準において比較をした。これにより、どのTYPEの改善プランを選択すれば改善度合いが大きくなるかという改善プランの選択基準を得ることができた。評価者は2つの選択基準とそれぞれの基準における選択優先順位に従ってBDES & BIESによって列挙される多くの改善プランの中から改善プランを選択して、対象システムを効率的に改善することができる。また、この基準は、他の数種類の待ち行列ネットワークにおいても有効であることが確かめられた。

参考文献

本研究報告中の「共有ストアをもつ待ち行列ネットワーク型性能仕様モデルの定性的改善」の参考文献参照のこと。