

ネットワークの挙動推定システム

黒川 寛 中野 浩之 馬場口 登 手塚 慶一

大阪大学 工学部

ネットワークモデルにおいて、イベントの発生がそのフローにどのような影響を与えるかについて、定性的な解釈と定量的な予測を同時に行う機能を持つシステムNEVIS(NETwork enVIisioning System)を提案する。NEVISでは、影響が伝播していく様子をとらえるために時間概念を取り入れ、各部分の状態推移を推定する。またフローの集中などの状態を改善する知識によって、そのプランを提示、検証する機能を有する。

本稿ではこれらの機能についてそれぞれ詳述し、簡単な動作例を示すことによりNEVISの全容を述べる。

NETWORK ENVISIONING SYSTEM

Hiroshi Kurokawa, Hiroyuki Nakano, Noboru Babaguchi and Yoshikazu Tezuka

Faculty of Engineering, Osaka University

2-1 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka, 565 Japan

In network models, the changes of the flow behavior are caused by events such as the changes of capacity, flow amount, and so on. Our system, named NEVIS, can envision the flow behavior with qualitative and quantitative method. We introduce the time scale into the reasoning process for recognizing the network state transition. Plans for improving the network environment can be also generated with the domain knowledge.

In this paper, we describe the functions of NEVIS and the application example for a simple network model.

1. まえがき

社会システムには、電話網、情報通信網、また電力、水道供給網、そして道路交通網など、ネットワーク状にモデル化できるものが多数存在する。このようなシステムの設計や円滑な運用を行うためには、システム上の客の流れ（フロー）を把握することが必要不可欠と言える。

フローの解析を行うに当たり、各種のシステムに対して様々なネットワークモデルが構築されているが、一般にその解析は容易ではなく、数値シミュレーションに頼るところが大きい。しかしながら、実際のシステムのネットワークモデルは複雑かつ大規模であり、その数値シミュレータを構築すること自体困難な場合が少なくない。しかも、シミュレーション結果は数値の集合であり、これらに解釈を与える作業は人間に任されている。

近年、動的システムの解析に対し定性推論が応用されつつある^[1,2,3]。定性推論とは、厳密な計算を行わず、量の増減や大小といった定性的な情報をもとに粗い解析を行うことを目的とするものである。Forbusの定性プロセス理論^[4]やKuipersの定性シミュレーション^[5]をはじめとし、物理システムや経済システムなどの挙動の予測に適用され、対象システムについての挙動の説明を生成する手段として適していると考えられる^[6]。さらに最近では、定性的な説明と定量的な情報を統合し、相補的に互いの短所を補うことによって、より確実な挙動の予測を行い、システムの理解を支援しようという試みが盛んに研究されつつある^[7]。

そこで本研究では、ネットワークモデルにおけるイベントの発生がフローに及ぼす影響に対して、定性的な解釈と定量的な予測を同時に行う機能を持つシステムNEVIS (NEtwork enVIisioning System) を提案する^[6]。NEVISにおいて、客はフローとして連続的に捉えられ、因果関係に起因する定量的な関係式を使って処理されるものであり、個々の客を離散的に捉える統計的な手法による数値シミュレーション^[8]とは、基本的に異なる。また、同じく待ち行列ネットワークに定性推論と定量推論を適用した研究が沢村らによって報

告されている^[9]。彼らの手法はパラメータ変更の結果を統計的に検証するものであるが、本システムにおいては、時間とともに状態推移を観測することが可能であり、パラメータ変更の影響が伝播される様子が推定できるという点で大きく異なる。すなわち、影響伝播に伴う各部分の状態推移を捉えるために時間概念を取り入れている。さらに、フロー状態の改善に関する知識を用いて、ネットワークの円滑運用についてのプランを提示する機能を有する。

2. システム構成

NEVISの機能は、イベントの発生が、ネットワーク上のフローにどのような影響を与えるかを大局的に解析し、挙動の変化に対する説明を生成することと、ネットワークの状態の改善に関する知識を用い、フローを円滑にするプランを提示することである。

NEVISの構成をFig.1に示す。インタフェースを通じて、ネットワークの初期状態入力、イベント入力をユーザから受ける。それに対し、領域知識ベース(Domain Knowledge Base;DKB)を参照して影響伝播推論(Influence Propagation Reasoning;IPR)を行い、イベントの影響を受けたネットワークの状態を推定するとともに、サーバ

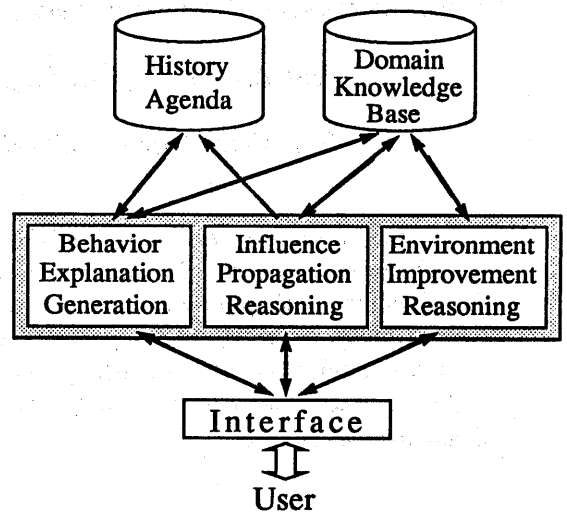


Fig.1 NEVIS

のフローの状態変化とその発生時刻についてのデータを履歴蓄積部(History Agenda;HA)に格納する。HAのデータはサーバの状態推移についての説明生成(Behavior Explanation Generation;BEG)を行うときに用いられ、その説明はユーザに提示される。さらに状態改善推論(Environment Improvement Reasoning;EIR)を対話的に行うことにより、ユーザの要求に応じた改善プランを提示・検証する。

3. ネットワークモデルと領域知識

ネットワークモデルにおけるフローの挙動は、その対象となるシステムによって異なるものであり、ネットワークモデルの形態やそのフローに制約を与える領域知識(理論)によって、フローの挙動予測は異なるものと考えられる。本章では、NEVISの処理するネットワークモデルを定義し、ネットワーク上のフローの挙動が支配される領域知識について述べる。

3. 1. ネットワークモデル

本節では、NEVISにおいて処理が可能なネットワークモデルおよび用語を定義する。

一般にネットワークの構成要素としては、節点および節点間を接続する枝を挙げることができる。本研究においてはそれぞれノード、サーバと呼ぶ。また単位時間当りに流れる客数をフローと呼び、 q で表現するが、特にサーバに到着するフローの入量とサーバから退出するフローの出量を、それぞれ入フロー q_{in} 、出フロー q_{out} と呼んで区別する。ここでサーバに関する性質を記述するためのパラメータを定義し、Fig. 2に示す。

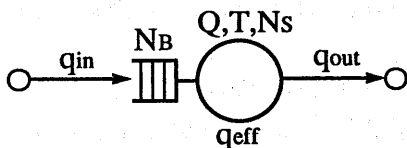


Fig.2 Server Model

[定義1] (サーバに関する用語)

サーバ容量 Q : 単位時間当りにサーバが取り扱える客の最大数。

実効容量 q_{eff} : フローに占有されていない部分の容量。

所要時間 T : サーバに到着してから退出するまでの時間。

収容可能客数 N_s : サーバに同時に存在可能な最大客数。

オーバーフロー q_{ovf} : サーバへの過入力のため入力待ちに成るフロー。

入力バッファ容量 N_B : サーバへの入力待ち客の収容可能数($0 \sim \infty$)。

□

所要時間は重みの一つであり、他にもコスト等が挙げられるが、本研究では扱わない。フローについては、さきに述べたとおり連続体として客を巨視的に扱う。

サーバにおけるフローの進行方向について、両方向に進行可能なサーバでは、両フローの差をとり、値の大きい側の方向をとることにより、一方の流れと見なせる (Fig. 3参照)。このような可変方向のサーバを除くと、フローの方向は一方向のみ、すなわちサーバには始点と終点があるものと定義できる。

次にノードにおいてフローが分岐する量を求めるための定義を行う。

[定義2] (ノードにおけるフローの分岐状態)

分岐率 r : ノードにおいてフローが各サーバへ分岐する割合。

□

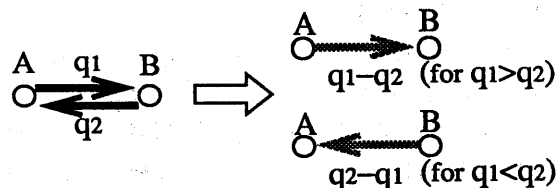


Fig.3 Flow Direction

ノードにおいてフローが分岐している状態を記述する場合、そのノードへのフローの総入量に分岐率を掛けることにより、各サーバへのフローの出力量を求めることができる。

ネットワーク上には様々な目的地ノードを持った客が存在するが、一つの目的地ノードに向かうフローのみに注目すると、多入力-出力型のネットワークが得られる。NEVISでは、客は複数の入力ノード(ソース)からネットワーク内に入り、退出は一つの出力ノード(シンク)においてのみ行われる多入力-出力型ネットワークを対象とする。

上述の用語を用いて、ネットワークの状態を表すデータの表現を定義する。NEVISは記号処理言語LISPで記述され、取り扱うデータをリスト形式で表現する。

[定義3] (ネットワークデータ表現)

ネットワーク \equiv (ノード₁ ... ノード_n)

ノード \equiv (上流情報 下流情報₁ ... 下流情報_n)

ただし上流情報、下流情報は次のようなリストである。

上流情報

\equiv (直上流ノード₁ q₁ 直上流ノード₂ q₂, ...)

下流情報_n

\equiv (直下流ノード_n r_n Q_n q_{effn} q_n T_n)

□

また、ネットワーク上のフローが満たす条件として、任意のノードにおいて以下のようなフローの総入量と総出力量が等しいという連続条件がある。

$$\sum q_{in} = \sum q_{out}$$

3. 2. 領域知識

フローの挙動をモデル化する理論は対象システムごとに固有なものが多く、領域知識と呼べる。例えば、水道網における枝水圧、電気回路における枝電圧、最小コストを持つように配分された流通網における枝運送コスト率など、任意の2つのノード間のサーバの重みの和が、計算する経路に

依存しない^[10]というエネルギー保存則のようなものは領域知識である。このように、システム上の客はただ漠然と流れているのではなく、それぞれのシステムに特有な法則にしたがって行動すると考えられ、ノードにおけるフローの分岐を支配する。

サーバの重みに関して、システムによっては、サーバにおけるフローの変化にしたがってその重みが単調に変化するものがあり、この場合、経路の重みが増加することになり、フローの挙動は複雑になる。NEVISでは、影響伝播推論を行うとき、重みがフローによらず一定であるという制約を加える。

またサーバには入力バッファが存在しない場合と存在する場合がある。前者はオーバーフローを受け付けず、サーバ容量を越えた入フローを廃棄するか、上流サーバの出フローを制限することになる。後者はオーバーフローを許すものであり、サーバ容量以上のフローが到着するような状態になると、いわゆる待ち行列として入力バッファに客が滞留する。入力バッファ容量が有限であるとき、バッファに収容できない客が発生すると、前者と同様に廃棄、制限が起こる。したがって、入力バッファ容量が無限大である場合とゼロである場合について考察することにより、入力バッファ容量が有限である場合のフローの挙動を推測できると考える。

3. 3. 知識表現

本節では、サーバの状態とフローの間に成立する関係を表す知識表現について述べる。

まず最初にサーバの負荷状態の遷移に関する知識について述べる。サーバの状態の変化は入フローと出フローとのバランスの変化によって生じる。サーバの状態に関して次のように定義される。

[定義4] (サーバの状態)

安定負荷状態 (stable load state; SLS):

入フローがサーバ容量を越えず、出フローは入フローに等しく、かつ入力バッファには客

が存在しない状態。

準安定負荷状態 (pseudo SLS;PSLS) :

入フローがサーバ容量を越えないが、入力バッファには客が存在し、出フローはサーバ容量に等しい状態。

過負荷状態 (over load state;OLS) :

入フローがサーバ容量を越え、入力バッファには客が存在し、出フローはサーバ容量に等しい状態。

□

サーバはこれらのいずれかの状態にある。PSLSはOLSからSLSへと遷移している中間的な状態であり、ある時間の経過後に入力バッファにおける客がすべてサーバ内に入るとSLSになる。それぞれの状態における各パラメータの間には次のような関係がある。

[定義5] (サーバ状態のパラメータ表現)

SLS ; $q_{in} < Q, q_{out} = q_{in}, n_B = 0$

PSLS ; $q_{in} < Q, q_{out} = Q, n_B > 0$

OLS ; $q_{in} \geq Q, q_{out} = Q, n_B > 0$

ただし n_B は入力バッファ内に存在する客数。

□

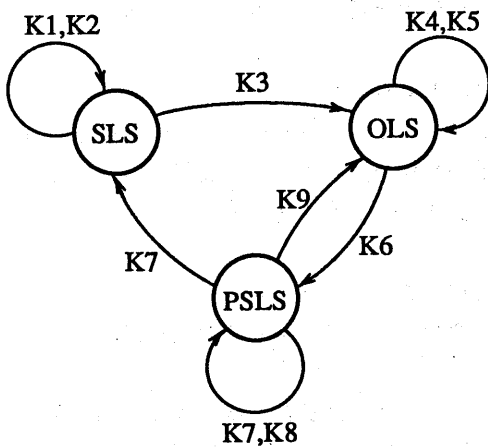


Fig.4 State Transition

サーバの状態遷移に関する条件は対象とする領域によって異なるので、ここではサーバの入力バッファ容量が無大であると想定し、この場合のサーバの入フローの変化 (Δq_{in}) による状態の変化に関する知識をTab. 1に示す。

K7の前件部の $\Delta q_{in} \leq 0$ において、等号が入っていることに注意されたい。K7では変化後の状態は一意に定まらないが、入フローの変化がない場合でも、バッファにおける客数と入出フローの差から計算される時間の経過後には必ずSLSになる。

これらの知識を解釈すると、例えばK3では、“安定負荷状態にあるサーバへの入フローが増加し、かつその増加分が実効容量を越える場合、このサーバは過負荷状態へと遷移する”となる。状態遷移と知識の関係をFig. 4に示す。

4. 推論機構

NEVISの推論機構は、影響伝播推論(IPR)と状態改善推論(EIR)の2つの部分から構成されている。IPRにおいては、サーバ間の因果関係と領域知識からイベントの影響が周囲に伝播していく様子を予測・推定する。この結果に対し、必要に応じて説明が生成(BEG)され、EIRが行われる。EIRでは、ネットワークのフローの集中を避けるための対策を領域知識にしたがって推論するものである。

Tab.1 State Transition Knowledge ($N_B = \infty$)

K1	SLS, $\Delta q_{in} < 0 \rightarrow$ SLS
K2	SLS, $\Delta q_{in} > 0, q_{eff} > \Delta q_{in} \rightarrow$ SLS
K3	SLS, $\Delta q_{in} > 0, q_{eff} \leq \Delta q_{in} \rightarrow$ OLS
K4	OLS, $\Delta q_{in} > 0 \rightarrow$ OLS
K5	OLS, $\Delta q_{in} < 0, q_{ovf} + \Delta q_{in} \geq 0 \rightarrow$ OLS
K6	OLS, $\Delta q_{in} < 0, q_{ovf} + \Delta q_{in} < 0 \rightarrow$ PSLS
K7	PSLS, $\Delta q_{in} \leq 0 \rightarrow$ PSLS, SLS
K8	PSLS, $\Delta q_{in} > 0, q_{in} + \Delta q_{in} < Q \rightarrow$ PSLS
K9	PSLS, $\Delta q_{in} > 0, q_{in} + \Delta q_{in} \geq Q \rightarrow$ OLS

4. 1. IPR

IPRは、イベントの影響が、その発生からどの程度の時間遅延をともなって各部分のフローに伝播するのかを推論するものである。すなわち、ネットワークの初期状態、および発生するイベント情報を入力とし、指定された領域知識を参照することにより推論を行う。この推論は、イベント解釈とサーバの状態変更手続き、そして状態変化に関する履歴の蓄積という手続きにより構成され、推論結果として、ネットワークの最終状態およびイベントの影響を受けたサーバの状態変化の履歴に関する情報が得られる。

IPRで扱うイベントは、容量や分岐率の変更や、外部からの到着フローの変更である。イベント解釈は、ネットワーク上で発生するイベントを、IPRで扱える形式、すなわちフローの変更として解釈するものである。これは、サーバにおける状態変化がフローを介して周囲へ伝播するという考えに基づく。容量の変更に関しては、その変化が減少であり、減少量が実効容量よりも大きい場合のみフローが変化し、オーバーフローの発生および出フローの減少が起こるが、それ以外の場合はフローの変化は生じず、容量に対するフローの割合のみが変化する。また、分岐率の変更は、その変更量をイベント発生前の状態におけるフローの量に乗ずることにより、フロー変更であると解釈できる。

サーバの状態変更手続きでは、サーバの負荷状態がフローの変化から受ける影響を、領域知識を使って推論し、各パラメータの値を変更する。ここにおける推論は、因果関係が成立するサーバ間の影響伝播状況を順次調べるものである。因果関係が成立するためには、一方が成立すると必ず他方が成立し、前者の発生は後者に先行するという条件が必要とされている。NEVISでは前提条件として、因果関係は隣接サーバ間においてのみ存在するとしている。すなわち、物理的に接続しているサーバ間の因果関係のみ考慮する。また因果関係を捉えるためには、あるノードから隣接ノードへの影響伝播時間が必要であり、ここに時間

概念を導入する。ここでは隣接ノード間の影響伝播時間を、そのノード間に存在するサーバの所要時間と等しいと仮定している。以上の前提および仮定のもとで、状態遷移知識を用い、あるノードに伝播されたフローの変化に対し、サーバの状態を表す各パラメータの値を、フローの変化量から定量的に導出される値に変更する。以上の手続きの後、状態変化に関するデータが生成され、履歴情報として蓄積される。このデータは次のようなリスト形式で表現される。

[定義6] (履歴データ形式)

履歴：(始点 終点 時刻 状態 状態遷移知識)

ただし状態とは、

$(q_{in} \quad q_{eff} \quad q_{out} \quad \Delta q_{in})$

というリストであり、 $q_{in} \cdot q_{eff} \cdot q_{out}$ は変化以前の値である。また時刻はイベント発生からそのサーバの始点に影響が伝わるまでの時間を表す。

□

さらに隣接ノードに対してフローの変化量を伝播し、その伝播時間が最も早いノードに対して、状態変更および履歴蓄積を同様に繰り返す。状態変化の手続きを行う回数と同数の蓄積情報が存在することになるので、ネットワークのトポロジーに応じた情報量が蓄積されることになる。

4. 2. BEG

NEVISは、IPRによって随時蓄積された履歴情報を用い、以下に示す質問に対する返答を行う、説明生成機能を有する。

- (i) 負荷が高いサーバの参照。
- (ii) 任意のサーバのフローの変化状況。

(i)については、過負荷になるような知識が参照されている履歴データを蓄積情報から検索して、そのサーバ名を提示するとともに、ネットワークの最終状態において負荷が高いサーバを列挙する。
(ii)については、指定されたサーバについての履

歴データを蓄積情報から検索し、時間順に列挙する。そしてそれぞれのデータについて、状態遷移知識に対応した解釈に定量的な情報を付加することによって説明が生成される。NEVISは各知識に対応した解釈を領域知識内に蓄えており、人間の行う解釈に近い表現を用いている。

4.3. EIR

EIRは、高負荷のサーバに対して、その改善に関する知識を用い、ユーザの要求を反映した改善プランを提示する。改善プランとは、対象サーバと比較して負荷あるいは時間の小さい経路を提示することを意味する。EIRは、2つの手続きにより構成される。まず、改善対象サーバと比較して負荷の低い経路をユーザの要求に応じて検索かつ提示する手続きを行い、次に、ユーザに指定された経路に対し、フローを変更し、改善後のネットワークの状態を推論・検証する手続きを行う。まず、改善知識で用いる用語を定義する。

[定義7] (状態改善に関するパラメータ)

占有率：サーバにおいて、容量に対するフローの割合。

経路占有率：経路上に存在するすべてのサーバの占有率の最大値。

経路時間：経路上に存在するすべてのサーバの所要時間の和。

□

占有率が大きいサーバ状態は、負荷が大きいと考えられ、これを高負荷と呼んでいる。高負荷であるかを判断する場合の占有率の値は、対象とする領域知識によって大きく異なる。例えば電話回線網においてはその値は0.3程度であるが、到着量が確率分布であるから、この値を越えると一時的に過負荷に陥る可能性が高くなる。

高負荷のサーバが発生する理由としては、高負荷となるサーバの容量が需要に見合わず小さい場合と、そのサーバを含む経路の所要時間が小さく、フローが集中した場合が考えられる。またネットワークへの客の到着量自身が大きい場合も考えら

れるが、この場合、ネットワーク内の大部分のサーバが高負荷となるので、改善対象とはしない。

4.3.1. 低負荷経路検索

状態改善については、次のような知識がある。

CI-K1:『高負荷サーバの上流側に存在するノードからシンクへの経路から、経路占有率が最も小さい経路を検索し、それに対し、フローを増加させる』

この知識を用いると、一つのサーバの負荷を、そのサーバよりも負荷が低いサーバへ分散させることが可能である。また、複数のサーバを同時に改善する場合、それらの上流側の共通なノードにおいてこの知識を適用する。このCI-K1は負荷の分散にのみ注目したものであるが、これに加え、経路時間の小さいものに客が流れるという性質を考慮すると、次のように書き換えられる。

CI-K2:『高負荷サーバの上流側に存在するノードからシンクへの経路から、経路占有率が小さく、かつ、経路時間が小さい経路を検索し、それに対しフローを増加させる』

このCI-K2は、経路占有率と経路時間のどちらに比重をおくかによって、その解釈が異なる。NEVISでは、ユーザに対する対応をより柔軟に行うため、それ自身では解釈を固定せず、ユーザに任せるという方式をとる。たとえば負荷分散に比重を置くように要求されると、まず経路占有率が小さいものを検索し、その結果、同程度の経路占有率を持つ複数の経路が検索されると、それぞれの経路時間を付加してユーザに提示する。

提示した経路から、ユーザによっていずれかが選択されると、その経路の始点から改善対象サーバに至る経路上からフローを減少させる必要がある。この経路が複数存在する場合、次のような知識を適用する。

CI-K3:『経路占有率が大きく、かつ、その重みが大きい経路を選択し、それに対してフローを減少させる』

このCI-K3はCI-K2と同様、ユーザの要求に答えるように用いられる。

以上のような知識を適用することにより、フローを増加・減少させる対象となる経路がユーザに提示される。

4. 3. 2. 改善後状態検証

本節では、選択された経路にフローを移行させたときに、ネットワークがどのような状態になるかを推論かつ検証する方法について述べる。

まず改善対象サーバの占有率をどの程度下げることについてユーザから指定を受けると、それに応じたフローの変化量 (Δq とする) が得られ、対象経路に移行する。フローの移行と同時に、経路の始点から改善サーバにいたる経路から Δq のフローを削減する。さらに、改善サーバの終点から、 Δq のフロー減少というイベントが起こったと仮定して、改善後のネットワークの最終状態を I P R によって推論し、検証を行う。

また対象経路にフローを重畳すると、経路占有率が改善後のサーバの占有率を越える場合も考えられる。このような場合は、初めに改善対象とされたサーバに加えて、対象経路上において占有率の大きいサーバをも改善対象として E I R を行う。

以上のような手続きによって、ネットワークに対して状態を改善し、その結果から、さらに状態改善を繰り返すことにより、負荷を適切に分散することが可能である。

5. 動作例

本章では N E V I S の動作例を示す。Fig. 5 のネットワークモデルに対して、ノード B における分岐率が変更されるというイベントが発生した場合のフローの挙動を推定する。なお Fig. 5 ではサーバを簡略的に図示している。

まず I P R に対して、ネットワークデータ入力

およびその初期状態設定を行った後、イベントを入力する。イベントは分岐率の変更であるから、Fig. 6(d) の履歴データの初めの 2 つのように、サーバ B C, B D のフロー変化と解釈され、その時刻を 0 として推論が開始される。そして Fig. 6(d) に示す履歴データを蓄積し、イベント伝播後のネットワーク状態を Fig. 6(e) のように推定する。

B E G では、サーバ D F の状態を質問されると、そのサーバの履歴データを検索し、参照知識に基づいて得た解釈を返答する (Fig. 7 参照)。また検索された履歴データを参照することにより、質問したサーバのフロー状態をより詳しく知ることができる。

また E I R では、負荷の高い複数のサーバ B C, E D に対してその改善を行う。負荷の高いサーバからフローを移行させる改善知識を用いることにより、Fig. 8(b) のように複数の候補経路が列举される。経路 B D F が対象として選択されると、これに対して、サーバ B C から移行されるフローを重畳させる。このプランによると、Fig. 8(d) に示すようなネットワーク状態へと変化することが、検証される。

6. むすび

本稿では、ネットワーク挙動推定システム N E V I S を提案し、ネットワークモデルにおけるイベントの発生がフローに及ぼす影響に対して、定性的な解釈と定量的な予測を同時に行う手法を述べた。予測においては、影響伝播に伴う各部分の状態推移を捉えるために時間的な順序関係を考慮している。さらにネットワークの状態改善に関するプランを提示・検証する機能を持ち合わせており、ネットワークにモデル化されるシステムの運用に対する支援を行う可能性をもつ。

またサーバが高負荷になる原因を併せて推論することにより、ユーザの意思決定に更なる支援を与えることが期待され、早急な課題と考える。

なお、より汎用性のあるシステムにするためには領域知識を拡充させなければならない。サーバの重みがフローに応じて変化する場合や、フローの

経路選択行動をモデル化した, 配分理論^[11,12]についてさらに検討する必要がある.

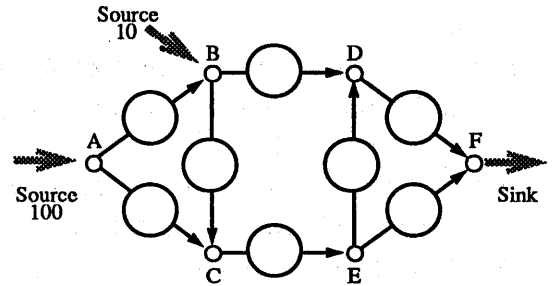


Fig.5 Network Model Example

(a) Network Data Input
 Network=(A B C D E F)
 A=((Source 0) (B 0.4 100 100 0 10) (C 0.6 150 150 0 10))
 B=((Source 0 A 0) (C 0.2 20 20 0 5) (D 0.8 120 120 0 20))
 C=((A 0 B 0) (E 1.0 150 150 0 10))
 D=((B 0 E 0) (F 1.0 120 120 0 10))
 E=((C 0) (D 0.2 20 20 0 10) (F 0.8 150 150 0 10))
 F=((D 0 E 0) (Sink 0))

(b) Beginning Environment Input
 " Source Flow Amount : (A 100 B 10) "

(c) Network Environment before Reasoning
 A=((Source 100) (B 0.4 100 60 40 10) (C 0.6 150 90 60 10))
 B=((Source 10 A 40) (C 0.2 20 10 10 5) (D 0.8 120 80 40 20))
 C=((A 60 B 10) (E 1.0 150 80 70 10))
 D=((B 40 E 14) (F 1.0 120 66 54 10))
 E=((C 70) (D 0.2 20 6 14 10) (F 0.8 150 94 56 10))
 F=((D 54 E 56) (Sink 110))

(d) Event Input
 " Branching Ratio Change at B : (C 0.4 D 0.6) "

(e) History Agenda
 (B C 0 (10 10 0 +10) K3)
 (B D 0 (40 80 0 -10) K1)
 (C E 5 (70 80 0 +10) K2)
 (E D 15 (14 6 0 +2) K2)
 (E F 15 (56 94 0 +8) K2)
 (D F 20 (54 66 0 -10) K1)
 (D F 25 (44 76 0 +2) K2)
 (F Sink 25 (110 +8))
 (F Sink 30 (118 -10))
 (F Sink 35 (108 +2))

(f) Network Environment after Reasoning
 A=((Source 100) (B 0.4 100 60 40 10) (C 0.6 150 90 60 10))
 B=((Source 10 A 40) (C 0.4 20 0 20 5) (D 0.6 120 90 30 20))
 C=((A 60 B 20) (E 1.0 150 70 80 10))
 D=((B 30 E 16) (F 1.0 120 74 46 10))
 E=((C 80) (D 0.2 20 4 16 10) (F 0.8 150 86 64 10))
 F=((D 46 E 64) (Sink 110))

Fig.6 IPR Process for Fig.5

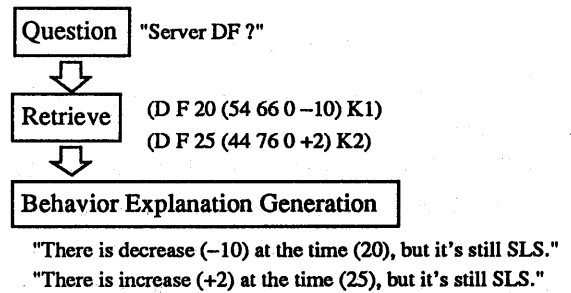



Fig.7 BEG Process for Fig.5

(a) Improvement Server Input
 BC, ED

(b) Path Selection
 Common upper node : A, B
 Path check : ABDF--(occupancy 0.4 time 40)
 ACEF--(occupancy 0.53 time 30)
 BDF--(occupancy 0.38 time 30) ;Select

(c) Improvement Request
 Occupancy of BC : Decrease 0.2
 Decrease flow to BC :4
 Increase flow to BDF :4

(d) Network Environment after Reasoning
 A=((Source 100) (B 0.4 100 60 40 10) (C 0.6 150 90 60 10))
 B=((Source 10 A 40) (C 0.32 20 4 16 5) (D 0.68 120 86 34 20))
 C=((A 60 B 16) (E 1.0 150 74 76 10))
 D=((B 34 E 15.2) (F 1.0 120 70.8 49.2 10))
 E=((C 76) (D 0.2 20 4.8 15.2 10) (F 0.8 150 89.2 60.8 10))
 F=((D 49.2 E 60.8) (Sink 110))

Fig.8 EIR Process for Fig.5

【参考文献】

- [1] 溝口, 古川, 安西: “定性推論”, 共立出版 (1989).
- [2] 西田: “定性推論に関する最近の研究動向(I) 基礎技術の進歩”, 情報処理, Vol. 29, No. 9, pp.1009-1022 (1988).
- [3] 西田: “定性推論に関する最近の研究動向(II) 新しい研究分野・応用”, 情報処理, Vol. 29, No. 11, pp.1322-1333 (1988).
- [4] Forbus, K. D.: “Qualitative Process Theory” Artificial Intelligence, Vol. 29, pp. 94-168 (1986).
- [5] Kuipers, B.: “Qualitative Simulation”, Artificial Intelligence, Vol. 29, pp. 289-338 (1986).
- [6] 黒川, 馬場口, 手塚: “ネットワークの定性的挙動解析”, 情処第41回全大1K-5(1990).
- [7] Forbus, K. D., Falkenhainer, B.: “Self-Explanatory Simulations: An integration of qualitative and quantitative knowledge”, in proc. AAAI90, pp. 380-387(1990).
- [8] Kleinrock, L.: “Queueing Systems”, John Wiley & Sons, Inc. (1975).
- [9] 志田, 沢村, 本位田, 伊藤: “定性推論と定量推論を導入した 待ち行列ネットワークのボトルネック診断と改善法”, 人工知能学会誌, Vol. 5, No. 1, pp. 92-105 (1990).
- [10] 尾崎, 白川, 翁長: “グラフ理論”, コロナ社 (1975).
- [11] 明神, 越: “新体系土木工学 61 道路 (I) 交通流”, 土木学会編, 技報堂出版(1983).
- [12] 丹保: “新体系土木工学 88 上水道”, 土木学会編, 技報堂出版(1980).