

LAQoS:多階層構造による適応的 QoS モデル

滝 沢 泰 久[†] 桐 本 直 樹[†] 倉 林 則 之^{††}
張 兵[†] 山 崎 達 也^{††}

インターネットの普及とマイクロプロセッサの急速な進歩に伴い、分散型/移動型マルチメディアシステムが多く出現している。このようなシステムでは、不均質に変動するコンピューティングリソース環境およびネットワークリソース環境において、多種多様で嗜好性を伴うユーザ要求を複合したサービス環境で満たすことが求められる。そのため、我々は、複数のサービスが混在するシステム環境において、個々の制約を考慮しつつシステム全体として合目的に向かう理論的処理モデルが必要と考え、Layered Adaptive QoS (LAQoS) モデルを考案した。本稿では、LAQoS モデルを数理モデル化し、その数理モデルから LAQoS モデルの特性を示す。

LAQoS: An Adaptive QoS Model Using Layered Structures

YASUHISA TAKIZAWA,[†] NAOKI KIRIMOTO,[†]
NORIYUKI KURABAYASHI,^{†††} BING ZHANG[†] and TATSUYA YAMAZAKI^{††}

Distributed multimedia systems and mobile multimedia systems are developed and began to be used widely as spread of Internet and improvement of microprocessor. Such systems are required to meet multifarious and inconstant user's requests on dynamically fluctuating computation resources environment. In order to realize the distributed/mobile multimedia systems which meet this requirements, it is need that the QoS mechanisms for every layer are integrated on environment where two or more services are intermingled. In this paper, we propose Layered Adaptive QoS(LAQoS) model which constructs multi layers based on meta level architecture in order to integrate any QoS mechanisms, and present a basic characteristics for proposed model.

1. はじめに

インターネットの普及とマイクロプロセッサの急速な進歩により、分散型/移動型マルチメディアシステムが多く出現している。このようなシステムの処理環境においては、ネットワークリソースとコンピューティングリソースは一定でなく、不均質に変動をする。一方、ユーザのシステムへの要求は、動画や音声などのメディア処理の要求に見られるように、多種多様で嗜好性があり、複数のサービスを必要とする。従って、マルチメディアシステムは、不均質に変動するコンピューティングリソース環境において、多種多様に変動するユーザ要求を満たすこと(以降、マルチメディア

通信コーディネーション)が求められる。

我々は、マルチメディア通信コーディネーションを実現するための統合メカニズムとして、Layered Adaptive QoS (以降、LAQoS) モデル²⁾を考案した。

本稿では、LAQoS モデルにおける各レイヤの QoS メカニズムの適応機能をニューラルネットを用いて数理モデル化し、さらに数理モデルを用いて LAQoS モデルの基本特性を示す。

2. LAQoS モデル

2.1 LAQoS モデルの構成要素

LAQoS モデルの構成要素を、次のように定義する。

- プロバイダエンティティ
プロバイダエンティティは、service-user から QoS 要求に対応して service-provider が Resource allocation を実施する処理単位である。
- service-provider
service-provider はサービスを提供するポリシーと複数のプロバイダエンティティからなる(図 1 参

[†] (株)ATR 適応コミュニケーション研究所
ATR Adaptive Communications Research Laboratories

^{††} 独立行政法人 通信総合研究所
Communications Research Laboratory, Independent
Administrative Institution

^{†††} 富士ゼロックス(株)
Fuji Xerox Co.,Ltd

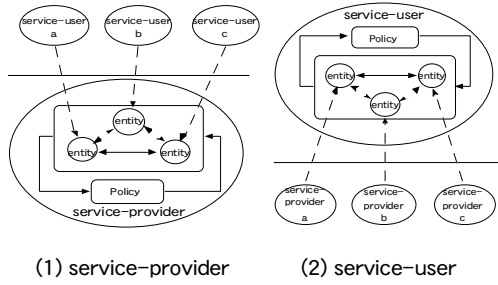


図 1 service-provider と service-user の構成
Fig. 1 Composition of service-provider and service-user.

照)．複数のプロバイダエンティティは，service-provider のポリシーに基づき，関連付けられ相互作用のメカニズムを提供する．これを内部メカニズムと呼ぶ．

● ユーザエンティティ

ユーザエンティティは，service-provider への QoS 要求を行う処理単位である．

● service-user

service-user は自らの要求や特性に基づくポリシーと複数のユーザエンティティからなる(図??参照)．複数のユーザエンティティは，service-user のポリシーに基づき，関連付けられて相互作用のメカニズムを提供する．これを内部メカニズムと呼ぶ．

2.2 プロバイダエンティティとユーザエンティティの相関

QoS 要求において，当該 QoS 要求を行った service-user のユーザエンティティと当該 QoS 要求を処理する service-provider のプロバイダエンティティは 1 対 1 に対応し(図 2 参照)，相互に協調関係とする．

2.3 レイヤ間の相関

プロバイダエンティティは，service-user としてそのポリシーに基づき，service-user 内の内部メカニズムを制御する．従って，当該プロバイダエンティティを含む service-provider の内部メカニズムは，下位レイ

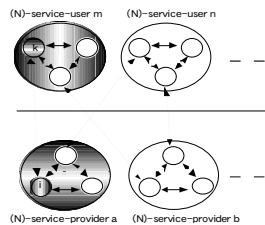


図 2 プロバイダエンティティとユーザエンティティの相関
Fig. 2 Correlation between a provider entity and a user entity.

ヤの service-user の内部メカニズムのメタレベルとして考えられる(図 3 参照)．

3. LAQoS モデルの数理モデル

本章では，LAQoS モデルの数理モデル化をニューラルネットを用いて行う．

3.1 エンティティの状態と出力

エンティティの状態を相互結合ネットワークの素子の活性状態に重ねる．離散時間 t においてレイヤ N の service-provider a 内に含まれるプロバイダエンティティ i の状態を $a_i^{P_a^N}(t)$ と表記する．以降，便宜的に S_a^N と表記した場合は，レイヤ N の service-provider a である P_a^N またはレイヤ N の service-user a である U_a^N のいずれかを表すものとする．

また，レイヤ N の service-user a または service-provider a に含まれるエンティティ i の離散時間 t における出力は次のようになる．

$$x_i^{S_a^N}(t) = 1/(1 + \exp(-a_i^{S_a^N}(t)/\varepsilon)) \quad (1)$$

3.2 エンティティ間の相関

エンティティ間の相関を相互結合ネットワークにおける素子間の結合重みに重ねる．レイヤ N における service-provider a または service-user a に含まれるエンティティ i と j の結合重みを $\omega_{ij}^{S_a^N}$ と表記する．

3.3 内部メカニズム

内部メカニズムに含まれるエンティティの状態を更新する規則を相互結合ネットワークの素子の活性状態の更新則に重ねて，次のようにする．

$$a_i^{S_a^N}(t+1) = a_i^{S_a^N}(t) + \begin{cases} (1 - a_i^{S_a^N}(t))net_i^{S_a^N}(t) & net_i^{S_a^N} > 0 \\ a_i^{S_a^N}(t)net_i^{S_a^N}(t) & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

$net_i^{S_a^N}(t)$ は，レイヤ N の service-user a または service-provider a に含まれるエンティティ i の離散時間 t における総入力である．従って， $net_i^{S_a^N}(t)$ は次のようになる．

$$net_i^{S_a^N}(t) = \sum_{j \neq i} \omega_{ij}^{S_a^N} x_j^{S_a^N}(t) + bias_i^{S_a^N}(t) \quad (3)$$

ただし， $bias_i^{S_a^N}(t)$ はレイヤ N の service-user a または service-provider a に含まれるエンティティ i の離散時間 t におけるバイアスである．

3.4 service-user におけるバイアス

レイヤ N の service-user a に含まれるユーザエンティティ i の離散時間 t におけるバイアスは，次のよ

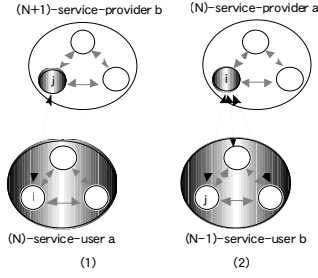


図3 ユーザエンティティとメタレベルのプロバイダエンティティとの相関

Fig. 3 Correlation with a user entity and the provider entity as a meta-level.

うになる．

$$\begin{aligned} bias_i^{U^N}(t) &= mbias_i^{U^N}(t) \\ &+ sbias_i^{U^N}(t) + pbias_i^{U^N}(t) \end{aligned} \quad (4)$$

$mbias_i^{U^N}(t)$ は，上位レイヤの service-provider 内のプロバイダエンティティと当該ユーザエンティティの相互結合による入力とする（図3(1)）．このことから， $mbias_i^{U^N}(t)$ は，次のように定義する．

$$mbias_i^{U^N}(t) = \varpi_{ij}^{U^N P_b^{N+1}} x_j^{P_b^{N+1}}(t) \quad (5)$$

ただし， $\varpi_{ij}^{U^N P_b^{N+1}}$ はレイヤ N の service-user a 内に含まれるユーザエンティティ i とレイヤ $N+1$ の service-provider b 内に含まれるプロバイダエンティティ j との因果結合の重みである．

$sbias_i^{U^N}(t)$ は，2.2 節で述べたユーザエンティティとプロバイダエンティティの相互結合による入力として考えて，次のようにする．

$$sbias_i^{U^N}(t) = \varpi_{ki}^{P(N,b)U^N} x_k^{P(N,b)}(t) \quad (6)$$

$pbias_i^{U^N}(t)$ は，service-user がそのポリシーに基づいて，内部メカニズムの各ユーザエンティティの総入力に対応するバイアスである．LAQoS モデルでは， $pbias_i^{U^N}(t)$ を当該ユーザエンティティへの総入力関数として仮定し，次のようにする．

$$\begin{aligned} pbias_i^{U^N}(t+1) &= pbias_i^{U^N}(t) \\ &+ z_i^{U^N}(t) net_i^{U^N}(t) \end{aligned} \quad (7)$$

ただし， $z_i^{U^N}(t)$ はレイヤ N の service-user a に含まれるユーザエンティティ i の離散時間 t におけるバイアス重みである．

3.5 service-provider におけるバイアス

レイヤ N の service-provider a に含まれるユーザ

エンティティ i の離散時間 t におけるバイアスは，次のようになる．

$$\begin{aligned} bias_i^{P^N}(t) &= mbias_i^{P^N}(t) \\ &+ sbias_i^{P^N}(t) + pbias_i^{P^N}(t) \end{aligned} \quad (8)$$

$mbias_i^{P^N}(t)$ は当該プロバイダエンティティと下位レイヤの service-user 内のユーザエンティティの相互結合による入力とし（図3(2)），次のように定義する．

$$mbias_i^{P^N}(t) = \sum_k \varpi_{ki}^{U_b^{N-1} P_a^N} x_k^{U_b^{N-1}}(t) \quad (9)$$

$sbias_i^{P^N}(t)$ は， $sbias_i^{U^N}(t)$ と同様に考えて，次のようにする．

$$sbias_i^{P^N}(t) = \varpi_{ij}^{P_a^N U^N} x_j^{U^N}(t) \quad (10)$$

$pbias_i^{P^N}(t)$ は，service-provider がそのポリシーに基づいて，内部メカニズムの各プロバイダエンティティの出力を制御するためのバイアスである． $pbias_i^{U^N}(t)$ と同様に，次のようにする．

$$\begin{aligned} pbias_i^{P^N}(t+1) &= pbias_i^{P^N}(t) \\ &+ z_i^{P^N}(t) net_i^{P^N}(t) \end{aligned} \quad (11)$$

3.6 ポリシ

service-user および service-provider のポリシーは，その内部メカニズムに関する処理モデルを知識として持つ．ポリシーは，次のように構成される．

$$Policy^{S_a^N} = (\omega_{ij}^{S_a^N}, x_i^{S_a^N}(t), \varpi_{ij}^{S_a^N},$$

$$, pbias_i^{S_a^N}(t), z_i^{S_a^N}(t), G^{S_a^N}(t))$$

内部メカニズムの評価値 $G^{S_a^N}(t)$ は，相互結合ネットワークの制約充足度に重ねて，次のように求める．

$$\begin{aligned} G^{S_a^N}(t) &= \sum_{i \neq j} \sum_{j \neq i} \omega_{ij}^{S_a^N} x_i^{S_a^N}(t) x_j^{S_a^N}(t) \\ &+ \sum_i bias_i^{S_a^N}(t) x_i^{S_a^N}(t) \end{aligned} \quad (12)$$

4. 基本特性

複数の service-user と複数の service-provider が混在する（図4）多階層全体メカニズムを，任意のレイヤの任意の service-provider a が離散時間 t において内部のプロバイダエンティティ i の状態を更新した場合について考える．この更新により，離散時間 $t+1$ に，影響を受けるエンティティは，service-provider a 内のプロバイダエンティティ，service-user m のユーザエ

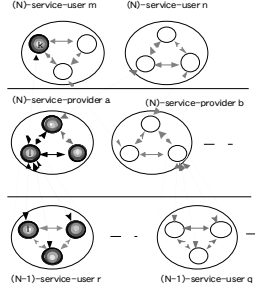


図4 エンティティの状態更新によるレイヤ間での影響

Fig. 4 Influence across layer when the updating of a state of entity i .

エンティティ k および下位レイヤの service-user r 内のエンティティである。式 12 を用いて service-provider a の評価値の変化量は次のように求められる。

$$\begin{aligned} \Delta G^{P_a^N}(t+1) &= (x_i^{P_a^N}(t+1) - x_i^{P_a^N}(t)) \text{net}_i^{P_a^N}(t) \\ &\quad + z_i^{P_a^N}(t) \text{net}_i^{P_a^N}(t) x_i^{P_a^N}(t+1) \end{aligned} \quad (13)$$

また, service-user m の評価値の変化量は, 次のようになる。

$$\begin{aligned} \Delta G^{U_m^N}(t+1) &= (x_i^{P_a^N}(t+1) - x_i^{P_a^N}(t)) \varpi_{ik}^{P_a^N U_m^N} x_k^{U_m^N}(t) \end{aligned} \quad (14)$$

レイヤ N の service-provider a と因果結合したレイヤ $N-1$ の service-user r との相関は, プロバイダエンティティ i と service-user 内の各エンティティとの 1 対 1 の相互結合ネットワークとして考える。従って, レイヤ $N-1$ の service-user r の評価値の変化量は次のようになる。

$$\begin{aligned} \Delta G^{U_r^{N-1}}(t+1) &= (x_i^{P_a^N}(t+1) - x_i^{P_a^N}(t)) \sum_l \varpi_{il}^{P_a^N U_m^N} x_l^{U_r^{N-1}}(t) \end{aligned} \quad (15)$$

多階層全体は, レイヤ N の service-provider a はレイヤ $N-1$ の service-user r の因果結合により, 単層の相互結合ネットワークと見ることができる。従って, 式 13, 14 と 15 から, 多階層全体の評価値の変化量は次のようになる。

$$\begin{aligned} \Delta G(t+1) &= (x_i^{P_a^N}(t+1) - x_i^{P_a^N}(t)) \text{net}_i^{P_a^N}(t) \\ &\quad + z_i^{P_a^N}(t) \text{net}_i^{P_a^N}(t) x_i^{P_a^N}(t+1) \end{aligned} \quad (16)$$

また, service-user m のエンティティ k がその状態

を更新した場合も上記と同じ議論が成り立ち, 式 16 と同様の結果を得る。

式 16 において, 評価値が高い方向へ収束する条件は, 評価値の変化量が 0 以上でかつ評価値の変化量の差分が 0 以下である。すなわち, 次の 2 つの式を満たす場合である。

$$z_i^{S_a^N}(t) \text{net}_i^{S_a^N}(t) > 0$$

$$|z_i^{S_a^N}(t+1)| = |z_i^{S_a^N}(t)| - \alpha \quad (17)$$

ただし, $\alpha > 0$ とする。

従って, 内部メカニズムが次のような特性を持つ。

- ポリシからのバイアスが一定である ($z_i^{S_a^N}(t) = 0$) 場合, またはポリシからのバイアスの差分が正の値でその絶対量が減衰する ($z_i^{S_a^N}(t) \text{net}_i^{S_a^N}(t) > 0$ で $|z_i^{S_a^N}(t+1)| = |z_i^{S_a^N}(t)| - \alpha$) 場合, 内部メカニズムはその近傍で平衡状態 (安定状態) へ向かう。
- ポリシからのバイアスの差分が負の値でその絶対量が増加する ($z_i^{S_a^N}(t) \text{net}_i^{S_a^N}(t) < 0$ で $|z_i^{S_a^N}(t+1)| = |z_i^{S_a^N}(t)| + \alpha$) の場合, 評価値は必ずしも上昇せず, 内部メカニズムは不安定状態 (新たな状態を探す状態) へ向かう。

すなわち, ポリシにおいて上記のように $z_i^{S_a^N}(t)$ を更新することにより, 多階層全体のメカニズムを制御できる。

5. おわりに

本稿では, 多階層を構成する QoS 適応機能においてそれらを統合する理論的モデルである LAQoS モデルを提案した。また, 多階層構造を複数の相互結合ネットワークがいくつかの点で相互接続した単層ネットワークとしてモデル化し, これをニューラルネットを用いて数理化した。さらに, その数理モデルから LAQoS モデルの基本的特性を示した。

参考文献

- 1) D. E. Rumelhart, J. L. McClelland and the PDP Research Group: *PARALLEL DISTRIBUTED PROCESSING*, The MIT Press (1986).
- 2) 滝沢, 桐本, 倉林, 張, 山崎: 多階層構造による適応的 QoS モデルの考察, 信学技法, CQ2001-36, (2001).
- 3) H. Okamura, Y. Ishikawa and M. Tokoro: Multi-Model Reflection Framework and Its Distributed Application, *Object-Oriented Computing III*, Kindaigakaku-sha (1994).