

## QoS オントロジーに基づくエージェント指向ネットワーク制御方式

上野 義人  
創価大学工学部情報システム学科

あらまし 分散ネットワークにおけるマルチメディアサービスにおいて、ユーザが要求する通信サービスの品質(QoS)は、メディアやネットワークの時間変動により、通信サービスを維持、確保できない問題がある。今回、マルチメディアエージェントに共有知識オントロジーを持たせたエージェント指向 QoS 制御方式を構成し、エージェント間の通信言語として、拡張された KQML 言語を設計し、エージェント間の協調動作を行う交渉プロトコルとして、契約ネットプロトコルを用いて計算機シミュレーションを行い、エージェント間の協調動作の評価を行った。

キーワード: QoS、エージェントネットワーク、オントロジー、拡張 KQML、契約ネットプロトコル

## An Agent-based QoS Management System adopting QoS Ontology

Yoshito Ueno

Dept. of Information System Science, Faculty of Engineering, SOKA University

**Abstract** As the distributed multimedia applications become more widely diffused, these systems for QoS management are increasingly important because of multimedia networks having insufficient bandwidth and scarcity of CPU resources for processing multimedia services.

In this paper I will present an architecture for distributed QoS management based on software agents. A software agent is capable, autonomously or in cooperation with other agents, of solving a certain problem or carrying out a certain task.

I will show the advantage of an agent-based QoS management system adopting QoS ontology, the extended KQML and the contract net protocol through computer simulation.

**Keywords:** QoS, Intelligent agent, Ontology, Extended KQML, Contract net protocol

### 1. はじめに

分散マルチメディアネットワークを実現するためには、多くの技術課題があるが、その中でマルチメディアの通信品質である QoS (Quality of Service) 特性の保証とその制御が重要な技術課題である。

通信事業者は、様々な新しいサービスを提供するため、最新技術である Java を用いたインテリジェントネットワークの研究を推進している。特に、ユーザに代って必要なサービスを受け取る自律的なモバイルエージェント技術が注目されている。これは、ネットワーク中を移動し、インテリジェントなソフトウェアプログラムで構成されたエージェントでサーバと相互に通信して、必要なサービスを獲得するシステムである。

したがって、各ネットワーク構成要素がプログラミング可能なソフトウェアエージェントを用いた QoS 特性保証、制御方式が重要である。

このソフトウェアエージェントによる分散マルチメディアネットワーク管理方式は、柔軟な通信サービス管理が可能であり、有効な QoS 保証性能をもつ制御方式と考えられる。(1)、(2)

今回、各エージェントが QoS に関する共通した知識にもとづいて行動するために、この共有知識オントロジーを生成し、マルチエージェントを用いた QoS 制御方式について検討した。

### 2. QoS オントロジー

#### 2.1 QoS の定義

一般に、ユーザが要求する通信サービスの品質は、

定量的でなく、定性的である。一方、ネットワークが提供できる通信品質は、専門技術的な特性であり、伝送品質として、伝送信頼度、伝送遅延、遅延ジッタ、誤り率、帯域幅などの諸特性が常時監視され、測定されて、ユーザ側に満足できるサービス品質を提供する。

QoS パラメータとして、ユーザの立場から考えると、あまり専門的な規定を設けず、自然言語等を用いてユーザに分かり易いパラメータを指定できる構成が好ましい。したがって、ユーザが簡単に指定できるQoSパラメータとして、遅延特性に影響を受けるメディアの新鮮さ、ジッタ特性に左右されるメディアの滑らかさ、スループット特性に影響される解像度、誤り率特性に依存するメディアの信頼度などの概念的な項目を定義している。

また、連続メディアの空間的、時間的スケーラビリティは、ビデオやオーディオなどの品質特性によって変更する。

例えば、ビデオのスケーラビリティはユーザの要求に従って、空間的、時間的なスケーラビリティを変更でき、ユーザのサービス要求を満足させるユーザインタフェースが重要である。(3)

ユーザが自然言語で表示されたインタフェースを用いてサービス要求するとき、様々な用語や印象語が用いられ、これらの要求をエージェントが代行するとき、共通の語彙や表現を使用する必要がある。このため、エージェントが属する領域の共有、再利用可能な領域知識、すなわち領域オントロジーを構築する必要がある。

## 2.2 オントロジー

本来の意味をもつ哲学的なオントロジーの概念から、エージェントが依存する知識の概念化と関連する知識の表記法としてのオントロジーは、概念階層構造や概念定義を含む概念仕様を規定したものを意味する。(4)

このように意味をもつオントロジーは、次の5種類の概念仕様に大別される。

- 1) 自然言語処理用に多数の概念を記述したデジタルライブラリー用辞書
- 2) 問題領域に独立した形で多数の概念を記述したCYC
- 3) 時間、順序、プロセスなど一般的な概念体系である汎用オントロジー
- 4) 特定の問題領域に含まれる概念体系である領域オントロジー
- 5) 問題解決エンジンを構築するための部品ライブラリーとしてのタスクオントロジー

エージェント指向プログラミング環境では、エージェントが所属する領域知識オントロジーをエージェントが共有し、

再利用する。この領域オントロジーの生成は、現実世界を単純化し、抽象化した見方を表現した知識ベースを構築することである。(5)

このオントロジーは、汎用的な語彙を用いて、人間が理解できるテキスト形式で下記の項目などを記述する。

- 1) クラス
- 2) 関係
- 3) 機能
- 4) 他のオブジェクトとの関連付け
- 5) 名前の意味や解釈を規定する記述

オントロジー記述言語には、領域知識を集約し、汎化する OML(Ontology Markup Language)言語がある。これは XML と同類の記述言語 CKML(Conceptual Knowledge Markup Language)で記述される。その他、記述言語として Ontolingua などがある。

QoSオントロジーは、現実世界を世界知識を用いて解釈し、因果知識を利用して論理的に裏付けされた振舞いを抽出し、世界知識を用いて原因パラメータを特定し、最終的に動作可能な知識を利用して制御または管理を行う。

このような基本的なスキーマ構造を持つ QoS オントロジーは、標準フレーム、原因フレーム、概念フレームを構成して生成する方法がある。

まず、QoS 領域に含まれる語句を利用して、上記3フレームのモデルを具象化して、QoS モデルを構築する。

つぎに、QoS モデルを現象、原因、人間の感性、時間、場所などのカテゴリーごとに、自然言語で表現し、各フレームの要素を定義する。このとき、次の生成ガイドラインと生成経験則とを利用して、QoS 領域から語句を抽出し、各フレームの要素を定義する。

生成ガイドラインは次の通りである。

- 1) QoS 知識源の元々の意味を保持する。
- 2) 標準、原因、概念を単一フレームで表現する。
- 3) 具象フレーム数を少なくするため、標準、原因、概念を結合する。
- 4) モデルの保守を困難とする複雑なフレームは、複数のフレームに分割する。  
また、生成経験則は、次の通りである。
  - 1) 標準、原因、概念の核となる部分から構築する。
  - 2) 単一フレームで多くの文章を記述する。
  - 3) 標準や概念が異なる種類に対しては、複数のフレームに分割する。
  - 4) 標準固有の特徴的な用語は独立したフレームで表現する。
  - 5) 局所的なテキスト構造は削除する。
  - 6) 大域的なテキスト構造は削除する。
  - 7) 同じ構造を含む異なった文章は一つのフレームに統合

する。

自然言語で表現された QoS の語彙は、WordNet や日本語辞書などの語彙分類法により類似語を集約する。

いま、QoS オントロジーを形容詞句対群で表現するという制約条件を設定し、ビデオデータ QoS を自然言語により表現すると以下のような4つのカテゴリに集約される。

#### 1)メディアの新鮮さに関する類似語セット

- ・はっきりした — 不明瞭な
- ・生き生きとした — 生気のない
- ・動的な — 静的な
- ・よい — わるい

#### 2)メディアの滑らかさに関する類似語セット

- ・スムーズな — とぎれた
- ・美しい — 醜い
- ・よい — わるい

#### 3)メディアの解像度に関する類似語セット

- ・綺麗な — 汚い
- ・キメが繊細な — キメが荒い
- ・澄んだ — 濁った

#### 4)メディアの信頼度に関する類似語セット

- ・安定した — 不安定な
- ・よい — わるい

また、原因と結果とを関連付けた世界知識により、メディアの新鮮さは、ネットワークパラメータの遅延特性が支配要因となることを特定する。

同様に、メディアの滑らかさの要因は、ジッタ特性であり、メディアの解像度の要因は、帯域幅特性であり、メディアの信頼度は、誤り率特性となる。

このように生成されたQoSオントロジーは、QoS制御概念をエージェント間の関係を表した知識ベースで、エージェントが利用し、他のエージェントとエージェント間通信言語で通信することにより、各エージェントは知識を共有し、再利用することができる。

このようにして、ユーザが要求するQoS特性やコンテキストに独立した正式な用語の意味を用いて、QoS概念仕様を定義できる。

ユーザエージェントは、この正式な用語で QoS 要求し (ask)、QoS特性を確定する (tell)。

このQoSオントロジーを利用して、エージェント間で明示的に通信し、各エージェントの合意形成が達成できる。

### 3. QoS交渉プロトコル

#### 3.1 エージェント間通信言語

エージェント間通信プロトコルとして、発話行為理論にも

とづくKQMLがある。(6)

この発話行為理論は、発話者の意図や信念に左右されるが、次の3つの要素から構成される。

1)発話行為: 言語を発する行為、文法に従う行為、意味のある文章を発する行為

2)発話内行為: 発話行為により遂行される行為、明言、要求、警告、注文、謝罪など

3)発話媒介行為: 発話することにより、発話媒介効力を生み出す発話行為

KQML 言語は、エージェント間で実行時に知識を共有するためのメッセージフォーマットおよびメッセージプロトコルで構成されている。

このプロトコルの主要な機能を以下に示す。

1)メッセージパッシングにより、情報を転送し、質問する。

2)共有メモリに書き込んだり、読み出ししたりする。

3)他のエージェントに教示したり、他のエージェントから学習したりする。

4)エージェントに直接プログラムを書き込んだり、エージェントにアクセスし、情報を取り出ししたりする。

このエージェント間通信言語は、3層構造をしており、最上位層に、通信に関する情報を記述した通信パラメータで通信し、第2層は、エージェントの行為を規定した performative(遂行語)すなわち、KQML 言語で記述したメッセージアクトでメッセージパッシングし、最下位層の構文と意味は、知識交換言語(KIF)で規定し、共有オントロジーで規定された語彙をメッセージ内容として送信する。

KQML 言語のパフォーマティブとして、QoS 交渉プロトコルによる協調動作が可能なように拡張した。

なお、エージェント間の通信による協調を促進するため、ファシリテータまたはブローカーを導入し、エージェントからの通知要求 subscribe コマンドを受け取ると、話題 X が発進される毎に、subscribe コマンドを発したエージェントに配信する。また、宛先不明の subscribe コマンドは、ファシリテータに伝達する。

エージェントがメッセージ内容を相互交換するための中間言語として、KIF 言語がある。これは、拡張された述語論理式に対して宣言的な意味論と計算可能な構文を与えるもので、文や定義式や推論規則を同値、含意、変数などのパラメータで記述する。

#### 3.2 QoS 交渉プロトコル

独自の目標をもつ複数のエージェントが交渉を通じて競合を解決し、好ましい均衡を維持しながら、各エージェントの目標を最低限度達成する必要がある。

ネットワークやサーバとの資源の交渉順序として、契約ネットワーク、多段階交渉などがある。(7) この競争市場における競合の解決方法は、重要性の低い制約を無視し、交渉が成立するまで再交渉するという手段をとる。

特に、QoS 優先度、ユーザ間の妥協、競合状態の平均化などの手段を講じることによって、エージェント間の協調能力を向上させる。

契約ネットワークは、階層的なタスク割り当て方式の一種であり、複雑なタスクを個々のタスクに分割し、それぞれを複数のエージェントに割り当て、タスクを独立に解決し、契約ネットワークを結んで問題解決する方法である。

#### 4. QoS オントロジーにもとづくエージェント指向ネットワーク制御方式

##### 4.1 マルチエージェントによるネットワークアーキテクチャ

電気通信サービスの開放型アーキテクチャを定義し、検証する国際組織が提案している TINA(Telecommunication Information Network)を参照しながら、マルチエージェントに基づくネットワークアーキテクチャを構成する。(8)

このとき、TINA が要求する全ての仕様を満足する必要がある。TINA が要求するサービス項目は、次の 5 項目に大別される。

- 1) サービス品質: 品質パラメータの制御と監視
- 2) セキュリティ: 個人認証、秘匿
- 3) 課金: サービス提供記録、ネットワーク利用状況の収集、ユーザへの料金通知
- 4) サービス管理: サービスのスケジュール、中断、再開、継続、終了などの稼働状況管理、サービス継続時間管理
- 5) 障害処理: 異常動作の故障検出、障害個所の局所化と遮断、故障修理と復旧、定期試験と故障診断

また、TINA では、ユーザが要求するサービスを提供するため、3通りのセッション概念を規定している。

- 1) ユーザセッション: ユーザが要求するサービスを提供するため、ネットワーク資源を割り当てる。
- 2) コミュニケーションセッション: サービスを提供するため、トランスポートネットワークを接続する。例えば、通信経路の設定、端末の指定、QoS 特性のマッピングなど。
- 3) アクセスセッション: ユーザのネットワーク接続を維持し、サービスを継続する。

したがって、分散マルチメディアネットワークのエージェントアーキテクチャとして、ユーザがアクセスするインタフェースエージェントやアクセス先の端末やサーバが提供

するサービスを制御するサーバ(端末)エージェントと TMN ( Telecommunication Management Network ) に基づくネットワーク管理を実行する各種エージェント、例えば課金、接続障害、実行、セキュリティ、資源構成などのエージェントを含むマルチエージェントアーキテクチャを採用する。

Telescript などのモバイルエージェントは、通信言語、ネットワークプロトコル、セキュリティ、モビリティの制御、多種多様な知識ベース間のセマンティックスの相違、エージェントライフタイムの制御、目標指向ビヘイビアなど多くの解決すべき課題がある。

また、複雑なネットワークサービスに対応できない問題がある。したがって、Java, Prolog 言語など高級言語を用いたスクリプトでサービス要求仕様を記述するエージェントアーキテクチャを構築する。(9)

情報配送、セキュリティ、QoS 特性など複雑なネットワークサービスを提供できるマルチエージェント型ネットワークアーキテクチャを図1に示す。

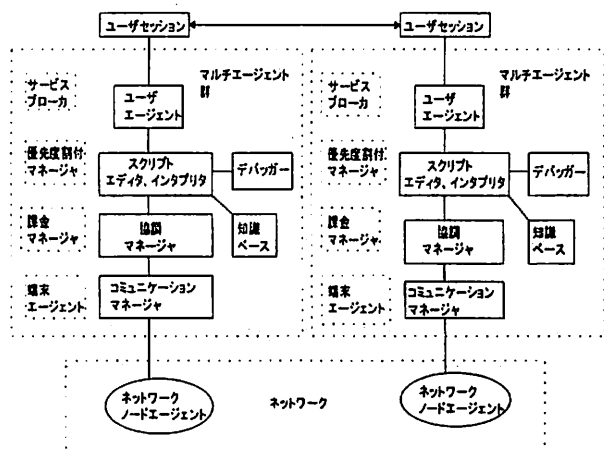


図1 マルチエージェント型ネットワークアーキテクチャ サービス要求に対応したタスクをもつエージェントを必要数に応じて個数を増やす。

各エージェントのタスクを協調動作させるために、KQMLによる通信プロトコルであるパフォーマンス型にブロードキャストを含める。

: ask if join cooperation ( Q )

roll ( bidder )

協調参加エージェントは、次のパフォーマンス型を送る。

: tell join cooperation ( Q )

メッセージ内容を決めるビヘイビアには、オントロジーに基づく要求仕様やタスクなどを記述する。

協調動作を示すオペレータとして、

: ask\_if ( can, Q )

: command ( do, task, Q )

などを用いる。なお、エージェントが協調動作に失敗したときや非同期の話者行為を行ったときなどのため、Timeout のオペレータを使用する。

ユーザからのサービス要求を標準的なサービスに限定し、プログラミングするような自由度を持たせず、アルゴリズムにもとづいたスクリプトでサービス要求を記述する。

このような標準的なサービスとして、品質、コスト、継続時間の 3 要素を規定する。ユーザは、スクリプトエディタにより、ユーザ名、要求仕様、パフォーマンス、メソッド、アクションなどを記述する。これらスクリプトは、インタプリタにより、スクリプトの有効性を保証されたり、または、Timeout したスクリプトは廃棄される。

#### 4.2 QoS パラメータ

ユーザが要求する QoS 特性は、コストとの依存関係があり、コストを多く支払えば、高い QoS パラメータと高い優先度が保たれる。いま、コストとの関連性を無視して、QoS パラメータを設定する。

QoS オントロジーを生成した結果、ビデオアプリケーション QoS パラメータとして、新鮮さ、滑らかさ、帯域幅すなわち画質、信頼度が抽出される。いま、滑らかさと画質の QoS クラスをネットワークの遅延、帯域幅に対応させたマトリックスを作成すると図2のようになる。

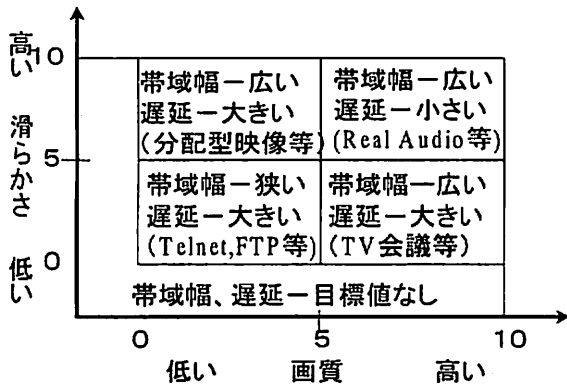


図2 アプリケーション QoS 要求品質の QoS クラスマトリックス

### 5. 実験結果

#### 5.1 シミュレーション環境

マルチエージェントによる QoS 制御方式を評価するために、10ケのエージェントを SUN WS に実装し、開発言語には、C 言語を用いてシミュレーション実験を行った。また、ネットワーク資源およびサーバ資源が動的に変動する環境下でシミュレーション実験を行った。ビデオアプリケーション QoS パラメータの(滑らかさ、画質)の組み合わせで、(10,5), (8,4), (4,8), (5,5) の4種類の優先度をもつク

ラスをランダムにユーザのインタフェースエージェントに割り当てた。

また、問題解決の戦略として、各エージェントがそれぞれ自己戦略にもとづいて、QoS 交渉、再交渉を行った。

この戦略として、

1) 決定的戦略すなわち、協調動作不可能なエージェントをもつ場合

2) 確率的戦略すなわち、協調動作可能なエージェントをもつ場合

の 2 種類を採用した。

このようなシミュレーション環境のもとで、ユーザがセッション開始要求時と、セッション実行中の QoS 要求変更時において、十分な資源を確保できない場合について、シミュレーション実験した。

また、マルチエージェント環境における各エージェントが協調動作を行うために必要なエージェント間の通信量についても測定し、エージェント数が数十程度ならば、エージェント間の協調動作に支障が無いことを確認した。

#### 5.2 シミュレーション結果

##### 1) 全てのエージェントが決定的戦略をもつ場合

###### a) ユーザがセッション開始要求を行ったとき

あるエージェントは、協調メッセージを送信して、他のエージェントに協調動作を呼びかける。その他のエージェントは、決定的戦略を持つため、協調動作を拒否する。

いま、他のユーザがセッションを開始したときの動作経

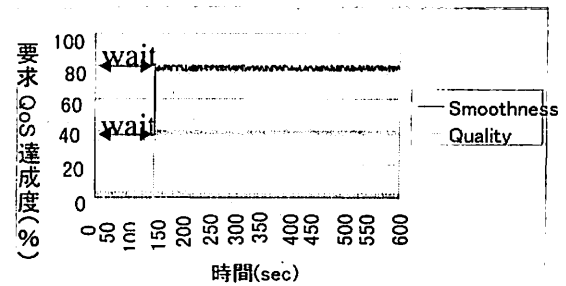


図3決定的戦略:十分な資源を確保できない場合過を図3に示す。

要求 QoS 達成度は、滑らかさおよび画質のパラメータとして、最高品質 10 を 100%としたときの比率で表す。

###### b) ユーザがセッション実行中に QoS パラメータの変更要求を行ったとき

あるユーザが"滑らかさを上げる"という QoS 変更要求を出し続けたとき、各エージェントの協調動作結果を図4に示す。他のエージェントがセッションを終了したと

きに、変更要求が受諾され、滑らかさが改善される。

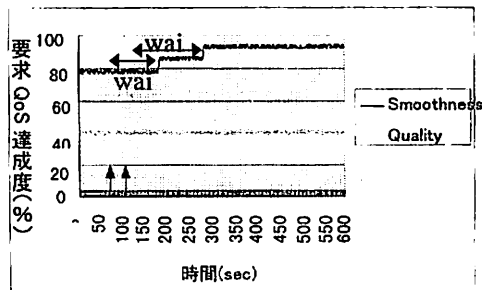


図4 決定的戦略: QoS 変更要求、十分な資源を確保できない場合

2) 全てのエージェントが確率的戦略をもつ場合

a) ユーザがセッション開始要求を行ったとき

あるエージェントは、協調メッセージを送信して協調を呼びかけると、確率的戦略をもつ他のエージェントは、この要求を受諾し、すぐに協調動作に入る。その結果を図5に示す。このとき、優先度の低いエージェントの要求 QoS パラメータは下げられ、優先度の高いエージェントの要求 QoS パラメータは上げられる。

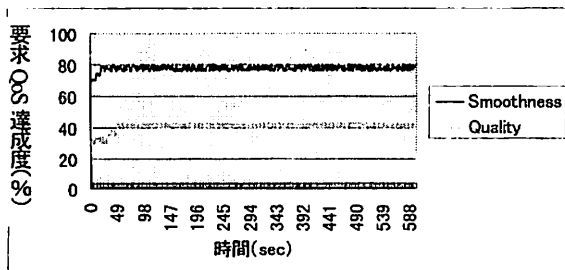


図5 確率的戦略: 十分な資源を確保できない場合

b) ユーザがセッション実行中に QoS パラメータの変更要求を行ったとき

ユーザ A は“滑らかさを上げる”という QoS パラメータ変更要求を出し続けたときのシミュレーション結果を図6に

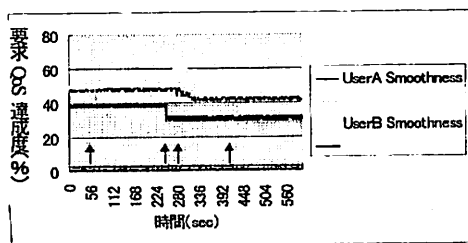


図6 確率的戦略: QoS変更要求、十分な資源を確保できない場合  
示す。このとき、優先度の低いエージェントの要求 QoS パラメータは下げられ、ユーザ A の“滑らかさ”が向上する。ユーザ A の QoS 変更要求が発動されると、エージェント

間の協調動作により、相互に資源の融通が行われ、資源が不足しているネットワーク環境下では、実行中のセッションを切断することなく、柔軟な協調動作が行われる。

6. おわりに

ユーザが QoS 交渉、再交渉などの専門的な知識を必要としないマルチエージェントを用いた QoS 制御方式について考察した。

QoS 特性を自然言語による語彙分析により、QoS オントロジーを生成する機構について詳述し、エージェントが共有できる QoS オントロジーを用いて、エージェント間の協調動作で QoS 制御できるエージェント指向ネットワーク制御方式を構築した。また、シミュレーション結果から、十分な QoS 制御できることが判明した。

今後、QoS 要求値とコストとの関係など実運用面での考察を加える必要がある。

また、協調目標計画の戦略決定手法や合意形成の速い交渉アルゴリズムなどを検討する必要もある。

参考文献

- 1) 上野、東別府: “インテリジェントエージェントによる QoS 制御方式”、TM ワークショップ、TMWS99-13、1999.3
- 2) Y.Ueno: “A QoS Prediction Management System in Distributed Multimedia Networks”, Pacific DMS'96, pp.56-62, 1996.6
- 3) Y.Ueno: “A QoS User Interface for Multimedia Communication System”, World Congress on System Simulation, pp.397-401, 1997.9
- 4) D.E.O'Leary: “Using AI in knowledge Management : Knowledge Bases and Ontologies”, IEEE Intelligent Sys, pp.34-39, 1998, May-June
- 5) 山口、樽松: “法律オントロジー”、人工知能、Vol.13、No.2 pp.189-196, 1998.2
- 6) M.P.Singh: “Agent Communication Language : Rethinking the Principles”, IEEE Computer, pp.40-47, 1998, December
- 7) J.M.Bradshaw, ed.: “Software Agent”, MIT Press, 1997
- 8) A.Ghanei, “Telecommunications Information Networking Architecture and Agent Oriented Techniques” IOS Press, pp. 203-224, 1999
- 9) S.Fricke, et al., “ A Development and Test Environment for Agent-based Telematic Services” IOS Press, pp.225-251, 1999