

# 多配送層フレームワークにおける品質制御可能 ネットワークモデルとMPLSを用いた実現手法に関する考察

宇夫陽次郎 小柏伸夫 宇多仁 篠田陽一

{yuo,n-ogashi,zin,shinoda}@jaist.ac.jp

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

インターネット上で提供されるサービスおよびユーザ層の多様化によって、そのアーキテクチャ自体の改変が要求されつつある。その目的の1つには次世代インターネットの必須要素であるサービス品質制御(QoS制御)の実現が挙げられる。本論文ではネットワークレベルでQoS制御をサポート可能なネットワークモデルを論じる。既存インターネットモデルでは本質的に実現が困難な問題領域に対応しうるネットワークモデルとして多配送層モデルを提案し、その実現に関する手法を考察する。

## A QoS control enabled network model using a framework of multiple distribution layer, and an MPLS base practice design.

Yojiro UO Nobuo Ogashiwa Satoshi Uda Yoichi Shinoda

Japan Advanced Institute of Science and Technology, Hokuriku

The current Internet architecture is required to change because its services and user classes have become diversified. For one thing, this modification aims to realize the "Quality of Services"(QoS) management, which is one of the essential factors of the Next Generation Internet. This paper examine the network model which is able to support the network level QoS management. We propose the MDL(Multiple Distribution Layer) to cope with problems which have been difficult to solve, and consider about the technique for the realization of it.

## 1 はじめに

現在のインターネットは最善努力型の通信クラスを提供するために設計されたネットワークモデルに基づいている。このモデルでは、すべての通信トラフィックはIPパケット単位に分割され、ネットワーク内部ではお互いに対等に扱われる。端点間の接続性を最も重要視するネットワーク設計においてはこのモデルは十分に妥当であり、それ故にインターネットは通信基盤として広く受け入れられることになった。成功の結果インターネットの利用者層は拡大したが、インターネット上のサービスに対する要求は既存のネットワークモデルを越える形で多様化する傾向にある。そのため、最近ではネットワーク上の通信をサービスに基づいて区分して扱う技術への関心が高まりつつある。たとえば区分化サービス(Diff-Serv)[1]はネットワーク

中でパケット中のマーキングに応じた挙動制御をおこなうための技術であり、統合サービス(Int-serv)およびRSVP[2]は、パスに基づいたリソース予約によって絶対的品質保証を目的とする技術である。それ以外にも、個別ノード毎にパケットを詳細解析してパケット処理挙動を制御する方法などがある。これらの技術はサービスに応じた通信制御を実現する技術であり、それ自体がインターネット上で多様化する通信要求に対応するために提供されうるサービスの一形態である。

しかし、これらの技術群は既存のインターネットモデルの枠組みを越えない範囲での品質制御機構の導入である。インターネットのネットワークモデルでは最善努力型の通信サービスを唯一のサービスクラスとしておりその部分での多重化が考慮されていないことがその理由として挙げられる。サービス品質が選択できるようにするには本質的に異なる要求を同時に

実現する必要があるが、既存のインターネットアーキテクチャではその設計上の制約から通信モード自体の多重化という概念を明示的に扱うことができない。本論文では、既存インターネットの拡張、すなわち品質制御機構をインターネットに導入するというアプローチでは無く、品質制御を容易に実現可能なネットワークフレームワークおよびネットワークアーキテクチャがどのように構成されるべきかということ論じる。2章でネットワーク構造をモデル化するためのフレームワークを導入し、3章、4章で品質制御可能ネットワークを論じる。その上で、5章で MPLS 技術を用いた実現に関して考察する。

## 2 ネットワークモデル記述

以降でネットワークの構造を扱うため、そのモデルやアーキテクチャを正確に表現できる様式が必要となる。本論文では著者らが提案しているネットワーク表現モデル [4] を用いて今後の議論を進める。

### 2.1 ネットワーク表現モデル

インターネットはパケットを情報の伝送単位とするネットワークである。パケットの伝播は、ネットワーク構成要素が提供する配送機能によっておこなわれるため、ネットワークの伝送性質は配送機能の仕様から導出可能である。そこで、本ネットワーク表現モデルは配送機能を軸にネットワークを表現する。ネットワークのモデルおよびアーキテクチャを分析し記述するために、ネットワークの構造を

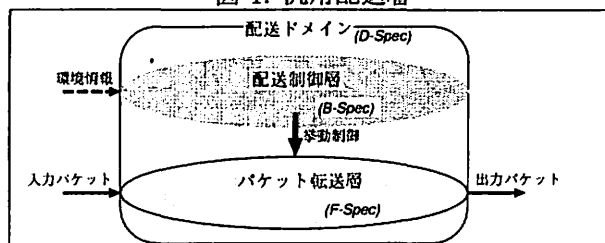
- 配送機能を軸とした分解
- (必要な詳細度での) 仕様化
- 合成

する。分解の単位となるのは配送に関する仕様記述において同一化できる領域である。ここではその領域を配送層と呼ぶ。ネットワーク表現モデルでは配送層の記述形式とそれらの合成ルールを定めている。配送層の規定は以下の要素が必要である。

- ネットワーク領域の規定 (配送ドメイン)
- パケット転送機能部分の規定 (パケット転送層)
- パケット転送機能部分を制御する部分の規定 (配送制御層)

ここでは、それぞれをドメイン仕様 (D-spec)、転送仕様 (F-spec)、挙動制御仕様 (B-spec)、と呼び、その3つ組形式<D-spec, B-spec, F-spec>で配送層を表現する。それぞれの仕様の内容を以下に示す。

図 1: 汎用配送層



**D-spec** 配送層境界を規定する仕様定義

**B-spec** 配送層を構成するエンティティ集合の配送動作の挙動を規定するシステムの仕様定義

**F-spec** 配送層を構成するエンティティ集合の配送動作を実現する要素の仕様定義

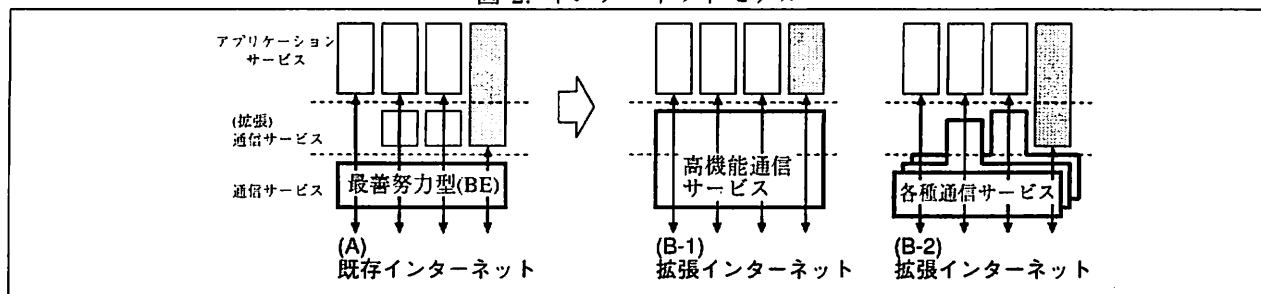
これらを用いて配送層を表現するために汎用形を示す(図1)。このモデルでは配送を転送と制御に2分しており、それらは明確に区別される。パケット転送層が提供する様々な機能は F-spec で規定される。たとえば、IP パケットの転送機能全般やそれに付随する機能群が必要なネットワークでは、IP プロトコルが必要とする転送仕様が規定される。配送制御層はパケット転送層が提供する機能を動作を規定する層である。経路制御機構のポリシーやそれらの動作に係わる機能の仕様が B-spec で規定される。実際のパケットを処理するのはパケット転送層であるが、パケット転送層は配送に係わる機能集合を規定するだけで動作は規定しない。そのため、配送層というシステムの動作は配送制御層の仕様で規定される。同時に配送制御層が要求する動作の実現はパケット配送層の実現可能性という制約を受けることになる。この構造は、パケット配送層が汎用の処理エンジンを実現できるメタ機械で、配送制御層がパケット配送層が実現する機能をオペレーションするプログラムを生成する系であると説明することもできる。

#### 2.1.1 配送層の合成

配送層は仮想的なネットワーク構成要素である。複雑な仕様を持つ配送層を生成するために、配送層間の組み合わせ合成を規定する。

ある機能仕様を実現する配送層は、3つ組形式で仕様化が困難である場合がある。このような配送層が実際には複数の配送仕様を合成して生成してある場合、それらを分解して複数の配送層とその合成から生成されると見なすことで、表現を簡素化できる。3つ組みの仕様のみで規定できる配送層を単純配送層、それら

図 2: インターネットモデル



の合成として生成される配送層を複合配送層と呼ぶ。複合配送層は要素となる単純配送層の集合とその合成演算仕様で規定する。詳細については割愛する。

### 3 品質制御可能なネットワーク

インターネットは最善努力型 (BE) サービスを基盤としたネットワークから、より多様なサービスを扱えるネットワークへ遷移しなければならない。この変化はインターネットの設計当初の想定を逸脱するためインターネットの基本ネットワークアーキテクチャレベルで考察する必要がある。ここでは、品質制御が可能なネットワークに要求される性質に関して論じる。

#### 3.1 ネットワークモデル

あるネットワークにおいて通信品質が制御可能であるということは、そのネットワークがコンテキストに応じて異なる通信サービスクラスを提供できることを意味する。しかし、既存インターネットは単一の通信サービス (BE) のみを提供しているネットワークとしてモデル化される (図 2(A))。ネットワークアーキテクチャとして通信サービスを提供する層が固定なので、この部分での柔軟性は提供されない。通信サービスはネットワークの基盤であり通信の品質を規定する層であるため、このようなアーキテクチャでは通信品質の制御を要求する場合に難点がある。今までのインターネットはこのようなアーキテクチャを基盤として発展してきており、現在の提供もしくは検討が重ねられている品質制御サービス群は主に BE サービスの上に重ねられた拡張として規定されている (図 2(A))

前節ではネットワークを表現するために配送層というメトリックを導入した。配送層は配送戦略を共有する要素の集合であるため、現在のインターネットのようなサービスクラスが単一のネットワークは、単一の配送層のみから構成されるネットワークとして表現される。そのため既存のインターネットは  $I \equiv \langle D_I, B_I, F_I \rangle$

という形式で表現できる配送層として定義できる [4]。I はさらに細かく分解すればアドレッシングアーキテクチャやキャッシング形式などの相違による複数の配送層の複合配送層として扱うことができる。しかし、現在のインターネットではパケット配送層の部分がハードコーディングによって実現されているため、I の F-spec は分化不能である。そのため事実上 I は複雑な仕様を持つ単一の配送層として扱わなければならない。このように現在のインターネットは実質的には複数の配送特性を実現しているのに関わらず、その分離が不完全であるため、ある一部分への改変の影響がそれ以外の要素やネットワーク全体に波及してしまう可能性が高い。そのため既存のインターネットの通信サービス部分の変更は慎重に議論を重ねなければならない。現状のインターネットを通信品質制御可能なネットワークとするには、BE サービス以外の通信サービスを提供できるように通信サービス部分を拡張する必要があるが、その方法には以下の 2 種類が考えられる。

- 既存の配送層 I を高機能化し他の通信クラスを提供できるように改変する (図 2(B-1))
- インターネットの通信サービスを提供するためのフレームワーク自体を拡張して、BE サービスに並列した異なる通信サービスを提供できるように拡張する (図 2(B-2))

前者は既存のインターネットと同様に単一の配送層から構成されるモデルである。フレームワーク自体は変化せず、その B-spec( $B_I$ ) および F-spec( $F_I$ ) を拡張することで要求される機能拡張を実現するアプローチである。既存のインターネット技術と親和性が高く技術的な連続性を提供できるため、移行が比較的容易であるという利点がある一方、単一配送しか提供できないというフレームワーク的な制約がそのまま維持される。そのため、発展の方向性が単方向に制約される可能性が高く、両立が困難な通信サービスを同時に

扱うことが難しい。これは、現在のインターネットフレームワーク内での QoS/CoS 制御が本質的に困難である理由の一つなので、このアプローチは本質的な解決にはなり得ない。後者はこのような問題点を抜本的に解決するアプローチである。異なる通信サービスを個別の配送層で実現し、インターネットを複数の配送層を同時に実現できるように拡張する。BE 以外の通信サービスを BE と同列に扱うことができるため、先ほど挙げた問題点が解決される。このネットワークモデルを多配送層モデル (MDL) と呼ぶ [4]。

### 3.2 品質制御技術

品質制御可能なネットワークでは異なる通信品質要求が同時に充足されなければならない。通信において異なる通信品質を実現する方法はいくつかある。たとえば、最近では単一経路中の資源 (帯域など) を使いわけることで経路内における通信の区分化/差別化を図るアプローチが実用化されつつある。このアプローチはパケットを始点および終点アドレスなどで区分し、その集合間のサービスクラス階層を導入するものである。これは単一配送層ネットワークという制約下での実現としては十分妥当な解決であるが、そのような分類で区分されたパケットは既に特定の経路と結び付けられているため、区分の内容に応じて経路を選択するような処理は困難である。

一般に、各ノードでは終点到達可能な経路が複数存在しうる。単一の品質クラスしか持たない既存のインターネットでは、その経路制御システムとして単一経路を選択して用いる経路戦略を採用している。実装的に単一の評価メトリックを採用しているのは、既存インターネットが単一の通信品質 (BE) しか提供していないからである。しかし、選択される経路の品質も通信の品質制御の対象であり、経路を固定した上での品質区分化は一般的実現としては不十分なため、選択可能な経路集合を対象とした通信品質機構が必要であろう。

また、経路以外にも既存のインターネットアーキテクチャでは扱うことが不可能もしくは困難な品質評価メトリックが存在する。今後のインターネットでは個別の通信毎に通信品質を操作できることが望ましく、その評価メトリックがネットワーク的な制約とならないアーキテクチャへと発展すべきであろう。また要求されるネットワークはあくまでも『インターネット』の発展なので、現在のインターネットの延長線上にあるべきだろう。以降でこのような要求を満たすネットワークモデルとして、配送層レベルでの多層化を実現

する MDL モデルを考察する。

## 4 多配送層モデルと品質制御

2章で規定しているネットワーク記述系では、任意のネットワークを配送層の組み合わせとして表現する。多配送層モデル (MDL) は複数の配送層を組み合わせさせてネットワークを構成するモデルである。MDL を用いてネットワーク品質制御を実現する場合には、通信サービスと配送層を対応づけてネットワークを構成すれば良い。

このような拡張ネットワークモデルが既存のインターネットとどのように異なるのかを考える。既存インターネットを表現する配送層を  $I \equiv \langle D_I, B_I, F_I \rangle$ 、拡張インターネットを表現する配送層を  $E \equiv \langle D_E, B_E, F_E \rangle$  とする。この場合対象となるネットワーク領域は同一であるため  $D_I = D_E$  である。 $F_I$  および  $B_I$  は単一の品質サービス (BE) および BE に依存したサービス群を提供する仕様である。一方、 $E$  では  $F_I$  および  $B_I$  を一要素として含むよりメタなフレームワークとして記述されるはずである (図 2(B-2))。したがって  $B_E$  および  $F_E$  はその仕様として MDL が利用できるように拡張されていなければならない。

$B_E$  は配送システムの制御系であるため、1 種類のサービスクラスを扱う  $B_I$  から複数のサービスクラスを扱う方向で拡張される。 $F_E$  は最終的には各ノードのパケット操作ケーパビリティに還元されるため、各ノードに MDL 対応機能すなわち複数配送層の操作機能が必要になる。これはネットワークインフラストラクチャにおける非常にコストの高い処理であるが、ネットワーク拡張性の拡張という視点では今後のコストを十分に引き下げる効果があると考えられるため対応すべきだと考えられる。

本論文ではこの拡張をできる限り低コストで実現する既存技術としてマルチプロトコラレベルスイッチング (MPLS) 技術 [8] に着目している。MPLS は、ラベルという識別子によってパケットを転送する転送機構をパケットのセマンティクスとラベルとの対応関係を生成する制御機構に完全に分離したアーキテクチャを持っており、配送機構のセマンティクスが制御機構から完全に制御可能であるという特徴を持つ。配送機構の挙動を柔軟に変更できるため、配送層表現から実ネットワーク構成への対応が容易である。また、制御層の拡張性も高いため MDL モデルを実装基盤としての適性が高い。

図 3: MDL 対応ノード

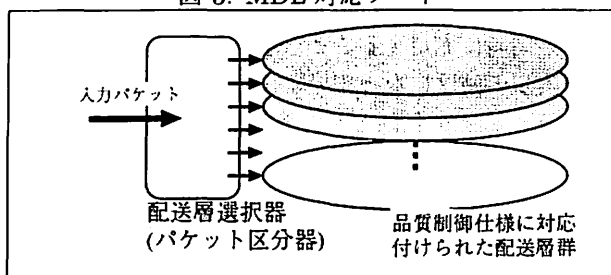
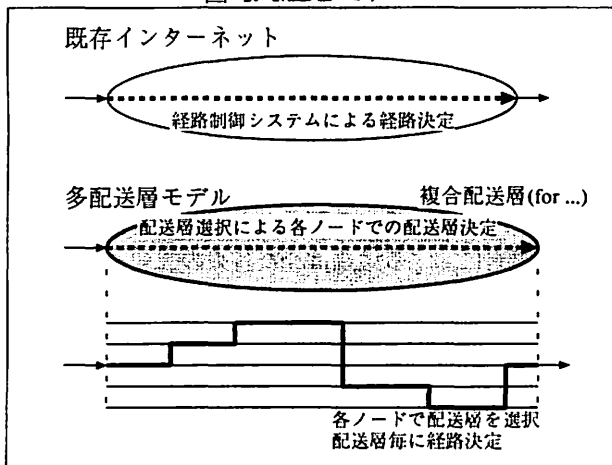


図 4: MDL モデル



#### 4.1 MDL による品質制御可能ネットワーク (QoS-MDL)

インターネットに対して要求される QoS 仕様は多様であり、それら全てを満たした配送システムを構成することはシステムの複雑化を招く可能性が高いためインターネットの発展方向としては望ましくない。MDL フレームワークでは配送システムという抽象化層を新たに設け、その中に QoS 仕様を織り込むことで多様な QoS 仕様を両立できる。

また複合配送層という概念を用いることで、簡単に記述可能な QoS 仕様を実現する配送層をネットワーク構成の部品として実装し、その組み合わせによって複雑な QoS 仕様を実現する方向性が考えられる。配送層とその組み合わせフレームワークをインターネットに導入することで、現在直接扱うことが困難な仕様を持つ品質制御された配送を実現することがこの試みの狙いである。インターネットは以下の品質制御仕様によって構成される配送層の集合として規定される。

- 各品質制御仕様を実現する単純配送層
- それらを組み合わせてより複雑で高機能の品質制御仕様を実現する複合配送層

このようなネットワークでは、各ノードの packets 配送の際に要求される品質を満たす配送層の選択操作が必要となる (図 3)。

要求される品質制御が単純な場合は、packets は入口ノードにおいて選択された配送層を用いて出口ノードまで配送されるが、packets に要求される品質がネットワーク内部で一様では無い場合、ネットワークの部分領域毎に選択される配送層が異なる可能性がある。概念的にはこのような場合においても、packets に対して適用される品質クラスを仕様として持つ複合配送層として扱うことができる (図 4)。その場合 packets はセマンティカルには単一の「ノード毎に配送品質を調整する機能を持った配送層」(複合配送層) を通過したように見える。

MDL モデルでは既存のインターネットにおける経路選択戦略と同様に品質制御戦略をネットワーク内のノードにおける自律的決定によって選択できる。途中ノードでの配送層選択が行われる例として、「ネットワーク状態の動的解析に基づいた配送」によって実現される品質要求が考えられる。このような品質要求は配送戦略のレベルでのコンセンサスのみを共有しておいて経路選択を含んだ実際の packets 処理方法は途中ノードで決定する必要がある。一般的に、ネットワーク内の任意の場所および時間の状態は配送ドメインの入口ノードでは検出できないためノード自立型の制御が必要になるが、MDL モデルでは解決可能である。

## 5 MPLS を用いた QoS-MDL ネットワークの実現

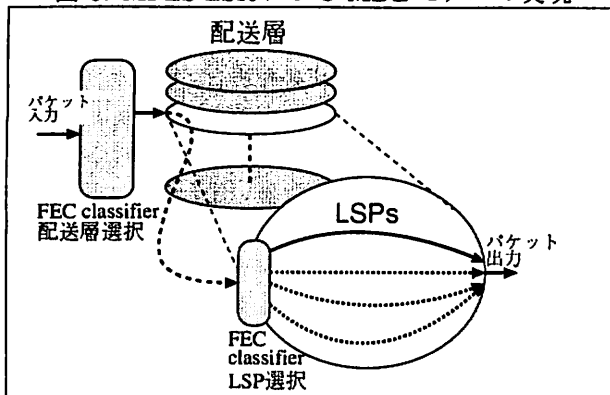
通常の MPLS は LSP(経路) という記述クラスを表現する識別子として FEC (Forwarding Equivalence Class: 同一転送クラス) を利用している。MPLS ドメインでは FEC とラベルとの対応関係をラベル配布プロトコルを用いて交換し、その情報に基づいて packets を処理する。ラベルはスタック形式になっており階層的に扱うことができる。

MDL を実現するには各ノードとして以下の機能が必要である。

- 複数の配送セマンティクスの維持
- packets を利用する配送層の対応

MPLS で MDL をサポートするには MPLS LSR (Label Switch Router) におけるこれらの拡張が必要となる。このような機構を導入するために、配送層を FEC と対応付け、その識別子としてもラベルを利用する。通

図 5: MPLS LSR による MDL モデルの実現



常の MPLS での LSP 解決に用いる前に配送層の選択にラベルを用いることで、MPLS の処理セマンティクスをほとんど変更せずに複数配送層拡張が可能である。配送層選択および LSP 選択の流れを図 5 に示す。

この拡張は、ラベルスタックをはじめとする MPLS の情報構造に対する変更が少ない。処理内容に関しても MPLS のシグナリング層であるラベル配布層で吸収できるため、導入コストはそれほど高くない。MPLS 専用のラベル配布プロトコルには LDP[6] および CR-LDP[7] があるが、これらの拡張をおこなうことで MDL 拡張された LSR で構成された MPLS ドメイン内の配送層に関するシグナリングを実現する予定である。具体的な配送戦略の指定や記述については本論文では論じない。

### 5.1 実装

著者らは MPLS 技術の研究/評価用実装 AYAME[3][5] を開発している。AYAME は MPLS および MPLS に類した技術の評価するための実験環境として設計されており、MDL をはじめとした様々な技術をその上で実現できるようになっている。

現在 AYAME のモジュールとして MDL 関連機能を実現するための機能設計をおこなっている。また、MDL で用いるシグナリング機構として AYAME の LDP 実装への拡張を計画している。

## 6 まとめと今後の課題

本論文では、『既存のネットワークにおいて品質制御をおこなうための技術を考える』という方向性では無く、『品質制御という技術を容易に実現可能なネットワークに移行するためにはどのような技術が必要であるか』という方向性で、インターネット技術の進む

方向性について論じた。現在のインターネットにおいては単一の配送層しか扱えないことが、異なる配送ポリシーを同時に充足することを求める品質制御という概念の実現の妨げになっていることを示し、その制約を取り除くことを目的として多配送層 (MDL) という概念を導入した。ネットワークを構築するノード群の packet 配送層を多層化することで品質制御と親和性の高いネットワークへと変貌させる可能性を示唆している。その上で、実際にインターネット上で MDL を実現する方法として、MPLS 技術を応用とした適用例を提示し、品質制御を実現するネットワーク構築の例を示した。

本論文では、フレームワークに重点がおかれ、具体的な制御戦略についてはほとんど触れられていないため、品質制御可能なネットワークを論じる内容としては閉じていない。それは、主にネットワークの配送構造に関する議論に重点をおいているためであり、それ以外の要素に関する議論は今だ将来の課題として残っている。今後は、このようなフレームワークに適した制御戦略を形式化し品質制御仕様を扱える形式で表現可能なモデルと、その実現について論じ、配送層多層化アーキテクチャに最適化した形式の QoS 経路制御フレームワークを実際に実装していく予定である。

## 参考文献

- [1] S. Blake, etc, "RFC2475: An Architecture for Differentiated Service.", IETF. December 1998.
- [2] R. Braden, etc, "RFC2205: Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification.", IETF. September 1997.
- [3] Yojiro Uo, Satoshi Uda, Nobuo Ogashiwa, Satoshi Ohta, Yoichi Shinoda: "AYAME: A design and implementation of the CoS capable MPLS layer for BSD Network stack". Proceedings of INET2000, Internet Society. July 2000.
- [4] 宇夫陽次郎, 宇多仁, 小柏伸夫, 篠田陽一: "配送機構の形式的記述スキーマの設計と多層経路制御層型アーキテクチャを用いた配送層の実現". WIT 2000, 日本ソフトウェア科学会.
- [5] 宇多仁, 宇夫陽次郎, 篠田陽一: "MPLS 実装 AYAME における転送機構の設計および実装". DPS 2000, 情報処理学会.
- [6] Loa Andersson, etc, "LDP Specification". Internet-Draft, Network Working Group, IETF. work in progress, October 1999. (draft-ietf-mpls-ldp-06)
- [7] Bilel Jamoussi: "Constraint-Based LSP Setup using LDP". Internet-Draft, MPLS Working Group, IETF. work in progress, September 1999.
- [8] R. Callon etc., "A Framework for Multiprotocol Label Switching". Internet-Draft, MPLS Working Group, IETF. work in progress, September 1999.