

Peer-to-Peer ネットワーク環境での マルチオブジェクトコンテンツに対する ユーザ要求を反映した品質決定手法

森 亮憲 勝本 道哲

独立行政法人 情報通信研究機構

本稿では、Peer-to-Peer ネットワーク上の複数のピアからオブジェクトを受信し、それらを表示するアプリケーションを対象として、オブジェクトごとにユーザ要求を反映して品質を決定する手法を提案する。オブジェクトは、MDC (Multiple Description Coding) で符号化され、各ディスクリプションが複数のピアに保持されているとする。提案手法では、コンテンツ受信中のピア離脱による影響を抑えるため、ディスクリプションの配信経路が分散するように送信ピアを決定する。また、ユーザ要求を引数とした評価関数でオブジェクトを評価し、評価値に基づいてオブジェクトの品質を決定する。提案手法を実装して実験を行った結果、実用的な時間で送信ピアの選択、およびユーザ要求に基づいた品質決定ができることを確認した。

A Quality Decision Method for Multi-object Content Reflecting User Requirements on Peer-to-Peer Networks

Takanori Mori and Michiaki Katsumoto

National Institute of Information and Communications Technology

In this paper, we propose a quality decision method for multi-object content based on user requirements. Our target applications receive multiple objects from multiple peers on peer-to-peer network. In our method, we control the quality of each object in multi-object content. We assume that each object is encoded by using MDC (Multiple Description Coding) and each description is stored by multiple peers. We propose a method to create a diverse receiving path for descriptions. We also propose a quality decision method. The method uses an evaluation function and decides the quality for each object based on the evaluated value. The experimental results showed that we could select the sending peers and decide the quality based on the user requirements for each object within a reasonable time.

1 まえがき

近年、ネットワークおよび計算機の発展により、Peer-to-Peer (P2P) ネットワークを用いたアプリケーションが使われるようになってきた。例えば、ファイル共有システムとしてNapsterやGnutellaなどがよく知られている。また、P2P ネットワーク上で動画コンテンツを配信するための研究もいくつか行われている。文献 [1, 2] では、ライブ配信を行うことを目標としアプリケーションレベルのマルチキャストツリーを構築する手法が提案されている。一方、文献 [3, 4] では、オンデマンド配信を行うことを目標として、リソースの配置や配信を行うプロトコルについて議論している。

また、複数のオブジェクトで構成されるコンテンツ (マルチオブジェクトコンテンツ) を扱うための技術が発達し、より充実したコンテンツを提供

できる環境が整ってきている。例えば、SMIL[5] や MPEG-4[6] を用いることで、オブジェクト間の同期やコンテンツ表示中のオブジェクト変更などを考慮して、動画像、音声、文字などで構成されるコンテンツを取り扱うことができる。

以上のような背景から、P2P ネットワーク上のピアが提供するオブジェクトを組み合わせたコンテンツを取り扱うようなアプリケーションが考えられる。例として、遠隔地に設置してあるビデオカメラから送られてくる映像を背景として、別のピアから提供される人物と合成して表示するコンテンツなどが挙げられる。

ネットワークを介して動画像などのマルチメディアコンテンツを送受信するときには、ネットワーク帯域やユーザ要求などに基づいて品質制御を行うことが一般的である。また、マルチオブジェクトコン

コンテンツを送受信の対象とした場合、オブジェクトごとに品質を制御することで、さまざまな状況に適応したコンテンツを提供することができる。先に述べたように、P2P ネットワークにおけるコンテンツ配信手法についてはいくつか検討されているが、品質制御手法についてはあまり検討されていない。

我々は、マルチオブジェクトコンテンツに対してユーザ要求に基づいた品質制御を行うことを目的として研究を行っている [7, 8]。本研究では、P2P ネットワークにおいてマルチオブジェクトコンテンツを配信するアプリケーションを対象として、ユーザ要求を反映したオブジェクト品質決定手法を提案する。オブジェクトの品質を決定するには、どのピアからどのオブジェクトをどのような品質で取得するのかを決定する必要がある。そこで、本稿ではオブジェクトを配信するピアの選択手法、および各オブジェクトに対する品質決定手法について述べる。

以降、2章では、本研究で対象とするマルチオブジェクトコンテンツ配信アプリケーションについて述べる。3章では、各オブジェクトに対する品質決定手法を説明する。また、4章では、提案手法の実行結果について述べる。最後に5章でまとめと今後の課題について述べる。

2 マルチオブジェクトコンテンツ配信アプリケーション

本研究では P2P ネットワーク上でマルチオブジェクトコンテンツを配信するアプリケーションに対して、ユーザ要求を反映してオブジェクトごとに品質制御を行うことを考える。本章では、アプリケーションで配信するコンテンツ、アプリケーションを利用するユーザ、およびコンテンツの送受信を行うピアについて説明する。

2.1 配信コンテンツ

本研究で考えるコンテンツは、オブジェクト、優先度記述、およびキーワードで構成されているとする。以下で構成要素について順に説明する。

2.1.1 オブジェクト

オブジェクトは符号化された動画像を表す。各オブジェクトには ID 番号が付いているものとする。

次に、オブジェクトの符号化手法について議論する。本研究では、P2P ネットワーク上でコンテンツを配信することを考えるため、コンテンツ配信中に

ピアの離脱が発生することが考えられる。オブジェクトを配信するピア、または中継しているピアが離脱すると、オブジェクト品質の低下、あるいはオブジェクトの消失が発生する。また、品質制御を行うためにさまざまな品質で符号化データを復元する必要がある。そこで、本研究で対象とするアプリケーションでは、(1) さまざまな品質で符号化データを復元できること、(2) ピアの離脱の影響を小さくすることを考慮して符号化を行う必要がある。

オブジェクトをさまざまな品質で復元する方法として、(1) 符号化データをトランスコーダで変換する方法 [9]、(2) 階層符号化を用いて符号化する方法 [10, 11]、(3) MDC (Multiple Description Coding) [12] を用いて符号化する方法が考えられる。

(1) の方法では、配信ピアから受信ピアの間にトランスコーダが必要となる。(2) または (3) の方法では一度符号化を行うと、符号化データから複数の品質で元データを復号することができる。(2) の方法では、オブジェクトが基本レイヤと複数の拡張レイヤに符号化される。基本レイヤから低品質ではあるが元のオブジェクトを復元することができる。しかし、基本レイヤが受信できなくなると、拡張レイヤを受信することができても、受信ピアはオブジェクトを表示できなくなる。(3) の方法では、オブジェクトが複数のディスクリプションに符号化される。また、すべてのディスクリプションは同じ重要度を持っている。受信ピアは、多くのディスクリプションを受け取るほど、高品質でオブジェクトを表示することができる。また、少なくとも1つのディスクリプションを受信することで、低品質ではあるがオブジェクトを表示することができる。

以上の議論から、本研究では MDC を用いて各オブジェクトが符号化されているものとする。また、各ディスクリプションには ID 番号が付いているものとする。

2.1.2 優先度記述

優先度記述では、(1) 各オブジェクトに対する優先度、(2) オブジェクトに対して優先度を設定する時間を記述する。優先度は正数で表されるものとし、1 が最も高い優先度を表し、数値が大きいほど低い優先度を表すこととする。

2.1.3 キーワードリスト

キーワードリストとは、コンテンツに含まれるオブジェクトを表すキーワードの集合である。キーワードには複数のオブジェクトを関連付けることができる。

2.2 ユーザ

本研究では、コンテンツ製作者およびコンテンツ受信者をアプリケーションのユーザとする。

コンテンツ製作者は、前節 2.1 で述べたコンテンツを構成する要素を製作する。一方、コンテンツ受信者はネットワークおよび受信ピアを介してコンテンツを受信する。

次に、ユーザによる要求指定の方法について説明する。コンテンツ製作者およびコンテンツ受信者は優先度を用いて各オブジェクトに対する要求を指定する。先にも述べたように、優先度は正数とし、1 が最も高い優先度を表し、数値が大きいほど低い優先度を表すこととする。

コンテンツ製作者は、優先度記述を用いてオブジェクトに対する要求を指定する。一方、コンテンツ受信者は画面上のオブジェクトを選択し、あるいはキーワードリストの中からキーワードを選択したあと、優先度を指定することでオブジェクトに対する要求を指定する。画面からオブジェクトを選択したときは、そのオブジェクトに対して直接優先度を指定することになる。一方、キーワードを選択したときは、キーワードに関連付けられているオブジェクトに対して優先度を指定することになる。

2.3 ピア

ピアはディスクリプション単位で符号化データを保持する。また、ピアは複数のディスクリプションを保持することができる。さらに、複数のピアが同じディスクリプションを保持していてもよい。

コンテンツを受信するピアは、コンテンツに含まれるオブジェクトの ID を利用し、ネットワーク上のピアに対してその ID に対応するオブジェクトのディスクリプションを持っているかどうかを問い合わせる^{*1}。ピアからの返答として、(1) 所持しているディスクリプションの ID、(2) そのピアがディスクリプションを送出するために提供するネットワー

ク帯域、(3) ディスクリプションの送信経路を受け取るものとする。

コンテンツを受信するピアは、受け取った返答からディスクリプションを送信するピア、および受信するディスクリプションを決定し、コンテンツを受信する。送信ピアおよび受信ディスクリプションの決定手法については、3 章で述べる。

3 オブジェクト品質決定手法

コンテンツに含まれる各オブジェクトの品質を決定するためには、(1) どのピアからディスクリプションを受信するのか、(2) どのディスクリプションを受信するのかを決定する必要がある。本章では、提案手法を説明するための記号を定義したあと、提案手法について順に説明する。

3.1 記号の定義

P2P ネットワークに存在するすべてのピアの集合を P で表す。

受信ピアを P_r で表す。受信ピア P_r がコンテンツを受信するのに利用する帯域を $B(P_r)$ で表す。

P_r が問い合わせを行った結果、返答したピアの集合を送信ピア集合と呼ぶ。送信ピア集合を $P_s = \{P_s^1, P_s^2, \dots, P_s^q\}$ で表す。送信ピア P_s^i が持つディスクリプションの集合を $D(P_s^i)$ で表す。また、送信ピア P_s^i が提供するネットワーク帯域を $B(P_s^i)$ 、 P_s^i から P_r への経路を $R(P_s^i)$ で表す。ただし、各経路は通過するピアの集合を表す ($R(P_s^i) \subseteq P$)。また、送信ピア集合が持つディスクリプションの集合を $D(P_s) (= \cup_{i=1}^q D(P_s^i))$ で表す。

受信ピア P_r が受信するコンテンツを $A = \{a_1, a_2, \dots, a_\beta\}$ で表す。 a_i はオブジェクトを表す。オブジェクト a_i に対するディスクリプションの集合を $D(a_i) = \{d_{i,1}, d_{i,2}, \dots, d_{i,\gamma}\}$ で表す。また、ディスクリプション $d_{i,j}$ が必要とするネットワーク帯域を $B(d_{i,j})$ で表す。

3.2 送信ピア決定手法

一般に送信ピアは複数のディスクリプションを保持しているので、下式が成立している可能性がある。

$$\sum_{d \in D(P_s^i)} B(d) > B(P_s^i) \quad (1)$$

そこで、送信ピア P_s^i に対して送信候補集合 $\tilde{D}(P_s^i) (\subseteq D(P_s^i))$ を決定する^{*2}。 $D(P_s^i)$ から、ユーザが指定した優先度の高い順に $\tilde{D}(P_s^i)$ の要素とする。このとき、以下の式が成り立つようにする。

^{*1} P2P ネットワークにおけるデータ探索はさまざまな文献で議論されていることから、本稿では取り扱わない [13]。

^{*2} $\tilde{D}(P_s^i)$ を決定した段階では、 $\tilde{D}(P_s^i) \cap \tilde{D}(P_s^j) \neq \emptyset$ となる可能性があるので送信候補集合と呼ぶ。

$$\sum_{d \in \hat{D}(P_s^i)} B(d) \leq B(P_s^i) \quad (2)$$

本研究では、コンテンツ製作者とコンテンツ受信者が優先度を指定する。コンテンツ受信者が優先度を指定しないときは、コンテンツ製作者の優先度に基づいて処理が行われるため、コンテンツ受信者の優先度は、コンテンツ製作者の優先度よりも高い優先度を持つとする。

次に、各ディスクリプションをどの送信ピアが送信するのかを決定する³。このとき、送信ピア、あるいは送信ピアから受信ピアへの経路中にあるピアが離脱しても、オブジェクトの品質低下をできるだけ小さくすることを目標とし、あるオブジェクトに対応するディスクリプションが送信される経路において、共有するピアが少なくなるようにする。

あるオブジェクト $a \in A$ に対して、 m 個のディスクリプションが利用できるとする。つまり、一般性を失うことなく $D(a) \cap \hat{D}(P_s) = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ であるとする。また、ディスクリプション d_i が n_i 個の送信ピアで送信候補となっており、送信経路の集合が $R(d_i)$ であるとする。つまり、 $R(d_i) = \{R(P_s^k) \mid d_i \in D(P_s^k), P_s^k \in P_s\}$ かつ $|R(d_i)| = n_i$ 。ここで、 $R(d_i) = \{r_{i,1}, r_{i,2}, \dots, r_{i,n_i}\}$ であるとする。

ピアの共有が少ないディスクリプションの送信経路を決定するには、各ディスクリプションに対して選択できる経路をすべて組み合わせて、比較する方法（ここでは、列挙手法と呼ぶ）が考えられる。しかし、この方法では、 $\prod_{i=1}^m n_i$ 種類の組み合わせを考慮する必要があり、ディスクリプション数や経路数が多くなったときに対応できなくなる。

そこで、本研究では図1で示すアルゴリズムを用いて、各ディスクリプションに対する経路を選択する。このアルゴリズムで、 $result$ は各ディスクリプションに対する経路を入れる配列である。 $result[i]$ にディスクリプション d_i に対する経路が入る。また、 $refRoute$ は各ディスクリプションに対する経路を選択するときに参照する経路である。アルゴリズム中の記号 $|a|$ は集合 a に含まれる要素数を表す。5行目から11行目で、 $refRoute$ と共有するピアの数が少なく、かつ経路長が短い（経路に含まれるピア数が少ない）経路を選択する。

```

1: result[m] = {φ, φ, ..., φ};
2: refRoute = φ;
3: for i = 1 to m
4:   for j = 1 to n_i
5:     if result[i] == φ
6:       result[i] = r_{i,j};
7:     else if |refRoute ∩ r_{i,j}| < |refRoute ∩ result[i]|
8:       result[i] = r_{i,j};
9:     else if |refRoute ∩ r_{i,j}| == |refRoute ∩ result[i]|
10:      if |r_{i,j}| < |result[i]|
11:        result[i] = r_{i,j};
12:   refRoute = refRoute ∪ result[i];
13: return (result);

```

図1: ディスクリプションに対する経路を選択するアルゴリズム

提案アルゴリズムでは、ディスクリプション d_i の経路を決定するために、 $O(n_i)$ 回の比較を行う。よって、すべてのディスクリプションの経路を決定するには、 $O(\sum_{i=1}^m n_i)$ 回の比較を行うこととなる。ここで、 $n_{av} = (\sum_{i=1}^m n_i)/m$ とすると、上式は $O(mn_{av})$ と書ける。

提案アルゴリズムとすべての組み合わせを列挙して最適解を求めるアルゴリズムの実行時間、および得られる解の比較については、4.1節で述べる。

以上のアルゴリズムをオブジェクトごとに実行することによって、各ディスクリプションを送信するピアが決まる。アルゴリズムを実行した結果、送信するディスクリプションが送信候補よりも少なくなり、ネットワーク帯域に余裕ができた送信ピアに対しては、現段階で送信ピア集合が送信しないディスクリプションを対象として、同じアルゴリズムを繰り返し実行する。

3.3 受信ディスクリプション決定手法

本研究では、各オブジェクトに対して受信するディスクリプションの数を変化させることにより品質を制御する。3.2節で述べた手法により、各送信ピアがディスクリプション $\hat{D}(P_s^i)$ を送信するとなったとする。以下の式(3)が成立するときは、 $\hat{D}(P_s)$ に含まれるディスクリプションをすべて受信すればよい。ただし、 $\hat{D}(P_s)$ は送信ピア集合が送信するディスクリプションを表す。

$$\sum_{d \in \hat{D}(P_s)} B(d) \leq B(P_r) \quad (3)$$

³ この処理により $\hat{D}(P_s^i) \cap \hat{D}(P_s^j) = \phi$ となる。

```

1: for  $i = 1$  to  $m$ 
2:   for  $j = 1$  to  $n_i$ 
3:      $eval[i, j] = eval[i, j-1] + f(p);$ 

```

図 2: ディスクリプションに対する評価値を決定するアルゴリズム

一方、式 (3) が成立しないときは、ユーザの要求に基づいて受信するディスクリプションを選択する。本研究では、ユーザ要求を考慮するために、ユーザが指定した優先度を引数とする評価関数を導入する。コンテンツを見たときの品質は主観的なものであることから、ユーザが複数の評価関数を選択できることが望ましい。そこで、本研究では評価関数を変更できるような品質決定手法を提案する。ユーザ要求を反映する評価関数を定義するには、心理学などの知識が必要となり、さらなる研究が必要であることから、ここでは、簡単な 3 つの評価関数を定義する。このとき、人間は刺激に対して非線形な反応をする [14] ということを考慮して、指数関数と対数関数を用いて評価関数を定義した。また、比較のために線形関数を用いた評価関数も定義した。

$$f(p) = p \quad (4)$$

$$f(p) = \exp(p) \quad (5)$$

$$f(p) = \log(p) \quad (6)$$

ここで、 p はユーザが指定した優先度を表す。次に、上記の関数を使って各ディスクリプションの評価値を求める方法について述べる。オブジェクト集合を $\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 、オブジェクト a_i に対するディスクリプション集合 $D(a_i)$ を $\{d_{i,1}, d_{i,2}, \dots, d_{i,n_i}\}$ としたとき、評価値を計算するアルゴリズムを図 2 に示す。図中の $eval[i, j]$ はディスクリプション $d_{i,j}$ に対する評価値を表す。ただし $eval[i, 0] = 0$ とする。また、 $f(p)$ は評価関数、 p はユーザが与えた優先度を表す。

各ディスクリプションに対して評価値を求めたあと、評価値が小さいものから順に受信に必要な帯域が $B(P_r)$ を超えないように受信するディスクリプションを決定する。

提案アルゴリズムの計算量について説明する。ここで、ディスクリプション数を $n (= \sum_{i=1}^m |D(a_i)|)$ とする。ディスクリプションに対する評価値の計算に $O(n)$ の手間がかかる。その後、評価値に基づいた整列のために $O(n \log n)$ 、 $B(P_r)$ の範囲内でディスクリプションを選択するのに $O(n)$ の手間がかかる。よって、全体では $O(n \log n)$ の手間がかかる。

4 実験

提案手法を実装し、送信ピアの選択、および受信するディスクリプション数について評価した。プログラミング言語は Java、実行環境は Pentium4 3.2GHz、メモリ 1GB である。

4.1 送信ピアの選択

提案手法と列挙手法を、実行時間および選択された経路の点で比較した。入力データとして、P2P ネットワークに含まれるピア数を 20、ディスクリプション数を 8、各ディスクリプションに対する経路数を 3、各経路の経路長を 1 から 10 の乱数とした。

提案手法の実行時間は 0.26ms であった。一方、列挙手法は 218ms であった。

得られた経路については、ピア重複度数という指標を定義して評価した。指標の定義を以下に示す。定義中の P は経路に含まれるすべてのピアの集合を表す。

$$(\text{ピア重複度数}) = \sum_{p \in P} (\text{ピア } p \text{ の重複度数})$$

$$(\text{ピア } p \text{ の重複度数}) = (\text{ピア } p \text{ を含む経路数}) - 1$$

各ディスクリプションに対する経路の構成を変化させて 10 種類の入力データを用意し、ピア重複度数の差を調べた。その結果、提案手法は列挙手法と比較してピア重複度数が平均 1.4 大きくなった。

この結果、提案手法では実行時間が短くなり、経路はそれほど悪くならないことが確認できた。

4.2 受信ディスクリプション数

評価関数を式 (4) 線形関数、式 (5) 指数関数、式 (6) 対数関数とした場合に、各オブジェクトに対して受信するディスクリプションの数がどのように変化するかを調べた。ここでは、MPEG-4 Test Sequence [15] に含まれている“News”をもとに入力を作成した。News は 4 つのオブジェクト (speaker, monitor, background, logo) で構成されている。speaker と monitor は同程度のネットワーク帯域を必要とし、background は speaker の半分程度、logo は speaker の 10 分の 1 程度のネットワーク帯域を必要とする。各オブジェクトは 4 個のディスクリプションで符号化されているとした。speaker, monitor, background, logo のそれぞれに優先度 1, 2, 3, 4 を割り当てた。

送信ピア集合はすべてのオブジェクトのすべてのディスクリプションを送出できるとし、受信ピアが

表 1: 評価関数を変更したときの品質割り当て結果

weight function	Bandwidth (%)		
	75%	50%	25%
linear	(4, 3, 1, 4)	(4, 1, 1, 4)	(2, 0, 1, 1)
exponential	(4, 3, 2, 0)	(4, 2, 0, 0)	(2, 0, 1, 1)
logarithmic	(4, 2, 3, 4)	(3, 2, 1, 4)	(1, 1, 1, 1)

利用するネットワーク帯域を変化させ、各オブジェクトに対して受信するディスクリプション数を調べた。ここでは、すべてのディスクリプションを受信できる帯域を100%とし、75%、50%および25%の場合について調べた。

結果を表1に示す。speaker, monitor, background, logo に対するディスクリプション数をベクトルで表示している。ベクトルの第1要素から順に speaker, monitor, background, logo に対して受信するディスクリプションの数を表している。

実行結果から次のことがわかる。(1) いずれの評価関数を用いても、優先度の高いオブジェクトのディスクリプションを多く受信する。(2) 指数関数を用いた場合、優先度の高いオブジェクトと低いオブジェクトの差が大きくなる。一方、対数関数を用いた場合では、品質の差が小さくなる。線形関数は指数関数と対数関数の中間程度の差になる。

以上のことから、評価関数を変更することにより、さまざまな品質制御ができることを確認した。優先度による品質の差を大きくしたいユーザは指数関数を、品質の差をあまりつけないユーザは対数関数を利用すればよいと考えられる。

5 まとめ

P2P ネットワーク上でマルチオブジェクトコンテンツを配信するアプリケーションを対象として、ユーザ要求を考慮して各オブジェクトの品質を決定する手法を提案した。

今後の課題として、コンテンツ受信中にディスクリプションが受信できなくなったときの対応方法など、動的な制御方法について検討する予定である。

参考文献

- [1] Padmanabhan, V. N., Wang, H. J. and Chou, P. A.: Distributing Streaming Media Content Using Cooperative Networking, *Proc. of the 12th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV'02)*, pp. 177-186 (2002).
- [2] Tran, D. A., Hua, K. A. and Do, T. T.: A Peer-to-Peer Architecture for Media Streaming, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 22, No. 1, pp. 121-133 (2004).
- [3] Xu, D., Hefeeda, M., Hambrusch, S. and Bhargava, B.: On Peer-to-Peer Media Streaming, *Proc. of the 22th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'02)*, pp. 363-371 (2002).
- [4] Sasabe, M., Wakamiya, N., Murata, M. and Miyahara, H.: Scalable and Continuous Media Streaming on Peer-to-Peer Networks, *Proc. of the 3rd International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P'03)*, pp. 92-99 (2003).
- [5] W3C Recommendation: Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL 2.0) (2001).
- [6] ISO/IEC 14496: Information technology - Coding of audio-visual objects (2001).
- [7] 森亮憲, 勝本道哲: MPEG-4 コンテンツに対するユーザ要求を反映した品質制御フレームワークの提案, 情報処理学会研究報告 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2004) シンポジウム (2004).
- [8] Mori, T. and Katsumoto, M.: A Quality Decision Method for Multi-Object Content based on User Requirements, *Proc. of the 1st International Conference on Distributed Frameworks for Multimedia Applications (DFMA2005)* (2005). (to appear).
- [9] Vetro, A., Sun, H. and Wang, Y.: Object-Based Transcoding for Adaptable Video Content Delivery, *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 3, pp. 387-401 (2001).
- [10] Radha, H. M. et al.: The MPEG-4 Fine-Grained Scalable Video Coding Method for Multimedia Streaming Over IP, *IEEE Trans. on Multimedia*, Vol. 3, No. 1, pp. 53-68 (2001).
- [11] Li, W.: Overview of Fine Granularity Scalability in MPEG-4 Video Standard, *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 3, pp. 301-317 (2001).
- [12] Goyal, V. K.: Multiple Description Coding: Compression Meets the Network, *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 18, No. 5, pp. 74-93 (2001).
- [13] Stoica, I., Morris, R., Karger, D., Kaashoek, M. F. and Balakrishnan, H.: Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications, *Proc. of the ACM SIGCOMM*, pp. 149-160 (2001).
- [14] Fechner, G. T.: *Elemente der Psychophysik*, E. J. Bonset (1964). Original work was published in 1860.
- [15] Muller, J.: Description of Rate Control and Texture Coding Core Experiments on Coding Efficiency in MPEG-4 Video, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M2258 (1997).