

ユーザのコスト多様性に対応したインセンティブメカニズム

佐藤 健一郎 橋本 遼 新熊 亮一 高橋 達郎

京都大学大学院 情報学研究科 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

E-mail: {sato, hashimoto}@cube.kuee.kyoto-u.ac.jp, {shinkuma, ttakahashi}@i.kyoto-u.ac.jp

あらまし P2P 情報共有では、参加ユーザによるコンテンツの提供という貢献行動が不可欠であるが、貢献行動にはストレージや帯域などのリソースの拠出が伴うため、これによりユーザはコストを被ることになる。そこで P2P 情報共有において、ユーザの貢献を促すため貢献に対して報酬を付与するインセンティブメカニズムが考案されている。一方、B3G (Beyond 3rd Generation) や Mobile WiMAX のような新たな広域高速無線アクセスの浸透により、今後、無線アクセス環境における P2P 通信に対する強いニーズが見込まれる。固定端末に加え、無線アクセス環境下の端末が P2P 情報共有に参加する場合、アクセスの多様性に伴ってコストが多様化し、インセンティブメカニズムにおける適切な報酬配分が困難となる。そこで、多様なアクセスを用いるユーザが混在する環境で、各ユーザが自身の効用最大化のみを目指した場合にも、報酬を適切にユーザに付与することでサービスを最適性の高い状態に均衡させるメカニズムとして EMOTIVER が提案されている。本稿では EMOTIVER の詳細を説明するとともに、その拡張性について検討する。

キーワード インセンティブ報酬, コスト, P2P 情報共有

Incentive Mechanism Considering Users' Cost Variety

Kenichiro SATO, Ryo HASHIMOTO, Ryoichi SHINKUMA, and Tatsuro TAKAHASHI

Graduate School of Informatics, Kyoto University,
Yoshidahonmachi, Sakyou-ku, Kyoto, 606-8501, Japan

E-mail: {sato, hashimoto}@cube.kuee.kyoto-u.ac.jp, {shinkuma, ttakahashi}@i.kyoto-u.ac.jp

Abstract In Peer-to-Peer (P2P) content sharing, users can share their contents by contributing their own resources to one another. However, since there is no incentive for contributing resources to others, users may attempt to obtain contents without any contribution. To motivate users to contribute their resources to the service, incentive rewarding mechanisms have been proposed. On the other hand, emerging wireless technologies, such as beyond third generation cellular and Mobile WiMAX, provide high-speed Internet access for wireless users. Using these high-speed wireless access, wireless users can use P2P services and share their contents with other wireless users and with fixed users. However, this diversification of access networks makes it difficult to appropriately assign rewards to each user according to their contributions. This is because the cost necessary for contribution is different in different access networks. In this paper, we explain in detail an incentive mechanism called EMOTIVER, which improves the service quality by appropriately assigning rewards to each user even if users have various cost functions, and discuss its extensibility.

Key words incentive reward, cost, P2P content sharing

1. はじめに

P2P 情報共有では、参加ユーザによるコンテンツのアップロードという貢献行動が不可欠である。しかし、貢献行動にはストレージや帯域といったリソースの拠出が伴うため、これによりユーザは心理的な不満度、すなわちコストを被ることにな

る。このコストのために、貢献行動は行わずにコンテンツの取得のみを行うフリーライダーと呼ばれるユーザが多数を占めることが問題とされている [1]。そこでこの問題を解決するため、ユーザの貢献に対して報酬を付与することで、ユーザによる積極的な貢献行動を促すインセンティブメカニズムが考案されている [2]-[10]。インセンティブメカニズムにおいて、報酬に

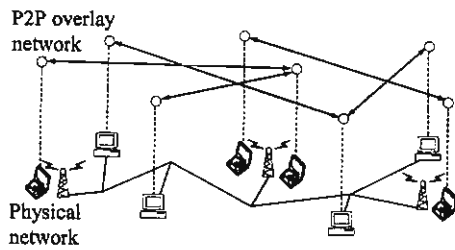


図1 無線アクセスユーザが参加する P2P 情報共有

よってユーザに貢献を促すためには、報酬によって得られる効用（心理的満足度）の増加分が、貢献に伴うコストを上回らなければならない。

一方、近年では IEEE802.11n, B3G (Beyond 3G), mobile WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) などの発展により、無線ブロードバンドアクセスの充実が図られている。これに伴い、図1に示されるような、固定端末のみでなく無線アクセス環境の端末の P2P 情報共有サービスへの参加が期待される [11]-[13]。しかし、無線アクセス端末は固定端末に比べ、帯域やストレージといったリソースに制限が大きく、さらにバッテリーの制限があるため、貢献に伴うコストは固定端末に比べ大きくなるといえる [14]。このように、P2P 情報共有に参加するユーザのアクセス手段が多様化することで、貢献コストにも多様化が起こる。

インセンティブメカニズムにおいてはユーザに付与できる報酬の総和は有限であり、また報酬によって得られる効用の増加分が貢献に伴うコストを上回らなければならないため、このような状況では、ユーザの貢献に対して適切に報酬を配分することが困難になる。従来研究で考えられていたインセンティブメカニズムでは、コストを補うに十分な報酬付与が行われたかどうかの検討は十分に行われておらず、さらに上記のようなユーザのコスト多様性についても考慮されていない。そこで、多様なアクセスが混在する環境で、各ユーザが自身の効用最大化のみを目指した場合にも、報酬を適切にユーザに付与することでサービスを最適性の高い状態に均衡させるメカニズムとして EMOTIVER (Everyone's MOTivated by incentive Reward) が提案されている [15]。本稿では、EMOTIVER の詳細な説明を行うとともに、その拡張性について検討する。

2. 従来のインセンティブメカニズム

P2P 情報共有のためのインセンティブメカニズムにはこれまでも様々なものが提案されてきた [2]-[10]。しかし、これら従来のインセンティブメカニズムの問題点として以下のものが挙げられる。

(1) 報酬によって得られた効用の増加分が、貢献に際して発生したコストを上回っているかどうかの検討が十分になされていない [2]-[10]。

(2) すべてのユーザのコスト関数や効用関数を同一として定義し、その前提の上でのみ検討を行っており、拡張性に欠け

る [2], [5]-[7]。

(3) もしすべてのユーザが自身の利得を最大化するために行動した場合、サービス品質が最適な状態へ向かうという保証はないが、そのことに関して議論がなされていない [2]-[5], [8], [9]。

(4) 報酬はユーザにある一定値の効用を与えるものであれば、その形態はどのようなものでもよいが、従来研究では報酬をどのような形態で与えるかまでを限定しており、拡張性や一般性を損ねている [3]-[10]。

3. EMOTIVER

3.1 概要

EMOTIVER は、上記の問題を解決し、ユーザごとにコストの感じ方が異なる場合にも、報酬を適切に割り当てることでサービスを高品質の状態に均衡させることを可能とする。これを達成するためには以下の2つの機能が必要となる。

- ユーザに付与する報酬量を適切に制御する
- ユーザに付与された報酬がコストを補償するのに十分であり、ユーザが報酬に満足したかどうかを把握する

この2つの機能を実現するために、EMOTIVER には外部評価機構と学習エージェントの2つが導入されている。以下ではこれらについて説明する。

3.2 外部評価機構

インセンティブメカニズムは、報酬をユーザに適切に配分することで、サービスを高品質の状態に保たなければならない。しかし、これをユーザ同士の協調のみで実現しようとすると、ユーザ間でやり取りしなければならない情報量が膨大になってしまう。更に、ユーザは利己的であり、自身の利得を最大化するように行動するため、ユーザ間に適切な関係が構築されることは限らない。

そこで EMOTIVER では、外部からユーザの貢献を評価し、報酬配分を制御することでユーザの貢献を促進するため、マルチエージェントシステム分野で提案されている外部評価機構を導入している [16]。外部評価機構は各ユーザの貢献量进行评估し、サービスの運用ポリシーに従って報酬を適切に配分することで、サービス品質を高く保つことを目的とする。ユーザの貢献量は、各ユーザの貢献量を表す指標である努力水準 e と実績 r によって評価される。これらは以下のように定義される。

努力水準 e ユーザが貢献を行う機会を得るために行った努力の量

実績 r ユーザが実際に行った貢献の量

努力水準 e の具体例としては、自身の可用帯域のうちファイルアップロードに割く帯域の割合や、ある一定期間 t の間にアップロードのためにサービスに接続し待機する時間の割合などが挙げられる。実績 r の具体例としてはアップロードしたファイルの数・容量などが挙げられる。

そして外部評価機構は各ユーザの貢献量进行评估するため、努力水準 e と実績 r の関数である貢献評価関数 f を設計する。

外部評価機構は以下のような流れで報酬配分を行う。

(1) ある期間 t 終了後、その期間にユーザ i が選択していた努力水準 $e_i(t)$ とそのユーザが残した実績 $r_i(t)$ に基づき、

ユーザ i の貢献評価値 $Eval_i(t)$ を,

$$Eval_i(t) = f(e_i(t), r_i(t)) \quad (1)$$

から求める。

(2) 配分可能な報酬の総和を W_{total} として、以下の式に従い各ユーザの $Eval(t)$ に応じて報酬の比例配分を行う。

$$W_i(t) = W_{total} \times \frac{Eval_i(t)}{\sum_j Eval_j(t)} \quad (2)$$

サービス品質を高める行動を選択したユーザほど報酬が多く配分されるように貢献評価関数を設計することで、利己的なユーザにも貢献行動を行うように誘導することができる。また、ユーザの貢献状況をモニタリングし、十分なユーザ貢献が得られていなければ、貢献評価関数をよりユーザからの貢献が期待できるものへと改良することで、サービス品質をさらに高めるといった対応が可能である。

EMOTIVER では拡張性や一般性を損なわないよう、具体的な報酬配分の形態は制限していない。報酬は現金や仮想通貨に加え、コンテンツ発見率やコンテンツダウンロード速度等のサービス品質の差別化によっても実現可能である [14]。

3.3 対話型学習エージェント

外部評価機構の行う努力水準と実績を元にした報酬配分に対して、ユーザは自身の利得を最大化、すなわち貢献によって得られる報酬と、貢献行動によって発生したコストの差を最大にするために、貢献行動の結果から学習して、最適な努力水準選択を目指す。例えば、努力水準 e が「ある一定期間 t の間に、アップロードのためにサービスに接続し待機する時間の割合」と設定され、ユーザの選択肢として $e=0, 0.5, 1$ が用意されているとする。この時 $e=1$ を選択しているユーザは期間 t の間常にアップロードのために待機し、 $e = 0.5$ のユーザは期間 t の内半分だけ待機する。そしてユーザはこの場合にどの努力水準で貢献することが、最終的に自身の利得を最大化できるかを学習する必要がある。

しかし、ユーザにとっては、最適な努力水準を選択するための学習過程そのものが手間や負担、つまりコストとなるため、十分な学習を行う前に学習を終了してしまい、最適な努力水準選択が行われない恐れがある。更に、人間の学習過程は非常に複雑であるため、一般性を持つモデルを作成して評価を行うことは困難である。

これらの問題を解決するために、EMOTIVER には、ユーザと 1 対 1 で簡単な対話のみを行う対話型学習エージェントが導入されている [17]。Lee らの提案したエージェントは、ユーザに無線サービスを提示し、それに対するユーザからの満足、不満足度のフィードバックを得ることで、ユーザにとって最も満足度の高いサービスを学習するものである。このエージェントを本メカニズムに応用し、ユーザによる学習を代行させる。図 2 に示すように、対話エージェントはユーザに対しある努力水準を提示し、ユーザはその努力水準に従って貢献行動を行う。そして貢献に際して受け取った報酬と感じたコストから、ユーザは対話エージェントに満足/不満足の返答を行う。ユーザからのフィードバックを受け学習することで、対話エージェントは

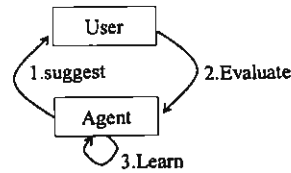


図 2 対話型学習エージェント

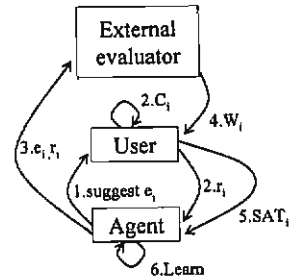


図 3 提案インセンティブメカニズム：EMOTIVER

ユーザにより適した努力水準を提示できるようになる。これを繰り返すことにより、ユーザは学習を自分で行うコストを感じないまま、自分に適した努力水準に向かって行動を収束させることが可能になる。また、今回用いるエージェントの学習過程は人間と比べて非常に簡単であるため、学習モデルの複雑化を回避することも可能である。

3.4 システムフローチャート

外部評価機構と対話エージェントを用いた EMOTIVER のフローチャートを図 3 に示す。

- (1) ユーザ us_i の対話エージェント ag_i は、あるピリオド t の間ユーザが選択する努力水準 $e_i(t)$ を us_i に示す。
- (2) us_i は $e_i(t)$ に従って貢献行動を行う。貢献行動により us_i は実績 $r_i(t)$ を挙げ、コスト $C_i(t)$ を被る。
- (3) エージェント ag_i は、 $e_i(t)$ と $r_i(t)$ を把握し、外部評価機構に報告する。外部評価機構は各ユーザの $e(t)$ と $r(t)$ から貢献評価関数 f によって貢献評価値を求め、報酬総和 $W_{total}(t)$ を貢献評価値に応じて比例配分する。
- (4) us_i は、配分された報酬 $W_i(t)$ とコスト $C_i(t)$ により利得 $SAT_i(t)$ を以下の式に従い求める。

$$SAT_i(t) = W_i(t) - C_i(t) \quad (3)$$

- (5) ag_i は、 $e_i(t)$ 、 $SAT_i(t)$ を元に学習を行い、次の努力水準 $e_i(t+1)$ を us_i に示す。
- (6) (2)~(5) を、十分に学習を行いそのユーザにとって最適な努力水準が見つかるまで繰り返す。

ここで、報酬 $W(t)$ は WTP (Willingness To Pay: 支払い意思額) に、コスト $C(t)$ は WTA (Willingness To Accept Compensation: 受け取り意思額) に換算でき、両者は金銭の次元で扱うことができるため、加減算が可能となる [18]。

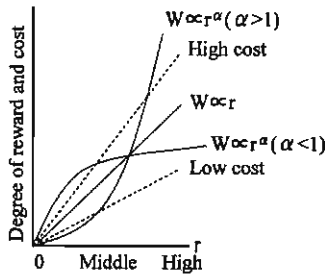


図4 コストと報酬の関係

4. 報酬配分方法の検討

4.1 報酬配分基準の検討

EMOTIVER においては、有限の報酬を実績と努力水準に基づいてどのように配分すれば所望のサービス品質が得られるか、すなわち外部評価機構の持つ貢献評価関数の設計が非常に重要である。そこで本節では、ユーザが貢献行動に際して被るコストを直接的コストと間接的コストの2種類に大別し、それぞれのコストが支配的な環境においてどのような報酬配分が有効かについて述べる。

4.2 直接的コストと間接的コスト

P2P 情報共有においてユーザが貢献に際して被るコストは以下の2つに大別できる。

直接的コスト 貢献実績を挙げる際に発生するコスト

間接的コスト 貢献実績を挙げる機会を得るために発生するコスト

直接的コストの例としてはアップロードのために帯域を割くことによるコスト等が挙げられる。また間接的コストの例としては、貢献のためにアプリケーションを起動してアップロードのために待機しておくコスト等が挙げられ、バッテリー制限のあるモバイル端末では特にその影響が大きいと考えられる。

4.3 実績に基づいた報酬配分

まず、直接的コストが支配的な環境においてどのような報酬配分が有効であるかを考える。直接的コストは貢献実績を挙げる際に発生するコストであるため、各ユーザが挙げた実績と比例させて報酬配分を行うことで、直接的コストを補償できると考えられる。そこで、実績 r の α 乗 ($\alpha > 0$) に比例して各ユーザに報酬を配分する方式が考えられている。ユーザに配分される報酬は、

$$W(t) = W_{total} \times \frac{r^\alpha}{\sum_j r_j^\alpha} \quad (4)$$

で表される。図4に各 α におけるコストと報酬の関係を示す。 $\alpha = 1$ の時は、各ユーザのアップロード数に比例して報酬が配分されるため、アップロードの際に発生する直接的コストが補償されることが確認されている [19]。また $\alpha > 1$ を用いることで、高い実績を挙げたユーザにより多くの報酬が配分されるようになるため、高い努力水準を選択する誘因を強めることができる。 $\alpha < 1$ の時は実績の差が報酬配分時に小さく評価されるので、高い努力水準を持つユーザは減少するが、その分、より

多くのユーザに報酬が行き渡るため、多くのユーザに貢献を促すことができる。

4.4 努力水準に基づいた報酬配分

実績に基づいた報酬配分では、直接的コストを補償することは期待できるが、間接的コストの補償は期待できない。間接的コストはユーザがどれだけ貢献実績を挙げるために努力したかに比例するため、努力水準と相関が高いといえる。そこで、努力水準 e の α 乗に比例して各ユーザに報酬を配分する方式が考えられている。ユーザに配分される報酬は、

$$W(t) = W_{total} \times \frac{e^\alpha}{\sum_j e_j^\alpha} \quad (5)$$

で表される。 $\alpha = 1$ の時は、各ユーザの努力水準に比例して報酬が配分されるため、間接的コストを補償することが確認されている [19]。 $\alpha > 1$ の時は高い実績を挙げなくとも、高い努力水準を持てば多くの報酬が配分されるようになるため、高い努力水準を選択する誘因を強めることができる。 $\alpha < 1$ の時は努力水準の差が報酬配分時に小さく評価されるので、高い努力水準を持つユーザは減少するが、その分より多くのユーザに報酬が行き渡るため、多くのユーザに貢献を促すことができる。

無線アクセス環境における P2P 情報共有では、バッテリー消費の観点から間接的コストの増加が予想されるので努力水準基準の報酬配分が有効であると考えられる。

4.5 報酬と努力水準の両方に基づいた報酬配分

上記の2つの方式を組み合わせ、努力水準 e と実績 r の両方を考慮する手法について検討する。その場合、ユーザに配分される報酬は、

$$W(t) = W_{total} \times \frac{e^\alpha \times r^\beta}{\sum_j (e_j^\alpha \times r_j^\beta)} \quad (6)$$

で表される ($\beta > 0$)。しかし、この方式を用いても、上記の実績基準、努力水準基準に比べ改善は見られなかった。努力水準 e と実績 r の積の形で貢献評価関数を設計するという単純な手法では、直接的コスト、間接的コストのどちらも適切に補償することができなかったためである。

より大幅な改善を実現するには、全ユーザに画一的に同一の貢献評価関数を用いるのではなく、ユーザのコスト傾向に応じて適応的に報酬配分を行う方法が有効であると期待される。例えば、無線アクセス環境のユーザと、固定アクセス環境のユーザを区別してクラスタ化し、クラスタごとに異なる報酬配分を行う方法が考えられる。

また、全ユーザに同一の貢献評価関数を適用した場合には、貢献評価値が等しい場合、コストが大きいユーザとコストが小さいユーザに同じ報酬が配分されてしまう。このため、コストが小さいユーザにとっては報酬が十分であるが、コストが大きいユーザにとっては報酬が不足する、という状況が発生し得る。このような状況を改善し、さらに多くのユーザ貢献を促進するため、コストが小さいユーザの報酬をそのユーザが不満に思わない程度に徴収し、その徴収分をコストが大きいユーザに再配分する方法が考えられている [19]。

さらに、ここでは、ユーザの感じるコストを2種類に大別

表 1 努力水準, 実績の複数項目例

評価項目	努力水準	実績
1	サービス接続待機時間	アップロード数
2	コンテンツ保持のための ストレージ容量	アップロード数
3	アップロード帯域	コンテンツ転送速度

して評価を行ったが, 実際には, 接続待機や帯域の消費, ストレージの拠出など, そのコストの内訳は多岐に渡る. さらに, 主となるコスト要因はユーザにより様々である.

5. EMOTIVER の拡張

ユーザに自身が感じるコストが小さい貢献手段で貢献を行わせることで, より多くの貢献を得ること考える. これを実現するため, 本節では外部評価機構が評価する努力水準や実績の項目を複数に拡張することを検討する. [15] では, 1 ユーザに対し努力水準 e , 実績 r が 1 項目ずつ設定されている. ここでは, e や r を $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ と複数の評価項目に拡張することで, ユーザが貢献する際の手段を複数用意することを考える. 評価項目には, 貢献のために拠出しなければならない帯域やストレージといったそれぞれのリソースについて, 努力水準や実績を設定することができる. 評価項目を複数設定する際の項目例を表 1 に示す. 例えば, 可用帯域のうちアップロードに割く帯域の割合を努力水準に設定し, 実際の平均コンテンツ転送速度を実績に設定することができる. 評価項目を複数設定した場合, ある期間 t におけるユーザの貢献評価値 $Eval(t)$ を決定する際には, まずひとつずつの評価項目 k に対する評価値 $eval_k(t)$ を, その項目に関しての評価関数 g_k を用いて,

$$eval_k(t) = g_k(e_k, r_k) \quad (7)$$

として求める. そして, そのユーザの貢献評価値 $Eval(t)$ を, 各項目の評価値の関数である貢献評価関数 f を用いて,

$$Eval(t) = f(eval_1(t), eval_2(t), \dots, eval_n(t)) \quad (8)$$

により求める.

評価項目を複数設定することで, ユーザに対し貢献に際しての手段を複数提供できる. 例えば, 帯域を割くことに大きなコストを感じるユーザ, ストレージ容量を割くことに大きなコストを感じるユーザなど, 様々なタイプのユーザがいる場合に, 自身が大きなコストを感じる項目については努力水準を小さくする代わりに, 他の項目において大きな貢献をする, といった貢献の手段を提供できる. これにより, 貢献に伴う総コストの低減が期待でき, 有限の報酬を効果的にユーザに配分できると考えられる.

また, 複数の評価項目を設定することで, サービス提供者側が, サービスの運用ポリシーに応じて, ユーザの貢献をより望ましい方向へと誘導することも可能となる. 例えば, サービス提供者が, サービスにおけるコンテンツの発見率を重視する場合には, 上記の関数 f を設計する際にサービス接続待機時間に

対する評価値を重み付けすることで, ユーザが長時間サービスに接続待機することを促進し, コンテンツ発見率の増加を図ることができる. また, コンテンツの転送速度を上げることで, サービスを利用するユーザの満足度を上げたい場合には, 帯域に関する評価値を重み付けすることで, ユーザによる帯域提供の促進を図ることができる.

さらに, 努力水準の段階数についても拡張が可能である. 3.3 節では, 努力水準が $e = 0, 0.5, 1$ の 3 段階の場合について説明を行ったが, この段階数を拡張することで, ユーザにとってより最適性の高い貢献の度合いを提供できる.

しかし, 努力水準の種類や段階数を拡張することで, その分, 最適な努力水準の学習に要する時間が長くなってしまいうため, 両者の間にはトレードオフの関係がある. そのため, 努力水準の種類や段階数を拡張するためには, エージェントの学習を高速化する効果的な手法の検討が必須である.

6. まとめ

本稿では, 外部評価機構と対話型学習エージェントを用いたインセンティブメカニズムである EMOTIVER の詳細について説明を行った. また, ユーザが P2P 情報共有に際して被るコストを直接的コストと間接的コストに大別し, それぞれが支配的な環境において有効な報酬配分方法についての説明を行った. さらに, EMOTIVER がユーザの貢献を評価する際の評価項目を複数に拡張することについて検討を行った.

今後の課題として, 複数の評価項目を導入した際のシミュレーション評価が挙げられる. また, エージェントが最適な努力水準の学習するために要する期間の短縮も課題である. さらに, 現実環境での P2P 情報共有アプリケーションを用いた実験評価も行う必要がある.

謝 辞

この研究の一部は, (財) 近畿移動無線センター (モバイルワイヤレス研究助成) ならびに (財) 大川情報通信基金 (no.07-07) の援助を受けて実施された.

文 献

- [1] E. Adar and B. Huberman, "Free riding on gnutella," First Monday, vol.5, no.10, Oct. 2000.
- [2] S.M.Lui, K.R.Lang and S.H.Kwok, "Participation Incentive Mechanisms in Peer-to-Peer Subscription System" HICSS. Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference, pp. 3925-3931, Jan. 2002.
- [3] D.Figueiredo, J.Shapiro, D.Towsley, "Incentives to Promote Availability in Peer-to-Peer Anonymity Systems" Proceedings of the 13TH IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP'05), pp 110-121, Nov. 2005.
- [4] T.L.Hong, Z.X.Huang, B.Yun, Y.H.Qiu, "Auction Incentive Mechanism in P2P" Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2007. MUE '07. International Conference, pp. 941-945, Apr. 2007.
- [5] W.Tao, L.Xianliang, H.Mengshu, "A Novel Incentive Mechanism for P2P Systems," Sixth International Conference on Parallel and Distributed Computing Applications and Technologies, pp.801-803, Dec. 2005.
- [6] R.T.B.Ma, S.C.M.Lee, J.C.S.Lui, D.K.Y.Yau, "Auction Incentive Mechanism in P2P" Multimedia and Ubiquitous

- Engineering, 2007. MUE '07. International Conference, pp. 941-945, Apr. 2007.
- [7] S.C.M.Lee, J.C.S.Lui, R.T.B.Ma and D.K.Y.Yau, "Incentive and Service Differentiation in P2P Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.14, pp.978-991, Oct. 2006.
 - [8] A.K.H.Leung, Y.K.Kwok, "On topology control of wireless peer-to-peer file sharing networks: energy efficiency, fairness and incentive," *World of Wireless Mobile and Multimedia Networks 2005*, pp.318-323, June. 2005.
 - [9] B.Lagesse, M.Kumar, "UBCA: Utility-Based Clustering Architecture for Peer-to-Peer Systems" *Distributed Computing Systems Workshops, 2007. ICDCSW '07. 27th International Conference*, pp. 10-10, jun. 2007.
 - [10] C.Buragohain, D.Agrawal and S.Suri, "A Game Theoretic Framework for Incentives in P2P Systems," *Peer-to-Peer Computing, 2003*, pp.48-56, Sept. 2003.
 - [11] T. Hobfeld, K. Tutschku, and F. U. Andersen, "Mapping of file-sharing onto mobile environments: Feasibility and performance of eDonkey with GPRS," *Proc. IEEE Wireless Communications & Networking Conf. (WCNC)*, no. 1, pp. 2453-2458, New Orleans, LA, USA, March 2005.
 - [12] J. Oberender, F. U. Andersen, H. Meer, I. Dedinski, T. Hofeld, C. Kappler, A. Mader, and K. Tutschku, "Enabling Mobile Peer-to-Peer Networking," in *LNCS 3427: Wireless Systems and Mobility in Next Generation Internet*, pp. 219-234, Springer, 2005.
 - [13] H. Sumino, N. Ishikawa, and T. Kato, "Design and implementation of P2P protocol for mobile phones," *Proc. 4th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOMW)*, pp. 6, Pisa, Italy, March 2006.
 - [14] Masato Yamada, Kenichiro Sato, Ryoichi Shinkuma and Tatsuro Takahashi, "Incentive Service Differentiation for P2P Content Sharing by Wireless Users," *IEICE Trans., Commun.*, vol.E90-B, no.12, pp. 3561-3571, Dec. 2007
 - [15] 橋本遼, 佐藤健一朗, 新熊亮一, 高橋達郎, "無線ユーザが混在する P2P 情報共有のためのインセンティブメカニズム," *ワイヤレステクノロジーパーク*, May. 2008.
 - [16] Y.Bochi, T.Shintani, T.Ito and T.Ozono, "Reward Sharing Based on Past Events in Multiagent Reinforcement Learning Using an External Evaluator," *IEICE-Transactions on Information and Systems*, Vol.J87-D1, No.12, pp.1119-1127, Dec. 2004.
 - [17] G.Lee, S.Bauer, P.Faratin and J.Wroclawski, "Learning user preferences for wireless services provisioning," *Autonomous Agents and Multiagent Systems Proceedings of the Third International Joint Conference on*, pp.480-487, 2004.
 - [18] I.J. Bateman, and K.G. Willis, "Valuing Environmental Preferences: Theory and Practice of the Contingent Valuation Method in the US, EU, and Developing Countries," *Oxford University Press*, 1999.
 - [19] 橋本遼, 佐藤健一朗, 新熊亮一, 高橋達郎, "ユーザのコスト多様性を考慮した報酬配分方法の評価," *留学技報, MoMuC*, July. 2008.