

P2P 情報共有のためのピアの アクセス多様性を考慮した報奨付与方法

佐藤健一朗 吉野 信 新熊 亮一 高橋 達郎

京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻
〒606-8501 京都市左京区吉田本町

E-mail: {sato,yoshino}@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。そこでユーザの貢献を促すため、貢献に対して報奨を与え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 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うコストの多様化が起こり、インセンティブメカニズムにおける適切な報奨配分が困難となる。そこで、本稿では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、報奨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を提案する。さらに、提案メカニズムを用いて、より多くのユーザに貢献を促し、かつより多くのリソースをサービスに提供させる報奨付与方法を提案し、その有効性をシミュレーションにより示す。また、ユーザの行動選択を理論解析により求める手法についても述べる。

キーワード インセンティブ、報奨、コスト、P2P 情報共有、無線アクセスネットワーク

Incentive Rewarding Method for P2P Content Sharing by Users in Various Access Networks

Kenichiro SATO, Makoto YOSHINO, Ryoichi SHINKUMA, and Tatsuro TAKAHASHI

Communications and Computer Engineering, Graduate School of Informatics, Kyoto University
Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto-shi, 606-8501 Japan

E-mail: {sato,yoshino}@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 contents or 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 propose a novel mechanism that improves the service quality by appropriately assigning rewards to each user even if they use different access networks. Furthermore, we propose a rewarding method for our mechanism that motivates as many users to contribute their resources as possible, independently of their access networks. We evaluate our method through computer simulation and then describe a theoretical approach for estimating users' contributing behaviors.

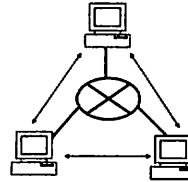
Key words incentive, reward, cost, P2P content sharing, wireless access network

発表概要

- 研究背景
 - P2P情報共有の課題
 - インセンティブメカニズム
- 研究目的
- 提案モデル
 - 外部評価機構
 - エージェント
- シミュレーション&理論解析による評価
 - 努力水準、実績及び報酬テーブル設定
 - シミュレーション結果
 - 理論解析法
- まとめ
- 今後の課題

背景 P2P情報共有の課題

- P2P情報共有
 - 貢献行動＝ユーザーによるコンテンツのアップロードが不可欠



貢献行動:
帯域、ストレージ等リソースの提供が伴う
⇒ 不満度(コスト)の発生

問題点:
貢献行動を行わないフリーライダーが多数を占める

背景 インセンティブメカニズム

解決策

ユーザーの貢献行動に対し報酬を与える
⇒ インセンティブメカニズム

貢献行動

・ お金 (Payment)
・ サービス差別化 (Service Differentiation)
・ 帯域割り当て
・ コンテンツ発見率 等

報酬

ユーザーによる積極的な貢献行動を促す
⇒ 貢献に対する報酬 > 貢献に伴うコスト

背景 無線アクセス下の端末の P2P情報共有への参加

- 無線技術を用いたアクセス環境の充実、高速化
 - 無線LAN, 3Gに加え、新たな広域高速無線サービス (3.5G~, WiMAX)
- PC以外の機器によるP2P利用実現の取り組み
 - JXTAなどのOS・機器非依存P2Pプラットフォーム

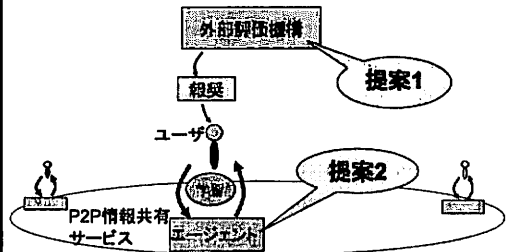
無線アクセス下の端末の P2P情報共有への参加

研究の目的

- ネットワークサービスがユーザーに付与できる報酬の総和は有限
- 固定端末に加え無線アクセス下の端末の参加
 - ⇒ アクセスの多様化
 - ⇒ コストの多様化
 - ⇒ 適切な報酬配分が困難

有限の報酬を適切にユーザーの貢献に割り当てより高品質なサービス状態で均衡させる仕組みを構築

提案メカニズムのイメージ



提案1:外部評価機構の導入

- ユーザ同士が協調してサービス状態を最適化させるには、やり取りする情報が膨大になり、複雑なメカニズムが必要
- さらにユーザは自身の効用の最大化を優先させるため適切な協調が得られるか不明



- 外部評価機構の導入
 - ユーザが自身の効用の最大化を目指しても、サービス状態が最適に向かうよう舵取りを行う

提案1:外部評価機構

- ネットワークサービス全体の運用ポリシーの設定
 - 運用ポリシー例
 - 高速ピアにアップロードさせたい
 - すべてのピアにアップロードさせたい
- ユーザの貢献に対する報奨Wを定めたテーブルの設計
 - 努力水準(貢献しようとした量)E、と実績(実際の貢献量)Rの両方を考慮

ユーザー貢献		報奨
努力水準	実績	
小	小	小
↑ E	↑ R	↑ W
大	大	大

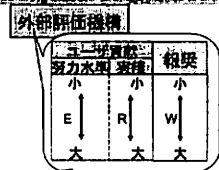
報奨テーブル例(イメージ図)

$$W = f(E, R)$$

運用ポリシーに基づいた報奨テーブルの設計

- 均衡した状態のネットワークサービスの評価

提案2:エージェントの導入(1)



- ユーザが最終的にどの努力水準を選ぶかを調べたい!
- しかし...
 - ユーザにとって学習すること自体がコスト
 - ユーザが最適な努力水準を選択できるとは限らない
 - ユーザの学習モデルを作るのは困難

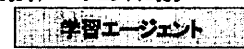


学習エージェントの導入

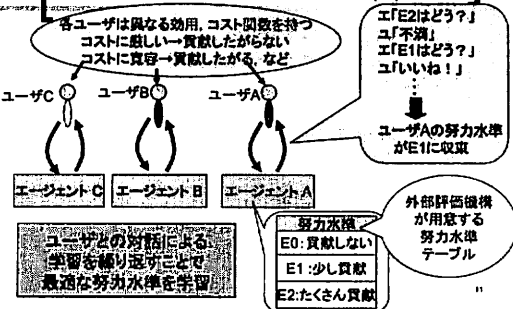


提案2:エージェントの導入(2)

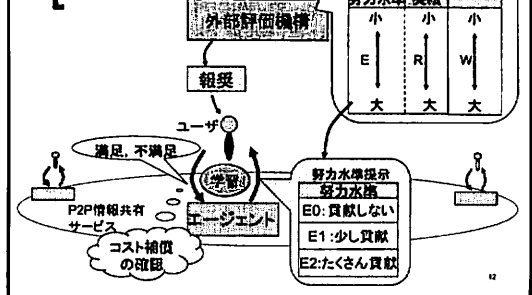
- 前提
 - ユーザは自身の効用(貢献報奨 - 貢献コスト)を最大化したい!
 - ユーザはエージェントが最適な努力水準を学習してくれると知り、エージェントに従う
- エージェント
 - ユーザの効用関数の学習
 - ユーザとの対話によって実現
 - 人工知能の分野で用いられる強化学習法(Q-Learningなど)を用いる
 - 最適な(効用を最大にする)努力水準の提示
 - ソフトマックス行動選択等を用いる

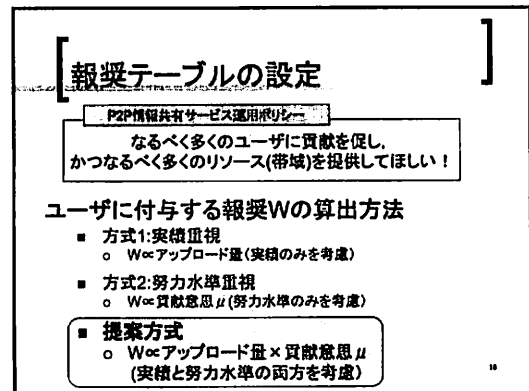
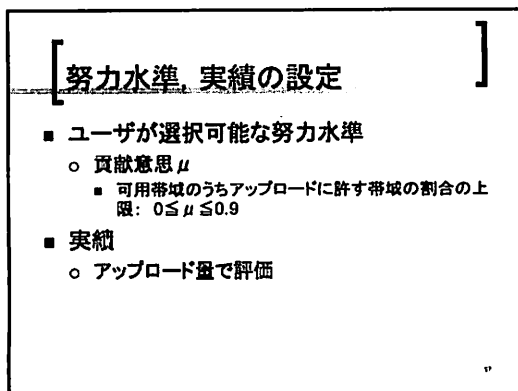
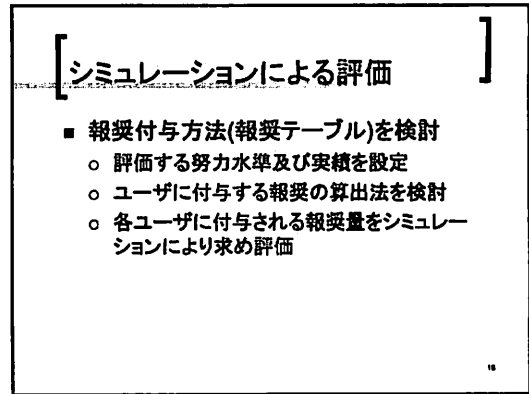
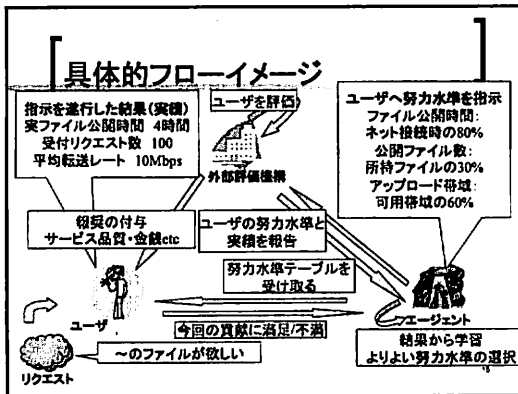
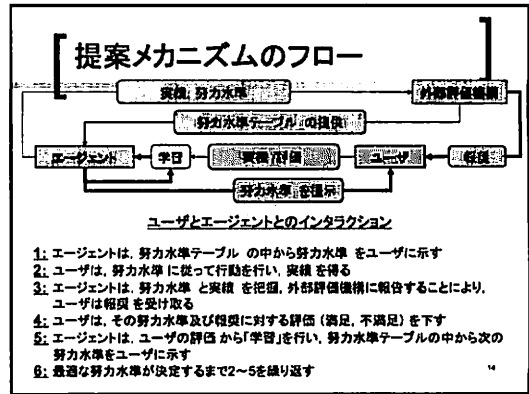
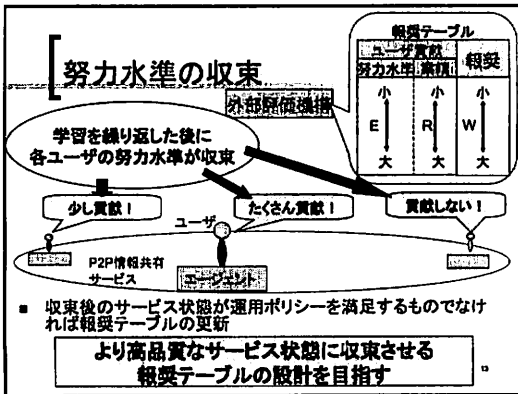


提案2:エージェントの導入(3)



提案メカニズム

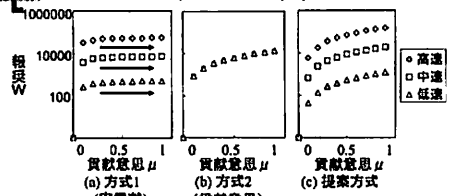




シミュレーションモデル

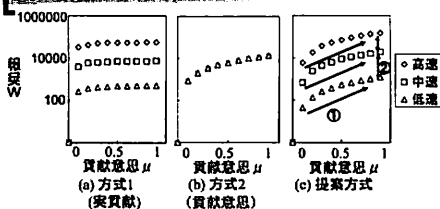
アクセス	- 高速(50Mbps) / 中速(10Mbps) / 低速(1Mbps) - 各100端末 - 上りと下りで帯域共有
貢献ピア	- 各アクセスとも0, 0.1, 0.2, ..., 0.9の貢献意思 μ をとるピアが各10ピアずつ - 平均コンテンツサイズ5Mbyte
要求ピアの振る舞い	- アップロードピアの選択 1. 高速, 中速, 低速ピアを50:10:1の確率で選択 2. 同速ピアの中からランダムな確率でアップロードピアを選択

シミュレーション結果(1)



- 方式1の問題点
 - 貢献の誘因が弱い
- 方式2の問題点
 - 高速ピアの優位性がない
⇒ 高速ピアの増加によるサービス品質の向上が望めない

シミュレーション結果(2)



- 提案方式の特徴
 - ① 貢献の誘因が強い
 - ② 高速ピアの優位性が認められる
⇒ 高速ピアの増加によるサービス品質の向上

ユーザ行動選択の理論解析法(1)

- 前出の報奨Wを与えられたユーザはどのような行動をとるか?
- 学習エージェントを導入したシミュレーションを行なう前に理論解析による見積りを行う
 - ユーザは10段階の貢献意思 μ を選択可能
- ランダム効用理論による確率計算
 - 全K個の選択肢のうちk番目の選択肢から得られる効用を U_k とおく
 - 選択肢kが選択される確率 P_k は

$$P_k = \frac{\exp[\theta U_k]}{\sum_{m=1}^K \exp[\theta U_m]} \quad \theta: \text{スケールパラメータ}$$

ユーザ行動選択の理論解析法(2)

- 効用 U : 報奨 W による正の効用 U_w とコスト C による負の効用 U_c の和で定義 $U = U_w + U_c$ ($U_w > 0, U_c < 0$)
- 報奨 W をダウンロード時の帯域として与える
 - 可用帯域に対するユーザの効用は対数型で表される $U_w = \log(W)$
- コスト定義: 貢献に際して帯域を割くことで減少した効用分 $U_c = -\int (\log(B_s) - \log(B_s - B_u)) dt$ (B_s : アップロード帯域, B_u : 可用帯域)
- 上記の方法で U を求め、ランダム効用理論によりユーザが各貢献意思を選ぶ確率を計算

$$P_k = \frac{\exp[\theta U_k]}{\sum_{m=1}^K \exp[\theta U_m]}$$

まとめ

- 参加ピアのアクセスが多様なP2P情報共有
⇒ 適切な報奨配分が困難
- ユーザの貢献を適切に促すためのメカニズムを提案
 - 外部評価機構の導入
 - エージェントの導入
- 報奨付与方法(報奨テーブル)を検討
 - 方式1: 報奨 $W \propto$ アップロード量 (実績のみを考慮)
 - 方式2: 報奨 $W \propto$ 貢献意思 μ (努力水準のみを考慮)
 - 提案方式: 報奨 $W \propto$ アップロード量 \times 貢献意思 μ
- 提案方式は
 - 貢献の誘因が強い
 - 高速ピアの優位性が認められる
⇒ 高速ピアの増加によるサービス品質の向上

【今後の課題】

- ランダム効用理論によるユーザ行動選択の確率計算
↓
- エージェントによる学習を導入し、各ユーザの戦略(努力水準)がどのように収束するかをシミュレーションにより調べる
- より効果的な報奨テーブルの検討
 - より多様な評価パラメータを設定
 - ファイル公開時間
 - 公開ファイル数 など

25

【提案メカニズムが適用可能なサービス】

- ユーザの貢献を必要とするサービス
 - ユーザ位置制御
 - サーバ型動画共有
 - アプリケーションレベルマルチキャスト
 - マルチホップネットワーク

26

【参考文献】

- G.Lee, S.Baur, 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, AAMAS 2004.
- 保知良輔, 新谷虎松, 伊藤孝行, 大園圭親, "外部評価機構を導入したマルチエージェント強化学習における過去の事象に基づく報酬配分," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-D1, No.12, pp.1119-1127
- R.Ma, S.Lee, J.Lui and D.Yau, "An Incentive Mechanism for P2P Networks," 24th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems, pp.516-523, Mar. 2004.
- P.Golle, K.Layton-Brown, and I.Mironov, "Incentives for Sharing in Peer-to-Peer Networks," Proc.ACM Electronic Commerce(EC '01), Oct. 2001.

27