

無線アクセス環境下のピアを考慮したP2P情報共有のための クロスレイヤ制御

山田 将人 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: yamada@cube.kuee.kyoto-u.ac.jp, {shinkuma,ttakahashi}@i.kyoto-u.ac.jp

あらまし 情報コンテンツ共有・配信から音声通話やゲームに至るまで、幅広い用途においてP2P (Peer to Peer) 通信が脚光を浴びている。一方、無線LAN (Local Area Network) によるインターネットアクセスの普及、あるいはB3G (Beyond 3rd Generation) やWiMAXのような新たな広域高速無線アクセスの可能性を踏まえると、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。無線アクセス環境下では限られた無線リソースを複数のMS (Mobile Station) で共有するため、各々に対する効率的な無線リソース割当が重要であり、MSの“サービス利用”に応じた無線リソース割当について様々な検討がなされてきた。しかし、P2P通信に特有の、MSによる“サービス提供”に対する無線リソース割当については十分に検討されていない。本稿では、リソース配分が柔軟かつ解析的に可能な効用関数に基づく無線リソース割当方式に注目し、サービス提供の際にサービス利用者の効用関数を用いる無線リソース割当方式を提案する。数値計算によって評価を行なうことで、本方式の有効性を示す。さらに、異なるエリア間で協調的にリソース割当を行なう改良方式も提案し、有効性を示す。

キーワード 無線アクセス, P2P, 無線リソース割当, 効用

Cross-layer Networking for P2P Information Service in Wireless Access Networks

Masato YAMADA, 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: yamada@cube.kuee.kyoto-u.ac.jp, {shinkuma,ttakahashi}@i.kyoto-u.ac.jp

Abstract Recently, peer-to-peer (P2P) applications have attracted lots of attention as the killer application in the Internet. On the other hand, wireless local area networks (WLANs) are widely used to access the Internet. Moreover, new wireless broadband technologies, such as beyond 3rd generation (B3G) and WiMAX, are expected to increase opportunities to access the Internet via wireless links. Hence, the demand for P2P services over wireless access networks is growing. In wireless access networks, effective radio resource allocation is important because limited radio resources are shared by many users. Several radio resource allocation schemes have been proposed to improve service quality for users. However, in P2P communications, users not only “receive” but also “provide” the services. No conventional method supports radio resource allocation for user providing P2P services. In this paper, we propose a new radio resource allocation mechanism for users providing P2P services. The mechanism allocates radio resources to the users based on the utility functions of users receiving the services. In addition, we develop the extended scheme where radio resource allocation is cooperatively operated among different areas. Computer simulation results validate our proposed schemes.

Key words wireless access, P2P, radio resource allocation, utility

背景(1)

- 脚光を浴びるP2P通信
 - 情報コンテンツ共有 (Gnutella), 配信 (BitTorrent)
 - 同期通信 (音声通話: Skype, ゲーム: Nintendo DS)
 - 情報流通プラットフォーム, ユビキタスコンピューティングなど
- 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
- 無線アクセスサービスの利用増大
 - 無線LANによるインターネット利用の普及
 - 既存のセルラサービス (3G) の普及
 - + 新たな広域高速無線サービス (3.5G~, WiMAX) への期待

➡ 無線アクセス環境におけるP2P通信のニーズ

背景(2)

無線アクセス環境でのP2P通信

【特徴】

- MSが“サービス利用者”としてだけでなく, “サービス提供者”としてもふるまう
- 無線アクセス環境では共有されるリソースが限られており, 各サービスに対する効率的な無線リソースの割当が重要

BS: Base Station
MS: Mobile Station

概要

- 従来
 - サービスの“利用”に対する無線リソース割当
 - サービス利用ユーザの『効用』に基づいてサービスの“利用”に無線リソースを割当

↓

- 提案
 - サービスの“提供”に対する無線リソース割当
 - サービス利用ユーザの『効用』に基づいてサービスの“利用”と“提供”に無線リソースを割当

従来手法

サービス“利用”に対する無線リソース割当

- ① システム規定の所要サービス品質 (QoS) に基づく割当
- ② サービスに対するユーザ効用 (満足度) に基づく割当

効用関数の例

【効用関数に基づく割当の利点】

- (1) リソース配分が柔軟かつ解析的に可能
- (2) (呼受付制御との組み合わせで) 効用の保証が容易
- (3) オペレータポリシーを反映可能

従来手法

- 無線システムの効用総和最大化のための最適化モデル

時分割システムの場合

$$\max_{\mathbf{T}} \sum_{i=1}^N U_{u_i}(R_{u_i}(T_i))$$

$$s.t. \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{T_{\max}} \leq 1 \quad \dots (1)$$

where $\mathbf{T} = \{T_1, T_2, \dots, T_N\}$

u_i	サービス[i]利用ユーザ
U_{u_i}	u_i の(サービス[i]利用)の効用関数
R_{u_i}	u_i のサービス[i]における可用帯域
P_{u_i}	u_i の物理伝送レート
T_i	サービス[i]に与えられた1フレームあたりの時間 (= 無線リソース)
T_{\max}	1フレームあたりの時間
N	エリア内で利用される全サービス数

ただし, $R_{u_i}(T_i) = P_{u_i} \cdot \frac{T_i}{T_{\max}} \therefore \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{T_{\max}} \leq 1 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^N \frac{R_{u_i}}{P_{u_i}} \leq 1$

従来手法

⇒ RAM (Radio resource management As Market model) [1]

- 無線エリアごとにリソース価格 λ を想定
- ユーザ u_i のサービス [i] “利用” による収益を $J_{u_i}(R_{u_i}, \lambda) = U_i(R_{u_i}(T_i)) - \lambda \frac{R_{u_i}}{P_{u_i}}$ と定義

文献[1]に基づき式(1)を変形すると,

$$\min_{\lambda} \left| 1 - \sum_{i=1}^N \left(\frac{\hat{T}_i(\lambda)}{T_{\max}} \right) \right| \Rightarrow \text{(A) 価格の均衡}$$

s.t. $\hat{T}_i(\lambda) = \arg \max_{T_i} J_{u_i}(R_{u_i}(T_i), \lambda) \Rightarrow \text{(B) 収益の最大化}$

[1] X. DUAN et al., “Optimizing radio resource allocation in multimedia DS-CDMA systems based on utility functions,” IEICE Trans. Commun., vol.E87-B, no.8, pp.2233-2242, Aug. 2004.

従来手法

■ 既存方式: RAM の動作概要

- ①電波環境を通知
- ②エリア内リソース価格を通知
- ③収益が最大となるリソース量 T_i を算出 (B: 収益の最大化)
- ④ T_i を通知
- ⑤ $T_i (= 需要)$ と T_{max} (= 供給) がアンバランスなら価格を上下させ②へ戻る (A: 価格の均衡)
- ⑥セル内効用総和が最大となるリソース配分 ⇒ **リソース獲得**

提案手法

サービス“提供”に対する無線リソース割当

サービス利用者の効用にに基づき、サービス“提供”に対する無線リソース割当

【例】サービスAの利用者の効用にに基づき、サービスAの“提供”に無線リソースを割り当てる

提案方式: RAMP (RAM for P2P service)

サービス[i]の“利用”(receive)における収益

$$J_{u_{i,r}}(R_{u_{i,r}}, \lambda_r) = U_{u_{i,r}}(R_{u_{i,r}}(T_{i,r})) - \lambda_r \frac{R_{u_{i,r}}}{P_{u_{i,r}}}$$

サービス[i]の“提供”(serve)における収益

$$J_{u_{i,s}}(R_{u_{i,s}}, \lambda_s) = U_{u_{i,s}}(R_{u_{i,s}}(T_{i,s})) - \lambda_s \frac{R_{u_{i,s}}}{P_{u_{i,s}}}$$

ともにサービス利用者であるユーザ $u_{i,r}$ の効用関数を使用

提案方式: RAMP (RAM for P2P service)

End-to-End 可用帯域 = $\min\{R_{u_{i,r}}, R_{u_{i,s}}\}$
(有線区間の帯域は十分に大きいと仮定)

実質的なサービス利用効用 = $U_{u_{i,r}}(\min\{R_{u_{i,r}}, R_{u_{i,s}}\})$

※ $R_{u_{i,r}} - R_{u_{i,s}}$ の分のリソースが無駄になっている

改良提案方式: C-RAMP (Cooperative-RAMP)

■ 複数のエリアから成る無線システムにおいて・・・
⇒ RAMPの結果、最もリソース価格の高いエリア #a が、最もリソースの枯渇したエリアであると推測される

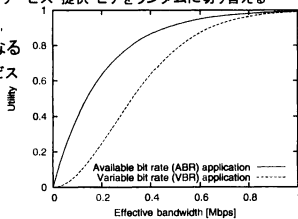
⇒ よって、 $R_{u_{a,s}} > R_{u_{a,r}}$, $R_{u_{b,s}} < R_{u_{b,r}}$ である可能性が高い

改良提案方式: C-RAMP (Cooperative-RAMP)

- ① 各エリアで RAMP ⇒ #a が最高価格に
- ② #a の割当決定 ⇒ #b, #c でリソース余剰 ⇒ #a 以外で再び RAMP ⇒ #b が最高価格
- ③ #b の割当決定 ⇒ 他セルでリソース余剰 ⇒ #a, #b 以外で再び RAMP... を繰り返す
- ④ 最終的に、1 エリアを残して全エリアで割当決定 ⇒ 残りエリアで RAMP ⇒ 【終了】

数値計算: 評価モデル(1)

- 時分割多重・複信システム 上・下リンクでリソースを共有
- 全てのMSがピアとしてP2P通信に参加
 - 任意のピアから、P2Pサービスを“利用”する
 - 任意時間経過ごとに、P2Pサービス“提供”ピアをランダムに切り替える
- P2Pサービスは2種類とし、それぞれ効用関数が異なる
 - 各ピアが提供するP2Pサービスの種類は単一とする
 - それぞれのサービス提供ピアは1:1で存在



数値計算: 評価モデル(2)と比較対象

周波数帯	2.4GHz
パスロス	ITU-R UHF upper bound
BS高, MS高	3.0m, 1.5m
送信電力	10dBm
物理伝送レート	IEEE802.11g受信特性に基づく (MSを円内一様配置, NF=10dB)
MS数, エリア数	MS12台エリア:5, MS24台エリア:5

【比較対象】

- 各エリアごとに、全サービスの可用帯域が均一になるようリソース割当
- P2Pコネクションの2つの無線区間のうち、“細い”方が実質的な可用帯域となり、効用を与える

オペレータポリシー:UCAとFCA

- (C-)RAMPでは各サービスに対するリソースは、収益が最大となるように割り当てられる
⇒リソース割当ゼロが収益最大となる場合もありうる

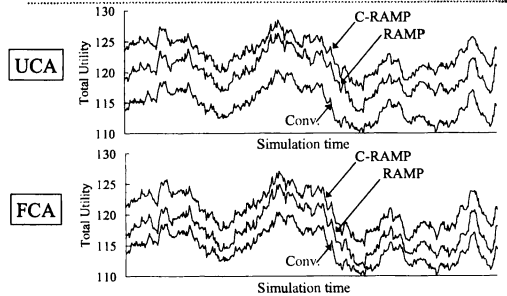
Policy (1):UCA (Utility Centric Allocation) [1]

- リソース割当ゼロが収益最大なら無条件でリソース割当なし

Policy (2):FCA (Fairness-Centric Allocation) ([1]を改訂)

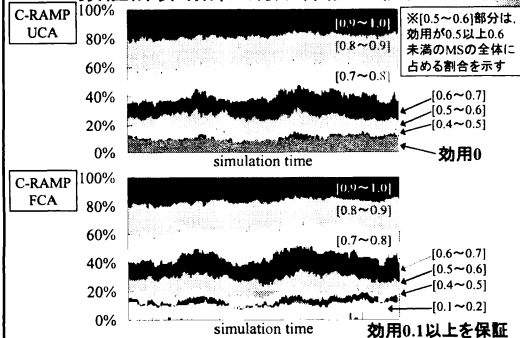
- “最低保証効用” $U_{min} = 0.1$ を設け、これを下回らないように最低限のリソースを割り当てる
- ただし、割当リソースが足りない場合は、ランダムに選ばれた“サービス”のみリソース割当ゼロとする

数値計算結果: 効用総和



比較対象に対するRAMPの有効性と、C-RAMPによる余剰リソース利用が確認できる

数値計算結果: 効用保証の検討



まとめと今後の課題

- まとめ
 - P2Pサービス利用者の効用に基づいて、P2Pサービス提供者の無線リソース割当を決定するRAMPおよびC-RAMPを提案
 - 二つのオペレータポリシーで評価
 - FCAに比べてUCAの方が効用の総和が大き
 - UCAでは効用0のMSが多く存在するが、FCAでは効用の総和を犠牲に効用の最低値が保証される
- 今後の課題
 - 「効用の総和の最大化」以外のポリシー（公平性など）に関する検討
 - インタラクティブ型P2Pサービスの効用に関する検討