

# パレート最適ネットワークのためのユーザ資源管理技術

## *User and Resource Management Technologies towards Pareto-optimal Wired-wireless Networks*

矢 守 恭 子

Kyoko Yamori

### 要 旨

新世代ネットワークでは、多岐にわたるユーザ要求条件(例えば、省電力、通信速度・持続性、多様なモビリティ)を満足するよう、ユーザ間で資源競合を解決しながら、網資源・サービスを適切に構成し、ユーザが利用しやすい形で提供する仕組みが必要になると考えられる。本稿では、このコンセプトとしてパレート最適なネットワーク制御について述べ、実証実験の為に試作した実験システムの概要を紹介する。

### 1. はじめに

現在の携帯電話のデータ通信サービスは従来の携帯電話の数倍のトラフィック量を発生させるため、3G の携帯電話ネットワークの過負荷が問題になりつつある。この過負荷に対する対策として、データ通信のトラフィックの一部を公衆無線 LAN ネットワークに誘導し、負荷を分散させる方法が考えられる。通信品質に不満のあるユーザをより快適なアクセスポイントに誘導することにより、ユーザの効用を増加させ、かつ負荷分散を図ることができる。筆者のこれまでの研究では、データ通信サービスの品質(スループット)とその品質を得るために移動しても良いと思う距離 WTM (Willingness To Move)の関係を、アンケートにより定量的に明らかにした[1]。本稿では、これらの結果を更に解析し、それらのユーザ行動モデルを用いたデモシステムを構築し、ユーザ誘導の結果、ユーザ全体の効用が増加することを示した。

### 2. オークションを用いたユーザ誘導モデルの提案

無線ネットワークのオフロード制御の一つとして、ユーザにインセンティブを与え、混雑しているアクセスポイントから空いているアクセスポイントに誘導する方法が考えられる。通信品質に不満のあるユーザをより快適なアクセスポイントに誘導することにより、ユーザの効用を増加させ、かつ負荷分散を図ることができる。

本課題では、ネットワーク全体の効率化を図るためにユーザ誘導を目的とするナビゲーションソフトの実装を考える。このアプリケーションは、「おすすめ」のアクセスポイントを一つ提示し、そのポイントにユーザを誘導することを目的とする。「おすすめ」を一つしか提示しない理由は以下の通りで

ある。例えば、移動先のポイントの一つに限定せずに情報を提示した場合、ユーザは通信品質の良いアクセスポイントに殺到する可能性がある。空いているアクセスポイントにユーザの多くが移動すれば、返って輻輳を助長する可能性がある。これを避けるために、特定のアクセスポイントにユーザが集中しないように誘導する方法が必要となる。

推薦させるアクセスポイントは、オークションにより決定する。アクセスポイントを売り手 (Seller)、ユーザを買い手 (Buyer) とする。ユーザは無線端末に搭載されたアプリケーションを用いてアグリゲータ (Aggregator) にアクセスポイント探索の要求を伝える。Aggregator はアクセスポイントの探索要求を生じたユーザから一定の範囲に存在するアクセスポイントに対し、オークション開始の通知を一斉配信する。アクセスポイントは、現在通信中のアクティブな端末数から、新規に端末を受け入れた場合、その端末に対して提供できる品質 (通信速度など) や料金を入札する。入札結果から落札アクセスポイントが決定される。落札されたアクセスポイントは「おすすめ」としてユーザに提示される。

ユーザは提示された品質や料金ならびに移動距離をもとに、自身の利得を最大化するような意思決定を行う。移動にかかるコストと移動先から提供される品質や料金とを比較し、移動先の品質がコストを上回る場合、「おすすめ」のアクセスポイントに移動する。

### 3. ユーザ誘導のためのアプリケーション開発

#### 1) 論理構成

デモシステムでは無線端末、制御端末、アクセスポイントを用意する。無線端末にはターミナルエージェントの機能を実装する。このエージェントには、ユーザの意思決定のための機能が備わっている。制御端末には通信、データ収集、プロジェクトごとの無線端末のデータサーバ機能を実装する。アクセスポイント上での情報収集や制御は、制御端末上で行われる。

#### 2) プラットホーム

デモシステムを構築するためのプラットフォーム調査・選定においては、市販品の民生機器である無線 LAN のアクセスポイントや無線端末 (例えば、スマートフォン) を用い、実験に必要な基本性能を有しているかを確認した。また、実験を行うための改造が可能であるかどうかを検証した。検証のポイントとしては、伝送レートをユーザの任意に変更することができるかどうか、送信電力を任意に設定できるかどうかなど、通常使用しないような項目を調査した。その結果、Buffalo 社のアクセスポイントおよびその組込ソフトである DDWRT をアクセスポイントとして採用した。また、無線端末には Nexus S に Cyanogenmod を搭載したものを端末として、実験プラットフォームに採用することに決定した。Cyanogenmod はオープンソースのオペレーティングシステムである Android を元にしたスマートフォンおよびタブレット向けのファームウェアである。



図1 デモシステムの環境

### 3) アクセスポイントの探索と情報提示

ユーザは無線端末に搭載されたアプリケーションを用いてアグリゲータ (Aggregator) にアクセスポイント探索の要求を伝える。

実験用の試作システムでは Aggregator 機能は制御端末に集約される。制御端末は無線端末から発せられた探索要求を受け取ると、探索要求を発生したユーザから一定の範囲に存在するアクセスポイントに対し、オークション開始の通知を一斉配信する。デモシステムにおいて、アクセスポイントの情報も制御端末が把握している。各アクセスポイントに接続している端末数や、各端末の通信速度は制御端末で監視することが可能である。

ここでは、エンドエンドの品質測定の技術[2]を用いて、測定したアクセスポイントからバックネットの利用可能帯域をアクセスポイントに接続している端末数+1で割った数値を端末一つ当たりの通信速度として考える。つまり、通信速度を品質として入札する。入札された情報は、制御端末で集約され、オークションにより落札者が決定する。

無線端末に落札結果が表示される。制御端末には、落札したアクセスポイントの位置と経路が地図上に示される。また、アクセスポイントまでの距離と通信速度、料金が料金表として示される。下図のように、料金表には現在地の通信速度ならびに料金が示される。ユーザはこれらの情報を元に、自身の利得が最も大きくなる組み合わせを選択する。

|      | 通信速度  | 料金    | 距離  |
|------|-------|-------|-----|
| 現在地  | 1Mbps | 0     | —   |
| おすすめ | 5Mbps | 100 円 | 50m |

図 2 料金表(イメージ)

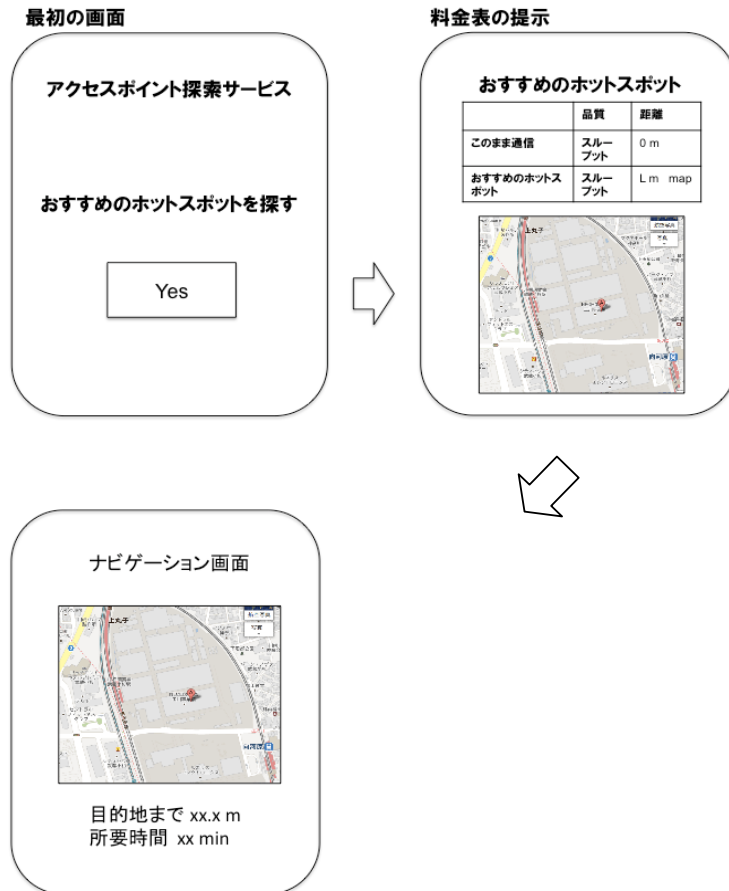


図 3 ユーザ側のナビゲーション画面の遷移

#### 4) 無線端末の設定

デモシステムでは、無線端末ごとに位置とユーザ効用の閾値をユーザの個性として与えている。これらの設定ファイルは、デモの開始時に制御端末に読み込まれ、各端末に紐付けされる。デモでは、ユーザ満足度が閾値以上の場合、ユーザは通信品質に満足しているものとし、ユーザ効用のボタンを緑色として表示している。通信品質が閾値を下回る場合、ユーザは不満を感じる。この

場合、ユーザ効用のボタンは赤色で表示する。端末の画面を図 4 に示す。

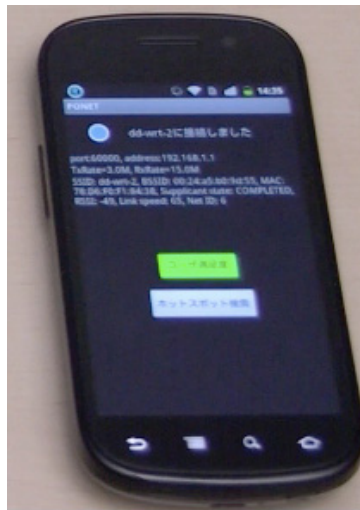


図 4 モバイル端末 (ユーザ満足度を緑で示している)

ユーザの移動可能距離は昨年度の成果で得られた WTM を元に 1km と設定した。また、通信速度に対するユーザ効用関数はロジスティック関数で与えている。ユーザが通信品質に不満を感じる閾値はランダムで与えている。無線端末はアクセスポイントと接続後、通信品質を元にユーザ効用を計算する。また、計算されたユーザ効用の総和である Social welfare も制御端末に示される。制御端末では、ユーザ誘導を行う前と後の Social welfare を比較することができ、ユーザ誘導の効果を Social welfare の変化として示すことが可能である。

#### 4. ユーザ誘導のためのナビゲーションアプリのデモの概要と効果の検証

##### 1) デモの概要

デモの流れを以下に示す。

- ① すべてのシステムの初期化
- ② 環境設定用のファイルの読み込み

エンドエンドの測量

- ③ モニタリング画面の更新
- ④ ターゲットとする無線端末の選択
- ⑤ 無線端末から制御端末に入札要求を送信

## ユーザ行動による入札アルゴリズム

- ⑥ 制御端末からアクセスポイントへの入札開始通知
- ⑦ アクセスポイントから制御端末に入札情報を送信
- ⑧ オークション: 落札アクセスポイントの決定
- ⑨ 無線端末へ落札結果を提示
- ⑩ ユーザの意思決定

意思決定の結果に応じてハンドオーバーを行う

## 2) ユーザ誘導の効果

図5にアクセスポイントとモバイル端末の配置と、そのときの Social welfare を示す。図中の△はアクセスポイントを示している。左側のアクセスポイント(AP1)に接続している端末を■で示している。図5では、AP1 の配下に 7 台のモバイル端末(ユーザ)が接続している。右側のアクセスポイント(AP2)の配下には□が一つしかなく、接続している端末(ユーザ)は1台であることがわかる。

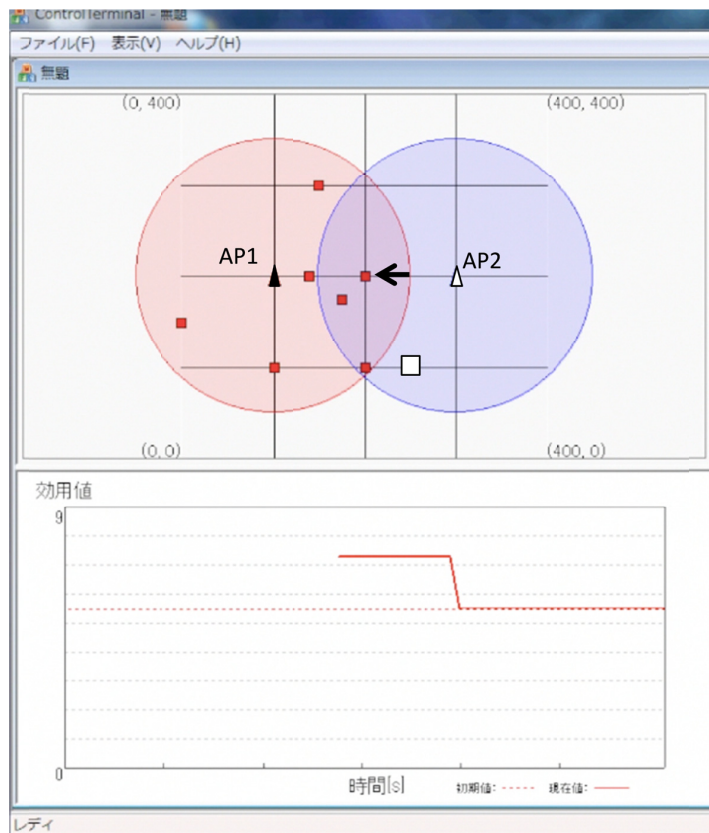


図 5 端末の配置と Social welfare

効用値のグラフは Social welfare を示しており、ユーザ全体の効用の和を示している。これをデモ開始時の初期状態とし、Social welfare 初期値を破線で表すこととする。

AP1 に所属する端末(ユーザ)の中の 1 台が、通信品質に不満を感じると、ホットスポットサービス探索ボタンを押す。本デモでは矢印(←)で示された端末が探索要求を送信する。

探索要求は、コーディネーションサーバである制御端末に向けて送信される。制御端末は探索要求を受けると、ユーザの WTM の範囲にあるアクセスポイントに向けてオークション開始要求をブロードキャストする。デモでは、ユーザの WTM は 1km としているので、AP1 と AP2 がオークション受付の対象となる。

オークション開始の通知を受けると AP はそれぞれのオークションアルゴリズムによって価格を決め、制御端末にその入札金額を通知する。本デモでは、入札金額は通信可能帯域を接続端末数で割った値で与える。つまり、一人当たりの利用可能帯域の上限で入札している。

入札結果を図 6 に示す。

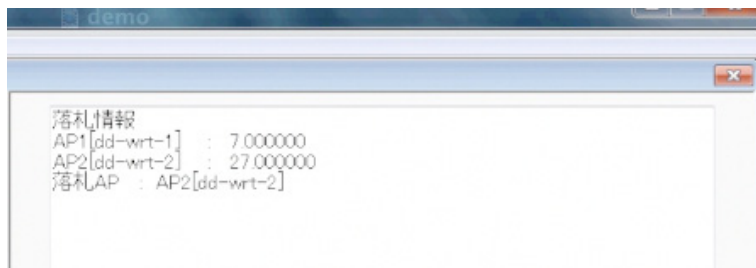


図 6 入札結果

本デモでは、AP2 が入札した値の方が高いため、AP2 が落札者となる。オークションの結果は端末(ユーザ)に送信され、「おすすめ」スポットとして表示される。

端末の表示結果を図 7 に示す。探索要求を出した端末(ユーザ)は、AP2 のカバーエリアにも入っているため、移動距離は 0 となる。また、本デモでは、通信料金も一定として考えている。よって、ユーザの移動コストは 0 となるため、ユーザはアクセスポイントを変更する。

図 8 にアクセスポイント変更後の端末配置と Social welfare の結果を示す。



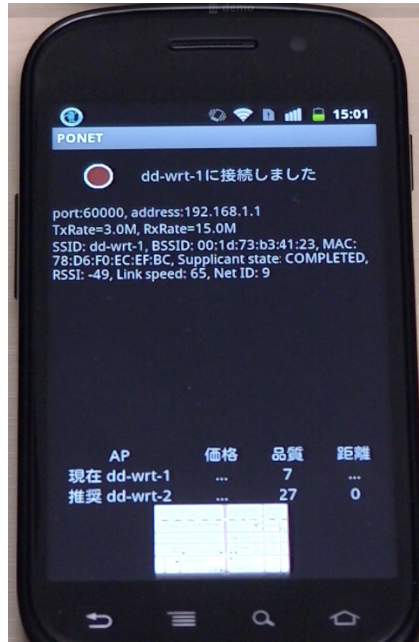


図7 入札結果の表示

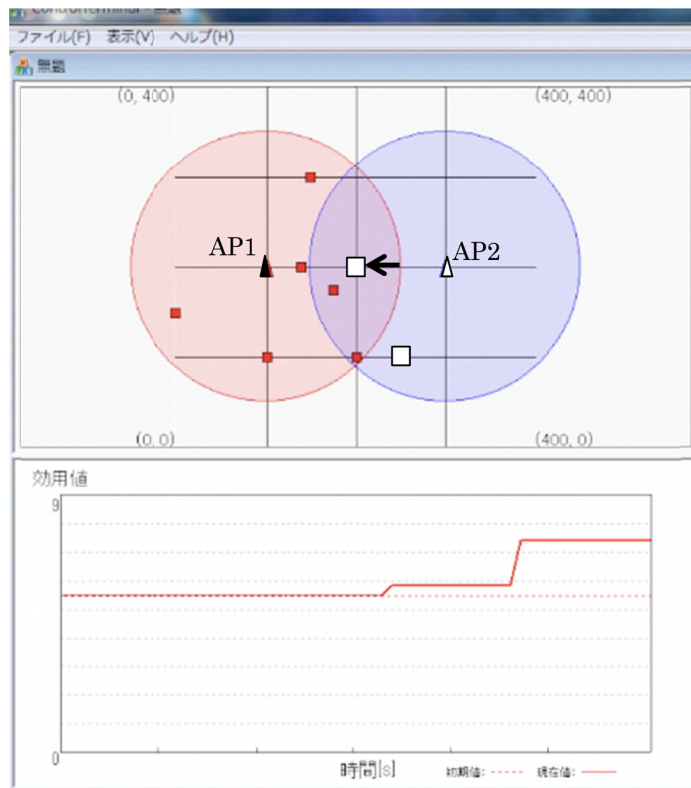


図8 アクセスポイント変更後の端末配置と Social welfare の変化



図 5 と図 8 を比べると、図 5 で矢印で示されていた端末が、■から□に変化している。これによって、AP1 から AP2 に接続が変わったことがわかる。効用値の値は、ユーザがアクセスポイントを変更した結果、初期値(破線)から増加したことがわかる。つまり、提案したナビゲーションアプリを用いることで、Social welfare が増加することが示された。

## 5. むすび

本稿では、無線データ通信サービスにおけるAP選択行動モデルを想定し、ユーザ誘導のためのナビゲーションアプリのデモシステムを作成した。本デモシステムでは、帯域の計測で得られた技術を用い、通信品質の計測を行った結果を利用してユーザに提供できるサービス品質を予測した。その結果、アクセスポイントの混雑度だけでなく、バックボーンの品質を考慮したシステムの評価を行うことができた。また、本デモシステムによって、ユーザを誘導するためのナビゲーションシステムの効果を示すことができた。今後の課題として、より現実的なサービスモデルの提案と、課金システムや料金設定を提案する必要がある。

## 文献

- [1] 矢守恭子, 太田能, 長谷川剛, 新熊亮一, 小口正人, 村瀬勉, パレート最適ネットワーク実現のためのユーザ・資源管理アプリケーションデモシステムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.112, no.414, CQ2012-73, pp.1-4, Jan. 2013.
- [2] 太田能, 長谷川剛, 新熊亮一, 矢守恭子, 小口正人, 村瀬勉, パレート最適ネットワーク実現のためのユーザ・資源管理アプリケーション, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 112, no. 230, IN2012-79, pp. 31-34, 2012 年 10 月.

矢守 恭子 (経営学部経営情報学科准教授)