

## 移動ユーザの利得予測に基づく放送スケジューリング

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科

永野 健治 桧垣 博章

E-mail: {kenji,hig}@higlab.net

モバイルコンピュータが基地局から送信される情報を取得する放送型サービスでは、限られた無線通信帯域、間欠的な通信時間、限られたモバイルコンピュータのリソースを活用し、効果的に情報を獲得できるようにするために、基地局の放送スケジュールを定めなければならない。放送される情報は、取得すると直ちにユーザにメリットをもたらすものに限らず、未来のある時刻にある位置にモバイルコンピュータが存在することによってメリットをもたらすものがある。このメリットを利得とよぶ。この利得は、時刻と位置で定まる利得の分布特性とモバイルコンピュータの移動特性によって定めることができる。本論文では、情報を取得することで将来得る可能性のある利得を見積ることによって放送スケジュールを各基地局ごとに定める手法を提案する。従来の直ちに得られるメリットのみを基礎とした放送スケジュールや、すべての基地局で共通の放送スケジュールを用いる手法に比べ、提案手法ではより高い利得を獲得することが可能となる。

## Broadcast Scheduling based on Gain of Users in Mobile Networks

Kenji Nagano Hiroaki Higaki

{kenji, hig}@higlab.net

Department of Computers and Systems Engineering  
Tokyo Denki University

In a mobile broadcast service in which a mobile computer receives information from a base station, an efficient way for determining a broadcast schedule achieving higher gain from broadcasted information even with limited wireless bandwidth, sporadic communication and limited resources in a mobile computer is required. Some information provide gain to users soon after being received and others in future only when a mobile computer is at a specific location and at a specific instance. We call the gain profit. The profit is characterized by distribution of gain determined by time and location and by mobility of computers. By estimation of achieving profit from received information, each base station determines its own broadcast schedule. This broadcast schedule provides higher profit to mobile computers than conventional ones based on gain achieving just now and commonly applied to all base stations in a mobile network.

### 1 背景と目的

コンピュータ技術とネットワーク技術の発達により、インターネットを活用した情報サービスが広く使用されている。特に、クライアントサーバ型の通信を基礎としたサービス、すなわちユーザインタフェースを持つクライアントコンピュータからサービスの要求をインターネットを介してサーバコンピュータに伝達し、サーバがクライアントに必要な情報を提供したり、演算の結果を返送したりといったサービスの形態が現在の情報サービスの中核をなしている。Web サービスあるいは Web コンピューティングと言われるものがその代表的な存在である。これと対の関係にあるサービス形態のひとつが放送型サービスである。ここでは、情報の送信元であるサーバコンピュータがあらかじめ登録された (あるいは不特定多数の) クライアントコンピュータに対して情報を送信する形態がとられる。この情報の送信は、一般的にはクライアントコンピュータからの要求とは独立のタイミングで行なわれる。放送型サービスにおいては、サーバコンピュータから送信される情報がすべてのクライアントコンピュータ (のユーザ) にとって常に有用な情報であるとは限らない。ある情報が有用であるクライアントコンピュータは、サーバコンピュータから放送される情報を受信するコンピュータの一部である。また、ある情報があるクライアントコンピュータにとってある

時刻では有用な情報であっても、別の時刻では有用ではない場合も考えられる。クライアントコンピュータが有用ではない情報をサーバコンピュータから受信した場合、この情報を配送するためのネットワークトラフィックとこの情報による演算 (画面への表示やディスクストレージへの記憶の処理を含む) のためのコンピューティングはオーバヘッドとなる。本論文では、基地局と無線通信を行なうモバイルコンピュータへの放送サービスを対象として、放送される情報からユーザが得るメリットである利得を指標として無線基地局からの放送スケジュールを決定する手法を提案する。ここでは、利得は現在取得した情報が未来のある時刻にある場所でユーザに与えるメリットとして定義される。この考え方に基づく、放送スケジュールを利得特性 (時刻と位置の関数) とモバイルコンピュータの移動特性 (位置の条件付確率) によって定めることができる。

### 2 関連研究

1章で述べたように、放送型サービスにおいて、クライアントコンピュータにとって有用でない情報をサーバコンピュータからネットワークを通じて配送することは、ネットワークのトラフィック、コンピュータの CPU 時間のオーバヘッドを増加させることになる。そのため、どの情報をどのクライアントコンピュータに配送すること

が有用であるのかを判断する基準が必要となる。ある情報  $I$  をクライアントコンピュータ  $C$  に配送することの価値を  $value(I, C)$  とするとき、 $value(I, C)$  がある閾値  $V_{th}$  よりも大きい場合に配送をスケジュールし、 $V_{th}$  以下であるならば配送を行わない。たとえば、このオーバーヘッドを小さくするために、クライアントコンピュータのユーザがチャンネル等の設定を行なうことによって受信する情報をフィルタリングする方法や、あらかじめサーバコンピュータにクライアントコンピュータにとって有用な情報のカテゴリを登録しておく方法などが考えられている。 $value(I, C)$  は、 $I$  と  $C$  の持つ様々な特性によって決定されるが、一般に、この特性を表すパラメータは多数であり、ユーザの嗜好や趣味といった客観的な評価が容易ではないものも含まれる。そこで、簡易に的確な評価が可能であり、かつ  $value(I, C)$  の評価値への寄与の大きなパラメータを選択することが求められる。

ここで、位置情報サービスという一群の情報サービスを考える。ここでは、クライアントコンピュータの位置を GPS やビーコン等によって取得し、その位置において有用な情報を提供することが目的とされている。情報の提供は、ネットワークを介してサーバコンピュータからなされる場合や、クライアントコンピュータの二次記憶（ハードディスク、CD-ROM、DVD-ROM など）からなされる場合がある。例えば、クライアントコンピュータの位置情報に基づいてその周辺情報（店舗、天気、地図情報）を提供するシステムや携帯電話の画面に仮想空間を提供するシステム [9] が提案されている。これらのシステムでは、情報の価値  $value(I, C)$  がクライアントコンピュータの位置  $location(C)$  と情報に関する位置  $location(I)$  ( $I$  は  $location(I)$  に関する情報である) のみによって定まり、 $value(location(I), location(C))$  が、あらかじめ定められた閾値を越えるものだけがクライアントコンピュータに配送され、演算される。また、論文 [6] では、モバイルコンピュータの移動速度  $velocity(C)$  を考慮している。現在のモバイルコンピュータの移動速度の方向を直径とし、移動速度の大きさに対して単調増加する直径の長さを持つ楕円内に  $location(I)$  が含まれる情報のみが  $V_{th}$  を越える価値を持つ ( $value(location(I), location(C), velocity(C)) > V_{th}$ )。ここでは、カーナビゲーションシステムを対象としている。論文 [3-5, 7, 10] 等も上述の 3 つのパラメータに基づく情報の価値判断を行っていると言える。これを体系的にまとめているのが論文 [1] である。これらはすべて、 $location(C)$  と  $location(I)$  が等しいか極めて近接している場合のみを想定しており、 $value()$  の時間変化についても考慮していない。さらに、これらはすべて  $C$  が  $I$  に常時アクセス可能であることを前提としている。論文 [8] は電車内における広告表示サービスにおいて、広告する情報の選択に上記の 3 つのパラメータを用いる方法を提案したものである。ここでも、情報を表示するクライアントは情報を提供するサーバと常時接続可能であることが前提となっている。

### 3 放送情報からの利得期待値

一般に、放送型サービスでは、放送される情報をモバイルコンピュータが取得する位置および時刻は、モバイルコンピュータが取得した情報から利得を獲得することができる位置および時刻と同一であるとは限らない。基地局とモバイルコンピュータとの間では、間欠的な通

信が行なわれる [2]。基地局から送信される情報をモバイルコンピュータが取得することができるのは、基地局の無線信号到達範囲内に位置するときのみであり、基地局から放送される情報を常時取得することはできない。モバイルコンピュータに利得を与えるすべての情報提供者が自身の基地局を保有するとは限らないし、この情報提供者が提供する情報を特定の基地局のみからしか放送できないということもない (図 1)。また、放送される情

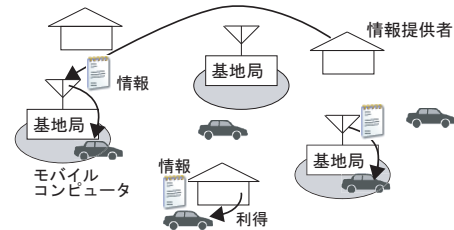


図 1: 間欠的放送サービスアーキテクチャ

報は、取得した時点でのみモバイルコンピュータに利得を与えるものとも限らない。情報を取得したモバイルコンピュータが、将来において利得を獲得することも考えられる。つまり、ある基地局が放送した情報を取得したモバイルコンピュータは、未来のある時刻にある場所に存在することによって、この情報から利得を獲得すると一般化することができる (図 2)。

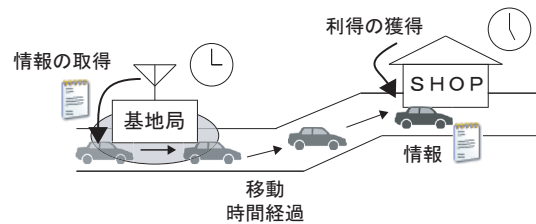


図 2: 情報取得による利得

そこで、ある基地局がある情報のある時刻に放送するときの総利得の期待値について考える。ただし、ここでは以下を仮定する。

[仮定] 放送された情報を取得することによって、モバイルコンピュータの移動特性は変化しない。□

ある情報から獲得できる利得は、時刻とその情報を取得済みのモバイルコンピュータの位置によって決まる。たとえば、ある店舗におけるある商品のタイムサービス（時刻  $t_s \leq t \leq t_e$  においてのみ、特別価格で提供するサービス）の情報を取得済みのモバイルコンピュータは、 $t_s \leq t \leq t_e$  なる時刻  $t$  においてこの店舗に位置するときのみ利得を獲得することができる。 $t_s \leq t \leq t_e$  なる時刻  $t$  にこの店舗の位置に存在しない場合には、この情報から利得を獲得することはできない。また、 $t < t_s$  または  $t_e < t$  なる時刻  $t$  にこの店舗に位置する場合にも、利得を獲得することはできない。したがって、基地局から放送された情報  $I$  を取得したモバイルコンピュータが時刻  $t$  において位置  $x$  にあるときに  $I$  から獲得される利得は、 $I, t, x$  をパラメータとして、 $profit(I, t, x)$  で与えることができる。

ここで、モバイルコンピュータ  $m$  の時刻  $t$  における位置を  $location(m, t)$  とする。また、モバイルコンピュータの移動速度は、時刻と位置によって確率的に定まるものと考えられる。すなわち、時刻  $t$  におけるモバイルコンピュータ  $m$  の移動速度は、 $velocity(t, location(m, t))$  で表わされる。以上により、初期時刻  $t_0$  における  $m$  の位置を  $location(m, t_0)$  とすると、

$$location(m, t) = location(m, t_0) + \int_{t_0}^t velocity(t', location(m, t')) dt'$$

となる。これにより、時刻  $t$  において、モバイルコンピュータ  $m$  が  $x$  に位置する確率は、以下の式で与えられる。

$$P(location(m, t) = x) = P(location(m, t_0) + \int_{t_0}^t velocity(t', location(m, t')) dt' = x)$$

したがって、現在時刻  $t_c$  において、基地局の無線信号到達範囲  $B$  内に位置するモバイルコンピュータ  $m$  が、基地局から放送される情報  $I$  を取得することによって獲得する利得の期待値  $Profit(I, m, t_c)$  は、全空間を  $X$  とするとき、以下の式で与えられる (図 3)。

$$Profit(I, m, t_c) = \int_{t_c}^{\infty} \int_X P(location(m, t_c) \in B \ \& \ location(m, t) = x) \cdot profit(I, t, x) dx dt$$

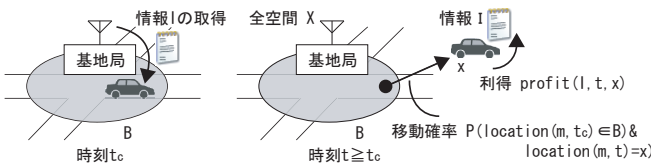


図 3: 利得の期待値

時刻  $t'$  において基地局の無線信号到達範囲  $B$  内で情報  $I$  を取得したモバイルコンピュータの集合を  $M(B, I, t')$  とすると、現在時刻  $t_c$  に基地局が情報  $I$  を  $B$  内に放送することによる総利得の期待値  $TotalProfit(I, B, t_c)$  は次式で与えることができる。

$$TotalProfit(I, B, t_c) = \sum_{m \in M(B, I, t_c)} Profit(I, m, t_c) = \sum_{m \in M(B, I, t_c)} \int_{t_c}^{\infty} \int_X P(location(m, t_c) \in B \ \& \ location(m, t) = x) \cdot profit(I, t, x) dx dt$$

ここで、条件付き確率により、以下の式が成り立つ。

$$P(location(m, t_c) \in B \ \& \ location(m, t) = x) = P(location(m, t_c) \in B) \cdot P(location(m, t) = x \mid location(m, t_c) \in B)$$

したがって、モバイルネットワークを構成するモバイルコンピュータ数を  $|M|$  とすると

$$TotalProfit(I, B, t_c) = \sum_{m \in M(B, I, t_c)} P(location(m, t_c) \in B) \int_{t_c}^{\infty} \int_X P(location(m, t) = x \mid location(m, t_c) \in B) \cdot profit(I, t, x) dx dt$$

となる。ここで、 $m \in M(B, I, t_c)$  と  $location(m, t_c) \in B$  を等価とみなすことによって、

$$\sum_{m \in M(B, I, t_c)} P(location(m, t_c) \in B) = |M| P(location(m, t_c) \in B)$$

となることから、

$$TotalProfit(I, B, t_c) = |M| P(location(m, t_c) \in B) \int_{t_c}^{\infty} \int_X P(location(m, t) = x \mid location(m, t_c) \in B) \cdot profit(I, t, x) dx dt$$

となる。

このように、ある基地局からある情報がある時刻に放送することによってモバイルネットワークを構成するモバイルコンピュータ群が獲得する総利得の期待値は、モバイルコンピュータの分布特性 ( $P(location(m, t) = x)$ )、移動特性 ( $P(location(m, t) = x \mid location(m, t_c) \in B)$ )、基地局の位置 ( $B$ )、放送時刻 ( $t_c$ )、情報の利得特性 ( $profit(I, t, x)$ ) によって決まる。これは、各基地局がたとえ同一時刻に同一の情報を放送する場合でも、それによって、モバイルコンピュータ群が獲得する総利得の期待値は、放送する基地局によって異なることを意味している。同様に、同一の基地局が同一の情報を異なる時刻に放送する場合にも、モバイルコンピュータ群が獲得する総利得の期待値が、放送する時刻によって異なることも意味している。

#### 4 放送スケジューリング

無線信号到達範囲  $B_j$  をもつ各基地局で放送可能な情報群  $\{I_i\}_j$  があるとき、各基地局はどの情報をどの順番に放送するかを決定しなければならない。これが放送スケジューリングである。放送スケジュールの戦略として、モバイルネットワークを構成するすべての移動コンピュータの利得を最大にすることを目標とすることが考えられる。ある情報を放送するときを獲得する利得の期待値は、基地局の位置によって異なることから、基地局ごとに異なるスケジュールを決定することが必要である。

ある基地局の無線信号到達範囲が  $B_j$  であるとき、モバイルコンピュータ  $m$  が、 $B_j$  を通過する時間を  $[ts, te]$  とすると、この間に  $m$  が取得した情報  $I_i \in \{I_i\}_j$  は、放送時間  $[start(I_i), end(I_i)]$  が通過時間に含まれるものである。すなわち、 $m$  が  $B_j$  を通過する時間に取得した情報の集合  $RI(m, B_j, ts, te) \subseteq \{I_i\}_j$  は、 $RI(m, B_j, ts, te) = \{I_i \in \{I_i\}_j \mid [start(I_i), end(I_i)] \subseteq [ts, te]\}$  で与えられる。したがって、この基地局からの放送を受信し、情報を取得することによって、 $m$  が獲得する総利得の期待値は、以下のように求められる。

$$\sum_{RI(m, B_j, ts, te)} Profit(I_i, B_j, t_r)$$

本論文では、定めた放送スケジュールを適用する時間が、モバイルコンピュータの分布特性の時間変化、移動特性の時間変化、取得情報からの利得の時間変化に対して十分短い場合を想定する。すなわち、 $Profit(I, B, t_c)$  の値は、放送スケジュールを適用する期間に含まれる任意の時刻  $t_r$  における値を用いることとする。

$$\begin{aligned}
& Profit(I, B, t_r) \\
&= \int_{t_r}^{\infty} \int_X P(location(m, t_r) \in B \ \& \ location(m, t) = x) \\
&\quad profit(I, t, x) dx dt \\
&= P(location(m, t_r) \in B) \\
&\quad \int_{t_r}^{\infty} \int_X P(location(m, t) = x \mid location(m, t_r) \in B) \\
&\quad profit(I, t, x) dx dt
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{RI(m, B_j, ts, te)} Profit(I_i, B_j, t_r) \\
&= \sum_{RI(m, B_j, ts, te)} P(location(m, t_r) \in B_j) \\
&\quad \int_{t_r}^{\infty} \int_X P(location(m, t) = x \mid location(m, t_r) \in B_j) \\
&\quad profit(I_i, t, x) dx dt \\
&= P(location(m, t_r) \in B_j) \sum_{RI(m, B_j, ts, te)} \\
&\quad \int_{t_r}^{\infty} \int_X P(location(m, t) = x \mid location(m, t_r) \in B_j) \\
&\quad profit(I_i, t, x) dx dt
\end{aligned}$$

ここで、 $P(location(m, t_r) \in B_j)$  は放送スケジュールに依存しない値である。また、基地局で放送可能なすべての情報  $I_i$  について、 $\int_{t_r}^{\infty} \int_X P(location(m, t) = x \mid location(m, t_r) \in B_j) profit(I_i, t, x) dx dt$  を放送スケジュールとは独立に計算することができる。モバイルコンピュータの移動が確率的なものであるとするならば、獲得できる利得の期待値は、放送スケジュールが定めれば、 $m$  が  $B_j$  を通過するのに要する時間  $|te - ts|$  のみによって定まり、個別の  $ts$ 、 $te$  の値に依存しない。以上により、放送スケジュールは以下のアルゴリズムによって定めることができる。

[放送スケジュールリング]

- 1) 無線信号到達範囲  $B_j$  を持つ基地局から放送することができるすべての情報  $I_i \in \{I_i\}_j$  について、 $\epsilon(I_i) = \int_{t_r}^{\infty} \int_X P(location(m, t) = x \mid location(m, t_r) \in B_j) profit(I_i, t, x) dx dt$  を計算する。
- 2) モバイルコンピュータの  $B_j$  の通過時間  $t$  の確率密度関数 (連続分布の場合) または確率関数 (離散分布の場合)  $f(t)$  を求める。
- 3) 情報の集合  $\{I_i\}_j$  のすべての部分集合  $Sub \subseteq \{I_i\}_j$  のすべての要素からなるシーケンス  $Seq$  について、時間  $t$  の間に取得できる情報群に含まれるすべての情報  $I_i$  の  $\epsilon(I_i)$  の総和の平均値  $E(t)$  を以下にしたがって計算する。ただし、部分集合  $Sub$  に含まれるすべての情報の放送時間の和を  $TTime$  とするとき、シーケンス  $Seq$  は周期  $TTime$  で繰り返しているものとする (図 4)。

$$E(t) = 1/TTime \int_0^{TTime} \sum_{\{I_i \mid [start(I_i), end(I_i)] \subseteq [t', t'+t]\}} \epsilon(I_i) dt'$$

得られた  $E(t)$  を用いて、 $\int f(t)E(t)dt$  (連続分布の場合) または  $\sum f(t)E(t)$  (離散分布の場合) を計算する。

- 4) 手順 3) で求められた値が最大となる  $Seq$  が利得を最大にする放送スケジュールである。□

本手法にしたがって、各基地局が利得の期待値を最大とする放送スケジュールを獲得することができる。 $\epsilon(I_i)$  の値は、基地局ごとに異なり、モバイルコンピュータが

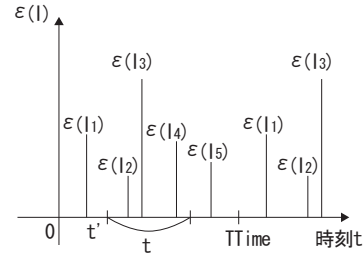


図 4: 放送スケジュールリングの評価

無線信号到達範囲を通過するのに要する時間の分布も基地局ごとに異なることから、各基地局がこれらの条件にしたがった異なる放送スケジュールを生成する。なお、ここでは、すべての可能性のある放送スケジュールについて検証する方法を示した。しかし、放送スケジュールを決定するための諸パラメータによって利得期待値が大きく変化しないことを前提としていることから、システム要件によって定まる周期ごとに再スケジュールすることが必要である。そのためには、実用的な時間で放送スケジュールを決定することが必要である。次章で説明するシミュレーション実験では、いくつかのヒューリスティックによって放送スケジュールの決定を行なっている。

## 5 シミュレーション

前章までで、各基地局が放送する情報を取得することにより、モバイルネットワークを構成するモバイルコンピュータが将来獲得する利得の期待値を大きくするために、モバイルコンピュータの移動特性、取得情報の利得特性から、各基地局がそれぞれに独立に放送スケジュールを決定する手法を提案した。本章では、提案手法の有効性を検証するために、シミュレーション実験を行なった。シミュレーションエリアとシミュレーション条件を図 5 および表 1 に示す。これは、福岡市中央区の道路図の概略である。黒点は交差点、BS1、BS2 はふたつの基地局、SA1 ~ SA7 は情報に対するサービスエリアを表している。各サービスエリア  $SA_i$  は、ふたつの情報

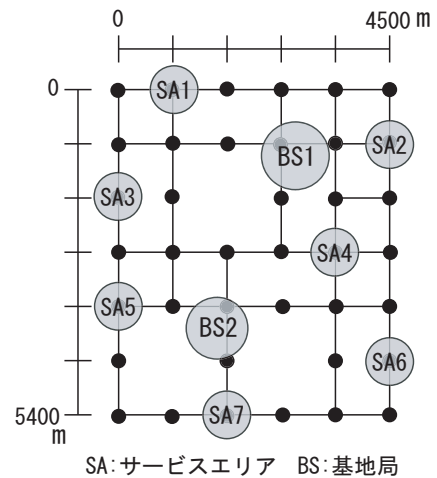


図 5: シミュレーションエリア

表 1: シミュレーション環境

交差点間距離	900m
基地局放送半径	BS1 : 600m
	BS2 : 498m
基地局位置	BS1 : (2970, 1170)
	BS2 : (1530, 3960)
放送時間	8 : 32 ~ 8 : 34
基地局の通信帯域	1.06Mbps
ユーザ移動速度	16.6m/s
サービスエリア半径	400m
シミュレーション時間	8 : 30 ~ 8 : 40
進行方向確率と走行台数	福岡市中央区交通量調査

$I_{i1}$  と  $I_{i2}$  を提供している (表 2)。情報  $I_{ij}$  を BS1 また

表 2: 放送コンテンツ

	情報	位置	開始時刻	終了時刻	サイズ (kbyte)
SA1	$I_{11}$	( 900, 0)	8 : 38	8 : 40	928.4
	$I_{12}$	( 900, 0)	8 : 36	8 : 38	530.5
SA2	$I_{21}$	(4500, 900)	8 : 38	8 : 40	795.8
	$I_{22}$	(4500, 900)	8 : 36	8 : 38	397.9
SA3	$I_{31}$	( 0, 1800)	8 : 38	8 : 40	663.1
	$I_{32}$	( 0, 1800)	8 : 36	8 : 38	397.9
SA4	$I_{41}$	(3600, 2700)	8 : 38	8 : 40	928.4
	$I_{42}$	(3600, 2700)	8 : 36	8 : 38	663.1
SA5	$I_{51}$	( 0, 3600)	8 : 38	8 : 40	530.5
	$I_{52}$	( 0, 3600)	8 : 36	8 : 38	795.8
SA6	$I_{61}$	(4500, 4500)	8 : 38	8 : 40	795.8
	$I_{62}$	(4500, 4500)	8 : 36	8 : 38	663.1
SA7	$I_{61}$	(1800, 5400)	8 : 38	8 : 40	795.8
	$I_{62}$	(1800, 5400)	8 : 36	8 : 38	530.5

は BS2 のいずれかの基地局から取得し、サービス開始時刻  $ts_{ij}$  とサービス終了時刻  $te_{ij}$  との間にサービスエリア  $SA_i$  に位置したモバイルコンピュータが利得 1 を獲得するものとする。なお、表 1 に示すように、各交差点における進行方向選択の確率分布は、福岡市中央区交通量調査 [12] に基づいて、あらかじめ与えられているものとする。

放送スケジュールの決定方法には、従来手法、提案手法とも、それぞれ定める基準に基づいて、すべての情報  $I_{ij}$  を含む情報シーケンスをひとつ作成する。C1~C5 では、このシーケンスをそのまま放送スケジュールとして用いる。一方、P1~P3 では、このシーケンスに含まれる情報をひとつずつ順に追加して作成したシーケンスを放送スケジュールの候補とし、それぞれについて獲得できる利得の期待値をシミュレーション実験し、最大利得を獲得したものを放送スケジュールとした。まず、従来手法として以下の 5 通りを想定した。

- C1: 情報の特性のみ (情報サイズの小さい順) でシーケンスを決定 (BS1 と BS2 で共通)
- C2: SA の位置のみ (BS1 と BS2 からの距離の和の小さい順で同一 SA ではランダム) でシーケンスを決定 (BS1 と BS2 で共通)

- C3: SA の位置のみ (それぞれの BS からの距離の小さい順で同一 SA ではランダム) でシーケンスを決定 (BS1 と BS2 は独立)
- C4: SA の位置 (C2 による) と情報の特性 (C1 による) でシーケンスを決定 (BS1 と BS2 で共通)
- C5: SA の位置 (C3 による) と情報の特性 (C1 による) でシーケンスを決定 (BS1 と BS2 で独立)

一方、提案手法として以下の 3 通りを想定した。これらはいずれも BS1 と BS2 が独立に放送スケジュールを決定する。

- P1: 利得の大きい順 ( $\epsilon(I_{ij})$  の大きい順) にシーケンスを決定
- P2: 単位情報サイズあたりの利得の大きい順 ( $\epsilon(I_{ij})/|I_{ij}|$  の大きい順) にシーケンスを決定
- P3: 情報サイズの小さい順 ( $|I_{ij}|$  の小さい順) にシーケンスを決定

次に、モバイルコンピュータの移動特性、すなわち  $P(location(m, t) = x | location(m, t_r) \in B_j)$  を交通量調査データに基づいて計算する。また、同データから、それぞれの基地局について、その無線信号到達範囲を通過するために必要な時間の確率分布を計算する。本シミュレーションでは、格子状の経路を単一の速さで移動するモバイルコンピュータ群を想定しているため、通過時間の分布は図 6 と図 7 の確率関数に示すように、離散分布となる。

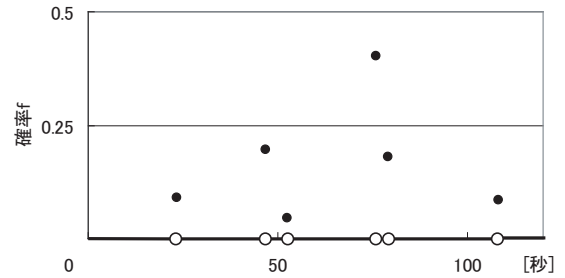


図 6: 通過時間の分布 (BS1)

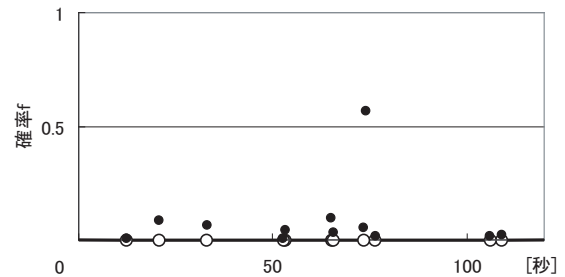


図 7: 通過時間の分布 (BS2)

これを用いて、 $TotalProfit()$  の値を算出する。図 8 と図 9 は、手法 P1 を用いたときの BS1 と BS2 との  $TotalProfit()$  の値をプロットしたものである。ここでは、 $\epsilon(I_{ij})$  の大きい順に情報シーケンスを作成した結果、BS1 では、 $\{I_{51}, I_{61}, I_{31}, I_{11}, I_{21}, I_{41}, I_{71}, I_{12}, I_{32}, I_{32}, I_{42}, I_{52}, I_{62}, I_{72}\}$ 、BS2 では、 $\{I_{71}, I_{61}, I_{21}, I_{51}, I_{41}, I_{72}, I_{31}, I_{11}, I_{52}, I_{42}, I_{12}, I_{22}, I_{32}, I_{62}\}$  という

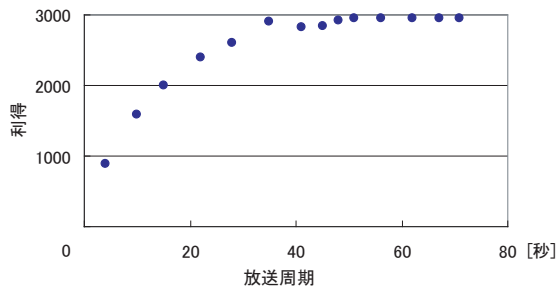


図 8: P1 の場合の利得 (BS1)

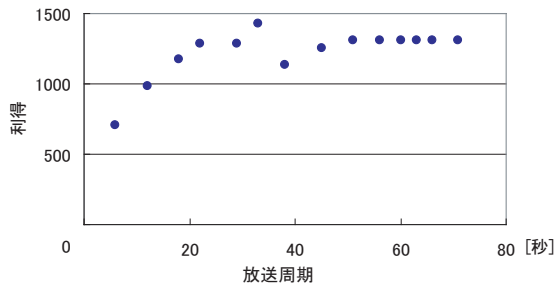


図 9: P1 の場合の利得 (BS2)

シーケンスをそれぞれ用いた。最大利得を与えるシーケンス  $\| I_{51}, I_{61}, I_{31}, I_{11}, I_{21}, I_{41}, I_{71}, I_{12}, I_{32}, I_{22} \|$  と  $\| I_{71}, I_{61}, I_{21}, I_{51}, I_{41}, I_{72} \|$  を放送スケジュールに用いることにより、全体の利得は 4383.8 (2952.7+1431.1) となる。C1~C5 および P1~P3 で得られる利得のシミュレーション結果を表 3 に示す。表 3 より、提案手法であ

表 3: 利得のシミュレーション実験結果

手法	総利得	BS1 の利得	BS2 の利得
C1	2972.9	1914.5	1058.4
C2	3084.9	1987.3	1097.6
C3	2997.3	2350.1	647.2
C4	3342.8	2269.8	1073.0
C5	3418.2	2340.7	1077.5
P1	4383.8	2952.7	1431.1
P2	4275.5	2952.7	1322.8
P3	3864.1	2636.5	1227.6

る将来の利得予測に基づく放送スケジュールを用いることにより、従来手法に比べて高い利得を獲得できることが分かる。C1~C5 の平均値 (3715.8) と P1~P3 の平均値 (4174.4) との比較で 31.4% の利得増、C1~C5 の最大値 (3418.2) と P1~P3 の最大値 (4383.8) との比較で 28.2% の利得増となっている。一方、P1~P3 において用いた放送スケジュールの作成の各ヒューリスティックについては、本シミュレーション実験では P1、P2 が P3 に対して 11~13% 程度利得増であることから、 $\epsilon(I_i)$  の評価をシーケンスの作成に用いる手法が有効であると結論付けることができる。ただし、P1 と P2 および  $\epsilon(I_i)$  を用いた他の手法については、情報群の特性、モバイルコンピュータの移動特性によって有利、不利があると考えられる。これらの特徴付けと使い分けについては、今後のより詳細なシミュレーション実験によって明らかにする必要がある。

## 6 まとめ

本論文では、取得した情報から獲得できる利得を情報を取得した以降の時刻と場所で定めるモデルを提案した。これは、基地局を介した間欠的通信によってモバイルコンピュータが取得した情報が、取得時刻とは異なる時刻、取得場所とは異なる場所で利得を得ることを想定したものである。したがって、情報を放送する価値を評価するより一般的なモデルを提案している。この情報の利得特性に加えて、モバイルコンピュータの移動特性を位置の変化の確率的な分布として獲得し、これらによって各基地局における放送スケジュールを生成する手法を提案した。シミュレーション実験の結果、モバイルコンピュータが将来獲得する利得と移動特性を考慮しない従来手法に比べて、より高い利得を獲得することができることを確認した。今後は、より詳細なシミュレーション実験により、放送スケジュールの作成のヒューリスティックの効果について検証する。

## 参考文献

- [1] Seydim, A.Y., Dunham, M.H. and Kumar, V., "Location Dependent Query Processing," Proc. of the 2nd ACM International Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access (MobiDE 01), ACM Press, New York, pp. 47-53 (2001).
- [2] Harada, S. and Higaki, H., "Wireless Sporadic Communication Protocol for Supporting Clustered-to-Base Satation Communication," Proceeding of the 9th IEEE International Symposium on Computers and Communications, pp. 568-573 (2004).
- [3] 石川, 松村, 白井, 木村, "地上デジタル放送におけるデータサービス," 映像情報メディア学会年次大会, pp. 150-151 (2001).
- [4] 伊藤, 松井, 近藤, 重野, 松下, "情報の地理的關係に基づくメタデータを用いた放送型情報提供手法," 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 7, pp. 1886-1875 (2001).
- [5] 坂田, 倉島, 市村, "通知型の位置関連情報提供サービスの提案と、その実現方式の検討," 情処研報, Vol. 2000, No. 112, pp. 73-80 (2000).
- [6] 佐藤, 多田, 谷口, 山口, "放送・通信連携型移動体向けコンテンツ配信方式," 情処研報, Vol. 2003, No. 67, pp. 47-54 (2003).
- [7] 佐藤, 最所, 福田, "放送により配信される位置依存情報のキャッシュ方式," 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 9, pp. 2434-2444 (2000).
- [8] 篠原, 中島, "携帯電話を利用した電子交通広告実験「渋・ドコフェア」について," 情処研報, Vol. 2002, No. 94, pp. 39-46 (2002).
- [9] 中尾, 小川, 塚本, 西尾, "携帯空間: モバイル計算環境での共有 3 次元仮想空間システム," 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 2, pp. 276-284 (2003).
- [10] 野田, 村中, 五十嵐, 長尾, "メッシュ方式による情報配信システムの開発," 信学技報, ITS2001-82, pp. 185-190 (2002).
- [11] 原田, 桧垣, "移動コンピュータ群の間欠的通信プロトコル," 情処研報, Vol. 2003, No. 96, pp. 53-58 (2003).
- [12] 福岡市都市整備局交通計画課, "福岡市中央区 交通量調査集計 平成 15 年度" (2004).