

モバイルP2P環境におけるユーザの趣向を考慮した情報配信手法の提案

飯田 卓也[†] 石川 佳治^{††}

[†] 名古屋大学大学院情報科学研究科 〒464-8601 名古屋市千種区不老町

^{††} 名古屋大学情報基盤センター 〒464-8601 名古屋市千種区不老町

E-mail: [†]iida@db.itc.nagoya-u.ac.jp, ^{††}ishikawa@itc.nagoya-u.ac.jp

あらまし モバイルユーザに対し、ユーザの好みや移動の状況に応じて適切な情報を提示することは、興味深い研究課題となっている。本研究では、モバイル広告を主な対象と想定して、モバイルP2Pネットワーク技術を基盤としたモバイル環境での適応的な広告提供のための新たなアプローチを提案する。モバイルユーザはまず、興味を持っている情報のカテゴリを、自身の携帯機器などに登録しておく。各モバイル広告には、それぞれに対応して配信対象の領域が存在するものとする。ユーザがある広告の配信対象の領域に入った場合には、そのユーザに対してその広告の配信が行われる。このようなシステムにおいては、広告を希望しないユーザにも広告が送りつけられてしまう。広告の配信を希望する配信対象のユーザがいない状況においても広告を配信し続けることは、モバイルP2Pネットワークの資源を消費することにつながり無駄が多い。そのため、本研究ではモバイルユーザの移動に応じてユーザの趣向にあった広告の配信を開始する、オンデマンド型の実現方式について提案を行う。

キーワード モバイルコンピューティング, P2P ネットワーク, モバイル広告

Information Delivery Methods based on Users' Preferences in Mobile Peer-to-Peer Networks

Takuya IIDA[†] and Yoshiharu ISHIKAWA^{††}

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601

^{††} Information Technology Center, Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601

E-mail: [†]iida@db.itc.nagoya-u.ac.jp, ^{††}ishikawa@itc.nagoya-u.ac.jp

Abstract Today, it is an interesting research topic to provide appropriate advertisements to mobile users considering users' preferences and movement contexts. In this paper, we propose a new approach to online advertisement in a mobile environment based on the mobile P2P network technologies. A mobile user initially selects some topic categories based on her interests then registers the categories in the mobile device. We assume that each advertisement provider (e.g., a shop) has own advertisement area. When a user enters into an advertisement area of a provider, the user will receive the advertisement via the underlying mobile P2P network. In the framework, it is wasteful to perform an advertisement when there are no users who are interesting in the topic as the advertisement process consumes the network resources. Therefore, we provide an on-demand-style architecture which starts an advertisement process based on the movement of a mobile user who is interested in the category of the advertisement.

Key words Mobile computing, P2P networks, mobile advertisements

1. はじめに

モバイルコンピューティング技術の進展に伴い、携帯機器を有する歩行者や、通信機能を有するカーナビなどを搭載する自動車などが、無線ネットワークを介して柔軟に情報を交換することが可能となっている。これにより、これらモバイルユーザに対するネットワークを介した、新たなサービスの創出が期待

されている。モバイル環境では、特に、ユーザの位置の情報を効果的に活用したサービスが考えられる。実際、近年では、テレビやラジオ等の多数の不特定ユーザに対しての広告の代わりに、ユーザが存在する位置を考慮して、地域性の高い広告を配信するための研究開発が進められている。このような広告は対象の地域が限定されていることから、従来のマスメディアを用いるアプローチとは整合せず、コストの面でも魅力的な選択肢

とはならない。一方、Web サーバに対し GPS 等で取得したユーザの位置を継続的に送信し、その位置に応じたコンテンツを配信してもらうというアプローチも考えられる。これは一つのアプローチとして有効であるが、特定の Web サーバで集中的に広告を管理することになり、柔軟性に欠ける面がある。

このような背景に基づき、地域性の高い広告を実現するアプローチが [3] で提案されている。広告者は、携帯端末などを用いて、モバイル P2P ネットワーク上に自らの広告を配信する。配信された広告は、広告者の周辺のある指定された領域内に存在するモバイルユーザの間で共有され、その領域に訪れたモバイルユーザは広告を受信することができる。このような仕組みを実現するため、[3] ではモバイル P2P ネットワーク技術を活用している。

本研究では、このようなアプローチを発展させ、モバイル P2P ネットワーク上でのユーザの趣向を考慮した配信のフレームワークについて検討する。[3] では指定された地域内のすべてのモバイルユーザに広告を配信することを目的としていたが、本研究では、ユーザが自身が興味があるトピックのカテゴリ（例：「書籍」、「育児」）を指定できるものとする。すなわち、ユーザは興味ある広告のジャンルを設定できるものとし、希望するカテゴリの広告のみを受け取ることを想定する。モバイルユーザが広告が対象としている領域に入ったときに広告を受信すること自体は [3] と同様であるが、指定されたカテゴリに応じて広告が選択されるため、よりユーザの要求に合致した限定した情報の配信が可能となる。

このようなシナリオにおいては、興味を持つユーザが比較的小さいカテゴリの広告についてまで、常時配信を行うことはオーバーヘッドが大きい。そのため本研究では、モバイルユーザの移動に伴って広告の配信処理を開始するような、オンデマンド型のモバイル広告配信手法を提案する。出現頻度がまれなカテゴリの広告については、それを受け取るユーザが訪れることを予測して広告の作業を開始することを特徴とする。

なお、以下ではモバイル広告を想定として議論を行うが、枠組み自体は一般性があり、広告に限るものではない。たとえば、インスタントメッセージのような形で地域内の情報共有などを行う場合など、さまざまな場面での活用が考えられる。

本稿の構成は以下ようになる。まず、2. では関連研究について触れる。3. では、基本となる大枠の動機とアイデアについて説明する。4. では、問題を具体的に定式化する。5. では、提案したフレームワークを実現するためのアプローチについて説明する。6. では、シミュレーションを用いた評価実験をおこなう、本手法の有効性を示す。7. ではいくつかの点について議論を行い、最後に 8. で結論づける。

2. 関連研究

現在、モバイル環境上で情報の配信・共有をするシステムは数多く研究されている [3], [5], [6], [8], [10]。これらの研究は、大きく二つに分けることができる。

一つは、システムのバックボーンにインターネットを用いている研究である [6], [10]。[10] では、街中のクチコミ情報を付加

しつつ、地域に根ざした情報を効率よく流通させるシステムを提案している。このシステムでは、ユーザからのクチコミ情報を専用の情報端末に蓄積し、それらを要求のあったユーザの端末へ配信する。このシステムは街の広範囲をカバーすることができるが、複数の情報蓄積端末の維持、管理を必要とするという点で、本研究とは目指すところが異なる。本研究では、比較的狭い範囲に広告エリアを限定し、サーバなどのコストを必要としないモバイル P2P 環境において、情報配信を実現することを目指す。また、インターネットを利用したサービスとして、携帯端末から位置情報や行動履歴などを取得し、それを元に広告を推薦するサービスなどもおこなわれている。しかし、これらのインターネットを用いたシステムでは、大規模なインフラを必要とし、サーバの構築等も必要となるため、導入コストが高く、必ずしも魅力的な選択肢とはならない。

もう一つは、モバイルアドホックネットワーク上で情報を配信・共有を行う研究であり、車車間通信をはじめ、様々な研究がおこなわれている [2] ~ [4], [7], [8]。[8] では、ネットワークをボロノイ領域に動的に分割し、各エリアでイベントを収集、エリア間で共有することにより情報配信システム (Publish/Subscribe システム) を実現している。このシステムでは、ユーザの趣向に合った情報を効率よく送信できるが、ネットワークの構築・維持コストが高いため、配信元付近の限られた地域にのみ情報を配信するという本研究の想定には不向きである。

モバイル環境での広告に関して、Chen ら [3] は、モバイル P2P ネットワーク技術を基盤とするアプローチを提案している。Chen ら [3] は、対象の地域だけでなく広告の対象時間も限定されているような広告のことを即時的広告 (instant ads) と呼んでおり、これをモバイル P2P ネットワーク上で効果的に実現するための手法について提案を行っている。具体例としては、スーパーの担当者が「本日の午後、本スーパーにて を特売!」などの広告を携帯端末などを用いて配信し、それがモバイル P2P ネットワークを通じて、周囲のモバイルユーザ（歩行者や自動車など）に伝播していくことを想定している。つまり、各モバイルユーザは、周囲のモバイルユーザとの通信により、広告を仲介する役割を果たす。この方式は、集中的に情報を管理するサーバを用いないため、軽量の実現が可能であるという利点がある。

モバイル環境における即時的広告では、対象とする地域に限定された広告を行うことから、対象地域の中でのみ広告が配信されることが必須であるが、無駄なりソースの消費を避けるため、逆に対象地域外には広告が配信されることを避けたいという要求がある。また、即時的広告は有効期間が一般に短いことから、有効期間が終われば速やかに配信を終了させたいという要求もある。そのため [3] では、広告の伝播が時間的・空間的な制約を大まかに満たすよう、工夫を行った即時的広告の伝播方式を提案している。

[3] では、時間的・空間的な制約条件を設定するものの、対象となる時間に対象の領域にいたモバイルユーザにできるだけ広告情報を配信するという方針をとっており、広告を配信される側には情報の選択肢はなかった。これに対し本研究では、ユー

ザ側の意図を反映して情報が選択的に配信されるような状況を考え、そのようなサービスを実現するためのシステムの枠組みを提案していることが大きく異なる。

3. 基本的なアイデア

本研究で検討するシステムは、一種の publish/subscribe システムであるとみなすことができる。一般の publish/subscribe システムでは、購読者 (subscriber) は興味を持っている 1 ないし複数のカテゴリを指定し、出版者 (publisher) は、他の情報源などから得られた情報をいったん集積し、各購読者の興味に応じて配信する。本研究ではモバイルユーザが購読者にあたり、興味あるカテゴリをあらかじめプロフィール (profile) として自身のモバイル機器上のサブシステムに登録しておく。モバイルユーザに提供される情報は、対象の領域が限定されるような地域的な情報であるとする。先に述べたようなスーパーの広告などがこれにあたる。ただし [3] とは異なり、提供される情報は、必ずしも時間的な有効期間が制限されるような即時的な情報には限らないものとする。

本研究のフレームワークでは、モバイルユーザが移動を行い、ユーザの現在位置がある広告の配信対象の領域に入ったとき、その広告がユーザが購読を希望するカテゴリに含まれている場合のみ、ユーザの携帯端末に広告が配信され提示されるような機構を実現することを目指す。一つの実現のアプローチは [3] に似たアプローチを採用するものであり、各広告をその対象とする領域において、モバイル P2P ネットワーク上で共有することである。ある広告の対象領域にユーザが入ったとき、その広告がユーザが指定していたカテゴリに対応するならば、その広告が携帯端末上に配信される。実際には、選択処理は携帯端末上のサブシステムが行うことになる。

しかし、このようなアプローチは必ずしも効率的ではないと考えられる。購読を希望するユーザが少ない、まれにしか必要とされない広告に対しても、モバイル P2P ネットワークで常時広告が提供されるよう維持管理する必要があることがその理由である。たとえば、広告のカテゴリ「園芸」については、そのカテゴリがプロフィールに登録されることは非常にまれであるとする。この場合、「園芸」に関する広告を希望するユーザのために、ある園芸店の周辺にモバイル P2P ネットワークを用いて常時広告を設定し、ユーザがその領域に訪れた際に広告を提示するというアプローチは明らかに無駄が多い。

そのため、本研究では、モバイルユーザの移動に応じてオンデマンド的にモバイル広告の配信を開始するアプローチをとる。モバイルユーザが移動を行う際、そのユーザの携帯端末上のサブシステムは、まず、一定時間後の未来の近い時点でのユーザの予測位置を求める。次いで、モバイル P2P ネットワーク上で、予測位置周辺に位置するサーバ上に、ユーザのプロフィール (購読するカテゴリのリスト) およびユーザの到達予測時間・位置などを送信する。その際、位置を宛先として、その位置に対して効率よく情報を送信する地理的ルーティング (geographic routing) [9] を用いるものとする。このような情報を受け取ると、該当するカテゴリの広告を持つ広告者は、自

身の周囲のモバイル P2P ネットワーク上で、ある限定された期間だけ有効であるような広告を設定し配信する。広告の期間はモバイルユーザがその領域に十分到達可能であるように設定され、これにより、そのユーザは広告を受け取ることになる。

このようなアプローチにより、非常にまれな広告要求に対して、ネットワークの資源を効率的に活用することが可能となると考えられる。一方で、ユーザがプロフィールに指定する頻度が高く、頻繁に要求されるカテゴリの広告については、各ユーザからのリクエストが繰返し出されることにより、広告がほぼ継続的に維持されるような形となる。

4. 問題の定式化

4.1 想定と定義

まず、以下のような想定をする。

(1) 各モバイルユーザ u は、自身が興味を持っているカテゴリを 1 ないし複数、あらかじめ選択し、自身の携帯機器に登録する。ユーザ u に対するカテゴリの集合を $profile(u)$ で表し、これをユーザ u に対するプロフィールとも呼ぶ。また、ユーザ u の現在の位置を (x_u, y_u) で表す。

(2) 各広告者 p には、対応するカテゴリ c_p が伴う。簡単のため、複数のカテゴリが対応することは考えない。広告者の位置を (x_p, y_p) で表す。広告者は移動することではなく、ある一定の位置に存在しているものとする。

(3) 広告者 p はその広告の対象領域 $area(p)$ を持つとする。ここでは、その領域を、 (x_p, y_p) を中心とし、半径 R を持つ円領域とし、

$$area(p) = \{(x, y) \mid (x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 \leq R^2\} \quad (1)$$

と定義する。ここは簡単に、広告の対象領域の半径は、どの広告者についても同じであると想定する。

一つの広告者が複数の広告を提供することや、複数のカテゴリに対応していることも一般には考えるが、ここでは単純な想定を行っている。たとえば広告者 p が 2 つのカテゴリに対応するなら、2 つのカテゴリに対して 2 つの広告者が存在するとして扱う。

4.2 問題の定義

上で定義した概念を用いて、本研究で考える問題を具体的に定義する。基本的には、それぞれの広告者 p について、その対象領域 $area(p)$ の範囲にユーザ u が入った場合、すなわち

$$(x_u - x_p)^2 + (y_u - y_p)^2 \leq R^2 \quad (2)$$

を満たし、かつ、広告者のカテゴリがユーザの希望にマッチし、

$$c_p \in profile(u) \quad (3)$$

が成り立つ場合に、 u が p の広告を受け取るようにする。

本研究では、このような選択的広告の配信をモバイル P2P ネットワーク上で実現することを考える。広告者 p の周辺には、十分な密度でモバイルユーザや他の広告者 (以下ではピアと呼ぶ) が多数存在しているものとし、これらがモバイル P2P ネットワークを構成し、メッセージを交換するものとする。広

告者は自身の周辺のピアに広告を送信し、これがさらに周辺のピアに伝播し、少なくとも半径 R の範囲内に他のピアが入ってきた際には、最寄りのピアから広告が転送されるようにする。このアイデアを図 1 に示す。

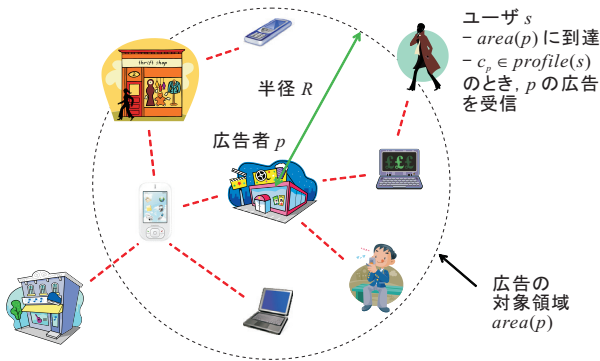


図 1 基本的なアイデア

半径 R の範囲を超えて多くのピアに広告を伝播すれば要求を満たすことは可能だが、モバイル P2P ネットワーク上のピアに多くの負担をかけることになるため、必要以上のピアには余分な負荷をかけないことが求められる。ただし、その場合、式 (2) の条件を厳密に満たすことは難しくなる。そのため、本研究では式 (2) の制約条件は近似的に成り立つべき目標であると考え。一方、式 (3) の条件は常に正確に成り立つべき条件であるものとする。

5. 実現のアプローチ

5.1 手法の概要

先に述べたように、ユーザーが選択することがまれなカテゴリの広告についてまで、常時配信を続けることには無駄が大きい。そこで本研究では、モバイルユーザーの移動に応じてオンデマンド方式で広告の配信処理を開始するアプローチをとる。基本的な考え方は以下ようになる。

(1) モバイルユーザー u が移動を行っているとき、ユーザーの携帯機器上で稼働しているサブシステムは、そのユーザーがある時間 (τ とする) 後にそこにいると予測される予測位置 (x'_u, y'_u) を定期的に推定する。予測位置の推定は何らかの手法で適切に行われるものとし、ここでは具体的には議論しない。単純なアプローチとしては、現在の移動方向・移動速度でそのまま移動を続けるとして推定することが考えられる。

(2) 携帯機器上のサブシステムは、予測位置 (x'_u, y'_u) 付近に存在しているピアに対して、地理的ルーティング (geographic routing) [9] を用いて、リクエストメッセージを送信する。このメッセージは、 (x'_u, y'_u) を中心とし、半径 R の円の領域内に存在する、すべての広告者のピアに対し配信されるものとする。地理的ルーティングの方式については、次の節で詳しく述べる。

そのイメージを図 2 に示す。上の図は、モバイルユーザー u の τ 時間後の予測位置 (x'_u, y'_u) がちょうど広告者 p の対象領域に入ったという状況を表している。ここで、「広告者 p から

(x'_u, y'_u) が距離 R 以内にある」ということは「 (x'_u, y'_u) から広告者 p が距離 R 以内にある」ということと等価であることに注意する。これを示したのが図 2 の下の図である。すなわち、予測位置を中心として半径 R の円を描いたとき、その中に広告者 p が入っている場合に、ユーザー u は広告者 p の広告の対象となりうる。ユーザー u の立場から見ると、予測位置を中心とした半径 R の円内に含まれるすべての広告者に、 τ 時間後に自身が (x'_u, y'_u) に達することを伝えることで、広告配信の準備ができることになる。

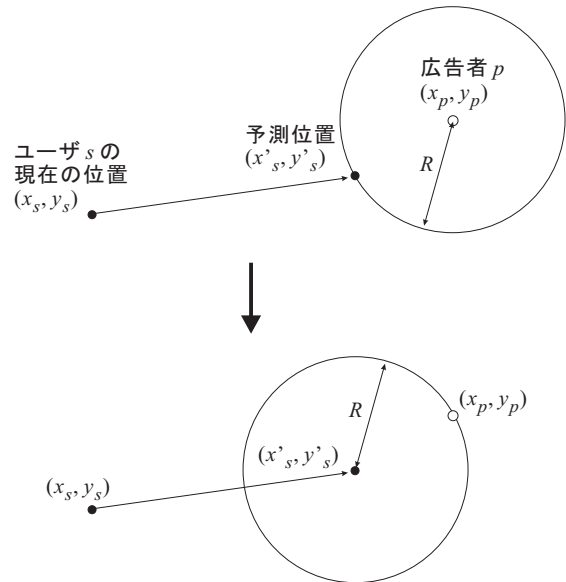


図 2 リクエストメッセージ送信のイメージ

なお、広告者に送信されるリクエストメッセージには、

- $profile(u)$: ユーザー u が興味を持っているカテゴリの集合
- (x'_u, y'_u) : τ の時間の後にユーザー u が位置する推定位置
- ユーザー到着の予測時刻 t_{est} : 現在時刻 t_{now} の τ 時間後。

すなわち $t_{est} = t_{now} + \tau$ が成り立つ。

などの情報が含まれるものとする。

(3) ユーザー u からのリクエストメッセージを受け取った各広告者 p は、広告の配信を開始する。ただし、 $c_p \notin profile(u)$ である場合には、ユーザーが指定したカテゴリとマッチしないため、何も行わない。

$c_p \in profile(u)$ が成り立つ場合、広告者 p は、時区間 $[t_{est} - \frac{D}{2}, t_{est} + \frac{D}{2}]$ の間、 (x_p, y_p) を中心とする半径 R の円の領域において、モバイル P2P ネットワーク上で p の広告情報が維持管理されるよう、広告情報の配信処理を開始する。 D は、モバイルユーザーが広告の受取りが可能であるようにあらかじめ設定される、広告の持続時間である。本稿では、このような広告を実現するための方式を [3] の手法をもとに提案する。詳しくは後述する。

5.2 メッセージの送信

モバイルユーザーからの推定位置に関するメッセージを想定される広告者に届けるために、地理的ルーティング (geographic routing) [9] の考え方をを用いる。基本的な考え方は

(1) 予測位置 (x'_u, y'_u) を目的地として、その周辺のピアにルーティングを指示するメッセージを送信する。

(2) ルーティングメッセージには、 (x'_u, y'_u) を中心とした半径 R の円内のすべてのピアにメッセージを転送することが指示されている。これに従って、円領域内でメッセージの配送が行われる。

となる。

(1) の実現には、いくつかの手法が考えられる [9]。もっとも基本的なものは、メッセージを保持するピア n が次の転送先のピアを選ぶ際、 n の近傍（無線が届く範囲内のピア）の中で最も目的地 (x'_u, y'_u) に近いピアを選んでフォワードするというアプローチである。これは *greedy distance routing* と呼ばれる。別のアプローチとしては、 $e = (x'_u, y'_u)$ としたとき、ピア n の近傍のうち、ベクトル $n\vec{e}$ とベクトル $n\vec{m}$ の間のなす角 $\angle enm$ が最小になるようなピア m を選んでフォワードするというアプローチがある。これは *compass routing* と呼ばれる。本研究では、各ピアは自身の正確な位置を知っており、また、モバイル P2P ネットワークを構成するピアの密度が十分であることを想定している。この場合には、いずれの方式でもメッセージの送信は可能であると考えられる。本稿では、基本的な手法として、*greedy distance routing* を用いるものとする。

(2) の実現の手法としては、次のようなアプローチが存在する [9]。*recursive geographic forwarding* と呼ばれるアプローチでは、与えられた領域（この場合は円）に対し包囲矩形 (bounding box) を求め、これを 4 分割した各矩形の中心に対してメッセージを送信する。これを再帰的に繰り返すことでメッセージを領域内にいきわたらせる。本論文の設定においては、円領域内への配信さえ行えばよいため、円領域外のメッセージの再帰的な送信は行わずともよい。また、他のアプローチとしては *restricted flooding* がある。フラッディング処理を (x'_u, y'_u) から円領域の周辺に向けて行うアプローチである。これらの手法の得失は、ピアの分布状況などに依存する。本稿では、*restricted flooding* を用いる。

5.3 広告の配信

次に広告の配信処理について述べる。

5.3.1 基本的な考え方

広告者 p がモバイルユーザ u からのメッセージを受け取ると、まずプロフィールとの照合を行う。 $c_p \in \text{profile}(u)$ が成り立つ場合、広告者 p は広告の配信処理を開始する。目標は、時間区間 $[t_{\text{est}} - \frac{D}{2}, t_{\text{est}} + \frac{D}{2}]$ の間、 (x_p, y_p) を中心とする半径 R の円の領域において、モバイル P2P ネットワーク上で p の広告情報が維持されるというものである。

本稿では、Chen らのアプローチ [3] をもとにして、このような配信処理を実現するアイデアを示す。広告の伝播においては、ゴシップ (gossip) の考え方を採用することが基本となる。広告の転送を行う際、各ピアはある確率 P で広告をフォワードするか否かを決定する。この確率は、広告の年齢 (age; 広告を最初に配信してからの経過時間) および広告の発行元の場所 (すなわち広告者 p の位置 (x_p, y_p)) からの距離に応じて定まる。この確率の設定法については後述する。*gossiping round* と呼

ばれる一定間隔 Δt ごとに、各ピアはそれが保持する広告を、確率 P に従ってその近傍に転送する。一つのピアが複数の広告をキャッシュ可能であるものとする。すなわち、複数の広告配信処理が同時に複数のピアで実行される。

5.3.2 Opportunistic Gossiping のアイデア

[3] では、ゴシップに基づくアプローチをさらに改良した *opportunistic gossiping* が提案されている。この考え方を簡単に説明する。基本的な考え方は、対象とする領域内のみ密に広告を配信し、その外にはできるだけ配信しないようにするというものである。そのような方針を、先に述べたフォワード処理の確率 P の導出に反映させる。

広告を受け取ったノードが、その広告をフォワードする確率は以下のように定められる。

$$P = \begin{cases} 1 - \alpha^{R_t+1-d} & (\text{if } d \leq R_t) \\ (1 - \alpha)\alpha^{d-R_t} & (\text{if } d > R_t) \end{cases} \quad (4)$$

d は、広告を出した広告者の位置 (x_p, y_p) と、この広告を保持しフォワードを行おうとしているピアの座標の距離を表す。ここで、 R_t はその広告の年齢 (経過時間) が t であるときの広告の半径の大きさである。 R_t については後述するが、固定された値 R を用いるのではなく、動的に変化させる点がポイントである。 α ($0 < \alpha < 1$) は、 P が逓減する速度を調整するパラメータである。この式をみると、ピアが広告の範囲内にある場合 ($d \leq R_t$) には上の式が用いられることがわかる。なお、 $d \leq R_t$ である場合、 d と R_t がほぼ近い値である場合を除き、上の式の値はほぼ 1 になる。逆に、ピアが広告の範囲から出た場合 ($d \geq R_t$)、 d と R_t がほぼ近い値である場合を除き、上の式の値はほぼ 0 になる。

一方で、広告の範囲 R_t については以下のように設定する。

$$R_t = \begin{cases} (1 - \beta^{D-t})R & (\text{if } t \leq D) \\ 0 & (\text{if } t > D) \end{cases} \quad (5)$$

t は広告の配信開始からの経過時間であるため、上の式の $t \leq D$ は、広告の持続時間内の処理に対応する。 β ($0 < \beta < 1$) は逓減パラメータであり、 R_t の逓減の速度を調整する。初期の $t = 0$ の場合には $R_t = R$ であったのが、 $t = D$ 以降は $R_t = 0$ となることがわかる。

各ピアは、gossip round Δt ごとに、自身がキャッシュしている各広告に対してフォワード確率を計算し、それぞれの確率に応じてブロードキャスト処理を選択する。なお、フォワード確率が十分小さくなった広告 (もしくはフォワード確率が上位 k 件に入らない広告) はキャッシュから削除される。古くなった広告を取り除き、有限のキャッシュサイズを有効に活用するために、この処理は不可欠である。

6. シミュレーション実験

本章では、シミュレーションにより本研究における提案手法の評価をおこなう。

6.1 実験環境

ネットワークシミュレータである ns-2 [1] 上に提案手法を実

装し、シミュレーションによる評価実験をおこなった。ns-2 は、離散イベント型のネットワークシミュレータであり、ネットワークの研究分野において広く用いられているシミュレータである。

5000m × 5000m のモバイルエリア内を各ピアが動き回るといふ想定のもと、1800 秒間実験をおこなう。ノード間の通信には、802.11 プロトコルを用い、各ピアの通信範囲は 250m とする。

表 1 定数パラメータ

定数名	値
ピア数	500
リクエスト間隔 Δt_{req}	50 秒
位置推定する時間 τ	300 秒後
広告半径 R	1000 m
広告持続時間 D	50 秒
gossiping round Δt_{ad}	5.0 秒

本手法の有効性を示すため、できる限りシンプルなケースを想定し、性能評価をおこなう。広告者 p を (2500, 2500) に配置し、ユーザ u を (1000, 1500) に配置する。ユーザは、 x 軸と平行方向に秒速 1.5m の速さで移動し、その際、指定した時間間隔 Δt_{req} ごとに τ 後の位置を予測し、リクエストメッセージを送信する。他のピアは秒速 0~15m の速さでランダムに移動しているものとする。

各パラメータを変化させて、トータルメッセージ数、メッセージの配信成功率をそれぞれ測定、評価する。

今回の実験において特に明記しない場合、表 1 に示す値をデフォルト値として用いる。

6.2 評価実験

6.2.1 ピア数の変化

まず、本手法におけるネットワークサイズを変えた場合の性能評価をおこなう。比較対象として、基本的な *opportunistic gossiping* 法を用いたものを共に示す。図 3, 図 4 は、それぞれエリア内のピア数を 100~1000 に変えた際のメッセージ数と、広告の送信成功率を示したグラフである。

図 3 より、ピア数の増加に比例する形でメッセージ数が増加しているのがわかる。これは、メッセージ送信時、および広告配信時の、円領域内のピアへの送信によるものであり、領域内のピアが増加した分メッセージを転送するピアが増加するためである。しかし、全体のメッセージ数としては、*opportunistic gossiping* のみで配信をおこなう場合に比べ、大幅なメッセージ数の削減に成功している。

また、図 4 では、ピア数が 200 以下の場合には、広告配信成功率が低いことがわかる。ピアの密度が低いモバイルネットワーク上においては遠くに離れたピアへ一度のフラッシングでメッセージを送ることが難しく、時間をかけてゴシップにより配信する必要がある。そのため、広告の持続時間をユーザが領域に侵入する時刻を中心に短く限定している本手法の設定では、メッセージが伝わる前に配信が終了してしまったものと思われる。よって、ピアの密度が小さい状況においては、その状

況に合わせて広告持続時間を長くする等の対処をする必要があると考えられる。

6.2.2 推定時間による変化

次に、ユーザが位置を推定する際、何秒先の位置を推定するかを示す時間 τ を変化させ、メッセージ数および、広告配信成功率を測定した。結果を図 5 に示す。

図より、 τ の変化によるメッセージ数や広告の配信成功率への影響は極めて小さいことがわかる。これは、ユーザが Δt_{req} の間隔で位置を推定し、メッセージを送信しているため、 τ を大きくとった場合に遠くの予測位置まで何度かメッセージが届かないことがあったとしても、広告者がエリア外に出てしまう前に次のメッセージが広告者に届くためである。しかし、逆に言えば、メッセージの重複が起こっており、無駄なメッセージが発生していると考えられる。よって、配信成功率を高く保ちつつ、重複を減少させ、送信を最適化する手法が必要となる。

6.2.3 広告持続時間による変化

続いて、ユーザからメッセージを受け取った後に広告者が配信する広告の持続時間 D を変化させたときのメッセージ数と、広告の送信成功率の変化を図 6 に示す。

広告持続時間を増加させると、リクエストメッセージ数は変わらないが、広告の配信メッセージ数が持続時間に比例する形で増加する。また、配信成功率は持続時間が 5 秒以下の場合には著しく低いですが、10 秒以上にすると高い値となる。最適な配信をおこなうため、メッセージ数が少なく、かつ配信成功率を高く維持する D を設定する必要がある。他の実験では、 D の最適値として 50 を選択した。なお、この D の最適値は、ピア数に依存して変化する。ピア数を 200 とした場合の持続時間によるメッセージ数、配信成功率の変化を図 7 に示す。

ピア数が 500 である図 6 では持続時間 10 秒以上で配信成功率が 90% を超えているのに比べ、ピア数が 200 の図 7 では、持続時間 100 秒以下では、配信成功率が低くなっているのがわかる。これは、ピアの密度が低いいため、メッセージが届かず、全体的なメッセージ数が減少しているためであると考えられる。そのため、高い成功率を得るためには、持続時間をある程度長くとり (ピア数 200 の環境では 100 秒以上)、長時間のゴシップをおこなう必要がある。

7. 議論

7.1 広告の持続時間について

本研究と Chen ら [3] の大きな違いは、広告の持続時間 D の設定である。Chen らのアプローチでは、広告はユーザの興味に関係なく、広告者が配信を行った時点でネットワーク上に送信されることを想定していた。その持続時間 D はたとえば 1 時間など、ある程度長いことを想定している。一方、本研究では、極端な場合、モバイルユーザ u が広告領域に入り、広告を受け取った時点でオンデマンドの広告配信処理を終了できる。モバイルユーザから与えられる推定位置 (x'_u, y'_u) が非常に近い未来の推定位置であり、ほぼ確実に予定した時刻にそこを訪れると予想できるなら、 D の値は可能な範囲で小さい値でもかまわない。このような処理は、そのユーザの好みのカテゴリが非

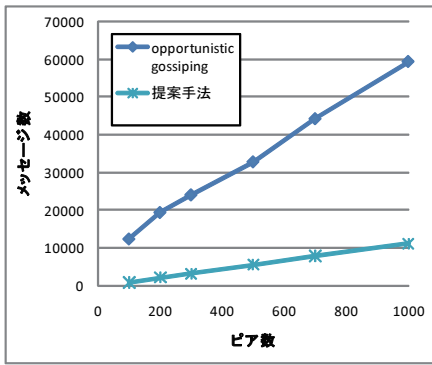


図 3 ピア数によるメッセージ数の変化

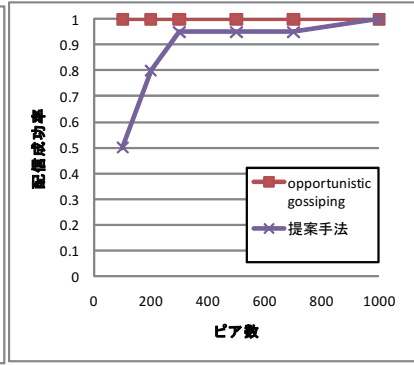


図 4 ピア数による配信成功率の変化

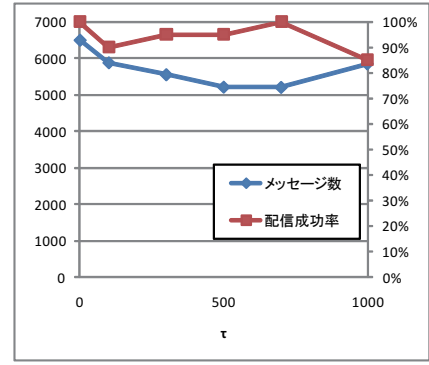


図 5 送信間隔 τ による変化

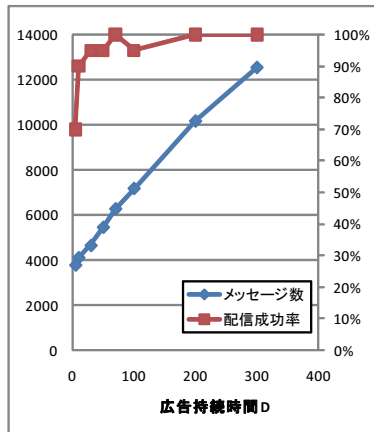


図 6 広告持続時間 D による変化 (ピア数 500)

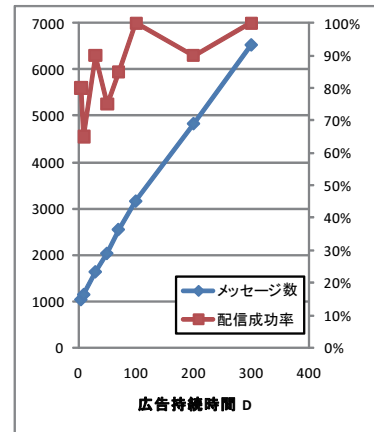


図 7 広告持続時間 D による変化 (ピア数 200)

常にまれなものである場合には、きわめて有効であると考えられる。

一方、多くのユーザが興味を持っているようなカテゴリ（例：コンビニ、電化製品など）の場合、多くのユーザからのメッセージが送られてくることから、広告がほぼ常時配信に近い状態になる可能性がある。このような状況においては、広告の持続時間をより延ばし、ユーザの要求頻度に応じた自然な配信状況を設定することが求められる。たとえば、頻度の高いカテゴリと頻度の低いカテゴリの間では、広告の配信パターンを変化させることが考えられる。この問題に対し [3] では、人気を考慮して広告の配信範囲や持続時間を調整するアプローチをとっている。

このようなアイデアは本研究でも取り入れることができると考えられるが、考え方の上で異なる点がある。本研究では、頻度が低いカテゴリについても、できるだけ確実に広告を届けることを目的としている。単に人気だけ考慮して処理してしまうと、頻度が低いカテゴリに関する広告は多くの場合優先度が低くなり、ピアのキャッシュから削除されてしまう恐れがある。全体としての効率化も必要であるが、頻度が低いマイナーな要求に対しても適切に応えることが重要であると考えられる。このような点を考慮した、広告の領域や持続時間のチューニング方式の開発が必要であると考えられる。

7.2 継続的な処理について

継続的な処理が発生する場合にどのように対応するかも検討

の余地がある。あるモバイルユーザ単体に着目した場合でも、ある時刻において (x'_u, y'_u) へ移動するとメッセージを送信した後、一定時刻の経過の後、今度は (x''_u, y''_u) に移動するとメッセージを送信する、といったように継続的に広告配信要求が出される可能性がある。予測位置は多少異なっているが、ユーザが先と同じであり希望するカテゴリも同じであることから、対象として選択される広告者にはオーバーラップが存在すると思われる。しかし一方で、前回選択された広告者とまったく一致してしまうわけでもない。このような場合に、継続的な処理により発生してしまうオーバーラップの処理をどのように削減し、必要最低限の処理で済ませるかが重要なポイントとなる。

また、これに関連する話題であるが、人気があるカテゴリについては、次から次へとモバイルユーザが訪れるため、すでに広告処理を行っているのに、再び同じカテゴリについて広告の配信要求が出されてしまうことがある。この場合には、配信されている広告に対応するカテゴリが、頻度が高いのか低いのかをモバイルユーザにフィードバックして通知する機構が有効ではないかと考えられる。広告をユーザに配信する際に、広告情報だけでなく、そのカテゴリの要求頻度の情報も含めて送信する。要求頻度が高い（すなわち、人気が高く、持続時間を長くするなどの処理が適用されている）ことがわかると、モバイルユーザはその情報を考慮して、要求を抑えても広告を受け取ることが可能かもしれないと判断することができる。このような点について今後検討を行いたい。

8. まとめと今後の課題

本稿では、P2P モバイルネットワーク環境におけるユーザの趣向を考慮したオンデマンド型の情報配信方式について考察した。本研究では、モバイルユーザの移動予測位置情報をもとに、オンデマンドで広告情報を要求するアプローチをとった。各ユーザの好みが異なり、非常にまれなユーザの好みに対しても広告を適切に配信するための方策について検討した。基本的なアイデアは、ユーザの移動予測位置に対してモバイルユーザがメッセージを送信することで、自身がその予測位置に達した際に広告が配信されるようにセットアップを依頼するという点にある。また、シミュレーションによる実験をおこない、本手法を評価した。今後は、最適化手法の詳細化と評価、より実環境に近い状況による実験なども行いたいと考えている。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費（19300027, 21013023）の助成による。

文 献

- [1] The Network Simulator - ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [2] Murat Caliskan, Daniel Graupner, and Martin Mauve. Decentralized discovery of free parking places. In *VANET '06: Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pp. 30–39, New York, NY, USA, 2006.
- [3] Zaiben Chen, Heng Tao Shen, Quanqing Xu, and Xiaofang Zhou. Instant advertising in mobile peer-to-peer networks. In *ICDE 2009*, pp. 736–747, 2009.
- [4] Paolo Costa, Davide Frey, Matteo Migliavacca, and Luca Mottola. Towards lightweight information dissemination in inter-vehicular networks. In *VANET '06: Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pp. 20–29, New York, NY, USA, 2006.
- [5] Yongqiang Huang and Hector Garcia-Molina. Publish/subscribe in a mobile environment. *Wireless Networks*, Vol. 10, No. 6, pp. 643–652, 2004.
- [6] Jinling Wang, Jiannong Cao, and Jing Li. Supporting mobile clients in publish/subscribe systems. In *ICDCSW '05: Proceedings of the First International Workshop on Mobility in Peer-to-Peer Systems*, pp. 792–798, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.
- [7] Bo Xu, Aris Ouksel, and Ouri Wolfson. Opportunistic resource exchange in inter-vehicle ad-hoc networks. In *Proc. of MDM*, pp. 4–12, 2004.
- [8] Quan Yuan and Jie Wu. Drip: A dynamic voronoi regions-based publish/subscribe protocol in mobile networks. In *INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE*, pp. 2110–2118, 2008.
- [9] Feng Zhao and Leonidas Guibas. *Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach*. Morgan Kaufmann, 2004.
- [10] 北田 高之, 矢倉 健一郎, 加藤 祐介, 高木 由美, 太田 能, 西本 大介, 松井 亮太, 山口 和泰, 桑野 満博. 無線アドホックネットワーク基盤における pub/sub 手法を用いたクチコミ情報流通サービスの構築. 電子情報通信学会 2008 年総合大会講演論文集, 3 月 2008 年.