

WiFi と携帯通信網を併用した動画広告配信手法

花野 博司[†] 村田 佳洋^{††} 柴田 直樹^{†††} 安本 慶一[†] 伊藤 実[†]

[†]奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 ^{††}広島市立大学情報科学研究科

^{†††}滋賀大学情報管理学科

携帯端末に動画広告を配信する場合、ユーザのコンテキストにあった広告を配信すると高い広告効果が期待できる。しかし動画配信に利用できる携帯通信網の帯域幅には制限があるため、多数のユーザがそれぞれ多様なコンテンツを要求すると、それらすべてを満足する配信を行うことは困難となる。本研究では、多数のユーザの多様なコンテンツ要求に対応できる動画広告配信を行うことを目的として、WiFi と携帯通信網を併用した動画広告配信手法を提案する。提案手法では、近傍の端末同士が協力して効率的にダウンロードするためにファイルを断片に分割し、近傍の端末と WiFi 経由で交換することで携帯通信網の基地局以外からのファイルの入手を可能とする。これにより、基地局を経由した通信の頻度を低くできる。多数の端末が存在する時にもうまく動作させるため、サーバによる集中制御は行わず、各端末が自律的・確率的に取るべきアクションを決定するアルゴリズムを提案する。都市環境を模したシミュレーションにより、提案手法が携帯通信網の使用量を約 93% 削減できること、端末密度が高い方がより携帯通信網の使用量を削減できること、端末のモビリティに対してロバストであることを確認した。

Video Ads Dissemination Method through WiFi and Cellular Networks

Hiroshi Hanano[†] Yoshihiro Murata^{††} Naoki Shibata^{†††} Keiichi Yasumoto[†] Minoru Ito[†]

[†]Nara Institute of Science and Technology, ^{††}Hiroshima City University ^{†††}Shiga University

In this paper, we propose a method for video ads dissemination through a hybrid network consisting of WiFi and cellular networks, in order to provide efficient delivery of video ads with preferred content to users according to the users' contexts. In recent years, video download/streaming services for cellular phones have already become popular. Among various video delivery services, a service for disseminating video ads according to the users' contexts is expected to achieve high advertising effects. However, context-aware video ads dissemination will consume large bandwidth since the size of video ad is rather large and the same ad is required at different time from various users. We propose a new video ads dissemination method for mobile terminals which utilizes both WiFi and cellular networks. In the proposed method, a file of video ad is divided into pieces and each node exchanges the pieces with neighbor nodes using WiFi ad hoc communication so that the usage of cellular network is reduced. In order to make the method work effectively for a large number of nodes, we propose an algorithm where mobile nodes autonomously and probabilistically decide their actions without a central control. Through simulations, we confirmed that our method reduces cellular network usage by about 93% compared with a case that all nodes download video ads via cellular network, and works effectively in cases with a large number of nodes and high mobility.

1 はじめに

近年、携帯電話は動画を再生できるようになり、携帯電話でデジタルテレビやダウンロードした動画を見ることが一般的になっている。このような状況で、携帯電話に対する動画広告配信が注目を集めている。高い広告効果を得るためにはユーザのコンテキストにあった動画広告の配信が重要となる。しかし、このような動画広告配信を行うためには、多数のコンテンツをユーザごとに異なる時刻に配信する必要があるが、そのためには携帯通信網の帯域幅は十分とは言えない。そのため、携帯通信網の帯域幅を節約する動画広告配信手法が必要となる。

一方、ノード群が連携して同じファイルをダウンロードすることで各ノードの利用帯域を減らす BitTorrent に基づいた情報交換手法が広く研究されており、モバイルアドホックネットワークへの適用事例も報告されている [6]。しかし、モバイルアドホックネットワークには端末間の通信距離の制約とモビリティにより、広域へのデータの伝達率の面で

問題がある。

本論文では、コンテキストに合わせて多数のユーザに動画広告を配信する手法を提案する。提案手法では、携帯通信網と WiFi のアドホックモードを併用することで高い配信率を維持したまま携帯通信網の使用率を削減する。

多数のユーザが居る都市環境を想定し、携帯通信網と WiFi のアドホックモードの両方を使った通信が可能で携帯通信網(端末)をユーザが持っているとする。また、端末はコンテキスト(ユーザのスケジュールや生活パターン等)に合わせて自動的にいくつかの動画広告を選択し、受信する各広告のデッドラインを設定する。以上の問題に対して、携帯通信網の使用量を削減し、かつデッドラインまでに要求されたコンテンツの受信を行うための手法を提案する。

提案手法では、携帯通信網の使用量を削減するためにファイルを断片に分割し、各端末の各時点でのアクションとして、持っていない断片については携帯通信網からダウンロードする、または、近傍の端末

から WiFi 通信により受信する、持っている断片については近傍のその断片を必要としている端末に対し WiFi 経由で送信する、のいずれかから決定する。高い効率、スケーラビリティ、ロバスト性を得るため、各端末が自らのアクションを決定する方法として集中制御ではなく、シンプルで確率的なアルゴリズムを提案する。

提案手法を評価するために、都市環境を想定したシミュレーション実験を行った。その結果、携帯電話網のみを使用してダウンロードした場合に比べて、携帯電話網の使用量を約 93% 削減できた。また、端末密度が高い方が携帯電話網の使用量を削減できることがわかった。さらに、モビリティを導入してもその影響を受けず、モビリティに対してロバストであることが確認できた。

2 関連研究

コンテキストに合わせて携帯端末に動画広告を配信する簡単な方法として、広告の内容がユーザのコンテキストと合致した時に、各端末が動画広告を直接ダウンロードする方法がある。しかし、この手法は携帯電話網の帯域を大幅に消費し、スケーラビリティの面でも問題がある。

携帯電話網の帯域を節約したり、携帯電話網の有効な帯域を増やすために IEEE802.11 ベースのアドホックネットワークを使った研究が行われている。

Wu らは携帯電話網のセルが混雑する場合にアドホックネットワークを経由して隣接する軽負荷のセルを利用するシステムを提案している [2]。

また、Luo らは第三世代携帯電話網 (1xEV-DO[3]) のセル全体の有効な帯域を増やすために、IEEE802.11b ベースのアドホックネットワークを統合する手法を提案している [4]。この手法では、通信品質の悪い端末へのパケットを通信品質の良い端末に中継させている。

Kang らは第三世代携帯電話網とアドホックネットワークを併用した場合に発生する匿名性の問題 (どの端末がどのコンテンツをダウンロードしたかが他端末から分かる) を解決するための手法を提案している [5]。この手法はユーザがコンテンツをダウンロードする時に余分なオーバーヘッドがかかる問題を抱えている。

Rajagopalan らはアドホックネットワーク上での BitTorrent の仕組みを提案し実装している [6]。モビリティと断片のサイズについてパフォーマンスが評価され、彼らの手法がネットワークの分断にも有効であることが述べられている。しかし、この手法はアドホックネットワークのみを使用したものであるため、現実的にはデータの伝達範囲の広さは限られてしまう。そして、フィールドの広さや端末数の面でスケーラビリティの問題を抱えている。

Nandan らは BitTorrent を元にした広告配信システムを提案している [7, 8, 9]。これは道路脇に組み込まれたアクセスポイントや車々間通信 (VANET)

を使って通信を行う。この手法は移動ノードとして高速移動する車を対象としており、BitTorrent の仕組みをそのまま使用している。

以上述べたように、既存研究は、無線アドホックネットワークのみを対象としているものや、比較的小容量のデータを扱っているものが多いのに対し、提案手法は比較的大容量の動画広告の効率良い配信を目的に、携帯電話網と WiFi 通信を併用することで、携帯電話網の使用量を削減するという点で既存研究と異なる。

3 動画広告配信問題

本章では、動画広告配信問題の仮定を与え、問題を定式化する。

3.1 仮定

3.1.1 アプリケーションモデル

アプリケーションモデルを以下のように仮定する。全端末の集合を $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ とする。各ユーザはそれぞれ 1 台の端末を持つとし、 $u \in U$ によりユーザもしくは端末を表す。

動画広告の集合を $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ とする。各コンテンツ c_i は同一サイズ $Size$ の多数の断片から構成される。端末 u にはユーザ u のコンテキスト (位置、時刻、スケジュールなど) が与えられ、ダウンロードしたいコンテンツの集合と、各コンテンツに対するデッドラインを自動的に決定する。

たとえば、仕事帰りに映画を見に行く予定がある場合、端末は映画のトレーラを自動的に選択し、ユーザが職場を出る時刻をデッドラインに設定する。

端末 u がダウンロードしたいコンテンツを $u.Req = \{u.c_1, u.c_2, \dots\} \subseteq C$ とする。コンテンツ $u.c_i$ のダウンロードのデッドラインを $u.c_i.deadline$ とする。

3.1.2 通信モデル

通信モデルを以下のように仮定する。各端末 u は WiFi (IEEE802.11 アドホックモード等) と携帯電話網 (CDMA 等) を同時に使用できる。

動画配信サービスを行う地理的な領域をサービスエリアと呼ぶ。サービスエリアには全体のサービスエリアをカバーするために十分な数の基地局がある。携帯電話網では HSDPA や CDMA2000 1xEV-DO[3] のような第三世代通信サービスが利用可能である。各端末が使用可能な携帯電話網の帯域を BW_c とし、携帯電話網を通じてパケットを受け取るために基地局に接続できる最大端末数を CAP_c とする。

WiFi の通信可能距離を R_W とする。各端末 u は WiFi デバイスを通じて u を中心とした半径 R_W の円内にパケットをブロードキャストでき、時刻 t に u の電波範囲内にいる端末の集合を $Ngh(u, t)$ とすると、これらの端末は送信端末から遠い端末ほど低い確率でパケットを受取る。

端末が WiFi を通じて通信する時、CSMA/CA が利用できるとする。同じ電波範囲内の WiFi で利用可能な帯域を BW_w とする。同じ電波範囲内のすべての端末は BW_w を共有する。

各端末が携帯電話網を通じてアクセスできる固定通信網上にサーバ s がある。各端末は s に格納された任意のコンテンツの特定の断片を携帯電話網を通じてダウンロードできる。

3.2 問題定義

コンテンツ c_i の j 番目の断片を $c_{i,j}$ とする。ユーザに要求された全てのコンテンツの中で最も遅いデッドラインの時刻を T とする。

要求されたコンテンツをダウンロードするためにデッドラインまでに全てのユーザ端末が使用した携帯電話網の合計を最小化する問題を定式化する。

ユーザ端末 u が断片 ch を時刻 t に携帯電話網からダウンロードする、WiFi でブロードキャストする、WiFi から受信するアクションをそれぞれ $d(u, ch, t)$, $b(u, ch, t)$, $r(u, ch, t)$ とする。

全てのユーザが時刻 T までにとるアクション「ダウンロード」「ブロードキャスト」「受信」の集合をそれぞれ $Cell$, $Bcast$, $Recv$ とする。

まず、各ユーザ u が要求するコンテンツの断片 $u.c_{i,j}$ は携帯電話網を通じてダウンロードするか WiFi を通じて受信しなければならない。この制約条件を式 (1) に示す。

$$\forall u \in U, \forall u.c_i \in u.Req, \forall j, \exists t, \\ d(u, u.c_{i,j}, t) \in Cell \vee r(u, u.c_{i,j}, t) \in Recv \quad (1)$$

集合 $Cell$ と $Recv$ に含まれる各アクションで取得される断片はデッドラインまでに取得が完了しなければならない。また、各ダウンロードは $Size/BW_c$ の時間がかかる。この制約条件を式 (2) に示す。

$$\forall d(u, ch, t) \in Cell, \\ t + Size/BW_c \leq ch.deadline \\ \wedge \forall r(u, ch, t) \in Recv, t \leq ch.deadline \quad (2)$$

次に、端末 u が断片 ch を受信するには、断片 ch は u の電波範囲内のほかの端末にブロードキャストされなければならない。送信端末がパケットの送信を完了する時刻は受信端末がパケットを受信する時刻と同じと仮定する。この制約条件を式 (3) に示す。

$$\forall r(u, ch, t) \in Recv, \exists b(u', ch, t') \in Bcast, \\ t = t' + Size/BW_w \wedge u' \in Ngh(u, t') \quad (3)$$

同じ時刻に携帯電話網を使える端末数は制限される。断片をダウンロードするのにかかる時間は $Size/BW_c$ である。この制約条件を式 (4) に示す。

$$\forall d(u, ch, t) \in Cell, \\ |\{u' \mid d(u', ch', t') \in Cell, u \neq u', \\ |t - t'| \leq Size/BW_c\}| \leq CAP_c \quad (4)$$

端末が断片をブロードキャストするには、端末はその断片を集合 $Cell$ または $Recv$ に属するいずれか

のアクションで入手していなければならない。この制約条件を式 (6) に示す。

$$\forall b(u, ch, t) \in Bcast \\ (\exists d(u, ch, t') \in Cell, t' + Size/W_c < t \\ \vee \exists r(u, ch, t'') \in Recv, t'' < t) \quad (5)$$

WiFi の無線範囲では、同時には一つの端末しかブロードキャストを行うことが出来ない。従って以下の制約が成り立つ。

$$\forall b(u, ch, t) \in Bcast, \\ \neg \exists b(u', ch', t') \in Bcast, \\ u \neq u' \wedge |t - t'| < Size/BW_w \quad (6)$$

上記の制約を満たし、かつ携帯電話網の使用率を最小化する様なアクションの集合 $Cell$, $Bcast$, $Recv$ を求めることが本問題の目的である。対象問題の目的関数を式 (7) で示す。

$$\text{minimize } |Cell| \\ \text{subject to (1) - (6)} \quad (7)$$

ノード間の隣接関係を常に把握できる場合、上記の問題は既存の Theorem Prover を用いて解くことができる。しかし、実環境では移動する端末の隣接関係をすべて知ることは難しく、また Theorem Prover による集中制御方式はノード数に対するスケラビリティの点で問題がある。そこで、次章では上記の問題を解くためのヒューリスティックな分散アルゴリズムを提案する。

4 動画広告配信プロトコル

本章では、前章で定義した問題を解くための基本方針を示し、提案する動画広告配信プロトコルを詳述する。

4.1 基本方針

提案手法では以下の 3 つの基本方針を採用する。

- (1) 全ての端末に動画広告の伝送を公平に行わせるために、各コンテンツを同じサイズの多数の断片に分割する。
- (2) 携帯電話網の使用率を最小化するために、端末同士で WiFi を通じて断片を交換する。
- (3) 端末はローカルの情報だけを使って、「ダウンロード」「ブロードキャスト」「受信」のアクションを自律的に決定する。

2 つの近傍端末が携帯電話網を使って同じ断片をダウンロードすることは携帯電話網の使用率の面で効率的ではない。このような状況を避けるために、近傍 (例えば 1 ホップ圏内) の需要を把握し、断片をダウンロードし、その断片を近傍に流通させる。

次の 2 つのフェーズから成るプロトコルを提案する。(i) 需要情報交換フェーズでは WiFi の電波範囲内の端末は既に所有している断片と将来ダウンロードしたい情報を交換する。(ii) アクション決定フェーズでは各端末はアクション (携帯電話網から断片をダウンロードするか、既に所有している断

片をブロードキャストするか、他の端末によってブロードキャストされた断片を受信するか)を決定し、実行する。

4.2 動画広告配信プロトコル

需要情報交換フェーズ

端末がアクションを決定するためには、需要情報と所有情報が必要である。各端末 u は u の需要情報と所有情報を他の端末に知らせるために、図 1 に示すハローメッセージを定期的にブロードキャストする。

各ハローメッセージは送信端末の需要情報と所有情報から成り、それらはコンテンツの ID と断片を既に持っているかを示すビット列で表現される。

各端末はハローメッセージを受信すると近傍表を作成、管理する。このテーブルは端末がハローメッセージを受信する度に更新される。

各端末は近傍表を検査することで近傍で誰も持っていない断片を知ることができる。



図 1: ハローメッセージ

送信端末 ID						
n_1	A, C		a_1		a_2	...
n_2	B, D	b_1	b_2			...
n_i	A, D	a_1	a_2			...

図 2: 近傍表

アクション決定フェーズ

このフェーズでは、各ユーザのアクションを決定する。一つの端末において WiFi と携帯電話網は同時に利用可能であるため、別々にアクションが決定されることに注意が必要である。

WiFi の電波範囲内で断片 ch を望んでいる端末数を $N_w(ch)$ とする。携帯電話網を使って断片 ch をダウンロードする重要度を式 (8) で定義する。

$$w_c(s) = \frac{1}{N_w(s)} \quad (8)$$

重要度は端末がこのアクションを行うことがどの程度重要かを示している。

他の端末が断片を欲しがっている場合、各端末は断片を共有するためにブロードキャストする。複数の端末が同じ時間に同じ断片をブロードキャストしないようにするために、各端末によるブロードキャストの確率をコントロールする。

断片 ch を既に所有している端末の数を $N_h(c)$ とする。端末が WiFi を使って断片 ch をブロードキャストする重要度を式 (9) で定義する。

$$w_b(s) = \frac{1}{N_h(s)} \quad (9)$$

各アクションにおいて、各端末はどの断片をダウンロードするかまたはブロードキャストするかを決定しなければならない。その決定法としてルーレット選択を採用する。ルーレット選択では、重要度 w_i を用いて端末が断片 ch を選択する確率 p_{ch} を式 (10) で定義する。

$$p_{ch} = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^N w_k} \quad (10)$$

各フェーズの流れ

需要情報交換フェーズとアクション決定フェーズは並行して動作する。

需要情報交換フェーズでは、WiFi でハローメッセージが送られていれば受信する。送られておらず自端末が WiFi を使用していなければ、最後にハローメッセージを送信した時刻と現在時刻を比較し、一定時間以上経過していればハローメッセージを送信する。ハローメッセージを受信した場合、近傍表を更新する。

アクション決定フェーズでは、WiFi で断片が送られていれば受信する。送られておらず自端末が WiFi を使用していなければ、確率 β で断片をブロードキャストする。 β は衝突回避係数である。また、自端末が携帯電話網を使用していなければ携帯電話網を使用して断片をダウンロードする。それぞれの断片を選択するかは式 (9), (10) で求めた重みに従ってルーレット選択で決定する。近傍端末と WiFi 帯域を共用するため、各端末はアクションを行わない事も確率的に選択する。

5 実験

制約を満たして動画広告のダウンロードを行う場合に携帯電話網の使用量をどの程度抑えられるかを評価するために、都市環境を想定したシミュレーションを行い提案手法の評価を行った。

5.1 シミュレーションの設定

実験には独自に開発した 1 ミリ秒単位でイベントをシミュレーションできるネットワークシミュレータで行った。シミュレーション時刻の 1 秒ごとに、携帯電話網を使用してダウンロードした断片の割合の平均を計測し、シミュレーション終了時に全端末が要求する全断片の取得にかかった時間を記録した。

携帯電話網の使用率 cr を、ダウンロードした断片数 N_d と受信コンテンツの全断片数 N_s の比を用いて式 (11) で定義する。

$$cr = \frac{N_d}{N_s} \times 100 \quad (11)$$

コンテンツ数は 4 種類で、各コンテンツは 1.5MB とした。1 つのコンテンツを 1000 個の断片に分け、1 つの断片のサイズは 1.5KB とした。端末は 500 台で、それぞれランダムに 2 つのコンテンツを選択しシミュレーションスタート時にダウンロードを開始

表 1: WiFi に関するパラメータ

衝突回避係数 (β)	0.0005~0.005(0.0005 刻み)
ハローメッセージ送信間隔 (h)	5, 10, 30, 60 秒
フィールド	500, 1000m 四方
モビリティ	静止, ランダムウェイポイント (4km/h)

した。デッドラインは全てシミュレーション開始から 30 分とした。

携帯電話の帯域制限をシミュレーションするために、基地局は最大 64 台までの端末が同時に接続できるという制限を設けた。以下のように携帯電話網の帯域を 1.2Mbps に設定し、各断片のダウンロードには 10 ミリ秒かかるとした。

$$\frac{1000}{10} \times 1.5KB \times 8bit = 1.2Mbps \quad (12)$$

WiFi の電波範囲は 200m とし、WiFi によるパケットの伝送成功率に伸上分布 [10] を用いた。送信者と受信者間の距離 d が $139m (= CR)$ 以下の時の伝送成功率 P_R を式 (13) で定義し、 d が CR より遠い時は式 (14) で定義する。図 3 に確率分布を示す。

$$P_R = e^{-3\left(\frac{4d}{CR}\right)^2} \left(1 + 3\left(\frac{4d}{CR}\right)^2 + \frac{9}{2}\left(\frac{4d}{CR}\right)^4\right) \quad (13)$$

$$P_R = e^{-3\gamma\left(\frac{4d}{CR}\right)^2} \left(1 + 3\gamma\left(\frac{4d}{CR}\right)^2 + \frac{9}{2}\gamma^2\left(\frac{4d}{CR}\right)^4\right) \quad (14)$$

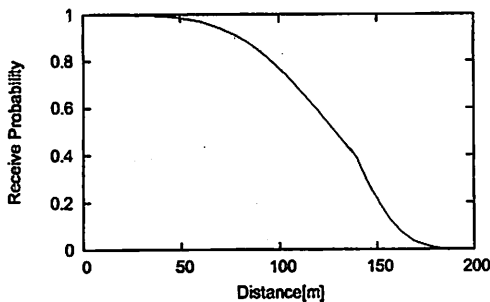


図 3: 距離に対するパケット伝送成功率

シミュレーション中では、WiFi のアドホックモードでのブロードキャストには 7 ミリ秒かかり、式 (15) に示すように帯域を 1.7Mbps と仮定した。これは、ネットワークシミュレータ QualNet[11] の IEEE 802.11 のパラメータを元に決定した。

$$\frac{1000}{7} \times 1.5KB \times 8bit \cong 1.7Mbps \quad (15)$$

WiFi では MAC 層で CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) が使用でき、キャリア検出や衝突回避が自動的に行われるものとする。ただし、それでも衝突回避ができない場合やネットワークの公平利用のために 4 章で述べた衝突回避係数を用いる。WiFi に関するその他のパラメータは表 1 の通りである。

5.2 実験結果

携帯電話網のみを使用した場合と WiFi のアドホックモードを併用した場合の比較実験を行った。

携帯電話網のみを使用した場合、全端末のダウンロード完了までに約 155 秒かかった。WiFi のアドホックモードを併用するとダウンロードには約 10 分かかったが、パラメータの調整によって携帯電話網の使用率を約 7% に抑えられた。以降、各パラメータを用いた場合の比較結果について詳しく述べる。

衝突回避係数とハローメッセージ送信間隔 500m 四方のフィールドにおいて衝突回避係数 β とハローメッセージ送信間隔 h を変えた場合の携帯電話網使用率と全端末がダウンロード完了にかかった時間をそれぞれ図 4 と 5 に示す。

衝突回避係数 β を小さくしていくと、携帯電話網使用率はゆるやかに減少する。これはパケット衝突の頻度が減り、断片とハローメッセージの伝送成功率が改善するためである。また、ハローメッセージの送信頻度を上げることで携帯電話網の使用率は大きく減少し、最小で約 7% に抑えられた。これは頻繁に近傍端末の断片所有状況を把握でき、重複したダウンロードを削減できたためと考えられる。

衝突回避係数 β を 0.001~0.0025 程度に設定した場合、ダウンロード完了時間を短く抑えられた。これは β を大きくしすぎると多数の衝突が発生し、 β を小さくしすぎると WiFi で交換されるパケットが少なくなったためと考えられる。一方ハローメッセージ送信の頻度を抑えると、全端末がダウンロードを完了するまでの時間が短くなった。これは多数の断片が携帯電話網からダウンロードされたためと考えられる。

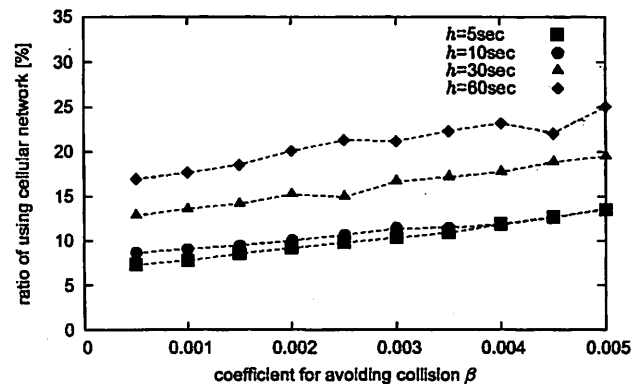


図 4: 500m 四方のフィールドにおける携帯電話網使用率 (端末静止状態)

フィールド面積 図 6 に 500m 四方と 1000m 四方における携帯電話網使用率の比較結果を示す。フィールドが小さい時は使用率が低くなり、フィールドが広いとデッドラインまでに端末がダウンロードを完了できない場合があった。これは端末密度が高い方が、ハローメッセージや断片の受信ができる機会が増えたためと考えられる。

モビリティ 端末のモビリティを導入し、500m 四方のフィールドにおける携帯電話網使用率とダウン

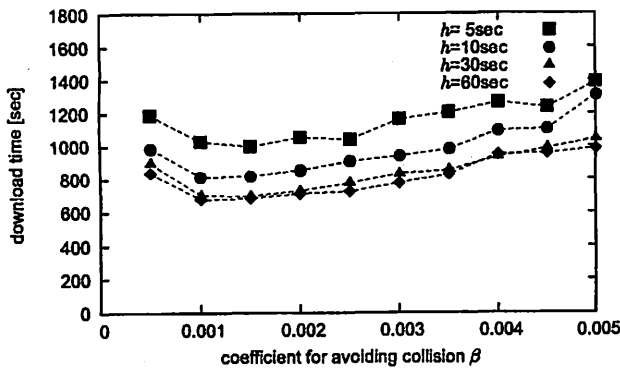


図 5: 500m 四方のフィールドにおけるダウンロード完了時間 (端末静止状態)

ロード完了時間の推移を計測した。その結果を図 7 と図 8 に示す。これら 2 つの場合で大きな差異は見られなかった。これは端末 u が 1 ホップの情報のみを使用するためであり、 u の電波範囲内から他の端末が離れていく事も u のアクション決定に大きな影響を与えない。このため、提案手法はノードのモビリティに対してロバストであると言える。

6 おわりに

本論文では、コンテンツに対して様々な好みを持った多数のユーザに対する動画広告配信手法を提案した。提案手法の目的は携帯電話の使用量の削減であり、携帯電話網と WiFi のアドホックモードを併用する点に特色がある。

また、提案手法をシミュレーションにより評価した。その結果、提案手法によって携帯電話網使用量を約 93% 削減できた。

今後の課題は、ユーザの行動モデルやコンテキストをより現実的な条件で提案手法を評価することである。また、提案手法の効率を改善するために WiFi 通信をマルチホップにすることも計画している。

参考文献

- [1] BitTorrent: <http://www.bittorrent.com/>
- [2] H. Wu, C. Qiao, S. De, and O. Tonguz: "Integrated Cellular and Ad Hoc Relaying Systems:iCAR," Proc. of IEEE International Conference on Communications (ICC) 2001, (2001)
- [3] 3GPP2, C.S0024, "cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification"
- [4] H. Luo, R. Ramjee, P. Sinha, L. Li. and S. Lu: "UCAN: A Unified Cellular and Ad-Hoc Network Architecture," Proc. of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking, pp. 353-367, (2003)
- [5] S. Kang, M. W. Mutka and L. Xiao: "Anonymous Content Sharing in Ad Hoc Networks," Proc. of Third IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom2005), (2005)
- [6] S. Rajagopalan and C.-C. Shen: "A Cross-layer Decentralized BitTorrent for Mobile Ad hoc Networks," Proc. of the 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networks and Services (MOBIQUITOUS 2006), CD-ROM, (2006)
- [7] A. Nandan, S. Das, B. Zhou, G. Pau and M. Gerla: "AdTorrent: Digital Billboards for Vehicular Networks," Proc. of The First International Workshop on Vehicle-to-Vehicle Communications

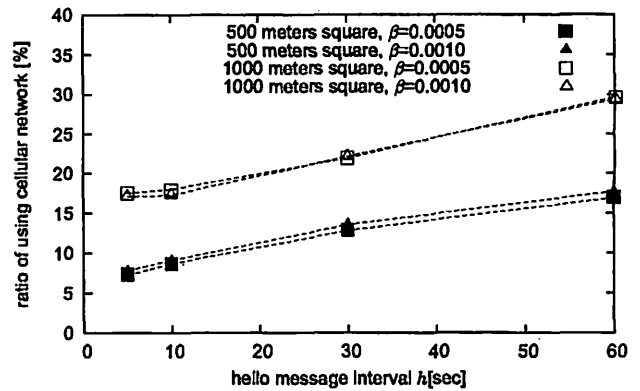


図 6: フィールド面積変化に対する携帯電話網使用率 (端末静止状態)

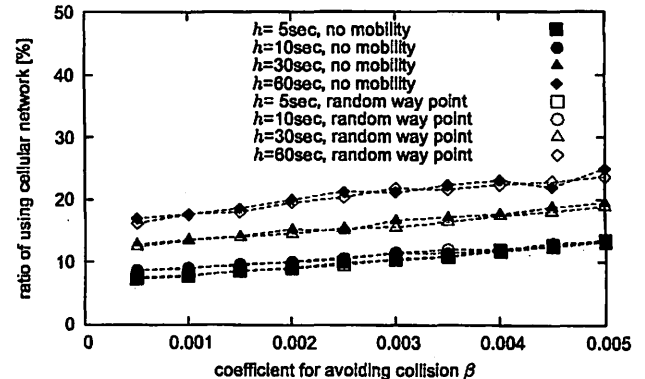


図 7: モビリティに対する携帯電話網使用率

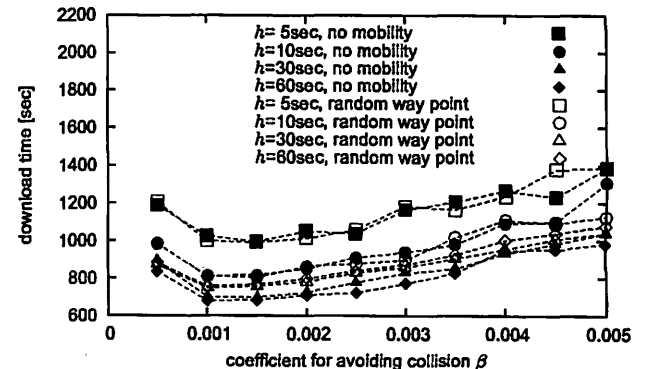


図 8: モビリティに対するダウンロード完了時間

(V2VCOM2005), (2005)

- [8] A. Nandan, S. Tewari, S. Das, M. Gerla and L. Kleinrock: "AdTorrent: Delivering Location Cognizant Advertisements to Car Networks," Proc. of The Third Annual Conference on Wireless On demand Network Systems and Services (WONS2006), (2006)
- [9] A. Nandan, S. Tewari and L. Kleinrock: "Modeling Epidemic Query Dissemination in AdTorrent Network," Proc. of The 2nd IEEE International Workshop on Networking Issues in Multimedia Entertainment (NIME2006)
- [10] M. Killat, F. Schmidt-Eisenlohr, H. Hartenstein, C. Rössel, P. Vortish, S. Assenmacher and F. Busch: "Enabling Efficient and Accurate Large-Scale Simulations of VANETs for Vehicular Traffic Management," Proc. of the 4th ACM Int'l workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET2007), pp. 29-38, (2007)
- [11] Scalable Network Technologies: <http://www.qualnet.com/>