

データの優先度と配送期限を考慮したDTN経路制御手法の提案

石丸 泰大^{†1} 孫 伊 藤 為 華^{†1}
安 本 慶 一^{†1} 実^{†1}

本稿では、DTNにおけるユーザ満足度を考慮したコンテンツ配送手法を提案する。提案手法では、観光地などの対象エリア内を移動するユーザ間のロコミ情報の交換をDTNで実現する。対象エリアには情報BOXと呼ばれるデータ収集・配信サーバが複数設置されており、ユーザは情報BOXへのクエリ（検索データを受け取り、地点・満足度を含む）の送付、情報BOXからのデータの受信のみが行える。また、各情報BOX付近にいるユーザが、次に別の情報BOXを訪れる確率と所要時間が与えられているとする。この時、ユーザ満足度の総和をできるだけ大きくするクエリ/データの経路制御手法を提案する。提案手法では、情報BOX間のユーザの移動確率に応じてデータの複製数を調整する。配送期限に合わないデータを途中で廃棄するなどの方法により、効率的なデータ配送を実現する。このように高い満足度を達成し、ユーザ満足度を最大化する。満足度の最大化を目標として、観光地周辺の観光環境を想定したシミュレーションを実施し、満足度を行った結果、提案手法が他の手法と比較してより満足度の高いデータ配送を実現することを確認した。

Efficient DTN Routing through InfoBoxes Based on Data Priority and Deadline

YASUHIRO ISHIMARU,^{†1} WEIHUA SUN,^{†1}
KEIICHI YASUMOTO^{†1} and MINORU ITO ^{†1}

In this paper, we propose a DTN-based content delivery method taking into account user's satisfaction. As an application, we suppose a DTN-based system where users in sightseeing area can exchange various sightseeing information on each spot through DTN. We suppose that multiple servers called "InfoBoxes" that collect/disseminate data from/to user terminals are deployed at sightseeing spots in the target area. Communication is only allowed between each user terminal and each InfoBox. We suppose that each user terminal sends a query with the destination spot and the satisfaction degree to an InfoBox so that the terminal receives the sightseeing information from the InfoBox on the specified spot when it reaches there. We also assume that for any pair of two spots, probability that a user at a spot moves to the other spot is given.

Under these assumptions, we propose a method for routing queries/responses so that the total sum of user satisfaction degrees is maximized. Depending on the probability of user movement between two spots, the proposed method appropriately adjusts the number of data replicas copied to user terminals. In addition, the method discards the data which cannot meet the delivery deadline for efficient bandwidth utilization. Through simulations supposing the sightseeing area around Nara Park, we confirmed that the proposed method achieves better user satisfaction than other conventional methods.

1. はじめに

モバイルアドホックネットワーク (MANET) では、端末のモビリティおよび、不均一なノード密度分布により、ネットワークがどこどこで切断し、非連結な部分ネットワーク群に分割される場合がある。このような環境において、メッセージの転送を端末によるキャリアアワードフォワード方式で行うことでメッセージの到達率を向上する方法が提案されている。キャリアアワードフォワードを用いるネットワークは切断/遅延耐性ネットワーク (DTN, Disruption/Delay Tolerant Network) と呼ばれる⁴⁾。

DTN 技術はこれまで、宇宙空間における衛星間通信や、砂漠のような過疎地域における集落間通信に有効と考えられてきた。近年、携帯電話には Bluetooth が標準装備され、携帯電話同士のみにならず、パソコンとの連携なども行うことができるようになった。DTN 技術を用いることによって、携帯電話とノート PC だけで情報検索と流通のプラットフォームを構築することが可能と考えられる。DTN 技術の標準化を研究する専門グループである IRTF DTNRG³⁾ の活動とその関連研究により、これまでにいくつかのキャリアアワードフォワードを用いた経路制御手法が提案されてきた。Epidemic routing⁷⁾ は、移動中に出会ったノードに、確率的に複製を配信するという、もっとも基本的な DTN ルーティング手法である。他にも、コンタクトオラクル (いつどのノードとコンタクトするかという情報) を利用してコンタクト待ち時間が最小になるパスの選択を行う MED⁵⁾ や、過去のコンタクト履歴情報を収集してコンタクト待ち時間を予測する MEED⁶⁾ という手法が提案されている。その他にもノードのモビリティを利用してトポロジを予測する手法⁸⁾ など、DTN を対象とした経路制御手法が多数提案されている。これらの既存手法は、いずれも遅延時間を小さくしデータ到達率を高めることを目標としている。

本研究は、図 1 のような、ユーザが Bluetooth 通信可能な携帯電話やノート PC を所持し、観光地を歩きながら観光スポットなどに関するロコミ情報などを共有するシステムを通信インフラなしに実現することを目的とする。観光地の各スポットには情報 BOX というコンテンツ収集サーバが設置されているものとし、情報 BOX には、観光者や管理団体によるスポット周辺のロコミ投稿やイベント情報などが登録される。また、情報 BOX は Bluetooth によりユーザ端末とデータの送受信が可能であり、ユーザ端末間のデータ交換は行わないものとする。また、各情報 BOX 付近にいるユーザが、次に別の情報 BOX を訪れ

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Nara Institute of Science and Technology

る確率と所要時間が与えられているとすると、本稿では、観光者が、現在観光しているスポットから、“今後訪れる予定の観光スポットの写真や動画などの情報が欲しい”という情報リクエストを出し、指定した場所に着くまでにそのコンテンツを受信することを想定する。想定する環境において、頻繁にリクエストが発行された場合、全てのデータを期限までに配送することは不可能である可能性が高い。そのような場合、個々のデータを配送する際のロードパフォーマンスを考慮し、システム全体のコンテンツの重要度(満足度)を最大化することが望まれる。以上より、本稿では、配信するコンテンツの重要度(満足度)と配送期限(デッドライン)の属性を持たせ、デッドラインまでに配信されるコンテンツのユーザ満足度の総和をできるだけ大きくする経路制御手法を提案する。本研究では、(i)人の移動する確率を利用することで複製数を小さくし、帯域の消費を抑える; (ii)ユーザ満足度と配送期限を考慮する;の2点を要求事項とする。

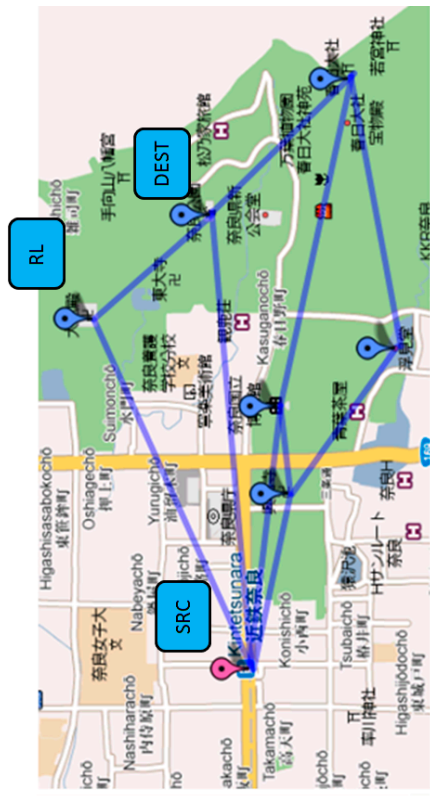


図1 想定環境

提案手法では、データ到達率を向上させるために、送信データの複製を作る。その際、情報BOX内のユーザ移動確率を用いて、宛先にデータを配送するのに、適切な数のデータの複製数を計算することで上記要求(i)に対処する。情報BOXに保存されているデータをユーザ端末に複製しても、デッドラインまでに届く見込みがないと判断すれば、該当するデータを廃棄する。このようにして潜在的に無駄なメッセージ数を減らし、他のデータの配送率を向上させる。さらに、情報BOXにおいて、満足度が高く、デッドラインの短いものを優先してユーザ端末に複製することで上記要求(ii)に対処する。

提案手法の有効性を評価するために、奈良公園周辺を想定したシミュレーション実験を行った。その結果、リクエストされたデータ数が多量である場合、ネットワークの負荷が上がり、データを送信する際の取捨選択が必要になる。その場合、提案方式が他の方式(FIFO、満足度のみを考慮、デッドラインのみを考慮)より高いユーザ満足度を達成することを確認

した。

2. 関連研究

近年、DTNに関する研究が盛んに行われている。DTN技術の標準化を研究する専門グループであるIRTF DTNRGの活動により、これまでにいくつかの経路制御手法が提案されてきた。通信可能な全ノードにデータを配信するフラディンクと異なり、移動中に出たノードに確率的にデータを複製するEpidemic routing⁷⁾はDTNにおける基本的な手法であり、複製する確率に応じて高い到達率を得られるが、バッファ容量や通信帯域を無駄に消費し、スケーラビリティの面で問題があると考えられている⁸⁾。そのため帯域やバッファを節約し、人や車のモビリティを効果的に利用して情報を配信する様々な研究が行われている。

Jainら⁵⁾の研究では、通信の断絶のパターンが既知のものとし、遅延を最小にする経路制御問題の定式化を行っており、幾つかの基本的なルーティングアルゴリズムの提案が行われている。Yongら⁹⁾は、符号化したメッセージを $k \times r$ 個のブロックに分割し(このブロックの合計サイズは、元のメッセージの r 倍になる)、 k 個のブロックが宛先に到達すれば、元のメッセージが復元されるような符号化を既存のルーティング手法に導入することを提案している(k は定数、 r は複製因子:replication factor)。この研究により、一定のオーバーヘッドを保ちつつ、遅延時間を抑えることができることを明らかにしている。Banerjeeら¹⁾は送信の機会(コンタクト)が多ければDTNの性能が改善されることを考え、ThrowBoxという情報を蓄積する固定ノードを作成した。固定ノードがシステム内に複数存在すれば、コンタクトの回数が増加する。ThrowBoxによりコンタクトの回数や遅延、電力消費量を改善する仕組みを提案し、UMassDieselNetと呼ばれるバスを利用したテストベッドを用いて実験を行い、その効果を確認している。Xuwenら¹⁰⁾はノートルダム大学で収集したデータセットを元に、Epidemic routingを用いてデータを共有するより高い到達率を得ることはできなかった。しかし過去の文献⁷⁾にあるような高い到達率を得ることはできなかった。以上述べたように、到達率を高めるためにさまざまな工夫や実験が行われている。しかし、現実には可能な通信帯域を考えると、要求されたデータを一度のコンタクト時間内に送信しきれない場合も存在する。重要なデータを優先的に受信するために、データの重みに応じた優先制御が必要であるが、既存研究はデータの緊急性や重要度などは考慮されていない。また、想定環境や想定アプリケーションも、あまり具体的なものは考えられていない。本研究では観光地でのユーザ間口コミ情報交換を目的に、デッドラインや満足度を考慮したデータ配送を行い、コストパフォーマンスを重視したデータ配送アルゴリズムを提案する。

3. 前提条件

本章では、提案手法を実現するための前提条件となる諸仮定について述べる。本稿で用いられる用語の定義を表1にまとめる。

提案手法では、ユーザは携帯通信端末を持ち、各観光スポットに設置されている情報BOXと無線通信によりデータ交換を行うものとする。以下で携帯通信端末および情報BOXに関する仮定を述べる。

3.1 携帯通信端末に対する仮定

各ノードはユーザが所持する携帯電話、PDAのような携帯通信端末であると仮定する。

表 1 用語の定義

用語	記号	意味
Source	SRC	リクエストの送信地点
Destination	DEST	リクエストの送信先、宛先情報源
Receiving Location	RL	宛先情報源から送られるリブレイ (コンテナ) の受信地点
Deadline	Deadline	DEST のコンテンツを受け取るまでの配達期限
満足度	Satis	ユーザが送信要求 (リクエストコンテンツ) に対して付与する満足度
移動確率	pMove(x, y)	観光スポット x に滞在している人が次の観光スポット y に移動する確率
コストパフォーマンス期待値	Ecp	送信要求のコストパフォーマンスの期待値 (満足度/パケット)

携帯通信端末は、下記の機能を持っている。
プログラム処理能力: 提案手法を実装したプログラムを処理する能力。
デバイス ID: 各端末はユニークな ID を持つ。この ID だけで端末を特定できる。
電子地図: 指定した 2 点間の歩行経路およびその距離の出力機能を持つ。
バッファ: データ送受信メモリバッファ。移動中に情報 BOX から送信されるデータを全て保存できる程度に大きい。

通信機能: Bluetooth による通信ができる。

3.2 情報 BOX に対する仮定

各観光スポットにデータの蓄積と送受信機能を有するサーバが一台ずつ設置されており、これを**情報 BOX**と呼ぶ。情報 BOX はその付近を往来するノードと Bluetooth で通信ができ、リクエストやコンテンツ情報をデータとした双方向通信が行えると仮定する。隣接する観光スポットは Bluetooth の電波到達距離より離れており、情報 BOX 間の通信はできないものとする。また、各情報 BOX におけるリクエストとコンテンツの送信順序は、すべてその情報 BOX でスケジューリングされる。情報 BOX として、パケット動作可能なノード PC などを使用することを想定する。

3.3 ノードの移動モデル

本節では、実際のユーザーの移動特徴を模倣したノードの移動モデルを定義する。

表 3 観光スポット間の移動確率の例

観光スポット	Box ID	Average stay time (minutes)	Neighboring Box ID	Moving probability
近鉄奈良駅	1	60	2, 3, 4, 6	1/6, 1/3, 1/3, 1/6
興福寺	2	60	1, 4, 5	3/4, 0, 1/4
東大寺	3	60	1, 6	1/3, 2/3
奈良国立博物館	4	60	1, 2, 7	1/3, 1/3, 1/3
浮見堂	5	60	2, 7	2/3, 1/3
奈良公園	6	60	1, 3, 7	1/4, 1/4, 1/2
春日大社	7	60	4, 5, 6	1/4, 1/2, 1/4

3.3.1 ノードの移動経路 (ノードのみが知っている情報)

各ユーザーは観光地に到着するまでに観光スケジュールを決めており、計画したとおりに行動すると仮定する。また、各観光スポットでの滞在時間は計画したスケジュールによって決められているとする。上記に基づいて、ユーザーの経路は、表 2、図 2 に示すような一定数の予め決まったルートのとれかとする。また、表 3 に示すように、各観光スポットにおいてあらかじめ設定された時間滞在するものとする。ただし、各ノードの移動予定経路や滞在時間に関する情報は、他のノードや情報 BOX は知ることができないとする。

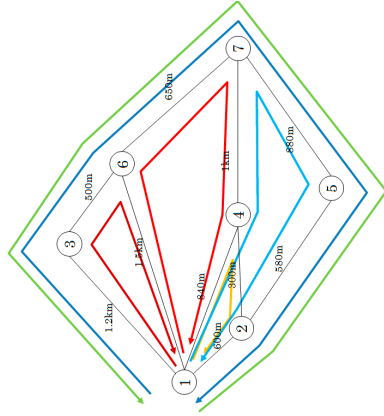


図 2 グラフ表現された地図

表 2 経路の種類

経路
1 → 3 → 6 → 7 → 5 → 2 → 1
1 → 2 → 5 → 7 → 6 → 3 → 1
1 → 4 → 2 → 1
1 → 4 → 7 → 5 → 2 → 1
1 → 6 → 7 → 4 → 1
1 → 3 → 6 → 1

3.3.2 観光スポット間の移動確率と移動時間 (情報 BOX のみが知っている情報)

各観光スポットはユーザーの移動予定経路を知らないが、各ユーザーが隣接観光スポットに移動する確率を統計的に把握していると仮定する。BOX 間の移動確率の例を表 3 に示す。

4. 提案手法

4.1 手法概要

提案手法では図 1 に示すような環境で、ノードが送信地点 SRC から、リソース所在地である宛先情報源 DEST に向けてコンテンツを要求するリクエストを送信し、リクエストに記述された情報を受け取り地点 RL に到達するまでに、受信点 RL の情報 BOX が DEST の情報 BOX からコンテンツを受け取るようなシステムを実現する。ユーザー間のデータ取得の公平性を実現するため、各ユーザーに、一定のポイントを配布する。各ユーザーはリクエストを出す際、そのリクエストに対しポイントの一部を付与し、予定した受信地点に到達したときに、要求コンテンツが得られた場合、付与したポイントに相当する満足度が得られるとする。提案手法の目標は、システム全体で達成するユーザー満足度の総和をなるべく大きくすることである。

目標を達成するために、提案手法では、各リクエストについて、満足度とデータサイズ (複製されるリクエストとコンテンツも含む) によるコストパフォーマンスを算出し、コストパフォーマンスの良いリクエストを優先的に配信する。デッドラインまでに配信されないコンテンツに対するリクエストはまったく満足度が得られないため、各情報 BOX はリクエストを送信する前に、リブレイコンテンツが得られるまでの時間を見積もり、そのようなリクエストは配信せずに破棄する。

以下の節で提案手法を詳しく説明する。

4.2 提案手法と動作例

提案手法の適用例として、奈良公園付近における観光者の口コミ情報収集アプリケーション

ンを挙げる(図1)。ノードは近鉄奈良駅から東大寺を目指して出発する際に、“東大寺大仏殿に滞在している間に、奈良公園に関する情報を受信したい”というリクエストを送信する。リクエストフォーマットは表4の形式に従う。上記シチュエーションで生成されるリクエストメッセージの内容は以下の通りである。

表4 リクエストフォーマット

SRC	DEST	RL	Deadline	Satis	DataSize	Payload
-----	------	----	----------	-------	----------	---------

- SRC(送信地点): 近鉄奈良駅
- DEST(宛先情報源): 奈良公園
- RL(受信地点): 東大寺大仏殿
- Deadline(デッドライン): SRC から RL まで移動する時間、および RL での滞在時間との和
- Satis: リクエストとリプライさいされるコンテンツに対する満足度(与えられたポイントの一部)
- DataSize: Payload を含むメッセージ全体のサイズ
- Payload: 問い合わせ内容などを記述

4.2.1 ノードの動作

ノードの通信可能な距離に情報 BOX があれば、リクエストメッセージは自動的に情報 BOX に転送される。情報 BOX がなければ、ノードが次の情報 BOX と通信可能な範囲に進入するまで自身の端末に保持する。

4.2.2 情報 BOX の動作

情報 BOX はノードからリクエストを受信したとき、リクエストに記載されている満足度とデータサイズに基づき、そのリクエストを叫ぶ際に必要な複製数 u (4.5 節参照) を計算し、コストパフォーマンスとして、データパケットあたりの満足度を求める。コストパフォーマンス上位のリクエストを優先的に配送するスケジュールを決定する。情報 BOX は配送スケジュール上位のリクエストを順次配送する前に、そのリクエストが送信されてからリプライコンテンツを受信するまでの時間 t (交信時間と呼ぶ) を見積もり、配送期限を超過する見込みの場合には、配送せずに破棄する。なお、交信時間の見積もり方法に因しては4.3.2 節で詳述する。スケジュール上位のリクエストが配送期限に間に合わないリクエストでなければ、その情報 BOX から出発する u 個のノードにコピーされる。

4.3 交信時間の見積もり

表5 時間の種類

時間の種類	値
SRC から DEST への移動に必要な時間	α
DEST から RL への移動に必要な時間	β
メッセージのデッドライン	deadline
リクエストしたノードが RL に行くまでの時間	γ

4.3.1 デッドラインの計算
各リクエストのデッドラインは、ノードがそのリクエストを生成した時点から、受信地点

RL までの移動時間および途中で立ち寄る観光スポットでの滞在時間の合計となる。各情報 BOX 間の移動時間や観光スポットでの平均滞在時間は仮定より予め与えられているため、デッドラインは容易に計算できる。ノードがリクエストを作成する際、受信地点 RL を指定すれば、携帯通信端末は現在地点 SRC と受信地点 RL 間の最短経路の通過時間および途中で立ち寄るスポットでの平均滞在時間から自動的に計算し(表5の γ)、これをデッドラインとしてリクエストに入力する。

4.3.2 交信時間の見積もり

リクエストが SRC から DEST へ配送するのに必要な時間(表5の α)は、別のユーザにデータをキャリーアランドフォワードしてもらおうので、最短では最短経路通過時間となる。同じくコンテンツの DEST から RL への移動にかかる時間(表5の β)も求められる。交信時間 $t = \alpha + \beta$ とした時、 $Deadline \geq t$ が成り立つ必要がある。

交信時間 t が $Deadline$ よりも長いと予測される場合、そのリクエストは配送期限に間に合わないリクエストとなり、破棄される。

4.4 複製数の計算

3章の仮定より、情報 BOX は近辺のユーザについてその移動先を確率でしか分らない。そのため、リクエスト・コンテンツの到達率を高めるために、送信するデータの複製数を増やす。しかし、むやみに複製数を増やせば、ネットワークの負荷を高め、送信できるリクエストやコンテンツ数が減少してしまう。そこで、コストパフォーマンスの最も良いデータ複製数の求め方を以下で提案する。

情報 BOX BOX1 に隣接ノードの集合おおよび移動確率が与えられている場合、これらに基づき、ある隣接情報 BOX BOX2 への期待到達確率を δ 以上にするためのデータ複製数 n を以下の式(1)で計算できる。

$$1 - (pMove(BOX1, BOX3) + pMove(BOX1, BOX4) + pMove(BOX1, BOX6))^n \geq \delta \quad (1)$$

3章で述べたように、 $pMove(BOX1, BOX3)$ は BOX1 から BOX3 まで移動する確率で、 $pMove(BOX1, BOX4)$ 、 $pMove(BOX1, BOX6)$ は BOX1 から BOX4、BOX6 へ移動する確率である。BOX1 から BOX2 以外への移動可能経路はこの3通りしかないため、この三つを足し合わせた確率は、BOX1 から BOX2 へ移動しない確率である。式(1)に、表3の移動確率と $\delta = 0.8$ を適用すると、式(2)が得られる。

$$1 - (5/6)^n \geq 0.8 \quad (2)$$

複製数 n が1の場合、5/6の確率で BOX2 以外のところに移動してしまうが、複製数 n を増やすにつれ、BOX2 以外のところに移動する確率が減少する。式(2)を達成する n は $1 - (5/6)^9 = 0.81$ より、 $n = 9$ である。このように隣接 BOX への移動確率が既知の場合、特定の隣接 BOX へ到達率 δ を達成するための複製数 n を容易に求めることができる。

4.5 複製情報 BOX 転送におけるコストパフォーマンス値の計算

シングルホップのコストパフォーマンス期待値 Ecp (パケット当たりの満足度)は、満足度(Satis)、到達確率 δ 、データサイズ(DataSize)、データ複製数 n から式(3)により求めることができる。

$$Ecp = (Satis \times \delta) / (DataSize \times n) \quad (3)$$

到達確率 δ が高いほど、 Ecp も高くなるが、その反面、 δ を高くするために、複製数 n を多くする必要があり、それによる Ecp の低下が起こる。このため、 Ecp を最大にする δ と n が存在し、それを求めることで最大のコストパフォーマンス期待値が得られる。

さらに、複製数の情報 BOX を経由してデータを送信する際、経由した情報 BOX の数が増

加するにつれ、指数的に到達率が低下してしまう。h 個の情報 BOX を経由すれば、以下の式 (4) のように、指数的に ECP 値が低下する。

$$Ecp = (Satis \times \delta^h) / (DataSize \times n) \quad (4)$$

よって、提案手法で複数ホップで到達する宛先に対しデータ配送を行う時には、1 ホップで到達可能な宛先に送る場合に比べて複製数を増やす必要がある (すなわち、1 ホップの期待到達確率 δ の値をより高い値に設定しなければならない)。

5. 実験

提案手法により、ユーザ全体の満足度をどの程度高めることができているかを確かめるために、奈良駅周辺の観光を想定したシミュレーション実験を行った。

5.1 実験環境

実験は自作のシミュレータを用いて行った。シミュレーションフィードを図 3 に示す。

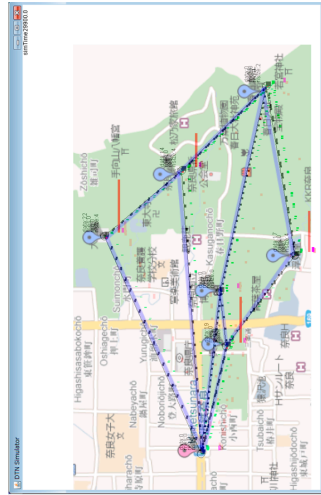


図 3 DTN シミュレータ

本研究は Bluetooth を利用した通信を想定したため、Bluetooth の通信モデルを使用した。具体的な設定を表 6 に示す。ノードの行動モデルは表 7 のように設定されている。

無線半径	10m
通信速度	1Mbps
観光エリア	2.5km x 2.5km
コンテンツサイズ	100KB
リクエストサイズ	1KB
シミュレーション時間	6 時間

移動速度	1m/s
移動方法	事前設定された経路
リクエスト投擲確率	50 %
コンテンツサイズ	100KB (50%), 1MB (50%)
満足度	20 (50%), 50 (25%), 80 (25%)

ノードの移動モデル、情報 BOX の設定は 3 章で述べたとおりである。ノードは、60 秒に 1 度、BOX1 (近鉄奈良駅) に現れ、経路に沿って他の観光スポット (情報 BOX) へ移動する。各観光スポットに到着する度にその観光スポットで、決められた時間滞在する。各観光

スポットに存在する情報 BOX へのコンタクトタイム (ContactTime) は、式 (5) に従って計算する。

$$ContactTime = \frac{\text{無線半径} \times 2}{\text{人の速度}} \quad (5)$$

このコンタクトタイムが、1 つの観光スポットにつき、到着したときと出発するときの 2 回発生するものとする。すなわち、今回のシミュレーション設定では、到着時に 20 秒、出発時に 20 秒、合計 40 秒間通信可能となる (コネクションの確立や、ピコネットの形成にかかる時間を考慮しない)。

コンテンツサイズと満足度にばらつきがあると考えると考えられるため、リクエストに与える満足度ポインツは 50% の確率で 20、25% の確率で 50、25% の確率で 80 とし、さらに、リクエストされるコンテンツのサイズは、50% の確率で 100KB、50% の確率で 1MB とした。こうすることで、サイズが小さくて満足度の高いコストパフォーマンスの良いリクエスト、サイズが大きくて満足度の低いコストパフォーマンスの悪いリクエストが混在する状況を生じさせた。

5.2 比較対象

提案手法の比較対象として、コストパフォーマンスを考慮しない以下の 3 つの方式を使用した。

- <FIFO> リクエストの到着順で配送する方式
- <deadline> デッドラインの短い順に配送する方式
- <satisfaction> 満足度が高い順に配送する方式

5.3 到達率期待値 (δ) vs データ到達率

図 4 は、隣接スポットへの期待到達確率 δ を変動させたときのデータ受信率を表示している。 δ が大きくなるほど、受信率も高くなる傾向が表れている。受信率が最大でも 45% 程度なのは、情報 BOX でのキューイング遅延が大きいためと考えられる。つまり、サイズの大きいコンテンツを転送する際の遅延が大きいため、キューに滞在する時間が大きくなり、メッセージがデッドライン内に到達するために選択できるパスが少なくなり、多くの複製が作れなくなるためである (選択できるパスの数が多いほど複製がたくさん作られ、到達率は上がる)。提案手法は他の方式と比較して、最も高い受信率を達成できている。一方で、deadline は最も悪い性能を示した。これは、デッドラインが短い順に送信するため、キューに滞在している間にデッドラインを越えてしまい、捨てられるメッセージが他の方式よりも多いためであると考えられる。

5.4 到達率期待値 (δ) vs コストパフォーマンス (ECP)

図 5 は、隣接スポットへの到達確率 δ を変動させたときのパケット 1 つあたりの満足度 (ECP) を表示している。満足度を考慮した手法である提案手法と satisfaction は、他の手法よりも高いコストパフォーマンスを実現している。 δ が大きくなるほど複製が多く作られるため、結果的に ECP は低下する。

5.5 コストパフォーマンス (ECP) vs. 満足度の総和

図 6 は ECP を横軸として満足度の総和を表示している。各手法で、ECP が大きくなるほど満足度の総和が下がる傾向が表れている。これはパケットが多くなるほど、到達率は高くなるが、単位パケット当たりの満足度は下がるということを意味している。提案手法は ECP がどの値でも満足度の総和が最も高くなる結果が得られた。この結果を受け、コストパフォーマンスを考慮した提案手法は最もシステム全体における満足度を最大化することが

できることを確認した。

5.6 システムパフォーマンス

図7は、隣接スロットへの到達確率 δ を変動させたときの満足度の総和を表示している。提案手法のECPはsatisfactionと同程度であったが、総満足度は最も高い値を達成している。提案手法はsatisfactionと異なり、満足度だけでなくデッドラインも考慮しているため、パケットはsatisfactionよりも高い確率で宛先へ到達できる。satisfactionの問題点は、リクエスト毎の満足度の高い順で処理を行うが、単位データの満足度(コストパフォーマンス)を考慮しないため、送信するために時間がかかるサイズの大きいコンテンツを届けられためにリソースを消費してしまうことであった。

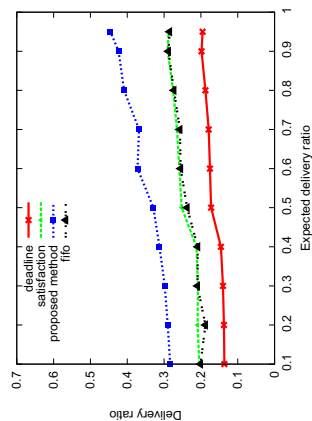


図4 期待到達確率(δ) (横軸) vs. 到達率 (縦軸)

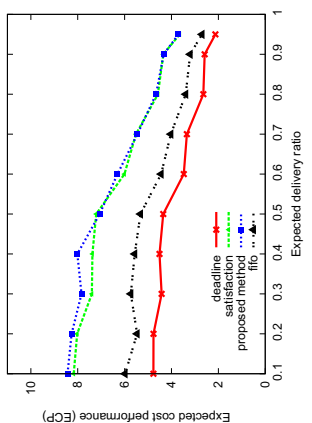


図5 期待到達確率(δ) (横軸) vs. コストパフォーマンス (ECP) (縦軸)

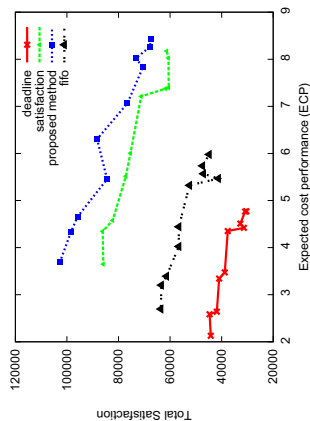


図6 コストパフォーマンス (ECP) (横軸) vs. 満足度総和

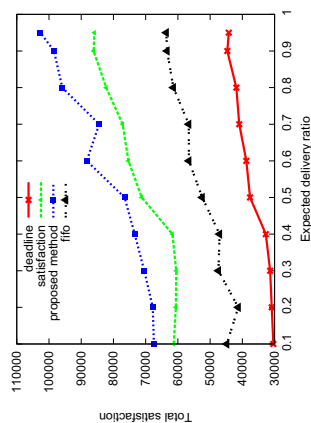


図7 満足度総和の変化

6. おわりに

本稿では、PDA や携帯電話などの Bluetooth が使用できる端末により、観光地において口コミ情報を共有するための、データの優先度と配送期限を考慮した DTN 経路制御手法を提案した。さらに、サイズや満足度の異なるリクエストが混在する環境において、他のキュー方式との比較で、到達率と満足度の総和において、提案手法がコストパフォーマンス(満足度と複製数のバランス)の点で最も有効であることを確認した。今後は、Epidemic routing などの他の手法との比較や、提案手法の配送メカニズムの改良を行う予定である。

参考文献

- 1) Banerjee, N., Comer, M.D. and Levine, B.N.: An Energy-Efficient Architecture for DTN Throwboxes, *INFOCOM*, pp.776-784 (2007).
- 2) Chaintreau, A., Hui, P., Crowcroft, J., Diot, C., Gass, R. and Scott, J.: Impact of Human Mobility on Opportunistic Forwarding Algorithms, *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, pp.606-620 (2007).
- 3) DTN Research Group: <http://www.dtnrg.org/>.
- 4) Fall, K.: A delay-tolerant network architecture for challenged internets, *Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications (SIGCOMM '03)*, pp.27-34 (2003).
- 5) Jain, S., Fall, K. and Patra, R.: Routing in a delay tolerant network, *Proceedings of the 2004 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications (SIGCOMM '04)*, pp.145-158 (2004).
- 6) Jones, E. P.C., Li, L. and Schmidtke, J.K.: Practical Routing in Delay-Tolerant Networks, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 6, No. 8, pp.943-959 (2007).
- 7) Vahdat, A. and Becker, D.: Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks, Technical report cs-2000-06.
- 8) Wang, M. and Nahrstedt, K.: SOCIAL STRUCTURE BASED ROUTING OF INTERMITTENTLY CONNECTED NETWORK USING CONTACT INFORMATION, *Military Communications Conference, 2008 (MILCOM 2008)*, pp.1-7 (2008).
- 9) Wang, Y., Jain, S., Martonosi, M. and Fall, K.: Erasure-coding based routing for opportunistic networks, *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking (WDTN '05)*, pp.229-236 (2005).
- 10) Yu, X. and Chandra, S.: Delay Tolerant Collaborations among Campus-Wide Wireless Users, *INFOCOM*, pp.2101-2109 (2008).