

周期と接触情報を用いた遅延耐性マルチホップ経路制御手法

春石 聖人¹ 北須賀 輝明¹

概要：

本稿では DTN(Delay tolerant network, 遅延耐性ネットワーク) と呼ばれる, 不安定なネットワーク環境のためのマルチホップ経路探索手法である Spray and 3R を提案する. 現在通信は通信インフラを基盤に行われる. そのため, 災害などで通信インフラが破壊されると通信できない. 本提案はそのような緊急時の代替通信のためのものである. 既存手法である 3R と Spray and Wait をベースに閾値を導入する. 3R の経路選択の方法や Spray and Wait の通信回数の抑制を組み合わせた. Vu[1] らと同じデータセットで評価したところ Epidemic や PProPHET と比べ通信回数が 23%, 45%程になり, 3R や Spray and Wait と比べ到達確率が 13.4 ポイント, 6.5 ポイント上昇した.

Delay Tolerant Multihop Routing Method Considering Periodicity and Encounter Information

MASATO HARUISHI¹ TERUAKI KITASUKA¹

1. はじめに

現在の通信インフラは基地局を介して行われる. そのため, 基地局が使用不可能になると通信ができなくなる. また, 被災時に基地局が使用不可能になるケースがある. 例えば, 東日本大震災の時には 29000 箇所使用不可能 [5] になっており, 通信ができない地域があった. これは地震や津波による倒壊や電力供給停止によるものである. 2018 年北海道で起きた全域電力停止の際にも通信障害 [7] が起こっている. また今後も南海トラフなど大震災が起これと言われており [8], その時も通信障害が起これと予想できる. そして, 通信は被災時にも状況把握などのために必須である. 家族の安全確認や, 物資供給地点の拡散, けが人の場所や治療法を調べるなど様々なケースで通信の活用が見込まれる. 以上により被災下でも通信するために, 基地局に頼らない通信手段が必要である.

被災下における代替通信手段はいくつかある. 例えば, 船や車に移動基地局をのせ, 被災地に搬入し, 通信環境を外部から揃えるもの [6] である. 他には衛星回線を使うもの [9] がある. それらも道路の破壊などで搬入が困難だったり転送範囲に限界がある.

本稿では人々が持つスマートフォンなどの端末を通信の媒介に利用している. 「端末の直接の移動」や「端末間通信」で情報を伝達する. また, マルチホップを想定しており, 複数の端末を経由し, 目的の端末, 使用可能な基地局そ

して搬入された移動基地局まで情報を届ける. マルチホップとは情報が目的に到達するまでに複数回の送受信を行うという意味である. 図 1 が本環境の例である. 送り主が受取人にデータを届けるために, 基地局に代わって歩いている人や車に乗った人が持つ端末を介して送っている.

端末を利用したネットワークの特徴として, ネットワークが流動的であることが上げられる. 経路に一意性がなく, 必ず届く経路があるわけではない. つまり, どのルートを利用しても届けられないこともある. また, 次の二つの理由から, たとえ経路が存在しても届けられないこともある. 1 つ目に, 端末間送信で送れる通信容量には限りがあり, 他のメッセージ送信と衝突して, 遭遇時間中に送信を完了できないことがある. 2 つ目に, 端末のストレージには限りがあり, 端末のストレージからあふれたメッセージ

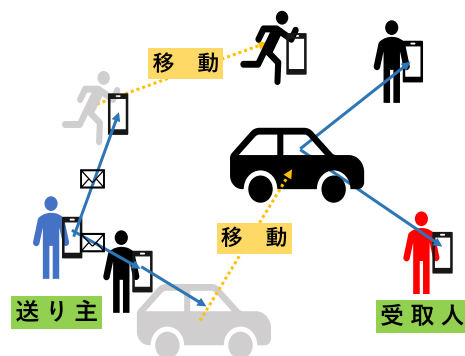


図 1 DTN 環境の例

¹ 広島大学大学院工学研究科

は破棄されることがある。例えば、Epidemic[3]は遭遇する全ての端末にメッセージを複製して送信する最も単純な手法であり、全ての経路を選択できるため到達確率が高いのだが、通信容量とストレージが十分でなければ送信できない状況が増え到達確率が下がる。

まとめると、被災下における端末ネットワークは流動的であり、通信容量とストレージが限られていることから

- 経路が存在しない場合がある。
- 転送が多くなりすぎると転送が滞る。
- メッセージをたくさん複製するとストレージ容量を超え破棄される。

という弱点が存在し、端末ネットワークを構築する時は、

- 適切な経路を選択できるか
- 通信する回数
- メッセージの数

を考える必要がある。

弱点解決のために届く経路を計算し、経路を選択できる3R[1]と複製の回数を制御するSpray and wait[2]を組み合わせたSpray and 3Rを提案する。

以降、2章でDTN環境下における経路制御手法の中でも端末を利用したネットワークに活用できるいくつかの手法を紹介する。3章では本稿で提案するSpray and 3Rの詳細を記す。4章では本提案の評価、検討を行う。また、主要な手法との比較を行う、5章で結論を述べる。

2. 関連研究

今回想定する、人々が持つスマホを利用した端末間ネットワークは断続的で流動的である。このようなDTN環境での経路制御手法は過去いくつも提案されている。本稿で提案する手法もそれらを利用している。本章では代表例として、Epidemic, PRoPHETと提案手法のベースである3R, Spray and Waitについて説明する。Spray and 3Rの具体的な説明は次の章で行う。

2.1 Epidemic

Epidemic[3]はメッセージを持つ端末は通信できる端末すべてにデータを送信する。複製が無制限に行われる。同じメッセージがたくさん複製されるため、データ数が増える傾向がある。通信容量、ストレージが十分であれば、途中で破棄されることがないので、全ての経路を利用でき到達確率は高くなる。しかしながら通信容量とストレージには限りがあり、多くのメッセージが送受信される環境では途中で破棄されるなどして、使用できる経路が減り、到達確率が減少する。

2.2 PRoPHET

PRoPHET[4]はメッセージ送信にお互いの到達可能性(predictability)を比較する手法である。これによって経

路を選択できる。各端末は他端末全てへの到達可能性を保持する。他端末に遭遇する度にその端末への到達可能性は増加する。また、時間によって到達可能性は減少する。最後に、他の端末を経由してデータを送れるなら到達可能性は増加する。送信の判断には自身と相手の到達可能性を利用する。相手のほうが高ければデータを送信する。また、複製回数を制御する仕組みがなく、無制限に複製する。しかし、誰にでも複製するわけではないので通信する回数とメッセージの数共にEpidemicよりは少ない。

2.3 3R

3R[1]は遭遇情報を利用したマルチホップな経路制御手法である。EpidemicやPRoPHETと違い、メッセージを複製することはない。この手法では常に端末同士の遭遇情報を記録する。集積されたデータから目的の端末までの到達確率を割り出すことができる。メッセージをもつ端末が他端末と遭遇するとお互いに到達確率を計算し、相手のほうが高ければ送信する。3Rは人々の生活に存在する周期性を利用している。例えば、寝る場所や普段過ごす場所などに周期性が見られる。スマホのネットワークは人間が構築するため周期性を利用するとより正しく経路を選択できるという考えの元提案されている。ストレージ、通信容量が限られた環境では必要量が少ない3Rのほうが前述のEpidemicやPRoPHETより届きやすい。一方ストレージ、通信容量が確保された環境においては前述の二手法より到達確率が低いという傾向がある。

2.4 Spray and Wait

Spray and Wait[2]はメッセージの複製数に制限を設けた手法である。メッセージを持つ端末は遭遇した端末に複製回数が残っている限り複製し送信する。メッセージの送信は早い順に複製できる回数なくなるまでである。複製できる回数はパラメータとして事前に決めておき、複製データと共に複製回数もいくつか相手に渡す。複製できなくなると目的の端末に到達するまで待機という方式である。最初に拡散し(Spray)そして待つ(Wait)所から命名された。複製回数の制御によって通信する回数とメッセージの数を制御できる。経路を選択する特性はなく、複製回数によって到達確率が増減する。

3. 提案方式

3.1 設計方針と概要

この章ではSpray and 3Rの詳細を記す。目的地までの到達確率の計算は3Rと同じである。常に接触情報を各端末が集積し、集積情報を用いて到達確率の計算を行う。また、3Rでは複製しない。しかし、複製すると到達率が上がるので本提案では複製を行う。すると通信回数やメッセージ数が増えるデメリットが生じる。それを抑えるため2つ

の仕組みを組み込む。1つ目は、閾値 λ の導入である。目的の端末に届く確率が閾値 λ 以下であれば複製は行われないようにする。2つ目は、複製回数 ξ に上限を持たせる。複製回数を有限回にすることで増えすぎることがなくなる。複製回数を有限回にする考えは Spray and Wait と同じである。Spray and Wait は複製できなくなると待機するだけであるが提案方式では複製ができなくなった後も、自分より確率が高い端末には送信する。以上のように閾値と複製回数を制御することで、データの総量を制御しストレージ圧迫や通信回線のパンクを防ぐ。

Spray and 3R ではまず次の2段階の処理を行う。

- (1) 遭遇情報を記録する。
- (2) 集めた記録から時間区分や曜日ごとにおける割合を計算する。

各段階は 3.2 と 3.3 で詳しく述べる。なお、この2段階の処理及び到達確率の計算は Vu ら [1] と同じである。また、経路情報の更新のため、蓄積した情報に期限を設ける。期限が切れた蓄積情報は破棄する。

またデータを送信の判断には最大4段階の処理を行う。以下はメッセージ M を持つ端末 n が他端末 n' に遭遇したときの条件分岐である。また M の宛先を n^M とする。

- (1) n が他端末 n' と遭遇したとき、 n, n' 双方の n^M への到達確率を計算する。
- (2) n よりも n' のほうが n^M への到達確率が高ければ n の閾値を計算する。
- (3) n の n^M への到達確率が閾値より高ければ複製回数を参照する。低ければ n が M を n' へ送信し n の M を削除する。
- (4) 複製回数が1より多い時、 n' へ、 M に加え、複製回数を半分送信する。複製回数が1の時、 n' へ M を送信し、 n の M を削除する。なお複製回数の制御は Spray and Wait と同じである。

詳細は 3.4 から 3.6 で詳しく述べる。

3.2 遭遇情報の蓄積

Spray and 3R は他端末と遭遇した際その時間と端末を記録し、蓄積する。具体的には Bluetooth などの端末間通信でスキャンし反応した端末を記録する。例えば今回使用するデータセットは128名の参加者が端末を持ち、60秒おきに Bluetooth を用いてスキャンし記録したものである。ある端末 n は表1のような形式のテーブル B_n を所持する。ここで、 η は記録した日付、 Φ はその時刻にスキャンした際に反応があった携帯の集合である。また n_i は反応した端末の MAC アドレスである。ここで η と Φ はそれぞれ、 $\eta = \{2010/03/08\ 09:20, 2010/03/08\ 09:21, \dots\}$ 、 $\Phi = \{n_1, n_2, \dots, n_i, \dots\}$ である。遭遇情報の集合 B_n はタプル b_k を複数もつ。 $B_n = \{b_1, b_2, \dots, b_k, \dots, b_{|B|}\}$ と表される。また、各タプル $b_k \in B_n$ は $b_k = \langle \eta_k, \Phi_k \rangle$ で構成される。

表1 端末 n の遭遇端末

スキャン日時 η	遭遇端末情報 Φ
2010/03/08 09:20	n_1, n_3
2010/03/08 09:21	n_1, n_3
2010/03/08 09:22	n_1
2010/03/08 13:50	n_4, n_9
2010/03/14 08:14	n_1, n_3, n_8

ここで $b_1 = \langle \eta_1, \Phi_1 \rangle$ であり、 $\eta_1 = \{2010/03/08\ 9:20\}$ 、 $\Phi_1 = \{n_1, n_3\}$ である。またこのテーブルは期限が切れたものは破棄し順次更新する。そのため環境が変化し、会わなくなる人が現れても対応できる。また Δ_n を n が今までにスキャンした端末の集合と定義する。ここでは、 $\Delta_n = \{n_1, n_3, n_4, n_8, n_9\}$ となる。

次に、端末の遭遇の定義を考える。

- 端末 n が端末 n' に時間 t に遭遇したとき
 端末 n が端末 n' に時間 t に遭遇したことを $enc(n, n', t)$ で表すとすると、 $enc(n, n', t) \Leftrightarrow (n' \in \Phi_i) \cap (\eta_i = t) \cap (b_i = \langle \eta_i, \Phi_i \rangle) \cap (b_i \in B_n)$ となる。 B_n の例でいえば、 n と n_1 は 2010/03/08 09:20 に遭遇したので、 $enc(n, n_1, 2010/03/08\ 09:20)$ である。
- 端末 n が端末 n_1, n_2 に時間 t に遭遇したとき
 同時刻に違う複数の携帯から反応がある時はすべての携帯が遭遇しているとみなす。つまり、 $enc(n_1, n_2, t) \Leftrightarrow enc(n, n_1, t) \cap enc(n, n_2, t)$ である。 B_n の例でいえば、 n_4 と n_9 は 2010/03/08 13:50 に遭遇したので、 $enc(n_4, n_9, 2010/03/08\ 13:50) \Leftrightarrow enc(n, n_4, 2010/03/08\ 13:50) \cap enc(n, n_9, 2010/03/08\ 13:50)$ である。

3.3 遭遇割合の導出

次に、収集されたテーブルから遭遇割合を計算する。曜日の種類や時間で区切り、その区間内での遭遇割合を導く。今回は、Vu ら [1] と同じ設定にした。日の種類は平日と休日とし、時間は 0:00 から 1 時間毎に区切る。各区間内の割合を求める式は

$$P_{ij}^{n'} = \frac{|\sigma_{\varphi=\{\nu_i \in \nu, \tau_j \in \tau, n' \in \Phi_k\}} B_n'|}{|\sigma_{\varphi=\{\nu_i \in \nu, \tau_j \in \tau\}} B_n'|} \quad (1)$$

である。

ここで ν は日の種類の集合、 τ は時間区分の集合であり、 ν_i と τ_i はそれぞれ i 番目の要素を表す。また、 $P_{ij}^{n'}$ は端末 $n' \in \Delta_n$ が日の種類 ν_i 、時間の区分 τ_j に遭遇する確率である。また、 σ は表 B_n の中で条件 φ を満たすタプル $b_k \in B_n$ の個数を表す。(1) の分子である、 $|\sigma_{\varphi=\{\nu_i \in \nu, \tau_j \in \tau, n' \in \Phi_k\}} B_n'|$ は日のタイプが ν_i であり、時間の区間が τ_j そして $n' \in \Phi$ であるタプル b_k の数を表す。一方、(1) の分母である $|\sigma_{\varphi=\{\nu_i \in \nu, \tau_j \in \tau\}} B_n'|$ は日のタイプが ν_i であり、時間の区間が τ_j のタプル b_k の数を表す。

表 2 端末 n の遭遇割合

ν	τ	n_1	n_2	n_3	n_4
weekday	(08:00-09:00)	0.4	0.2	0.1	0
weekday	(09:00-10:00)	0.1	0	0.6	0
weekday	(10:00-11:00)	0	0	0.5	0.6

ある端末 n は表 2 のような表 R_n を所持する。この表は式 (1) によって導出される。 R_n は $|\Delta_n| + 2$ 個の属性を持つ。初めの二つの属性は日の種類の集合 ν と時間区分の集合 τ である。表 2 では、日の種類は $\nu = \{\text{weekday}\}$ と表す。時間区分は単位時間ごとに区切られる。表 2 では 1 時間が単位時間であり、 $\tau = \{(00:00, 01:00], (01:00, 02:00], \dots, (23:00, 24:00]\}$ と表す。

表 2 の作り方はまず、全ての ν と τ を直積し、集合 $\chi^n = \{X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_{\chi^n}\}$ を作成する。その後、すべての直積の組 $X_k \in \chi^n$ に対し、 n と n_i が遭遇する確率を式 (1) で計算する。計算の結果をまとめると表 2 になる。これを n_k と遭遇した際遭遇した日の種類、時間区分によって遭遇割合を更新する。表 R_n は $|\nu| \cdot |\tau| \cdot |\Delta_n|$ 個の要素を持つ。 R_n の各タプルを e_k とすると $R_n = \{e_1, e_2, \dots, e_{|R_n|}\}$ と表される。また、 $e_k \in R_n$ は $e_k = \{\nu_i, \tau_j, p_{ij}^{n_1}, p_{ij}^{n_2}, \dots, p_{ij}^{n_u}, \dots, p_{ij}^{\Delta_n}\}$ という構成である。ここで $p_{ij}^{n_u}$ は端末 n と n_u が日のタイプ ν_i とタイムスロット τ_j のタイミングで遭遇する確率で、 $1 \leq u \leq |\Delta_n|$, $0 \leq p_{ij}^{n_u} \leq 1$ である。 R_n は全て 3.2 で説明した遭遇情報から作成される。新しいノードと遭遇した際は R_n の列が 1 増える。

これら二つの処理は遭遇時常に行う。3.4 から 3.6 では 3.2 と 3.3 の処理を終えてから通信が終わるまでを説明する。

3.4 到達確率の導出

3.2 と 3.3 の処理の後到達確率を表 2 をもとに計算する。届けるメッセージにはいつまでには送りたいということがあろうが、本稿でもタイムリミットを各メッセージに設ける。そこで期限内に届く確率を求める。現在時刻 t から、あるメッセージのタイムリミット D_m までに、宛先 n' に、端末 n が届ける確率 P_t^n は、

$$P_t^n = \sum_{j=1}^{|S|} p_h^d \quad (2)$$

である。ただし

$$p_h^d = \prod_{k=1}^h (1 - p_k) p_k \quad (3)$$

である。ここで $|S|$ は R_n の t から D_m の間にあるタプルの数である。 t がある区間の途中の場合は一つあとの区間から D_m がある区間の途中の場合は一つ前の区間までの到達確率を計算する。また、 p_h^d はある区間 h で遭遇する確

率を表す。 p_k は表 2 に示した確率である $p_{ij}^{n'}$ のうち、 t の区間から順に並べた時の k 番目の要素を表す。端末 n が宛先端末でない他端末 n_k に遭遇した際、 P_t^n , $P_t^{n_k}$ を計算する。

3.5 送信条件の分岐

Spray and 3R では条件に応じて遭遇時の処理が 4 通りある。ここで λ は閾値であり、 ξ は複製回数を表す。また端末 n はあるメッセージ M を持っており、 n_k は遭遇した端末である。宛先端末に遭遇した際はそのままメッセージを送信する。

- $P_t^n > P_t^{n_k}$
メッセージは n_k に送らない。
- $(P_t^n \leq P_t^{n_k}) \wedge (P_t^n < \lambda)$
送信が行われるが閾値 λ よりも n の到達率が低いので、 n が n_k に M を送信した後 n が持つ M を破棄する。
- $(P_t^n \leq P_t^{n_k}) \wedge (P_t^n < \lambda) \wedge (\xi = 1)$
送信が行われるが複製回数 $\xi = 1$ であり、複製できないので n が n_k に M を送信し、 n が持つ M を破棄する。
- $(P_t^n \leq P_t^{n_k}) \wedge (P_t^n < \lambda) \wedge (\xi > 1)$
 n が M を n_k に送信。複製も行われる。この条件の時 M の数が増える。

また複数メッセージを所持している場合、全てのメッセージに対してこの送信条件の分岐を行う。複製が行われる際の処理はで説明する。

3.6 複製回数 ξ について

各メッセージ M_i には生成時に複製回数 $\xi = 2^x$ ($x \in \mathbb{N}$) が付与される。ここで i はメッセージの ID である。複製回数 ξ は複製の最大数である。複製する際、 $\xi > 1$ なら M_i が持つ ξ_{M_i} を $\xi_{M_i}/2$ に更新する。その後 n が n_k に複製回数が更新されたメッセージ M_i を複製して送信する。 $\xi_{M_i} = \xi_{M_i}/2 + \xi_{M_i}/2$ のため、複製できる数の総計は通信の前後で変化がない。また $\xi = 1$ なら、 M_i を n_k に送信した後、 n が持つ M_i を破棄する。

他に通信の際のルールとして既に同じメッセージを持っている端末には送信しない。ただし、過去に同じメッセージを持っていたが現在は持っていない端末とのやり取りは通常的方式で行われる。さらに、転送が中断されると複製回数の更新やメッセージの所持は通信前に戻る。

4. 評価

4.1 評価方法

まず評価の環境について説明する。データセットは Vu ら [1] のものを使用する。このデータセットは Vu ら [1] が

表 3 到達率と通信回数

経路制御手法	到達率	通信回数
Epidemic	100	137923
PRoPHET	94.6	59949
Spray and Wait(16)	77.6	15792
3R	71.0	5003
Spray and 3R(16)	84.1	26479

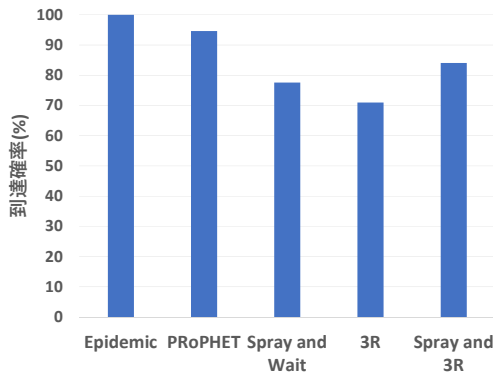


図 2 各手法の到達確率

2010年3月1日21日にイリノイ大学で128人の参加者から接触情報を集めたものである。端末同士の接触情報の記録以外は、参加者は普段の生活をしている。Bluetoothで接触情報を記録している。通信間隔は60秒おきで、通信範囲は10mである。また、07:00から24:00の間に限定して採取を行っている。

次に送信メッセージについて説明する。メッセージは通信経路が存在するものの中で、送り主と宛先をランダムに生成した。また、3週間のデータセットの内初めの1週間を遭遇情報を蓄積する時間とし、さらに後半2週間でメッセージを3684回生成した。そして各メッセージはタイムリミットを1日に設定した。この時間を過ぎると自動的に破棄される。また、目的の端末に届いたメッセージはバッファから削除され、送信されることやストレージを圧迫することはない。しかし、残りの複製されたメッセージは目的の端末に届けられるかタイムリミットになるまで破棄されない。ストレージや通信容量は十分大きく設定する。

4.2 既存手法との比較

まずは既存手法と提案手法の本環境での結果を表3及び図2、図3に示す。Spray and Waitは複製回数を16とした場合の値を載せる。またSpray and 3Rは閾値を0、複製回数を16の時の結果を載せる。Spray and 3Rは到達確率がSpray and waitより6.5ポイント3Rより13.1ポイント増加した。一方でEpidemicより15.9ポイント、PRoPHETより11.5ポイント減少した。しかし、通信回数はEpidemicの23%、PRoPHETの45%程に収まっている。Epidemicの到達率が100%となっているが、これは前提条件として経路が存在するメッセージに限り、またストレージ容量共

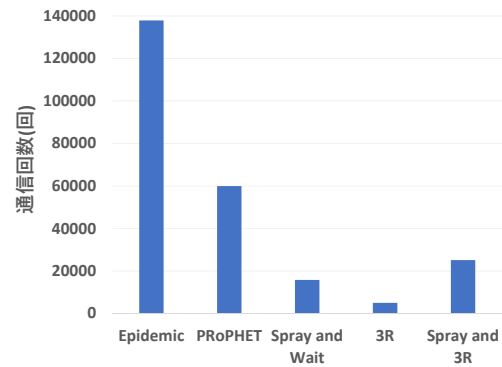


図 3 各手法の通信回数

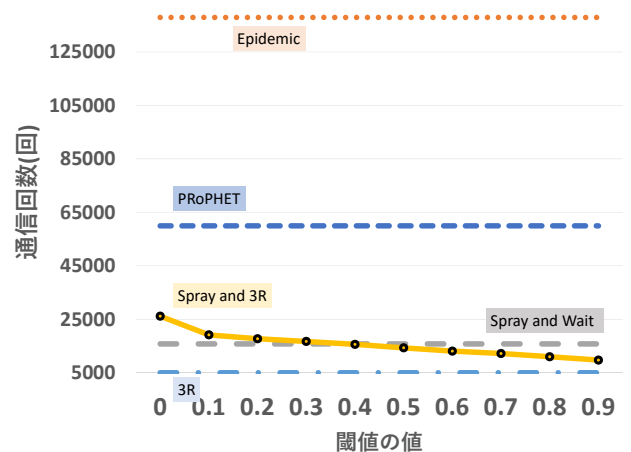


図 4 各手法と Spray and 3R の各閾値の到達率

に十分確保された環境だからである。しかし、通信回数は137923回と他の手法に比べて極端に大きくなっていることが分かる。その次にPRoPHETの到達確率が高いが、これも環境設定による恩恵がある。3Rは通信回数が5003回非常に少なく済んでいるのだが、到達確率は71%に留まっている。

本稿で提案したSpray and 3Rは閾値や複製回数によって結果が変化する。4.3と4.4ではその変化を調査、検討する。

4.3 閾値 λ の値の影響

λ の値を0から0.1ずつ0.9まで増加させる。この時の複製回数は、 $\xi = 16$ に設定した。

図4、図5は各手法と、Spray and 3Rの閾値を変更したときの結果である。どの閾値においても到達確率が上がると通信回数は比例して伸びた。通信回数は $\lambda = 0$ が最も多い。しかし、本稿では到達確率を上げることを優先して、本節以外の評価に閾値 $\lambda = 0$ を利用する。Epidemic、PRoPHETと比較すると、一件のメッセージを届かせるのに要する通信回数は23%、49%ほどになっている。また、到達確率はそれぞれ15.9ポイントの減少、10.5ポイントの減少となる。

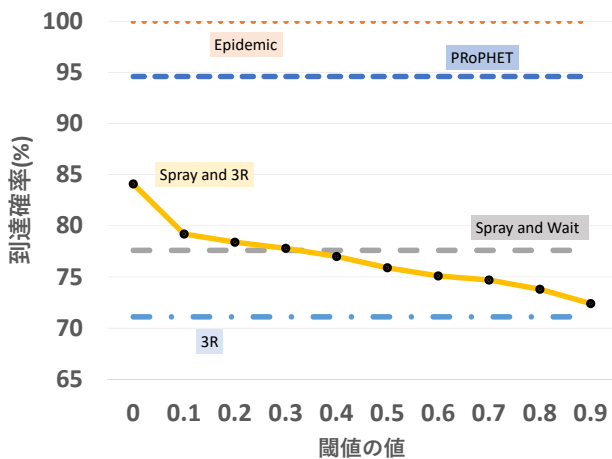


図 5 各手法と Spray and 3R の各閾値の通信回数

4.4 複製回数 ξ の影響

次に、複製回数 ξ を変化させて評価する。なお閾値は $\lambda = 0$ である。 ξ の値は 2, 4, 8, 16, 32, 64 を調査した。

表 4 は Epidemic と、Spray and 3R の複製回数を変更したときの結果である。通信回数/件は通信回数を届いたメッセージの件数で割った割合である。また平均データ保持時間とは、同じデータを持ち続けた時間の平均である。複製回数 $\xi = 64$ の時は到達率が 3R に比べ、13.1 ポイント Spray and Wait に比べ 6.5 ポイント上昇している。また、PRoPHET[4] に比べ 45% の送信回数となっている。

ある程度、複製回数が増えるとそれ以降到達率が上がらない結果になった。本環境は端末の数が 128 個なので、たくさん複製できても、複製先がなくなる。また、数が増えるほど通信回数が減るという結果になったがこれも、環境のスケールによるものである。複製回数が増えるほど、コピーを所持する確率が高くなる。メッセージ M_k を持っている端末に対しては M_k を送る通信を行わない。そのため、メッセージの総数が増えるほど、所持率が上がり通信がその後行われなくなる。一方メッセージの複製が少ない状態は、メッセージを渡すやり取りが頻繁に行われ、過去に持っていたメッセージも受け取る状態が起こる。その結果本環境では複製回数が増えるほど通信回数が減る結果になった。多くの端末がメッセージを抱えており、受け渡しが少なくなる一方、平均データ保持時間は複製回数が増えるほど長くなった。端末数に対して、複製できる回数が大きいと、データをため込む時間がふえ、ストレージの容量を超えやすくなり、途中で破棄されてしまうメッセージが出やすい。

5. 結び

DTN 環境下における経路制御手法の研究を行った。周期性と遭遇情報を考慮した遅延耐性マルチホップの経路制御手法を提案しシミュレーションにより評価した。結果と

表 4 複製回数の到達率と通信回数の推移

ξ	到達率	通信回数/件	平均データ保持時間 (s)
Epidemic	100	81.3	992.9
1	70.5	8.0	428.4
2	83.3	30.33	451.9
4	84.1	23.8	656.5
8	84.1	20.0	826.9
16	84.1	18.6	905.8
32	84.1	18.0	938.0
64	84.1	17.9	946.8

して、複製回数と、閾値の制御によって、到達率と通信回数をコントロールできた。また、PRoPHET より到達率が 10 ポイント減ったのに対し、通信回数が 45% まで減った。他にも、3R より到達率が 14.3 ポイント Spray and Wait より 6.5 ポイント増加した。今後の課題として適切な複製回数と閾値を求める必要がある。また、今回は普段の生活でのシミュレートだったので、被災中の行動シミュレートではどうなるか検討する。

参考文献

- [1] Long Vu, Quang Do, Klara Nahrstedt, "3R: Fine-grained encounter-based routing in Delay Tolerant Networks", IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, pages 1-6, (2011).
- [2] Thrasyvoulos Spyropoulos, Konstantinos Psounis, Cauligi S. Raghavendra, "Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks", SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking, pages 252-259. (2005)
- [3] A. Vahdat, D. Becker, "Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks", Technical Report CS-200006 Duke Tech. Rep.. (2000)
- [4] A. Lindgren, A. Doria, E. Davies, and S. Grasic. "Probabilistic routing protocol for intermittently connected networks." RFC 6693. (2011). <https://tools.ietf.org/html/rfc6693>
- [5] 総務省 「平成 23 年版 情報通信白書」情報通信データベース pages. 2-9. (2011). <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h23/pdf/n0010000.pdf>
- [6] 霜田一将・植田啓文・木下峻一・加藤浩, 「大規模災害時における DTN 技術を用いた複合的な船陸間災害情報共有ネットワークの提案と評価—可搬型 DTN 基地局による検討—, 日本航海学会講演予稿集 2 巻 1 号. (2014)
- [7] 総務省北海道総合通信局, 「通信・放送の被害状況」, 平成 30 年北海道胆振東部地震・ブラックアウトにおける通信・放送の被害状況とその対応, page 4. (2018). http://www.soumu.go.jp/main_content/000585075.pdf
- [8] 中込 淳, 「南海トラフ巨大地震 被害想定と対策」, 第 33 回日本自然災害学会学術講演会. (2014). http://www1.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/~hasimoto/Manabu/personal/MH_20170305.pdf
- [9] 鄭炳表・薄田一・菅智茂・浅井敏男・赤石明・川崎和義・高橋卓, 「災害対応に有効な衛星通信の開発と実証実験」, 情報通信研究機構研究報告, Vol. 63 No. 2, pages.79-90. (2017). <https://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihou-journal/houkoku-vol63-2/K2017W-03-03.pdf>