

利己的ノードを考慮した遅延耐性ネットワークシステムの性能評価に関する研究 -マルチエージェントアプローチによる-

三浦 智裕

指導教員：奥田 隆史

1 はじめに

近年、携帯情報端末（モバイル端末）を用いた遅延耐性ネットワーク（DTN：Delay Tolerant Network）に関する研究が盛んにおこなわれている [1].

ここで、DTN とは従来の有線通信と固定網によるネットワークで許容できない通信遅延もしくは通信途絶を許容し、蓄積運搬形転送（SCF：Store Carry Forward）を基礎技術としたネットワークである。この SCF とは無線通信機能とストレージ機能を有し、さらに移動体である移動ノードを用いて、情報（メッセージ）を交換、蓄積、運搬していく中継転送技術である。

このようなモバイル端末を用いた DTN はモバイル端末を所持したユーザが複数存在すれば、様々な環境において構築することが可能であり、また一定範囲の地域において平時だけでなく非常時にも利用可能な通信システムを確立する。

しかしながら、この DTN システムを活用していくためにはユーザの利己的行動を考慮した DTN システムの性能評価をあらかじめおこなう必要がある。その理由は、ユーザが二つの利己的行動をとる可能性があるためである（これらの利己的行動については後述する）。

そこで、本研究では一定範囲の地域においてモバイル端末を用いて DTN システムを構築することを想定した上で、ユーザの利己的行動を考慮した DTN システムの性能評価をおこなう。

2 性能評価モデル

2.1 想定環境

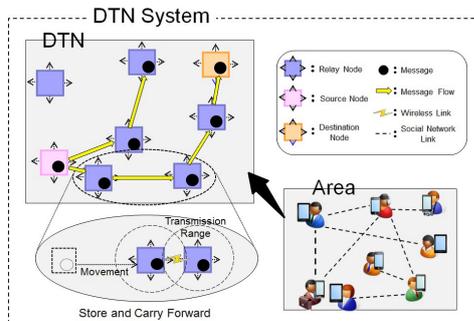


図 1 想定環境

本研究では一定範囲の地域において、モバイル端末とそのユーザにより DTN システムを構築し、メッセージの伝達をおこなうことを想定する。本研究で想定する地域とそこでの DTN システムを図 1 に示す。想定する地域には互いに社会的な関係性をもつユーザが複数存在し、常に物理的な移動をおこなっている。さらに、各ユーザは無線通信機能、ストレージ機能、バッテリーを有した 1 台のモバイル端末を所持する。想定地域における DTN システムは、これらユーザが感染形中継転送方式にもとづいた SCF をおこなうことでメッセージを伝播していき、宛先となるモバイル端末に伝達するような通信システムである。

また、想定する DTN システムでは全ユーザはメッセージを特定の宛先（最終受信者）に向けて送信する発信者、メッセージを最終的に受信する最終受信者、メッセージの中継をおこなうた

めにメッセージを受信し、周囲のユーザに送信する中継者となる可能性がある。

2.2 エージェントベースモデリング

本研究では、想定環境をエージェントベースモデリング（ABM：Agent Based Modeling） [2] によって表現し、マルチエージェントシステムと捉える。以下に、マルチエージェントシステムの環境とエージェントについて述べる。

環境

環境は二次元平面の $Env(M \times M[m^2])$ とする。全エージェントはこの Env 内において移動をおこなう。

エージェント

環境内の全エージェント数を N とし、一人のユーザを一つのユーザエージェント $U_i (i = 1 \dots N)$ とする。

想定環境ではユーザは社会的関係性を持ち、物理的な移動をおこなっていることから、本研究ではスモールワールドネットワーク [3] により U_i の社会的関係性を表し、 U_i の物理的移動を表すモデルとして Random Waypoint (RW) を用いる。ここで、RW とは各 U_i が各目的地に向け互いに独立して移動するモデルであり、 U_i は時刻 t における移動速度 $s_i(t)$ 、移動方向 $d_i(t)$ にもとづいて移動をおこなう。なお、移動速度 $s_i(t)$ は最小移動速度から最大移動速度の間で一様な確率で決定する。

また、想定環境における DTN システムでは全ユーザがメッセージの発信者、中継者、最終受信者となることから、 U_i のメッセージに関する行動を以下のように定義する。

U_i はメッセージ平均発信率 λ_i のポアソン分布に従って特定の宛先に向けてメッセージを送信する。なお、宛先は DTN システム内の別の U_j から一様な確率で決定する。発信されたメッセージは発信元と中継をおこなう U_i によって宛先となる U_j まで伝達される。具体的には、メッセージを保持する発信元と中継をおこなう U_i が移動により無線通信可能距離 cr_i 内に入った別の U_j に無線通信によりメッセージを伝達する。これにより、DTN システム内のメッセージを保持していない U_j にメッセージが伝播していくことで宛先となる U_j まで伝達される。

ただし、中継をおこなう U_i は利己的行動をとる可能性がある。この利己的行動には Individual Selfishness（個人利己的行動）と Social Selfishness（社会利己的行動）がある。個人利己的行動とは、 U_i がモバイル端末のストレージ量とバッテリー量が限られていることを考慮して、通信を意図的に拒否する行動である。本研究では、 U_i は基準値 I_i にもとづいて個人利己的行動をとるか意思決定する。また、社会利己的行動とは、個人利己的行動をとる U_i が社会的関係性のある U_j の通信に対しては個人利己的行動をとる可能性が低くなる行動である。このときの社会利己的行動による個人利己的行動をとる可能性が緩和された際の基準値を S_i とする。

本研究では、これら二つの基準値 I_i 、 S_i と U_i の通信に対する拒否感を表す拒否度 $r_i(t)$ により、 U_i が通信を許容もしくは拒否するか決定する。具体的には、 $r_i(t)$ が I_i を越えた場合に U_i は通信を拒否し、また U_i が社会利己的行動をとる際には、 $r_i(t)$ が S_i を越えた場合に U_i は通信を拒否する。以下に、拒否度 $r_i(t)$

について述べる.

本研究では, 拒否度 $r_i(t)$ は価値関数 [4] にもとづき

$$r_i(t) = -l \cdot (-tl_i(t))^\beta \quad (tl_i(t) < 0) \quad (1)$$

とする. ここで, 総損失度 $tl_i(t)$ は

$$tl_i(t) = sl_i(t) + bl_i(t) \quad (2)$$

である. また, 通信要求があった際のストレージの損失度 $sl_i(t)$ は

$$sl_i(t) = \frac{(rs_i(t) - sc_i(t)) - rs_i(0)}{rs_i(0)} \quad (3)$$

であり, バッテリーの損失度 $bl_i(t)$ は

$$bl_i(t) = \frac{(rb_i(t) - bc_i(t)) - rb_i(0)}{rb_i(0)} \quad (4)$$

である. なお, $rs_i(0)$ と $rb_i(0)$ はそれぞれ初期状態 ($t = 0$) におけるストレージ量とバッテリー量であり, $rs_i(t)$ と $rb_i(t)$ はそれぞれ時刻 t におけるストレージ残量とバッテリー残量である. また, $sc_i(t)$ と $bc_i(t)$ は時刻 t において U_i がおこなう通信に必要となるストレージ量とバッテリー量である.

3 数値例

本研究では情報伝送遅延時間と情報伝送コストの二つの評価値により想定する DTN システムの性能評価をする. ここで, 情報伝送遅延時間とはメッセージが発信者から最終受信者まで伝達されるのに必要とした時間であり, 情報伝送コストとはメッセージが最終受信者に伝送された際の DTN システム内の同じメッセージを所持したユーザ数である.

また, 環境とユーザエージェントに関するパラメータを表 1 に示し, 3 節における拒否度 $r_i(t)$ の β を 0.54, l を 1 とする [5]. さらに, シミュレータにはマルチエージェントシミュレータ *artisoc* を用い, シミュレーション結果は 50 回の平均とする.

表 1 パラメータ

項目	記号	数値
ネットワーク規模	Env	500×500[m ²]
ユーザ数	N	10 ~ 50[人]
メッセージ平均発信率	λ_i	3/h
移動速度	$s_i(t)$	1 ~ 2[m/秒]
無線通信可能距離	cr_i	50[m]
初期ストレージ量	$rs_i(0)$	100[MB]
初期バッテリー量	$rb_i(0)$	10000[mW]
通信にかかるストレージ量	$sc_i(t)$	1[MB]
通信にかかるバッテリー量	$bc_i(t)$	100[mW]

$I_i = -0.50, -0.75, -1.0$, $S_i = -1.5$ とユーザが利己的行動をとらない場合での DTN システム内ユーザ数に対する情報伝送遅延時間と情報伝送コストをそれぞれ図 2 と図 3 に示す. ここで, I_i が小さくなるほどユーザは利己的行動をとる可能性が低くなることを表す.

図 2 より, ユーザ数が 50[人] の際の $I_i = -0.50$ と利己的行動が無い場合の情報伝送遅延時間はそれぞれ 318.5[秒] と 117.0[秒] であり, 約 3 倍近い情報伝送遅延時間の違いがある. すなわち, 利己的なユーザの有無により DTN システムにおけるメッセージの伝達時間は大きく変化する. 一方, 図 2 での $I_i = -0.75, -1.00$ と利己的行動が無い場合の情報伝送遅延時間

は約 2 倍近い違いがあるのに対し, 図 3 での $I_i = -0.75, -1.00$ と利己的行動が無い場合の情報伝送コストには変化がほとんどない. 一般的に DTN では情報伝送遅延時間と情報伝送コストはトレードオフの関係が成り立つことから, ユーザの利己的行動によりメッセージを伝達するためのコストも増大していることがわかる.

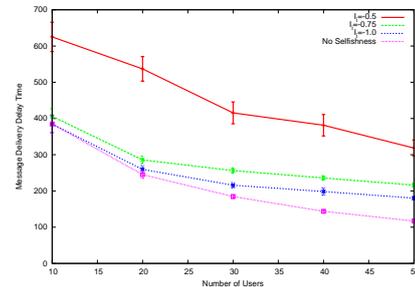


図 2 情報伝送遅延時間

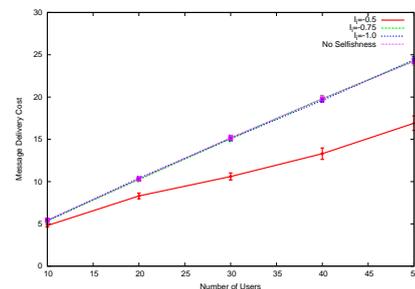


図 3 情報伝送遅延コスト

4 おわりに

本研究では, モバイル端末を所持するユーザが多数存在する地域でモバイル端末により DTN を構築することを想定し, マルチエージェントシミュレーションにより想定した DTN システムのユーザの利己的行動を考慮した性能評価をおこなった. その結果として, ユーザの利己的行動が DTN システムの性能 (情報伝送遅延時間と情報伝送コスト) に対してどの程度の影響を与えるのか明らかにした.

今後の課題としては, このユーザの利己的行動を抑制するようなインセンティブを与えるシステムの提案などが挙げられる.

参考文献

- [1] Rerngvit Yanggratoke, Abdullah Azfar, Maria Jose, Peroza Marval, Sharjeel Ahmed, “Delay Tolerant Network on Android Phones: Implementation Issues and Performance Measurements”, *Journal of Communications*, vol.6, no.6, pp.477-484, 2011.
- [2] 山影進, 服部正太, 『コンピュータの中の人工社会-マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系』, 構造計画研究所, 2002.
- [3] ダンカン・ワッツ, 『スモールワールド・ネットワーク 世界を知るための新科学的思考法』, 阪急コミュニケーションズ, 2004.
- [4] 真壁昭夫, 『実践! 行動ファイナンス入門』, アスキーメディアワークス, 2009.
- [5] 鎌田亨, “関数形が特定化された累積プロスペクト理論とリスク下の選択”, *NUCB journal of economics and information science*, vol.50, no.2, pp.219-236, 2006.