

大規模な遅延耐性ネットワークのシミュレーションによる性能評価

2013SE152 大橋 晃 2013SE258 横田 恵介

指導教員 後藤 邦夫

1 はじめに

近年、遅延耐性ネットワーク (DTN: Delay Tolerant Networking)[1] が注目されている。DTN とは災害時のような通信基盤が機能していない劣悪な通信環境でも信頼性の高い通信を実現する技術である。例えば災害時は地域の住民やレスキュー隊員など少なくとも数千人規模での情報共有が必要である。しかし、ノードが多い大規模なネットワークでは経路情報の制御負荷が高い [2]。

DTN に関する論文では、スケーラビリティについて書かれてなかったので本研究ではスケーラビリティの問題に着目する。メッセージ到達率、メッセージ平均到達遅延、スループットなどの評価項目に沿ってシミュレーション結果を比較し、実用的な通信の規模の模索を目的とする。DTN2 関連は横田、シミュレーションモデルの設計は大橋が担当する。

2 DTN の概要

RFC4838[3] より、Delay Tolerant Networking(DTN)とはノード間の接続が不安定、または通信のロスが大きい環境下で宛先まで確実にメッセージデータを届ける技術である。

災害地や宇宙など通信経路が不安定 または大きな配送遅延が発生する劣悪な通信環境下では通信は困難である。大きな配送遅延が想定されるので、長時間メッセージを保存するストレージが必要となる。DTN ではバンドル層 (Bundle Layer) と呼ばれる新しいアプリケーション層を実装する。

バンドル層はバンドル (Bundle) と呼ばれる可変長データでありエンドツーエンドでの転送を制御する層である。アプリケーション層で作成したメッセージデータをバンドルに変換し、永続ストレージでバンドルを長期間保存する。バンドルには送信元、宛先を持つ URI (Uniform Resource Identifier) 形式に準拠したエンドポイント識別子 (EID: Endpoint Identifier) などが含まれる。

通信方式が同じネットワークはリージョンと呼ばれ、DTN ではリージョンごとに適切な通信方式を切り替えて通信する。バンドル層の下には様々なインタフェースの違いを吸収して共通にする吸収層 (Convergence Layer) がある。吸収層はトランスポート層以下の各層それぞれのノードのネットワークに適した通信方式を選択し通信する。DTN では図 1 のようにバンドル層の永久ストレージにバンドルを蓄積し、通信可能な距離にノードが存在する場合、永久ストレージからバンドルを取り出し転送する。

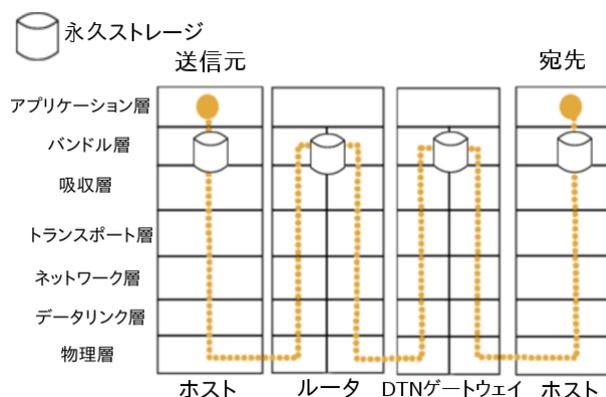


図 1 DTN の転送モデル

3 シミュレータ

本節では The ONE と DTN2 を述べる。Ubuntu14.04 をインストールした PC でこれらを実装し実験する。CPU は Intel(R) Core(TM) i5-4590 でメモリは 8MB で Java のバージョンは 1.7.0_95 を用いた。

3.1 The ONE

The ONE とは DTN に特化したネットワークシミュレータである [4]。The ONE を選んだ理由は開発言語が Java であることや、オープンソースなので入手しやすい、ルーティングの改良が出来る点を考慮したからである。

しかし、伝搬遅延が 0 であること、長距離回線に複数メッセージが同時に載せられない、他の通信の妨害を受けないことで抽象的なシミュレーション結果となるのが欠点である。また、バンドル層が The ONE にはないことがわかった。The ONE にバンドル層を実装やバンドルを流すには DTN2 を組み合わせる必要がある。

3.2 DTN2 の概要

DTN2 は DTN の実験用プラットフォームとして設計されており、RFC5050 に定義されている DTN バンドルプロトコルやトランスポート層との間にインターフェースとなる TCP, UDP などの吸収層 (Convergence Layer) が実装されている。バンドルの送受信は DTN2 のデーモンである dtnd を介して実行する。

本研究では The One 内の対象ノードとホスト OS の dtnd プロセスを 1 つずつ 2 つの TCP 接続で連結し、The One の仮想ノードにバンドル送受信機能を付加する。

4 関連研究

本節では DTN ルーティング方式と移動モデルについて述べる。

4.1 DTN ルーティング方式

DTN ルーティングは複製メッセージを蓄積し通信可能になった場合に送信する蓄積運搬形転送 (SCF: Store Carry Forward) に基づく。蓄積運搬転送方式の代表は感染型中継転送方式 (Epidemic Routing) である。

感染型中継転送方式とは送信元のノードがメッセージを作成し送信可能になった全てのノードにメッセージを転送するルーティングである。感染型中継転送方式の転送方法を図2に示す。

送信元でメッセージが作成され、作成したメッセージを複製する。全てのノードが移動してノード1、ノード2と通信可能となったとき、複製メッセージをそれぞれ送信する。受信したノード1、ノード2はメッセージを複製し、それぞれの通信可能範囲にいるノードに複製メッセージを送信する。この動作を何度も繰り返して複製メッセージが広まり、宛先のノードにメッセージが到達する。

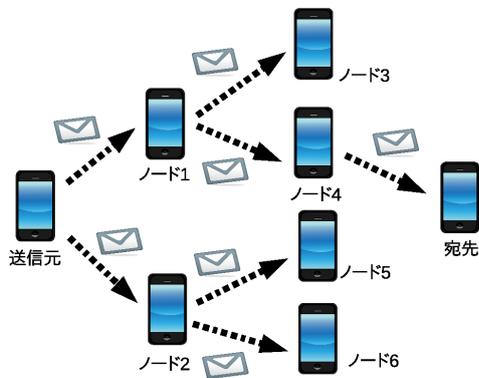


図2 感染型中継転送方式の転送方法

4.2 長距離通信の方法

4.1のルーティングでは通信距離が短いので、遠距離通信が困難である。そこで距離が離れていてもメッセージが届けるためにメッセージフェリーが提案されている。メッセージフェリーとは決められた経路を移動するノードである。図3の送信ノード(S)と遠く離れている宛先ノード(D)ではメッセージフェリーがSのメッセージを受け取り運搬しDと接触したさいにSのメッセージをDに転送する。

5 シミュレーションモデルとパラメータ

本節ではシミュレーションモデルとメッセージやノードのパラメータについて述べる。本研究では震災を想定した南山大学の周辺の約4キロメートル四方をシミュレーションモデルとする。避難場所の南山大学、名古屋大学、東山公園の3つの敷地内をノードクラスと想定する。

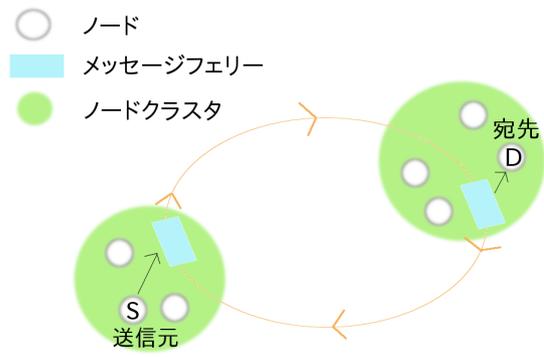


図3 メッセージフェリー

5.1 ノードパラメータ

通常、メッセージフェリー、固定端末の3種類とする。通常ノードは携帯電話、タブレット、車など道を移動するノード。メッセージフェリーは各ノードクラス間を決まった経路で移動しメッセージを届けるドローンと停留所間を移動するバスとする。固定端末はバスの停留所と地下鉄の駅に移動せずにメッセージの中継や震災情報を発信するノードである。

通常ノード、メッセージフェリーのパラメータを表1に示す。インタフェースはDistance Capacity Interface(DCI)とする。DCIとは距離が離れるほど転送速度が遅いインタフェースである。1番近い距離の転送速度は2.4Mbps, 1番遠い距離では1.3Mbpsである。

移動モデルはShortest Path Map Based Movement(SPMBM)を使用する。SPMBMとは与えられたマップの経路上を目的地まで最短距離でたどり着く移動モデルである。

MBは 10^6 bytes, kBは 10^3 bytesとする。通信範囲が10mの理由はBluetoothを想定しているからである。

表1 ノードパラメータ

	メッセージフェリー	通常ノード
移動速度 (m/s)	バス: 5.0-12.5 ドローン: 1.0-2.0	車: 2.7-13.9 携帯: 0.5-1.5
通信範囲 (m)	バス: 10 ドローン同士: 30	すべて 10
移動モデル	SPMBM	SPMBM
インタフェース	DCI	DCI
バッファ容量	150(MB)	20(MB)

固定端末のパラメータを表2に示す。移動モデルはStationary Movementを使用する。Stationary Movementとは動かないノードで、決められた場所に固定し接触したノードにメッセージを送受信する移動モデルである。

表 2 固定端末のパラメータ

通信可能距離 (m)	10
移動モデル	Stationary Movement
インタフェース	DCI
バッファ容量 (MB)	150

5.2 メッセージパラメータ

メッセージのパラメータを表 3 に示す。範囲指定したパラメータは一様乱数で決定する。メッセージのグループは 2 つとする。1 つ目は各クラスタ内のノード間のメッセージ。2 つ目は全てのノードが送信元、宛先であるメッセージとする。パラメータは同じとする。

表 3 メッセージパラメータ

容量 (kB)	400-1024
メッセージ生成間隔時間 (sec)	10.0-14.0
TTL(min)	150

5.3 The One と DTN2 の連携

The One と DTN2 の関係図を図 4 に示す。DTN2 と連携するためには dtnd インスタンス毎の config ファイルと The ONE 内ノードと各 dtnd インスタンスを対応付ける cla ファイルを設定する。

config の主な項目は External Convergence Layer Adapter(ECLA), Console, API の 3 つの TCP ポートである。

バンドルは ECLA ポートを介して The One と dtnd を行き来する。The One で生成するメッセージは DTN2Reporter.java で dtnd の永久ストレージに送信し、バンドルへの変換は DTN2Event.java で実行する。またバンドルを他のノードに送信時も DTN2Repoter.java を使う。

Console ポートは The ONE から dtnd へのコマンド送信、主に rink や route を追加するのに使用する。API ポートは、dtndsend などの DTN2 コマンドから特定の dtnd へ指示を出すときに使用する。

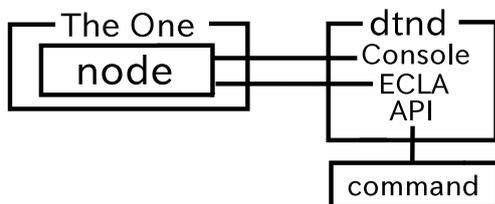


図 4 The One と DTN2 の関係図

cla ファイルに nodeID, EID, dtnd host(local host), ECL port, console port のリストを設定する。シナリオファイルに DTN2Event, DTN2Manager, cla ファイルの指定を追加し、cla ファイルに指定された複数の dtnd サー

バを起動する。dtnd を起動させ、The One を実行すると The One と DTN2 が連携する。

dtnd と連携するノードごとに config ファイルや cla ファイルの設定する必要がある。dtnd サーバを起動するのはとても時間がかかるのでこれらの処理を自動で設定、実行するスクリプトを作成した。シミュレーション実行を簡単にする工夫として、config, cla ファイルの自動生成、dtnd 自動起動用スクリプトを Perl で合計 20 個作成した。

6 実験

本節では実験手順と実験結果を述べる。

6.1 実験手順

実験手順は以下の通りである。

1. 通常ノード数を 250, シミュレート時間を 6 時間に設定しシミュレート開始
2. 均一かつランダムなトラフィックのメッセージ平均到達遅延, メッセージ到達率の項目を記録
3. 通常ノード数を 250 ずつ増加し, 1~2 の手順を通常ノード数が 2000 になるまで繰り返す
4. メッセージのサイズを固定, 頻度だけを変えて, バックグラウンドのスループットを計測
5. 通常ノードを 100 とし, 南山大学内の特定のノードと本山駅の固定端末の 2 点間の最大スループットを計測

ノード全体のスループット測定方法を説明する。表 3 のメッセージパラメータを用いて, 全体のメッセージ生成頻度を調節することで 4000kbps から 12000kbps のトラフィックを投入する。投入トラフィックごとのシミュレーション結果の到達数を元にスループットを計測した。bps はメッセージ到達数にメッセージサイズと 8(octet) を掛け, シミュレーション時間 (21600 秒) で割った値とする。

特定の 2 点間の最大スループットの計測方法について説明する。特定の 2 点間は南山大学内の 1 つのノードと本山駅の固定端末とする。また, リソース不足で全ノードに dtnd を付加できないので特定の 2 つのノードのみに付加する。それぞれの投入トラフィックごとに特定の 2 点間では 1MB のバンドルを流し, 生成頻度を変える。バンドルの到達数が最も多いときのスループットを最大スループットとする。

6.2 各ノード数のネットワークの性能評価

各ノード数のメッセージ平均到達遅延のシミュレーション結果を図 5, メッセージ到達率のシミュレーション結果を図 6, ノード全体のスループットのシミュレーション結果を図 7 に示す。

メッセージ平均到達遅延は 750 ノードから 3500 秒に収束する結果となった。

メッセージ到達率は 500 ノードの 25% から 1000 ノードの 30% まで上がるが 1250 ノードから下がった。

図 6 の結果, 1500 ノードから到達率が下がったので, 下がり始めである 1500, 1750, 2000 ノードのスループットを測定した。ノード全体のスループットはノード数が増える

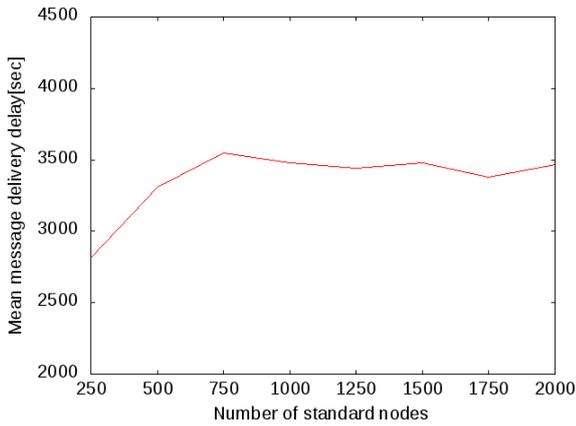


図5 メッセージ平均到達遅延

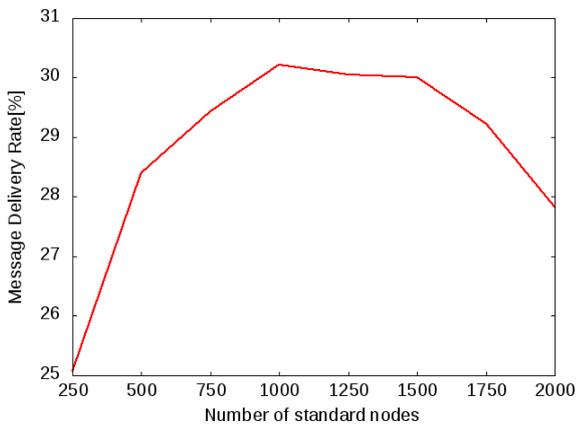


図6 メッセージ到達率

に連れて下がる結果となった。よって図5, 図6, 図7よりこのシミュレーションモデルでは1500ノードまでが実用的な規模だと考えられる。

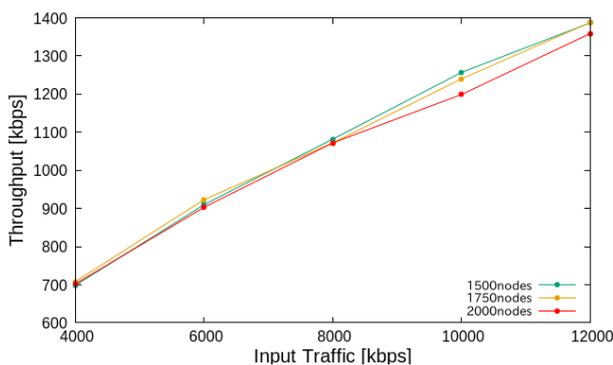


図7 ノード全体のスループット

ストレージ容量はノード250数からノードが増加するとストレージ平均使用量の増加を確認した。

6.3 2点間通信の評価

特定の2点間通信の性能評価を以下に記す。リソース不足により100ノードの規模で2点間通信のシミュレートを

する。

2点間での最大スループットのグラフを図8に示す。図8の結果からバックグラウンドトラフィックが増加するにつれ2点間の最大スループットが下がることがわかった。また、メッセージ平均到達遅延は6000秒に収束する結果となった。

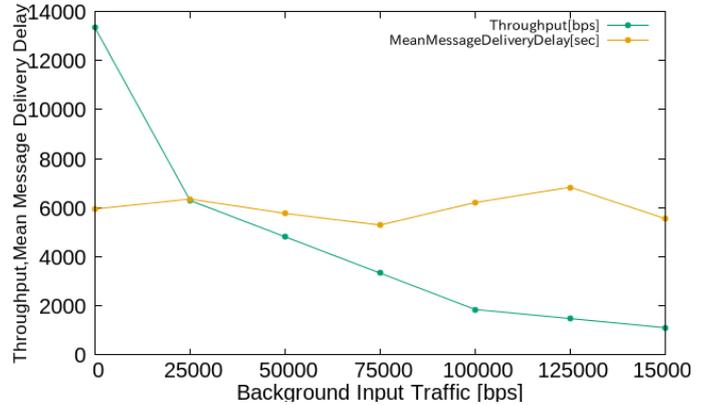


図8 特定の2点間の最大スループット

7 おわりに

本研究では大規模なDTNのスケラビリティの問題に着目し実用的な規模を模索した。それぞれのノード数ごとの評価項目を比較した結果、1500ノードまでが実用的である。全ノードにdtndを付加するとPCの処理能力ではできなかった。The Oneでは長い時間や長距離のスケリングでのシミュレーションができないのでソースコードを書けば長距離のシミュレーションができる。また、The ONEでは1対1の通信なので、1対多でも通信できるようにマルチキャスト機能を追加し、通信をより向上できると考える。

参考文献

- [1] 鶴 正人ほか: DTN 技術の現状と展望, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, No. 16, pp. 57-68 (2011).
- [2] 柳生智彦: 遅延・切断耐性ネットワーク (DTN) とその応用への課題, 技術報告 112 (2012). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009588238/>.
- [3] Cerf, V. et al.: Delay-Tolerant Networking Architecture, *IETF RFC 4838* (2007).
- [4] Keränen, A. et al.: The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation, *SIMUTools '09: Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*, New York, NY, USA, ICST, pp. 1-10 (2009).