

DTN (Delay Tolerant Network) における メッセージ転送技術の研究動向

2008年2月1日

森山 敦文

独立行政法人 情報通信研究機構

九州リサーチセンター 拠点研究員

Agenda

- DTN (Delay Tolerant Network)
 - DTNの概要
 - DTNの標準化動向
 - 本プロジェクトが着目するDTNのメッセージ転送方式
- 本プロジェクトにおける研究報告
 - Epidemic Routing に関する性能解析の研究
 - マルチパス・メッセージ転送方式に関する研究とその試作・実験
- まとめ

DTN (Delay Tolerant Network) の概要

- ネットワーク環境の変遷
 - これまでのインターネット
 - エンドツーエンドの通信パスが常に存在
 - 即時的で安定したフィードバックに基づく効率のよい再送や誤り訂正が可能
 - 通信パスでのパケットロスが比較的小さい
 - これからのインターネット
 - 障害発生頻度の高いノードやネットワークとの接続
 - 無線LANや低速回線などの不安定要素をもつネットワークとの接続
 - 移動するノードとの接続
- インターネットの拡大に伴う極端な多様性と不均一性
- DTNとは？
 - 大きな伝送遅延, 伝送失敗や通信切断が多発するような「劣悪な」通信環境 (通信リンク) を含むネットワークにおいても, エンドツーエンドの情報伝達を可能にする技術。

3

Agenda

- DTN (Delay Tolerant Network)
 - DTNの概要
 - DTNの標準化動向
 - 本プロジェクトが着目するDTNのメッセージ転送方式
- 本プロジェクトにおける研究報告
 - Epidemic Routing に関する性能解析の研究
 - マルチパス・メッセージ転送方式に関する研究とその試作・実験
- まとめ

4

DTNに関する標準化の取り組み

- **Internet Society (ISOC):** インターネットに関連した標準・教育・政策を先導する組織
Internet Research Task Force (IRTF)

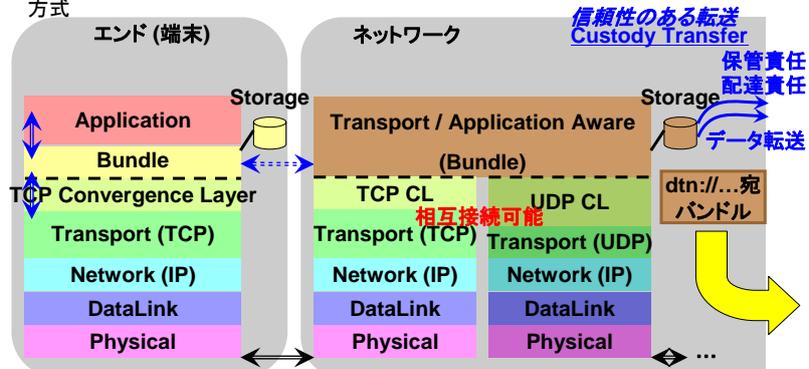
Delay Tolerant Networking Research Group (DTNRG)

- **Request for Comments (RFCs): 標準化ドキュメント**
 - 2007/04 RFC 4838 (Informational) “Delay-Tolerant Network Architecture”
バンドル層とバンドルプロトコルを含むDTNアーキテクチャ全体の概要
 - 2007/11 RFC 5050 (Experimental) “Bundle Protocol Specification”
バンドルプロトコルのヘッダフィールドやシグナリングなど基本的な仕様
- **Internet Drafts: 標準化審議中の草案**
 - バンドル層やバンドルプロトコルの拡張
チェックサム, マルチキャスト, セキュリティなど
 - バンドル層やバンドルプロトコルに関連したプロトコル
Licklider / Longhaul Transmission Protocol (LTP)
Saratoga
- **実装および実験**
 - DTNの参照実装やLTPの実装が進行中。
 - パソコンを6台ほどつないだ実証実験実施。

5

バンドル層とその周辺技術の概略(1)

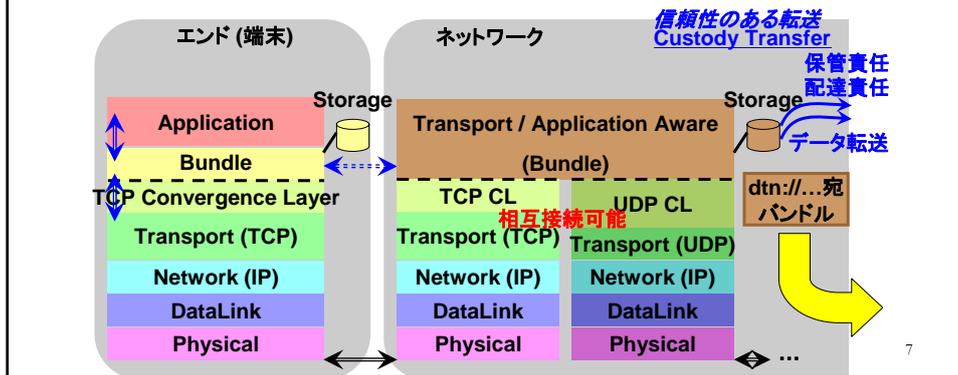
- **バンドル層**
 - アプリケーション層とトランスポート層の間に介在, 可変長データ(バンドル)を蓄積運搬転送 (Store-Carry-Forward)
- **吸収層 (Convergence Layer)**
 - バンドル層のインターフェースを変えずに異種ネットワークの相互接続のために, 下位層の違いを吸収する層
- **保管転送 (Custody Transfer)**
 - 信頼性のある転送のために, バンドルの転送と同時に保管・配達する責任も委ねていく転送方式



6

バンドル層とその周辺技術の概略(2)

- Uniform Resource Identifier (URI) 形式のノード識別子
 - 異種ネットワークの相互接続を可能にするための汎用的なネーミング
- Late Binding を用いたアドレス解決
 - 大きな遅延によって識別子とアドレスの対応が変化したり, 異種ネットワークとの相互接続において他のネットワーク内部のアドレス形式が解釈できなくなったりするのを回避するためのアドレス解決方式



Agenda

- DTN (Delay Tolerant Network)
 - DTNの概要
 - DTNの標準化動向
 - 本プロジェクトが着目するDTNのメッセージ転送方式
- 本プロジェクトにおける研究報告
 - Epidemic Routing に関する性能解析の研究
 - マルチパス・メッセージ転送方式に関する研究とその試作・実験
- まとめ

DTNでのメッセージ転送方式

- 間歇的コネクティビティ
 - エンドツーエンドの通信パスが常に存在しているとは限らない
 - 蓄積運搬転送 (Store-Carry-Forward)
- 予測できないコンタクト
 - データの転送先は一意的に決定したり固定したりできない
 - 感染型経路制御 (Epidemic Routing) などの確率的な経路制御
- ネットワーク資源の制約や変化
 - “塵も積もれば山となる”
 - マルチパス転送
 - データ転送のタイミングや順序も性能に影響
 - 転送スケジューリング
 - 高効率化や高信頼化が必要
 - Network Coding や Erasure Coding など符号化

9

Agenda

- DTN (Delay Tolerant Network)
 - DTNの概要
 - DTNの標準化動向
 - 本プロジェクトが着目するDTNのメッセージ転送方式
- 本プロジェクトにおける研究報告
 - Epidemic Routing に関する性能解析の研究
 - マルチパス・メッセージ転送方式に関する研究とその試作・実験
- まとめ

10

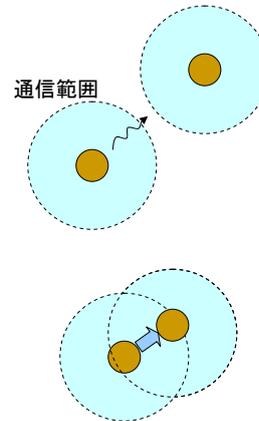
疎密度モバイルアドホックネットワーク

■ 疎密度モバイルアドホックネットワーク

- 各移動ノードの通信範囲内には、大部分の時間、他のノードが存在しない。
- 従来のアドホックネットワークの経路制御では通信不可能

■ 感染型経路制御

- 蓄積運搬転送 (Store-Carry-Forward) パラダイムを採用した経路制御
- ノードが送信もしくは中継したいパケットを保持している場合
 - 通信範囲内に他の端末がいる場合⇒パケットを複製して渡す(感染)
 - 通信範囲内に他の端末がいない場合⇒保持したまま移動

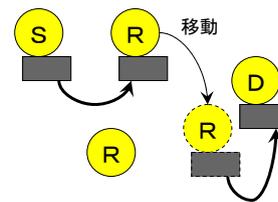


11

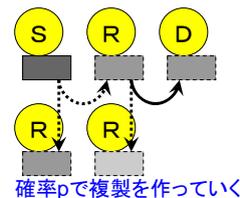
様々な感染型経路制御

- ノードの分類
 - 送信ノード
 - 宛先ノード
 - 非感染ノード: 送信ノードと受信ノード以外で、パケットを複製されていないノード
 - 感染ノード: パケットを複製されたノード
- Direct Source-Destination Delivery
 - 感染しない場合
 - 送信ノードは宛先ノードに出会ったときだけパケットを複製
- Epidemic Routing
 - 最も単純な感染型経路制御
 - 送信ノード、感染ノードは出会った全ての非感染ノード、受信ノードにパケットを複製
- Two-Hop Forwarding
 - 送信ノードは、非感染ノード、受信ノードにパケットを複製
 - 感染ノードは、宛先ノードだけに複製可能
- Probabilistic Routing
 - 送信ノード、感染ノードは、非感染ノードに出会うと確率 p で複製

Two-Hop Forwarding



Probabilistic Forwarding



12

感染型経路制御の性能評価指標

- ネットワーク資源
 - バッファ使用量、消費エネルギー
 - 伝送能力
 - 到達確率、遅延時間
- } トレードオフの関係
- 例:
 - Epidemic Routing
 - 遅延時間は小さいが、バッファ使用量が膨大(パケットを撒き散らしすぎ)
 - Two-Hop Forwarding
 - バッファ使用量は小さいが、遅延時間が大きい
 - 感染型経路制御の性能評価における問題点
 - 従来のインターネット、アドホックネットワーク
 - 統一的、経験的な性能評価指標が存在
 - 例:ビット誤り率 10^{-3} の条件下でスループット最大にする、等。
 - 感染型経路制御では?
 - どのような性能評価を用いるのが良いのかの判断基準が確立されていない。

13

感染型経路制御の一般化モデル

~(p, q)-Epidemic Routing~

- T. Matsuda, T. Takine, "(p,q)-Epidemic Routing for Sparsely Populated Mobile Ad Hoc Networks," to appear in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008.
- 様々な感染型経路制御を包含する一般化数学モデル
- (p, q)-Epidemic Routing
 - 感染ノードが他のノードに出会ったときに感染する確率p
 - 送信ノードが他のノードに出会ったときに感染する確率q
 - 例
 - Epidemic Routingの場合: $p=q=1$
 - Two-Hop Forwardingの場合: $p=0, q=1$
 - 多次元吸収マルコフ連鎖による解析

14

九州リサーチセンターでの取り組み

- 既存の感染型経路制御の分類
 - Two-Hop Forwarding, etc.
 - 性能評価手法の確立
 - (p, q)-Epidemic Routingを基にした感染型経路制御の性能評価手法の確立
 - 既存の経路制御方式の性質を解明
- 
- 新たな感染型経路制御方式の提案
 - (p, q)-Epidemic Routingの解析で得られた知見を基に具体的な経路制御方式を提案
 - 木村, 松田, 滝根, “疎密度モバイルアドホックネットワークにおけるMulti-Spreaderルーティング方式,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, 2008年3月(発表予定).

15

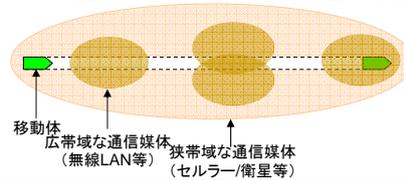
Agenda

- DTN (Delay Tolerant Network)
 - DTNの概要
 - DTNの標準化動向
 - 本プロジェクトが着目するDTNのメッセージ転送方式
- **本プロジェクトにおける研究報告**
 - Epidemic Routing に関する性能解析の研究
 - **マルチパス・メッセージ転送方式に関する研究とその試作・実験**
- まとめ

16

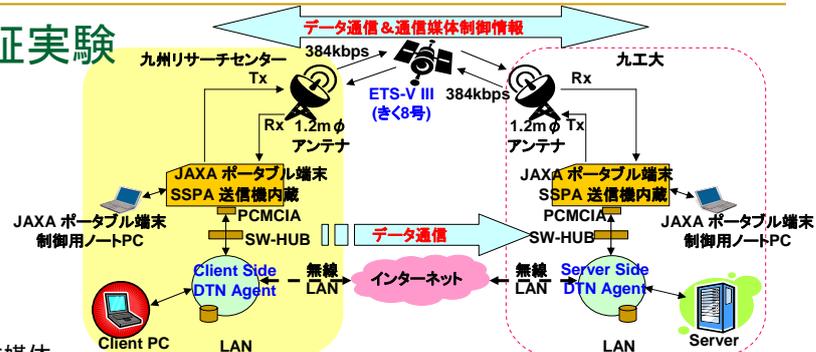
研究背景

- 現在のネットワーク環境には複数種類の通信媒体が混在
 - 比較的広帯域で狭い通信エリアを持つ通信媒体 例: 無線LAN
 - 比較的狭帯域で広い通信エリアを持つ通信媒体 例: 携帯電話・衛星回線
- 特性の異なる複数通信媒体の統合利用による効率化
 - 劣通信環境でも複数の通信媒体を組み合わせてマルチパスとして使用
 - ロスが相当大きく、通信断が発生するような通信媒体
 - 状態が激しく変動するネットワーク
 - 狭帯域ではあるがロスしない通信媒体があれば、それを制御情報の交換に使用
 - ネットワーク状態やアドレスの変化に関する情報
 - レート制御や再送制御に必要な情報
- 想定例: 移動体が、複数通信媒体の混在エリアを移動しながら、インターネット上のサーバへ大容量のデータ転送
- 応用例: 船が、複数の島の間を巡廻しながら、島の高速無線を使ってデータ転送



17

実証実験



- 通信媒体
 - 狭帯域で広い通信エリアを提供する衛星ETS-VIII(きく8号)
 - 広帯域で狭い通信エリアを提供する無線LAN
- データ通信手順
 - Clientから送られたデータは一旦Client Side DTN Agentに蓄積
 - 無線LANが利用できれば、それを用いて蓄積されたデータをServer Side DTN Agentへ転送
 - Client側の移動で無線LANが通信断となった場合は、転送途中のデータは衛星経由で転送
 - これらの通信媒体で転送されたデータは、一旦Server Side DTN Agentに蓄積後、再構築
- 制御パス
 - ネットワーク状態やアドレス変化、レート制御や再送制御に必要な情報等は衛星を用いてAgent間で確実に交換
- 来年度前半に実際に通信衛星ETS-VIIIを使って大容量データ転送の実証実験を予定

18

デモの設定



- 実証実験の中核をなす、Client Side DTN AgentとServer Side DTN Agentがそれぞれインストールされたマシン間でデータ通信を実施
- 衛星や様々な無線通信環境はネットワークエミュレータを使って模擬
- マルチパスで40MBほどのファイルを効率的に転送できることをデモ展示
- ネットワークエミュレータの設定(劣通信環境)

	帯域	遅延	ロス
net-1	256Kbps	100ms 固定	なし
net-2	5Mbps	50ms 固定	10% ランダム
net-3	10Mbpsから5Mbpsへ変化	50msから300msへ変化	0.5%-1.0% ランダム

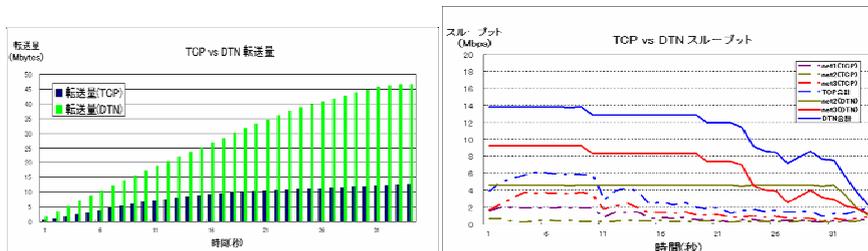
衛星通信想定
劣環境回線想定
劣環境回線想定

- 制御情報の送信
 - 極細だがロスのないnet-1を使用。
 - 一括転送後に再送処理、つまり、誤り制御(再送制御)とレート制御(輻輳制御)を分離。

19

デモの結果

- 以下の2つのデータ転送方式のデータ転送量と総スループットを示す。
 - TCP: 前述回線3本とも一般のTCPでデータだけを転送する方式
 - DTN: 前述のような制御情報フィードバックのあるマルチパス方式



- 結論
 - TCPはデータやACKなど制御情報がロスして、スループットが上がらない。
 - DTNは別回線で制御情報を送っているため、帯域幅をフルに活用できる。
 - データ転送量やスループットはともに3~4倍の違いがあり、この方式は有効。

20

Agenda

- DTN (Delay Tolerant Network)
 - DTNの概要
 - DTNの標準化動向
 - 本プロジェクトが着目するDTNのメッセージ転送方式
- 本プロジェクトにおける研究報告
 - Epidemic Routing に関する性能解析の研究
 - マルチパス・メッセージ転送方式に関する研究とその試作・実験
- まとめ

21

まとめ

- DTN技術の研究状況
 - 世界
 - 理論から実験まで様々な研究が進展。各種ワークショップも多数開催。
 - DTNRGを中心に、標準化が進行中。
 - 日本
 - 九州RCでは2006年6月から研究を開始。
 - 今回のようなワークショップを通じて、国内でのDTN研究の連携・活性化を図りたい。
- 九州RCでの今年度の研究の例
 - Epidemic Routing の極めて一般的なクラスを考案、性能のトレードオフを理論解析。
 - マルチパス転送可能なDTNサービスエージェントプラットフォームを試作。今後、衛星通信を含む多様な環境での様々なDTN技術の実証実験を行なう予定。

22