

通信途絶地域との通信を行うための DTN アーキテクチャに基づくプロトコル提案と試作

A Protocol and the Prototype to communicate with a communication blackout region based on DTN architecture

秋山 洋平[†]
Youhei Akiyama

小林 亜樹[‡]
Aki Kobayasi

1. まえがき

大規模被災地内は、通信施設の損壊、中継伝送路の切断、電柱の倒壊、基地局の損壊、通信集中による通信制御（輻輳）、停電による電源の途絶により電話やネットワークなどの通信インフラが機能しなくなり、人的・物的な被害状況、安否情報などの災害情報の収集・共有が困難となる。このような過酷な通信条件に適合するため、DTN(Delay-Tolerant Networking)[1]を応用し、災害情報の収集・共有を行う研究がある。

DTN とは、惑星間ネットワークを起源に持ち、大きな通信遅延、間欠的な通信リンクの出現、頻繁なパケット損失などが発生する通信環境においても、ストアアンドフォワード方式でデータ転送を行うことによりエンドツーエンドで情報伝達を実現する枠組みである。DTN では、ノードにおける転送データの蓄積を導入し、通信リンクが利用できない場合は、一旦蓄積し、利用可能となった時点でデータ転送を行う。この蓄積転送を繰り返すことで、最終的に宛先 DTN ノードへのデータの配送を実現する。すなわち、DTN とは通信遅延を許容することでエンドツーエンドでの情報伝達を実現する枠組みである。

DTN の中継伝送技術とノード間のマルチホップ無線通信によるデータ転送を併用することで大規模被災地内において一時的な通信インフラを構築し、災害情報の収集・共有を行う方式が研究されている。例えば、大規模被災地内において、端末間でアドホックネットワークを構築し、構築したネットワーク上で DTN 通信によるデータ運搬を行うことで、ネットワークが分断されてしまう場合にも、災害情報の収集・共有を実現するシステムがある。しかし、通信が事実上途絶状態にある DTN ノードとの情報共有を行うためには、人手で情報を運搬するなど別の通信手段が必要となる問題がある。

そこで本稿では、可搬型データ蓄積ストレージ(以下、可搬ストレージ)を通信路として利用し、情報を人手で運搬することで、通信が事実上途絶状態の拠点との情報共有を実現することを目的とする。この目的を達成するために、ストレージ運搬型の Transport レイヤを想定し検討を行い、この検討結果に基づきプロトコルの要件を定義し、オープンソースで DTN のリファレンス実装である DTN2[3] 上に実装する。

2 章で DTN および関連研究を概観し、3 章にて、ストレージ運搬型の Transport レイヤを想定し、検討した結果に基づく提案手法について説明する。4 章では、

3 章の検討結果を考慮し、ストレージ運搬型 Transport レイヤを実装するにあたり必要なプロトコルの要件を整理する。5 章で、これら要件を満たすプロトコルをオープンソースで DTN のリファレンス実装である DTN2 上に実装した。6 章にて、本稿をまとめる

2. 関連研究

本章では、DTN 技術について説明し、次に DTN 技術の応用に関する研究について概観する。

2.1. Delay-Tolerant Networking

インターネットは、TCP/IP プロトコルスイートによって世界中の通信機器を相互に接続することで大きな成功を収めてきた。しかし、インターネットの基礎となる TCP/IP は、エンドツーエンドが物理的・論理的に常時接続可能であることを前提としており、これに基づいて様々な制御を行なっているため、頻繁に通信リンクの切断やパケット損失が発生するような通信環境では、正常に動作しないあるいは性能が悪く実用に耐えない。例えば、惑星間ネットワークは、インターネットのような即時中継ネットワークとは異なり伝送遅延の時間粒度が大きくなるため、TCP のような即時的・安定的なフィードバックに基づいて様々な制御を行うプロトコルは、正常に動作しない。

DTN は、このような従来の TCP/IP の設計の中では想定されていなかった劣悪な通信環境においても、エンドツーエンドでの情報伝達を実現する枠組みである。その通信アーキテクチャは、マルチホップ中継通信において、バンドルと呼ばれる情報単位を、DTN ノード間の蓄積転送によって送信するものである(図 1)。DTN ノードとは、バンドル層を実装し、DTN の通信単位であるバンドルの送受信ができるノードである。

蓄積転送では、転送されてきたバンドルを一旦永続ストレージに蓄積し、通信リンクが利用可能になるのを待ち、利用可能となった時点で転送を行う。通信リンクとは、一般的な有線/無線の通信路のほかにもストレージを用いるなどしてデータの転送を行える機能の抽象を指す。

また、DTN では、バンドル層の下方に直接にデータリンク層を用いる場合を含む多種のトランスポート層を想定しており、これら論理的物理的通信レイヤへとデータ構造を変換するための Convergence レイヤを設けている。Convergence レイヤにバンドルが引き渡されると、下位で利用する通信レイヤ、例えば、TCP、UDP、Bluetooth などの一連の通信レイヤ上のプロトコルへと変換される。

一般的なエンドツーエンド通信と DTN におけるこ

[†]工学院大学大学院工学研究科電気・電子工学専攻

[‡]工学院大学工学部情報通信工学科

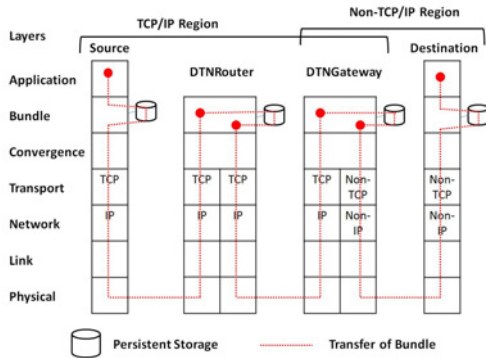


図 1: DTN Communication Architecture

これらのレイヤを用いたときの大きな違いは、DTN でのこれらのレイヤは、DTN レイヤにおける隣接ノードまでの通信を担うのみであり、受信側のノードで通信はほぼ終端され、次のホップを担う通信リンクが利用可能となるまでそのノード内の永続ストレージ内に蓄積された状態となることである。

2.2. 災害情報収集・共有システム

DTN のこのような目的から、これを災害時通信に応用しようとする動きがある。通信インフラの機能しない大規模被災地内において、端末間で無線アドホックネットワークを構築し、このネットワーク上で DTN 通信に基づいて災害情報収集・共有を行うシステム [7] がある。これは、通信インフラが機能しない災害現場において、携帯端末を携えた救助隊員間での DTN に基づいた通信および救助隊員の行動パターン、災害データの重要度を考慮したルーティングにより最短かつ確実に災害対策本部に設置されたサーバへ災害データをアップロードする方式の提案である。

また、災害情報を外部サーバにアップロードするために、無線アドホックネットワークを構成する端末間での、DTN データのルーティング手法 [8] もある。ここでは、防災無線や衛星通信などの専用回線を通して遠隔地にあるデータサーバに災害情報を収集するため、被災者や救助隊の所持する携帯端末により構成されるアドホックネットワークと DTN 技術を併用し、ノードの過去の移動履歴から専用回線とのゲートウェイとなるノードへデータを配送するためのルーティング手法を提案している。

これらより、具体的な条件付での DTN に基づいた災害情報収集・共有システム [9] がある。各ユーザ端末が保持する移動履歴、3G 通信接続状況の履歴から 3G 通信が利用可能なエリアを特定し、DTN によるユーザ同士のすれ違い通信を用いて大規模被災地内に点在する 3G 通信が利用可能なエリアへ各ユーザが自端末の Twitter クライアントから入力した安否情報を中継し、3G 通信を用いて外部サーバにアップロードされた安否情報を Google のパーソンファインダーへと自動登録するシステムを提案している。

これらの研究は、データを持った端末が外部との通信可能地域へ移動することで、外部サーバへデータのアップロードが行える。

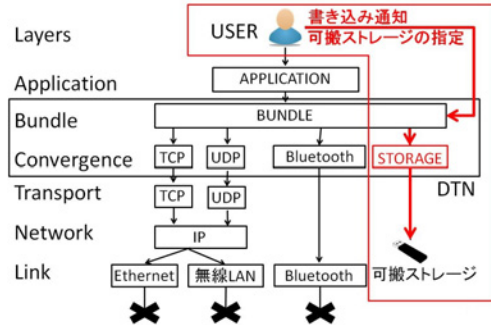


図 2: System 概要

一方、ノードの物理的な位置が時間変化に応じて変化しない環境において特定の域内での情報共有を実現することを目的とし、実装システムの利用を想定している地域の住民にデモンストレーションを行い、効果を確認した研究 [10] もある。このシステムは、地震などの災害発生時に中山間地域の孤立可能性集落において、無線 LAN を用いたアドホックネットワークおよび DTN の蓄積転送技術を併用することで、既存の通信インフラに依存せず、またネットワークが分断してしまう場合にも各戸に設置されたノード間でのデータ配送を実現している。

いずれも一般的な通信路を用いており、可搬型データ蓄積ストレージを通信路として利用した場合は未検討である。

3. 提案手法

2章では、DTN と DTN を応用した災害情報共有システムについて述べた。既存の DTN を応用した災害情報収集・共有システムでは、いずれも一般的な通信路を用いており、DTN の通信レイヤでストレージを扱うことは検討されていない。本稿では、DTN の Convergence レイヤに USB メモリなどの可搬ストレージとのインタフェースを設け、DTN の通信単位であるバンドルを可搬ストレージへ読み書き可能にすることで、可搬ストレージを通信路として利用することで、通信が事実上途絶状態の DTN ノードとの情報共有を行う具体的手順を提案する。本章では、ストレージ運搬型の Transport レイヤを想定し、検討した結果とそれに基づく提案手法について説明する。

3.1. 手法概要

DTN では、バンドル層のインタフェースを変えずに異種のネットワーク相互接続のために、下位層の違いを吸収する層として Convergence レイヤが定義されている。ここに新たに、可搬ストレージとのインタフェースとなる StorageConvergence レイヤを設ける (図 2)。この新たに設けた StorageConvergence レイヤにより、可搬ストレージへバンドルの読み書きを行う。

提案手法の一連の流れは、送信元 DTN ノードにおいて可搬ストレージへバンドルの書き込み、バンドルの書き込まれた可搬ストレージを手で運搬、宛先 DTN ノードにおいてバンドルを読み込みとなる。ストレージを通信路として充て、バンドルを書き込んだストレージ

ジを手で運搬することにより、通信が事実上途絶状態の DTN ノードとの情報共有を実現する。

本手法は、利用者がバンドルの書き込まれた可搬ストレージを任意の DTN ノードに運搬し、そのノードにおいてデータを読み込むことで通信を成立させるため、言わば 2 ノード間でのユニキャスト通信となる。しかし可搬ストレージへのバンドルの書き込みは、特定の宛先のバンドルではなく保持しているすべてのバンドルを書き込む。そして、運搬先 DTN ノードでは自ノード宛のバンドルに併せて他の DTN ノード宛のバンドルも読み込んでおき、次にバンドルの運搬する際に書き込めるように保持する。運搬時にこれも合わせすべてのバンドルを書き込む。これによりマルチホップ通信にも対応可能である。ただし、実装上はストレージのメモリ容量を超えるバンドルを保持していた場合に、バンドルの可搬ストレージへの書き込みできない問題が生じる。これは、アプリケーションによって生成されたアプリケーションデータがバンドル層に渡されバンドルにカプセル化された時刻が最も古いものから順に新しいバンドルに書き換える方法や情報の優先度に応じて可搬ストレージ内のバンドルと保持しているバンドルを書き換えるなどの方法での解決が考えられるが、本質的にはルーティングの問題であり本論文では取り扱わない。

一般的な通信路と可搬ストレージを通信路として充てた場合の比較、検討した結果について述べる。ストレージ運搬型の Transport レイヤで一般的な通信リンクと異なる点は、次の 2 点であるといえる。

- 送信側と受信側で通信リンクの状態は非同期
- 通信時には利用者の介入が必須

このうち前者は、TCP のようなコネクション指向トランスポートで制御上必要とされる同期生がないことを指す。UDP のようなコネクションレス型通信では、必ずしも考慮されない。これらがバンドルの送信、受信の局面においてどのように作用するか、順に説明する。

3.2. バンドル送信

地球上における一般的な通信路では、送受信側で通信リンクの状態は一意に定まっているとあって良い。これは、誤りなどによる細かな議論を除けば、おおむね時間的に利用可能であるか否かといった状態は、同期して変化することを意味する。これに対し、ストレージ利用リンクでは、送信可能状態はストレージへの書き込み可能状態であり、このとき、受信側では通信の発生を知る由はない。受信可能状態についても同様である。

また、送信可能状態であることをシステムが知るためには、利用者の介入が必須である。なぜなら、当該機器にストレージが利用可能な状態で接続されていたとしても、それが DTN 通信のためバンドルを書き込んで良いものか否か一般的には知る術がないからである。したがって、より明らかなバンドル書き込み完了の通知とストレージの切り離し、運搬開始時のユーザの介入以外にも、書き込み可能ストレージの存在とそ



1. ユーザからの書き込み準備通知
書き込み先ストレージの指定
2. 利用者による通知誤り
3. 送信バンドルが存在
4. 書き込み完了

図 3: バンドル送信時の状態遷移図

の場所の指示においてユーザの介入が必須であると言える。

通信時の利用者の介入と通信リンクの状態が送受信側で非同期であることは、通信リンク状態の決定において相互に影響を及ぼす。データ送信時においてはすなわち、ストレージの存在を認知していない「利用不可 (UNAVAILABLE)」状態、利用者による書き込み先ストレージ指定を受けて、実デバイスの書き込み確認後に訪れる「利用可能 (AVAILABLE)」状態、送信バンドルがあるならば、実際に書き込みを行う「書き込み中 (OPEN)」状態を遷移することになるからである。利用者による通知が誤り (接続先の誤認、ストレージ残容量欠如など) などだった場合には、「利用可能」状態から「利用不可」状態へと遷移するから、書き込みまでの準備段階での状態遷移図は、図 3 のとおりとなる。また、送信時処理の流れは、

Step 0. ストレージの物理的接続。

Step 1. ユーザからの書き込み準備通知。

Step 2. 書き込み先ストレージ path 通知。

Step 3. 書き込み許容確認。
書き込めれば Step 4 へ。
書き込めなければ処理を中止。

Step 4. バンドルをストレージに書き込み。

Step 5. 書き込み完了をユーザに通知。

Step 6. ストレージの物理的切り離し。

となる (図 4)。

3.3. バンドル受信

受信時のプロトコルは送信時のそれに比べて単純である。このとき、バンドルを格納したファイルを OS の機能と連携して、接続されたストレージから検索し、バンドルがあれば受信処理を行えば良い。ここでは、実際のストレージの物理的接続以外に利用者が介入する必要はない。他の DTN ノード宛バンドルについては、単に破棄すれば十分であり問題にはならない。受信時の手順は次の通り、

Step 0. ストレージの物理的接続。

Step 1. OS によるストレージ認識による通知。

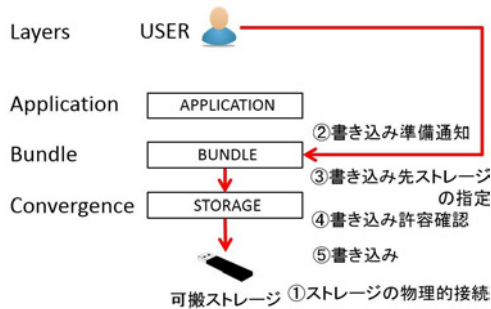


図 4: バンドル送信

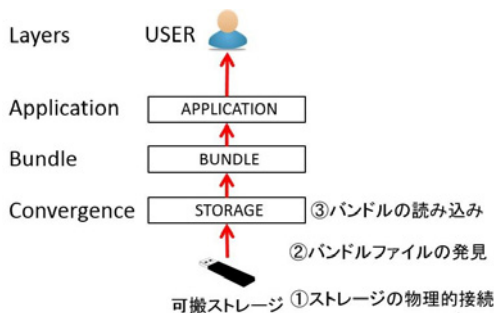


図 5: バンドル受信

Step 2. バンドルファイル検索.

バンドルがあれば Step3 へ。
なければ, 処理を中止。

Step 3. バンドルファイルを読み込み.**Step 4.** 読み込み完了をユーザに通知.**Step 5.** ストレージの物理的切り離し. (optional)

である (図 5)。

4. 要求仕様

3 章では, ストレージ運搬型の Transport レイヤを想定し, 検討した結果に基づく提案手法について説明した。本章では, この検討結果を考慮し, ストレージ運搬型の Transport レイヤを実装するにあたり必要なプロトコルの要件を, 送信時, 受信時に分けて整理する。

4.1. 送信時要件

送信時の要件は, 次の 4 要件である。

- 要件 1. ユーザによる書き込み準備通知.
- 要件 2. ユーザによる書き込み可搬ストレージの指定.
- 要件 3. 可搬ストレージへの書き込み許容確認.
- 要件 4. バンドルの可搬ストレージへの書き込み.

要件 1 では, 利用者がデータ運搬開始をシステムに通知することを目的としている。なぜなら, バンドルの運搬開始のタイミングは, 利用者によって決定される

ため, システムが運搬開始のタイミングを知るには, 利用者の通知が必要だからである。

要件 2 では, 当該機器にストレージが利用可能な状態で接続されていたとしても, そのストレージが DTN 通信のためのバンドルを書き込んで良いものか否か一般に知るすべがないため, ユーザに DTN 通信に利用するストレージを指定してもらい。これにより, DTN 通信に利用するストレージを特定することを目的としている。

要件 3 では, 利用者による通知誤り (接続先の誤認, ストレージ残容量の欠如) などがないかを確認することを目的としている。

要件 4 では, 可搬ストレージへ DTN の通信単位であるバンドルの書き込みを行うことを目的としている。

4.2. 受信時要件

受信時の要件は, 次の 2 要件である。

- 要件 1. バンドルファイルの発見.
- 要件 2. バンドルファイルからバンドルの読み込み.

要件 1 では, 当該機器に接続されたストレージからバンドルが書き込まれたバンドルファイルを OS の機能と連携し, 発見ことを目的としている。

要件 2 では, バンドルファイルからバンドルを読み込む事を目的としている。

5. 実装

提案手法をオープンソースで DTN のリファレンス実装である DTN2 上に実装した。本章では, ストレージ運搬型の Transport レイヤとして実装した試作実装について述べる。

5.1. 試作実装

試作実装は, IRTF(Internet Research Task Force) の中の研究グループ DTN2RG(The Delay Tolerant Networking Research Group) によって開発された DTN プロトコルの実験プラットフォームである DTN2[3] を DTN の通信単位であるバンドルを可搬ストレージへ読み書きできるように拡張したものと実装した。ただし, DTN2 は, 実際に TCP/IP プロトコルスタックの Application レイヤと Transport レイヤの間に Bundle レイヤを挿入するのではなく, デーモンプロセスとして RFC5050[5] で定義されている Bundle レイヤおよび Convergence レイヤを実装している。DTN2 は, 大まかに Bundle レイヤおよび Convergence レイヤを実装するバンドルデーモンプロセス, エンドポイントでのデータの送受信を行うためのアプリケーションの 2 点で構成されている (図 6)。

DTN アプリケーションは, エンドポイントでデータを送受信を行うためのコンポーネントである。DTN2 では, DTN ノードを識別するためにエンドポイント識別子 (Endpoint Identifier 以下, EID と呼ぶ) と呼ばれる識別子を用いており, アプリケーションを用いてデータの送受信を行う際は, この EID を指定する。具体的には, データ送信時は, コマンドライン引数として送信元および宛先 EID を指定し, データ受信時には, 自

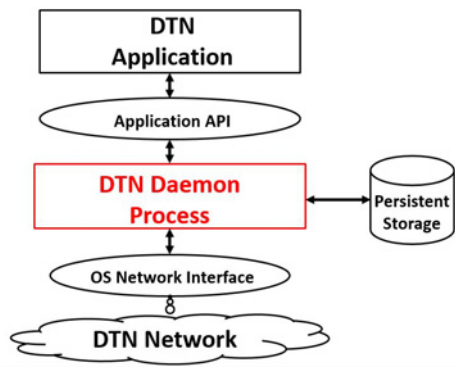


図 6: External Interface of Bundle Daemon

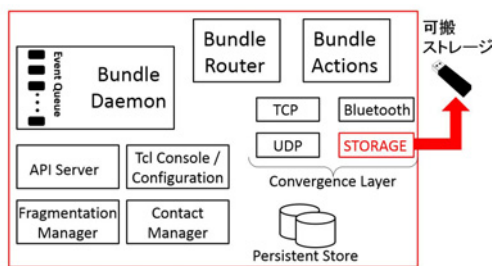


図 7: DTN2 Component

身の EID を指定しデータの受信を行う。次に、データを送受信するためのコマンドを示す。

送信 `dtnsend_ s_ d_`

`_t_ p_`

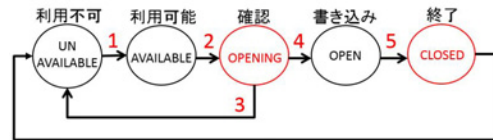
受信 `dtnrecv_ ownEID`

このとき、"_"はスペースを表す。送信コマンドの sourceEID は送信元の EID, destinationEID は宛先、3つ目のオプションである type は、送信するペイロードの種類を指定するオプションであり、file, tmpfile, message, date のいずれかを指定することができる。送信コマンドの最後のオプションである payload は、実際に送信するファイルやメッセージなどのデータである。受信コマンドは、自身の EID を指定することで自ノード宛のバンドルを受信することができる。

この EID は、DTN デーモンの設定ファイルで指定を行い、1つの DTN デーモンは、1つの EID を持つことができる。また、バンドル層でのルーティングは、この EID を基に行われる。

次に、バンドルデーモンプロセスは、バンドルの転送、制御を行うためのバンドル層および多種のトランスポート層または直接にデータリンク層を扱うための吸収層を実装するためのコンポーネントである。試作システムでは、このバンドルデーモンプロセスの吸収層に新たに可搬ストレージとのインタフェース (StorageConvergence レイヤ) を設ける (図 7)。

StorageConvergence レイヤにより可搬ストレージへのバンドルの読み書きを行う。ただし、試作システム



1. ユーザからの書き込み準備通知
2. 書き込み先ストレージpath通知
3. ユーザにより指定されたpathが存在しない送信バンドルが存在しない
4. ユーザにより指定されたpathが存在する送信バンドルが存在する
5. 書き込み完了

図 8: 試作システム書き込み時状態遷移図

での可搬ストレージからの読み込み処理は、OS の機能と連携して、接続されたストレージから検索し、バンドルファイルを読み込むのではなく、書き込み時と同様にユーザにバンドルファイルを保持する可搬ストレージを指定してもらうことで、そこからバンドルを読み込む。

StorageConvergence レイヤにより可搬ストレージへ書き込みを行う場合、隣接 DTN ノードとの通信リンク状態ではなく、可搬ストレージへ書き込みが行えるかによって実行する処理が決定する。また、DTN2 は OPENING と CLOSED の 2つの状態を経由する設計であるため、可搬ストレージを用いた場合の OPENING は、書き込みが行えるかを確認する時に遷移し、CLOSED は書き込み処理が終了し、リンク状態を UNAVAILABLE に戻すために遷移する状態とした。これらのリンク状態の状態遷移図を図 8 に示す。

5.2. 読み書き実行コマンド

試作システムを起動した端末では、TCL インタプリタが動作しており、ここから各種コマンドを入力することによって蓄積されているバンドル、通信リンクの状態などを確認することができる。可搬ストレージへの書き込み、読み込み通知および可搬ストレージの指定は、この試作システムを起動した端末上で行うように試作した。次に、可搬ストレージへの書き込み、読み込みを行う際の通知コマンドを示す。

書き込み準備通知コマンド `link_ storage_ storage`

読み込み準備通知コマンド `interface_ storage_ storage`

このとき、"_"はスペースを表す。これらのコマンドを入力することによって可搬ストレージへバンドルの読み書きを行う。実用場面では、グラフィカルなボタン、その他にて指示できる必要があるが、処理の本質としては同等のものである。

5.3. DTN2 上の試作システムの処理の流れ

一般的な通信路および可搬ストレージを通信路として用いた場合の DTN2 上の試作実装の処理の流れを示す。

5.3.1. 送信時

一般的な通信路 (図 9) と可搬ストレージ (図 10) を利用した場合の、送信時の処理の流れを示す。一般的

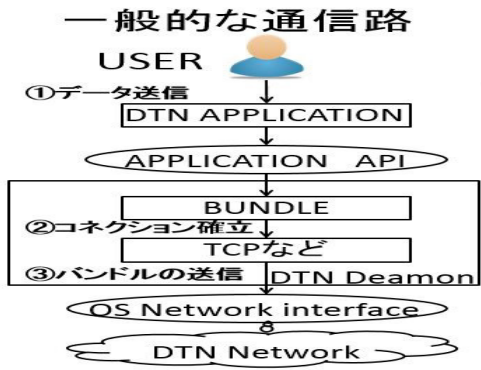


図 9: 送信時 (一般的な通信路)

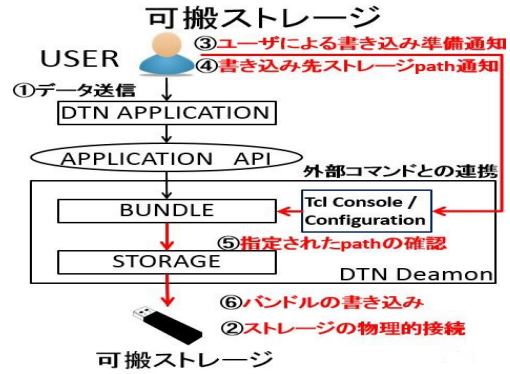


図 10: 送信時 (ストレージ利用)

な通信路では, Transport レイヤの protocols として TCP を用いた場合の例を示す.

一般的な通信路

- Step0. アプリケーションを用いてデータの送信.
- Step1. 隣接 DTN ノードへコネクションの確立要求.
コネクションが確立したら Step2 へ.
コネクションの確立に失敗した場合は, 一定時間において再び隣接 DTN ノードへコネクションの確立要求を行う.
- Step2. 論理的に確立したコネクションを用いてバンドルの送信.

可搬ストレージ利用

- Step0. アプリケーションを用いてデータの送信.
- Step1. ストレージの物理的接続.
- Step2. 試作システムを起動した端末から書き込み準備通知コマンドを入力.
- Step3. 書き込み先ストレージ path 通知.
- Step4. 書き込み許容確認.
書き込めれば Step5 へ.
書き込めなければ処理を中止する.
- Step5 指定された path に宛先 EID を基にバンドル保存用のディレクトリ作成.
宛先 EID を基に作成したディレクトリが既に存在していれば, 何もせず Step6 へ.
- Step6 バンドルをディレクトリ名がバンドルの宛先と一致するディレクトリに書き込む.
- Step7 保持しているすべてのバンドルに対して Step5, Step6 を繰り返す.
- Step8 書き込み完了をユーザに通知.
- Step9 ストレージの物理的切り離し.

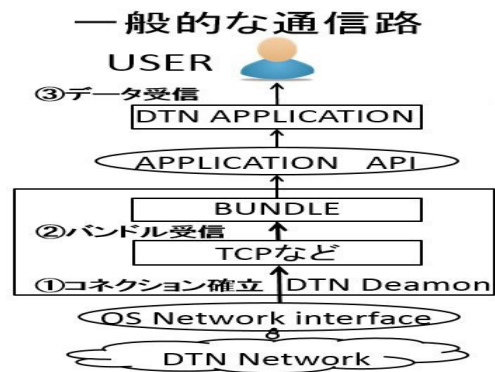


図 11: 受信時 (一般的な通信路)

5.3.2. 受信時

一般的な通信路 (図 11) と可搬ストレージ (図 12) を利用した場合の, 受信時の処理の流れを示す. 一般的な通信路では, Transport レイヤの protocols として TCP を用いた場合の例を示す.

一般的な通信路

- Step0. 隣接 DTN ノードからのコネクション確立要求の受信.
- Step1. 隣接 DTN ノードとのコネクションを確立.
- Step2. バンドルの受信.

可搬ストレージ利用

- Step0. ストレージの物理的接続.
- Step1. 試作システムを起動した端末から読み込み準備通知コマンドの入力.
- Step2. 読み込み先ストレージ path 通知.
- Step3. 指定された path からバンドルが保存されているディレクトリを探す.
バンドルが保存されたディレクトリを発見した場合は, Step4 へ.
なければ Step6 へ.

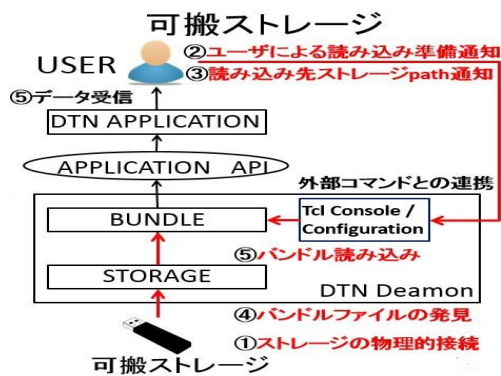


図 12: 受信時 (ストレージ利用)

- Step4.** バンドルが保存されたディレクトリからバンドルを読み込む。
- Step5** 指定された path のすべてのディレクトリに対して Step3, Step4 を繰り返す。
- Step6** 読み込み完了通知をユーザに通知。
- Step7** ストレージの物理的切り離し。 (optional)

5.4. 試作システムの利用手順

試作システムを実装した DTN ノード 3 台を用いた場合の利用手順を以下に示す。
3 台の DTN ノードの EID は次の通りである。

DTN ノード A dtn://dtnA.dtn

DTN ノード B dtn://dtnB.dtn

DTN ノード C dtn://dtnC.dtn

DTN ノード A, DTN ノード B, DTN ノード C の順番で可搬ストレージを用いてバンドルを運搬することで通信を行う手順を説明する。ただし、いずれの DTN ノードも自ノード以外の DTN ノードの EID は既知であるとし、各 DTN ノードにはあらかじめ自ノード以外の DTN ノード宛のバンドルが蓄積されているとする。

- Step 0** DTN ノード A において、可搬ストレージを用いたバンドルの運搬を行うため可搬ストレージの物理的接続。
- Step 1** 可搬ストレージへの書き込み準備通知コマンドである link storage storage の入力。
- Step 2** 書き込み先可搬ストレージの path の入力。
- Step 3** 保持しているすべてのバンドルを可搬ストレージへ書き込み。
- Step 4** 書き込み完了が通知されたら、可搬ストレージの物理的切り離し。
- Step 5** DTN ノード A から DTN ノード B までバンドルが書き込まれた可搬ストレージを手で運搬 (図 13)。

Step 6 DTN ノード B にて、可搬ストレージからバンドルを読み込むため可搬ストレージの物理的接続。

Step 7 可搬ストレージからのバンドルの読み込み準備通知コマンドである interface storage storage の入力。

Step 8 読み込み先可搬ストレージの path の入力。

Step 9 可搬ストレージからすべてのバンドルの読み込み。

Step 10 自ノード宛のバンドル (DTN ノード B) を受信するためデータ受信用のアプリケーションの実行 (dtnrecv dtn://dtnB.dtn)。

Step11 DTN ノード C にバンドルの運搬を行うため可搬ストレージへの書き込み準備通知コマンドの入力。

Step12 書き込み先可搬ストレージの path の入力。

Step13 保持しているすべてのバンドルを可搬ストレージへ書き込み。

Step14 書き込み完了が通知されたら、可搬ストレージの物理的切り離し。

Step15 DTN ノード B から DTN ノード C までバンドルが書き込まれた可搬ストレージを手で運搬 (図 14)。

Step16 DTN ノード C にて、可搬ストレージからバンドルを読み込むため可搬ストレージの物理的接続。

Step17 可搬ストレージからのバンドルの読み込み準備通知コマンドの入力。

Step18 読み込み先可搬ストレージの path の入力。

Step19 可搬ストレージからすべてのバンドルの読み込み。

Step20 自ノード宛のバンドル (DTN ノード C) を受信するためデータ受信用のアプリケーションの実行 (dtnrecv dtn://dtnC.dtn)。

Step21 可搬ストレージの物理的切り離し。 (optional)

5.5. 動作検証

可搬ストレージへのバンドルの書き込みおよび読み込みの処理速度は、デバイスに依存するため処理実行に要する時間を計ることは本手法の有用性を証明するものではないが、参考までに次に示す。

試作システムの動作試験では 1MB 程度のデータ量となったバンドル 1000 個、合計 1GB のバンドルの可搬ストレージへの読み書きに要した時間の計測を行った。以下に、実験環境および実行結果を示す。

実行環境

OS Ubuntu 12.04 LTS

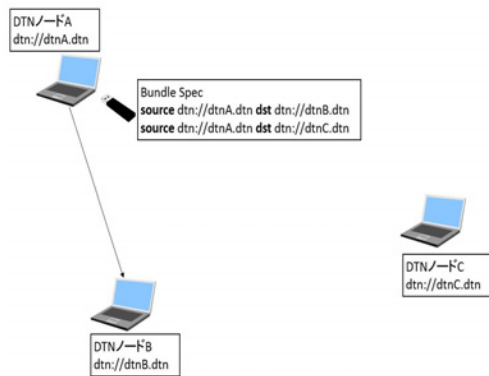


図 13: DTN ノード A から DTN ノード B へ運搬

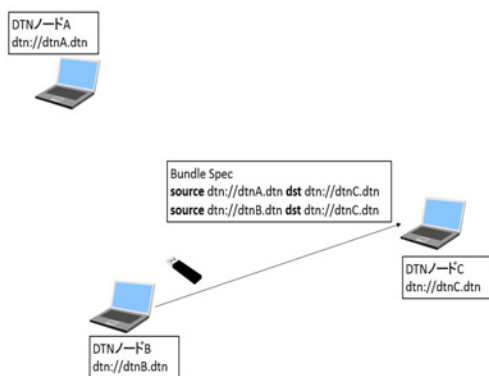


図 14: DTN ノード B から DTN ノード C へ運搬

CPU Intel Core i5-2500K

RAM 8GB

USB メモリ BUFFALO RUF2-K32GE

実行結果

可搬ストレージへの書き込み 154[s]

可搬ストレージからの読み込み 198[s]

書き込み, 読み込み共に数百秒程度であり通常のファイルアクセスと同様であり, 特に問題は見られなかった. 可搬ストレージを通信として充てて人手で運搬することで DTN ノード間で通信が成立したことを確認した.

6. まとめ

大規模被災地内は, 通信インフラが機能しないため, 災害情報の収集・共有が困難となる. そこで, DTN の中継伝送技術とノード間のマルチホップ無線通信によるデータ転送を併用することで大規模被災地内において一時的な通信インフラを構築し, 災害情報の収集・共有を行う方式が研究されている. しかし, いずれも一般的な通信路を用いており, 通信が事実上途絶状態にある DTN ノードとの情報共有を行うためには, 人手で情報を運搬するなど別の通信手段が必要となる問題がある.

本稿では, 可搬ストレージを通信路として利用し, 情報を人手で運搬することで, 通信が事実上途絶状態の

拠点との情報共有を行う具体的手順を提案した. 提案手法では, ストレージ運搬型の Transport レイヤを想定し検討を行い, この検討結果に基づきプロトコルの要件を定義した. そして, オープンソースで DTN のリファレンス実装である DTN2 上に試作実装として実装し, 可搬ストレージを通信として充てて人手で運搬することで DTN ノード間での通信に成功した. これにより, DTN の通信レイヤでストレージを通信路として扱うことができ, 通信が事実上途絶状態にある DTN ノードとは, バンドルを書き込んだ可搬ストレージを人手で運搬することで情報共有を実現する.

多ノード環境における効率的な通信のため必要とされるようなルーティング処理の導入は, 今後の課題である.

参考文献

- [1] Fall, Kevin.: a delay-tolerant network architecture for challenged internets, Proceedings of the 2003 conference on Applications, pp.27-34 2003.
- [2] Warthman, Forrest.: delay-tolerant networks(dtan) a tutorial, <http://www.dtnrg.org/docs/tutorials/warthman-1.1.pdf> 2003.
- [3] Delay-Tolerant Networking Research Group.: DTN2, <http://www.dtnrg.org/wiki/Code> 2012.
- [4] Michael, Demmer.: Implementing Delay Tolerant Networking, <http://www.dtnrg.org/docs/papers/demmer-irb-tr-04-020.pdf> 2004.
- [5] Scott, K. and Burleigh, S.: Bundle Protocol Specification, RFC 5050 2007.
- [6] Cerf, V and Burleigh, S et al.: Delay-Tolerant Networking Architecture, RFC 4838 2007.
- [7] 孫 為華, 木谷 友哉, 柴田 直樹, 安本 慶一: 被災地における DTN に基づいた情報収集共有方式の提案, 情報処理学会研究報告, No.20, pp.61-66 2009.
- [8] 陶山 優一, 横田 祐介, 大久保 英嗣: 移動端末を用いた災害情報システムにおける DTN ルーティング手法, 電子情報通信学会ユビキタスセンサネットワーク研究会, 2009.
- [9] 小山 由, 水元 旭洋, 今津 真也, 安本 慶一: 大規模災害時の安否確認システムと広域無線網利用可能エリアへの DTN に基づいたメッセージ中継法, 情報処理学会研究報告, No.29, pp.1-7 2012.
- [10] 塚田 晃司, 野崎 浩平: 災害時孤立集落での利用を想定した地域内情報共有システム, 情処学論, Vol.51, No.1, pp.14-24 2010.
- [11] 鶴 正人, 内田 真人, 滝根 哲哉, 永田 晃, 松田 崇弘, 巴波 弘佳, 山村 新也: 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.
- [12] 嵯峨田 良江, 朝井 大介, 大野 健彦, 浅野 陽子: 大規模災害時にはどのような情報が必要か - 被災者インタビューに基づく情報伝達の解明-, 情報処理学会研究報告, No.13, pp.1-8 2012.
- [13] 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, 信学技報, Vol.112 No.88, pp.19-24 2012