

遅延耐性ネットワークにおける汎用的データ交換方式の検討

黒瀬 浩¹

概要: 惑星間通信から検討された遅延耐性ネットワークは, 通信遅延が大きい状況のみならず, 信頼性が低い通信状況や移動することを前提とした通信環境, 災害時における通信手段構築など様々な応用分野に適応できる。一方, 通信方式や評価指標は応用分野の利用形態からの制約により, 応用分野が異なると比較しにくい。本稿では, 遅延耐性ネットワークの評価を行いやすくするために, 汎用的なデータ交換方式について検討し, 利用形態についてノードの役割, エッジサーバに有する機能, 通信パラメータ分類, 代表的なポリシーおよび評価指標について述べる。

A Design for Generic Data Exchange Method for Delay-Tolerant Network

HIROSHI KUROSE¹

1. はじめに

TCP/IP ネットワークでは, MAC(Media Access Control) アドレス, IP アドレス, および URI(Uniform Resource Identifier) により, 対象を特定でき, URI から DNS(Domain Name System) により IP アドレスを求め, IP アドレスと受付ポート番号を通信元と通信先の End-To-End 通信を行う。通信経路はルーティングプロトコルによりルータが管理し, 通信元および通信先は管理しない。

DTN(Delay-Tolerant Network) では, 通信遅延, 接続状況の安定しない状況や, 通信障害発生時でのベストエフォートな通信を指向するため多くの方式が提案されているが, ユーザやアプリケーションが重視する事項により多くの通信形態が考えられる。

DTN では通信の制約事項により適した通信制御が異なるため, 利用形態に適した環境を検討することが求められる。本稿では, 制約条件を汎用的に考え, データ交換の設計・評価について検討する。

2. 先行研究

DTN では, 受信ノードがデータを受信可能となるまでネットワーク上にデータを保持するキャッシング機能と, 要

求とデータをどこに転送するか決定するルーティング機能を備えることが求められる。

コンテンツ配信ネットワークでは, コンテンツの取得性を向上させるために, コンテンツの複製を作成し, 最寄りのコンテンツを探す機能を有している [3]。利用者が利用可能なコンテンツを接続したエッジネットワークよりベストエフォートで取得できる。

DTN の中継転送技術の分類では, 経路決定方法により, エンドツーエンドによる決定的中継転送方式, ホップバイホップによる確率的中継転送方式, 両者の組み合わせによるハイブリッド形中継転送方式, および符号化中継転送技術が紹介されている [1]。いつ接続可能となるか予測できる場合は決定的中継, 予測が不可能な場合は確率的中継が用いられる。

関数型プログラミング言語や python 言語 [4] の反復子では遅延評価 (lazy evaluation) により必要になったときに評価することで省資源化が図られている。

データを複製する方式には, 経路全てにコピーする LCE(Leave Copy Everywhere), 確率による Prob., 受信者よりにコピーする LCD(Leave Copy Down), 受信者側に移動する MCD(Move Copy Down) などがある [2]。

DTN では, 長遅延, 接続不安定, 災害時対応など複数の対象課題がある。本稿では, 通信可能性が不安定なネットワーク環境において, ベストエフォートで目的のオブジェ

¹ 金沢工業大学工学部

クトを取得・交換するネットワークとして検討する。

3. ネットワークモデル

図1にネットワークモデルを示す。図1(a)は通常の安定的なネットワークであり、端末 T の要求に応じて、ネットワークがサービスを提供する。TCP/IPではネットワーク側でアドレス変換を行うDNS、通信経路探索を提供している。Webサーバやメールサーバなどのサービスは、この図では、ネットワークが提供するものとして表している。

図1(b)は無線接続によるアドホックネットワークであり、点線は端末が移動できることを表している。端末 T は移動するため接続の自由度が増えるが、通信経路の確立、ネットワークサービス探索の機能を中継経路を構成する各端末が持つ必要がある。ネットワークサービス機能やオブジェクトは、安定的に稼働するネットワークとの接続ができた場合に、端末からネットワーク側に切り替えた方が安定性および信頼性が増す。

図1(c)はCCN(Content-Centric Network)などで提唱されるモデルである。端末 T にネットワークサービスを提供するEdgeネットワークと、Edgeネットワークからの要求を処理するCoreネットワークから構成される。CCNでは、利用者の属性やCoreからEdgeへのデータ波及状態により、各端末に提供される機能、オブジェクトは同一でなくても良い。動画視聴など利用者の嗜好によるオブジェクト取得では、必ずしも指定したコンテンツが取得できなくても利用者の満足度は得られるため、各Edge機能は同期してなくても良い。

図1(d)はDTNを汎用的に検討するためのモデルである。複数のネットワークとアドホックネットワークにより端末 T が接続される。経路上のスイッチの図は、条件によりネットワークサービスが利用できることを意味する。スイッチの発火条件として、ある時刻になったら通信可能となる、通信可能エリアに移動する、該当するオブジェクト情報を入手可能となる、集計可能なデータが揃う、などである。ここで端末 T はサービスを利用する利用者として振る舞う場合と、Edgeネットワークの一部の機能を保持する場合がある。アドホックネットワークやセンサーネットワークで利用されているルーティングやデータ収集の他に、Edgeネットワークのサブセットとしてオブジェクト探索機能、オブジェクト保持機能、オブジェクト情報伝搬機能、オブジェクト複製機能を有することが求められる。

以下、通信の状況について確認する。

3.1 要求と応答

利用者からの要求によりネットワークがサービスを提供するものにオブジェクト取得がある。TCP/IPでは、DNSサービスによりURIをIPアドレスに変換できるが、これは通信に先立ち目的のリソースがどこにあるか探索要求を

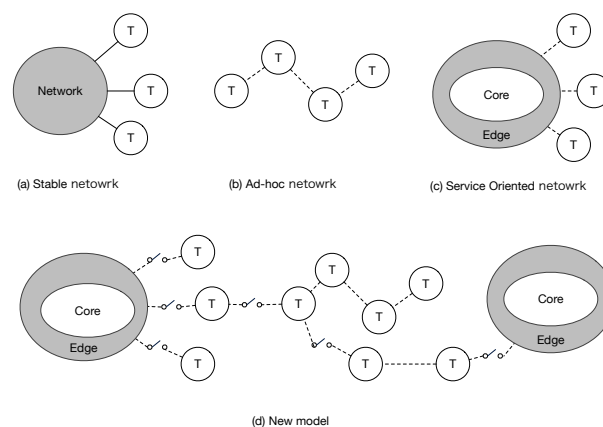


図1 ネットワークモデル

発して結果を得ている。CCNでは自分の嗜好するコンテンツリストをEdgeネットワークより取得する。利用者が結果に満足しなければ再検索要求により別のコンテンツリストを取得できる。

利用者が要求しなくても情報を受信する場合がある。SNMP(Simple Network Management Protocol)やRIP(Routing Information Protocol)のように定期的または状態変化時に送られる更新情報である。DTNでは、アプリケーション層で扱う要求や情報が多いため、オブジェクト保持情報の交換が必要となる。オブジェクトには、接続ノード、コンテンツ情報、提供サービス、蓄積転送コンテンツ、情報拡散用データなどが考えられる。

3.2 期待する精度

DTNではオブジェクトの精度について取り扱う必要がある。選択要素として指定したオブジェクトと一致する場合のみ、より早く取得できるもの、正確性を求めるが指定時間を超えたら打ち切る、などが考えられる。センサーネットワークで各センサーノードのデータを集計する場合に、変動が少ないものについては、全データの取得を待つから応答を返すことが考えられるが、変動が大きい場合または判断を短時間で行わなければならない場合に、取得可能なデータのみで判定し、追加のデータを入手次第、再判断を行うことが行われる。

3.3 予測可能性

どの時刻にどこで受信可能か予測できる場合は、決定的中継転送が使用でき、できる限り受信側に転送する戦略が有効となる。この場合、情報拡散を無制限に行わずに済むので制御情報の通信量を抑制できる。

一方、いつどこで受信されるか予測不可能な場合は、不特定多数に情報拡散する必要がある。ここで、安定的なネットワークに接続できる可能性が高ければ、Edgeネットワークに情報を保持させ、端末側で保持する情報を抑制できる。

災害時など通信可能性の予測が困難な場合は、すれ違い通信などで情報拡散する方法がある [5].

3.4 データの複製

DTN では通信途絶や低通信信頼性によりオブジェクト情報やオブジェクトデータを複製することが求められる。上記したように、安定的ネットワークがあればデータの回避先として利用できる。安定的な接続が期待できなければ、より安定したネットワークや端末に接続した際に保持している情報を渡す戦略が考えられる。信頼度を判断するために各ノードは信頼性を数値または状態で保持する必要がある。信頼度が高くても接続可能性と一致しないことに注意が必要である。各端末が安定的ネットワークに接続される場合は、信頼度と接続可能性は同様に扱って良いが、アドホックネットワークの端末は信頼度が低いが遭遇して通信可能となる場合がある。データ複製戦略は、受信端末からみた信頼度を評価する必要がある。

DTN では端末がデータを保持し受け渡しを仲介するフェリー機能がある [1], 端末がデータを仲介する機能は、安定的なネットワーク間のデータ転送や、不特定多数への情報拡散の利用用途が考えられる。

4. 必要なネットワーク機能

DTN を構成するノードの役割として、要求を発行して応答を得る純粋な端末、要求を受けて応答を返す純粋なサーバ、端末からの要求に応じて適切な応答を返し、端末への更新情報を提供するエッジサーバ、端末の機能の他にエッジサーバ機能のサブセットを持つ情報管理端末の 4 種類が考えられる。図 1(d) の Core には純粋なサーバが、Edge にはエッジサーバが配置される。ネットワークの末端のみ接続される場合は、純粋な端末機能で良いが、中継をする場合は、エッジサーバ機能のサブセットを有する必要がある。

4.1 サービス機能

エッジサーバの機能について記す。

使用可能サービス取得 サービスを提供するサーバリストを得る。同一のサービスを提供するサーバが複数存在する場合は、信頼度により使用するサーバを限定することができる。

オブジェクト探索 要求されたオブジェクトの位置を得る。応答は、該当オブジェクトの位置または類似オブジェクトの位置で複数のオブジェクトのリストで返す。

ノード 通信先のノード位置を得る。TCP/IP を前提とした場合は IP アドレスに該当する。

ノード集合 ホップ数、提供するサービスなどの条件を指定して、該当するノード集合を得る。

データ コンテンツなどのデータ列の位置を得る。

発火条件 接続、切断、データ転送可能などの条件を指定して、発火条件を保持しているノードと条件を得る。

転送 エッジサーバ機能を持つノードが転送情報を受信した際に、接続しているノードに情報を転送する。

経路情報 サーバ、端末、ネットワークの接続、離脱に伴い、経路情報を更新し、他ノードに転送する。

オブジェクト情報 オブジェクトデータを受信した場合は、拡散条件により他ノードに転送する。オブジェクトデータにはキャッシュされたコンテンツや発火条件が指定されたオブジェクトも含まれる。オブジェクトが確率的中継の場合は拡散を行い、決定的中継の場合は対象ノードに向けて転送する。

発火条件 条件が変更された場合に自ノードが知り得ているノードに条件を転送する。中継方式による違いはオブジェクト情報と同様である。

データ取得 必要なデータをオブジェクトを指定して取得する。

4.2 パラメータ

4.1 節を考慮した通信のパラメータを表 1 に示す。ここで、パラメータは利用形態や通信資源の制約により選択される。通信経路上のキャッシングルータは、多くの利用形態に対応できるように汎用的な方式に対応可能であることが求められる。

表 1 通信パラメータ

項目	区分値の例
要求元	送信者, 受信者
受信先	特定, グループ, 不特定
タイミング	要求時, 定期的
順序	あり, 無関係
要求廃棄	不可, 許容
到達速度	なるべく速く, 指定時間内, 届けば可
分割送信	許容, 不可
情報保持場所	送信元, キャッシングルータ, 移動体
キャッシング	常時, 容量があれば, 近隣になければ, しない
転送先	可能な限り, 最適な経路, 移動方向, 遠方方向
情報の拡散	する, しない, 条件によりする
情報の広告	可能な限り, 幅優先, 深さ優先, 最適な経路
輻輳	要求破棄, 転送破棄, 可能な限り継続
迂回路	存在, 未知, なし, 発生するまで保留
発火条件	時刻, 接続, 情報到達
通信状態変化	ネットワーク接続, ネットワーク離脱

4.3 代表的なポリシー

モデルを検討・評価するにあたり、代表的なポリシーを想定する。

貪欲的アプローチ 可能な限り複数のノードにアクセスし、

情報キャッシュも全て行う。広告は知りうる全てのノードに対して行う。途中は処理の打ち切りはせず、最初に目的を達成した場合を終点とする。通信速度や到達可能性は不安定となり、制御パケットやキャッシュ領域のコストが高い。

堅実的アプローチ 選択を行う場合に確率が一番高いものを選択する。オブジェクトをキャッシュする場合、安定的なネットワークへの保管を優先する。安定性が高いネットワークを利用する場合は性能、効率面で有利となる。

一貫性追求アプローチ Core ネットワークとの状態更新制御を密に行い、エッジサーバの状態が同じになることを優先する。要求を発行する端末や受信対象の移動予測が困難な場合でも通信可能性は向上するが、状態更新と同期のための制御情報が増大する。

イベント優先アプローチ 発火条件が発生する時刻に近いものから優先的に広告する。広告先ノードは上記アプローチから選択する。

自律指向アプローチ 周辺に自ノードより安定的なノードがあれば、その機能を利用し、自ノードが1番安定的と判断した場合は、エッジサーバの各機能を有効化する。情報交換やオブジェクトの情報は自ノードで機能する時のために収集・保管する必要がある。

5. 評価指標

ネットワークモデルを評価する場合の評価指標を以下に示す。評価指標はある特定の通信に限定した場合と、複数の通信が混在した場合の全体について同様に設定できる。

5.1 通信性能

通信性能は、時間あたりの目的データの取得量となるため以下ようになる。

$$\text{通信性能} = \text{データ量} / \text{データ取得に要した時間}$$

5.2 効率

効率はいくつかの要素がある。複製効率は位置情報、データ、発火条件、経路情報などの情報がネットワーク全体にいくつ複製されたかを分母に、通信に使用した複製数を分子とした値である。

$$\text{通信効率} = \text{所用パケット数} / \text{総パケット数}$$

$$\text{経路効率} = \text{最短経路長} / \text{通信に要した経路長}$$

$$\text{複製効率} = \text{利用複製数} / \text{総複製数}$$

$$\text{時間効率} = (\text{所用時間} - \text{発火待ち時間}) / \text{所要時間}$$

5.3 可用性

$$\text{通信可用性} = \text{通信可能時間} / \text{所要時間}$$

5.4 冗長度

$$\text{通信冗長度} = \text{経路数の平均}$$

$$\text{要求冗長度} = \text{要求に対し応答を返したノードの平均}$$

5.5 安定性

上記各指標の標準偏差

6. 考察

コンテンツキャッシュのポリシー [2] では、Web サーバはネットワークの中心部分にあり、コンテンツをアクセスする端末は中心から遠い位置に存在することから、アクセスの多いコンテンツを経路上の端末よりに配置すれば、平均経路長を短くすることができるが、DTN を想定した場合、決定的中継が採用できない利用形態の場合は、効率はアドホックネットワークと同様となる。

特に、複数の安定的ネットワークを経由する接続形態の場合に、ルーティングプロトコル IS-IS のように状態を交換する機能がないと通信が成立しないと考える。

堅実的アプローチを取り入れた自律指向型アプローチが状況変化に対して有用と考える。

関数型プログラミングの遅延評価はデータが揃っているもので処理できるもののみ処理し、不足しているデータが用意された時点で処理を継続する。この実装を分散処理に対応することで発火条件の実装が可能となると考える。

7. おわりに

DTN の利用形態についてノードの役割、エッジサーバに有する機能、通信パラメータ分類、代表的なポリシーおよび評価指標について述べた。今後は、各ポリシーの有効性を確認するため、利用用途に応じたモデルとシナリオを作成してシミュレーションによる評価を行う。

参考文献

- [1] 鶴 正人, 内田 真人, 滝根 哲哉, 永田 晃, 松田 崇弘, 巳波 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, Vol. 2011 (2011) No. 16 pp.16.57-16.68, 2011.
- [2] N. Laoutaris, S. Syntila and I. Stavrakakis, "Meta algorithms for hierarchical Web caches," IEEE International Conference on Performance, Computing, and Communications, 2004, pp.445-452, 2004.
- [3] Georgios Tselentis, Alex Galis, Anastasius Gavras, Srdjan Krco, Volkmar Lotz, Elena Simperl, Burkhard Stiller, and Theodore Zahariadis, editors. "Towards the Future Internet - Emerging Trends from European Research," IOS Press, 2010.
- [4] Python PEP201, <https://www.python.org/>
- [5] 藤原 明広, 巳波 弘佳, "すれちがい通信を利用した災害時避難誘導法", 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J96-B, No.6, pp.580-588, 2013.