

ユニバーサルICTを目指して (Delay Tolerant Network) —ICTの新たな分野への挑戦パート2—

2007年3月26日

NICT九州リサーチセンタ／九州工業大学
鶴 正人

九州リサーチセンター



所在地:
福岡県北九州市
小倉北区浅野
3-8-1
AIMビル内7F

- ・ JGN2九州AP
- ・ 北九州市ICT推進室
- ・ 北九州市HMCメディア道場
- ・ 九工大NDRC(+総務省ユビキタス研究プロジェクト)
- ・ 地元企業の研究所等と同居

新生 九州リサーチセンター(RC)の概要

ユビキタス社会を支える基盤としての次世代インターネットの実現とすべてのユーザにとってストレスのないアクセスの実現を目指して！

研究開発プロジェクト

次世代インターネット基盤技術・利活用技術(JGNII)の研究開発プロジェクト(2004年4月～)

プロジェクトリーダー 九州工業大学 尾家 祐二 教授

- ・ サブリーダー 2名 (長岡技術科学大学 山崎 克之 教授、九州工業大学 川原 憲治 助教授)
- ・ 専攻・専門研究員 3名 (KDDI、日本テレコムインフォメーションサービス、NICT)
- ・ 特別研究員(常勤) 3名 (九州電力、安川情報システム)
- ・ " (非常勤) 7名 (九工大、九大、東工大、北九州市立大、KDDI研、インテックW&G)

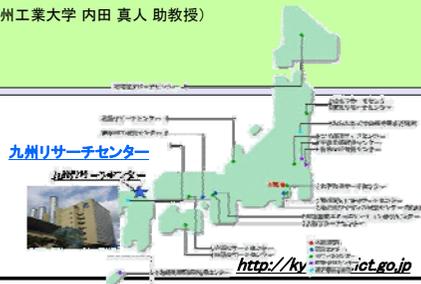
ユニバーサルアクセスのための仮想アクセス環境技術の研究開発プロジェクト(2006年6月～)

プロジェクトリーダー 九州工業大学 鶴 正人 教授

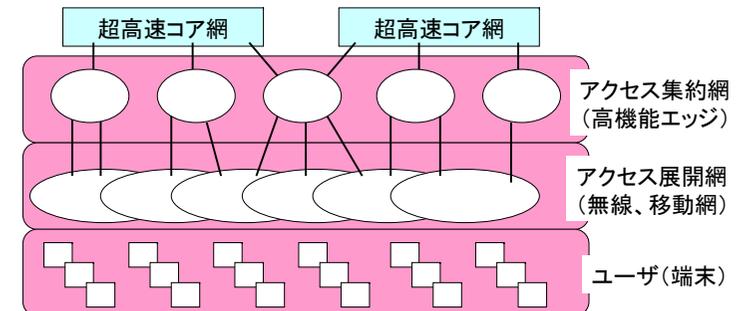
- ・ サブリーダー 2名 (大阪大学 滝根 哲哉 教授、九州工業大学 内田 真人 助教授)
- ・ 客員研究員 1名 (大阪大)
- ・ 専攻・専門研究員 2名 (NAL、NICT)
- ・ 特別研究員(常勤) 2名 (九州電力)

研究開発支援グループ(2006年4月～)

- ・ グループリーダー 1名 (北九州市)
- ・ 専門調査員 1名 (ソフトバンクテレコム)



九州RCの研究テーマ領域 (アクセス系ネットワーク技術の構成要素)



- ▶ **アクセス集約網:** 地域で集約したアクセス網間のトラフィックを、超高速コア網を用いて高効率・高品質に交換
- ▶ **アクセス展開網:** 多様な無線網・移動網の資源制約下での高品質な通信
- ▶ **端末(ユーザ・アプリ):** 多様な網を経由する多様な要求品質のエンドツーエンド情報交換を効率よく公平に共存

DTN研究プロジェクトの構想

- プロジェクト:ユニバーサルアクセスのための仮想アクセス環境技術の研究開発
- 英語名:Virtually Sustainable Access Technology (ViSA)
- 期間:2006.6 – 2009.3
- 目標:劣通信環境を克服するDTN技術をベースに、空間的・時間的に極端に不均一なネットワーク同士を仮想的に相互接続し、伝送速度の比が100万倍(10kbps~10Gbps)の通信端末及びパケットロスが10%を越える物理的に悪い通信環境(場所や時間帯)を含むあらゆる状況においても、ユーザに大きなストレスを与えることなく適切な情報サービスを現実的なコストで実現するための仮想アクセス環境技術。

5

研究プロジェクトの背景

- ユビキタス社会では、多様な通信環境(いつでも・どこでも)に居るユーザが多様なICTサービスをストレスなく享受(ユニバーサルアクセス)
 - 国土の70%が中山間部である日本においては、すべての場所に高速通信のインフラを整備することは困難・不経済
 - 「劣」通信環境、低速通信や断続的通信しかできない環境においても適切な情報サービスを現実的なコストで実現できる技術が必要
 - 過疎地、離島、山間部、海洋、空、大規模工場、港湾、、
 - 都会の死角、地下街、高速移動環境(高速道路、鉄道、)
 - 災害時空間
 - 新しいサービス・アプリケーションの可能性
- 素のTCP/IP(1960s--)の通信技術、通信ソフトウェア、よってインターネットは「極端に不均一なネットワーク環境」では、正常に動作しないか、または非常に効率が悪く実用に耐えない
 - WirelessとMobile。以前は想定していなかった環境でも通信が必要に。
 - しかし、IP層・TCP層は誕生当時の通信環境の前提が制約として残っている。
 - アプリケーションに関しても、共通な機能(ネームサーバや認証、あるいは時刻同期)に、従来の通信環境の前提が制約として残る。

6

従来のインターネット通信での暗黙の仮定

- 通信中にEnd-to-Endの通信パスが常時存在。
- 即時的安定的なフィードバックに基づく効率良い再送や誤り訂正が可能
- 上り下りの性能環境が極端に異なるない。
- 通信パスでのパケットロスが比較的小さい。
- 全ルータ・全端末はIPプロトコルをサポート。
- アプリケーションは通信性能を関知しなくてよい。
- エンドポイントでのセキュリティメカニズムで十分。
- パケット交換による相互運用性。
- 通信経路を一つ選ぶだけで許容の通信性能が達成可能。

これらが成り立たないネットワーク環境(Challenged Network)での情報伝達

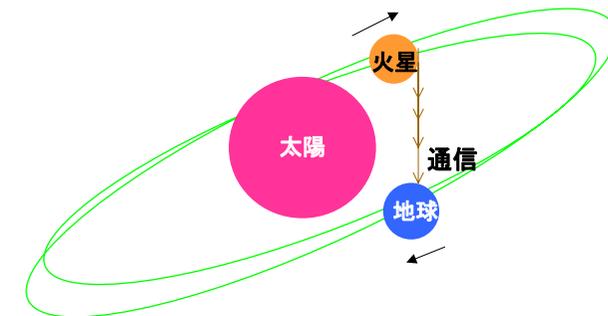
DTN (Delay/Disruption/Disconnect Tolerant Network Technology)

- 遅延が極めて大きい、あるいは激しく変動する。
- パケットロスが極めて多い。
- 回線中断が極めて頻繁に起こる。

7

IPN: Interplanetary Network

惑星間インターネット(IPN)は、惑星は周期的に軌道を描く為に、火星にいたっては、太陽の陰から現れる時間を想定(予測出来接触型ネットワーク)して、地球と通信を行うことが可能。



8

DTNの国際研究動向

- IETF DTN RG (2002--)
 - 極端に性能の悪いネットワーク上でもアプリケーションに信頼できる「メッセージ」転送を提供するオーバーレイ方式による「Bundle層」アーキテクチャ
 - 遅延バインドによる柔軟な名前とアドレスの対応付け
 - <http://www.dtnrg.org/>
- 世界中で研究の機運
 - ACM SIGCOMM 2005,2006,2007でもDTN関連ワークショップ
 - MILCOM 2005やACM/IEEE MSWiM 2005でのチュートリアル
- Intel ResearchのKevin Fallなどが初期の中心メンバ
 - Intel eXtremely Interconnected Systems (XIS) lab in Berkeley, CA
 - http://intel.com/research/researchers/k_fall.htm

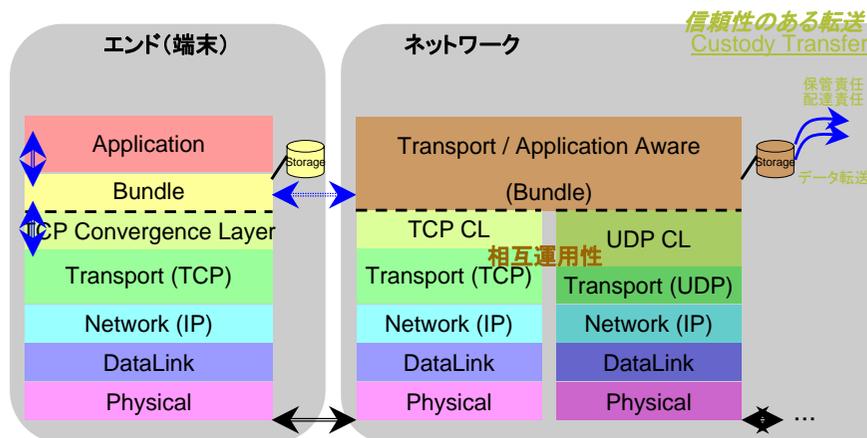
9

DTN関連技術

- 要請
 - 通信誤り(転送失敗)への耐性
 - 時間冗長性: さまざまな再送方式
 - 空間冗長性: FEC、多重経路転送、Erasure Codingなど
 - 資源利用の効率性
 - 情報圧縮、スケジューリング、フロー・輻輳制御、Network Codingなど
 - 公平性、安全性、ユーザから見たストレス軽減
- 技術
 - バンドル層・蓄積転送
 - ノードの識別・名前づけ・アドレス解決
 - 経路制御・経路選択
 - 輻輳制御・フロー制御・再送制御
 - 符号化
 - セキュリティ
 - アプリケーション インタフェース

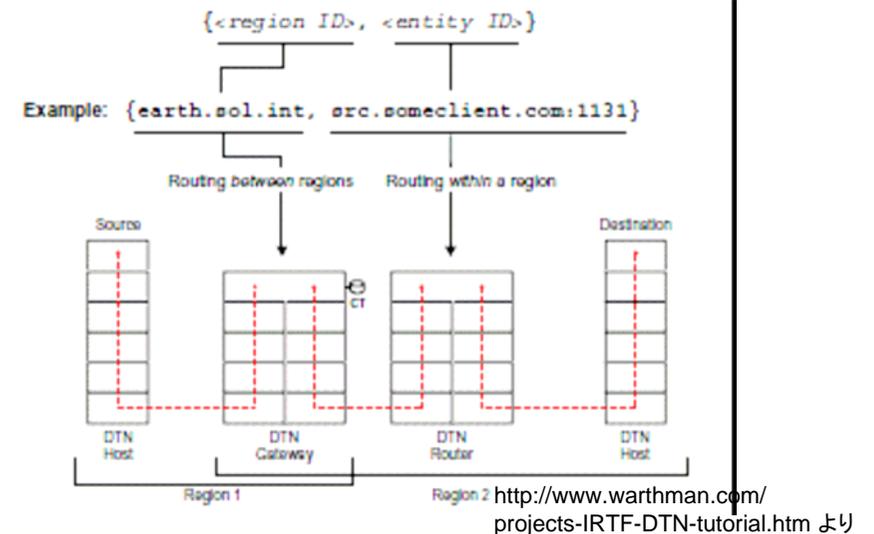
10

バンドル層アーキテクチャ



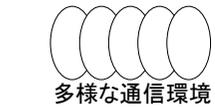
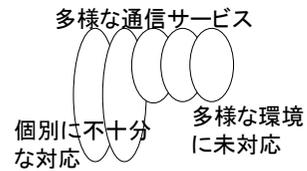
11

名前とアドレスの遅延バインド



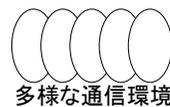
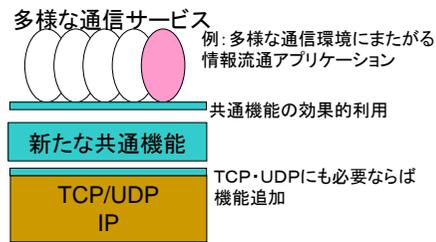
12

Before



悪い通信環境では、ストレスが大きく、実質的に使えないサービスが多い世界

After



どんな通信環境でも、適切なサービスが、ストレスなくそれなりに使える世界

13

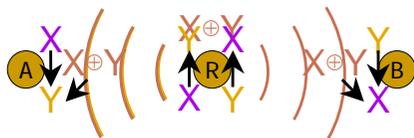
要素技術(RoutingとCoding)

- ネットワークの影響を最小にとどめたい。「どこを通るか?」
 - Routing (経路を賢く選択、輻輳制御・フロー制御も)
 - 決定論的経路制御
 - 確率論的経路制御
- そのようなネットワークでも効率よく情報伝達したい。「どうやって通すか?」
 - Coding (情報のビット表現、再送制御も)
 - 圧縮、誤り検出や誤り訂正のための冗長化、セキュリティやプライバシーのための暗号化、...も。
 - コンテキスト依存変換
 - Network Coding
 - Erasure Coding
- **中継ノードのインテリジェンスが必要**

14

Network Coding

- マルチキャストに使われる通信ボトルネック解消手法の一つ。
- A → B と A ← B をほぼ同時に送る場合 Rで2回で済ませてBとAにそれぞれを送る代わりに



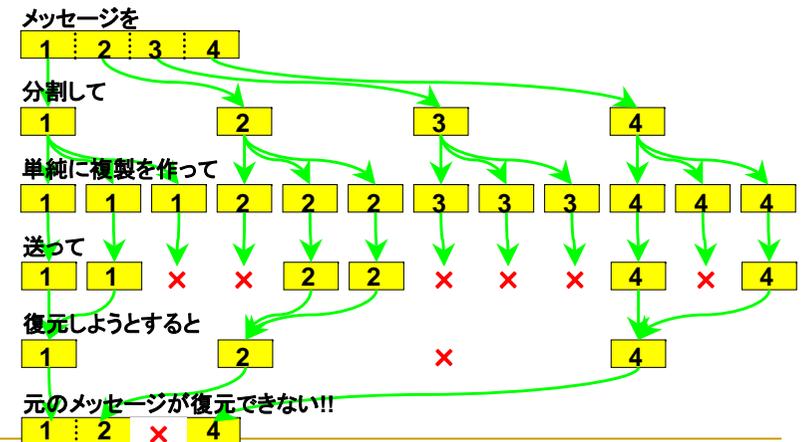
4回のやりとりが落妻!!

15

Erasure Coding

データを分割して送る場合

- 単純に複製を作る代わりに

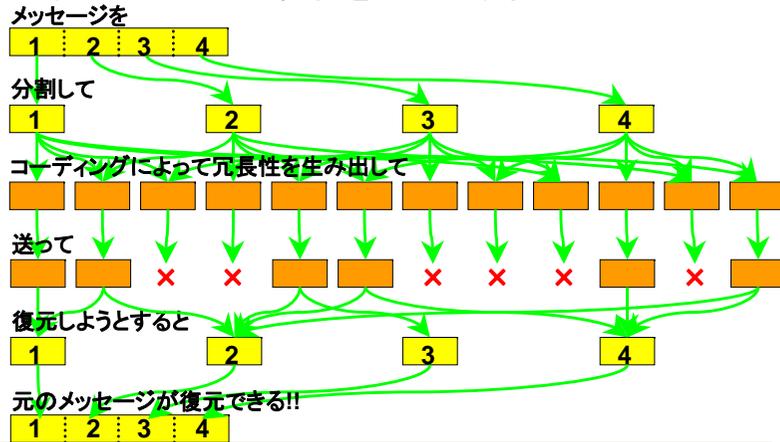


16

Erasure Coding

データを分割して送る場合

- コーディングによって冗長性を生み出す。

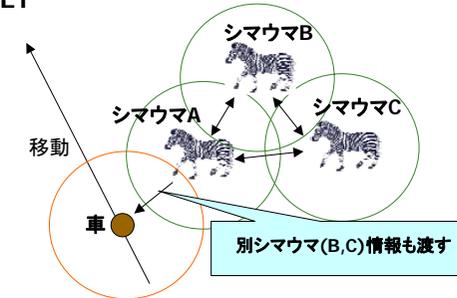


応用事例: ZebraNet

ケニアの高原で35000頭のシマウマの生態情報を収集するプロジェクト

首輪にセンサーをつけて、シマウマAは、BやCに擦れ違ふことでBとCから個々の生態情報を受け取る。そこへ、シマウマAのセンサーを感知し通りかかった車に、シマウマAから3頭分の生態情報を受け取り、基地へ。

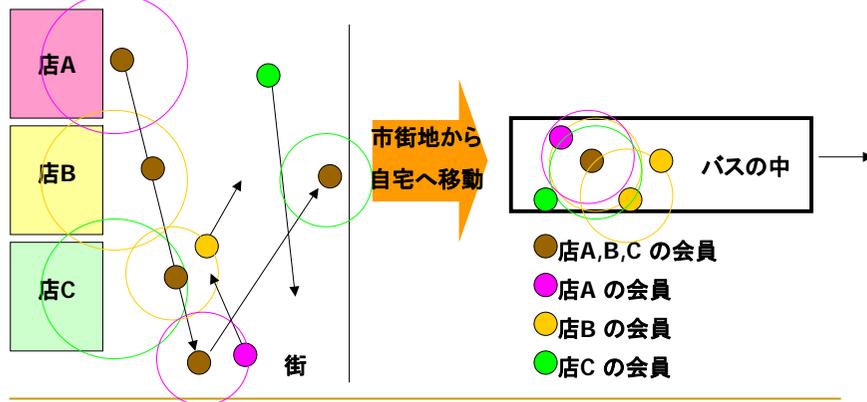
→MANET+WSNET



応用事例: PDAロコミネット

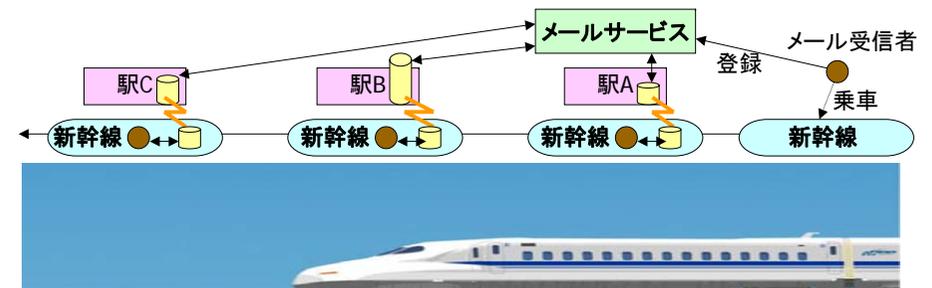
- ある仲間内で広がる情報ネットワークである「ロコミ」を、PDAを使って動的に形成するネットワーク

→ZebraNetの逆方向、あるいは双方向



応用事例: 駅留めメール送受信

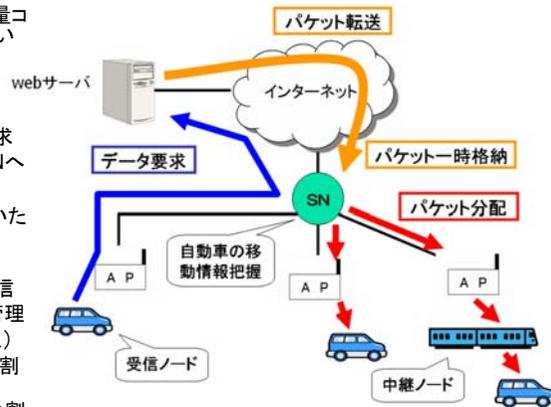
- 多量のメールや添付ファイルサイズが大きいメールでも、列車内でストレスなく送受信できるためのネットワーク
 - 乗る前に利用登録しておくことで通過駅まで来ている。
 - 複数のメール・複数のユーザを一括処理することでの効率化
 - 非常に巨大なファイルは複数の駅で分割受信



応用事例: 車でコンテンツ鑑賞

- 無線LANのAPが点在する環境
 - 車で移動→断続的通信環境
 - 車で移動しながらも大容量コンテンツをダウンロードしたい

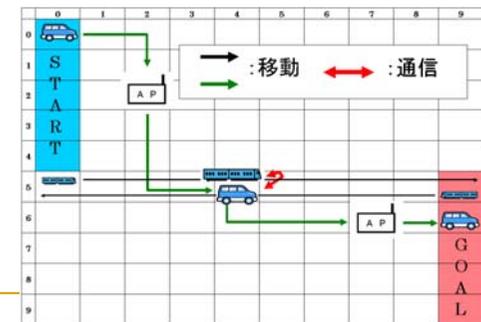
- 受信ノード(車)
 - SNを介してダウンロード要求
 - 自分の位置・移動情報をSNへ
- 固定中継ノード(AP)
 - 受信ノードがたまたま近づいたら分割データを渡す
- 代理サーバノード(SN)
 - 要求されたデータを事前受信
 - ノードの位置・移動情報を管理
- 移動中継ノード(電車やバス)
 - SNから受信ノード宛ての分割データを受信
 - 受信ノードと遭遇した際に分割データを渡す



21

シミュレーションモデル

- 自動車(受信ノード)
 - STARTからGOALまで右または下にランダムに移動
- AP
 - 配置エリアはランダムに選択
- 電車(中継ノード)
 - 複数の電車が一定距離間隔で等速に移動(上り・下り)
- 同じエリアにいたときのみ通信可能



1辺240mのエリア

AP数8台

自動車の速度43.2km/h

電車の速度:自動車の1, 2, 4倍

電車の間隔720m

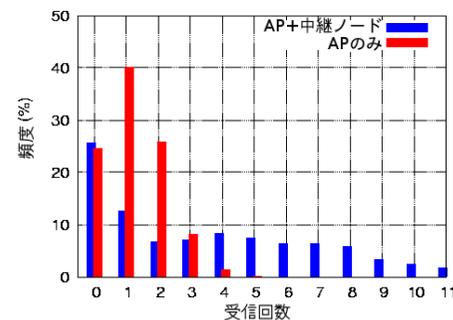
22

評価指標

- 分割受信回数
 - APまたは中継ノードと遭遇し有効なデータを受信できた回数
- ダウンロード完了時間
 - 1つの大容量ファイルを受信完了するまでの時間
- 評価項目
 - 中継ノードの効果
 - ダウンロード完了時間

23

結果1 中継ノードの効果



電車の速度	平均受信回数
1倍	1.68
2倍	2.48
4倍	4.03

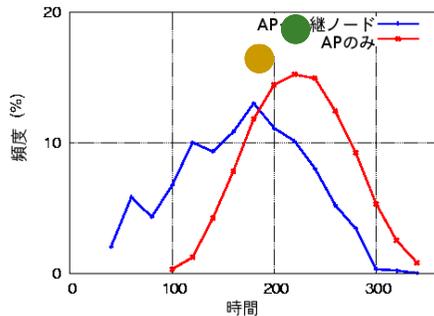
AP数:8台 電車の間隔:720m

中継ノードによって平均受信回数が増加

24

結果2 ダウンロード完了時間

- 約11MB(3回分の受信回数)のデータをダウンロード



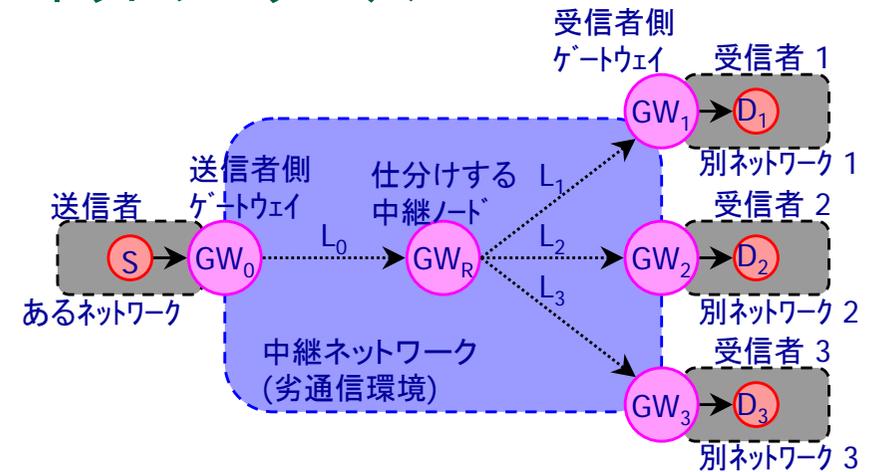
分割受信	最頻値[s]
APのみ	220
AP+中継ノード	180

- 最頻値で40秒ほどの差
- AP数: 8台 電車の間隔: 720m
電車の速度: 4倍

中継ノードによってダウンロード時間が短縮

25

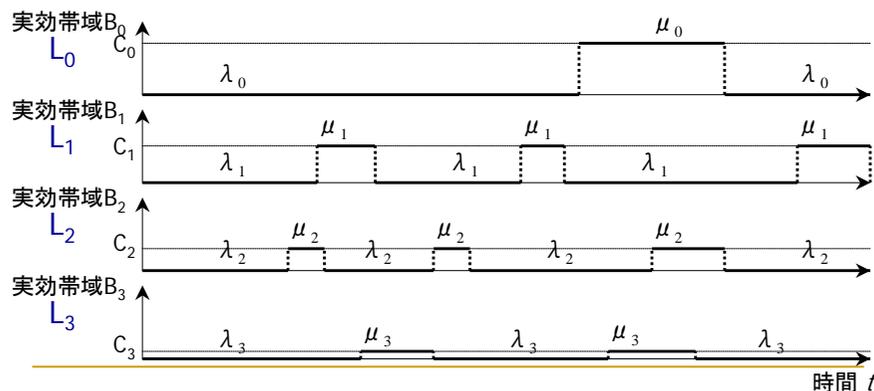
技術事例 : ノード間の転送スケジューリング ネットワークモデル



26

技術事例 : ノード間の転送スケジューリング 中継リンクのモデル化

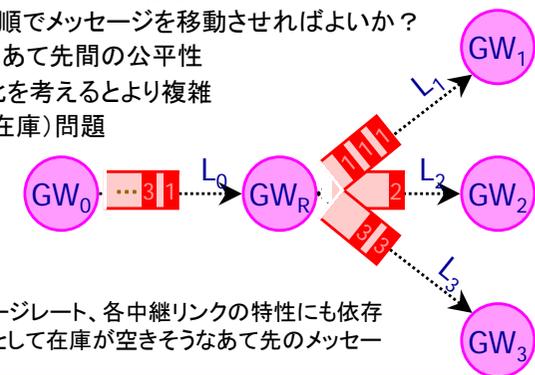
- それぞれ平均 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \mu_0, \mu_1, \mu_2, \mu_3$ の指数分布に従う時間だけ継続するとする。



27

技術事例 : ノード間の転送スケジューリング DTNの入口での送信スケジュール

- 中継リンクは時々しかUPしないので、 $L_{1,2,3}$ がUPしたチャンスを逃さないためにメッセージをできるだけ GW_R に移動させたい
- しかし GW_R のメッセージプールは有限
- GW_0 からどのような順でメッセージを移動させればよいか?
- 資源利用効率 V.S. あて先間の公平性
- 多段、全体の最適化を考えるとより複雑
- 生産ライン(問屋の在庫)問題



- 左端に到着するメッセージレート、各中継リンクの特性にも依存
- とりあえず単純な戦術として在庫が空きそうなたて先のメッセージを先に移動

28

技術事例：ノード間の転送スケジューリング スケジューリング方式の例

- 使える情報
- 少
- 多
- Naive型
 - GW_0 から GW_R へFIFOで転送する。
 - キュー長aware型
 - 単純にキューに溜まっているメッセージ量 Q_i を考慮する。
 - 予想待ち時間 $T_i = Q_i$ または $T_i = Q_i / C_i$ で予想する。
 - リンク状態予想可能型
 - 履歴や学習で確率的に知っているの、平均を使って予想する。
 - 予想待ち時間 $T_i = Q_i / (C_i \times \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i})$ で予想する。
 - リンク状態完全既知型
 - 完全に知っているの、厳密に計算できる。
 - 待ち時間 T_i は $Q_i = \int_{T_0}^{T_0 + T_i} B_i(t) dt$ で解く。

29

DTNの位置づけ（私見）

- 元々は惑星間通信、深海通信、戦場でのアドホック通信などのインターネットの「外側」の通信が目的（軍事等）
- しかし、地理的経済的なDigital Divideの解消、新しいサービスの創出→一般社会でも必要
- DTN技術は、現状のTCP/IPアーキテクチャの限界を越え、時間・空間的にグローバルな情報流通環境を作るための試みの一つであり、様々な面からの包括的な研究が必要
 - 今のDTNは現実・現状解としてオーバレイを前提
 - 15~20年後のインターネットを「まっさら」な状態から再設計するNSFプログラム：FIND (Future Internet Network Design)、GENIとも今後連携していこう

30

DTN研究開発のチャレンジ

- 宇宙や深海ではなく、日本の山間部、離島、あるいは都会の死角等に適用可能な（有意義な）技術の開発
 - 問題の定量的な分析、定義が必要
 - **新しいサービス・アプリの創出**
- ネットワークの多様性・変動性への対応
 - 著しく変動するネットワークの状態・特性を把握するために、様々なアプリオリな知識・学習によって、有効な精度の推定・予測
 - **異種ネットワークの効果的な連携（複合利用）がキー**
- アプリケーションの多様性・不均一性への対応
 - 品質要求が異なるアプリケーション（遅延を短くしたい v.s. スループットを大きくしたい）が共存。その特性をどうやって知るか？
 - **アプリ依存機能と共通機能の分担（アーキテクチャ）がキー**
- ユーザの効用及び公平性の考慮
 - 通信主体が人の場合と物の場合で許容される性能が異なる。最終的に「ユーザにとってのストレスの少ない情報サービスをいつでもどこでも実現」するための技術
 - **コンテキストにも依存した「公平」な資源割り当てがキー**

31

仮想アクセス環境技術（まとめ）

- 提供される資源（物理・データリンク層などの）の制約が極めて厳しい環境（劣通信環境）を含むネットワークにおいても、現実的なコストと少ないユーザ・ストレスで情報流通サービスを提供したい
 - 極めて特性変動が大きい「環境」（例：移動する物同士の通信）
 - 従来は通信をあきらめていたような通信資源の厳しい「環境」
 - 一時的に通信できないような例外的な「状況」
- 現状のTCP/IPの通信技術、ソフトウェアは「極端に不均一なネットワーク」では、エンドツーエンドの情報交換が効率よく動作しない
 - IP・TCP層は誕生当時の通信環境の前提がそのまま制約として残っている。
 - アプリケーションに関しても、共通な機能（ネームサーバや認証、あるいは時刻同期）などは、TCP/IPの通信環境の前提が制約として残る。
- 資源をぎりぎりまで有効利用し、不均一性を吸収して仮想化し、効率よく公平な情報サービスを提供する技術：（広義の）DTN技術
 - 新しい超広域異種ネットワーク接続のアーキテクチャと要素技術
 - MANETやWSNの技術も包含・一般化
 - **新しいサービス・アプリケーションの創出に寄与**

32

DTNの有用な文献

- Delay-Tolerant Networks Tutorial
 - 基本から解説 (by Forrest Warthman in Warthman Associates)
 - <http://www.warthman.com/projects-IRTF-DTN-tutorial.htm>
- Routing in Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks and Delay Tolerant Networks: Overview and Challenges
 - IEEE Communications Surveys & Tutorials, 8(1), pp.24-37, 2006.
 - Zhensheng Zhang
 - <http://www.comsoc.org/livepubs/surveys/public/2006/jan>
- Routing in a delay tolerant network
 - Proc. SIGCOMM 2004, pp.145-158.
 - Sushant Jain, Kevin Fall, Rabin Patra
- DTN-RG Documents
 - DTNポータル
 - <http://www.dtnrg.org/wiki/Docs>
- InterPlaNetary Internet (IPN) Technical Information
 - IPNという立場からのポータル
 - <http://www.ipnsig.org/techinfo.htm>