キーワード型情報指向遅延耐性ネットワークの設計に関する一検討

中村 遼 [1]　上山 憲昭 [2]

福岡大学 工学部 [1]
立命館大学 情報理工学部 [2]

本講演の概要

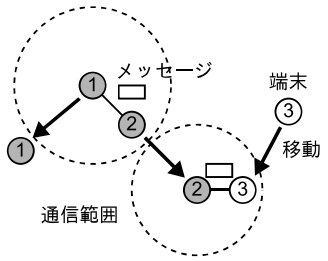
- はじめに
  - 情報指向ネットワーク (ICN)
  - 遅延耐性ネットワーク (DTN)
  - 情報指向遅延耐性ネットワーク (ICDTN)
- キーワード型情報指向遅延耐性ネットワーク
- シミュレーション
  - 手法: 条件・性能指標
  - 結果: 平均 s-コンテンツ配送遅延
- まとめと今後の課題

情報指向ネットワーク (ICN: Information-Centric Networking)

- 情報指向ネットワーク
  - データを送受信するホストではなく データそのものを中心としたネットワーク
  - データに含まれるコンテンツ識別子を基にした 要求-応答型の通信モデル を採用
- 情報指向ネットワークを実現する代表的なアーキテクチャ
  - CCN (Content-Centric Networking)
  - NDN (Named Data Networking)
    CCN や NDN では，ネットワーク中のルータは転送したデータを自身のバッファメモリに一時的に保持できる
- 情報指向ネットワークへの期待
  - コンテンツ配送遅延の短縮
  - コンテンツ可用性の向上

遅延耐性ネットワーク (DTN: Delay-Tolerant Networking)

- 通信インフラが利用できない環境において，端末間でのメッセージ配送を実現
  - 例: 災害地での通信
- 端末による 蓄積・運搬・転送 通信により，メッセージを配送
- エピデミックブロードキャスト により，ネットワーク内でメッセージが拡散

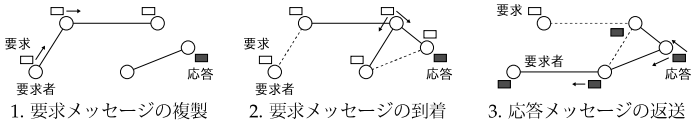


ICN と DTN の共通点・相違点

- 通信モデル
  - ICN: プル型通信 による情報の取得
  - DTN: プッシュ型通信 による情報の配信
- キャッシング
  - ICN: ルータのキャッシュ にコンテンツの複製を保存
  - DTN: 端末のバッファ にメッセージの複製を保存
- ルーティング
  - ICN:
    - 要求パケット: FIB を利用したエンド–エンド間のルーティング・ フラッディング
    - 応答パケット: PIT を利用したトレースバック
  - DTN: 複製を基礎とするルーティング

情報指向遅延耐性ネットワーク (ICDTN) [Tyson13:NOMEN]

- ICN の通信パラダイムを DTN に導入したネットワーク
- コンテンツの名前 を基にした 要求-応答型 の通信によりコンテンツを配送
- DTN 環境において プル型通信 を実現
- コンテンツの名前を利用した 柔軟なメッセージルーティング や コンテンツキャッシング が可能



1. 要求メッセージの複製　2. 要求メッセージの到着　3. 応答メッセージの返送

ICDTN におけるコンテンツ配送の例

Copyright © 2022 IEICE

ICDTN の課題 [Tyson13:NOMEN,Tyson14:IEEE NW]

災害時のような状況下において ICDTN が有効に動作するためには，様々な解決すべき課題が存在

- 応答メッセージのルーティング
  - ICN では，要求メッセージが転送された経路を逆順に辿ることにより，コンテンツが返送
  - ただし，DTN では，リンクの接続性が断続的に変化
- コンテンツの探索
  - ICN において，コンテンツが配送されるためには，コンテンツ識別子が不可欠
- 代替コンテンツの配送
- プッシュ型の情報拡散

研究の目的・研究の手法

- 研究の目的
  - ICDTN においてコンテンツ要求を柔軟に解決することにより，災害時における迅速なコンテンツ配送の実現
- 研究の手法
  - 要求/応答メッセージに含まれるキーワードを基に，コンテンツ要求を解決し，コンテンツ配送を実現するキーワード型 ICDTN を提案
  - シミュレーションによりキーワード型 ICDTN の基本的な特性を分析

ネットワークモデル

- フィールド上を移動するノード間の接触関係を，時間と共に変化する動的な無向グラフ $G(t) = (V(t), E(t))$ として表現
- ノード u は，接触ノード $v \in \mathcal{N}$ にメッセージを転送
  - 接触ノード v は，要求メッセージを受信した場合には，対応する応答メッセージをノード u に返送
- ノードは，要求メッセージおよび応答メッセージを管理する有限のバッファを保有
  - 応答メッセージと比較して，要求メッセージの大きさは十分に小さいと仮定

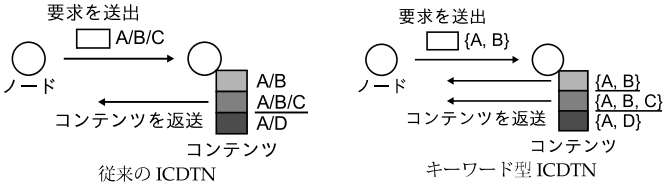
コンテンツの名前付与法

- ICN (CCN や NDN)・従来の ICDTN
  - 階層型構造で表現されるコンテンツ識別子
  - 例: `/[location]/evacuation-map/image.jpg`
    - 完全一致により要求が解決
- キーワード型 ICDTN
  - キーワード集合[1]
  - 例: `{[location], evacuation map, image}`
    - 部分的な一致により要求が解決
    - ICN-IoT でも採用されている [Ascigil17:ICN]
    - コンテンツの探索が求められる ICDTN においても有効であると期待できる

[1] TagNet [Papalini15:PhdThesis] では タグ と呼ばれる

要求メッセージと応答メッセージの照合

- 要求/応答メッセージに含まれる キーワードを入力とした任意の二値関数により，対応するかどうかを決定
  - 例: 要求メッセージのキーワード集合 $\mathcal{R}$ が応答メッセージのキーワード集合 $\mathcal{C}$ の部分集合である場合 ($\mathcal{R} \subseteq \mathcal{C}$) に対応するとみなす



条件

- 経路制約: ボロノイダイアグラム
- ノードの移動モデル: CRWP 移動モデル
- ノードのバッファの大きさ: 5–15 [message]
- ノードのバッファ置き換えアルゴリズム: FIFO
- コンテンツの生成方法
  10 種類のキーワードから構成されるキーワード集合 $\mathcal{K}$ から，ランダムに選択された 5 個のキーワードを含む 50 種類のオリジナルコンテンツを生成
- コンテンツ要求の生成方法
  要求メッセージの生成レート γ に従って，キーワード集合 $\mathcal{K}$ からランダムに選択した 1–5 個のキーワードを含む要求メッセージを生成
- メッセージのルーティング方式: エピデミック

Copyright © 2022 IEICE

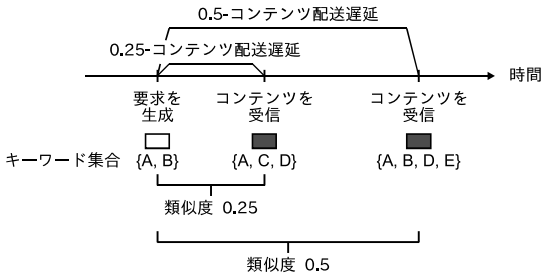
要求メッセージと応答メッセージの照合方式

- 類似度に基づく一致法
  要求メッセージと応答メッセージにおけるキーワード間の 類似度が閾値 τ $(0 \leq \tau \leq 1)$ 以上である場合 に，応答メッセージが要求メッセージに対応するとみなす
  - ジャカード指数を用いて，メッセージ間の類似度を $|\mathcal{R} \cap \mathcal{C}| / |\mathcal{R} \cup \mathcal{C}|$ として計算
    - $\mathcal{R}$: 要求メッセージに含まれるキーワード集合
    - $\mathcal{C}$: 応答メッセージに含まれるキーワード集合
- 部分一致法
  要求メッセージに含まれる全てのキーワードが応答メッセージのキーワード集合に含まれる場合 $(\mathcal{R} \subseteq \mathcal{C})$ に，応答メッセージが要求メッセージ対応するとみなす

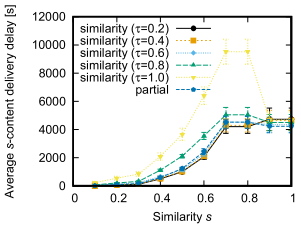
性能指標: s-コンテンツ配送遅延

類似度が s $(0 \leq s \leq 1)$ 以上であるコンテンツの平均配送遅延 (s-コンテンツ配送遅延) を計測

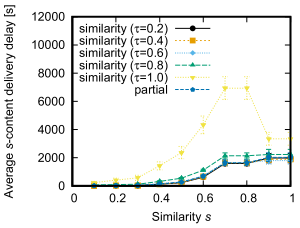
- ノードが要求メッセージを生成してから，当該メッセージと類似度が s 以上である応答メッセージを取得するまでに要した時間



結果: 平均 s-コンテンツ配送遅延 (ノード数: 25)

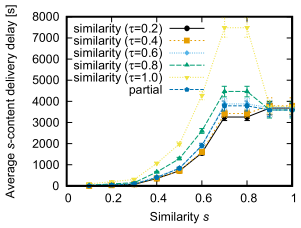


バッファの大きさ: 5 [message]

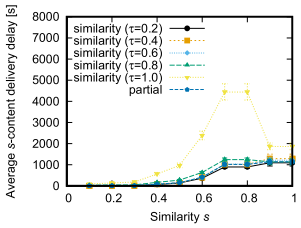


バッファの大きさ: 15 [message]

結果: 平均 s-コンテンツ配送遅延 (ノード数: 50)



バッファの大きさ: 5 [message]



バッファの大きさ: 15 [message]

まとめと今後の課題

- まとめ
  - ICDTN の概要とその課題を紹介
  - コンテンツ記述子による名前付与法を ICDTN に応用した キーワード型 ICDTN を提案
  - シミュレーションによりキーワード型 ICDTN の基本的な特性を調査
- 今後の課題
  - より現実的な条件下でのキーワード型 ICDTN の有効性評価 (例: ネットワーク資源の浪費 を考慮した評価)
  - キーワード型 ICDTN を利用した災害時のためのコンテンツ配送方式の考案

本研究の一部は JSPS 科研費 21H03436 の助成を受けたものである

Copyright © 2022 IEICE