

M-018

ネットワーク中キャッシュを考慮した適応的転送制御による  
WSN 向けコンテンツ指向型データ収集システム  
Content Oriented Data Collecting System for WSN  
with Adaptive Interest Forwarding considering in-network cache

國安 哲郎<sup>†</sup>Tetsuro Kuniyasu<sup>†</sup>重安 哲也<sup>‡</sup>Tetsuya Shigeyasu<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

近年, WSN (Wireless Sensor Network) [1] にコンテンツ指向型ネットワーク (CCN: Contents Centric Networking) [2] 技術である NDN (Named Data Networking) [3] を実装してデータのロケーションを意識させないデータ収集システムの実現が希求されている. これまでに, 我々は無線環境下におけるパケットロスによるコンテンツ取得率の低下を改善するために, 転送経路上のリンク状態に応じて転送先を切り換える DCF (Dynamic Change Forwarding) の提案を行った [4]. しかし, DCF は選択している経路がユーザにとって有益なキャッシュが蓄積された経路であっても転送先の切り換えが不用意に実施される可能性がある. そこで本稿では, 単なる無線リンク状態だけでなく, 中継 CR (Contents Router) のキャッシュ状況を考慮した各リンクの Interest ロス率を基に転送先を切り換える手法を提案し, これにより, コンテンツ取得に要する時間 (RTT: Round Trip Time) が大幅に短縮できることを明らかにする.

## 2 関連研究

## 2.1 NDN[3]

NDN は Interest と Data の 2 種類のパケットを用いて通信を行う. ユーザは要求するコンテンツの名前を Interest に記載し隣接ノードに送信する. これを受信したノードは Interest の情報を PIT (Pending Interest Table) に登録し, 次のノードへ転送する. コンテンツを保持するノードが Interest を受信すると, PIT に従って対応する Data を返送する. この際, 経路上の中継ノードは返送される Data を一時的に CS (Content Store) にキャッシュする. また, Data の到来方向を FIB (Forwarding Information Base) に登録し, 以後, 同じコンテンツを要求する Interest を受信した際はこの情報に従って転送する.

## 2.2 WSN への NDN の適用

元々, NDN は有線で構成される基幹ネットワークで利用することを目的に開発された. 本稿では, WSN へ適用する基本的な NDN プロトコルを以下に定義する.

<sup>†</sup> 県立広島大学大学院 総合学術研究科

Graduate School of Comprehensive Scientific Research, Prefectural University of Hiroshima

<sup>‡</sup> 県立広島大学 経営情報学部

Faculty of Management and Information Systems, Prefectural University of Hiroshima

- IEEE802.11 を通信方式とする
- PIT と FIB には MAC アドレスを登録し, 転送先を識別する
- FIB に一致しない Interest はブロードキャスト, FIB と一致する Interest と返送する Data はユニキャストでそれぞれ転送する

## 2.3 L2ACK の返信率に基づく経路選択制御

文献 [4] では, 複数の転送経路を FIB に確保した CR (MPCR: Multi-Path CR) が Interest 送信に対する L2ACK の返信率に応じて適応的に転送先を切り換える DCF を提案した. 本節では, DCF を改良し, 現在選択している転送経路上の全ての CR のリンク状態を調査する  $DCF_{path}$  を提案する.  $DCF_{path}$  は検査専用パケット CP (Check Packet) を使用する. CP は Data の返信を要求せずに, リンク状態の検査のみのために用いる Interest である. 以下に CP を用いた調査の動作手順を示す.

- 各ユーザは一定時間  $T$  ごとに現在選択している経路に CP を送信する.
- 自身より下流の CR から CP を受信した CR は, 自身の平均 L2ACK 返信率  $R$  を算出し, それが閾値  $\alpha$  を上回る場合, 上流 CR へ転送する. そうでなければ, その CP をただちに下流 CR へ返送する.
- 自身より上流の CR から CP を受信した CR は, 自身が MPCR である場合, FIB に確保した他の候補に転送先を変更し, その CP を破棄する. そうでなければ, CP を下流へ返送する.

## 3 キャッシュを考慮した Interest のパケットロス率に基づく経路選択制御

$DCF_{path}$  は転送経路上の各リンクの平均 L2ACK 返信率のみを転送切替の判断基準とした. しかし, このような方式では多くの要求がサーバまで転送されず, ユーザに近い CR のキャッシュで返送される場合にも, サーバに近い CR の平均 ACK 返信率が参照され, その値によって転送切替の実施に影響を及ぼす. この問題を改善するために, 新たに  $DCF_{loss}$  を提案する.  $DCF_{loss}$  は単なる経路上の全ての CR の平均 ACK 返信率ではなく, 各 CR のキャッシュ利用状態を考慮し, ユーザの Interest 送信に対する各リンクの Interest 流出率と Interest ロス率を基準に切替を判定する. 動作手順は基本的に  $DCF_{path}$  と

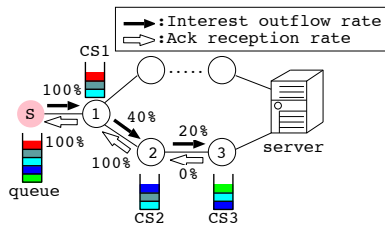


図 1: Interest ロス率算出例

同様であるが、判断基準値の算出方法が異なる。図 1 に算出例を示す。

図 1 に、ユーザ S の queue にある 5 種類の異なるコンテンツを要求する Interest を過去  $T$  時間内に送信した時の各リンクの Interest 流出率  $F$  と ACK 受信率  $R$  を示す。 $F$  はユーザの Interest 総送信数に対する各リンクを流れる Interest の割合である。 $T$  時間経過ごとにユーザの Interest 送信履歴を記載した CP を送信し、各リンクごとに式 (1) を用いて Interest ロス率  $L$  を算出する。 $L$  が閾値  $\beta$  を上回る場合、下流 CR へ CP を返送する。図 1 における算出結果は、S-CR1 間および CR1-CR2 間の  $L$  は 0、CR2-CR3 間は 0.2 となる。このように、転送切替の判断基準値に  $F$  を用いることにより、上流 CR への  $F$  は下流 CR でのキャッシュ利用率に影響されるため、各 CR のキャッシュ状況を考慮することができる。

$$L = (1 - R) \times F \quad (1)$$

#### 4 性能評価

$DCF_{path}$  と  $DCF_{loss}$  のキャッシュ利用率と RTT を評価した結果を示す。表 1 に評価に用いたシミュレーション諸元を示す。また、図 2 にシミュレーショントポロジを示す。ユーザ S1 は 0 秒および偶数秒に、S2 は奇数秒にそれぞれデータを 1 秒間要求する。その際、転送経路の切り換えが実施されなければ基本的に当初から選択されている最短ホップの経路を用いる。図中に示す  $k$  は要求するデータを識別するためのシリアル番号であり、要求するたびにインクリメントする。また、図中の三角の 2 端末は奇数秒に CR2 に 1 秒間干渉トラフィックを与える。

図 3 左にキャッシュ利用率を、右に RTT をそれぞれ示す。どちらも、Interest 生成レートを 100[pkt/sec] としたときの干渉パケット生成レートに対する S2 のキャッシュ利用率および RTT の変化を示す。ここで、キャッシュ利用率は S2 が取得した総データ数のうち中継 CR のキャッシュから返信されたデータの割合である。これらの図において、 $DCF_{loss}$  は  $DCF_{path}$  を上回っていることがわかる。 $DCF_{path}$  は各リンクの ACK 返信率のみで判定を行うため、CP を送信するごとに CR1-CR2 間のリンクをボトルネックとして検知し、転送先を切り換える。一方、Interest ロス率で判定を行う  $DCF_{loss}$  は、S2 に先行してデータを要求する S1 によって蓄積されたキャッシュを利

用することにより CR1-CR2 間の Interest 流出率は低くなるため、ACK 受信率は低いにも関わらず Interest ロス率は低いと判定される。その結果、転送先の切り換えは実施されず、S1 と同じ経路を選択し続けることで  $DCF_{path}$  と比較してキャッシュ利用率および RTT は向上する。

表 1: シミュレーション諸元

Parameter	Value
Data Rate	2Mbps
Interest Payload	72Byte
Data Payload	250Byte
Simulation Time	10sec
Cache Algorithm	LRU
Cache Size	100
$T$	0.5
Threshold $\alpha, \beta$	0.5
Arrival Process	Poisson Arrival

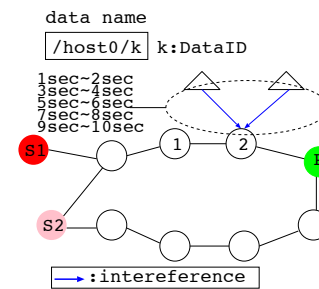


図 2: シミュレーショントポロジ

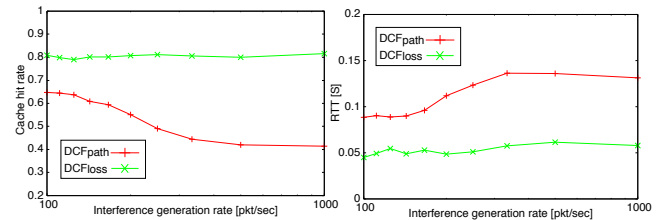


図 3: キャッシュ利用率 (左), RTT (右)

#### 5 まとめ

本稿では、 $DCF_{loss}$  を提案し、キャッシュ利用率と RTT の双方が向上することを明らかにした。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K00132 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] 戸辺義人: 無線センサネットワークの技術動向, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J90-B, No.8, pp. 711-719, (2007).
- [2] 山本幹: [特別招待講演] コンテンツオリエンテッドネットワークの研究動向, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 114, No.18, pp. 35-40, (2014).
- [3] Named Data Networking (NDN) - A Future Internet Architecture (online), available from <https://named-data.net> (accessed 2017-06-23).
- [4] T. Kuniyasu and T. Shigeyasu: A Study on Implementation of NDN to WSN, Proc. of The 31-st IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (IEEE AINA-2017), Taipei, Taiwan, pp.392-398, (2017).