

# 適応的なリクエストコンテンツ転送制御を導入した WSN向けコンテンツ指向型データ収集手法の提案

國安 哲郎<sup>1</sup> 重安 哲也<sup>2</sup>

**概要:** 近年, WSN にコンテンツ指向型ネットワーク技術である NDN を適用することで, データのロケーションを意識させないデータ収集の実現が希求されている. WSN へ NDN を適用する研究はすでに行われている. しかし, WSN に NDN をそのまま適用すると 2 つの問題点が発生する. 1 つはブロードキャスト転送時の PIT の冗長な登録によりコンテンツ配送の際に不要なトラフィックが発生することであり, 他方はパケットエラー率が高い無線環境下における下位レイヤでのコンテンツ喪失である. そこで, 本稿では, これらに対処するための新たな WSN 用 NDN 転送制御手法を提案し, それにより, コンテンツの取得率と, ネットワーク全体のスループットが向上することをシミュレーション結果を用いて明らかにする.

## Proposal of Content Oriented Data Collecting Method for WSN with Adaptive Request Content Forwarding Control

KUNIYASU TETSURO<sup>1</sup> SHIGEYASU TETSUYA<sup>2</sup>

**Abstract:** Recently, It is desired that realization of data collection without aware the data location by applying NDN, to WSN. Several studies relating to applying NDN to WSN have already been done. However, two problems will arise if we apply the original NDN to WSN. One is that unnecessary traffic is generated during content delivery induced by redundant entry registrations on PIT. The other one is that higher content loss rate induced by the wireless environment with high packet error rate. Hence, in this paper, we propose new NDN forwarding control method for WSN to mitigate these problems. The results of computer simulations confirm that the content acquisition rate and the throughput performance on entire network are improved by our proposals.

### 1. はじめに

従来の伝統的な通信ネットワークでは, 送信者と受信者が互いを指定することによって実施する 1 対 1 の通信が主流であり, “誰と通信を行うか” を重視する. しかし, 現在のように, コンテンツ流通・配送を目的とするネットワークサービスにおいては, ユーザが重要視するのはデータの内容であり, データの取得先の端末のロケーションはそれほど重要ではない.

そこで, コンテンツ指向型ネットワークの概念と指針が検討されており, 多くの注目を集めている [1], [2], [3]. これは, 従来の IP アドレスを識別子とした End-to-End の通信から, コンテンツ名を識別子として通信を開始できるようにすることで, コンテンツ取得先端末のロケーションに対する依存度を大幅に減少できる技術となる. これにより, ユーザがコンテンツを要求する時, 希望するデータをオリジナルサーバだけではなく, 同コンテンツのキャッシュを保持しているネットワーク内ノード (コンテンツルータ) から取得することで, コンテンツ取得に要する時間を短縮することが可能となる. さらに, 各コンテンツルータにコンテンツを分散キャッシングさせることで, オリジナルを保持するサーバのみならず, ネットワーク全体のトラ

<sup>1</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>2</sup> 県立広島大学 経営情報学部  
Faculty of Management and Information System, Prefectural University of Hiroshima

フィック負荷を大幅に軽減することが可能となる。

さて、近年、IoT (Internet of Things) [4] の推進が加速している。IoT ではあらゆるモノをインターネットに繋ぐことで、コスト削減や効率化を目指した新たなビジネスモデルを創造できる。中でも、センサを備えた無線ノードから構成される WSN (Wireless Sensor Network) [5], [6] が研究者の間で注目されている。WSN は、固定インフラなしに無線リンクを通じて、センサノードによるデータのマルチホップ中継により遠隔からデータを収集する。WSN では低コストで効果的なデータ収集ネットワークが構築できる。

WSN におけるデータの発見、収集のための代表的な通信プロトコルの 1 つに DD (Directed Diffusion) [7] がある。DD では Sink が要求するデータに関するクエリをフラッディングする。該当するセンサがフラッディングを受信すると、低遅延の経路に沿って一定期間、等間隔でデータを配送する。しかし、DD では隣接するノード間で互いを識別する必要があること、ならびに、不要なデータ配信によりトラフィックが増加するなどの問題がある。

一方、元来は基幹有線ネットワークでの使用を想定して提案されたコンテンツ指向型ネットワークの 1 つである NDN (Named Data Networking) [8], [9], [10] を、IoT 向けの無線ネットワークに適用することがいくつか提案されている [11], [12], [13], [14]。文献 [11] では、WSN におけるデータ収集手法として、NDN を適用することが提案されている。同文献では、NDN 適用の利点として、大規模な WSN においても階層的ネーミングによりロケーションを意識せずにデータの検索・取得ができること、また、スケーラビリティも向上することの 2 点をあげている。さらに、NDN では各ノードにおけるデータのキャッシュ機能により、データの効率的な収集が可能となる。

しかしながら、文献 [11] は、WSN へ NDN を適用するというシンプルなアイデアの提案にとどまっているため、WSN の特性を利用した NDN アルゴリズムの最適化については議論されていない。そこで本稿では、WSN に NDN を単純に適用した場合に発生する 2 つの問題点について指摘する。まず 1 点目として、ブロードキャスト時に中間ノード上で冗長な PIT (Pending Interest Table) レコードの登録が行われることにより、コンテンツ配送の際に不要なトラフィックが発生することを述べる。次に 2 点目として、無線環境下のように、パケットエラー率が高い場合には、それを考慮した適切な転送先リンク選択制御機能が必要となることを述べる。

本稿では、上記の 2 つの問題点を改善する手法を提案する。具体的には、冗長な PIT の登録を削減し、また、リンクごとの輻輳を検知し、適切な経路選択機能を実現する適応的な転送制御機能を導入することで、コンテンツの取得率とネットワーク全体のスループットの双方が向上するこ

とを明らかにする。

## 2. 関連研究

### 2.1 NDN の基本動作

NDN では、ユーザは希望するコンテンツを取得するために Interest と Data の二種類のパケットを用いてコンテンツの要求/転送を行う。ユーザは要求するコンテンツ名を Interest に記載し隣接ノードに送信する。Interest を受信した各ノードは Interest に記載されているコンテンツ名と Interest が到着したインタフェースの 2 つの情報を 1 つのエントリとして PIT に登録し、次のノードへ Interest を転送する。ここで、PIT に既に同じコンテンツ名のエントリが存在する場合、新たなインタフェース番号のみをその既存エントリに追記し、転送は行わない。そして、コンテンツを保持するノードが Interest を受信すると、PIT の情報に従って対応する Data が転送される。この際、各中継ノードは Data を一時的に CS (Content Store) にキャッシュする。これにより、以降、キャッシュしている Data と一致する Interest を受信した際、自身が Data をオリジナルサーバに代って返信することでトラフィックの削減と RTT (Round Trip Time) の短縮が実現する。Data を中継するノードは Data が到着したインタフェースとデータ名の Prefix を 1 つのエントリとして FIB (Forwarding Information Base) に登録し、以降、同じ Prefix をもつ Interest を受信した際はこの情報に従って転送する。

NDN の動作例を図 1 に示す。user1 と user2 が同名のコンテンツ (test1) を要求し、ノード 2 には user1, user2 の順で Interest が到着したとする。この時、ノード 2 は user1 から先に到着した Interest は転送するが、その後 user2 から到着した Interest は PIT の face 番号登録のみを行い、次ノードへの転送は行わない。server から返信された test1 のコンテンツは各ノードの PIT 情報に従って配送する。また、test1 を中継する各ノードは、それを一時的に CS にキャッシュしておくことで、以降の他のユーザからの test1 の取得要求に対応する。

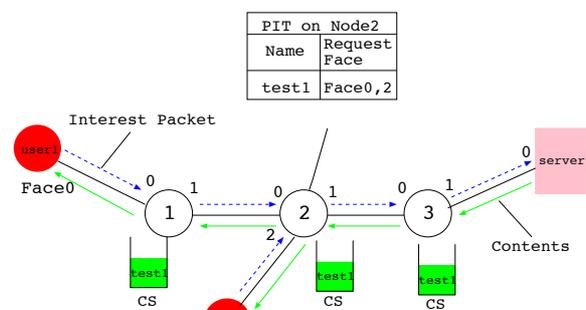


図 1 NDN の動作例

## 2.2 WSN への NDN 技術の適用

前述したように NDN は元々、有線ネットワークで使用することを目的として開発された。前節で説明した NDN の動作例も有線ネットワークにおけるものである。しかし、我々の研究では、NDN を WSN に適用するため、無線ネットワークにおける基本的な NDN プロトコルを以下に定義する。

- 通信方式として、代表的な無線 LAN 規格である IEEE802.11 の CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) [15] を用いる。
- Interest を中継する時、FIB に一致するエントリがない Interest はブロードキャストにより隣接する複数ノードに転送する。
- FIB に一致するエントリがあれば、Interest はそれに従ってユニキャストにより単一ノードに転送する。
- 返送する Data は PIT 情報に従ってユニキャストにより配送する。
- PIT と FIB に隣接ノードの MAC アドレスを登録することにより、各ノードは転送先を識別する\*1。

また、上記をふまえ、WSN に NDN を適用した場合の問題点は主に以下の2点となる。

- ブロードキャスト転送時の冗長な PIT の登録により、コンテンツ配送の際に不要なトラフィックが発生する。
- 無線環境下のように、パケットエラーが頻繁に発生する場合、それを考慮した転送先リンク選択制御機能が必要となる。

次節より、この2点の問題点について詳述し、それらに対処するための適応的な転送制御手法を提案する。

## 2.3 文献 [11]

単純に WSN に NDN を適用した場合、FIB にエントリがない Interest はブロードキャストで転送する。しかし、図2に示すように、純粋なフラッディングはパケットの衝突を発生させる。また、冗長な PIT の登録により、不要なトラフィックを増加させる。

同図において、ノード1、2間とノード2、3間では、互いのノードを PIT に登録しており、コンテンツ配送の際に不要なトラフィックが発生することがわかる。

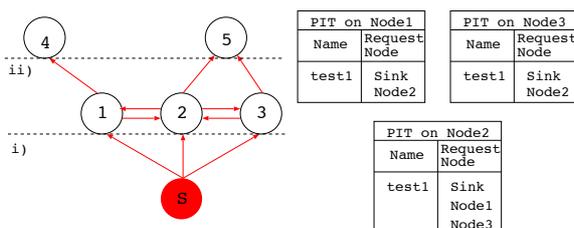


図2 NDN を適用した WSN における冗長 PIT 登録問題

\*1 Interest/Data パケットのヘッダーに MAC アドレスを登録するための新たなフィールドを追加することで対応する

そこで、文献 [11] では、任意のコンテンツ名が記載された Interest を受信したノードが、その受信直後に同名の Interest が自身の隣接ノードから送信されたことを傍受した場合、自身が先に受信した Interest を同じ転送元ノードからの Interest であると判断する。そして、同一 Interest の重複転送を回避するために、自身はその Interest の転送を中止する (図3)。さて、文献 [11] では、本手法の具体的なプロトコル名が与えられていなかったため、本稿では DDF (Discard Duplication Forwarding) と呼ぶ。

しかし、DDF では、Interest の中継経路数が減少することにより、キャッシュヒット率の低下を招く問題が発生する。

同図において、ノード1、2、3のうち、ノード2が最初に転送を行った場合、ノード1、3は自身の転送をとりやめる。しかしながら、この弊害として、DDF ではノード1より先の経路も確立されずに、配送経路候補数が減少する危険性がある。

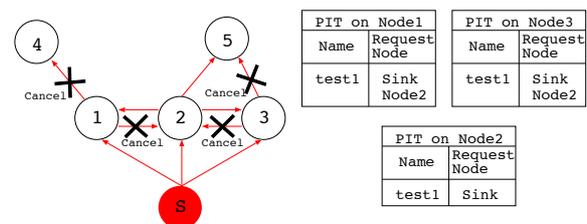


図3 DDF による Interest の転送

## 3. WSN 指向型 NDN プロトコル

本章では、WSN における NDN の性能を向上させるために、2つの転送制御手法を提案する。

### 3.1 ブロードキャスト転送制御

本節では、FIB 確立前のブロードキャストによる転送において、コンテンツの検索エリアの減少を防ぐ BPF を提案する。前述したように、DDF の中継経路数減少問題を回避するために、我々は、冗長な PIT の登録を回避しつつ、十分なコンテンツ配送の経路数を維持する BPF (Best PIT Forwarding) を提案する。本手法では、これから転送を試みる Interest と同じ Prefix をもつ他の Interest を既に受信済みであっても、転送そのものは中止せずに、受信側でその Interest による PIT の登録必要性を判断する。

図4に示すように、ノード2が最初に中継を行った場合、ノード1、3はノード2の MAC アドレスをパケットに付加する。ノード2は自身の MAC アドレスが記載されていることを確認し、ノード1、3を PIT に登録しないことで、冗長な PIT 登録を回避しつつ、コンテンツの探索エリアの減少を防ぐ。

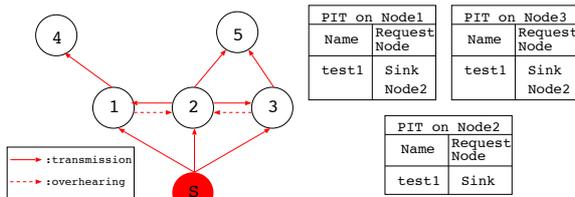


図 4 BPF による Interest の転送

### 3.2 適応的経路選択制御

本節では、各ノードは FIB 確立後に、ネットワーク内のトラフィック変動に対して、転送する Interest の宛先を動的に変更する DCF (Dynamic Change Forwarding) を 4 方式提案する。具体的には、各ノードは複数の最短経路を転送経路として確保している場合に、現在選択中の転送先のトラフィック負荷に応じて適応的に他の候補に転送先を変更する。

提案する 4 つの方式は大きく 2 種類に分類できる。前者は Interest 送信に対する L2ACK の返信率で負荷状態を判定する行う方式であり、後者は Interest 送信に対する ACK の返信時間で判定を行う。前者と後者を更に 2 つずつ提案する。

#### DCF<sub>rate1</sub>

ACK を受信するごとに、直近  $N$  回の Interest 送信に対する平均 ACK 返信率により判定する。ここで、定数  $N$  はオペレータによって指定される値とする。

#### DCF<sub>rate2</sub>

DCF<sub>rate1</sub> と同様に、直近  $N$  回の Interest 送信に対する平均 ACK 返信率により判定する。ただし、ACK 返信率の算出とそれによる判定は、Interest を  $N$  回送信する度に行う。

#### DCF<sub>time1</sub>

ACK を受信するごとに、直近  $N$  回の Interest 送信に対する平均 ACK 返信時間により判定する。

#### DCF<sub>time2</sub>

DCF<sub>time1</sub> と同様に、直近  $N$  回の Interest 送信に対する平均 ACK 返信時間により判定する。ただし、ACK 返信時間の算出とそれによる判定は、ACK を  $N$  回受信する度に行う。

DCF<sub>rate2</sub>, DCF<sub>time2</sub> は DCF<sub>rate1</sub>, DCF<sub>time1</sub> より長いインターバルでそれぞれ判定する。

DCF<sub>rate1</sub>, DCF<sub>rate2</sub> の判定式を式 (1) に、DCF<sub>time1</sub>, DCF<sub>time2</sub> の判定式を式 (2) にそれぞれ示す。以下の式を満たす時、宛先の変更が行われる。

$$\alpha > \frac{R}{N} \quad (1)$$

ここで、 $R$  は ACK 受信数、 $\alpha$  はオペレータによって指定される転送先切り替えの閾値とする。

$$\beta < \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \quad (2)$$

ここで、 $T_i$  はその ACK を受信するまでの応答時間、 $\beta$  はオペレータによって指定される転送先切り替えの閾値とする。 $\beta$  を図 5 及び式 (3) に示すように定義する。

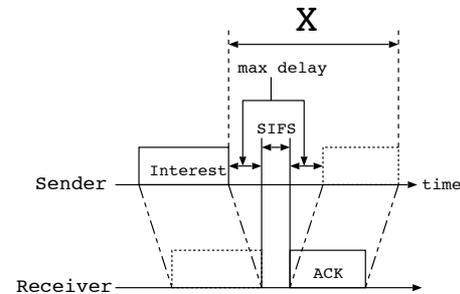


図 5 Interest-ACK の応答サイクル

$$\beta = X \times \gamma \quad (3)$$

ここで、式 (3) に示す  $\gamma$  は平均再送回数を考慮してオペレータによって指定される値とする。

## 4. 性能評価

本章では、前節で提案した 2 つのプロトコル (BPF と DCF) を性能評価した結果をそれぞれ示す。

### 4.1 BPF の評価

本節では、BPF と純粋なフラッディングと DDF の 3 方式のデータ取得率と、シミュレーション経過時間ごとのデータ取得数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。

表 1 シミュレーション諸元

Parameter	Value
Data Rate	11Mbps
Communication Range	75m
SIFS	10 $\mu$ sec
DIFS	50 $\mu$ sec
Slot	20 $\mu$ sec
Contention Window Size	Min:31, Max:1023
MAC Header	DATA:24, ACK:10(Bytes)
Frame Check Sequence	4Bytes
PLCP Header and Preamble	192 $\mu$ sec
DATA and INTEREST Payload	512Byte
Simulation Time	10sec
Available Cache Size	5
Cache Algorithm	LFU
Arrival Process	Poisson Arrival
Number of Nodes	81
Simulation Field	400m $\times$ 400m

図 6 にシミュレーショントポロジを示す。各ノードは

50m ごとの等間隔に配置し、図中の3つのノード S をシンクノードとする。また、四隅の4つのノードはそれぞれ異なる Prefix のデータを保持するノード（以下、プロバイダ）とする。各シンクノードは4つの Prefix からランダムに選択したコンテンツを要求する Interest を送信する。また、Interest 送信後、コンテンツを3秒以内に取得できなかった場合は Interest を再送する。

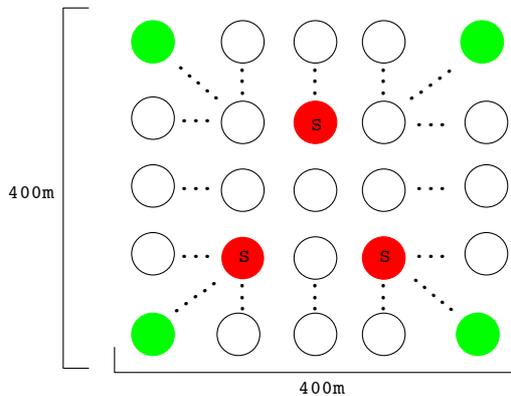


図 6 シミュレーショントポロジ (81 端末)

#### 4.1.1 データ取得率

図7にシンクノードの Interest 生成レートに対するデータ取得率を示す。ここで、取得率はシンクノードが実際に送信した Interest に対して取得できたデータの割合である。また、本シミュレーションでは、複数の宛先が FIB 上に登録された場合は、その中から最短経路となるノードを転送先として選択することとした。これを実現するために、プロバイダからシンクノードまでデータを中継する際に、Data のヘッダにホップ数を記録させることで対応した。

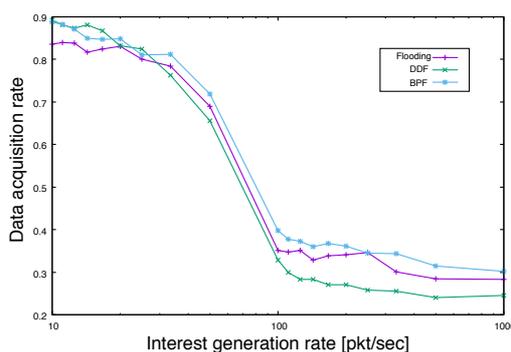


図 7 データ取得率

同図より、どの生成レートにおいても BPF は概ね2つの既存手法より高い取得率を達成していることが確認できる。これは、フラディング方式においては、冗長な PIT の登録により、不要なトラフィックが生じているためである。また、DDF においては、Interest 転送中止制御により、最短経路が確立されなかったためである。

#### 4.1.2 時間あたりのデータ取得数の変化

図8に Interest 生成レートを 100[pkt/sec] とした場合の1秒間あたりのデータ取得数の変化を示す。ここでは、0秒～1秒間のデータ取得数を横軸1秒上に、1秒～2秒間のデータ取得数を横軸2秒上にプロットしている。生成レートを 100[pkt/sec] としたのは、シミュレーション時間内にシンクノードに生成されたすべての Interest が送信されるレートのうち最も高いレートであるためである。

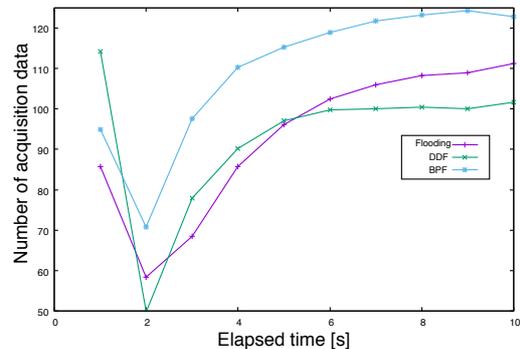


図 8 時間あたりのデータ取得数

同図より、0秒～1秒の FIB が確立される前までのデータ取得数は DDF が最も多いことがわかる。これは、他の2方式と比較して、Interest をブロードキャストで転送する際の衝突が少ないためである。しかし、FIB 確立後のユニキャスト転送のフェーズになると、DDF は最短経路で中継している2方式と比較して、データ取得数が下回ることがわかる。

#### 4.2 DCF の評価

本節では DCF の性能を評価する。なお、本節では、ブロードキャスト転送制御として BPF を DCF と組み合わせることとした。

##### 4.2.1 10 端末の場合

図9にシミュレーショントポロジを示す。ここで、図中の上の三角の2端末はシミュレーション開始後1秒～5.5秒の間干渉トラフィックを発生させる。同様に下の2端末は5.5秒～10秒の間干渉を与えるものとする。また、緑のノードはプロバイダである。表1と同じシミュレーション諸元を評価に用いる。

図10にデータ取得率を示す。ここで、横軸は三角のノードの干渉パケットの生成レートであり、シンクノードの Interest 生成レートは 100[pkt/sec] とする。また、ノード1はノード3、2の順に FIB に登録したものとする。

同図において、一部の生成レートを除いて、 $DCF_{rate1}$ 、 $DCF_{rate2}$  が最も高い取得率を実現していることがわかる。これは、5.5秒以降に干渉が発生した場合に、それを検出し、干渉のないノード1へ宛先を変更しているためである。一方、応答時間を元に判定を行う  $DCF_{time1}$ 、 $DCF_{time2}$

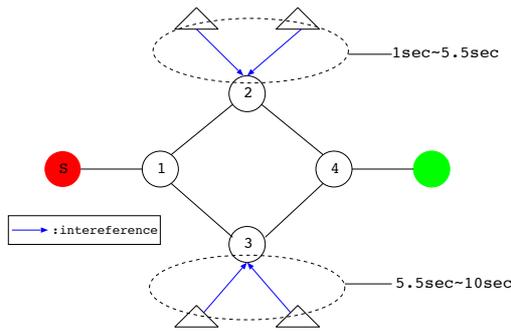


図 9 シミュレーショントポロジ (10 端末)

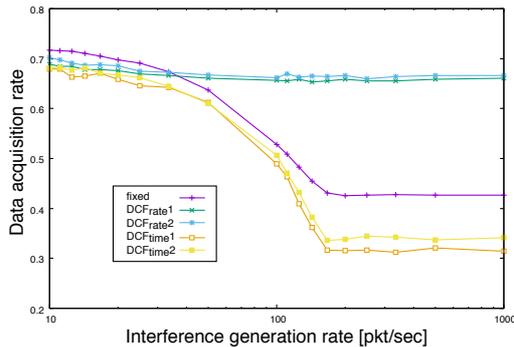


図 10 データ取得率

は、CSMA/CA の自律分散型通信制御機能であるキャリアセンスやバックオフ時間などランダムに与えられる時間が判定要素の 1 つに含まれる形になっているため、リスク負荷の精度の高い判定が行えなかったと考えられる。

また、図 11 に干渉パケット生成レートを 1000[pkt/sec]とした場合の 1 秒間あたりのデータ取得数の変化を示す。

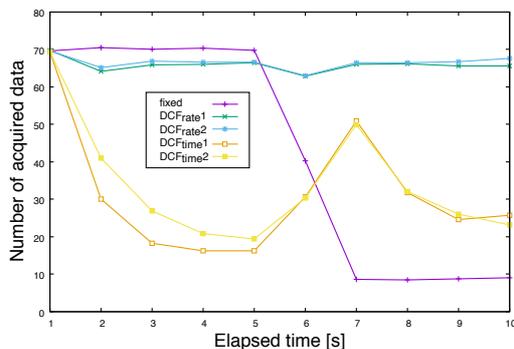


図 11 時間あたりのデータ取得数

同図において、 $DCF_{rate1}$ 、 $DCF_{rate2}$  においてノード 1 は、シミュレーション時間 1 秒～5.5 秒はノード 3 を、5.5 秒～10 秒はノード 2 を宛先として正しく設定することで、最も多い受信数を獲得している。これに対し、宛先を固定する方式において、ノード 1 は 5.5 秒以降も転送先を変更しないため、急激に受信数が減少している。また、 $DCF_{time1}$ 、 $DCF_{time2}$  は、正しく判定を行えていないため、 $DCF_{rate1}$ 、 $DCF_{rate2}$  を下回る結果となっている。

これらの結果から、ACK の返信率を判定基準とするこ

とでより良い Interest 転送先を判断できることがわかる。

#### 4.2.2 81 端末の場合

図 6 のトポロジに  $DCF_{rate1}$  と  $DCF_{rate2}$  を適用した評価を行う。ここで、各ノードは FIB 上に最短経路の宛先が複数登録されているとき、判定結果を元にその中から宛先を動的に変更することとする。

まず、図 12 にデータ取得率を示す。同図において、データ取得率はどの方式も全ての生成レートにおいて概ね同等の値であり、性能に差がないことがわかる。

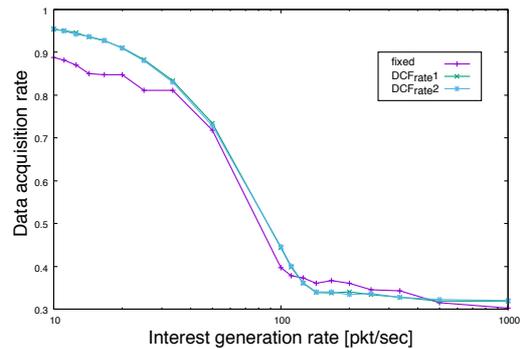


図 12 データ取得率

次に、図 13、14 に Interest の総送信回数、総データ取得数をそれぞれ示す。これらの図において、 $DCF_{rate1}$  と  $DCF_{rate2}$  は、fixed を上回っており、ネットワーク全体のスループットが向上していることがわかる。これは、各ノードは現在使用している経路の輻輳を検知した場合は、別の最短経路を用いることで効率的な Interest の転送とコンテンツの配送を行っているためである。

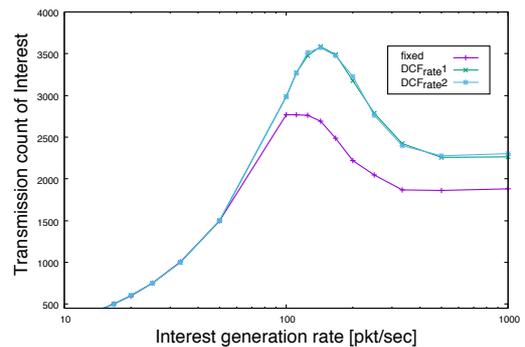


図 13 Interest 総送信回数

また、今回のシミュレーションにおいても、 $DCF_{rate1}$  と  $DCF_{rate2}$  は同等の性能を示していることがわかる。

## 5. まとめ

本稿では、WSN に NDN を単純に適用した場合の問題に対処するための新たな WSN 用 NDN 転送制御手法として、BPF と DCF を提案した。シミュレーション結果より、BPF は、PIT の冗長な登録を回避し、かつ、コンテンツの

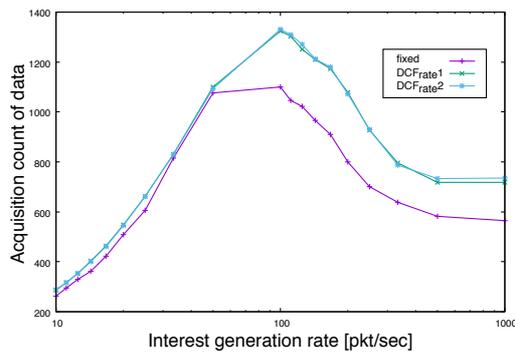


図 14 総データ取得数

検索エリアの減少を防ぐことを明らかにした。また、DCFは、複数の転送経路を効率的に用いて、ネットワーク全体のスループットを向上させることを明らかにした。

今後は、更なる性能向上を目指して、新たな機能について検討し、その有効性について調査していく予定である。

#### 参考文献

- [1] V. Jacobson, D. Smetters, J. Thornton, M. Plass, N. Briggs and R. Braynard: Networking named content, Proc. ACM CoNEXT 2009, pp. 1-12, (2009).
- [2] C. Dannewitz, C. Imbrenda, D. Kutscher and B. Ohlman: A survey of information-centric networking, IEEE Communication Magazine, Vol. 50, No. 7, pp. 26-30, (2012).
- [3] 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).
- [4] 松井俊浩, 関根久, 林秀樹, 大窪宏明, 砂口洋毅, 松尾直之, 佐藤義竜: [特別講演]IoT 社会を支える重要技術の動向, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 116, No. 53, pp. 77-82, (2016).
- [5] 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).
- [6] K. Begum and S. Dixit: Industrial WSN using IoT: A survey, 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), Chennai, India, pp. 499-504, (2016).
- [7] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann and F. Silva: Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking, IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 11, No.1, pp. 2-16, (2003).
- [8] Named Data Networking (NDN) - A Future Internet Architecture (online), available from <https://named-data.net> (accessed 2016-07-13).
- [9] M. M. S. Soniya and K. Kumar: A survey on named data networking, 2015 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), Coimbatore, pp. 1515-1519, (2015).
- [10] Q. Chen, R. Xie, F. R. Yu, J. Liu, T. Huang and Y. Liu: Transport Control Strategies in Named Data Networking: A Survey, in IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 18, No. 3, pp. 2052-2083, (2016).
- [11] M. Amadeo, C. Campolo, A. Molinaro and N. Mitton: Named Data Networking: a Natural Design for Data Collection in Wireless Sensor Networks, Wireless Days (WD), 2013 IFIP, Valencia, pp. 1-6, (2013).
- [12] M. Hail, M. Amadeo, A. Molinaro and S. Fischer:

Caching in Named Data Networking for the Wireless Internet of Things, Recent Advances in Internet of Things (RIoT), 2015 International Conference on, Singapore, pp. 1-6, (2015).

- [13] M. Amadeo, C. Campolo, A. Iera and A. Molinaro: Named data networking for IoT: An architectural perspective, Networks and Communications (EuCNC), 2014 European Conference on, Bologna, pp. 1-5, (2014).
- [14] Z. Zhang, H. Ma and L. Liu: Cache-Aware Named-Data Forwarding in Internet of Things, 2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), San Diego, CA, pp. 1-6, (2015).
- [15] *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Std.802.11, 1999.