

# 巡回収集ノードによるセンサデータベース構築のためのデータ収集量を考慮した通信方式

Communication Methods for Sensor Database Construction by Rounding Sink Considering Amount of Data Collection

義久 智樹<sup>♥</sup> 西尾 章治郎<sup>♦</sup>

Tomoki YOSHIHISA Shojiro NISHIO

近年、巡回収集ノードがセンシング領域を巡回しながらセンサからデータを収集してセンサデータベースを構築する研究が盛んに行われている。巡回収集ノードを用いることで、センサネットワークを構築することなくデータを収集でき、大規模なデータ収集が可能になる。これらの研究のほとんどは、各センサから収集するデータ量を考慮していないため、データ収集量の公平性を確保できないという問題があった。そこで本研究では、各センサからのデータ収集量を考慮した巡回収集ノードの通信方式を提案する。提案方式では、各センサが保持するデータ量や通信時間に応じて巡回収集ノードが収集するデータ量を決定する。評価の結果、提案手法は各センサから収集するデータ量に公平性を与えられることを確認した。

Recently, many researches focus on database construction by rounding data sink, which collects data from sensors while traveling in the sensing field. By using rounding sink, we can collect sensor data without constructing sensor networks and can realize large-scale data collection. Most of these researches have a problem that the rounding sink cannot collect data fairly for sensors since these do not consider the data amount to be collected from each sensor. In this paper, we propose communication methods for rounding sink considering the amount of data collection. Our proposed methods calculate the amount of data collection based on the data amount that each sensor has or the communication time. Evaluation results demonstrated their abilities to ensure fairness for the data amount to be collected from each sensor.

## 1. はじめに

近年のセンシング技術の発達にともない、大規模なセンサデータベースに対する注目が高まっている。温度や映像といったセンサデータを格納した大規模センサデータベースを用いることで、環境把握や人探しといった応用が可

<sup>♥</sup> 正会員 大阪大学サイバーメディアセンター  
yoshihisa@cmc.osaka-u.ac.jp  
<sup>♦</sup> 監事 大阪大学大学院情報科学研究科  
nishio@ist.osaka-u.ac.jp

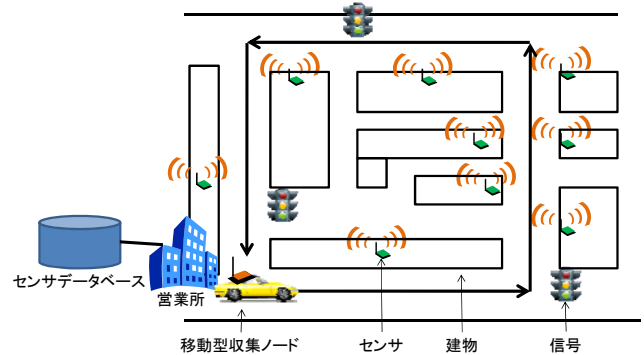


図1 巡回収集ノードによるセンサデータベース構築

Fig.1 Sensor Database Construction by Rounding Sink

能になる。センサデータベースを構築するためには複数のセンサからデータを収集する必要があり、センサネットワークと呼ばれる通信ネットワークをセンサで構築してデータを収集する方式が研究されている。しかし、センサネットワークでは、幾つかのセンサを経由してデータ収集するため、センサが多い場合に通信量が非常に大きくなる。また、ネットワークを構築するためにセンサが互いの通信範囲内になければならないという問題がある。このため、移動型収集ノードを用いてセンサデータベースを構築する研究が盛んに行われている[1-7]。移動型収集ノードを用いたデータ収集では、センサがある領域を移動型収集ノードが移動しながら各センサからデータを収集する。図1の例では、収集ノードを備えたタクシーが街中を移動し、移動型収集ノードとしての役割を果たしている。タクシーは営業所を出発して客を乗せ、信号で止まったりしながら移動中に通信できたセンサからデータ収集する。営業終了後、営業所に戻って収集したデータをセンサデータベースにアップロードする。既に運行しているタクシーやバスを活用することで追加コストを抑えられる。移動型収集ノードには、車やロボット、動物といった幾つかの種類があるが、本研究ではタクシーのように巡回してからデータをアップロードする巡回収集ノードを用いる。

しかし、このような巡回収集ノードを用いた方式では、巡回収集ノードが通信とは無関係に巡回しているため、各センサが保持するすべてのデータを通信時間内に収集できない可能性があり、巡回収集ノードは収集するデータを取捨選択する必要がある。巡回収集ノードを用いたデータ収集では、各センサの保持するデータ量と、通信時間の観点から2種類の公平性を確保することが重要と考える。具体的には以下の状況が考えられる。

- 各センサが保持するデータ量に対して収集するデータ量を公平にすることが重要な状況：巡回収集ノードが異種のセンサからデータ収集する場合、データ数が均一になるように、各センサが保持するデータ量に対して収集するデータ量を公平にする。例えば、カメラの静止画1枚のデータ量は温度センサの1回分のデータ量に比べて多い。このため、収集するデータの個数を等しくするため、各センサが保持するデータ量に対して同じ割合でデータ収集する。
- 通信時間の公平性が重要な状況：巡回収集ノードが同種のセンサからデータ収集する場合、各センサからのデータ収集量が均一になるように、各センサとの通信時間

を公平に与える。例えば、温度分布把握専用のセンサデータベースを構築するために巡回収集ノードが温度センサのみからデータ収集する場合、各地点の温度データの収集量を均一にすることが考えられる。

短時間で多くのデータを収集するために幾つかの研究が行われているが、各センサから収集するデータ量を考慮していないため、多くのデータをもっているにも関わらず少しのデータしか収集されず、データ収集量の公平性を確保できないという問題があった。

そこで本研究では、各センサからのデータ収集量を考慮した巡回収集ノードの通信方式を2種類提案する。1つめの提案方式では、各センサが保持するデータ量に対して収集するデータ量の公平性を確保し、もう一方の提案方式では、通信時間の公平性を確保する。これらの提案方式では、巡回収集ノードが周辺のセンサを探索し、発見したセンサの1つと通信する。公平性を確保するために、各センサから収集するデータ量や通信時間に上限を設定し、上限に達すると、他のセンサからのデータ収集を試みる。

以下、2章で関連研究を説明し、3章でデータ収集する想定環境を説明する。4章で提案手法を説明し、5章で評価を行う。最後に6章で本論文をまとめる。

## 2. 関連研究

センサデータベースシステムとして TinyDB[8] や Cougar[9]が開発されているが、これらはセンサネットワークを用いており、移動型収集ノードを用いていない。

ShahらはData MULEと呼ぶ移動型収集ノードを提案している[3]。Data MULEはランダムに移動し、通信範囲内にセンサがあるとデータを収集する。環境内には幾つかのアクセスポイントがあり、通信範囲内にアクセスポイントがあると、収集したデータを送信し、データの転送を完了する。データ転送の成功率や消費電力が評価されているが、Data MULEの移動経路選択について議論されていなかった[4]。そこでSugiharaらはData MULEの経路選択問題を明確に定義している[5,6]。これら研究では、Data MULEの経路選択や通信プロトコルを制御できると想定しており、出来る限り短い時間で全てのセンサからデータを収集するためのData MULEの制御方法について議論している。また、MobiRoute[7]では、アンカーポイントと呼ばれる地点を巡回してデータ収集する手法が提案されている。MobiRouteでは、巡回や停止といった制御が可能な巡回収集ノードを想定しており、巡回収集ノードを用いることでセンサの消費電力削減につながる事が示されている。

しかし、これらのいずれの研究においても各センサからのデータ収集量が考慮されていない。本論文では、巡回収集ノードがデータ収集量を考慮してデータ収集する点が異なる。

## 3. 想定環境

### 3.1 移動型収集ノード

移動型収集ノードには、移動を自由に制御できる種類と制御できない種類のものが考えられる。例えば、人が歩きながら自転車に乗ってデータ収集する場合、自由に速度を下げたり止まったりできるが、タクシーやバスの場合、信号や客の指定場所、バス停で止まることはできるが自由に止まるといった制御ができない。移動を自由に制御できる場合、止まったりすることで公平性を簡単に確保できる

ため、本研究では、タクシーやバスといった移動を自由に制御できない巡回収集ノードを対象とする。巡回収集ノードは巡回終了後、事務所等で収集したデータをセンサデータベースにアップロードする。

### 3.2 通信方法

巡回収集ノードまたはセンサからデータが送信されると、相手側は通信衝突を回避するためにランダムな時間だけ待ってから応答を返す。この応答のデータサイズは非常に小さく、送受信にかかる時間は無視できる。ランダムな待ち時間はバックオフ時間と呼ばれ、衝突回避のためによく使われる方法である。待ったにもかかわらず衝突が発生すると、バックオフ時間を更新し、再び更新されたバックオフ時間だけまって返信を行う。

巡回収集ノードは、コストの面から一つの通信モジュールしか備えておらず、同時に一つのセンサとしか通信を行えない。巡回収集ノードは移動しており、通信しているセンサが通信範囲外になると、応答が届かないことから通信範囲外になったと判断し、即座にそのセンサとの通信を終了する。

## 4. 提案方式

データ収集量を考慮した巡回収集ノードの通信方式を提案する。

### 4.1 PCDR 方式

PCDR (Polling and Communicate considering Data Ratio) 方式は、収集するデータ量を出来る限り少なくせずに、各センサが保持するデータ量に対して収集するデータ量の公平性を確保することを目的とした通信方式である。

巡回収集ノードを用いたデータ収集では、巡回収集ノードはどのタイミングでどのセンサと通信できるかあらかじめ把握できない。そこでPCDR方式では、巡回収集ノードが周辺のセンサを探索し、発見したセンサの一つと通信する。公平性を確保するために、各センサから収集するデータ量を計算して最大でこのデータ量を収集すると、通信を終了する。センサが保持するデータ量に対するデータ収集量の割合をデータ収集率と呼ぶ。例えば、センサ  $i$  が保持するデータ量を  $D_i$ 、センサ  $i$  からのデータ収集量を  $C_i$  とすると、データ収集率は  $C_i/D_i$  になる。巡回収集ノードが各センサから収集する最大のデータ収集率を限界データ収集率  $CDRL$  (Communication Data Ratio Limit) と呼ぶ。限界データ収集率はすべてのセンサに対して同じ値である。

#### 4.1.1 巡回収集ノードのアルゴリズム

PCDR方式における巡回収集ノードのアルゴリズムを以下に示す。以下の3つのステップで通信を行う。

- 探索

巡回収集ノードがビーコンを送信して周辺のセンサを探索する。ビーコンは探索のための非常にデータサイズの小さいデータである。あるセンサがビーコンに応答すると、巡回収集ノードはそのセンサと通信を試みる。

- 通信開始

ビーコンに応答したセンサが通信範囲内になく通信が失敗すると、巡回収集ノードは、探索開始時刻  $p$  から探索周期  $P$  まで待ってから再び探索を開始する。すなわち、現在時刻が  $p+P$  以下であれば他のセンサの応答を待つ。センサの応答を受信すると、巡回収集ノードはその

センサと通信を試みる。通信を開始できると、そのセンサからデータを収集する。

● 通信終了

センサ*i*が持つすべてのデータを巡回収集ノードが収集するか、センサが通信範囲から外れる、または次の式が満たされると、そのセンサとの通信を終え、次の探索周期まで他のセンサの応答を待つ。センサ*i*のデータ収集率を $R_i$ とする。

$$R_i > CDRL \quad (1)$$

通信終了時点ですでに探索周期を越えていると、通信終了後すぐに探索を開始する。

4.2.2 センサのアルゴリズム

まず、センサはビーコンの到着を待つ。センサがビーコンを受信すると、バックオフ発生器  $B$  を初期化する。バックオフ発生器とは、衝突回避のためのバックオフ時間  $b$  を計算するための値であり、初めは  $B_{initial}$  で与えられる。 $B$  を用いて  $b$  は  $B \times r$  ( $0 < r < 1$ ) で与えられる。バックオフ時間にはランダムな要素があり、センサ毎に異なるため、衝突回避が可能になる。しかし、それでも衝突が発生すると、バックオフ発生器を更新し、バックオフ時間だけ待ってから返信を行う。バックオフ発生器は  $B_{update} = 2.0 \times B$  の計算式にて更新する。 $B_{update}$  は更新された  $B$  あり、 $B$  は更新前の値である。衝突が発生しなければ、センサは巡回収集ノードに返信する。巡回収集ノードとの通信開始時には、ビーコンの応答と同様にバックオフを用いる。

4.2 PCFC 方式

PCFC (Polling and Communicate with Fairness Control) 方式は、収集するデータ量を出来る限り少なくせずに、通信時間の公平性を確保することを目的とした通信方式である。

公平性を確保するために、各センサとの通信時間に上限を設ける。この上限を限界通信時間  $CTL$  (Communication Time Limit) で示す。限界通信時間はすべてのセンサに対して同じ値とする。巡回収集ノードが通信しているセンサとの通信時間が限界通信時間に達すると、そのセンサとの通信を終了する。PCFC 方式では、限界通信時間を調整することで、通信時間の公平性とデータ収集量を制御できる。センサのアルゴリズムは PCDR 方式と同じであるため、以下に巡回収集ノードのアルゴリズムを以下に示す。

探索、通信開始のステップは PCDR 方式と同じであるが、通信終了のステップで、式 (1) とは別に次式を満たすとセンサとの通信を終了する。巡回収集ノードとセンサとの通信時間を  $L_i$  とする。

$$L_i > CLT \quad (2)$$

データ収集率ではなく、通信時間に上限を与える点が PCDR 方式と異なる。

5. 評価

提案方式を計算機シミュレーションで評価した。

5.1 評価環境

5.1.1 巡回収集ノード

巡回収集ノードは、センサがある領域を巡回し、初めての地点に戻る。巡回の経路として様々な経路が考えられるが、すべての経路を網羅する評価を行うことは経路が無数にあり困難なため、本評価では、図 1 のように四角形を描くように巡回するものとする。経路上には信号や前方を横切る物体があり、巡回収集ノードは同じ速度で動き続けられ

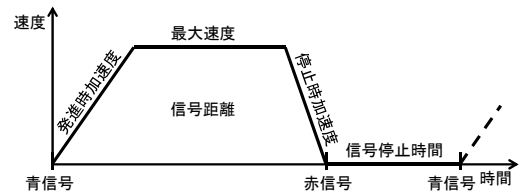


図 2 巡回収集ノードの速度変化

Fig.2 Change of Velocity for Rounding Sink

表 1 シミュレーションに用いたパラメタ

Tab.1 Parameters for Simulation

パラメタ	値
最大速度*	11.1m/sec.
発進時加速度	1.11m/sec. <sup>2</sup>
停止時加速度	2.22m/sec. <sup>2</sup>
探索周期, $P$	0.1sec.
最大サンプリングレート	96bps
通信帯域	256Kbps
通信半径	10m
初期バックオフ発生器	620usec.
経路の 1 辺	3km
信号の間隔	500m
赤信号の時間	60sec.

るとは限らない。例えば、巡回収集ノードとしてタクシーやバスを用いる場合、信号で停止することが考えられる。本評価では、信号で停止することを考え、信号がある度に巡回収集ノードに図 2 に示す速度変化を与える。

センサデータベースへのデータのアップロードは巡回後に行うため時間的な制約は特にない。さらに、一巡する間に各センサが蓄積するデータ量は等しいため、二巡目においても同じ評価結果が得られる。このため、評価では巡回収集ノードが巡回を開始してから一巡するまでのみをシミュレートする。

5.1.2 センサ

センサは巡回収集ノードと通信できる範囲内にランダムに配置されている。各センサは一定のサンプリングレートでデータをバッファに蓄えており、巡回収集ノードが一巡する間にセンシングしたデータすべてをバッファに蓄えられるようにサンプリングレートを設定している。評価では、最大のサンプリングレートを与え、最大サンプリングレート以下のサンプリングレートを各センサにランダムに与える。

5.1.3 パラメタ

各方式のパラメタとして、限界データ収集率  $CDRL$  や、限界通信時間  $CTL$ 、探索周期  $P$  がある。

評価に関して、特に明記しない限り表 1 に示すパラメタをシミュレーションで用いる。

5.1.4 公平性の定義

本論文では、公平性 *Fairness* を以下で定義する。

$$Fairness = 1 - Gini \quad (3)$$

*Gini* はジニ係数で、ジニ係数は公平性を示すための指標としてよく用いられており、本研究でも利用する [10]。 *Gini* はローレンツ曲線を用いて計算できる。ローレンツ曲線の  $x$  軸を  $x$ 、 $y$  軸を  $y$  とすると、収集されたデータ量が多い順

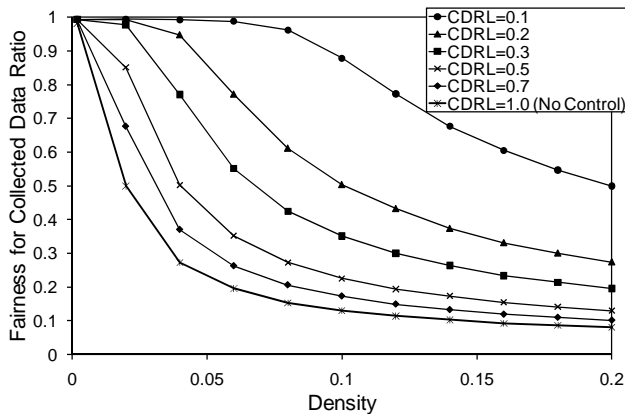


図3 PCDR方式のデータ収集率の公平性

Fig.3 Fairness for Collected Data Ratio of the PCDR Method

に  $xN$  個のセンサのデータ収集率の合計が  $yA$  となる。ここで、 $N$  はセンサの数、 $A$  は全てのセンサのデータ収集率の合計である。特に  $y=x$  の直線は均等分布線と呼ばれ、この線よりローレンツ曲線は下側になり、離れているほど不公平であることを示す。Fairness は 0 以上 1 以下の数である。Fairness が大きいほど公平であることを示し、小さいほど不公平であることを示す。ローレンツ曲線が均等分布線と等しく、データ収集率が全て等しい場合には  $Fairness=1.0$  となる。また、ローレンツ曲線が  $x$  軸と等しく、一つのセンサが収集されたデータ率がデータ収集率の合計と等しく、他のセンサと通信が行われていない場合には、 $Fairness=0.0$  となる。

5.2 密度

センサの密度が大きくなると、通信範囲が重なるセンサの数が多くなるため、公平性に影響がでる。そこで、公平性とデータ収集量がどの程度になるか密度を変化させて評価を行った。PCDR方式におけるデータ収集率の公平性を図3、データ収集量を図4に示す。CDRLは限界データ収集率を示す。CDRLが1.0の場合は、提案手法を用いずに、探索できたセンサからすべてのデータを収集するか通信範囲外になるまで通信する、制御を行わない単純な手法に相当する。

図3より、PCDR方式では、CDRLを調整することで公平性を与えられていることが分かる。また、密度が大きくなるにつれてデータ収集率の公平性が少なくなっていることがわかる。これは、多くのセンサがある場合にはセンサの通信範囲が重なり、必ずしもデータ収集率が限界データ収集率になるまで通信できるとは限らないためである。各センサとの通信にかけられる時間が短くなるほど限界データ収集率になるまで収集できない確率が高くなるため、密度が大きいほど公平性が減少する。密度が比較的小さく、巡回収集ノードがセンサからデータを収集していない時間がある状況では、上記の理由で密度が大きくなるほど公平性が減少していくため上に凸のグラフになるが、密度が比較的大きく、巡回収集ノードが常にセンサからデータを収集している状況になると、密度が増えてもデータを収集されないセンサが増えるだけであるため下に凸となり、公平性が0に近づく。

一方、図4より密度が大きくなるにつれて全データ収集量が多くなることが分かる。これは、多くのセンサがある

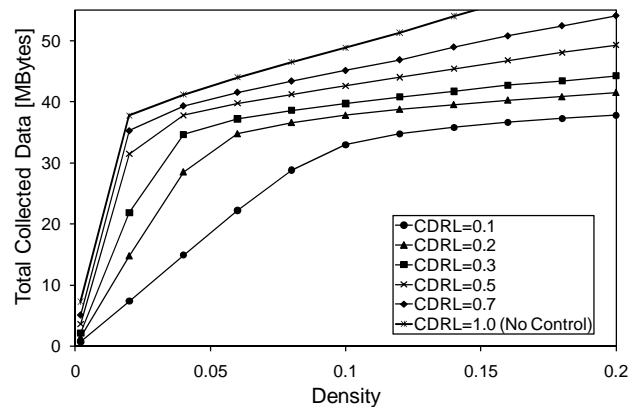


図4 PCDR方式のデータ収集量

Fig.4 Total Collected Data of the PCDR Method

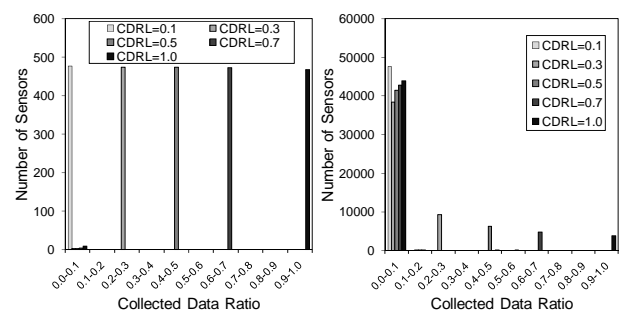


図5 PCDR方式のヒストグラム (左:密度=0.002, 右:密度=0.2)

Fig.5 Histograms of the PCDR Method (Left: Density=0.002, Right: Density=0.2)

ほど巡回収集ノードがセンサからデータを収集していない時間が少なくなるためである。巡回収集ノードに停止する状態があるため、密度が十分大きくなってでも全データ収集量が緩やかに増えている。

公平性の理解を深めるために、PCDR方式におけるデータ収集率のヒストグラムを図5に示す。左側は密度が疎な場合の代表として密度が0.002の場合の結果であり、右側は密な場合の代表として密度が0.2の結果である。密度が疎な場合には、ほぼ一つの区間(例えば、CDRL=0.5の場合、0.4-0.5の区間)にセンサが多数あり、公平性が大きいことが分かる。一方、密度が密な場合には、0.0-0.1の区間にセンサが多く、公平性が小さくなっていることが分かる。0.0-0.1の区間のセンサのほとんどは巡回収集ノードと全く通信していないセンサであり、密度が大きすぎて巡回収集ノードがデータ収集できなかったことが分かる。また、ローレンツ曲線を図6に示す。横軸はセンサの割合であり、縦軸はデータ収集率の割合である。Perfect Fairnessは均等分布線を示す。密度が疎な場合には、いずれのCDRLにおいてもほぼPerfect Fairnessと等しいローレンツ曲線を描いており、Fairnessが1.0に近いことが分かる。密度が密な場合には、CDRLが大きくなるほどPerfect Fairnessから離れ、Fairnessが小さくなることが分かる。

5.3 PCFC方式との比較

通信時間を公平にする PCFC方式における通信時間の公平性を図7、データ収集量を図8に示す。No Controlと

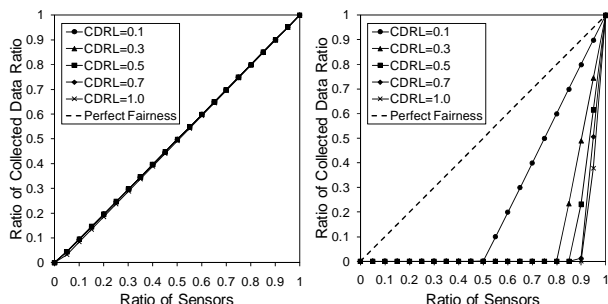


図6 PCDR方式のローレンツ曲線  
(左:密度=0.002, 右:密度=0.2)

Fig.6 Lorenz Curves of the PCDR Method  
(Left: Density=0.002, Right: Density=0.2)

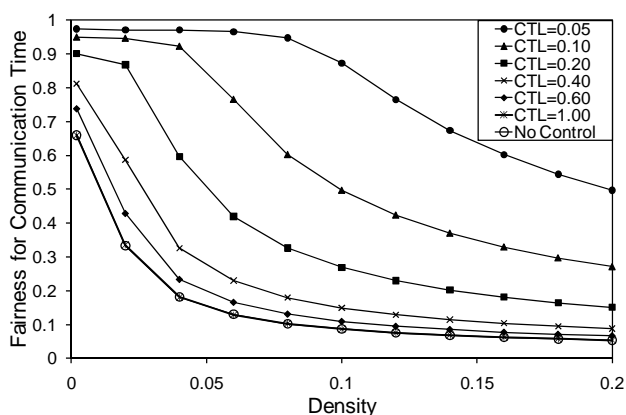


図7 PCFC方式の通信時間の公平性

Fig.7 Fairness for Communication Time of the PFC Method

は PCFC 方式を用いない場合の性能で, PCDR 方式の *CDRL* が 1.0 の場合に相当する. これらのグラフより, 密度が大きくなるにつれて通信時間の公平性が少なくなり, データ収集量が多くなっていることがわかる. これも, PCDR 方式と同じく, 密度が大きくなるほどセンサの通信範囲の重なりが多くなるためである.

PCDR 方式と PCFC 方式を比較した結果を図 9 に示す. 横軸は PCDR 方式のパラメタ *CDRL* である. PCFC 方式のパラメタ *CTL* は, 各 *CDRL* の値における PCDR 方式とデータ収集率の公平性が等しくなるように設定した. 縦軸はデータ収集量を示している. PCFC 方式が途切れているのは, 本来データ収集率を考慮していないため, パラメタを調整しても PCDR 方式以上の公平性を与えられない場合があるためである. このグラフより, PCDR 方式が, 同じデータ収集率の公平性のもとで PCFC 方式よりも多い全データ収集量を実現していることがわかる. 例えば, 100 m<sup>2</sup> に 20 個のセンサがある (密度=0.02) 場合, 各センサから 6 割のデータを収集するとする (*CDRL*=0.6) と, PCDR 方式では, 公平性は 0.64 になり, 36M バイトのデータを収集できセンサデータベースに追加できる. PCFC 方式で 0.64 の公平性を実現する場合には 33M バイト程度であり, PCDR 方式よりも少ない. このため, データ収集率の公平性を確保する場合には PCDR 方式の方が適しているといえる.

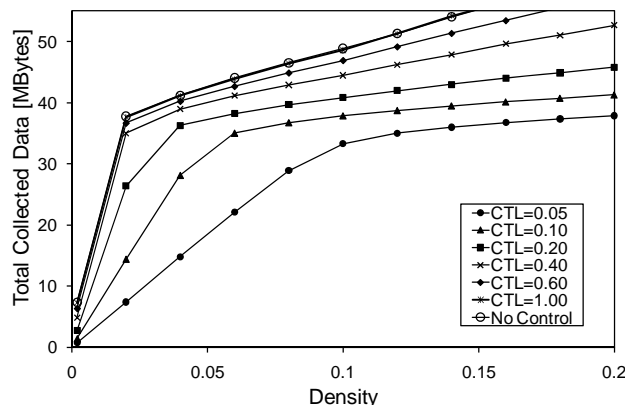


図8 PCFC方式のデータ収集量

Fig.8 Total Collected Data of the PCFC Method

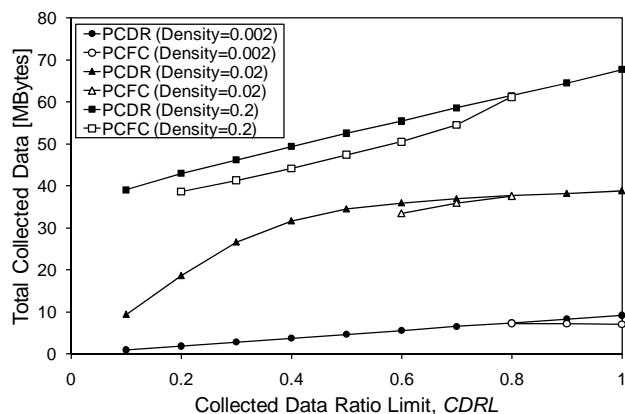


図9 PCDR方式とPCFC方式の比較  
Fig.9 Comparison with the PCDR Method and the PCFC Method

### 5.4 探索周期の影響

探索周期を長くすると, 巡回収集ノードがセンサとの通信範囲外になる可能性が高くなるため, データ収集量が短くなる可能性がある. そこで, 探索周期について評価を行った. PCDR 方式と PCFC 方式で同様の傾向が見られたため, PCDR 方式のみの結果を図 10 および図 11 に示す. 横軸は対数軸である. 密度は 0.2 とした. これらのグラフより, 探索周期が長くなると公平性, データ収集量ともに短くなっていることが分かる. 特に, 探索周期が数秒以上になると急激に短くなっている. これは, 巡回収集ノードがセンサの通信範囲の直径を移動するのにかかる時間よりも探索周期が長くなると, ビーコンへの応答を受信できなくなる可能性が高くなるためである. 巡回収集ノードが最大速度で常に移動しているとすると, この時間は  $20/11.1=1.8$  秒となり, 探索周期を 1.8 秒より短くすることが望ましい.

### 6. おわりに

本論文では, 巡回収集ノードによるセンサデータベース構築のためのデータ収集量を考慮した通信方式を提案した. PCDR 方式は各センサが保持するデータ量に対して収集するデータ量を公平にすることを目的とした方式であり, 巡回収集ノードは限界データ収集率までデータ収集す

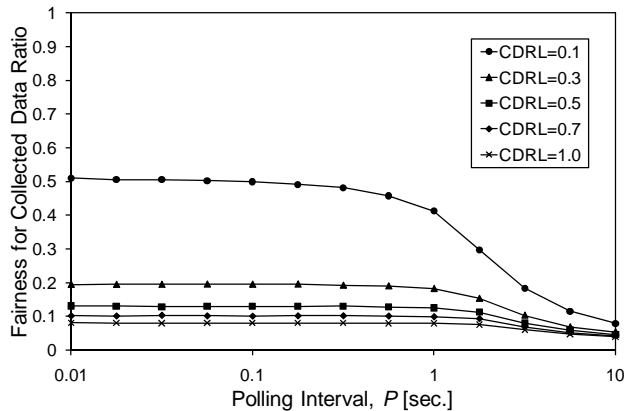


図 10 探索周期とデータ収集率の公平性

Fig.10 Polling Interval and Fairness for Collected Data Ratio

る。PCFC 方式は通信時間を公平にすることを目的とした方式であり、通信時間の上限である限界通信時間を変えることで通信時間の公平性とデータ収集量を調整できる。評価の結果、それぞれの手法が各公平性を確保できていることを確認した。また、データ収集率の公平性を確保する場合には PCDR 方式の方が適していることを確認した。今後、巡回収集ノードが自由に移動できる場合や、複数の移動型収集ノードを用いる場合に公平性を確保する方式を考案する。

**[謝辞]**

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(S) (課題番号:21220002)および、若手研究(B) (課題番号:21700108)によるものである。

**[文献]**

[1] Jea, D., Somasundara, A. A. and Srivastava, M. B.:“Multiple controlled mobile elements (data mules) for data collection in sensor networks”, Proceedings of IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), pp. 244-257 (2005).

[2] Kansal, A., Somasundara, A. A., Jea, D. D., Srivastava, M. B. and Estrin, D.:“Intelligent fluid infrastructure for embedded networks”, Proceedings of ACM International Conference on Mobile Systems, Applications And Services (MobiSys), pp. 111-124 (2004).

[3] Shah, R. C., Roy, S., Jain, S. and Brunette, W.:“Data MULEs: Modeling a Three-tier Architecture for Sparse Sensor Networks”, Proceedings of International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications, pp. 30-41 (2003).

[4] Jain, S., Shah, R. C., Brunette, W., Borriello, G. and Roy, S.:“Exploiting mobility for energy efficient data collection in wireless sensor networks”, Mobile Networks and Applications, Vol. 11, Issue 3, pp. 327-339 (2006).

[5] Sugihara, R. and Gupta, R. K.:“Scheduling under Location and Time Constraints for Data Collection in Sensor Networks”, Proceedings of IEEE Real-Time

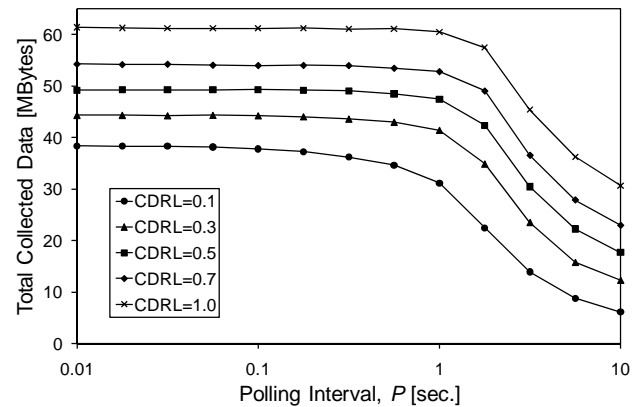


図 11 探索周期とデータ収集量

Fig.11 Polling Interval and Total Collected Data

Systems Symposium (RTSS) (2007).

[6] Sugihara, R. and Gupta, R. K.:“Improving the Data Delivery Latency in Sensor Networks with Controlled Mobility”, Proceedings of IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), pp. 386-399 (2008).

[7] Luo, J., Panchard, J., Piorkowski, M., Grossglauser, M. and Hubaux, J.-P.:“MobiRoute: Routing towards a Mobile Sink for Improving Lifetime in Sensor Networks”, Proceedings of IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS) (2006).

[8] Madden, S., Franklin, M. J., Hellerstein, J. M. and Hong, W.:“Tag: A tiny aggregation service for ad-hoc sensor networks”, Proceedings of International Symposium on Operating System Design and Implementation (OSDI) (2002).

[9] Yao, Y. and Gehrke, J.:“The cougar approach to network query processing in sensor networks”, ACM SIGMOD Record, 31(3), pp. 9-18 (2002).

[10] Ntarmos, N., Triantafillou, P. and Weikum, G.:“Distributed hash sketches: Scalable, efficient, and accurate cardinality estimation for distributed multisets”, ACM Transactions on Computer Systems (TOCS), Vol. 27, Issue 1, Article 2 (2009).

**義久 智樹 Tomoki YOSHIHISA**

大阪大学サイバーメディアセンター准教授。2005 大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了，博士（情報科学）。京都大学学術情報メディアセンター助教，カリフォルニア大学アーバイン校客員研究員を経て現職。センサデータベース，ビデオオンデマンドの研究に従事。日本データベース学会正会員。

**西尾 章治郎 Shojiro NISHIO**

大阪大学理事・副学長。1975 京都大学工学部卒業。1980 京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了，工学博士。1992 大阪大学工学部教授。大阪大学サイバーメディアセンター長，大学院情報科学研究科長を経て現職。データベース，マルチメディアシステムの研究に従事。本学会理事，監事を歴任。