

# WSNにおける通信形態の変化を考慮した 適応的プロトコルに関する考察

新堀 智弘<sup>†</sup> 宇谷 明秀<sup>‡</sup> 山本 尚生<sup>‡</sup>

武蔵工業大学大学院工学研究科<sup>†</sup> 武蔵工業大学知識工学部<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

近年、無線センサネットワーク (Wireless Sensor Networks; WSN) への期待が高まっている [1]. ユビキタス情報化社会が進展する中、WSN のさらなる発展を考慮した場合、通信形態 (一対一, 一対多, 多対一, 多対多) の変化に対する適応性の高いプロトコルが必要になってくると考える. 本研究では、WSN における通信形態の変化を考慮した既往のプロトコルに関する問題点を整理した上で、今後の発展に向けた一つの方策について提案する.

## 2. 通信形態の変化を考慮した通信プロトコル

### 2.1 Directed Diffusion [2]

Directed Diffusion は通信形態に応じて、pull 型と push 型の 2 種類の通信プロトコルを使い分けるという特徴がある. pull 型はセンシングデータを欲するノード (収集ノード) に比べて、センシングデータを提供できるノード (提供ノード) が多い場合、push 型はその逆の場合にそれぞれ適している.

### 2.2 ARCP [3]

ARCP (Ant-based Rendezvous Communication Protocol) はランデブ型とモバイルアドホックネットワークのための経路制御方式として提案された AntHocNet を組み合わせた通信プロトコルである. ランデブ型とは、提供ノードと収集ノードとの間にランデブポイントと呼ばれる中継ノードを生成し、それを介してセンシングデータのやり取りを完遂させる通信機構である. AntHocNet とは、アリを模した制御パケットを用いてネットワーク内の各ノードに経路フェロモンと呼ばれる経路情報を設定することで経路を構築する経路制御方式である.

ARCP のアルゴリズムを以下に示す.

#### Step1) ランデブポイントの生成

アプリケーション要求が発生すると、提供ノード及び収集ノードは、自ノードに提供 (または要求) するセンシングデータと一致する経路フェロモンが設定されているかどうか調べ、設定されていないならば経路制御アリ (reactive forward ant) を生成し送信する. この reactive forward ant には、やり取りされるセンシングデータの内容や条件、TTL (Time To Live) が設定されている. 中継ノードにおいてセンシングデータの内容に一致する経路フェロモンがある場合はそれに従いユニキャストで、ない場合はブロードキャストによってネットワーク内に伝播させ

る. 提供ノード、収集ノード双方から送信された経路制御アリが頻繁に遭遇するノードがランデブポイントとなる. 遭遇とは、あるノードにおいて一方の経路制御アリが通過してから、一定時間内に他方の経路制御アリが通過することを指す. 遭遇する度に各ノードに設置されている遭遇カウンタを増加させ、それが一定値を越えたとき、そのノードは新たにランデブポイントとなる.

#### Step2) 経路の構築

reactive forward ant がランデブポイントに達すると、ランデブポイントは backward ant を生成し、提供ノードまたは収集ノードへ向けて送信する. この backward ant は reactive forward ant が進んできた経路を逆向きに辿りながら、各ノードの経路フェロモンを更新する. 経路フェロモンは次式によって更新される.

$$T_{nd}^i = \gamma_T T_{nd}^i + (1 - \gamma_T) \tau_d^i \quad (1)$$

ここで、 $i$  は経路フェロモンを更新するノード、 $n$  は backward ant が直前に通過したノード、 $d$  は backward ant が生成されたランデブポイント、 $\gamma_T$  は平滑化パラメータである.  $\tau_d^i$  は次式によって求められる.

$$\tau_d^i = \left( \frac{\hat{T}_d^i + hT_{hop}}{2} \right)^{-1} \quad (2)$$

ここで、 $\hat{T}_d^i$  はデータが  $i$  から  $d$  に転送されるのに要する予測時間、 $h$  は  $i$  から  $d$  へのホップ数、 $T_{hop}$  は 1 ホップのパケット転送時間を表す.

backward ant は経路フェロモンとともに、中継ノードのランデブフェロモンも更新する. ランデブフェロモンとはランデブポイントの価値を表す指標であり、このランデブフェロモンは次式によって更新される.

$$U_{nd}^i = \gamma_U U_{nd}^i + (1 - \gamma_U) n_{data} \quad (3)$$

ここで、 $n_{data}$  は、backward ant がランデブポイントで生成された時点でそのランデブポイントが保持しているデータ数である. 多くのデータを持っているランデブポイントの価値は高く評価される.

backward ant によって設定された 2 つのフェロモンを用いて、ノード  $i$  における各経路制御アリまたはセンシングデータの次ノード候補に対する転送確率  $P_{nd}$  は次式によって求められる.

$$P_{nd} = \frac{(T_{nd}^i)^{\beta_r} (U_{nd}^i)^{\beta_U}}{\sum_{j \in N_d^i} (T_{jd}^i)^{\beta_r} (U_{jd}^i)^{\beta_U}} \quad (4)$$

ここで、 $N_d^i$  はノード  $i$  においてランデブポイント  $d$  へのフェロモンが設定された隣接ノードの集合であり、 $\beta_r$ ,  $\beta_U$  は経路フェロモン、ランデブフェロモンそれぞれに対する重みを表すパラメータである.

A study on adaptive communication protocol in wireless sensor networks

<sup>†</sup>Tomohiro NIIBORI, Graduate School of Engineering, Musashi Institute of Technology

<sup>‡</sup>Akihito UTANI and Hisao YAMAMOTO, Faculty of Knowledge Engineering, Musashi Institute of Technology

### Step3) センシングデータの転送

経路構築後、提供ノードは提供運搬アリ、収集ノードは収集運搬アリを生成し送信する。提供運搬アリは提供ノードのもつ全てのセンシングデータを運搬し、ランデブポイントに送り届ける。収集運搬アリはランデブポイントがもっている全てのセンシングデータを取得し、収集ノードへと戻ってくる。

### Step4) 経路の維持と改善

経路構築後も経路の維持や改善のため、提供ノード及び収集ノードは定期的に経路制御アリ (proactive forward ant) を生成し送信する。この proactive forward ant の振る舞いは、基本的に reactive forward ant の振る舞いに準ずる。しかし、proactive forward ant は中継ノードにおいて確率的にブロードキャスト送信され、経路フェロモンが設定されていない新たな経路を探索する。

### 2.3 既往の方式に対する問題点の整理

Directed Diffusion は、想定される通信形態に応じてあらかじめ2種類の通信プロトコルを選択しておく必要がある。状況によっては途中でそれらを切り替えるなどの処理も必要となるため、通信形態の変化に対する適応性は十分とは言えない。ARCP は、Directed Diffusion に比べれば通信形態の変化に対する適応性が高いが、いくつか問題点がある。その一つがランデブポイントの生成に関する問題点である。TTL の設定によっては reactive forward ant がネットワーク中を行き交うことになり、ネットワーク内のほぼ全てのノードがランデブポイントとなる可能性がある。それにより、提供運搬アリが収集ノード付近のランデブポイントまでセンシングデータを転送することになり、収集ノード付近のノードに負荷が集中し、これらのノードのネットワークからの離脱を早めてしまう危険性がある。ランデブポイントの生成に関しては改善が必要であると考えられる。

### 3. ランデブポイントの生成に関する改良法の提案

ARCP は、ランデブポイントの生成状況によって性能が左右される。ネットワークの規模、提供ノード及び収集ノードの位置や個数によって、適切な TTL を設定することができれば、高い性能を期待することができる。しかし、通信形態やその状況変化に応じて適応的に TTL を設定することは困難である。ネットワーク規模、提供ノード及び収集ノードの位置や個数に応じて、適切な位置のノード群のみをランデブポイントとする方策が望まれる。本研究では、提供ノード及び収集ノードからのホップカウントによって、ランデブポイントとなるノードを決定する方策を提案する。アプリケーション要求が発生した際、提供ノード及び収集ノードはそれぞれホップカウントメッセージをフラッディングする。この方策では提供ノードからのホップカウントと収集ノードからのホップカウントが等しいノード、及びその近傍のノードがランデブポイントとなる。

### 4. シミュレーション実験

ARCP と上記のランデブポイントの生成に関する改良法の比較実験を行った。シミュレーションの設定値を表1に示す。実験領域内のセンサノード群の配置はランダムとした。また、提供ノードと収集ノードはそれぞれ実験領域の角に配置し、複数の場合はそれぞれ近傍ノードとクラスタを構成するものとした。ARCP におけるパラ

メータ等の設定に関しては、文献[3]中で用いられている値を採用した。なお、シミュレーションに際し、各センサノードの総電力容量は、0.5[J]とした。ただし、提供ノード及び収集ノードの離脱は考慮しないものとした。

表1 シミュレーションの設定値

Simulation size	50m × 50m
The number of sensor nodes	60
The number of source nodes	2
The number of sink nodes	2
Range of radio wave	12m
Data transmission interval	2s

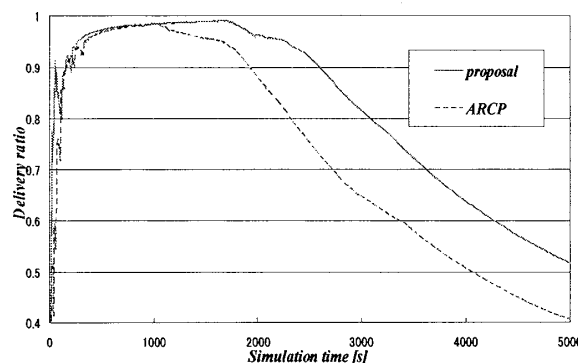


図1 配送率の推移

図1は、5000秒のシミュレーションに対するセンシングデータの配送率の推移を示したグラフである。結果から、ランデブポイントの生成に改良を施した方式の方がARCP に比べ長期間高い配送率を維持していることがわかる。これは、提供ノードと収集ノードの中間付近のノード群だけがランデブポイントになることで、収集ノード付近のノードの負荷を抑えることができたためである。収集ノード付近のノードの寿命延長により、WSNの有効運用期間が改善されている。

### 5. おわりに

本研究では、無線センサネットワークにおける通信形態(一対一、一対多、多対一、多対多)の変化を考慮した既往の通信プロトコルの問題点を整理した後、今後の発展のための一つの方策を示した。また、シミュレーション実験を通してその効果を検証した。

### 参考文献

- [1]I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci :Wireless Sensor Networks: A Survey, Computer Networks Journal, vol.38, no.4, pp.393-422, 2002.
- [2]C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva : Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking, ACM / IEEE Trans. on Networking, vol.11, pp.2-16, 2003.
- [3]若林, 多田, 若宮, 村田, 今瀬 : 生物に着想を得たセンサネットワークのための適応的な通信機構の提案と評価, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.107, no.294, pp.89-94, 2007.