

## 無線センサーネットワークにおける データ集約方式の省電力化効果と遅延について

河合 佑介<sup>†</sup> 李 烏雲格日樂<sup>†</sup> 木谷 友哉<sup>†</sup> 萬代 雅希<sup>‡</sup> 渡辺 尚<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 静岡大学情報学部    <sup>‡</sup> 上智大学理工学部

### 1 はじめに

無線センサーネットワーク [1] とは、無線通信技術を内蔵した複数のセンサーノードが観測した情報をシンクで収集するネットワークである。省電力化が重要な課題であり、この方法としてデータ集約 [2][3][4] が提案されている。データ集約により伝送する総パケット数を削減することができる。しかし、中継ノードでは集約対象の複数のパケットを待つ必要があるため、遅延が増加する問題点がある。

本研究では、中継ノードでパケットを待つ時間に上限を設定し、これを超えた場合は集約せずに送信する方式を提案する。評価により、省電力効果と遅延時間の改善を示す。

### 2 提案方式

#### 2.1 データ集約の検討

本研究では、中継ノードでのデータ集約を利用する。これには図 1 の 2 種類が考えられる。図 1(a) は、2 つのパケットを連結することでヘッダ 1 つ分が削減され、省電力化がなされる。また、パケットの確認応答に関係するオーバーヘッドが減り、スループットが向上する。802.11n でも同様の概念が採用されている。図 1(b) は、2 つのパケットに含まれるデータから平均値などで、1 つのデータにすること方式である。集約前とパケット長は同一のため、集約率が (a) より優れる。本研究では、省電力化を重視するため、集約率が高い (b) 複合方式を用いる。



図 1: データ集約

#### 2.2 待ち時間の上限

データ集約方式は、集約する複数のパケットが必要である。ノードでパケットが発生した場合、データ集約

するために集約対象のパケットを待つ必要がある。待ち時間が長いとシンクにパケットが届く時間（遅延）が長くなる。そこで、本提案では待ち時間に上限をつける。この待ち時間を  $w$  と定義し、待ち時間が大きいほど集約効果が大きく省電力化がなされる。一方、待ち時間が小さいと集約できずに単純に送信されるパケットが多くなり、遅延が短縮される。

### 3 基礎評価

提案方式の遅延時間と省電力化について、シミュレーションで評価する。図 2 の直線トポロジのマルチホップ伝送を対象とし、パラメータは表 1 の通りである。

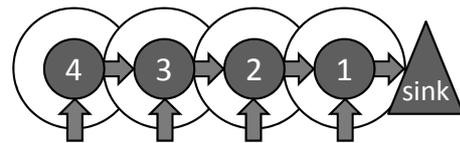


図 2: 直線トポロジ

表 1: シミュレーションパラメータ

ノード数	4
シミュレーション時間	1000 s
ノード間の伝達遅延	0.01 s

ノード 4 での発生パケットがシンクに到達するまでの遅延について、理論解析とシミュレーションを比較したものを図 3 に示す。

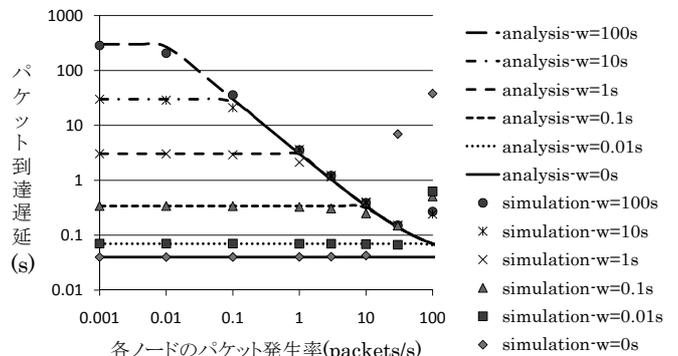


図 3: 遅延時間

まず、理論解析について説明する。 $N$  = ノード数,  $d$  = 各ノード間の伝達遅延,  $r$  = パケット発生間隔 (パケット発生率の逆数) とすると、式 (1) に近似する。

Delay and power-saving effect of data aggregation scheme in wireless sensor networks  
<sup>†</sup>Yusuke Kawai <sup>†</sup>Wuyungerile Li <sup>†</sup>Tomoya Kitani <sup>‡</sup>Masaki Bandai <sup>†</sup>Takeshi Watanabe  
 Faculty of Informatics, Shizuoka University (<sup>†</sup>)  
 Faculty of Science and Technology, Sophia University (<sup>‡</sup>)

$$\text{遅延} = \begin{cases} N * d + (N - 1) * w, & r \ll w \\ N * d + (N - 1) * r, & r \gg w \end{cases} \quad (1)$$

$r \ll w$  の場合、殆ど集約されずに各中継ノードで  $w$  待機し送信されるため、遅延は [伝送遅延]+[データ集約待ち時間]= $N * d + (N - 1) * w$  となる。これに対し、 $r \gg w$  の場合、殆ど集約されて送信されるため、遅延は [伝送遅延]+[データ集約が行われる各中継ノードでのパケット発生待ち時間]= $N * d + (N - 1) * r$  となる。

図3の理論解析とシミュレーションを比較すると、パケット発生率が低いときはほぼ一致しているが、パケット発生率が高まると理論解析は遅延が単調減少しており、シミュレーション結果と一致していない。この理由は、シミュレーションではパケットの処理待ちを考慮しているが、理論解析では考慮していないためである。

よって、シミュレーションでの遅延増加を詳細に検討する。ノードの伝達遅延が 0.01 s であるため、最大で 100 packets/s 処理可能で、これを越えた場合にパケットの処理待ちが起こる。これにより生じる遅延は、シミュレーション時間が長いほど増大する。この問題を解決するためには、データ集約を行ってパケット集約率を高めればよい。

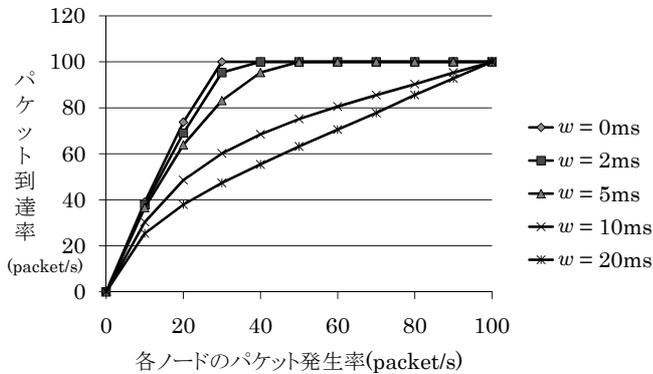


図 4: パケット到着率

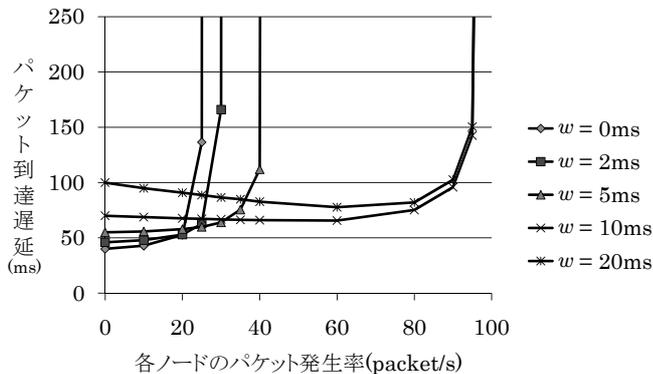


図 5: パケット到着遅延

次に、シミュレーションにて遅延が発散するパケット発生率を調べる。シンクへのパケット到着率 (単位時間あたりのパケット到着数) とノード 4 の発生パケットがシンク到達するまでの遅延を計測した。図 4 にパケット到着率、図 5 に遅延を示す。

図 4 では、 $w$  が大きいほどパケット到着率が低減されることがわかる。これは、待ち時間  $w$  が大きいほど集約される機会が多いため、伝送するパケット数が削減され、省電力化がなされる。図 5 では、 $w$  が大きい方がパケット発生率が低いときの遅延は大きい。遅延が大幅に増大するパケット発生率が高まる。この原因は、届かないパケットが生じるためである。また、ノード数が 3, 5 の場合も同様の傾向が確認された。

図 4, 5 から、アプリケーションによって適切な  $w$  を設定することで、遅延を抑えつつ省電力化が可能になることが示された。例えば、発生率が 30 packets/s のときに着目すると、 $w=5$  ms で遅延は 65 ms 以内で、到着率は  $w=0$  ms と比較して 83% に削減される。

#### 4 むすび

本研究では、直線トポロジを対象とし、パケット発生率に応じて適切な待ち時間を設定することで、遅延の改善とパケット数削減による省電力効果を示した。今後はデータ集約によるパケット長の変化、パケット衝突を考慮し、より一般的なトポロジで評価する。

#### 参考文献

- [1] C. Shen, C. Srisathapornphat, and C. Jaikaeo, " Sensor Information Networking Architecture and Applications, " IEEE Pers. Commun, Aug. 2001, pp. 52-59.
- [2] I. Solis and K. Obraczka, " In-Network Aggregation Trade-offs for Data Collection in Wireless Sensor Networks," University of California Santa Cruz Technical Report, 2004.
- [3] R. Rajagopalan, P. Varshney, " Data-Aggregation Techniques in Sensor Networks: A Survey, " IEEE Comm. Surveys and Tutorials, pp. 48-63, 2006.
- [4] XiaoHua Xu, etc, " Efficient Data Aggregation in Multi-hop WSNs, " IEEE " GLOBECOM " 2009.