

## 実験的アプローチによるシングルホップ通信とマルチホップ通信の消費電力の比較

Experimental Comparison of Power Consumption between Single-hop and Multi-hop Communication

松井壮介 石田繁巳 鈴木誠 猿渡俊介 森川博之  
 Sosuke MATSUI Shigemi ISHIDA Makoto SUZUKI Shunsuke SARUWATARI Hiroyuki MORIKAWA

東京大学

## 1 はじめに

無線センサネットワークは、長い距離をシングルホップで通信するよりも、多くのノードを経由してマルチホップ通信を行うことにより低消費電力化が可能であると考えられている [1]。しかしながら、物理層からアプリケーション層までを含めて考慮した場合、この前提が当てはまらない状況が存在すると考えられる。これに向けて筆者らは実験的手法による消費電力の評価を行っている。本稿では、両者の物理層における消費電力の比較評価を示す。

## 2 無線センサネットワーク

無線センサネットワークでは、あるノードから目的のノードまで直接パケットを送信するシングルホップ通信よりも、多くのノードを経由して送信するマルチホップ通信のほうが消費電力が小さいと一般に考えられている。これは、電波が距離の2~4乗(環境に依存する)に反比例して減衰するため、送信パワーをそれに応じて大きくする必要があるからである [1]。

しかしながら、[1]は送信電力よりも多くの電力を消費する受信待機電力および受信電力について考慮していない。また、マルチホップ通信を行うことによってトポロジが複雑化することから、ルーティングに必要な電力が増大することも考えられる。このような観点から、送信電力だけでなく、受信電力、受信待機電力を含めて、物理層、MAC層、ネットワーク層からアプリケーション層まで統括的に考慮した場合、シングルホップ通信によって低消費電力な通信を実現できると考えている。以下では、これに向けた初期的な評価として、シングルホップ通信とマルチホップ通信の物理層における送受信の消費電力比較を示す。

## 3 実験

## 3.1 測定環境

PAVENET モジュール [2] を用いて消費電力の測定を行った。PAVENET モジュールは、無線モジュールに Chipcon 社の CC1000 を用いており、通信周波数は 315MHz 帯の微弱無線、通信速度は 38400bps、16byte の固定長のフレームを送信可能である。CC1000 は MICA2 や Smart-Its でも用いられており、無線センサネットワークの分野では広く利用されている。

## 3.2 CC1000 の特性評価

比較評価のために CC1000 の消費電力、電波の到達可能距離、1つのフレームの送受信に必要な時間、スリープ状態から受信状態への切り替えに必要な時間を測定した。

受信時の消費電力は 45.24mW であり、ノード間の距離などによらず一定であった。送信電力に応じた送信時の消費電力の変化を測定した結果を図 1 に示す。図 1 から無線通信モジュールは送信電力以上の電力を消費することが分かる。これは、無線通信には PLL や増幅器などの周辺回路の駆動が必要なためである。

送信電力が -20dBm の時、電波の到達可能距離を測定したところ、7.5m まで通信可能であった。なお、電波法の制約から、-20dBm 以上の送信電力の場合は計算によって求めることとした。送信電力  $E$  と到達可能距離  $d$  の関係式  $E = \alpha d^\gamma$  に代入することより、 $\alpha = 2.96 \times 10^{-6}$  ( $\gamma = 3$  の時) が分かる。このパラメータと図 1 から通信距離に応じた消費電力を求めることが可能である。

1つのフレームの送信に必要な時間は 3.33ms であり、スリープ状態から受信状態への切り替えに必要な時間は 1.14ms であった。また、ス

リープ状態から受信状態への切り替え時には受信状態と同程度の電力が必要であった。

## 3.3 シングルホップとマルチホップの比較

3.2の結果を踏まえ、シングルホップ通信を行った場合とマルチホップ通信を行った場合について物理層における消費電力の比較を行った。無線通信のトラフィックパターンとして、(a)1つのノードのみがデータを生成しシンクノードまで配送する場合と (b)全ノードがデータを生成し最大値を取得する場合の2通りを考えた。

(a)1つのノードのみがデータを生成しシンクノードまで配送する場合

シングルホップ通信では1つのセンサノードがデータをシンクノードへと直接送信する。 $n$ ホップのマルチホップ通信では1つの末端のセンサノードがデータを送信して  $(n-1)$ 個の中継ノードが受信と送信を行いデータを配送する。3.2のパラメータを用いて、シングルホップ通信とマルチホップ通信のネットワーク全体の総消費電力の比較を行った。図2に比較の結果を示す。図2より、ホップ数の増加に応じて、シングルホップ通信の方が低消費電力に通信できる距離が増加していることが分かる。例えば、 $n=2$ の時は約280mまで、 $n=5$ の時は約450mまでシングルホップ通信の方が低消費電力である。

(b)全ノードがデータを生成し最大値を取得する場合

シングルホップ通信においては、それぞれのセンサノードが独立してシンクノードにデータを送信したうえでシンクノードにおいて最大値を計算する。また、マルチホップ通信においてはセンサノードでデータを配送する際に中継ノードで最大値を計算しながら配送する。すなわちシングルホップでは  $n$ 個のノードが1回づつ送信を行い、マルチホップは (a)の場合と同様に送受信を行う。ノード  $n$ 個のシングルホップ通信と  $n$ ホップのマルチホップ通信の到達距離に対する総消費電力の比較を行った。図3に  $n=2$ の場合の比較結果を示す。この結果から、2ホップのマルチホップ通信と比べてシングルホップ通信のほうが約120mまで低消費電力になることがわかる。また、 $n$ の増加にしたがって、シングルホップ通信のほうが低消費電力となる距離が伸びるといった結果が得られた。

## 4 まとめ

本稿ではシングルホップ通信とマルチホップ通信の物理層における消費電力の比較を示した。2つのトラフィックパターンを想定して比較を行ったところ、少なくとも120mまではシングルホップ通信のほうがマルチホップ通信よりも低消費電力であった。今回行った比較では物理層での消費電力しか考慮していない。しかしながら、マルチホップによって通信する場合は、MAC層やネットワーク層の処理が複雑になるため、全てのレイヤを考慮した場合においてもシングルホップ通信によって低消費電力化が可能であると考えている。

## 参考文献

- [1] J. M. Rabaey, M. J. Ammer, J. L. da Silva, D. Patel and S. Roundy: "Picoradio supports ad hoc ultra-low power wireless networking", Computer Magazine, 33, 7, pp. 42-48 (2000).
- [2] 猿渡, 森川, 青山: "シングル CPU で実現される無線センサノードの実装", 信学総大 (2006).

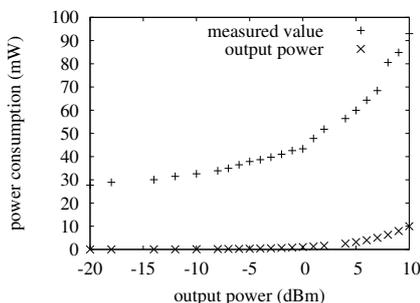


図1 出力電力と消費電力

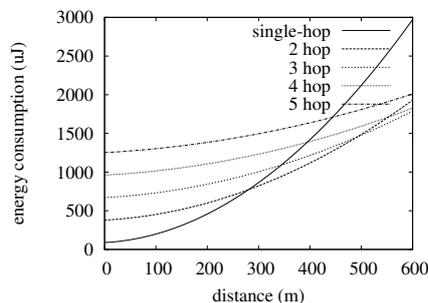


図2 到達距離と消費電力

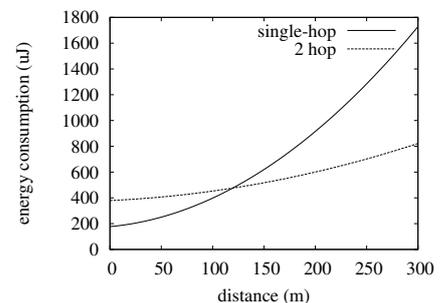


図3 シングルホップと2ホップ