

## ブルームフィルタを用いたウェイクアップ型無線通信システムにおけるID長の影響

The Effects on the ID Length for Wake-up Wireless Communication System using Bloom Filter

石田 繁巳  
Shigemi Ishida瀧口 貴啓  
Takahiro Takiguchi猿渡 俊介  
Shunsuke Saruwatari森川 博之  
Hiroyuki Morikawa

東京大学先端科学技術研究センター / Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

## 1 はじめに

筆者らは、無線通信における受信待機電力を削減するためにはウェイクアップ型無線通信が有効であるとの観点から、すれちがい通信にウェイクアップ型無線通信システムを適用することを考え、ブルームフィルタを用いたIDマッチングの検討を進めている[1]。本稿では、ブルームフィルタを用いたIDマッチングにおいて、端末に登録するID数、データ通信モジュールの特性、IDマッチング周期がID長とシステムの平均受信待機電力にどのような影響を与えるかを明らかにする。

## 2 ブルームフィルタを用いたウェイクアップ型無線通信システム

ブルームフィルタを用いたウェイクアップ型無線通信システムは、超低消費電力に受信待機を行うウェイクアップモジュールと、消費電力が大きく高速なデータ通信モジュールの2つから構成される。端末に登録された複数のIDと、周囲の端末から送信されるウェイクアップパケットに含まれるIDとのマッチングを行い、IDが一致した場合にデータ通信モジュールをウェイクアップさせて通信を行う。

ブルームフィルタを用いたウェイクアップ型無線通信システムの平均受信待機電力は、ID長、端末への登録ID数、データ通信モジュールの特性、IDマッチング周期という4つのパラメータの影響を受ける。ID長は、IDの受信及びマッチングに要する消費電力量に影響するとともに、ブルームフィルタの特性によって生じる誤ウェイクアップの確率に影響するため[2]、平均受信待機電力に影響する。端末への登録ID数は誤ウェイクアップ率に影響する。誤ウェイクアップ時はデータ通信モジュールが駆動されるため、データ通信モジュールの消費電力やスリープからの復帰時間などの特性は平均受信待機電力に影響する。IDマッチング周期は、図1に示すようにウェイクアップパケットを受信した際に行うIDマッチングとIDマッチングの間隔である。IDマッチングの周期が変化すればウェイクアップモジュールの受信待機、IDマッチング、データ通信モジュールの動作時間の比率が変化するため、平均受信待機電力が変化する。

平均受信待機電力の削減に向けては、システム設計後に変更することのできないID長の決定が重要となる。平均受信待機電力に影響を与える端末への登録ID数、データ通信モジュールの特性、IDマッチング周期は、アプリケーションの特性によって定まるパラメータであるため、システム全体の平均受信待機電力の変化を考慮してID長を決定することが必要となる。

## 3 シミュレーション環境

ブルームフィルタを用いたIDマッチングにおいて、アプリケーションの特性とID長との関係を明確にするためにシミュレーション評価を行った。ウェイクアップモジュールは[1]で設計したものを想定した。ウェイクアップモジュールの受信待機電力、IDを受信する回路の電力はそれぞれ12.4μW、310.3μWである。IDマッチング回路の消費電力はID長に対して線形に増加するため、ID長が $l$ (bits)のとき消費電力 $P$ (μW)は $P = 1.87 \times l$ とした。データ通信モジュールが誤ウェイクアップした場合には10msだけ受信待機を行ってからスリープするものとした。データ通信モジュールの受信待機時間の変化は受信待機電力の変化で模擬することとし、受信待機電力をパラメータとして変化させた。通信環境はすれちがい通信を想定し、周囲のノード数の変化や各ノードのウェイクアップパケットの送信間隔を模擬するために、IDマッチングの周期を変化させた。

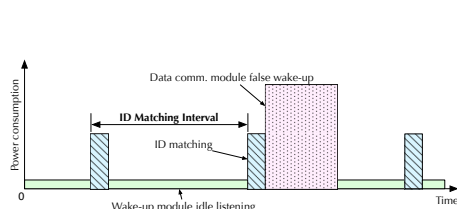


図1 IDマッチング周期

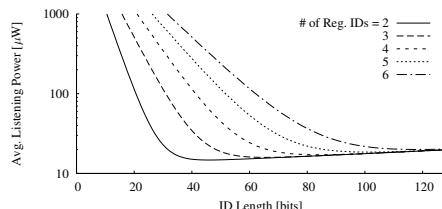


図2 ID長に対する平均受信待機電力

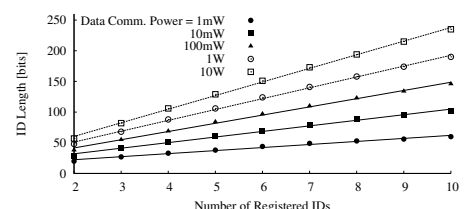


図3 平均受信待機電力が最小となるID長

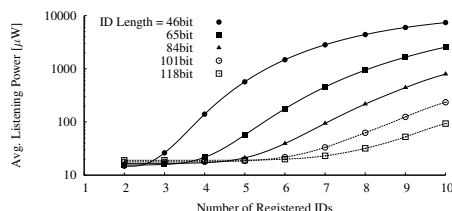


図4 登録ID数に対する平均受信待機電力

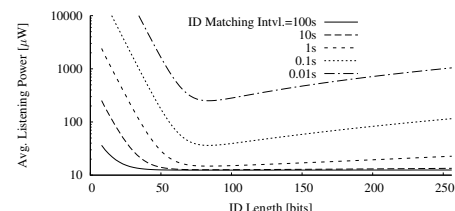


図5 IDマッチング周期を変えた場合のID長に対する平均受信待機電力

## 4 評価結果

まず、ID長、端末への登録ID数が変化した場合のシステム全体の平均受信待機電力の評価を行った。図2にID長に対する平均受信待機電力を示す。データ通信モジュールの受信待機電力はIEEE 802.11a/b/gの無線通信モジュールSDM3100を想定した610.5mW[3]、IDマッチング周期は0.5秒とした。ID長が短い場合、誤ウェイクアップが多くなるので平均受信待機電力が大きくなる。ID長が徐々に長くなるにつれて平均受信待機電力は減少する。さらにID長が長くなった場合にはID長が長くなることによる消費電力が誤ウェイクアップによる消費電力よりも大きくなるため、平均受信待機電力が増加する。登録されたID数が多い場合は誤ウェイクアップ率が高くなるため、登録されたID数が少ないものよりも平均受信待機電力が大きくなる。

また、図2より登録ID数毎に平均受信待機電力が最小となるID長が存在することが分かる。図3に平均受信待機電力が最小となるID長と登録ID数の関係を示す。平均受信待機電力が最小となるID長は、登録ID数に対して線形に増加している。また、データ通信モジュールの受信待機電力によって平均受信待機電力が最小となるID長も変化する事が分かる。

次に登録ID数を変化させた場合の平均受信待機電力の評価を行った。図4に登録したID数を増加させた場合の平均受信待機電力の変化を示す。データ通信モジュールの受信待機電力はSDM3100を想定した610.5mW、IDマッチング周期は0.5秒とした。登録ID数が増えるに従って平均受信待機電力は徐々に増加する。登録ID数が図3に示した平均受信待機電力が最小となる登録ID数を超えた場合には誤ウェイクアップ率が急激に増加するため、平均受信待機電力も急激に増加する。すなわち、平均受信待機電力が最小となる登録ID数よりも多い数のIDを登録して使用することのないようにシステムを設計する必要がある。

最後に、IDマッチングの周期を変化させた場合の平均受信待機電力の評価を行った。図5にID長、IDマッチング周期を変えた場合の平均受信待機電力を示す。データ通信モジュールの受信待機電力はSDM3100を想定した610.5mW、登録ID数は4であるとした。図から分かるように、IDマッチング周期が短くなると平均受信待機電力は増加する。しかしながら、各IDマッチング周期において平均受信待機電力が最小となる点は一定のID長84bitとなり、IDマッチング周期はID長に影響しないことが分かる。これは、ウェイクアップモジュールの受信待機電力がIDマッチング回路の消費電力、データ通信モジュールの受信待機電力に比べて小さいために、ウェイクアップモジュール及びIDマッチング回路とデータ通信モジュールの消費電力量の比率に大きな変化を生じないためである。

## 5 おわりに

本稿では、ブルームフィルタを用いたウェイクアップ型無線通信におけるID長の影響について述べた。現在、ウェイクアップモジュールのLSIチップとしての実装を進めている。

## 参考文献

- [1] S. Ishida *et al.*: "Evaluation of a wake-up wireless module with bloom-filter-based ID matching," APSITT (2010).
- [2] A. Broder *et al.*: "Network applications of bloom filters: A survey," J. Internet Math., vol.1, no.4 (2003).
- [3] AboCom: "SDM3100: 802.11a/g/b SDIO wireless LAN module," Product Spreadsheet, <http://www.abocom.com.tw/>.