

# 低受信待機電力無線通信のための階層型ウェイクアップ機構

A Hierarchical Wake-up Scheme for Low-Power-Listening Wireless Communication System

石田繁巳  
Shigemi ISHIDA

鈴木誠  
Makoto SUZUKI

森戸貴  
Takashi MORITO

森川博之  
Hiroyuki MORIKAWA

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 / Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

## 1 はじめに

無線デバイスがあまねく使用されるユビキタス環境では、これらのデバイスが連携してユーザにサービスが提供される。このような環境では、無線通信モジュールが常に受信可能状態であることが求められる。しかしながら、現在の無線通信技術では受信待機電力が大きく、バッテリー寿命が制限されてしまう。このような問題に対して、本研究では受信待機電力を抜本的に削減するデバイスウェイクアップ機構の開発を進めている。本稿では、階層型ウェイクアップ機構の初期的検討について述べる。

## 2 階層型ウェイクアップ機構

ユビキタス環境における無線デバイスには以下の2つの要件が求められる。1つ目は受信待機電力を削減する仕組みである。ユビキタス環境においては周囲の無線デバイスからいつ通信要求がくるか分からないため、無線通信モジュールを常に受信待機状態にしておくことが求められる。受信待機状態は受信状態と同程度の電力を消費するため、常に受信待機状態とすることによるバッテリーの消費は非常に大きなものとなる。

2つ目は高速に通信を確立する仕組みである。多様なデバイスへ対応するためには、既存の通信システムにおいて許容される遅延を超えないように通信を確立する必要がある。通信可能な状態になるまでには、無線通信モジュールを低消費電力なスリープ状態からウェイクアップさせるためにかかる時間に加えて認証などの処理が必要となるため、比較的時間を必要とする。

これら2つの要件を踏まえ、筆者らは多様な無線デバイスにおいて低消費電力で受信待機可能な低待機電力無線システムの実現を目指している。図1にシステムの概要を示す。

受信待機電力の削減は、ウェイクアップモジュールを用いた階層型ウェイクアップにより実現する。ウェイクアップモジュールは2段階のウェイクアップを経て、実際のサービスを行うデータ通信モジュールをウェイクアップさせる。第1段階では、まず送信デバイスが宛先デバイスIDを含むウェイクアップパケットを送信する。ウェイクアップモジュールは電波検出回路を用いてこのキャリアを検出し、ID受信回路及びIDマッチング回路をウェイクアップさせる。これにより、近接デバイスが存在しない場合にID受信回路、IDマッチング回路の電源をOFFとすることができる。第2段階では、ウェイクアップモジュールはID受信回路を用いてウェイクアップパケットに含まれるIDを復調、復号し、IDマッチング回路を用いてこのIDと自身のデバイスIDを比較する。そして、デバイスIDが一致した場合はデータ通信モジュールをウェイクアップさせ、一致しない場合は再びスリープ状態に入る。これにより、他のデバイスへの通信によってデータ通信モジュールがウェイクアップさせられることがなくなる。

高速な通信確立はウェイクアップ高速化用のデータをウェイクアップパケットに含めて送信することで実現する。例えばデータ通信モジュールが無線LANモジュールの場合、各無線デバイスに通信で用いたアクセスポイントの情報をキャッシュさせておく。ウェイクアップパケットにBSSIDを含めることで通信に利用するアクセスポイントを指定し、キャッシュされた情報を用いることで無線LANの接続確立時に必要となるチャネルスキャンを省略することができる。このように、ウェイクアップモジュールによる通信をシグナリングチャネルとして利用することで接続の高速化を図る。

## 3 回路設計

2節で提案した階層型ウェイクアップ機構の妥当性を示すため、ウェイクアップモジュールの回路設計を行った。図2に内部構成を示す。ウェイクアップモジュールは、電波検出回路、復調回路、復号回路、シフトレジスタ、IDマッチング回路、電源制御回路、クロック発振回路、そしてリセット回路から構成される。受信待機状態にあるウェイクアップモジュールは電波検出回路でキャリアを検出し、電源制御回路を通じてデータ受信回路の電源を切った状態にしておく。送信側がウェイクアップパケットを送信すると、受信側ではそのキャリアを検出してデータ受信回路の電源を入れる。そして、ウェイクアップパケットを復調、復号してシフトレジスタにデバイスID及びデータを蓄積していく。受信が完了するとIDマッチング回路でデバイスIDの比較を行い、一致した場合はウェイクアップ信号を出力してデータ通信モジュールをウェイクアップさせる。データ通信モジュールは、ウェイクアップモジュールから出力されるデータを受信して送信側のデータ通信モジュールと通信を開始する。この時、ウェイクアップモジュールに電源OFF信号を送り、ウェイクアップモジュールを再び受信待機状態にする。デバイスIDが一致しなかった場合はウェイクアップモジュール内部で電源OFF信号を生成し、再び受信待機状態となる。

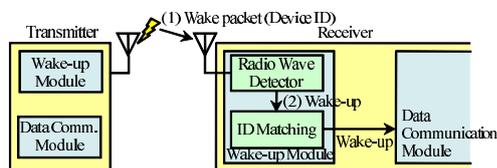


図1 低待機電力ウェイクアップシステムの概要

ウェイクアップモジュールのCMOS LSI作成に向けて復号、シフトレジスタ、IDマッチング回路を除いたアナログ部の回路設計をプロセスルール0.18 $\mu\text{m}$ を用いて行った。各部のトランジスタ数は、電波検出回路27、復調回路19、電源制御回路20、クロック発振回路14、リセット回路5である。周波数帯は、通信距離が比較的に長い950MHz帯を想定した。回路を単純化して復調回路の低消費電力化を図るため、変調方式はOOKを用いた。デバイスID及びデータはマンチェスタ符号を用いて符号化し、消費電力の大きい高精度クロック発振回路なしでデータを受信できるようにした。デジタル部の消費電力を削減するため、クロック発振回路には低精度であるものの低周波数で発振可能なリングオシレータを用いた。

## 4 評価

ウェイクアップモジュールの消費電力、データ受信処理開始遅延、キャリアセンス感度について、HSPICE [1]によりシミュレーション評価を行った。トランジスタモデルはBPTM [2]を用いた。表1にこの結果を示す。

データ受信処理開始遅延は電波が入力されたからデジタル部でデータ受信処理が開始されるまでの遅延である。実際のウェイクアップ遅延はこれにデータ受信時間加わる。ボーレート40kBaudにおいてマンチェスタ符号化されたデータの1bit送信時間は50 $\mu\text{s}$ であるから、データ受信処理開始遅延は1bit送信時間の約1/3である。したがって、データ長が十分に長ければウェイクアップ遅延はデータ受信時間でほぼ決定される。

受信待機状態ではデータ通信モジュールをスリープ状態にしておくため、受信待機電力はほぼウェイクアップモジュールの11.9 $\mu\text{W}$ のみとなる。リチウムイオン電池は月に5%程度の割合で自己放電する。電池の容量を1000mAh、電圧を3.3Vとすると、この自己放電率は約230 $\mu\text{W}$ に相当するから、本機構を用いた際の受信待機電力11.9 $\mu\text{W}$ はこれに比べて十分に小さいと言える。また、センサネットワークに用いられるTexas Instruments社の微弱無線ジュールCC1000 [3]の受信待機電力は868MHz帯で28.8mWであるから、約1/2400の電力で受信待機することができる。

## 5 おわりに

本稿では無線デバイスの受信待機電力を削減する階層型デバイスウェイクアップ機構を提案し、その初期的検討として受信待機電力の削減を果たせることを示した。回路技術においても[4],[5]のような低消費電力化技術が存在するため、今後はウェイクアップに求められる遅延を明らかにするとともに、[4],[5]のような技術を適用して遅延を増加させずに消費電力をさらに削減した回路の作成を進めていく。

## 謝辞

本研究は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通しシノプス株式会社との協力で進められたものである。

## 参考文献

- [1] Synopsys. 高精度回路シミュレータ HSPICE. <http://www.synopsys.co.jp/products/HSPICE/detail.html>.
- [2] UC Berkley. Berkley Predictive Technology Model. <http://www.eas.asu.edu/~ptm/>.
- [3] Texas Instruments. Single-Chip Very Low Power RF Transceiver. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/cc1000.html>.
- [4] T. Umeda et al. ECO chip: Energy Consumption Zeroize Chip with a 953MHz High-Sensitivity Radio Wave Detector for Standby Mode Applications. CICC2007.
- [5] N. Pletcher et al. A 65uW, 1.9GHz RF to Digital Baseband Wakeup Receiver for Wireless Sensor Nodes. CICC2007.

表1 ウェイクアップモジュールアナログ回路の評価

消費電力	データ受信時	282.1 $\mu\text{W}$
	受信待機時	11.9 $\mu\text{W}$
	データ受信処理開始遅延	15 $\mu\text{s}$
	受信感度	-34.4dBm

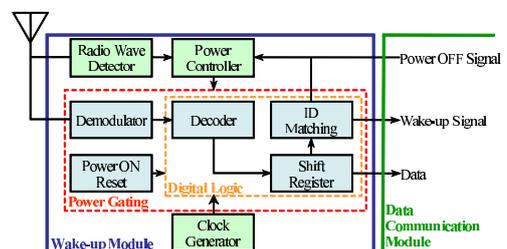


図2 ウェイクアップモジュールの内部構成