

論文の内容の要旨

論文題目 省電力無線通信に向けた多段ウェイクアップ方式に関する研究

氏 名 石田 繁巳

本論文では「省電力無線通信に向けた多段ウェイクアップ方式に関する研究」と題し、無線通信の低消費電力化を目的に、省電力無線通信技術について回路設計からIDを用いた通信相手の指定方法までを論ずる。

無線通信の低消費電力化に向けて受信待機電力の削減が重要であることを示し、スリープ状態にある受信機を段階的にウェイクアップさせて通信を行う多段ウェイクアップ通信方式を提案する。また、多段ウェイクアップ方式においては通信相手を指定するIDマッチングが重要となることから、2つのアプリケーションを想定し、それぞれについてIDマッチング方式の検討を行う。本論文は全6章から構成される。

第1章は序論であり、本論文の背景と目的について述べる。無線通信における受信待機電力削減の重要性について述べ、本論文の構成と各章の目的を示す。

第2章では、無線通信の受信待機電力削減に向けてこれまでに報告されている研究を示し、本研究の位置付けを明確にする。受信待機電力の削減に向けた研究について、受信回路を省電力化するアプローチと、回路を間欠動作させるアプローチとに分けて述べる。回路を間欠動作させるアプローチについては、さらに、省電力MACプロトコルと、外部に設けた別の無線通信モジュールからの信号によって主となる無線通信モジュールをウェイクアップさせるウェイクアップ通信方式とに分類する。その上で、受信機を通信時以外スリープ状態とすることが可能なウェイクアップ通信方式に着目する。ウェイクアップ通信方式においては、受信機は、送信機からの信号を受信するウェイクアップ受信モジュールと、従来のデータ通信モジュールとから構成される。ウェイクアップ通信方式を用いた受信待機電力の削減に向けて、ウェイクアップ受信モジュールの平均消費電力削減と、データ通信モジュールの不必要なウェイクアップ削減が重要となることを述べる。

第3章では、第2章で述べたウェイクアップ受信モジュールの平均消費電力削減とデータ通信モジュールの不必要なウェイクアップ削減に向けて、多段ウェイクアップ通信方式を示す。多段ウェイクアップ通信方式では、ウェイクアップ受信モジュールを信号検出回路とID受信・マッチング回路とで構成し、それぞれの回路を段階的にウェイクアップさせる。IDマッチングにより通信相手を指定してウェイクアップさせることで、データ通信モジュールの不必要なウェイクアップを削減する。このような多段ウェイクアップ通信方式の有効性を示すために0.18 μm CMOSLSIを想定した回路実装と回路シミュレーションを行う。そして、多段ウェイクアップ通信方式の受信待機電力が、電池の自己放電と同程度となることを示す。

第4章と第5章では、アプリケーションを想定して多段ウェイクアップ通信方式におけるIDマッチング方式の検討を行う。多段ウェイクアップ通信方式では、ID受信・マッチング回路の動作時間が平均受信待機電力に大きな影響を及ぼすため、ID長の

短縮及びウェイクアップ要求信号の受信回数の削減に向けて、IDマッチング方式の検討が重要となる。

第4章では、携帯型ゲーム機のすれちがい通信への多段ウェイクアップ通信方式適用を想定し、ブルームフィルタを用いたグループ指定のIDマッチングを示す。ブルームフィルタは複数のデータを効率良く表現可能なデータ構造である。ハッシュを利用することでデータ長を短縮し、個々のデータの復元を犠牲にすることで複数のデータを1つのビット列に縮退させることができる。これらの特徴により、すれちがい通信において必要となるグループ指定でのウェイクアップを小規模な回路で実現する。ブルームフィルタはハッシュを用いたデータ構造であるため、データ通信モジュールの誤ウェイクアップによる電力消費を原理的に防止することができない。そこで、データ通信モジュールの誤ウェイクアップの影響も考慮してシミュレーション評価を行い、1台の端末に登録するID数が数個程度と少ない場合に受信待機電力を削減できることを示す。

第5章では、産業用機器・自動車などの機器ワイヤレスハーネスへの多段ウェイクアップ通信方式の適用を想定し、エラー耐性を有する2進MDS-ID (Maximum Distance Separable Identifier) マッチングを示す。本章で対象としているワイヤレスハーネスは、機器内部に設置されたコントロールユニットとセンサノードとを接続するハーネスを無線通信で代替するものであり、小規模な回路で低遅延にエラー対策を行うことが求められる。このようなエラー対策に向けて、2進MDS-IDの持つハミング距離の特性を利用する。2進MDS-IDは、可能な限り短いID長によって各ID間のハミング距離が一定値以上となるように設計されたIDである。2進MDS-IDを用い、ハミング距離に基づいたIDマッチングを行うことで、小規模な回路によりエラー耐性を持ったIDマッチングを実現する。2進MDS-IDマッチングの有効性を示すため、0.18 μ m CMOS LSIを想定した回路実装とシミュレーション評価を行い、受信待機電力、遅延を削減しつつ、小規模な回路によってBCH符号と同程度のウェイクアップ率を実現できることを示す。

第6章では論文全体を総括し、本論文の成果をまとめるとともに、多段ウェイクアップ通信方式を用いた低消費電力無線通信の実現に向けた課題、今後の研究の方向性について述べる。