

車両内ウェイクアップ型無線通信における数個のビット不一致許容 ID マッチング

Several Bit Mismatch Allowable ID Matching Mechanism for In-car Wireless Wake-up Communication

瀧口 貴裕¹ 石田 繁巳¹ 岸 孝彦² 丹羽 栄二² 見並 一明²
 Takahiro TAKIGUCHI Shigemi ISHIDA Takahiko KISHI Eiji NIWA Kazuaki MINAMI
 猿渡 俊介¹ 森川 博之¹
 Shunsuke SARUWATARI Hiroyuki MORIKAWA

東京大学先端科学技術研究センター¹
 RCAST, The University of Tokyo

株式会社トヨタ IT 開発センター²
 TOYOTA InfoTechnology Center

1 はじめに

筆者らは、車両内センサノードの無線通信における受信待機電力の削減に向けて、ウェイクアップ型無線通信 [1] の適用を検討している。本稿では、最大距離分離符号と数個のビット不一致を許容する ID マッチングを組み合わせたことで、通信エラーに強い ID マッチング回路を小規模な回路規模で実現できることを回路の実装とシミュレーションによって示す。

2 車両内無線通信

車両内にウェイクアップ型の無線通信 [1] を適用する場合、通信エラー対策が重要となる。車両内無線通信ではエンジンやアクチュエータからのノイズが大きいためである。通信エラー対策を行わなければ、センサノードを正しくウェイクアップさせることができず、ウェイクアップパケットの再送に伴う消費電力の増加や、通信開始遅延の増加という問題が発生する。

このような通信エラー対策はエラー訂正を用いることでも可能であるが、車両内無線通信ではより小規模な回路で実現する必要がある。車両内には多数のセンサノードを設置することから、回路の大規模化による 1 ノード当たりのコストの増大が車両全体のコストに大きな影響を与える。

3 数個のビット不一致を許容する ID マッチング

小規模な回路で通信エラー耐性を備えた ID マッチング回路を実現するために、最大距離分離符号と数個のビット不一致を許容する ID マッチング回路を用いる。

まず、各ノードの ID を最大距離分離符号となるように割り当てる。車両内無線通信では、符号作成の計算量は大きいものの理想的な符号である最大距離分離符号を用いることが可能である。最大距離分離符号は、それぞれの符号間のハミング距離が最大になるように配置された符号である。ID 長は ID 間のハミング距離が一定以上確保できるように、ノード数に対して十分な長さで設計する。最大距離分離符号の作成には非常に大きな計算量を必要とするため、ID は [2] 等の手法を用いて、必要な個数だけ予め作成しておく。車両に設置されるノード数は車両製造後に増減しないため、符号の作成は車両製造前に一度しか行われず、符号作成の計算量は問題とならない。車両内に設置されるノードの ID は上記で作成された ID から 1 つを選択し、車両製造時にノードに登録する。

次に、車両内ウェイクアップ型無線通信のエラー対策として、受信した ID と自身の ID の不一致ビット数をカウントし、不一致ビット数が一定値以下であればウェイクアップする ID マッチングを示す。数個のビット不一致を許容する ID マッチングを用いることで、センサノードが正しくウェイクアップできる確率を上げることが可能となる。

ID マッチングでは、不一致ビット数を最小ハミング距離の 1/2 まで許容することで、ビットエラー数が最小ハミング距離の 1/2 未満であれば、ウェイクアップ対象のノードは必ずウェイクアップできる。車両内ウェイクアップ型無線通信では、ID 間のハミング距離が一定以上確保されており、各ノードは自身の ID にしか反応しなくて良いため、このような ID マッチングが可能となる。

数個のビット不一致を許容する ID マッチングは、不一致ビット数をカウントするだけで良いため、小規模な回路で実現可能である。図 1 に数個のビット不一致許容 ID マッチングとハミング符号を用いた ID マッチングの回路を示す。ビット不一致許容 ID マッチングは、受信した ID とノード ID との比較回路と不一致ビット数をカウントする回路から構成される。不一致ビット数カウント回路は簡単なカウンタで実現できるため、回路規模は小さい。ビット不一致許容 ID マッチングに対し、ハミング符号を用いた ID マッチングは、エラー訂正回路と ID 比較回路から構成される。エラー訂正回路はシンドロームを計算するため、多数のレジスタと演算回路が必要となり、回路は大規模化する。

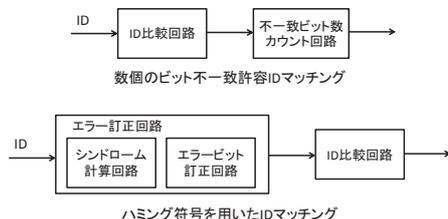


図 1 ID マッチング回路

2011/3/14 ~ 17 東京

4 評価

数個のビット不一致を許容する ID マッチングを用いた車両内ウェイクアップ型無線通信の平均受信待機電力と回路規模をシミュレーションによって評価した。データ通信を行うモジュールは IEEE802.15.4 規格の CC2520 を用い、アクティブ時の消費電力は 55.5 mW である。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、受信待機電力 12.4 μ W、ID マッチング時の消費電力 623.7 μ W、通信速度 20 kbps である。ウェイクアップパケットはプリアンブル 9 bit と ID 24 bit から構成される。またビット不一致の許容数は 4 とした。ID 長と不一致ビット許容数は、実測の環境データ、及び自動車内に設置されるセンサノードは多くても 1000 個程度であるということから決定した。

平均受信待機電力の評価は、シンクノード 1 台、センサノード 1000 台を搭載した車両内で、シンクノードが 100 ms 毎に 1 台のセンサノードと通信を行う環境を想定した。必要のないセンサノードがウェイクアップした場合、データ通信モジュールを 10 ms アクティブにし、その後再びスリープ状態になる。比較を行ったのは最大距離分離符号を用いてビット不一致を許容する場合 (MDS)、ランダムに割り当てた ID を用いてビット不一致を許容する場合 (Random)、ビット不一致を許容しない場合 (Perfect matching) の 3 種類である。ビットエラーは実測した環境データに基づきランダムエラーとした。

図 2 に BER と平均受信待機電力の関係を示す。最大距離分離符号を用いた数個のビット不一致を許容する ID マッチングは、ビット不一致を許容しない ID マッチングと比較して、BER が 10^{-2} の場合で受信待機電力は約 40% 削減となった。またランダムに ID を割り当てた場合と比較すると約 10% 削減できる。

回路規模の評価は、ID マッチング回路を Verilog HDL で実装し、Design Compiler での論理合成結果からゲート数を取得して比較を行った。比較を行った ID マッチング方式は、ビット不一致を許容する ID マッチング (mismatch \leq 4)、ビット不一致を許容しない ID マッチング (mismatch=0)、ハミング符号を用いてエラー訂正を行う ID マッチング (hamming code) の 3 種類である。

図 3 に回路規模の評価を示す。どの ID マッチング形式も回路規模はビット長に対してほぼ線形に増加する。ID 長が 24 bit の場合、各回路のゲート数は ID 比較回路 310、不一致ビット数カウント回路 199、エラー訂正回路 467 である。ビット不一致を許容しない ID マッチング回路は主に ID 比較回路で構成されるのに対し、ビット不一致を許容する ID マッチング回路には不一致ビット数カウント回路が加わるため、ゲート数は約 1.6 倍となる。また、ハミング符号を用いた ID マッチング回路はエラー訂正回路と ID 比較回路から構成されるため、ビット不一致を許容しない ID マッチング回路に対してゲート数は約 2.5 倍となる。従って、ビット不一致を許容する ID マッチングを用いることで、ハミング符号を用いた ID マッチングと比較して、回路規模を約 35% 削減できる。

5 おわりに

本稿ではウェイクアップ型車両内無線通信に、数個のビット不一致を許容する ID マッチングを用いることで、小規模な ID マッチング回路でセンサノードの受信待機電力を削減できることを示した。

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じ、シノプシス株式会社の協力で行われたものである。

参考文献

- [1] 瀧口ほか, “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消費電力評価,” 信学技報, RCS2009-254, Jan. 2010.
- [2] M. Blaum, et al. “On Lowest Density MDS Codes,” IEEE Trans. Information Theory, Jan. 1999.

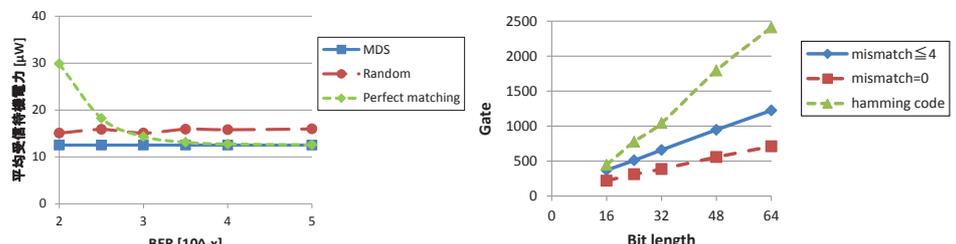


図 2 平均受信待機電力

図 3 回路規模

Copyright © 2011 IEICE