

グループ単位の待ち時間分割制御と ACK 待ち時間の最適化による IEEE802.15.4 の拡張

松下 直樹[†] 杉浦 彰彦[†] 小林 秀幸[‡]

静岡大学大学院 情報学研究科[†] 仙台高等専門学校 情報システム工学科[‡]

1. はじめに

ワイヤレスセンサネットワークの普及に伴う通信端末数の増加により、端末間干渉が問題となる。IEEE802.15.4などで採用されているCSMA/CAは近距離に通信端末が集中する場合、端末間干渉を防ぎきれない。

我々は干渉低減手法の一つとして、CSMA/CAとは異なる待ち時間を端末群ごとに付加し干渉を回避する、時間グループ分割制御(Timing Group Division: TGD)を提案した[1]。しかしながら、従来のTGDでは待ち時間の最適化が行われていないことや群間の通信速度の制御を行えないことなど課題が残っていた。

そこで本論ではTGDの待ち時間(TGD wait)を拡張することで更なる高速化を図る。また、待ち時間の最適化を行い、端末群ごとの優先度に応じて通信速度を制御する手法を提案する。

2. 原理

TGDとは、端末群を複数のグループに分割し、端末が送信を行う前にグループごとに異なる待ち時間を付加することで、一度のCSMA/CAに参加する端末を一時的に減らす手法である。TGDの概念図を図1に示す。TGDの待ち時間を付加していない場合、通信の競合が頻発しているのに対し、付加した場合、通信競合が一時的に減少している区間があることがわかる。

CSMA/CAは、通信端末数が増加し通信競合が頻発する場合、競合回避のためのランダムバックオフ時間が過剰となり、通信の遅延を発生させる。TGDを用いて端末間の通信競合を減少させることでCSMA/CAの過剰な待ち時間を抑えることができ通信の高速化を実現可能となる。

3. 提案手法

本論ではTGDに加え端末が通信を行った後に

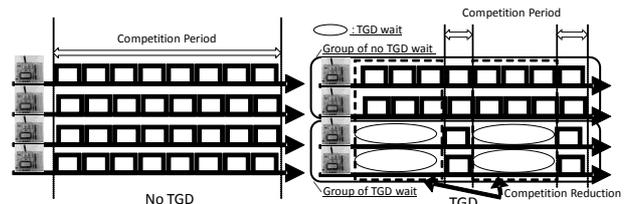


図1 TGDの概念

待ち時間を付加する手法を提案する。新たに付加する待ち時間は、IEEE802.11で言うIFS(Inter Frame Space)に相当するものである。端末が通信を行った後に待ち時間を付加することでACK応答の競合を回避することが目的である。ここで新たに付加する待ち時間をACK待ち時間(ACK Wait)と定義する。

CSMA/CAのバックオフ時間とTGDの待ち時間に加え、ACK待ち時間を付加するため、待ち時間の最適化が必要となる。各待ち時間の組み合わせの最適化を行うことで、干渉を最小限に抑え通信の高速化を実現することが可能である。

またTGDによってグループ分けされた端末群には、TGDの待ち時間を付加した端末群と付加していない端末群とで送信権の付与に優劣が生じる。この優劣を優先度としてとらえることで、端末群全体の通信を高速化させるだけでなく、一方の端末群の通信のみを優先的に高速化させるなど異なるポリシーを持つ通信を実現可能である。

4. 実験

4.1 実験モデル

実験モデルはポーリングを模した単純なネットワークトポロジを採用する。これは単純なモデルを用いることで複雑なモデルを類推できるためである。

1台のRouterを中心に半径30cmの円周上に複数のEndDeviceを配置し、全てのEndDeviceとRouterが1回通信し終えるまでの時間を測定する。端末数の異なる環境での各待ち時間の違いを検討するために、8台、12台又は16台のEndDeviceを用いる。TGDを用いる場合には、

“Extended IEEE802.15.4 Using Optimized Timing Group Division and ACK Wait for High Performance”

[†]Naoki Matsushita, Akihiko Sugiura
Shizuoka University, Graduate School of Informatica

[‡]Hideyuki Kobayashi
Sendai National College of Technology

EndDevice 群を二等分し，一方の端末群にのみ TGD の待ち時間を付加する．また，ACK 待ち時間は全ての EndDevice に付加する．Router にはこれら二つの待ち時間を付加しない．

4.2 待ち時間変化実験

提案手法の有効性を確認し，最適な待ち時間を調べるために EndDevice 数ごとに TGD と ACK 待ち時間を変化させて実験を行う．TGD の待ち時間は 0~176slots の間で 11slots ずつ変化させる．また，ACK 待ち時間は 0~88slots の間で 11slots ずつ変化させ，計 153 の組み合わせについて 100 施行しその平均通信時間を比較する．ここで，1slot とは CSMA/CA のバックオフ単位時間である $320\mu\text{sec}$ とする．

4.3 待ち時間変化実験結果

実験結果を図 2 に示す．縦軸は平均通信時間，横軸は TGD の待ち時間を表し，ACK 待ち時間ごとにグラフに表す．図 2 は EndDevice 数 16 台の場合における代表値を示す．ここで，ACK wait 0slot とは従来の TGD 手法を表し，TGD wait 0slot とは TGD を用いない場合を表す．

図 2 より，提案手法は大幅に高速化していることがわかる．最も高速な通信を実現したのは EndDevice16 台の時，ACK wait 77slots, TGD wait 11slots で 319.07msec ，12 台の時，ACK wait 33slots, TGD wait 33slots で 240.69msec ，8 台の時，ACK wait 33slots, TGD wait 33slots で 179.17msec であった．従来手法と比べそれぞれ約 49%，約 40%，約 26%の高速化を実現した．

次に優先度の高いグループ，つまり TGD の待ち時間を付加しないグループの通信を優先的に高速化させるポリシーに基づく通信について検討する．グループ別に通信時間を見た場合に TGD の待ち時間なしのグループの通信が最も高速であったのは 16 台の時，ACK wait 33slots, TGD wait 165slots で TGD の待ち時間なしのグループ 189.60msec ，ありのグループ 485.13msec であった．12 台，8 台の場合は共に ACK wait 22-slots, TGD wait 154slots の時それぞれ TGD なしのグループ 138.85msec ，ありのグループ 398.47msec ，TGD なしのグループ 113.71msec ，ありのグループ 323.78msec と最速であった．

TGD の待ち時間を長くすることで，優先度を持たせた通信が可能であることが確認できた．

4.4 待ち時間の最適化

これらの結果をもとにそれぞれの待ち時間の最適化を行う．EndDevice 数ごとに各組み合わせの最速値を基準とし，Steel-Dwass 法($p<.001$)によって多重比較を行う．

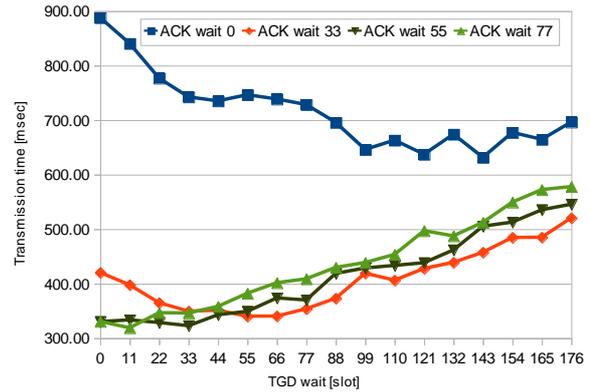


図 2 TGD 及び ACK 待ち時間別通信時間

表 1 通信ポリシー別近似式の係数値

	a	b
全体の高速化		
ACK wait	1.78	22.36
TGD wait	2.18	17.59
優先度あり		
ACK wait	3.24	-3.87
TGD wait	1.39	128.94

平均通信時間に有意差のない待ち時間の組み合わせを抽出し，最小二乗法によって EndDevice 数をパラメータとする一次近似式を導出する (式(1))．ここで， n は EndDevice 数を表し， $f_{\text{roundup}}()$ は小数点以下切り上げを意味する．係数 a, b はそれぞれの通信ポリシーによって異なるパラメータであり表 1 に示す．式(1)を用いることで最適値を容易に導出することが可能である．

$$IFS, TGD = f_{\text{roundup}}(a * n + b) \quad (1)$$

5. まとめ

本論では，TGD に加え新たな ACK 待ち時間を付加する手法を提案した．実機実験の結果，従来の TGD 手法と比較し最大で約 49%の高速化を実現した．また，TGD の待ち時間を長くすることで，TGD のグループ分割に優先度を持たせることを可能とし，優先度の高いグループの通信をより高速化できることを確認した．またそれらの最適値を導く近似式を導出した．

今後は，異なるネットワークトポロジや TGD の端末比率の変化などに対する最適化を行っていく．

Reference

- [1]小林秀幸，杉浦彰彦，“RSSI を用いたグループ単位の待ち時間分割制御を伴う CSMA/CA による IEEE802.15.4 の拡張，”電学論(C)，Vol.131-C，No.7，pp.1337-1346，2011