

CANにおけるARQおよびFECの性能と可用性に関する考察

A Note on performance and availability evaluation for ARQ and FEC in CAN

横山 慎悟¹
Shingo Yokoyama

後藤 亘¹
Gotoh Wataru

大原 衛¹
Ohara Mamoru

福本 聡¹
Satoshi Fukumoto

東京都立大学大学院 電子情報システム研究科¹

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Tokyo Metropolitan University

1 まえがき

CAN(Controller Area Networks)は、事実上の標準車載ネットワークである。CANにはブレーキ制御やエンジン制御など人命に関わる機器の制御を行うECUも接続され得るため、物理層で差動伝送を用いるなどの高信頼化が図られている。しかし、近年、電気自動車等にインバータ等の高調波ノイズを発する機器の搭載が進み、それがかえってCANの動作を妨げる可能性が指摘されている。

CANではARQ(Automatic Repeat reQuest)が採用されており、ビットエラーからの自動的な回復が可能であるが、エラー発生頻度の高い高電磁下においてはARQの特性がCANバスの性能低下の要因の一つとなる可能性がある。本研究では電磁障害対策手法としてFEC(Forward Error Correction)を適用することを仮定して、スループット(単位時間当たりの送信フレーム数)と、可用性(エラーの累積によるバスオフまでの期待時間)について、ARQとの比較に基づいて評価する。

2 関連研究

中村らはCANバス上にノイズを印加し、そのバス上でCANの標準プロトコルであるARQを使用して通信したときの総オーバーヘッドフレーム数を測定し、図1のような結果を得ている。[1]。

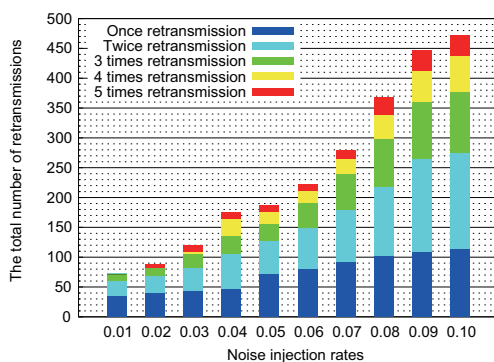


図1 標準CANプロトコル使用時の総オーバーヘッドフレーム数

これからわかる通り、ノイズ挿入率が大きくなるにつれて、総オーバーヘッドフレーム数が増えている。総オーバーヘッドフレーム数が増えるということは、フレームの再送が増えているということであり、単位時間あたりに送ることのできるデータ量は減少する。そこで中村らはHARQプロトコルを提案した。HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest)プロトコルの状態遷移図を

図2に示す。

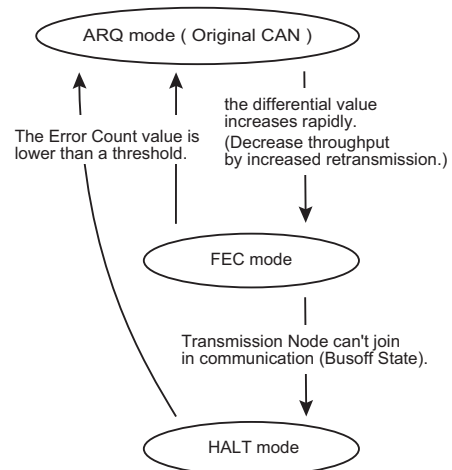


図2 HARQプロトコルの状態遷移図

プロトコルでは電磁ノイズレベルに対応したモード遷移を行う。モードの種類は以下の通りである。

- 自動再送要求 (ARQ) モード：正常伝達レベルに対応、フレーム破損時に再送を行う。
- 前方誤り訂正 (FEC) モード：単独エラーレベルに対応、誤り訂正符号を用いてフレーム破損時に回復を行う。誤り訂正符号には単純なパリティを採用。
- 送信停止 (HALT) モード：連続エラーレベルに対応。ARQ, FEC どちらでもフレームが破損してしまうため送信を停止する。

3 ARQとFECの転送性能比較

これまでのHARQの提案では、バスオフまでの総オーバーヘッドフレーム数については議論されているものの、実時間ベースでの性能比較は行われていない。本考察では、自動再送要求モードで使用されているARQと、前方誤り訂正モードで使用されているFECに着目し、これら2つに対して転送性能の比較とバスオフまでの期待時間の比較を行う。

3.1 前方誤り訂正 (FEC) モードについて

FECモードでは、パリティフレームを含む連続したフレームをパリティグループと定義する。図3で示すようにパリティグループ内で破損したフレームが1つなら回復可能である。回復不可能な場合、再送処理をする。

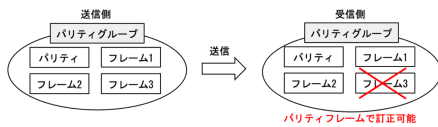


図3 FECモードの仕組み

3.2 実験概要

ARQとFECの転送性能を比較するため、擬似ノイズ挿入器を使用して実験を実施した。擬似ノイズ挿入器を構成するFPGA上に線形帰還シフトレジスタを用いたプログラムを作成し、1bitごとに信号を反転させるかどうかランダムに決定した。ビットを反転させる割合を0~1% (0.2%刻み)で変更した。

3.3 検証結果

ARQとFECの転送性能を比較するため、それぞれを使用したときのスループットを比較した結果が図4のグラフとなる。

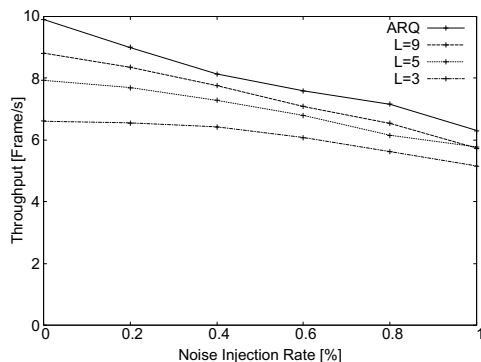


図4 各ノイズにおけるARQとFECのスループット

図4にある通り、ノイズ挿入率が0%のときはパリティフレームが単なるオーバーヘッドフレームとなるため、ARQとのスループット性能に差が出ている。しかし、ノイズ挿入率が増加するにつれてARQとFECの性能差は減少していることがわかる。

4 ARQとFECの可用性の比較

4.1 CANプロトコルの状態遷移

CANプロトコルの状態遷移はエラーカウンター値を使用して状態遷移が行われる。CANプロトコルの状態はエラーアクティブ状態、エラーパッシブ状態、バスオフ状態の3種類となる。

4.2 実験概要

ARQとFECのバスオフまでの期待時間を比較するため、シミュレーションを行なった。以下の条件のどちらかに達するまでに受信できた実効フレーム数を測定した。

1. シミュレーション時間の最大値の経過 (今回は1500000)
2. 送信ノードがバスオフに遷移

今回シミュレーションの対象としたのはARQとパリティグループ長をそれぞれ2, 3, 5, 9としたFECである。送信フレームの最大数を1000フレームとし、ノイズ到着率を0~1% (0.1%刻み)とした。

4.3 検証結果

ARQとFECそれぞれを使用したときの受信できた実効フレーム数を比較した結果が図5のグラフとなる。

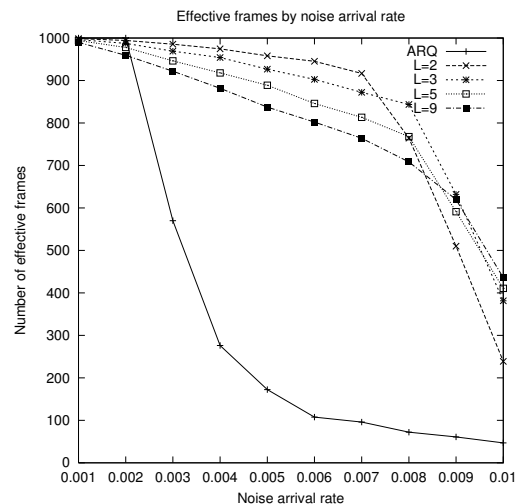


図5 各ノイズにおけるARQとFECにおける有効なフレーム数

図5にある通り、ARQはノイズ到着率0.003のときにバスオフに入るようになり、実効フレーム数が急激に減少しはじめた。FECではバスオフへ遷移するまでの時間が長いため、ARQと比較して実効フレーム数が多くなった。

5 まとめ

本考察では、ARQとFECに着目し、これら2つに対して転送性能の比較とバスオフまでの期待時間の比較を行った。ARQとFECのスループットを比較したところ、ARQの方が高速であった。しかし、ノイズ挿入率が上がるにつれ、ARQとFECのスループット差は減少した。

次にARQとFECでのバスオフ遷移までに送信できる実効フレーム数を比較したところ、ノイズ到着率が0.003より大きくなり、ARQがバスオフに遷移するようになったときでもFECの方はバスオフへの遷移に時間が掛かるため、実効フレーム数が多くなった。このことから、エラーカウンターが一気に増加する場合、FECを使用することでバスオフへの遷移を遅らせることが可能と判る。

文献

- [1] 中村宗幸, "高電磁環境下における車載ネットワークCANのハイブリッド通信プロトコルに関する研究" 首都大学東京大学院 システムデザイン研究科 情報通信システム学域, 修士論文, 2016.