

FPGA による高信頼無線通信方式の提案と検証

長岡佑治[†]筑波大学大学院システム情報工学研究科[†]山口佳樹^{‡§}筑波大学システム情報系[‡]
筑波大学計算科学研究センター[§]

1. はじめに

移動車両と移動車両の通信（車車間通信，Vehicle-to-Vehicle），移動車両と路上・路面の通信（路車間通信，Vehicle-to-Infrastructure）を行うことによって，事故低減や運転支援に関する情報の伝達が可能となり，交通インフラをより安全にすることができる [1]．車車間通信のための無線通信規格として IEEE802.11p などが存在するが，現時点において日本で使用できるシステムは少なく，早期の導入は難しい．そこで本研究では，既存の汎用無線通信規格である IEEE802.11ac を使用し，書き換え可能なハードウェアである Field Programmable Gate Array (FPGA) による低遅延かつ高速な演算を組み込むことで通信の冗長化を行い，高信頼な無線通信方式の提案を行う．また，車載システムへの応用を目的とした画像通信システムを FPGA に実装した．

2. 研究目的

近年，移動体（特に自動車）をセンシングデバイスとしてみた情報収集に注目が集まっている．これは，社会全体をシステムとして見立て，センサネットワークという形で社会のパフォーマンスを最大化することが可能となるからである．直接的な技術応用例としては，移動体間でセンシング情報を共有し，これまで難しかった完全自動運転の技術補完などが考えられる．

この完全自動運転により着目すると，高速で移動している車車間通信の実現や車の運転制御に関する情報を可能な限り低遅延，かつ正しく情報を伝える仕組みについて考える必要がある [2]．この問題を解決する方式として IEEE802.11p などの標準規格が提案されているが，各国の事情により無線帯域が異なるため，これを積極的

に利用することは難しい．そこで，これを代替する新しい無線方式について議論する必要がある．

3. 研究背景

既存の通信プロトコルである IEEE802.11ac を用いた通信実験によると，時速 20 キロメートル程度で同じ方向に移動している 2 つの自動車間の通信において約 10,000 パケットに数回程度のパケットロスが発生し，遅延時間が約 55 ミリ秒となる [3]．この性能では実システムへの応用は難しいと考えられる．

4. 無線通信

電波の周波数割り当ては各国によって異なり，日本での Intelligent Transport Systems (ITS, 高度道路交通システム) における車車間通信，路車間通信の周波数帯としては 5.8 GHz 帯，700 MHz 帯が割り当てられている [4]．移動車両向け無線通信規格として IEEE802.11p (2012 年策定) が存在するが，この規格は 5.9 GHz 帯 (5.850 – 5.925 GHz) を使用するため [5]，日本市場のガラパゴス化が懸念されている．

そこで本研究では，PC 等で利用されている無線の標準規格である IEEE802.11ac を利用し，移動体間においても高信頼な通信を実現させることを目標とする．IEEE802.11ac のうち，W56 (5.47 – 5.725 GHz) が屋外でも使用可能なチャンネルであるため，本研究では W56 を使用することとする．

5. 提案手法

IEEE802.11ac のプロトコルを使用し，無線通信（法的影響）およびプログラマやユーザからは意識なく利用できることが特徴である．具体的には，アプリケーション層と物理層の間の処理を FPGA が代替して行う．ここでは，通信パケットの冗長化やエラーチェックを行い，FPGA によるハードウェア化により低遅延かつ広帯域な

High Reliability Wireless Communication with FPGA
Yuji NAGAOKA[†] and Yoshiki YAMAGUCHI^{‡§}
Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 1-1-1 Ten-ou-dai Tsukuba Ibaraki 305-8573, Japan[†]
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba, 1-1-1 Ten-ou-dai Tsukuba Ibaraki, 305-8573, Japan[‡]
Center for Computational Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Ten-ou-dai, Tsukuba Ibaraki, 305-8577, Japan[§]

通信が期待できる。

提案するハードウェアシステムの概要を Figure 1 に示す。無線アクセスポイント (AP) と FPGA ボードを Ethernet で接続し、MAC 層での冗長化を行う。通信は n 重に冗長化され、届いたパケットは FPGA 内で多数決によりデータが確定する。

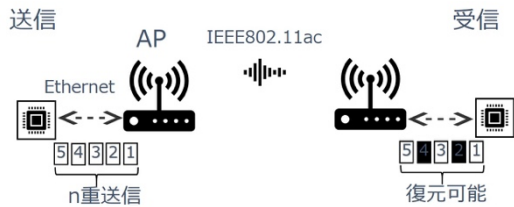


Figure 1 提案するハードウェアシステムの概要

6. 性能評価実験

実装した n 重冗長化回路の性能を評価するため、次のような実験を行った。

送信されるパケットのデータ部をシーケンシャルナンバーとして送信し、UDP パケットの到達率を調べた。今回の実験では、室内の遮蔽物がない場所において、かつ AP 間の距離を約 5 メートルに固定して実験を行い、ペイロードサイズを 1440 Bytes とした。

実験環境を Table 1 に示す。

Table 1 実験環境

FPGA ボード	
ボード名	Digilent 社 Nexys Video
搭載 FPGA	Xilinx 社 Artix-7 (XC7A200T-1SBG484C)
無線アクセスポイント (AP)	
型番	ASUS 社 RT-AC88U

7. 実験結果

実験結果を Figure 2 に示す。IEEE802.11ac ($n=1$), 提案手法 ($n=3$), 提案手法 ($n=5$), $n=5$ でパケットを 50 分割し送信する順番を変更した場合 ($n=5, 50$ 分割) の 4 通りで実験を行った結果を表している。ここで、データレートは冗長化後のデータレートを表しており、提案手法における実効データレートは図中の値の $1/n$ となる。

実験の結果、実効データレートがおおよそ 20 Mbps 以下であるとき、冗長化により再送が必要となる割合の低下が確認された。一方で、データレートが 100 Mbps より大きくなると冗長化により AP の処理性能限界に近づくため、バースト

エラーが多く発生するようになる。このため、再送が必要となる割合が高くなるが、送信する順番を変更することでバーストエラーを減少させ信頼性が向上することも確認できた。

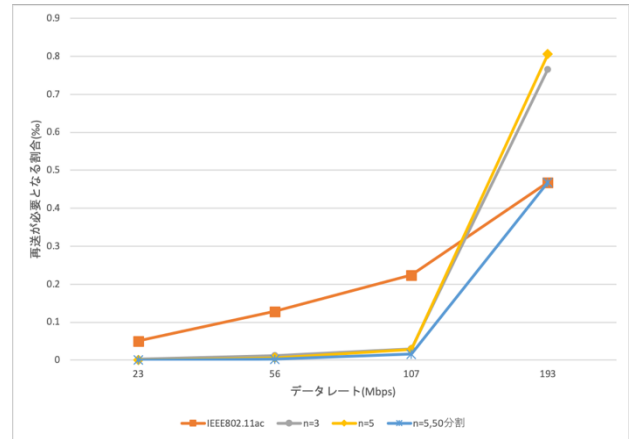


Figure 2 実験結果

8. まとめ

本研究では、FPGA を用いて通信パケットを冗長化する回路を実装し、室内の静止した状況において評価を行った。結果として、冗長化を行わずに IEEE802.11ac を使用するよりも信頼性が向上することを確認した。

今後、複数の自動車に本システムを実装して無線性能の評価を行うとともに、車車間アプリケーションとの連携に関しても研究開発を進めていく予定である。

謝辞

本研究は Xilinx 社より「Xilinx University Program」を通じ開発ソフトウェアの支援を受けておりここに謝意を表する。

参考文献

- ITS 無線システム委員会事務局 (総務省). ITS 無線システムの検討状況等, 2011 年 7 月. [Online] http://www.soumu.go.jp/main_content/000033757.pdf [アクセス日: 2018 年 11 月 12 日].
- ITS 情報通信システム推進会議. 5.8GHz 帯を用いた車車間通信システムの実験用ガイドライン, 2013 年 10 月 24 日 [Online] https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p32/ITSFORUMRC005V2_0.pdf [アクセス日: 2018 年 11 月 12 日].
- 山口佳樹. 車車間情報転送のフィジビリティスタディ, 「高度アクセシブル社会実現に向けた基盤研究」成果報告会, 2017 年 3 月.
- 総務省. 周波数割当計画, 2018 年 9 月 [Online] <http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/share/plan.htm> [アクセス日: 2018 年 11 月].
- 日本電気株式会社, ITS 無線システムの国際動向について, 2009 年 9 月 [Online] http://www.soumu.go.jp/main_content/000038244.pdf [アクセス日: 2018 年 11 月 12 日].