法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-01-15

金属板上電界通信における干渉波計測に関す る研究

河本, 大地 / Kawamoto, Daichi

(出版者 / Publisher) 法政大学大学院理工学研究科 (雑誌名 / Journal or Publication Title) 法政大学大学院紀要.理工学研究科編 (巻 / Volume) 64 (開始ページ / Start Page) 1 (終了ページ / End Page) 5 (発行年 / Year) 2023-03-24 (URL) https://doi.org/10.15002/00026393

金属板上電界通信における干渉波計測に関する研究

MEASUREMENT OF INTERFERENCE WAVE IN ELECTRIC FIELD COMMUNICATION ON LARGE METAL PLATE

河本 大地

Daichi Kawamoto 指導教員 品川満

法政大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻修士課程

We study electric field communication on a large metal plate. Since electric field communication can use metal as a transmission line, it is expected to be applied to things made of metal such as cars and robots.. Interference noises from environmental electronic equipment propagate along the large metal plate and disturb the communication. Therefore, the influence of the interference noise on communication performance should be examined. This paper reports on the interference measurement in electric field communication on a large metal plate with an electrically isolated measuring instrument.

Keywords : Electric field communication, Laser diode, Photo diode, Electro-magnetic field simulation, Car area network

1. 序論

今日まで自動車は国内外を問わず人の移動手段として 使用されている。様々な交通手段が存在する近年におい ても乗用車の普及は続いている。国内に存在する乗用車 の台数は増加傾向にあるため、今後も増加していくこと が考えられるが、環境への影響の配慮、特に温室効果ガス となる二酸化炭素の排出量の削減という大きな課題が存 在する[1]。しかし一方で、近年の安全性の追求と自動運 転技術搭載によって車載機器、部品は増加し、燃費の悪化 が想定される。現在の自動車にはヘッドライト、テールラ イト、事故防止や安全対策のアンチロックブレーキシス テム(ABS)、ドライブレコーダーとしての車載カメラ、自 動運転技術や追突防止のためのミリ波レーダーなどの機 器が搭載されている。そしてこれらの機器をつなぐのが ワイヤーハーネスと呼ばれる電線の束であり、制御する のが制御ユニットである。今後、自動運転技術や安全機能 の向上、さらには新たな機能の追加をする場合、それに伴 って部品とそれらをつなぐワイヤーハーネスの増加させ る必要がある。これによって自動車の重量が増加し、燃費 が悪化することで二酸化炭素の排出量が増加することが 考えられる。これらの問題を解決するために、先行研究で は電界通信技術[2]を自動車に適用したカーエリアネット ワークの実現可能性が議論されている[3]。電界通信は環 境からの干渉波の影響を受けやすい特徴があるため、実 際に電界通信を車に適用するにあたって送信機と受信機 の通信評価方法が問題となる。

本研究の目的は金属板上電界通信における、送信機と 受信機の通信評価方法の提案である。電界通信は周囲か らの干渉波による影響を受けるため、評価時にいつ干渉 波が存在したのかを知るためにスペクトルを観測できる 測定方法にする必要があると考えた。その際に通信に擾 乱を与えないようにするために光電気変換ツールを使用 し、その有用性と低擾乱かどうかについて調査を行い、提 案する測定方法の妥当性について論じていく。

2. 干渉波計測について

電界通信は容量結合によって成り立つ通信な為、通信 の信号と干渉を起こす干渉波の影響を受けやすい特徴が ある。干渉波が混入するモデルを図1に示す。



周囲の干渉波源と伝送路が容量結合したり、干渉波が 空間を通じて伝播したりするため干渉波の影響を受けや すい。これによって通信性能が劣化するため差動検出や フィルタなど、雑音対策は多く議論されてきた。スマート フォンや部屋の入室管理システムのリーダー、IoT対応製 品など、身の回りの物の多くのものが電波を発しており [4]、それらが干渉波となりうることから、それらが存在 しない場所で通信実験を行うことは困難だと考えられる。 そのため通信評価実験の際、干渉波の有無を確認し、信号 が正常か確認するためにスペクトルを観測する必要があ ると考えられる。またその際、通信を正しく評価するため に、スペクトルの測定は低擾乱である必要があると考え られる。そのため解決策として、新しい測定方法を提案す る。提案する測定系を図2に示す。



図2 提案する測定系

図 2 に示した測定方法の特徴は、送信機と受信機の通 信の傍らでスペクトルを測定する点である。これによっ て通信時のスペクトルを測定することができるため、通 信時に干渉波が混入しているかが分かるようになり、正 しい通信性能評価が可能となる。この測定系では送信機 と受信機の通信に対して擾乱を与えないようにするため に E/O-O/E プローブ[5]を使用している。E/O-O/E プロー ブについて図 3 に示す。



図 3 E/O-O/E プローブ

E/O-O/E プローブは電気信号を光信号に変換する E/O 部と、光信号を電気信号に変換する O/E 部、それら二つ をつなぐ光ファイバの三つのパーツによって構成されて いる。E/O 部にはレーザーダイオード(LD)、O/E 部にはフ オトダイオード(PD)が使用されている。それぞれアンプ が含まれている理由としては、電気信号を光信号に変換 する際に信号が減衰してしまうことと、微弱な信号を増 幅することによって測定器で計測できるようにするため である。E/O-O/E プローブを使用した場合の効果について 図4に示す。



図4 E/O-O/E プローブ使用による効果

E/O-O/E プローブの最大の特徴は E/O 部と O/E 部が 電気的に絶縁されていることである。E/O 部によって受 信電極に入力された電気信号が光信号に変換され、光フ ァイバを通って O/E 部に入力される。その光信号は O/E 部によって光信号から電気信号に変換され、測定器に入 力される。そのため E/O 部と O/E 部は電気的に絶縁され ていることから、図 4 のように測定系としては O/E 部と 測定器が無いものとして考えることができる。ゆえに E/O-O/E を使用することによって測定器による擾乱は無 いものと考えられる。測定時には図 4 に示したように電 極と E/O を接続して一体化する。そのため、実質的に伝 送路に電極と E/O 部が置かれている状態とみなせる。よ って通信評価と、通信に低擾乱なスペクトルの測定を同 時に行えると考えられる。

3. 金属板上の実測

本研究で使用した受信機は受信したパケット数をカウ ントする機能があるため、受信したパケット数からパケ ットエラーレートを計算し、通信性能の指標とした。パ ケットエラーレートの計算式を(1)に示す。

$$PER[\%] = \left(\frac{P_T - P_R}{P_T}\right) \tag{1}$$

 P_{T} は送信機から送信されたパケット数、 P_{R} は受信機で 受信されたパケット数である。本研究では一分間で一回 の測定とした。一分間に送信機から受信機に届くパケッ ト数は 46 個である。

金属板上の実測系を図5、ブロック図を図6に示す。



図5 金属板上電界通信の実験系



図6 金属板上電界通信のブロック図

図5、図6に示したように、大型金属板としてアルミ板を 用いた。またその寸法は、1200 mm×400 mm×0.2 mm である。この実験系は発泡ブロックによって床から絶縁 されている。送信機(Tx)と送信電極の間には可変アッテ ネータがつながれており、これによって送信出力を1dB 刻みで変更することができる。送信機の出力信号は、キャ リア周波数が13.56 MHz の BPSK であり、干渉波は 13.56 MHz の正弦波信号である。Tx からの BPSK 信号 は、受信電極を通じて受信機(Rx)によって受信された。そ して PC 上のソフトで、受信したパケット数とロスした パケット数を測定することができる。スペクトラムアナ ライザ(SPA)は E/O-O/E につながれており、信号と干渉 波のスペクトルを表示する。

まず図 5、図 6 から干渉波源が無い系において、E/O-O/E 使用による通信への擾乱について測定を行った。図 7 に結果を示す。



図 7 E/O-O/E 有無による PER 特性比較

図 7 から、E/O-O/E ありとなしでは PER にほぼ影響 がないことがわかる。よって E/O-O/E を使用することに よって SPA が測定系から電気的に絶縁されたため、通信 への擾乱がなくなったと考えられる。また、伝送路に置か れている電極一体型 E/O の電極による容量と E/O の入力 インピーダンスの抵抗は通信に対して与える影響は、無 視できるほど小さいか無いものだと考えられる。

次に図 5、図 6 の系において干渉波の有無で PER 特性 とパワースペクトルを測定した。PER 特性を図8に示す。



図8 干渉波有無による PER 特性比較

図 8 より、干渉波ありのほうが低いアッテネータの値 で PER が 100 %に達している。最もアッテネータの値の 差が大きい場合だと 8 dB 差が存在した。そのためこの通 信では干渉波によって通信可能な信号の強さが変化して いることが分かる。干渉波ありの場合の PER が 0 %のス ペクトルを図 9、PER が 100 %のスペクトルを図 10 に示 す。



図9 干渉波あり、PER =0%のスペクトル



図 10 干渉波あり、PER =100 %のスペクトル

図9には13.56 MHz に干渉波源の正弦波のスペクトル が見られないが、図10では信号強度がアッテネータによ って減衰したことで、13.56 MHz に正弦波のスペクトルが 確認された。そのため、提案した測定方法によって通信性 能の指標となる PER と干渉波の存在の確認のためのスペ クトルの両方を同時に測定することができた。よって提 案した測定方法を使用することによって通信性能と干渉 波の有無を同時に測定することができると考えられる。

4. 電磁界シミュレーション

実測結果の妥当性確認と、提案した測定方法が電界通信 で使用されることが想定される他の周波数においても使 用可能かどうか確認するために、ゲインの周波数特性の E/O-O/E プローブ有無依存をシミュレーションで調査し た。シミュレーションモデルを図 11 に示す。





E/O-O/E プローブの有無による伝送特性の周波数特性 の比較を行うために、受信電極 1 つの図 11(a)と受信電極 と E/O 一体型電極の図 11(b)についてシミュレーション を実施した。O/E と SPA は先に述べた通り、電気的に絶 縁されており測定系に存在しないものと考えられるため、 E/O 一体型電極のみモデルに反映させた。伝送路モデル は実測で使用したアルミ板と同サイズである。そのため 寸法は 1200 mm× 400 mm× 2 mm である。

シミュレーション結果はそれぞれ、送信電圧と受信電 圧の周波数軸で与えられる。これらの結果から、電圧利 得 *G*を算出した。電圧利得 *G*は式(2)で与えられる。

$$G = 20 \log_{10} \left(\frac{V_R}{V_T} \right) \tag{2}$$

ここで VA は送信電圧、VA は受信電圧である。E/O 一 体型電極有無の結果比較について図 12 に示す。



図12 E/O 一体型電極有無の周波数特性比較

図 12 より、E/O 一体型電極有無で周波数特性がおおむ ね一致した。さらに E/O 一体型電極無しの電界分布を図 13、E/O 一体型電極ありの電界分布を図 14 に示す。



図 13 E/O 一体型電極なし電界分布 (a)電極表示 (b)電極非表示



図 14 E/O 一体型電極あり電界分布 (a)電極表示 (b)電極非表示

図13より、E/O 一体型電極が存在する場合、受信機 に入る信号があるため、その周辺の電界が強くなってい ることが分かる。図14では受信機とE/O 一体型電極に 入る信号があるため、その周辺の電界が強くなっている ことが分かる。図13と図14を比較すると受信電極周辺 の電界に差異はないため、送信機と受信機の通信にE/O 一体型電極による影響は無いと考えられる。

実測の結果では E/O-O/E プローブの有無によって通

信への影響は存在しなかった。また電磁界シミュレーシ ョンでは E/O 一体型電極の有無による、受信機のゲイン の周波数特性を比較した結果、差異は生じなかった。電 界分布による比較でも、E/O 一体型電極の有無は受信機 周辺の電界に影響を及ぼさなかった。そのため本研究で 提案した、送信機と受信機の通信性能と干渉波の同時測 定の正当性は妥当であると考えられる。

5. 結論と今後の展望

本研究では、自動車への電界通信適用時に干渉波が問 題となることから、干渉波と通信性能の両方を測定する 方法について提案し、その妥当性の調査を目的とした。 アルミ板上の実測と電磁界シミュレーションにて、通信 系とは別に E/O-O/E プローブとつないだ受信電極によ るスペクトル、干渉波の測定が通信に影響を与えないこ とが分かった。そのため提案した測定方法の妥当性を確 認することができた。しかし実際にこの測定方法が必要 となるのは、実際に電界通信を車やロボットなどに適用 する場合の、送信機と受信機の通信実験時である。その 際問題となるのは、干渉波測定用の電極を設置する場所 である。本研究のアルミ板上では影響は無かったが、車 やロボットなどの電界通信の適用が見込まれるものは形 状が複雑である。そのため本研究で提案した測定方法を より実用的に近づけるためには、車やロボット上の通信 実験にて、電極位置によって通信に影響を与えるか否か 検証が必要だと考えられえる。

参考文献

- 1)2020年以降の取り組み:パリ協定 | 外務省
- T. G. Zimmerman, "Personal area networks: Near-field intrabody communication," IBM Syst. J., vol. 35, no. 3-4, pp. 609–617, 1996.
- 3)高橋直也,"電界通信のカーエリアネットワークへの適 用可能性に関する研究"法政大学大学院 修士論文
- 4) 非接触 IC カード技術 FeliCa SONY
- 5) K. Matsumoto, J. Katsuyama, R. Sugiyama, Y. Takizawa, S. Ishii, M. Shinagawa, Y. Kado "signal measurement system for intra-body communication using optical isolation method", International Society Oriental Medicine, Vol. 21, No. 5, pp. 614-620, 2014.