

SDRを用いた電界通信カーエリアネットワークにおける変復調通信の性能比較に関する研究

遠藤, 裕大 / Endo, Hiroto

(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)

65

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2024-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030735>

SDR を用いた電界通信カーエリアネットワークにおける 変復調通信の性能比較に関する研究

PERFORMANCE COMPARISON OF MODULATION COMMUNICATION IN ELECTRIC FIELD CAR AREA NETWORK USING SDR

遠藤裕大

Hirotō Endo

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

This paper introduced a performance comparison of modulation and demodulation communication in electric field car area networks using Software Defined Radio (SDR). We analyzed the performance comparison of ASK (Amplitude Shift Keying), BPSK (Binary Phase Shift Keying), and QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). The results showed that BPSK, QPSK, and ASK had the best performance in that order, and QPSK and ASK had almost the same performance. We analyzed the performance comparison based on carrier frequency. The results showed that the performance did not change depending on the carrier frequency.

Key Words : electric field, modulation, demodulation, carrier frequency

1. 序論

近年では自動車のセンサ増加などによる高性能化や電気自動車(EV)の普及率の増加によって自動車1台当たりのワイヤーハーネスが増加している[1]. ワイヤーハーネスとは自動車で使われる電線の束であり信号や情報を伝送する役割をもつ. ワイヤーハーネスは車内全体に張り巡らされており, ワイヤーハーネスが増加すると重量の増加による燃費の悪化や収納スペースの減少が見込まれることが考えられる. そこで問題を解決するために電界通信[2]を自動車に適用したカーエリアネットワークの実現を提案する. 電界通信をカーエリアネットワークに適用した時のイメージ図を図1に示す.

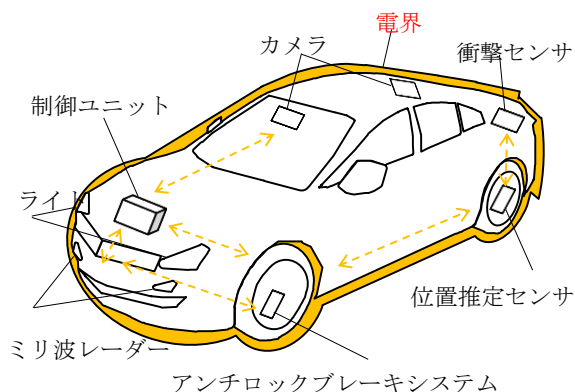


図1 電界カーエリアネットワーク

図1より, 電界通信ではワイヤーハーネスではなく自動車のボディを伝送路としているためワイヤーハーネスを削減した通信を行うことができる. この電界カーエリアネットワークの実現化に向け研究を行った.

先行研究では送信信号として正弦波を送り, その波形やパワースペクトルを測定しており, S/N比や周波数特性に関する研究を行っていた. 本研究では実現化に向けSDRを用いた変復調通信を行い, その可能性を論じた. 本研究のイメージ図を図2に示す.

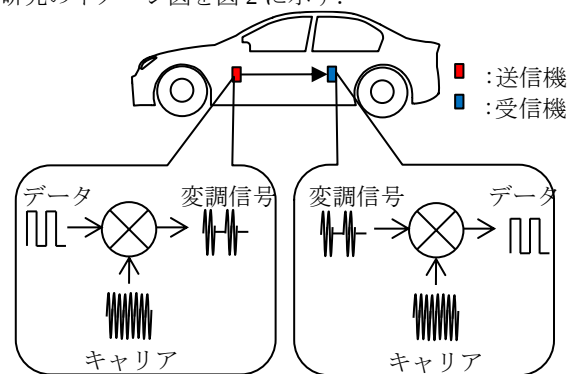


図2 本研究のイメージ図

今回, デジタル変調はASK, BPSK, QPSKの3種類を行いそれぞれ通信の可能性を論じ, 性能比較を行った. またキャリア周波数を変更した時のデジタル信号の波形の影響についても解析した.

2. 測定上の問題

(1) E/O-O/E

電界通信は容量結合によって成り立つ通信のため、通信の信号が外部環境による影響を受けやすいという特徴がある。そのため測定の際に実験系に不要な要素である測定器の影響を受けてしまうため正確な評価をすることができない。その解決方法として E/O-O/E 回路[3]を導入した。E/O-O/E 回路の回路図を図 3 に示す。



図 3 E/O-O/E 回路の回路図

E/O-O/E 回路は E/O 部と O/E 部、それをつなぐ光ファイバの 3つの要素によって構成されている。E/O 部では入力信号をアンプで増幅してレーザーダイオード(LD)で電気信号を光信号に変換している。その光信号を、光ファイバを介して O/E 部に伝送している。O/E 部ではフォトダイオード(PD)で光ファイバから受け取った光信号を電気信号に変換してアンプで増幅している。アンプを使用する理由としては電界通信の信号は微弱なため増幅することで信号を計測できるようにするためである。E/O-O/E 回路は、E/O 部では電気信号を光信号に変換して O/E 部では光信号を電気信号に変換していることから E/O 部と O/E 部が電気的に絶縁している。これによって E/O-O/E 回路を使用することで測定器の影響をなくすることが可能である。

(2) 測定器の影響の解析

実際に電界通信における測定器による信号の影響を解析した。実験で使用した送信機・受信機を図 4 に示す。

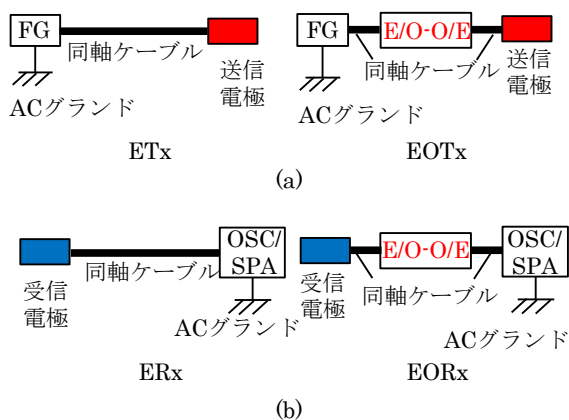


図 4 使用した送信機・受信機 (a)送信機 (b)受信機

図 4(a)より、ファンクションジェネレータ(FG), 同軸ケーブル, 電極で構成された送信機を ETx, FG, E/O-O/E, 同軸ケーブル, 電極で構成された送信機を EOTx と名付け、この 2つの送信機を使用した。図 4(b)よりオシロスコープかスペクトラムアナライザ(OSC/SPA), 同軸ケーブル, 電極で構成された受信機を ERx, オシロスコープかスペクトラムアナライザ(OSC/SPA), E/O-O/E, 同軸ケーブル, 電極で構成された受信機を EORx と名付け、この 2つの受信機を使用した。

次に実験系を図 5 に示す。

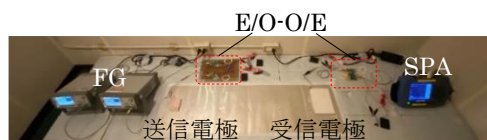


図 5 実験系

図 5 は EOTx-EORx を使用した時の実験系である。出力信号は BPSK 信号、ビットレートは 500 kbps, キャリア周波数は 6.75 MHz である。この系を元に、計 3 パターンの実験を行う。内容をまとめた表 1 に示す。

表 1 実験内容

実験パターン	EOTx-ERx	ETx-EORx	EOTx-EORx
E/O-O/E の場所	送信機	受信機	両方
解析内容	受信機側の影響	送信機側の影響	測定器の影響
測定内容	波形・スペクトル		

最初に EOTx-ERx の実験結果を図 6 に示す。

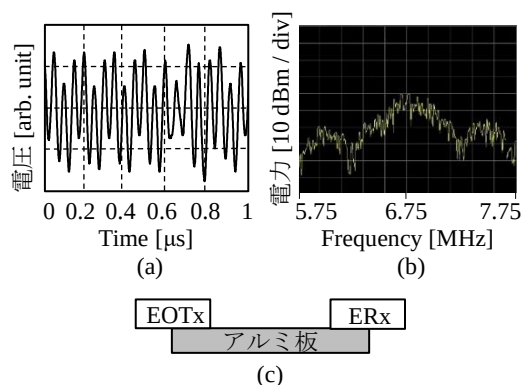


図 6 EOTx-ERx の実験結果

(a)波形 (b) スペクトル (c) 実験系ブロック図

図 6 より、BPSK 信号のスペクトルは観察できたが波形は観察できなかった。次に ETx-EORx の実験結果を図 7 に示す。

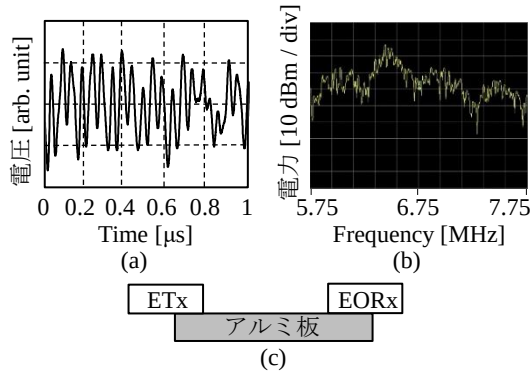


図7 ETx-EORxの実験結果

(a) 波形 (b) スペクトル (c) 実験系ブロック図

図7より、BPSK信号の波形とスペクトルが観察できなかった。最後にEOTx-EORxの実験結果を図8に示す。

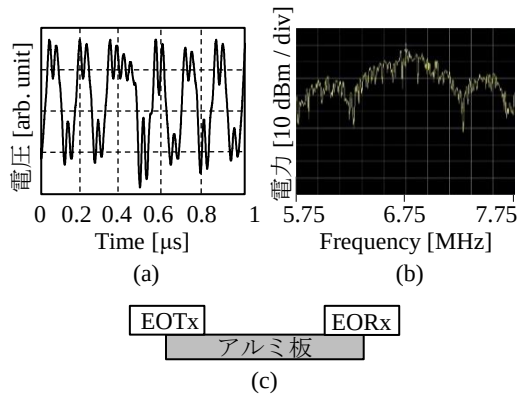


図8 EOTx-EORxの実験結果

(a) 波形 (b) スペクトル (c) 実験系ブロック図

図8より、BPSK信号の波形とスペクトルが観察できた。以上よりEOTx-ERxではBPSKのスペクトルを観察できたが、ETx-EORxではBPSKのスペクトルを観察できなかったことから測定器による影響は送信機の方が受信機よりも大きいと考えられる。また電界通信の実測において測定器を使用する際には送信機、受信機側の両方にE/O-O/Eが必要であると考えられる。

3. 変復調

(1) デジタル変調

デジタル変調の信号 $s(t)$ は以下の式で表される。

$$s(t) = A \cos \theta_k \cos(2\pi f_c t) - A \sin \theta_k \sin(2\pi f_c t) \quad (1)$$

信号 $s(t)$ は搬送波 $\cos(2\pi f_c t + \theta_k)$ を用いて変調している。
(1)の式を以下のように展開する。

$$\begin{aligned} s(t) &= \alpha_k \cos(2\pi f_c t) - \beta_k \sin(2\pi f_c t) \\ \alpha_k &= A \cos \theta_k \quad \beta_k = A \sin \theta_k \end{aligned} \quad (2)$$

となる。 $\alpha_k \cos(2\pi f_c t)$ は同相(I)信号、 $\beta_k \sin(2\pi f_c t)$ は直交(Q)信号と呼ばれている。これより信号 $s(t)$ は同相信号と直交信号の値を変えることで変調を表現している。値を変える部分は α_k 、 β_k でありこの値によって変調方式が決まり、送信データと関係している。また信号 $s(t)$ の周波数は f_c であることから搬送波の周波数がその信号の周波数になるため信号をさまざまな周波数帯に変えることが可能となる。

(2) 変調方式

本研究ではASK、BPSK、QPSKの3つの変調方式を行った。最初にASKとは搬送波の振幅の変化によりデータを表現する方式である。ASKのデータに対する α_k 、 β_k と変調信号 $s(t)$ の対応表を表2に示す。

表2 ASKのデータに対する α_k 、 β_k と信号 $s(t)$

データ	(α_k, β_k)	信号 $s(t)$
0	(0, 0)	0
1	(1, 0)	$\cos(2\pi f_c t)$

次にBPSKとは搬送波の振幅の変化によりデータを表現する方式であるPSKの1つで、位相が180度ずれた2つの搬送波を切り替えて送っている。BPSKのデータに対する α_k 、 β_k と変調信号 $s(t)$ の対応表を表3に示す。

表3 BPSKのデータに対する α_k 、 β_k と信号 $s(t)$

データ	(α_k, β_k)	信号 $s(t)$
0	(-1, 0)	$-\cos(2\pi f_c t)$
1	(1, 0)	$\cos(2\pi f_c t)$

最後にQPSKとはPSKの一つで、位相を90度ずつ離れた4つの搬送波を切り替えて送る方式である。同相成分と直交成分におけるBPSKでデータを表しているといえる。QPSKのデータに対する α_k 、 β_k と変調信号 $s(t)$ の対応表を表4に示す。

表4 QPSKのデータに対する α_k 、 β_k と信号 $s(t)$

データ	(α_k, β_k)	信号 $s(t)$
00	$(-\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}})$	$-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) - \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t)$
01	$(-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}})$	$-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t)$
10	$(\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}})$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) - \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t)$
11	$(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}})$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t)$

復調は変調信号から搬送波を取り出して同相信号と直交信号に分けてデータを取り出すことであり、変調方式

は様々あるが復調は全て同じ方式である．異常の変調・復調の考え方を元に GNU Radio で変調・復調プログラムを作成し，SDR を用いて変復調通信を行った．

4. 実験内容

本研究の実験系を図 9 に示す．

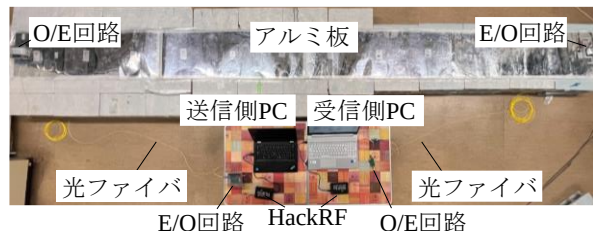


図 9 実験系

今回自動車のボディのモデルとしてアルミ板を使用した．今回送信する α_k , β_k を表 5 に示す．

表 5 送信する α_k , β_k

α_k	[1,0,1,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0]
β_k	[0,1,0,1,0,1,1,0,0,1,1,0,0,1,1]

α_k , β_k で 16bit のデータを送信している．これらを元に実験 1，実験 2 で 2 つの実験を行った．

(1) 実験 1

3 つの変調方式の性能比較を行った．キャリア周波数 13.56 MHz の ASK, BPSK, QPSK の復調波形を測定して比較を行った．ASK, BPSK は $\beta_k = 0$ であるので復調波形は α_k のみ比較した．

(2) 実験 2

キャリア周波数を変えたときの変調信号の性能の影響を解析した．変調方式を BPSK に限定して，キャリア周波数 10 MHz, 13.56 MHz, 15 MHz の 3 つの復調波形を測定して比較を行った．

5. 実験結果

(1) 実験 1

ASK の復調結果，BPSK の復調結果，QPSK の復調結果を図 10 に示す．

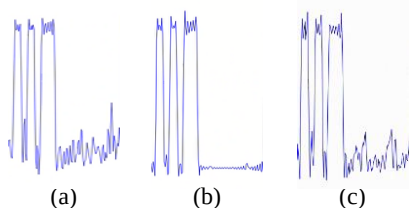


図 10 復調結果 (a)ASK (b)BPSK (c)QPSK

図 10 より，波形から性能比較は BPSK>QPSK $\geq$ ASK となった．また QPSK は α_k に加えて β_k のデータも持っており， β_k に関しては BPSK と同様な波形となった．BPSK と QPSK で性能が同等にならなかった理由は信号のゲインの調整を誤ったことが考えられる．

(2) 実験 2

キャリア周波数が 10MHz, 13.56MHz, 15MHz の復調結果を図 11 に示す．

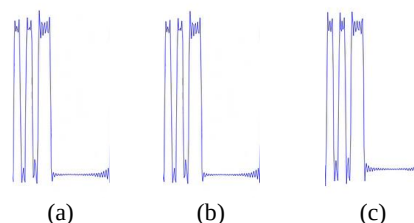


図 11 復調結果 (a)10 MHz (b)13.56 MHz (c)15 MHz

図 11 より，キャリア周波数の変更による性能の影響は受けなかったことがわかった．

6. 結論と今後の展望

本研究では自動車に電界通信技術を用いたカーエリアネットワークの実現化に向け，SDR を用いた変復調通信の実験を行い変復調通信の可能性について論じ，性能比較を行った．実験 1 では ASK, BPSK, QPSK の 3 つの変調方式の性能比較の実験を行った．結果として BPSK>QPSK $\geq$ ASK の順で雑音レベルが強いことが分かった．2 つ目はキャリア周波数を変えたときの変調信号の性能の影響解析の実験を行った．結果としてキャリア周波数の変更による性能の影響は受けなかったことがわかった．今後はキャリア周波数の変更による性能の影響は受けないという結果から，SDR を 4 つ使った 2 対 2 通信の実験を行うことでの多重化通信の可能性可否を議論できると考えられる．また通信可否の考察は復調結果の波形から行っているため，さらなる実現化に向けビットエラーレート測定などデータ通信解析を行う必要があると考えられる．

参考文献

- 1) International Energy Agency, “Global EV Outlook 2023”, P15
- 2) T. G. Zimmerman, “Personal area networks: Near-field intrabody communication,” IBM Syst. J., vol. 35, no. 3-4, pp. 609–617, 1996.
- 3) K. Matsumoto, J. Katsuyama, R. Sugiyama, Y. Takizawa, S. Seita, M. Shinagawa, Y. Kado, “Signal measurement system for intra-body communication using optical isolation method,” Optical Review, Volume 21, Issue 5, pp.614-620, 2014.