

レーダ・通信融合のための Zadoff-Chu 系列を用いた PMCW レーダにおける相関検出特性の評価

2020SC040 近藤 陸渡

指導教員：梅比良 正弘

1 まえがき

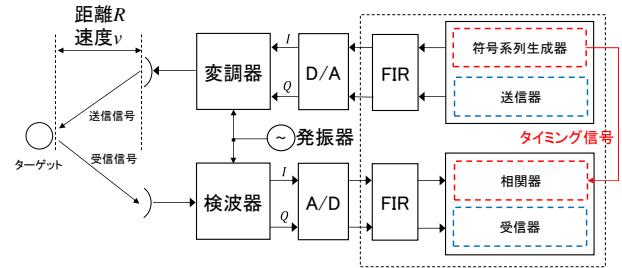
自動運転や高度運転支援システム ADAS(Advanced Driver-Assistance Systems)のセンサーとして利用されているレーダの機能と V2X(Vehicle to X)通信に用いる通信の機能を合わせ持つ、レーダ・通信融合システムが注目されている。これを実現する手法として、理想的な自己相関特性をもつ Zadoff-Chu 系列を用いた PMCW レーダが提案されている[1][2]。本研究では、Zadoff-Chu 系列を用いた PMCW レーダにおける相関検出特性改善のために CP(Cyclic Prefix)を付加した PMCW レーダを提案し、直交変復調回路における振幅・位相誤差が相関検出特性に与える影響を計算機シミュレーションにより評価した。

2 レーダ・通信融合システムの構成

ミリ波帯無線 LAN の規格である IEEE802.11ad/ay で用いられているシングルキャリア変調方式をベースとしたレーダ・通信融合システムの構成例を図 1 に示す。図よりわかるように、PMCW レーダは通信用の送受信回路と変復調回路を共用でき、デジタル信号処理部においてレーダ信号処理と通信処理を切り替えることで、通信とレーダの両機能を実現できる。PMCW レーダでは、Zadoff-Chu 系列を変調信号として直交変調器で変調し、帯域外漏洩電力を低減するため送信フィルタで帯域制限して送信する。ターゲットからの反射信号を受信し、直交検波器で同相・直交成分を検出した後、受信フィルタで不要波、雑音を低減し、デジタル相関器で送信符号系列とサンプリングした受信信号との相関値を計算し、背景雑音より一定値以上の閾値を基準としてピーク検出を行い、ターゲットの検出・距離測定を行う。

3 CP 付加 PMCW レーダ信号の構成

送受信フィルタによる符号間干渉がある場合にも受信信号の巡回性を保つために CP を付加した PMCW レーダを提案する。図 2 に CP 付加 PMCW レーダ信号の構成を示す。符号系列の後尾の M シンボル ($N - M + 1 \sim N$) を Cyclic Prefix として先頭に、先頭の M シンボル ($1 \sim M$) を Cyclic Postfix として後尾に付加する。ここで N は符号系列シンボル長、 M は CP シンボル長、 T_{CP} は CP 周期、 T_w は系列周期、 T_c はシンボル周期である。図 2 のように PMCW 信号は送信タイミングより時間 τ だけ遅延して受信される。2 番目の送信符号系列の先頭を時間基準として N 点の受信信号を取り出し、受信信号と送信



A/D : A/D変換器 D/A : D/A変換器 FIR : FIRフィルタ

図 1 レーダ・通信融合システムの構成例

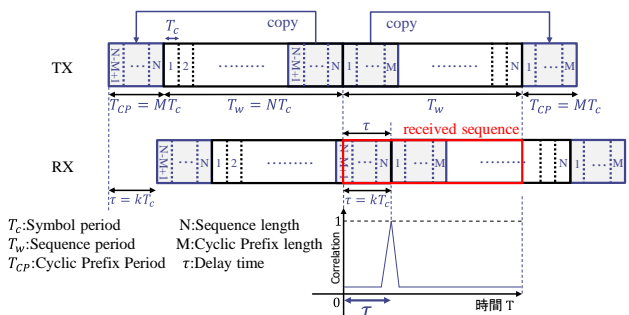


図 2 CP 付加 PMCW レーダ信号の構成

Zadoff-Chu 系列 $ZC_u(n)$ ($n = 1 \sim N$) を k ($k = 0 \sim N - 1$) だけ巡回遅延した $ZC_u(n + k)$ ($k = 0 \sim N - 1$) との複素相関値を計算する。この時、遅延時間が $\tau \cong kT_c$ 、すなわち k シンボル巡回遅延した符号系列との相関値がピークを持つため、光速を c とすると距離 R は次式で与えられる。

$$R = c\tau/2 = ckT_c/2 \quad (1)$$

T_c はシンボル周期であり、本 PMCW レーダの最大検知距離は $(N - 1)cT_c/2$ 、距離分解能は $cT_c/2$ で与えられる。距離分解能の向上には T_c を小さくする必要があるが、周波数帯域は拡大する。

4 相関検出特性の評価

PMCW レーダでは送信符号系列と受信信号の相関値 $X(k)$ を、 $k = 0 \sim N - 1$ について N 回計算し、ピークを持つ k を検出して、ターゲットと距離を検出する。実際の PMCW レーダでは送受信フィルタによる符号間干渉、ハードウェア不完全性等のため、 $k \neq 0$ の時に相関値は 0 にならず、 $k = 0$ の時も 1 とならない。そこで、ハードウェア不完全性が相関検出特性に与える影響を計算機シミュレーションにより評価した。

4.1 シミュレーションモデル

図 3 に相関検出特性を評価するためのシミュレーション

