

# JMA-3300 レーダー信号処理の開発

## Development of Radar Signal Processing in JMA-3300

野 尻 大 晴  
Tomoharu Nojiri

### 要 旨

レーダー信号処理は、レーダーを使用する海況が多様多様であるため、その状況にあった処理変更が必要である。当社では、新たに開発したSoCを使用し、多種多様な海況に対応したレーダー信号処理技術を開発した。本信号処理では、SoC内蔵のDSPを使ったソフトウェア信号処理を採用し、上位機種に迫る探知性能を実現した。本信号処理を使用した小型船舶用レーダーJMA-3300シリーズは、小型船舶クラスとして高性能でありながら装置の小型化を達成した。

### Abstract

Since the ocean conditions vary where radar is used, it is necessary to change the radar signal processing according to the conditions. JRC has developed radar signal processing which is suited to various ocean conditions, using a newly developed SoC. This signal processing, with the software signal processing technology that uses a newly developed SoC built-in DSP, has developed the detecting performance that closes to our high-tier model. The JMA-3300 Series Radar targeted for small size vessel, which employs this signal processing technologies, has achieved both downsize and high-performance without tradeoff.

## 1. まえがき

船舶用レーダーの信号処理は、多種多様な海況に対応するため、柔軟な処理選択や変更が必要である。しかし、処理量の増大と処理時間の短縮のため、信号処理部はソフトウェアではなくゲートアレイに代表されるハードウェアで開発されてきた。ところが、近年、各種信号処理を行う専用のプロセッサであるDSPが登場し、また、メモリに関しても低価格、大容量化してきた。そこで今回、小型船舶用レーダーJMA-3300シリーズの開発において、SoC内蔵のDSPを使ってソフトウェアによるレーダー信号処理を開発した。本稿では、船舶用レーダーの動作原理を紹介し、ソフトウェアにおける信号処理の処理性能や本開発で行った改善点について報告する。

## 2. 装置概要

開発したJMA-3300シリーズで使用する指示機NCD-2182は、Xバンドパルス方式のレーダーを利用した空中線と接続される装置である。表1に主要諸元を示し、図1に本装置の外観を示す。

本指示機は当社開発のSoCを内蔵し、そのSoC内部のDSPにて実行するソフトウェア信号処理を開発したことで、多種多様な海況に対応できる機能を実現している。また、LCD表示部右側にあるマルチツマミとLCD表示部下側にあるソフトキーの組み合わせにより、通常使用する種々の操作が可能となっている。以上の特長により、従来の小型船舶用レーダー以上にある多項目のメニューを備えながら、従来機器よりも簡単な操作を実現している。

表 1 NCD-2182型指示機主要諸元

Table 1 Specification of the Display unit NCD-2182

外形寸法	328 (W) × 310 (H) × 130.5 (D) mm
質量	約5kg
接続可能空中線	NKE-2043, NKE-2063, NKE-2063HS, NKE-2103, NKE-2103HS
距離範囲	0.125, 0.25, 0.5, 0.75, 1.5, 3, 6, 12, 24, 48, 72NM
表示モード	Head-up, North-up, Course-up
最小探知性能	40m以下
距離分解能	30m以下
表示器	10.4インチカラーLCD
AIS	搭載, 最大50目標
他船追尾システム	搭載, 最大10目標



図 1 NCD-2182型指示機  
Fig. 1 Display unit NCD-2182

### 3. 動作原理

#### 3.1 レーダー装置

本装置は短いパルス状に変調された電磁波を空中線から照射し、陸地や船などで反射した電磁波を同空中線で受信し、その空中線から送られてくる受信信号を画像にして表示する装置である<sup>(1)</sup>。反射電磁波は、図2に示すとおり、対象物だけでなく海面による反射も含んでいる。また、他レーダーの電磁波や、雨雲などの反射電磁波を含む場合もある。本装置はこれらの不要な情報を除去し、使用者が求める船の位置を判別できるように信号処理を行い、画像として表示する。

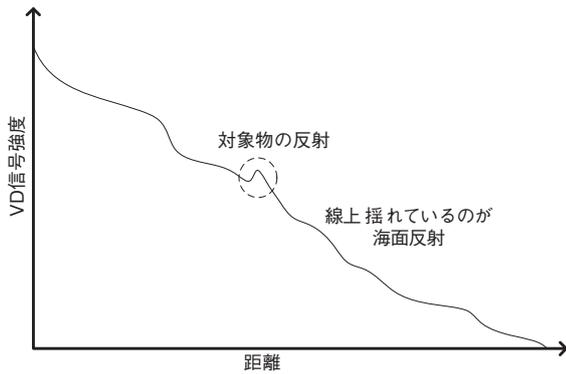


図2 反射電磁波の一例  
Fig. 2 The sketch of reflected waves

本装置の構成を図3に示す。空中線から受信信号としてビデオ信号 (VD) が本装置へ送られ、SoC内蔵のアナログ・デジタル変換器 (ADC) でサンプリングされる。そのほかに、送信トリガ信号 (TI)、アンテナ回転信号 (BP) と回転基準信号 (BZ) も本装置に送られ、SoCに入力される。各信号はSoCの信号処理プロセッサ (DSP) 2基で分割して処理され、その処理結果をLCDに表示させる。

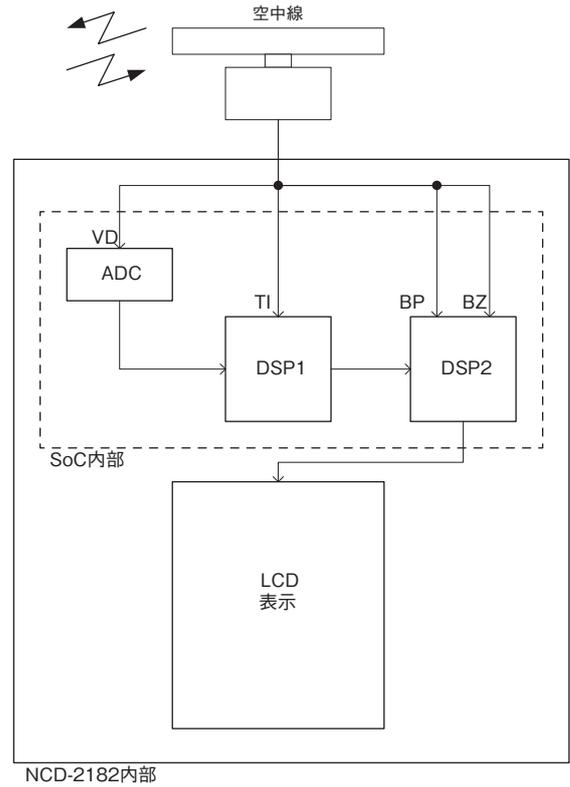


図3 NCD-2182内部構成  
Fig. 3 Structure of NCD-2182

#### 3.2 極座標系信号処理

船舶用レーダー指示機におけるレーダー信号処理は、極座標系信号処理と直行座標系信号処理に大別される。極座標系信号処理とは、図4に示す、送信トリガ (送信1) から次送信トリガ (送信2) までの受信VD信号に対する信号処理を指す。

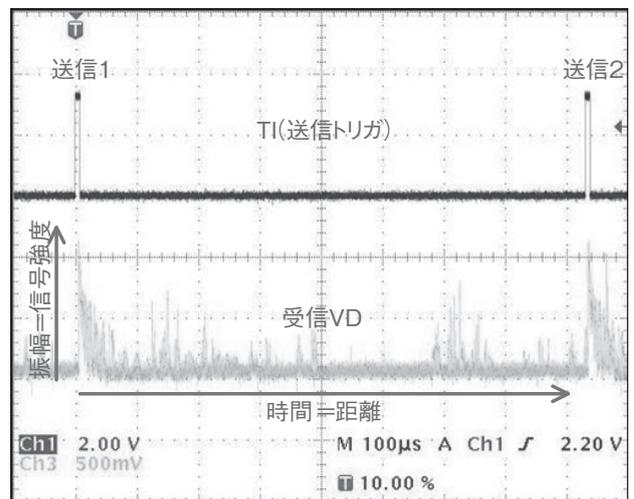


図4 TIとVDの関係  
Fig. 4 Relation between TI and VD

上記TI信号間隔内で行う処理フローを図5に示す。ゲイン調整はAD変換された受信信号の強度を調整する機能である。各種ノイズ除去は、海面反射、雨雪反射、他のレーダーの送信波など不要波の除去を行う。これら信号処理は、TI信号から次TI信号までの間にすべての処理が終了しなければならない。TI信号から次のTI信号までの間は、送信繰返し間隔として表される。

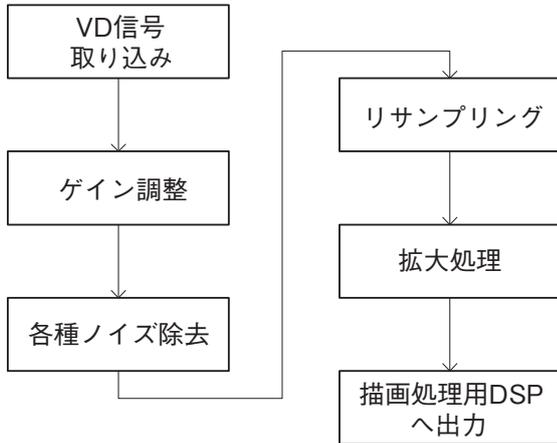


図5 極座標系信号処理

Fig. 5 Polar coordinate system signal processing in the Radar

### 3.3 直交座標系信号処理

レーダー信号処理の結果は、直交座標系への変換処理を行い、LCDに表示させる。これを直交座標系信号処理という。直交座標系信号処理の結果を図6に示す。また、本処理にて行う処理フローを図7に示す。



図6 直交座標系信号処理

Fig. 6 Cartesian coordinate system signal processing

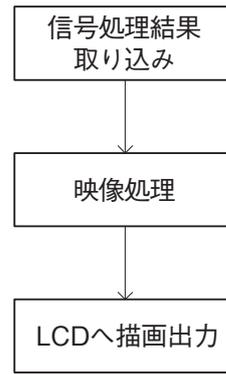


図7 直交座標系信号処理フロー図

Fig. 7 Flow diagram of the Cartesian coordinate system signal processing

映像処理は、自船位置（GPSによる絶対位置またはCOG/SOGの移動量計算による相対位置）と船首方位（コンパス情報）を使用して1回転前に描画したデータとの相関処理を行う。この処理により、レーダー信号処理でのノイズ消し残しを除去することができる。直交座標系信号処理は、映像処理データを直交座標系に描画する。以上の一連の処理は、BP信号毎に行われるため、次BP信号までに処理が終了していなければならない。なお、BP信号の周期は回転速度として表わされる。

## 4. 極座標系信号処理時間

従来、レーダー信号処理はゲートアレイで行ってきたが、本開発において、ソフトウェアによる信号処理を実現した。実現に向けて大きな障害と考えられたのは処理時間である。極座標系信号処理では送信繰返し間隔内に必ず処理が終了することが条件となる。そこで、送信繰返し周波数毎の最大処理時間を計測した。計測結果を表2に示す。表2により送信繰返し間隔内で必ず処理が終了していることが確認された。

表2 極座標系信号処理時間計測結果

Table 2 Results of polar coordinate system signal processing time

送信繰返し周波数 [Hz]	送信繰返し間隔 [ $\mu$ sec]	処理時間計測結果 [ $\mu$ sec]	占有率 [%]
4000	250	213	85.4
2250	444	397	89.3
1700	588	466	79.2
1200	833	592	71.1
750	1333	845	63.4
650	1538	1097	71.4

なお、表2において占有率が異なるのは、送信繰返し周波数毎にサンプリング数を変えており、処理時間はこのサンプリング数に依存するためである。

5. 直交座標系信号処理時間

本レーダーに接続される空中線に高速回転タイプ（最大48rpm）がラインアップされており、直交座標系信号処理が48rpm以下で破綻しないことが求められる。しかし、実際の洋上においては、風に煽られる場合や、船の傾きにより、瞬間的に48rpmを超える場合が存在する。そのため、直交座標系信号処理は、48rpm以上でも破綻しないことが求められる。表3は直交座標系信号処理時間を計測した結果を示す。

表3 直交座標系信号処理時間計測結果

Table 3 Results of Cartesian coordinate system signal processing time

処理時間計測結果 [μ sec]	最大回転速度 [rpm]
480	61

計測の結果、61rpm以下で直交座標系信号処理が破綻しないことが確認され、空中線が風に煽られた場合や自船が傾いた場合でも十分に対応できることを示している。

6. 拡大処理の改善

拡大処理とは、中心付近にある物標を均等に見せる処理であるが、従来の処理方法は本来の目的である中心付近の物標を均等に見せることが十分でなかった。本レーダーでは、距離毎に拡大率を可変させて、できる限り自然な映り方になるように改善した。図8は拡大率を変化させた場合の映り方を示している。(a)は拡大処理を無効にした状態で、(b)、(c)、(d)の順に大きくなることわかる。

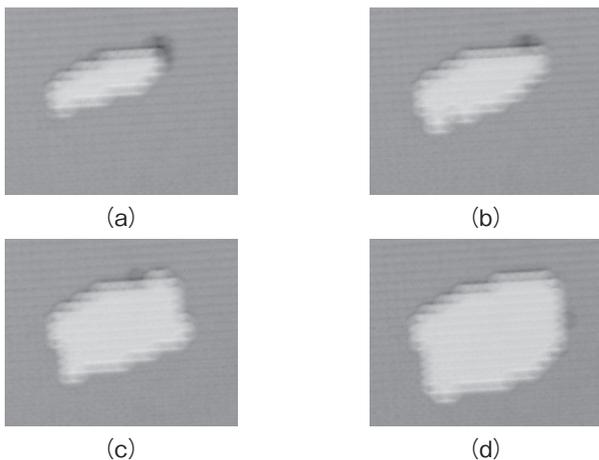


図8 拡大処理

Fig. 8 Expansion processing

7. 海面反射除去処理の改善

本レーダーは、近距離を監視する用途を想定しており、そこで重要となるのは海面反射除去である。本レーダーにおいては、海面反射除去カーブは複数パターンを本体に内蔵し選択可能である。さらにUSBメモリを使って入れ替える事が可能となっている。また、初期設定されているカーブは、上位機種(JMA-5200MK2, JMA-5300MK2)で実績のあるカーブを採用している。

8. あとがき

今回開発したソフトウェアによる信号処理が、船舶用レーダーの用途として十分な性能を持っていることを示した。ソフトウェアであるため、ゲートアレイでの構成に比べて容易に小型軽量化を進められる。また、採用するCPUによっては省電力化も見込める。以上の特長から、特にワークポート、プレジャーボートのようにブリッジ内が狭くても設置でき、船舶のバッテリー消費を抑えることが可能である。

最後に、開発に当たりご指導、ご協力を頂いた関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- (1) 吉田 孝：“改訂レーダ技術”，電気情報通信学会，第5版，2005

用語一覧

- AIS: Automatic Identification System (自動船舶識別装置)
- COG: Course Over the Ground (対地針路)
- DSP: Digital Signal Processor (信号処理に特化したプロセッサ)
- GPS: Global Positioning System (全地球測位システム)
- LCD: Liquid Crystal Display (液晶ディスプレイ)
- SoC: System-on-a-chip (1つの半導体チップ上に必要とされる一連の機能を集積したマイクロコントローラ)
- SOG: Speed Over the Ground (対地速度)