

무인 궤도 차량의 안전성 제고를 위한 UWB 레이더 기반 적응형 CFAR 알고리즘

UWB RADAR based Modified Adaptive CFAR Algorithm for improved safety of Personal Rapid Transit

홍 석 곤*
(Seok-gon Hong)

김 백 현**
(Baek-hyun Kim)

정 락 교***
(Rag-gyo Jeong)

곽 경 섭****
(Kyung-sup Kwak)

요 약

전기를 이용한 신 교통 시스템인 무인궤도차량은 도심교통 완화, 관광지 교통지원, 공항 및 고속철도와 거점지역을 연결하는 목적을 가지고 있다. 무인궤도차량의 무인 운용에 따른 안전성과 신뢰성 보장을 위해 안전장치의 개발을 필요로 하고 있다. UWB 레이더는 낮은 전력소모와 낮은 간섭 및 높은 정밀도의 장점을 가지고 있어 무인궤도차량에 적합한 시스템이다. 본 논문에서는 무인궤도차량의 안전한 운행을 위한 필수 요소인 레이더에 적합하고, 다양한 잡음환경에서 개선된 성능을 보이는 적응형 CFAR 알고리즘을 제안하였다. 제안된 CFAR 알고리즘은 Mean Level 계열의 CFAR 알고리즘에 비하여 균질한 잡음상황과 다중표적상황에서 개선된 성능을 보였으며, 기존의 VI-CFAR 이 가진 다중 표적 상황에서 성능저하를 개선하였다.

Abstract

Personal Rapid Transit(PRT) is a new unmanned transportation system using electricity. The purpose of the PRT is relieving the congestion of city traffic and connecting between inner city and airport, high-speed railroad. PRT requires to develop devices for the guarantee of safety and reliability. PRT as the mean of rail transportation must be equipped with control system for front rail sensing. Ultra Wide Band(UWB) radar system is suitable for PRT's detection because it has the advantage of low power consumption, low interference and high resolution. In this paper, an improved adaptive Constant False Alarm Rate(CFAR) algorithm is proposed and studied in various noise environments. The proposed algorithm improves performance in various noise environments compared to the Mean Level CFAR algorithms and other adaptive CFAR algorithms.

Key words : PRT, UWB, Vehicular RADAR, CFAR, Variability Index CFAR

* 주저자 : 인하대학교 정보통신공학과 석사과정

** 공저자 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

*** 공저자 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 책임연구원

**** 공저자 및 교신저자 : 인하대학교 정보통신공학과 석좌교수

† 논문접수일 : 2012년 11월 5일

† 논문심사일 : 2012년 12월 28일

† 게재확정일 : 2013년 1월 3일

I. 서 론

무인제도차량(PRT: Personal Rapid Transit)은 4~6인이 승차할 수 있는 소형차량으로 별도의 독자적인 궤도를 통하여 목적지 까지 정차하지 않고 운행하는 신 도시교통 시스템이다. PRT는 운전자 없이 전자동으로 운행되며, 탑승한 고객의 수요와 목적에 맞게 능동적으로 운행되는 “On-demand” 방식으로 작동 한다. 총 연장 거리는 1~10km, 시간당·방향당 약 3,000~10,000명 정도를 수송할 수 있으며 차량 당 4~6명을 운반한다. PRT의 가이드 웨이와 정류장은 다른 대중 교통시스템 보다 작아 초기 건설비용과 운영비용이 최소화되며, 그린에너지를 사용하는 무공해 시스템으로 건설부터 운영단계까지 환경을 생각하는 친환경 시스템이다. 21세기로 접어들면서 간선과 지선 위주의 대중교통시스템은 높은 건설비용과 규모의 한계에 도달하여 PRT가 새로운 대안 시스템으로 부상하고 있으며, PRT의 무인운용에 따른 안전성과 신뢰성을 보장하기 위하여 전력 제어, 주행 제어 및 관제 시스템에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다[1].

PRT의 안전성을 높이기 위한 방안으로 레이더 센서의 장착을 고려할 수 있으며, 최근 차량용 충돌 방지 시스템으로 활발히 응용되고 있는 레이더는 소형 승용차와 사양이 유사한 PRT에도 적용이 가능할 것이다. 레이더의 성능은 하드웨어의 사양 이외에도 작동 주파수와 대역폭에 따라 달라지며 내부 신호처리장치의 알고리즘 설계에 따라서 달라지기도 한다. 본 논문에서는 레이더의 구성요소 중 신호처리 알고리즘에 초점을 두었다. 제안된 알고리즘은 PRT 주행 시 전방 충돌을 방지하기 위한 레이더의 탐지 알고리즘으로 개선된 적응형 일정오경보율(CFAR: Constant False Alarm Rate) 알고리즘이다. PRT는 정해진 궤도를 따라 움직이지만 실내·외를 오가는 차량주변의 주행환경은 수시로 바뀌므로 이에 따른 송수신신호의 잡음환경 또한 일정하지 않다. 기존의 단일 CFAR 알고리즘들은 대부분 특정한 잡음 환경에서만 강점을 보이고 있어 PRT에 적합하지 않다. 그러므로 다양한 환경에서 적합한 적

응형 CFAR 알고리즘의 개발이 필요하며, 이를 통해서 PRT의 안전성을 제고해야 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성 되어있다. II장에서는 제안된 알고리즘이 적용될 PRT용 초광대역(UWB: Ultra Wide Band) 레이더에 대해서 설명하였다. III장에서는 기존에 연구되었던 여러 가지 CFAR 알고리즘에 대해서 설명하고 개선된 CFAR 알고리즘을 제안하였다. IV장에서는 제안된 CFAR 알고리즘의 성능을 분석하였다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. PRT용 UWB 레이더

UWB 무선통신 기술은 극히 짧은 펄스의 에너지와 통신을 위해 복잡한 펄스열을 사용하는 통신의 새로운 분야이다. UWB 신호의 특성 구분은 중심 주파수에 대한 대역폭의 비율이 25% 이상인 무선 전송 기술이다. 중심 주파수의 1%보다 적게 사용하는 협대역 통신에 비해서 훨씬 넓은 대역폭을 사용하는 것이 주요 특징이다. UWB는 아주 짧은 임펄스 신호로 제한된 전력밀도에 맞는 수십 피코초, 나노 초의 신호 주기를 가진다. 이때의 신호는 매우 넓은 수 GHz 대역폭에 걸쳐 스펙트럼을 분산시키고 매우 낮은 전력과 잡음의 신호는 송·수신하는 동안 기존의 협대역 신호와의 간섭을 주지 않고 주파수에 관계없이 통신을 할 수 있게 된다. 한정된 주파수 자원을 공유하고 전파간섭을 최소화할 수 있기 때문에 UWB에 대한 관심이 높아지고 있다[2]. 그러한 차량용 UWB 시스템을 PRT용 레이더에 적용하였을 때 여러 가지 이득을 불러올 것으로 예상된다.

차량용 UWB 시스템의 경우 시간 영역에서 아주 짧은 임펄스를 사용함으로써 좁은 대역의 FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave)나 Stepped-FMCW 보다 많은 정보 이용과 다중 경로에 대한 페이딩 현상을 줄이게 되며 송·수신 간의 격리 특성이 우수한 강점이 있다. 그리고 아주 짧은 펄스파를 이용하여 신호가 송·수신되기 때문에 움직이는 물체에 대한 정확한 시간에 대한 정보를 얻을

수 있는 장점도 가지게 된다. UWB 기술은 현재 차량용, 군사용 고해상도 레이더로서 응용되고 있으며 PRT의 안전운행을 위해 필요한 시스템이다.

PRT용 UWB레이더는 에너지 절약 측면에서도 강점을 가지고 있다. 소모 전력이 휴대폰과 무선랜에 비해서 1/100 정도로 매우 적은 전력으로 작동되므로 전기로 작동하는 PRT에서 에너지 절약의 효과가 있다. 친환경 교통 시스템으로서 설계된 PRT에 적합한 장치라고 할 수 있다.

다른 협대역 통신 시스템들과 간섭 없이 동작하는 특성을 가진 UWB 시스템은 PRT에서 이루어질 중앙관제시스템과의 통신 및 승객들의 무선 통신망 사용에 있어 간섭을 주지 않는다.

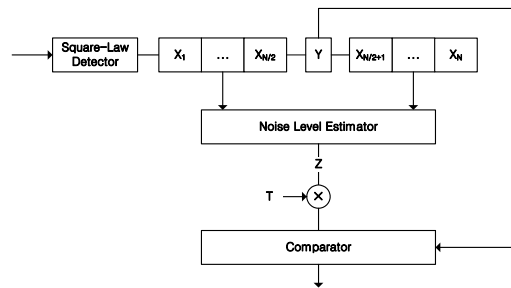
차량용 충돌방지 전방 감시 레이더 시스템은 30m 이상의 차량을 검출할 수 있어야 한다. 최근에는 24GHz와 77GHz 대역의 제품이 상용화 되어 승용차에 탑재되고 있다. 측정 목표 차량과의 거리가 멀어질 경우 기본적으로 고출력이 요구 되는데 기술적 구현성과 경제성을 고려하여 FMCW 방식이 가장 널리 사용되고 있다[3].

PRT의 경우에는 승객의 요구에 따라 작동하는 특성을 가지고 있으나 기본적으로는 중앙 관제 시스템에서 시격을 두어 앞차와의 간격을 유지하게 되며, 설계 평균 속도는 40km/h로 예상된다. 운전 시격과 운행속도를 고려하여 앞서 출발한 차량과의 충돌을 방지하기 위한 원거리 레이더 보다는 30~40m 정도의 전방을 감시하고 돌발 상황에 대비할 수 있는 근거리 레이더가 적합하다. 현재 상용화된 77GHz 대역 레이더는 대역폭이 너무 좁아 해상도가 떨어져 근거리용으로 적합하지 않다. 대역폭이 클수록 분해능이 좋아지게 되는데 현재는 대역폭 4GHz의 24GHz UWB 방식이 사용되고 있지만 유럽에서는 전파 천문 주파수의 교란을 고려하여 2013년 6월까지로 제한하고 있다. 일본에서도 2016년 12월까지로 24GHz의 사용을 제한하려고 한다. 이에 대한 대응책으로 최근에는 26GHz와 79GHz 대역 UWB 레이더의 연구가 진행되고 있다[4]. 최근 연구동향과 PRT의 주행 환경을 고려하여 이에 적합한 레이더의 개발이 필요하다.

III. CFAR 알고리즘

1. CFAR Detector

CFAR 탐지기는 <그림 1>과 같이 구성되어 있다. 레이더의 수신부를 통과한 신호가 자승 검파기(Square law detector)를 지나게 되면 특정한 알고리즘 연산 과정을 거치게 된다. 이를 통하여 결정된 문턱(Threshold) 값을 표적신호를 구분해 내는 중요한 요소이다.



<그림 1> CFAR 블록도
<Fig. 1> CFAR block diagram

CFAR의 수신 신호는 식 (1)과 같이 두 가지로 가정한다.

$$x(t) = \begin{cases} n(t) \\ s(t) + n(t) \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $x(t)$ 는 수신신호이며, $s(t)$ 는 표적신호, $n(t)$ 는 잡음신호를 나타낸다. 첫 번째의 경우는 표적으로부터 반사된 신호 없이 잡음만 존재하는 경우이고, 두 번째는 표적신호와 잡음신호의 합을 표현한 것이다. 잡음은 평균이 0, 분산이 1인 백색 가우시안 잡음이고, 수신신호가 자승 검파기를 거치게 되면 지수분포를 따르게 된다. 자승 검파기를 거친 신호의 확률밀도함수는 식(2)와 같다.

$$f_X(x) = \frac{1}{2\lambda} \exp\left(-\frac{x}{2\lambda}\right) \quad (2)$$

여기서 λ 는 표적의 존재여부에 따라 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\lambda = \begin{cases} \mu & H_0 \text{ (표적 없음)} \\ \mu(1+S) & H_1 \text{ (표적 있음)} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 H_0 는 잡음만 존재하는 경우 H_1 은 잡음과 표적이 모두 존재하는 경우를 나타낸 것이다. μ 는 잡음의 평균 전력, S 는 표적신호 존재시의 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)이다. 식 (2)와 식 (3)으로부터 잡음의 평균 전력을 알고 있는 이상적인 경우의 검출 확률 및 오경보 확률은 식 (4), 식 (5)와 같이 지수의 형태로 표현할 수 있다.

$$P_{fa}^{opt} = P[Y > T \cdot Z | H_0] = \exp\left(-\frac{TZ}{2\mu}\right) \quad (4)$$

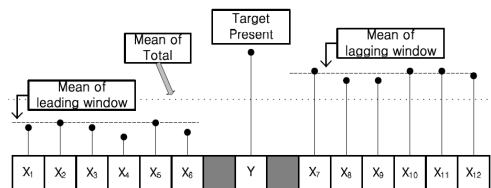
$$P_d^{opt} = P[Y > T \cdot Z | H_1] = \exp\left(-\frac{TZ}{2\mu(1+S)}\right) \quad (5)$$

식(4)로부터 고정 오경보율을 이용하면 문턱값 $T \cdot Z$ 를 구할 수 있으며, 식 (4)와 식 (5)로부터 이상적인 경우의 검출 확률과 오경보율 $P_d^{opt} = (P_{fa}^{opt})^{1/(1+S)}$ 의 관계를 가지는 것을 알 수 있다. 하지만 잡음의 평균 전력은 알려져 있지 않기 때문에 CFAR 프로세서에서 잡음추정을 통해서 Z 값을 결정해야 한다. 오경보율을 유지하는 중요한 인자인 스케일 상수 T 를 결정된 Z 에 곱하게 되면 원하는 문턱 값을 구할 수 있고, 표적신호가 존재하는 테스트 셀(Cell under test, CUT)인 Y 의 크기를 비교하여 최종적으로 판단할 수 있다[5].

가장 일반적으로 사용되는 CA-CFAR (Cell Averaging-CFAR)은 테스트 셀을 기준으로 양옆의 참조 셀(Reference cell) 윈도우의 평균을 구하여 문턱 값을 결정하는 알고리즘이며 간단한 구조와 낮은 계산량으로 인해 가장 일반적으로 사용된다. 잡음 신호의 세기가 일정한 균질한 환경(Homogeneous Environment)에서는 매우 좋은 성능을 보이나 클러터(Clutter) 신호 값의 크기 변동이 급격하게 일어나는 클러터 경계환경(Clutter Edge Environment)에서

는 잡음의 크기가 낮게 추정되어 오경보율이 급격히 증가할 수 있고, 간섭 신호나 표적신호가 여러 개 존재하는 다중표적상황(Multi-target Environment)에서는 잡음의 크기가 높게 추정되어 탐지 확률의 감쇄를 일으키는 단점이 있다. 여기서 클러터는 레이더에서 지면, 해면, 빗방울 등으로부터 발생하는 불필요한 반사파에 의해 나타나는 반사 장애를 일컫는 말이다.

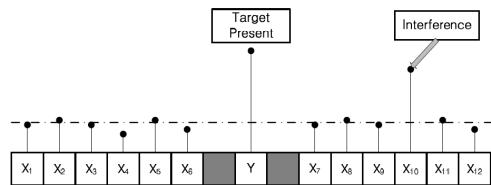
CA-CFAR이 클러터 경계부근에서의 오경보율이 급격히 증가하는 것을 막기 위해서 GO-CFAR (Greatest Of-CFAR)이 제안되었다[5]. GO-CFAR의 원리는 양쪽의 셀 집합의 평균을 비교하여 값이 큰 쪽을 Z 로 선택하는 것이다. <그림 2>에 클러터 경계 환경을 나타내었다.



<그림 2> 클러터 경계 환경
<Fig.2> Clutter Edge Environment

GO-CFAR은 클러터 경계 환경에서 오경보율을 낮추는 장점을 보이지만 표적이 여러 개 이거나 간섭 신호가 특정 윈도우에서 강하게 나타날 때에는 오히려 CA-CFAR보다 성능이 저하되는 단점이 있다.

CA-CFAR이 다중 표적이 존재할 때의 탐지확률이 감소하는 단점을 보완하기 위해서는 SO-CFAR (Smallest Of-CFAR)이 제안되었다[5]. <그림 3>을 통해서 다중 표적 환경을 나타내었다.



<그림 3> 다중 표적 환경
<Fig. 3> Multiple target Environment

SO-CFAR의 원리는 양쪽의 셀 집합의 평균을 비교하여 값이 작은 쪽을 Z로 선택하는 것이다. SO-CFAR은 다중 표적 환경에서 CA-/GO-CFAR 보다 좋은 성능을 보이지만 클러터 경계 환경에서는 오경보율이 증가하는 단점을 보인다. 그리고 간섭 표적이 양쪽 셀에 모두 존재하면 문턱 값이 증가하여 탐지확률이 떨어지는 단점이 있다.

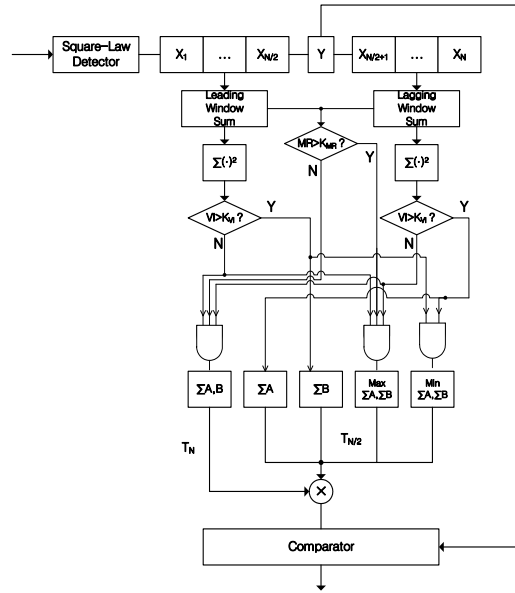
CA-/GO-/SO-CFAR은 각각 평균을 이용하여 문턱 값을 구한다고 하여 ML(Mean Level)계열의 CFAR 이라고도 한다.

앞서 설명한 ML계열의 CFAR 알고리즘들의 단점을 개선하기 위해서 제안된 알고리즘 중에 하나가 OS-CFAR(Ordered Statistic-CFAR) 이다[6]. N개의 참조 셀을 크기 값이 큰 순서대로 정렬된 후 k번째 데이터가 Z로 선택되어 문턱 값을 결정하게 된다. OS-CFAR의 성능은 몇 번째 셀을 Z로 선택하는가에 따라서 달라진다. 보통 윈도우의 개수가 N개일 경우 $0.7 \cdot N$ 을 받을만한 순서의 셀을 선택하는 것이 성능이 좋다[7]. ML계열의 알고리즘들 보다 다중표적환경에서 뛰어난 성능을 보이는 장점이 있지만, 데이터를 정렬하기 위한 연산량이 많아 결과를 도출해 내는 시간이 길어지는 단점이 있다. 그리고 표적이 특정 개수 이상으로 많아질 경우에 성능 저하를 보인다.

2. VI-CFAR

ML계열 CFAR에서 상황에 따른 각 알고리즘의 성능 간에 트레이드오프(Trade-off)가 존재하기 때문에 이를 극복하기 위한 또 다른 방법으로 VI-CFAR (Variability Index- CFAR) 이 제안되었다[8]. 이는 윈도우내의 셀에 포함된 잡음의 상황에 따라 능동적으로 작동하는 적응형 알고리즘으로 <그림 4>와 같은 구조를 가진다.

VI-CFAR에서 윈도우를 테스트 셀을 기준으로 양쪽으로 나누는 단계까지는 ML계열의 CFAR과 같으며, 각각 윈도우의 평균과 분산을 이용하여 VI(Variability Index)와 MR(Mean Ratio)를 구한 값들을 이용하여 문턱 값을 결정하기 위한 윈도우를



<그림 4> VI-CFAR 블록도
<Fig. 4> VI-CFAR block diagram

선택하게 된다.

VI는 통계량이 가지는 물리적 형태의 변화를 추정하는 파라미터이며 추정되는 평균값 ($\hat{\mu}$)과 분산 ($\hat{\sigma}$)의 함수로 식 (6)으로 표현한다.

$$VI = 1 + \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\mu}^2} \tag{6}$$

분산 값이 증가 할수록 VI 값이 증가할 것이며, 이는 윈도우 내의 셀 신호에 간섭이나 잡음 신호가 존재하여 값의 변화가 존재한다는 것이다. VI의 크기를 고정된 변동지수 상수 (Variability Index constant, K_{VI})와 비교하면 간섭 신호 포함 여부를 알 수 있다[9].

$$\begin{cases} VI \geq K_{VI}, \text{가변성} \\ VI < K_{VI}, \text{고정성} \end{cases} \tag{7}$$

MR은 식 (8)를 통해서 구할 수 있으며, 이 값은 윈도우 간의 평균을 비교하는 것으로 클러터의 경

계 여부를 알 수 있는 판단 기준이 된다.

$$MR = \frac{\sum_{i=1}^{N/2} X_i}{\sum_{i=N/2+1}^N X_i} \quad (8)$$

MR에 대한 고정된 평균 비율(K_{MR})과 비교하여 클러터 경계의 존재 여부를 식 (9)으로 판단하게 된다[9].

$$\begin{cases} K_{MR}^{-1} \leq MR \leq K_{MR}, & \text{동일한 평균} \\ \text{포함되지 않은 경우, 상이한 평균} \end{cases} \quad (9)$$

VI-CFAR에서 스케일 상수 T는 상황에 따라 식 (10)와 식 (11)으로 결정할 수 있다.

$$T_N = (P_{fa})^{-N} - 1 \quad (10)$$

$$T_{N/2} = (P_{fa})^{-N/2} - 1 \quad (11)$$

<표 1>은 VI-CFAR에서 VI와 MR을 이용하여 문턱 값을 결정하는 기준에 대해서 정리한 것이다.

<표 1> 적응형 문턱값 생성 기준 요약(1)
<Table 1> Adaptive Threshold Generation Summary (1)

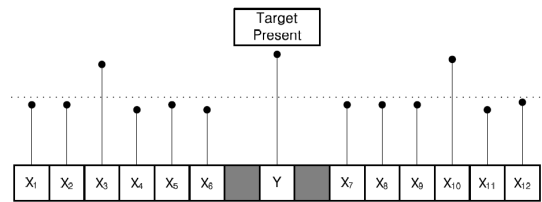
Leading Window variable?	Lagging Window variable?	Different Means?	VI-CFAR Adaptive threshold	equivalent CFAR
No	No	No	$T_N \cdot \sum_{AB}$	CA-
No	No	Yes	$T_{N/2} \cdot \max(\sum_{A'}, \sum_{B'})$	GO-
Yes	No	-	$T_{N/2} \cdot \sum_B$	CA-
No	Yes	-	$T_{N/2} \cdot \sum_A$	CA-
Yes	Yes	-	$T_{N/2} \cdot \min(\sum_{A'}, \sum_{B'})$	SO-

양쪽 윈도우를 모두 선택하는 CA-CFAR을 제외하고 나머지 네 가지의 경우에는 한쪽 윈도우만 선택하기 때문에 식 (11)에 의한 스케일 상수 T_{VT} 를 윈도우의 합에 곱해주어 문턱 값을 결정할 수 있다. 균질한 상황에서는 CA-CFAR을 선택하며, 전향 윈도우 (Leading Window)와 후향 윈도우 (Lagging

Window) 중 어느 한쪽에서만 변화가 심하다고 판단 될 경우 ($VT \geq K_{VT}$)에는 CA-CFAR처럼 작동하되 스케일 상수는 GO- / SO-CFAR과 같은 스케일 상수로 식 (11)을 사용한다. 간섭신호를 포함할 때는 SO-CFAR과 같은 문턱 값, 클러터 경계상황이라고 판단 될 때는 GO-CFAR과 같은 문턱 값을 사용함으로써 다양한 잡음환경에서 능동적으로 작동할 수 있는 적응형 CFAR 알고리즘 이라고 할 수 있다.

3. OSVI-CFAR

적응형 일정오경보율 알고리즘인 VI-CFAR의 장점은 균질한 잡음 환경과 다중 표적 환경, 클러터 경계 환경에서 능동적으로 문턱 값을 결정하여 각각의 상황에서 ML계열의 CFAR보다 개선된 성능을 보이는 것이다. 그러나 VI-CFAR의 단점은 양쪽 윈도우에 간섭신호가 모두 존재할 경우 발생한다. 이 경우를 <그림 5>에 제시하였다.



<그림 5> 간섭 신호가 양쪽 모두 존재하는 경우
<Fig. 5> Interference on both side windows

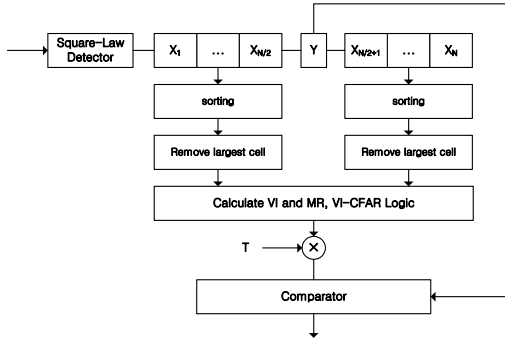
이 경우에는 VI값을 비교하는 과정에서 양쪽 모두 VI값이 높다고 판단될 것이다. 결과적으로 SO-CFAR과 같은 문턱 값으로 결정되어 검출 확률이 낮아지게 된다.

이러한 VI-CFAR의 단점을 보완하기 위해서 OSVI-CFAR (Ordered Statistic Variability Index-CFAR)이 제안 되었다[10].

OSVI-CFAR은 전향 윈도우와 후향 윈도우를 각각 크기가 작은 것부터 순서대로 정렬을 시킨 후 가장 크기가 큰 셀(cell)을 제거한다. 간섭이 존재할 경우 간섭이 제거가 되는 것이다. 제거 작업을 거친 윈도우

우들은 이후 기존의 VI-CFAR과 같은 순서를 거쳐 <표 1>의 조건에 따라 문턱 값을 결정하게 된다.

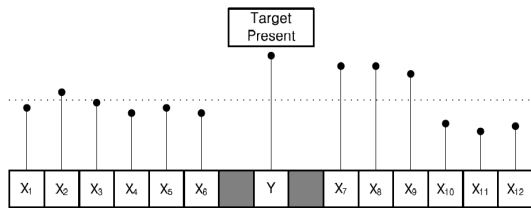
OSVI-CFAR의 단점은 크기가 가장 큰 셀을 제거했을 때 윈도우 전체의 평균이 낮아짐으로 인해서 클러스터 경계환경에서 오경보율이 증가하게 되는 것이다. OSVI-CFAR의 블록도를 <그림 6>에 나타내었다.



<그림 6> OSVI-CFAR 블록도
<Fig. 6> OSVI-CFAR Block diagram

4. 제안된 CFAR 알고리즘 (1)

VI-CFAR은 전향 윈도우와 후향 윈도우의 전체적인 평균과 분산을 이용하기 때문에 신호의 국부적인 변화는 구분해 내지 못하는 단점이 있다. 이러한 상황을 <그림 7>로 표현하였다.



<그림 7> 국부적인 클러스터 경계 환경
<Fig.7> Local Clutter Edge Environment

<그림 7>에서 전향 윈도우와 후향 윈도우의 평균은 대략 같기 때문에 VI-CFAR 프로세서는 신호의 분포에 클러스터 경계가 없다고 판단할 것이다. 그리고 VI값을 비교하는 과정에서 후향 윈도우의 분

산이 크다고 판단하게 되면 전향 윈도우를 문턱 값으로 정하게 된다. 최종적으로 알고리즘의 성능은 CA-CFAR과 같아 질 것이며, 문턱 값이 비교적 낮게 형성되어 오경보율이 증가할 것이다.

이 절에서 제안하는 알고리즘은 VI-CFAR기반이며 테스트 셀에 근접한 신호들을 한 번 더 분석하여 판단 기준을 추가함으로써 VI-CFAR의 오작동을 예방하는데 목적을 두었다. 판단 기준이 기존의 VI-CFAR에서 추가 되었으므로 SSVI-CFAR (Strict Standard VI-CFAR)이라고 정의하겠다. SSVI-CFAR의 원리는 테스트 셀 주변의 신호의 변화를 측정하기 위해 각 윈도우의 절반의 개수에 해당하는 평균을 비교하여 그 비율에 따라 문턱 값을 판단하는 것이다. 이를 반 평균율(Half Mean Ratio, HMR)이라고 정의하며 HMR은 식 (12)로 구할 수 있다.

$$HMR = \frac{\sum_{i=N/2-N/4}^{N/2} X_i}{\sum_{i=N/2+1}^{N-N/4} X_i}, i = 1, 2, 3 \dots N \quad (12)$$

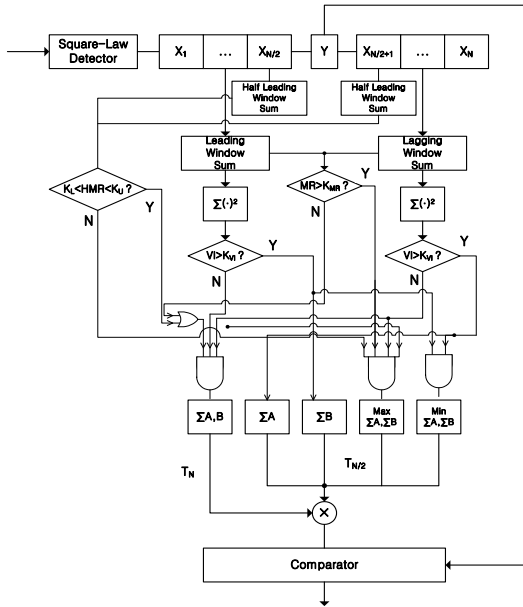
$$\begin{cases} K_L \leq HMR \leq K_U, \text{ 동일한 평균} \\ \text{포함되지 않은 경우, 상이한 평균} \end{cases} \quad (13)$$

식 (13)에 의해 HMR의 범위 포함 여부에 따라서 문턱 값을 결정하게 되고, K_L 과 K_U 의 아래첨자는 각각 하한치(Lower bound)와 상한치(Upper bound)의 약자이며, 얻고자 하는 반 평균율(Desired Half Mean rate)이 $r\%$ 일 때 식 (14)과 같이 구한다.

$$\begin{cases} K_L = 1 - \frac{r}{100} \\ K_U = 1 + \frac{r}{100} \end{cases} \quad (14)$$

SSVI-CFAR의 블록도는 <그림 8>과 같으며, <표 2>는 SSVI-CFAR에서 VI와 MR 및 HMR을 이용하여 문턱 값을 결정하는 기준에 대해서 정리한 것이다. 조건에 따라 스케일 상수를 선택하고 곱해

주는 과정은 VI-CFAR과 동일하다.



〈그림 8〉 제안된 SSVI-CFAR 블록도
 〈Fig. 8〉 Proposed SSVI-CFAR block diagram

〈표 2〉 적응형 문턱값 생성 기준 요약(2)
 〈Table 2〉 Adaptive Threshold Generation Summary (2)

Leading Window variable?	Lagging Window variable?	Different Means?/ Different Half Means?	VI-CFAR Adaptive threshold	equivalent CFAR
No	No	Y Y	$T_N \cdot \Sigma_{AB}$	CA-
No	No	N&N	$T_{N/2} \cdot \max(\Sigma_{A'})$	GO-
Yes	No	-	$T_{N/2} \cdot \Sigma_B$	CA-
No	Yes	-	$T_{N/2} \cdot \Sigma_A$	CA-
Yes	Yes	-	$T_{N/2} \cdot \min(\Sigma_{A'})$	SO-

5. 제안된 CFAR 알고리즘 (2)

두 번째로 제안하는 알고리즘은 OSVI-CFAR과 SSVI-CFAR의 결합 형태이다. 표적신호 주변에서의 신호크기 변화를 측정하기 위해서 간섭신호가 제거되기 이전의 수신신호로부터 HMR 값을 구해서 저

장해 놓은 후에 OSVI-CFAR을 실행하여 문턱값을 결정하는 방식이다. 문턱 값 생성기준은 <표 2>를 이용하게 된다. 본 논문에서 이 알고리즘은 SSOSVI-CFAR(Strict Standard Ordered Statistic VI-CFAR) 이라고 정의하겠다. 제안된 알고리즘의 성능은 다음 장에서 분석하였다.

IV. 알고리즘 성능분석 및 검토

이 장에서는 제안된 알고리즘들을 MATLAB 시뮬레이션을 통하여 기존에 연구된 CFAR 들과 비교해 보았다. 비교대상은 CA-/ GO-/ SO-/ OS-/ VI-/ OSVI-CFAR 이다. 성능평가의 환경은 균질한 잡음 환경과 클러터 경계 환경 그리고 다중표적환경에서는 표적의 수를 1개부터 3개까지 늘리며 시뮬레이션 하였다.

균질한 잡음 환경과 다중표적환경에서의 시뮬레이션에서 성능평가의 기준은 최적의 탐지성능을 보이는 Neyman-Pearson(N-P) 모델이다. Neyman - Pearson Criterion 이용한 N-P 모델은 주어진 고정 오경보율 (P_{fa})을 만족시키는 탐지 문턱값을 구하고 결정된 탐지 문턱값을 제한조건으로 탐지확률(P_d)을 최대화시키는 방법으로 구한 결과이므로 주어진 환경에서 얻을 수 있는 이상적인 결과이기 때문에 평가 기준으로 적합하다. 그래서 각 CFAR 알고리즘이 N-P 모델과 같은 탐지확률일 때의 SNR 차이를 비교하여 CFAR 알고리즘의 손실(CFAR Loss)을 측정하였다[7]. CFAR 손실은 식 (15)로 구할 수 있다.

$$CFAR\ Loss = SNR_{CFAR}(P_d) - SNR_{NP}(P_d) \quad (15)$$

클러터 경계 환경에서는 각 알고리즘들의 오경보율을 측정하여 평가하였고, 마지막으로 레이더 알고리즘의 연산속도 또한 중요한 평가 요소이므로 제안된 알고리즘들과 VI-CFAR 계열의 알고리즘 수행시간을 측정하고 비교하였다.

사용된 파라미터들은 다음과 같다. 참조 셀 개수는 16개 (N=16) 로 전향 윈도우와 후향 윈도우에

각각 8개씩 배분 된다. 표적이 존재하는 테스트 셀 (Cell under test, CUT)은 1개, 테스트 셀의 가드셀 (Guard Cell)은 양쪽에 1개씩 추가하여 총 2개이며, 총 19개의 셀에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 알고리즘의 시도횟수는 10^5 이며, 고정 오경보율은 10^{-4} 이고, OS-CFAR에서 선택되는 참조 셀은 성능이 가장 좋다고 알려진 $0.7 \cdot N$ 에서 반올림한 값인 12번째로 설정하였다. VI- SSVI-CFAR의 K_{VI} 는 4.76, K_{MR} 은 1.806으로 설정하였다[11]. 제안된 알고리즘에서 HMR의 경계 값인 K_U, K_L 의 기준을 구하기 위한 원하는 평균비율은 40%으로 식 (16)으로 구하면 각각 1.4, 0.6 이다. 잡음전력(Noise Power)는 1dB 이며, 클러터 대 잡음비(Clutter to Noise Ratio, CNR)은 10dB이다. 모든 시뮬레이션에서 수신신호는 자승 검파기를 거친 지수분포를 갖는 신호이며 Swerling 1, 2 모델을 가정하였다. 신호의 발생은 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 수행하였다[7].

수행 시간 측정을 위한 실행환경은 Intel® Core™ i5-2500 CPU@ 3.30GHz 3.29GHz, 4G RAM의 사양을 갖는 PC이며, 소프트웨어는 MATLAB 7.8.0 (32bit용) 이다. MATLAB 에서 수행시간을 측정하는 함수를 사용하여 각 알고리즘을 10회 씩 실행하여 평균 수행시간을 구하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터들을 <표 3>에 정리하였다.

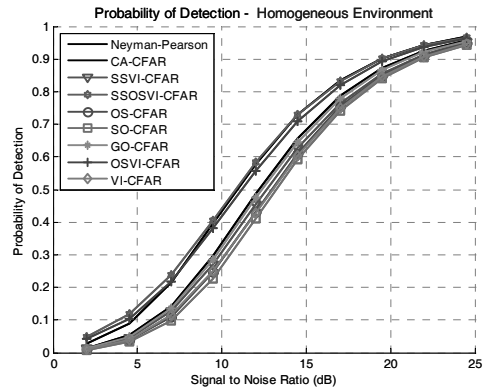
<표 3> 시뮬레이션 파라미터
<Table 3> Simulation Parameter

Parameter	Value
Reference cell (N)	16
Cell under test (CUT)	1
Number of Guard Cell	2=1+1
Desired false alarm rate (P_{fa})	10^{-4}
Number of trials	10^5
OS-CFAR k-th cell	round($0.7 \cdot 16$)=12
K_{VI}	4.76
K_{MR}	1.806
Desired mean rate	40%
K_U	1.4
K_L	0.6
Noise power	1dB
Clutter to noise ratio (CNR)	10dB

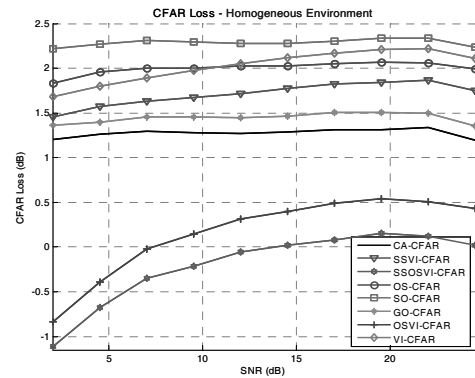
1. 균질한 잡음 환경에서의 성능분석

균질한 잡음에서의 각 알고리즘의 SNR에 따른 검출확률을 <그림 9>에 나타내었다. 균질한 잡음 환경에서는 모든 알고리즘들이 성능저하가 크지 않음을 확인할 수 있다.

CFAR 손실은 <그림 10>에 나타내었다. 균질한 환경에서는 SSOSVI-CFAR이 N-P 모델과 거의 일치하는 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 균질한 환경에서 우수한 성능을 보이는 것으로 알려진 CA-CFAR에 비하여 약 1.2 dB 이상의 성능향상을 보인다. OSVI-CFAR에 비해서는 약 0.4 dB 이상의 성능향상을 보인다.



<그림 9> 균질한 잡음 환경에서의 탐지 확률
<Fig. 9> Detection Probability of Homogeneous Environment

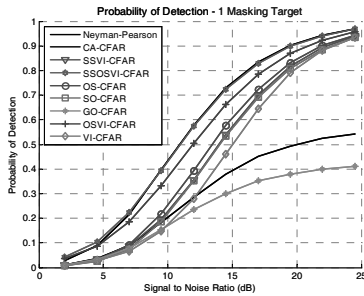


<그림 10> 균질한 잡음 환경에서의 CFAR 손실
<Fig. 10> CFAR Loss of Homogeneous Environment

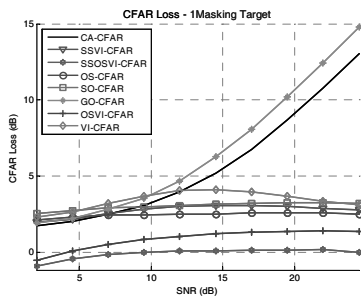
2. 다중표적 신호 환경에서의 성능분석

1) 1-마스킹 표적

다중표적신호 환경 중에 테스트 셀 이외에 1개의 표적 신호가 더 존재하거나 테스트 셀 만큼의 크기에 해당하는 간섭신호가 존재하는 상황을 가정하여 시뮬레이션 하였다. 특정 셀에서 간섭이나 표적의 신호가 강하게 존재하는 환경을 마스킹(Masking)이 존재한다고 표현한다[7]. 테스트 셀은 현재 10번 셀에 존재하고 있으며 간섭신호는 5번 셀에 존재하고 있다. 각 알고리즘의 탐지 확률을 <그림 11>에 나타내었고, 손실은 <그림 12>에 나타내었다.



<그림 11> 1-마스킹 표적 환경에서의 탐지확률
<Fig. 11> Detection Probability of one-Masking Target Environment



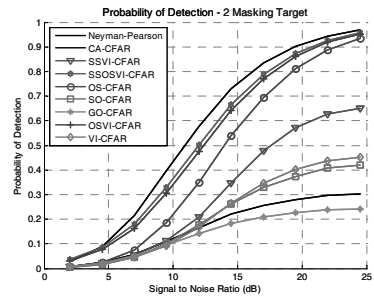
<그림 12> 1-마스킹 표적 환경에서의 CFAR 손실
<Fig. 12> CFAR Loss of one-Masking Target Environment

다중표적환경인 경우에 CA-/ GO-CFAR의 성능은 급격히 저하되었다. 다중표적 환경에서 강한 것으로 알려진 OS-CFAR 와 SO-CFAR에 비하여 제안된

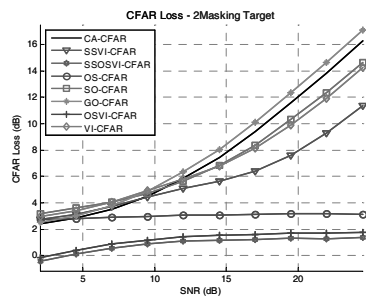
SSVI-CFAR은 이들의 중간 정도의 성능을 보이고 있으며, SSOSVI-CFAR은 OS-CFAR에 비하여 약 2.5dB 이상 OSVI-CFAR은 약 1.2dB 이상의 성능향상을 보인다.

2) 2-마스킹 표적

테스트 셀 이외에 표적 신호가 양쪽 윈도우에 각각 1개씩 총 2개가 존재하는 상황을 가정하여 시뮬레이션 하였다. 테스트 셀은 현재 10번 셀에 존재하고 있으며 간섭신호는 5, 12번 셀에 존재하고 있다. 각 알고리즘의 탐지확률을 <그림 13>에 나타내었고, CFAR 손실은 <그림 14>에 나타내었다.



<그림 13> 2-마스킹 표적 환경에서의 탐지확률
<Fig. 13> Detection Probability of two-Masking Target Environment



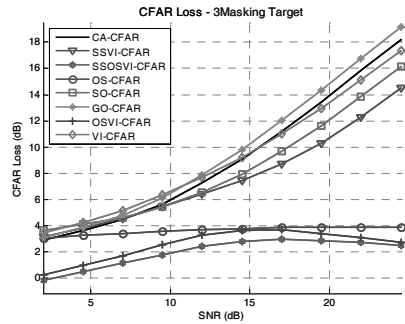
<그림 14> 2-마스킹 표적 환경에서의 CFAR 손실
<Fig. 14> CFAR Loss of two-Masking Target Environment

VI-CFAR과 SO-CFAR에서는 양쪽 모두 표적이거나 간섭이 존재할 경우 급격한 성능저하를 보이고 있

으며, SSVI-CFAR은 SNR이 15dB 이상일 때 VI-CFAR에 비하여 2dB 이상의 성능 향상을 보인다. 계속해서 비교적 적은 손실을 보이고 있는 것은 OS-/OSVI-/SSOSVI-CFAR 알고리즘이다. SSOSVI-/OSVI-CFAR은 간섭신호에 의한 문턱값의 증가로 앞서 수행한 결과에 비하여 탐지확률이 낮아졌지만 OS-CFAR에 비하여 약 2dB 이상 OSVI-CFAR은 약 1dB 이상의 성능향상을 보인다.

3) 3-마스킹 표적

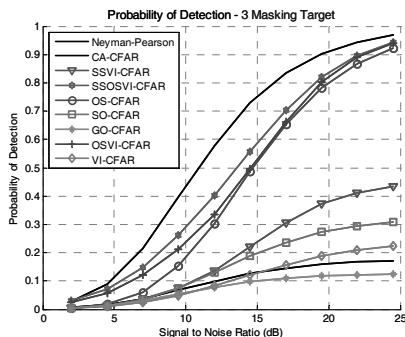
테스트 셀 이외에 3개의 표적 신호가 더 존재하는 상황을 가정하여 시뮬레이션 하였다. 테스트 셀은 현재 10번 셀에 존재하고 있으며 간섭신호는 5, 13, 16번 셀에 존재하게 하였다. 각 알고리즘의 탐지확률을 <그림 15>에 나타내었고, CFAR 손실은 <그림 16>에 나타내었다. 표적이 증가할수록 모든 알고리즘들의 탐지확률이 낮아졌으나, 제안된 SSVI-CFAR은 기존의 VI-CFAR보다는 SNR=15dB부터 약 2dB 이상의 성능을 유지하고 있다. 2-마스킹 표적환경과 마찬가지로 비교적 적은 손실을 보이고 있는 것은 OS-/OSVI-/SSOSVI-CFAR 알고리즘이다. SSOSVI-/OSVI-CFAR은 간섭신호에 의한 문턱값의 증가로 앞서 수행한 결과에 비하여 탐지확률이 낮아졌지만 OS-CFAR에 비하여 평균적으로 약 1dB 이상의 성능향상을 보인다.



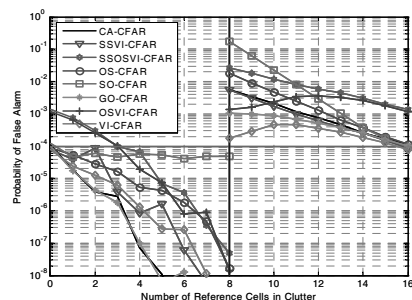
<그림 16> 3-마스킹 표적환경에서의 CFAR 손실
<Fig. 16> CFAR Loss of three-Masking Target Environment

3. 클러스터 경계에서의 성능분석

클러스터 경계에서의 오경보율을 측정하여 보았다. 클러스터 경계에서 취약한 SO-CFAR이 평균적으로 가장 높은 오경보율을 보였고, GO-CFAR과 VI-CFAR이 비교적 낮은 오경보율을 얻을 수 있었다. SSOSVI-/OSVI-CFAR은 여러가지 잡음환경에 따라 높은 탐지확률을 보이는 우수성을 가지고 있으나 간섭신호 제거로 인하여 전체 윈도우의 합이 감소하고 이에 따라 문턱 값이 낮아지기 때문에 클러스터 경계환경에서는 오경보율이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. SSVI-CFAR의 경우에는 오경보율이 증가 하지만 VI-/GO-CFAR 다음으로 낮은 오경보율을 얻을 수 있었다.



<그림 15> 3-마스킹 표적 환경에서의 탐지확률
<Fig. 15> Detection Probability of three-Masking Target Environment



<그림 17> 클러스터 경계 환경에서의 오경보율
<Fig. 17> False Alarm Rate in Clutter Edge Environment

4. 수행시간 측정 및 비교

레이더 탐지 알고리즘의 수행시간은 사용자의 안전성을 보장하기 위해 고려되어야 할 요소 중에 하나이다. 제안된 알고리즘들은 VI-CFAR 알고리즘을 기반으로 설계되었고, 정확도를 높이기 위해서 연산과정이 추가 되었으므로 수행시간의 연장이 불가피할 것이다. 이 절에서는 VI-CFAR 계열의 알고리즘의 수행시간을 측정하고 비교 분석을 하였다.

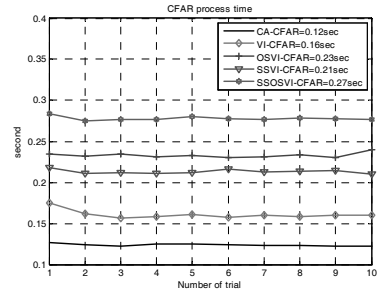
이 절에서 비교 대상으로는 VI-CFAR 계열로 분류한 알고리즘은 VI-/OSVI-CFAR과 제안된 알고리즘인 SSVI-/SSOSVI-CFAR 총 4가지이며, ML 계열과의 차이를 보기 위해서 대표적인 ML 계열 알고리즘인 CA-CFAR을 추가하였다.

각 CFAR을 1회당 시도 횟수 10^5 번 총 10회씩 반복하여 수행시간을 측정하고 평균을 구해 <그림 18>에 나타내었다. 연산 과정이 가장 단순한 CA-CFAR이 평균 0.12초로 가장 빨랐으며, 가장 연산과정이 많은 SSOSVI-CFAR은 평균 0.27초로 기반으로 사용된 VI-CFAR(0.16초)에 비해 약 1.6배 증가하였다. 첫 번째로 제안된 SSVI-CFAR은 0.21초로 VI-CFAR에 비하여 약 1.3배 증가하였으나 기존에 연구된 OSVI-CFAR에 비해서는 평균 0.2초 단축하였다. 수정된 VI-CFAR 알고리즘들의 수행시간 연장은 기존의 VI-CFAR보다 다양한 환경에서 더 나은 성능을 갖게 하기위한 연산과정의 추가로 인해 나타나는 트레이드오프(trade-off)이라고 할 수 있다.

참고적으로 연산속도는 하드웨어의 성능과도 직접적인 관련이 있기 때문에 고성능의 프로세서를 이용했을 때 더욱 빠른 수행시간을 결과로 얻을 수 있을 것이다. 본 논문에서의 결과는 상대적인 결과로 해석하는 것이 옳다.

5. 알고리즘 검토

이 장에서 시뮬레이션을 통해 분석한 결과를 이용하여 제안한 알고리즘의 성능을 검토하였다. 각 알고리즘들을 성능이 우수한 순서대로 평가한 결과를 <표 4>에 제시하였다.



<그림 18> CFAR 알고리즘의 수행시간
<Fig. 18> Process Time of CFAR Algorithm

<표 4> CFAR 평가 순위표
<Table 4> CFAR Evaluation Ranking Table

Environment Algorithm	Environment				
	Homogeneous	1-Masking	2-Masking	3-Masking	Clutter-edge
CA	3	7	7	7	4
GO	4	8	8	8	2
SO	8	5	6	5	8
OS	7	3	3	3	5
VI	6	6	5	6	1
OSVI	2	2	2	2	6
SSVI	5	4	4	4	3
SSOSVI	1	1	1	1	7

본 논문을 통해서 제안한 SSVI-CFAR 알고리즘은 기존의 ML계열의 알고리즘과 기반으로 사용된 VI-CFAR에 비하여 균질 환경과 다중 표적 환경에서 우수한 성능을 보이고 있다. 그러나 클러터 경계 환경에서는 상위 순위를 차지하고 있으나 성능이 크게 개선되었다고는 할 수 없다. 제안된 알고리즘은 문턱값을 결정할 때에 VI-CFAR과 같은 과정을 거치게 되면서 ML계열의 CFAR 중 한 가지와 같은 문턱값을 취하게 되는데, 여기에서 클러터 경계 유무를 판단하기 위한 조건이 추가된 것은 각각의 잡음 환경에서 탐지확률이 증가하게 한다. 하지만 조건이 추가 된 만큼 클러터 경계가 존재한다고 판단하기 어려워지기 때문에 GO-CFAR 과 같은 문턱값을 선택할 수 있게 되는 확률이 낮아지고, 결과적으로 클러터 경계 환경에서는 오경보율이 증가하게 된다.

두 번째로 제안된 SSOSVI-CFAR 알고리즘은 간

섭신호의 제거로 인한 문턱 값의 감소로 클러터 경계 환경에서 오경보율이 증가하는 결과를 보이지만, 균질 잡음 환경과 다중 표적 환경에서는 가장 높은 탐지확률을 보이는 장점을 가지고 있다. 이는 PRT가 주행할 때 궤도상에 존재하는 장애물 탐지와 급정지한 앞 차량을 탐지하는 데 유용할 것으로 예상된다.

두 가지의 제안된 알고리즘 모두 특정궤도를 따라 이동하는 PRT의 운영 특성상 궤도 보호벽이나 연속적인 선로 구조물로 인해 발생하는 클러터 경계 환경에서 오경보율을 낮출 필요성이 있다.

연산과정의 추가로 수행시간의 연장은 불가피하였으나 회당 10^5 번 시도한 것을 고려하면 레이더에 적용하였을 때 문제가 없을 것으로 판단되며, 탐지성능의 저하 없이 수행시간을 단축시키는 알고리즘의 연구가 필요하다.

V. 결 론

본 논문을 통해서 PRT에서 충돌방지용 장치로 사용될 UWB 레이더의 적합성을 살펴보고, 레이더에서 효율적으로 표적을 탐지하기 위한 적응형 CFAR 알고리즘을 제안하였다.

PRT용 레이더에 적용하고자 하는 UWB시스템은 저전력, 저간섭 및 높은 해상도의 특성을 가지고 있다. 이러한 특성은 에너지 절약과 타 통신망에 대한 교란 방지 및 주행 중 장애물 탐지를 정확하게 할 수 있게 한다.

본 논문을 통해서 제안한 SSVI/SSOSVI-CFAR 알고리즘은 적응형 알고리즘으로서, 첫 번째로 제안된 SSVI-CFAR은 VI-CFAR에 연산과정을 추가한 알고리즘이며, 두 번째로 제안된 SSOSVI-CFAR은

SSVI-CFAR과 OSVI-CFAR를 결합 형태의 알고리즘이다. 이 두 가지 알고리즘들은 기반으로 사용된 VI-CFAR 및 기존의 ML계열의 알고리즘에 비하여 균질잡음환경과 다중표적환경에서 향상된 탐지확률을 보이는 장점을 가지고 있다. 이는 PRT 주행 중 수시로 변화하는 레이더 신호의 잡음 환경에서 유효신호를 판별해내어 궤도상에 존재하는 장애물

및 고장으로 인하여 급정지한 차량 등을 탐지하는 데 유용할 것으로 예상된다.

제안된 알고리즘들의 단점은 연산과정의 추가로 인한 수행시간의 연장과 클러터 경계 환경에서의 오경보율의 증가이다. 특정궤도를 따라 주행하는 PRT의 특성상 궤도 보호벽이나 연속적인 선로 구조물로 인해 발생하는 클러터 경계 환경에서 오경보율을 낮추며, 탐지성능의 저하 없이 수행시간을 단축시키는 알고리즘의 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서 제안한 CFAR 알고리즘을 적용한 DSP(Digital Signal Processor) 시스템, PRT용 UWB 레이더의 RF(Radio Frequency) Front/End 모듈 등 각종 레이더 구성 요소 및 통합 모듈의 설계 및 구현으로 PRT의 안전성 제고를 위한 충돌 방지 시스템의 연구개발이 계속해서 수행되어야 한다.

ACKNOWLEDGEMENT

work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (No.2010-0018116).

참고문헌

- [1] 김민우, 이희영, "Study on PRT R&D State and Railway Technology (기술개발 현황 및 궤도기술 연구)," *대우 엔지니어링 기술보*, vol. 25, no. 1, pp. 83-103, Oct. 2009.
- [2] 국립전파연구원, "Study on UWB Technogly Trend (초광대역기술 동향 연구)," Jan. 2002.
- [3] 장지영, 남상욱, "Recent State of Vehicle Radar Technology (차량용 레이더 기술의 최근 발전 동향)," *전자공학회지*, vol. 37, no. 5, pp.500-510, May 2010.
- [4] Frukawa Electronic, "Development of 26 Ghz-band UWB Radar for Automobiles," *Furukawa Review*, no. 37, pp.1-6, Mar. 2010.
- [5] P. P. Gandhi, S. A. Kassam, "Analysis of CFAR Processors in Nonhomogeneous Background,"

- IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. 24, no. 4, pp.427-445, July 1988.
- [6] S. Blake, "OS-CFAR Theory for Multiple Targets and Nonuniform Clutter," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. 24, No. 6, pp.785-790, nov. 1988.
- [7] James J. Jen, "A Study of CFAR Implementation Cost and Performance Tradeoffs in Heterogeneous Environments," M.S. Diss. Californica State Polytechnic Universtiy, Mar. 2011.
- [8] M. E. Smith, P. K. Varshney, "Intelligent CFAR processor based on data variability," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. 36, no. 3, pp.837-847, July 2000.
- [9] M. E. Smith, "Application of the Variability Index (VI) Statistic to Radar CFAR Processing," Ph.D. Diss. Syracuse University, August 1997.
- [10] R. Zhang, Y. Zou, W. Sheng, X. Ma, H. Wang, "An Improved CFAR Detector for Non-homogeneous Clutter Environment," in IEEE proc. of ISSSE 2010, vol. 2, pp.1-4, Nanjing, China, Sept. 2010.
- [11] 신종우, 김완진, 도대원, 이동훈, 김형남, "Performance Improvement of VI-CFAR for Inhomogeneous Environment(비균질 환경에 강인한 검출기를 위한 변동지수 CFAR의 성능 향상)" 전자공학회 논문지, vol. 49, no. 3, pp.37-46, Mar. 2012.

저작소개



홍 석 곤 (Hong, Seok-gon)

2011년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정

2011년 2월 : 인하대학교 정보통신공학부(공학사)

e-mail : hsgon85@nate.com



김 백 현 (Kim, Baek-hyn)

2003년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

2003년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학박사)

1996년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)

1994년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)



정 락 교 (Jeong, Rag-gyo)

1995년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 책임연구원
1990년 12월 ~ 1994년 12월 : 한진중공업 사원
2005년 2월 : 인하대학교 전기공학과(공학박사)
1999년 8월 : 인하대학교 전기공학과(공학석사)
1991년 2월 : 인하대학교 전기공학과(공학사)



곽 경 섭 (Kwak, Kyung-sup)

2000년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학부 석좌교수(IFP)
2003년 8월 ~ 현재 : 인하대학교 초광대역 무선통신 연구센터(UWB-ITRC) 센터장
2009년 1월 ~ 2009년 12월 : 한국ITS학회 회장
2006년 1월 ~ 2006년 12월 : 한국통신학회 회장
2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 인하대학교 정보통신대학원 원장
1989년 2월 ~ 1990년 3월 : 미국 IBM Network Analysis Center 연구원
1988년 2월 ~ 1989년 2월 : 미국 Hughes Network System 연구원
1988년 2월 : 미국 UCSD 통신이론 및 시스템(공학박사)
1981년 12월 : 미국 UCS 전기공학과(공학석사)
1977년 2월 : 인하대학교 전기공학과(공학사)