

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.3.91>

IIBC 2015-3-13

LFM 신호에 기반한 다중국소 레이더 운영에 관한 연구

A Study on Multi-Site Radar Operations Based on LFM Signal

서경환*

Kyoung-Whoan Suh*

요약 제한된 스펙트럼 자원의 효율적 사용을 위한 하나의 해법으로 GPS 시각 기반의 이동선형주파수변조(SLFM)를 갖는 동일채널 다중국소 레이더 운용을 위한 방법을 제시한다. 제안된 알고리즘은 선택된 SLFM 신호 중에 상호상관 특성으로부터 허용할 수 있는 최소상관 수준을 갖는 SLFM 후보군을 찾는다. 제안 방법의 검증에 위해 단일 톱니 또는 삼각 LFM 신호를 갖는 동일채널에 운용되는 수 개의 레이더에 대해 수치해석을 하였다. 간섭 및 잡음, 알고리즘 한계, 그리고 SLFM 신호의 시각 동기 오류에 대해 탐지 거리 및 거리 윤곽의 계산 결과를 고찰하였다.

Abstract As one of solutions to obtain efficient use of limited spectrum resource, we suggest a methodology for the co-channel multi-site radar operations with a shifted linear frequency modulation (SLFM) based on GPS clock. The proposed algorithm is that we find a candidate set of SLFM signals with the minimum acceptable level of the correlation from the cross-correlation characteristics among selected SLFM signals. To verify the proposed methodology, numerical analysis has been accomplished for several radars operating in the same channel with a sawtooth or triangle LFM signal. The computational results of detected distances as well as range profiles are also examined for interference, noise, and algorithm limitation including the error of clock synchronization.

Key Words : Linear frequency modulation, Radar, Cross-correlation, Interference

1. 서 론

한정된 주파수 자원의 효율적 활용을 위한 연구가 ITU-R의 각 연구그룹에서도 큰 의제이며, 국내에서도 정부의 지속적인 정책 연구로 소기의 성과가 도출되고 있다. 더불어 향후 4G 이후의 모바일 빅뱅시대에 요구되는 최소 1GHz 폭의 주파수 확보를 위해서는 동종 시스템 또는 이종 시스템 간의 주파수 공유 및 간섭분석에 관한 기술적 연구가 더욱 다양하게 추진되고 있다^[1,2].

이러한 미래 소요 주파수 확보방안으로 현재 여러 대역에 다채널로 할당된 레이더 주파수 자원의 효율적 활

용에 관심이 고조되고 있다^[3]. 레이더의 신호는 일반적으로 장거리 탐지의 고출력의 펄스를 적용하거나 또는 선형주파수변조 신호원을 주로 사용한다^[4,5]. 후자는 펄스 압축 기술을 적용하여 전자에 비해 넓은 펄스 폭 임에도 불구하고 펄스 레이더와 같은 해상도를 주며, 이에 대한 다양한 연구가 제시되었다^[6-8]. 우선 3 GHz 대역에 운용되는 고출력의 펄스 기상 레이더는 이웃 대역의 타 업무에 누설전력 또는 간섭의 영향이 매우 커 주파수 양립성 및 공유 측면에서 많은 어려움을 유발한다. 현재 운용되는 기상 레이더는 주파수 채널을 국소별로 독립적으로 할당하고, 서로 이웃하는 채널은 거리 이격을 두어 간섭

*정회원, 강남대학교 전자공학과
접수일자 : 2015년 1월 13일, 수정완료 : 2015년 4월 23일
게재확정일자 : 2015년 6월 12일

Received: 13 January, 2015 / Revised: 23 April, 2015 /
Accepted: 12 June, 2015

*Corresponding Author: kwsuh@kangnam.ac.kr
Dept. of Electronic Engineering, Kangnam University, Korea

을 원천적으로 배제하고 있다^[9].

따라서 다채널로 운용되는 기상 레이더들을 단일 또는 기존의 대역폭 보다 적은 주파수 자원으로 운용할 수 있는 방법의 연구가 필요하다. 이러한 해법의 전제 조건은 레이더 간에 신호의 독립성 유지가 필요하며, 이는 서로 이웃하는 레이더 간에 동일 시간 및 동일 채널에서 운용하더라도 시스템 성능에 영향이 없음을 의미한다. 이러한 동일채널 다중국소 레이더의 운용에 필요한 신호의 독립성 및 신호 동기화에 관한 연구가 미국 CODAR(사)의 해수면 측정 레이더에 적용하였으며, 이는 상대적으로 낮은 전력(수십 와트)의 연속주파수변조(FMCW) 신호파형에 근거한다^[10]. 이와는 달리 초광대역(UWB) 신호를 멀티 사용자의 독립적 신호파형을 생성한 연구가 제시되었으며^[11], 다중 정적 레이더 적용을 위한 파형 다변성의 독립적 펄스압축코드 설계 및 공간-시간 블록코드의 독립성 등에 관한 연구가 발표되었다^[12,13]. 최근에는 MIMO 레이더를 위한 파형의 독립성에 대해 연구가 제시되었다^[14,15].

본 논문에서는 효율적 스펙트럼 활용을 위한 해법중의 하나로 이동 LFM 신호 및 GPS 클럭 동기 기반의 동일채널 다중국소 레이더 운용을 제안한다^[16]. 제안한 방법은 이동 LFM 신호들의 교차상관 특성들로부터 허용할 수 있는 최소 상관수준을 갖는 이동 LFM 신호들을 이용하는 것이다. 이러한 이동 LFM 신호들을 선정을 위한 알고리즘을 제안하고, 검증에 위해 간단한 점 목표물에 대해 수치계산을 수행한다. 수치계산에서는 동일채널에서 운용되는 몇 개의 레이더를 설정하고, 주어진 시스템 변수들로부터 잡음, 간섭, 그리고 제시된 방법의 한계 등을 제시하고 고찰한다.

II. LFM 레이더 및 신호의 독립성

1. LFM 레이더

그림 1은 간단한 레이더 시스템 구성과 LFM 신호의 송신 및 반사된 신호를 개념적으로 도식화한 것이다. 거리 R 에 있는 점 목표물에 대해 주기 T , 대역폭 $BW(=B)$ 을 갖는 LFM 신호가 송신되었다고 하면 송신 $S_t(t)$ 및 수신 $S_r(t)$ 는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$S_t(t) = A_t \Pi\left(\frac{t}{T}\right) \sin\left(2\pi f_0 t + \frac{\pi B t^2}{T}\right) \quad (1)$$

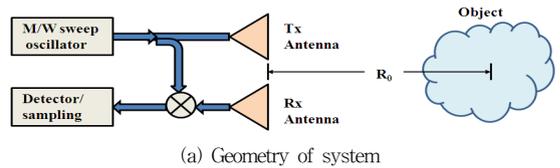
$$S_r(t) = A_r \Pi\left(\frac{t-\tau}{T}\right) \sin\left[2\pi f_0 (t-\tau) + \frac{\pi B (t-\tau)^2}{T}\right] \quad (2)$$

여기서 A_t 및 A_r 은 각각 송신 및 수신 신호의 진폭이며, f_0 는 대역폭의 중심주파수, $\tau(=2R/c)$ 는 목표물까지의 왕복시간이다.

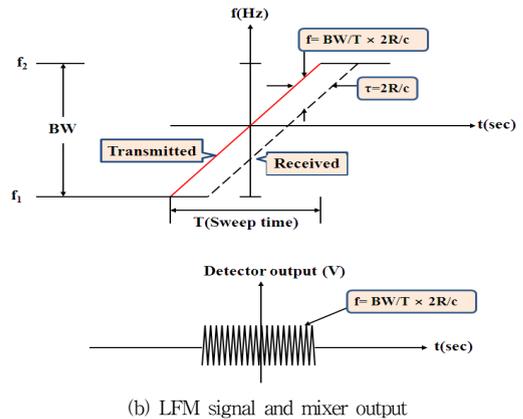
한편 $T \gg \tau$ 라 가정하면 혼합기의 출력 신호를 저역여과기를 거치면 다음과 같다.

$$S_{m-o}(t) = A_o \Pi\left[\frac{t}{T}\right] \cos\left[\left(\frac{4\pi B R}{c T}\right)t + \left(\frac{4\pi f_0 R}{c}\right)\right] \quad (3)$$

여기서 A_o 는 진폭이다. 식 (3)에서 알 수 있듯이 신호의 주파수가 거리에 비례하기 때문에 이것의 푸리에 변환은 거리 측정을 제공하며, 거리 분해능은 $\Delta R = c/2B$ 가 된다. 또한 코사인의 두 번째 항은 반송파 주파수 f_0 와 거리 R 에 비례하는 위상각을 나타내며, 이 항은 도플러 처리에 필수적인 요소가 된다^[4,5].



(a) Geometry of system



(b) LFM signal and mixer output

그림 1. LFM 신호를 갖는 간단한 레이더 시스템
Fig. 1. A simple radar system with LFM signal

한편 그림 2와 같이 CW 레이더에 적용되는 삼각 LFM 파형을 보여주며, 거리 R에 정지 물체에 의해 반사된 수신 주파수를 점선으로 나타내었다. f_b 는 송신 및 수신 주파수 간의 차이인 비트(beat) 주파수를 의미하며, $2t_0$ 는 신호의 주기를 나타낸다. 비트 주파수와 물체의 거리 R과의 관계는 다음과 같이 표현된다^[4,5].

$$f_b = \frac{4Rf_m \Delta f}{c} \quad (4)$$

여기서 변조된 주파수 $f_m = 1/2t_0$ 이며, Δf 는 침두 주파수 편이이다. 정지 물체의 비트 주파수는 LFM 신호의 상승 및 하강 구간에서 항상 일정함을 알 수 있다.

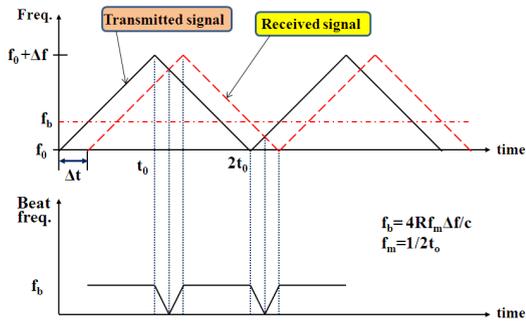


그림 2. 송신 및 수신된 삼각 LFM 신호와 비트 주파수
 Fig. 2. Transmitting and received triangular LFM signals and its beat frequency

2. 신호의 독립성

신호 $S_m(t)$ 및 $S_n(t)$ 에 대해 신호의 독립성은 다음과 같이 정의한다^[6].

$$\frac{1}{T} \int_0^T S_m(t) S_n^*(t) dt = \begin{cases} 1, & m = n \\ 0, & m \neq n \end{cases} \quad (5)$$

여기서 T 는 신호의 적분 주기이며, $*$ 는 복소 공액을 의미한다. 하지만 식 (4)의 신호들 중에 엄밀한 독립성은 실질적인 구현에 어려움이 있다. 따라서 다소 덜 엄밀한 독립성의 정의로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\left| \frac{1}{T} \int_0^T S_m(t) S_n^*(t) dt \right| \leq \epsilon, \quad m \neq n \quad (6)$$

여기서 $\epsilon (>0)$ 은 $S_m(t)$ 및 $S_n(t)$ 간에 상호상관에서 용인할 수 있는 어떤 양을 의미한다.

식 (6)의 조건을 근거로 신호의 독립성을 찾기 위해 그림 3에서는 어떤 LFM 신호에 대한 시간영역 파형(오른쪽)과 자기상관함수를 나타낸다. 한편 그림 4은 LFM 파형인 그림 3(왼쪽)을 시간축으로 τ 만큼 이동하면서 상호상관함수를 나타낸 것으로 이 결과에서 0에 근접한 시간들을 찾아내어, 이를 시간 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots$ 라 하자. 이 시간들은 $\tau=0$ 에서 기준 신호(LFM)에 대해 각각 해당하는 τ 만큼 이동된 신호, 즉 이동 LFM 신호(s_1, s_2, s_3, \dots)들이며, 식 (6)을 만족하는 후보 신호들로 표 1을 만족하는지를 확인하는 과정이 필요하다.

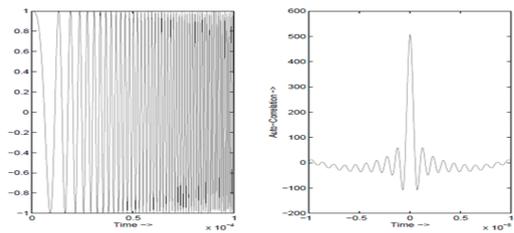


그림 3. LFM 신호의 시간영역 (왼쪽) 및 자기상관(오른쪽)
 Fig. 3. LFM signal in time domain (left) and its auto correlation (right)

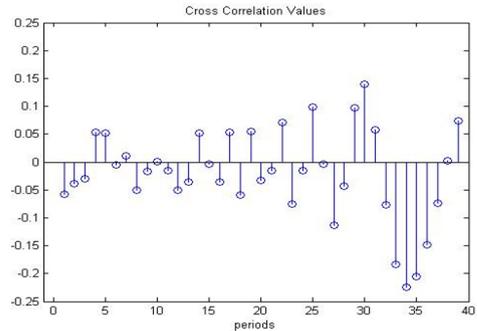


그림 4. LFM 신호의 상호상관
 Fig. 4. Cross-correlation of LFM signal

표 1. 자기상관 및 상호상관 관계 확인

Table 1. Checking of auto and cross correlations

LFM 신호	준독립성 만족 여부 (O, X)			
	기준 LFM S_0	이동 LFM S_1	이동 LFM S_2	이동 LFM S_3
기준 S_0	자기상관	상호상관	상호상관	상호상관
이동 S_1	상호상관	자기상관	상호상관	상호상관
이동 S_2	상호상관	상호상관	자기상관	상호상관
이동 S_3	상호상관	상호상관	상호상관	자기상관

3. 이동 LFM 신호의 선택

N 개 레이더를 동일채널 및 동일시간 운용을 위해 준 독립성을 만족하는 이동 LFM 신호를 선택하는 알고리즘은 다음과 같다. 신호 $s(t)$ ($0 \leq t \leq T$)를 표본 시간 $t_0 (= 0) < t_1 < t_2 < \dots < t_n (= T)$ 를 갖는 어떤 주어진 신호라 하고, N 은 시간이동신호로 할당된 레이더의 수라 하자.

단계 1: 비상관 신호의 선택

먼저 원신호 $s(t)$ 와 비상관을 갖는 시간이동신호 $s(t;t_i)$ 를 찾는다. 주어진 일정한 시간 t_i 에 대해 시간이동신호는 다음과 같이 정의된다.

$$s(t;t_i) = \begin{cases} s(t+t_i), & 0 \leq t \leq T-t_i \\ s(t+t_i-T), & T-t_i < t \leq T \end{cases} \quad (7)$$

그러면 식 (7)을 만족하는 신호 $s(t;t_i)$ 또는 상수 t_i 를 선택을 원한다.

$$|\text{corr}(s(t), s(t;t_i))| = \left| \int_0^T s(t)s(t;t_i)dt \right| < \epsilon \quad (8)$$

여기서 ϵ 은 어떤 작은 양의 수이며, ϵ 의 한계 값은 시스템 변수에 의존하는 수치계산(실용적)으로 결정된다. 그리고 t_i 을 신호 $s(t;t_i)$ 의 이동시간으로 부른다.

단계 2: 상호운용성 보장 시험

단계 1에서 각각 선정된 시간이동신호에 대해 원신호 $s(t)$ 와 두 번의 상호운용성 시험을 다음과 같이 실시한다. $s(t;t_i)$ 를 단계 1에서 선정된 시간이동신호라 하면, 먼저 $s(t)$ 및 $s(t;t_i)$ 를 각각 기준 레이더 및 간섭 레이더의 신호라 가정한다. 그러면 그림 1에서 이들의 혼합기 출력 신호가 단지 하나의 침투치 및 낮은 부엽을 갖는지 확인한다. 그렇지 않으면 신호 $s(t;t_i)$ 를 버린다. 다음은 $s(t;t_i)$ 및 $s(t)$ 의 역할을 교환하여 앞의 과정을 반복한다.

단계 3: 최소상관을 갖는 N 개 시간이동신호들의 선택

Q 를 단계 1 및 2에서 선정된 후보 시간이동신호들에 대한 이동시간의 모든 N 조합을 포함하는 집합이라 하자. 그러면 N 개의 상호운용 가능한 시간이동신호들 C_N 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_N = \text{argmin}_{C \in Q} (\max_{t_i, t_j \in C} |\text{corr}(s(t;t_i), s(t;t_j))|) \quad (9)$$

이러한 선택은 일반적으로 비상관 신호들은 서로 간섭을 유발하지 않는다는 사실에 근거한다.

III. 시뮬레이션 및 결과분석

1. 레이더 구성 및 시스템 변수

위에서 제시된 이동 LFM 신호의 도출 알고리즘을 검증하기 위해 편의상 그림 5와 같이 동일채널 다중국소 레이더 배치를 하였다. 모든 레이더는 GPS 기반의 시간 제어가 되며, 임의 거리의 점 물체에 대해 각 레이더의 수신 신호는 자신의 송신 및 다른 레이더의 송신 신호에 의해 반사된 신호들을 모두 수신 하는 것으로 가정하였다. 이는 자신의 송신 신호에 의한 물체로부터 반사된 수신 신호 이외에는 모두 간섭신호로 유입됨을 의미한다. 그리고 수신된 신호의 진폭은 레이더와 물체 간의 거리에 무관하게 모두 일정한 것으로 간주하였으며, 가정 한 시스템 변수들은 표 2와 같다.

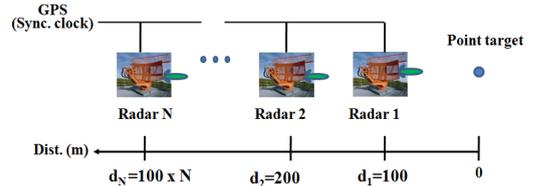


그림 5. 이동 LFM 신호들을 이용한 동일채널 다중국소 레이더 배치

Fig. 5. Geometry of co-channel multi-site radars with shifted LFM signals

표 2. 가정한 시스템 변수

Table 2. Assumed system parameters

Parameters	Values
Bandwidth B	10 MHz
Sweep time T	0.01 s
Signal slope B/T	10^9Hz^2
Start frequency f_1	2.9 GHz
f_{max} (for $R_{\text{max}}=1\text{km}$)	$6.6667 \times 10^9 \text{Hz}$
Sampling rate f_s	$\geq 2f_{\text{max}} \text{Hz}$

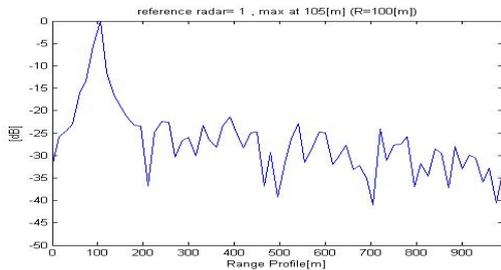
2. 수치계산 결과

먼저 제안된 알고리즘의 한계를 보기 위해 몇 레이더들이 동일채널 다중국소에 운용이 가능한지 수치적으로 살펴본다. 점 물체에 대해 동일채널 다중국소(N=7) 레이더 운용에 대한 결과를 표 3 및 그림 6(편의상 레이더 1, 4, 7)에 제시하였다. 계산에 의하면 N>8 이상에서는 거리 윤곽 결과에서 단일 침두가 아닌 일부 레이더에서는 2개의 침두가 존재함을 알 수 있었다. 따라서 레이더 개수 N을 증가하기 위해서는 보완된 알고리즘이 필요함을 알 수 있었다.

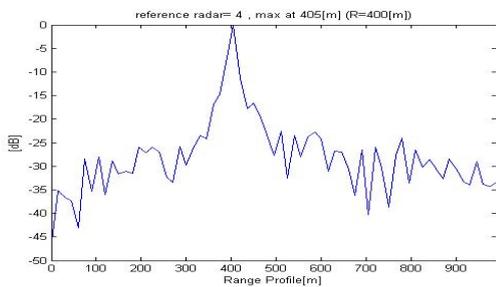
표 3. 실제 및 탐지된 거리

Table 3. Actual and detected distances

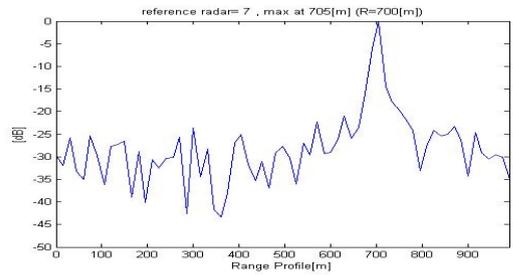
물체 거리	탐지 거리	간섭 레이더
100 m	105 m	Radar 2~7
200 m	195 m	Radar 1, 3~7
300 m	300 m	Radar 1,2,4~7
400 m	405 m	Radar 1~3,5~7
500 m	495 m	Radar 1~4, 6,7
600 m	600 m	Radar 1~5, 7
700 m	705 m	Radar 1~6



(a) Victim receiver: Radar 1



(b) Victim receiver: Radar 4



(c) Victim receiver: Radar 7

그림 6. 동일채널 다중국소 레이더(N=7)의 거리윤곽

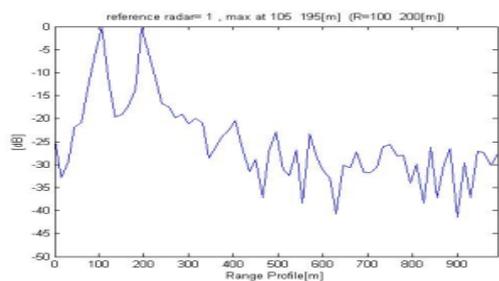
Fig. 6. Rang profiles for co-channel multi-site radars (N=7)

다음은 부가백색가우시안잡음(AWGN)에 대해 2개 점 물체에 대한 수치계산 결과를 표 4 및 그림 7에 보였다. 여기서 S/N=-3 dB 이며, S/N 정의는 잡음의 분산에 대한 LFM 신호의 분산의 비로 정의하였다. 그림 7의 침두 값들은 거리 해상도 범위 내에서 모두 일치함을 보여준다.

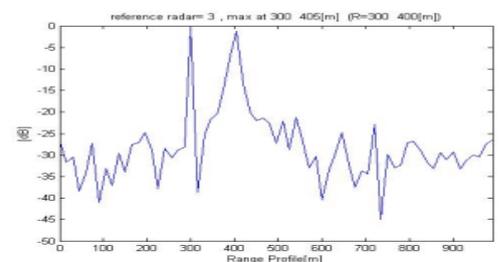
표 4. 수치계산 결과 (S/N=-3 dB)

Table 4. Simulated results (S/N=-3 dB)

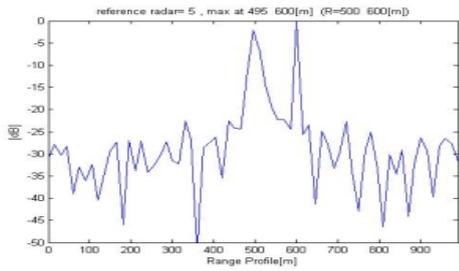
물체 거리	탐지 거리	레이더 간섭	결과
100, 200 m	105, 195 m	Radar 2~5	그림 7(a)
200, 300 m	195, 300 m	Radar 1,3~5	
300, 400 m	300, 405 m	Radar 1,2,4,5	그림 7(b)
400, 500 m	405, 495 m	Radar 1~3,5	
500, 600 m	495, 600 m	Radar 1~4	그림 7(c)



(a) Radar



(b) Radar 2



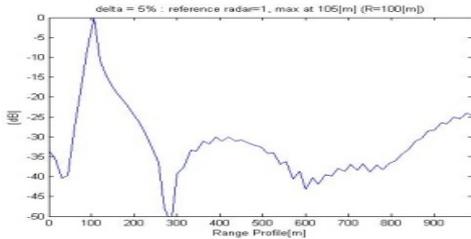
(c) Radar 3

그림 7. 레이더 1, 3, 5의 거리 윤곽
Fig. 7. Range profiles of Radar 1, 3, 5

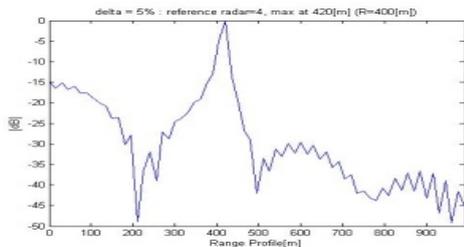
또한 동일채널 다중레이더 운용의 GPS 시간 오차의 영향을 살펴보기 위해 오차 $\Delta(\%) = |\alpha|/T$ 으로 정의하였다. 여기서 α 는 SLFM 신호의 정확한 시작 시간과의 차이를 의미하며, T 는 LFM 신호의 주기이다. 표 5는 실제 및 탐지 거리를 나타내며, 그림 8은 재구성된 거리 윤곽으로 $\Delta(\%) = 5$ 인 경우이다.

표 5. 수치계산 결과 (S/N=-3 dB)
Table 5. Simulated results (S/N=-3 dB)

$\Delta(\%)$	실제/탐지 거리			
	레이더 1	레이더 2	레이더 3	레이더 4
0	100/105	200/195	300/300	400/405
1	100/120	200/210	300/300	400/405
2	100/120	200/210	300/300	400/420
3	100/120	200/195	300/300	400/405
4	100/120	200/195	300/300	400/405
5	100/105	200/210	300/300	400/420



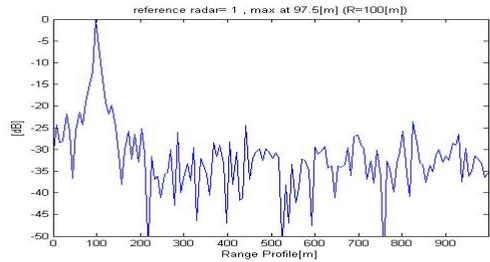
(a) Radar 1



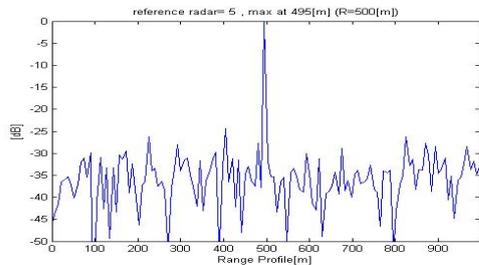
(b) Radar 4

그림 8. $\Delta(\%) = 5$ 에 대한 재구성된 거리 윤곽
Fig. 8. Reconstructed range profiles for $\Delta(\%) = 5$

끝으로 그림 2와 같은 시간이동 삼각 LFM 파형으로 단일 점 물체의 거리 탐지로 그림 9는 5개 레이더가 동일 채널 운용으로 편의상 레이더 1 및 5를 제시하였다. 그림 9(a)는 거리 100 m의 점 물체에 대해 레이더 1에 나머지 레이더들이 간섭으로 유입되며, 그림 9(b)는 거리 500 m에 대해 레이더 5에 나머지 레이더들이 간섭으로 유입되는 경우이다. 비록 단일 점 물체일지라도 S/N=-3 dB에서 거리를 정확히 탐지할 수 있음을 보여주며, 부엽의 영향을 보기 위해 표 6에 나타내었다.



(a) Radar 1



(b) Radar 5

그림 9. 동일채널 다중국소 레이더 (N=5)의 거리윤곽(S/N=-3dB)

Fig. 9. Range profiles of co-channel multi-site radars (N=5, S/N=-3dB)

IV. 결론

본 논문에서는 GPS 시각 기반의 시간이동 LFM 신호들의 최소 상호상관에 근거하여 동일채널 다중국소 레이더 운용 방법을 제시하고 수치계산을 통해 분석하였다. 주어진 LFM 신호에 대해 수용할 수 있는 최소 상호상관 도출을 위한 시간이동 LFM 신호들의 선택에 관한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 검증에 위해 잡음, 간섭, 그리고 GPS 시각 오차에 대해 점 물체들에 대한 동일채널 다중국소 레이더 운용의 결과를 도출하였다.

탐지된 거리는 신호의 해상도 범위 내에 정확한 결과를 얻을 수 있음을 보였으며, 산출된 결과로부터 물체의 거리를 탐지할 수 있는 용도로 적용이 가능할 것으로 예측된다. 추후 연구로는 연속 톱니 및 삼각 LFM 신호들에 대해 이동 물체의 거리 및 속도 추출을 위한 거리-도플러 처리, 시연을 위한 시뮬레이터 구현 등이 남아있다.

References

- [1] A study on analysis methodology of multi-interferences under dynamic warfare environment, Research Report, ADD, Dec. 2012.
- [2] J. S. Yang, Y. H. Kim, J. Y. Kim, "Research on Spectral Interference of Microwave Systems", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 12, No. 6, pp. 241-249, 2012.
- [3] A study on interference effect over radar transmitting parameters, Research Report, Dec. 2013.
- [4] M. I. Skolnik, Introduction to Radar Systems, 3rd Edition, Mc GrawHill, 2001.
- [5] R. M. O'Donnell, Radar systems engineering: lecture11-Waveform and pulse compression, IEEE New Hampshire Section, IEEE AES Society, Jan. 2010.
- [6] C. E. Cook, "Linear FM signal formats for beacon and communication systems," IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems, vol. AES-10, No. 4, pp. 471-478, July 1974.
- [7] T. Puhakka, P. Puhakka, F. O'Hora, "On the performance of NLFM pulse compression with polarimetric doppler radar", Proceedings of the 4th European Radar Conference, September 2006, pp.88-91.
- [8] W. Sediono, "Method of measuring Doppler shift of moving targets using FMCW maritime radar", 2013 IEEE International conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), Aug. 2013.
- [9] Rec. ITU-R M.1464-1, Characteristics of radiolocation radars, and characteristics and protection criteria for sharing studies for aeronautical radionavigation and meteorological radars in the radio determination service operating in the frequency band 2700-2900 MHz, <http://www.itu.int/itu-r>.
- [10] Multi-station HF FMCW radar frequency sharing with GPS time modulation multiplexing, Patent_Number 06856276 Codar.
- [11] A. Elabed, F. Elbahhar, Y. Elhillali, A. Rivenq, R. Ellassali, " UWB communication system based on bipolar PPM with orthogonal waveform", Scientific Research, Wireless Engineering and Technology, pp. 181-188, 2012.
- [12] N. Lee, J. Chun, "Orthogonal pulse compression code design for waveform diversity in multistatic radar systems," IEEE Radar Conference, 26-30 May 2008.
- [13] V. Tarokh, H. Jafarkhani, A. R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal design," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 45, No. 5, July 1999.
- [14] G.H. Wang and Y.L. Lu, "Sparse frequency waveform design for MIMO radar", Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 20, pp. 19-32, 2010.
- [15] M. H. Rao, G. V. K. Sharma, K. R. Rajeswari, "Orthogonal phase coded waveforms for MIMO radars," International Journal of Computer Application, vol. 63. No. 6, Feb. 2013.
- [16] K. W. Suh, J. H. Ahn, S. M. Lim, "Method and Apparatus for Generating Signal of Multi-site Radar Using Co-Channel," Patent Application (Korea) 10-2014-0002906.

저자 소개

서 경 환(정회원)



- 1983년 2월 : 경북대학교 전자공학사
- 1988년 3월 : KAIST 전기및전자공학 공학석사
- 1991년 8월 : KAIST 전기및전자공학 공학박사
- 1983년 1월 ~ 1998년 10월 : 삼성전자 기간네트워크사업부 수석연구원

• 1999년 3월 ~ 현재 : 강남대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 주파수 조정 및 간섭분석, 초고주파 회로설계, 무선통신시스템 설계 및 성능분석 등>