

---

# FM-CW 레이더에서의 거리 및 속도 추정 정확도 향상에 관한 연구

이종길\*

A Study on Accuracy Improvement for Range and Velocity Estimates in a FM-CW Radar

Jonggil Lee\*

---

이 논문은 인천대학교 2009년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

---

## 요 약

FM-CW 레이더는 구현이 비교적 간단하고 전자파 신호의 외부 탐지 가능성이 낮기 때문에 다양한 목적의 원격 탐지 센서로 활용되고 있다. FM-CW 레이더는 주파수 변조된 연속적인 파형의 신호를 송신하고 반사 신호의 복조 시에도 같은 신호를 기준 주파수로 사용한다. 따라서 목표물의 거리 및 속도 정보는 비트신호 주파수 형태로 수신되어진다. 그러나 고속으로 이동하는 목표물의 경우 레이더에서의 신호획득 시간이 현저히 짧아질 수 있기 때문에 기존의 FFT(Fast Fourier Transform) 방식에 의한 스펙트럼 추정은 그 해상도 및 정확도가 심각하게 열화 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 모델 파라미터 추정 방법인 AR(Autoregressive) 방법을 적용하여 거리 및 속도 추정 정확도와 해상도를 개선할 수 있음을 보였다.

## ABSTRACT

A FM-CW radar is used for the various purposes as a remote sensing device since it has the advantages of the relatively simple implementation and the low probability of signal interception. A FM-CW radar uses the same frequency modulated continuous wave for both transmission and demodulation. Therefore, the received beat frequency represents the range and Doppler information of targets. However, using the conventional FFT method, the degree of accuracy and resolution in the spectrum estimation can be seriously degraded in the detection and tracking of fast moving targets because of the short dwell time. Therefore, in this paper, the model parameter estimation methods called as an autoregressive method is applied to overcome these problems and showed that the improved accuracy and resolution can be obtained for the target range and velocity estimation.

## 키워드

단거리 탐지, FM-CW 레이더, 스펙트럼 추정, 비트 신호

## Key word

Short Range Detection, FM-CW Radar, Spectrum Estimation, Beat Signal

---

\* 인천대학교 정보통신공학과 (교신저자, jnglee@incheon.ac.kr)

접수일자 : 2010. 04. 12

심사완료일자 : 2010. 04. 29

## I. 서 론

최근에 와서 레이더는 환경감시, 기상탐지 및 자동차 충돌방지용등의 일반 상용목적으로도 다양하게 활용되어짐에 따라 비교적 크기가 작고 간단하면서도 경제적으로 구현이 가능한 시스템 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 도플러 레이더 시스템에서는 목표물로부터 반사되는 전자파 신호의 수신방위각 및 거리 별로 샘플링 된 신호의 크기 및 도플러주파수를 추출하여 목표물의 존재여부, 거리 및 속도정보를 추출하게 된다. 따라서 송신신호의 펄스 폭 및 펄스 반복 주기에 따라 거리해상도, 거리 및 속도의 모호성 정도가 달라진다. 이러한 펄스도플러 레이더에서 거리 해상도 및 정확도를 높이기 위하여 펄스폭을 좁힐 경우 일반적으로 요구되는 침투치 전력이 지나치게 높아지게 된다. 그러므로 사용목적에 따라서는 주파수 변조된 연속적인 신호파형을 채택하는 것이 더 적절할 수 있다.

요구되는 거리 해상도 및 정확도가 그렇게 높지 않은 중장거리용 탐지 및 추적 레이더나 고출력의 침투치 신호를 발생시킬 수 있는 증폭기를 적용할 수 있는 경우에는 펄스신호 열들을 송출하는 방식을 채택할 수 있다. 그러나 단거리 및 초단거리에서 주로 이용되어지는 고해상도 레이더 시스템은 비교적 소형이면서 경제적으로 구현되어질 수 있어야 한다. 따라서 연속적인 파형을 사용하게 되면 낮은 침투치 전력을 유지함으로써 반도체 증폭기 등을 사용할 수 있으며 또한 homodyne 수신기에서는 송신된 파형을 기준 주파수로 하여 복조된 기저대역 신호를 직접 추출하는 방식이기 때문에 구현이 매우 간단해지는 장점을 가질 수 있다[1][2].

FM-CW 레이더에서는 펄스 도플러 레이더와 달리 수신 단에서 복조된 신호들은 거리 및 속도정보가 결합되어 모두 비트 스펙트럼으로 표시되는데 목표물의 이동 속도에 의한 도플러 주파수 천이로 인하여 변조기법 및 수신신호 영역에 따라 각각 증가 또는 감소된 비트 주파수를 가지는 신호로 나타나게 되며 이러한 스펙트럼들의 전력크기에 따라 탐지여부가 결정되어진다. 따라서 단거리 및 초단거리 레이더 시스템에서 거리 및 속도정보를 정확하게 얻기 위해서는 고해상도의 비트 스펙트럼 추정이 필요하다. 그러나 고속으로 이동하는 물체의 탐지 및 추적을 위해서는 레이더 dwell time 을 길게 할 수 없기 때문에 신호획득 시간이 매우 짧아질 수 있다.

따라서 기존의 스펙트럼 추정방식인 FFT 방법을 적용할 경우 주파수 해상도 및 정확도가 심하게 열화 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 스펙트럼 추정에서의 정확도 및 해상도를 향상시킬 수 있는 모델 파라미터 추정방식인 AR 방법을 적용하여 거리 및 속도정보를 추출하였으며 그 결과 값들을 기존의 방식과 비교, 분석하였다.

## II. FM-CW 레이더에서의 거리 및 속도 추정

FM-CW 레이더는 펄스 레이더와 달리 반사 목표물에 대한 거리정보를 얻기 위하여 시간에 따른 주파수 변조를 이용하고 있다[3]. 주파수 변조방식에는 여러 가지 방법이 있으나 비교적 수신신호의 처리과정이 간단한 선형적인 주파수 변조방식이 많이 활용되고 있다. 시간에 따라 선형적으로 주파수 변조된 송신신호를 정규화된 복소신호 형태로 표시하면 다음과 같이 표시된다.

$$U = \exp\left(j2\pi\left(\frac{1}{2}st^2\right)\right) \quad \text{for } 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

식(1)에서 s 는 선형 주파수 변조에서의 기울기를 표시한다. 따라서 지연시간을 가지는 수신 신호들을 homodyne 방식으로 복조하면 거리정보를 추출하기 위한 기저대역에서의 비트 신호를 다음과 같이 비교적 간단하게 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} UU_r^* &= A_r \exp(j2\pi s\tau t - j\pi s\tau^2 + \phi_r) \\ &= A_r \exp(j2\pi s\tau t + \phi_r) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서의  $A_r$  및  $\phi_r$  은 반사파의 상대적인 크기 및 위상변이를  $\tau$  는 수신신호의 거리에 따른 지연시간을 나타낸다. 따라서 식 (2)에서 표시된 바와 같이 복조된 비트신호의 주파수를 추정함으로써 목표물과의 거리를 알 수 있다.

그러나 목표물이 속도를 가지고 이동하는 경우에는 도플러 주파수 변이에 의하여 비트 주파수가 변하게 된다. 따라서 거리정보와 속도 즉, 도플러 주파수 정보가

결합되어 비트 주파수로 나타나게 된다. 이러한 경우에는 거리 및 속도정보의 개별적인 추출이 가능하지 않다. 그러므로 이러한 경우에는 그림 1에서 표시한 것처럼 송신 주파수를 시간에 따라 구간을 나누어 증가 및 감소하는 형태의 선형 주파수 변조된 파형을 생성할 수 있다. 즉 시간에 따라 선형적으로 증가되는 주파수 변조영역에서는 도플러 주파수만큼 낮아진 비트 주파수가 나타나게 되며 반대로 감소되는 주파수 변조영역에서는 도플러 주파수만큼 더 높은 비트 주파수를 가지게 된다. 수식으로 표현하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$B = \begin{cases} A_r \exp[j2\pi(s\tau - f_d)t + \phi_0] & \text{for } \tau \leq t \leq T/2 \\ A_r \exp[j2\pi(s\tau + f_d)t + \phi_0] & \text{for } \tau + T/2 \leq t \leq T \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)에서  $f_d$ 는 물체의 이동속도에 의한 주파수 변이를 나타내며 거리정보를 나타내는 비트신호의 주파수는  $f_r = |s|\tau$  로 표시된다. 따라서 첫 번째 비트신호의 주파수  $f_{down}$  및 두 번째 비트 신호의 주파수  $f_{up}$ 은 각각  $f_r - f_d$ 와  $f_r + f_d$ 를 나타내게 된다. 이러한 up-down 비트 주파수를 갖는 수신 비트신호를 그림 1에 표시하였다.

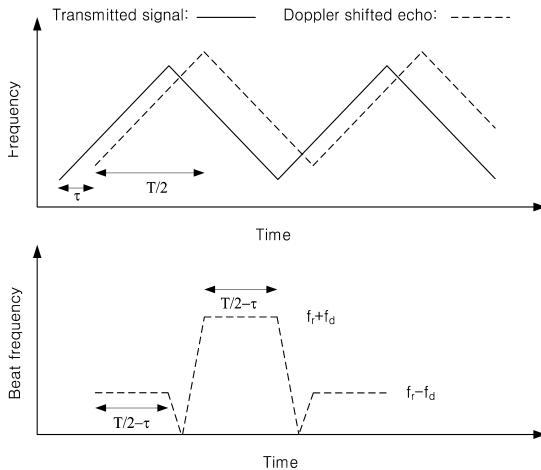


그림 1. 선형 주파수 변조된 송신파형에서의 도플러 변이된 이동 목표물의 반사파 복조 신호  
 Fig. 1. A demodulated signal from a Doppler shifted moving target echo of a transmitted waveform with a linear frequency modulation

따라서 이러한 결합된 정보를 포함하고 있는 비트 신호 B의 주파수 추정이 up-down 영역에서 정확하게 이루어져야만 한다. 그러나 기존의 FFT 스펙트럼 추정방법은 목표물로부터 신호를 획득할 수 있는 시간정도에 따라 주파수 해상도가 결정될 뿐만 아니라 누설현상에 의하여 높은 부엽이 나타나게 된다. 이러한 큰 부엽을 억제하기 위해서는 부엽의 크기를 낮출 수 있는 즉, 구형 윈도우외의 다른 윈도우를 적용하면 이러한 누설현상을 줄임으로서 부엽을 크게 낮출 수 있을 것이다.

그러나 이러한 데이터 윈도우를 적용함으로써 부엽의 크기를 낮추는 경우 주파수 해상도가 상대적으로 낮아지게 되므로 정보추출에서의 전체적인 정확도 향상을 기대하기 어렵다. 이러한 문제점들은 고속의 이동 목표물을 탐지하거나 추적하는 경우처럼 레이다 dwell time이 무척 짧아지는 상황에서는 더욱 심각하게 나타날 수 있다.

따라서 앞에서 언급한 바와 같은 제약사항들이 발생하지 않는 즉, 스펙트럼 모델 파라미터 추정방법을 이용한 주파수 추정 방식이 더욱 유용할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 up-down 구간 비트 신호의 스펙트럼 추정에 비교적 간단한 모델 파라미터 추정 방식인 AR (autoregressive) 방법을 적용하여 거리 및 속도정보 추출에서의 정확도를 개선하고자 한다.

### III. AR 비트 신호 스펙트럼 추정 방법에 의한 주파수 추출 정확도 및 해상도 개선

FM-CW 레이다 시스템에서는 데이터 블록 단위로 비트 신호에 대한 스펙트럼 추정을 수행하게 된다. 이렇게 수신되는 N 개의 블록 데이터에 대하여 기존의 DFT 또는 FFT 방식이 아닌 p 차수를 갖는 AR 파라미터 추정 방법을 생각하여 보자. AR 스펙트럼 추정방법에는 몇 가지 종류가 있는데 주로 사용되는 방법으로는 Burg 하모닉 알고리즘과 modified covariance 알고리즘이 있다[4]. Burg 알고리즘의 경우도 forward 및 backward 예측 오차의 자승을 최소화하는 방식이다. 그러나 modified covariance 알고리즘이 모든 예측계수들에 대한 에러의 최소화 방식인데 반하여 Burg 알고리즘은 하나의 예측계수에 대한 제한된 에러 최소화 방법을 적용한다. 따라서 스펙트럼 추정에서의 편향이나 잘못된 스펙트럼 피

크 주파수 분리 현상이 비교적 자주 발생하는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 AR 방법 중 가장 신뢰성 있는 방법인 modified covariance 알고리즘을 적용하여 비트신호의 스펙트럼을 추정하고자 한다.

Stationary 랜덤프로세스를 가정하면 N개의 데이터에 대하여 p 차수를 갖는 forward 및 backward AR 계수는 서로 켈레 복소수 관계에 있기 때문에 (N-p) forward 및 backward 예측 오차들은 다음과 같은 매트릭스 형태로 표시될 수 있다.

$$\mathbf{e}_p = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_p^f \\ \mathbf{e}_p^{b*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_p \\ \mathbf{T}_p^* \mathbf{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \mathbf{a}_p^{fb} \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(4)에서 \* 는 켈레 복소수를 나타내며 (N-p) 개의 값을 가지는 forward 및 backward 선형예측 오차벡터는 다음과 같이 표시하였다.

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_p^f &= [e_p^f[p+1] \cdots e_p^f[N]]^T \\ \mathbf{e}_p^b &= [e_p^b[p+1] \cdots e_p^b[N]]^T \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)에서의 T 는 transpose를 의미한다. 식 (4)에서의 reflection 매트릭스 J, 선형예측 계수벡터  $\mathbf{a}_p^{fb}$  및 (N-p)×(p+1) Toeplitz 데이터 매트릭스  $\mathbf{T}_p$  는 각각 다음과 같이 표현된다. 또한 J 가 (p+1)×(p+1) reflection 매트릭스로 표시되기 때문에  $\mathbf{T}_p^* \mathbf{J}$  는 데이터의 켈레복소수로 구성되는 한켈(Hankel) 매트릭스를 형성하게 된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{J} &= \begin{pmatrix} 0 & \cdots & 0 & 1 \\ 0 & \cdots & 1 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cdots & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \mathbf{a}_p^{fb} &= [a_p[1] \cdots a_p[p]]^T \\ \mathbf{T}_p &= \begin{pmatrix} x[p+1] & \cdots & x[1] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x[N-p] & & x[p+1] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x[N] & \cdots & x[N-p] \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

이러한 에러들의 제곱에 대한 평균값은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\rho_p^{fb} = \frac{1}{2} \mathbf{e}_p^H \mathbf{e}_p \quad (7)$$

여기서 H 는 Hermitian 을 표시한다. 따라서 식 (7)으로 표현되는 값을 최소화하는, 즉 modified covariance 방법에 의한 AR 파라미터 값을 다음과 같은 식으로부터 얻을 수 있다[5].

$$\mathbf{R}_p \mathbf{a}_p^{fb} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_p \\ \mathbf{T}_p^* \mathbf{J} \end{bmatrix}^H \begin{bmatrix} \mathbf{T}_p \\ \mathbf{T}_p^* \mathbf{J} \end{bmatrix} \mathbf{a}_p^{fb} = \begin{bmatrix} 2\rho_p^{fb} \\ \mathbf{0}_p \end{bmatrix} \quad (8)$$

식 (8)에서의  $\mathbf{0}_p$  는 p 개의 0 을 표시하는 제로 벡터이며  $\mathbf{R}_p$  의 구성요소는 자기상관 함수(autocorrelation function)들의 합을 표시한다. 그러므로 식 (8)을 이용하여 추정된 AR 스펙트럼은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\hat{P}(f) = \frac{T \hat{\rho}}{\left| 1 + \sum_{n=1}^p \hat{a}[n] \exp(-j2\pi fnT) \right|^2} \quad (9)$$

식 (9)에서의 T는 샘플링 간격을 표시하며  $\hat{\rho}$  은 잡음 분산의 추정치를 나타내게 된다. 여기서 모델의 차수인 p 가 커질수록 스펙트럼 추정치의 분산이 커지는 경향을 보이며 연산양도 많아지게 된다. FM-CW 레이더의 경우 특정한 공간각, 즉 전자파 빔 폭 영역에 다수의 목표물이 존재하는 경우를 가정하기 어렵기 때문에 실제로는 많아야 둘 또는 세 개 정도의 피크가 비트 스펙트럼 영역에 존재하게 될 것이다. 따라서 본 모의실험에서의 AR 스펙트럼 추정 모델 차수 p 의 값을 2 로 설정 하였다. 그러므로 비교적 적은 연산 양으로 효율적인 스펙트럼 추정이 가능하다.

#### IV. 거리 및 속도 추정 결과

결과를 얻기 위하여 비트 신호를 모의 구현하였다. 이

러한 수신 비트 신호의 크기는 확률적으로 Rayleigh 분포임을 가정하였고 비트신호의 스펙트럼 형태는 스펙트럼 폭이 비교적 좁게 표시되는 가우시안 형태로 나타낼 수 있도록 하였다. 이러한 과정을 거쳐서 모의 구현된 비트신호에 대하여 각각 기존의 FFT 방법 및 modified covariance AR 방법을 적용하여 스펙트럼 추정을 행하였다. 각각의 추정된 스펙트럼으로부터 다음과 같은 중심치 주파수 추출방법을 이용하였다.

$$\hat{f}_B = \frac{\sum_{i=1}^N f_i \hat{P}(f_i)}{\sum_{i=1}^N \hat{P}(f_i)} \quad (10)$$

따라서 식 (10)과 같이 추정한 각각의 up-down 비트 주파수로부터 거리 및 속도 정보를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{R} &= \frac{c}{4|s|} (\hat{f}_{down} + \hat{f}_{up}) \\ \hat{V} &= \frac{\lambda}{4} (\hat{f}_{up} - \hat{f}_{down}) \end{aligned} \quad (11)$$

식 (11)에서 c는 전자파의 속도를 s는 선형주파수 변조에서의 기울기, 즉 단위시간당 주파수 증가 및 감소치를 나타낸다. 본 논문에서는 초속 100 m 이상의 고속이동 목표물의 탐지 및 추적을 목적으로 레이다 dwell time을 0.32 ms로 매우 짧게 설정하였다. 이와 같이 신호획득 시간이 현저히 짧아질 경우 일반적으로 거리 해상도는 변조주파수 대역이 일정하다면 변조 기울기, 즉 시간당 변조주파수 변이의 절대적인 크기가 높게 나타나며 비트 주파수도 이에 비례하여 상승 또는 감소하므로 거리 해상도에는 문제가 나타나지 않을 것이다. 그러나 이동 목표물의 경우 거리 및 속도 정보는 앞장에서 언급한 바와 같이 결합된 형태로 표시되며 속도정보의 해상도가 적절히 유지되지 않는다면 거리 및 속도정보의 정확한 분리 추출은 가능하지 않다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 비트신호의 스펙트럼 추정에 AR 방법을 적용한 후 추출된 결과 값들을 비교, 분석하고자 한다. 먼저 전자파의 송신 주파수는 30 GHz로 가정하였으며 대상 목표물은 탐지하고

자 하는 레이다로부터 거리가 300m -250m 인 영역에서 일정한 속도, 즉 100 m/sec의 고속으로 레이다로 접근하고 있다고 가정하였다. 또한 결과들을 얻기 위하여 모의구현 한 수신 비트신호의 SNR 값은 15 dB로 가정하였다. 변조대역은 10 MHz로 설정하였으며 거리 영역을 1m 구간으로 나누어 299m부터 250m 사이의 거리 구간에 대하여 즉, 인덱스 1부터 50까지 총 50개의 거리 구간에 대한 거리 및 속도정보를 추출 하였다. 결과 그림들에서 보는 것처럼 up-down 비트 주파수 추정 결과들을 이용하여 거리 및 속도 정보를 각각 분리하여 추출하였으며 그림 2와 그림 3에 최종적으로 얻어진 거리 및 속도 추정치에 대한 결과 값들을 각 거리 구간 별로 표시하였다.

결과 그림들에서 알 수 있는 것과 같이 거리 및 속도 정보를 분리하여 추출하였을 때 AR 방법에 의하여 추정된 비트신호 스펙트럼을 이용하여 얻은 결과 값들이 더 정확하게 나타난다는 것을 확인할 수 있다. 그림 4, 5 및 6에서는 기존의 FFT 방법을 적용한 스펙트럼 추정과 AR 추정에서의 예를 비교해 보기 위하여 거리구간 인덱스 50에서의 증가된 비트 주파수를 갖는 신호에서의 스펙트럼 추정결과들만을 표시하여 보았다.

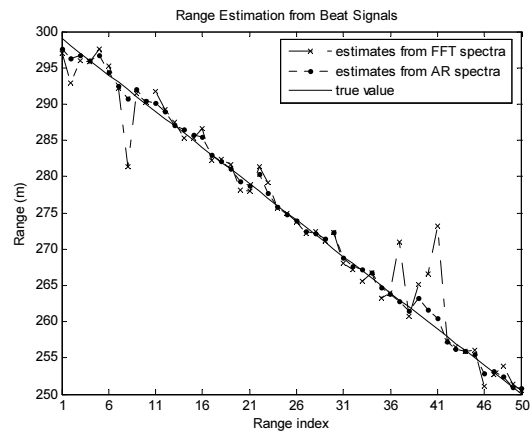


그림 2. 수신 비트신호의 스펙트럼 추정방법에 따른 거리정보의 추출 결과 비교

Fig. 2. Comparison of extracted rang information results according to the method of spectrum estimation for received beat signals

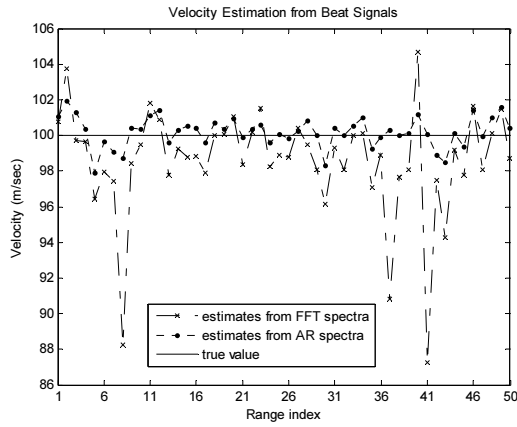


그림 3. 수신 비트신호의 스펙트럼 추정방법에 따른 속도정보의 추출 결과 비교  
 Fig. 3. Comparison of extracted velocity information results according to the method of spectrum estimation for received beat signals

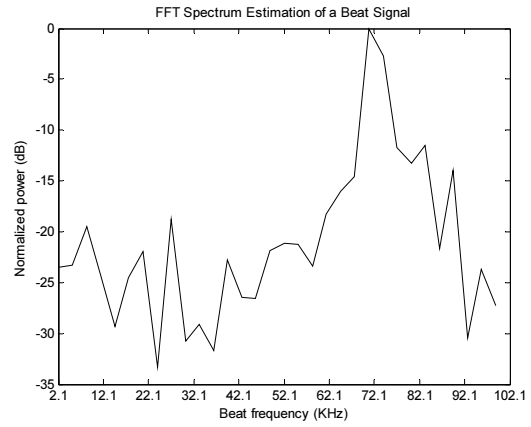


그림 5. 수신시간이  $3.2 \times 10^{-4}$  초일 때의 모의 비트신호의 FFT 스펙트럼  
 Fig. 5. The FFT spectrum of a simulated beat signal with the receiving duration of  $3.2 \times 10^{-4}$  sec.

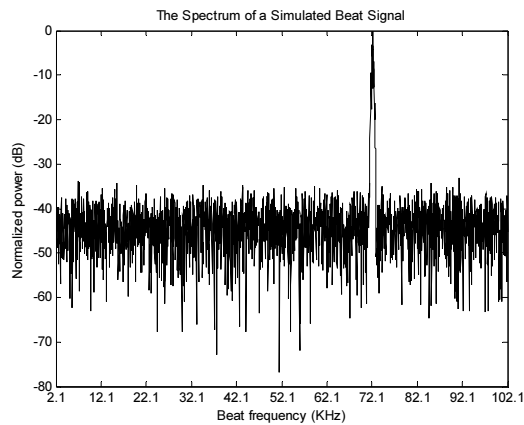


그림 4. 도플러 변이에 의하여 주파수가 증가한 모의 비트신호의 스펙트럼  
 Fig. 4. The spectrum of a simulated beat signal with the increased beat frequency by Doppler shift

그림 4는 모의구현 된 원래의 비트신호 스펙트럼을 그림 5 및 그림 6은 수신 시간을  $0.32 \text{ ms}$  로 짧게 제한했을 경우의 비트신호에 대한 FFT 및 AR 스펙트럼 추정 결과이다. 그림 5에서 보는 것처럼 기존의 FFT 방식의 경우 해상도 및 부엽등의 문제로 인하여 스펙트럼 추정이 그림 6의 AR 방법에 비하여 부정확하게 나타남을 알 수 있다.

그런데 이러한 스펙트럼 추정 예에서는 중심주파수 추출방법을 적용하게 되면 주파수 추정 값은 기존의 방법과 거의 비슷한 정확도를 보이는 다소 예외적인 경우이다. 그러나 그림 5와 그림 6에서 확인 할 수 있는 바와 같이 전체 구간에 대한 거리 및 속도정보 추출 결과들은 본 논문에서 적용한 modified covariance AR 스펙트럼 추정을 이용한 경우가 기존의 FFT 방법에 비하여 더 신뢰성이 있으며 향상된 정확도를 보이고 있음을 알 수 있다.

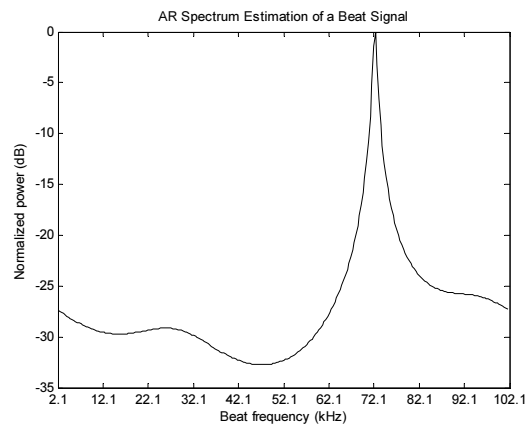


그림 6. 수신시간이  $3.2 \times 10^{-4}$  초일 때의 모의 비트신호의 AR 스펙트럼  
 Fig. 6. The AR spectrum of a simulated beat signal with the receiving duration of  $3.2 \times 10^{-4}$  sec.

### V. 결론

단거리 및 초단거리에서의 원격탐지 및 추적 등의 목적으로 주로 활용되는 FM-CW 레이더에서는 거리 및 속도 정보 추정의 정확도가 매우 중요시된다. 특히 빠른 속도로 이동하는 목표물의 요격 등을 위해서는 정보추출에서의 높은 정확도 유지는 필수적이다. 그러나 상대적으로 목표물의 이동속도가 빠를수록 수신 신호의 획득시간은 짧아지게 되고 이러한 문제점은 거리와 속도정보가 결합된 비트 주파수 추정에 심각한 문제점을 야기할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 FFT 스펙트럼 추정방법 대신 해상도 및 부엽의 제약이 없는 modified AR 스펙트럼 추정방법을 적용한 비트신호의 중심주파수 추출결과들을 비교, 분석하였다.

그림으로 나타낸 결과들에서 확인할 수 있는 것처럼 기존의 FFT 스펙트럼 추정방법을 이용한 정보추출에 비하여 본 논문에서 적용한 AR 스펙트럼 추정방법을 이용할 경우 더 신뢰성 있고 향상된 정확도를 보인다는 것을 알 수 있다. 따라서 신호획득 시간이 제한되는, 즉 고속으로 이동하는 목표물의 추적 및 탐지에 있어서 매우 중요시되는 거리 및 속도정보의 추출 정확도와 신뢰성 향상에 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

[1] A. Tessmann et al., "Compact single-chip W-band FMCW radar modules for commercial high-resolution sensor applications", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 50, no. 12, pp. 2995-3001, 2002.

[2] K. Chang et al., "Forward-looking automotive radar using a W-band single-chip transceiver", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 43, no. 7, pp. 1659-1668, 1995.

[3] A. G. Stove, "Linear FMCW radar techniques", IEE Proc. F, vol. 139, no. 5, pp. 343-350, 1992.

[4] T. Thorvaldsen, "A comparison of the least squares method and the Burg method for autoregressive spectral analysis", IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 29, pp.

675-679, 1981.

[5] C. L. Nikias and P. D. Scott, "The covariance least-squares algorithm for spectral estimation of processes of short data length", IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 21, pp.180-190, 1983.

### 저자소개



이종길(Jonggil Lee)

1982년 2월 연세대학교  
전자공학과(공학사)  
1985년 1월 미국 Case Western  
Reserve University,  
Electrical Eng. (M.S.)

1990년 5월 미국 Clemson University, Electrical Eng.  
(Ph.D.)

1991년 1월~1993년 2월 삼성전자 특수연구소  
1993년 3월~현재 인천대학교 정보통신공학과 교수  
※관심분야:무선통신, 레이더신호처리, 레이더시스템