

IR-UWB Radar 시스템에서 특이값 분해를 이용한 클러터 신호 제거 알고리즘의 연산속도 향상 기법

백인석*, 정문권°, 조성호*

Improvement of Computational Speed for the SVD Background Clutter Signal Subtraction Algorithm in IR-UWB Radar Systems

In Seok Baek*, Moon Kwun Jung°, Sung Ho Cho*

요약

본 논문에서는 특이값 분해를 이용한 클러터 신호 제거 알고리즘의 연산속도를 향상시킬 수 있는 기법을 제시한다. IR-UWB Radar를 이용하여 실내 위치 추적 시스템을 위해서는 수신 신호에서 목표물 신호를 추출하여야 한다. 특이값 분해를 이용하여 클러터 신호를 제거함으로써 수신신호로부터 목표물의 신호를 추출할 수 있다. 특이값 분해를 이용한 클러터 신호 알고리즘은 목표물의 신호 추출 성능이 우수하나 연산속도가 느리다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이런 단점을 극복하는 기법을 제시한다. 실제 IR-UWB Radar 시스템에 적용한 실험을 통해 본 논문에서 제시한 기법이 연산속도를 향상시키는 것을 확인하였다.

Key Words : UWB Radar, Impulse Radar, Human Detection, SVD, Clutter

ABSTRACT

This paper presents an improved clutter signal removal algorithm using Singular Value Decomposition(SVD). For indoor positioning system using IR-UWB Radar, the target signal is extracted from received signal. We use clutter signal removal algorithm using SVD for target signal extraction. Clutter signal removal algorithm using SVD has the advantage of operation but the disadvantage of high computational complexity. In this paper, we propose a method to improve computational complexity. As the experimental results, it is confirmed that the method presented in this paper improve the computational complexity of clutter removal algorithm using SVD.

I. 서론

현대에 이르러 정확한 위치인식 및 추적 기술에 대한 개발 필요성이 대두되고 있으며, 산업 전반에 걸쳐 그 응용이 요구되고 있으며 수요처가 확대되

고 있는 상황이다. 실외에서의 위치 추적 분야는 Global Positioning System (GPS)로 대변되는, Global Navigation Satellite System (GNSS), 즉 위성항법 시스템으로 매우 정밀한 단위의 성능을 보이고 있다. 실내 위치 추적 기술에 있어서는 확실한

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.(NIPA-2012- H0301-12-4003)

◆ 주저자 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 임베디드무선통신연구실, isbaek@casp.hanyang.ac.kr, 준회원

° 교신저자 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 임베디드무선통신연구실, mkjung@casp.hanyang.ac.kr, 준회원

* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 임베디드무선통신연구실, dragon@hanyang.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-09-437, 접수일자 : 2012년 9월 15일, 최종논문접수일자 : 2012년 1월 4일

솔루션의 부재로 인해 다양한 방법이 연구되고 있다.

Impulse-Radio Ultra Wideband (IR-UWB) Radar 기술은 극히 짧은 임펄스 신호를 방사하여, 목표물에 의해 반사되어 들어오는 시간 Time-of-Arrival (TOA)를 이용하여 목표물의 거리, 상대 속도를 측정하는 방식이다. IR-UWB Radar 기술은 저 비용, 저 소비전력으로 실내외에서 수십 cm 급의 정밀한 위치 인식/추적 기능을 가능하게 함으로써 기존의 카메라 기반의 실내 감시 시스템을 보완할 수 있는 기술로 기대되고 있다. 또한 임펄스 신호의 투과성을 이용한 벽 투시용 레이더, 고정밀도의 위치 측정, 지반 감시 등 다양한 분야에서 활용이 가능하다¹⁾.

IR-UWB Radar 시스템은 Radar 영역 안의 환경에서 원하는 목표물의 반사 신호 뿐 아니라 주변 모든 사물에 의한 반사 신호도 수신하게 된다. 목표물의 정확한 추적을 위해서는 목표물 이외의 다른 신호들은 제거 되어야 한다. IR-UWB Radar 측정 영역 내 목표물 이외의 고정된 물체들을 클러스터라고 하며, 고정된 물체들에 의해 생성되는 반사 신호들을 클러스터 신호라고 한다. 클러스터 신호가 제거되어야 목표물의 위치 추적이 정확하게 이루어진다.

본 논문에서는 클러스터 신호 제거를 위해 특이값 분해(Singular Value Decomposition : SVD)를 이용하였다^{2,3)}. 기존에는 클러스터 신호 제거를 위해 Adaptive Background Subtraction 알고리즘이 사용되었다⁴⁾. 특이값 분해를 이용한 클러스터 신호 제거 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 목표물의 위치 추정 정확도가 높다. 하지만, 특이값 분해를 이용한 클러스터 신호 제거 알고리즘은 높은 복잡도로 인해 연산 속도에 있어 불리한 면이 있었다. 본 논문에서는 특이값 분해를 이용한 클러스터 신호 제거 알고리즘에서 정확도는 유지하면서 연산속도를 향상시킬 수 있는 방법을 제시한다.

IR-UWB Radar 시스템에 적용하여 실험 한 결과 특이값 분해를 이용한 클러스터 신호 제거 알고리즘이 기존 Adaptive Background Subtraction 알고리즘에 비해 위치 추적 정확도가 높은 것을 확인하였다. 또한 본 논문에서 제시한 방법을 적용하여 기존 특이값 분해를 이용한 클러스터 제거 알고리즘의 연산속도를 향상시키는 결과를 확인 할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IR-UWB Radar의 신호처리 과정에서 특이값 분해

를 이용한 클러스터 제거 알고리즘에 대해 설명하고, 특이값 분해를 이용한 클러스터 신호 제거 알고리즘의 연산속도를 향상시키기 위한 방법을 제안하며, 3장에서는 제안된 방법에 대해 실험을 수행하여 성능 및 연산 속도를 제시하고 마지막으로 4장에서 결론을 맺었다.

II. 본문 인용의 예

2.1. IR-UWB Radar 시스템 신호처리

IR-UWB Radar은 임펄스 신호를 방사하여 목표물의 반사 신호가 수신되는 시간 TOA 측정을 기반으로 목표물의 위치를 추정하는 기술이다. IR-UWB Radar를 이용하여 목표물의 위치를 추정하기 위해서는 4단계의 과정이 필요하다. 4단계의 신호처리 과정은 샘플링, 목표물 신호 추출, 목표물 탐지, TOA 추정으로 구성된다⁵⁾.

1단계 샘플링 과정에서 RF 수신단을 통해 들어온 신호를 디지털 신호로 변환한다. IR-UWB Radar 기술은 극히 짧은 임펄스 신호를 사용하기 때문에 고속 샘플링 과정이 필요하다. 샘플링의 속도가 빠를수록 IR-UWB Radar의 목표물 측정의 정확도가 높아지게 된다. 일반적으로 IR-UWB Radar에서 샘플링 속도는 수십GHz에 이르고, 본 논문을 위해 사용된 Novelda 社의 NVA 6000 chip은 약 40GHz의 샘플링 속도를 가진다.

2단계 목표물 신호 추출 과정을 통해 목표물의 위치 추정이 가능하게 된다. 본 논문에서는 움직이는 사람을 목표물로 한다. 목표물 이외의 IR-UWB 측정 영역에는 움직이는 사람 뿐 아니라 고정된 물체 및 사물들이 존재하는 환경이다. 목표물의 위치 추적을 위해서는 수신 신호에는 목표물의 신호와 주변 환경에 의해 생성되는 신호를 분리하여야 하여 목표물의 신호를 추출하여야 한다. 본 논문에서는 클러스터 신호 알고리즘을 통해 수신신호에서 클러스터 신호를 제거하여 목표물의 신호를 추출하는 방법을 사용하여, 신호 추출된 목표물 신호를 이용하여 목표물의 위치를 추정한다.

3단계 목표물 탐지 과정에서 목표물의 존재 여부를 결정한다. 2단계에서 클러스터 신호가 제거된 신호에서 통계적 결정이론을 기반으로 목표물이 존재 여부를 결정하게 된다. 목표물 탐지 과정을 통해 목표물이 존재할 때, 4단계 TOA 추정 과정을 통해 목표물의 위치를 추정한다. 추정된 TOA를 기반으로 목표물의 위치를 추정 한다.

본 논문에서는 클러스터 신호제거 과정에 초점을 두고 있으며, 3단계와 4단계는 [5],[6]의 과정을 참조하여 목표물의 위치를 추정하였다.

2.2. 특이값 분해를 이용한 클러스터 신호 제거 알고리즘

IR-UWB Radar는 T_f 의 주기로 임펄스 신호를 방사하고, 임펄스 신호를 방사한 t_0 시점부터 t_1 ($t_0 < t_1 < T_f$) 시점까지의 반사 신호를 수신한다. IR-UWB Radar 시스템으로 측정 할 수 있는 최대 측정 거리 $d_{max} = ct_1/2$ 가 된다.

한 번의 임펄스를 방사하여 수신된 신호의 샘플들로 구성된 수신신호 프레임 x 를 형성한다. 수신신호 프레임 x 에는 목표에 의해 생성된 신호, 클러스터에 의해 생성된 신호, 주변 환경에 의해 생성된 노이즈로 구성된다. 수신신호 프레임 x 를 다음과 같이 쓰여 질 수 있다. x_t 는 목표물에 의한 신호, x_c 는 클러스터 신호, e 는 노이즈를 의미한다.

$$x = x_t + x_c + e \tag{1}$$

n 개의 수신신호 프레임으로 구성된 수신신호 Matrix X 를 형성할 수 있다. 수신신호 프레임의 샘플 수가 m 이면, 수신신호 Matrix X 은 $n \times m$ 크기이다. 수신신호 Matrix로 (1)식을 다시 쓰면 다음 (2)과 같다. X_t 는 목표물에 의한 신호로 구성된 Matrix, X_c 는 클러스터 신호로 구성된 Matrix, E 는 노이즈 신호로 구성된 Matrix이다.

$$X = X_c + X_t + E \tag{2}$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, X_t = \begin{bmatrix} x_{t,1} \\ x_{t,2} \\ \vdots \\ x_{t,n} \end{bmatrix}, X_c = \begin{bmatrix} x_{c,1} \\ x_{c,2} \\ \vdots \\ x_{c,n} \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}$$

IR-UWB Radar 시스템의 목표물은 움직이는 사람이다. 움직이는 목표물의 신호들은 시간에 따라 신호의 변화가 크다. 하지만 클러스터 신호들은 주변 고정된 물체나 환경에 의해 생성된 신호들로 시간에 따른 신호의 변화가 거의 없다. 수신신호 행렬을 재구성하여 시간의 변화에 따른 신호의 변화가 없는 클러스터 신호를 획득하여 수신신호에서 이를 제거하면 목표물의 신호를 얻을 수 있다. 클러스터 신호를 획득하기 위해 특이값 분해를 사용한다^[3].

특이값 분해기법은 고유치 분해 기법 중 하나로, 최소 자승법과 행렬의 근사화에 많이 사용된다. 특이값 분해를 통해 수신신호 Matrix X 는 고유값(eigenvalue)와 고유벡터(eigenvector)을 가지는 신호들로 분해된다. 이 때, 고유치는 선형 독립인 신호들의 가중치이며 고유벡터는 시공간적 변동량이다. 수신신호 Matrix X 을 특이값 분해를 통해 (3)과 같이 3개의 행렬 곱으로 나타낸다^[3]. U 는 $n \times n$ 유니타리 행렬(unitary matrix), V 는 $m \times m$ 유리터리 행렬이며, S 는 $n \times m$ 크기의 비음수(nonnegative)로 구성된 행렬이다.

$$X = USV^T \tag{3}$$

행렬 U 의 열(column)들은 좌특이벡터(left singular vector), 행렬 V 의 열들을 우특이벡터(right singular vector)라고 한다. X 의 계수(rank)를 r 이 $r = n < m$ 을 만족할 때, 식(3)을 좌특이벡터와 우특이벡터로 다시 표현하면 (4)와 같다.

$$X = USV^T = [u_1 \ u_2 \ u_3 \ \dots \ u_n] \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & & 0 & & \\ 0 & \dots & 0 & \sigma_r & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1^T \\ v_2^T \\ \vdots \\ v_m^T \end{bmatrix} \tag{4}$$

X 의 계수(rank)가 r 일 때, 위 특이값 분해를 이용해 (5)-(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$X = \sigma_1 \begin{pmatrix} \vdots \\ u_1 \end{pmatrix} (\dots v_1^T \dots) + \sigma_2 \begin{pmatrix} \vdots \\ u_2 \end{pmatrix} (\dots v_2^T \dots) + \dots + \sigma_r \begin{pmatrix} \vdots \\ u_r \end{pmatrix} (\dots v_r^T \dots) \tag{5}$$

$$X = \sum_{j=1}^r \sigma_j u_j v_j^T \tag{6}$$

- u_j : j^{th} left eigenvector of R
- v_j^T : j^{th} right eigenvector of R
- σ_j : j^{th} singular value of R

특이값 분해를 이용하여 얻어진 고유값 중 상대

적으로 우세한 고유값(Low Rank)을 이용하여 행렬을 재구성 할 수 있다. 행렬을 재구성하여 근사화 하는데 이런 근사법을 낮은계수근사법(Low Rank Approximation)이라 한다. 낮은계수사용법을 이용하여 X 를 계수가 k 인 행렬 X_k ($k < r$)로 근사화 한다.

$$X_k = \sum_{j=1}^k \sigma_j u_j v_j^T \quad (7)$$

낮은계수근사화를 통해 X 를 근사화한 X_k 는 고유값의 우선순위를 통해 시간적인 주성분(Principal Component) 신호로 재구성 된 행렬이다. 낮은 계수로 근사화된 X_k 는 클러터신호로 구성된 클러터신호 행렬 X_c 로 볼 수 있다. 위 식 (2)에서 노이즈를 일단 배제하면, X 에서 X_c 를 빼면 목표물의 신호 행렬 X_t 을 구할 수 있다. 따라서 목표물의 신호 행렬 X_t 는 (8)과 같이 근사화 할 수 있다.

$$X_t = X - X_c = X - X_k \quad (8)$$

지금까지 특이값 분해를 이용한 클러터 신호 제거의 일반적인 방법이다. 기존 방법은 특이값 분해의 알고리즘 복잡도를 인해 IR-UWB Radar의 측정 영역이 넓어지거나 혹은 수신 신호의 샘플링 속도 향상에 따른 수신 신호 샘플 수 증가에 따라 그 제곱으로 알고리즘 연산량 증가로 알고리즘의 속도가 하락하는 단점이 생긴다.

2.3. 클러터 신호 제거 알고리즘의 속도 향상 기법

특이값 분해를 이용한 클러터 신호 제거 알고리즘은 수신신호 행렬 X 를 특이값 분해를 통해 고유값과 고유벡터를 분해하여 낮은 계수로 근사화하여 클러터 신호를 제거하는 방법이다. 클러터 신호 행렬을 형성하기 위해서는 특이값 분해가 필요한데, 특이값 분해 과정은 복잡도가 높아 연산과정에서 많은 시간을 요구하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 특이값 분해를 이용한 클러터 신호 제거 알고리즘의 연산속도를 향상시키는 방법을 제시한다^[7].

그림 1.은 IR-UWB Radar의 측정 영역에 책상과 사람이 한명 존재하는 것을 표현한 것이다. IR-UWB Radar의 측정 영역을 거리에 따라 5개의 영역 p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 으로 나누었다. p_3 영역에 책상이 p_5 영역에 사람이 존재한다. IR-UWB Radar의 수신신호도 5개의 영역으로 나누어 관찰하

면 p_3 의 수신신호영역에만 책상의 반사 신호만 영향을 줄 것이다. 사람의 반사 신호도 p_5 영역에만 영향을 줄 것이다. 아무것도 존재하지 않는 p_1, p_2, p_4 에는 책상이나 사람의 반사 신호에 의해 영향을 받지 않고 노이즈 신호만 존재할 것이고, p_3 영역의 수신신호는 책상의 반사 신호와 노이즈의 영향으로 생성되며 p_5 의 사람에 의해 영향을 받지 않는다. p_5 영역의 수신신호는 사람의 반사 신호와 노이즈로 구성되며 책상의 반사 신호는 p_5 영역의 수신 신호에 영향을 주지 않는다.

위와 같이 IR-UWB Radar의 수신 신호를 분할하면, 각 측정 영역 내 존재하는 사물들의 반사 신호로 구성될 수 있다. 또한 특정 영역에 존재하는 사물의 반사 신호는 다른 영역의 신호에는 영향을 주지 않으므로, 각 영역의 수신 신호는 상호 독립적으로 볼 수 있다. 즉, 특정 영역의 수신 신호는 그 영역에 존재하는 사물에 의해서만 영향을 받고 다른 영역에 존재하는 사물에 의해서는 영향을 받지 않는다. 따라서 수신신호를 일정 영역으로 분할하면, 각 분할 영역은 서로 독립적으로 볼 수 있다.

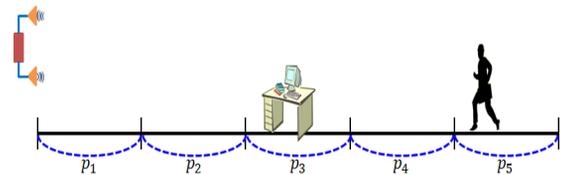


그림 1. IR-UWB Radar의 측정 영역 분할
Fig. 1. The Segmentation of IR-UWB radar measurement area

수신 신호 프레임 x 를 q 개의 분할영역으로 표현하면 식(9)과 같다.

$$x = [p_1 p_2 p_3 \cdots p_q] \quad (9)$$

n 개의 수신신호 프레임로 구성된 수신 신호 행렬을 분할하여 부분행렬 P_i ($i=1, 2, 3, \dots, p$)를 생성하면 식(10)와 같다.

$$X = [P_1, P_2, P_3 \cdots P_p] \quad (10)$$

위의 가정에 의해 부분행렬 P_{i1} 와 P_{i2} 는 $i1 \neq i2$ 이면 상호 독립이다. 앞서 X 를 낮은 계수로 근사하는 하는 클러터 신호 행렬을 만드는 방법이 설명되어 있다. 이 방법은 연산속도가 느리다는 단점이 있

다. 연산속도를 향상하기 위해 식 (10)과 같이 P_i 로 분리하고 각 P_i 를 특이값 분해를 통해 낮은 계수를 가지는 P'_i 으로 근사화 한다. 낮은 계수로 근사화된 P'_i 를 합쳐 클러스터 신호 행렬을 형성한다.

$$X_c = [P'_1, P'_2, P'_3 \dots P'_p] \quad (11)$$

식 (11)와 같이 X 를 분리하여 각 P_i 를 낮은 계수로 근사화 하여 합치는 것이 X 를 근사화 하여 X_c 를 만드는 것 보다 연산 속도가 빠르다. 특이값 분해는 알고리즘의 복잡도가 높고 행렬의 크기가 증가하면 그 제곱으로 알고리즘의 복잡도가 증가한다. X 를 특이값 분해하는 과정에서 X 의 크기는 $n \times m$ 로 알고리즘의 복잡도 m^2 으로 증가한다. 본 논문에서 제시한 방법으로 X 를 q 개로 분할하여 각각 특이값 분해를 하여 분할 영역의 클러스터 행렬을 형성하는 방법을 적용하면 복잡도를 낮출 수 있다. X 의 특이값 분해의 알고리즘 복잡도를 m^2 으로 표현하면, X 를 q 개로 분할하여 특이값 분해하는 것에 소요되는 시간을 (12)과 같이 표현할 수 있다.

$$q \times \left(\frac{m}{q}\right)^2 = m^2/q \quad (12)$$

식 (12)에서 보듯이 수신신호 행렬 X 를 분할하면 특이값 분해의 알고리즘 복잡도는 $1/q$ 로 줄어 알고리즘의 연산 속도가 q 배 증가 할 수 있다.

III. 실험

본 논문의 목표는 클러스터 신호 제거에 있으므로 다른 신호처리 과정은 [5],[6]을 참고 하여 목표물의 거리를 추정 하였다. 추정된 목표물의 거리값과 실제 목표물의 거리를 Mean Squared Error (MSE)를 이용하여 알고리즘의 성능을 비교 분석 한다. MSE는 목표물의 추정 위치 \hat{d} 와 목표물의 실제 위치 d 의 오차 제곱의 평균을 구한 것이다.

$$MSE = E[(\hat{d} - d)^2] \quad (13)$$

특이값 분해를 이용한 클러스터 신호 제거 알고리즘의 성능 평가를 위해 기존에 사용되던 Adaptive Background Subtraction 알고리즘과 비교하였다. 클러스터 신호 제거 과정에 각 알고리즘을 적용하여 목표물의 거리 추정 결과 MSE를 계산하여 성능평가

및 비교를 하였다. Novelda(社)의 NVA-R640를 이용하여 IR-UWB Radar 시스템을 갖추고 각 알고리즘을 적용하여 실제 목표물의 움직임을 측정하였다.

그림 2.은 Adaptive Background Subtraction 알고리즘을 이용한 목표물 추적 결과를 보여준다. 그림 3.는 특이값 분해를 활용하여 낮은계수근사법을 이용하여 클러스터 신호 제거한 후 목표물의 위치를 추정한 결과를 보여준다. 그림 4.은 수신 영역을 10개로 분할하여 특이값 분해를 활용한 낮은계수근사법의 속도를 향상한 방법을 적용하여 목표물의 위치를 추정한 결과를 보여준다. 각 그림에는 두 가지 실험 방법에 따른 결과가 있다. 첫 번째 (a)의 경우는 일반 실내 환경에서 한명의 사람이 0m와 10m 사이를 왕복 한 경우이다. 이 경우 처음과 마지막 부분에서만 정지 상태가 있고 나머지의 경우에는 계속 이동상태 이다. 두 번째 경우 (b)는 0m에서 출발하여 가다 서다를 반복하며 10m까지 이동한 경우이다. 이 경우는 2m씩 이동하며 일정 시간 정지 후 다시 이동한 경우를 나타낸다. 표 1.은 (a), (b) 두 가지의 이동 경로에 따른 각 알고리즘의 MSE를 비교한 결과이다.

그림 2, 3, 4.과 표 1.에서 확인 할 수 있듯이 Adaptive Background Subtraction 알고리즘을 이용한 경우가 가장 목표물의 위치 추적 성능이 나쁘며, 특이값 분해를 활용한 클러스터 신호 제거 알고리즘 및 본 논문에서 제시한 측정 영역 분할하여 특이값 분해를 적용하여 클러스터 신호를 제거한 알고리즘의 성능이 우수한 것을 확인 할 수 있다. 또한, 수신 영역을 10개를 분할하여 특이값 분해를 이용한 클러스터 신호 제거 알고리즘의 속도를 향상한 방법의 위치 추적 정확도가 분할 영역 없이 일반적인 특이값 분해를 이용한 클러스터 신호 제거 알고리즘의 목표물 추적 정확도가 유사한 것을 볼 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법으로 수행한 결과로 그림 5에서 보듯이 부분행렬의 수가 증가할수록 알고리즘의 수행시간은 짧아진다. 표 2에서 보면 부분행렬의 수가 3개일 때, 수행시간은 3.29배 향상되었으며, 부분행렬의 수가 10개이면 수행 속도는 8.34배 향상되었다. 식 (13)와 같이 부분행렬의 수에 반비례하여 감소하였지만 정확히 일치 하지 않는 것은 클러스터 신호 제거 알고리즘 이후 목표물의 탐지 알고리즘 및 TOA 추정 알고리즘의 시간 소요가 있기 때문이다.

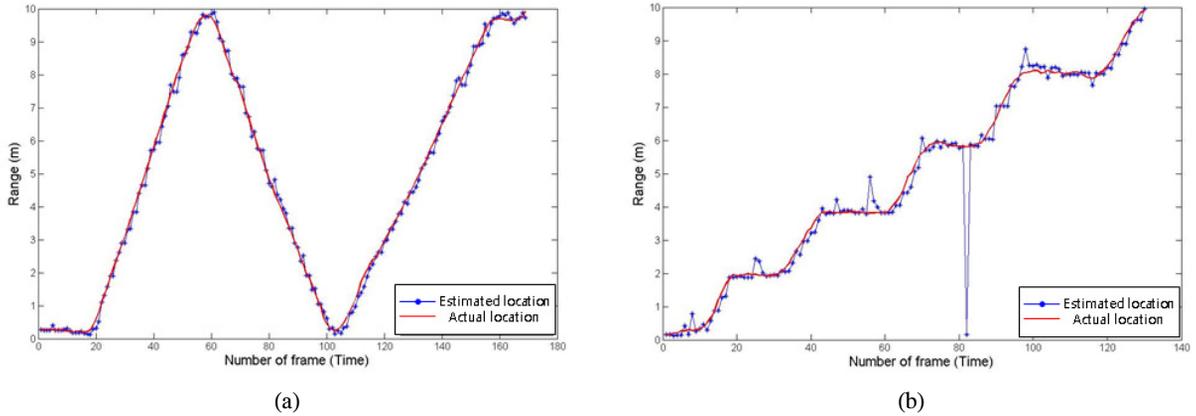


그림 2. Adaptive Background Subtraction 알고리즘을 이용한 목표물 추적 결과
 Fig. 2. The results of target tracking using adaptive background subtraction

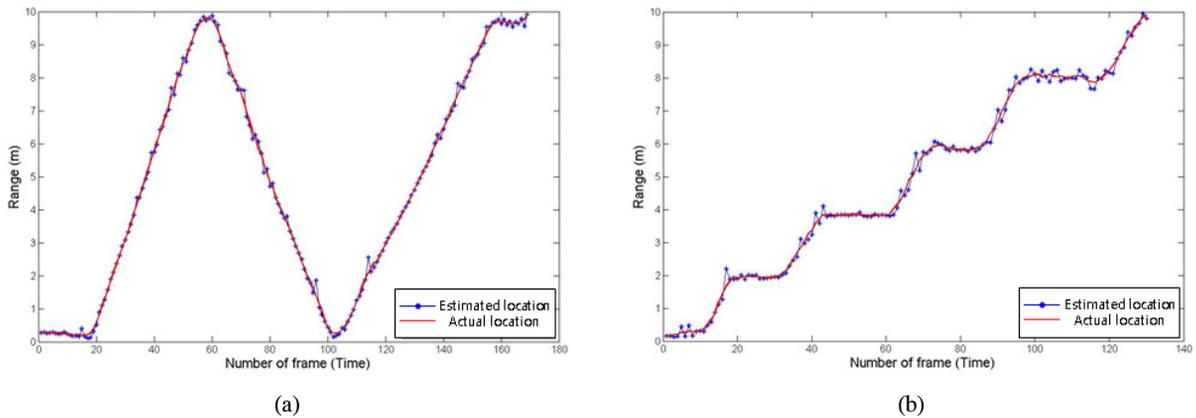


그림 3. 특이값 분해를 활용한 클러터 신호 제거 알고리즘을 이용한 목표물 추적 결과
 Fig. 3. The results of target tracking using clutter signal subtraction algorithm based on singular value decomposition

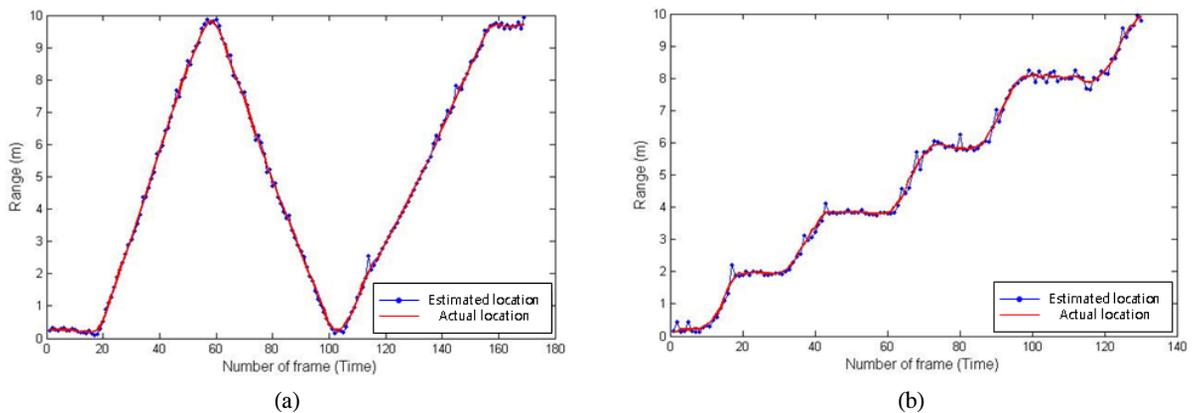


그림 4. 10개 영역으로 분할하여 특이값 분해를 활용한 클러터 신호 제거 알고리즘을 이용한 목표물 추적 결과
 Fig. 4. The results of target tracking using improved clutter signal subtraction algorithm based on singular value decomposition (The number of partitions : 10)

표 1 . 알고리즘에 따른 MSE 비교
Table 1. Comparison of MSE due to the algorithms

	(a) case	(b) case
Adaptive background subtraction	0.0263	0.2897
Clutter signal subtraction algorithm based on SVD	0.0128	0.0188
Improved clutter signal subtraction algorithm based on SVD (The number of partitions : 10)	0.0121	0.0182

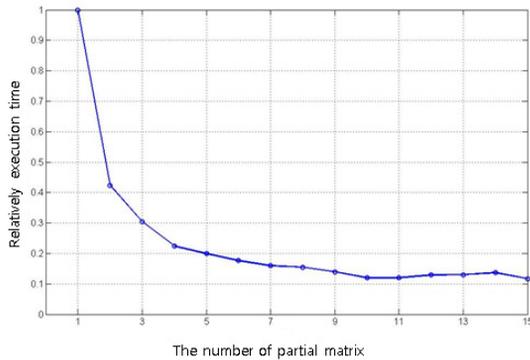


그림 5. 부분행렬의 수에 따른 알고리즘 수행 시간
Fig. 5. The algorithm execution time according to the number of partial matrix

표 2. 부분행렬의 수에 따른 위치 추정 알고리즘 수행 시간 및 MSE
Table 2. The algorithm execution time and MSE according to the number of partial matrix

The number of partial matrix	Relatively execution time	MSE
1	1	0.0128
3	0.3039	0.0123
10	0.1199	0.0121

각 부분행렬이 서로 완전한 독립이 아니므로 MSE는 부분행렬의 수에 따라 조금씩 변화하였다. 실험에서 알 수 있듯이 실제 시스템에 적용한 결과 프레임을 나누지 않고 특이값 분해를 이용하여 클러터 신호를 제거하는 것보다 수신신호 행렬을 부분행렬로 나누어 각각 특이값 분해를 통해 클러터 신호 제거 알고리즘으로 구현하면 알고리즘의 속도가 더욱 향상된다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 특이값 분해를 이용한 클러터 신

호 제거 속도 향상 기법을 제시하였다. 특이값 분해를 이용하면 기존의 Background Subtraction 알고리즘에 비해 우수한 성능으로 클러터 신호를 제거할 수 있다. 특이값 분해 과정 연산 시간이 오래 걸리는 단점으로 실시간 목표물 추적 시스템에 적용하기 어려운 단점이 있었다. 본 논문에서 이러한 단점을 극복하기 위해 특이값 분해를 이용한 클러터 제거 알고리즘의 연산 속도를 향상하는 기법을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 기법을 적용하여 실험한 결과 기존 특이값 분해를 이용한 클러터 신호 제거 알고리즘의 성능을 유지하면서 알고리즘의 연산 속도가 약 8.34배 향상 되는 것을 확인하였다.

References

- [1] I. Immoreev and P. Fedotov, "Ultra wideband radar systems: advantages and disadvantages," in *Proc. IEEE Ultra Wideband Systems and Technologies Conf.*, Baltimore, MD, May 2002, pp.201-205
- [2] P. K. Verma, A. N. Gaikwad, D. Singh, and M. J. Nigam, "Analysis of clutter reduction techniques for through wall imaging UWB range", *Progress In Electromagnetics Research B*, vol. 17, pp. 29-48, 2009.
- [3] I.S. Baek, J.H. Kim and S.H. Cho, "Clutter signal subtraction algorithm for detecting target in IR-UWB Radar system." *2012 KICS (Korea Information and Communications Society) Conference (Winter)*, Yongpyong, Yongpyong Resort, Jan. 2012
- [4] R. Zetik, S. Crabbe, J. Krajenak, P. Peyerl, J. Sachs, and R. Thomä, "Detection and localization of persons behind obstacles using M-sequence through-the-wall radar," in *Proc. SPIE Defense Security Symp.*, Orlando, Florida, USA , 17-21 April 2006
- [5] J. Rovnakova and D. Kocur. "TOA estimation and data association for through wall tracking of moving targets," in *EURASIP J. on Wirel. Comm. and Netw., The special issue: Radar and Sonar Sensor Netw.*, vol. 2010, Apr. 2010
- [6] S. H. Chang, R. Sharan, M. Wolf, N.

Mitsumoto, and J. Burdick, "UWB radar-based human target tracking," in *IEEE Radar Conf.2009*, May 2009

- [7] M.K. Jung, I.S. Baek and S.H.Cho, "Improvement of Computational Speed for The SVD Background Subtraction Algorithm in IR-UWB Systems." *2012 KICS (Korea Information and Communications Society) Conference (Summer)*, Jeju, Ramada Hotel, June. 2012

백 인 석 (In Seok Baek)



2011년 2월 한양대학교 미디어 통신공학과 졸업
2011년 3월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석사 과정
<관심분야> 전자공학, 신호처리, UWB

정 문 권 (Moon Kwun Jung)



2012년 2월 한양대학교 전자 및 통신공학과 졸업
2012년 3월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석사 과정
<관심분야> 전자공학, 신호처리, UWB

조 성 호 (Sung Ho Cho)



1982년 2월 한양대학교 전자공학과 학사
1984년 12월 University of Iowa 컴퓨터공학과 석사
1989년 8월 University of Utah 컴퓨터공학과 박사
1989년 8월~1992년 8월 한국 전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
1992년 3월~현재 한양대학교 융합전자공학부교수
<관심분야> 무선통신, UWB, RFID, WSN, DSP/FPGA Application