

IR-UWB의 다중경로 환경에서감마분포를 이용한 거리 추정 알고리즘

김진호*, 김형석*, 조성호^o

A Ranging Algorithm for IR-UWB in Multi-Path Environment Using Gamma Distribution

Jin-Ho Kim*, Hyeong-Seok Kim*, Sung Ho Cho^o

요약

IR-UWB 레이더는 송신안테나에서 UWB 대역을 갖는 임펄스를 방사하고 목표물에 부딪혀 수신안테나에 도달하는 지연시간, 즉 Time of Arrival(TOA)를 통해 목표물의 거리를 추정한다. 본 논문에서는 기존의 거리추정 알고리즘을 보완하여 실내 환경에서 더욱 정확한 거리 추정이 가능하게 하는 알고리즘을 제안한다. Novelda(社)의 NVA6000 UWB Transceiver를 장착한 IR-UWB Radar모듈을 사용하여 수신신호 데이터들을 취합하였다. 수신신호 데이터를 통해 얻은 Adjusted TOA(ATOA)를 히스토그램으로 나타내어 다중경로의 경향을 알아보고 그 결과 ATOA값들은 감마 분포의 특성을 갖는다는 점을 실험적으로 확인하였다. 이 감마 분포 특성을 이용하여 새로운 알고리즘을 제안하며, 기존의 알고리즘과의 성능비교를 수행하였다.

Key Words : IR-UWB, Ranging, Mutti-path, Gamma distribution

ABSTRACT

The IR-UWB radar system radiates a pulse whose width is several hundred pico sec at Tx antenna and check the time to receive the pulse that reflected from target to measure the TOA. In this paper, we present a new algorithm which supplement the conventional ranging algorithm for more accurate estimation. We get received signal data using IR-UWB Radar module which equipped a NVA6000 UWB Transceiver and analysis the data of multi-path. Consequently, we found the property of UWB multi-path signal, which best fit a Gamma distribution. so we present a algorithm using Gamma-distribution and compared a performance with conventional ranging algorithm.

I. 서론

현재 무인 감시, 보안 시스템으로 사용되고 있는 여러 기술들은 몇몇 한계점들을 지니고 있다. 영상

처리 같은 경우에는 카메라의 시야가 안개나 연기 따위의 장애물들에 의해서 제대로 된 시야가 확보되지 못하면 좋은 성능을 기대하기 어렵다. 적외선 센서 같은 경우도 온도나 습도에 그 성능이 매우

※ This research was supported by the MKE (The Ministry of Knowledge Economy), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program (NIPA-2012- H0301-12-4003) supervised by the NIPA(National IT Industry Promotion Agency).

♦ 주저자 : 한양대학교 임베디드 무선통신 연구실, jhkim87@casp.hanyang.ac.kr, 준회원

° 교신저자 : 한양대학교 융합전자공학부, dragon@hanyang.ac.kr, 종신회원

* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 임베디드무선통신연구실, hskim@casp.hanyang.ac.kr, 준회원
논문번호 : 2012-10-483, 접수일자 : 2012년 10월 8일, 최종논문접수일자 : 2013년 2월 4일

의존적이다. 반면에 IR-UWB Radar^[1]은 낮은 전력으로 넓은 주파수 대역을 사용하는 레이더 시스템으로써, 저 비용으로도 실내 및 실외에서 수십~수 cm 오차 내의 정확한 위치 추정이 가능하다. 시야가 가려지거나, 심지어 벽 너머의 목표물 까지도 감지할 수 있고 온도나 습도에도 큰 영향을 받지 않으며 수십~수백ps의 매우 짧은 펄스를 사용하기 때문에 그 해상도 또한 매우 우수하다^[2]. 따라서 IR-UWB Radar는 최근에 차세대 무인 감시, 보안 시스템으로 기대를 모으고 있다. IR-UWB Radar 시스템은 Tx안테나에서 ps단위의 펄스 폭을 갖는 임펄스를 주기적으로 방사하고, 해당 임펄스가 목표물로부터 반사되어 돌아와 Rx안테나에 수신된 시간을 체크하여 TOA를 측정한다. 정확한 거리 측정을 위하여 수신신호들은 여러 과정을 거치게 된다. 가장 먼저 수신신호의 거리에 따른 수신신호 세기 보상이 필요하다^[3]. 목표물에 반사되어 돌아온 임펄스는 해당 목표물의 거리가 멀수록 경로 손실이 커지게 된다. 만약 경로 손실이 너무 심해져서 임펄스의 세기가 수신신호 내의 잡음 수준 이하로 떨어지게 되면 그 임펄스의 검출이 불가능해진다. 따라서 수신 거리에 따른 수신신호의 세기를 보상해주는 과정이 필요하며 그 방법을 이미 제안한 바가 있다. 다음으로는 배경 차분 과정이 필요하다. Rx에 수신된 수신신호 내에는 단순히 목표물의 임펄스 신호 뿐만 아니라 목표물 주위에 다른 불특정 다수의 사물들로부터 반사되어 돌아온 임펄스들도 섞여있다. 이러한 신호들을 고정 클러스터 신호라고 하며, 이 고정 클러스터 신호를 효과적으로 제거해야 목표물 신호의 우수한 SNR을 보장할 수 있다. 이러한 고정 클러스터 신호를 제거하고 목표물의 신호만을 남겨놓는 과정을 배경 차분 과정이라 한다^[4]. 배경 차분이 수행 되고나서는 목표물의 신호를 검출하기 위한 펄스 검출 과정이 필요하다. 이 과정에서는 송신 측에서 방사한 임펄스 파형과 수신신호 내부에 목표물의 신호와의 상관 관계(Cross-correlation)을 이용하여 펄스의 위치를 파악한다.

실내에서 IR-UWB Radar를 사용하게 됨으로써 발생하는 문제점 중 가장 대표적인 것은 바로 다중 경로 오차이다. 수신 신호 내에는 송신부에서 방사되었던 임펄스들이 목표물에 반사되어 직선경로로 수신안테나에 수신되는 성분 외에도 주위의 장애물에 무작위로 부딪히며 다소 늦게 수신되는 성분들도 포함되어 있다. 이러한 성분들이 정확한 거리추정을 하는 데에 있어서 오차를 야기할 수 있으며

이를 다중경로 오차라 한다. 본 논문은 UWB에서의 다중경로 특성을 이용하여 복도나 강의실 같은 실내 환경에서 다중경로 오차를 최소화 하고 목표물 거리추정의 정확도를 높인 알고리즘을 제안한다. 직접 제작한 UWB Radar 모듈을 사용하여 제안된 알고리즘을 실제로 테스트 해보고 그 성능을 분석하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서 직접 제작한 IR-UWB 모듈을 간략하게 소개한다. III장에서 기존에 사용되던 거리추정 알고리즘에 대해서 알아보고 IV장에서 UWB 신호의 다중경로 특성과 그 특성을 이용하여 개선된 거리추정 알고리즘을 제안한다. V장에서 실험을 통한 제안된 알고리즘의 성능을 살펴보고 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 UWB Radar을 이용한 거리 추정 알고리즘

IR-UWB는 Tx 안테나로부터 펄스를 방사하고 목표물에 반사되어 돌아오는 해당 펄스를 수신하여 안테나와 목표물 사이의 거리를 추정한다. 그림 1은 레이더 모듈에서 방사되는 펄스의 모습을 나타낸다. 아래 그림 2은 배경 차분이 완료된 수신 신호의 모습이다. 만약 감지 범위 내에 목표물이 움직이고 있다면 그림 2에 표시된 바와 같이 수신신호 내에는 강한 펄스가 존재하게 된다. 이 펄스들이 바로 목표물을 감지한 신호이며 이러한 펄스들은 목표물의 개수만큼 존재하게 된다. 또한 수신신호 프레임 내에서 이 펄스들의 상대적인 위치가 각 목표물들의 TOA로 변환된다. 바로 펄스의 위치를 검출하는 데에 Cross-correlation을 필요로 한다. CLEAN 알고리즘^[5]은 이러한 IR-UWB 레이더를 사용한 목표물 거리 추정 알고리즘 중 가장 대표적인 알고리즘이다. 아래 그림 3은 CLEAN 알고리즘의 수행 과정을 간단히 도식화 한 것이다.

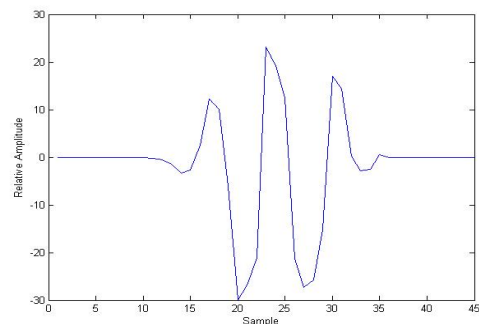


그림 1. 송신 펄스
Fig. 1. Transmitted pulse

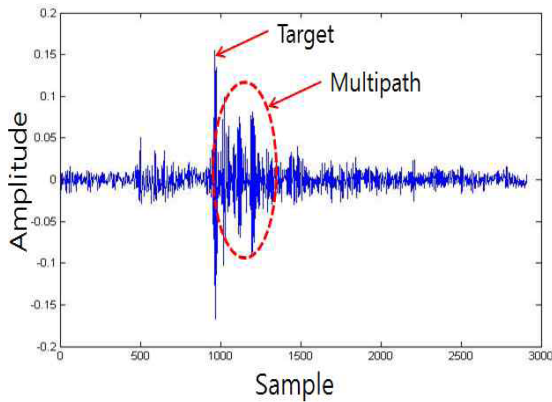


그림 2. 실제 수신신호 프레임 $r(k)$
Fig. 2. Real received signal frame

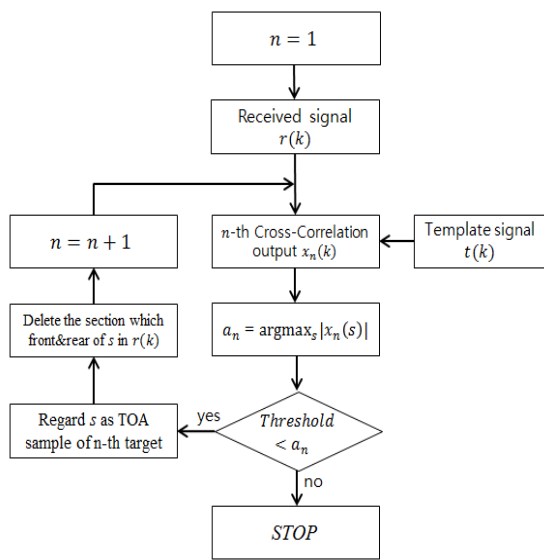


그림 3. CLEAN알고리즘 순서도
Fig. 3. The flow chart of CLEAN Algorithm

위 그림 3 에서 $r(k)$ 은 그림 2 에서 명시한 바 있는 배경 차분 이 완료된 수신신호 프레임이며, $t(k)$ 은 Template 신호로써 $r(k)$ 와 Cross-correlation 연산이 수행된다. 일반적으로 Template신호 $t(k)$ 은 그림 1 의 송신 펄스를 바로 수집하여 사용한다. 왜냐하면 수신신호 프레임 내에 포함되어 있는 목표물의 신호 자체가 목표물에서 반사되어 돌아온 송신 펄스이기 때문이다. Cross-correlation 과정을 통해 수신신호 프레임 내에서 송신 안테나에서 송신된 펄스와 가장 상관관계가 높은 부분을 찾아내어 목표물 신호의 위치를 검출해 내는 것이다. 따라서 Cross-correlation 수행 결과에서 그 값이 가장 높은 부분의 위치를 최종적인 목표물의 TOA로 판별한다. 위 순서도에 의하면

Cross-correlation과정을 통해서 검출된 펄스의 Amplitude가 특정 Threshold를 넘는지 그 여부에 대해서 판별을 하게 된다. Amplitude가 Threshold를 넘어가면 그 펄스는 목표물의 신호로 판별되고 그 위치를 제외한 수신신호 프레임의 나머지 부분에 대해 다시 Cross-correlation 을 수행하여 다음 펄스를 검출한다. Threshold를 넘어가는 펄스가 모두 검출될 때까지 해당 Iteration을 계속 반복한다. 만약 검출된 펄스의 Amplitude가 Threshold를 넘지 못한다면 그 신호는 목표물의 신호가 아닌 그냥 잡음 신호로 판별되어 버려지며, 더 이상의 목표물 신호는 존재하지 않는다고 간주되어 Iteration을 멈추고 해당 수신신호 프레임에 대한 모든 펄스 검출과정을 종료한다. Threshold를 넘어가지 않는 펄스가 검출되고 나서 바로 검출과정을 종료하는 이유는 다음과 같다. 매 Iteration마다 항상 Amplitude가 가장 높은 부분을 찾아내고 다음 Iteration에서는 그 부분은 제외 된다. 따라서 Iteration이 반복될수록 검출되는 펄스들의 Amplitude값은 점점 작아지게 되고 최종적으로는 목표물의 신호가 아닌 잡음 신호들만이 남게 되어 Threshold를 넘지 못하게 된다. 이러한 방법으로 Threshold를 넘어가는 모든 펄스를 검출 하게 되고 이 펄스들이 각각의 목표물에 대한 신호로 간주 되는 것이다.

이러한 일련의 과정들을 살펴보면 검출된 펄스가 목표물 신호인지, 아닌지 여부를 결정하게 되는 Threshold 값이 아주 중요하다는 것을 알 수 있다. 이 Threshold값이 적절하게 정해져 있지 않으면, 정확한 목표물 신호 검출이 힘들어 지기 때문이다. 기존의 CLEAN알고리즘에서는 Threshold를 결정해주는 과정을 따로 제시하지 않았으며, 모든 Cross-correlation결과에 대해서 같은 Threshold값을 사용하는 것을 알 수 있다. 하지만 우리는 실제 IR-UWB Radar를 사용하여 실험해 본 결과, 같은 실험 환경 내에서 수집된 수신신호 프레임 임에도 불구하고 각각의 프레임의 신호세기의 편차가 상당히 크다는 문제점을 발견 하였다. 우리는 이전 연구에서 각 수신신호 프레임에 대하여 동적으로 최적화된 Threshold 값을 할당하는 알고리즘을 제안 한 바가 있다⁶⁾.

III. UWB의 다중경로 특성

이번 장에서는 UWB를 이용하여 목표물의 거리를 측정할 때 오류를 야기할 수 있는 다중 경로에

관해서 살펴본다. 전파를 사용한 실내용 응용들이 가지고 있는 공통적인 문제점은 바로 다중 경로이다. IR-UWB 또한 실내에서 사용할 시에는 다중경로의 영향을 받는다. 송신안테나에서 방사된 임펄스들은 직선경로를 통해 물체에 반사되어 수신될 뿐만 아니라, 공간 내에 수많은 다른 경로를 통해서도 수신된다. 그림 2 에서도 볼 수 있듯이 실제 목표물 신호 뒤쪽에 두터운 다중경로 신호가 존재하고 있으며 다중경로 특성 상 직선 경로 신호에 비해 다소 그 세기는 약하지만 심심치 않게 직선경로 신호 못지않은 세기를 가진 다중경로 신호 들이 수신되어 오류를 유발하기도 한다. 이러한 오류를 최소화 하기 위하여 UWB 신호의 다중 경로 특성에 대해서 알아보았다. 먼저 수신된 UWB 신호는 다음과 같이 모델링 될 수 있다^[7].

$$m(t) = \sum_{i=1}^L a_i p(t - n_i) \quad (1)$$

위 수식에서 a_i 와 n_i 는 수신 신호 내에서 i 번째 샘플의 진폭과 전달 지연을 나타내고 $p(t)$ 는 신호 파형을 뜻한다. 이 수신신호 내에는 목표물 신호와 다중경로 신호가 섞여있다. 위 수식에서 목표물의 Nominal 거리 r 은 아래 수식과 같이 나타낼 수 있다^[8].

$$r = \frac{\sum_{j \in \Omega} R_j (a_j R_j^2)^2}{\sum_{j \in \Omega} (a_j R_j^2)^2} \quad (2)$$

위 수식에서 $(a_j R_j^2)$ 는 j 번째 샘플의 진폭을 1m 거리에 정규화 한 것이다. $R_j = [n_j \times c]/2$ 는 j 번째 샘플의 경로 거리를 나타내며, Ω 는 모든 샘플들의 집합을 뜻한다. 이 Nominal 거리를 이용하여 각 샘플에 대한 Adjusted TOA (ATOA)는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\delta_j = R_j - r + K \quad (3)$$

위 수식에서 상수 K 은 일반적인 사람 목표물에 대한 레이더 지연 Spread 와 관련 되어 있으며 약 0.533m의 길이를 갖는다. 상수 K 은 ATOA 값이 언제나 양수 값을 가질 수 있도록 보정해주는 역할을 한다. 우리는 실제 UWB 레이더 모듈을 사용하여 수신신호를 수집한 뒤 ATOA 값들을 계산하였다. 일반적으로 UWB의 경로 특성은 여러 연구 결과들에 의해 감마 분포를 따르는 것으로 알려져

있다^[9,10]. 따라서 우리는 ATOA 값들에 대한 히스토그램을 그려서 실제로 감마분포의 특성을 갖는지 확인해 보았다.

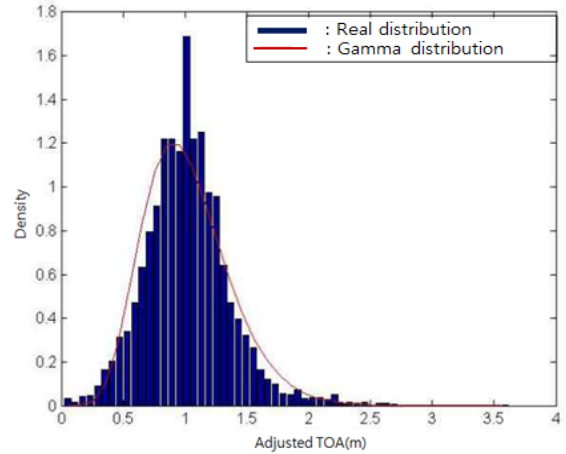


그림 4. Adjusted TOA의 히스토그램
Fig. 4. The histogram of Adjusted TOA

위 그림에서 청색 선은 ATOA의 분포를 나타내며 적색 선은 특정 파라미터를 갖는 감마 분포를 나타낸 것이다. 히스토그램 분석 결과 UWB 수신 신호의 ATOA는 실제로 목표물을 기점으로 감마 분포와 근접한 경향을 띄고 있는 것을 확인 하였다. 아래 식은 일반적인 감마 분포의 확률 밀도 함수 $f_{\Gamma}(\delta; \kappa, \theta)$ 을 표현한다.

$$f_{\Gamma}(\delta; \kappa, \theta) = \delta^{\kappa-1} \frac{\exp(-\delta/\theta)}{\theta^{\kappa} \Gamma(\kappa)} \quad \text{for } \delta > 0, \quad (4)$$

위 수식에서 $\Gamma(\cdot)$ 는 감마 함수, κ, θ 는 감마 분포의 모양과 크기를 결정하는 파라미터이다. 그림 4 의 감마 분포는 $\kappa = 8.637, \theta = 0.118$ 의 파라미터 값들을 갖는다. 이렇게 통계적으로 찾아낸 UWB 신호의 다중경로 특성은 다음 장에서 제한하게 될 목표물 거리 추정 알고리즘에서 매우 중요한 비중을 차지한다.

IV. 감마 분포를 이용한 거리 추정 알고리즘

이전 장에서 우리는 UWB 수신신호의 ATOA는 감마 분포의 특성을 갖는다는 것을 확인 하였다. 하지만 모든 수신신호 내에 UWB 신호가 항상 감마 분포의 특성을 따르는 것은 아니다. 전파 신호 특성 상 잡음에 섞여서 왜곡되어 수신될 가능성은 언제

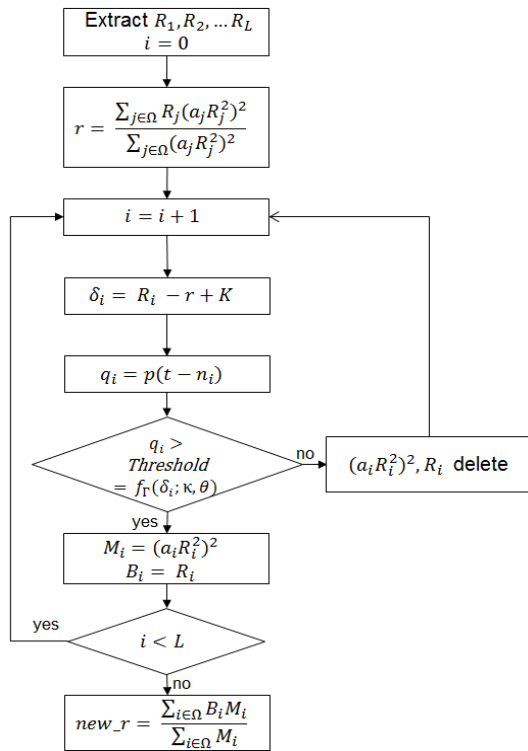


그림 5. 제안된 알고리즘의 순서도
Fig. 5. The flow chart of presented algorithm

나 존재하기 때문이다. 왜곡된 수신신호는 감마분포의 특성을 따르지 않는 것은 당연할뿐더러 Cross-correlation을 이용하여 펄스를 검출할 때에 정확한 펄스의 위치를 검출하기가 힘들기 때문에 거리 추정에 오차를 일으키게 된다. 따라서 우리는 이번 장에서, 이미 얻어진 감마분포를 이용하여 왜곡된 수신신호를 보정하고 거리의 추정 오차를 최소화 하는 알고리즘을 제안한다. 잡음이 섞여서 왜곡된 신호를 미리 알고 있는 감마 분포의 모양과 비교하여 그 모양대로 신호를 복원하여 펄스를 검출한다. 아래 그림은 제안하는 알고리즘의 순서도이다.

먼저 추출된 R 들을 이용하여 r 과 δ 를 차례로 구한다. 그 다음 모든 δ 값들의 위치에 대하여 실제 수신된 값들을 특정 *Threshold* 값과 비교한다. *Threshold*는 해당 δ 위치의 감마 분포 값을 기반으로 결정 되는 값이며 2장에서 명시되어 있는 CLEAN 알고리즘의 *Threshold*와는 무관하다. 만약 *Threshold* 보다 크다면 그대로 유지시키고 작다면 해당 수신 값을 삭제 한다.

이 *Threshold* 와 상이한 값을 갖는 수신 값은 잡음이 섞여 감마 분포를 따르지 않는 것으로 판단

되어 삭제된다. 모든 R 값들에 대하여 해당 과정이 완료되면 남아 있는 R 값들로 새롭게 보정된 new_r 을 구한다. new_r 과 남아있는 R 들로 구한 δ 은 제안된 알고리즘을 거치기 이전의 δ 와 비교하여 감마 분포에 더 근접한 경향을 갖게 될 것이다. 위와 같이 잡음 신호가 제거된 수신신호는 기존의 CLEAN 알고리즘에 입력되어 Template 신호와의 Cross-correlation을 통해 그 최대값이 추출되게 된다. 다시 말해서, 제안된 알고리즘은 수신신호가 CLEAN 알고리즘에 입력되기 전에 거치게 되는 일종의 ‘데이터 전 처리’ 과정이다. 결과적으로 실제 목표물 신호가, 주위 신호들에 비해 비정상적으로 강한 잡음 신호에 묻혀서 정상적인 추출이 되지 않는 상황을 방지하는 것이다. 제안된 알고리즘의 실효성과 그 성능에 대해서는 다음 장에서 실제 실험 결과를 통하여 검증한다.

V. 실험

아래 그림 6 는 우리가 실제로 상용 UWB Transceiver를 이용하여 제작한 IR-UWB Radar 모듈이다. 현재 우리는 실내용 UWB 레이더 응용을 목표로 하고 있기 때문에 Power Amp와 Band-pass Filter를 사용하여 한국의 실내용 UWB 응용 규격인 7.2Ghz~10.2Ghz대역에서 송신 출력 -41.3dBm/Mhz 이하를 준수 한다. 실제 순간 최고 출력은 약 -43dBm/Mhz이다. 수신 단에는 LNA를 장착하여, 최고 -120dBm/Mhz의 수신감도를 갖는다. 그리고 좌우 빔 폭 약 170도의 UWB 전용 광각 안테나를 직접 제작하여 사용하였다. 차후에 설명하게 될 모든 거리측정 실험은 이 모듈을 사용하여 수행 되었다.

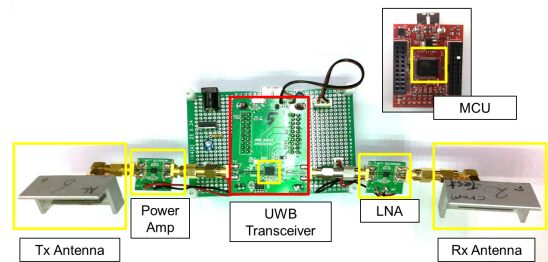


그림 6. IR-UWB Radar 모듈
Fig. 6. IR-UWB Radar module

아래 그림 7, 8 은 실제 실험 환경을 보여준다. 두 종류의 환경에서 실험을 진행 하였으며, 첫 번째 실험은 폭이 좁고 기다란 건물 복도 안에서 한 명

의 사람이 레이더 바로 앞에서부터 시작하여 10m 거리 까지 걸어갔다 다시 돌아오는 것을 반복한다. 두 번째 실험은 6x5m 크기의 사각형 모양인 강의 실 내부에서 레이더 앞에서부터 5m 거리까지 걸어갔다 다시 돌아온다. 각 실험 환경에 대하여 목표물의 이동속도는 약 시속 10~20 cm/s 정도로 cm 단위의 정확한 측정을 위해 다소 느리게 움직인다. 목표물의 움직임을 기존 CLEAN 알고리즘만 사용했을 때와 제안된 알고리즘이 같이 사용했을 때 목표물의 거리를 실시간으로 추정한 결과를 비교한다. 목표물과의 거리는 레이더로부터 목표물의 몸통 앞면까지의 거리를 기준으로 삼으며, 레이저 거리 측정기를 이용하여 실제 이동경로를 추산한다.

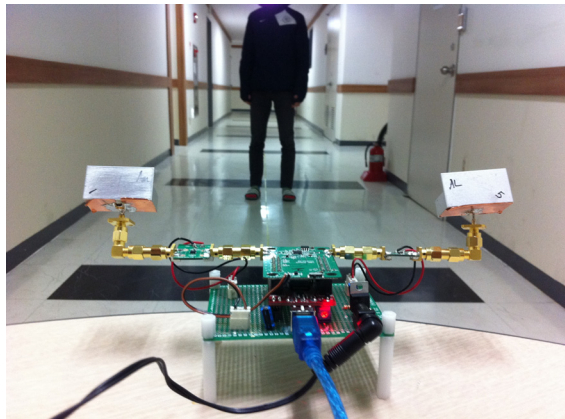


그림 7. 실험 환경 #1
Fig. 7. The environment of experiment #1



그림 8. 실험 환경 #2
Fig. 8. The environment of experiment #2

그림 9, 10 은 그림 7 에서 보여주고 있는 실험 환경 #1 에서의 목표물 거리 추정 결과를 나타 낸다. 그림 9는 기존의 CLEAN 알고리즘만 사용했을 시, 그림 10은 CLEAN 알고리즘과 제안된 알고리즘을 함께 사용했을 때의 결과이다.

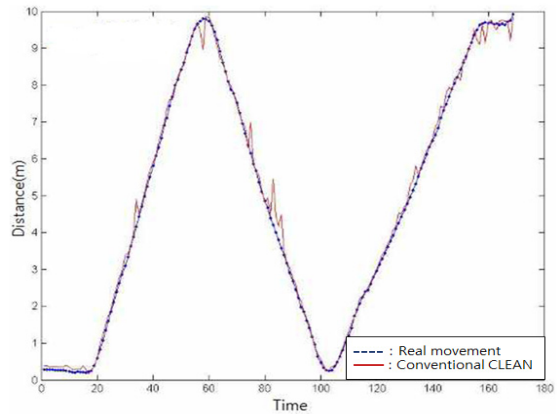


그림 9. 실험 #1: 기존 CLEAN 알고리즘만 적용 했을 시
Fig. 9. Exp #1: used only CLEAN algorithm

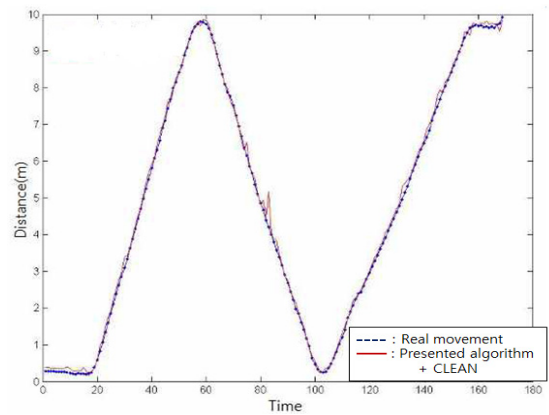


그림 10. 실험 #1: 제안된 알고리즘과 CLEAN 알고리즘을 같이 적용 했을 시
Fig. 10. Exp #1: Used CLEAN with presented algorithm

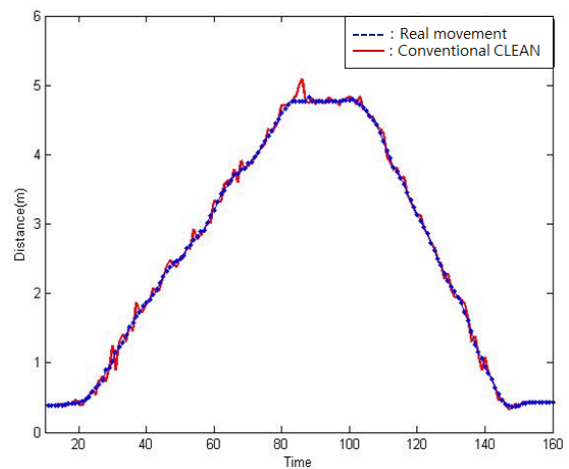


그림 11. 실험 #2: 기존 CLEAN 알고리즘만 적용 했을 시
Fig. 11. Experiment #2: used only CLEAN algorithm

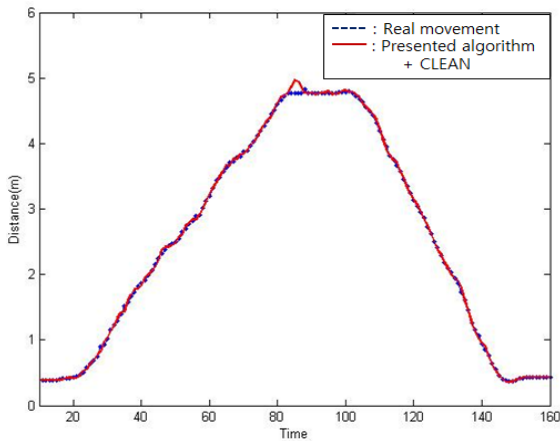


그림 12. 실험 #2: 제안된 알고리즘과 CLEAN 알고리즘을 같이 적용 했을 시
 Fig. 12. Exp #2: Used CLEAN with presented algorithm

목표물이 5m 에 다다랐을 때 실험 결과와 실제 이동경로가 5m보다 다소 짧게 측정 되었으나, 실험 장소 뒤편의 벽으로 인하여 레이더와 목표물의 몸통 앞면까지의 거리가 5m 에 약간 미치지 못하였기 때문에 정상적인 결과로 간주 할 수 있다. 기존의 CLEAN 알고리즘만 사용하였을 때에는 잡음 신호들 때문에 가끔씩 오차가 생기는 현상을 발견할 수 있으나, 제안된 알고리즘과 같이 사용되었을 시에는 그러한 오차들이 상당부분 사라진 것을 확인할 수가 있다. 각 실험에 대한 정확한 Root Mean Square Error는 다음과 같다.

표 1. 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 MSE 비교
 Table 1. A comparison of RMSE

	Conventional CLEAN	Presented algorithm + CLEAN
RMSE #1	8.0069	2.9570
RMSE #2	9.4089	3.3648

제안된 알고리즘과 CLEAN 알고리즘을 같이 사용하게 되면 CLEAN 만 사용했을 때에 비해 그 오차가 약 36% 수준으로 감소되는 것을 확인할 수가 있다.

VI. 결 론

본 고에서는 기존의 IR-UWB를 이용한 거리 추정 알고리즘인 CLEAN 알고리즘의 오차를 줄이는 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 UWB 신호의 다중경로가 감마분포의 특성을 갖는다는 점을 이용하여, 비정상적인 경향을 보이는 신호는 잡음이 섞여

있는 것으로 판단하고 제거한다. 이러한 방법으로 보정된 수신신호로 CLEAN 알고리즘을 거치게 되면 더욱 정확한 거리 추정이 가능한 것을 확인하였다. 최근에는 1대가 아닌 여러 대의 IR-UWB 레이더를 이용하여 2차원 평면상의 목표물 위치를 추정해내는 알고리즘을 연구 중에 있다.

References

- [1] J.D Talor. *Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems*, Florida:CRC Press, 1995
- [2] Peebles PZ Jr. *Radar Principles*. Wiley, New York, 1998
- [3] J. H. Kim, I. S. Baek, and S. H. Cho, "Compensation of received signal attenuation by distance using UWB radar," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 282-283, Feb. 2012.
- [4] A. McIvor, Q. Zang, and R. Klette, "The background subtraction problem for video surveillance systems," in *Proc. Int. Workshop Robot Vision*, pp. 176-183, Feb. 2001.
- [5] S. M. Yano, "Investigating the ultra-wideband indoor wireless channel," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Soc., Conf. (VTC) Spring*, vol. 3, pp. 1200-1204, May. 2002.
- [6] J. H. Kim, I. S. Baek, J. S. Park, and S. H. Cho, "A ranging algorithm for multiple targets using an IR-UWB radar system," in *Proc. Int. Tech. Conf. on Circ./Syst., Comput. and Commun. (ITC-CSCC)*, Jul. 2012.
- [7] H. Hashemi, "Impulse response modeling of the indoor radio propagation channels," *IEEE Trans. Sel. Areas Commun.*, vol. 11, no. 7, Sep. 1993.
- [8] S. Chang, N. Mitsumoto, and J. W. Burdick, "An algorithm for UWB radar based human detection," in *Proc. IEEE Radar Conf. (RadarCon)*, pp. 1-6, May 2009.
- [9] S. S. Ghassemzadeh, L. J. Greenstein, A. Kavcic, T. Sveinsson, and V. Tarokh, "UWB indoor delay profile model for residential and commercial environments," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC) Fall*, pp. 3120 - 3125, Sep. 2003.
- [10] D. Cassioli, M. Z. Win and A. F. Molisch, "A

statistical model for the UWB indoor channel,”
in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC)*, vol.
2, pp. 1159 - 1163, May 2001.

김 진 호 (Jin-Ho Kim)



2011년 2월 한양대학교 정보
통신공학부졸업
2013년 2월 한양대학교 전자
컴퓨터통신공학과 석사 졸업
<관심분야> IR-UWB, 신호처
리, 임베디드 시스템

김 형 석 (Hyeong-Seok Kim)



2010년 2월 한국외국어대학교
전자공학과졸업
2011년 8월~현재 한양대학
교 전자컴퓨터통신공학과 석
사 과정
<관심분야> IR-UWB, 무선전
력전송

조 성 호 (Sung Ho Cho)



1978년 2월 한양대학교 전자
공학과(공학사)
1984년 12월 Univ. of Iowa
전자컴퓨터학과(공학석사)
1989년 8월 Univ. of Utah
전자컴퓨터공학과(공학박사)
1989년 8월~1992년 8월 한국
전자통신연구원 선임연구원
1992년 9월~현재 한양대학교 융합전자공학부 교수
<관심분야> IR-UWB, USN, 무선전력전송, 신호처
리, FPGA/DSP설계