

삼변·삼각 측량 협업을 이용한 홈 웰니스 로봇의 자기위치인식에 관한 연구

A Study on Self-Localization of Home Wellness Robot Using Collaboration of Trilateration and Triangulation

이 병 수 *, 김 승 우**

Byoungsu Lee*, Seungwoo Kim**

Abstract

This paper is to technically implement the sensing platform for Home-Wellness Robot. The self-Localization of indoor mobile robot is very important for the sophisticated trajectory control. In this paper, the robot's self-localization algorithm is designed by RF sensor network and fuzzy inference. The robot realizes its self-localization, using RFID sensors, through the collaboration algorithm which uses fuzzy inference for combining the strengths of triangulation and trilateration. For the triangulation self-Localization, RSSI is implemented. TOA method is used for realizing the triangulation self-localization. The final improved position is, through fuzzy inference, made by the fusion algorithm of the resultant coordinates from trilateration and triangulation in real time. In this paper, good performance of the proposed self-localization algorithm is confirmed through the results of a variety of experiments in the base of RFID sensor network and reader system.

요 약

본 논문은 홈 웰니스 로봇에서의 센싱 플랫폼 기술 구현에 관한 연구이다. 실내 이동로봇의 자기위치인식은 정교한 궤도 제어를 위하여 매우 중요하다. 본 논문에서는 RF 센서 네트워크와 퍼지추론을 이용하여 로봇의 실내 위치인식 알고리즘을 구현하고자 한다. RFID 센서를 이용하여 로봇 자기위치를 인식하고, 삼변측량과 삼각측량의 장점들을 결합하기 위하여 퍼지 추론기를 이용한 협업 알고리즘을 제안한다. 삼변측량 자기위치 인식을 구현하기 위하여 RSSI(Received Signal Strength Indicator)방식을 구현하고, 삼각측량 자기위치 인식을 구현하기 위해 TOA(Time of Arrival)방법을 사용한다. 태그로부터 측정된 거리와 위상각의 차이를 이용하여 삼변 및 삼각측량 기법을 통해 얻은 결과값들을 퍼지 추론에 의하여 실시간으로 융합하여 개선된 최종 위치를 계산한다. 본 논문에서 설계한 RFID 센서 네트워크 환경과 홈 웰니스 로봇에 탑재 되어 있는 리더 시스템을 기반으로 제안한 알고리즘의 적용 실험 결과들을 통하여 개선된 성능을 확인 한다.

Key words : Home Wellness Robot, Self-localization, Triangulation, Trilateration, Fuzzy Inference.

* Dept. of Electronic and Information Engineering, Soonchunhyang University
seungwo@sch.ac.kr TEL: 041-530-1369

★ Corresponding author 041-530-1369 seungwo@sch.ac.kr

※ Acknowledgment : This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(2011-0009541)

Manuscript received Feb. 11, 2014 ; revised Feb. 25, 2014 ; accepted Feb. 28, 2014

1. 서론

오늘날 세계 여러 나라에서 많은 로봇들이 개발 되어지고 있다. 이렇게 로봇산업이 발전함에 따라 제조용 로봇위주의 로봇산업에서 보다 인간 친화적인 개인용 로봇의 필요성이 증가하였다. 그 중에서 홈 서비스 로봇은 어떤 종류의 로봇보다도 인간의 생활을 윤택하게 해주는 실질적인 중요한 역할을 할 것으로 보여진다. 자동차 산업이 20세기에 그랬던 것처럼 21세기 산업에 가장 큰

영향을 미칠 것으로 예상된다. 특히, 홈 서비스 로봇의 큰 관심과 기대는 고령화 사회에서 더욱 커지고 있다. 가정에서 일상생활을 지원할 수 있는 인간 공존형 서비스 로봇 개발은 고령화 사회에서 노동력 부족의 대처 수단과 헬스 케어 역할을 해 줄 것이다. 인간 공존형 서비스 로봇은 인간 친화적인 통신과 안전한 인간 지원 그리고 정교한 조작능력을 갖추어야 한다. 그렇기 때문에 홈서비스 로봇은 실내에서의 위치인식이 그것의 정교한 추적제어를 위하여 매우 중요하다. 현재 실내외 위치 추정기술은 이동통신, 홈네트워크, 지능형 로봇, 의료, USN(Ubiquitous Sensor Network)등 산업 전 분야의 핵심 기술로 활용되고 있으며 다양한 연구가 활발히 진행 중이다. [1]

대표적인 위치추정기술로는 GPS가 있다. GPS는 인공 위성이 주기적으로 전성하는 신호를 수신기가 수신하여 위치를 추정하는 방식이다. 하지만 GPS는 실외에서만 위치를 추정할 수 있다는 단점이 있다. 실내 위치 인식을 구현한 대표적인 시스템은 적외선을 이용하여 구현한 AT&T사의 Active Badge와 초음파와 RF를 이용한 MIT의 Cricket이 있다. [2] RF 신호는 자기위치를 알아낼 수 있는 방법 중 하나이다. [3] RFID는 각종 정보, 위치, 리더에 의해 태그의 실내환경을 인식한다. 대상 위치를 측정하기 위한 대표적인 방법은 여러 가지가 있다.[4] 신호의 세기를 이용한 RSSI, [3] 신호의 도착시간을 이용한 TDOA(Time Difference Of Arrival) [7] 와 TOA(Time Of Arrival), [5] 그리고 각도를 이용한 AOA(Angle of Arrival)방식이 있다. 현재 위치 시스템에서 가장 널리 사용하는 위치 척도로 TOA방식을 많이 사용한다. 하지만 실내 위치 인식은 전파의 회절과 반사, 간섭의 NLOS(Non Line of Sight) 환경을 고려해야 하기 때문에 기존의 TOA방식을 보완하는 연구가 진행되고 있고, RSSI와 TOA방식의 하이브리드 형태의 연구가 활발히 진행 중이다.[6]

위치 추정을 위해 사용되는 가장 일반적인 방법으로 삼각측량법과 삼변측량법이 있다. 삼변 측량방식은 원 3개의 교차점을 통해 타겟의 위치를 계산한다. 삼변측량을 이용해 위치추정하기 위해서 태그와 리시버까지의 거리만 알면 간단한 수식을 통해 측정할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 원 3개의 교차점이 하나의 좌표로 나타나지 않는 경우도 발생할 수 있고 오차가 존재하기 때문에 추정치를 사용해야한다.

삼각 측량에서는 위치를 추정하기 위해 거리 대신 각도를 사용한다. 자신의 위치를 알지 못하는 리시버는 태그로부터 각도를 측정한다. 측정된 각도를 이용하여

간단한 삼각함수를 통해 자신의 위치를 알아내는 방법이다. 삼각측량을 사용하면 출발하는 기변의 방위각을 알아야하고 될 수 있으면 삼각형이 작아야 정확한 측정이 가능한 단점이 있다.

본 논문에서는 RFID 센서를 이용하여 로봇의 자기 위치를 인식하며, 삼변과 삼각측량의 장점을 피지추론을 이용하는 융합하는 새로운 알고리즘을 제안한다. 삼변측량은 자기위치인식을 구현하기 위하여 RSSI방식을 사용하고, 삼각측량은 각도를 이용한 위치인식이기 때문에 TOA방식으로 도달한 위상각을 사용하여 위치인식을 구현한다.[8] 삼변 및 삼각측량을 통해 얻은 결과 좌표값들을 피지추론기에 의하여 실시간으로 개선하여 보다 정확한 마지막 결과 위치를 계산한다. 본 논문에서는 설계한 RFID시스템을 홈웰니스 로봇에 탑재하고, 제안한 융합 알고리즘의 실험 결과를 통해 개선된 위치인식 성능을 확인한다.

II. 본론

1. 자기 위치추정 방법

1.1. 자기위치인식 알고리즘

(1) 삼변측량법

삼변측량을 이용한 거리 추출을 위해서는 각 태그에서 리시버까지의 거리를 측정해야한다. 거리를 구하기 위한 방법으로 본 논문에서는 RSSI방식을 이용하여 거리를 구하고자 한다. RSSI(Received signal Strength Indication)는 신호를 수신 받은 강도를 의미한다. RSSI의 단위로는 dBm으로 송신측에서 송신된 신호를 수신 받아 이것을 전력에 의해서 수신된 신호의 강도로 나타낸 것이다. 수신된 강도는 Friis 공식에 의해 거리로 환산이 가능 하다. 그리고 이렇게 측정된 거리는 삼변측량법을 사용하여 자신의 위치를 알 수 있다.

삼변측량법은 그림..1의 A와 같이 원 3개의 교차점을 통해 타겟의 위치를 계산한다. 삼변측량은 3개의 태그와 각각의 태그로부터 리시버 자신까지의 거리를 알아야한다. 이 거리들은 RF시스템을 이용하여 측정하며, 각 태그와 리시버와의 거리 d_i 는 피타고라스의 정리를 이용하여 표현할 수 있다. (x, y) 는 리시버의 좌표이고 (x_i, y_i) 는 I번째 태그의 좌표이다

각 태그에서 리시버까지의 거리 d_i 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 \\ d_2^2 &= (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 \\ d_n^2 &= (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

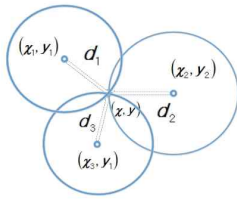


Fig. 1. Trilateration
그림 1. 삼변 측량법

위의 방식을 사용하여 좌표를 구할 수 있게 된다. 주어진 거리를 이용하여 좌표를 구하는 것이 삼변 측량법이다.

(1) 삼각측량법

삼각 측량은 타겟의 위치를 추정하기 위해 거리 대신 각도를 사용하는 기법이다. 단 주어진 조건으로는 기변의 길이와 두 점의 위치 그리고 두 점 사이의 끼인각을 알고 있을 경우 구할 수 있다는 단점이 있다. 삼각형의 내각의 합은 180도이기 때문에 두각을 알고 있으면 구하고자 하는 위치의 각도를 알 수 있고 나머지 두변의 길이를 대수적으로 구할 수 있는 방법이다. 피타고라스의 정리를 이용하여 알고자 하는 좌표점을 구할 수 있다.

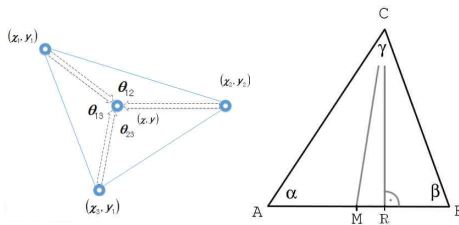


Fig. 2. Triangulation
그림 2. 삼각 측량법

각 태그로부터 떨어진 거리는 알고 있기 때문에 위상각이 주어지면 삼각측량을 이용하여 좌표를 구할 수 있다.

기본적인 삼각측량 방법은 기선 AB의 길이와 양쪽 각 α, β 를 측정한다. α, β 는 RFID 센서에서 출력되는 값을 가지고 측정하게 된다. 이때 C의 위치는 RC를 가지고 구하게 된다. C의 끼인각 γ 는 $180 - (\alpha + \beta)$ 을 이용해 구한다. 삼각함수의 사인법칙에 의해 AC와 BC의 길이를 다음 식을 사용해 구할 수 있다.

$$AC = \frac{AB \cdot \sin \beta}{\sin \gamma}, BC = \frac{AB \cdot \sin \alpha}{\sin \gamma} \quad (2)$$

$$RC = AC \cdot \sin \alpha, RC = BC \cdot \sin \beta \quad (3)$$

피타고라스의 정리에 의해 식(1)과 같이 거리를 구하고 좌표로 변환할 수 있다.

2. 퍼지 삼변·삼각 융합시스템

2.1. 융합측량 시스템

퍼지 제어기는 강인한 특성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 본 논문의 RFID 센서는 노이즈와 외란에 의해 부정확성이 발생하게 된다. 이러한 불확실성과 부정확성은 비선형성과 시변성을 유발하고 이것은 정밀한 위치추정에 어려움이 존재하게 된다. 본 논문에서는 퍼지 위치 추정기를 사용하여 HWR의 정확한 위치추정 방법을 제시한다.

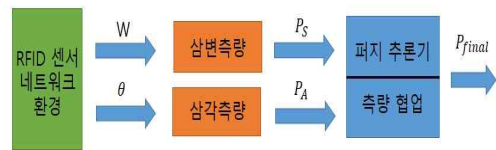


Fig. 3. Fuzzy position estimation algorithm
그림 3. 퍼지 위치추정 방법

그림. 3에서 W는 센서에서 나오는 신호의 세기를 말하고 θ 는 태그와 리시버의 위상각을 의미한다. 신호의 세기를 가지고 구하는 삼변측량의 결과를 P_S , 위상각을 가지고 구하는 삼각측량법의 결과를 P_A 라고 정의했다. 신호의 세기를 측정하게 되면 거리가 멀어짐에 따라 신호의 간섭을 받게 되어 정확성이 떨어진다. 태그 바로 밑에서 측정했을 때 신호의 세기가 강해 측정이 정확하지 않다. 그리고 위상각을 사용하면 사용자의 위치를 알 수 있다. 하지만 미소각에서 불확실성이 강하다. 이러한 애매모호한 결과와 정확하지 않은 위치를 결정하기 위해 퍼지 추론기를 통해 두 개의 방식의 장점을 가지고 위치를 추정하려 한다. 융합의 정도를 위치추정 신뢰지수 K_w 를 사용하여 퍼지추론을 할 것이다.

2.2. 퍼지 추론기

RFID에서 나오는 두 가지의 결과값을 가지고 두 가지 측량법을 사용한다.[9] 신호의 세기로부터 나오는 값 W, θ 를 가지고 거리로 환산하여 삼변측량을 하고 측정된 거리 값을 가지고 얻은 위상각을 가지고 삼각 측량한다. 위에 제시된 두 가지의 변수들을 퍼지제어기에 입력으로 사용한다. 입력으로 받은 두 개의 값을 퍼지화를 통해 퍼지 추론기에서 애매한값을 결정하게 된다. 추론된 값은 비퍼지화를 통해 위치 신뢰지수를 가지고 위치를 추정하게 된다. 퍼지제어기의 시스템 인식기에 대한 모략도는 그림. 4와 같다.



Fig. 4. Fuzzy inference system
그림 4. 퍼지 추론 시스템

두 변수의 입력을 퍼지화와 비퍼지화를 통하여 위치추정 신뢰지수(Reliability Index) K_w 값을 얻을 수 있다. 퍼지화를 위한 위치 추정 방정식은 다음 식과 같다.

$$P_{final} = P_A \times K_w + P_S \times (1 - K_w) \quad (4)$$

P_A 는 삼각측량으로부터 나온 센서의 위상각을 이용한 출력을 의미하고 P_S 는 삼변측량으로부터 나온 신호의 세기를 이용한 출력을 의미한다. K_w 는 위치추정 신뢰지수를 나타낸다. (K_w 의 범위: $0 < K_w < 1$) K_w 의 값을 퍼지화와 비퍼지화를 통해 추정하고 웰리스로봇의 위치를 더 정확한 측량을 가능할 수 있도록 식(2)에 대입하여 위치를 추정 한다. P_{final} 은 추정된 위치의 값을 의미하고 신뢰지수를 가지고 추정된 위치를 말한다.

퍼지화는 실제 데이터에서 퍼지로 입력하고 다음과 같은 퍼지 룰 베이스를 통해 퍼지추론을 하게 된다. W의 값이 PB이면 신호의 세기가 센 것 이므로 거리가 가까운 값을 나타낸다. NB로 갈수록 신호의 세기가 약해지기 때문에 실험하는 공간인 7m를 기준으로 신호의 세기를 나누었다. 신호의 세기는 0~63dB로 각 단계를 0~21dB간격으로 총 5구간을 나누게 된다. θ 값은 1번 태그와 2번 태그 사이의 중간위치(3.5,0)에 존재할 때 0° 로서 좌측에 있을 때 Negative한 값을 가지고 우측에 존재할 때 Positive한 값을 갖게 된다. 범위는 0° 에서 90° 까지의 값을 받게 된다. 이를 5가지 단계로 나누어 퍼지 룰 베이스를 만들었고 다음 표와 같이 나타내었다.

퍼지제어 에서는 가장 간단한 형태의 직접 추론법인 Mizumoto's Method인 Product-Sum Method를 사용하였다.

$$\mu_{C_i}(z) = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \cdot \mu_{C_i}(z) \quad (5)$$

$$\mu_C(z) = \mu_{C_1}(z) + \dots + \mu_{C_n}(z)$$

여기서 $\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y), \mu_{C_i}(z)$ 는 전건부 소속값을 의미하고 μ_{C_i} 은 후건부 소속값을 의미하며. 그리고 $\mu_C(z)$ 는 최종 소속값을 의미한다.

표. 1 은 퍼지 룰 베이스 이다. RFID 센서의 실험 데이터에 의해 설계되었다.

Table 1. Fuzzy base of position estimator.

표. 1. 위치추정기의 퍼지 룰 베이스

		W				
		NB	NS	ZE	PS	PB
θ	NB	NB	NB	NB	NS	ZE
	NS	NB	NB	NS	ZE	PS
	ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
	PS	NS	ZE	PS	PB	PB
	PB	ZE	PS	PB	PB	PB

비퍼지화 방법은 실시간 자기 추정을 하기 위하여 빠른 연산시간을 갖는 처리방법인 높이법을 사용하였다.

$$u_0 = \frac{\sum_{k=1}^n M^{(k)} f_k}{\sum_{k=1}^n f_k} \quad (6)$$

$M^{(k)}$ 는 소속 함수의 높이를 나타내고 f_k 는 소속 함수의 최대값을 나타낸다. 많이 사용하는 무게중심법과 비슷한 방법으로 구조가 간단하고 빠른 처리 방법이다. 추론기에서 출력된 퍼지값들을 식(4)의 비퍼지화를 통하여 위치추정 신뢰지수 K_w 를 얻을 수 있다.

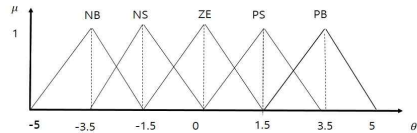


Fig. 5. Membership Function of phase angle
그림 5. 위상각 멤버쉽 함수

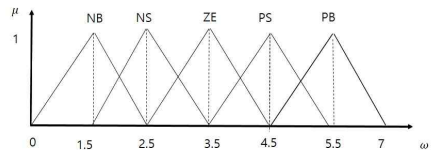


Fig. 6. Membership Function of signal power
그림 6. 신호세기의 멤버쉽 함수

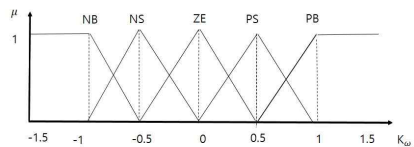


Fig. 7. Consequent membership Function
그림 7. 후건부 멤버쉽 함수

그림 5, 6, 은 전진부 멤버십 함수이고 그림. 7은 후진부 멤버십 함수이다.

3. 실험 및 결과

3.1. 실험 환경

본 논문에서의 실내 환경의 크기는 $7000 \times 7000 \times 3000\text{mm}$ 로 이루어져 있다. 각 태그는 천장에 달려있다. 이는 전과의 간섭을 최소화하기 위해 설치하였다. 각 태그는 로봇으로 신호를 보내주고 로봇에서 받은 신호는 각 태그로부터 거리를 알 수 있다. 로봇에서 받은 거리값은 메인 컨트롤러인 컴퓨터에 보내지며 컴퓨터에서 받은 정보를 두 가지 방법인 삼각과 삼변측량으로 현재 위치좌표를 출력한다. 두 입력 값을 퍼지화를 통해 위치 신뢰 계수를 결정하고 정확한 위치를 추정하여서 보내주게 된다.

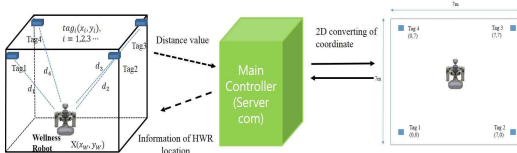


Fig. 8. Self-localization algorithm of HWR
그림 8. HWR의 자기위치인식 알고리즘

그림. 8에서는 태그로부터 온 정보를 좌표형태로 위치 추정하는 것을 보여준다.

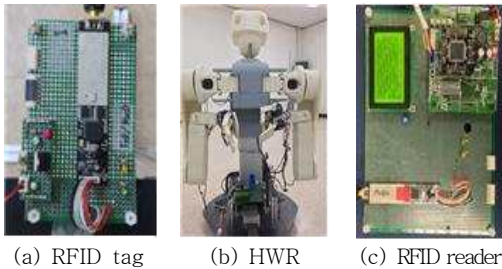


Fig. 9. The implemented RFID system
그림 9. 구현된 RFID 시스템

그림 9에서 (a)는 RFID 태그를 보여준다. 전원은 4.3V를 인가하며 능 동형 태그로서 무지향성 안테나를 사용한다. (b)는 HWR로서 매니플레이터의 자유도는 6자유도를 가지고 세 개의 옴니휠을 사용한 홀로노믹 이동 로봇으로서 자유자재로 움직일 수 있다는 장점을 가지고

있다. (c)는 RFID 리더로서 각 태그들로부터 받아온 거리값을 GLCD창에 띄워주어 로봇의 현재 위치를 실시간적으로 알려준다.

본 논문에서는 삼각 및 삼변측량방법의 협업이 실시간으로 구현 되어 진다. 실험에 사용한 로봇은 HWR이고 3개의 옴니휠을 사용하고 DC 모터 축과 커플링으로 결합되어 있으며, 옴니휠 구동부는 120° 간격으로 Y자 형태로 배치되어 있다.

메인 컨트롤러로 ATMELE사의 AT91SAM7S256 MCU를 사용하며, 센서 데이터 수신 및 로봇이동의 관련된 정보처리와 제어 알고리즘을 연산한다.

3.2. 결과 및 고찰

구현된 시스템의 동작 결과를 확인하기 위하여 위치인식 실험을 실시한다. RSSI의 세기를 이용하여 거리를 산출가능 한지 실험하였다.

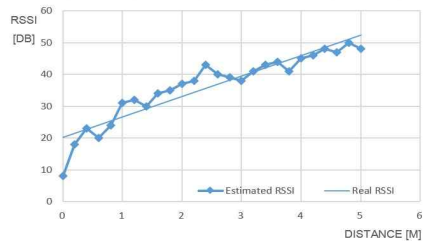


Fig. 10. The RSSI value by distance
그림 10. 거리에 따른 RSSI값

거리가 증가함에 따라 신호의 세기가 점점 약화되고 있다는 것을 확인할 수 있고 이를 Friis공식에 적용하여 거리로 산출 하였을 때 오차범위 3cm내에 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

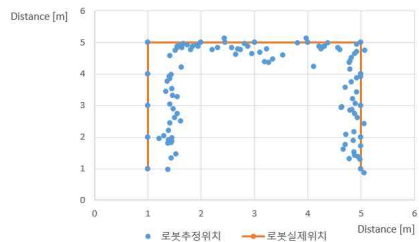


Fig. 11. Self-localization result (Trilateration)
그림 11. 위치 추정 결과 (삼변측량)

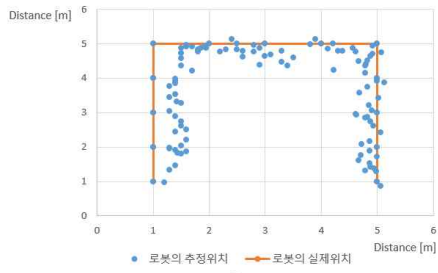


Fig. 12. Self-localization result (Triangulation)
그림 12. 위치 추정 결과 (삼각측량)

그림.11과 그림. 12는 삼각 및 삼변 측량만 했을 때 위치 추정에 대한 결과이다. 비교적 위치 추정을 잘하고 있지만, 오차가 많이 발생하고 기준태그로부터 멀어질수록 오차 및 전파의 간섭에 따른 좌표출력의 정확성이 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 그리고 위상각으로 얻은 결과값도 오차가 존재하고, 미소각에서는 더욱 큰 오차가 발생하는 것을 그림을 통해 알 수 있다.

그림 13은 삼변측량과 삼각측량의 결과들을 퍼지추론에 의하여 결합한 알고리즘을 실험한 결과이다.

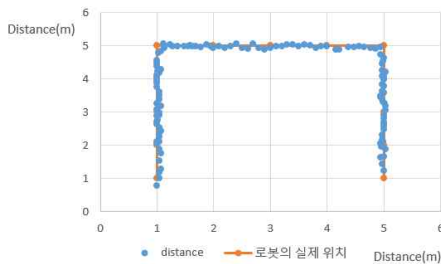


Fig. 13. Self-localization (Fuzzy collaboration)
그림 13. 위치 추정 결과 (퍼지협업)

두 측량에서의 각각의 오차를 퍼지추론을 이용한 두 방식의 융합을 통하여 추정 위치를 보정한 결과 매우 좋은 추정값을 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용한 실험 결과들을 통하여 실시간으로 로봇의 자기위치추정이 크게 개선된 것을 확인하였다.

III 결론

본 논문에서는 스마트 홈 웰니스 로봇의 정밀한 자기위치인식을 위한 RFID 센서 네트워크 시스템을 구현하였고, 퍼지추론을 이용한 삼각측량과 삼변측량의 협업으

로 제어 시스템이 효율적으로 설계 되었다. 거리만 사용하였을 때 발생하였던 위치오차를 삼각측량법과 협업하므로서 현저히 줄일 수 있음을 실험 결과들을 통하여 확인 할 수 있었다. 삼변측량 자기위치인식을 구현하기 위하여 RSSI방식을 구현하였고, 삼각측량 자기 위치인식 구현을 위해 TOA방법을 사용하였다. 삼변 및 삼각측량 기법을 통해 얻은 결과 값들을 퍼지 추론에 의하여 실시간으로 융합 하였고 개선된 최종 위치를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 설계한 RFID 센서 네트워크 환경과 홈 웰니스 로봇에 탑재되어 있는 리더 시스템을 기반으로 제안한 알고리즘의 적용 실험 결과들을 통하여 개선된 성능을 확인 할 수 있었다.

References

- [1] H. S. Ahn, J. Y. Lee, W.P.Yu, K.S.Han, "Indoor Localization Technique for Intelligent Robotic Space", Vol. 22, No. 2, pp48-57, 2007.4
- [2] Jeon Hyeon-Sig, Woo Sung-Hyun, Lee Ho-Eung, Ryu In-seon, Yoon Sung-Kun, Park Hyun-ju, " A Study on Algorithm for Efficient Location Tracking in Indoor Environment", Journal of Information Technology Applications & Management Vol. 13 No. 3 pp.59-74, 2006. 9
- [3] Long XIAO, Ye YIN, WU, Jianewi WANG: A Large - scale RF-based indoor Localization System Using Low-complexity Gaussian Filter and Improved Bayesian inference
- [4] Hui Liu, Houshang Darabi, Pat Banerjee and Jing Liu: Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems, IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, vol.37, pp1067-1080, (2007)
- [5] Cesare Alippi, Giovanni Vanini: A RSSI-based and calibrated centralized localization technique for Wireless Sensor Networks, in Proceedings of Fourth IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOMW'06), Pisa, Italy, March (2006), pp. 301-305
- [6] Filonenko, Viacheslav; Cullen, Charlie; Carswell, James D. 2013. "Indoor Positioning for Smartphones Using Asynchronous Ultrasound Trilateration." 2, no. 3: 598-620.

[7] R. Tamasaki. "TDOA Location system for IEEE 802.11b WLAN." *Proc. of IEEE*, vol.1, pp. 980-984, (2001)

[8] J.J. Caffery, Jr., "A new approach to the geometry of TOA Location", *Vehicular Technology Conference, IEEE*, vol. 4, pp1943-1949, (2000)

[9] D. Hahnel, W Burgard D. Fox, K Fishkin and M. Philpote, "Mapping and localization with RFID technology," *Intel Research Institute, Seattle, WA, Tech. Rep. IRS-TR-03-014, Dec 2003* and data recovery circuit with three-state phase detector and dual-path loop architecture", *European Solid-State Circuits, 2003. ESSCIRC '03. Conference on*, 16-18 Sept. 2003

BIOGRAPHY

Seungwoo Kim (Member)



Feb. 1987 : Yonsei Univ.,
Dept. of Electronic Eng., Bachelor
Feb. 1994 : Yonsei Univ., Dept.
of Electronic Eng., MS
Feb. 1994 : Yonsei Univ., Dept.
of Electronic Eng., PhD
1998~1999 : CWRU

Post-Doctoral Program in Robotics.

Jan. 1987 ~ Aug. 1989 : Samsung Advanced Institute
of Technology, Researcher

Feb. 1994 ~ current : Soonchunhyang Univ., Dept. of
Electrical Information Eng., Professor

<Main interest> Robot control, Fuzzy control system,
SFSS Tech, Ubiquitous Service Robot, Entertainment
robot

Byoungsu Lee (Student Member)



Feb. 2013 : Soonchunhyang Univ.,
Electrical Information Eng.,
Bachelor

Feb. 2013 ~ current :
Soonchunhyang Univ., Dept. of
Electrical Robotics Eng., Course of
MS

<Main interest> Robot control, Fuzzy control system,
Intelligent robot, Service Robot, Mobile control