

자동차 조립공정 작업의 실시간 모니터링을 위한 UWB 기반 공구위치 추적 시스템 개발

정승현
영남이공대학교 전자정보계열

The Development of Tool Position Tracking system Based on UWB for Automotive Assembly Process

Seung-Hyun Jeong
Division of Information Communication, Hankook University

요약 자동차 산업은 전 세계적으로 매출액이 1조 달러가 넘고 1천만 명 이상을 고용하고 있는 세계최대 제조업으로서, 약 2만 여개의 부품으로 완성되는 복합적 성격의 대표적인 산업이며 자동차 조립공정은 도장된 차체에 약 3천여 종의 내장, 계기판, 시트, 유리, 엔진, 트랜스미션, 차축 등의 유닛(Unit)을 조립하는 노동집약적 공정으로, 타 공정에 비해 자동화 비율이 가장 낮은 특징을 가지고 있다. 또한, 현재의 자동차 조립공정은 작업자의 조립작업에 대한 실시간 모니터링이 이루어지고 있지 못한 실정으로, 작업자의 작업 공구위치 측정시스템의 도입을 통해 공구의 위치를 실시간으로 파악하고 분석하여 일관된 작업 순서를 지시하면서 작업의 누락 및 가감을 체크한다면, 자동차 제조공정에서 발생할 수 있는 불량률을 사전에 차단하여 조립공정의 생산성 및 품질향상을 이룰 수 있다. 따라서 본 논문에서는 작업자의 작업공구 위치 측정 시스템의 도입을 통해 일관된 작업 순서를 지시하면서 작업의 누락 및 가감을 체크하고, 제조공정에서 발생할 수 있는 조립불량률을 사전에 차단하여 조립공정의 생산성 및 품질향상을 이룰 수 있는 실시간 공구 위치추적 시스템의 구성을 위하여 UWB(Ultra Wide Band) 무선측위를 활용한 공구의 실시간 위치추적시스템을 개발하고 그 효용성을 증명하고자 한다.

Abstract The automobile industry is representative industry of complex characteristics, which employing 10 million people, the largest manufacturing industry over \$1 trillion in sales and assembling with 20,000 parts to make complete automobile and automobile assembly processes have a lower automation rate than other processes, which is labor intensive processes of assembling to painted body with 3,000 components such as seats, built-in, instrument panel, glass, engine, transmission units. However, the current assembly process does not have real-time monitoring. If a tool position tracking system is adapted to assembly process for directing consistent work order and checking for missing work, the productivity and quality improvement of the assembly process can be achieved by preemptively preventing possible defects in the assembly process. So, this paper aims to develop a Tool Position tracking system using UWB(Ultra Wide Band) with trilateration and proves their effectiveness for real-time monitoring of automotive assembly process.

Keywords : UWB, Trilateration, Tool Tracking System, Monitoring, Automobile Assembly Process

*Corresponding Author : Seung-Hyun Jeong(Yeungnam University College)

email: bugman@ync.ac.kr

Received May 7, 2019

Accepted August 2, 2019

Revised May 29, 2019

Published August 31, 2019

가 된다. 또한, 태그에서 수집된 위치데이터 및 알람정보를 Wi-Fi나 Ethernet을 통해 운영소프트웨어에 전달해주는 역할을 수행한다.

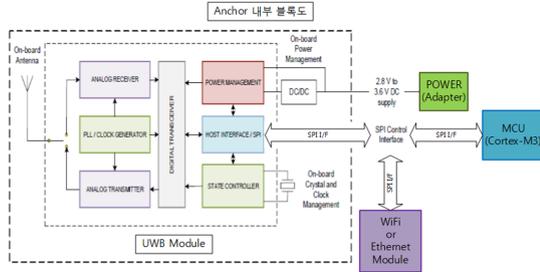


Fig. 3. Anchor Node Block diagram

Fig. 4는 개발 되어 진 UWB 태그 및 앵커보드로서 공구에 탈부착 및 고정이 쉽게 소형 및 경량화에 중점을 두고 개발하였다. 또한, 덤스위치로 앵커나 태그기능 중 하나를 선택할 수 있으며, 마이크로 5핀 B형 USB포터를 통하여 전원공급 및 PC와의 통신기능 수행하고, 충전 IC로 BQ24092 Single Cell Li-Pol Battery Charger IC를 탑재하였다.

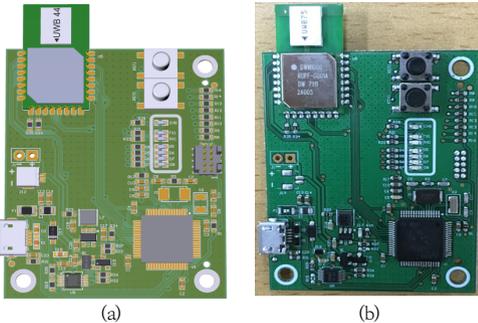


Fig. 4. Developed UWB Tag & Anchor Board
(a)PCB 3D Modeling (b)UWB Board

2.2 노드간 거리 측정 알고리즘

Fig 5.의 TWR 알고리즘은 앵커가 펄스를 전송한 후 반대편에서 이 펄스를 수신한 태그가 다시 펄스를 송신하여 두 노드 사이에 펄스의 왕복시간을 계산 한 뒤 노드의 처리 시간을 제외하여 노드 간의 거리를 계산하는 방법이다. IEEE802.15.4a 기술표준에서는 위치인식을 위한 거리 측정 방식으로 TWR 알고리즘을 제안하고 있다. 이러한, TWR방식은 각각의 구성요소들 간에 동기를 맞추지 않아도 된다는 점에서 시스템을 간소화 할 수 있다는 장점이 있다[5].

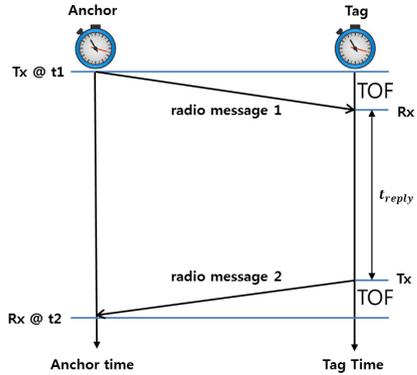


Fig. 5. Elapsed Time of Two Way Ranging measurement

TOF(Time Of Flight) 시간은 Eq. 1과 같이 타임스탬프 t_2 , t_1 과 응답시간 t_{reply} 을 이용하여 구할 수 있다.

$$TOF = \frac{t_2 - t_1 - t_{reply}}{2} \quad (1)$$

Where, t_1, t_2 denotes time stamp, t_{reply} denotes reply time

또한, 라디오 전파는 공기를 통해서 전달되므로 빛의 속도 C 와 같고, 앵커와 태그 사이의 거리는 Eq. 2에 의해 계산 되어 질수 있다.

$$Distance = C \times \frac{t_2 - t_1 - t_{reply}}{2} \quad (2)$$

Where, C denotes velocity of light

그러나 이러한 무선통신 기반 거리측정은 장애물이나 실내 주변 환경의 변화로 인하여 거리 오차가 발생하면 정확한 위치 인식을 할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 거리 측정 오차를 줄이기 위하여 제안되고 있는 삼변측량 기반 위치인식 기법들은 확률을 이용한 위치 인식기법, 지역 유사성을 이용한 위치인식 기법, 그리고 토폴로지를 이용한 위치인식 기법으로 분류할 수 있다[6].

UWB 삼변측량법은 수평각을 관측하는 대신에 세변의 길이를 측정하여 삼각점의 위치를 구하는 알고리즘으로, Fig. 6에서 표시되어진 세 점의 (x, y) 좌표 $(0,0)$, $(a,0)$, (b,c) 를 이용하여 각 원의 방정식을 구하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

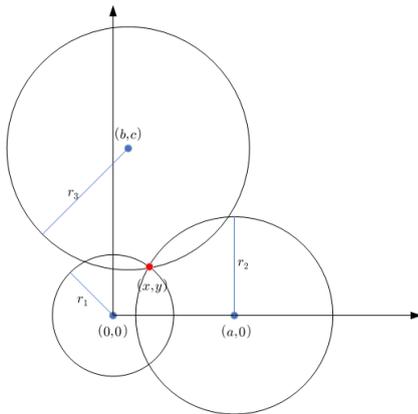


Fig. 6. Trilateration for Position Tracking

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 &= r_1^2 \\ (x - a)^2 + y^2 &= r_2^2 \\ (x - b)^2 + (y - c)^2 &= r_3^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Where, a, b, c denotes coordinates of (a,0), (b,c)

또한, Eq. 3의 연립방정식을 풀면 Eq. 4와 같다. 여기에, Eq. 2를 이용하여 이동 태그와 고정 앵커 사이의 세 변의 길이 r_1, r_2, r_3 를 구하고, 앵커 설치좌표 (0,0), (a,0), (b,c)를 적용하면 공구에 부착되어진 태그의 상대적 위치를 측정 할 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{r_1^2 - r_2^2 + a^2}{2a} \\ y &= \frac{r_1^2 - r_3^2 + b^2 + c^2 - 2bx}{2c} \end{aligned} \quad (4)$$

2.3 LOS, NLOS 환경 위치측정 실험

Fig. 7은 무선측위 실험을 위한 환경구성으로서 실내의 장애물이 없는 LOS(Line of sight) 환경 및 장애물이 있는 NLOS(None Line of sight) 환경에서 Fig. 6의 3개의 고정좌표 (0,0), (a,0), (b,c)에 해당하는 (0m,0m), (0m,5m), (2.5m,5m) 위치에 고정노드 앵커를 설치하고, 임의의 여러 위치에서 이동노드인 태그의 상대적인 위치측정 실험을 실시하였다.

Table 1은 그림 7(a),(c)의 LOS실내 환경의 16개 지점에서 위치를 측정한 결과로서 x좌표의 평균오차는 68mm이며 양의 최댓값은 195mm, 음의 최댓값 -194mm 이었다. 또한, y좌표의 평균오차는 -29mm이며

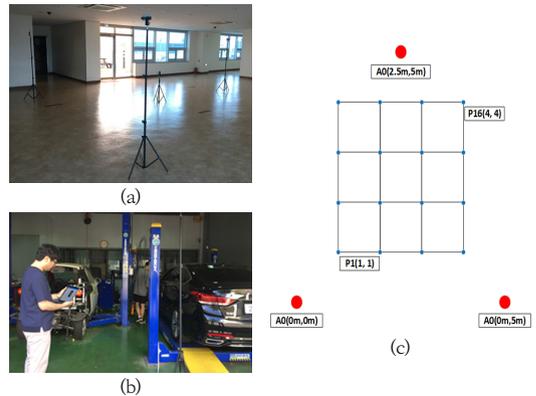


Fig. 7. LOS and NLOS Environment Test
(a) LOS Environment (b) NLOS Environment
(c) Coordinates of 3 Anchors and 16 Test Points

양의 최댓값은 188mm, 음의 최댓값은 -194mm이었다. 이는 목표치인 위치측정오차 ± 200 mm이하를 만족하는 값으로써 개발한 시스템이 LOS 실내환경에서 위치측정이 잘 이루어짐을 보여준다. Table 2는 NLOS 환경인 그림 7(b)의 차량정비소 내의 조립작업 차량 주변 4개 지점에서 위치를 측정한 결과로서 x좌표의 평균오차는 -43mm이며 양의 최댓값은 289mm, 음의 최댓값 -382mm 이었다. 또한, y좌표의 평균오차는 -45mm, 양의 최댓값은 107mm, 음의 최댓값은 -237mm이었다. 이는 목표치인 위치측정오차 ± 200 mm 이하를 만족하지 않는 값으로써 NLOS 환경에서는 LOS 환경에 비해 다소 높은 위치오차를 보임을 알 수 있다. 이러한 측정오차를 줄이기 위하여 이동평균이나 칼만필터 등의 소프트웨어 알고리즘을 적용하고, 정밀 측정 및 신뢰성 향상을 위한 반복시험용 테스트베드의 개발 등이 필요하다.

Table 1. LOS Environment Trilateration Test

(Unit : mm)

Pos	Real Pos		Measured Pos		Error	
	x	y	x	y	x	y
P1	1000	1000	851	1172	149	-172
P2	1000	2000	885	1858	115	142
P3	1000	3000	1101	2822	-101	178
P4	1000	4000	1058	4097	-58	-97
P5	2000	1000	1863	1182	137	-182
P6	2000	2000	1905	1921	95	79
P7	2000	3000	1885	3194	115	-194
P8	2000	4000	1900	3812	100	188
P9	3000	1000	2865	1111	135	-111
P10	3000	2000	2805	2190	195	-190
P11	3000	3000	2856	3124	144	-124
P12	3000	4000	2847	3854	153	146
P13	4000	1000	3889	906	111	94
P14	4000	2000	3892	2167	108	-167
P15	4000	3000	4194	2901	-194	99
P16	4000	4000	4115	4152	-115	-152

Table 2. NLOS Environment Trilateration Test

Pos	Real Pos		Measured Pos		Error	
	x	y	x	y	x	y
P1	4910	1250	5292	1143	-382	107
P2	4010	440	4109	4637	-99	-237
P3	3110	5750	3091	6000	19	-25
P4	870	4000	581	4025	289	-25

3. 결론

Fig. 8은 실제 작업환경상의 장비의 위치추적 테스트를 위하여, 자동차 조립공장의 환경과 유사한 자동차 정비공장에서 위치측정 시험을 진행한 결과로써, 작업 현장에 4개의 위치에 앵커를 설치하고 작업자의 공구에 태그를 부착하여 위치추적 어플리케이션과의 연동을 확인하였다. 이를 통하여 작업자의 자동차 부품 조립 시간에 따른 작업 공구의 위치추적이 가능하며 데이터 분석을 통하여 작업자에게 일관된 작업 순서를 지시하면서 작업의 누락 및 가감을 체크할 수 있다. 또한, 자동차 조립라인에서 작업자에 의한 조립불량 및 제조공정에서 발생할 수 있는 공정불량을 사전에 차단하여 자동차 조립공정의 생산성 및 품질향상을 이루고자 한다.

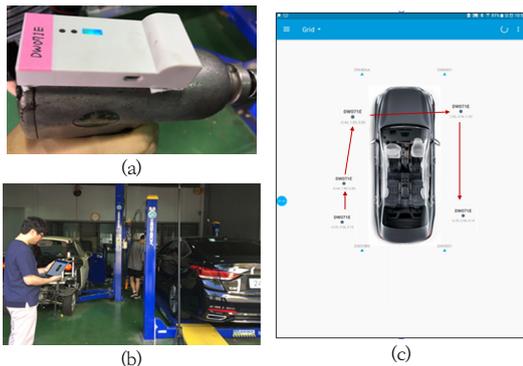


Fig. 8. Tool Tracking Application Test
 (a) Tag Attached electric screwdriver
 (b)Auto Shop Field Test (c) Tool Tracking Application

References

[1] M. D. Kong, "A Study on the Efficient MES Using RFID in automotive Assembly Line," The Journal of the Korea Management Engineers Society, vol. 16, No. 1, pp. 45-55, March, 2011.

[2] S. Y. Go, "Effective ToA-Based Indoor Localization Method Considering Accuracy in Wireless Sensor Networks," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol.41, no.06, pp. 640-651, June, 2016.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.7840/kics.2016.41.6.640>

[3] J. Y. Lee and D. M. Lee, "Indoor localization algorithm using smartphone sensors and probability of normal distribution in Wi-Fi environment," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 40, no. 9, pp. 1856-1864, Sept. 2015.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.7840/kics.2015.40.9.1856>

[4] H. J. Ahn, T. V. Thuy, and Y. H. Lee, "Bluetooth beacon planing considering position estimation accuracy in small and isolated in-door environment," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol 40, no. 7, pp. 1307-1312, Jul. 2015.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.7840/kics.2015.40.7.1307>

[5] Y. A. Kim and C. S. Hong, "An effective location-based packet scheduling scheme for adaptive tactical wireless mesh network," The journal of Korean institute of Communications and Information Sciences, vol. 32, no. 12, pp. 719-727, 2007.

[6] P. Bahl and V.N. Padmanabhan, "RADAR: an In building RF based user location and tracking system," IEEE INFOCOM 2000, pp. 775-784, March 2000.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2000.832252>

정 승 현(Seung-Hyun Jeong)

[정회원]



- 1998년 8 : 영남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 영남대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 영남이공대학교 전자정보계열 조교수

<관심분야>

회로설계, 제어공학