

비컨노드의 동적배치 기반 3차원 삼각측량 알고리즘을 적용한 위치인식 시스템에 대한 연구

준회원 이 호 철*, 정회원 이 동 명**°

A Study on Localization System using 3D Triangulation Algorithm based on Dynamic Allocation of Beacon Node

Ho Cheol Lee* Associate Member, Dong Myung Lee**° Regular Member

요 약

본 논문에서는 제한된 실험 영역이 아닌 실제 영역에서 동적으로 비컨노드를 배치할 수 있는 3차원 삼각측량 알고리즘을 제안하고 이를 위치인식 시스템에 적용한 후 그 성능을 분석하였다. 비컨노드와 이동노드간의 거리를 계산함에 있어서 기존의 삼각측량법에서는 이들 노드간의 거리를 반지름으로 하는 3개의 원이 중첩되는 2차원 지점을 계산하지만, 제안하는 알고리즘에서는 3개의 구 표면이 중첩되는 3차원 지점을 계산하는 방법을 적용한다. 또한 제안하는 알고리즘에 의한 위치인식 시스템의 성능을 분석하기 위하여 먼저 비컨노드의 배치형태를 실제의 모형으로 제작하고, 사면체인 실제 모형을 컴퓨터에서 시뮬레이션 할 수 있도록 이동노드의 거리 값 및 비컨노드간의 임의의 거리 값 10개를 추출하여 모델링하였다. 그 다음 제안된 알고리즘과 2차원 삼각측량법에 의해 계산된 각 이동노드의 2차원 좌표를 서로 비교하고, 제안하는 알고리즘의 3차원 좌표(z축)에 대한 위치정확도를 실제 모형의 3차원 좌표와 비교하여 확인하였다.

Key Words : 3D triangulation, Moving node, Beacon node, Localization, IEEE.802.15.4a

ABSTRACT

The three-dimensional triangulation algorithm that the beacon nodes can be allocated to dynamically in not the experimental region but the practical region is suggested, and the performance of the localization system adapting the suggested algorithm is analyzed. The suggested algorithm adapts the computation method of the three dimensional point that the surfaces of three spheres overlapped, while the traditional triangulation algorithm adapts the computation method of the two dimensional point that three circles are overlapped in order to compute the distance between beacon nodes and mobile node that means a radius. In addition to this, to analyze the performance of the localization system adapting the suggested algorithm, first of all, the allocation layout of beacon nodes is made, and the allocation layout is modeled by selection of ten random distance values between mobile node and beacon nodes for computer simulation of the practical model. Next, the two dimensional coordinator of mobile node that is calculated by the suggested algorithm and the traditional triangulation algorithm is compared with each other. The localization measuring performance about three dimensional coordinator(z axis) of the suggested algorithm is also obtained by comparing with that of the practical model.

※ 이 논문은 2011년도 Brain Busan 21사업에 의하여 지원되었음

* 동명대학교 컴퓨터공학과 모바일 연구실(calmtot@tu.ac.kr), ** 동명대학교 컴퓨터공학과 (dmlee@tu.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2010-11-566, 접수일자 : 2010년 11월 29일, 최종논문접수일자 : 2011년 3월 2일

I. 서 론

최근 GPS를 이용한 위치인식 방법이 많이 이용되고 있으나 이 기술은 실외에서는 가능하지만 위성의 전파신호가 건물내부에는 도달 할 수 없기 때문에 실내에서는 적용하기가 불가능 하다. 따라서 초기의 실내 위치인식에는 초음파나 적외선, LiDAR(Light Detection And Ranging) 및 스테레오 카메라 등이 주로 사용되었다.^[1]

그러나 초음파나 적외선, LiDAR 및 스테레오 카메라를 사용한 기술은 인식 대상의 물체와 카메라나 센서 사이에 장애물이 존재하지 않는 상황에서만 가능하다는 제약사항을 가지고 있다. 따라서 유전체를 제외한 장애물을 회피하거나 통과 할 수 있는 고주파를 사용하여 위치인식 기능을 수행해야 한다.

고주파를 사용한 위치인식 기술 중에서도 IEEE 802.15.4a의 국제 표준규격의 센서들은 2차원 좌표계의 위치인식을 위해 주로 사용되었으며, 대표적인 위치인식 방법으로 2차원 삼각측량법이 대표적으로 사용되고 있다.^{[2]-[5]} 그러나 이런 고전적인 삼각측량법은 인식하고자 하는 이동물체의 높이를 알 수 없는 단점을 가지고 있다.

더욱이 최근에는 고층건물 내에서의 위치인식 필요성이 증가함에 따라 기존의 2차원이 아닌 3차원 위치인식 서비스가 요구되고 있어 이를 위한 알고리즘의 연구개발이 필요하다. 따라서 3차원 위치인식 알고리즘은 각종 빌딩의 보안관제 시스템이나 복층 구조의 철강구조 공장 등에서 작업자의 위치파악 정확하게 함으로써 사고예방에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 고전적인 삼각측량법에서는 이동노드의 위치를 인식하기 위해 배치되는 비컨노드의 좌표를 미리 설정해야 하는 제약사항이 있다. 그러나 실제 위치인식 대상이 되는 영역에서 임의의 비컨노드가 실제 환경에 적합하게 설치되어야 하는 경우가 일반적이므로 실제 환경이 아닌 실험 환경에서 설치되는 방법대로 비컨노드가 배치되면 매우 비효율적이다.

본 논문에서는 이러한 3차원 위치인식의 필요성에 따라 비컨노드의 동적배치 기반 3차원 삼각측량 알고리즘을 적용한 위치인식 시스템에 대한 연구를 수행하였다.

II. 관련연구

2.1 고전적인 삼각측량법

삼각측량법에서는 움직이는 이동노드를 인식하기

위해서 3개의 비컨노드가 필요하다. 그림 1의 이동노드와 3개의 비컨노드 사이의 거리를 반지름으로 한 3개의 원이 교차하는 한 지점을 찾는 방법을 취한다.

이 경우, 비컨노드는 전자기파의 굴절에 따른 시간 지연을 최소화하기 위해 그림 2와 같이 방해물이 없는 천장에 배치한다. 그러나 대부분의 경우, 인식하여야 하는 이동노드가 비컨노드보다 아래쪽에 위치하므로 고전적인 삼각측량법으로 측정하면 비컨노드와 이동노드 간의 오차가 증가하게 된다. 그 이유는 비컨노드와 이동노드간의 높이를 고려하지 않았기 때문이다.

즉, 그림 2에서 보면 실험 장소에서 노드 A, B, C가 천장에 배치되어 있고 인식되어야 하는 이동노드가 바닥에 있다고 가정할 때, 천장에 배치되어 있는 비컨노드들과 이동노드와의 거리는 각각 D_a , D_b , D_c 가 된다.

그런데 비컨노드와 이동노드의 배치를 평면으로 가정할 경우 그림 2의 배치형태는 그림 3으로 표현되는 데, 여기에서 이동노드와 비컨노드간의 거리를 반지름으로 하는 3개의 원은 둘레가 어느 한 점에서 서로 정확하게 교차하지 않는다. 따라서 3개의 원이 모두 겹치는 영역이 넓어지면 넓어질수록 이동노드의 정확한 위치를 예상하기가 어렵다.

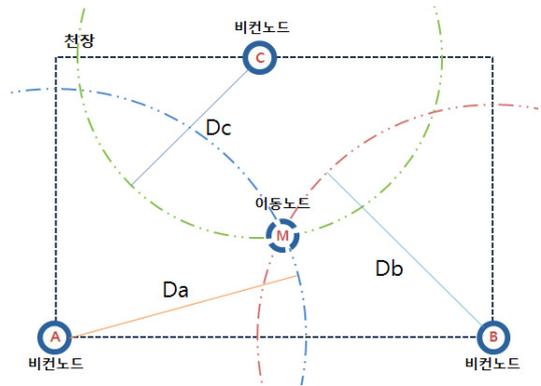


그림 1. 삼각측량법의 원리

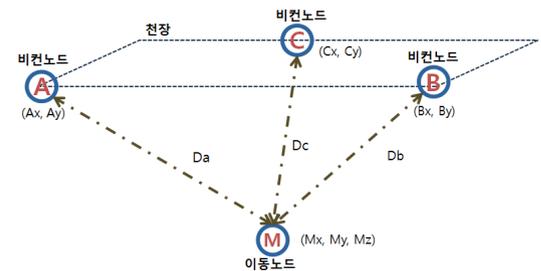


그림 2. 비컨노드와 이동노드의 배치형태(정면도)

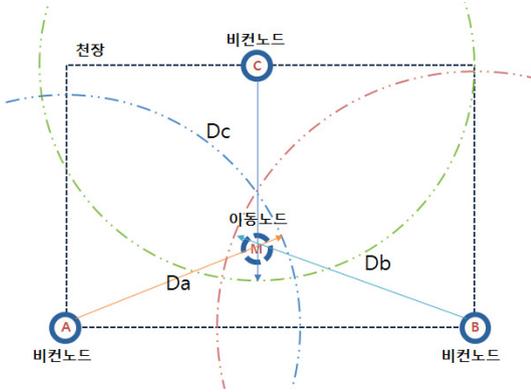


그림 3. 비컨노드와 이동노드의 배치형태(평면도)

2.2 공통현의 교차점을 이용한 삼각측량법

비컨노드와 이동노드가 단순히 동일한 높이에 위치하지 않은 경우에는 고전적인 삼각측량법으로 정확한 이동노드의 위치를 인식할 수 없다. 따라서 비컨노드와 이동노드가 다른 높이에 있더라도 정확한 이동노드의 위치를 인식할 수 있는 방법이 필요하다.

공통현의 교차점을 이용한 삼각측량법은 지금까지 사용된 고전적인 삼각측량법을 개선한 방법으로 비컨노드(A, B, C)와 이동노드(M)간의 거리 값을 반지름으로 하는 3개의 원에서 서로의 공통현을 이용한다.^[6]

공통현들의 교차점을 이용한 삼각측량법은 그림 4와 같이 비컨노드 A, B, C가 이동노드 M과 이루는 거리를 반지름으로 하는 원을 각각 형성한다. 3개의 원은 서로 중첩되는데, 이 때 중첩으로 인해 발생하는 원둘레의 교차점을 이어 공통현 선분을 긋는다. 이렇게 도출된 3개의 공통현이 교차하는 위치가 이동노드의 정확한 좌표가 된다.^[7,8]

공통현의 교차점을 이용한 삼각측량법의 측정결과는 그림 2의 배치형태를 실제로 모형화로 제작하여

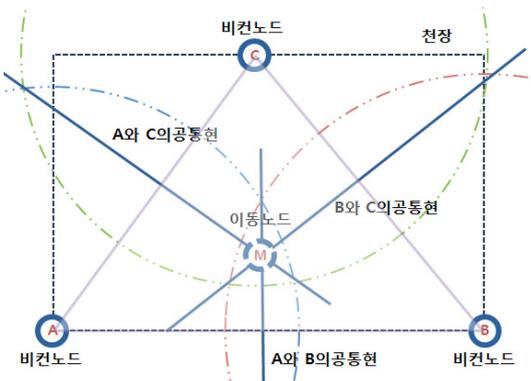


그림 4. 공통현의 교차점을 이용한 삼각측량법 개념도

측정한 결과와 일치함을 확인하였다.

공통현의 교차점을 이용한 삼각측량법 알고리즘은 다음과 같이 유도된다. 먼저 아래의 식 (1)과 식 (2)처럼 이동노드의 x좌표를 구하는데 필요한 λ와 Δ를 구한다.

$$\lambda = A_x^2 + A_y^2 - D_a^2 - B_x^2 - B_y^2 + D_b^2 + \left\{ (B_y - A_y) \left(D_a^2 - D_c^2 - A_y^2 + C_y^2 + C_x^2 - A_x^2 \right) \right\} / (C_y - A_y) \quad (1)$$

$$\Delta = 2 \left\{ (B_y - A_y) (C_x - A_x) - (B_x - A_x) (C_y - A_y) \right\} \quad (2)$$

그 다음 식 (1)과 식 (2)의 값을 이용해 아래의 식 (3)과 같이 이동노드의 좌표 M_x , M_y 를 계산한다.

$$\begin{aligned} M_x &= \lambda (C_y - A_y) / \Delta \\ M_y &= \left(D_a^2 - D_c^2 - A_y^2 + C_y^2 + C_x^2 - A_x^2 - 2(C_x - A_x)M_x \right) / 2(C_y - A_y) \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)을 이용해서 이동노드의 정확한 2차원 좌표를 계산한다.^[9,10]

III. 3차원 삼각측량 알고리즘을 적용한 위치인식 시스템

3.1 제안하는 시스템의 구조

본 논문에서 제안하는 비컨노드의 동적배치 기반 3차원 삼각측량 알고리즘을 적용한 위치인식 시스템의 구조

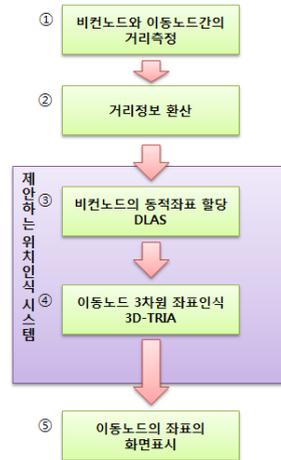


그림 5. 3차원 위치인식 시스템의 구조

는 그림 5에서 보는 바와 같이 3개 모듈로 구성된다.

먼저 인식대상인 이동노드와 3개의 비컨노드와의 거리와 3개의 비컨노드간의 거리를 측정한다.(①) 측정된 거리정보를 측정하고자 하는 단위로 환산 한 후, (②) DLAS(Dynamic Location Allocation Scheme of Beacon Node) 알고리즘을 이용해 비컨노드의 좌표를 할당한다.(③)

그리고 할당된 비컨노드의 좌표를 3D-TRIA (3D-TRIangulation Algorithm)를 이용하여 이동노드의 3차원 위치정보를 계산한다.(④) 마지막으로 인식된 이동노드의 좌표를 OpenGL등의 소프트웨어 라이브러리를 이용하여 구현된 3차원 Graphic Interface와 연결하여 시각적으로 표시한다.(⑤)

3.2 비컨노드의 동적 배치기법(DLAS)

실제 효율적인 위치인식을 하려면 임의의 비컨노드가 실제 환경에 적합하게 설치되어야 한다. 따라서 두 노드간의 측정거리를 바탕으로 비컨노드들의 좌표를 설정하는 비컨노드의 동적 배치기법(DLAS : Dynamic Location Allocation Scheme of Beacon Node)을 제안한다.

비컨노드의 동적 배치를 위해서는 위치인식 시스템 구축 시 삼각측량법을 이용해 비컨노드의 좌표설정이 필수적이다.

그러나 대부분의 시스템에서는 비컨노드의 좌표를 시스템 관리자가 실측하여 입력하는 방법을 취한다. 그러므로 향후 설치장소의 변경이 발생할 때, 시스템 관리자의 시스템 수정이 필요하여, Cell Planning의 시간적 오버헤드가 발생할 가능성이 높다.

이러한 단점을 보완하여 추가비용을 줄이고 설치환경에 따른 유연성을 갖기 위해서는 그림 6과 같이 설

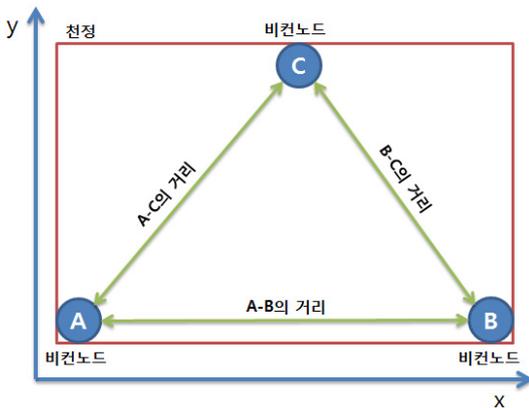


그림 6. 비컨노드의 능동적 배치

치장소가 변경되더라도 비컨노드들이 서로간의 거리를 측정함으로써 자신의 좌표를 능동적으로 설정할 수 있어야 한다.

비컨노드들의 동적 배치를 위하여 비컨노드 A, B, C의 좌표를 식 (4)와 같이 표시한다. 비컨노드 A의 x좌표는 A_x 이며, y좌표는 A_y , z좌표는 A_z 이다. 비컨노드 B와 C의 좌표도 같은 방법으로 좌표가 표시된다.

비컨노드의 동적 배치를 위해서 식 (4)에서 표시된 비컨노드 좌표를 기반으로 비컨노드 A, B, C의 좌표 값을 설정한다. 비컨노드 A는 좌표의 기준이 되는 노드이므로 B와 C의 기준을 설정하기 위해 벽면의 한쪽 모서리에 배치한다. 따라서 노드 A는 식 (5)와 같이 x, y, z의 좌표 값이 원점인 0이 된다.

$$\begin{aligned} A &= \{A_x, A_y, A_z\} \\ B &= \{B_x, B_y, B_z\} \\ C &= \{C_x, C_y, C_z\} \end{aligned} \quad (4)$$

$$A_x = 0, A_y = 0, A_z = 0 \quad (5)$$

식 (5)에서 노드 A의 좌표 값이 설정된 후, 노드 B의 좌표 값을 식 (6)과 같이 설정한다. B_x 는 노드 A와 노드 B간에 서로의 거리를 측정하여 얻어진 값이다. 이때, 노드 B는 좌표에서 x축을 형성하기 위해 노드 A와 직선방향으로 배치되므로 y좌표와 z좌표는 0이다.

$$B_x = \overline{AB}, B_y = 0, B_z = 0 \quad (6)$$

식 (6)에서 노드 B의 좌표 값이 설정되면 노드C는 임의의 장소에 배치된다. 노드 C의 배치를 위하여 노드C는 노드 A와 노드 B와의 거리를 측정한다. 노드 C의 좌표는 거리 값을 바탕으로 식 (7)과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} C_x &= (r_A)^2 - (r_B)^2 + B_x^2 / 2B_x \\ C_y &= \sqrt{|(r_A)^2 - C_x^2|} \\ C_z &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)에서 얻어진 노드 C의 좌표는 그림 7에서 보는 바와 같이 \overline{AC} 거리와 \overline{BC} 거리가 반지름인 원의 방정식을 서로 연립하여 계산된 원둘레의 교차점이다. 그런데 x축을 기준으로 교차점이 상, 하 2곳에 발생하는데, 하단의 교차점에서 y좌표는 (-)값을 나타내므로 배치영역을 벗어나므로 동적배치기법 계산에서

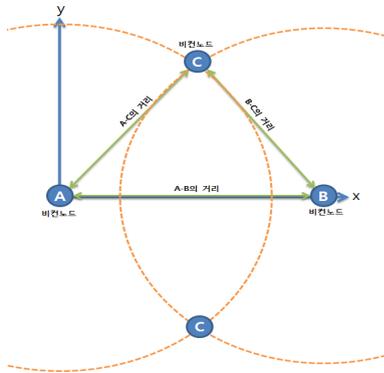


그림 7. 비컨노드의 좌표설정

제외한다.

3.3 3차원 삼각측량 알고리즘(3D-TRIA)

기존의 2차원 삼각측량법은 인식하려는 이동노드의 3차원 좌표를 알 수 없는 단점이 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 본 논문에서는 3개의 비컨노드와 이동노드사이의 거리를 반지름으로 설정된 3개의 구를 연립하는 방법인 3차원 삼각측량 알고리즘인 3D-TRIA를 제안한다.

3D-TRIA는 이동노드 M과 각각의 비컨노드 A, B, C사이에 측정된 거리 값을 반지름으로 하는 3개의 구의 방정식을 연립한다. 그림 8에서 보는 바와 같이 3개의 구의 방정식을 연립하면 상, 하 두 개의 교차점이 발생하는데 이 중 상단의 교차점은 천장 위에 존재하는 무의미한 점이므로 하단의 것을 취한다. 그러면 이동노드의 정확한 2차원 좌표뿐만 아니라 이동노드와 천장 간의 높이 값까지 얻을 수 있어 3차원 삼각측량 알고리즘 수행을 위한 기본 좌표 값을 얻을 수 있다.

3차원 삼각측량 알고리즘인 3D-TRIA의 세부적인 로직은 다음과 같다. 먼저 식 (8)과 같이 이동노드의

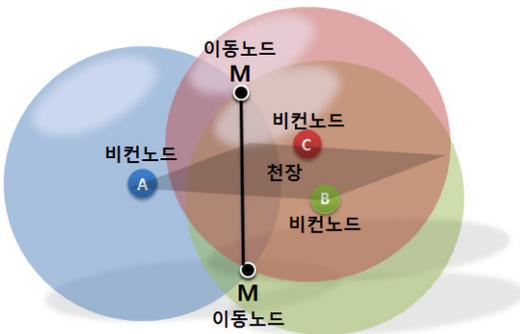


그림 8. 3D-TRIA의 개념도

x좌표인 Mx 를 구한다.

$$Mx = (Da^2 - Db^2 + Bx^2)/2Bx \quad (8)$$

그 다음 식 (8)에서 구해진 Mx 를 식 (9)에 대입하여 이동노드의 y좌표인 My 를 구한다.

$$My = (Cx^2 + Cy^2 + Da^2 - Dc^2 - 2MxCx)/2Cy \quad (9)$$

식 (8)과 식 (9)에서 구해진 Mx, My 를 식 (10)에 대입하여 이동노드의 높이 값인 Mz 를 구한다.

$$Mz = \sqrt{Da^2 - Mx^2 - My^2} \quad (10)$$

상기의 식 (8), (9) 및 (10)의 계산식을 통해 이동노드의 정확한 3차원 좌표를 구할 수 있다.

IV. 실험 및 성능 분석

4.1 실험 환경

제안하는 3D-TRIA의 성능분석을 위한 실험 환경으로 먼저 가로가 4m, 세로가 3.5m인 방을 기준점으로 설정하였다. 선정된 방의 천정에 그림 9와 같이 비컨노드를 설치하고 이동노드를 바닥에 배치하여 좌표를 실측하였다. 임의의 이동노드 및 비컨노드간의 거리 값은 표 1과 같이 정의한다.

표 2는 이동노드를 임의의 좌표로 10회 이동시켜 선정된 실험 좌표 값을 나타내며, 3D-TRIA의 성능분석에 사용된다.

실험에 있어서 비컨노드간의 거리는 그림 9에서 보는 바와 같이, 비컨노드 A, B 및 C에 대한 각각의 거리는 \overline{AB} 는 400cm, \overline{BC} 는 300cm 및 \overline{CA} 는 360cm

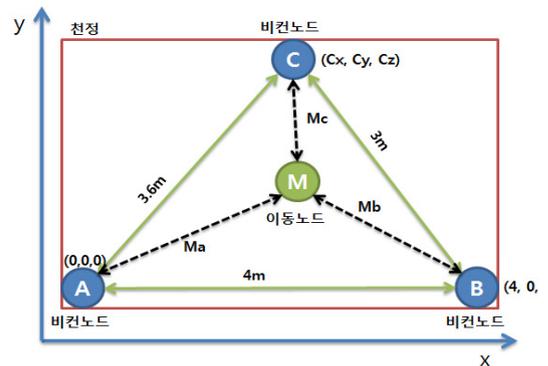


그림 9. 비컨노드의 배치도

표 1. 이동노드 및 비컨노드의 거리 값 기호

거리 값	기호
비컨노드 A와 B의 거리	\overline{AB}
비컨노드 B와 C의 거리	\overline{BC}
비컨노드 C와 A의 거리	\overline{CA}
이동노드 M과 비컨노드 A와의 거리	M_a
이동노드 M과 비컨노드 B와의 거리	M_b
이동노드 M과 비컨노드 C와의 거리	M_c

표 2. 추출된 임의의 실험 데이터 (단위 : m)

횟수	M_a	M_b	M_c
1	2.9	4.1	3.5
2	2.6	2.5	2.1
3	3.6	2.1	2.3
4	3.5	3.6	2.2
5	3.1	4.1	2.6
6	4.7	3.8	3.2
7	4.5	1.9	2.7
8	2.4	4.3	3.3
9	5.4	3.6	3.4
10	4.5	5.7	4.5

간격으로 임의적으로 설정되었다.

4.2 실험 과정

제안하는 3D-TRIA의 성능분석을 위한 실험 과정은 다음과 같다. 먼저, 삼각측량법의 배치형태를 바탕으로 모형을 실제로 제작하고, 이를 컴퓨터에서 시뮬레이션 할 수 있도록 모델링 하였다. 그 다음 모델링

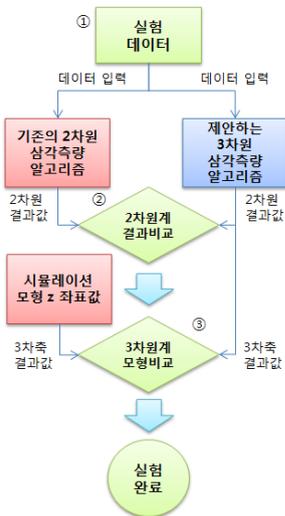


그림 10. 실험 과정

된 배치형태인 그림 9에서 이동노드의 거리 값 및 비컨노드간의 임의의 거리 값 10개를 실험에 사용하기 위해 표 2와 같이 데이터를 추출하였다. 세부적인 실험과정은 그림 10과 같다.

4.3 성능분석

3차원 모형의 실제 좌표 x, y, z에 대해서 기존의 고전적인 2차원 삼각측량법과 제안한 3D-TRIA에 의한 측정좌표의 위치는 표 3, 4 및 5와 같이 매우 유사하다.(그림의 (c)와 (e)의 값 참조) 여기에서 도출된 값들이 서로 간 약간의 차이가 발생한 이유는 제작한 3차원 모형에서 추출된 노드간의 실측 데이터가 알고리즘에 의한 측정거리와 약간의 불일치 때문이다.

이 실험에서 보여주고자 하는 바는 기존의 공통현을 이용한 위치인식 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 3차원 위치인식 알고리즘의 2차원좌표가 동일함과, 제안하는 3차원 위치인식 알고리즘의 이동노드의 높이인 z좌표도 오류가 없음을 확인하는 것이다.

제안한 3D-TRIA의 각 좌표별 성능을 분석하면 x 좌표에 대한 2차원 삼각측량법과 3D-TRIA의 성능 실험 결과는 표 3과 같다. 여기에서 2차원 삼각측량법의 x좌표(b)와 3D-TRIA의 x좌표(d)의 평균 오차가 0.05m로 서로 동일하다. 이는 2차원 좌표에 대해서 제안한 3차원 삼각측량 알고리즘의 x좌표 성능이 정확하게 수행됨을 의미한다.

3D-TRIA의 y 좌표(d)에 대한 성능실험 결과는 표 4와 같다. y 좌표의 경우는 x 좌표의 경우와는 달리 오차거리의 차이가 발생함을 표 4에서 알 수 있다. 실제 모형의 y 좌표에 대한 2차원 삼각측량법의 y좌표와 실제모형의 y좌표에 대한 3D-TRIA의 y좌표의 평균 오차가 0.04m이지만, 이는 미미한 오차이므로 y좌표 또한 동일한 결과를 나타낸다고 볼 수 있다.

즉, 본 논문에서 제안한 3차원 삼각측량법 알고리즘의 성능결과가 기존의 널리 사용되는 2차원 삼각측

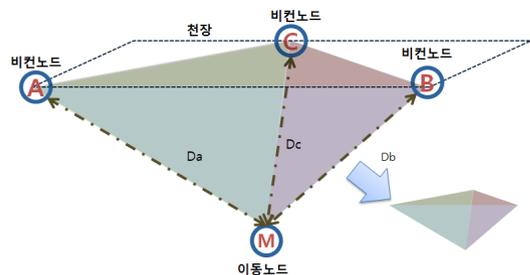


그림 11. 제안하는 알고리즘의 3차원좌표(z축)의 검증에 사용된 모형

표 3. x 좌표 값과 오차거리 비교 (단위 : m)

실험 횟수	실제 모형 x 좌표 (a)	2D x 좌표(b)	2D x 좌표 오차거리 (c)	3D x 좌표 (d)	3D x 좌표 오차거리 (e)
1	1.00	0.95	0.05	0.95	0.05
2	2.00	2.06	0.06	2.06	0.06
3	3.00	3.06	0.06	3.06	0.06
4	2.00	1.91	0.09	1.91	0.09
5	1.00	1.10	0.10	1.10	0.10
6	3.00	2.95	0.05	2.95	0.05
7	4.00	4.08	0.08	4.08	0.08
8	0.40	0.40	0.00	0.40	0.00
9	4.00	4.02	0.02	4.02	0.02
10	0.50	0.47	0.03	0.47	0.03
평균	-	-	0.05	-	0.05

표 4. y 좌표 값과 오차거리 비교 (단위 : m)

실험 횟수	실제 모형 y 좌표 (a)	2D y 좌표(b)	2D y 좌표 오차거리 (c)	3D y 좌표(d)	3D y 좌표 오차거리 (e)
1	0.90	0.83	0.07	0.84	0.06
2	1.00	0.96	0.04	0.96	0.04
3	1.00	1.02	0.02	1.02	0.02
4	2.00	2.08	0.08	2.08	0.08
5	2.00	1.98	0.02	1.98	0.02
6	2.00	1.93	0.07	1.93	0.07
7	1.00	1.07	0.07	1.07	0.07
8	1.10	1.10	0.00	1.11	0.01
9	2.00	2.02	0.02	2.01	0.01
10	2.00	2.04	0.04	2.04	0.04
평균	-	-	0.04	-	0.04

표 5. z 좌표 값과 오차거리 (단위 : m)

실험 횟수	실제 모형 z 좌표 (a)	2D z 좌표 (b)	2D z 좌표 오차거리 (c)	3D z 좌표 (d)	3D z 좌표 오차거리 (e)
1	2.50	-	-	2.60	0.10
2	1.20	-	-	1.25	0.05
3	1.50	-	-	1.57	0.07
4	2.00	-	-	2.05	0.05
5	2.00	-	-	2.10	0.10
6	3.00	-	-	3.09	0.09
7	1.50	-	-	1.56	0.06
8	2.00	-	-	2.08	0.08
9	3.00	-	-	2.98	0.02
10	4.00	-	-	3.98	0.02
평균	-	-	-	-	0.06

량법과 비교해서 평균 0.04m의 오차 이내에서 거의 동일하다는 것은 2차원 위치인식기능을 충분히 수행할 수 있음을 의미한다.

이동노드의 높이 값인 z좌표의 성능분석에 있어서 2차원 삼각측량법의 좌표 값에서는 이동노드의 높이를 알 수 없으므로 z 좌표를 제외하였다. 따라서 3차원 모형의 실제 z 좌표(a)와 본 논문에서 제안하는 이동노드의 3D-TRIA의 z 좌표(d)를 비교하여 오차거리를 측정하였다.

표 5의 3D-TRIA의 z 좌표 오차거리(e)는 평균 0.06m으로 측정되었다. 이 값은 앞에서 언급 된 바와 같이 제작한 3차원 모형에서 추출된 노드간의 실측 데이터가 알고리즘에 의한 측정거리와 일치하지 않으므로 발생한 것이기 때문에 제안하는 알고리즘의 성능문제에 기인하는 것은 아니다.

V. 결 론

본 논문에서는 실제 환경에서도 동적으로 비컨노드를 배치할 수 있는 3차원 삼각측량 알고리즘을 제시하고 이를 위치인식 시스템에 적용한 후 그 성능을 분석하였다. 제안한 3차원 삼각측량 알고리즘(3D-TRIA)은 실험을 통해 정상적으로 작동됨을 확인하였다. 제안한 3D-TRIA는 실제 복층으로 구성된 공장 내부의 작업자 위치파악이나 사물의 위치파악 또는 항만에서 컨테이너 크레인의 3차원 좌표 제어분야 등에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구과제로 제안한 3D-TRIA를 적용한 위치인식 시스템에서 발생한 측정 오차를 줄이기 위한 보정 알고리즘에 대한 연구도 필요하다. 또한 삼각측량법은 일반적으로 이동노드의 위치를 인식하기 위하여 최소 단위인 3개의 비컨노드를 사용하는데, 좀 더 신뢰성 있고 정확한 위치인식을 위해서는 보다 많은 비컨노드를 사용할 필요가 있다.

따라서 이러한 연구가 추가적으로 진행된다면 본 논문에서 제시하는 알고리즘으로 보다 더 정밀한 3차원 위치인식 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Rick Roberts, "TDOA Localization Techniques," Harris Corporation, 4 October 2004 (<http://www.ieee802.org>)
- [2] J.M.Mart in Abreu, "Measuring the 3D-position of a Walking Vehicle using Ultrasonic and

- Electromagnetic Waves Sensors and Actuators,” Vol.75, Issue 2, pp.131~138, 25 May 1999.
- [3] Xinwei Wang, “Localization in Wireless Ad-hoc Sensor Networks using Multilateration with RSSI for Logistic Applications,” *University of Bremen (Otto-Hahn-Allee NW1, D-28359 Bremen)*, Germany, pp.461-464, 2009.
- [4] Rainer Hach, “Coexistence Assurance Information for the CSS part of 15.4a,” *Nanotron Technologies(GmbH Alt-Moabit 61, 10555)*, Berlin Germany, 26 April 2006.
- [5] 최상호, “유비쿼터스 센서 네트워크의 위치탐지 기술 및 동향,” *주간기술동향 통권 1291호*, pp.27-37, 2007.4.11.
- [6] Hanback Electronics, “HBE-Ubi-nanoLOC Ubiquitous Sensor Network,” 2009.
- [7] 진태석, “3D Position Recognition and Tracking of Walking Humans Using Multiple CCD Cameras,” *한국지능시스템학회 2008년도 추계 학술대회 학술발표논문집 제18권 제2호*, pp.400-403, 2008.10.
- [8] Abdellah Chehri, “UWB-based Sensor Networks for Localization in Mining Environments,” *Ad Hoc Networks*, Vol.7, Issue 5, pp.987-1000, July 2009.
- [9] 장현성, “밀집 환경에 적합한 신뢰성 있는 분산형 RTLS 시스템의 설계 및 구현,” *한국통신학회논문지 '제35권 제2호(네트워크 및 서비스)*, pp. 287-295, 2006.10.
- [10] 김수희, “Wireless LAN 환경 하에서 Access Point의 RSSI 삼각측량 방식을 이용한 RTLS 설계,” *한국정보과학회 2006 가을 학술발표논문집 제33권 제2호(D)* pp.330-333, 2006.10.
- [11] 최상호, “유비쿼터스 센서 네트워크의 위치탐지 기술 및 동향,” *주간기술동향 통권 1291호*, pp.27-37, 2007.4.11.

이 호 철 (Ho Cheol Lee)

준회원



2009년 8월 동명대학교 컴퓨터공학과(학사)
2009년 9월~현재 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 석사과정
<관심분야> USN, RTLS, 분산 처리시스템

이 동 명 (Dong Myung Lee)

정회원



1982년 2월 숭실대학교 전자계산학과(학사)
1990년 8월 숭실대학교 전산공학과(석사)
1997년 8월 숭실대학교 전자계산학과(박사)
1982년 3월~2000년 2월 한국전자통신연구원 책임연구원

2000년 3월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 교수
<관심분야> 이동통신시스템, 센서네트워크