

자율적 상호협동을 통한 모바일 센서의 자기위치파악

송 하 윤[†]

요 약

모바일 센서 네트워크(Mobile Sensor Network)의 노드(Node)인 모바일 센서 차량(Mobile Sensor Vehicles)들은 특정 지역에 관해 획득한 정보를 서로 교환하고 통합하는 과정을 거쳐 자신의 위치를 파악하게 되는데 이를 지역화(localization)라 한다. 이때 모바일 센서 차량은 탑재된 각종 센서를 이용하여 자신의 위치 정보를 파악한다. 본 연구에서는 데드-레코닝(Dead-Reckoning), 컴퓨터 비전 기법, 그리고 RSSI(Received Signal Strength Identification)를 사용한 모바일 센서 차량(MSV)의 지역화 정밀도를 향상시키는 방안을 제시하고, 각각의 방식들이 가진 장점을 융합하여 보다 정밀한 지역화를 할 수 있는지 살펴본다.

키워드 : 지역화, 컴퓨터비전, 모바일 센서 네트워크, 데드-레코닝, RSSI

Autonomous Cooperative Localization of Mobile Sensors

Ha Yoon Song[†]

ABSTRACT

Mobile Sensor Vehicles, nodes of Mobile Sensor Network, are navigating for a specific, maybe unknown, region. For the precise usage of MSN, MSV has to be able to do localization by integrating information through communication by each other. In addition, MSV should be localized with various sensors equipped. In this research, we propose a set of techniques that improve accuracy using human mimic by combining and exploiting the existing techniques such as Dead-Reckoning, Computer Vision and Received Signal Strength Identification.

Keywords : Localization, Computer Vision, Mobile Sensor Network, Dead-Reckoning, RSSI

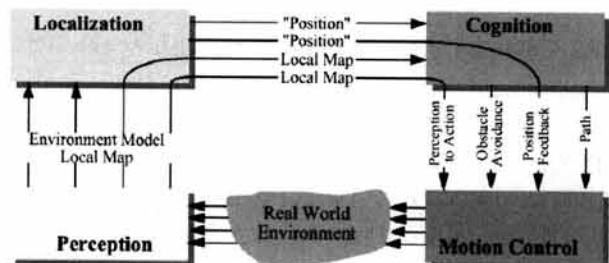
1. 서 론

모바일 센서 네트워크(MSN)에서는 자율 주행을 위한 주변정보획득 및 주행제어라는 특징을 개별 센서에 접목 시킴으로 다양한 부과 효과를 내는 것이 가능해진다. 이러한 환경에서는 개개 센서의 지역화(Localization)와 센서 배치 형태에 관한 기법이 필수적으로 요구된다. 모바일 센서 네트워크(MSN)의 활용도가 확보되면 군사, 물류, 가정 자동화, 지능형 교통 시스템(Intelligent Transport Systems : ITS), 의료, 공정자동화, 지능형 모바일 센서 차량, 지능형 차량 등 수많은 분야에 직간접적으로 이용할 수 있을 것이다. 모바일 센서 네트워크(MSN)는 경제적, 산업적으로 높은 부가가치를 지니게 된다.

지역화 기법은 다양한 접근 방법으로 연구되어왔다. 본 연구의 목표를 달성하기 위해서는 (그림 1)과 같이 주변

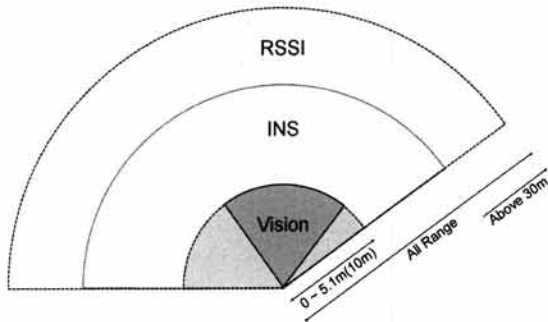
상황에 대한 인식(Cognition) 및 자율 주행이 기반이 되어야 한다. 지역화(Localization)는 동료 모바일 센서 차량(Mobile Sensor Vehicle : MSV)을 인식함으로써 지역화의 기본이 되는 준거점을 확보하게 되며, 최악의 경우에는 지역화가 실패하더라도 동료 모바일 센서 차량의 위치를 기준으로 재계산이 가능해질 뿐만 아니라 기본적인 수준에서 센서집단의 형태유지가 가능해진다.

본 논문에서 제안하는 지역화(Localization) 방법은 (그림 2)와 같이 세 가지의 서로 다른 방식을 거리별로 통합



(그림 1) 지역화 연구의 개념도

[†] 종신회원 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 부교수
논문접수 : 2009년 2월 14일
수정일 : 1차 2009년 8월 11일
심사완료 : 2009년 8월 18일



(그림 2) 서로 다른 세 가지 지역화 기법의 통합

한 지역화를 제안한다. (그림 2)에서와 같이 기본적으로 주행기반 지역화 기법을 사용하여 MSV의 자기 위치를 파악한다. 그리고 이 지역화 기법에서 필연적으로 발생하는 주행오차를 근거리에서는 컴퓨터 비전 지역화 기법을 사용하여 오차를 보정하고, 장거리에서는 RSSI 지역화 기법을 사용하여 오차를 보정한다.

2. 연구 배경

2.1 하드웨어(Hardware)에 기반한 추측 항법(Dead-Reckoning) 지역화 기법

주행 기반 지역화는 주로 항공기나 선박에서 사용된다. 보통 관성 항법 장치(Inertial Nautical System)라고 하는 방식으로 항공기 또는 선박의 주행 궤적을 자이로스코프를 기반으로 기록하여 현재 위치를 나타내고자 하는 방식이다. 그러나 이 방식은 주행거리가 멀어짐에 따라 상당히 큰 범위의 오차가 발생하며, 실제 항공기 및 선박은 GPS(Global Positioning System)을 이용하여 주기적으로 위치를 보정한다. 이러한 방식은 Odometry 또는 추측 항법(Dead Reckoning) 등의 이름으로 연구가 되어 왔다.

본 연구에서는 주행기반의 지역화는 기본적으로 추측 항법(Dead-Reckoning)을 사용하였다 [1, 2]. 추측 항법(Dead-Reckoning)이란 양 바퀴의 이동거리를 계산하여 첫 위치로부터 상대적인 좌표를 추측해 내는 방법이다. 하지만 여러 가지 오차에 의해 차량이 주행 중에 조금 틀어지면 장거리 이동 후에 큰 오차를 발생시키게 되는 문제가 있다. 이에 미시간 대학에서 제시한 발전된 추측 항법(Dead-Reckoning)인 UMBmark를 이용하여 차량 주행 오차를 최소화 하였다 [3, 4].

2.2 네트워크에 기반한 수신 전계 강도(RSSI) 지역화 기법

일반적으로 무선 네트워킹 기능을 가진 센서 노드들을 위하여 수신 전계 강도(Received Signal Strength Indication : RSSI) 기반 지역화 방법을 많이 사용한다. 실제로 802.11 네트워크 장치(Network Device)에서도 제작사에 따라 수신 전계 강도(RSSI) 기능을 부여하고 있으며, 이는 물리적 층을 구현하기 위한 필수적으로 요구되는 것이다. 그러나 수신 전계 강도(RSSI) 기반 환경은 장애물 등 라디오 신

호의 감쇠에 영향을 미칠 수 있는 환경에 취약하여 일반적인 환경에서 낮은 정밀도를 보인다.

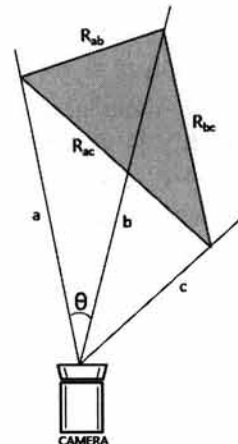
802.11에 기반한 수신 전계 강도(RSSI) 기법의 실험 결과 주어진 하드웨어의 제약으로 인하여 모바일 센서 차량(MSV)의 숫자가 증가할수록 지역화에 수초대의 큰 시간이 소요되며 이는 수신 전계 강도(RSSI) 기반 지역화가 실시간 위치파악에 부적합함을 보인다. 또한 이때의 네트워크 자원이 수신 전계 강도(RSSI)에 특화되므로 모바일 센서 차량(MSV)간의 네트워킹에 사용될 수 있는 대역폭이 매우 작아진다. 그러나 가장 일반적인 무선 네트워크 환경에서 소프트웨어(S/W)적인 방법만을 이용하여 센서 노드의 대략적 위치를 알 수 있는 가장 저비용의 방법이라는 장점이 있다.

2.3 컴퓨터 비전에 기반한 지역화 기법

컴퓨터 비전에 의한 지역화를 위하여 모바일 센서 차량의 본체에 일정한 거리로 적외선 발광 다이오드(Infrared LED)를 부착하고 적외선 투과 필터를 씌운 카메라를 이용하여 인식하는 방식을 사용하였다.

컴퓨터 비전에 기반한 근거리 정밀 지역화를 위하여 기본적으로 쓰이는 방식은 주어진 화면에서의 요소들 간의 관계를 구한다. 이를 위하여 지표가 되는 것들을 골라 그들 사이의 상관관계를 파악하여 위치를 계산한다. 본 연구에서는 RANSAC (Random Sample Consensus) Method [8]와 PnP Problem Method [9, 10] 두 가지 기법을 적용하였다. 최소자승법(Least Square Method)의 경우에는 큰 에러값(Gross Error)을 갖는 지표가 있을 경우 잘못된 계산할 가능성이 높아지므로 RANSAC Method를 적용하였으며, 컴퓨터 비전에서는 3D공간을 카메라를 통한 2D영상으로 받아들일 경우 원근감이 사라지는 문제가 발생하는데 이는 Perspective-3-Point Problem Method 응용하여 해결하였다.

(그림 3)은 P3P 알고리즘의 기본 개념을 나타낸다. 색칠된 삼각형은 적외선 발광 다이오드(IR-LED)가 부착된 모바일 센서 차량(MSV)이다. 각 점 A, B, C는 모바일 센



(그림 3) P3P 기본개념

서 차량(MSV)에 부착된 적외선 발광 다이오드(IR-LED)이다. 그리고 Rab, Rac, Rbc는 변경 및 측정이 가능한 각 적외선 발광 다이오드(IR-LED) 사이의 거리이다. 그리고 식(1)을 이용하여 카메라와 모바일 센서 차량(MSV)간의 거리를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{ab}^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos\theta_{ab} \\ R_{ac}^2 &= a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos\theta_{ac} \\ R_{bc}^2 &= b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos\theta_{bc} \end{aligned} \quad (1)$$

2.4 지도 정보

2.4.1 격자 지도(Grid Map)와 위상 지도(Topological Map)

주변환경의 표현은 자율 이동모바일 센서 차량에 있어서 중요한 연구대상이다. 주변환경의 가장 일반적인 표현 방식으로는 대표적으로 격자지도(Grid map)와 위상 지도(Topological map)가 있다<표 1>. 이 방법은 측정 대상 영역의 크기, 센서 측정의 정밀도 등에 따라 실질적인 구현방법은 조금씩 차이가 있다. 격자지도는 Moravec과 Elfes와 Borenstein/Koren에 의해 제안된 방법으로서 주변환경을 등간격으로 설정된 격자로 표현함으로써 물체의 절대적인 기하학적 위치에 기초하여 공간을 나타낸다. 각각의 격자는 실제 환경에서의 대응되는 영역 내에 장애물이 존재하는지 여부를 표시한다. 반면에 Kuipers/Bynn과 Mataric에 의해 제시된 위상 지도(Topological map [13])는 추상적인 표현법으로서, 어떤 절대적인 기준좌표를 도입하지 않고 주변환경의 특징간의 관계만을 표현하게 된다. 그래프 안의 노드는 환경의 특별한 지점들을 나타내고 그 노드들은 원호들로 연결되어 있어 노드 사이의 직접적인 경로를 표현한다. 또한 Thrun은 두 가지 방법을 병행하는 Hybrid 방법을 제시하였다 [14].

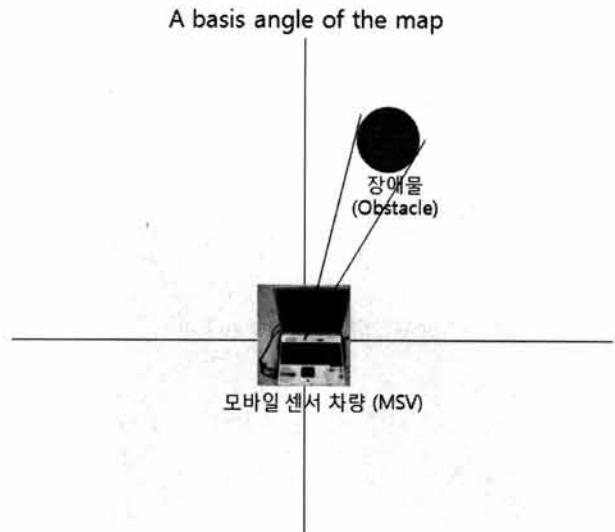
<표 1> 격자 지도(Grid map)와 위상 지도(Topological map)의 장단점 비교

구분	Grid based approach	Topological approach
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 환경의 기하학적 정보를 정확하게 표현 가능 • 환경 모델링, 경로 계획, Map-matching에 의한 자기 위치추정 등의 다양한 알고리즘 구현 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 경로 계획 간단 및 간결한 공간 표현 가능 • 모바일 센서의 절대적 위치 정확도가 비교적 덜 중요 • 사용자에게 자연스러운 인터페이스 제공
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 경로 계획이 어려움 • 공간 표현을 위하여 많은 메모리와 계산 필요 • 대부분의 Symbolic Problem Solver에게 나쁜 인터페이스 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 센서정보 부정확시 대규모 공간의 맵 작성불가 • 기준 센서값 계산이 부정확할 가능성이 높음(map-matching의 경우) • 환경 형상의 복잡성에 따라 적용이 어려움

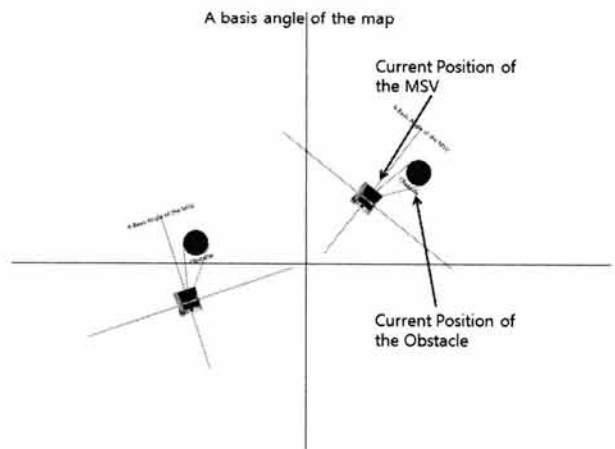
2.4.2 지도 정보의 통합

본 논문에서는 격자 지도(Grid map) 방식은 (그림 4)과 같이 개별 모바일 센서 차량(MSV)의 단독 지역 지도 표현 방법으로 사용하였고 이러한 개별 격자지도(Grid map)를 모아서 (그림 5)과 같이 하나의 통합된 위상 지도(Topological map)로 표현하였다.

소프트웨어는 지역화를 위한 연산을 하며, 서로 다른 정보를 종합하여 지역화 결과를 지도위에 표시하여야 한다. 이를 위해 하드웨어 관련 부분, 비전관련 부분과 이를 종합하여 결과를 내리는 3가지 부분으로 존재한다[4]. 기본적으로 추측 항법(Dead-Reckoning)을 이용하여 모바일 센서 차량(MSV)간의 상대위치를 파악하여 지도(Map) 정보를 작성한다. 이렇게 작성된 지도(Map)정보는 모바일 센서 차량(MSV)간에 공유하며 전체 모바일 센서 네트워크(MSN) 집단의 형태(Formation)를 유지하게 된다. 이때 모바일 센서 차량(MSV)간 거리가 멀어지면 충돌의 위험



(그림 4) 격자 지도(Grid map) 형태의 지역 지도(Local map)



(그림 5) 위상 지도(Topological map) 형태의 광역 지도(Global map)

이나 정밀한 협업이 필요하지 않으므로 수신 전계 강도(RSSI) 기법으로 대략적인 위치 정보만을 파악하고, 모바일 센서 차량(MSV)간 거리가 가시거리내로 가까워지면 컴퓨터 비전 지역화 기법으로 오차를 보정한다. 각 지역화 기법 결과 데이터를 이용하여 격자 지도(Grid map) 형태로 지역 지도(Local map)를 구성하며, 각 지역 지도를 종합하여 위상 지도(Topological map) 기반의 광역 지도(Global map)을 작성하게 된다.

3. 지역화 실험 배경

3.1 MSV

차량은 몸체는 알루미늄 재질의 합판을 사용하여 내구성을 높이며, 무게를 가볍게 하였고, 바퀴는 각각 3개의 바퀴와 L형 고무벨트, 기어를 사용한 (그림 6)과 같이 캐터필러 방식을 채택하여 지형의 영향을 덜 받으며 미끄러짐을 통한 이동거리 오차를 최소화 하였다. 하드웨어를 제어하기 위한 MCU로 MS12DP256를 사용하였고, Codewarrior 컴파일러로 프로그램 되었다 [5]. 모바일 센서 차량(MSV)에 탑재된 컴퓨터는 MSV의 마이크로프로세서와 통신을 하면서 현재의 주행정보를 파악하게 되고, 또한 차량에 명

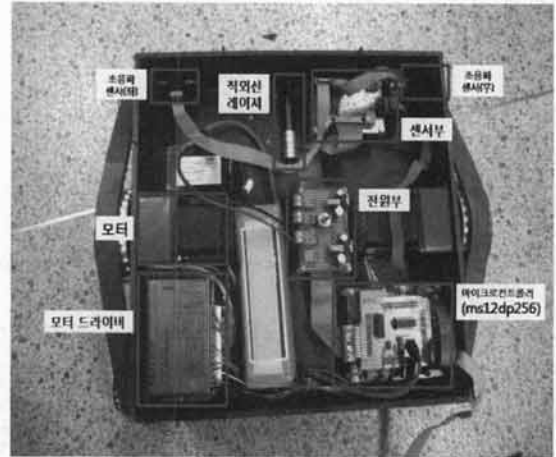


(그림 6) 실험용 모바일 센서 차량(MSV)

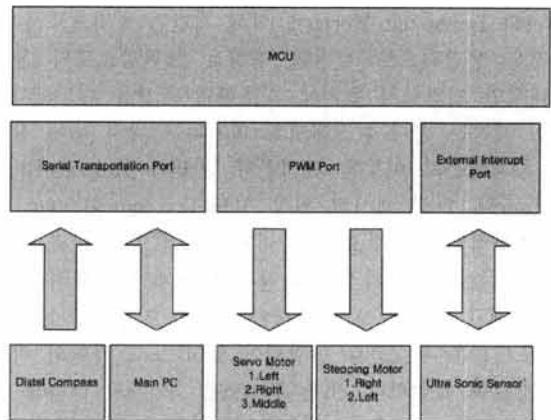
<표 2> 컴퓨터와 마이크로 프로세서간의 통신규약

첫 번째 바이트	의미	두 번째 바이트
01000000	시스템 이상	00000000:주행 불가능/00000001:주행 프로그램 누적 불가
01000111	앞	이동한 거리 전송(cm)
01000100	뒤	이동한 거리 전송(cm)
01000110	좌	이동한 거리 전송(cm)
01000101	우	이동한 거리 전송(cm)
01000011	정지	01000000
01001001	현재 속도	현재 속도(cm/s)
11001010	전자나침반	나침반의 각도(°)
01001100	상 초음파	장애물 검출 거리(cm)
01001111	하 초음파	장애물 검출 거리(cm)
01001110	좌 초음파	장애물 검출 거리(cm)
01001101	우 초음파	장애물 검출 거리(cm)

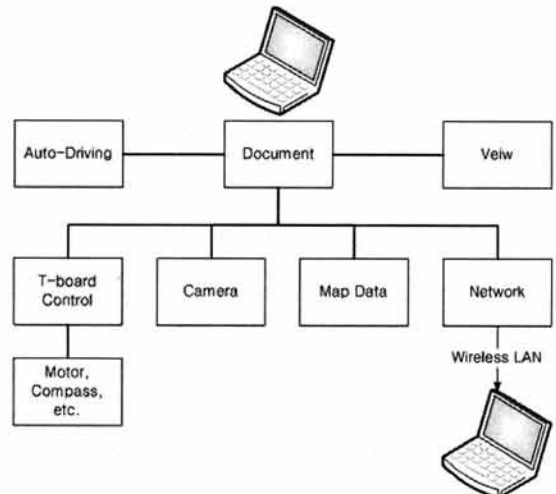
령을 전할 수 있다. 마이크로프로세서는 컴퓨터와의 통신은 RS232C를 사용 하였고, 각각의 바이트에 해당하는 통신규약은 <표 2>와 같다. 컴퓨터는 첫 번째 바이트로 어



(그림 7) 실험용 모바일 센서 차량(MSV)의 내부 구조



(그림 8) 실험용 모바일 센서 차량(MSV)의 하드웨어(H/W) 구조



(그림 9) 실험용 모바일 센서 차량(MSV)의 소프트웨어(S/W) 구조

면 명령을 내릴 것인지 마이크로프로세서에게 정보를 제공하고, 두 번째 바이트로 세부사항을 전달하여 명령을 완료한다[4].

3.2 수신 전계 강도(RSSI) 기법을 이용한 위치추정 알고리즘
 기준에 한 노드의 위치를 파악하기 위해서는 주로 삼각측량법을 이용, 3개의 스테이션에서 오는 신호를 바탕으로 그 위치를 파악하였다. 현재 스테이션의 좌표를 기준 좌표 (0,0) 이라고 하면 이 스테이션에서 차량의 수신 전계 강도(RSSI) 값을 측정할 수 있다. 이 측정된 값을 바탕으로 모바일 센서 차량(MSV)은 스테이션으로 R1의 위치 어딘가에 모바일 센서 차량(MSV)이 있음을 알 수 있다.

실제 차량의 위치를 A라고 하며 이때의 좌표를 (X, Y)로 한다. 이후 차량이 이동 X축으로 A만큼, Y축으로 B만큼 이동하여 B(X+A, Y+B)의 위치에 있을 때의 수신 전계 강도(RSSI)로 얻어진 거리를 R2라고 하며 이후 차량이 다시 이동하여 C(X+C, Y+D)로 이동하였을 때의 스테이션과 모바일 차량의 거리를 R3라고 한다. 여기서 A, B, C, D는 상수 값이며 차량의 수신 전계 강도(RSSI)를 측정할 수 있는 세 개의 노드를 바탕으로 다음과 같은 방정식을 세울 수 있다.

$$\begin{aligned} X^2 + Y^2 &= R1^2 \\ (X+A)^2 + (Y+B)^2 &= R2^2 \\ (X+C)^2 + (Y+D)^2 &= R3^2 \end{aligned} \quad (6)$$

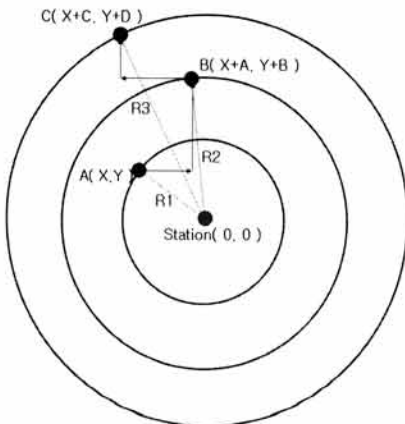
(식6)을 정리하면 (식7)로 나타낼 수 있으며,

$$\begin{aligned} 2AX + 2BY &= R2^2 - R1^2 - A^2 - B^2 \\ 2CX + 2DY &= R3^2 - R1^2 - C^2 - D^2 \end{aligned} \quad (7)$$

(식7)을 행렬로 정리하면

$$\begin{bmatrix} 2A & 2B \\ 2C & 2D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R2^2 - R1^2 - A^2 - B^2 \\ R3^2 - R1^2 - C^2 - D^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

(식8)과 같은 2차 행렬로 나타낼 수 있으며, (식8)의 X,



(그림 10) 단일 스테이션 바탕의 위치 추정 기법

Y를 구하면

$$\begin{aligned} X &= 1/2(AD-BC)[D(R2^2 - R1^2 - A^2 - B^2) - B(R3^2 - R1^2 - C^2 - D^2)] \\ Y &= 1/2(AD-BC)[-C(R2^2 - R1^2 - A^2 - B^2) + A(R3^2 - R1^2 - C^2 - D^2)] \end{aligned} \quad (9)$$

(식9)와 같으므로 (X, Y)좌표를 구할 수 있다. 이러한 A(X, Y)를 기준으로 B(X+A, Y+B) 및 C(X+C, Y+D)를 구할 수 있으므로 현재 차량의 위치인 C좌표를 구할 수 있다. 이 알고리즘은 세 개의 스테이션이 아닌 단일 스테이션만으로도 차량의 위치를 추정할 수 있다.

4. 지역화 실험 결과

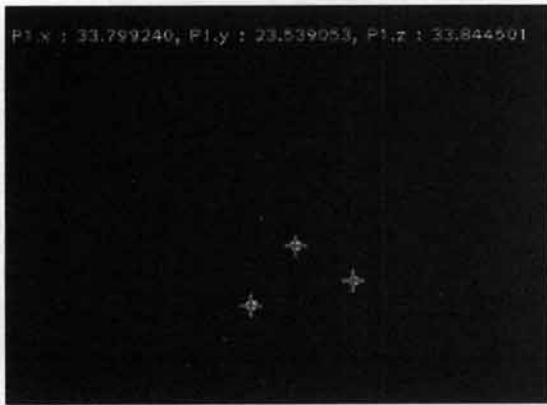
4.1 카메라와 적외선 발광 다이오드

실험차량은 (그림 11)과 같이 실험차량의 크기인 30cm 간격으로 적외선 발광 다이오드(IR-LED)를 부착하고 적외선 투과 필터를 씌운 카메라를 이용하여 인식하도록 하는 방식을 사용한다. 각 적외선 발광 다이오드 간의 간격이 30cm로 고정, 카메라로부터 상대 실험차량까지의 거리를 P3P Problem Method를 활용하여 계산할 수 있으며, (그림 12)와 같은 P3P Method를 응용한 실시간으로 거리를 측정하는 위치추적 프로그램을 개발하여 실험차량 MCU에 탑재 하였다. 실험을 통하여 컴퓨터 비전을 이용한 거리측정 범위는 카메라의 화각 및 LED 패턴 간격간의 상관관계를 파악하였다. 또한 근거리 컴퓨터 비전기반 지역화는 장애물과 상대 차량의 위치를 10cm 단위로 파악하며 지역화와 센서집단의 형태유지를 수행하였다 [11]. (그림 13)에서 LED 패턴간격(d)과 측정가능 최소거리(h)와의 상관관계는 (식2)와 같이 쉽게 계산할 수 있다.

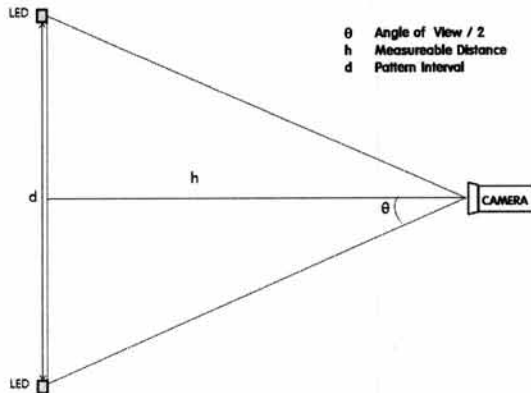
$$\begin{aligned} \tan\theta &= \frac{d}{2h} \\ \theta &= \arctan \frac{2}{2h} \end{aligned} \quad (2)$$



(그림 11) 카메라가 부착된 모바일 센서 차량(MSV)



(그림 12) 적외선 필터 카메라의 모바일 센서 차량(MSV) 추적



(그림 13) LED 패턴 간격과 최소 측정 거리 상관 관계

일반적인 컴퓨터 비전의 카메라는 화각이 54°~60° 정도이고, 본 실험에서 사용한 카메라의 화각인 60°를 예로 들어 식2의 방정식에 따라 계산해보면 $h : d = 1 : 1.08$ 의 비율임을 알 수 있다. 실험을 통하여 컴퓨터 비전을 이용한 거리 측정 범위는 카메라의 화각과 LED 패턴 간격에 상관관계가 있음을 확인하였다[11]. 그러나 모바일 센서 차량(MSV)간의 거리가 멀어지게 되면 적외선 발광 다이오드 발광각도가 약해져서 거리측정이 불가능한 거리상의 제약이 심하였다. 따라서 본 연구에서는 지역화의 거리를 증가시키기 위한 목적으로 다양한 특성의 적외선 발광 다이오드를 이용하여 실험을 통해 최적의 적외선 발광 다이오드의 특성을 확인하고자 하였다.

적외선 발광 다이오드(IR-LED)를 위치 추적(Tracking)하는 과정에서 적외선 발광 다이오드(IR-LED)의 발광각에 따른 특성을 조사하기 위하여 <표 3>과 같이 발광각(Half Angle)이 $\pm 5^\circ \sim \pm 30^\circ$ 인 적외선 발광 다이오드(IR-LED)를 표본으로 사용하였다. 표본 적외선 발광 다이오드(IR-LED)를 설정한 이유는 다음과 같다.

- 적외선 발광 다이오드(IR-LED)의 발광각(Half Angle)이 좁으면 측면에서의 위치 추적(Tracking)은 어려워지지만 먼 곳의 적외선 발광 다이오드(IR-LED)의 위치 추적(Tracking)에 유리하다.

<표 3> 적외선 발광 다이오드의 특성

Model NO.	Half Angle	Peak Wavelength
SI5315-H	$\pm 30^\circ$	950nm
OPE5685	$\pm 22^\circ$	850nm
OPE5194WK	$\pm 10^\circ$	940nm
TLN201	$\pm 7^\circ$	880nm
EL-1KL5	$\pm 5^\circ$	940nm

<표 4> 적외선 발광 다이오드의 특성 분석 결과

Model NO.	Visible Angle	Max Length	Visibility
SI5315-H	$\pm 60^\circ$	500cm	Stable
OPE5685	$\pm 45^\circ$	490cm	Somewhat Unstable
OPE5194WK	$\pm 35^\circ$	520cm	Most Stable
TLN201	$\pm 20^\circ$	510cm	Unstable
EL-1KL5	$\pm 10^\circ$	450cm	Indiscriminable

- 적외선 발광 다이오드(IR-LED)의 발광각(Half Angle)이 넓으면 측면에서의 위치 추적(Tracking)이 쉬워지지만, 먼 곳의 적외선 발광 다이오드(IR-LED)의 위치 추적(Tracking)에 불리하다.

그러나 실험결과 적외선 발광 다이오드(IR-LED)의 발광각(Half Angle)은 적외선 필터 카메라로 측정되는 거리에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다. 오히려 적외선 발광 다이오드(IR-LED)의 특성에 따라서 위치 추적(Tracking)이 안정적으로 되는 적외선 발광 다이오드가 있었고, 그에 반해 감빡임이 심한 적외선 발광 다이오드가 있었다 <표 4>. 따라서 발광각도가 큰 적외선 발광 다이오드(IR-LED)를 장착한 모바일 센서 차량(MSV)이 위치 추적(Tracking) 될 수 있는 범위가 크기 때문에 적외선 발광 다이오드(IR-LED)의 발광각(Half Angle)은 클수록 위치 추적(Tracking)에 유리하다는 점을 알았다.

4.2 실험과정

본 논문에서는 가장 먼 거리까지 위치 추적(Tracking)이 가능한 IR-LED C(MODEL NO.SI5313-H)를 이용하기로 결정하였고, 총 12회의 측정 실험을 걸쳐서 측정정보를 측정하고, 평균치를 산출하여 실제 차량의 MCU에 저장하였다. 앞서 개발한 위치추적 프로그램을 이용하여 실험차량과의 거리 측정결과 70cm거리부터 520cm 거리까지 적외선 발광 다이오드 들의 좌표가 추적되는 것을 확인하였다.

비전 기반 지역화 기법은 매우 정밀하게 지역화를 달성할 수 있다는 장점이 있으나, 그에 반해 가장 큰 단점은 지역화 거리가 가시거리 내로 짧다는 점이다. 본 연구에서 사용한 적외선 발광 다이오드는 다이오드 특성상 카메라와 다이오드 사이의 거리가 늘어남에 따라 측정되는 발광각도가 점점 약해져서 520cm이상의 거리에서는 위치추적이 불가능해진다는 점이 가장 큰 단점이었다. 이를 해결하고자 여러가지 실험을 하였으나, 서로 다른 특성의 적외선 발광 다이오드도 거리 변화에 큰 차이 없이 동일하게 500cm이상 이 되면 위치추적이 어려웠다. 고해상도 카메라

<표 5> 상대좌표 측정값과 실제거리의 상관관계

정삼각형(30cm) LED패턴		정삼각형(30cm) LED패턴	
실제거리(cm)	상대좌표 측정값	실제거리(cm)	상대좌표 측정값
70	95.20465	380	23.54155
80	84.94255	390	23.01255
90	76.69515	400	22.67515
100	70.98945	410	22.42645
110	66.14175	420	22.18945
120	63.67415	430	21.89485
130	60.56855	440	21.79875
140	57.90765	450	21.39485
150	54.40745	460	20.98035
160	51.12315	470	20.37425
170	49.34895	480	20.28955
180	47.84185	490	20.04915
190	45.20355	500	19.97515
200	43.00485	510	19.54855
210	41.95535	520	19.74575
220	39.15445	530	19.56505
230	37.31475	540	19.20155
240	36.35485	550	19.54365
250	35.09785	560	19.64635
260	34.46155	570	19.65425
270	33.87925	580	19.13245
280	32.94845	590	19.21855
290	31.01745	600	18.92785
300	30.20645	610	19.31745
310	29.77155	620	19.23415
320	28.12365	630	19.35235
330	27.65485	640	19.19695
340	26.37745	650	19.35185
350	25.54655	660	18.71465
360	24.78645	670	18.72815
370	24.57855	680	18.89125

를 이용하여 추적거리증가를 시도했으나, 적외선 발광 다이오드가 추적이 되지 않는 문제이기 때문에 카메라의 해상도와는 큰 연관성이 없다.

따라서 비전기반 지역화를 위하여 적외선 발광 다이오드와 카메라의 특성을 극대화 시키는 방법을 모색하였고, 비전기반지역화의 범위를 확대시키기 위하여 하드웨어(H/W)적인 해결 방법을 시도 하였다.

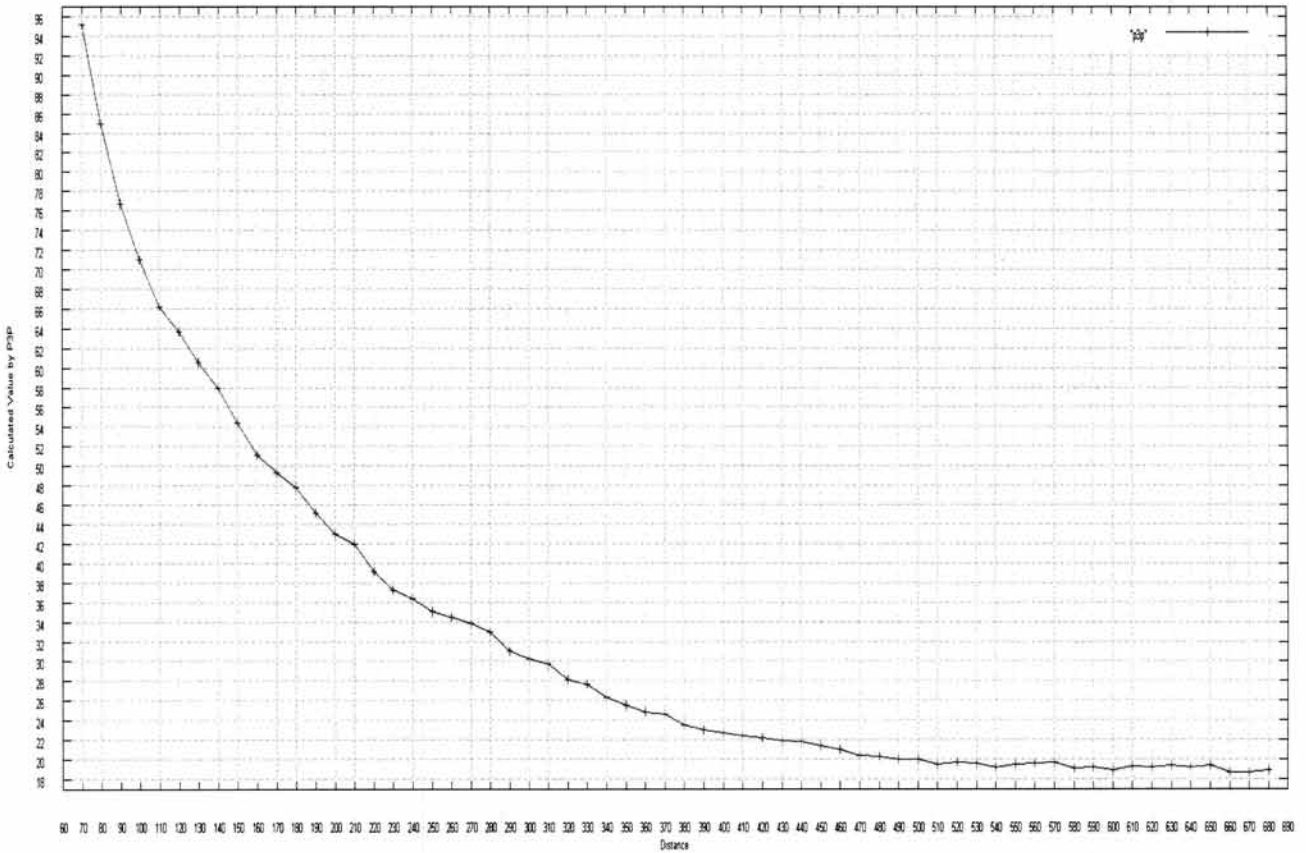
적외선 발광 다이오드에 허용하는 최대 전류를 공급하여 발광강도를 증가시키는 방법의 경우, 정류기를 사용하여 정전압을 공급하여도 자주 다이오드가 타버리는 문제가 있었다. 허용전압 및 허용전류 이내라도 극한의 전류(Red-Zone)에 가까운 전압 및 전류가 계속해서 공급하게 되면, 다이오드가 쉽게 손상되기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위하여 On-Off 제어회로를 추가하였다. On-Off

<표 6> 위치추적 상대거리에 의한 실제거리 환산표

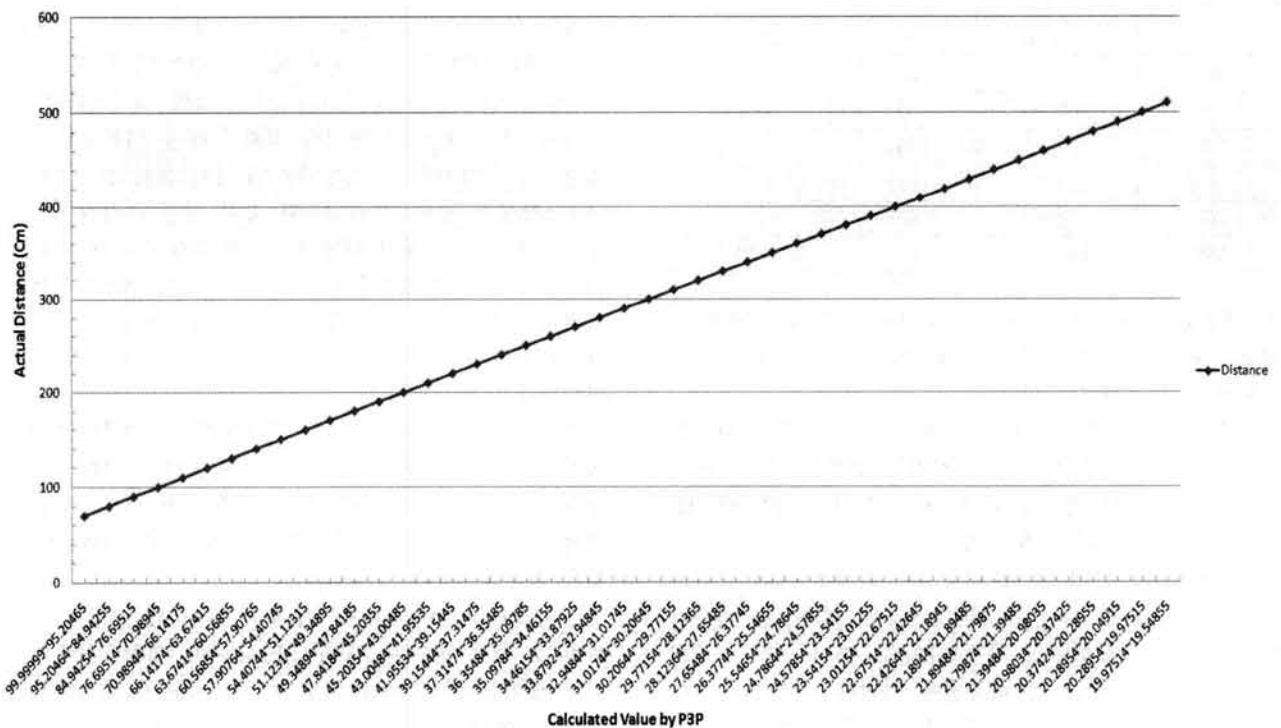
상대거리 측정범위	실제거리 추정값(cm)	상대거리 측정범위	실제거리 추정값(cm)
99.99999~95.20465	70	31.01744~30.20645	300
95.20464~84.94255	80	30.20644~29.77155	310
84.94254~76.69515	90	29.77154~28.12365	320
76.69514~70.98945	100	28.12364~27.65485	330
70.98944~66.14175	110	27.65484~26.37745	340
66.14174~63.67415	120	26.37744~25.54655	350
63.67414~60.56855	130	25.54654~24.78645	360
60.56854~57.90765	140	24.78644~24.57855	370
57.90764~54.40745	150	24.57854~23.54155	380
54.40744~51.12315	160	23.54154~23.01255	390
51.12314~49.34895	170	22.78954~22.67515	400
49.34894~47.84185	180	22.57514~22.42645	410
47.84184~45.20355	190	22.54654~22.18945	420
45.20354~43.00485	200	22.18944~21.89485	430
43.00484~41.95535	210	21.89484~21.79875	440
41.95534~39.15445	220	21.79875~21.39485	450
39.15444~37.31475	230	21.39485~20.98035	460
37.31474~36.35485	240	20.98035~20.37425	470
36.35484~35.09785	250	20.37425~20.28955	480
35.09784~34.46155	260	20.28955~20.04915	490
34.46154~33.87925	270	20.04915~19.97515	500
33.87924~32.94845	280	19.97515~19.54855	510
32.94844~31.01745	290		

제어회로는 매우 빠르게 전류를 공급했다 중단했다를 반복하는 역할을 하게 되고, 적외선 발광다이오드는 사실상 매우 빠른 속도로 점멸하게 되는데 실험 결과 카메라는 깜빡임을 인식할 수 없었다. 하지만, 점멸 주기만큼 더 많은 전류를 공급할 수 있기에 적외선 발광 다이오드의 발광강도를 증가시킬 수 있었다.(그림 13) 실험 결과 거리가 510cm이상일 경우 (그림 14)와 같이 실험 측정값의 변화율이 상대적으로 작기 때문에 오차범위가 작아져 적은 노이즈에도 실험 측정값에 의한 환산 거리가 10cm이상씩 변화되어 측정값을 신뢰할 수 없었다. 즉, 모바일 센서 차량(MSV)간의 거리가 멀어 질수록 오차율이 커져 측정값의 신뢰도가 떨어지게 된다. 또한 모바일 센서 차량(MSV)간 거리가 500cm이상일 경우에는 30cm간격의 3개의 LED가 거의 한 점으로 보이기 시작하기 때문에 지역화 거리를 늘리기 위해서는 LED 패턴의 크기를 증가시키는 방법 이외에는 다른 특징점을 이용한다 하여도 본 결과보다 더 좋은 결과를 얻기는 힘들다.

실험결과 LED 패턴 크기가 위의 실험(30cm)일 경우 신뢰할 수 있는 범위는 70cm~510cm이며, 위치추적에 의한 실제 떨어진 거리 환산 척도 기준은 <표 6>과 같다. 본 실험결과에 의하여 근거리 컴퓨터 비전기반 지역화는 장애물과 상대 차량의 위치를 10cm 해상도로 파악하며 (그림 15)와 같이 지역화와 센서집단의 형태유지를 수행하게



(그림 14) 거리에 따른 상대좌표 변화 측정값



(그림 15) 위치추적 상대거리에 의한 실제거리 척도 환산 그래프

된다.

실험 결과 적외선 발광 다이오드(IR-LED) 간격이 30cm 일 경우 30cm~510cm 까지의 근거리 지역화가 실시간으로 이루어졌다. 510cm 이상의 경우는 관성 항법 장치(INS) 지역화 기법만 적용되어 지도 정보를 공유하며, 만약 간헐적으로 모바일 센서 차량(MSV)간 간격이 510cm 이내가 되는 경우가 있다면 그때마다 위치정보의 오차가 수정되어, 관성 항법 장치(INS) 기법의 단점인 주행시간이 길어질 경우 위치정보의 오차가 커지는 경우를 방지할 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구과제

모바일 센서 네트워크(MSN)의 지역화(Localization)의 방법에 대해, 추측 항법(Dead-Reckoning), 수신 전계 강도(RSSI) 기법, 컴퓨터 비전(Computer Vision) 기법, 3가지 범주의 방법을 통합 시도하였다. 또한 실험을 위해 모바일 센서 네트워크(MSN)의 노드로서 모바일 센서 차량(MSV)을 구현하였다. 간단한 하드웨어(H/W)와 소프트웨어(S/W)의 구조 및 기능에 대한 소개하였다. 여러 지역화(Localization) 방법에 대한 실험을 통해 정확성을 측정하였다. 컴퓨터 비전에 기반한 근거리 지역화(Localization) 기법에서는 저가의 센서만을 이용하여 10cm의 정밀도로 지역화를 달성하였다. 또한 적외선 발광 다이오드(IR-LED)의 특성을 변화시켜 지역화에 가장 유리한 조건을 찾아 지역화 가능 범위를 510cm까지 증가 시켰고, 더 나아가 적외선 발광 다이오드(IR-LED)의 하드웨어(H/W)적 특성을 극대화 시키는 기법을 적용하였다. 차후에는 고해상도 카메라의 줌-인(Zoom-in) 기능을 위치추적에 활용할 계획이며, 카메라의 S/W 줌-인 기능을 이용하면 각 적외선 발광 다이오드간의 간격을 4배이상 증가시킬 수가 있기 때문에 줌-인(Zoom-in) 비율별로 다이오드 간의 간격을 보정해주면 좀 더 정밀한 컴퓨터 비전 기반의 지역화를 달성할 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문을 통해 컴퓨터 비전센서를 이용하여 오차를 보정할 수 있다는 방법을 제시하고, 적외선 발광 다이오드(IR-LED)와 카메라 특성을 조화시킴으로써 근거리에서뿐만 아니라 중거리까지 컴퓨터 비전센서를 이용하여 오차를 보정하는 방법의 가능성을 제시하였다. 또한 임의의 모바일 센서 차량(MSV)에서 상대방 모바일 센서 차량(MSV)의 거리를 측정하고 장애물 및 상대 차량과의 거리 정보를 공유함으로써 협업이 가능하며, 하나의 모바일 센서 노드(MSN)가 지역화에 실패하더라도 동료 모바일 센서 노드(MSN)간의 거리를 측정함으로써 지역화를 달성할 수 있다는 것을 보였다.

참 고 문 헌

[1] J. Borenstein and L. Feng, "A Method for Measuring,

Comparing, and Correcting Dead-Reckoning Errors in MobileRobots," December, 1994.

[2] J. Borenstein, L. Feng, Professors D. K. Wehe, Y. Koren, Grad Students,Z. Fan, B. Holt, B. Costanza, "UMBmark - A Method for Measuring, Comparing, and Correcting Dead-reckoning Errors in Mobile Robots," 1995.

[3] Sina-park, "odometry Error Correction with a gyro sensor for the mobile robot localization," December, 2005.

[4] Jae Young Park, Ha Yoon Song, "Multilevel Localization for Mobile Sensor Network Platforms," First International Symposium on Multimedia-Real Time Software(RTS'08), October, 2008.

[5] Jae Young Park, Ha Yoon Song, "모바일 센서 차량의 하드웨어 설계", KISS Korea Computer Congress, 2007.

[6] J.-S. Gutmann, W. Burgard, D. Fox, K. Konolige, "An Experimental Comparion of Localization Method," IROS, 1998.

[7] J.-S. Gutmann, C. Schlege, AMOS, "Comparison of Scan Matching approaches for self-Localization in indoor Environments," EUROBOT, 1996.

[8] M. A. Fischler, R. C. Bolles. "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," Comm. of the ACM, Vol.24, pp.381-395, 1981.

[9] Xiao Shan Gao and Xiao Roing Hou and Jianliang Tang and Hang Fei Cheng, "Complete Solution Classification for the Perspective Three Point Problem," IEEE TRANSACTIONS ONPATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, Vol.25, August, 2003.

[10] Haralick, R.M and Lee, D and Ottenburg, K and Nolle, M, "Analysis and Solutions of The Three Point Perspective Pose Estimation Problem," IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Computer Society Conference on, 592-598, June, 1991.

[11] 조관식, 송하운, 박준, "컴퓨터 비전 기반 근거리 지역화의 최적조건", 정보과학회, 2008.

[12] Kwan Sik Cho, Ha Yoon Song, Jun Park, "Accurate Localization in Short Distance based on Computer Vision for Mobile Sensors," IMCSIT, 2008.

[13] B. Kuipers and Y.-T.Byun, "A robot exploration and mapping strategy based on a semantic hierarchy of spatial representations," Journal of Robotics and Autonomous Systems, 1991.

[14] S. Thrun, "Learning Maps for Indoor Mobile Robot Navigation," Artificial Intelligence, 1999.



송 하 윤

e-mail : hayoon@wow.hongik.ac.kr

1991년 서울대학교 계산통계학과(학사)

1993년 서울대학교 전산학과(석사)

2001년 University of California Los Angeles,
Computer Science Department(Ph.D.)

2001년~현 재 홍익대학교 컴퓨터공학과
부교수

관심분야: 분산 센서 시스템, 고고도 네트워킹, 클러스터링