

센서 네트워크를 위한 컴퓨터 비전 기반 근거리 로컬라이제이션

이규화, 송하윤, 박준
홍익대학교 컴퓨터공학과
{rusane@naver.com, song@cs.hongik.ac.kr,
jpark@cs.hongik.ac.kr}

Short-Distance Localization Technique of Sensor Network with Computer Vision

Kyu Hwa Lee, Ha Yoon Song, Jun Park
Dept. of Computer Engineering, Hongik University

요 약

본 연구에서는 센서 네트워크와 컴퓨터 비전 시스템을 이용한 모바일 센서 네트워크(Mobile Sensor Network)의 응용에 관한 실험을 수행하였다. 주된 내용으로는 모바일 센서를 탑재한 차량을 이용한 로컬라이제이션(Localization)과 팀원 인식(Team Identification) 등에 관련된 방법을 포함한다. 본 시스템은 시뮬레이션을 통하여 기획을 하였으며 자체 설계한 하드웨어와 내장형 소프트웨어를 탑재하여 주어진 기능을 수행하도록 하도록 하는 한편, 모바일 센서의 역할을 할 수 있도록 다양한 센서를 장착할 수 있도록 설계되었다. 또한 전자나침반을 이용한 방위각 측정능력, 초음파 센서를 이용한 근거리 장애물 회피 능력, 적외선 발광 다이오드(IR-LED)와 적외선 필터를 씌운 카메라를 이용한 동료의 위치 파악 능력등을 통하여 로컬라이제이션에 도움이 되도록 한다. 통신을 위하여 IEEE 802.11g 프로토콜에 기반을 둔 통신 능력을 가지며 차량간의 통신도 같은 프로토콜을 통하여 이루어지게 된다.

1. 서론

모바일 센서 네트워크 분야의 연구를 위해서는 이동성을 가진 센서 노드가 필요하다. 그리고 능동적 이동성을 가지는 센서 노드는 그 하드웨어의 제작이 상당히 큰 비용을 가지며, 그 구현 자체가 별개의 연구 주제가 된다. 본 연구에서는 각종 센서의 탑재가 가능한 자율주행 차량을 구현하여 모바일 센서 네트워크 연구의 기초 노드로 삼고자 한다. 자율주행 센서 차량은 기본적인 주행 능력 및 매크로 웨이포인트 네비게이션(Macro Waypoint Navigation) 기능 및 장애물 회피 기능, 지도 작성 기능, 차량간 통신 기능, 동료 파악 기능, 센서 확장 능력, 상대 위치 파악 능력, 형태 형성 능력 등을 가지고 있을 것을 목표로 제작되었다. 이러한 기능을 달성하기 위하여 시뮬레이션이 선행되었다. 이렇게 제작된 자율주행 센서 차량을 이용하여 높은 정밀도를 가지는 이동간 지역화 및 이동간 형태 형성 알고리즘을 실

제 실험하는 것이 최종 목표이다.

2. 하드웨어

차량 제작을 하는 데에는 여러 가지 기계적 특성과 배터리 등 전기적 특성을 미리 예측하여야 한다. 특히 실제 차량의 구현에서는 배치 공간, 모터의 기계적 특성 등이 중요한 변수로 작용한다. 이는 로컬라이제이션을 수행하는 일과 카메라 인식의 정확도에도 큰 영향을 미치기 때문이다. 차체는 주행에 관련된 하드웨어를 싣고 보호해야 하며, 험한 지형에서 주행이 예상되기 때문에 충분한 강도가 필요한 동시에 무게가 많이 나갈 경우 차량의 주행 속도 및 최대 주행 가능 시간에 영향을 주기 때문에 이 조건을 만족하는 알루미늄 합금을 이용하여 제작하였다. 또한 운행의 안정성을 꾀하기 위하여 무한궤도를 사용하였는데 바퀴는 그림과 같이 삼각형 모양으로 장착하였다. 이를 위하여 L형 고무벨트와 기어를 사용

하여 좌우 3개씩 총 6개의 바퀴를 사용하였다.

전원부에는 스위칭(Switching) 방식의 Step-Down Voltage Regulator 를 사용하여 하드웨어 컨트롤러에 해당하는 T-Board 와 전자나침반, 각종 초음파 및 적외선 센서들을 구동한다. 스위칭 방식의 레귤레이터 특성상 약간의 노이즈가 있지만 CPU 등 전압에 민감한 제품을 제외한 부품의 전원 공급용으로는 최적이기 때문에 선택하였다. 또한 모든 전원 관련 케이블의 팁을 탈부착이 간편한 핫 플러그 방식으로 통일하여 유지보수가 효율적으로 이루어지도록 하였다.

3. 모터의 제어

모터의 정확한 제어는 곧 정확한 로컬라이제이션을 하는데 있어 중요한 위치를 차지한다. 이러한 이유로 본 연구에서는 바퀴의 정확한 회전을 추적할 수 있도록 스텝 모터를 사용하였다. 개발용 임베디드 보드인 HCS12 T-Board 를 이용, 메인 컴퓨터에서 시리얼 통신 방법을 통하여 모터의 속력을 제어할 수 있도록 하였다. T-Board 에서는 지속적으로 시리얼 라인을 통하여 들어온 값이 레지스터에 저장되어 있는지를 확인하여 데이터가 들어오면 바로 그 명령에 해당하는 여러 가지 역할을 수행한다.

정확한 모터의 제어와 그 피드백된 펄스값을 계산하여 센서 차량은 출발점에서부터의 상대적 위치를 스스로 파악할 수 있으며, 이에 부가되는 오차로 인하여 확률적 위치를 파악하게 된다. 이는 관성항법(Inertial Navigation)의 원리와 일치한다.

4. 로컬라이제이션

로컬라이제이션을 위하여 여러 가지 센서를 동원하게 되는데 기본적으로 모터에 인가된 펄스를 카운팅하여 간 거리를 측정하게 된다. 그러나 이 방법은 바퀴와 노면의 상태에 따라 생기는 미끄러짐과 모터의 상태 변화에 따른 오차가 생기게 되므로 보정이 필요하다. 보정을 위하여 전자 나침반(Digital Compass), 카메라, 초음파 센서등을 활용하고 여기에 추가로 무선 신호의 세기를 활용하는 방법을 연구중이다.

전자 나침반의 경우 0.1도의 해상력을 갖는 옵셀사의 OCDMC-0601M을 사용하였다. 이는 매우 작은 사이즈와 낮은 전력 소모의 장점이 있으나 나침반의 특성상 모터가 구동될 때 발생하는 전자기력에 의하여 교란이 되는 경우가 발생할 수 있으므로 부착 위치에 주의하여야 한다. 또한 나침반은 진북이 아니

라 지구 자기장의 극점인 자북을 기준으로 각도를 출력하므로 모든 계산은 자북을 지표로 삼아 처리하였다. 이를 이용하여 차량의 현재 진행 방향을 구할 수 있었다.

초음파 센서를 이용하여 근거리 장애물을 파악하고 회피할 수 있도록 하였다. 레이저로 미처 인식하지 못한 지형을 보완하는 수단으로 이용하게 되었다. 추가적으로 차량 앞의 장애물 뿐 아니라 울타리나 터널같은 지형을 지나갈 수 있을지 판단하기 위하여 상단부에도 부착하였다. 또한, 맨홀이나 계단등에서 갑자기 추락하는 경우를 방지하기 위하여 차량의 하단부에도 부착하였다. 이를 통하여 얻은 정보를 매우 근접한 범위내의 오차를 보정하는데 사용할 수 있다.

그 밖에 무선 신호의 세기를 나타내는 RSSI (Received Signal Strength Indication)를 이용하여 주변 차량과의 거리를 근사적으로 알 수 있다. 본 차량에서 사용하는 802.11g 무선 네트워크를 활용하여 신호의 세기가 측정 가능하므로 위치 보정에 이용할 수 있다.

4.1 비전기반 로컬라이제이션

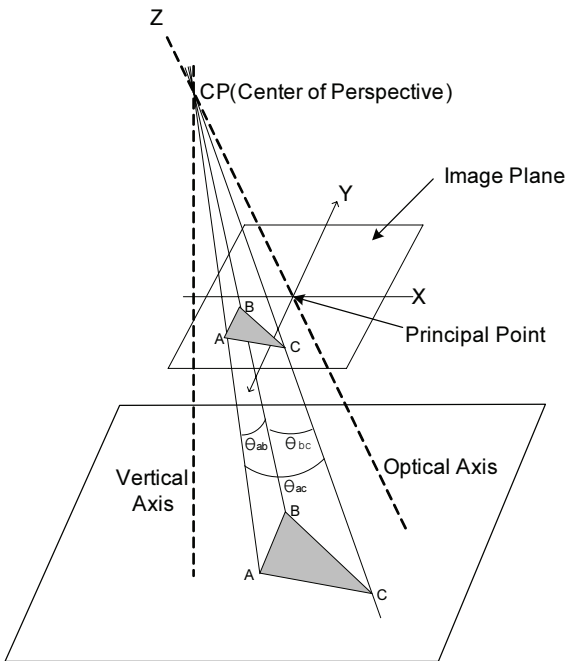
차량의 몸통에 일정한 거리로 적외선 발광 다이오드(IR-LED)를 부착하고 적외선 투과 필터를 씌운 카메라를 이용하여 인식하도록 하는 방식을 사용한다. 이를 구현하기 위하여 이미 알고 있는 정해진 간격의 LED 패턴과 카메라에 비친 실제 패턴을 비교하여 상대 차량의 3차원 좌표를 수학적으로 계산하는 방법을 사용하도록 한다. 이 문제를 이산적 수치해석 방법으로 해결하기 위하여 Perspective-n-Points Problem 과 Least Square Method 를 응용할 수 있는데 본 과제에서는 Perspective-3-Points Problem 의 알고리즘을 응용하도록 한다. 그러나 이 방법은 차량의 좌표에 대한 잘못된 해가 최대 2개 (유효하지 않은 해는 제외할 경우) 나올 가능성이 있으므로 위에서 언급한 Least Square Method 와 기타 센서를 이용한 보정, 그리고 기존 좌표와의 비교 등의 방법을 동원하여 해결하도록 한다.



(그림 1) 적외선 발광 다이오드 배치패턴의 예

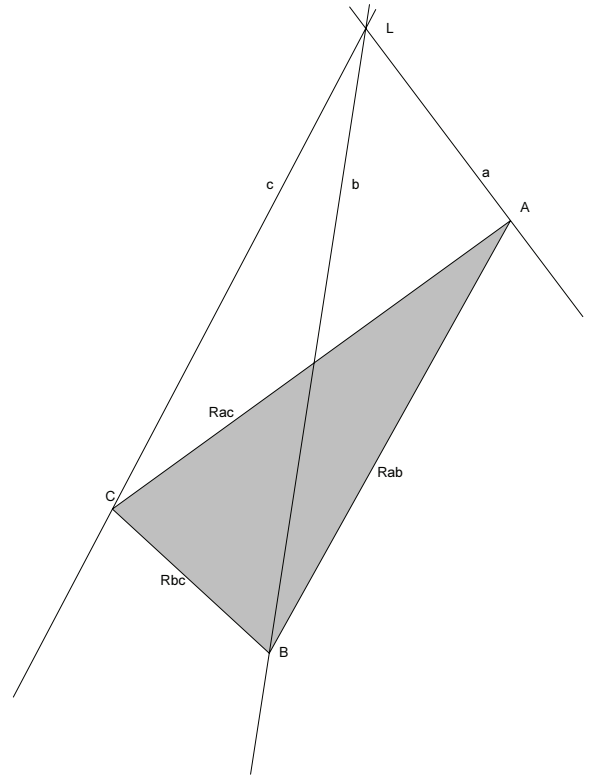
4.2 위치 계산 문제

위치 계산 문제(LDP - Location Determination Problem)를 위하여 기본적으로 쓰이는 방식은 주어진 화면에서의 요소들 간의 관계를 구하는 것이다. 이를 위하여 지표가 되는 것들을 골라 그들 사이의 상관 관계를 파악하여 위치를 계산한다. 그러나 least squares method 는 큰 에러값(gross error)을 갖는 지표가 있을 경우 잘못 계산할 가능성이 높아지므로 위에서 언급한 Perspective-3-Problem method 를 병행하도록 한다.



(그림 2) 실제 좌표들과 화면상의 좌표들간의 관계

아래의 그림에서 회색 삼각형이 포함된 면이 로봇 바디와 같은 면이며 점 A, B, C 사이의 거리(Rab, Rbc, Rac)는 LED 배치에 따라 결정되는 이미 알고 있는 상수값이다.



(그림 3) 각 꼭지점까지의 거리 계산

이 경우 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} (Rab)^2 &= a^2 + b^2 - 2 * a * b * [\cos(\theta_{ab})] \\ (Rac)^2 &= a^2 + c^2 - 2 * a * c * [\cos(\theta_{ac})] \\ (Rbc)^2 &= b^2 + c^2 - 2 * b * c * [\cos(\theta_{bc})] \end{aligned}$$

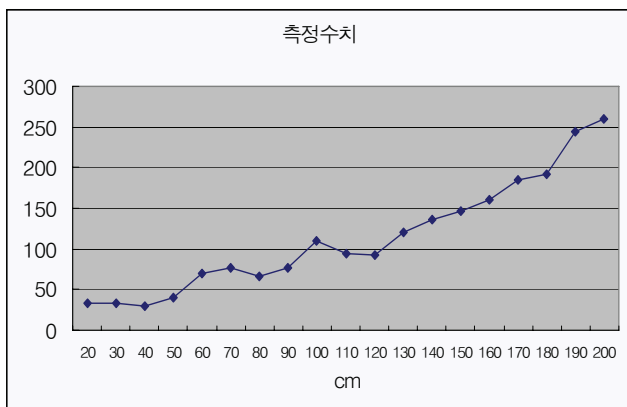
이론적으로 서로 독립적인(independent) 차수가 2 차인 변수가 3개 존재하므로 a, b, c 값을 구함에 있어 최대 8개까지의 근이 나올 수 있다.[2, 5] 그러나 위 식의 특성상 각 근에 대하여 부호만 다른 값이 나오므로 최대 4개의 양의 근이 구해질 수 있다. 이 방정식의 해는 closed form 의 형태로 나타내어지는 것이 가능하다. 만약 Perspective-4-Problem 일 경우 점 사이의 관계를 알고 있고 모두 같은 평면에 있다는 조건이 더해지면, 분석적인 방법에 의하여 유일해(unique solution)를 얻는 것이 가능해진다. 또한 이론적으로 Perspective-6-Problem 일 경우 항상 유일해를 얻는 것이 가능하지만 계산의 복잡도와 좌표 획득의 어려움 때문에 Perspective-3-Problem 이 현실적인 해결책이 된다. [1, 6]

4.3 측정 결과



(그림 4) 상대적인 3차원상의 좌표 계산

P3P를 응용하여 좌표를 계산해본 결과 10cm 이내에서는 플레어(Flare) 등의 현상으로 인하여 그 이내의 거리에서는 계산하지 않도록 하였으며 2m 정도까지의 거리에서도 IR-LED 들의 좌표가 추적 되는 것을 확인하였다. 2m 가 넘는 거리에서는 각 점들 사이의 간격이 매우 적은 픽셀(pixel) 단위로 변화하게 되는데 이는 노이즈 등의 요인에 의하여 오차가 날 확률이 매우 높음을 알 수 있었다. 이는 알고리즘의 개선을 통하여 정확도를 높이는 중이다. 실제 거리에 따른 상대적인 픽셀 단위의 계산값은 그림 5와 같았다. 실제로는 직선을 나타내어야 하지만 오차가 나타난다.



(그림 5) 측정 결과값

이론적으로 발광 다이오드들의 발광 강도와 발광 각도만 충분히 크면 더욱 먼 거리에서도 인식이 가능하지만, 본 방법은 최대 3m 내외의 근거리에서의 위치 추적을 목표로 하므로 적용하지 아니하였다. 위에 언급한 두 요소 중에서 발광 강도보다 발광 각도가 더욱 중요한 요소로 작용하였으므로 가능하면

60도 이상의 각도를 지원하는 발광소자를 사용하는 것이 좋다.

5. 결론

본 연구를 통하여 이동하는 차량간의 로컬라이제이션에 대한 실험을 수행하였다. 우선 RSSI 와 자체 모터 펄스 정보를 이용하여 확률적으로 현재 위치를 구할 수 있으며 전자 나침반과 카메라를 이용하여 오차 보정을 할 수 있다. 현재에는 각 센서별로 기능을 구현 하였으나 앞으로 더욱 정확한 보정 기술과 각 센서 모듈들의 상호 보완적인 활용을 통하여 높은 정확도의 로컬라이제이션을 구현할 계획이다. 이를 위하여 각 센서 모듈들간의 정보 통합과 효율적인 비교 기술이 요구되는데 이것은 다음 과제로 진행 중이다.

참고문헌

- [1] Martin A. Fischler and Robert C. Bolles, SRI International. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. Communications of the ACM, June 1981, Volume 24, Number 6.
- [2] Chrystal, G. Textbook of Algebra (Vol 1). Chelsea, New York, New York 1964, p.415
- [3] Keller, M. and Twinkel, G.C. Space resection in photogrammetry. ESSA Tech. Rept C&GS 32, 1966, U.S. Coast and Geodetic Survey.
- [4] Wolf, P.R. Elements of Photogrammetry. McGraw Hill, New York, 1974,
- [5] Dehn, E. Algebraic Equations. Dover, New York, 1960.
- [6] Wylie, C.R.Jr. Introduction to Projective Geometry. McGrawHill, New York, 1970.