

이동 로봇의 행동과 센서융합

강 대 희, 原島文雄

Institute of Industrial Science, University of Tokyo

I. 서론

메카트로닉스는 기계와 전기, 전자의 요소기술이 결합 혹은 융합된 분야로써, NC기술과 로봇 기술이 그 대표적인 예가 될 수 있다. NC 기술이 제조, 가공기술의 정밀성과 사용자의 편의성에 목표를 두고 연구를 해 온 반면에, 로봇은 인간의 중노동을 대체하는 기계로써, 인간의 생활을 편리하게 해 주는 보조자로써 연구 개발되어 왔고, 앞으로도 인간의 생활에 더욱 더 중요한 부분을 차지하게 될 것이다. 물론 지금까지의 로봇 연구가 정밀하고 반복적인 단순 작업에 초점을 맞추어서 행하여져 왔다고 한다면, 이제부터의 연구는 한마디로 말하면 SF영화에 등장하는 인간 수준의 자유도와 지능을 갖도록 하는 것이 될 것으로 여겨진다. 즉, 지금까지의 대부분의 산업용 로봇은 공장의 한 고정장소에 놓여져 전력을 통해 전력을 공급받으면서 작업하는 것으로써 대지에 뿌리를 내리고 토지로부터 영양분을 흡수하는 식물에 비유될 수 있다면, 전원과 정보처리 장치의 모든 것을 내장하여 스스로 자유롭게 이동하는 이동 로봇은 동물형 로봇이라고 할 수 있다. 이동하지 않는 로봇에 관한 연구는 주어진 작업에 대해 고유의 특수한 해결법으로 처리되는 것이 대부분인데 반하여, 이동하는 로봇에 대한 연구는 동물이 가지고 있는 직관적인 인식 및 행동 능력을 갖도록 하는 일반적인 지능 방향으로 진행되어 갈 것이다. 위와 같은 다양한 연구의 가능성으로 인하여 초기에는 이동 로봇이 많은 각광을 받았으나, 그 제반 기술의 미비함과 적용분야 개발의 미진함에 의하여 그 동안 활발한 연구를 행하여 왔다고는 말할 수 없는 상황이다. 그러

나 본 저자들은 최근 이동 로봇의 응용 분야를 넓히기 위해 다음과 같은 이미지를 갖고서 로봇 팔이 장착된 이동 로봇을 개발하고 있다. 즉, 생산 라인에서 인간과 기계(인간 정도의 자유도를 갖고 있는 AGV 혹은 이동 로봇)가 유기적으로 협조 가능한 시스템의 구성, 구체적으로 예를 들면, 한 명의 작업자의 옆에 고도의 레벨로 지능화된 이동 로봇이 있어서, 인간과 상호간에 협조하면서 작업을 행하는 시스템 개발을 염두에 두고 있다. 이 경우, 로봇은 작업자의 보조자 역할로써 작업에 필요한 공구 혹은 재료를 운반해 온다든지, 또는 여러가지 보조 작업(대상 물건의 한 부분을 잡아 주거나, 나사를 조여 주거나 하는 작업)을 행하여 인간과 협조 작업을 수행한다. 결국 조수 로봇의 개발을 염두에 두고 연구를 행하고 있다고 할 수 있다. 이러한 이미지 실현을 위하여 이동 로봇에 요구되는 기능은, 1)로봇과 작업자의 유기적인 커뮤니케이션, 2)작업 환경의 인식 기능, 3)도구 및 재료 식별 기능, 4)작업자의 작업 목적을 심볼로 지시받아, 그에 적합한 일련의 동작을 자동적으로 생성하는 기능, 5)미지의 목적, 환경에 접하였을 때 인간의 보조에 의해 지식의 획득을 반복함으로써 협조 작업의 지식을 증가시키는 학습 기능, 6)작업 진행에 보조를 맞추기 위한 추론 기능 등이 열거될 수 있다. 결국 인간에 의해 입력된 지식과 센서에 의해 획득된 정보를 총합하여 주어진 목적에 맞는 행동을 결정하는 전략이나, 요구되는 센서 정보 획득을 위한 행동 전략 등 센서 융합 혹은 센서와 행동의 융합이 기본 기술로 대두되고 있다. 물론 현재의 기술 수준으로서는 하나하나의 항목들을 완벽하게 실현하기에는 벅찬 것임에 틀림없지만, 본 논문에서는 그 기초 연구의 일환으로써 지능 이동

로봇의 시스템 구성 및 센서 융합에 대하여 논하고자 한다.

II. 로봇 구성

지능 로봇의 전형적인 구성은 다음과 같은 처리 형태를 갖는다. 즉, 센서 시스템부가 환경을 인식하고(Perception), 그 인식 결과를 이용하여 외부의 상황 및 물체의 모델을 구축한다.(Modelling) 구축한 모델 상에서 행동 계획을 구상하고(Planning), 그 행동 계획을 세부 동작지침(Task execution)으로 분리시킨 후, 그 세부동작을 구동부(Actuator)로 전달한다. 종래의 지능 로봇은 대부분 위와 같은 처리 형태를 취하고 있다.(그림 1참조)

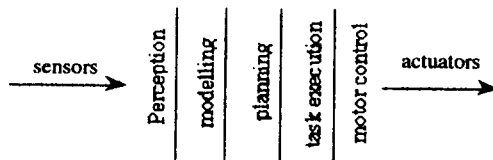


그림 1. 종래 이동 로봇의 제어 시스템

이와 같은 직렬 처리 방식에서는 중간의 어떤 부분에서 오 동작이 발생하였을 때 전체 시스템에 치명적인 영향을 주어, 최종 행동을 실패할 우려가 매우 크다. 이러한 종래의 방식에 대하여, MIT의 Brooks는 행위(behavior)라는 개념을 도입하여 서브섬프션 구성(subsumption architecture)을 제안하였다. 행위라는 것을 회피 행동과 반사 행동과 같은 통상의 감지(sensing)와 동작(action)을 포함하는 하나의 행동단위로써, 예를 들면 회피와 반사 등에서 장애물 회피 행동이 얻을 수 있는 것처럼 행위가 조립되어 보다 복잡한 행동이 나타난다. 또, 이것을 실현하기 위하여, 감지와 행동을 결합한 반사행동의 반사층을 갖고 그 위에 억제성 이외의 단순한 결합으로 고차원의 정보처리 시스템을 계층적으로 접속한 구성(architecture)을 제안했다. 서브섬프션을 기본으로 하는 여러가지의 로봇은, 이전처럼 지식 처리 기술을 이용하지 않고도 어느 정도 지능적인 행동이 가능한 구조로써 주목을 받아왔다. 그러나, 실제로는 기호 처리 능력이 없고서는 복잡한 지능화 시스템은 실현

이 곤란하여 최근에는 서브섬프션 구성과 기호 처리 시스템을 결합하는 연구가 많이 행하여 지고 있다.

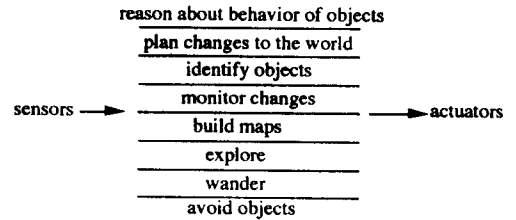


그림 2. 서브섬프션 구성을 고려한 이동 로봇의 제어 시스템

III. 센서 융합

인간의 감각계는, 오감이라는 센서를 이용함으로써 자신의 주변의 실세계 상황과 자기 상태 등을 인식, 판단하여 행동으로 결부시키고 있다. 즉, 인간은 오감(청각, 시각, 미각, 촉각, 후각)이라는 복수의 감각 정보를 이용하여 외부 세계나 내부의 변화를 감지하고 있다. 감각 정보 처리 장치로서 본 인간의 뇌는 신경세포를 연산처리 모델로 한 계층형 병렬 처리 시스템으로써 상위 계층에서는 이질(異質)의 센서 정보간에 통합적 융합적 처리가 행하여지고 있고, 하위 계층에서는 동질의 센서 정보에 대하여 고유의 정보처리를 하고 있다. 이 경우, 각각의 정보에는 애매 모호함, 모순 혹은, 일부 정보의 결핍이 존재함에도 불구하고 상호간의 보완, 통합, 혹은, 기지(既知)의 지식을 참조하는 것에 의해, 외부 세계 및 사물을 정확하게 인식 판단하는 것이 가능하다. 이와 같은 처리계를 복수의 센서정보 처리기구로써, 공학적으로 실현하고자 하는 것, 즉, 복수의 센서정보를 처리하는 것에 의해, 단일의 센서로부터는 얻어질 수 없는 새로운 정보를 획득하고자 하는 기술이 센서 융합이다. 그러나 센서 융합의 처리 형태는 각 계층 혹은 센서의 종류 등에 의해 그 처리 방법이 다르게 되기 때문에 일련의 통일된 하나의 방법을 생각하는 것은 무리가 있다. 일단 두 종류의 센서를 융합할 때 발생하는 문제를 고려해 보면 다음과 같다. 1) 각 센서의 정보 표현법이 상이하다. 즉 정지 화상과 동 화상에

서의 시간 변수 유무등이 그 예가 될 수 있다. 2) 각 센서에 의해 대상물의 검출 범위가 다르게 되고, 각각의 해상도, 레벨 등도 상이하다. 3) 동일 대상물에 대해서도 검출 방향, 취득 시각, 파라메타의 변동, 환경 조건의 변화 등에 의해 취득 정보가 다르게 된다. 이러한 문제점들 때문에 센서융합을 행하기 위해서는, 각 각의 센서 정보가 자기 자신의 고유 좌표계 상에서 표현되어진 것을 센서 융합의 좌표계 즉, 융합 공간으로 각각의 정보를 변환시킬 필요가 있다. 센서 융합의 예를 들어 보면 다음과 같다.

1. 초음파 센서와 화상 장치를 이용한 환경 모델의 구축

초음파 센서는 그다지 정밀하지는 않지만 이동 로봇의 충돌 회피에 이용될 정도로 꽤 신뢰성 있는 거리 정보를 취할 수 있는 반면에, 매우 큰 초음파 빔 각도로 인하여 좌우 방향 정보는 대단히 빈약하다고 할 수 있다. 그에 반하여 화상 장치는, 거리에 대한 정보는 거의 전무한 것에 비하여 좌우의 방향 정보는 매우 정밀하다고 할 수 있다. 그럼 지금부터 이 두 가지의 센서를 이용하여 환경 모델을 구축하는 방법을 고려해 보기로 한다. 우선 초음파 센서와 화상 정보를 사용하여 각각의 환경 확률 모델을 만들고, 그 후 각각의 환경 확률 모델을 통합한다. 초음파 센서에는 평균치가 '0' 이고 분산치가 σ^2 인 가우스 분포를 갖는 잡음이 존재한다고 가정하면, 다음 (1)식과 같이 확률 밀도함수로 초음파 센서 데이터를 표현할 수 있다.

$$P_u(r|z, \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma_r\sigma_\theta} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{(r-z)^2}{\sigma_r^2} + \frac{(\theta)^2}{\sigma_\theta^2}\right)\right] \quad (1)$$

여기에서 r 은 측정된 거리 데이터, z 는 실제의 거리 치이다. 즉, (1)의 식은 실제의 거리가 z 인 경우, r 로 측정될 확률의 밀도 함수이다. 그리고 이동 로봇의 주위의 환경을 같은 크기의 사각형의 모양으로 분할한 후, 수 없이 많이 만들어진 사각형(셀이라고 칭함) 위에 물체가 존재할 확률을, 초음파 센서의 출력과 식(2)의 베이즈 법칙(Bayes' theorem)을 적용하여 계산한다.

$$P[s(Ci) = occ|r] = \frac{P[r|s(Ci) = occ]P[s(Ci) = occ]}{\sum P[r|s(Ci)]P[s(Ci)]} \quad (2)$$

위의 식에서, $P(r|s(Ci)=occ)$ 은 초음파 센서의 모

델($P(r|z, \theta)$) 로 부터 구해질 수 있고, $P[s(Ci)=occ)$ 은 셀의 초기 상태, 혹은 전 상태이다. 그림 3과 같은 간단한 환경에 대하여 환경 확률 지도를 작성해 본 것이 그림 4이다.

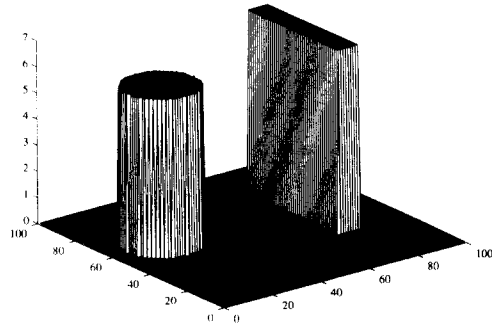


그림 3. 환경의 한 가지 예

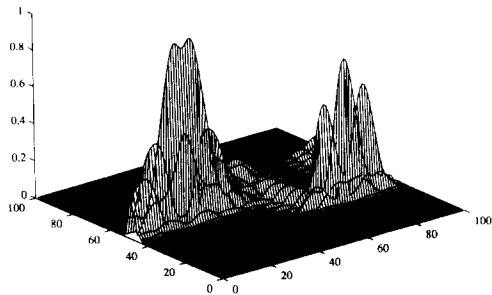


그림 4. 작성된 환경 확률 지도 1

그림. 화상 정보를 사용하여 환경 확률 지도를 만드는 방법에 대하여 간단하게 서술해 보기로 하자. 일단 그림 5에서 보는 바와 같이 대상 물체의 밑 부분과 윗 부분이 전부 검출되어진다고 가정을 하면, 물체와 바닥이 접촉하는 부분(물체의 밑 부분)의 좌표치(X, Y)는 그림 5의 식에 의해 구해진다. 물론 X, Y 는 로봇 좌표계에서 물체의 좌표 값이고, x_i, y_i 는 화상장치의 영상 좌표치이다. β_0 는 화상 장치의 기울기 각도이고, f 는 화상 장치의 초점 거리이다. 그림 5에서 물체의 높이 O_h 와 꼭지점 P_c 의 Y 좌표는 다음의 식에 의해 표현되어진다.

$$O_h = Y \tan(\beta) \quad Y_c = (h - O_h) \cot(\beta) \quad (3)$$

결국, 물체의 꼭지점 전부를 계산할 수 있어서 그

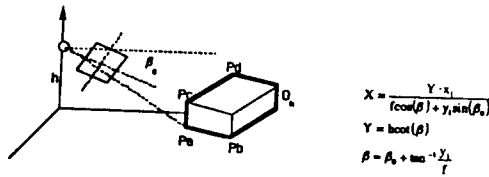


그림 5. 화상 장치와 대상 물체의 관계

꼭지점들의 좌표치를 갖고서, 前述의 확률 지도 작성과 같은 방법으로 또 하나의 확률 지도를 만들 수 있다. 물론 모든 물체의 밑 부분과 윗 부분이 한 번에 검출되어진다는 것은 무리가 있는 가정으로써, 일부분만 검출될 때를 고려해 보기로 하자. 이 경우, 물체와의 거리는 계산할 수 없지만 물체가 놓여져 있는 곳의 방향 만은 알 수가 있다. 따라서, 그 방향에 있는 셀의 갯 수를 N으로 할 때, 그 하나 하나의 셀의 확률은 1/N로 한다. 그림 2의 환경을 화상 장치로 검출하여 확률 지도를 작성한 것이 그림 6이다.

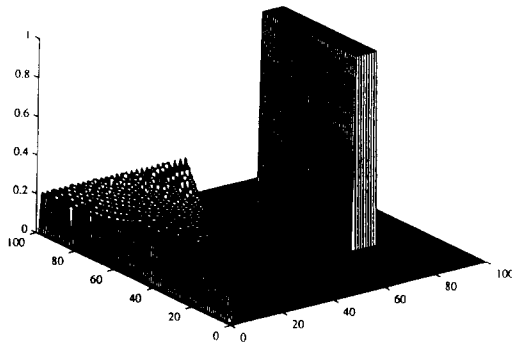


그림 6. 작성된 환경 확률 지도

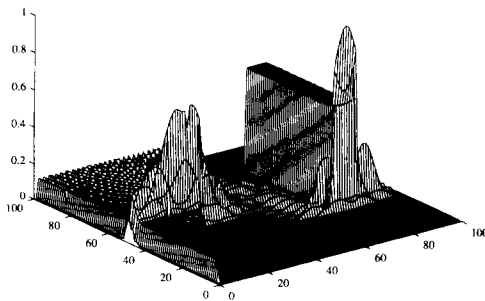


그림 7. 통합된 환경 확률 지도

이 경우는 원통형 물체는 일부분 만이 검출됐고, 사각형 물체는 밑 부분부터 윗 부분까지 전부 검출되

었다는 가정 하에 작성된 지도이다. 이 두가지의 확률 지도를 통합하는 것은 D-S(Dempster-shafer)방법을 이용한 다음의 식으로 행하여 질 수 있고, 그 통합된 결과를 그림 7에 표시한다.

$$P[s(C_i) = occ] = \frac{P_v[s(C_i) = occ] \cdot P_u[s(C_i) = occ]}{1 - f_s}$$

$$f_s = P_u[s(C_i) = occ] (1 - P_v[s(C_i) = occ]) + P_v[s(C_i) = occ] (1 - P_u[s(C_i) = occ]) \quad (4)$$

여기에서, P_v, P_u는 각각 화상 장치와 초음파 센서에 의해 생성된 확률 지도 상의 확률이다.

IV. 결론

본 저자들이 개발하고 있는 이동 로봇트는 높이 90 Cm, 넓이 60Cm x 60Cm의 크기로서 중량은 제어장치 및 배터리를 포함하여 100 kg 정도이다. 현재 두개의 로봇트 팔을 설계하여 장치 중에 있으며, 하나의 로봇트 팔의 길이는 70 Cm로써 인간의 팔 길이와 거의 같고 중량은 10 kg 정도인 6 자유도의 로봇트이다. 주 제어장치는 VME 시스템으로 구성되어 있고, SUN컴퓨터와 Bus-to-Bus 방식으로 연결되어 있어서, SUN 으로부터도 직접 VME 시스템의 O.S를 제어 가능하도록 되어 있다. 사용되는 센서는 모터에 부착되어 있는 엔코더를 비롯하여 10 개의 근접 센서, 10 개의 초음파 센서, 화상 장치 그리고 LRF(Laser Range Finder)가 있다. 현 단계는 서론에서 언급한 보조자 역할로써 인간과 협조하는 지능 이동 로봇트의 연구 개발을 목표로 하고 있으며, 현재의 제어 구조는 그림 2와 거의 같으며, 그림 2에서의 장애물 회피와 방향 부분은 근접 센서와 초음파 센서의 정보를 이용하고 있고, 그 위 레벨은 초음파 센서, 화상 장치, 그리고 LRF의 정보를 이용하고 있다. 각 각의 레벨에서 그 레벨에 알맞는 센서 융합을 행하고자 하고 있으며, 지금은 센서 융합의 연구에 심혈을 기울이고 있다.

2015년 이후에는 고령자 인구가 20% 이상이 되고, 19세 이하의 젊은이의 수를 능가하리라는 일본 정부의 예측 보고서도 있지만, 21 세기는 고령화의 시대가 될 것이라는 것은 누구나 쉽게 예상할 수 있다. 고령화 시대가 되면 병원이나 가정에서 신체가

부 자유로운 노인들을 위해 보호, 보조하는 시스템의 필요성이 급속하게 증가할 뿐 아니라, 노동력의 부족으로 인하여 생산 라인의 변혁 혹은, 인간 수준의 로봇의 출현이 필연적으로 요구될 것이다. 이러한 미래의 요구와 기대에 부응하기 위한 지능 로봇의 연구가 활발히 진행되기를 기대한다.

参 考 文 献

[1] R.A.Brooks, "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", IEEE Journal of R & A, Vol. RA-2-1, pp.14-23, 1986

[2] 吉田, "サブサンプリング アーキテクチャを用いたロボットの制御", 일본 로봇 학회지, Vol. 11-8, pp. 1118-1123, 1993

[3] Judea Pearl, "Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems" Morgan Kaufmann Pub. 1988.

[4] M. A. Abidi, R. C. Gonzalez, "Data Fusion in Robotics and Machine Intelligence". Acad. press, 1992.

[5] A. Elfes, "Sonar based real-world mapping and Navigation", IEEE Journal of RA, RA-3, June 1987.

[6] R.C.Luo, M.G.Kay, "Multisensor Integration and Fusion in Intelligent Systems", IEEE Tran. Sys., Man and Cybernetics, vol. 19, No. 5, pp. 901-931

[7] A. M. Sabatini, "Active Hearing for External Imaging Based on an Ultrasonic Transducer Array", IROS, July 1992., pp. 829-834.

[8] 姜, R.C.Luo, 橋本, 原島, "不確かなセンサのデータによる移動ロボットの位置推定", 제11회 일본 로봇 학회 학술 강연회, 1993

[9] Y. Nagasima, S.Yuta, "Ultrasonic sensing for a mobile robot to recognize an environment", Int. Conf. on Intelligent Robots and System, pp. 805-812, 1992

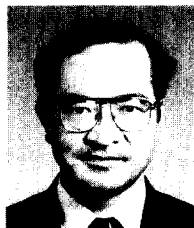
[10] K. Audenaet, H. Peremans, Y. Kawahara, "Accurate ranging of multiple objects using ultrasonic sensors", Int. Conf. on Intelligent Robots and System, pp. 1733-1738, 1992. 🌐

筆 者 紹 介



강 대 희
1960년 12月生.
1983년 연세대 전자공학과 졸업
1985년 KAIST 전기및 전자
공학과 석사

1985년 ~ 현재 대우 중공업(주) 근무
1991년 ~ 현재 동경대 생산 기술 연구소 박사
과정. 센서 융합, 지적 제어 시스템
연구에 종사. 일본 로봇 학회 및
전기 학회 회원.



原島文雄
1940년 2월 3日生.
1967년 3월 동경대학 대학원
공학계 연구과 박사
과정 수료

1967년 4월 동대학 조교수, 생산 기술 연구소 근무
1980년 동대학 교수
1991년 ~ 현재 생산 기술 연구소 소장, 전력 전자
제어, 로봇 공학 연구에 종사
1986, 1987년 IEEE IES President
1990년 IEEE Secretary, 계측 자동 제어
학회 및 일본 로봇 학회 회원
IEEE Fellow