

소형 이동로봇을 이용한 자율 분산제어용 시뮬레이터의 개발

Development of Autonomous Decentralized Control System Simulator using Micro Mobile Robot

이 재동(부경대·원), 정 해용(부경대·학부), 김 환성, 김 상봉(부경대)
Jae-dong Lee, Hae-young Jeong, Hwan-seong Kim, and Sang-bong Kim

ABSTRACT

During a fast decade, an automatic control technology makes an aggressive improvement with the developments of computer and communication technology. In large scale and complicated systems, an autonomous decentralized control system is required in which the sub-systems must have some ability such that the self-judgement and self-performance functions.

In this paper, we propose an algorithm to realized these functions using micro mobile robot which is applied to a control of a warehouse. The proposed algorithm is based on performance index, and the selecting rules of the task between the sub-systems are induced by the index. Also, it is effected by weighting function which is determined by environment and kind of works. To verify the effectiveness of this algorithm, we develop the simulator to implement the autonomous decentralized control and apply to the micro mobile robot on the PC machine.

Keywords : autonomous decentralized(자율분산), micro robot(소형 로봇)

1. 서론

최근의 자동제어기술, 시스템 제어기술들의 하나의 특징은, 대상으로 하는 시스템이 복잡하고 대규모로 되어 가며, 다양성, 유연성, 신뢰성 등의 요구가 높다는 것이다. 따라서, 이에 대응하기 위해서는, 제어 시스템의 구성에 있어서 집중관리형 시스템 보다 자율 분산형 시스템이 바람직하다고 할 수 있다. 실제로, 하나의 제어기능하에서 전체를 통괄하는 중앙집권적인 집중관리 형식으로 말단까지 완전한 제어를 행하는 것은, 공간적, 코스트적 및 신뢰성의 면에서도 한계가 있다. 그러나, 이것보다는 각 서브 시스템에 권한(기능)을 이양하여, 전체로서 협조적으로 제어하는 지방 자치적인 자율분산형 제어 방식 쪽이 유리할 경우가 많다.

자율 분산제어는, 생물체에 있어서도 각 계층으로 존재하고, 그에 의해서 생명 유지라고 하는 질서가 생성된다고 생각할 수 있으며, 이와 같은 질서 생성 과정은, 바이오홀로닉 시스템(bioholic

system)으로 불려지고 있다.^(1,2) 바이오홀로닉 시스템에서는, 홀론(holon)을 전체를 구성하는 부분인 동시에 자율적인 전체라고 말하는 이면성을 가진 존재로서 정의하여 홀론간의 협조적인 상호작용에 의해서 질서가 생성된다. 따라서, 질서 생성을 위한 조건을 시스템 자신이 자발적으로 실현하는 즉, 자기 조직화 기능을 갖은 것이 특징이라 할 수 있다. 이와 같은 자기 조직적인 동적 질서의 생성은, 에너지나 물질의 흐름이 있는 열역학적인 개방계에서나 가능하며, 비평형 열역학의 분야에서는 散逸구조(dissipative structure)로서 이미 많은 연구가 행해져 왔다.^(3,4)

그러나, 지금까지 제어 이론은, 정상 상태에서의 안정화를 목표로 하는 피드백제어론⁽⁵⁾과 집중관리형의 최적제어론에 관해서 많은 연구가 되어 왔지만, 자율 분산시스템에 관한 제어이론은 아직 충분하게 논의되어 있지 않다.^(6,7)

본 논문에서는 자율 분산제어 방식을 위해 최적제어 알고리즘의 적용에 대해 논하며, 이를 바탕으로 소형 이동 로봇 제어를 위한 시뮬레이터

의 개발에 대해 연구하고자 한다. 제 2장에서는 자율 분산 제어 시스템의 특성 및 구조를 설명하고, 제 3장에서는 소형 이동 로봇에 적용한 무인 창고 관리 시스템과 시간과 에너지의 개념을 포함한 자율 분산제어 알고리즘을 제안하며 소형 로봇의 적용에 관한 알고리즘을 논한다. 제 4장에서는 실험 방법을 고찰하며, 결론은 제 5장에서 논하기로 한다.

2. 자율 분산 제어 시스템의 구성

2.1 자율 분산제어 시스템의 특징

자율 분산제어 시스템의 구성으로서, (i)시스템은 몇몇의 구성 요소를 지닌 서브 시스템으로 분류하며, 이는 시스템 전체의 정보를 필요로 하지 않고, 국소적인 정보에 기초하여 행동·제어된다. (ii)시스템 전체를 지배하는 특정의 코디네이터는 없으며, 각 구성 요소에 자주성이 있고, 그들의 협조적인 상호작용에 의해서 시스템의 질서가 생성된다. (iii)시스템은 항상 활성화되어 자신의 질서를 생성하는 자기 조직화 기능을 가진다. 또한, 그때 생성되는 질서는 끊임없는 운동에 의해서 발생하는 질서이므로, 동적인 질서이다. (iv) 무질서-질서의 천이, 수학적 이론(분기이론(bifurcation theory)나 카스트스트로피 이론에 의해서 설명할 수 있다. 그래서 파라미터에 의한 분기를 조사한 구조 안정 이론이 중요한 의미를 가진다.

2.2 자율 분산제어 시스템의 구조

시스템이 자율 분산인지 아닌지는 각 서브가 자율화 될 수 있는 조건 여부에 의해 결정될 수 있다. 이 조건을 구체적으로 실현하는 것은 다음과 같은 특징을 가진 구조이다.

자율 분산 시스템 개념에 기초한 시스템 구조는 자율가제어성, 자율가협조성을 각 서브 시스템이 만족하도록, 다음의 3가지 구성 요건을 가진다.

- (1) 서브 시스템의 자기완결성 : 서브 시스템이 자신을 관리하고 필요하다면 다른 서브 시스템과 협조하는 기능을 각각이 가지는 것이다. 이 자율한 서브 시스템을 아톰(Atom)이라 부른다.
- (2) 아톰간의 데이터 필드 : 아톰이 서로 협조하기 위해 데이터를 교환하는 장이 있다.
- (3) 데이터 투과성 : 데이터 필드에 접속된 어떤 아톰이라도 서로 데이터를 교환할 수 있도록 하기 위해, 데이터의 내용에 대해서 통일적인 이해가 요구된다.

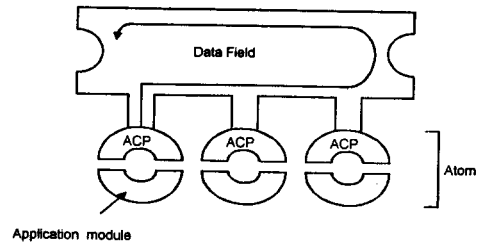


그림 1 자율 분산 시스템 구조

즉 자율 분산 시스템은, 그림 1과 같이 자율한 서브 시스템인 아톰이 데이터의 흐름의 장인 데이터 필드에 접속되는 구성을 취한다. 아톰은, 데이터 필드에 흐르는 데이터로부터, 필요한 내용의 데이터를 선택해서 수집하고 처리한다. 아톰에서 처리된 결과는, 데이터 필드에 송출된다. 이와 같이 해서 모든 아톰은, 데이터 필드와 인터페이스를 가지며, 데이터가 모아지면 기동되어, 각각 완전히 비동기적으로 병렬해서 처리를 실행한다. 각 아톰은, 각각의 어플리케이션 프로그램 외에, 데이터 필드와의 데이터 송수신, 이상 데이터의 배제, 어플리케이션 프로그램의 기동, 아톰 내외 이상의 검지와 방어 등의 공통적인 관리 기능 ACP(Autonomous Control Processor)을 가진다. 이와 같이 아톰은, 다른 아톰의 처리에 의존하지도 않고, 다른 아톰으로부터의 지시도 받지도 않는 핵구조를 가지고 있다.

따라서 아톰은, 데이터 필드상의 어디에, 언제, 접속되더라도, 곧 기능할 수 있고, 시스템 전체의 구조나 다른 아톰의 상황을 알 필요도 없이, 각각의 어플리케이션 메모리 내의 국소적 정보만으로 기능할 수 있다.

위에서 살펴 본 바와 같이, 시스템 가동 중에 아톰의 증설이나 제거, 테스트나 보수·유지가 가능하게 된다. 또 각 아톰은, 독자적으로 데이터 필드로부터 취한 데이터를 체크하여 또 데이터 필드를 통해서만 다른 아톰과 제휴할 수 있으므로, 아톰간의 이상 파급을 쉽게 방지할 수 있고, 시스템의 오류 허용을 향상한다. 또 실 시스템에서 데이터 필드는 네트워크에, 아톰은 네트워크에 접속하는 각 계산기에 대응한다.

3. 소형 이동 로봇을 이용한 자율 분산 제어용 시뮬레이터

3.1 소형 이동 로봇 시스템의 구성

본 논문에서는 소형 이동 로봇으로서 그림 2와

같은 마이크로 마우스 로봇을 사용하였다.

소형 이동 로봇에는 Intel 80C196KC⁽⁸⁾ 원칩 마이크로 프로세서를 사용하였다. 사용된 원칩 마이크로 프로세서는 16 bit이며 아날로그 값을 읽을

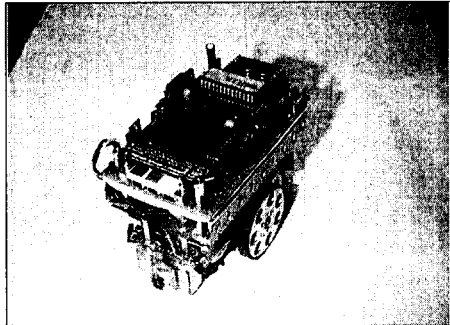


그림 2. 소형 이동 로봇

수 있는 10bit 분해능인 8개의 A/D 채널이 있으며, 또한 아날로그 출력을 할 수 있게 3개의 PWM을 가지고 있다. 각각 32Kbit의 ROM과 RAM을 사용하여 제어 알고리즘을 구현하며, 명령 데이터와 자신 및 상대방의 위치 데이터를 기억시키고 있다. 구동 장치로는 전력 소모는 많지만 정지 토크가 크고 제어와 구동이 쉬운 Stepping 모터를 사용하였다. 소형 이동 로봇의 위치 정보는 전방 3개, 후방 3개의 적외선 센서를 이용하여 벽정보를 읽어 자신의 위치를 계산할 수 있도록 구성하였다.⁽⁹⁾ 로봇은 자체 전원을 사용하였는데, 재사용이 가능한 니켈-카드뮴 전지를 사용하여 14.4V의 전원을 이용하고 있다. 또한 본 시스템에서는 데이터의 송·수신 매체로는 무선 이용하고 있다. 무선 모듈은 BIM-418-F를 사용하고, PC와 RS-232C를 통해 각각의 로봇과 데이터를 주고 받게 된다.

3.2 자율 분산 제어용 시뮬레이터의 알고리즘

본 논문에서는 2대의 소형 이동 로봇을 자율한 서브 시스템인 아톰으로써 정하였다. 응용 예로서는 무인 창고 관리를 대상으로 하였으며, 2대의 소형 이동 로봇은 무선을 통해 Host 컴퓨터(PC)에 위치한 데이터 필드의 데이터를 공유하면서 자율적으로 창고의 물품 관리를 행하기로 한다.

자율제어를 행하기 위해서는 현재 수행하고 있는 Task의 내용 및 진행 정도를 온라인상으로 데이터 필드에 송신하여야 하며, 다른 데이터를 공유하여 외부의 비상사태 및 긴급 지시에 대비하도록 하여야 한다. 그러나, 새로운 작업 Task가 지시되었을 때 각 아톰은 현재의 수행하고 있는

Task의 분량 및 작업 Task까지의 이동에 대해 자율적으로 판단·협조하여 작업을 수행하는 자율 분산제어 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 이를 위해 하중치를 가진 평가 방법을 고려하기로 한다. 먼저 새로운 Task가 부여되었을 때, 각 아톰은 현재 자신이 수행하고 있는 Task의 잔량을 시간에 대한 값으로 수치화한다. 그리고, 부가된 Task까지의 이동 거리 및 에너지 소모량을 계산하고 이동에 소요되는 시간을 수치화하여 이들 정보를 부가된 Task에 대해 각 아톰은 평가치를 지정하기로 한다.

먼저 J_i 는 아톰이 i 번째 순위 Task의 수행에 대한 평가치를 나타내고 있으며, 이는 i 번째 이전에 대한 Task들의 평가치에 대한 합으로 구성되어 있다. K_i 는 작업 Task에의 이동시 소요되는 시간과 에너지에 대한 항을 나타내고 있다. 이들에 대한 하중치로써 Q 와 R 을 선정할 수 있으며 이들은 작업장의 구조 및 작업 내역 등에 의해 초기에 주어지는 하중치이다. 이를 수식으로 나타내면, 다음과 같다.

$$J_i = \sum_{j=1}^i (\|J_{i-1}\|_Q + \|K_i\|_R) \quad (1)$$

(단, 다른 아톰에게 예약된 Task는 제외한다)

여기서 아랫첨자 1은 현재 수행중인 Task를 나타내며, i 는 부과된 Task의 순위를 나타낸다.

각 아톰에 의해 얻어진 평가치는 각각 데이터 필드에 전송되며, 평가치가 변경될 때 온라인 상으로 데이터가 갱신되도록 한다. 이러한 데이터를 근거로 하여 평가치가 가장 낮은 아톰에게 Task는 할당되며, 다른 아톰에게는 이 할당된 Task에 대한 평가치는 삭제되어 데이터가 갱신되도록 한다. 이외에도 비상처리시, 아톰의 고장시 등에 대한 하중치를 부여하며, 이를 평가치로 하여 각각의 아톰은 자율적으로 임무를 수행할 수 있게 한다.

위의 알고리즘을 실현하기 위해 각각의 아톰에서는 그림 3과 같은 Task를 수행하도록 하며, 데이터를 공유하도록 한다. 따라서, Host측에서는 수행되어야 할 Task만 지시하고, 작업 데이터를 감시·기록하기만 하면 된다. Task의 수행 및 우선순위 등은 각각 독립된 아톰이 자율적으로 결정하여 수행하게 된다.

본 논문에서는 위의 알고리즘에 대해 각 아톰이 작업을 충분히 수행할 수 있는지에 대해서는 PC를 이용한 시뮬레이터를 개발한다. 또한, 시물

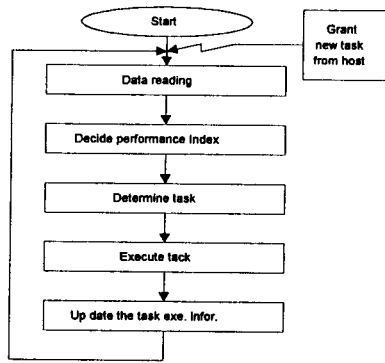


그림 3 이동로봇의 자율분산 알고리즘

레이션에서 충분한 검증을 한 후, 각 이동로봇에게 작업지시를 하여 수행하도록 한다.

4. 이동로봇을 이용한 자율분산제어 실험

3장에서 논한 자율 분산제어 알고리즘을 각 소형 이동로봇에 프로그래밍하여 그림 4과 같은 무인 창고 모형에 대한 실험을 행한다.

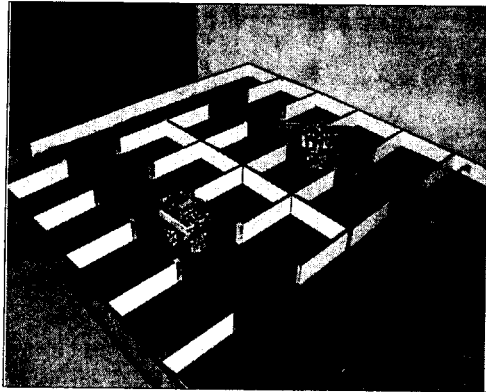


그림 4. 명령 수행 중인 소형 이동 로봇

여기서, 작업구간을 가로는 1~6까지, 세로는 A~D로 정하였다. 한 작업격자간의 거리에 대한 하중을 $Q=1.5$ 로 하였으며, 이동시 소요되는 하중을 $R=2.5$ 으로 하였고, 거리 및 에너지에 대한 평가는 같다고 가정하자. 이때, 초기값으로서 이동 로봇A는 1B에, 로봇B는 5D에 정지상태로 있다고 하자.

수행하여야 할 작업 4개가 동시에 입력되었다고 가정하자. 이런 경우 각각 이동로봇의 작업에

대한 평가치는 표1과 같이 되어 이때의 작업수행 할당이 1과 4에 대해서는 로봇A가, 2와 3에 대해서는 로봇B가 할당된다.

표 1 작업량에 대한 로봇의 작업할당

작업	작업내용	로봇 A		로봇 B	
		평가치	수행	평가치	수행
1	2D→4C 3회	50	○	62.5	
2	3A→4B 3회	487.5		112.5	○
3	1D→6B 1회	425		378.12	○
4	3B→2A 2회	487.5	○	913.28	

5. 결론

본 연구에서는 소형 이동로봇을 이용한 자율 분산제어용 시뮬레이터를 개발하였다. 각 아톰으로써 2대의 로봇만을 사용하여 간단한 자율 분산제어를 행하여, 아톰 스스로 자율적인 Task 수행이 이루어짐을 보였다. 금후에는 위의 자율 분산제어를 대규모의 자동화 생산라인에 투입하여, CIM과 연계하여 체계적인 자율 자동공정화에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. 清水,ほか,“ヒューマンサイエンス1”,中山書店, 1984
2. A. Koestler, “ホロン革命”, 工作舎, 1983
3. G. Nicolis and I. Prigogine, “散逸構造-自己秩序形成の物理學的基礎-”, 岩波書店, 1980
4. 西川, “大規模システムにおける動的秩序の形成をめぐって”, 計測と制御, pp. 211-216, 1986
5. B.A. Francis and W.M. Wonham, “The Internal Model Principle for Linear Multivariable Regulators”, App. Math. & Optim., pp. 170-194, 1975
6. 김은희, 오준호, “소형 이동 로봇의 실시간 경로계획과 영상정보에 의한 추적제어”, 한국정밀공학회 '97년도 춘계학술대회는문집, pp. 25~29, 1997
7. 이동욱, 심귀보, “유전 프로그래밍에 의한 자율 이동 로봇군의 협조행동 및 제어”, 한국자동제어학술대회, pp. 1177~1180, 1996
8. “16 Bits - Embedded Control Handbook”, Intel corporation, 1991
9. “센서 인터페이싱”, 기전연구소, 1986