

자율 이동 로봇군의 생명체 행동

Lifelike Behaviors of Collective Autonomous Mobile Agents

민석기, 제갈옥, 강훈
중앙대학교 공과대학 제어계측공학과
(email: hkang@cau.ac.kr, web: <http://viking.cie.cau.ac.kr>)

요약(Abstract)

우리는 자연계에서 새나 어류가 무리지어서 다니는 특이한 모습을 볼 수 있다. 본 논문은 복수 에이전트 모빌 로봇을 이용하여 이들이 효율적인 전략적 규칙으로부터 이런 복잡한 행동의 결과를 나타낼 수 있음을 보여준다. 모의 실험된 무리는 분산된 행동 모델로 구현되었으며 각각의 모빌 로봇간의 상대적으로 단순한 상호작용의 결과이다. 또한 여기서 모의 실험된 각각의 모빌 로봇은 동적인 환경을 감지함에 따라 움직이는 독립된 개체로서 자신의 움직임을 결정한다.

I. 서론

최근 인공생명[1]의 기법을 도입한 자율이동 로봇 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들은 자연계 생물의 특징인 자율 분산성을 가지고 있으며 이것은 자신의 행동을 독립적으로 결정할 수가 있으며 모빌 로봇의 개수가 증가하더라도 시스템의 복잡도가 증가하지 않는다는 장점을 가지고 있다. 또한 자연계 생물체의 구조 및 행동을 연구함으로써 동적으로 환경이 변하는 시스템에서도 서로의 상호작용으로 로봇 스스로 최선의 선택을 할 수 있도록 한다. Brooks는 복수의 자율이동 로봇이 전역적 행동을 가지는 문제를 제기했으며[2] 군 지능을 가진 로봇들이 충돌회피(avoidance), 귀향(homing), 확산(dispersion), 집합(aggregation) 등의 기본적인 성질을 가지고 창발적인 행동을 할 수 있음을 보여준 실험 결과들이 있다.[3][4] Craig는 boid라는 이름으로 fuzzy를 이용하여 충돌회피와 무리짓기를 구현하였다.[5] 본 논문에서는 각각의 로봇 에이전트가 상대

적으로 단순한 전략적 규칙을 가지고 위의 기본 성질중 충돌 회피와 무리짓기를 하는 경우를 상정하였으며 시뮬레이션을 통해 이를 검증하였다.

II. 자율 이동 로봇 에이전트 (Autonomous Mobile Robot Agents)

여기서 고려된 자율이동로봇들은 복수 에이전트들이며 이들의 움직임은 각 에이전트들 간의 상호작용에 의해 결정된다. 다음은 자율이동로봇 에이전트들에 부과된 가정들이다:

물리적 가정(이동로봇군의 관점):

- A1. 로봇의 진행속도는 일정하다.
- A2. 각 로봇은 어떤 방향이라도 타 로봇의 위치를 감지할 수 있다.
- A3. 이동 로봇의 한 스텝에서 회전할 수 있는 각은 제한되어있다.
- A4. 이동 로봇의 물리적 크기는 윈도우 영역의 크기에 비해 상대적으로 충분히 작다.

* 이 연구는 1996년도 한국과학재단 연구비지원에 의한 결과임(과제번호: 96-0102-13-01-3)

자율이동로봇이 감지해서 시스템의 입력으로 써 받아들일 수 있는 영역의 자신의 전방 180° 영역이며 그 영역은 그림 1과 같이 두 가지 영역, 즉 무리짓기영역과 충돌회피영역으로 나누어져 있다. 비록 이동로봇들간의 중첩현상과 센서비용 등의 문제점들로 인해 위에서 언급한 물리적 가정을 실제로 구현하기는 어려울지 모르나, 주변의 이동로봇들의 상대적인 위치는 초음파나 레이저센서들을 사용하여 얻어질 수 있을 것이며 실제 환경에서 정확히 두 영역을 나누는 것이 불가능 할 지라도 충돌회피영역이 로봇의 속도에 비해 적절히 크다면 크게 문제되지 않을 것이다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션과 실제계와의 차이는 진화나 실제 환경의 샘플링등을 통해 줄일 수 있다. [5]

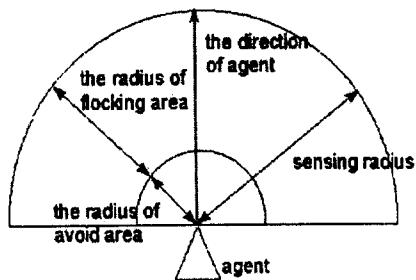


그림 1. 로봇의 센싱 반경

III. 자율 이동 로봇의 행동 유형

자율이동로봇이 행동하는 유형은 4가지가 있으며 각각 다음과 같다.

1. 무작위 움직임

만약 센싱 범위안에 어떠한 개체도 존재하지 않는다면 로봇은 한 스텝에서 움직일 수 있는 최대각안에서 자유롭게 움직인다.

$$\vec{d}(t+1) = \pm \text{random}(LIMIT) \quad (1)$$

여기서 $\vec{d}(t)$ 는 시간 t 에서 로봇의 진행방향이고 LIMIT는 한 스텝에서 움직일 수 있는 최대 제한각이다.

2. 무리짓기

flock영역안에 다른 로봇이 들어왔을 경우에 그 로봇을 따라가야 할지 피해야 할지는 다른 로봇과 거리의 함수이다. 그림 2와 같이 무리짓기영역에 다른 로봇이 들어왔을 경우 다른 로봇에 대한 거리와 위치 정보, \vec{p} 가 시스템의 입력으로 들어온다. 여기서 입력에 적절한 가중치가 곱해진 벡터와 이 벡터에 수직인 단위벡터의 합을 구할 수 있으며 모든 입력에 대해 이러한 과정을 거친 뒤 이들의 합성벡터가 시스템의 출력이 된다. 여기서 합성벡터라는 것은 곧 로봇의 밀도가 높은 곳으로 향하겠다는 것을 의미하게된다. 이의 개념도가 그림 2와 3에 나타나 있으며 이를 표현한 식이 (3)이다.

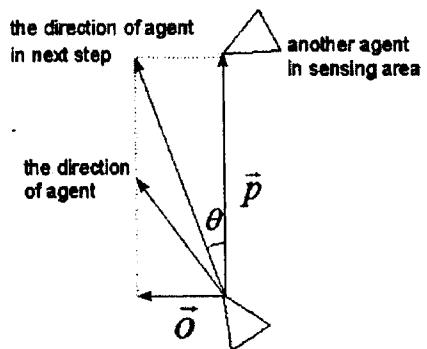


그림 2. 위치벡터 \vec{p} 와 수직벡터 \vec{o} 의 관계

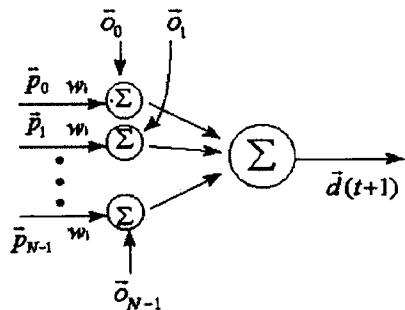


그림 3. 에이전트 i 의 입출력 개념도

$$\vec{d}(t+1) = \sum(w \cdot \vec{p}_i + \vec{o}_i), \quad i=1, 2, \dots, N-1 \quad (2)$$

식 (2)에서 $\vec{d}(t)$ 는 시간 t 에서 로봇의 진행 방향, \vec{p}_i 는 다른 로봇을 가르키는 위치벡터, \vec{o}_i 는 \vec{p}_i 에 수직인 단위벡터이고 N 은 전체 로봇의 개수이다. 여기서 \vec{o}_i 는 2개가 있음을 알 수 있고 만약 다른 로봇이 자신의 오른쪽에 있다면 원쪽을 향하는 수직벡터를 원쪽에 있다면 오른쪽으로 향하는 수직벡터를 선택한다. (아래에서 언급할 장애물을 회피 모드에서는 이와 반대이다.)

여기서의 문제점은 적절한 가중치를 갖는 것이다. 우리가 이상적으로 생각할 수 있는 거리대 θ 의 함수는 그림 4-(a)와 같은 것이지만 실제 무리짓기에서 구현된 거리대 θ 의 함수는 그림 4-(b)과 같은 \tan^{-1} 의 함수로 나타날 것이다.

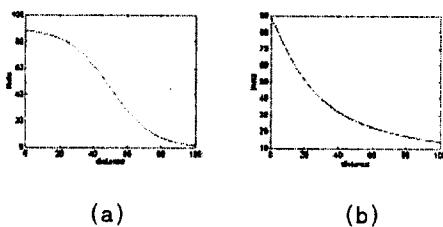


그림 4. (a) 이상적인 거리 vs. θ (b) 실제 거리 vs. θ

여기서 다른 로봇이 센서반경 최외각에 나타났을 경우, $w \cdot |\vec{p}_i|$ 가 갖는 값을 x 라 하면 w 를 결정할 수 있고 거리대 θ 의 함수는 $\tan^{-1}(\frac{1}{w \cdot |\vec{p}_i|})$ 의 곡선이 될 것이다. 따라서

x 값이 커지는 것은 다른 로봇을 따라가는 속성을 강조할 것이지만 반대로 충돌 확률은 더욱 높아진다. 그러나 실제로 x 값이 커지는 것은 다른 로봇을 일직선으로 따라가는 것을 의미하므로 무리를 지울 확률이 더 작아진다.

3. 경계면(장애물) 회피

경계면이나 장애물이 있을 경우는 위의 무리짓기와 거의 흡사하다. 다른점은 수직 단위

벡터의 선택이 무리짓기와의 경우와 반대이며 입력으로 자신의 상태가 들어가는 것이다. 자신의 상태는 오른쪽으로 회전, 왼쪽으로 회전, 장애물 없음 3가지가 있다. 이것은 현재 오른쪽으로 돌고 있다면 진행방향에 경계면(장애물)이 없어질 때까지 오른쪽으로 회전하는 식으로 구현되며 로봇이 장애물을 만났을 경우 한번 선택한 회전방향이 경계면(장애물)을 피할때까지 계속된다는 것을 의미한다. 자신의 상태는 오직 경계면(장애물) 회피모드에서만 설정되고 영향을 받는다.

4. 충돌 회피

충돌회피영역안에 다른 로봇이 들어왔을 경우 다음 스텝에서 진행 방향이 어느 방향일지를 선택하는 것이 중요하다. 여기서는 위험비율을 조사해 가장 안전한 방향을 선택하였다. 위험비율은

$$\text{danger ratio} = 1 - \frac{|\vec{p}_i|}{AR} \quad (3)$$

으로 나타내어진다. 여기서 AR 은 충돌회피 영역의 반경이다. 그림 5은 그 예를 보여 주고 있다.

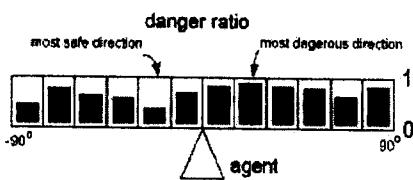


그림 5. danger ratio

로봇이 한 스텝에서 회전할 수 있는 제한각이 있으므로 제한각보다 약간 큰 범위안에 드는 세포들중에서 가장 작은 값을 가지는 세포를 선택해서 그 방향으로 진행한다.

$$\alpha = DIR(\min_{j=0}^{n-1} c[i]) \quad (4)$$

여기서 n 은 세포의 개수이고 DIR 은 각 세포가 대표하는 α 값을 리턴하는 연산자이다. 만일 그 값이 복수일 때는 식 (5)을 수회 반

복한다. 여기서 n 은 세포의 개수이고 m 은 참조하는 이웃세포의 개수이다. v 는 $1 \times m$ 벡터이며 본 논문에서는 $n=12$, $m=3$, $v = [1 2 1]$ 으로 설정하였다.

$$c[i] = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} v[i] \cdot \begin{bmatrix} c[i-m/2] \\ \vdots \\ c[i-1] \\ c[i] \\ c[i+1] \\ \vdots \\ c[i+m/2] \end{bmatrix}$$

$$j=0, 1, \dots, n-1, c[i]=0 \text{ if } i < 0 \text{ or } i > n-1 \quad (5)$$

이것은 자신의 영향을 이웃세포보다 많이 받는다는 것을 의미하고 이러한 과정을 1번씩 반복할 때마다 자신의 영향이 주위의 $m/2$ 세포씩 퍼져나가게 될 것이다. 따라서 식 (5)의 과정을 k 번 시행했다면 i 번째 세포의 영향은 최대 $i \pm \frac{k \cdot m}{2}$ 번째 세포까지 영향을 미칠 수 있다.

IV. 시뮬레이션의 결과

시뮬레이션에서는 자율이동로봇 에이전트들이 동시에 등속도로 이동하며 아래 그림 6-8는 반경 $S=100$, 충돌회피영역 $AR=20$, 개체수 $N=5$, 가중치 $w=0.04$ 으로 설정했을 경우

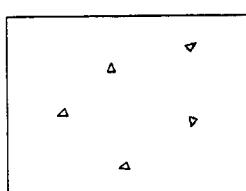


그림 6. 초기상태

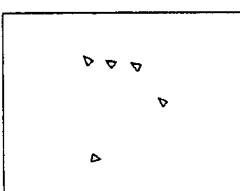


그림 7. 과도상태

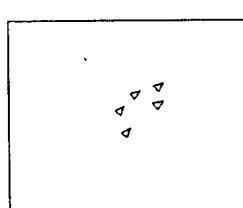


그림 8. 무리짓기상태

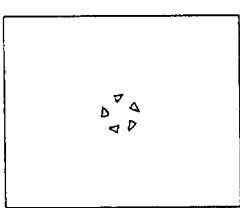


그림 9. 주기운동상태

무리를 형성하는 과정을 보여주고 있다. 그림 9은 무리 형성과정 중 원을 만들며 회전하는 현상이 나타난 것이 보여주고 있다.

V. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 복수의 로봇으로 구성된 자율 분산로봇시스템에서 효율적 전략적 규칙으로 로봇이 무리지어 다니는 모습을 시뮬레이션을 통해 볼 수 있었다. 아직 환경 변화에 따라 진화하는 모습을 보여주고 있지는 못하지만 위에서 미리 정의된 가중치값을 각 에이전트마다 상황에 따라 적절히 변해가는 제어구조로 변화시킴으로써 더욱 효율적인 전략을 세울 수 있을 것으로 기대한다.

VI. 참고문헌

- [1] C. Langton, "Artificial Life" in *Artificial Life*, C. Langton (ed.), Addison-Wesley, pp.1-47, 1989
- [2] R. A. Brooks, "Behavior Humanoid Robotics", *Proc. of Int. Conf. on IROS*, pp.1-8, 1996
- [3] M. J. Mataric, "Designing Emergent Behaviors: From Local Interactions to Collective Intelligence", *Proc. 2nd Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior*, pp. 432-441, 1993
- [4] C. R. Kube and H. Zhang, "Collective Robotic Intelligence", *Proc. 2nd Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior*, pp. 460-468, 1993
- [5] Craig W. Reynolds, "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model", *Proc. of SIGGRAPH*, pp.25-34, 1987
- [6] O. Migliano, H. H. Lund, and S. Nolfi, "Evolving Mobile Robots in Simulated and Real Environments", *Artificial Life*, vol. 2, no. 4, pp. 417-434, MIT Press, 1996