Proceedings of the 12th
KACC, October 1997

다개체 협력 시스템을 위한 비젼 기반 축구 로봇 시스템의 개발

Development of Vision-Based Soccer Robots for Multi-agent Cooperative Systems

심 현 식* 정 명 진 김 홍 수 최 인 환 김 종 환

한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (Tel:(042)869-5448; e-mail: hsshim@vivaldi.kaist.ac.kr)

Abstracts The soccer robot system consists of multi agents, with highly coordinated operation and movements so as to fulfill specific objectives, even under adverse situation. The coordination of the multi-agents is associated with a lot of supplementary work in advance. The associated issues are the position correction, prevention of communication congestion, local information sensing in addition to the need for imitating the human-like decision making. A control structure for soccer robot is designed and several behaviors and actions for a soccer robot are proposed. Variable zone defense as a basic strategy and several special strategies for fouls are applied to SOTY2 team.

Keywords Soccer Robot, Multi-agent System, Vision-based, Variable Zone defense

1 서론

본 논문에서는 **지능 제어와 다개체 시스템을 위한 제어 구조를 설계하고, 이를 지능제어와 다개체시스템의 협력 연구의 적용 예로써 좋은 예제인 로봇 축구에 적용한다.** 이를 위하여 로봇 축구 경기는 다개체시스템의 연구중 독특한 분야로 나누어 질수 있다. 대부분의 다개체시스템의 연구 방향은 협력작업에 관한 것에 집중되어 있으며, 폐기물처리 같이 순수하게 협력만을 요구하는 연구가 적용예로써 이루어지고 있다. 그러나 축구경기는 같은 팀끼리의 협력을 요구할 뿐만 아니라 상대팀과의 경쟁도 요구하고 있다는 것이 큰 차이점이다. 이러한 점때문에 단순히 협력용으로서 연구되어 왔던 제어구조와는 다른 접근 방법이 필요할 것이다. 축구 로봇과 관련된 기존의 연구들 [1][2]은 대부분 일 대 일 경기나 컴퓨터 시뮬레이션으로 여러대 로봇의 경기를 수행하였으나 이번 논문에 제안된 제어구조들은 3 대 3경기의 실제 로봇에 구현된다.

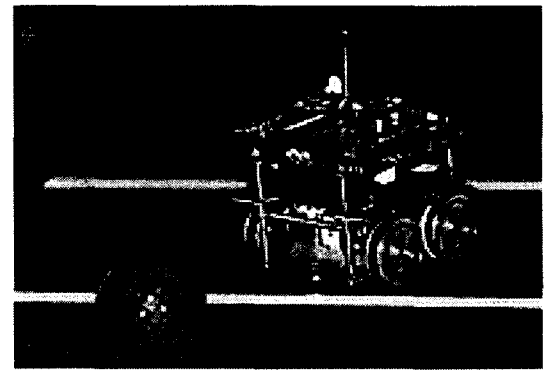

그림 1: 축구 로봇 SOTY 2

2 제어 구조

그림 2은 축구 로봇 시스템을 위한 기본 구조이다. 이 기본 구조는 앞장에서 설명한 세가지 축구 시스템 모두에서 구현될 수 있다. 나중에 설명되겠지만 협력작업을 위해 필요한 통신에 관련되서 구현이 쉽게 될 수 있는가, 아닌가에 따른 성능의 차이가 있을 수 있다는 것이다. 그러나 대부분의 성능은 비슷하게 구현될 수 있다.

그림 2을 보면 알수 있듯이 CCD 카메라를 통해 들어온 경기장의 상황은 영상처리 시스템에서 처리된 후 **공의 위치, 자기 로봇의 위치와 방향, 상대방 로봇의 위치정보**가 나오게 된다. 이후에 각 로봇을 제어하기 위하여 처리되는 구조가 어느 곳에서 어떻게 구현되는 가에 따라 세가지중

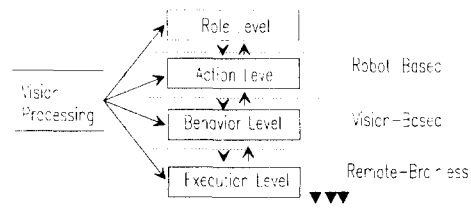

그림 2: 로봇 축구 시스템의 전체 제어 구조

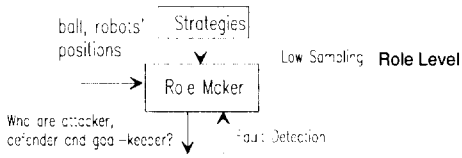

그림 3: Role Level의 구조

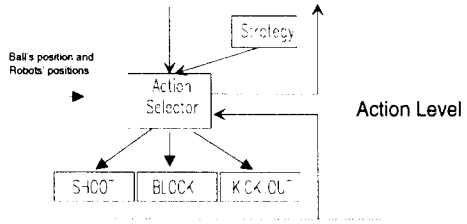

그림 4: Action Level의 구조

한 방식이 된다 [3].

제안한 제어구조는 지능제어 구조가 갖추어야 할 구성요소 [4]를 갖추도록 구성하였다. 축구 경기처럼 공과 상대팀의 로봇이 빨리 움직이는 매우 역동적인 환경에서는 학습등을 통해 모든 상황을 예측하도록 환경을 모델링을 하는 것은 아주 많은 경기를 통하지 않고는 힘든 일이다. 그러므로 사람이 구현한 규칙과 짧은 시간의 학습을 통해서도 좋은 결과를 얻어내야 한다. 특히 역동적인 환경이 축구 로봇 시스템을 구현하는 데 있어서 어려운 점이 된다. 대부분의 경우, 처음에는 한대의 로봇에 대해 공을 세워 넣고 슛이나 방어등의 행동을 하도록 제어기를 구성한 후 만족스럽게 움직이게 되면 같은 팀 로봇들만 올려 놓고 전술을 만든다. 그러나 실제 경기를 하게 되면 상대팀이 없을 때와는 판이하게 틀린 상황이 발생하기 때문에 원하는 전술등이 제대로 구사되지 않게 된다. 특히 공의 위치나 공의 움직임에 대하여 반응을 하도록 구성하는데 공을 자기 팀만 건드리는 것이 아니라 상대팀도 건드릴 수 있기 때문에 전혀 예상치 못한 일들이 발생할 수 있게 된다. 특히 공을 슛하거나 방어임무를 수행하는 도중 상대편의 로봇이 근처로 빠른 접근을 하기 때문에 수행 임무를 중단하고 새로운 임무를 수행해야하는 경우가 생긴다. 그러나 상위 레벨의 일을 결정하는 곳에서의 반응이 느리므로 지능제어에서 요구되는 외부 환경 변화에 반사적인 행동이 필요하다. 제안한 제어구조도 이러한 점을 반영하여 하위레벨에서 반사적인 행동 (reactive behavior)를 하도록 구성하였다.

3 Role Level

제안한 제어구조는 계층적으로 구성되었다. 맨 상위 계층은 협력 작업을 위해 구성된 부분으로 세대의 로봇이 각각의 기본 능력을 가지고 있을 때 축구 경기에서 승리 하는 것을 목적으로 원할한 경기를 운영하도록 한다. 그림에서 보면 영상시스템에서 처리된 정보와 하위레벨에서 보낸 정보, 그리고 사용자(감독)가 정의한 전술에 따라 각 로봇이 **어느 역할을 할 것인지를 결정하는 role maker**가 있다. 이부분은 다음에 소개될 하위레벨에서의 action selector나 coordinator와 유사한 기능을 하는 곳으로 각 개체간의 의견 충돌을 방지하는 곳으로 생각할 수 있다.

Role maker가 있음으로써 얻어지는 **장점**은 다음과 같다.

- 신뢰도나 작업완성도, 성취도 (축구경기에서는 득점)가 개선될 수 있다.
- 다른 개체의 행동양식을 modeling하기가 쉬워진다.

4 Action Level

이 레벨에서는 **주어진 역할에 따라 목적을 이루기 위해 여러가지 할수 있는 일들 중 그 개체가 제일 적합한 것을 선택**하도록 한다. 이 레벨을 구현하는 목적은 모든 개체가 동일한 능력을 가지고 각각이 우수한 개체가 되도록 하여 신뢰도 및 일의 성취도를 배가시키기 위한 것이다. 협력 작업이 수행되는 도중 한대의 로봇이 고장이 난 경우, 고장난 로봇에게 많은 능력이 부여 된 경우에는 원하는 목적을 이루기 어려울 것이다. 만약 개체들이 구조적으로 이질적인 경우에는 할 수 없지만 그렇지 않으면 지능구현에서 개체들을 의도적으로 이질적으로 만들 필요는 없을 것이다. 사람들에게는 기본적인 교육을 통해서 얻어진 공통적인 지식이 있고 전문적인 교육을 통해 얻은 지식을 가지게 되며 그에 따라 사람의 능력, 직업이 틀려지게 된다. 이러한 점을 고려해서 다개체 시스템에서도 모든 개체에게 공통적인 지능을 부여하고 그 개체들 스스로 또는 사람이 의도적으로 분화시켜 주어진 역할을 하도록 하는 방법은 합리적일 것이다.

4.1 Action selector

그림 4처럼 action level에는 action selector가 있어**각 개체가 수행할 수 있는 여러가지 작업 (task)중 그 상황에 적절한 것을 선택**하도록 한다. 이 action selector는 외부로 부터 들어온 정보, strategy와 하위레벨로부터의 정보를 이용하도록 구성한다. 외부에서의 정보는 모든 레벨에 공통적으로 들어가는 것으로 축구 로봇 시스템에서는 영상 처리된 공의 위치, 로봇의 위치에 대한 정보이다. 여기서 strategy는 상위 레벨의 strategy와 비슷한 일을 하지만 구성되는 방법이나 규칙등은 판이하게 틀리다. Role level에서의 strategy는 경기 운영을 위한 전략이 구현되게 되며 여러가지 전략들이 데이터베이스 형식으로 구성되어 상대팀의 전략에 따라 대응 할수 있게 구성한다. Action level에서의 strategy는 **기본 전략이나 상위 레벨이 없는 경우에 대비하여 기본적인 협동 전술등을 구사할수 있게 구성**한다. 또한 역할에 따른 기본적인 위치, 금지될 행동 같은 상세 전술등이 구현된다. Action selector의 출력은 주어진 작업중 하나만 선택하도록 값이 나온다.

모든 로봇에 똑같게 구현되는 제어구조이지만 각 개체의 행동을 틀리게 만드는 것은 상위레벨에서의 주어진 역할에 따른다. action selector에서 개체의 일을 선택할 때 주로 행할 일의 선택 비중을 주어진 역할에 따라 더 높게 만듬으로써 각 개체가 다른 일을 선택하게 할 수 있다.

5 Behavior Level

축구 로봇 시스템에서는 단지 2개의 behavior [3]로만 이루어져 있다. 이 레벨에서의 behavior는 **개체의 기본적인 행동을 하도록 구성되며 환경 변화에 민첩하게 대응하도록 하기 위한 반사 행동 (reactive behavior)** 개념이 구현된 곳이다. 이 시스템에서는 장애물 회피 행동이 반사 행동을 하도록 구성되었다. Move behavior는 상위 레벨에

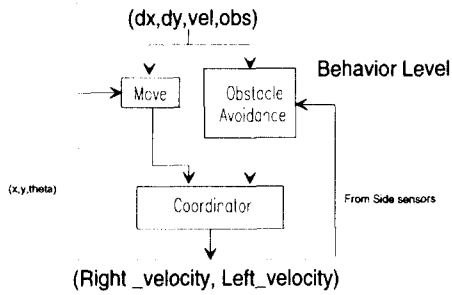

그림 5: Behavior Level의 구조

서 내려온 명령을 수행하도록 구성되었으나, 장애물 회피 행동은 상위 레벨에서의 명령은 단지 회피 행동을 할 것인지 안할 것인지의 명령만 받는다. 축구 경기 같은 역동적인 환경에서 실시간으로 상위레벨에서 움직이는 물체에 대해 장애물 회피를 하도록 구성하는 것은 매우 어려운 일이다. 대체적으로 상위레벨에서의 sampling time은 느린 편이므로 순간적인 환경 변화에 느리게 반응할수 있다. 그러므로 이러한 행동은 하위레벨에서 행해지게 되며 특히 다른 행동과 병렬적으로 처리되어 빠른 응답을 보여 주어야 한다. 이 레벨에서의 구현된 **behavior는 외부에서 들어온 영상 처리시스템의 정보를 이용하는 것보다는 내부에 구현된 센서데이타를 주로 이용한다**. Move behavior는 거리 계산을 위해 엔코더를 사용하며 장애물 회피 행동은 장애물 감지용 센서를 사용한다.

6 Execution Level

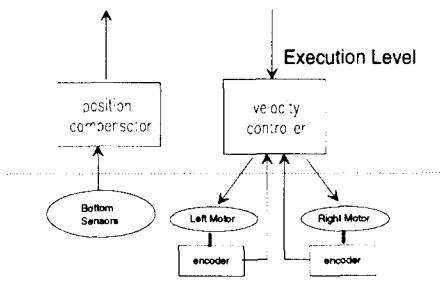

그림 6: Execution Level의 구조

이 레벨은 **실제 구동기를 제어하고 센서를 구동하여 원하는 정보를 얻어내는 제어기**가 구현된 곳이다. 이 레벨에서의 sampling time은 제일 빠르며 이용되는 제어 규칙도 실제 plant에서 구현되는 많은 방법들이 적용되는 곳이다. 이곳에는 상위레벨에서 보낸 좌우 속도 명령을 따라가는 **속도제어기**와 로봇의 위치를 보정하기 위한 **위치 보정기**가 있다. 위치 보정기는 robot-based soccer system에서만 사용되며 다른 방식의 시스템에서는 사용되지 않는다. 추측항법에 의존해서는 이동시의 오차 누적때문에 오랜 이동후에는 위치가 정확하지 않게 되고 충돌이 발생한 경우에는 위치 오차가 커지게 된다. 영상처리 시스템에 의한 오차보정은 robot-based에 근거한 방식에서는 자주 하지 않으므로 자체적인 오차보정기가 있어야 한다.

7 전술

앞에서 설명했듯이 Role Level과 Action Level에는 전략이 구현된다고 하였다. 그중에서도 Action Level에 구현되는 전략은 Role Level 없이도 경기가 수행될 수 있게 하기 위한 기본전술이 구현되어야 한다.

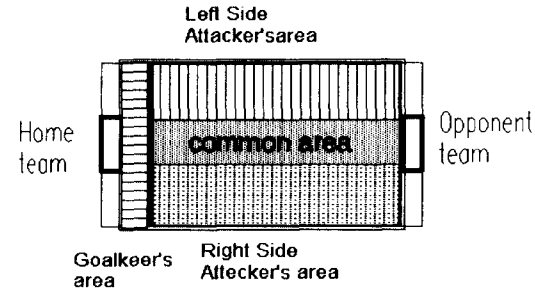

그림 7: The areas assigned to robots. These can change according to strategies.

처음에는 지역방어의 개념이 사용되었다. 각 로봇에게는 공격수, 수비수, 골키퍼같은 역할이 할당된다. 그리고 그림 7과 같이 각 역할에 따라서 그 자신의 영역을 가지게 된다. 그리고 각 로봇은 볼이 자신의 영역에 있을때 여러가지 행동중에서 적당한것을 선택하여 행동하도록 하고 다른 로봇은 공과 관계없는 행동을 하도록 하였다. 개발초기에 지역방어의 개념은 구현하기 쉬우면서 협력작업이 요구되는 축구 로봇 게임에서 발생되기 쉬운 일수행의 갈등을 쉽게 해결할수 있는 방법이었으나 많은 경기 결과, 이 전술은 두가지 문제점이 있다는 것을 알게 되었다:

i) 로봇이 상대로봇에 의해 가로막혔을때, 우리편 로봇은 움직일 수 없게 되고 게임은 정지상태에 있게 된다. 볼이 상대편의 영역에 있고, 공격수가 움직일수 없게 되면, 우리편의 다른 로봇들은 정지해 있으므로 결국 상대편만 유리하게 된다. ii) 볼이 영역의 경계선에서 있게 되면, 두 로봇이 비슷한 행동을 하게 되고 결국 우리편끼리의 충돌등이 발생하여 불리한 상황이 발생된다.

위의 두가지 문제점때문에 지역방어의 개념을 그자신의 영역에 있는 로봇에게 행동의 우선 선택권을 주고 다른 로봇들은 우선권이 있는 로봇이 선택한 행동을 제외한 행동을 선택하도록 하는 **수정 지역방어 (modified zone defense)**의 전술을 만들어 적용하였다. 예를 들면, 골키퍼 로봇은 골키퍼의 지역에서 최상위 우선권을 가지게 되고 다른 로봇들은 골키퍼의 행동과 갈등을 일으키지 **않는** 행동을 선택하게 한다.

수정 지역방어의 전술로 위의 두가지 문제점이 다해결된 것은 아니었다. 상대편에 의하여 움직이지 못하는 경우에는 별 문제점이 안되었으나 우리 로봇이 고장이 난경우에는 고장난 로봇의 영역에 공이 있을 경우 상대편에게만 유리하게 되었다. 경기중에 많은 충돌과 로봇의 노후 상태, 전지 방전정도, 무선 통신의 장애등으로 인해 로봇이 가끔 오동작이나 작동 불능인 상태가 경기를 해감에 따라 자주 발생하였고 게임 내용에 악영향을 미치는 경우가 많았다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Role Level의 상위 제어기에서 로봇의 작동여부에 따라 정상적인 동작을 하는 로봇에게 역할을 부여하도록 구성하였다. 만약 골키퍼로봇이 동작을 하지 않게 되면 우리편한테는 절대적으로 불리한 상태가 되므로 동작중인 두대의 로봇중 한 로봇에게 골키퍼 로봇의 역할을 맡기고 나머지 한 로봇이 전영역을 맡도록 영역을 조정시켰다. 이처럼 로봇의 상태에 따라 로봇의 역할을 바꾸고 영역을 바꾸어 나가는 전술을 **가변 지역방어 (variable zone defense)**라고 정의했다.

Action Level에 구현된 기본전술을 이용해서 어느 정도의 협동을 보장받을 수 있었으나 효율면에서는 좋지 않았기 때문에 Role Level의 역할 바꾸기를 통해서 성능을 향상시켰다. Role Level의 전략은 상대팀의 특성에 따라 대응할 수 있게 데이타 베이스화하여 구현을 하였다. 상대팀의 전력이 떨어진다고 판단되면 두대의 로봇이 주로 공격 역할을 하도록 유도하게 하였고, 동등하거나 불리한경우에는 한대는 공격, 한대는 수비 또는 두대다 수비등의 역할을 하도록 만들었다. 상대팀의 전력, 경기의 중요도(결승인가?, 예선인가?), 점수차 (이기고 있는가?, 지고 있는가?)등에 따라 구사되는 전략도 달라져야 한다. 그러나 현재 이런 상황을 로봇 스스로 구별하여 적용할 수 있게는 못하였기 때문에 데이타베이스화하여 운영자가 적절히 선택하여 운용할 수 있게 구성하였다.

8 프리킥이 발생했을때의 경기결과

로봇 축구 경기에는 실제 경기처럼 반칙이 있고 그것에 따른 벌칙이 선언되게 된다. 상황에 따라 페널티킥, 프리킥, 프리볼, 골킥등의 네가지 반칙이 선언되면 각 팀들은 규칙에 따라 로봇을 놓고 경기를 재개하기 시작한다. 이런 경우에 일반적인 전략을 사용하는 것보다는 그 상황에 맞는 좋은 전략이 따로 있는 것이 좋을 것이다. 실제 축구 경기에서 세트 플레이라고 하는 것이 이에 대응될 것이다. 이러한 전술이 없는 경우보다는 좋다는 것이 실제 경기에서 명백히 드러났다. 페널티킥, 프리킥시 수비인 경우에 **여러가지 전술을 만들어 대응시킨 결과 많은 공식 경기을 통해 성공적인 수비 결과를 보여주었고** 상대팀이 같은 방법을 사용하지 않은 경우 손쉽게 골을 넣을 수 있었다. 그림 8은 경기중 일부의 사진을 모아놓은 것으로 실제 영상처리 시스템에서 경기장을 잡아 처리할때 사용하는 화면을 알아보기 쉽게 처리한 것이다. 두팀을 서로 구별하기 위해 로봇의 윗면에 칼라 유니폼을 올려 놓았으며 각 팀의 유니폼은 팀색깔과 로봇 고유의 색깔, 두가지를 이용해서 로봇을 식별할 수 있게 되어 있다. 그림들은 한 팀이 반칙을 범해서 프리킥이 선언된 경우 이후의 경기장면을 모아놓은 것이다. 첫번째 그림은 정해진 규칙 대로 로봇과 공이 놓여진 것을 보여주고 있다 (1). 경기가 재개되서 두번째 그림 이후에 경기가 전개되는데, 공격을 하는 팀은 앞에 공이 있고 공이 슛가능 위치에 있기 때문에 슛을 하게 된다(2). 수비팀은 이 상황에서는 프리킥 수비 전술에 따라 먼저 중심으로 모여서 공을 막게 된다(2)(3). 그후 장면에서는 공을 중심으로 로봇이 모이게 되는데 공격팀인 경우에는 일반적인 전술에 따라 동작하게 된다(3-10). 그리고 수비팀은 아직 수비전술상황이고 로봇이 공주위에 모여있기 때문에 역할 바꾸기가 작동을 안한다(2-3). 그리고 두 로봇다 KICK OUT의 action이 발생하도록 되있기 때문에 둘중의 한 로봇이 걷어내게 된다(4). 공이 위험지역으로 벗어나게 되면 수비팀의 전술은 일반 전술로 돌아오게 되고 정상적인 경기모드로 전환된다(5-10).

9 결론

지능 제어와 다개체 시스템을 위한 제어구조를 설계한 후 실제 제작된 로봇에 적용시켜 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 제작된 로봇은 로봇 축구 시스템에서 구현하기 어려운 robot-based soccer robot system의 개념에 맞추어 설계했기 때문에 자율 이동 로봇연구에도 적용될수 있다. 본 논문에서는 개발의 용이성때문에 robot-based방식보다는

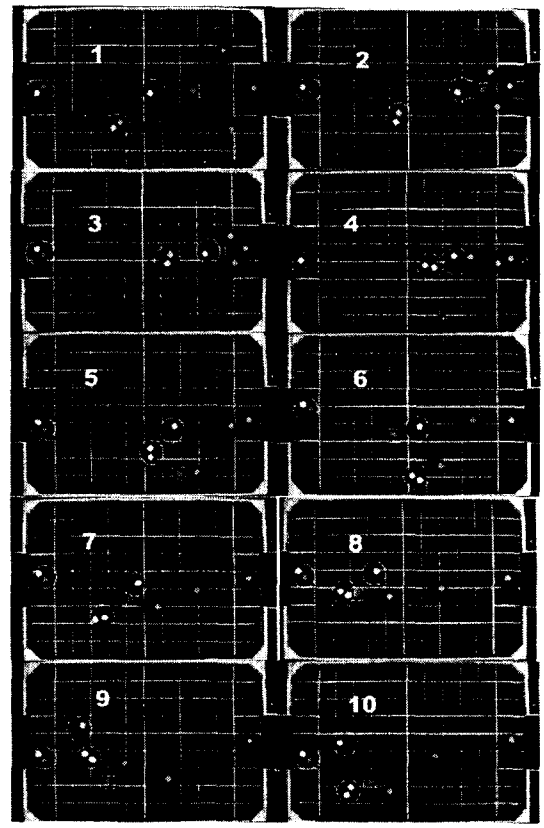

그림 8: 프리킥인 경우:흰색의 원이 그려진 로봇은 같은 팀이며 사각형이 그려진 부분은 공이다.

vision-based soccer robot system의 개념에 맞추어 구성되었고, 이 시스템에 제안한 제어구조를 적용하였다.

참고문헌

[1] M.K Sahota, A.K. Mackworth, S.J. Kingdon and R.A. Barman, "Real-time Control of Soccer playing Robots Using off-board vision:the Dynamic Test bed," *IEEE proc. Int. Con. Robots and Auto.*, pp. 3690-3693, Japan, 1995.

[2] M. Asada, E. Uchibe, S. Noda, S. Tawaratsumida, and K. Hosoda, "Coordination of multiple behaviors acquired by vision-based reinforcement learning," *Proc of IEEE/RSJ/GI Int. Conf. on IROS'94*, Nov. 1996.

[3] J.-H. Kim, H.-S. Shim, H,-S. Kim, M.-J. Jung, I.-H. Choi and K.-O. Kim, "A Cooperative Multi-Agent System and Its Real Time Application To Robot Soccer," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Ro. and Auto.*, Albuquerque, New Mexico, April 1997.

[4] 김 종환, 심현식, 지능제어의 새로운 연구 동향, 전기학회지 제 44권 제3호 1995년 3월.