
퍼지 상태 공간 분할 기법을 이용한 지능형 태양광 추적시스템 설계

김관형*

Designed of Intelligent Solar Tracking System using Fuzzy State-Space Partitioning Method

Gwan-Hyung Kim*

요 약

태양광을 이용한 태양광 발전시스템은 태양을 정면으로 바라 볼 때 가장 큰 효율을 얻을 수 있다. 즉, 태양의 위치에 대한 집광판(PV; Photovoltaic)의 법선벡터를 일치시켜야 가장 높은 효율을 얻게 된다. 본 논문에서는 시간의 변화에 따라 태양의 이동경로를 추적할 수 있도록 태양의 그림자를 관측할 수 있는 8개의 CdS 센서 모듈을 통하여 태양의 위치를 관측하여 태양의 위치를 추적할 수 있는 시스템을 제시하고자 한다. 태양광 추적시스템의 퍼지제어기(fuzzy controller)는 퍼지 입력공간에 대한 격자형 퍼지분할(grid-type fuzzy partition) 영역으로 분할한 후 퍼지규칙(fuzzy rule)을 수립하여 시스템을 제어하도록 설계하였다. 본 논문에서는 태양광 추적을 위한 간단한 모형의 2축 제어시스템을 구성하였으며, CdS 모듈의 좌표축과 집광판의 좌표축을 일치시키도록 구성하였다. 이러한 시스템은 고정된 장소 및 선박과 같은 이동하는 환경에 효과적으로 태양광을 추적할 수 있는 지능형 퍼지제어기의 적용가능성을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

In photovoltaic(PV) system, for obtaining maximum efficiency of solar power systems, the solar tracking system must be controlled to match position of the sun. In this paper, we design the solar tracking system to track movement of the sun using CdS sensor modules and to determine direction of the sun under shadow of directions. In addition, for an intelligent computation in tracking of the sun, a fuzzy controller is allocated to space available for splitting area of fuzzy part for the fuzzy input space(grid-type fuzzy partition) in which a fuzzy grid partition divides fuzzy rules bases. As well, a simple model of solar tracking system is designed by two-axis motor control systems and the 8-direction sensor module that can measure shadow from CdS sensor modules by matching of axis of CdS modules and PV panels. We demonstrate this systems is effective for fixed location and moving vessels and our fuzzy controller can track the satisfactorily.

키워드

퍼지 상태 공간 분할, 태양광 추적시스템, 2축 모터 제어, CdS 센서

Key word

Fuzzy state space partition, Sunlight Tracking System, 2-axis motor control, CdS sensor

* 종신회원 : 동명대학교 컴퓨터공학과 교수 (taichiboy1@gmail.com)

접수일자 : 2011. 08. 04

심사완료일자 : 2011. 08. 24

I. 서 론

태양광 발전 시스템은 환경 친화적이고 소음이거나 대기오염이 없으며, 화석연료와는 달리 고갈될 염려가 없는 순수한 자연 에너지원이라 할 수 있다. 다만, 에너지원이 태양광의 일사량이라서 야간, 흐린 날, 우천 시에는 사용이 불가능한 단점과 대 전력을 얻기 위해서는 넓은 면적에 많은 수의 집광판(Photovoltaic)을 필요로 하는 단점이 있다. 또한, 기존의 많은 태양광 발전시스템은 대부분 건물의 옥상에 설치되어 한 곳만을 지향하고 있지만, 최근에는 태양의 위치를 추종하기 위해서 트래커(tracker)라고 하는 기구부를 이용한 추적형 발전시스템으로 설계하여 태양광 발전시스템을 구성하고 있다. 여기에 사용되는 일반적인 트래커는 방위각(azimuth)과 고도각(elevation)을 동시에 추적하는 2축 추적시스템이 일반적이다.[1]

본 논문에서는 최대의 발전 효율을 내기 위해서는 집광판의 법선벡터(surface normal vector)와 태양의 위치를 일치시키기 위하여 8개의 CdS 센서를 원형으로 설계하여 각각 센서에 대한 8개의 그림자 방향을 측정하여 태양의 위치에 대한 방향을 판단하도록 하였다. 추적시스템의 제어는 태양광에 의해 생성되는 그림자가 없으면 집광판의 법선벡터와 태양의 위치가 일치한 것으로 판단하여 제어를 완료하게 된다. 이러한 기능을 수행하기 위한 퍼지제어 알고리즘은 퍼지 상태 공간 분할 기법을 이용하여 제어알고리즘을 구현하였으며, 시간과 계절에 따라 변하는 태양의 위치 좌표에 대하여 적용할 수 있도록 하였다. 또한, 선박과 같이 이동을 요구하는 장소에도 적용할 수 있는 지능형 퍼지제어 알고리즘을 제한하며, 실험의 결과를 통하여 8개의 CdS 센서를 통한 그림자 정보를 이용하여 태양의 위치(방위각, 고도각)에 대응하는 정보를 충분히 파악하여 제어할 수 있음을 제시하고자 한다.[2][3]

II. 연구 배경 및 태양광 추적 시스템

태양의 고도각(θ)의 정의는 태양과 집광판 지점을 연결하는 선분이 지구 표면과의 이루는 각을 의미하며, 태양의 방위각(ρ)은 현재 태양의 위치를 지표면에 투영된

태양의 위치와 집광판과의 직선과 정북과 이루는 각으로 정의한다.[4]

본 논문에서는 이상과 같은 복잡한 이론과 계산과정을 거치지 않고 태양광에 의해 발생하는 그림자를 이용하여 쉽게 태양의 위치를 검출할 수 있는 태양광 추적 센서모듈을 설계하여 태양광 발전용 집광판과 평행이 되도록 태양광 추적 센서모듈을 구성하여 그림 1와 같이 시스템을 구성한다.

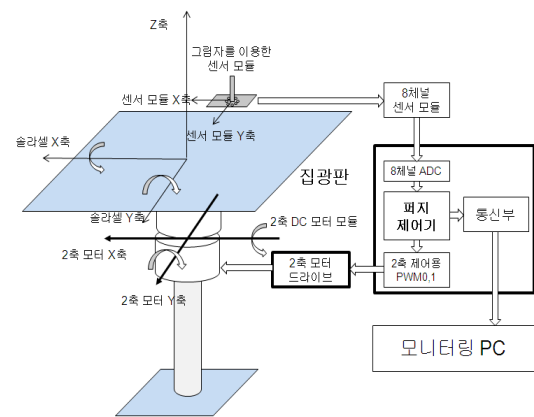


그림 1. 태양광 추적 시스템의 구조
Fig. 1 Structure of the sunlight tracking system

이러한 집광판과 센서모듈의 좌표를 일치시킨 하나의 모듈의 특징은 태양의 위치와 집광판의 법선벡터와 일치하지 않을 때에는 어느 한쪽으로 그림자가 발행하게 된다. 이때 그 그림자를 통하여 태양의 수평 위치에 대한 정보를 판단하고, 또한 그림자의 길이 정보를 이용하여 태양의 고도각에 해당하는 정보를 파악하여 2축 제어시스템을 제어한다. 만약, 퍼지제어기의 제어를 통하여 태양의 위치와 집광판의 법선벡터가 일치하게 되면 CdS 센서 모듈에 그림자가 발생하지 않게 되어 제어를 완료하게 된다.

III. Fuzzy 상태 공간 분할 및 태양광 추적 시스템 모델링

퍼지제어기의 특징은 태양광 추적시스템과 같은 복잡한 수학적 모델에 대한 비선형 고차 미분방정식을 풀

지 않고 제어알고리즘을 설계할 수 있는 특징이 있다. 즉, 집광판의 법선벡터에 대한 오차를 8방향에 대한 언어적 오차 변수로 표현하여 제어량에 대한 제어규칙을 언어적 변수로 표현하여 태양광 추적시스템에 적용할 수 있는 것이다.

본 논문의 퍼지제어기 설계를 위하여 2차원 입/출력 공간을 3x3 퍼지 부분공간으로 나누었으며, 센서번호에 대한 입력공간과 출력공간을 위한 퍼지공간으로 분할하였다. 그림 2의 원으로 표현된 센서번호(0~7)는 2차원 공간의 센서 데이터에 대한 입력 퍼지 상태공간을 정의하였다. 또한, 그림 2의 사각형 부분은 실제 2차원 퍼지 상태공간(0~10)에 대한 퍼지 제어출력 및 퍼지 제어 전략을 제시하였다.

x축과 y축에 해당하는 퍼지 출력변수는 퍼지제어기의 일반화를 위하여 스케일 팩터(scale factor)를 통하여 (-1,-1)~(1,1)로 정규화하여 적용하였다. 실제 시스템의 제어출력은 PWM 출력의 듀티비(duty rate)로 재 맵핑(mapping)하여 사용하였다. 그림 2의 원형 부분에 해당하는 언어적 변수는 퍼지 상태 공간에 대한 PWM_x, PWM_y의 출력변수에 해당되는 언어적 변수를 격자형 외부에 표현하였으며 x축, y축에 대한 출력 멤버십 함수(membership function)를 의미한다.

이러한 격자형 퍼지 분할은 퍼지규칙을 쉽게 만들 수 있다.

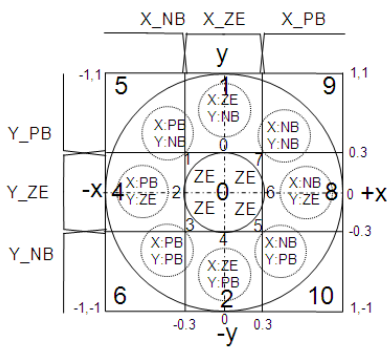


그림 2. 퍼지 상태 공간 분할에 대한 퍼지규칙
Fig. 2 Fuzzy rule for fuzzy space-space partitioning

본 논문에 사용한 태양광 추적시스템의 시스템 블록 다이어그램은 그림 3과 같다.

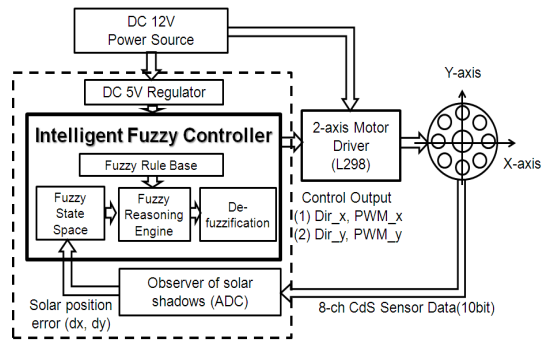


그림 3. 퍼지 제어시스템 구성도
Fig. 3 Structure of fuzzy control system

그림 3의 태양 위치에 대한 오차 dx는 태양의 수평 오차각, dy는 태양 고도 오차각을 의미한다. 이러한 (dx, dy)에 대한 오차각의 정의는 그림 2를 근거로 입력되는 모든 센서의 평균값과 각 개별 모듈의 차이값을 이용하여 최소가 되는 센서를 파악한다. 파악된 최저값 센서번호는 그림 2와 표 1을 통하여 퍼지 상태공간으로 정의한다. 즉, CdS 센서 모듈에 의한 그림자 발생 위치와 그림자 길이 정보를 이용하여 그림 2의 퍼지규칙을 통하여 제어할 수 있다.

본 논문에 적용된 퍼지제어기의 입력변수에 대한 언어적 표현과 퍼지제어기의 퍼지 상태공간에 대한 규칙을 표 1에 제시하였다. 이러한 퍼지제어기의 제어규칙은 복잡한 플랜트의 미분방정식을 요구하는 기존의 제어방식과 달리 사람의 추론으로 제어할 수 있는 제어방식을 퍼지제어기의 언어적 변수로 표현하여 간단하게 제어전략을 수립할 수 있으며 성능 또한 우수하다고 알려져 있다.[4]

특히, 표 1은 8개의 센서 번호에 해당하는 모든 센서를 퍼지제어기의 언어 변수로 표현하여 퍼지 상태공간으로 사상시켜 퍼지제어기의 출력을 생성하게 될 퍼지규칙을 생성하는데 표 1을 활용할 수 있다.

표 2는 표 1의 퍼지 상태공간에 대하여 출력변수인 2축 DC 모터의 제어규칙을 언어적 변수로 정의한 부분이다.

표 1. 센서 번호와 퍼지 공간과의 관계
Table. 1 The relationship between sensor number and the fuzzy space

센서 입력에 대한 언어적 변수	퍼지 상태 공간
“0~7번까지의 센서값이 평균값과 모두 비슷하다”	0
“0번 센서값 < 평균치” and “0번 센서를 제외한 나머지 센서값이 평균과 비슷하다”	1
“4번 센서값 < 평균치” and “4번 센서를 제외한 나머지 센서값이 평균과 비슷하다”	2
“2번 센서값 < 평균치” and “2번 센서를 제외한 나머지 센서값이 평균과 비슷하다”	4
“1번 센서값 < 평균치” and “1번 센서를 제외한 나머지 센서값이 평균과 비슷하다”	5
“3번 센서값 < 평균치” and “3번 센서를 제외한 나머지 센서값이 평균과 비슷하다”	6
“6번 센서값 < 평균치” and “6번 센서를 제외한 나머지 센서값이 평균과 비슷하다”	8
“7번 센서값 < 평균치” and “7번 센서를 제외한 나머지 센서값이 평균과 비슷하다”	9
“5번 센서값 < 평균치” and “5번 센서를 제외한 나머지 센서값이 평균과 비슷하다”	10

표 2. 퍼지 상태 공간과 퍼지 제어 출력과의 관계
Table. 2 The relationship between the fuzzy state space and fuzzy control output

퍼지 상태 공간	x축 출력 언어변수	y축 출력 언어변수
0	ZE	ZE
1	ZE	NB
2	ZE	PB
4	PB	ZE
5	PB	NB
6	PB	PB
8	NB	ZE
9	NB	NB
10	NB	PB

그림 4와 그림 5는 본 논문의 실험에 적용된 퍼지 입력변수와 퍼지 출력변수 및 퍼지규칙을 MatLab Tool Box를 이용하여 제시하였다.



그림 4. 퍼지 제어기의 입력변수 및 x-축 출력 변수
Fig. 4 Fuzzy controller input variables and the x-axis of the output variable.

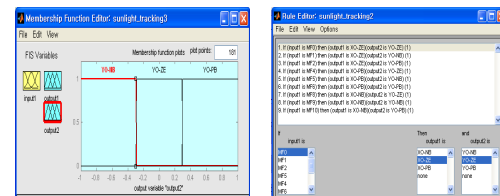


그림 5. 퍼지 제어기의 y-축 출력 변수 및 퍼지규칙 집합
Fig. 5 Y-axis output variables of fuzzy controller and fuzzy rule

퍼지규칙은 그림 2와 표 1, 표 2를 근거로 작성하였다. 퍼지제어기의 제어규칙 설계는 한 개의 퍼지공간에 대한 한 개의 퍼지규칙이 존재하며, 퍼지 상태공간으로 분할된 9(3x3)개의 공간에 대하여 총 9개의 퍼지규칙을 사용하였다. 또한, 실제 8-bit 프로세서인 ATmega128의 C-언어의 구현은 정수 연산과 프로그램의 편리성을 위하여 사다리꼴 멤버 함수를 사용하였다. 퍼지제어기의 추론 방식은 일반적인 맘다니(Mamdani) 방식의 “Max-min” 추론 방식을 채택하였으며, 비퍼지화(defuzzify)는 계산은 속도와 프로그램의 편리성을 위하여 최대값 선택 방식(maximum select method)을 사용하였다. 또한, 비퍼지화를 통한 퍼지제어기의 제어 출력은 2축 DC 모터 드라이버의 제어입력인 PWM_x, PWM_y의 듀티비이며, x, y의 제어 방향은 비퍼지화 출력값의 부호에 의해 제어 방향을 결정하였다.

본 논문에서 적용된 퍼지제어 알고리즘의 흐름도는 그림 6과 같다. 밤과 낮의 판단은 8개의 CdS 센서값의 계측을 통하여 전체적인 평균값을 구하여 밤과 낮을 판단하며, 낮의 경우 태양광을 추적하기 위하여 개별 센서에 대하여 평균값과의 차이를 계산하여 (dx, dy)에 해당하는 퍼지 상태공간을 활용하는 전체적인 알고리즘

을 제시하였다.

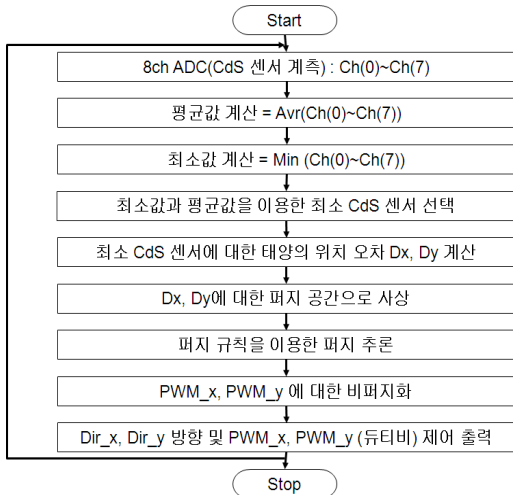


그림 6. 태양광 추적시스템의 2축 퍼지제어 알고리즘
Fig. 6 Fuzzy control algorithm of 2-axis sunlight tracing system

IV. 실험 및 고찰

본 논문의 실험은 그림자를 이용한 센서모듈의 기준 좌표와 집광판의 기준좌표 및 2축 DC 모터 구동부의 기준좌표를 정확하게 일치시켜 태양광 추적시스템을 구성한다. 2축 DC 모터의 구동용 CPU는 ATmega128의 2개의 PWM 신호와 정/역 제어하는 방향 제어 비트 2개를 이용하여 제어하였다. 그림 7은 실험에 사용된 8개의 CdS 센서 모듈과 막대를 보이고 있으며, ATmega128의 8채널 10bit ADC를 이용하여 CdS 센서 정보를 획득하였다.

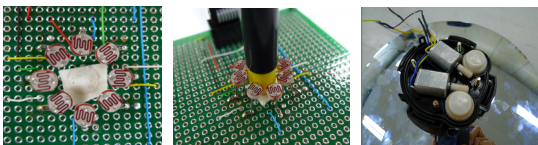


그림 7. 8-채널 CDS센서 모듈과 2축 DC 모터 구조
Fig. 7 Module of 8-ch CdS sensor and structure of 2-axis DC Motor

또한, 그림 7의 오른쪽의 DC 모터 내부구조는 웜기어(Worm Gear)로 되어 있어 DC 모터의 회전에 비하여 응답 속도가 다소 늦지만 태양광 추적을 위한 제어에는 충분하였다.

본 논문의 실험에 사용된 태양광 추적시스템은 그림 8과 같다. 2축 DC 모터의 제어를 위한 DC 모터 드라이버 칩은 L289 칩 2개를 사용하여 각각 3[A] 이상의 전류를 흐르도록 하였으며, 모터의 구동 전압은 DC 12[V]를 사용하였다.

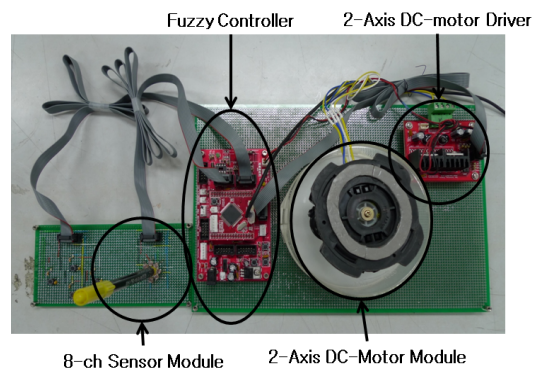


그림 8. 태양광 추적 시스템 사진
Fig. 8 Picture of a sunlight tracking system

퍼지제어기의 상태 모니터링을 위한 PC와의 통신은 38400bps로 하였으며, 통신은 모두 아스키코드(ASCII Code)로 전송하였으며, 데이터 분리자 “,” 및 프레임의 끝을 나타내는 “*”를 포함하여 총 43byte의 크기를 가지도록 설계하였다. 모니터링의 내용은 8개의 센서에 해당하는 각각의 센서값(0ch~7ch)과 8개 센서의 평균값, 최소값 센서에 대한 태양의 방향 및 퍼지제어를 위한 퍼지 규칙에 해당되는 퍼지 공간 인덱스를 모니터링 할 수 있게 통신 문장을 정의하였다. 표 3은 모니터링을 위한 통신 문장을 제시하였다.

표 3. 모니터링용 통신 문장
Table. 3 Communication sentence for monitoring

0ch	1ch	2ch	3ch	4ch	5ch	6ch	7ch	평균	방향	규칙	끝
3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	*

그림 9는 RS-232C를 기반으로 한 LabView 모니터링 시스템의 내부 블록다이어그램을 제시하였으며, 실제 43byte의 통신 프레임에 대한 데이터파싱(parsing) 부분을 제시하였다.

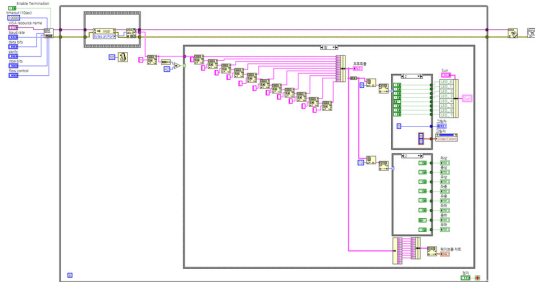


그림 9. 모니터링을 위한 LabView 블록 다이어그램
Fig. 9 LabView block diagram for monitoring

그림 10은 태양이 집광관의 오른쪽(a)과 왼쪽(b)에 위치할 때의 상태를 제시하였으며, 태양의 위치 및 그림자 부분은 그림 10 (a)의 경우 3시 방향의 태양의 위치에 해당되는 2번 센서의 그림자를 지시하고 있다. 이러한 그림자 데이터를 이용하여 그림 2의 퍼지 상태공간의 4번 상태로 추론할 수 있으며, 4번의 퍼지규칙을 통하여 오른쪽 방향으로 모터를 제어하고 있는 것을 볼 수 있다. 아래의 실선 그래프는 Cds 센서에 대한 8개의 센서 데이터와 평균값을 제시하였다. 그림 10(b)는 6번 센서에 의하여 퍼지 상태공간 8번으로 인식하여 제어하는 퍼지 제어시스템을 제시하였다.

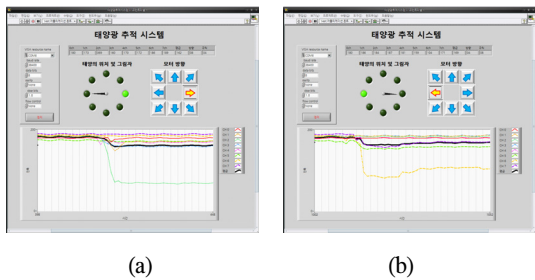


그림 10. (a) 태양광 추적 시스템(예제1)
(b) 태양광 추적 시스템(예제2)
Fig. 10 (a) Solar tracking system(example1)
(b) Solar tracking system (example2)

V. 결 론

본 논문에서 제시한 퍼지 기반의 태양광 추적시스템은 복잡한 수식을 이용하여 방위각과 고도각을 계산하는 대신에 8개의 Cds 센서를 이용하여 태양의 위치를 파악하여 집광관의 편차를 보상하는 퍼지 제어시스템을 설계하였다. 또한, 퍼지제어기의 언어 변수를 통하여 제어 전략을 수립할 수 있어 복잡한 상태방식의 유도를 통한 제어방식보다 성능과 편리성에서 만족할 만한 결과와 성능을 보였다.

본 논문을 통하여 집광관의 법선 방향과 그림자 정보를 해석하여 태양의 위치 정보를 찾아내어 태양을 추종할 수 있도록 제어할 수 있었다. 만약 태양이 구름에 가리거나 그림자가 나타나지 않을 때에는 태양광 효율이 급격하게 낮아지므로 제어에 대한 필요성이 없어진다. 따라서 이와 같은 구조의 센서모듈을 사용할 경우 선박과 같은 이동하는 환경에서 태양광을 항상 수직으로 추적할 수 있는 충분한 기능을 제공할 것이다.

참고문헌

- [1] 김관형, 전재환, 강서인, 오암석, 조현철, “Fuzzy 기반의 태양광 추적기 설계”, 한국해양정보통신학회 종합학술대회논문집, pp.577-578, 춘계 15권 1호, May, 2011.
- [2] Park, Y. C., “Heliostat Control System”, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 29, No. 1, 2009
- [3] 우은경, “실시간 태양 추적 모듈을 가진 태양광 발전 시스템 구현에 관한 연구”, 한국해양대학교 석사학위논문, 2008
- [4] 정병진, 고재섭, 최정식, 김도연, 정동화, “퍼지제어를 이용한 태양광 추적시스템의 고효율 제어”, pp.243-244, 대한전기학회 2008년도 학술대회 논문집 정보 및 제어부문, Oct., 2009.

저자소개



김관형(Gwan-Hyung Kim)

2001년 한국해양대학교
전자통신공학과 공학박사
2000년~ 현재 동명대학교
컴퓨터공학과 전임강사

※관심분야: 최적제어, 인공지능, 임베디드시스템
설계, 신호처리, 영상처리