

VFF와 신경망을 이용한 자율주행로봇의 조향 알고리즘 구현

(Implementation of the Direction Indicator Algorithm for Autonomous Mobile Robot using VFF and Neural Networks)

정 현 *, 임 춘 환 **, 이 상 훈 ***

(Heon Jeong, Chun Hwan Lim, and Sang Hun Lee)

요 약

본 연구에서는 VFF와 신경망을 이용한 자율 주행 로봇의 조향 알고리즘을 제안한다. 제안된 신경망 조향 시스템은 센서시스템, 가중치 제어를 위한 역전파 학습 제어기, 실시간 동작을 위한 모션 제어 시스템으로 구성된다. 시뮬레이션 결과는 제안된 조향 시스템이 어떤 환경에서도 강인하게 운영될 수 있음을 보인다.

Abstract

In this paper, We present a direction indicator algorithm for a mobile robot which uses VFF and neural networks. The structure of this neural network navigation system is composed of sensor system, backpropagation learning controllers for adjusting weight and the motion control system for real-time execution. The experimental results show that the direction indicator system operates properly and strongly at any circumstance

I. 서 론

산업용 로봇분야 즉, 매니퓰레이터 로봇 분야는 대부분 정형화된 환경 조건에 적합하도록 연구된 반면, 자율 주행 로봇의 분야는 많은 불확실성이 내재된 환경 조건에서 연구되어야 한다는 것이 가장 큰 단점이다.

장애물이 있는 경우, 그것이 제거될 때까지 기다려야 하며 공장 내부구조의 변경이 필요할 경우 궤도를 다시 설치해야 하고 그에 따른 경비가 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 이와 같은 상황에 능동적으로 대처할 수 있는 자율 주행 방식 로봇에 대한 연구의 중요성이 증대되고 있다.^{1,2)}

자율 주행 로봇의 연구분야로서는 로봇의 위치 추정, 최단경로 탐색, 경로계획, 장애물 충돌 회피, 로봇의 제동제어, 센서 정보 융합방법등의 분야가 있다. 경로계획 방법으로는 전역경로계획(Global Path Planning)과 지역경로계획(Local Path Planning)이 있는데, 전역 경로 계획 방법은 작업에 필요한 정보를 정확하게 수집하여 작업수행 전에 경로를 탐색하는 방법이며 최적의 경로를 얻을 수 있는 장점과 변화하는 환경 또는 센서의 궤환이 필요한 환경에서는 사용이 어려운 단점이 있다. 지역경로계획(Local Path Planning)방법은 장애물에 대한 사전지식이 없이 경로를 계

* 正會員, 조선대학교 제어측공학과
(Dept. of Control & Instrumentation Eng., Chosun University)

** 正會員, 조선대학교 전자·정보통신공학부
(Dept. of Electronics·Information & Communication Eng., Chosun University)

*** 正會員, 동강대학 전자과
(Dept of Electronic Eng., Donggang College)

接受日字:1998年10月29日, 수정완료일:1999年3月22日

획하는 방법으로 환경에 관한 사전지식이 필요 없다는 장점이 있다.

본 논문에서는 지역경로에서 VFF와 신경망을 이용하여 외부 센서로부터 입력되는 외부 환경에 대한 정보를 종합하고 경로의 방향 즉 이동로봇의 조향을 결정할 수 있는 조향기의 알고리즘을 개발하였다.

이를 위하여 2장에서는 다층 신경망 학습 알고리즘에 대해 살펴보고 3장에서는 VFF를 이용한 신경망 조향기를 설계한다. 그리고 4장에서는 시뮬레이션을 수행하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 다층 신경망 학습 알고리즘

다층 신경망의 학습에 이용되는 델타룰은 입출력 함수가 선형의 유니트로부터 이루어진 네트워크에 대하여 모든 입력 패턴으로부터 얻어지는 출력과 목표 출력과의 오차의 제곱의 총합을 최소로 하도록 연결 강도를 조정하는 것이다. 그러기 위해서는 p번째 패턴의 쌍(pair)을 제시한 경우 오차의 제곱을 각각의 연결 강도 ($\Delta_p W_{ji}$) 로 미분한 것이 델타룰에서의 연결 강도 변화량에 비례하는 것을 나타내면 된다.

델타룰에 의해 연결 강도의 변화가 연결 강도 공간 상에 주어지는 오차의 제곱을 높이로 하는 곡면에 대하여 최급 하강을 한다. 즉, 오차의 제곱이 가장 많이 감소하는 방향으로 변한다. 이것을 수식적으로 나타내면 다음과 같다.

S패턴 p에 대한 오차의 제곱은 식 1과 같고 전체 패턴에 대한 오차의 제곱의 총합은 $E = \sum E_p$ 이다.

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_j (t_{pj} - o_{pj})^2 \quad (1)$$

여기서 t_{pj} 는 목표출력이고 o_{pj} 는 실제출력이다. 준선형 입출력 특성을 갖는 유니트의 출력은 식 2와 같다.

$$net_{pj} = \sum_i w_{ji} o_{pi} \quad (2)$$

$$o_{pj} = f_j(net_{pj}) \quad (3)$$

여기서 f_j 는 비감소이며 미분 가능한 함수이다.

연결 강도의 변화 $\Delta_p w_{ji}$ 는 그 연결의 종점 유니트에 관한 오차 신호 δ_{pj} 와 그 연결의 시점 유니트의 출

력 o_{pi} 의 곱에 비례한다.

$$\Delta_p W_{ji} = \eta \delta_{pj} o_{pi} \quad (4)$$

오차 신호의 계산은 출력 유니트에 대한 오차를 초깃값으로 하여 재귀적으로 수행한다. 먼저 출력 유니트에 대한 오차 신호는 델타룰과 거의 같으며, 네트워크의 출력과 목표 출력의 차이로부터 식 3이 구해진다.

$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) f_j'(net_{pj}) \quad (5)$$

여기서 $f_j'(net_{pj})$ 는 준선형 입출력 함수의 미분계수이다.

은닉 유니트에 대한 오차 신호는 유니트가 출력을 보내는 유니트 u_k 의 오차 신호 δ_{pk} 와 그 사이의 연결 강도 W_{kj} 을 이용하여 식 6으로 구해진다.

$$\delta_{pj} = f_j'(net_{pj}) \sum_k \delta_{pk} w_{kj} \quad (6)$$

일반적으로 많이 사용되는 연결 강도의 변화 ΔW_{ji} 에 대한 수식은 식 7과 같다.

$$\Delta_p W_{ji}(n+1) = \eta \cdot \delta_{pj} o_{pi} + \alpha \cdot \Delta_p W_{ji}(n) \quad (7)$$

여기서 n은 학습의 횟수, α 는 상수이며 $\alpha \cdot \Delta_p W_{ji}(n)$ 은 오차 진동을 적게 하여 수렴 속도를 빨리 하기 위하여 첨가한 모멘텀항(momentum term)이다.

III. VFF를 이용한 신경망 조향기의 설계

본 연구에서는 4개의 sensor로부터 입력되는 측정값으로 모터를 구동하여 자율 주행로봇을 제어할 수 있는 조향 알고리즘을 다층 신경망을 이용하여 구현하였다. 설계된 자율 주행로봇은 그림 1과 같이 구성되어 있다. 발광과 수광 2개가 1조로 이루어진 광센서 4조를 통하여 로봇의 주위 환경을 감지한다. 그림 1에서 S_1, S_2, S_3 , 그리고 S_4 는 센서이다. 감지된 데이터는 제어기에서 사용할 수 있도록 A/D 변환기에 의해 양자화 된다. 양자화된 입력값은 좌·우륜 각각의 제어기에 보내져 제어된다. 거리계(odometer)로부터 얻어진 로봇의 현재위치와 목표점의 위치 그리고 신경망 제어기로부터의 출력값을 주행제어기에서 처리하여 각 바퀴의 모터 컨트롤러로 보내진다. 이 출력값을 이용

하여 좌, 우륵의 속도차에 의한 주행 및 조향이 행해진다. 로봇은 4조의 광센서를 통하여 주위환경을 감지하게 하고 센서는 로봇의 앞측(S2,S3)과 좌·우측(S1,S4)에 각각 발광, 수광의 2개 1조로 하여 장착하였다. 각 구동축에는 엔코더를 장착하여 로봇의 현재 위치와 방향 등을 감지하게 된다.

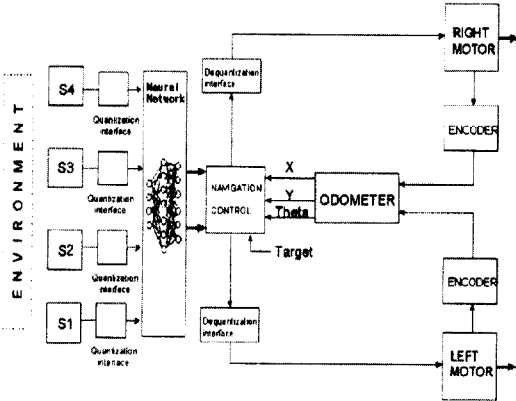


그림 1. 자율 주행 로봇의 제어 계통도
Fig. 1. The Control Block Diagram of AMR.

각 센서의 입력값은 학습된 신경망 조향기의 입력으로 사용되기 위해 양자화 과정을 통하여 정성적인 값으로 변환된다. 표 1에 표현된 양자화 레벨을 이용하여 각센서들의 값은 0, 1, 2, 3과 같은 정성적인 값으로 양자화된다. 이와같이 양자화된 센서의 입력값은 4개이므로 신경망의 입력층은 4로하고 이에 대해 신경망의 출력층은 7개의 노드를 가질수 있도록한다.

표 1. 입력 데이터의 양자화 레벨
Table 1. Quantized Level of Input Data

S1, S4	양자화 레벨	S2, S3	양자화 레벨
0~10cm	0	0~20cm	0
10~30cm	1	20~40cm	1
30~60cm	2	40~70cm	2
60~	3	70~	3

본 논문에서 사용한 신경망의 규칙은 일반적인 전문가의 경험에 의해 얻어진 것들이며, 신경망의 결과 값 추론 방법은 장애물이 로봇에 작용하는 척력과 목표점이 로봇에 작용하는 인력을 합성한 벡터를 도출하여 로봇이 진행할 경로를 설정하는 VFF(Virtual Force Field)이론⁵⁾에 바탕을 두고 있다. VFF 이론에 의해, 4개의 입력에 대해 7개의 출력을 구했으며 전체적으로

196개의 학습데이터를 적용하였다.

표 2. 신경망 학습 데이터
Table 2. Data for Neural Network

	입력층 (센서양자화값, I_i)				출력층 (신경망 결과값, Y_i)						
	S1	S2	S3	S4	3	2	1	0	-1	-2	-3
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
3	0	0	0	2	0	0	2	1	0	0	0
⋮											
196	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0

구해진 7개의 출력값은 식 8과 같이 각각 출력 이득상수와 결합하여 일점의 각도 변화량으로 환산된다. 변화된 각도는 부분 장애물의 척력 값으로 계산되며, 목표점과의 인력 계산식과 결합하여 조향지령치로 환산된다. 신경망 제어기에서 얻어진 조향 지령은 주행 제어부(Navigation Control)에서 구동 지령과 연산하여 최종적인 모터 구동 신호로 변환된다.

$$\theta_C(t+1) = \theta_C(t) + \Delta\theta_C(t) \tag{8}$$

$$\Delta\theta_C(t) = k_R * \theta_R + (1 - k_R) * \theta_O$$

$$\theta_O = \sum_{i=1}^7 k_{Yi} * Y_i$$

여기서, $\theta_C(t+1)$, $\theta_C(t)$, $\Delta\theta_{k_R}$, θ_R , θ_O , k_{Yi} 그리고 Y_i 는 다음과 같다.

$\theta_C(t+1)$: 다음 로봇의 조향 목표 각도

$\theta_C(t)$: 현재 로봇의 조향각도

$\Delta\theta_C(t)$: 조향 각도의 변화값

k_R : 목표점의 인력 상수

θ_R : 로봇과 목표점과의 편각

θ_O : 신경망에 의해 얻어진 변화 각도

k_{Yi} : 신경망의 출력 이득 상수

Y_i : 신경망의 출력값

IV. 모의실험 및 고찰

본 연구에서는 입력되는 센서의 변화량을 이용하여

자율주행로봇이 장애물을 회피할 수 있도록 조향부에 대해 신경망 제어를 사용하였다. 설계된 제어기의 성능평가를 위해 여러 장애물의 회피에 대하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험은 PC(Pentium 166MHz) 상에서 Borland C++언어를 사용하여 그래픽모드(640 × 480 Pixel)에서 수행되었다.

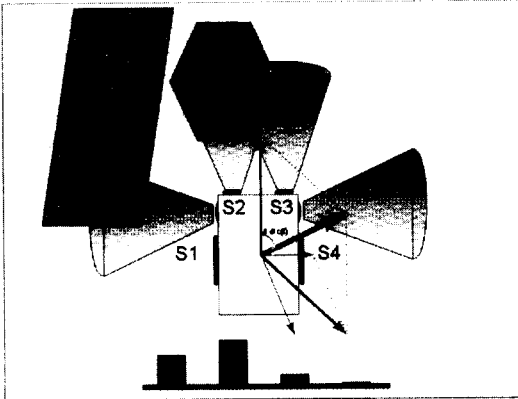


그림 2. 가상 전위계
Fig. 2. The Virtual Force Field.

모의실험의 수행과정은 첫번째로 입력층인 센서의 양자화 값들과 출력치인 조향 변화 지표값이 표2와 같이 얻어질 수 있도록 신경망을 학습시켜 가중치를 결정한다. 두 번째로, 모의실험을 수행할 수 있는 가상 장애물과 로봇의 위치를 결정한다. 세 번째로, 로봇을 주행시키고 주행하면서 변화하는 센서의 정보를 학습된 가중치와 연산시켜 조향 변화값을 산출한다. 마지막으로 목표점에 도달하였을 경우에 프로그램을 종료시킨다.

먼저 신경망의 학습을 위한 파라미터로서 학습율은 0.2로 설정하였으며 최대 학습횟수는 10000회로 하였으며 얻어진 가중치는 파일로서 저장하였다. 다음과정으로 본 논문에서 작성한 자율주행로봇 시뮬레이터를 이용하여 얻어진 신경망의 가중치의 검증을 실시하였다. 본 논문에서는 식 8과 같이 1차 지연을 지니고 있는 자율주행 로봇에 대해 모델링하였으며, 로봇의 이동거리는 1회 5 pixel 만큼 이동할 수 있도록 설계하였다. 목표점과 로봇의 초기위치는 마우스의 클릭에 의해 설정이 되며, 목표점에 대한 좌표와 마우스에 의한 로봇의 초기위치는 로봇의 초기정보로서 부여되도록 하였다. 센서의 감지거리는 로봇의 각 센서 위치에서 60 pixel로 정의하였으며, 감지각도는 15도로 설정

하였다. 목표점의 인력상수 값(k_R)을 0.3으로 설정하였고 신경망의 출력이득상수(k_Y)를 1로 설정하였다.

$$G_R(s) = \frac{0.2}{s+0.3} \tag{9}$$

먼저 그림 4과 같이 통로에서의 제안된 신경망 제어기의 모의실험을 하였다. 목표점 G의 좌표는 (343,341)이며, 출발점은 P1(105,123), P2(153,96) 그리고 P3(596,257)에서 각각 출발하였다. 그림 4에서 볼 수 있는 것과 같이 통로의 벽과 부딪치지 않고 통로를 빠져 나오는 것을 볼 수 있다. P1과 P2의 초기 시작 각도가 0도이므로 통로사이를 S모양을 그리면서 주행하였다. 또한 통로사이가 충분히 로봇이 통과할 수 있는 폭이므로 두 번째 통로사이로 주행하는 것을 볼 수 있다.

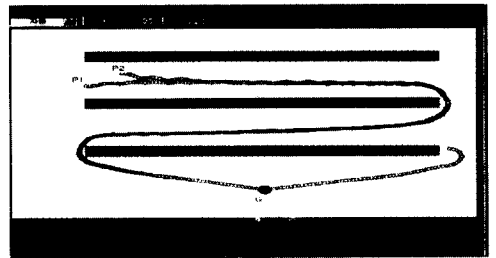


그림 3. 컴퓨터 시뮬레이션 1
Fig. 3. Computer Simulation 1.

두 번째 모의 실험으로는 그림 5와 같이 복잡한 통로사이를 주행하도록 설계하였다. 목표점(G)의 좌표는 (610,310)으로 하였으며, 출발점은 P1(42,68) 그리고 P2(202,34)]에서 출발하였다. 두 번째 실험에서도 통로의 벽과 부딪치지 않고 통로를 빠져 나오는 것을 볼 수 있었다. 그림 5에서는 로봇이 감지하는 센서의 영역을 점선으로 표시토록 하였다.

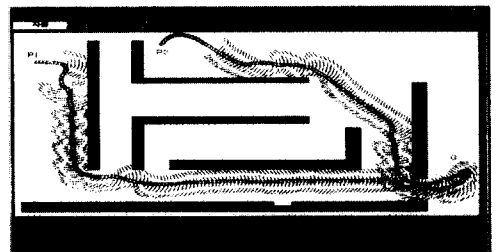


그림 4. 컴퓨터 시뮬레이션 2
Fig. 4. Computer Simulation 2.

다음 모의 실험으로는 U자 모양의 벽으로 된 장애물을 주행하는 실험을 하였다. 그림 6와 같은 장애물에서 목표점(G)의 좌표는 (610,310)으로 하였으며, 출발점은 P1(167,197)에서 출발하였다. 그림 6에서 로봇 주위의 점선들은 센서의 검출영역을 표시한 것이다. 장애물과 목표점과의 합성 벡터에 의해 장애물을 회피하며 목표점까지 가지 못하였음을 볼 수 있다. 그 이유는 이동로봇은 단지 센서에 의한 조향을 행하고 전체 지도에 대한 정보가 없이 주행하고 있으므로 최단 장애물 회피 경로를 구하지 못하고 있음을 실험을 통해 확인하였다.

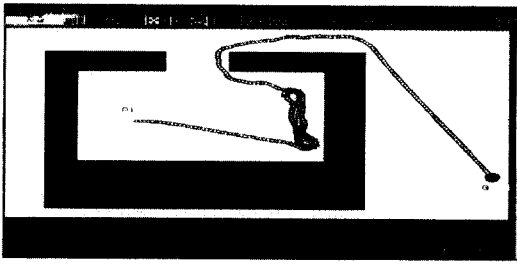


그림 5. 컴퓨터 시뮬레이션 3
Fig. 5. Computer Simulation 3.

다음의 모의 실험으로는 여러 원형 장애물이 존재하는 환경에서의 조향 기능 실험을 하였다. 목표점 G의 좌표는 (343,341)이며, 출발점은 P1(69,34, P2(15,215) 그리고 P3(562,151)에서 각각 출발하였다. 그림 6에서는 전번 모의 실험과 같이 장애물과 부딪치지 않고 자세를 보정해 나갔다.

전 주행과정을 지켜보면 엑스퍼트의 실제 주행과 유사한 매우 부드러운 곡선주행을 행함을 관찰할 수 있다. 즉 자율 주행 로봇이 환경이 바뀌더라도 별다른 조작없이 무난하게 경로를 선택하고 자세를 보정해 나가는 모습을 관찰할 수 있었다.

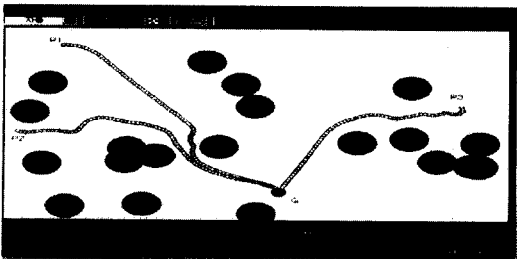


그림 6. 컴퓨터 시뮬레이션 4
Fig. 6. Computer Simulation 4.

V. 결론

본 연구에서는 자율 주행 로봇의 조향 알고리즘 구현을 위해 전문가의 경험이나 지식 등을 오류역전과 학습 알고리즘을 갖는 다층 신경망에 학습시켰다. 학습후에 생성된 가중치를 이용하여 실제 환경에서 입력되는 센서 값과 연산하여 자율 주행로봇이 주행하도록 하였다. 즉, 기존의 조향 알고리즘은 시스템의 동역학적인 해석이나 복잡한 모델링을 통하여 구현을 해야되는데 이러한 문제를 VFF와 신경망을 이용하여 해결하였다.

제안된 알고리즘에서 신경망의 층의 구조는 입력층 4개 입력, 출력층 7개 그리고 10개의 은닉층으로 이루어졌으며 학습 알고리즘은 역전파 알고리즘을 이용하였다. 신경망에 자율주행로봇의 일반적인 장애물 회피 규칙을 학습시켜 네트워크의 가중치를 결정하였고 이를 입력되는 센서값과 연산되어 조향각의 변화치를 결정하였다. 또한 신경망으로부터 얻어진 값은 목표점이 로봇에 작용하는 입력과 합성되어 실제 로봇이 진행할 경로를 설정토록하는 VFF(Virtual Force Field)이론이 적용되었다.

시뮬레이션에서 1차 조향지연요소로 이루어진 마이크로 로봇에 적용하여 센서값의 변화에 따르는 로봇의 주행 결과를 확인하였다. 시뮬레이션 결과 자율 주행 로봇은 주위의 환경을 감지하면서 실제 엑스퍼트의 조작과 유사하게 주행을 하였으며 변화된 환경에서도 별도의 조작 없이 적응하였다. 또한 미리 학습된 가중치만을 연산에 이용함으로써 기존 알고리즘에서 볼 수 없었던 빠른 연산처리를 보였다.

그리고 로봇은 장애물 검출시 마치 인간의 동작과 유사하게 부드러운 회전을 수행하여 장애물을 회피하였으며, 목표지점까지 경로를 벗어나지 않고 주행하는 것을 확인하였다. 또한 작업환경이 바뀌어도 사용자로부터 별도의 조작을 받지 않고 적응하는 강인한 적응성도 볼 수 있었다.

그러나 모의 실험 3에서와 같이 장애물에 들러 쌓인 경우에는 표류하는 경우가 발생되었다. 향후 연구되어야 할 부분은 장애물에 따른 표류 현상을 없애기 위해 전역경로를 설계할 수 있는 알고리즘을 개발하여 논문에서 개발한 알고리즘에 의해 지역경로를 주행하는 종합적인 주행알고리즘을 개발이다. 또한 더욱 강인한 적응성을 보강하기 위해 퍼지 제어 이론에 바탕을

두고 신경망에 의해 퍼지제어기의 규칙을 동조하면서 자율 주행하는 지능형 자율 주행 로봇의 주행알고리즘의 개발이며, 자율 주행 로봇의 현재 위치 등의 정보를 얻을 수 있는 비전 시스템의 개발을 할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] T. Tsumura, "Survey of automated guided in Japanese factory", Proc. 1986 IEEE Conf. of Robotics and Automation, 1329-1334, 1986.

[2] Dr. Ing. Thomas Müller, "AUTOMATED GUIDED VEHICLE", FS(Publication) LTD, UK., 1983.

[3] He, J., Krogh, A. Palmer, R. G., "Introduction to The Theory of Neural Computation", Addison Wesley, 1991.

[4] Horikawa S., Furuhashi T. and Uchikawq Y., "On fuzzy modeling using fuzzy neural networks with the back-propagation algorithm", IEEE Trans. Neural Network, 3:801-806, 1992.

[5] Johann Borenstein, Yoren Koren, "Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots", IEEE Trans. Man and Cybernetics. Vol 19. no 5. Sep/Oct. 1989.

저 자 소 개

임 춘 환

1991년 2월 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 8월 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료. 1999년 3월 현재 동강대학 전자과 겸임교수. 주관심 분야는 멀티미디어 영상통신, 신경망, 패턴인식, 로봇틱스, 의료영상등



이 상 훈

1984년 2월 조선대학교 전자공학과 졸업. 1986년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업. 1998년 9월~현재 전남대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 1991년~현재 동강대학 전자과 교수. 주관심 분야는 마이크로 프로세서, 인터페이스 및 응용, 로봇틱스

정 현

1993년 2월 조선대학교 제어계측공학과 졸업(공학사). 1996년 2월 조선대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사). 1999년 2월 조선대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사). 주관심 분야는 인공지능, 신경망, 가상현실