韓國精密工學會 2000年度 秋季學術大會論文集 pp.687~690 KSPE 00F155

신경회로망을 이용한 비젼기반 자율주행차량의 횡방향제어

김영주*(전남대 대학원 기계공학과), 이경백(여수공대 자동차공학과), 김영배(전남대 기계공학과)

Lateral Control of Vision-Based Autonomous Vehicle using Neural Network

Y. J. Kim(Mecha. Eng. Dept. CNU), K. B. Lee(Automobile Eng. Dept., YSTC),
Y. B. Kim(Mecha. Eng. Dept. CNU)

ABSTRACT

Lately, many studies have been progressed for the protection human's lives and property as holding in check accidents happened by human's carelessness or mistakes. One part of these is the development of an autonomouse vehicle. General control method of vision-based autonomous vehicle system is to determine the navigation direction by analyzing lane images from a camera, and to navigate using proper control algorithm. In this paper, characteristic points are abstracted from lane images using lane recognition algorithm with sobel operator. And then the vehicle is controlled using two proposed auto-steering algorithms.

Two steering control algorithms are introduced in this paper. First method is to use the geometric relation of a camera. After transforming from an image coordinate to a vehicle coordinate, a steering angle is calculated using Ackermann angle. Second one is using a neural network algorithm. It doesn't need to use the geometric relation of a camera and is easy to apply a steering algorithm. In addition, It is a nearest algorithm for the driving style of human driver. Proposed controller is a multilayer neural network using Levenberg-Marquardt backpropagation learning algorithm which was estimated much better than other methods, i.e. Conjugate Gradient or Gradient Decent ones.

Key Words : Backpropagation Algorithm(역전파), Levenberg-Marquardt Algorithm, Edge detection, Autonomous Vehicle(자율주행차량), Lateral Control(횡방향 제어), Vision System, Ackermann Angle

1. 서론

최근 미국, 일본등 선진국을 중심으로 보다 편안하고 풍요로운 삶을 영위하기 위해 지능화되고 고급스러운 시스템의 구축을 위한 많은 연구들을 하고 있다. 그러한 연구들 중 자동차의 자동화 개발에 많은 노력을 하고 있는 것이 사실이다. 자율주행 차량의 개발은 인간을 운전이라는 단순한 노동으로부터 해방시켜주며 아울러 인간의 부주의나 실수로 인한 사고를 방지하여 인간의 생명과 재산을 보호해 줄 수 있게 된다. 거시적으로 볼 때는 국가의 교통정책에도 영향을 주게 되어 국가 경쟁력 향상에 부수적인 효과도 거둘 수 있다.

비젼 시스템을 이용한 자율주행 방식은 카메라가 사람의 눈의 역할을 하기 때문에 주행환경에 관한 많은 정보를 얻을 수 있고 기존의 도로에 부가적인 장비를 설치할 필요가 없다는 장점으로 인해 가장 많이 연구되어 왔다.

자율주행 차량에 있어서 도로 주행로의 인식과 더불어 중요한 분야가 자동차의 횡방향 제어 시스템이다. 최근 많은 국내외 연구자들은 자율 주행 차량의 횡방향 제어에 퍼지, 신경회로망, 유전자 알고리즘 등의 지능적인 방법의 제어를 도입하고 있다.

본 논문에서 제안된 횡방향 제어 알고리즘은 카메라의 기하학적 관계를 이용한 방법과 신경 회로망을 사용하는 방법이다. 신경회로망은 다층신경망으로 학습 알고리즘으로는 역전파 알고리즘을 사용하였다. 그러나, 기존의 일반적인 역전파 알고리즘이 수렴속도가 느리다는 단점이 있어, 수렴속도와 정확도에서 우수하다고 증명된 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 사용하여 학습시켰다.

2. 차선인식 알고리즘

도로의 영상은 차량의 운전석 위쪽에 장착된 카메라로부터 입력된다. 이 영상의 전체를 처리하는 것이 아니고, 일부분의 탐색영역만을 설정하여 처리함으로서 실시간 처리가 가능하게 하였다. 그러나 도로의 영상은 주위의 환경변화나 빛의 영향, 잡음등으로 인해 도로 주행선을 정확히 파악하는 것이 어렵다.

본 논문에서 차선의 인식은 카메라로부터 입력된 영상으로부터 차선의 전부를 추출하지 않고, 차선의 개략적인 윤곽선만을 추출할 수 있도록 몇 개의 특징점들만을 추출하여 인식하게 된다. 이는 차선의 형태가 몇 개의 특징점만 추출하고도 충분히 그 형태를 추정하여 주행방향을 제시할 수 있기 때문이다.

2.1 차선인식 알고리즘

차선인식은 먼저 차선의 특징점 추출을 위해 영상의 수직축의 세 지점을 선택하여 그 각각의 지점으로부터 좌측과 우측방향으로 탐색하여 차선을 이루는 6 개의 점들을 찾아내도록 한다. 이 때, 수평방향 또한 전체를 탐색하지 않고, 탐색영역을 설정하여 그 영역 내에서만 에지를 추출하도록 함으로써 불필요한 탐색시간을 줄임과 동시에 영역내에 잡음에 의한 주행로 경계의 인식 오차 가능성을 제거 할 수 있다. 이는 실시간의 차선 인식을 가능하게 하여 고속으로 주행하여도 좋은 결과를 얻을 수 있다. 차선 인식 알고리즘에 대해 살펴보면 다음과 같다.

Step 1 : 영상에서 수직방향 세 점을 지정한다.

Step 2 : 도로영상의 탐색영역을 지정하여 에지검출을 실시한다. 에지 검출에는 Sobel 연산자를 이용한다. 이 때, 검출된 에지를 우선 차선의 경계라고 가정한다.

Step 3 : 가정한 차선의 경계를 검증 알고리즘에 의해 분석한다. 검증은 차선폭, 에지 주위 명암도, 차선간의 거리등의 인자를 검증한다.

Step 4 : 이상의 검증을 통해 최종 남은 에지가 도로의 특징점으로 인정된다.

3. 횡방향제어 알고리즘

자율주행 차량이 주어진 도로를 안전하게 주행하기 위해서는 도로의 특징점을 인식하고, 적절한 제어 알고리즘에 의해 주행방향으로 정확히 핸들을 조향하는 것이 필수적인 요소이다.

본 논문에서는 카메라의 기하학적 관계를 이용한 자율 조향 알고리즘과 인간 운전자의 운전 형태를 모방하여 핸들의 각도를 계산하는 신경 회로망 알고리즘을 제안하였다. Fig.1 은 횡방향 제어에 대한 구조를 나타낸다.

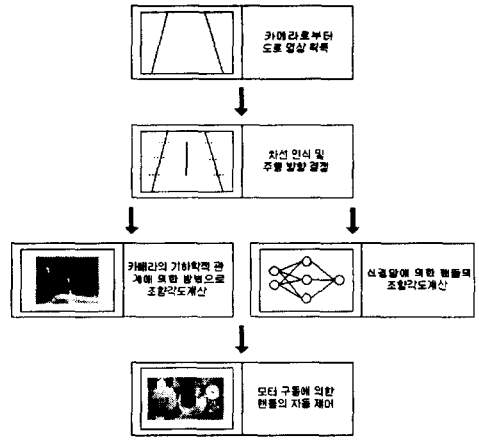

Fig. 1 Structure of Steering Control System

3.1 카메라의 기하학적 관계를 이용한 방법

카메라의 기하학적 관계를 이용한 방법에 의해 조향각도를 계산하기 위해서는 여러 가지 변환과정이 요구된다. 아울러, 차량에 관계된 여러 요소들이 필요하게 된다. 조향각 계산을 위해서 먼저 카메로부터 입력된 도로영상의 좌표를 차량좌표계로 변환시켜야 한다. 그리고 주행하고자 하는 목표지점으로 이동시키기 위해 애커만 각을 이용하여 조향 각도를 결정하게 된다.

실제 차량의 정확한 회전 궤적을 구하는데는 코너링 포스, 타이어의 크기, 공기 압력, 현가 방식, 샤시 스프링의 옆방향 강성등의 요소들이 모두 고려 되어야 한다. 이것을 모두 구현하기는 어려움이 있기 때문에 앞바퀴의 조향각과 차량의 길이만을 고려한 모델을 구현하였다.

3.2 신경 회로망 알고리즘

여기서는 카메라의 기하학적 관계를 이용한 방법에 필요한 요소들을 전혀 고려하지 않고, 알고리즘의 구현이 쉬우며 운전자의 운전형태에 가장 가까운 주행이 가능하다. 본 연구에서는 다층 신경회로망을 사용하였으며, 학습 알고리즘으로 역전파 알고리즘 중에서 가장 우수한 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 사용하였다.

Levenberg-Marquardt 알고리즘의 학습과정을 요약하면 다음과 같다.

Step 1 : 네트웍에 모든 입력값을 참여시키고, 그에 대응하는 네트웍 출력값들과 에러들을 계산한다. 그리고, 모든 입력값에 대한 에러들의 제곱의 합을

계산한다.

Step 2 : Jacobian 행렬을 계산한다.

Step 3 : 다음 식을 이용하여 $\Delta \underline{x}$ 를 계산한다.

$$\Delta \underline{x} = \left[J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + \mu I \right]^{-1} J^T(\underline{x}) \underline{e}(\underline{x})$$

Step 4 : $\underline{x} + \Delta \underline{x}$ 을 사용하여 에러의 제곱의 합을 다시 계산한다. 만약, 이 새로운 값이 Step 1 의 값보다 더 작으면, β 에 의해 μ 를 감소시킨다. $\underline{x} = \underline{x} + \Delta \underline{x}$ 라 하고, Step 1 로 돌아간다. 만약 제곱의 합이 줄어들지 않으면, β 에 의해 μ 를 증가시키고, Step 3 으로 간다.

Step 5 : 알고리즘은 Gradient 의 norm 이 이미 정해진 값 미만일 때 또는 제곱의 합이 에러목표로 감소되어 갔을 때 수렴되었다고 가정한다.

Fig.2 는 Levenberg-Marquardt 알고리즘의 우수성을 검증하기 위해 다른 학습알고리즘과 비교한 그래프이다. 다른 알고리즘에 비해 수렴속도 및 정확성이 우수함을 볼 수 있다.

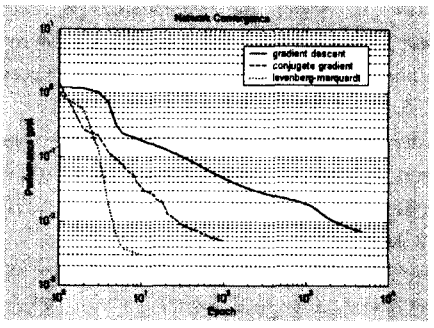

Fig. 2 Comparison Levenberg-Marquardt Algorithm with Conjugate Gradient and Gradient Descent

카메라의 도로영상으로부터 얻은 6 개의 도로 특징점을 입력으로 하고, 조향각에 해당하는 포텐셔미터값을 출력으로 하는 구조를 가지고 있다. 제어기를 구성하는 다층 신경 회로망의 구조는 입력층 6 개, 은닉층 50 개, 출력층 1 개의 세포로 구성하였다. 입출력의 패턴 데이터는 바이폴라로 정규화 하여 학습하였다. 활성함수로는 탄젠트 시그모이드 함수를 사용하였으며, Levenberg-Mardquardt 알고리즘으로 2000 회 학습하였다. 학습 종료 후 신경회로망 내의 연결가중치들은 제어기의 성능을 나타내며, 학습에 포함되지 않았던 도로 조건이 신경회로망에 입력되더라도 제어기는 적절한 출력을 생성한다.

학습이 끝난 다음, 학습의 정도를 검증하기 위해 학습에 참여하였던 입력 패턴을 학습시와 동일하게 제어기의 입력으로 입력시켜 출력된 네트웍의 출력과 학습시에 목표출력과 비교하였다. Fig.3 은 인간운전자의 조향각과 신경망 학습 후 출력된 조향각의 비교 그래프이고, Fig.4 는 에러값을 표현한 그래프이다. 인간 운전자의 조향각을 잘 따라가고 있음을 볼 수 있다.

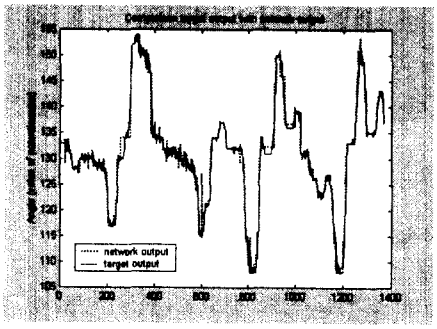

Fig. 3 Comparison Network output and Target output

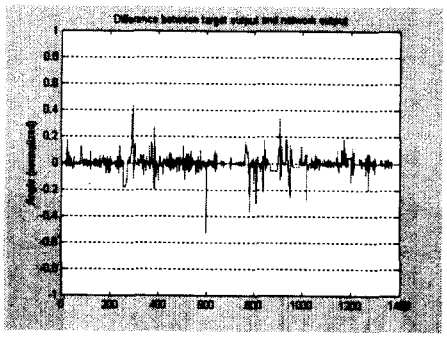

Fig. 4 Error between Network output and Target output

4. 실험

4.1 시스템구성

주행 실험을 위해 설계 제작된 차량은 125cc 모터 사이클의 엔진을 답재한 1 인승 차량으로 핸들은 수동조향 및 자동 조향이 가능하게 하였으며, 차선인식에 필요한 CCD 카메라, 영상처리를 위해 필요한 영상처리보드를 장착한 노트북 컴퓨터, 핸들조향을 위한 모터와 그 모터 구동을 위한 모터 구동기 및 196 보드를 장착하고 있다. 또한, 카메라로부터 들어온 영상을 컴퓨터에 의해 잘 처리되고 있는지를 모니터할 수 있는 TV 를 갖추고 있다. 제작 차량의 그림은 Fig. 5 를 통해 볼 수 있다.

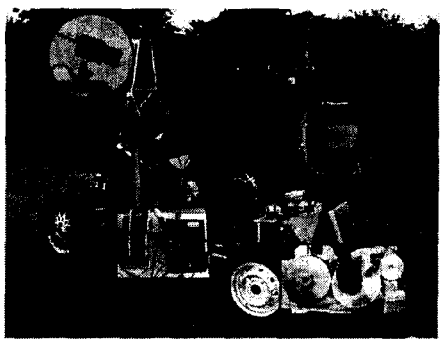

Fig. 5 Autonomous Vehicle for an Experiment

4.2 주행실험

주행 실험은 장소의 여건상 제안된 도로를 생성하여 주행시켰다. 주행 실험은 핸들이 없는 차량에 인간 운전자가 탑승하여 속도만을 제어하고, 핸들의 제어는 제어 알고리즘에 의한 자율적으로 조향하게 하였다. 장소의 협소함과 도로등의 제약으로 인해 고속 주행은 불가능하였다. 영상처리는 초당 평균 28.5 번이었고, 속도는 평균 20km/h 로 주행하였다. Fig. 6 은 자율 주행 모습을 나타낸다.

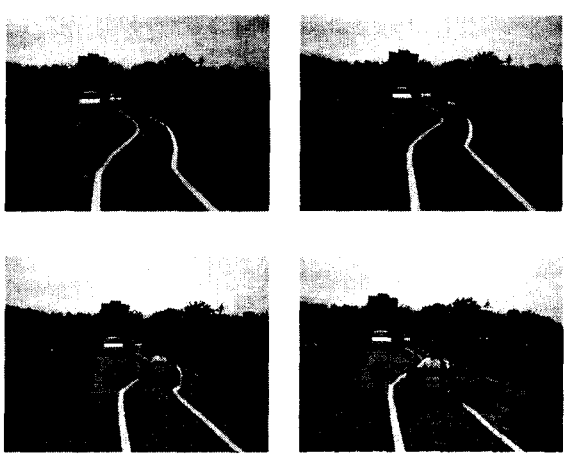

Fig. 6 Autonomous controlled Vehicle

5. 결론

본 논문에서는 영상 센서인 CCD 카메라를 이용하여 차량의 횡방향 제어 시스템을 개발하였다. 도로 영상에서 처리 속도와 정확성을 높이기 위해 전체 영상을 처리하지 않고, 영상의 3 개의 수직좌표값의 일정 탐색영역을 설정하여 좌우로 탐색하여 Sobel 연산자를 사용하여 에지를 검출하고, 검출된 에지를 차선 검증 알고리즘에 의해 검증하여 도로의 특징점을 추출하는 알고리즘을 개발하였다. 아울러, 여기서 사용된 Sobel 연산자의 우수성을 검증하였다.

횡방향 제어 시스템에 대해서는 제안된 2 가지의 제어 알고리즘을 이용하여 자율 조향 하도록 시스템을 구성하였다. 두 번째 방법은 카메라의 기하학적 관계에 대한 요소를 배제하고, 알고리즘 구현이 더 용이하며, 인간 운전자의 운전 패턴과 더 근접한 신경 회로망을 이용한 제어 알고리즘을 구현하였다. 제안된 알고리즘은 우수한 Levenberg-Marquardt 역전파 학습 알고리즘을 사용한 다층 신경 회로망이다.

구현된 알고리즘을 이용하여 시험 차량과 시험 주행 도로를 제작하여 테스트하였다. 그 결과, 주어진 도로를 평균 초당 28.5 번 영상처리 하였고, 시속 20km/h 로 잘 주행하였다.

참고문헌

1. Martin T. Hagan and Mohammad B. Menhaj, "Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm", IEEE Transactions on Neural networks, VOL. 5, NO. 6, November 1994.
2. Nasser Kehtarnavaz, "A Transportable Neural-Network Approach to Autonomous Vehicle Following", IEEE Transactions on Vehicular Technology, VOL. 47, NO. 2, May 1998.
3. 류영재, 상대분할 신경회로망을 이용한 자율주행 전기자동차의 도로영상기반제어 , 전남대학교 박사학위논문, 1998.
4. 문수환, 이동 운반체 자율주행 제어 , 고려대학교 박사학위논문, 1997.
5. 김의선, 신경회로망을 이용한 자율주행 전기자동차의 도로곡률에 따른 조향각 및 속도의 협조제어, 전남대학교 박사학위논문, 1999.