논문 2013-08-31

자율주행이 가능한 무선 장난감 자동차의 차선 추적 시스템 구현

(Implementation of Lane Tracking System using a Autonomous RC Toy Car)

고 은 상, 이 창 우*

(Eunsang Ko, Chang Woo Lee)

Abstract : In this paper we propose nonlinear control system for automatic unmanned vehicle using a RC (Radio Controlled) car which is usually controlled by a remote controller. In the proposed system, a RC car is dissembled and reassembled with several parts enabling it to be controlled by an android mobile platform with Bluetooth communication. In our system, an android mobile smartphone is mounted on the RC car and plays an important role as an eye of the car. The proposed system automatically controls the RC car to follow a lane that we draw on the floor of our laboratory. Also, the proposed RC car system can also be controlled manually using the accelerometer sensor of a smartphone through a Bluetooth module. Our proposed system that has both manual mode and automatic mode consists of several components; a microprocessor unit, a Bluetooth serial interface module, a smartphone, a dual motor controller and a RC toy car. We are now in the development of a group driving system in which one car follows the front car that tracks a lane automatically.

Keywords : RC toy car, Smartphone, Bluetooth communication, Microprocessor, Lane tracking

I. 서론

최근에 더 진보된 계산능력과 연결성을 가진 모바일 운영시스템이 내장된 스마트 폰의 확산이 스마트폰으로 조정이 가능한 장난감 자동차와 같은 융합기술을 가능하게 해 왔다[1-8]. 이와 같은 맥락으로 무인 자동차에 대한 연구가 많은 관심을 끌고 있으며, 이는 지능형도로정보시스템이나, 많은 연구자들이 스마트폰을 이용한 장난감 자동차 조종 방법을 취미로 개발했다. S. Wasson 등의 방법[3]은 두 대 이상의 자율주행 자동차의 플랫폼으로 공동협업에 초점을 맞춘 시스템으로서 저비용의 지능형 자율주행 자동차의 플랫폼 개발에 초점을 맞추었다. S. Wasson 등의 방법에서는 각 자율주행 자동차들이 각각의 위치정보를 공유하며 정해진 지역을 협업을 통해 탐험해 가는 시스템을 개발하였다.

J. Cai 등의 방법[4]은 선형제어 시스템으로써, 사용자가 안드로이드 폰으로 미로에 놓여진 본체를 수동 제어하는 방식이다. 유승환 등의 방법[5]은 자율주행이 지원되지 않고 단순 모바일 플랫폼의 개발에 초점을 맞추어 개발되었다. 단순 터치스크린에 의한 이동로봇의 반응확인을 위한 개발이었다. 이 밖에도 장난감 자동차를 제어하는 수단으로 분류를 하면 얼굴의 시각 방향을 이용한 방법[6], 사람의 손제스처 인식에 의한 방법[7], 사람의 발을 검출하고 추적하는 방법[8], 음성을 인식하여 제어하는 방법[9], 등이 연구되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안된 시스템의 하드웨어적 구조에 대하여 설명하며 3장에서는 소프트웨어적 제어구조에 대하여 설명한다. 4장에서는 실험결과와 기존의 방법과의 비교를 수행하며, 5장에서 결론과 향후과제에 대하여 언급한다.

II. 제안된 시스템 구조

* Corresponding Author (leecw@kunsan.ac.kr)

Received: 5 Feb. 2013, Revised: 18 Apr. 2013.

Accepted 22 Apr. 2013.

E. Ko, C.W. Lee: Kunsan National University

그림 1. 제안된 시스템 구조도; (a) 기본 플랫폼, (b) 구성부품

Fig. 1 Architecture of Proposed System; (a) Platform, (b) Components

일반적으로 지능로봇이나 지능형 차량의 연구를 위한 기본 플랫폼은 시장에서 일반적으로 팔리는 장난감 자동차를 구입함으로써 쉽게 얻을 수 있다 [3]. 제안된 연구에서 무선 조종 장난감 자동차는 차량에 설치된 아두이노(Arduino Microcontroller)와 블루투스 모듈(Bluetooth Module)을 통해 스마트폰의 삼축가속도 센서(Triaxcial Accelerometer Sensor) 정보를 이용하여 제어할 수 있다. 그림 1 (a)에서 보듯이 제안된 시스템을 만들기 위해 우리는 시장에서 구매한 무선조종 장난감 자동차를 분해하여 배터리 박스, 4 바퀴와 모터 두 개만을 제외하고 모두 제거한다. 기본 플랫폼이 완성되면 그림 1 (b)에서와 같이 마이크로 프로세서 유닛(MicroProcessor Unit, MPU), 이중 모터 제어기, 블루투스 모듈, 그리고 스마트폰을 기본 플랫폼에 장착한다. 그림1과 모터제어를 위한 샘플코드는 [10, 11] 참고문헌을 참조하였다.

먼저 무선조종 장난감 자동차와 안드로이드 기

표 1. 구성부품 명세
Table 1. Specification of Components

부품명	명세
MPU	Arduino Uno 마이크로제어기 보드
모터 제어기	두 개의 모터 제어가 가능한 MD1.3 2A 이중 모터 제어기
블루투스 모듈	MPU와 스마트폰의 통신연결을 위한 JY-MCU 블루투스 모듈
스마트폰	시스템의 시각을 담당하는 삼성 갤럭시 플레이어
장난감 자동차	람보르기니 아벤타도르 무선조종 장난감자동차

반의 스마트폰과의 통신은 블루투스를 이용한다. 무선조종 장난감 자동차와의 연결이 형성되면 스마트폰에서 처리된 결과를 미리 정의된 명령어 형식으로 자동차로 전송한다. 제안된 시스템은 수동모드와 자동모드 두 가지를 지원한다. 즉, 수동모드에서는 참고문헌 [4]에서 제안된 것과 유사하게 터치스크린의 버튼을 이용하는 것도 가능하며, 스마트폰의 삼축가속도 센서의 값을 센싱하여 자동차를 제어할 수도 있다. 제안된 시스템은 수동모드를 지원할 뿐만 아니라 사용자의 간섭 없이 자동으로 차선을 추적하여 움직이도록 설계하였다.

제안된 시스템은 표 1과 같은 부품으로 구성된다. MPU에는 EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)이 내장되어 있어 사용자가 작성한 저급수준의 프로그래밍이 가능하다. 스마트폰에서 처리된 결과에 따라 차량구동 명령어를 생성하고, 이를 MPU로 블루투스 통신을 통해 전송한다. 전송된 메시지에 따라 제어신호가 모터제어기로 전달된다.

Ⅲ. 자동 차선 추적

3.1 자율주행 장난감 자동차 제어의 개요

자동으로 차선을 추적하는 시스템을 구현하기 위해 제안된 방법은 먼저 스마트폰의 카메라로부터 입력영상을 획득하고, 이 영상에서 차선을 검출한다. 차선을 검출하기 위한 방법은 흰색이 차선이라는 단순한 가정을 기반으로 OpenCV 라이브러리 함수를 사용한다[12].

이미지의 중앙부분을 ROI(Region-of-Interest, 관심의 대상이 되는 영역) 영역으로 설정하고, 그

그림 2. 차선추적 시스템의 흐름도

Fig. 2 Flowchart of Lane Tracking System

영역 내에서 흰색 블랍(Blob)이 중앙에서 벗어난 정도를 계산한다. 검출된 블랍의 중심과 영상의 중심 점 사이의 거리차를 계산하고, 그 차이가 미리 정의된 범위를 벗어나면 영상 내의 블랍의 위치를 조정하기 위해 방향 모터를 구동시킬 메시지를 전송한다. 조향모터가 방향을 조절하고, 전후진모터는 전진과 후진을 조종한다. 이때 조절이 가능한 파라미터는 전원의 극성과 전류의 세기이다. 그림 2는 제안된 방법의 제어흐름도이다.

그림 2의 차선이 검출되었을 때는 차선이 영상의 중심으로부터 얼마나 벗어나 있는지를 계산하여 조향모터를 구동시킨다. 만일 차선이 검출되지 않았다면 차선의 추적을 정지하고, 다시 영상에서 차선이 검출될 때까지 후진 명령을 전달한다. 이 과정을 본 논문에서는 역추적(Backtracking)이라 칭한다.

3.2. 명령어 생성

제안된 시스템에서는 입력 영상으로부터 차선을 검출하기 위해 SurfaceView 클래스를 이용하여 안드로이드 스마트폰으로부터 영상을 획득한다. 이 클래스는 SurfaceHolder 객체를 통해 접근할 수 있으며 addCallbackBuffer() 함수를 이용해 영상의 데이터를 얻어 올 수 있다. 이 데이터는 OpenCV 라이브러리를 사용하기 위해 IplImage 객체로 변환된다. 그림 3에서 도시된 과정에 보듯이 매 프레임

그림 3. 영상처리에 따른 시스템 흐름도

Fig. 3 Diagram of the System based on Image Processing

그림 4. 차선 추적; (a) 차선검출, (b) ROI

Fig. 4 Lane Tracking; (a) Lane Detection, (b) ROI

마다 획득한 영상데이터는 같은 OpenCV 영상객체에 저장되고 처리된다. 이 과정을 그림 3에 도시한다. 획득한 영상객체로부터 히스토그램을 구하기 위해 프로젝션 프로파일(profile)을 이용한다. 전처리로 임계값을 이용한 이진화를 수행하고, 흰색 블랍에 대해 영상의 히스토그램을 생성한다. 지정된 ROI의 왼쪽과 오른쪽의 끝으로부터 $histo[i] \geq thresh_i$ 를 만족하는 양쪽 점을 찾아 블랍의 시작과 끝으로 설정한다. 이 제어신호들의 상태 변환을 그림 4에서 보여준다.

영상처리에 의한 차선의 검출이후 차선의 위치와 영상의 중심사이의 거리를 계산한다. 측정된 거리가 정해진 범위를 벗어나면 이를 정정하기 위해 조향모터를 구동하는 제어신호를 보내게 된다. 차선의 벗어남 정도를 계산하기 위해 우리는 영상의 세로 중점에서 ± 100 픽셀 영역을 ROI로 설정한다.

표 2에서는 영상에서 차선이 ROI영역을 벗어남을 판단하고 제어하기 위한 의사코드를 보여준다.

표 2. 차선이탈 판단을 위한 의사코드

Table 2. Pseudocode for Lane Departure

```

if ( $indexLeft - indexRight < nLaneWidth$ ) {
    Log.d(TAG, "후진");
} else if ( $indexLeft \geq \theta_l$  &&  $indexRight > \theta_r$ ) {
    Log.d(TAG, "좌회전");
} else if ( $indexRight \leq \theta_r$  &&  $indexLeft < \theta_l$ ) {
    Log.d(TAG, "우회전");
} else
    Log.d(TAG, "전진");

```

표 3. 시스템 제어를 위한 의사코드

Table 3. Pseudocode for System Control

```

switch(messagetype)
{
    case FAIL_DETECT_LANE:
        STB("#CWBW");
        break;
    case FORWARD:
        STB("#CWFW");
        break;
    case LEFT_TURN:
        STB("#BSFW");
        break;
    case RIGHT_TURN:
        STB("#FSFW");
        break;
    default:
        STB("#CWCW");
}

```

표 2에서 $indexLeft$ 와 $indexRight$ 는 $histo[i] \geq thresh$ 를 만족하는 프로젝트프로파일의 왼쪽 인덱스와 오른쪽 인덱스를 의미한다. θ_l , θ_r 은 각각 왼쪽 경계와 오른쪽 경계를 의미하며 실험에서는 영상의 가로 중심값 ± 100 픽셀로 설정한다. $nLaneWidth$ 는 검출된 차선의 너비 값을 의미한다. 우리는 사전에 스마트폰으로부터 블루투스 통신 모듈을 통해 무선조종 장난감 자동차로 보내질 5개의 제어신호를 정의한다. 생성된 제어코드를 이용한 시스템제어 의사코드를 표 3과 같다. 비선형 제어를 위한 의사코드에서 함수 STB()는 블루투스 통신을 통해서 스마트폰의 처리결과를 MPU로 전송하는 함수이다.

표 4에서 보듯이 각각의 경우에 전송되는 파라미터의 구성은 다음과 같다.

표 4. 정의된 메시지의 파라미터 종류

Table 4. Parameters of Predefined Messages

종류	파라미터	설명
구동	'F'	정방향 구동
	'B'	역방향 구동
	'C'	모터 정지
전류의 세기	'W'	약 전류(Half-power)
	'S'	강 전류(Full-power)

(a)

(b)

(c)

(d)

그림 5. 실험환경; (a) 트랙전경 (b) 트랙위의 시스템구동 모습 (c) 조립 전 부품, (d) 조립 후 완성된 시스템

Fig. 5 Experiment Environment; (a) Track View, (b) Running System on Track, (c) Before Assembly, (d) After Assembly

첫 번째 문자 '#'은 지시자이며, 두 번째와 세 번째 파라미터는 조향모터의 방향과 세기를 의미하고, 네 번째, 다섯 번째 문자의 의미는 전후진 모터의 방향과 크기를 의미한다. 즉, "#CWFS" 메시지의 의미는 조향모터는 구동을 정지하고, 전후진 모터는 정방향으로 최대출력으로 구동하라는 의미이다.

IV. 실험 결과

제안된 시스템은 실내 실험실 환경에서 실험하였다. 그림 5의 (a)에서 보듯이 먼저 실험실 바닥에 너비 1.2m 인 검정색 배경을 설치하고 1.9cm의 흰색 실선을 설치한다. 인위적으로 설치한 트랙의 크

그림 6. 시스템메인 화면

Fig. 6 Main Screen of System

기는 가로, 세로가 각각 4.5m, 3.35m 이다.

갤럭시 플레이어가 처리할 수 있는 속도는 20 f/s였다. 안드로이드 어플리케이션은 이클립스(eclipse)를 이용하여 JAVA 언어로 작성하였고, 삼성 갤럭시 플레이어는 YP-GB1CW, 8Gb 모델이며 동영상의 해상도는 720x480이다. 그림 5의 (c)는 제안된 시스템의 조립 전 각 부품의 모습을 보여주며, (d)는 조립 후 실험에 사용된 제안된 시스템 구성모습이다.

그림 6은 제안된 시스템이 자율주행 모드와 수동 조종 모드로 구성된 스크린 샷을 보여준다. 그림 6에서 보듯이 자율주행 모드가 있는 제안된 시스템은 터치스크린을 이용한 제어도 가능하고, 삼축 가속도 센서의 입력에 의한 제어도 가능하다. 그림 6에서 'slowly' 옵션을 선택하면 모터구동 시 항상 파라미터가 'W'를 선택하여 메시지를 전송하게 된다.

표 5에서는 제안된 시스템의 실험결과를 보여준다. 실험실 바닥에 설치된 차선을 따라 한 바퀴를 회전하는 동안 평균 67.8초가 소요되었고, 한번 후진 동작에 소요되는 시간은 평균 2.8초였다. 차선의 이탈로 인한 후진에서 소요된 시간이 대부분이었다. 비선형 모터의 제어이기 때문에 적당한 전류의 양을 계산하는 알고리즘의 구현이 요구되었다. 또한, 제안된 시스템은 검정바탕에 흰색영역을 차선이라 가정하고 수행하기 때문에 차선을 인식하는 과정이 요구된다. 표 5의 예외항목은 차선을 따라 추적하던 중에 새로이 출발시점에 전류의 세기가 전체시스템을 구동시킬 만큼 충분히 공급되지 않아 시스템이 정지하는 상태를 의미한다.

표 5. 제안된 시스템 실험결과

Table 5. Experimental Results of Proposed System

비교척도	평균
라운드/sec	67.8 초
역추적/round	7.8 회
후진시간/time	2.8 초
예외(정지)/round	0.49 회

표 6. 기존방법과의 기능 비교

Table 6. Functional Comparison results

	3축 가속도	터치 스크린	자율 주행
제안된 방법	0	0	0
S. Wasson 등의 방법[3]	x	x	0
J. Cai 등의 방법[4]	x	0	0
유승환 등의 방법[5]	x	0	x

표 6에서는 제안된 방법과 기존의 방법들 간의 비교를 수행한 결과를 보여준다. S. Wasson 등의 방법[3]은 두 대의 자율주행 자동차의 플랫폼으로 공동협업에 초점을 맞춘 시스템으로 삼축가속도 모드와 터치스크린 모드가 지원되지 않는다. J.Cai 등의 방법[4]은 선형제어 시스템으로써, 제안된 방법에 비해 구현의 난이도가 낮다고 할 수 있다. 유승환 등의 방법[5]은 자율주행이 지원되지 않고, 단순 터치스크린에 의한 이동로봇의 반응확인을 위한 개발이었다.

V. 결론 및 향후과제

본 논문에서 우리는 자율주행 장난감 자동차의 비선형 제어에 관한 문제를 다루었다. 특히, 무선 조종 장난감 자동차를 블루투스 통신이 가능한 스마트폰과의 연결을 통해 제어하였다. 제안된 시스템은 실험실 바닥에 인위적으로 설치한 흰색차선을 약 23Cm/초의 속도로 추적하였다. 제안된 시스템은 무선조종 장난감 자동차의 현 시장에 새로운 비즈니즈모델이 될 것이라 확신한다. 본 연구가 장난감 자동차의 비선형 제어의 시작이지만, 향후 과제로 첫째, 좀 더 정밀한 DC 모터의 제어, 둘째, 조명변화에 대한 강건성 확보, 셋째, 차선 추적의 정확성

향상을 위해 노력할 것이다. 또한, 자율적으로 차선을 추적하는 자동차를 뒤따르는 차량에 대한 연구도 향후연구의 일부이다. 그룹으로 자율운전이 되는 시스템이 완성된다면, 향후 환경오염도 줄일 수 있고, 지능형 교통정보 시스템의 일부로 역할을 할 수 있으리라 기대한다.

References

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/Smartphone> for the definition of Smartphone.
- [2] E. Ko, Y. W. Lee, B. J. Shin, C. W. Lee, "Automatic RC Toy Car Control System using a Smartphone," Proceedings on Joint Conference of the International Industrial Information Systems, pp. 90-92, 2012.
- [3] S. Wasson, J. Kouns, S. Bruder, K. Wedeward, A. El-Osery, "Application of Radio Control Cars as Intelligent Unmanned Ground Vehicles with Collaborative and Independent Behavior," Proceedings on SPIE, Vol. 5422, 2004.
- [4] J. Cai, J. Wu, M. Wu, M. Huo, "A bluetooth toy car control realization by android equipment," Proceedings on IEEE International Conference of TMEE, pp.2429-2432, 2011.
- [5] S. Yoo, M. So, H. Kim, "RC Car control using smartphone application," Proceedings on Summer Conference of Korean Institute of Information Technology, pp.450-453, 2012 (In Korean).
- [6] C. Pornpanomchai, B. Wiranurak, W. Weerawut, L. Kawrungruang, "Operation of a radio-controlled car using face images," Proceedings on International Conference of ICMEE, Vol. 1, pp.108-112, 2010.
- [7] G. Lannizzotto, C. Costanzo, P. Lanzafame, F. La Rosa, "A vision-based user interface for real-time controlling toy cars," Proceedings on IEEE Conference of Emerging Technologies and Factory Automation, Vol. 1, No. 8, pp. 1009-1016, 2005.
- [8] S. Shaukat, M.H. Yousaf, H.A. Habib, "Real-time feet movement detection and tracking for controlling a Toy car," Proceedings on International Conference of ICACTE, Vol. 6, pp.5-9, 2010.
- [9] P. Leechor, C. Pornpanomchai, P. Sukklay, "Operation of a radio-controlled car by voice commands," Proceedings on International Conference on ICMEE, Vol. 1, pp.14 - 17, 2010.
- [10] <http://www.dfrobot.com/> for Dual Motor Controller programming sample code and instruction.
- [11] <http://www.arduino.cc/> for MPU programming sample code and instruction.
- [12] <http://opencv.org/> for OpenCVLibrary.

저 자 소 개

고 은 상

Email: aiesko@naver.com

2010~현재 군산대학교
컴퓨터정보공학과 학부과
정생.

관심분야: 컴퓨터비전,
영상처리, 인공지능

이 창 우

1996 경일대학교 컴퓨터
공학과 공학사.

1998 경북대학교 컴퓨터
공학과 공학석사.

2004 경북대학교 컴퓨터
공학과 공학박사.

현재, 군산대학교 컴퓨터정보공학과 부교수
관심분야: 패턴인식, 컴퓨터비전, 상황인식

Email: leecw@kunsan.ac.kr