

무인차량 원격주행제어를 위한 힘반향 햅틱제어 기술에 관한 연구

강태완¹, 박기홍^{2*}, 김준원³, 강석원³, 김재관³

¹국민대학교 자동차공학전문대학원, ²국민대학교 자동차IT융합학과, ³한화시스템(주) 지상시스템팀

A Study on the Haptic Control Technology for Unmanned Military Vehicle Driving Control

Tae-Wan Kang¹, Ki-Hong Park^{2*}, Joon-Won Kim³, Seok-Won Kang³, Jae-Gwan Kim³

¹Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University

²Department of Automobile and IT Convergence, Kookmin University

³Hanwha Systems Co., Ltd Land System Team

요약 본 논문은 무인차량 원격 제어 시 실제감과 안전성을 향상시키기 위한 기술 개발 내용을 설명한 것이다. 일반적으로 무인차량 원격 운용 장치의 경우 조이스틱 형태의 장치나 간이 조향 휠로 구성하는 것이 대부분이다. 또한 차량 또는 장비를 직접 운전하는 감성을 구현하거나 현재 주행 상황을 운용 장치로 피드백하지 않기 때문에 사용자 입장에서는 이질감을 느낄 수밖에 없었다. 최근 무인화 연구가 활발해짐에 따라, 이질감과 함께 현재의 주행 상황을 운전자에게 피드백하지 않아 발생하는 위험까지 제기되었고, 이러한 문제점을 제거하기 위한 힘반향 햅틱제어 기술의 필요성이 대두되었다. 따라서 본 연구에서는 기존의 무인차량 운용 장치가 가지고 있는 문제점을 해결하기 위하여 차량의 주행 상태를 고려한 힘반향 햅틱제어 기술을 제시하였다. 고려되어진 차량 주행 상태는 첫째로 차체 옆미끄럼각(β)과 요레이트(γ)와 같이 상태변수와 차량 동적 거동을 나타내는 파라미터를 포함하며, 위험 구역 접근, 장애물에 의한 조향 제한 등을 나타낼 수 있는 파라미터를 포함한다. 또한 햅틱제어 기술은 크게 일반 주행 상황, 위험 구역 접근 상황, 장애물에 의한 조향 제한 상황, 제어권 전환 상황 별 알고리즘으로 구성되며, 각 상황 별 천이 과정이 자연스럽게 알고리즘을 구성하였다. 이러한 알고리즘을 검증하기 위하여 차량동역학 해석 시뮬레이션 툴을 활용, CAN 통신으로 구성된 시뮬레이터 환경을 구축하였으며, 각 상황 별 알고리즘 동작을 평가해봄으로써 실현 가능성 및 성능을 입증하였다.

Abstract This paper describes the developments to improve the feeling and safety of the remote control system of unmanned vehicles. Generally, in the case of the remote control systems, a joystick-type device or a simple steering-wheel are used. There are many cases, in which there are operations without considering the feedback to users and driving feel. Recently, as the application area of the unmanned vehicles has been extended, the problems caused by not considering the feedback are emphasized. Therefore, the need for a force feedback-haptic control arises to solve these problems. In this study, the force feedback-haptic control algorithm considering the vehicle parameters is proposed. The vehicle parameters include first the state variables of dynamics, such as the body side-slip angle (β) and yawrate (γ), and second, the parameters representing the driving situations. Force feedback-haptic control technology consists of the algorithms for general and specific situations, and considers the situation transition process. To verify the algorithms, a simulator was constructed using the vehicle dynamics simulation tool with CAN communication environment. Using the simulator, the feasibility of the algorithms was verified in various scenarios.

Keywords : Driving feel, Force feedback-haptic control, Remote control system, Simulator, Unmanned vehicle

본 논문은 2018년도 한화시스템(주)의 재원을 지원 받아 수행된 연구임.

*Corresponding Author : Ki-Hong Park(Kookmin Univ.)

Tel: +82-2-910-4689 email: kpark@kookmin.ac.kr

Received October 1, 2018

Revised November 27, 2018

Accepted December 7, 2018

Published December 31, 2018

1. 서론

최근 무인화에 대한 기술 개발이 활발해짐과 동시에 다방면에서 이를 적용하기 위한 움직임을 보이고 있다. 특히 무인차량을 이용하여 사람이 수행하기 어려운 임무 수행이 가능하다는 점은 무인화 기술의 활용 가치를 전적으로 대변한다. 실제로 정밀 탐지, 경계 감시, 인명 구조 등의 임무에 많이 활용되고 있으며, 앞으로도 무인화율은 점차 증가할 예정이다. 2017년 발표된 4차 산업혁명 대응 계획 주요 내용에 따르면, 2022년까지 공공 분야의 무인동체 핵심원천기술을 확보하겠다는 혁신 전략이 담겨있다[1].

이러한 무인차량은 원격주행과 자율주행 모드로 운용되는데, 원격주행 모드에서는 사용자가 직접 주행 영상을 확인하면서 조작 장치를 통하여 조종한다. 이때 기존 대부분의 원격주행제어 시스템은 사용자의 지령을 일방적으로 전달하여 실제 차량 운행에서 느껴지는 실제감을 느끼지 못한다. 때문에 무인차량에 손상이 발생하거나 제어가 불가능한 상황에 놓이는 등 문제 발생 가능성이 제기되었다. 특히 사용자가 원격주행제어시스템에서 조타 시 무인차량의 거동 특성이나 움직임의 제약 등을 느끼지 못함으로 인하여 혼돈을 유발하기도 한다. 예를 들면 주행 위험 구역에 진입하거나 조향이 제한된 상황에서 피드백의 부재로 인하여 임의로 조향을 함으로써 원격주행제어의 오차 누적 및 불안정한 제어가 야기된다. 이를 개선하기 위하여 실제 차량의 조향 핸들에서 계측된 복원력을 원격주행제어 시스템에 전달하여 현장감을 향상시키는 연구가 진행되었다[2]. 하지만 이는 통신 상태 및 부하가 시스템 성능에 지대한 영향을 미친다는 문제점이 있다. 실제로 무인차량과 원격주행제어 시스템 간 송수신 데이터에는 영상이 포함되어 있기 때문에, 통신 속도와 데이터양에 제약이 존재한다.

따라서 본 연구에서는 원격운용 시 부족한 실제감을 높이기 위해 일반 차량 조타 시 노면과 타이어 사이에서 발생하는 반력 토크를 생성하고, 무인차량과 원격주행제어시스템 간 동기화 기술을 개발하였다. 특히 조타 시 발생하는 반력 토크를 생성하기 위하여 가상의 차량모델을 개발하여 차량의 주행 상태를 고려한 힘반향 햅틱제어 기술을 제시하였는데, 통신 상태에 최대한 영향을 받지 않도록 제어에 대한 연산을 원격주행제어 시스템에서 수행할 수 있도록 구성하였다.

2. 무인차량 원격주행제어 시스템 구성

본 연구에서 개발한 원격주행제어 시스템의 구성은 Fig. 1과 같다. 우선 무인차량에는 차량 별 타이어 조향 각과 차량의 속도를 계측할 수 있는 센서가 장착되어 있고, 주변 환경 즉, 주행 가능한 구역의 Way-point를 계측하는 Lidar 센서가 장착되어 있다.

무인차량의 센서에서 계측된 파라미터는 원격주행제어 시스템으로 전달되어 현재 차량의 상태와 힘반향 햅틱 제어의 입력 값으로 사용된다. 힘반향 햅틱 제어부를 거쳐 최종 연산된 반력 지령이 무인차량으로 전달되며, 사용자가 선택하는 제어 모드 역시 무인차량으로 전달된다.

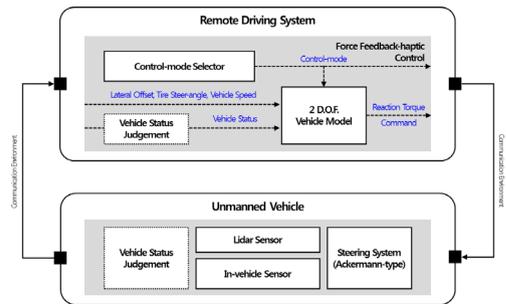


Fig. 1. Unmanned Vehicle - Remote Driving System Configuration

2.1 제어 모드 선택 및 차량 상태 판단부

무인차량 원격주행제어 시스템 즉, 원격주행제어시스템에서는 사용자가 직접 제어 모드를 선택하는 제어 모드 선택부와 차량의 상태에 따라 경고를 하거나 추가적인 반력 생성을 결정하는 차량 상태 판단부가 포함된다.

2.1.1 제어 모드 선택부

우선 제어 모드의 경우, 아래 Table 1과 같이 원격주행제어 시스템 작동 불가, 원격주행제어 시스템 초기화 모드, 정상 원격주행 모드, 자율주행 모드로 나뉜다.

Table 1. Control-mode

| Control-mode | Description | Remarks |
|--------------|-----------------------------------|--|
| 0 | System Not-operation | System cannot be operated the remote driving control |
| 1 | System Initialization mode | System should be required an initialization |
| 2 | Remote Driving mode | Remote-driving by user |
| 3 | Autonomous Driving mode | Autonomous-driving by algorithm |

2.1.2 차량 상태 판단부

차량의 상태는 무인차량 센서에서 계측된 파라미터로부터 판단하게 되는데, 주행 위험 구역에 접근한 경우와 원격주행제어 시스템에서 입력한 조향각 대비 실제 무인차량의 타이어 조향각 사이에 차이가 존재할 경우, 차량의 상태를 위험이 잔존하는 상태로 정의한다.

주행 위험 구역에 접근했다고 판단하기 위하여 환경 센서(Lidar)를 통해 계측한 주행 가능 구역의 Way-point를 기반으로 파라미터를 새롭게 정의한다. Fig. 2와 같이 전방 계측 범위 내의 Way-point를 토대로 주행 가능 구역의 경계선을 직선으로 근사화한 뒤 중심선을 정의한다. 중심선을 기준으로 차량 진행방향 기준선과의 각도 차이(θ), 차량 진행방향 기준 10m 전방의 횡방향 이탈 거리(d)를 새롭게 정의하여 차량 상태 판단에 활용하였다[3].

조향 제한 상태의 경우, 원격주행제어 시스템에서 입력한 조향각 대비 실제 무인차량의 타이어 조향각 사이에 차이가 존재할 경우로 정의하고 일정 값 이상, 일정 시간 지속 조건이면 조향이 제한된 상태로 정의하였다.

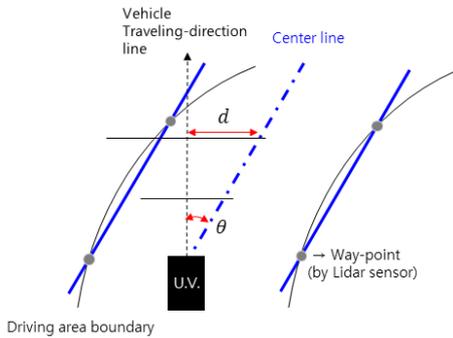


Fig. 2. Definition of Parameters for Judging leaving from Driving area

2.2 2 자유도 차량 모델

본 연구 원격주행제어 시스템 개발의 핵심인 힘반향 햅틱 제어를 수행하기 위해서는 차량 모델을 통한 상태 변수 추정이 필수적이다. 그 중 시스템 연산량을 고려하여 2 자유도 차량 모델을 선정한 뒤 무인차량을 모델링 하였다. 축의 개수는 무인차량과 동일하게 3축으로 고려하였으며, 전륜측만 조향이 가능한 것으로 가정하여 Fig. 3과 같이 2 자유도 차량 모델의 자유물체도를 구성 하였다[4].

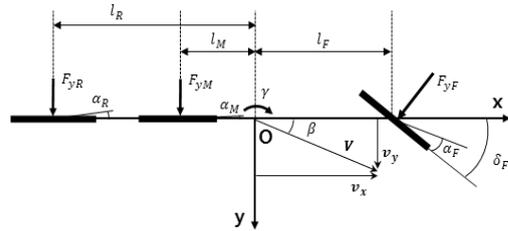


Fig. 3. 2 D.O.F. Vehicle Model

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} \delta_F$$

$$a_{11} = -\frac{C_F + C_M + C_R}{mv_x}, \quad a_{12} = \frac{-aC_F + bC_M + cC_R - mv_x^2}{mv_x^2}$$

$$a_{21} = \frac{-aC_F + bC_M + cC_R}{I_z v_x}, \quad a_{22} = -\frac{a^2 C_F + b^2 C_M + c^2 C_R}{I_z v_x}$$

$$b_{11} = \frac{C_F}{mv_x}, \quad b_{21} = \frac{aC_F}{I_z}$$

- β : 옆미끄럼각 m : 질량
- γ : 요레이트(yawrate) I_z : 요관성모멘트
- $v_{x,y}$: 차량종/횡방향속도 $C_{F,M,R}$: 코너링 강성
- δ_F : 전륜조향각 $\alpha_{F,M,R}$: 각차륜미끄럼각

차량 모델에 대한 상태방정식은 위와 같으며, 상태변수를 요레이트와 옆미끄럼각으로 설정하였다. 이렇게 모델링한 2 자유도 차량 모델에 요관성모멘트, 코너링 강성 등 각종 파라미터를 입력하여 무인차량과의 정합성을 확인하는 작업을 수행하였다. 비교-분석을 위하여 기준을 선정하였는데, 무인차량과 이미 정합성이 확보되어진 상용차량 모델을 기준으로 선정하였다. Fig. 4 (a), (b)는 무인차량이 일반 속도(20km/h)로 주행하는 상황에서 정현파 형태의 조향각($\pm 30\text{deg}$)을 입력한 조건에서의 시험 결과로써 옆미끄럼각(β)과 요레이트(γ)를 비교분석하였다.

Fig. 4 (c), (d)는 무인차량이 일반 속도(20km/h)로 주행하는 상황에서 Step 형태의 조향각(30deg)을 입력한 조건에서의 시험 결과로써 동일하게 옆미끄럼각(β)과 요레이트(γ)를 비교분석하였다. 급격한 조향각 변화를 동반하는 Step 형태의 조향각 입력 시험의 경우, 요레이트(γ)에는 오차가 거의 확인되지 않았으나 정상상태 옆미끄럼각(β)에 약 8% 이내의 오차를 보이는 것으로 확인되었다.

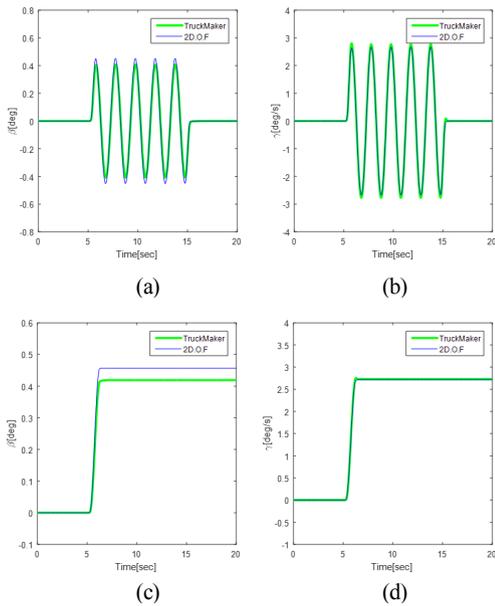


Fig. 4. Verification of 2 D.O.F. Vehicle Model
 (a) Sinusoid: Side-slip angle (b) Sinusoid: yawrate
 (c) Step: Side-slip angle (d) Step: yawrate

3. 힘반향 햅틱제어 알고리즘

Fig. 1에서 표현한대로 본 연구의 핵심인 원격주행 제어 시스템의 힘반향 햅틱제어 알고리즘은 Fig. 6의 Flowchart에 흐름대로 동작한다. 우선 사용자가 선택한 제어 모드(원격주행, 자율주행)가 자율주행 모드일 경우에는 원격주행 제어 시스템은 조향각 동기화만 수행하게 된다. 원격주행 모드일 경우 사용자의 조향 입력과 무인 차량의 주행 상태에 따른 반력 토크를 생성하며, 추가적으로 입력 조향각과 무인 차량의 조향각 사이에 차이가 존재하는 조향 제한 상태인지, 주행 위험 구역 접근 상황인지 판단하여 추가적인 반력 토크를 생성한다.

3.1 반력 토크 연산부

본 연구에서 힘반향 햅틱제어 알고리즘을 개발하는 주목적은 사용자의 조향 입력과 주행 상태에 따라 반력 토크를 생성하는 기술을 개발하는 데에 있다. 반력 토크는 조향 핸들의 복원력을 발생시키며, 실제 차량에서 조향 핸들에 생성되는 반력 토크는 노면과 타이어 사이에서 발생하는 정렬 모멘트에 의하여 발생한다. 따라서 2 자유도 차량 모델을 활용하여 Fig. 5에 표현된 전륜의

타이어 정렬 모멘트(M_z)를 추정해야하는데, 연산 방법은 다음과 같으며, 이를 위해서는 전륜 미끄럼각을 알고 있어야 한다. 전륜 미끄럼각은 앞서 모델링한 2 자유도 차량 모델의 상태변수 옆미끄럼각(β)과 요레이트($\dot{\gamma}$)를 이용하여 연산이 가능하다[5].

$$M_z = F_{yF} \cdot t_p$$

$$F_{yF} = -C_F \cdot \alpha_F$$

$$\alpha_F = \beta + \frac{l_F \dot{\gamma}}{v_x} - \delta_F$$

$\left\{ \begin{array}{l} M_z : \text{타이어정렬모멘트} \\ t_p : \text{뉴메틱트레일(pneumatic trail)} \end{array} \right.$ F_{yF} : 전륜타이어횡력

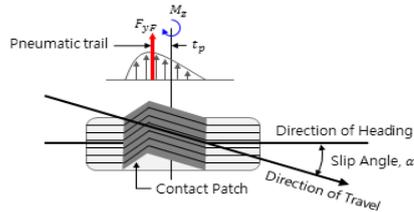


Fig. 5. Tire-aligning moment (M_z)

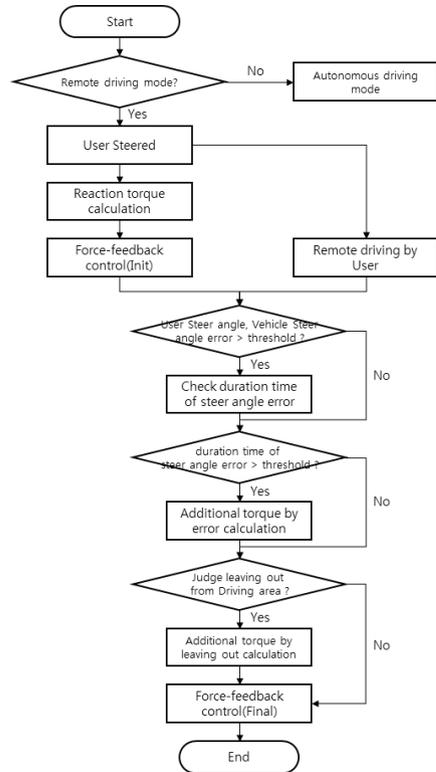


Fig. 6. Force-feedback Control algorithm Flowchart

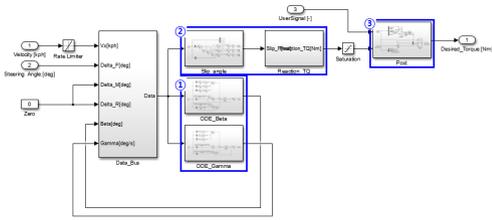


Fig. 7. Force-feedback Control algorithm Model(Simulink)

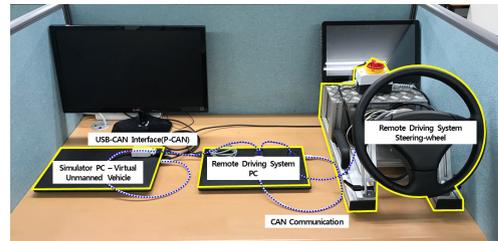
Fig. 7은 지금까지 설명한 힘반향 햅틱제어 알고리즘 모델이다. 1번 Subsystem은 2.2절에서 설명한 2 자유도 차량 모델의 상태방정식을 적분기 기법으로 표현한 모델이며, 2번 Subsystem은 3.1절에서 설명한 타이어 정렬 모멘트, 더 나아가 반력 토크를 연산하는 모델이다. 마지막으로 3번은 2.1절에서 설명한 제어 모드 선택 및 차량 상태 판단을 수행하는 Subsystem이다.

4. 시뮬레이션

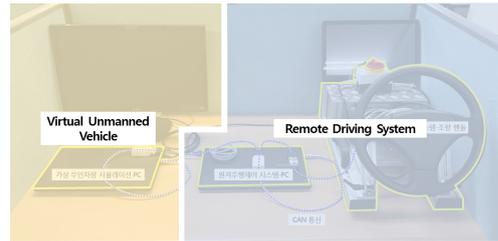
본 연구에서 힘반향 햅틱제어 알고리즘을 개발 및 검증하기 위하여 실제 조향 핸들이 포함된 시뮬레이션 환경을 구성하였는데, 4절에서는 그 내용과 검증 내용에 대해서 설명한다.

4.1 시뮬레이션 환경 구성

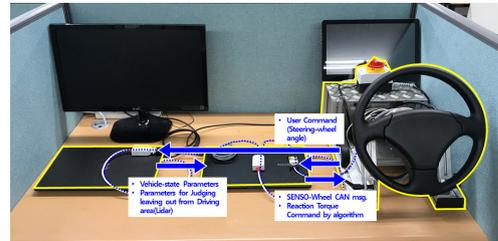
본 연구에 활용한 하드웨어로는 Fig. 8과 같이 사용자가 조향 입력에 사용할 SENSODRIVE社 SENSO-Wheel SD-LC(이하 SENSO-Wheel), CAN 통신을 위한 PEAK社 P-CAN, 원격주행제어 시스템 PC와 가상 무인차량 시뮬레이션 PC이다. 원격주행제어 시스템 PC에서는 타이어 정렬 모멘트 및 반력 토크 연산과 SENSO-Wheel 구동을 위한 CAN 메시지 전달, 모드 선택 기능을 수행한다. 가상무인차량 시뮬레이션 PC에는 시뮬레이션 툴인 IPG社의 TruckMaker를 활용하여 사용자가 입력한 조향각에 따라 원격주행하거나 자율주행하는 가상의 무인차량 모델을 구현한다. 또한 주변 환경 및 타이어 조향각, 차량 속도 등 차량의 거동과 관련한 파라미터와 차량 상태를 판단할 수 있는 파라미터 값을 전달한다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 8. Simulation Environment Configuration
(a) Hardware (b) Role of Simulation
(c) CAN Messages

4.2 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 힘반향 햅틱제어의 핵심 역할인 반력 토크 생성에 대한 시험을 우선적으로 수행하였으며, 다음으로 위험 구역 접근 상황과 장애물에 의하여 조향이 제한된 상황, 마지막으로 원격주행제어에서 자율주행으로 또는 그 반대로 모드를 전환하는 시험을 수행하였다.

우선 반력 토크 생성에 대한 시험 조건은 30km/h로 주행하는 상황에서 정현파 형태의 조향각($\pm 40\text{deg}$)을 입력한 조건이며, 알고리즘 적용 여부에 따른 결과를 비교하였다. Fig. 9에 표현된 그래프는 조향 토크, 조향각, 조향각속도로써 알고리즘 적용 여부는 무관하게 동일한 조향각속도로 동일한 조향각을 입력한 것을 확인할 수 있다. 다만 알고리즘을 적용하지 않았을 때 약 $\pm 0.7\text{Nm}$ 의 조향 토크로 조향이 가능한 반면, 알고리즘을 적용함에 따라 발생하는 반력 토크로 인하여 $\pm 2.7\text{Nm}$ 의 조향 토크를 입력해야만 조향이 가능한 것을 확인할 수 있다.

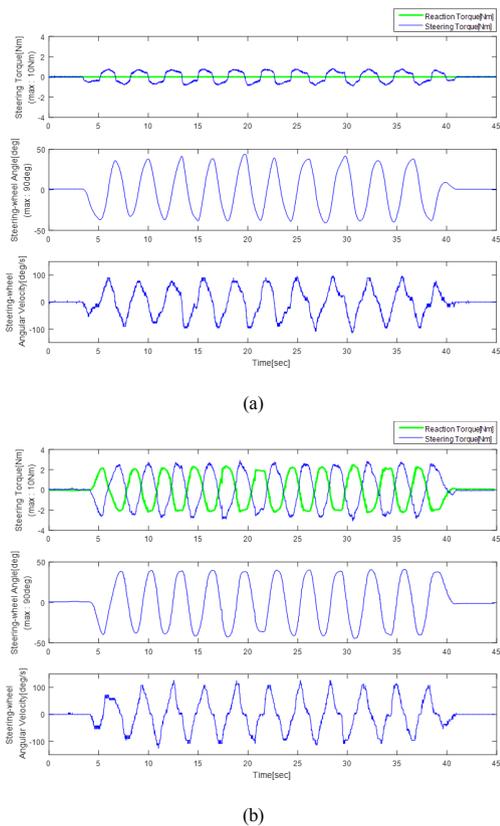


Fig. 9. Comparison of applying Force-feedback Control algorithm
(a) Algorithm not applied (b) Algorithm applied

4.2.1 주행 위험 구역 접근 상황

앞서 2.1.2절에서 설명한 바와 같이 무인차량은 주행 가능 구역을 계측하고, 주행 가능 구역 경계선 Way-point를 정의하여 차량의 주행 상태를 판단한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 툴인 IPG 社의 TruckMaker에 미리 주행 가능 구역의 경계선을 아래 Fig. 10 (a)와 같이 정의한 뒤, 차량 진행방향 기준 각도차(θ), 10m 전방 횡방향 이탈 거리(d)를 계측할 수 있도록 하였다.

Fig. 10 (b)는 무인차량이 40km/h로 주행하는 상황에서 좌우측 주행 위험 구역에 접근하는 시나리오의 시뮬레이션의 결과이다. 앞서 설명한 주행 가능 구역 이탈을 판단하는 파라미터의 조합인 Path Deviation(주행 구역 이탈, 1 이상일 경우 이탈로 판단)과 그에 따른 반력 토크의 값을 나타낸다.

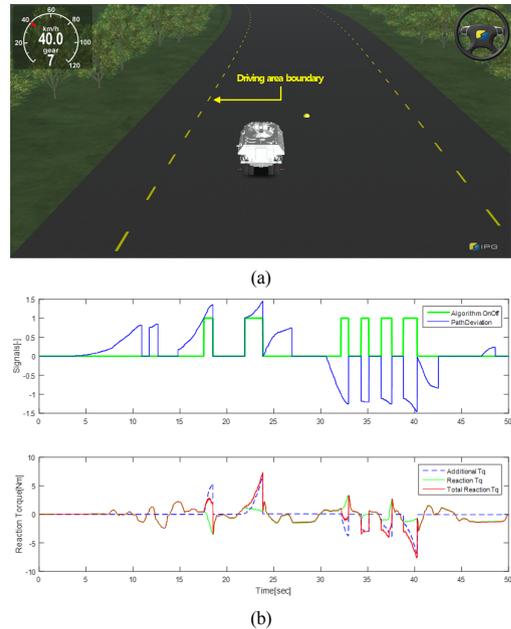


Fig. 10. Simulation near Driving area boundary
(a) Driving area boundary
(b) Simulation Results

Path Deviation 값이 1 이상일 경우 주행 위험 구역 접근 경고를 위한 추가적인 반력 토크(Additional Tq)가 타이어 정렬 모멘트에 의한 반력 토크(Reaction Tq)에 더해져 출력(Total Reaction Tq)되는 것을 확인할 수 있다. 이로써 원격주행제어 시스템 사용자는 주행 가능 구역을 벗어나는 것을 조향 핸들에 주어지는 반력 토크로 인지할 수 있다.

4.2.2 조향 제한 상황

앞서 2.1절에서 설명한대로 일정 기간 원격주행제어 시스템에서 입력한 조향각 대비 실제 무인차량의 타이어 조향각 사이에 차이가 존재할 경우를 조향 제한 상황으로 정의한다. 힘반향 햅틱제어 알고리즘이 무인차량의 조향이 제한되었다고 판단하면, 사용자의 추가 조향에 대한 경고를 조향 핸들의 반력 토크를 통하여 전달한다.

Fig. 11 (b)를 보면 무인차량이 정지한 상황에서 정현파 형태로 $\pm 90\text{deg}$ 의 조향각을 입력하는 상황이다. 특히 음의 방향으로 조향 시 무인차량의 타이어가 장애물에 의해 막혀있어 약 15deg 까지만 조향이 가능한 상황의 가상 시나리오를 구현하였다. 결과를 보면, 조향각의 차이 Angle Deviation 값이 일정 값 이상으로 지속될 경우,

추가 반력 토크 생성 알고리즘이 동작하는 것(Algorithm On[50]Off[0])을 확인할 수 있다.

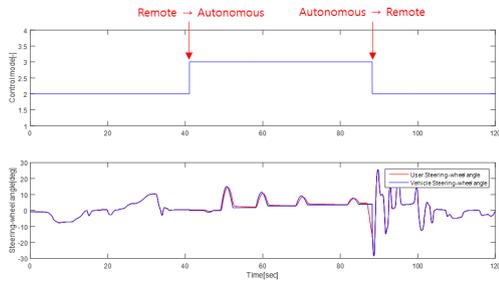


Fig. 12. Simulation Results of Situation Changing Control-mode

사용자 의도 하에 조향 핸들을 조작하면 조향각 차이가 발생하게 되고, 그 차이가 일정 수준 이상일 경우 이를 사용자의 조향 의도로 정의하였으며, 이를 통하여 모드가 정상적으로 전환되는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 무인차량 원격 제어 시 실재감과 안전성을 향상시키기 위한 힘반향 햅틱제어 기술을 개발하는 것이 목표이다. 이를 달성하기 위하여 하기와 같은 결과물을 도출하였다.

1. 차량 주행 상태를 고려한 반력 제어를 기본적으로 수행함으로써 실제 차량 운용과 원격주행제어의 조타감이 유사하도록 알고리즘을 개발하였다.
2. 추가적으로 임무 수행 중 발생 가능한 주행 위험 구역 접근 또는 조향 제한 상황을 고려하여 위험 구역 접근과 조향 제한에 대한 사용자 피드백(또는 경고)이 가능하도록 추가적인 반력 토크를 생성하는 알고리즘을 개발하였다.
3. 또한 원격주행과 자율주행 모드 전환도 사용자가 직접 변경하거나 조향 핸들을 조작하여 자동으로 모드가 변경되는 알고리즘까지 개발 완료하였다.
4. 힘반향 햅틱제어 알고리즘을 검증하기 위하여 무인차량과 원격주행제어 시스템을 포함하는 가상 시뮬레이션 환경을 구성하였다.
5. 시뮬레이션 환경을 기반으로 반력 토크 유무, 주행 위험 구역 접근 상황, 조향 제한 상황, 모드 전환

상황을 구성한 뒤 검증을 수행하였다.

그 결과, 기존 원격 운용 장치의 한계점을 보완하여 사용자에게 피드백(또는 경고)이 가능한 힘반향 햅틱제어 알고리즘 기반의 원격 운용 환경을 개발하였다. 이를 통해 무인차량의 주행 상태를 실시간으로 고려할 수 있을 뿐만 아니라 원격 주행 중 실재감과 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Ministry of Science and ICT. Human-oriented 4th Industrial Revolution Response Plan for Innovation Growth [Internet]. Republic of Korea: Ministry of Science and ICT, 2017, Available From: <https://msit.go.kr:443/web/msipContents/contentsView.do?catelId=mssw311&artId=1369857> (accessed Aug., 30, 2018)
- [2] T. G. Lee, J. H. Ryu, "A Study on the Teleoperation of the Unmanned Grounded Vehicle for Improving Telepresence" Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, vol. 16, no. 6, pp. 553-558, June, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2010.16.6.553>
- [3] R. Rajamani. "Vehicle Dynamics and Control", Springer, USA, pp. 35-39, 2006.
- [4] M. Abe, W. Manning. "Vehicle Handling Dynamics: Theory and Application", Butterworth-Heinemann, UK, pp. 95-104, 2009.
- [5] B. Park, S. Heo. "Vehicle Dynamics: an Introduction", Munundang, Republic of Korea, pp. 288-289, 2009.

강 태 완(Tae-Wan Kang)

[정회원]



- 2013년 2월 : 아주대학교 공과대학 기계공학부 (공학사)
- 2015년 2월 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 (공학석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 박사과정

<관심분야>

차량 사시 제어, ADAS/ 자율주행 시스템

박 기 흥(Ki-Hong Park)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 공과대학 기계설계 (공학사)
- 1990년 2월 : 미국 Cornell 대학교 기계공학 (공학석사)
- 1994년 2월 : 미국 Cornell 대학교 기계공학 (공학박사)
- 1990년 2월 : 국민대학교 자동차IT 융합대학/자동차공학전문대학원 교수

<관심분야>

차량 사시제어, ADAS/ 자율주행 시스템

김 재 관(Jae-Gwan Kim)

[정회원]



- 2002년 8월 : 한국과학기술원 통신공학 (공학석사)
- 2008년 8월 : 한국과학기술원 통신공학 (공학박사)
- 2009년 5월 ~ 2011년 3월 : 국방과학연구소 선임연구원
- 2011년 4월 ~ 현재 : 한화시스템 (주) 지상시스템팀 수석연구원

<관심분야>

무인체계, 지휘통제

김 준 원(Joon-Won Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 연세대학교 공과대학 기계공학과 (공학사)
- 2000년 2월 ~ 현재 : 한화시스템 (주) 지상시스템팀 수석연구원

<관심분야>

다중로봇 통합운용, 증강현실, 힘반향 햅틱제어

강 석 원(Seok-Won Kang)

[정회원]



- 1993년 2월 : 국민대학교 공과대학 전자공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 ~ 2002년 12월 : 대우통신(주)
- 2003년 2월 ~ 현재 : 한화시스템 (주) 수석연구원

<관심분야>

무인체계, 정보통신