

논문 2021-16-37

도로의 경사도에 따른 자율주행 가속도 추정 모델 (Autonomous Driving Acceleration Estimation Model According to the Slope of the Road)

박경욱, 허명선, 오영철, 한지형, 정화현, 유병용*

(KyeoungWook Park, Myungseon Heo, Youngchul Oh, Jihyeong Han, HwaHyen Jeong, Byungyong You)

Abstract : Autonomous vehicles are divided into an upper controller that calculates control value through cognitive judgment and a lower controller that appropriately transmits its control value to an actuator. Here, the longitudinal control in a lower controller has a problem as the road slopes due to the property of the Acceleration sensor to output the acceleration as the slope of the device. Therefore, in this paper, a sigmoid function is proposed to determine the slope to compensate for this problem. Through the experiment, Checked performance by comparing the existing table model with the proposed model.

Keywords : Longitudinal control, 상위제어기, 하위제어기, Low control unit (LCU), Slope, Weight, Sigmoid Function, Fail/Safe, raspberry pi 4 Model B

1. 서론

자율주행자동차를 제어하기 위해서는 인지 판단 모듈을 통해 계산된 제어 값을 액추에이터에 전달하여 차량을 제어한다. 일반적으로 중립방향 액추에이터에 제어 값을 전달하기 이전까지 시스템을 상위제어, 이후 시스템을 하위제어라 정의한다. 상위/하위 제어기를 구분하여 정의하는 이유는 제어기의 계산량을 분산시킬 수 있고 고장 상황에 대한 이중화 전략을 확보 가능하기 때문이다. 상위제어기에서는 요구 조향각과 요구가감속도를 출력한다. 하위제어기에서는 조향각 엔코더 값과 브레이크 페달 엔코더 값, 엑셀 페달 전압 값을 출력하여 차량을 제어한다. 따라서 하위제어기는 횡과 종으로 나뉘어 상위제어기에서 전달한 요구제어값을 Look Up Table [1, 2]을 통해 액추에이터에 값을 전달한다. 이로 인해 발생한 오차는 피드백 제어를 통해 보상하도록 설계되어 있다. 이때 일반적으로 양산되는 차량에는 자이로 센서를 사용하지 않는다는 점을 고려하여, 종방향 제어는 가속도 센서의 가속도 x값만 측정하여, 아래의 그림 1과 같이 PI제어를 활용하여 제어 값을 보상하고 있다. 하지만 도로에 경사가 발생하면서 그림2와 같이 문제가 발생한다.

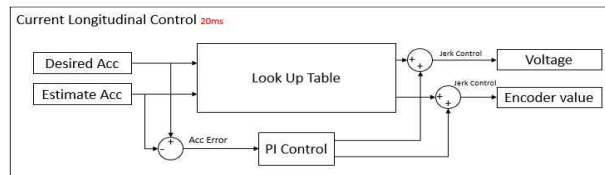


그림 1. 하위제어기의 종방향 제어 알고리즘
Fig. 1. Longitudinal control algorithm of LCU

그림 2에서 (a)와 (b) 그래프는 오르막길에서 속도와 가속도를 출력한 그래프이다. 그림 2에서 (c)와 (d) 그래프는 내리막길에서 속도와 가속도를 출력한 그래프이다. 그림 2 (a), (c)에서 검은색 선은 차량 속도이고 그림 2 (b), (d)에서 빨간색 실선은 가속도 센서의 가속도 출력 값, 파란색 점선은 휠 가속도를 출력한 값이다. 그림 2에서와 같이 가속도 센서의 가속도 반응속도는 빠르고 정확하지만 장치의 기울기로 인해 가속도가 계산되는 단점으로 인해 경사도에서는 정확하지 못한 가속도를 출력한다. 이를 보완하기 위해 휠 가속도를 활용할 수 있지만 휠 가속도 또한 휠 센서 속도 값에 의해 미분하여 계산되는 값이므로 센서의 노이즈와 미분으로 인한 데이터 출력 지연이 발생한다. 또한 가속도 센서의 가속도는 10ms마다 출력되고 휠 속도는 100ms 마다 출력됨으로 서로 동기화 하는데 어려움이 있다. 따라서 이 논문에서는 도로의 경사도를 추정하는 기존 연구들 [3-9]과 달리 가속도 센서와 휠 가속도 서로의 단점을 보완하기 위해 두 가속도의 신뢰성을 판단하는 가중치를 계산에 Sigmoid 함수 모델을 활용하였고 이를 통해 도로의 경사도에 따라 추정된 가속도 모델을 제안하였다. 그리고 이 모델의 성능을 확인하기 위해 기존 방식인 단순한 Table 형태로 계산된 모델과 이 논문에서 제안한 Sigmoid 모델의 가속도 추정 및 요구

*Corresponding Author (zealot@kiu.kr)

Received: Oct. 12, 2021, Revised: Oct. 27, 2021, Accepted: Nov. 17, 2021.

K.W. Park: Kyungil University (M. S.Course)

B.Y. You: Kyungil University (Prof.)

M.S. Heo, Y.C. Oh: autonomous a2z (CTO)

J.H han: autonomous a2z (CEO)

H.H. Jeong: autonomous a2z (Manager)

※ 이 논문은 산업통상자원부 산업기술혁신사업 (10079730, 자동차전용도로/도심로 자율주행 시스템 개발 및 성능평가)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었습니다 (IITP-2021-2020-0-01808*).

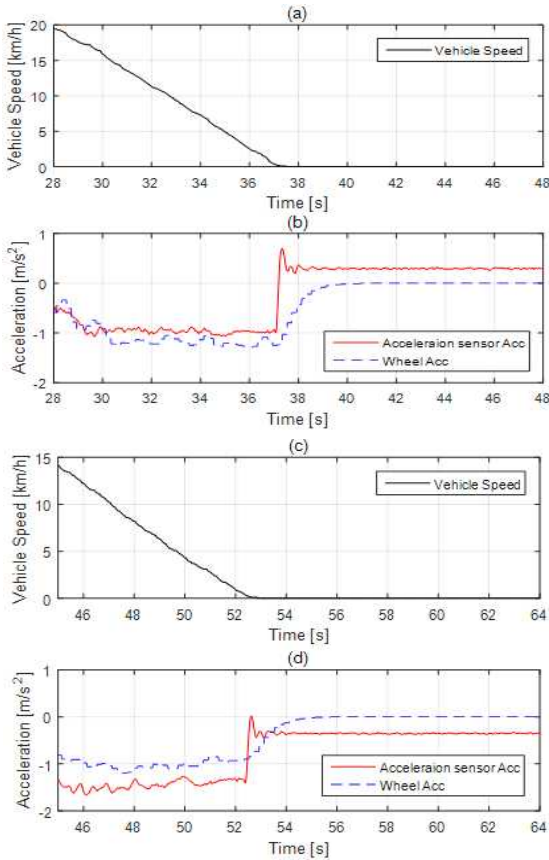


그림 2. 경사로에서 가속도 비교
Fig. 2. Comparing acceleration on slope road

가속도 추종 성능을 비교 분석하였다. 2장에서는 도로의 경사도 판단방법과 Table화된 가속도 추정 모델 및 Sigmoid 함수를 활용한 가속도 추정모델을 설명하고 3장에서는 실차 기반으로 두 가지 모델의 성능을 비교, 분석하고 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 도로의 경사도 판단

1. 휠 가속도

가속도 센서에서 출력해주는 가속도만으로는 도로의 경사도를 판단하기 어렵다. 따라서 또 다른 가속도를 계산할 수 있는 방법인 차량의 속도를 미분한 가속도를 활용하고자 한다. 차량에서 받아볼 수 있는 휠 속도를 CAN 통신으로 파싱 (Parsing)하여 100ms마다 데이터를 저장하고 가속도 센서에서의 가속도 $a_{x_AccSensor}$ 와 차량의 휠 속도를 미분한 가속도 a_{x_Wheel} 을 활용하여 도로의 경사도를 판단하고자 한다. 휠 가속도를 미분하는 식은 아래와 같다.

$$\frac{df}{dx} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x) - f(x-2h)}{2h}, \quad (1)$$

$$a_{x_wheel} = \frac{v_x - v_{x-2h}}{2t}. \quad (2)$$

식 1은 3점식 미분인 중앙차분법의 이론적 계산 방법이고 이를 식 2로 변환하여 차량의 가속도를 계산하였다. 식 1에서의 $f(x+h)$ 처럼 실시간으로 주행 중인 차량의 속도를 한 점 미리 앞서서 예측할 수 없으므로 현재 속도 $f(x)$ 로 두고 이전 데이터인 $f(x-h)$ 를 $f(x-2h)$ 로 변형하여 식 2와 같은 이론적 결과 식이 도출되었다. 여기서 v_x 는 현재 Sample 속도데이터이고 v_{x-2h} 는 2 Sample 이전속도데이터, t 는 속도데이터가 업데이트되는 시간으로 0.1 [s]이다.

2. 경사도 판단 (Table & Sigmoid function)

도로의 경사도를 판단하기 위해서는 가속도 센서의 장치 기술기에 따라 가속도가 출력되는 원리를 이용한다. 휠 가속도는 바퀴의 회전수에 따라 출력되는 가속도이므로 도로에 경사가 생겨도 변하지 않는다. 따라서 $a_{x_AccSensor}$ 와 a_{x_Wheel} 과의 오차 x_{error} 를 통해 도로의 경사의 여부를 판단할 수 있으므로 아래의 식 3과 같이 두 가속도의 오차를 계산한다.

$$x_{error} = \left| \frac{\sum_m^{n+m} a_{x_AccSensor}}{n} - \frac{\sum_0^n a_{x_Wheel}}{n} \right|. \quad (3)$$

이 두 가속도는 각 센서마다 노이즈가 존재한다. 그리고 휠 가속도의 경우 미분으로 인해 가속도 계산이 지연되는 현상도 감안하여 $a_{x_AccSensor}$ 데이터의 m만큼 이전 데이터를 가지고 각 두 가속도의 n개의 데이터를 평균화하여 더 정확한 가속도 오차를 계산한다. 아래 그림 3과 같이 도로의 경사도를 판단하기 위해 위와 같은 방법으로 가속도 오차를 계산하고 경사도 판단 Table 모듈과 Sigmoid 함수에 입력하여 경사도 가중치 (Slope Weight)를 출력한다. 실험값을 통해 n은 5 Sample을 사용했고 m은 2 Sample 만큼의 이전 데이터를 활용하였다.

도로의 경사도를 판단하기 위해 단순하게 Table 형태로 도로의 경사도를 판단하는 방법은 아래의 표 1과 같다.

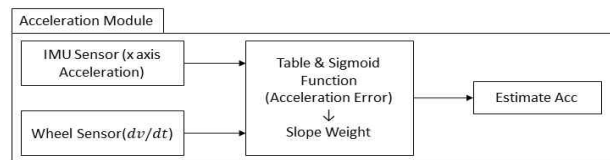


그림 3. 경사로 판단 모듈
Fig. 3. Slope road judgment module

표 1. 경사로 판단을 위한 가중치 테이블
Table 1. Weight table for slope road judgment

$ x_{error} $	Slope Weight
$ x_{error} \leq 0.05$	0.0
$ x_{error} \leq 0.1$	0.1
$ x_{error} \leq 0.15$	0.3
$ x_{error} \leq 0.2$	0.5
$ x_{error} \leq 0.25$	0.7
$-0.25 > x_{error}$ OR $x_{error} > 0.25$	1.0

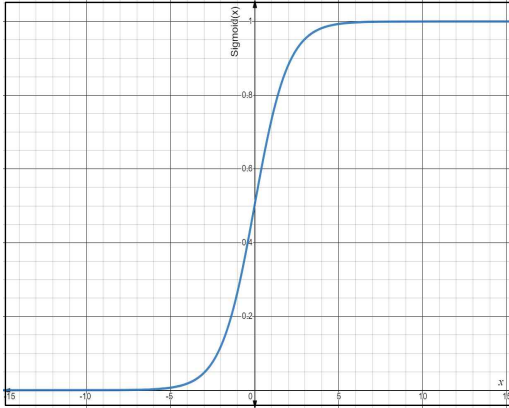


그림 4. 시그모이드 함수의 원형
Fig. 4. Original sigmoid function form

도로의 경사로 인해 x_{error} 가 발생하여 값이 증가할수록 *Slope Weight*는 1에 가까워져 경사가 있다고 판단하여 식 6에서 휠 가속도를 더 신뢰한다. 반대로 경사가 사라지고 다시 평평한 도로에 주행하게 되면 x_{error} 의 값이 작아져 *Slope Weight*는 0에 가까워져 경사가 없다고 판단하여 식 6에서 가속도 센서의 가속도를 더 신뢰한다. 이 논문에서는 표 1과 같이 *Slope Weight*를 계산한 논리를 Sigmoid 함수에 적용시켜 다음과 같은 모델을 제안하였다.

$$Sigmoid(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}, \quad (4)$$

$$Slope\ Weight(x_{error}) = \frac{a}{b + e^{-cx_{error} + d}}. \quad (5)$$

식 4는 Sigmoid 함수의 원형이고 위의 그림 4과 같이 나타난다. 식 5는 도로의 경사도를 판단하기 위해 제안한 변형된 Sigmoid 함수이다. 여기서 a와 b는 *Sigmoid(x)* 결과 값의 y축 범위를 배수 또는 역배수로 결정해준다. 그리고 c는 x축 방향으로 함수의 폭을 결정해준다. 작을수록 긴 폭을 가지고 클수록 짧은 폭을 가진다. 마지막으로 d는 x축 방향으로 *Sigmoid(x)*의 값을 오프셋(Offset)할 수 있는 성질을 가진다.

3. 최종 가속도 추종

도로의 경사도 여부를 판단하기 위해 제안된 모델은 경사가 발생할 때 Sigmoid 함수를 활용하여 가중치를 계산해준다. 이때 이 가중치의 역할은 평평한 도로에서는 가속도 센서의 가속도를 신뢰하고 경사가 발생한 도로에서는 휠 가속도를 더욱 신뢰하기 위해 각 두 모델로 인해 계산된 가중치를 아래의 6 식과 같이 적용하여 가속도를 추정한다.

$$a_{x_{Actual}} = a_{x_{Wheel}} \cdot Slope\ Weight + a_{x_{Acc\ Sensor}} (1 - Slope\ Weight). \quad (6)$$

Sigmoid 함수 모델에 의해 계산된 가중치인 *Slope Weight*는 0 ~ 1 사이의 값이며 각각의 가속도에 식 6과 같이 적용되어 최종으로 추정된 가속도를 계산한다.

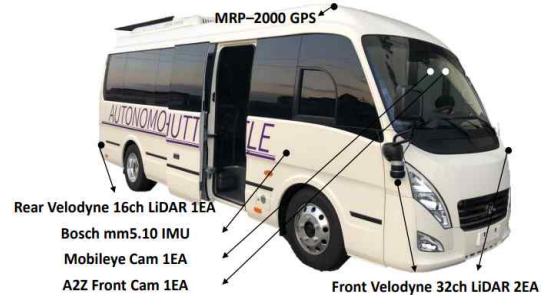


그림 5. 자율주행자동차 센서 레이아웃
Fig. 5. Autonomous vehicle layout

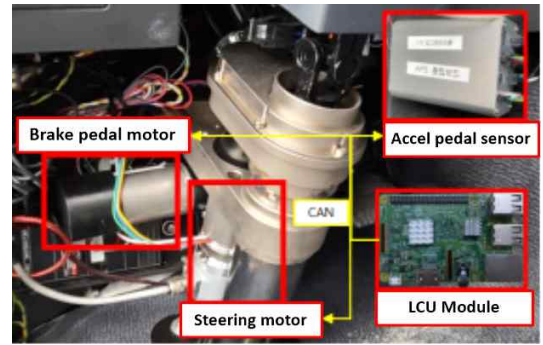


그림 6. 하위제어기 모듈
Fig. 6. Low control unit module

III. 실차 실험

1. 종방향 가속도 실차실험 환경구축

이 연구에서 사용된 중형버스는 그림 5와 같이 자율주행을 하기 위해 개조된 차량이다. 차종은 자일대우 레스타를 활용하였다. 그림 6과 같이 MAXON 모터를 각 브레이크와 조향에 장착하여 모터 드라이버를 통해 각 액추에이터를 구동하고 있고 엑셀 페달 센서를 장착하여 가속 명령을 줄 수 있다. 그리고 일반적으로 차량에 양산되고 있는 가속도 센서를 활용하는 것을 목표로 하여 고가의 자이로센서가 있는 IMU센서보다 저렴한 가속도 센서를 장착하였다. 그리고 하위제어기는 로직이 가벼워 가격 대비 성능이 좋은 라즈베리파이 4B 보드로도 충분하여 활용하였다. 이를 하위제어기 모듈로 분리하여 CAN 통신으로 각 액추에이터와 센서에 엔코더값과 전압값을 전달하고 있다. 여기서 제어 PC에서 하위제어기 모듈을 라즈베리파이 4B와 같은 보드로 분리한 이유는 고장 시 동작에 대한 Fail/Safe [10-12]가 가능해지기 때문이다.

2. 실험 경로 및 지역

자율주행 중형버스를 기반으로 실시한 실차 실험은 세종시 BRT 일부구간에서 진행하였다. 세종시 BRT (BUS Rapid Transit)는 중앙 버스 전용 차로이므로 대부분 정속주행이 가능하다. 아래의 그림 7은 세종시 BRT구간 위성사진



그림 7. 세종시 BRT 경로 위성사진
Fig. 7. BRT path in sejong city

표 2. 제안한 시그모이드 파라미터 값
Table 2. Proposed sigmoid parameter value

Parameter	a	b	c	d
Value	1	1	40	8

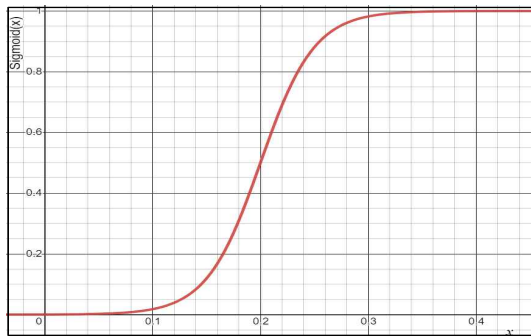


그림 8. 제안한 시그모이드 모델 출력 그래프
Fig. 8. Proposed sigmoid model graph

과 자율주행으로 운행한 경로를 나타낸다. 노란색 동그라미 점선은 평평한 도로로 정속 주행하는 구간 (A)이고, 초록색 실선은 경사진 내리막길과 오르막길이 있는 지하도로 (B)이며, 빨간색 네모점선은 신호등과 정류장으로 인해 차량이 가속, 감속을 반복하는 구간 (C)이다.

3. 경사도에 따른 제안한 모델의 성능 비교

도로의 경사도를 판단하기 위해 Sigmoid 함수로 판단하는 방법을 제안하였다. 식 5에 대한 알맞은 각 파라미터의 값은 표 2와 같이 정의하였다. 식 5에서의 a와 b는 가중치의 값이 0 ~ 1 사이의 값으로 출력하기 위해 1로 설정했다. c는 x_{error} 값이 평지에서도 도로의 노이즈와 급가속, 급감속으로 인해 충분히 생길 수 있다. 따라서 x_{error} 가 0 ~ 0.3까지는 경사도가 생기는 경계 부분으로 판단하기 위해 40으로 설정했다. d도 마찬가지로 x_{error} 의 0 ~ 0.3 사이의 경계 부분 결정과 x_{error} 의 시작 값이 0부터 보기 위해 8로 설정하였다. 아래의 식 7은 이 논문에서 설계한 Sigmoid 함수이며 그 결과는 위의 그림 8과 같다.

$$Slope\ Weight(x_{error}) = \frac{1}{1 + e^{-40x_{err} + 8}} \quad (7)$$

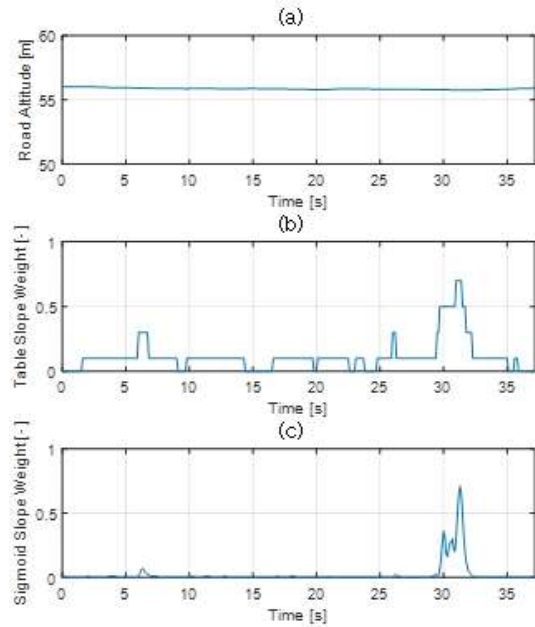


그림 9. 평평한 도로에서의 가중치 비교
Fig. 9. Weight comparison on flat road

그림 9 (a) 그래프는 35여초간 평평한 길을 주행하면서 정밀지도 내의 주행한 경로의 높이 정보를 가져와 도로의 높이 변화로 나타낸 그래프이다. 그림 9 (b) 그래프는 Table 모델로 그림 9 (a)와 같은 길에서 가중치 변화를 나타낸 그래프이다. 그림 9 (c) 그래프는 그림 9 (a) 그래프와 같은 경로에서 Sigmoid 함수로 계산한 가중치 변화를 나타낸 그래프이다. x축에 0 ~ 25초까지의 가중치 변화를 보면 테이블로 계산한 가중치는 x_{error} 의 경계에 따라 0 ~ 0.3의 값으로 일정하지 못한 값이 나오는 것을 볼 수 있다. 30 ~ 35초 부근에서는 0.5 ~ 0.7까지의 값이 올라가는 것을 볼 수 있다. 그에 비해 Sigmoid 함수로 계산한 가중치는 Table 모델과 달리 x_{error} 의 조건문에 대한 경계가 없어 0 ~ 30초부근까지 가중치변화가 연속적이다. 30 ~ 35초부근에서 Table 모델에 비해 평균적으로 큰 값이 나타나지 않는다. 33초부근에서는 Table 모델보다 더 빠르게 평지로 판단한다. 이를 통해 그림 9 (a) 그래프와 같이 평평한 길에서 테이블화하여 가중치를 계산한 모델보다 Sigmoid 함수를 활용하여 가중치를 계산한 모델이 경사도 판단하는데 더 우수한 성능을 보인다.

그림 10 (a) 그래프는 60여초간 경사진 도로를 주행하면서 정밀지도 내의 주행한 경로의 높이 정보를 가져와 도로의 높이 변화로 나타낸 그래프이다. 그림 10 (b) 그래프는 Table 모델로 도로의 경사도를 가중치로 나타낸 그래프이다. 그림 10 (c) 그래프는 그림 10 (a) 그래프와 같은 경로에서 Sigmoid 함수로 계산한 가중치 변화를 나타낸 그래프이다. Table 모델과 Sigmoid 함수로 나타낸 가중치 변화의 경향은 비슷하지만 그림 10 (b) 그래프보다 그림 10 (c) 그래프가 전체적으로 경사도 가중치의 변화가 연속적이다. x축의 0 ~

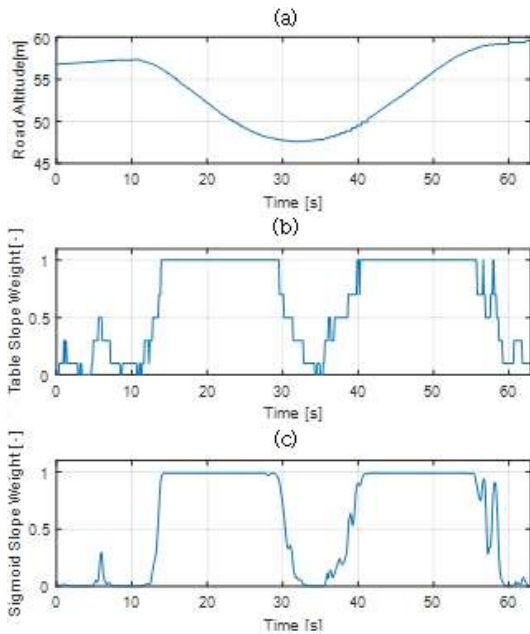


그림 10. 경사로에서의 가중치 비교
Fig. 10. Weight comparison on slope road

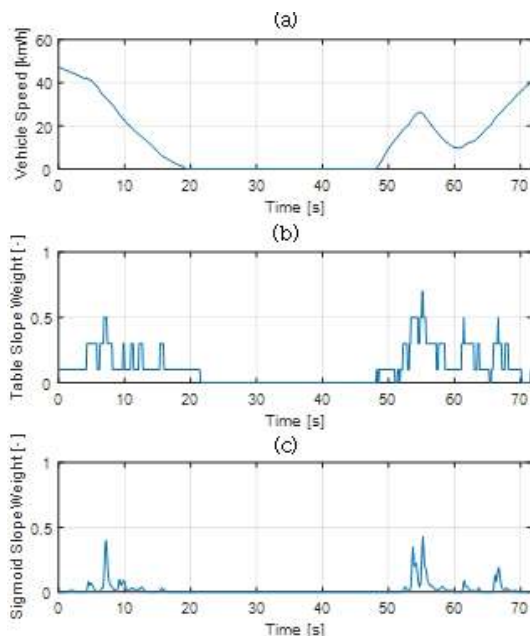


그림 11. 가속, 감속상황에서의 가중치 비교
Fig. 11. Weight comparison in acc/dec situations

10초구간과 30 ~ 40초구간, 60초이후 구간에서 그림 10 (b) 그래프는 가중치가 테이블의 조건 경계 부분에서 불연속적인 것을 볼 수 있다. 그에 비해 그림 10 (c) 그래프는 조건 경계가 없어 전체적으로 연속적으로 변화한다. 이를 통해 그림 10 (a) 그래프와 같은 경사가 존재하는 곳에서 Table로 가중치를 계산한 모델보다 Sigmoid 함수를 활용하여 가중치를 계산한 모델이 경사도 판단하는데 더 우수한 성능을 보인다.

그림 11 (a) 그래프는 평지에서 차량이 가속하거나 감속할 때의 차량의 속도를 나타낸 그래프이다. 그림 11 (b) 그래프는 Table 모델로 가속 및 감속을 할 때의 가중치 변화를 나타낸 그래프이다. 그림 11 (c) 그래프는 가속 및 감속을 할 때의 Sigmoid 함수로 계산한 가중치 변화를 나타낸 그래프이다. 그림 11 (a) 그래프를 보면 0 ~ 20초 부근에서는 감속을 하는 상태이고 20 ~ 45초 부근은 정지상태이며 50초 부근과 70초 이후까지는 가속과 감속이 연달아 있는 상태이다. Table 모델에서 가중치를 출력한 결과를 보면 0 ~ 20초 감속 구간에서 0.1 ~ 0.5의 가중치를 출력하고 있다. 그에 비해 Sigmoid 함수로 가중치를 출력한 결과를 보면 8초 구간 부분만 0.4의 가중치를 내고 나머지 구간은 0.1이하로 가중치를 출력했다. 그리고 50 ~ 70초 구간에서도 Table 모델에서 가중치 결과를 보면 조건문의 경계로 인해 가중치가 0.1 ~ 0.7사이의 값으로 크고 자주 변하는 결과가 나타난다. 그에 비해 Sigmoid 함수 모델에서 가중치 결과를 보면 0.4 이하의 가중치 결과를 볼 수 있다. 이를 통해 그림 11 (a) 그래프처럼 주행 중 가속과 감속이 가변하는 상태에서도 Table화 하여 가중치를 계산한 모델보다 Sigmoid 함수를 활용하여 가중치를 계산한 모델이 더 적합하다고 할 수 있다. 가중치가 연속적으로 변화하는 것은 주행 중인 차량의 승차감에 큰 영향을 주기 때문이다.

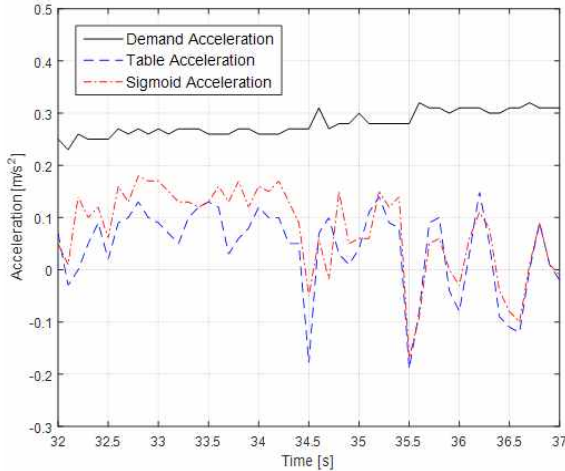
4. 요구가속도에 따른 제안한 모델의 성능 비교

요구가속도에 따른 각 모델의 가속도 추종 성능을 아래 표 3와 그림 12에서 확인 할 수 있다.

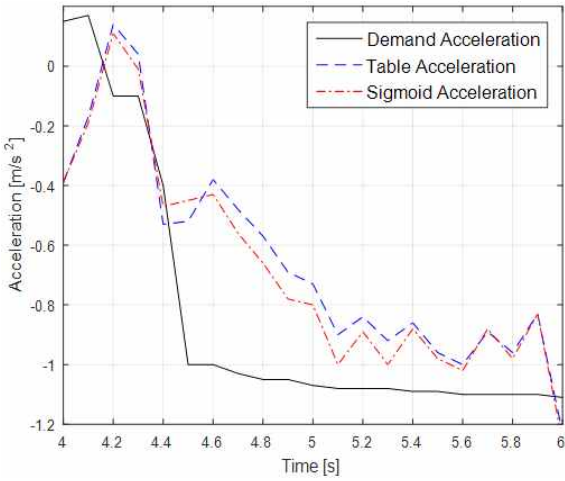
표 3에서 평균제곱근오차는 요구가속도와 각 모델이 추정 한 가속도의 오차로 계산하였다. 평지에서의 평균제곱근오차는 정속 주행하기 때문에 비슷하게 나타났다. 경사로에서의 평균제곱근오차는 Table 모델이 0.21, 제안한 Sigmoid 모델이 0.15로 0.06만큼의 오차가 적게 나타나며 오차 발생률을 기존 Table 모델에서 29.6% 줄인 것을 볼 수 있다. 그리고 가감속로에서의 평균제곱근오차는 Table 모델이 0.41, 제안한 Sigmoid 모델이 0.36로 0.05만큼의 오차가 적게 나타나며 오차 발생률을 기존 Table 모델에서 12.2% 줄인 것을 볼 수 있다. 표 3와 같은 결과를 뒷받침할 근거는 그림 12의 두 개의 그래프로 인해 유추해볼 수 있다. 그림 12 (a) 그래프는 오르막길이 발생할 때의 가속도를 나타낸 것이다. 그리고 그림 12 (b) 그래프는 차량이 감속할 때의 그래프이다. 가중치 변화가 연속적이지 못한 Table 모델은 가중치를 계산하는 조건 경계부분에 의해 그림 12 (a) 그래프와 같이 가속도 계산이 Sigmoid 모델보다 전체적으로 불연속적인 것을 볼 수 있다. 따라서 불안정한 가속도 계산으로 인해 Table 모델의 평균제곱근 오차가 커졌음을 유추해낼 수 있다. 그리고 그림 12 (b) 그래프에서 4.4 ~ 4.6초 부근에서 갑자기 변하는 가속도로 인해 Table 모델의 가속도 계산 값이 불연속적인 것을 볼 수 있다. 이 부분도 동일하게 Table 모델의 가중치 계산하는 조건 경계부분에 의해 연속적이지 못하여 불안정한 가속도를 계산함으로 Table 모델의 평균제곱근오차가 커졌음을 유추해낼 수 있다. 즉, 가중치 계산이 연속적인 Sigmoid

표 3. 두 모델의 가속도 평균제곱근오차 비교
Table 3. Comparison of acceleration RMSE

Model	RMSE		
	Flat path	Slope path	Acc/Dec path
Table	0.09	0.21	0.41
Sigmoid	0.09	0.15	0.36



(a)



(b)

그림 12. 요구가속도 추종 결과 그래프
Fig. 12. Demand acc tracking result graph

모델은 추정한 가속도가 Table 모델보다 연속적이기 때문에 요구 가속도를 비교적 잘 추종하는 것을 볼 수 있다. 이처럼 감소된 오차발생률과 Sigmoid 모델의 비교적 연속적인 가속도 추정으로 인해 주행 중인 차량의 승차감은 크게 달라지게 된다.

아래의 그림 13은 그림 7의 B구간에서 그림 10 (a)와 같은 경사가 진 도로에서 가속도 센서의 가속도만 활용하여 목표속도를 추종했을 때와 제한한 Sigmoid 모델을 적용하여 식 (6)으로 인해 계산된 가속도를 활용하여 목표 속도를 추종했을 때의 결과 그래프이다.

그림 13에 검은색 실선은 목표속도로 50kph로 일정하게

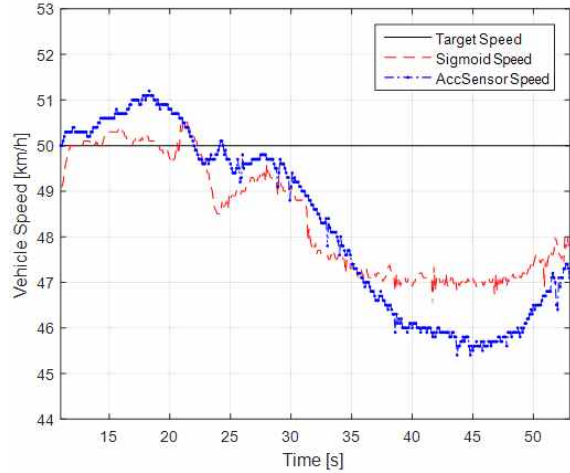


그림 13. 목표 속도추종 결과 비교
Fig. 13. Target speed tracking result graph

나타난다. 빨간색 얇은 점선은 Sigmoid 모델을 적용하여 계산한 가속도로 목표 속도를 추종한 결과를 나타낸다. 파란색 굵은 점선은 가속도 센서만 사용해서 측정된 가속도로 목표 속도를 추종한 결과를 나타낸다. 15초 ~ 20초 사이 구간은 내리막길에서 속도 결과를 나타낸 것이고 40초 ~ 50초 사이 구간은 오르막길에서 속도 결과를 나타낸 것이다. 이때 이 논문에서 제안한 모델로 가속도를 계산하여 목표 속도를 추종한 결과가 가속도 센서만 활용하여 목표속도를 추종한 결과보다 잘 추종한 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

자율주행 차량에서는 인지 및 판단을 통해 계산된 상위제어기의 요구가속도 결과를 하위제어기에서 정밀하게 추종하는 것이 매우 중요하다. 이때 도로 경사가 발생하게 되면 가속도 센서의 가속도가 장치 기울기에 따라 측정되는 성질로 인하여 정확하지 못한 가속도가 발생하게 된다. 이 논문에서는 도로의 경사를 판단하는 Sigmoid 모델을 제안하였고 이 모델의 성능을 검증하기 위해 Table 모델과 비교를 통해 Sigmoid 모델의 우수성을 확인하였다.

가속도 센서의 가속도와 휠 가속도를 측정하고 Table 모델과 Sigmoid 모델로 경사진 도로에서 가중치를 반영하여 경사도에서 가속도 센서의 가속도의 불확실한 단점을 보완하였다. 또한 경사가 발생하는 구간과 평평한 구간에서의 가중치 계산도 Table 모델에 비해 Sigmoid 모델이 연속적인 값을 출력하였고 이로 인해 상위제어기에서 지령한 요구가속도를 비교적 잘 추종한 결과를 확인하였다.

향후 연구방향으로 정밀지도 정보를 통해 더 많은 측정 정보를 활용하는 있는 방법을 고려하여 도로의 경사도를 판단하고 그에 따른 정확한 가속도를 추정하여 차량 제어 모델에 적용해볼 계획이다.

References

[1] I. K. Won, D. Y. Kim, A. Y. Ko, J. H. Lee, Y. R. Kim, C. Y. Won, "A Design Method of 2D Look-up Table of IPMSM for Electric Vehicle," KIPE , Vol. 2013, No. 7, pp. 104-105, 2013

[2] H. J. Heo, J. M. Kim, G. Y. Park, T. G. Ahn, D. W. Shin, "Surface Fitted Look Up Table and Division Method for IPMSM Torque Control," IPMSM for Electric Vehicle," KIPE, Vol. 2014, No. 7, pp. 126-127, 2014

[3] J. H. Jang, S. H. Bae, M. W. Park, J. H. Kim, "Research of Velocity Control on the Slope Road for Unmanned Ground Vehicle," ICCAS 2010, pp. 1085-1088, 201

[4] I. HAN, "Fuzzy Estimation of Vehicle Speed in Pedestrian Collision Accidents," IJAT, Vol. 14, No. 3, pp. 385-393, 2013

[5] M. S. Kim, C. I. Kim, K. S. Lee, "Vehicle Dynamics and Road Slope Estimation based on Cascade Extended Kalman Filter," IEIE, Vol. 51, No. 9, pp. 208 - 214, 2014.

[6] S. K. Kim, K. S. Shin, C. H. Yoo, K. S. Huh, "Development of Algorithms for Commercial Vehicle Mass and Road Grade Estimation," IJAT, Vol. 18, No. 6, pp. 1077-1083, 2017

[7] H. K Kim, K. S. Shin, I. J. Chang, K. S. Huh, "Autonomous Emergency Braking Considering Road Slope and Friction Coefficient," IJAT, Vol. 19, No. 6, pp. 1013-1022, 2018

[8] F. Meng, H. Jin, "Slope Shift Strategy for Automatic Transmission Vehicle Based on the Road Gradient," IJAT, Vol. 19, No. 3, pp. 509-521, 2018

[9] M. S. Kim, "A Study on the Vehicle Dynamics and Road Slope Estimation," KSIC, Vol. 22, No. 5, pp. 575 - 582, 2019

[10] D. I. Kim, L. J. Park, S. W. Park, H. B. Lee, J. H. Moon, T. Y. Chung, "Dual Sink Nodes for Sink Node Failure in Wireless Sensor Networks," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 6, No. 6, pp. 369 - 376, 2011

[11] S. M. Chun, S. Y. Suk, "Development and Implementation of Smart Manufacturing Big-Data Platform Using Opensource for Failure Prognostics and Diagnosis Technology of Industrial Robot," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 14, No. 4, pp. 187 - 195, 2019

[12] K. I. Seo, J. H. Lee, J. Y. Lee, K. S. Y, "Fail Safe Process of Vehicle Localization for Reliability Improvement of LV3 Autonomous Driving", IJAT, Vol. 22, No. 2 pp. 529-535, 2021

Kyeong-wook Park (박 경 우)



2020 Mechanical Engineering from Kyungi University, Daegu, Republic of Korea (B.S.)
 2020 Mechatronics Engineering from Kyungi University, Daegu, Republic of Korea (M.S.Course)

Career:

2019~Autonomous a2z. Manager. Convergence Platform Development Room

Field of Interests: Vehicle Input/Output Systems Control, Motor System Control, Vehicle Low System Control.

Email: autopkw95@autoa2z.co.kr

Myung-Seon Heo (허 명 선)



2007 Electronic Engineering from Kookmin University, Seoul, Republic of Korea (B. S.)
 2009 Electronic Engineering from Kookmin University, Seoul, Republic of Korea (M. S.)

Career:

2009~2018 Hyundai Motor. Senior Researcher. Autonomous Driving Development Center.

2018~Kyungi University. Researcher. Autonomous Vehicle Convergence Technology Research Center

2018~Autonomous a2z. Executive director. R&D

Field of Interests: Vehicle and Sensor Input/Output Systems Control, Motor System Control, Vehicle Low System Control, Development of Driving Path Algorithm

Email: hms@autoa2z.co.kr

Young-Chul Oh (오 영 철)

2005 Electronic, Electrical and Computer Engineering from Hanyang University, Seoul, Republic of Korea (B.S.)

2007 Electronic, Electrical and Computer Engineering from KAIST, Daejeon, Republic of Korea (M.S.)

Career:

2007~2009 KT. Senior Researcher.

2009~2018 Hyundai Motor. Senior Researcher. Autonomous Driving Development Center.

2018~Kyungi University. Full-Time Professor. Autonomous Vehicle Convergence Technology Research Center

2018~Autonomous a2z. CTO. R&D

Field of Interests: Vehicle and Sensor Input/Output Systems Control, Vehicle Control System, Sensor Recognition and Signal Processing

Email: ycoh@autoa2z.co.kr

Ji-Hyeong Han (한 지 형)

2007 Mechanical Engineering from Hanyang University, Seoul, Republic of Korea (B.S.)

Career:

2007~2018 Hyundai Motor. Senior Researcher. Autonomous Driving Development Center.

2018~Kyungi University. Full-Time Professor. Autonomous Vehicle Convergence Technology Research Center

2018~Autonomous a2z. CEO.

Field of Interests: Analysis of autonomous driving technology trends, Development of autonomous driving platform.

Email: hjh@autoa2z.co.kr

Hwa-Hyen Jeong (정 화 현)

2019 Mechanical Engineering from Kyungi University, Daegu, Republic of Korea (B.S.)

Career:

2019~Autonomous a2z. Manager. Convergence Platform Development Room.

Field of Interests: Autonomous Vehicle Sensor Fusion Technology, Development of autonomous vehicle platform,

Email: jrt237@autoa2z.co.kr

Byung-Yong You (유 병 용)

2004 Electronic engineering and Computer Science from Hanyang University, Seoul, Republic of Korea (B.S.)

2006 Electronic engineering and Computer Science from POSTECH, Pohang, Republic of Korea (M.S.)

2010 Electronic engineering and Computer Science from POSTECH, Pohang, Republic of Korea (Ph. D.)

Career:

2010~2017 Hyundai Motor. Senior Researcher. Autonomous Driving Development Center.

2017~Kyungi University. Associate Professor. Department of Mechanical Automotive Engineering

2018~Autonomous a2z. Executive director.

Field of Interests: Sensor fusion, Automated system, Autonomous vehicel control, Localization with HD map.

Email: zealot@kiu.kr