

차량 전복 방지 장치를 위한 실시간 차량 질량 추정 시스템

한광진* · 김인근* · 김승기* · 허건수***

* 한양대학교 자동차공학과, ** 한양대학교 미래자동차공학과

Real-Time Vehicle Mass Estimator for Active Rollover Prevention Systems

Kwangjin Han*, Inkeun Kim*, Seungki Kim* and Kunsoo Huh***

* Dept. of Automotive Engineering, Hanyang Univ.,

** Dept. of Automotive Engineering, Hanyang Univ.

(Received January 3, 2012 ; Revised April 2, 2012 ; Accepted April 10, 2012)

Key Words: Vehicle Mass(차량 질량), Vehicle Dynamics(차량 동역학), Estimation(추정), Recursive Least Square(RLS 회귀적 최소 자승법)

초록: 차량의 롤오버는 심각한 사고중의 하나로 SUV 에 있어서 더욱 위험하나 롤오버 방지시스템을 통하여 발생을 최소화 시킬 수 있다. 하지만 이러한 방지 시스템의 성능은 승객 수나 다른 하중 조건에 따라 변하는 차의 질량이나 무게중심 같은 차량 관성 파라미터에 매우 민감하다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 종 방향, 횡 방향, 수직 방향 동역학을 기반으로 한 세 가지 질량 추정 알고리즘을 개발하고 이 세 가지 알고리즘들을 통합하여 임의의 주행 상황에서 실시간 연산을 통해 차량의 질량을 추정할 수 있는 통합 차량 질량 추정 방법을 제안하였다. 또한 실시간 시뮬레이션과 실험을 통하여 이 방법의 성능을 검증하였다.

Abstract: Vehicle rollover is a serious kind of accident, particularly for sport utility vehicles, and its occurrence can be minimized by utilizing active rollover prevention systems. The performance of these protection systems is very sensitive to vehicle inertial parameters such as the vehicle's mass and center of mass. These parameters vary with the number of passengers and in different load situations. In this paper, a unified method for vehicle mass estimation is proposed that takes into account the available driving conditions. Three estimation algorithms are developed based on longitudinal, lateral, and vertical vehicle motion, respectively. Then, the three algorithms are combined to extract information on the vehicle's mass during arbitrary vehicle maneuvering. The performance of the proposed vehicle mass estimation method is demonstrated through real-time experiments.

1. 서 론

최근 소형 트럭이나 SUV(Sport Utility Vehicle) 차량이 증가함에 따라 전복으로 인한 차량 사고를 줄이기 위하여, 최근 ESC(Electronic Stability Control)와 같은 ARP(Active Rollover Prevention) 제어기가 상용화되고 있다. 이러한 제어기의 제어 성능은 차량의 관성 파라미터, 특히 차량의 질량과 무게 중심의 높이에 민감하다.⁽¹⁻³⁾ 이러한 차량의 관성 파라미터는 승객의 인원수나 탑재된 하중의 무게나 위치에 따라 달라진다. 특히, SUV 차량

은 지붕에 자전거나 보트 등의 무거운 짐을 탑재하는 경우가 많기 때문에 제어기를 설계할 때, 이러한 각각의 상황에 따라 변화하는 제어기가 고려되어야 한다. 그러나 OEM 에서 제어기를 최악의 상황에 맞추어 안전도를 고려한 내용으로 설계하고 있으며, 이런 경우 운전자의 의지가 급격한 또는 불안정한 운동을 야기하는 경우에 제어기 작동시 안정성은 확보된다고 할 수 있다. 하지만 때로는 차량이 안정함에도 불필요한 개입을 통해 핸들링감을 저하하는 원인으로 볼 수 있으며 설계 기법은 종종 ESC 제어기에서의 차량의 핸들링 성능을 현저하게 떨어뜨리는 원인이 되고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위한 하나의 대책은 ARP 제어기에서 차량의 관성 파라미터에 대한 정확한 정보를 이용하는 것이다.^(4,5)

† Corresponding Author, khuh2@hanyang.ac.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

이런 이유로 차량의 질량이나 무게중심의 높이 등의 차량 관성 파라미터를 추정하기 위한 연구들이 다양하게 연구되어 오고 있다.⁽⁶⁻¹²⁾ 예를 들면, 차량의 질량 추정 연구에서, 차량의 동역학적 모델을 기반으로 하는 질량 추정 기법이 연구되었다. 차량의 종 모델을 기반으로 한 질량 추정 기법에서, Bae 등⁽⁸⁾은 GPS (Global Positioning System)의 데이터로부터 노면의 경사각을 계산한 후 최소 자승법을 이용하여 질량을 추정하는 방법을 제시하였다. Vahidi 등⁽⁹⁾은 다중 망각 인자(multiple forgetting factor)를 가진 최소 자승법을 이용하여 차량의 질량과 노면의 경사각을 동시에 추정하는 기법을 제시하였다. 차량의 종 모델 및 횡 모델을 기반으로 한 연구에서는 타이어 모델을 포함한 비선형 동역학 모델로부터 확장된 칼만 필터를 이용하여 차량의 질량을 추정하는 방법이 제시되었다.⁽¹¹⁾ 차량의 수직 모델을 기반으로 한 연구에서는 1/4 차량의 수직 모델로부터 적응관측기를 이용하여 스프링 상부질량을 추정하는 연구가 제시되었다.⁽¹²⁾ 그러나 위에서 제시하고 있는 방법들을 이용하여 차량의 질량을 추정하기 위해서는 특별한 운행 조건이 필요하거나 타이어 모델을 포함한 복잡한 비선형 모델을 이용해야 하는 단점이 있다. 예를 들면, 차량의 종 모델 기반의 추정 알고리즘을 이용하기 위해서는 차량이 조향 입력이 없는 상황 등의 제약 조건이 존재한다. 또한, 확장된 칼만 필터를 사용하는 경우 많은 양의 연산이 필요해지기 때문에 차량 질량의 실시간 추정이 어렵게 된다.

본 논문에서는 ESC 와 같이 차량 동역학에 관여하는 제어기의 성능 향상을 위해 차량의 관성 파라미터 중 하나인 차량의 질량을 실시간으로 추정하기 위한 연구를 진행하였다. ESC 에서 차량 질량 정보를 활용하는 것을 목표로 개발하였으며, 구현 대상을 현 양산 ESC ECU 에서 실시간 연산이 가능한 것을 목표로 하였다. 또한, 앞선 문제점들을 개선하기 위하여 임의의 주행 상황에서 실시간 연산을 통해 차량의 질량을 추정할 수 있도록 차량의 종 방향, 횡 방향, 그리고 수직 방향의 세 가지 모델 기반의 질량 추정 알고리즘을 개발하였다.

2. 통합 차량 질량 추정 알고리즘

본 장에서는 보다 일반적인 주행 조건에서 차량의 질량을 추정하기 위하여 차량의 종 모델, 횡 모델, 수직 모델에 기반한 각각의 질량 추정 알고리즘을 설계하고, 각 알고리즘들을 통합하는 방법

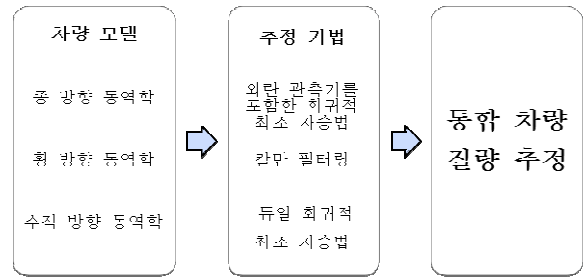


Fig. 1 Overall structure of the vehicle mass estimator

을 제시하였다. 전체 시스템의 구조를 Fig. 1 에 도시하였다.

2.1 종 모델 기반의 질량 추정 알고리즘

차량이 선회 하지 않고, 종 방향의 가속을 하는 주행 조건에서 차량의 질량을 추정하는 알고리즘을 개발하였다. 차량의 종 방향 운동은 다음 식 (1) 과 같이 나타낼 수 있다.⁽⁸⁾

$$ma_x = F_x - F_{aero} - F_{rolling} - F_{grade} \tag{1}$$

여기서, 직진력 F_x 는 다음 식 (2)의 토크 컨버터 특성으로부터 계산할 수 있다.

$$F_x = \frac{T_{t/c} \cdot N_{trans} \cdot N_{diff} \cdot f_{eff}}{r_{tire}} \tag{2}$$

공기 저항력 F_{aero} 는 일괄 파라미터 C_{df} 를 통해 다음 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \rho C_d A_F V_x^2 = C_{df} V_x^2 \tag{3}$$

구름 저항력 $F_{rolling}$ 과 도로 경사각에 의한 힘 F_{grade} 는 각각 식 (4)와 식 (5)로 나타낼 수 있다.

$$F_{rolling} = \mu_{rolling} mg \cos \theta_{road} \tag{4}$$

$$F_{grade} = mg \sin \theta_{road} \tag{5}$$

위의 식 (1)부터 식 (5)를 정리하여, 차량의 종 방향 운동을 회귀 형태인 식 (6)의 형태로 표현하면, 식 (7)부터 식 (9)와 같이 표현된다.⁽¹²⁾

$$y = \phi^T \theta \tag{6}$$

$$y = F_x \tag{7}$$

$$\phi^T = \left[a_x - g \sin \theta_{road} \quad V_x^2 \quad g \right] \tag{8}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} m \\ C_{df} \\ \mu_{rolling} m \cos \theta_{road} + 2m \sin \theta_{road} \end{bmatrix} \quad (9)$$

파라미터 벡터 θ 에 차량의 질량이 포함되어 있으며, 이는 직진력과 종 가속도계 신호와 휠 속도로부터 추정할 수 있다. 여기에 외란, 모델링 되지 않은 특성 혹은 파라미터 섭동 등에 의한 모델 불확실성을 고려하기 위해 식 (6)에 일괄 외란을 추가하여 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = \phi^T \theta + \eta \quad (10)$$

여기서, η 는 일괄 외란으로 추정 성능을 감소시킬 수 있다. 따라서 RLSDA(Recursive Least Square with Disturbance Observer) 외란 추정기를 사용하여 이를 추정하고 질량 추정 과정에서 보상하게 하였다.^(12,13)

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + \mathbf{P}(t)\phi(t)(y(t) - \phi^T(t)\hat{\theta}(t-1) - \hat{\eta}(t)) \quad (11)$$

$$\mathbf{P}(t) = \mathbf{P}(t-1) - \mathbf{P}(t-1)\phi(t)\mathbf{K}\phi^T(t)\mathbf{P}(t-1) \quad (12)$$

여기서 $\mathbf{K} = (\mathbf{I} + \phi^T(t)\mathbf{P}(t-1)\phi(t))^{-1}$ 이다.

$$\hat{\eta}(t) = Q(z)(y(t) - \phi^T(t)\hat{\theta}(t-1)) \quad (13)$$

여기서, $\hat{\theta}(t)$, $\mathbf{P}(t)$, 그리고 $\hat{\eta}(t)$ 는 각각 파라미터 벡터, 공분산 매트릭스, 그리고 추정된 외란이다. 식 (13)의 필터 $Q(z)$ 는 저주파대역 통과 필터로 외란의 특성, 샘플링 시간, cut-off 주파수 등을 고려하여 설계한다. 본 논문에서는 다음과 같은 1차 filter 를 사용하였다.⁽¹³⁾

$$Q(z) = \frac{a_1}{1 + b_1 z^{-1}} \quad (14)$$

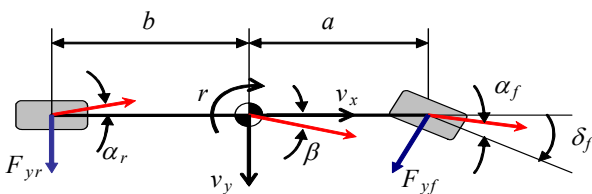


Fig. 2 Lateral vehicle dynamics

여기서,

$$a_1 = \frac{1}{1 + \alpha}, \quad b_1 = \frac{-\alpha}{1 + \alpha}, \quad \alpha = \frac{1}{h\omega_c} \quad (15)$$

이다.

2.2 횡 모델 기반의 질량 추정 알고리즘

차량이 일정 속도로 선회하는 경우, 이를 일정 횡 가속도 내에서 Fig. 2 의 2 자유도 모델로 근사할 수 있다. 이는 다음의 식 (16)으로 나타낼 수 있다.⁽¹⁴⁾

$$m a_y = F_{yf} \cos \delta_f + F_{yr} \quad (16)$$

공기저항력이나 도로경사각에 의한 영향은 무시하고, 식 (16)으로부터 다음 식 (17)을 이용하여 RLS(Recursive Least Square)법을 통해 차량의 질량을 추정할 수 있다.⁽¹⁴⁾

$$F_{yf} \cos \delta_f + F_{yr} = \hat{m} \cdot a_y \quad (17)$$

위의 식 (17)에서 차량의 횡 방향 타이어 힘과 횡 가속도 그리고 조향각 정보가 필요하다. 횡 가속도와 조향각 정보는 기존에 장착된 센서로부터 얻을 수 있다. 또한, 횡 방향 타이어 힘은 슬립 각이 작은 구간에서 이에 비례한다고 할 수 있다.⁽¹⁴⁾

$$F_{yf} = C_{af} \alpha_f \quad (18)$$

$$F_{yr} = C_{ar} \alpha_r$$

여기서, C_{af} 와 C_{ar} 는 각각 전륜과 후륜의 코너링 강성이고, α_f 와 α_r 는 각각 전륜과 후륜의 슬립 각이다. 슬립 각은 다음과 같이 정의된다.

$$\alpha_f = \frac{V_y + l_f \cdot r}{V_x} - \delta_f \quad (19)$$

$$\alpha_r = \frac{V_y - l_r \cdot r}{V_x}$$

여기서, V_x , V_y , r , l_f 그리고 l_r 은 각각 종 속도, 횡 속도, 요율, 그리고 질량 중심으로부터 전륜과 후륜간의 거리이다. 슬립 각을 계산하기 위해서는 종 속도와 횡 속도 정보가 필요하다. 종 속도 V_x 는 저 슬립 구간에서 휠 속도로부터 식 (20)과 같이 근사할 수 있다.

$$v_x \approx \frac{(\omega_{rl} + \omega_{rr})r_{tire}}{2} \quad (20)$$

여기서, ω_{rl} 과 ω_{rr} 은 각각 후륜 좌측과 우측의 휠 속도를 나타낸다.

횡 속도 V_y 는 운동학 모델로부터 추정할 수 있다. 본 연구에서는 칼만 필터⁽¹⁵⁾를 사용하여 횡 속도를 다음 식 (21)의 운동학 모델로부터 추정한다.

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & r \\ -r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}$$

근사한 종 속도와 추정된 횡 속도 정보를 통해, 식 (18)로부터 횡 방향 타이어 힘을 계산한다. 이를 이용하여 식 (17)로부터 차량의 질량을 추정할 수 있다.

2.3 수직 모델 기반의 질량 추정 알고리즘

다음과 같이 스프링 상부질량의 수직 운동, 롤 운동, 피칭 운동과 4 개의 스프링 하부질량의 수직 운동으로 구성된 7 자유도 차량 모델을 고려한다.⁽¹⁷⁾

$$m_u(\ddot{z}_{u_{fl}} + \ddot{z}_{u_{fr}} + \ddot{z}_{u_{rl}} + \ddot{z}_{u_{rr}}) = -m_s \ddot{z}_s - k_t(\sum z_u - \sum z_r) \quad (22)$$

여기서,

$$\sum z_u := z_{u_{fl}} + z_{u_{fr}} + z_{u_{rl}} + z_{u_{rr}}$$

이고,

$$\sum z_r := z_{r_{fl}} + z_{r_{fr}} + z_{r_{rl}} + z_{r_{rr}}$$

이다.

식 (22)에서 스프링 하부질량 m_u 와 타이어 강성 계수 K_u 는 알 수 있다고 가정하고, 스프링 하부질량의 수직 가속도 네 개와 스프링 상부질량의 수직 가속도는 측정할 수 있다면, 이를 통해 스프링 상부질량 m_s 와 노면과 스프링 하부질량의 위치차 $\Sigma z_u - \Sigma z_r$ 를 추정할 수 있다.

본 논문에서는 m_s 와 $\Sigma z_u - \Sigma z_r$ 의 두 값을 추정하기 위하여 듀얼 회귀적 최소 자승법(Dual recursive least square method)을 사용한 알고리즘을 설계하였다. 먼저 스프링 상부질량의 공칭값이 m_s^n 이라고 가정한다. 이 값을 식 (22)에 대입하면, 다음 식 (23)의 회귀 형태로 나타낼 수 있다.

$$y_1(t) = \phi_1^T(t) \theta_1(t) \quad (23)$$

여기서,

$$y_1(t) = m_u(\ddot{z}_{u_{fl}} + \ddot{z}_{u_{fr}} + \ddot{z}_{u_{rl}} + \ddot{z}_{u_{rr}}) + m_s^n \ddot{z}_s$$

$$\phi_1(t) = -k_t \quad \text{이다.}$$

$$\theta_1(t) = \sum z_u - \sum z_r$$

이를 통해 RLS 와 망각 인자⁽¹⁶⁾를 이용하여 $\Sigma z_u - \Sigma z_r$ 값을 추정할 수 있다. 같은 방법으로 이 추정된 값을 사용하여 다음의 회귀 형태로 나타난 식 (24)로부터 m_s 를 추정할 수 있다.

$$y_2(t) = \phi_2^T(t) \theta_2(t) \quad (24)$$

여기서,

$$y_2(t) = m_u(\ddot{z}_{u_{fl}} + \ddot{z}_{u_{fr}} + \ddot{z}_{u_{rl}} + \ddot{z}_{u_{rr}}) + k_t \hat{\Sigma}$$

$$\phi_2(t) = -\ddot{z}_s \quad \text{이다. 그}$$

$$\theta_2(t) = m_s$$

리고 $\hat{\Sigma}$ 은 앞서 추정된 $\Sigma z_u - \Sigma z_r$ 값이다.

이로부터 차량의 질량은 추정된 스프링 상부질량 m_s 과 스프링 하부질량 m_u 의 합으로 추정할 수 있다.

2.4 통합된 차량 질량 추정 알고리즘

통합된 질량 추정 알고리즘의 순서도를 Fig. 3 에 도시하였다. 먼저, 통합 알고리즘은 차량의 현재 운동 상태를 각 센서들로부터 제공 받아 각 방향 운동을 고려한 알고리즘들 중 가장 적합한 알고리즘을 결정한다. 즉, 작동조건에 따라 세 가지 중 하나의 알고리즘만 작동하게 된다. 다음으로 결정된 알고리즘으로부터 차량의 질량을 추정한다.

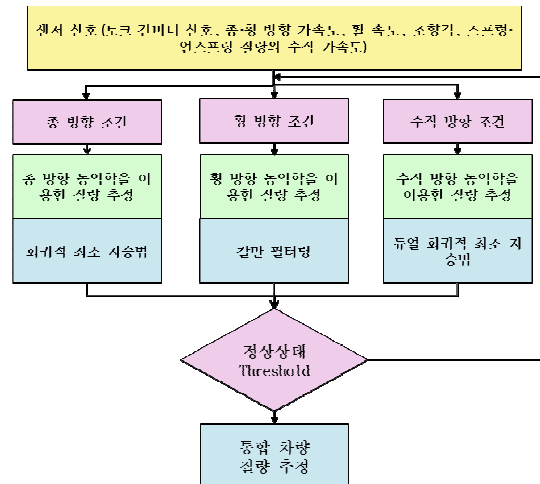


Fig. 3 The flow chart of the unified algorithm

그 추정된 질량이 설정한 시간 이상 동안 변화 량이 일정한 임계값 이내에 들어온다면, 추정치가 정상 상태에 도달한 것으로 판단한다. 이를 하나의 update 점으로 하고, 이를 통합 알고리즘에서 RLS 를 사용하여 최종적으로 차량의 질량을 추정하게 된다. 자세한 각 알고리즘의 작동조건은 Table 1 에 정리하였다. 제안한 통합 질량 추정 알고리즘은 추정을 하게 되는 영역이 차량을 각 모델로 나타낼 수 있는 정상 상태 운동영역으로 한정되어 있으므로 가속도, 차속 및 요율이 일정 범위 안에 있어야 각 방향 모델을 통해 질량을 추정하게 되는 방식이다. 이를 통해 ESC 가 작동하게 되는 불안정 영역에서도 차량의 질량은 변화하지 않으므로 안정 영역에서 질량을 추정하여 ESC 작동과 같은 상황에서 제어기에 활용될 수 있도록 하였다.

Table 1 Conditions for the estimation algorithm

	조건
종 방향	$ r < 0.03 \text{ rad/s}$
	$a_x > 0.6 \text{ m/s}^2$
	$V_x > 5 \text{ m/s}$
횡 방향	$0.15 \text{ rad/s} > r > 0.05 \text{ rad/s}$
	$ a_x < 0.3 \text{ m/s}^2$
수직 방향	$\Sigma \ddot{z}_u > 1.2 \text{ m/s}^2$

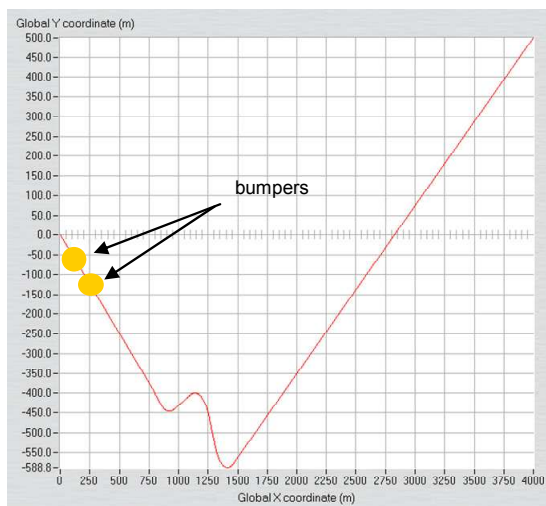


Fig. 4 Driving scenario

3. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 차량 질량 추정 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션에서 차량의 주행 신호를 얻기 위하여 차량 동역학 해석 프로그램인 CarSim/Real-Time 을 사용하였으며, 차량은 질량이 2450kg 인 SUV 차량이다. 주행 도로는 Fig. 4 와 같이 주행 초기에 두 개의 범퍼를 통과하는 코스이다.

시뮬레이션 추정 결과를 Fig. 5 에 도시하였다. 시간이 지날수록 각 방향 알고리즘에서 나오는 update 점을 이용하여 통합 알고리즘에서 추정된 차량 질량이 초기값 2400kg 에서 실제 질량 2450kg 으로 수렴해 가는 것을 볼 수 있다.

4. 실차 실험

설계한 알고리즘의 검증을 위한 실차 실험을 수행하였다. SUV 차량에 3 축 가속도계, 요율 센서, 계측 장비, 그리고 통신장비 등을 장착하였다. 나머지 신호들은 이미 차량에 설치된 센서 신호를 직접 계측하거나, CAN 을 통하여 정보를 전송 받는 방식을 사용하였다.

Fig. 6 은 곡선도로에서 선회시의 raw data 를 나타내었다. 종/횡방향 가속도 및 요율 신호의 잡음은 우선적으로 칼만 필터를 통해 신호 잡음의 영향을 최소화 할 수 있도록 하였다. 칼만 필터는 대상 차량에 설치된 각 센서의 특성을 반영하여 설계하였다. 특히, 본 알고리즘은 추정을 하게 되는 영역이 차량을 각 모델로 나타낼 수 있는 정상 상태 운동영역으로 한정되어 있으므로 가속도 및

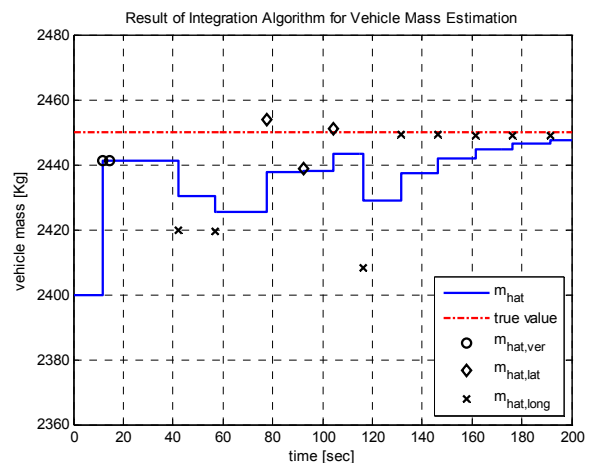


Fig. 5 Estimated vehicle mass using the unified algorithm

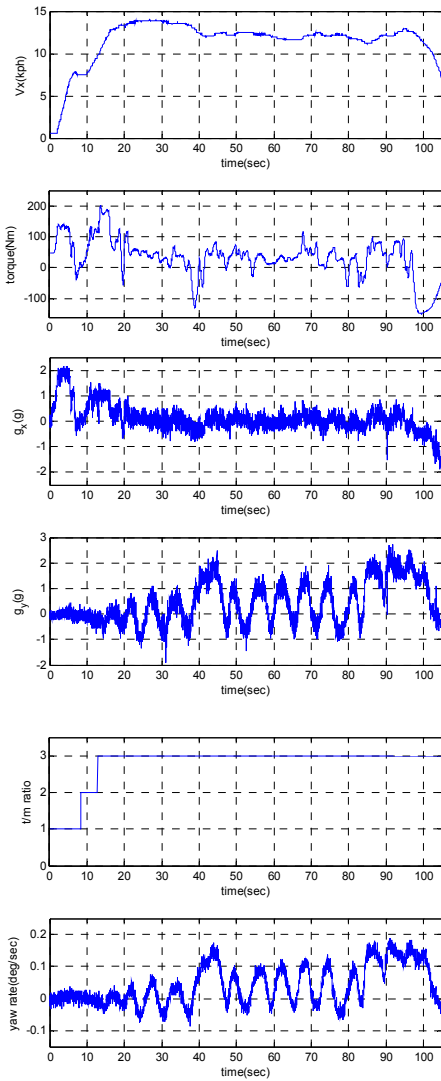


Fig. 6 Raw data in case of driving on the curved road

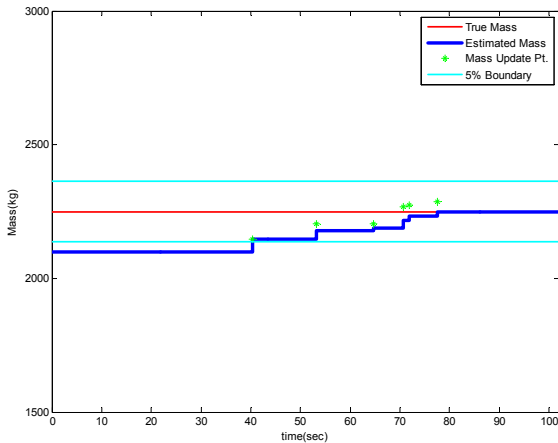


Fig. 7 Experiment result in case of driving on the curved road

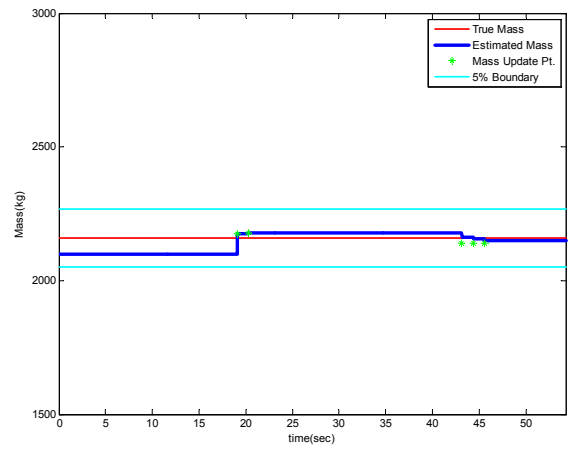


Fig. 8 Experiment result in case of driving on the straight road

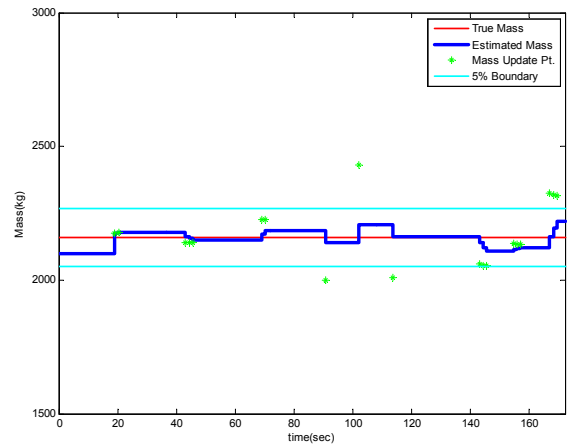


Fig. 9 Experiment result in case of arbitrary maneuvering

요율이 일정 범위 안에 있어야 하므로, 양산 차량에 장착된 센서의 출력 및 오차범위 내에서 가용함을 확인하였다.

Fig. 7 과 Fig. 8 은 각각 곡선 도로와 직선 도로에서 수행한 실차 실험 결과이다. Fig. 9 는 임의 주행을 수행한 실차 실험 결과이다. 각 그래프에서 별표는 각 방향 알고리즘에서 도출된 update 점이고, 이를 통해 통합 알고리즘에서 추정되는 차량 질량 추정치가 점선으로 나타낸 실측 값의 $\pm 5\%$ 오차 범위 내에 수렴하고 있다.

5. 결론

본 논문에서의 임의 주행 상황에서도 실시간으로 차량의 질량을 추정하기 위한 통합 차량 질량

추정 알고리즘을 제안하였다. 이 통합 알고리즘은 차량의 종 모델, 횡 모델, 그리고 수직 모델을 기반으로 한 추정 알고리즘들을 포함하고 있으며, 차량의 현재 주행 상태를 판단하여 적절한 알고리즘이 구동된다. 이를 통해 차량의 질량을 통합 알고리즘에서 최종적으로 추정하게 된다. 제안된 알고리즘은 시뮬레이션을 통하여 그 타당성이 입증되었으며, 추정된 질량이 실제 차량의 질량 값으로 수렴되는 것을 볼 수 있었다. 실시간 프로그래밍을 통해 실차 실험을 수행하여, 그 성능을 검증하였다.

후 기

이 논문은 2011 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0003250).

이 논문은 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업의 지원을 받아 수행된 결과임.

참고문헌

- (1) Trent, V. and Greene, M., 2002, "A Genetic Predictor for Vehicular Rollover," *Proc. of the 28th Annual Conf. of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 1752~1756.
- (2) Hac, A., 2002, "Rollover Stability Index Including Effects of Suspension Design," *2002 SAE World Congress*, 2002-01-0965, Detroit, MI.
- (3) Allen, R. W., Klyde, D. H., Rosenthal, T. J. and Smith, D. M., 2003, "Estimation of Passenger Vehicle Inertial Properties and Their Effect on Stability and Handling," *2003 SAE World Congress*, 2003-01-0966, Detroit, MI.
- (4) Roh, J. H., Lee, K.W., Lee, J.I., Oh, S.K., Kim, H.S. and Jang, J.H., 2009, "Development of HIL simulator for the sensitivity analysis of factors influencing ESC performance," *ICROS-SICE International joint Conference 2009*, August 18-21, 2009, Japan.
- (5) Yi, K.S., Yoon, J.Y. and Kim, D.S., 2007, "Model-based Estimation of vehicle Roll State for Detection of Impending Vehicle Rollover," *Proceedings of the 2007 American Control Conference*, July 11-13, 2007, USA.
- (6) Germann, St. and Isermann, R., 1994, "Modelling and control of longitudinal vehicle motion," *Proc. of the American Control Conference*.
- (7) Druzhinina, M., Stefanopoulou, A. and Mollegaard, L., 2002, "Adaptive Continuously Variable Compression Braking Control for heavy-Duty Vehicles," *ASME J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, Vol. 124, pp. 406~414.
- (8) Bae, H. S., Ryu, J. and Gerdes, J. C., 2001, "Road Grade and Vehicle Parameter Estimation for Longitudinal Control Using GPS," *Proc. of the IEEE Conf. on Intelligent Transportation Systems*, pp. 166~171.
- (9) Vahidi, A., Stefanopoulou, Peng, H., 2003, "Experiments for Online Estimation of Heavy Vehicle's Mass and Time-Varying Road Grade," *Proc. of the International Mechanical Engineering Congress & Exposition*.
- (10) Best, M. C. and Timothy, J. G., 2000, "Combined State and Parameter Estimation of Vehicle Handling Dynamics," *Proc. of AVEC 2000: the 5th International Symposium on Advanced Vehicle Control*.
- (11) Wenzel, T. A., Burnham, K. J., Blundell, M. V. and Williams, R. A., 2004, "Approach to Vehicle State and Parameter Estimation Using Extended Kalman Filtering," *Proc. of AVEC'04: The 7th International Symposium on Advanced Vehicle Control*, pp. 725~730.
- (12) Rajamani, R. and Hedrick, J. K., 1995, "Adaptive Observers for Active Automotive Suspensions: Theory and Experiment," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, Vol. 3, No. 1, pp. 86~93.
- (13) Kwon, S. and Chung, W. K., 2003, "A Discrete-Time Design and Analysis of Perturbation Observer for Motion Control Applications," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, Vol. 11, No. 3, pp. 399~407.
- (14) Gillespie, T. D., 1992, *Fundamentals of vehicle dynamics*, SAE.
- (15) Grewal, M. S. and Andrews, A. P., 1993, *Kalman Filtering: Theory and Practice*, Prentice-Hall, Inc.
- (16) Åström, K. J. and Wittenmark, B., 1995, *Adaptive Control*, 2nd Ed., Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- (17) Ikenaga, S., Lewis, F. L., Campos, J. and Davis, L., 2000, "Active Suspension Control of Ground Vehicle Based on a Full-Vehicle Model," *Proc. of the American Control Conference*, pp. 4019~4024.