

자율주행 자동차에 차량동역학 솔버가 탑재될 것인가?

Will Self-driving Cars be Equipped with Vehicle Dynamics Solvers?



김정윤
대구가톨릭대학교
Jungyun Kim
Daegu Catholic University

이제 차량의 자율주행기술은 레벨3의 상용화를 넘어 완전한 무인 자율주행을 향해 나아가고 있다. 이러한 자율주행기술의 발전과 함께 차량의 새시제어 기술은 앞으로 어떻게 발전할지 차량동역학과 새시제어 연구자로서 예측해 보고자 한다

새시제어와 차량 임베디드 시스템

자동차에는 운전 편의성과 주행 성능, 운전자와 탑승객의 안전 확보를 위해 다양한 제어기(ECU: Electronic Control Unit)가 사용되고 있다. 초창기 파워트레인과 새시모듈의 제어는 센서에서 입력된 비교적 단순한 1차원 시계열 신호를 바탕으로 현재 차량 상태를 추정하고 이를 제어목표치와 비교하여 그 차이를 보상하는 제어 물리량을 액츄에이터에 출력하여 이루어졌다.

이때 제어목표치는 수많은 차량 시험과 시뮬레이션 등을 통해 차량개발 시에 설계되며 양산차량에는 룩업 테이블(Look-up table)의 형태로 ECU에 저장되어 사용된다. 룩업 테

이블이란 주어진 연산에 대해 미리 계산된 결과들의 집합으로 데이터가 차지하는 용량을 줄일 수 있고, 데이터 집중화와 데이터 수정의 유연성, 빠른 응답, 유지보수의 용이함이 장점이다.

최신 차량제어는 차량개발 단계에서 Model-based Design을 통한 차량동역학 모델의 적용 확대와 주행 안전성을 위한 파워트레인과 여러 새시모듈의 협조제어, 그리고 운전자의 조종 안정성과 차량 응답성을 확보하기 위한 Feed-forward 제어를 조합하고 있지만 아직 대부분 자동차에는 룩업 테이블을 이용한 형태의 제어기 구성이 일반적이다.

최근 제어대상이 다양하고 복잡해지면서 관련 센서가 고도화되고 제어입력이 다차원으로 복잡해졌으며 액츄에이터

또한 유압식에서 전기모터를 이용한 전기화가 많아지고 있다. 이에 ECU의 개수가 많아지고 하드웨어와 소프트웨어의 사양이 차량용으로 전문화되어 이를 차량 임베디드 시스템(Embedded system)으로 분류하게 되었다.

자율주행기술의 발전에 따른 차량 임베디드 시스템의 발전

차량 새시모듈의 전기/전자(Electric/Electronic)화와 함께 자율주행기술이 적용되면서 제로직에도 많은 변화가 이루어졌다. 이제까지의 ECU가 단순히 센서신호의 입력과 제어로직, 제어출력으로 구성된 전달함수의 역할을 했다면 최근에는 외란에 강건한 제어기법에 인공지능기술과 센서퓨전(Sensor fusion)을 통한 다중 센서입력에 대한 인지 판단이 더해지는 단계가 되었다.

차량 임베디드 시스템의 하드웨어 사양도 자율주행기술과 함께 발전하고 있다. 자율주행 자동차는 주행 중에 주변 환경을 인식하는 레이더, LiDAR, 카메라 등 센서에서 입력되는 대량의 데이터를 실시간으로 인식하고 판단해야 하므로 빠른 데이터 처리가 매우 중요하다. 이전 시스템에서는 빠른 신호 처리에 특화된 DSP(Digital Signal Processor) 칩을 사용해서

아날로그 신호를 표현하는 복잡한 수치 데이터를 실시간으로 빠르게 처리하였다. 하지만 DSP는 자율주행차에서 요구되는 복잡한 2차원 이상의 데이터(높은 해상도나 복잡한 영상인식)는 처리하기가 곤란하다는 문제가 있다.

이에 반해 GPU(Graphic Processing Unit)는 그래픽과 관련된 2차원, 3차원 데이터의 각종 연산 기능을 전용으로 처리하게 만든 칩으로, 최근에는 병렬처리를 위해 특별히 설계된 수 천 개에 이르는 소형 코어를 탑재하고 계산이 필요한 작업을 CPU(Central Processing Unit)로부터 가져와서 빠르게 처리할 수 있다.

차량동역학 모델과 자율주행

최근에 주행 중 차량의 거동을 제어하기 위해 차량동역학 모델을 직접적으로 이용하려는 시도가 많아지고 있다. 이러한 방법은 센서에서 측정된 현재 차량 상태를 룩업 테이블에 정의된 제어목표치와 비교하여 추종하는 방식에 비해 운동방정식을 직접 풀어 다음 시간 스텝의 차량의 상태를 예측하고 의도치 않은 주행 상황에 대해 더욱 안정적인 차량 자세제어가 가능하다.

특히 다양한 센서에서 입력되는 신호를 이용하여 실제 노

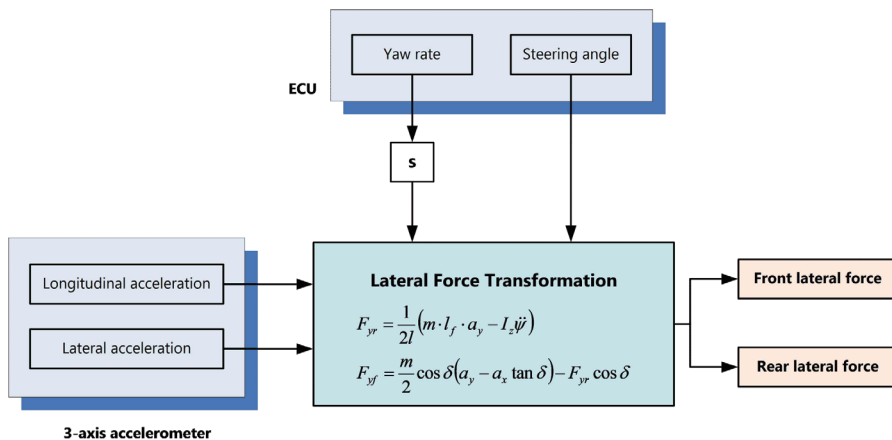


그림 1. 차량동역학 모델과 3축 가속도, 요레이트 신호를 이용한 타이어 횡력 추정

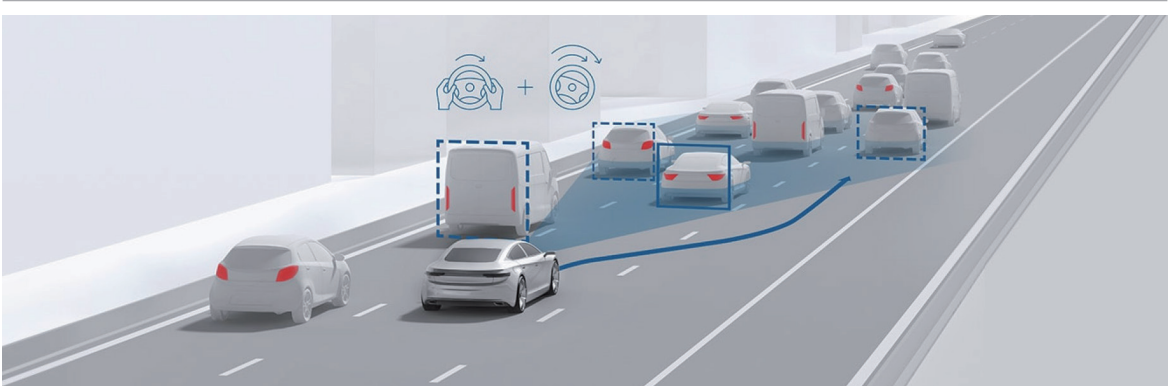


그림 2. Evasive Steering Assist, <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/assistance-systems/evasive-steering-support/>

면과 타이어 사이에 작용하는 힘(횡력, 구동력, 제동력 등)을 관측기(Observer) 또는 칼만 필터(Kalman filter)를 이용하여 추정(Estimation)하고 이를 차량동역학 모델에 외력으로 적용하는 연구 결과가 많이 발표되고 있다. 필자 또한 차량의 휠에 부착한 3축 가속도와 요레이트(Yaw rate) 신호, 자전거 모델을 이용한 차량 자세 제어기(ESC)의 성능향상 방안을 논문으로 발표한 바 있다.

아직 완전자율주행 단계가 아니지만 국내외에서 ESA(Evasive Steering Assist), FCW(Front Collision Warning), LCAS(Lane Change Assist System) 등 차량동역학 기법이 필요한 많은 자율주행 기능시험이 표준화 또는 법제화되고 있다. 더불어 운전자가 없는 완전자율주행의 경우 특히 예상하지 못한 불규칙한 노면 상태, 갑작스런 횡풍의 작용 등에 대해 새시제어 모듈(ESC, TCS 등)이 제어 출력값을 어떻게 결정할 것인가를 생각하면 제어기에 차량동역학 모델이 탑재되어 차량의 상태를 역학적으로 더 정확하게 예측하고, 상황에 맞는 제어 출력을 실시간으로 결정하는 것이 당연히 필요하다.

차량동역학 솔버의 탑재

CAE(Computer Aided Engineering)는 보통 Pre-Solve-

Post의 3단계로 이루어지는데 이 중 Solve 단계의 주체를 솔버(Solver)라고 한다. 기본적으로 차량동역학 솔버는 동적시스템의 운동방정식인 일련의 상미분방정식의 초기값 문제(Initial Value Problem)와 경계값 문제(Boundary Value Problem)를 수치계산법을 적용하여 푸는 기능을 한다.

새시모듈의 동적 거동을 나타내는 동역학 모델은 그 난이도와 해석 목적에 따라 1자유도부터 Full-car 모델까지 다양하지만, 최근의 유한요소해석까지 포함하여 동시에 해석할 수 있는 다물체 유연동역학(Multi-Flexible Body Dynamics) 해석 솔버의 최소사양이 레벨3 이상의 자율주행 기능을 탑재한 임베디드 시스템의 하드웨어 사양보다 높지 않다. 또한 차량용 임베디드 시스템의 Centralized E/E Architecture, 다양한 센서 신호의 융합기술 등 하드웨어와 소프트웨어 기술의 최근 발전 속도를 고려하면 차량동역학 모델과 그 미분방정식을 풀 수 있는 솔버가 임베디드 시스템에 탑재되는 것이 충분히 가능함을 의심할 여지가 없다.

앞으로 전기전자기술과 인공지능기술의 발전에 힘입어 필자가 생각하는 차량동역학 미분방정식이 차량 임베디드 시스템에 탑재되어 생각지 못한 주행 상황에 대한 차량의 거동을 역학적으로 실시간 예측하여 자율주행 자동차의 조종 안정성을 크게 향상할 수 있는 날이 곧 다가오리라 기대한다.