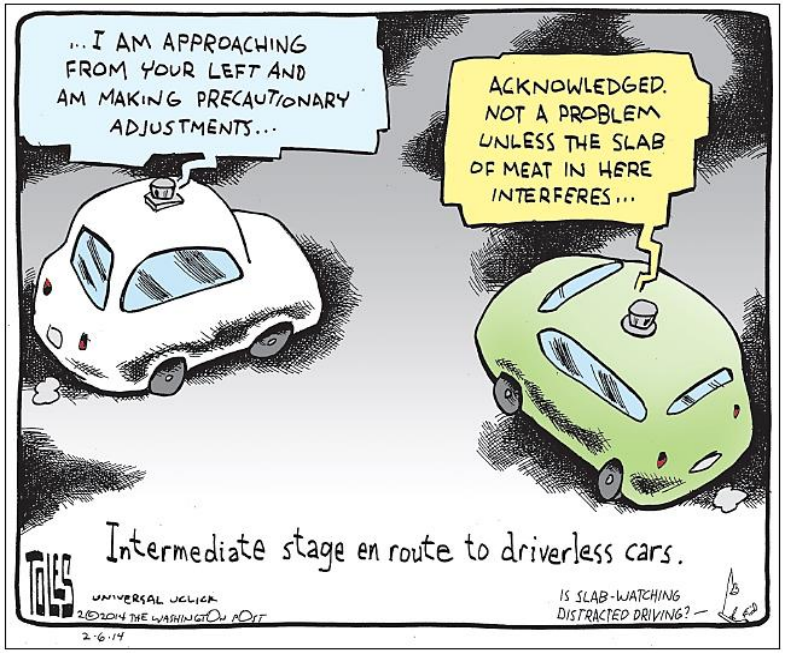
자율주행과 V2X



고려대학교 무선데이터통신연구실
김 효 곤

차 례

- 자율주행 기술과 V2X의 관계
- V2X의 관점에서 본 (센서 및 제어 기반) 자율주행 기술의 한계
- V2X에 의한 자율주행 기술 보완
- 협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면
- 전망

자율주행 기술과 V2X

- 자율주행 기술은 ADAS에서 driverless vehicle까지 포괄하는 광범위한 개념
  - Advanced Driver Assist Systems는 고성능 센서와 액츄에이터, 제어 유닛과 통합 소프트웨어를 결합하여 사용
    - 매우 많은 수의 센서 (스테레오 카메라, 장단거리 RADAR, LIDAR 등)와 액츄에이터를 사용, 주행 상황을 감지하고 그에 적절하게 주행

- "자율 (autonomous) 주행"은 정의상 단독 (local) 개념
    - 판단 및 실행에 있어 운전자에게 의존하지 않음
    - 주변 차량 혹은 인프라와의 통신과 정보교환에 의존하지 않음

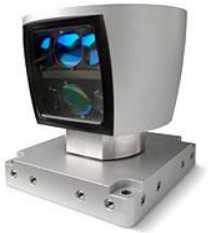
- 자율주행과 V2X는 따라서 정의상 상반된 개념이며 발전해 온 경로가 다름
  - V2X는 Intelligent Transportation Systems (ITS)에서 발전
  - 자율주행은 안전을 위한 운전자 지원 시스템으로부터 발전

- 최근 스마트카에서 두 경향이 합류 (converge) 중
  - 상호 보완적인 명확한 역할 정리 필요



V2X의 관점에서 본 자율주행 기술의 한계

- 비용
  - 예: Velodyne LIDAR 현재 약 $70,000
    - 자율주행의 대규모 채택 및 사용을 저해
    - 그러나 규모의 경제: 곧 수백 달러 대로 떨어질 전망 [1,2]



- 응용의 범위
  - 예: 교통이 혼잡한 도심에서 약 40%의 연료는 주차 공간을 찾는데 낭비됨 (MIT Media Lab 보고서) [3]

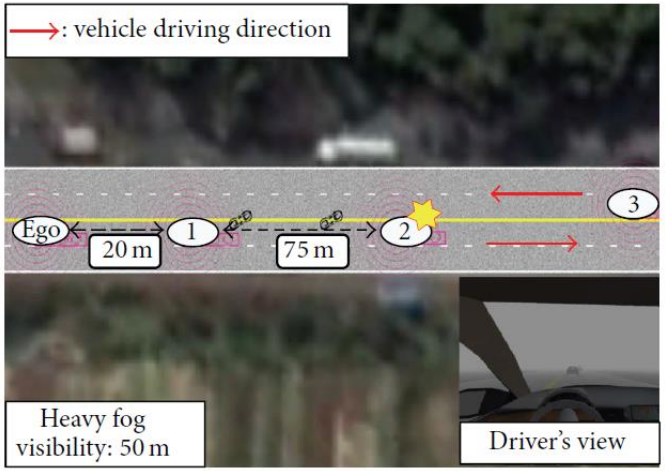
- 주변 환경 인식 능력
  - 아직 인간만큼 주변 환경을 인지하는 능력이 떨어짐
    - 예: "야구공이 길 위로 굴러 떨어졌다"의 의미?
    - 수백만 가지의 드라이빙 시나리오
  - 주변 환경과의 교신 부재에 의한 인지 능력 제한 [4]

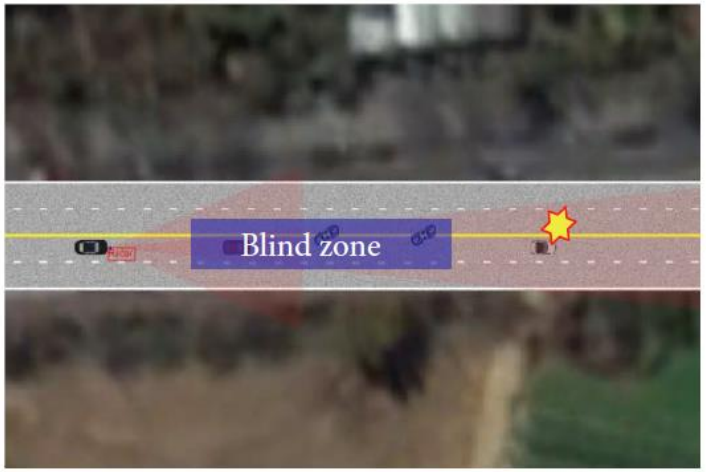


[1] Becker, Vehicle Manufacturer and Supplier Briefings, Automotive Vehicles Symposium, July 2014.
[2] Ross, "Will Commercial Cars See With Laser-Powered Eyes?" IEEE Spectrum, June 2014.
[3] http://h20.media.mit.edu/pdfs/wjm2007-0509.pdf
[4] Lewin, "WiFi-Honk! Smartphone App Gets Pedestrians out of the Way," IEEE Spectrum, July 2014.

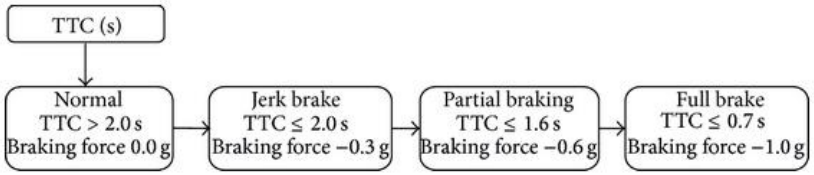
V2X의 관점에서 본 자율주행 기술의 한계

- 근본적으로 line-of-sight (LOS) 기술
  - 예제 시나리오 [1]: 짙은 안개, 시정 50m



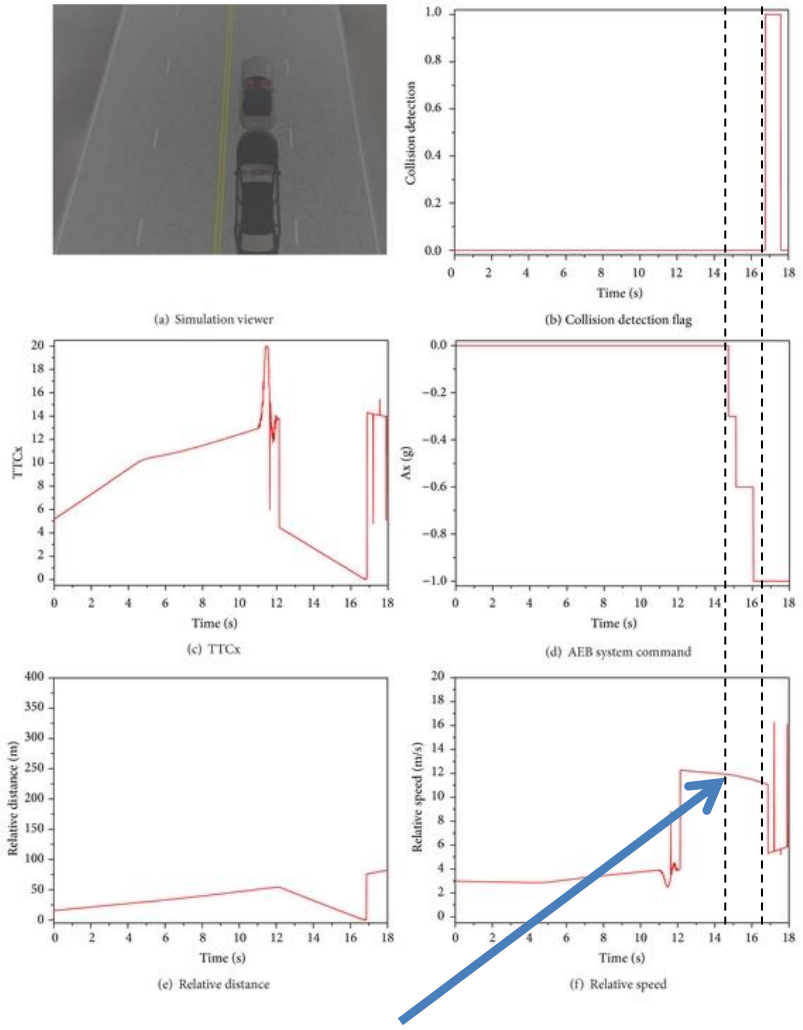


Vehicle	Initial speed	End speed	Note
Ego	50 km/h	60 km/h	AEB system
Vehicle 1	60 km/h	60 km/h	Lane change
Vehicle 2	55 km/h	0 km/h	Vehicle fault
Vehicle 3	70 km/h	70 km/h	Opposite lane

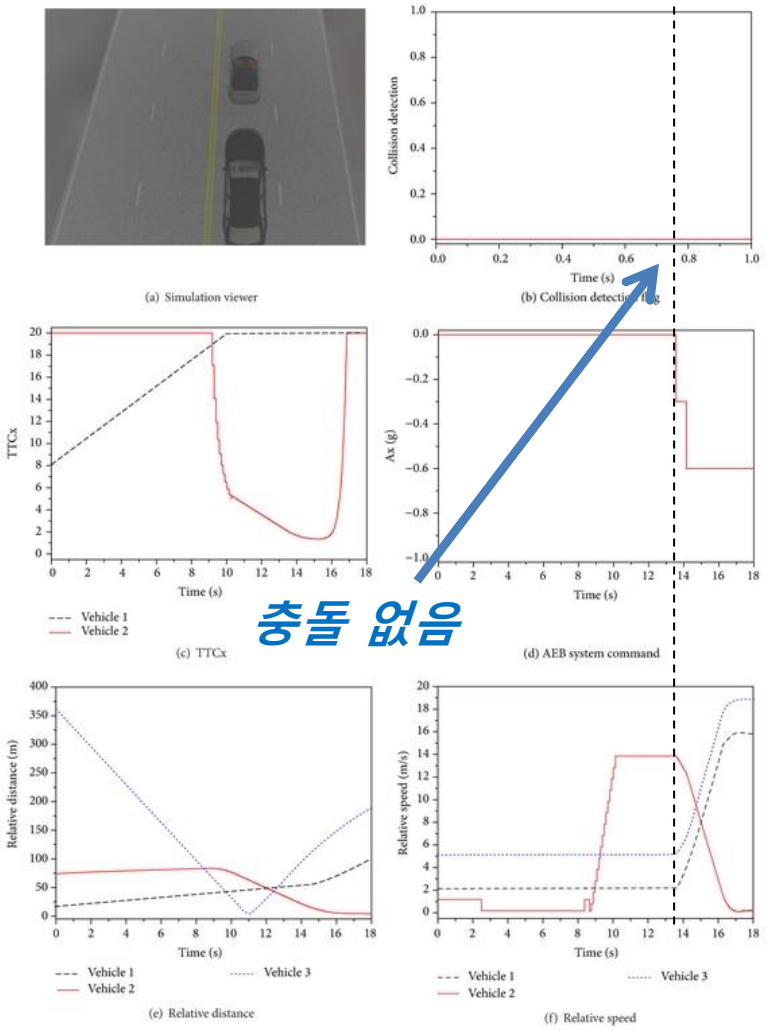


[1] Cho, Kim, and Kim, "Usability Analysis of Collision Avoidance System in Vehicle-to-Vehicle Communication Environment," J. Of Applied Mathematics, Apr. 2014.

V2X의 관점에서 본 자율주행 기술의 한계



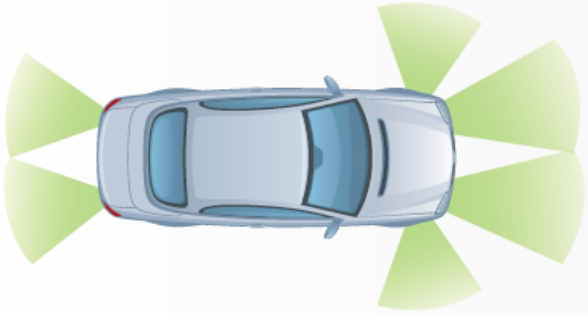
센서 기반 AEB에 의한 충돌
속도 감소율 3% 이하



충돌 없음

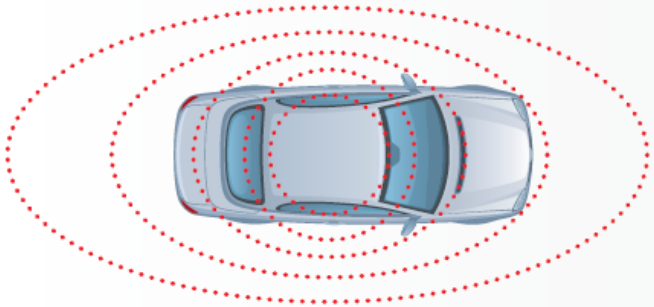
V2X에 의한 자율주행 기술 보완

- 자율주행 기술과 V2X가 통합될 것이라는 데는 이견이 없음



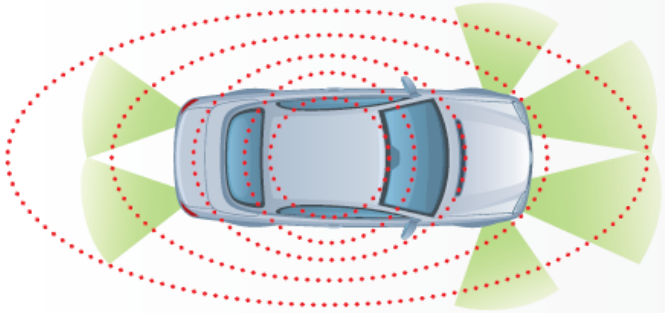
Sensor-Based Solution Only

- Cannot sufficiently mimic human senses
- Not cost-effective for mass market adoption
- Lack of adequate 360° mapping of environment in urban grids



Connected Vehicle Solution Only

- DSRC does not currently work with pedestrians, bicyclists, etc.
- DSRC-based V2I might require significant infrastructure investment
- V2V requires high market penetration to deliver value reliably



Converged Solution

- Convergence will facilitate adequate mimicking of human senses
- Convergence will reduce need for an expensive mix of sensors and reduce the need for blanket V2I investment
- Convergence will provide the necessary level of functional redundancy to ensure that the technology will work 100 percent of the time

[18] KPMG Interview, 5/17/2012.

V2X에 의한 자율주행 기술 보완

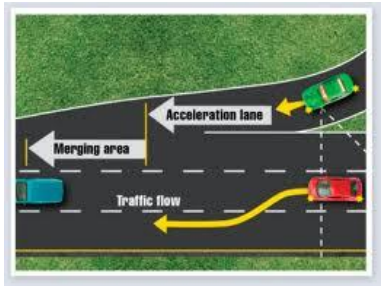
- 자율주행 관점에서 V2V 무선통신은
  - LOS 없이 작동하는 전방향성 (omni-directional) 센서로 볼 수 있는 측면이 있음

- 자율주행과 V2V의 결합 → "협력" 자율주행
  - Global state를 인지할 수 있게 함으로써 보다 큰 범위의 혜택을 가능케 함
    - Global state의 예: 주차, 트래픽, 타 차량의 제어 정보 등
  - 비슷한 기능의 경우 고가의 센서 대치 가능
    - 자율주행 차의 대규모 채택 가능성을 높일 수 있음
  - 의사 결정을 위한 입력이 증가
    - 복잡한 AI에 대한 의존도를 감소시킬 수 있음
  - V2X 기반 솔루션과 센서 기반 솔루션은 기능적인 redundancy를 창조
    - 보안을 위해서도 중요
  - V2V 통신은 차량의 궤적 및 운전자의 의도를 타 차량에 전달할 수 있음

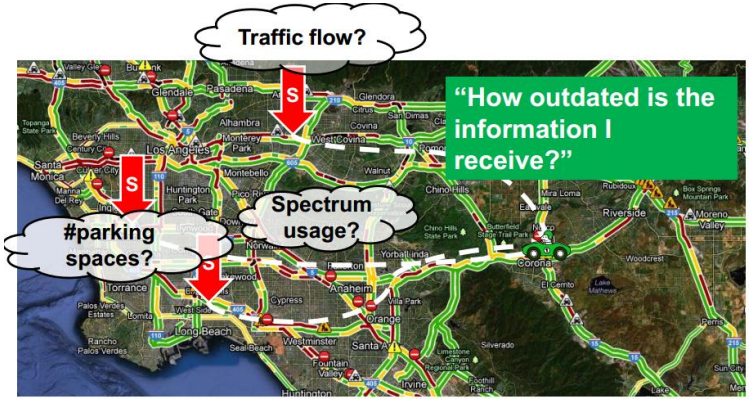


V2X에 의한 자율주행 기술 보완

- 협력(cooperation)이 있을 때 구현하기 쉬워지는 응용들
  - 교차로 충돌 회피, 급제동에 의한 전방 추돌 회피, 차선 합침
  - Platooning
    - 가속 정보 혹은 경로 예측 메시지는 비선형적 vehicle dynamics를 가진 platoon의 string stability를 위해 도움이 됨 [1]
      - String stability is defined as the vehicle ability to attenuate the propagation of the effects on the inter-vehicle distances of an acceleration disturbance introduced by the leader or any other preceding vehicle







  - 협력 센싱 (collaborative sensing)



[1] Dunbar and Caveney, "Distributed receding horizon control of vehicle platoons: Stability and string stability," IEEE Trans. On Automatic Control, June 2011.

V2X에 의한 자율주행 기술 보완

- 경로 궤적과 예측 [1]

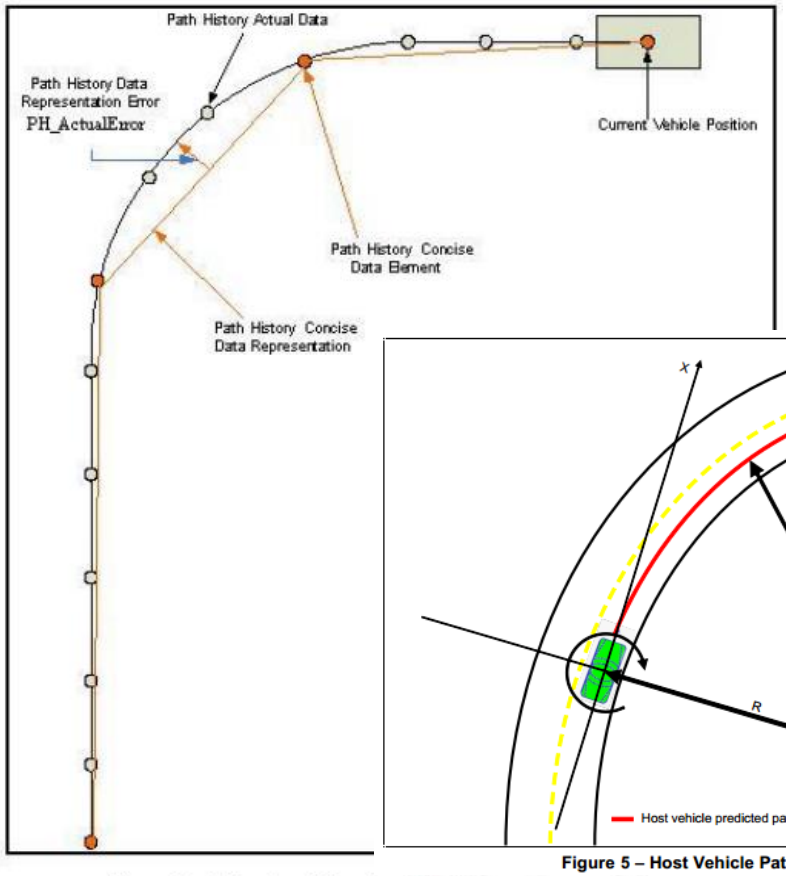


Figure 3 – Actual and Concise Path History Representations

Figure 5 – Host Vehicle Path Prediction

Table 3 – VSC-A (SAE J2735-Based) OTA Message

VSC-A Basic Safety Message	
Part I	Basic Vehicle State • Message Sequence Number • Temporary ID • Time • Position Latitude, Longitude, Elevation, Accuracy • Vehicle Speed, Heading, Steering Wheel Angle • Vehicle Accelerations, Yaw Rate • Brake Status • Vehicle Length, Width
Part II	Vehicle Events Object
	Vehicle Path History Object
	Vehicle Path Prediction Object
	Vehicle Relative Positioning RTCM 1002 Data Object

[1] SAE, Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary, J2735, Nov. 2009.

V2X에 의한 자율주행 기술 보완

- Basic Safety Message (BSM) Part II [7] (cf. 유럽표준의 CAM/DENM에 해당)에 제어 정보를 전송할 수 있음

```
BasicSafetyMessage ::= SEQUENCE {
   -- Part I
   msgID          DSRCmsgID,                    -- 1 byte

   -- Sent as a single octet blob
   blob1          BSMblob,

   --
   -- The blob consists of the following 38 packed bytes:
   --
   -- msgCnt       MsgCount,                    -x- 1 byte
   -- id           TemporaryID,                 -x- 4 bytes
   -- secMark      DSecond,                     -x- 2 bytes

   -- pos          PositionLocal3D,
      -- lat        Latitude,                   -x- 4 bytes
      -- long       Longitude,                  -x- 4 bytes
      -- elev       Elevation,                  -x- 2 bytes
      -- accuracy   PositionalAccuracy,         -x- 4 bytes

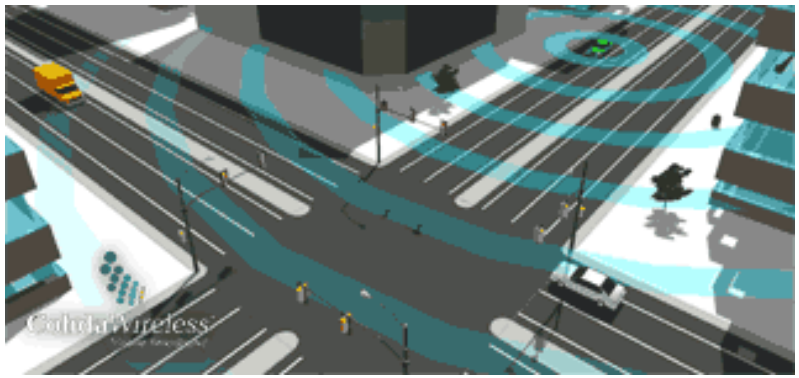
   -- motion       Motion,
      -- speed      TransmissionAndSpeed,       -x- 2 bytes
      -- heading    Heading,                    -x- 2 byte
      -- angle      SteeringWheelAngle          -x- 1 bytes
      -- accelSet   AccelerationSet4Way,        -x- 7 bytes

   -- control      Control,
   -- brakes       BrakeSystemStatus,          -x- 2 bytes

   -- basic        VehicleBasic,
   -- size         VehicleSize,                -x- 3 bytes

   -- Part II, sent as required
   -- Part II,
   safetyExt      VehicleSafetyExtension OPTIONAL,
   status         VehicleStatus          OPTIONAL,

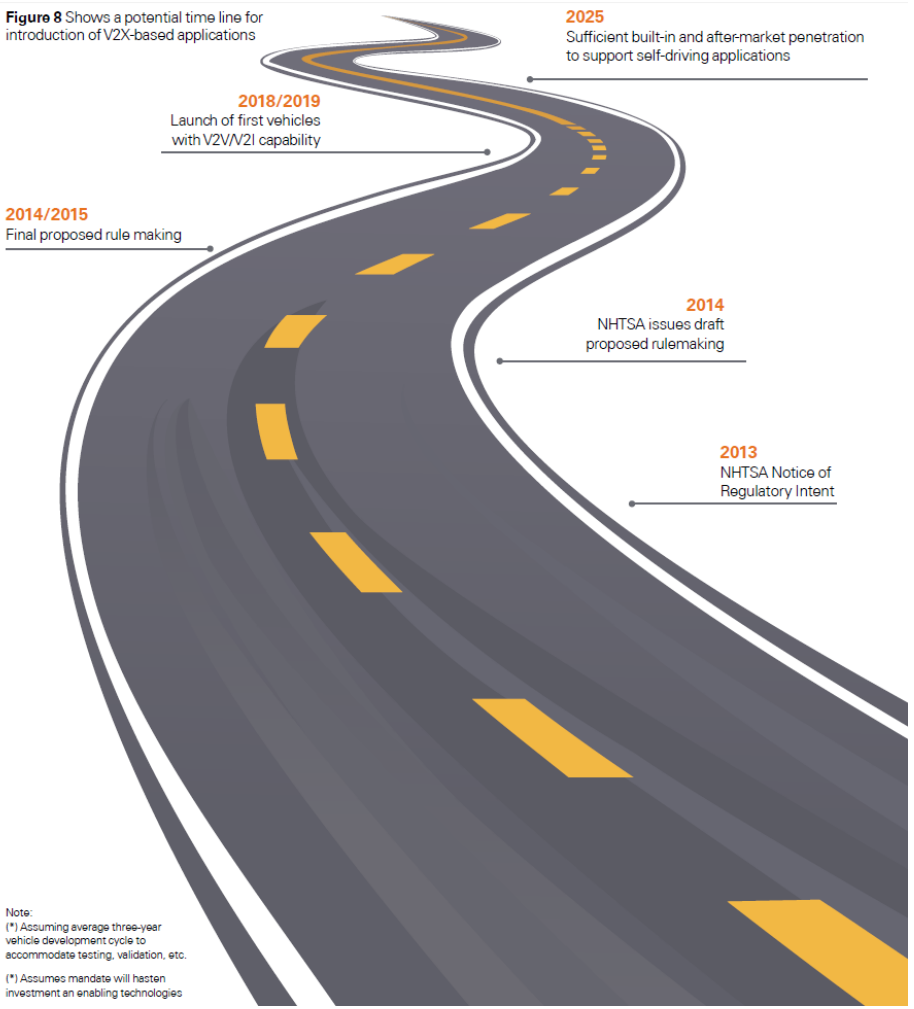
   ... -- # LOCAL_CONTENT
   }
```



"Part II 데이터는 optional 로서 표준의 범위를 넘어서는 정책에 따라 필요한 대로 포함할 수 있다"

V2X에 의한 자율주행 기술 보완

- 미국 DoT에서는 2013~2015에 WAVE에 대한 rulemaking을 마칠 계획
  - "규칙제정(rulemaking)"은 "규칙"을 제정(formulating), 개정(amending), 폐지(repealing)하는 행정기관의 과정(agency process)을 말한다. "규칙(rule)"은 법률 또는 정책을 보충, 해석 또는 규정하고, 행정기관의 조직, 절차 또는 실무규칙을 정함을 목적으로 하는 행정기관의 의사표시의 전부 또는 일부로서 일반적 혹은 특정사실에 대하여 적용되고 장래를 향하여 효력이 미치는 것을 말한다. 규칙은 요금, 임금, 법인이나 재무기구 또는 그 재조직, 가격, 시설, 설비, 역무 또는 그 대가, 평가, 비용, 계리나 이들에 관한 절차를 장래에 향하여 승인하고 규정하는 것을 포함한다.
  - 2013: 소형차
  - 2014: 대형차
  - 2015: 연방정부 소유의 인프라 구조물
- 우측 로드맵에 의하면 2018~2019에 V2X 기능이 장착된 신차를 내놓을 계획
- 2025년에는 V2X 기술이 충분한 시장 침투를 했을 것이라 예상
  - 신차장착 및 애프터 마켓 포함 통계

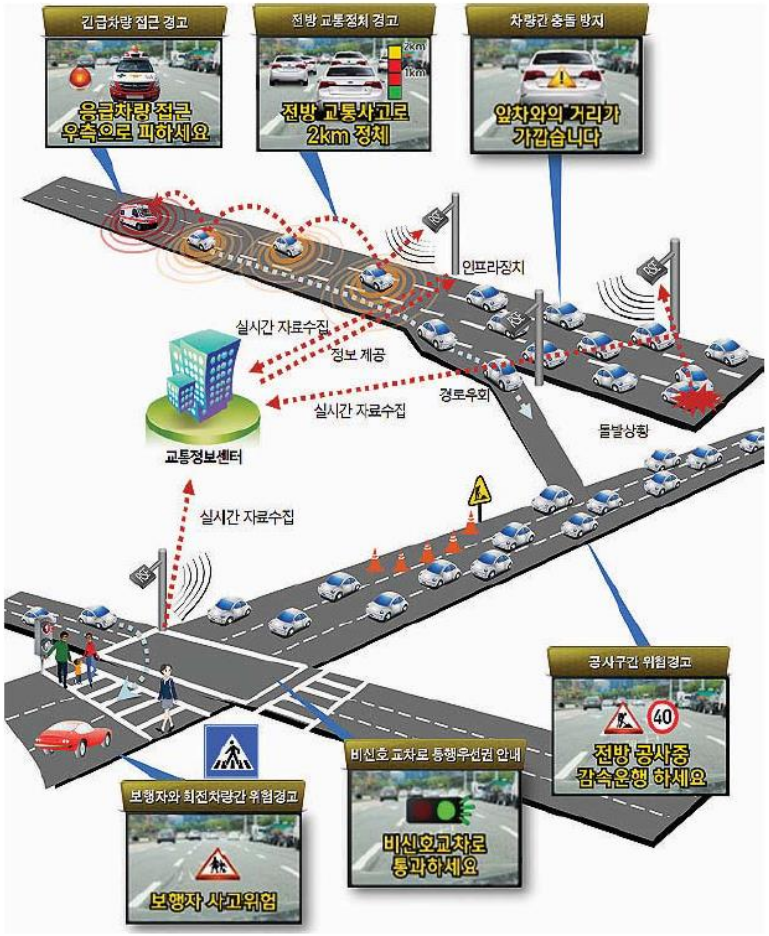


[1] U.S. Department of Transportation Announces Decision to Move Forward with Vehicle-to-Vehicle Communication Technology for Light Vehicles, NHTSA, Feb. 2014.

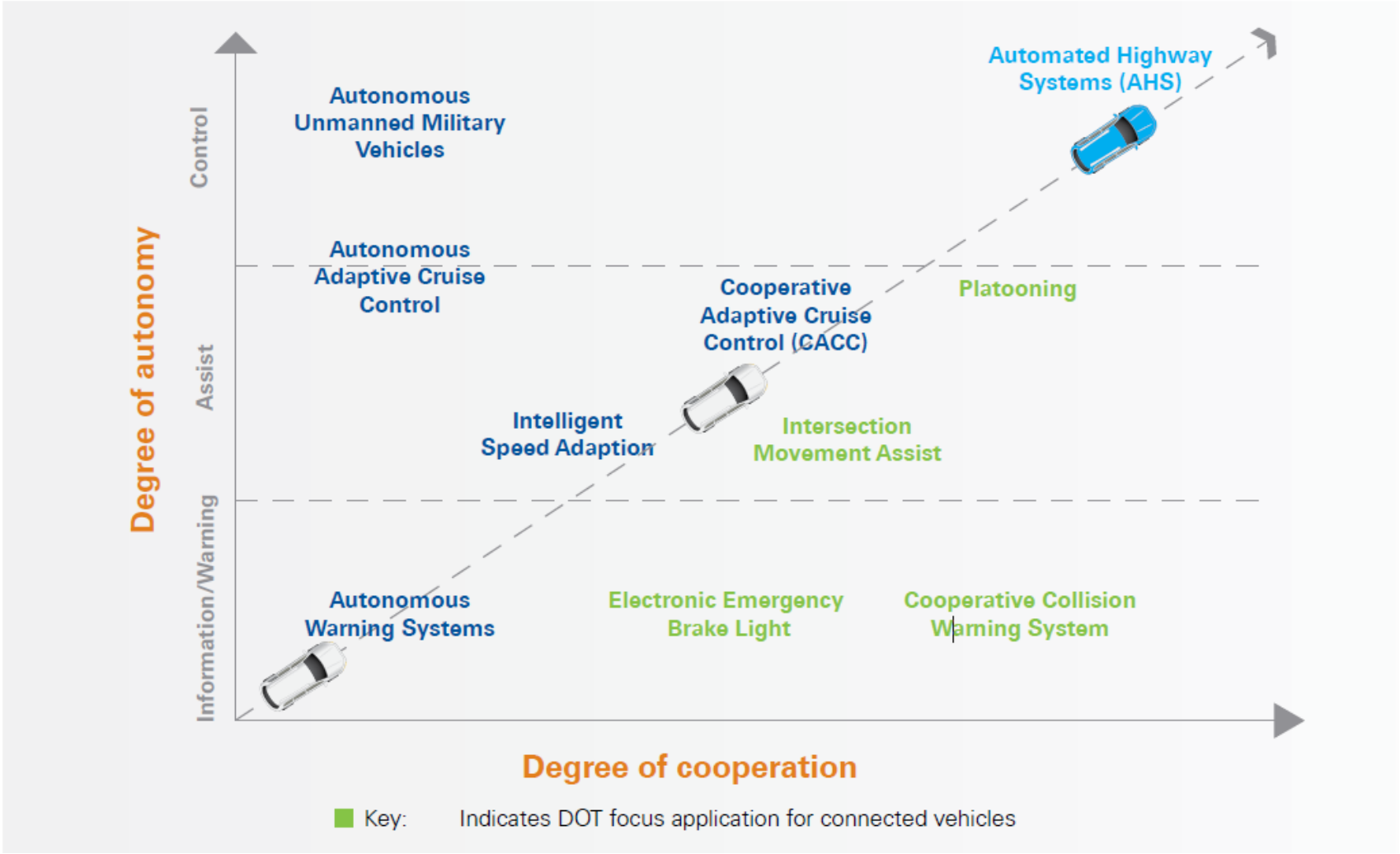
V2X에 의한 자율주행 기술 보완

- 국토교통부는 2017년 3,000대의 차량을 이용해 대전-세종 지역에서 C-ITS 테스트
  - 80km 구간
  - 3000 OBUs + 90 RSUs
  - 2014년 7월 설계 시작
  - 2014년 8월 국무회의 보고
  - 2016년까지 검증 및 규격화



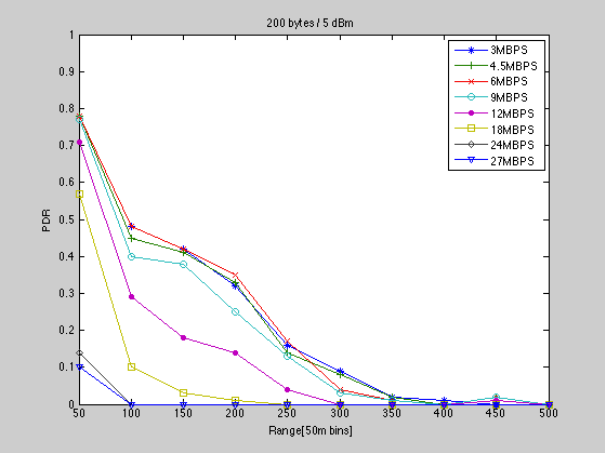


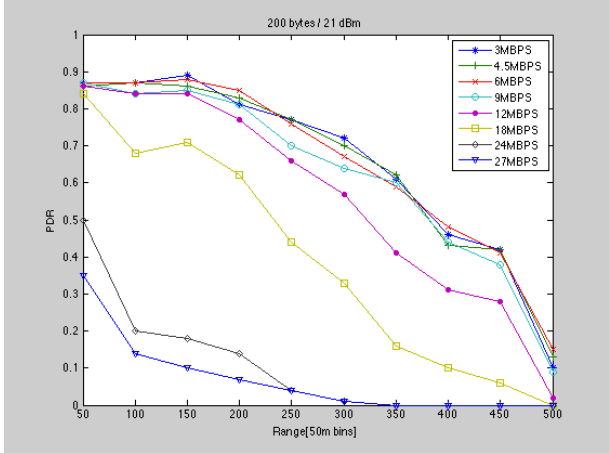
V2X에 의한 자율주행 기술 보완



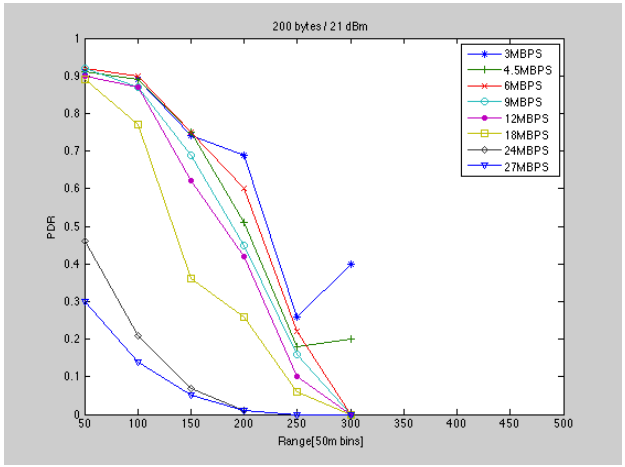
협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면

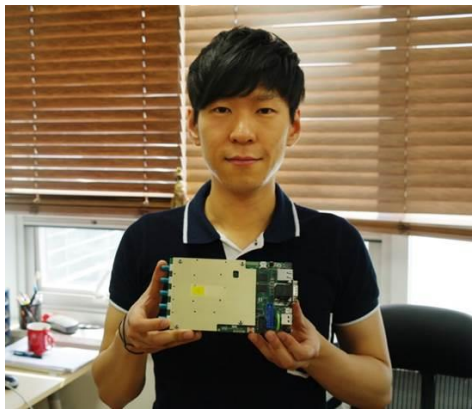
- Cohda OBU 장착 차량 간 BSM 메시지 전달률 (PDR) 도로 측정 결과
  - 자유로





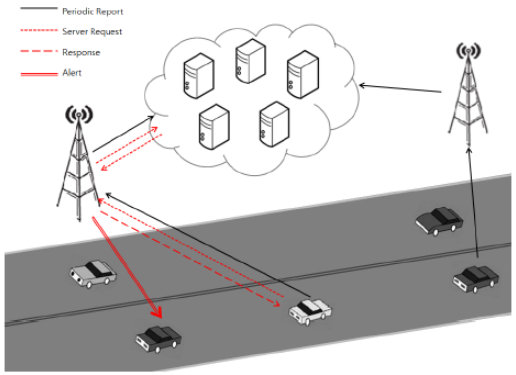
  - 서울 도심



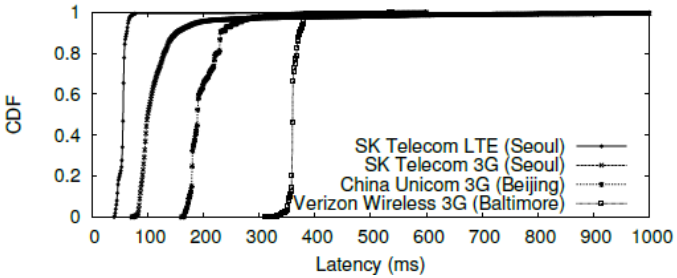


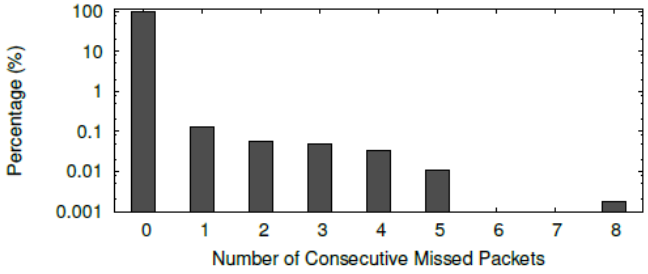
협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면

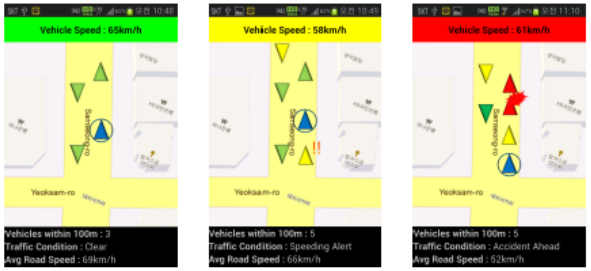
- LTE 같은 이동통신 기술은 WAVE 초기 기술 확산에 큰 도움이 될 수 있음 [1]
  - 네트워크 용량 및 가격 문제











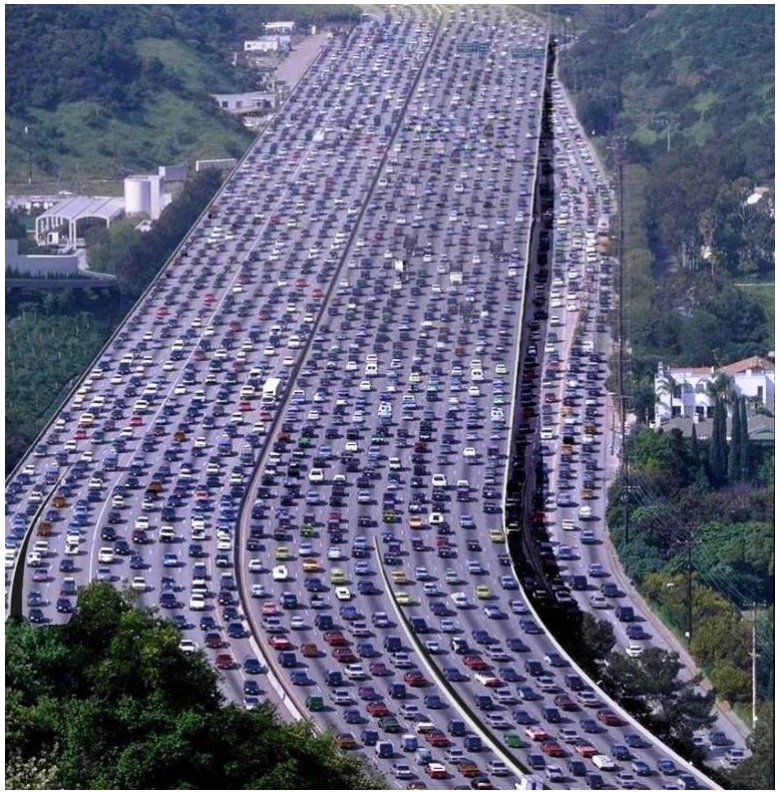
(a) Traffic Condition Monitoring (b) Aggressive Vehicle Warning (c) Accident / Slow Vehicle Warning



[1] Park et al., "A Feasibility Study and Development Framework Design for Realizing Smartphone-based Vehicular Networking Systems," to appear in IEEE Tr. on Mobile Computing, 2014.

협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면

- (DSRC 채널의) 혼잡제어
  - CAMP: GM, Mercedez/Toyota, Hyundai/Kia
  - ETSI DCC

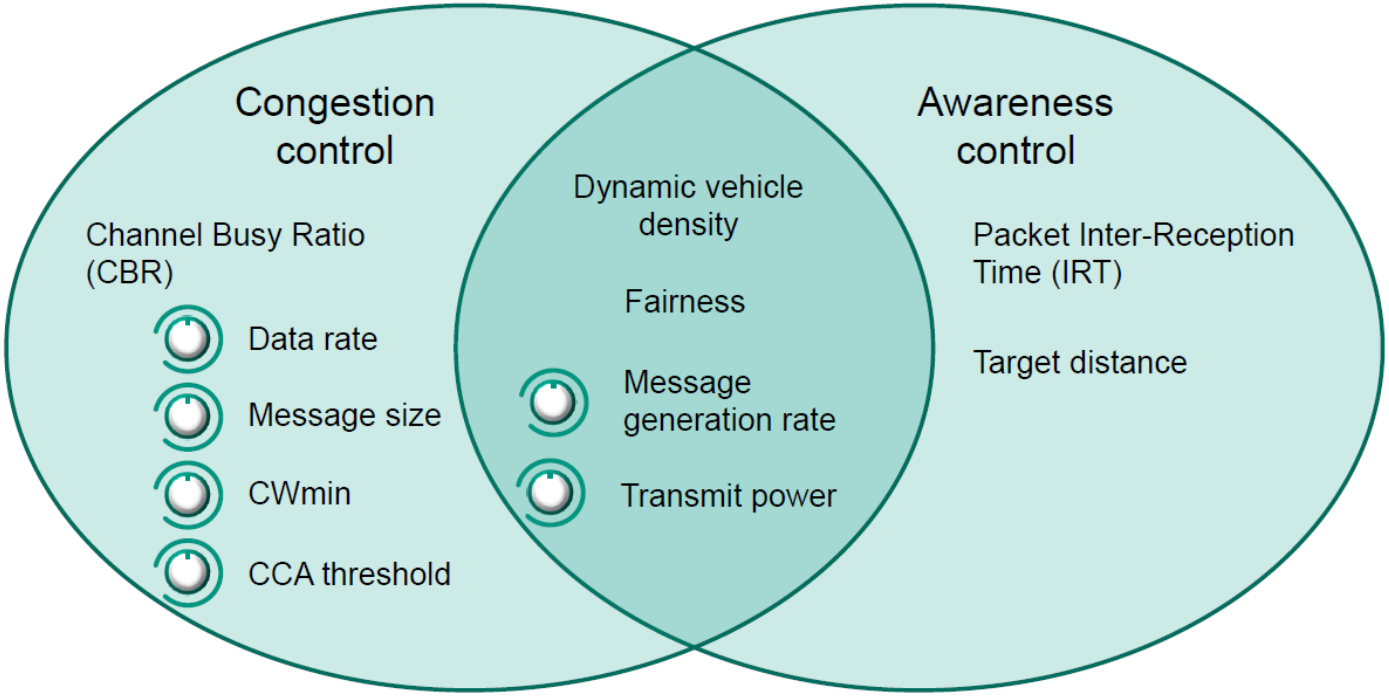


CAMP
Vehicle Safety Communications 3
Mercedes-Benz
GM
TOYOTA
HONDA
Honda R&D Americas
Ford
NISSAN
HYUNDAI·KIA MOTORS
VOLKSWAGEN
Intelligent Transportation Systems



협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면

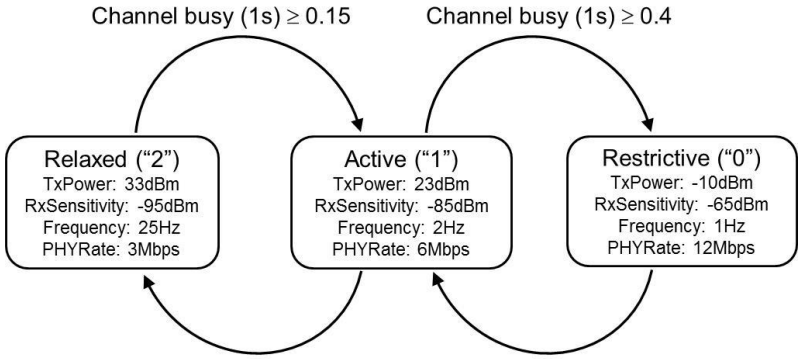
- 다수의 제안이 있으나, 독보적으로 탁월한 제안은 없음 [1]
  - 많은 제어 파라미터 존재
  - 응용과 메커니즘이 명확한 관계 설정 없이 혼재

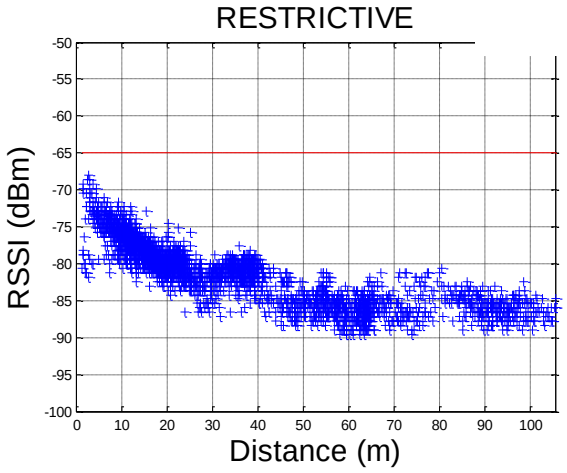


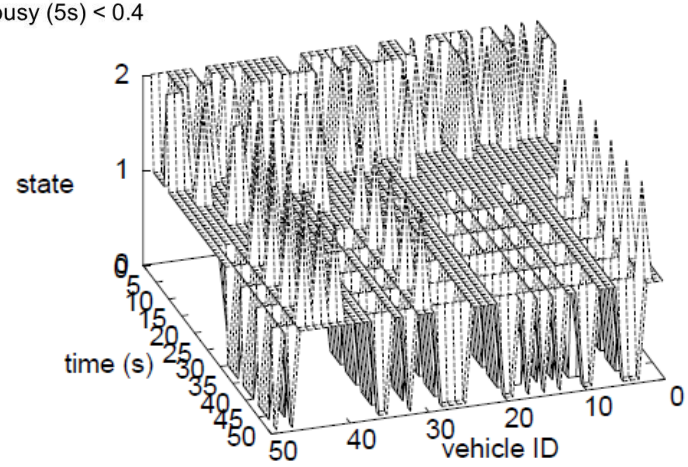
[1] Hartenstein, "Why is Vehicular Still Challenging?" IEEE WiVeC, 2013.

협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면

- 지나치게 많은 파라미터의 영향
  - 유럽 표준인 ETSI DCC 성능은 여러 면에서 문제가 있음 [1,2]



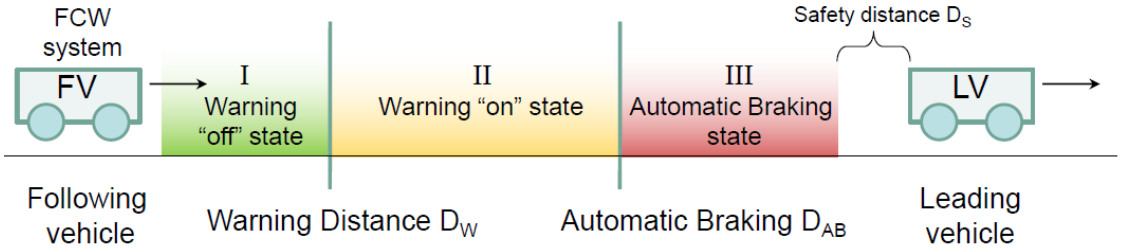




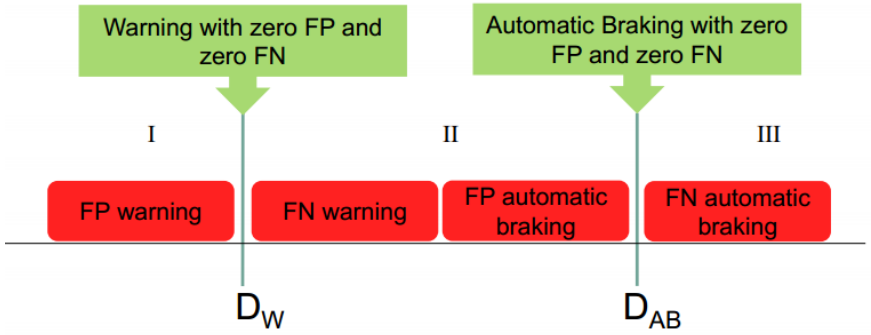
[1] Kuk and Kim, Preventing Unfairness in the ETSI Distributed Congestion Control, IEEE Communications Letters, July 2014.
[2] Seungnam Yang, Hyogon Kim, Less is more: the need to simplify the ETSI Distributed Congestion Control (DCC) algorithm, Electronics Letters, Feb. 2014.

협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면

- 이제는 응용 프로토콜과 그 규격 (specification)으로 연구의 초점을 모아야 할 때 [1]
  - 응용 요구조건 분석
    - 응용이 성공하기 위해서 자동차들은 얼마나 멀리까지 또 얼마나 자주 교신해야 하는가?

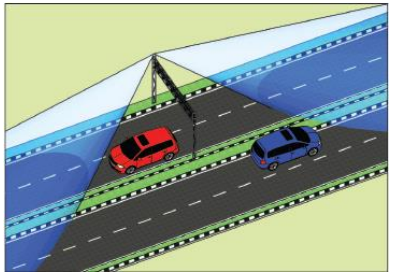


  - 오탐 (false positive) 및 미탐 (false negative) 문제
    - Ann Arbor의 SafetyPilot 테스트 등에서도 보고된 문제 [2]



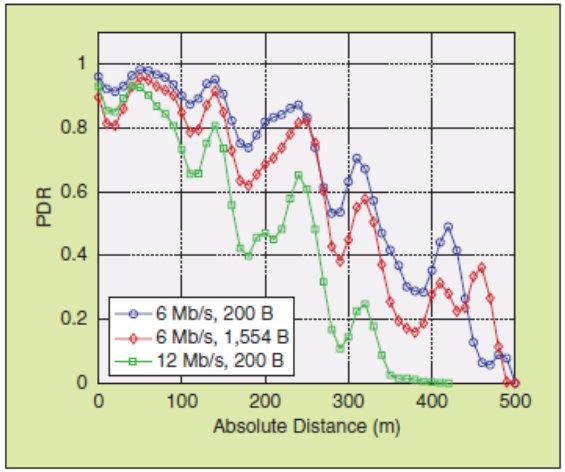
[1] Hartenstein, "Why is Vehicular Still Challenging?" IEEE WiVeC, 2013.
[2] Automotive News, "Self-driving cars get a reality check," Oct. 21, 2013.

협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면



- V2I 채널 특성은 V2V에서와 다름
  - 높이 (약 7m) 때문에 LOS가 잘 확보됨
  - 무선채널이 덜 time-variant함

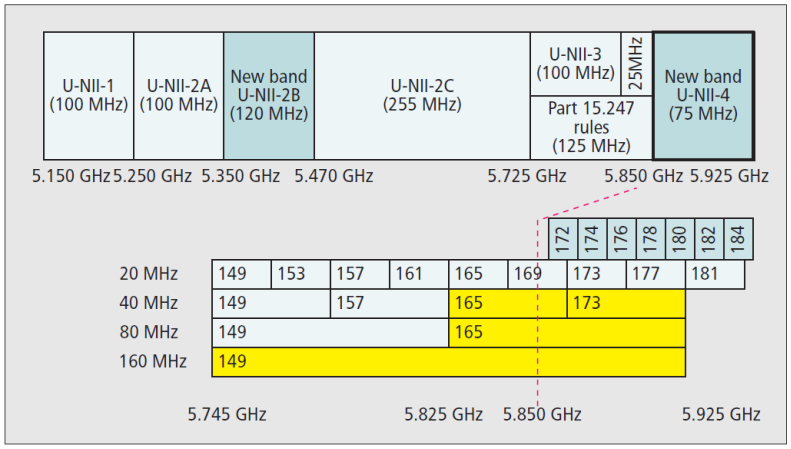
- 큰 패킷 크기가 높은 throughput 달성 [1]
  - 작은 패킷에서보다 75% 증가
  - 큰 패킷으로 인한 커버리지 감소는 5% 내외로 미미함
  - PHY rate 증가는 패킷 전달률을 대폭 감소시킴

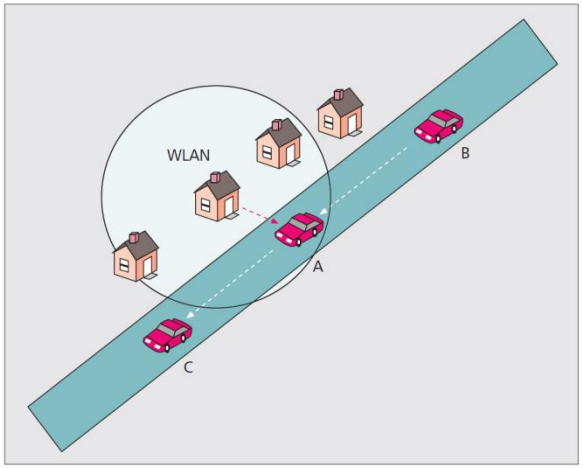


[1] Shivaldova, Winkelbauer, Mecklenbrauker, "Vehicular Link Performance," IEEE Vehicular Technology Magazine, Dec. 2013.

협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면

- WLAN 기기들로부터의 간섭 해결
  - FCC NPRM 13-22 (Docket 13-49)
    - US FCC 는 현재 DSRC에 할당된 5.9GHz ITS 대역을 비면허 기술인 WiFi와 공유할 계획을 밝힘
    - 자동차 안전에 관련된 심각한 문제가 될 수 있음
      - 현재 802.11 표준 프레임워크 안에서 일부 해결 가능 [1]

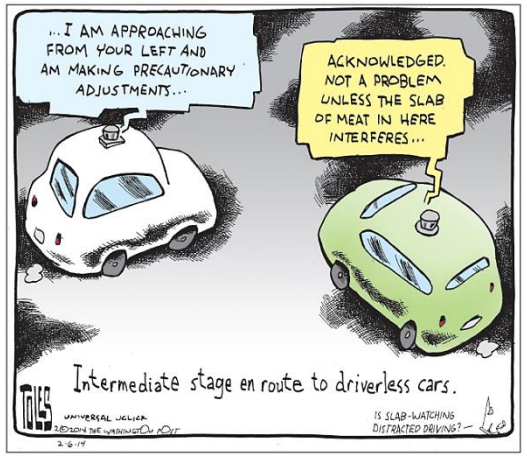




[1] Park and Kim, "On the Coexistence of 802.11ac and WAVE in 5.9GHz Band," IEEE Communications Magazine, June 2014.

협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면

- 자율주행 상황에서 주변의 차량과 협력적으로 제어 [1]
  - 그룹 통신
    - Vs. 1-hop 브로드캐스트
  - 응용 프로토콜
    - 협력 제어용
  - 신뢰성 있는 합의
    - 신뢰성이 떨어지는 무선 채널을 통해서 성취해야 하는 문제



- 협력적 센싱을 위한 V2V로부터 협력적 의사 결정을 위한 V2V로 [2]
  - Platooning 및 협력적 차선 합침
  - Geo-spatial 위치정보, 디지털맵, 충돌 회비, 경로예측 등

[1] Dressler, Hartenstein, Altintas, Tonguz, "Inter-Vehicle Communication: Quo Vadis," IEEE Communication Magazine, June 2014.
[2] Caveney and Dunbar, "Cooperative Driving: Beyond V2V as an ADAS sensor," DIVS, 2012.

협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면

- V2V의 가장 큰 문제는 "Day-1 Benefit"이 없다는 것
  - "네트워크 효과" (network effect)
  - 미국: 약 10~20년 간 신차 WAVE OBU 의무장착 시행해야 네트워크 효과 발생
  - 애프터 마켓 제품 판매를 촉진하기 위한 전략 필요
  - Road-side units (RSUs) 부터 대량으로 설치해야 OBU 설치 유도 가능
    - *"Roadside sensors and radios would keep the car connected to the network and share information about construction ahead, traffic jams, oncoming cars, blind spots, emergency vehicles or hidden stop signs. Japan already uses a limited system, and South Korea and European countries have plans to introduce their own in the coming years."* [1]
    - 일본: 1600 ITS 스팟에서 교통 상황과 혼잡 및 사고 등을 브로드캐스트 중
- V2I의 비용 문제
  - 예: 뉴욕시에만 13,000 개의 교차로

[1] Automotive News, "Self-driving cars get a reality check," Oct. 21, 2013.

협력 자율주행을 위한 V2X 기술의 여러 측면

- 거의 모든 차량에 전용 WAVE 기기를 장착해야 V2V 실효성 발생? 15년 후?
- 스마트폰에 구현된 802.11p 소프트웨어 라디오 (SDR)을 통해 WAVE 브로드캐스트 메시지를 지금도 문제 없이 송수신할 수 있음
  - WAVE 칩이 꼭 있어야 하는 것은 아님
  - 현재 2 코어 구현 → 추가로 최적화 가능
  - Radio front end 소형화 연구 진행 중



전망

- 완전 자율주행은 기술적으로 법적으로 시간이 오래 걸릴 것
  - 2014년 9월 California 주는 2015년까지 완전 자율주행 자동차 테스트에 관한 법규를 제정해야 한다는 주 상원 법안 1298에 의거 Volkswagen, Mercedes, Google에 각각 면허 발급
  - ADAS 기술의 점진적 진보 후 어느 단계에서 가능해질 것

- 시내 주행시 V2I와 V2V가 현실적으로 더 의미 있음
  - Detroit 등의 도시 V2V 혹은 V2I 통신 가능한 전용 도로 건설 계획
  - 각 차량을 완전주행 자동차로 만드는 것보다 훨씬 용이할 것으로 판단
  - 2020년을 기점으로 미국에서 의무장착이 현실화 될 것으로 예상됨
  - 한국은 약 4년 정도 뒤진 스케쥴로 미국의 전례를 따르고 있음

- 자율주행과 V2X는 상호 보완적인 측면을 가지며 통합 시스템으로 나아갈 것이라는 데 이견이 없음
  - 유기적으로 통합하여 가장 큰 시너지를 낼 수 있도록 연구 필요
  - 협력적 제어와 의사 결정까지 가려면 프로토콜 등 연구가 추가로 필요

전망

- V2X를 위한 기술적, 경제적 이슈를 해결해야 함
  - 도로상황의 채널 모델 필요
    - 실도로 주행 시험시, 알려진 바와 달리 9Mbps나 12Mbps에서도 PDR 양호
  - V2V의 Day-1 문제
    - LTE 등 이동통신에서 비슷한 기능을 구현할 수도 있으나 실시간 지연, 용량 및 과금 이슈 있음
    - 의무 장착을 위한 법제도 정비 과정에 수년이 소요될 것으로 예상됨
    - 소비자를 설득하기 위해서는 V2I 등을 통한 다른 혜택으로 유인할 필요 있음
    - 현재 스마트 폰에서 WAVE 칩셋을 사용하지 않고도 지원 가능성 있음
      - 내비게이션 기기 등에 포함 가능성
  - V2V 혼잡제어는 아직 정답이 없음
    - GM과 Toyota/Mercedes 진영이 CAMP에서 경쟁중
    - 유럽표준 DCC는 매우 문제가 많은 방법임
    - 응용의 요구조건에 대한 연구가 더 필요함
  - V2I는 패킷 크기가 커야 더 바람직함
    - 설치 비용 문제 큼

Q & A

