

표지

(옆면)

(앞면)

20CTAP-
C151975
-02

5G 기반 자율협력주행 도로 데이터
수집배포 프로토콜 및 통신 아키텍처
연구 최종보고서

2021

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

보안 과제(), 일반 과제() / 공개(), 비공개()발간등록번호()

국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

R&D / 20CTAP-C151975-02

5G 기반 자율협력주행 도로 데이터 수집배포 프로토콜 및 통신 아키텍처 연구 최종보고서

2021. 3.

주관연구기관 / 고려대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘5G 기반 자율협력주행 도로 데이터 수집배포 프로토콜 및 통신 아키텍처 연구’(연구개발 기간 : 2019. 04. 15 ~ 2020. 12. 31) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2021. 3.

주관연구기관명 : 고려대학교 산학협력단 (대표자) 조석주



주관연구기관책임자: 김효곤

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	20CTAP -C151975-02	해당 단계 연구 기간	2019.04.15. - 2020.12.31	단계구분	1/1
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	5G 기반 자율협력주행 도로 데이터 수집배포 프로토콜 및 통신 아키텍처 연구			
연구책임자	김효곤	해당단계 참여연구원 수	총: 19 명 내부: 19 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 370,000 천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 19 명 내부: 19 명 외부: 명	총 연구비	정부: 370,000 천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 천원
연구기관명 및 소속 부서명	고려대학교 산학협력단			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반 과제
-------------------------	-------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허
등록·기탁 번호	10.3390/s19245493 10.1109/ACCESS.2020.2999925 10.1109/ACCESS.2020.3015549 10.1109/LCOMM.2020.3030811	10-2019-0170045 10-2020-0114300 10-2020-0115058

국가과학기술중합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수

114 면

요약문

연구의 목적 및 내용	연구 개발 목표 달성을 위하여 자율주행차량의 안정성 향상에 기여하는 도로 데이터 정보의 효율적인 수집·배포를 지원하는 5G 기반 프로토콜을 연구한다. 구체적으로, 국내외에서 표준화의 시작 단계에 있는 5G-V2X 통신 아키텍처에 대한 선행 연구를 수행하고 최근 활발히 표준화가 진행되고 있는 5G 기반의 도로 데이터 정보 전송 시 무선 자원을 효율적으로 사용하기 위한 선행 연구를 수행한다. 다음으로, 자율협력주행 도로 인프라의 5G 기반 강건한 통신 아키텍처를 연구한다. 도로 주변에 설치되는 IoT 센서들을 활용하여 자율주행차의 안전한 주행을 위해 VRU의 위치를 정확하게 파악하거나 도로변에서 일어날 수 있는 무선 자원에 대한 공격에 방어할 수 있도록 한다. 추가적으로, 5G 통신을 통해 다수의 IoT 센서로부터 전송되는 데이터 트래픽을 효율적으로 수신하기 위한 연구를 수행하여 5G 무선 자원 활용의 효율성을 향상시키는 연구를 수행한다.				
연구개발성과	우리 연구는 1차년도에 5G 기반 도로 데이터 수집·배포 지원 프로토콜을 연구 개발하여 국외논문 (SCI) 1건, 특허 출원 1건, 및 학술대회 발표 1건을 달성하였다. 2차년도에는 자율협력주행 도로 인프라의 5G 기반 강건한 통신 아키텍처를 연구하여 국외논문 (SCI) 3건, 특허 출원 2건, 및 학술대회 발표 1건을 달성하였다. 또한 박사 2명, 석사 1명의 인력을 양성하였다.				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	우리 연구는 자율주행차와 도로 인프라 사이의 통신과 자율주행차 간의 통신을 지원함으로써, 자율주행차가 센서 오작동, 악천후로 인한 전방 시야 미확보 등의 악조건에서도 주변의 돌발 상황 및 위험 정보를 인지하도록 하여 자율주행차의 안정성을 확보할 수 있다. 그리고 이는 교통 혼잡 개선, 도로 교통 안정성 증진, 교통사고 감소 등의 보다 큰 단위의 긍정적 효과와 자율주행차의 조기 상용화로 이어질 수 있다. 또한, 교통사고나 교통 정체로부터 발생하는 경제적 손실을 줄이는 경제적 효과가 기대된다. 그리고 우리 연구는 자동차, 물류 등 교통 관련 산업뿐만 아니라 통신 등 ICT 산업 및 이들을 융합하는 C-ITS 산업 전반에 관련된 요소 기술을 연구 개발하여 산업 구조 개선, 국가 경쟁력 제고 등의 긍정적인 효과를 가져올 것으로 기대된다.				
국문핵심어 (5개 이내)	5G	자율협력주행	도로 인프라	도로 데이터 수집·배포	통신 아키텍처
영문핵심어 (5개 이내)	5G	Cooperative Autonomous Driving	Road Infrastructure	Road Data Acquisition & Distribution	Communication Architecture

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	5
가. 연구 개발의 목적 및 필요성	5
나. 연구 개발 대상의 국내외 현황	7
다. 연구 개발 목표 및 범위	12
2. 연구수행내용 및 성과	14
가. 연구 개발 추진 전략 및 방법	14
나. 연구 개발 추진 체계	16
다. 연구 개발 추진 일정	18
라. 연구 내용	20
마. 연구 개발 성과	94
바. 연구의 기술적, 경제적 성과	96
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	98
3-1. 목표	98
3-2. 목표 달성 여부	100
3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성)	108
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	109
가. 추가 연구의 필요성	109
나. 타 연구에의 응용	109
다. 기타	110
붙임. 참고 문헌	111

<별첨> 주관연구기관의 자체 평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구 개발의 목적 및 필요성

(1) 배경: 자율주행 기술의 급격한 발전과 5G 시대의 개막

(가) 최근 인공지능 기술의 발달로 자동차 업계는 물론 IT 업계까지 자율주행차를 선보이며 2019년 현재까지도 자율주행의 급격한 발전이 이루어지고 있음

- ① 2018년 12월, 구글 모회사 Alphabet의 자율주행부문 Waymo가 미국 애리조나 주 피닉스 지역을 대상으로 'Waymo One'라는 이름으로 자율주행차 상용 robotaxi 서비스를 시범적으로 운영하기 시작함. 캐딜락, 아우디, 현대차 등 국내외 자동차기업들도 레벨 3 (조건부 자동화, 운전자는 적극적으로 주행에 개입할 필요는 없지만, 자율주행 한계 조건에 도달하면 정해진 시간 내에 대응해야 함) 자율주행차 개발에 박차를 가하고 있음

(나) 학계, 산업계에서는 자율주행차의 신속·안전한 이동을 지원하기 위해 ICT를 활용, 안전한 도로 환경을 구현하기 위한 연구를 진행 중임

- ① 도로환경정보를 수집·전달하는 기술을 다각도로 연구중. IoT 센서 기술을 활용하여 도로 상황을 실시간으로 파악하거나, 도로 자체에 ICT를 활용하는 융합형 도로 기술도 제시되었음
- ② 주변의 도로 지형, 표지판, 사고, 날씨, 차량에 대한 정보를 실시간으로 제공하기 위해 개발된 Local Dynamic Map (LDM)은 도로와 차량 정보를 연계하고 저장을 효율적으로 할 수 있음
- ③ 차량은 LDM을 기반으로 주변의 지형, 도로시설물의 위치 및 내용, 실시간 교통 상황, 차량의 위치 등의 정보를 얻어 자율주행 제어에 사용할 수 있음
- ④ 최근 지도 및 자율주행차 기술과 연계하여 관련 표준이 지속적으로 논의·제정되고 있음

(다) 3GPP의 5G 표준화가 2020년 공식적으로 확정될 예정이고, 이는 국제 표준으로 승인될 것으로 여겨져 상용화도 동시에 진행 중임

- ① 2017년 12월 Non-Standalone (NSA)모드 승인, 2018년 6월 Standalone (SA)모드 표준이 승인되어 5G가 본격적으로 상용화되기 위한 기반이 마련되었고 이어 2018년 9월 Release 15 기술규격의 ASN.1 제정이 완료됨
- ② 5G 상용화를 기점으로 다양한 5G 기반의 융합 서비스들이 새로운 비즈니스를 창출하고 4차 산업혁명을 이끌게 될 것이며 V2X가 그 한 축을 담당할 것임

- ③ Release 16 표준 추진을 위한 Work Item (WI) 중 5G 기반 융합 서비스 지원을 위한 진화 기술 항목으로 자율주행차를 위한 NR-V2X가 포함됨

항목명	작업범위	카테고리
V2X SI	SideLink (the latency and reliability requirements)	V2X
eURLLC-L1 SI	Uu remote driving use case	
	Single-TRP techniques for URLLC requirements (e.g., PDCCH time-domain/frequency-domain repetitions, etc.)	MIMO
MIMO WI	Multi-TRP techniques for URLLC requirements (e.g., repetition across TRPs, etc.)	

표.1 URLLC와 관련 Release 16 Work Item (WI) 업무범위 구분

- ④ 세계 여러 분야의 기업에서 5G 시대의 주도적 위치를 선점하기 위해 표준화뿐만 아니라 상용화도 앞다투어 진행 중임
- ⑤ 우리나라도 평창 동계올림픽에서 주요 경기장에 5G 네트워크 환경을 설치하여 막대한 데이터가 오가는 중계 시스템에 활용하거나 ‘평화의 비둘기 쇼’를 통해 시연하기도 하였음

(2) 문제: 5G-V2X와 도로 그리고 그 연계에 대한 준비 부족

(가) 3GPP에서 C-V2X 표준화를 진행 중이고, 5G의 진화 기술 Work Item (WI)에 NR-V2X가 포함될 정도로 V2X가 5G의 주요 활용 분야로 여겨지고 있음에도, 국내에서는 V2X와 5G 연계를 위한 선제 대응을 하지 못하고 있음

- ① 5G의 한 축을 담당하고 있는 IoT 기술에 대응하여, 해외에서는 도로 자체에 고밀도로 센서를 설치하여 도로 상황을 실시간으로 수집하는 등 안전성을 높이려는 연구가 이미 발표되었음
- ② LDM을 통한 도로환경정보 시스템을 구축하고자 하는 연구가 진행 중이나, 5G 표준과 연계하여 대응하려는 연구는 없는 상태임
- ③ 한국정보통신기술협회 (Telecommunications Technology Association, TTA)의 표준화전략맵의 ICT 디바이스분야-자율주행차 항목에 따르면, V2X 관련 표준화가 논의되고 있는 연구 주제들 각각이 국외 진행상황에 비해 뒤처지고 있는 실정임
- ④ 모바일 단말의 경우 국내 기업이 5G 표준화에 발빠르게 대응하여 실질적인 5G 상용화를 이끌 것으로 전망됨에 반해 V2X 기술은 상용화에 이르지 못하여 5G 관련 V2X 표준화와 상용화에 주도적 역할을 하지 못하고 있음

(나) 자율주행을 위한 궁극적인 목표인 신속·안전한 이동을 구현하고자 함에 있어 통신 기술만으로 접근하는 것은 한계가 있음

- ① V2X 기술은 주로 사고 예방에 초점을 맞추고 있어, 특정 상황에 한정하여 안전을 위한 정보를 ‘교환’하는 데 집중해 왔음
- ② 그러나 최근에는 원활한 자율주행을 구현하기 위해 전체적인 교통 환경에 대한 운영 시스템이 필요하고, 이를 위해서는 도로를 비롯한 교통 환경과 실시간 상황에 대한 고밀도의 정보 ‘수집’이 필수적인 요소임
- ③ 특히 도로 환경을 구성하고 있는 차량과 보행자, 주변 인프라의 위치를 정확하게 파악하고 수집하는 것은 자율주행에 있어 필수적인 요소임. 현재 Global Navigation Satellite System (GNSS) 기술을 중심으로 복합 측위 기술을 구현하고 있으나, 수신 장애 등 완전한 안전을 보장하기 어려움

나. 연구 개발 대상의 국내외 현황

(1) 국내외 기술 및 표준화 현황

(가) 최근 국내외에서 많은 주목을 받는 5G에 대한 표준화 및 상용화가 활발히 진행되고 있으며 5G 기반 차량 통신 (V2X)을 위한 표준화 및 시도가 활발히 전개되고 있음

(나) 국내 이동통신 3사는 2018년 12월 1일 5G 전파 송출을 시작으로 세계 최초로 5G 상용화에 성공하였으며, 5G 스마트폰이 출시되는 2019년 3월부터 일반인을 대상으로 하는 본격적인 5G 상용화에 박차를 가하고 있음

(다) 2018년 6월에 미국 캘리포니아주 샌디에이고에서 개최된 세계이동통신표준화기구 (3GPP) 기술 총회에서 국내 이동통신 3사가 참여한 가운데 5G 1차 표준 (Release 15)이 승인되었음

- ① LTE와 연동없이 5G 네트워크만으로 데이터를 전송하는데 특화된 단독 (SA) 규격임
- ② 2017년 12월에는 5G와 LTE의 복합 (NSA) 표준규격이 발표된 바 있음
- ③ 5G의 핵심 기능 3가지 (그림 1) 중 Release 15에서는 가장 많은 이동통신 사업자들이 최우선적으로 요구했던 enhanced Mobile Broad Band (eMBB) 기능과 Ultra-Reliable Low Latency Communications (URLLC) 기능 일부를 지원하기 위한 표준이 주를 이루었음
- ④ 차기 표준화 (Release 16)에서는 massive Machine Type Communications (mMTC) 기능 강화 (5G 기반 V2X 기술) 및 URLLC 기능 강화 (eURLLC)를 위한 논의가 있을 예정임

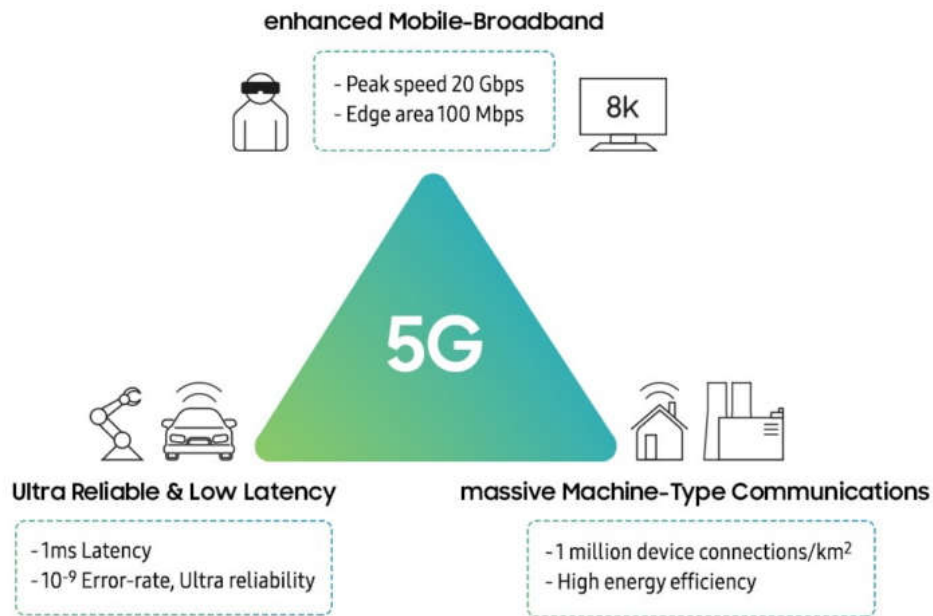


그림 1. 5G 핵심 서비스 세 가지

(라) 국내외에서 5G 기반 V2X 통신 기술에 대한 관심이 뜨거우며, 이를 실제로 활용하기 위해 다음과 같은 시도들이 있음

- ① 2019년 1월 5G Automotive Association (5GAA)에서 발행한 백서 (white paper)에서는 그림 2과 같이 2020년부터 실제 차량에 C-V2X가 사용될 것으로 예상함
- ② 5GAA는 2018년 4월과 7월에 각각 워싱턴 D.C와 파리에서 아우디, 포드, BMW 차량 및 오토바이들 사이의 V2V와 V2I를 활용하는 안전 관련 용례 (use cases)를 성공적으로 시현함

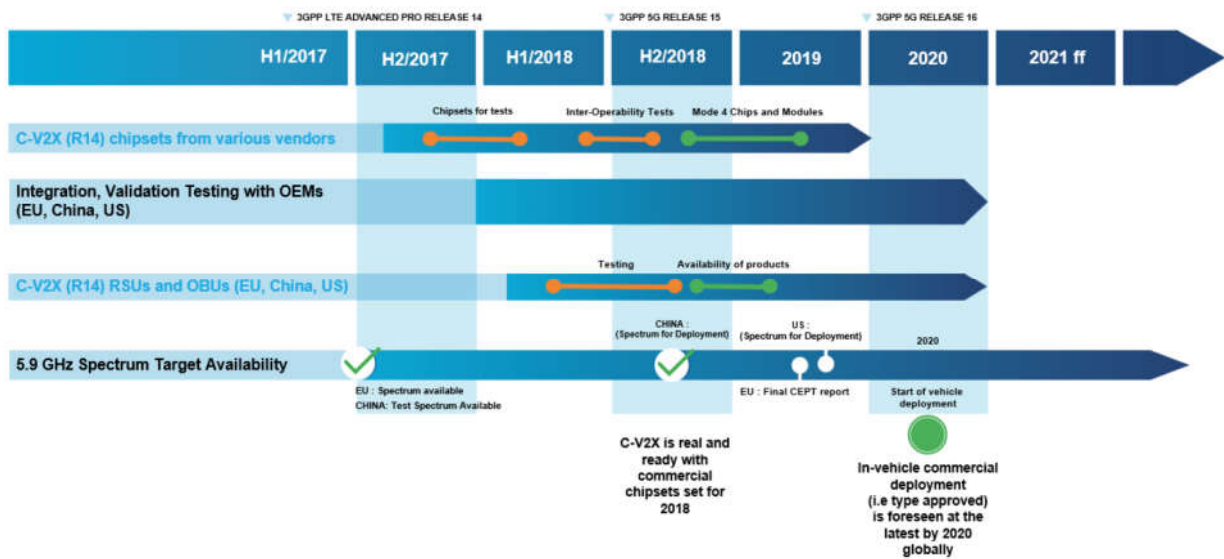


그림 3. C-V2X 사용 계획 연도표

- ③ 2018년 12월 정보통신기획평가원 (IITP)의 ‘차량통신 핵심 기술에 주목, 중국 C-V2X 개발 및 산업화 현황’ 보고서에서는 초저지연성, 초고속 데이터 전송속도 등의 특성을 가지는 5G 특성이 완전자율주행 지원을 완성시킬 것으로 주목함
- ㉠ 특히, 급성장 중인 중국 자동차 시장의 완성차 업체는 DSRC 대신 C-V2X를 선택하였으며, 중국은 현재 전 세계에서 C-V2X 상용화 추진에 가장 적극적으로 나서는 국가임
- ㉡ 2020년 중국이 세계 최초로 C-V2X 장착 차량 상용화를 이룰 것으로 예상됨
- ㉢ 이외에도 독일, 미국, 영국, 프랑스, 네덜란드, 스페인, 일본, 한국, 홍콩, 호주 등 국가에서는 이미 C-V2X 관련 시험을 하였거나 계획 중인 것으로 밝힘
- ④ 2018년 1월 보쉬는 5G 기반 V2X 통신의 실증 실험을 독일 뎀헨에서 가까운 A9 고속도로에서 혼잡한 시간대에 실시하였고 유럽에서 처음으로 커넥티드카 상호 통신에 성공했다고 발표함
- ⑤ 2018년 1월 과학기술정보통신부는 이동통신 기반의 커넥티드카 기술 ‘셀룰러-차량사물통신 (C-V2X)’의 상용화를 위하여 5.9GHz 대역에서의 해당 기술 검증 계획을 밝힘
- ⑥ 2017년 9월 SKT와 LG전자는 글로벌 표준 기반 ‘LTE 차량통신기술 (V2X)’을 공동 개발하고 한국도로공사 여주 시험도로에서 성능 검증을 마침
- ⑦ 2017년 9월 퀄컴 테크놀로지는 3GPP Release 14의 단말 간 PC5 인터페이스를 기반으로 한 C-V2X를 지원하는 칩셋을 공개함

(마) 2018년 10월 한국정보통신기술협회의 ‘자율주행차 ICT 표준화전략맵’에서는 자율주

행차 LDM 생성을 위한 차량-클라우드 인터페이스 표준화 계획을 밝힘

- ① 구체적인 표준화 내용은 데이터 및 메시지 규격을 정의하는데 있음
- ② 해당 보고서에 따르면 해외에서는 협력형 ITS 및 자율주행차를 위한 LDM 표준 개정작업을 진행 중이며, 이를 위한 차량-클라우드 인터페이스 표준화 논의를 이미 시작하였음

(바) 자율주행을 위한 5G 기반 V2X와 관련된 현황은 다음과 같이 있으나, 도로 인프라 또는 협력 주행 등을 고려하지 않았다는 점에서 본 연구와 차별점이 있음

- ① 2018년 12월 서울시는 ‘자율협력주행 등 미래교통 혁신 기반 조성’을 위한 ‘서울 차세대 지능형교통시스템 (C-ITS) 실증 사업’ 계획을 밝힘
- ② 서울시는 2020년까지 해당 사업을 추진하여 C-ITS를 위한 인프라와 차량사물통신 (V2X) 기반 커넥티드카 서비스 등 자율협력주행을 위한 기반을 조성할 계획임
- ③ 2018년 12월 KT와 한국교통안전공단은 국내 최초로 5G 기반의 자율주행 실험도시인 ‘K-City’를 경기도 화성에 구축하였음
- ④ KT는 K-City 내 5G 자율주행 유무선 통신 환경 및 자율주행 원격관제 시스템을 구현하여, KT를 비롯한 기업들이 5G 기반 자율주행 기술을 실험 및 검증할 수 있는 환경을 조성함
- ⑤ 2018년 8월 MIT Technology Review에서 5G의 연결성이 자율주행차량간의 통신을 지원함으로써 교통사고를 예방하고, 효율적인 운행을 가능케 한다고 밝힘
- ⑥ 2017년 12월 LG전자는 LTE 기반 자율주행 V2X 안전기술 성능 검증을 위해 과천시 일반도로에서 해당 기술의 시연을 성공적으로 마침
- ⑦ 스웨덴에서는 2015년 9월부터 스마트 도시의 자율주행차량의 교통사고 감소와 원활한 통행을 위한 C-V2X 연구를 하고 있으며, 특히 사거리 (four-way intersection)에서 발생할 수 있는 use cases에 주목함

(사) 우리 과제에서 포함하는 센서 데이터를 공유하여 LDM을 구축하는 시나리오는 2018년 11월 한국정보통신기술협회에서 발행한 ‘C-V2X 기술 및 서비스 도입 방안’ 기술 보고서에서 5G 기반 V2X 통신의 use case로 제시하였음

(아) EU의 주요 위원회는 유럽 위원회의 Wi-Fi 기반 자동차 통신 기술 추진에 대해 부결함. 따라서 자율주행 기술에서도 5G를 기반으로 한 C-V2X가 주도적으로 자리매김하는 분위기가 조성되고 있음

(자) 국내에서도 2019년 10월, ‘2030 미래차 산업 발전전략’을 발표하여 2024년 완전자

을주행차량을 출시, 2027년 전국 도로에서 세계 최초 운행 추진 계획을 제시하였음

- ① 전략에 따르면, 인프라 측면으로는 2018년 대구모실증단지(K-City) 완공 등 기반 구축을 위한 노력을 기반으로 하여 2024년까지 완전자율주행에 필수적인 통신, 정밀지도, 교통관제, 도로 등 4대 인프라를 전국 주요 도로에 완비하는 것을 목표로 하고 있음
- ② 특히 2021년까지 국제 표준 등을 고려하여 무선통신 방식을 결정한다는 내용이 포함되어있고, 이는 5G를 기반 자율협력주행을 궁극적인 목표로 하는 우리 연구가 시의적절함을 반증함

다. 연구 개발 목표 및 범위

다-1. 최종 목표

- (1) 최종 목표: 5G 기반 자율협력주행 도로 데이터의 효율적 수집·배포를 지원하는 프로토콜 및 도로 인프라의 강건한 통신 아키텍처 제공

다-2. 세부 연구 범위

(1) 1차년도: 5G 기반 실시간 LDM 정보 수집·배포 지원 프로토콜 연구

(가) 5G 기반 LDM 수집·배포를 위한 효율적인 차량-클라우드 (V2Cloud) 통신 아키텍처 연구

- ① 실시간 LDM 업데이트를 위한 uplink/downlink 무선 자원 필요량 예측 연구
- ② 5G URLLC 기반 LDM 업데이트를 위한 V2Cloud 프로토콜 연구
- ③ Localized information의 효율적인 업데이트 및 배포를 위한 연구
- ④ MEC을 기반으로 실시간으로 업데이트되는 정보로 인한 backhaul에 가해지는 트래픽 최소화 연구
- ⑤ privacy 측면 보안을 통한 LDM 정보 전송 관련 V2I 통신 강건화
- ⑥ LDM 데이터 수집을 위한 차 내 구간 통신 효율 개선 연구

(나) 5G의 통신상의 LDM 정보 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelink) 사이의 무선 자원 관리 효율화 연구

- ① sidelink 무선 자원 관리 효율화 및 강건화 연구
- ② 실시간 업데이트 상황에서 uplink와 sidelink에 필요한 무선 자원 예측 연구

(다) Roadside attacker로부터의 공격 방어 아키텍처 연구

- ① 현재 V2X 표준에 알맞은 Low-Power Beaconing을 통한 false information 대응 방안 연구

(2) 2차년도: 자율협력주행 도로 인프라의 5G 기반 강건한 통신 아키텍처 연구

(가) 5G 기반 LDM 수집·배포를 위한 효율적인 차량-클라우드 (V2Cloud) 통신아키텍처 연구

- ① V2Cloud 통신 구간 중 V2X 구간에서 지연 최소화와 신뢰성 제고를 위한 연구
- ② Sidelink 혼잡 제어 연구
- ③ MEC를 이용한 중복데이터 제거 연구

④ Edge AI를 이용한 주요 데이터 추출 및 전송 연동 연구

(나) 5G 통신상의 LDM 정보 업로드와 V2V 전송 무선 자원 관리 효율화 연구

- ① 실시간 업데이트 상황에서 uplink와 sidelink에 필요한 무선 자원 예측 연구
- ② LDM 정보 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelink) 응용의 요구조건 만족을 위한 효율적인 가변 무선 자원 할당 연구

(다) Roadside attacker로부터의 공격 방어 아키텍처 연구

- ① 신호 도달각을 이용, 신호 발신위치 추적을 통한 false information 탐지 및 대응연구

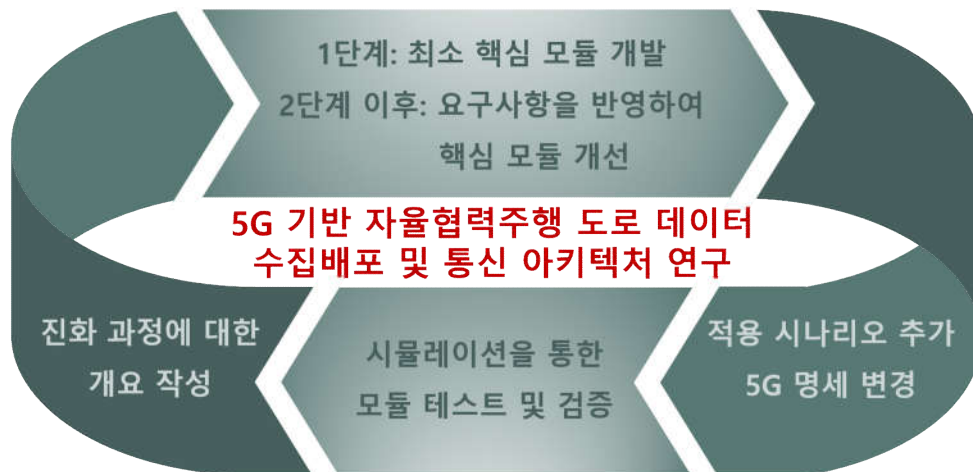
(라) 5G의 mMTC를 통해 다수의 IoT 센서로부터 도로 상황 정보를 효율적으로 수집, VRU의 위치를 파악하는 연구

- ① 다수의 IoT 기기 대상 무선 자원 할당 효율화 연구
- ② 5G mMTC 서비스에 grant-free 방식의 적용을 통한 저지연 전송 연구
- ③ 경쟁 기반 무선 접속시 충돌 (collision) 최소화 연구
- ④ 도로 주변 IoT 센서들이 수집한 VRU 전송 신호들을 도로 인프라가 종합하여 VRU의 정확한 위치를 파악하는 연구
- ⑤ FMCW radar와 딥러닝을 이용한 비가시 도로 영역 VRU 탐지 기법 연구

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구 개발 추진 전략 및 방법

(1) 연구개발 추진전략



(가) 우리 연구에서 목표로 하는 ‘5G 기반 자율협력주행 도로 데이터의 효율적 수집·배포를 지원하는 프로토콜 및 도로 인프라의 강건한 통신 아키텍처 연구’는 우리 과제에서 요구되는 선행 연구의 성격에 적합한 유연함을 가지기 위해 적합한 연구 방법론인 반복 점증적 모델 (Iterative and Incremental Model) 개발 방법을 추진 전략으로 사용함

- ① 반복 점증적 모델은 반복 모델과 점증 모델을 결합한 형태로, 요구사항이나 제품의 일부분만을 개발 및 반복하여 최종 사용자 요구사항에 부합하는 시스템을 완성해 가는 개발 방법론임
- ㉠ 반복 모델에서는 소프트웨어를 개발하는 일련의 프로세스들을 반복하여 소프트웨어의 기능들을 점차 추가함
- ㉡ 점증 모델에서는 폭포수 모델과는 달리 처음부터 모든 기능을 정의하지 않고, 중요한 기능들을 우선적으로 선별하고 개발함
- ② 우리 과제에서는 다음과 같이 표준화 시작 단계에 있거나 진행중인 기술을 활용하고 이로 인해 새로운 요구사항이 생기는 경우 이에 유연하게 대처해야 할 필요성이 있음
- ㉢ 지속적으로 진행되는 5G 통신 표준화
- ㉣차량-클라우드 (V2Cloud) 통신 인터페이스 표준화

-
- ③ 해당 연구 목표를 위해 초기 요구사항으로 정의한 것은 다음과 같이 다섯 가지가 있으며 반복 점증적 모델에 따라 유연하게 추가 가능함
 - ㉠ 5G 기반 도로 데이터 수집·배포를 위한 효율적인 통신 아키텍처 연구
 - ㉡ 5G의 통신상의 도로 데이터 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelink) 사이의 무선 자원 관리 효율화 연구
 - ㉢ 5G 기술을 이용, 도로 주변 IoT 센서들이 VRU의 정확한 위치를 파악하기 위한 아키텍처 연구
 - ㉣ Roadside attacker로부터의 false information 공격 방어 아키텍처 연구
 - ㉤ 5G의 mMTC를 통해 다수의 IoT 센서로부터 도로 상황 정보를 효율적으로 수집하기 위한 연구
 - ④ 특히, 우리 연구는 2가지 반복 점증적 모델 中 진화형 (evolutional) 모델을 사용할 것이며 이는 진화형 모델이 새로운 5G 표준이 진행될 때 이를 우리 연구에 적용하기 쉬운 구조이기 때문임

(3) 연구개발 방법

- (가) 현재 진행 중인 5G 표준화와 발맞춰 최종 연구 목표를 달성하기 위하여 각 연구 내용을 아래와 같은 방법을 통해 수행함
 - ① 각 연구 내용에 대하여 요구사항이 최소화된 모듈 개발
 - ② 적용 시나리오가 추가될 때마다 혹은 5G 명세에 변경이 일어날 때마다 테스트 케이스를 추가하고, 테스트를 통해 성능과 안전성을 검증
 - ③ 테스트 결과 기반 다음 진화 과정에 반영될 내용을 정의한 개요 작성
 - ④ 정의된 진화 내용을 각 모듈에 반영하고, 그 중간결과를 모듈 간에도 반영
 - ⑤ 적용 시나리오를 추가하며 모듈의 성능과 안전성 개선
 - (나) 5G 기술은 표준화 단계에 있기 때문에 주기적으로 5G 표준화 진행 상황을 점검하고, 국내에서 개최되는 5G 관련 교육에 적극적으로 참여함
 - (다) 또한, 국내 5G 관련 전문가와의 지속적인 학술 교류를 수행하여 정보 공유 및 문제점 해결
 - (라) 도로이용자 (자율주행차, VRU)에게 활용할 수 있도록 도로이용자에게 우선적으로 필요한 정보 및 그 특성 등에 관하여 관련 전문가로부터 자문을 구하고 이를 연구 개발에 활용함
 - (마) 자동차 제조업체에서 자율주행차를 연구하는 전문가에게 자율주행차 관점에 대한 조언을 얻음
 - (바) 최근 활발한 제품화 움직임을 보여주는 V2X 및 C-V2X 기술 관련 스타트업 전문가를 통해 통신 관점에 대해 조언을 얻음
-

나. 연구 개발 추진 체계

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	5G 기반 자율협력주행 도로 데이터 수집배포 프로토콜 및 통신 아키텍처 연구	주관연구책임자 김효곤 외 총 18명

기관별 참여 현황		
구분	연구기관수	참여연구원수
대기업		
중견기업		
중소기업		
대학	1	19
국공립(연)		
출연(연)		
기타		

고려대학교 산학협력단
5G 기반 자율협력주행 도로 데이터 수집배포 프로토콜 및 통신 아키텍처 연구
김효곤 외 18명
담당기술개발내용
(1) 1차년도: 5G 기반 도로 데이터 수집·배포 지원 프로토콜 연구 (가) 5G 기반 도로 데이터 수집·배포를 위한 효율적인 통신 아키텍처 연구 ① Localized information의 효율적인 업데이트 및 배포를 위한 연구 ② privacy 측면 보완을 통한 도로 데이터 전송 관련 V2I 통신 강건화 ③ 도로 데이터 수집을 위한 차 내 구간 통신 효율 개선 연구 (나) 5G의 통신상의 도로 데이터 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelink) 사이의 무선 자원 관리 효율화 연구 ① sidelink 무선 자원 관리 효율화 및 강건화 연구 ② uplink와 sidelink에 필요한 무선 자원 예측 연구 (다) Roadside attacker로부터의 공격 방어 아키텍처 연구 ① C-V2X 표준에 알맞은 Low-Power Beaconing을 통한 false information 대응 방안 연구

(1) 2차년도: 자율협력주행 도로 인프라의 5G 기반 강건한 통신 아키텍처 연구

(가) 5G 기반 도로 데이터 수집·배포를 위한 효율적인 통신 아키텍처 연구

- ① V2X 구간에서 지연 최소화와 신뢰성 제고를 위한 연구
- ② 비주기적 전송을 통한 중복데이터 제거 연구
- ③ 주요 데이터 추출 및 전송 연동 연구

(나) 5G의 통신상의 도로 데이터 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelink) 사이의 무선 자원 관리 효율화 연구

- ① Sidelink 혼잡 제어 연구
- ② uplink와 sidelink에 필요한 무선 자원 예측 연구

(다) Roadside attacker로부터의 공격 방어 아키텍처 연구

- ① 도로변 공격 탐지 및 대응 방안 연구

(라) 5G의 mMTC를 통해 다수의 IoT 센서로부터 도로 상황 정보를 효율적으로 수집하는 연구

- ① 다수의 IoT 기기와 차량의 무선 자원 할당 효율화 연구

다. 연구 개발 추진 일정

1차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	연구 계획 및 자료 수집													3,000	김효곤 (고려대)
2	차 내 구간 통신 효율 개선 연구													17,000	김효곤 (고려대)
3	강화학습 기반 시뮬레이션 시행													11,000	김효곤 (고려대)
4	학술대회 논문 작성 및 발표 준비													35,000	김효곤 (고려대)
5	V2V 통신에서의 보안성 강화 연구													14,000	김효곤 (고려대)
6	low-power beaconing 알고리즘 구현													17,000	김효곤 (고려대)
7	시뮬레이션 환경 구성 및 공격 방지 성능 측정													22,000	김효곤 (고려대)
8	논문 작성													6,000	김효곤 (고려대)
9	V2I 통신에서 세션 연속성 및 프라이버시 보호 연구													32,000	김효곤 (고려대)
10	특허 작성													5,000	김효곤 (고려대)
11	C-V2X 혼잡 제어 연구 계획 및 자료 수집													2,000	김효곤 (고려대)

2차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	C-V2X 혼잡 제어 알고리즘 구현 및 시뮬레이션													11,000	김효곤 (고려대)
2	논문 작성													8,000	김효곤 (고려대)
3	QoS를 지원하는 혼잡 제어 알고리즘 구현 및 시뮬레이션													28,000	김효곤 (고려대)
4	학술대회 논문 작성 및 발표 준비													36,000	김효곤 (고려대)
5	특허 작성													12,000	김효곤 (고려대)
6	C-V2X 자원 관리 효율화 알고리즘 구현													9,000	김효곤 (고려대)
7	성능 측정													17,000	김효곤 (고려대)
8	논문 작성													8,000	김효곤 (고려대)
9	Roadside attacker의 공격 시나리오 정의													16,000	김효곤 (고려대)
10	아키텍처 내 공격 방어 기법 적용 및 테스트													23,000	김효곤 (고려대)
11	논문 작성													9,000	김효곤 (고려대)
12	특허 작성													8,000	김효곤 (고려대)
13	비가시 도로 영역 VRU 탐지 기법 연구													21,000	김효곤 (고려대)

라. 연구 내용

(1) 연구 범위 및 연구 수행 방법

(가) IPSec ESP모드를 이용한 V2I privacy issue와 communication disruption 연구

① 연구 수행 방법

㉠ IPSec ESP 모드를 통한 새로운 통신 기법 제시 및 시뮬레이션을 통한 연구

② 연구 내용

㉠ 각 vehicle에는 많은 certificate가 제공되며, outgoing beacon에 첨부되는 certificate가 자주 변경됨[1]. SAEJ2945/1 표준은 차량을 분리하지 않는 한, 동일한 certificate를 5분 이상 연속 사용해서는 안된다고 규정하고 있음[2]. Identity의 명백한 변화는 application layer message로 제한이 됨[3]. 하지만 application layer에서의 identity 변화는 충분하지 않음. MAC layer address도 변경되지 않는 한 pseudonym change는 의미가 없음[4]. 따라서 더 나은 user experience와 privacy를 위해 V2X protocol stack에서 pseudonym change에 의해 유발되는 문제들을 효율적으로 handled 해야 함.[5],[6],[7]

㉡ 따라서 본 연구진은 IPSec 기반 및 RSU(Road-side Unit) 운영의 향상과 함께 IP 기반 V2I 통신을 위한 솔루션을 제안함. Readdressing 뿐만 아니라 다양한 layer에서 사용되는 identifier의 privacy 요구사항도 다루어야 함. 이러한 모든 요구사항을 만족하는 최고의 후보는 IPSec ESP모드임. IPSec ESP는 추가 인프라를 구축할 필요가 없으며, IP datagram을 완전히 숨긴다는 장점이 있음.[3] 하지만 모든 protocol layer에 대한 식별 정보를 완벽히 숨기지는 못함. 이러한 문제를 극복하고 privacy와 session 지속 가능성 측면에서 pseudonymity read dressing을 해결하는 연구를 함.

㉢ 다음과 같은 연구를 수행하였음. IPSec ESP format에서 SPI를 활용하여 SA를 식별할 수 있으며 SN을 활용하여 SA를 식별하고 메시지 유효성을 확인할 수 있음. 따라서 노출된 ESP 헤더 필드에서 SPI와 SN을 이용하여 헤더 필드에 대한 privacy 문제를 해결함. 또한 privacy 보호 계획을 위해 OBU와 RSU에서 IP주소에 대한 변화를 준다. 정보 교환을 통해 SPI, SN, 그리고 OBU와 RSU에서 IP 주소에 대한 변환표 항목이 생성됨.

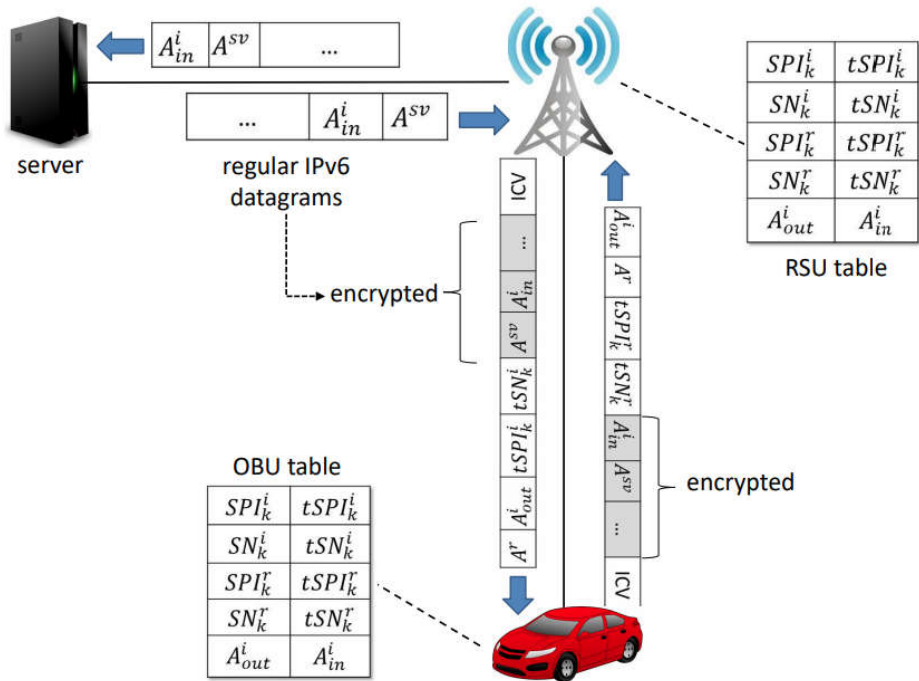


그림 4. information exchange를 통한 translation table

- ㉞ ns-3 시뮬레이터 버전 3.30에서 구현하고 테스트하였음[8]. RFC7296에서 명시된 IKEv2와 시뮬레이터의 RFC4301에 있는 IPSec도 구현하였음[9]. 차량 OBU는 2초마다 한 쌍의 UDP/IP datagram을 인터넷의 서버와 교환함. 한편 OBU에서 매초마다 한번씩 readdressing을 강제로 실시하여 정보 메시지 교환과 표 업데이트를 촉발함.
- ㉟ 그림 5는 OBU와 RSU사이의 무선 패킷 교환 추적을 보여줌. fe80::200:ff:fe00:2와 fe80::200:ff:fe00:1은 각각 RSU와 OBU의 주소임. Link local address는 OBU의 정체를 거의 드러내지 않기 때문에 OBU는 RSU의 coverage에 있는 동안 IKE 트랜잭션에 OBU를 사용함. 외부 헤더의 IP 주소가 내부 주소와 다르기 때문에 OBU를 추론하는 것을 막으며 UDP datagram에 대한 SPI와 SN값이 모두 다름. 두 UDP 흐름은 재매핑이 발생할 때마다 서로 다른 IP end point에 속하는 것처럼 보임.

#	Time	Source IP	Dest IP	Proto	Contents
7	0.003625	fe80::200:ff:fe00:1	fe80::200:ff:fe00:2	ISAKMP	IKE_SA_INIT MID=00 Initiator Request
9	0.004927	fe80::200:ff:fe00:2	fe80::200:ff:fe00:1	ISAKMP	IKE_SA_INIT MID=00 Responder Response
11	0.005237	fe80::200:ff:fe00:1	fe80::200:ff:fe00:2	ISAKMP	IKE_AUTH MID=01 Initiator Request
13	0.007434	fe80::200:ff:fe00:2	fe80::200:ff:fe00:1	ISAKMP	IKE_AUTH MID=01 Responder Response
16	0.493664	fe80::200:ff:fe00:1	fe80::200:ff:fe00:2	ISAKMP	INFORMATIONAL MID=02 Initiator Request
18	0.494466	fe80::200:ff:fe00:2	fe80::200:ff:fe00:1	ISAKMP	INFORMATIONAL MID=02 Responder Response
21	0.993664	fe80::200:ff:fe00:1	fe80::200:ff:fe00:2	ISAKMP	INFORMATIONAL MID=03 Initiator Request
23	0.994466	fe80::200:ff:fe00:2	fe80::200:ff:fe00:1	ISAKMP	INFORMATIONAL MID=03 Responder Response
25	0.994789	fe80::93c5:742e:8749:33a8	fe80::200:ff:fe00:2	ESP	ESP (SPI=0x0e469f28)
31	1.007028	fe80::200:ff:fe00:2	fe80::93c5:742e:8749:33a8	ESP	ESP (SPI=0x86d9b1f4)
33	1.993664	fe80::200:ff:fe00:1	fe80::200:ff:fe00:2	ISAKMP	INFORMATIONAL MID=04 Initiator Request
35	1.994466	fe80::200:ff:fe00:2	fe80::200:ff:fe00:1	ISAKMP	INFORMATIONAL MID=04 Responder Response
38	2.993664	fe80::200:ff:fe00:1	fe80::200:ff:fe00:2	ISAKMP	INFORMATIONAL MID=05 Initiator Request
40	2.994299	fe80::fd27:800b:400d:62f4	fe80::200:ff:fe00:2	ESP	ESP (SPI=0xc0fab995)
42	2.995175	fe80::200:ff:fe00:2	fe80::200:ff:fe00:1	ISAKMP	INFORMATIONAL MID=05 Responder Response
44	2.999499	fe80::200:ff:fe00:2	fe80::fd27:800b:400d:62f4	ESP	ESP (SPI=0x47b29793)
		Encapsulating Security Payload ESP SPI: 0x0e469f28 (239509288) (25) ESP Sequence: 1521869552		Encapsulating Security Payload ESP SPI: 0xc0fab995 (3237656981) (40) ESP Sequence: 2559784062	
		Encapsulating Security Payload ESP SPI: 0x86d9b1f4 (2262413812) (31) ESP Sequence: 407392515		Encapsulating Security Payload ESP SPI: 0x47b29793 (1202886547) (44) ESP Sequence: 1674689262	

그림 5. IKEv2 및 ESP 패킷 추적 및 ESP 헤더 콘텐츠

㉮ 데이터 패킷 흐름이 더 높더라도 빈번한 재매핑에 의해 방해받지 않음. 그림 6은 초당 100개의 패킷을 가진 UDP 흐름의 성능은 초당 한 번 발생하는 읽기 및 그에 따른 재매핑의 영향을 거의 받지 않는다는 것을 보여줌.

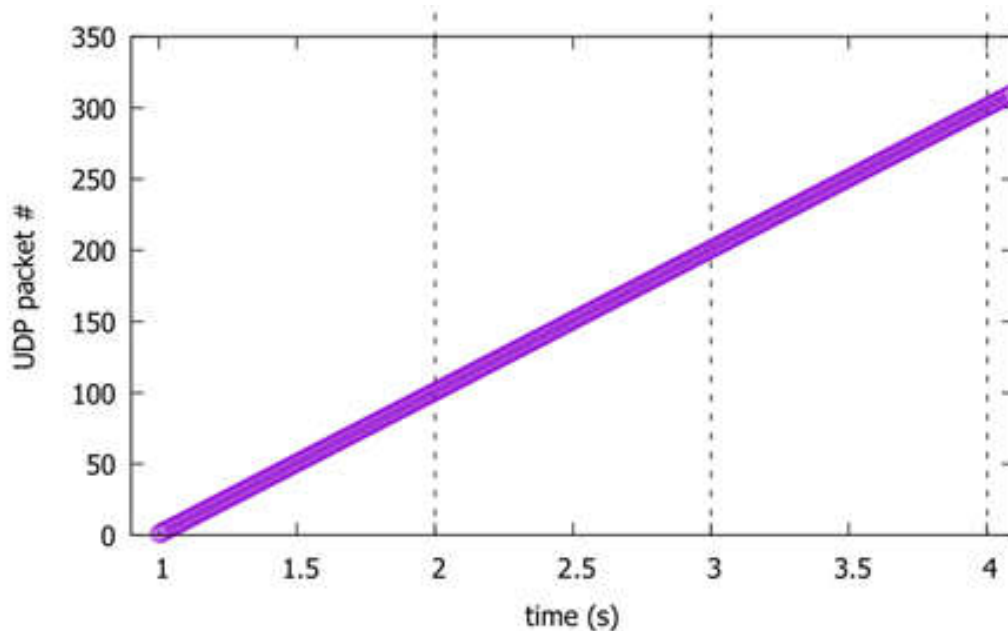


그림 6. UDP 패킷 교환이 초당 100회 발생하는 경우 인터넷 서버에서 OBU로 전송되는 UDP 패킷

③ 연구 결과

- ㉔ IKE protocol의 지금까지 사용되지 않은 기능을 사용하고 간단한 변환 표로 OB
U와 RSU를 증강할 것을 제안. 이를 통해 V2I 개인 정보 보호-세션 지속성 문제
를 해결할 수 있음을 구현하고 테스트하여 입증함.

(나) 차량 내 네트워크에서의 TCP/IP의 문제점 파악 및 해결

① 연구 수행 방법

- ㉔ 차량 내 네트워크에서의 TCP/IP throughput 향상을 위한 강화학습 적용 및 시
뮬레이션

② 연구 내용

- ㉔ V2Cloud의 구간은 LDM upload를 기준으로 크게 (1) 센서 데이터를 ECU 사이
에서 일어나르는 차 내 네트워크 구간, (2) V2X를 통해 기지국에 전송하는 구간,
(3) 이동통신 core망을 통해 Cloud 서버로 전송하는 구간으로 구분됨. 이때 차
내 네트워크에서의 TCP/IP 성능 저하 발생 가능

- ㉔ 차량 내 네트워크는 ADAS(주행 보조시스템), infotainment, On-Board Diagno
stics의 발전과 통합으로 ECU 간 통신에 높은 네트워크 band-width를 요구하
게 되었음. 특히 자율주행차에 있어 ADAS(주행 보조시스템)는 필수적인 요소임.
이런 요구들을 충족시키기 위해서 AUTOSAR(개방형 자동차 표준 소프트웨어
구조)에 Ethernet stack이 추가되었으며 TCP/IP를 지원하게 되었음 [10]. 그러
나 TCP/IP는 일반적인 네트워크 상황을 염두에 두고 설계된 프로토콜이므로 차
량용 네트워크에 사용하였을 시 여러 문제가 있음 [11]. 본 연구진은 ECU와 비
슷한 하드웨어 성능을 가지는 Raspberry Pi로 시뮬레이션하였을 때 TCP/IP thr
oughput이 낮게 나오는 현상을 확인하였음(그림 7) [12]. 기존의 연구에서는 이
러한 문제점들을 heuristic 하게 해결하였으나 많은 시간과 비용이 소요되었음
[13].

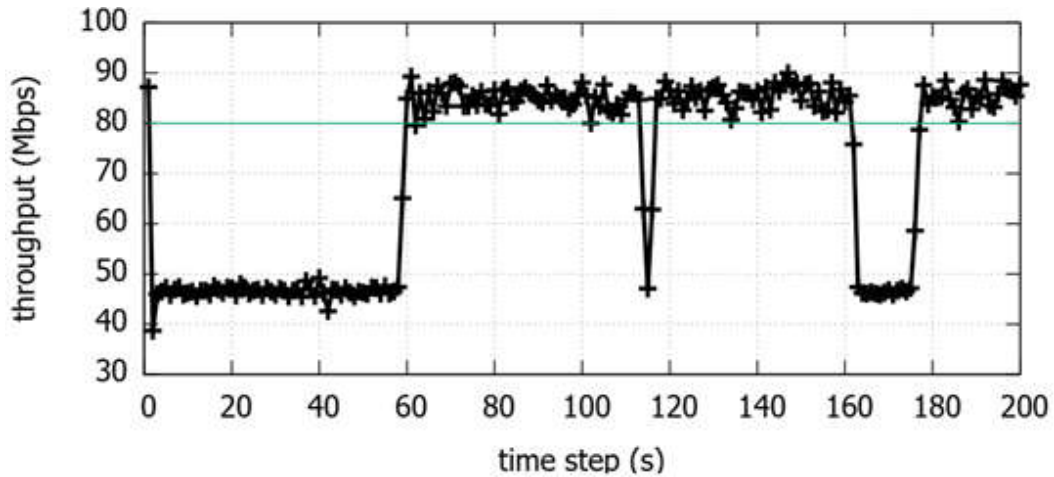


그림 7. ECU를 에뮬레이트한 Raspberry Pi에서 발생한 throughput 하락 현상

㉔ 따라서 본 연구진은 강화학습을 이용하여 문제 해결에 있어 시간과 비용을 절약함과 동시에 강화학습 agent가 제시한 결과가 사람이 설계한 알고리즘의 결과와 동등하거나 이상이 되도록 하는 강화학습 알고리즘을 제시함. 강화학습 알고리즘은 Q-Learning의 Q-Table(Tabular Methods)을 사용하였으며, 구성된 환경(그림 8)에서 agent가 스스로 환경과 상호작용 하면서 주어진 state에서 올바른 action을 낼 수 있도록 스스로 학습을 해나감 [5]. 이렇게 최적화된 알고리즘을 스스로 학습하는 강화학습을 통하여 사람의 개입, 시간, 비용을 최소화할 수 있음

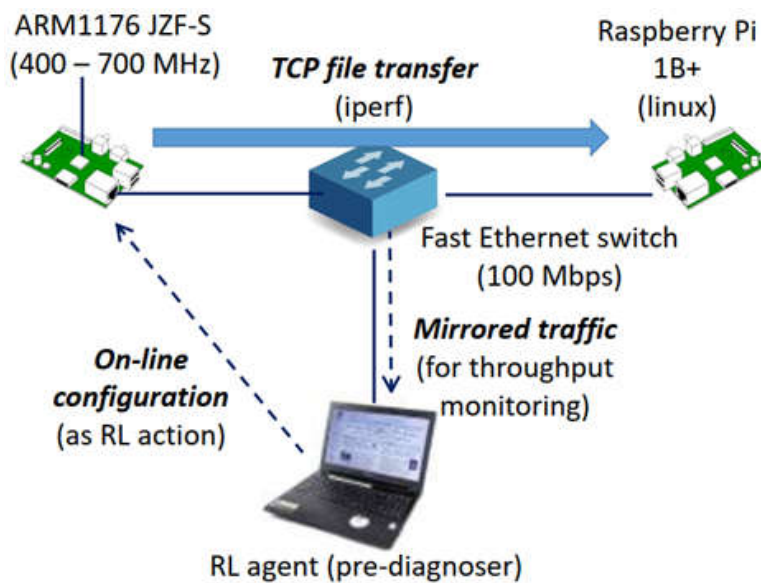


그림 8. 강화학습 환경

㉔ 다음과 같은 TCP 데이터 흐름도(그림 9)에서 강화학습 agent가 제어할 수 있는

valve를 구현하여 동적으로 state에 맞는 action(valve를 여닫는)을 할 수 있도록 하였음. agent는 state space로서 valve의 상태, 현재 throughput으로 하며, action space로 각 valve를 여닫는 행위, reward function으로 action의 결과에 따른 throughput을 기반으로 설계하였음

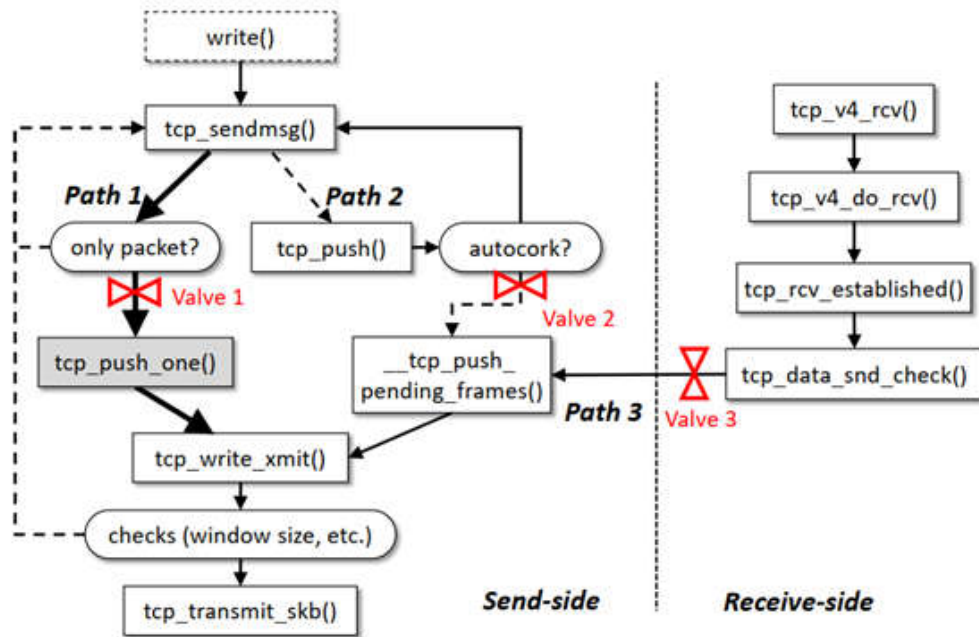


그림 9. TCP data 흐름도

- ㉞ 강화학습을 진행한 결과 학습 횟수가 증가함에 따라 평균 throughput이 증가하는 것을 확인하였음(그림 10). 학습이 완료된 강화학습 agent를 적용하였을 시 throughput이 향상되는 것을 확인하였음(그림 11). 또한, 선행 연구에서 사람이 많은 시간과 비용을 들여 heuristics 하게 설계한 알고리즘과 동일한 성능을 나타냈기 때문에 목표로 하였던 적은 비용과 시간으로 문제를 해결할 수 있음을 확인하였음

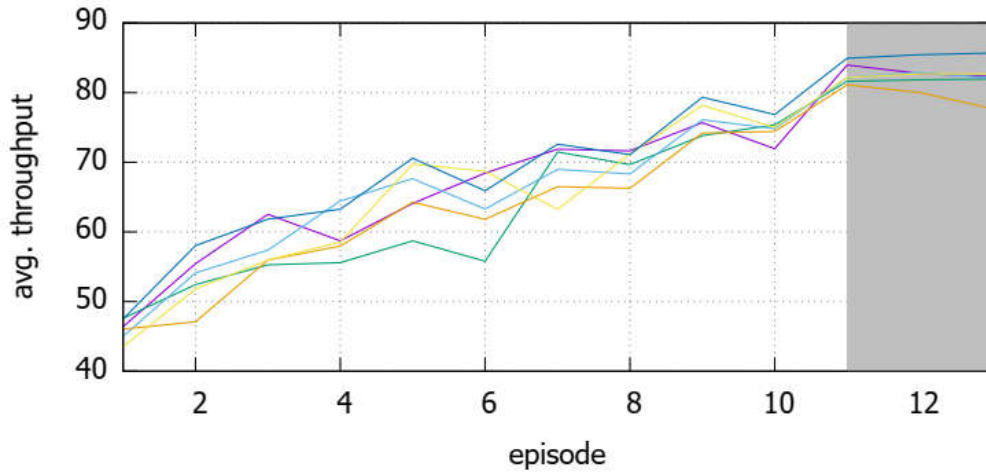


그림 10. 학습의 진행에 따른 평균 throughput 향상

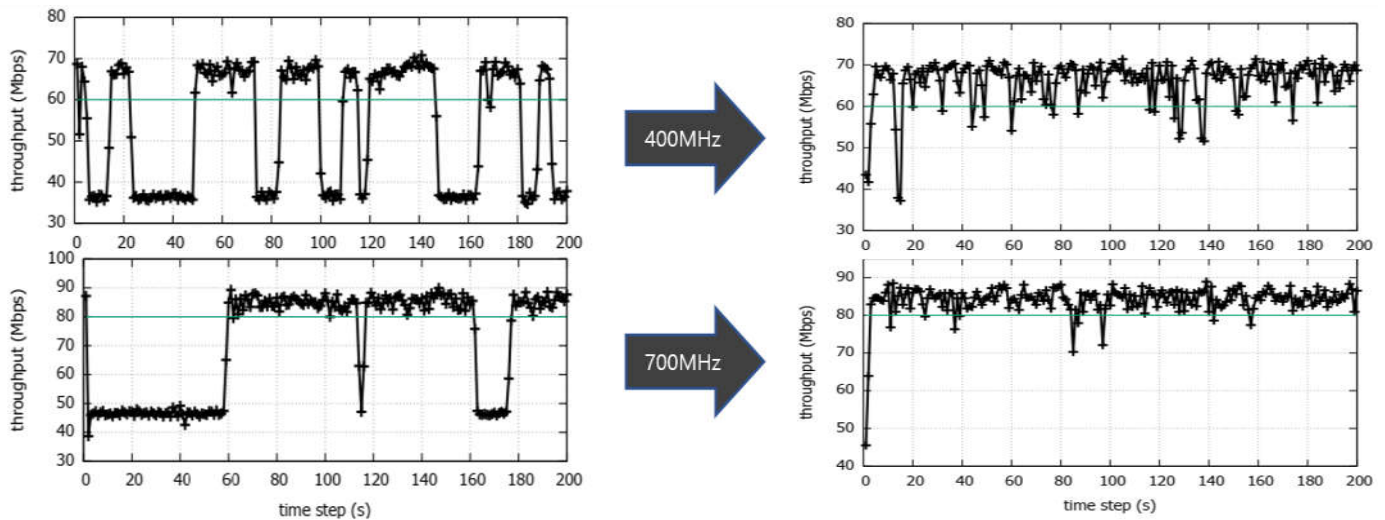


그림 11. Raspberry Pi의 400MHz, 700MHz clock speed에서 TCP throughput 향상

③ 연구 결과

- ㉞ IEEE VTC2019-Fall conference에 본 연구 결과를 담은 논문이 accept 되었고 conference에서 발표하였음

(다) Vehicle-to-vehicle (V2V) 간 통신에서의 보안성 강화

① 연구 수행 방법

- ㉞ 차량 간 Low-Power Beaconing 을 이용하여 보안성을 강화하고 Platoons (군집주행) 상황에서의 활용

② 연구 내용

㉠ IEEE Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE), 3GPP Cellular V2X 표준은 중요한 보안적 측면인 message content plausibility check를 해결하고 있지 못함. 안전이 최우선인 자동차 주행에 있어서 보안성 측면을 해결하지 못한다면, roadside(길가)에 은폐 중인 공격자가 원격으로 조작된 위치 정보를 다른 차량에 보내게 될 때 큰 사고로 이어질 수 있음. 따라서 보안성 문제를 해결하여 V2V에서 서로의 정보를 신뢰할 수 있도록 하여야 함. 기존의 이러한 문제점을 해결하기 위해서 IEEE 1609.2[1]는 비이상적으로 동작하는 devices에 대해 인증을 취소한다고 하였지만, 비이상적으로 동작하는지를 판단하기 위한 정보를 어떻게 수집할 것이고 가능하다 하더라도 빠른 처리가 불가능하였음. 또한, 이런 문제를 해결하기 위해 제안된 behavior analysis, sensor-fusion, communication-based 방식들은 오래전에 제안되었기 때문에 현재의 V2X 표준에는 알맞지 않음

㉡ 따라서 본 연구진은 현재의 V2X 표준에 알맞은 Low-Power Beaconing 방법을 제안함으로써 V2V 통신에서 보안성 문제를 해결하고자 함. 제안한 방법의 핵심 아이디어는 낮은 전송 power로 송신한 메시지는 근접한 이웃에게서만 수신된다는 점을 이용하여 roadside(길가)에 은폐 중인 정지상태 공격자[15]로부터 조작된 위치 정보 수신을 방어하고자 함. 제안한 방법은 추가적인 하드웨어가 필요하지 않으며, channel utilization을 높이지 크게 높이지 않음[5]. 또한, 기존에 제안된 방법들의 약점인 센서가 없어 sensor-fusion을 적용하지 못하는 경우, 공격자가 정지한 상태로 있어 behavior-based checking을 이용할 수 없는 상황에서 적용될 수 있음

㉢ 기본적인 알고리즘의 상황은 아래 그림 12와 같음. 아래와 같은 상황에서 공격자 K' 은 V 의 Beacon 가능 거리 d_w 보다 멀리 떨어져 있으므로 V 와 Beaconing을 할 수 없음. 따라서 공격자 K' 로부터 오는 message는 V 에서 거부됨. Beaconing을 하면서 주고받는 메시지를 'whisper'라고 정의하였으며 V 가 보내는 whisper는 W_V 로 정의함. 또한, WAVE에서는 주기적으로 basic safety message (BSM)[16] Beaconing을 하며 여기에 W_V 를 같이 전송함. W_V 에는 V 의 식별자 I_V , BSM에 기본적으로 포함되는 $temporaryID_V$, V 가 들었던 식별자들의 리스트 L_V , V 의 certificate digest $dig(C_V)$ 가 있음. 이때 I_V 는 랜덤하게 설정되며 $temporaryID_V$ 보다 빠르게 그 값이 바뀔으로써 공격자가 이 값을 공격에 사용하지 못하도록 함. W_V 를 수신한 U 는 $I_U \in L_V$ 일 때 V 를 신뢰하는 이웃으로 판단함. 또한, 신뢰하는 이웃에 대하여 $(I_x, dig(C_x))$ 를 바인딩하여 공격자가 다른 digest를

가지고 공격할 경우를 방지함

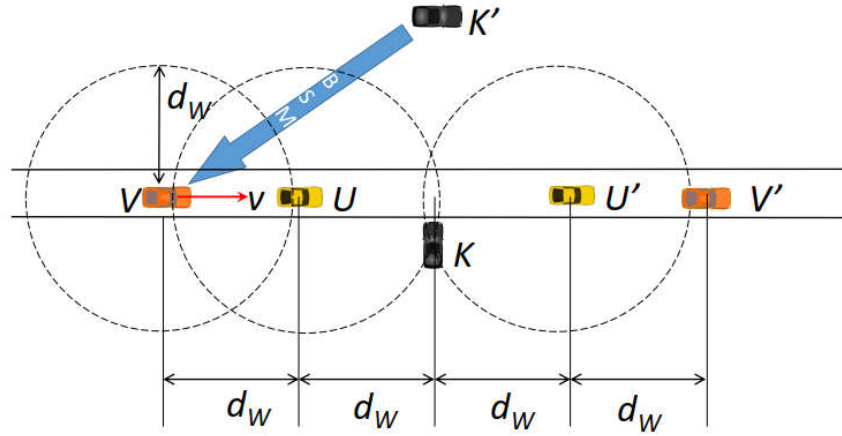


그림 12. Low-power beacon checking setup

㉠ 제안한 방법의 중요한 parameter는 whispering의 rate와 전송 power임. 이 값에 따라 d_w 의 거리와 channel utilization이 달라짐. 80km/h로 달리는 차량이 비 오는 날, 비가 오지 않는 날 앞에 정지한 차량을 피하지 못하고 충돌할 확률을 실험을 통하여 알아본 결과 (그림 13)와 같이 9dBm power, 6, 7, 8Hz에서 5% 이하의 collision probability를 보임. 따라서 본 연구진은 9dBm의 power, 7Hz의 주파수로 whisper를 전송할 것을 제안함. 만약 d_w 거리 내에 공격자가 있을 경우는 whisper test가 성공하였을시 +1, 1초당 -1을 하는 각각의 이웃에 대한 credit 값 정보를 이용하여 방어함. V가 이동할 시 roadside(길가)에 있는 공격자가 V에 최대 높일 수 있는 credit 값 보다 이웃들의 credit 값이 크다면 그 이웃을 신뢰할 수 있고, 이로써 V는 공격자로부터의 조작된 메시지를 방어함

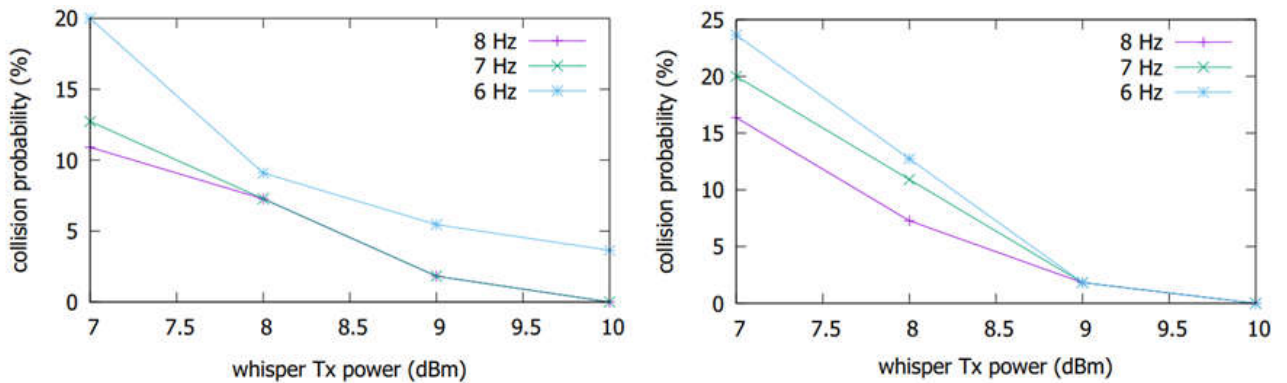


그림 13. 충돌 확률 비가 온 날(left), 비가 오지 않는 날(right)

㉞ 위의 실험에서 찾은 parameter를 이용하여 시뮬레이션 한 결과(그림 14) BSM + whisper에서 공격 성공률이 100m부터 크게 줄어들었으며, 특히 BSM+ whisper+ credit 에서는 공격이 성공률이 0임. 또한 CBR(Channel Busy Ratio)값은 BMS 단독으로 쓰일 때와 크게 차이가 나지 않아 whisper로 인한 channel utilization이 증가하지 않았음을 확인하였음

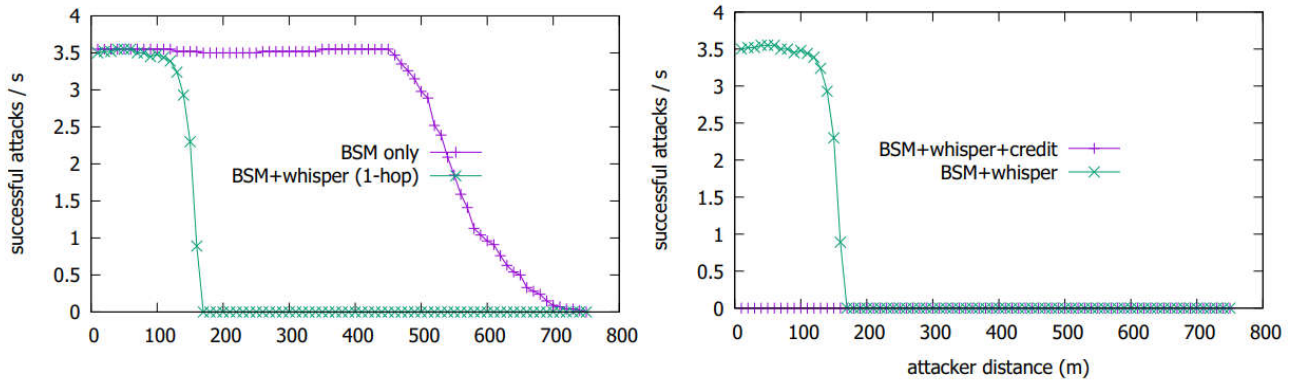


그림 14. 초당 공격 성공률

㉞ 군집주행(platoon) 상황은 (그림 15)와 같은 환경에서 시뮬레이션 되었음. α 는 군집주행을 하는 차량의 대수이며, β 는 군집주행을 하지 않는 차량의 대수임. γ 는 $\alpha + \beta$ 로 이루어진 차량 그룹 수를 의미함. 이때 공격자가 존재하지 않는 정지한 차량 G를 도로상에 위치시켰다는 message를 보내게 된다면 주행 중인 그룹은 G 차량이 실제로 존재하지 않음을 알기 전까지 속도를 줄이게 됨. 만약 이런 공격을 제대로 방어한다면 G 차량이 도로상에 위치하지 않았음을 인식하고 그대로 지나칠 것임. 공격자가 실제 공격을 하지 않은 상태에서 그룹의 마지막 차량 Z가 10km를 80km/h로 주행하는데 걸린 시간 t_0 와 공격을 받았을 때 10km를 주행하는데 걸린 시간 t_1 일 때 $lost\ distance = 80km/h \times (t_1 - t_0)$ 임(그림 16). 그 결과 whisper를 통하여 방어한 경우 lost distance가 0km가 되어 성공적으로 공격을 방어하였음을 알 수 있음

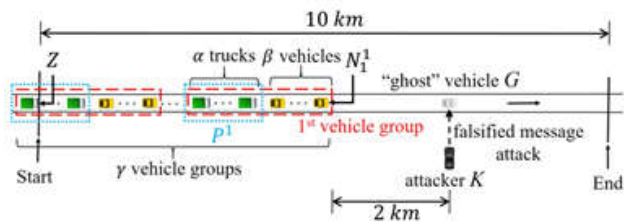


그림 15. 시뮬레이션 환경

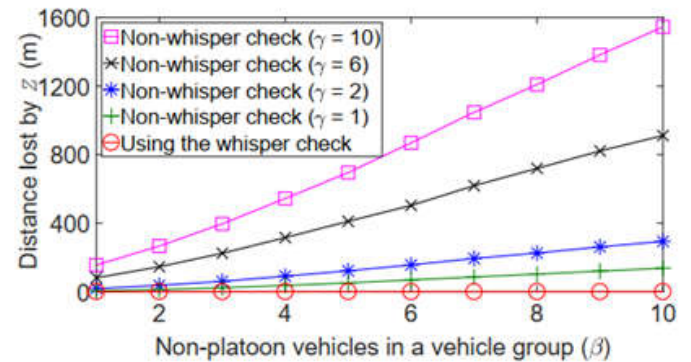


그림 16. lost distance

③ 연구 결과

- ㉞ Sensors (IF=3.031)에 12월 게재 완료

(라) Cellular V2X communication 상의 분산된 혼잡 제어 알고리즘에 관한 연구

① 연구 수행 방법

- ㉞ C-V2X가 아닌 V2X에서의 Basic Safety Message (BSM)[16] 혼잡 제어 표준인 J2945/1 알고리즘[2]을 C-V2X 상에 적용, 시뮬레이션을 통해 그 유효성을 평가
- ㉞ 유효하지 않음이 확인되어 개선 방안을 제시 후 성능 평가

② 연구 내용

- ㉞ Vehicle-to-Vehicle (V2V) 통신에서 주기적인 안전 메시지의 교환은 주변 차량의 운동 정보에 대한 추적 및 단기 예측을 용이하게 하여 차량 간 충돌 위험을 줄이는 중요한 역할을 하는데, Society of Automotive Engineers (SAE) J2735 표준에서 BSM 이라는 안전 메시지를 정의하고 있음.
- ㉞ 이 때, 도로 상의 차량 밀도가 높아질수록 주기적인 안전 메시지의 교환에 있어 혼잡 제어 알고리즘이 반드시 필요하게 됨. SAE J2945/1 표준은 차량 안전 통신에서 주기적인 BSM 에 대한 무선 채널 혼잡 제어 알고리즘을 규정하고 있음. 이 알고리즘은 무선 인터페이스로 Dedicated Short Range Communication (DSRC) 기술과 함께 작동하도록 설계되었으며 보완적인 방식으로 작동해야 하는 주기적인 BSM 전송을 위해 전송 전력 및 데이터 전송 빈도 두 가지 제어 요소를 활용함

㉔ C-V2X에서는 혼잡 제어 알고리즘[17]이 아직 구체화 되지 않았으나, J2945/1 혼잡 제어 알고리즘이 재사용될 것으로 예상됨[18]. 우리 연구는 J2945/1 혼잡 제어 알고리즘이 C-V2X 에서도 재사용될 것으로 예상, 그림 17이 나타내고 있는 J2945/1 혼잡 제어 알고리즘을 그대로 C-V2X 상에 직접 적용하였을 때 혼잡 제어 측면에서 유효한 역할을 하는지를 확인해보고자 하였음

$$ITT (s) = R_{tx}^{-1} = \begin{cases} 0.1 & (VD \leq 25) \\ \frac{VD}{250} & (25 < VD < 150) \\ 0.6 & (150 \leq VD) \end{cases} \quad (1)$$

$$P_{tx} (dBm) = \begin{cases} 23 & (CBR \leq 50\%) \\ 23 - \frac{13}{30}(CBR - 50\%) & (50\% < CBR < 80\%) \\ 10 & (80\% \leq CBR) \end{cases} \quad (2)$$

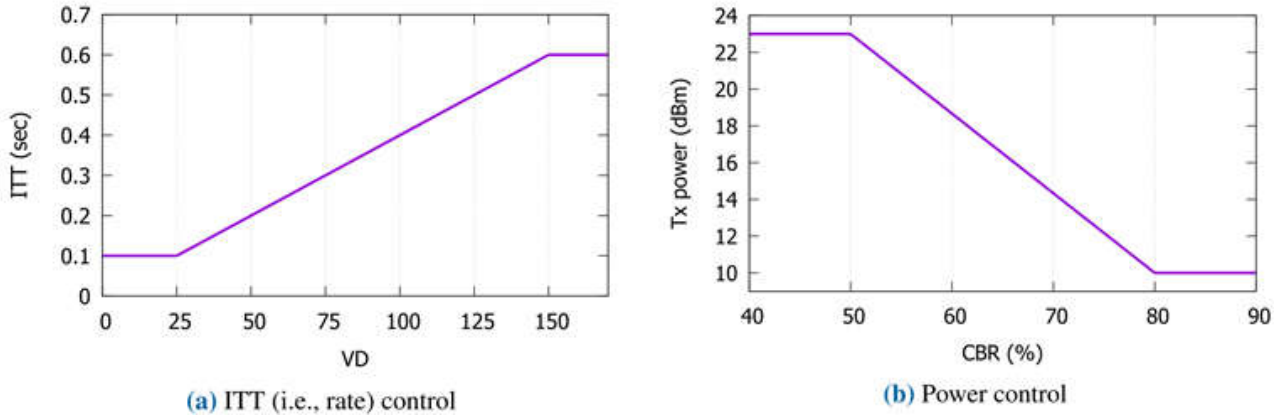


그림 17. J2945/1 표준의 빈도 제어 및 속도 제어

㉔ 그림 18는 이를 C-V2X 기술 위에 구현한 후 차량 밀도가 달라질 때 두 제어 요소의 혼잡 제어 양상을 평균적으로 나타낸 그래프임. 차량 밀도가 높아짐에 따라 빈도 제어는 ITT 값이 max 까지 올라가는 반면, 전력 제어는 차량 밀도가 가장 높을 때만 2~3dBm 이 감소하는 등 빈도 제어에 비해 전력 제어의 기여가 현저히 낮은 것을 확인할 수 있음

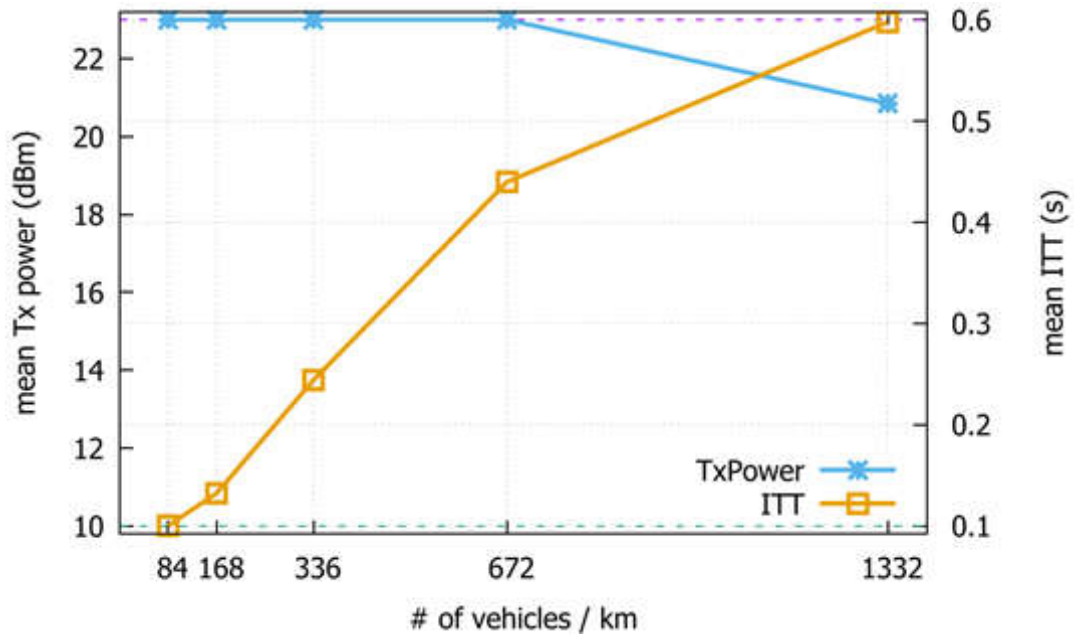


그림 18. J2945/1을 C-V2X 기술 위에 구현하였을 때 불균형이 관찰된 모습
: 빈도 제어에 비해 전력 제어의 기여가 현저히 낮음

- ㉞ 분석 결과 두 제어 요소의 개입 정도가 현저히 차이나는 이유는 두 제어 요소의 input 이 다르기 때문이다. 그림 17과 같이 빈도는 차량 밀도(VD, vehicle density)에 따라 조절되고, 전력은 채널 사용률(CBR, Channel Busy Ratio)에 따라 조절되는데, 두 제어 요소의 조절이 서로의 input에 영향을 주기 때문이다. 구체적으로 이 경우에는 빈도 제어의 결과가 전력 제어의 input인 CBR에 직접적인 영향을 미치기 때문이다. 가령 빈도가 줄어들수록 CBR이 급격히 줄어 전력 제어의 필요성이 줄어들 수 있다는 것임. 그림 19에서 이러한 현상을 확인할 수 있음. 전력 제어가 거의 작동하지 않는 이유는 CBR이 최고로 혼잡한 경우를 제외한 모든 차량 밀도에 대해 최소 전력 제어 임계값 (50%) 미만으로 유지되기 때문이다

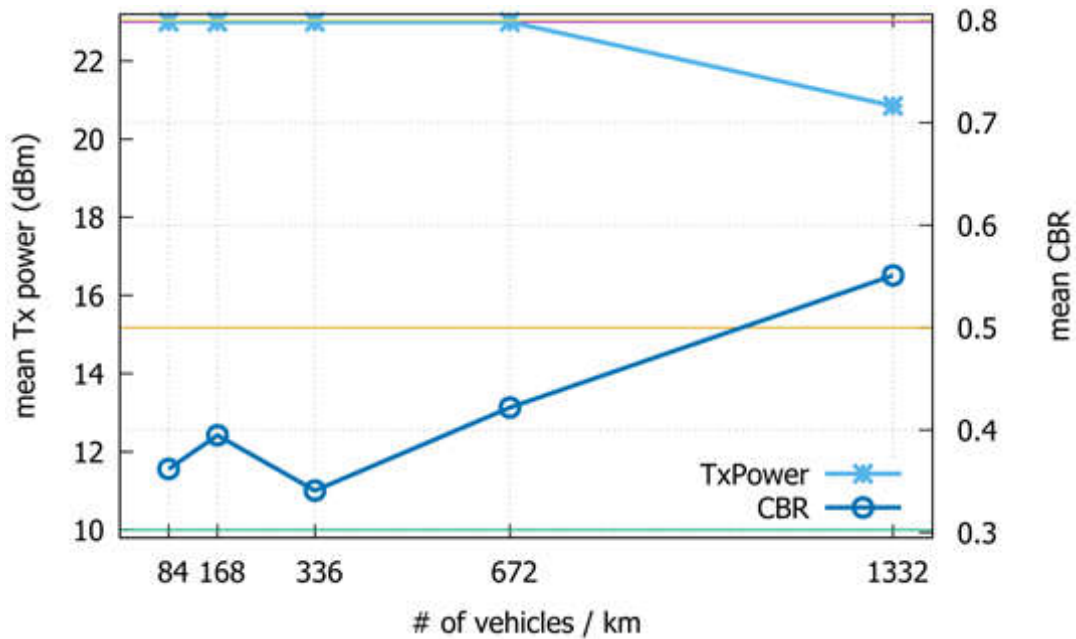


그림 19. J2945/1을 C-V2X 기술 위에 구현하였을 때 전력 제어값과
그 때의 채널 사용률(CBR): 낮은 채널 사용률을 보임

- ㉠ 이렇게 빈도 제어가 혼잡 제어에서 큰 부분을 담당하고 전력 제어는 거의 비활성 상태로 유지되는 것은 단순한 불균형 이상임. 이는 C-V2X 환경에서 차선 성능으로 이어질 수 있기 때문. 특히, inter-transmit time (ITT)가 크기 때문에 수신자의 inter-packet gap(IPG)이 불필요하게 높아지게 되고, 증가된 IPG는 늦은 정보 업데이트를 야기하여 주변 차량이 현재의 도로 상태에 대해 정확하게 파악하지 못하게 함. 자율협력주행이나 군집주행과 같은 첨단 주행 애플리케이션은 높은 업데이트 속도가 필요한데, IPG가 높아지면 주행 안전을 위협할 수 있음[19]
- ㉡ 빈도 제어가 많이 개입될수록 IPG가 높아져 주행 안전을 위협할 수 있고, 빈도 제어 대신 전력 제어가 더 많이 개입할 수 있는 여지가 있음을 확인하였으므로, 두 제어 요소 간 균형 잡힌 개입이 이루어질 수 있도록 알고리즘을 수정할 필요가 있음. 두 제어 요소 사이의 균형을 이루고 의도된 범위에서 CBR을 조절하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있으나, 좀 더 직관적인 역학 분석이 가능하도록 하나의 요소만 수정하는 접근 방식을 취하도록 하였음
- ㉢ 그림 20는 수정된 빈도 제어 방식을 나타냄. 하나의 완화 계수 α 를 두어 그림 17의 ITT 증가 함수의 기울기를 낮추는 방식임. 기울기 α 를 1보다 작게 하여 ITT가 VD에 대하여 더 천천히 증가하도록 수정되었음. J2945/1보다 빈도 제어에

의해 혼잡이 덜 완화되므로 전력 제어가 CBR 목표 수치를 충족시키기 위하여 보다 적극적으로 개입하여야 함. 그 결과 혼잡이 일정 수준 이하로 제어되면서도 가까운 거리에서 더 낮은 IPG 값을 가질 수 있을 것으로 예상하였음

$$ITT(s) = \max \left[0.1, \min \left[0.1 + \alpha \cdot \frac{VD - 25}{250}, 0.6 \right] \right] \quad (3)$$

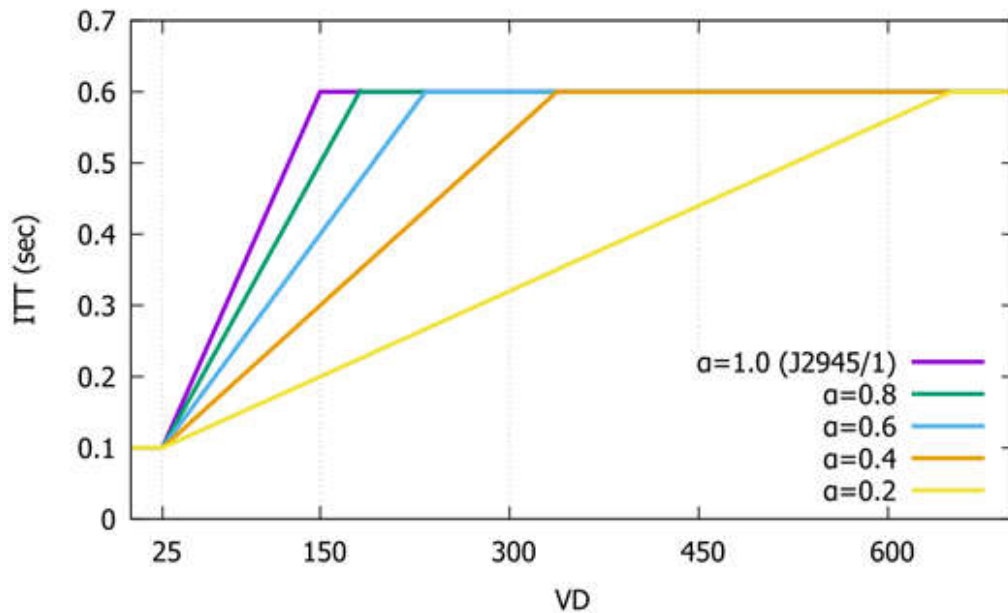
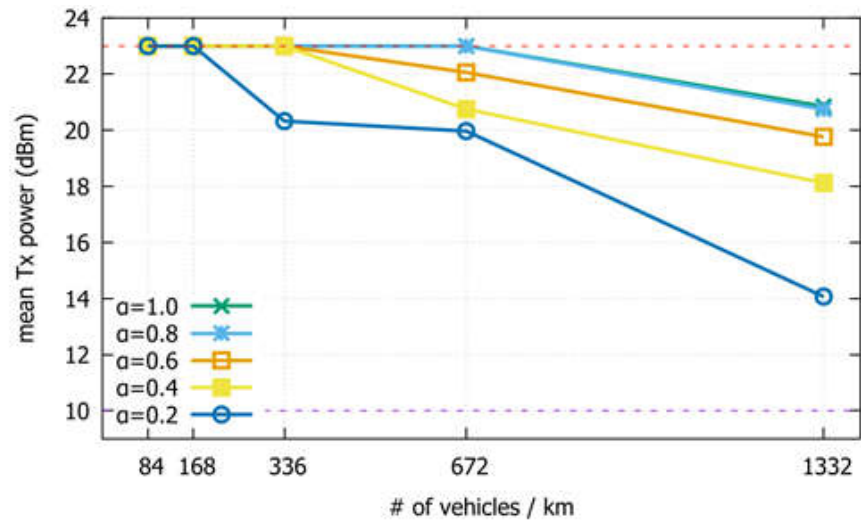
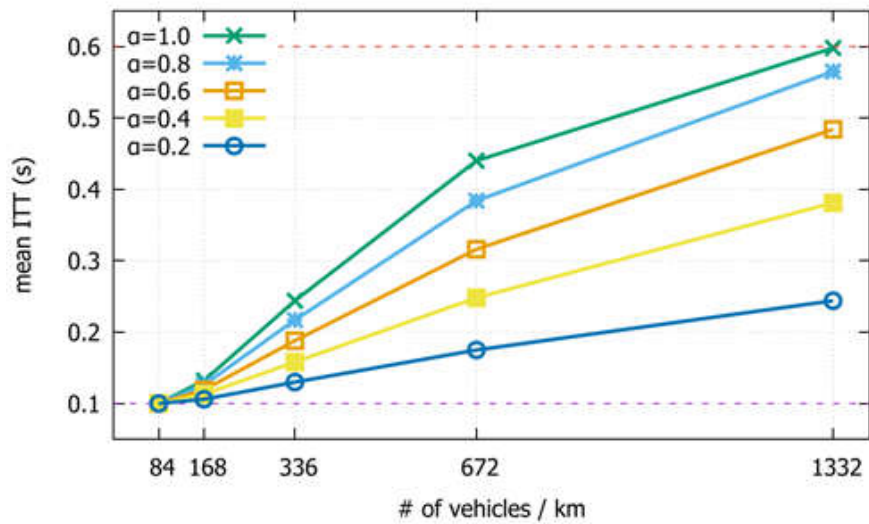


그림 20. $\alpha < 1$ 로 하여 J2945/1 표준보다 혼잡에 적게 개입하는 빈도 제어 방식

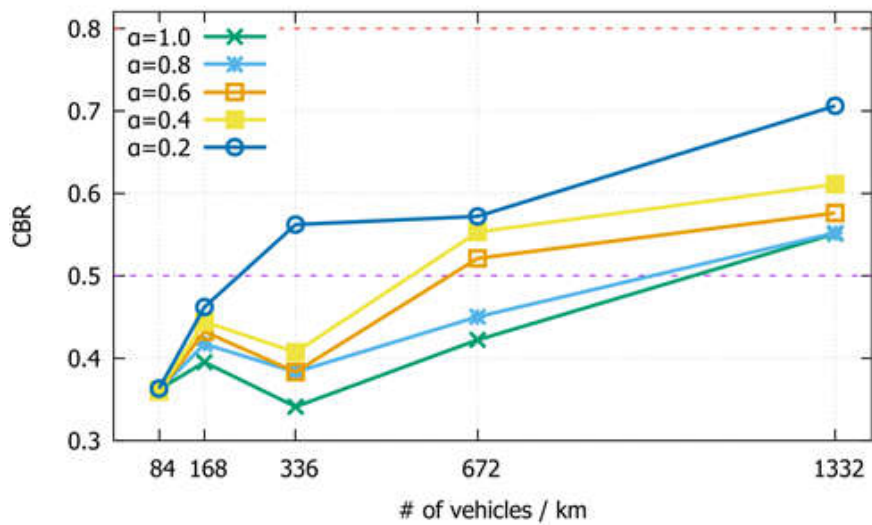
- ㉔ 수정된 알고리즘의 제어 역학을 살펴보기 위해 그림 18와 그림 19과 동일한 값을 측정하는 실험을 진행, 수정된 알고리즘의 제어 역학과 평균 CBR의 변화를 관찰할 수 있었음. 그림 21(a)는 다양한 완화 계수 α 에 대하여 전력 제어가 서로 다른 차량 밀도에 어떻게 반응하는지를 나타냄. 빈도 제어가 적게 개입하여도 전력 제어가 함께 개입하여 안전에 문제가 되지 않을 만큼 CBR을 충분히 허용 범위까지 떨어뜨린다는 것을 그림 21(c)를 통해 확인할 수 있음. 이 때 ITT의 경우 예상대로 그림 21(b) 처럼 α 가 낮아질수록 더 낮은 값으로 조절되고 있는데, 이는 주변 차량에 더 자주 정보를 업데이트해 줄 수 있다는 것을 의미함



(a) Tx power



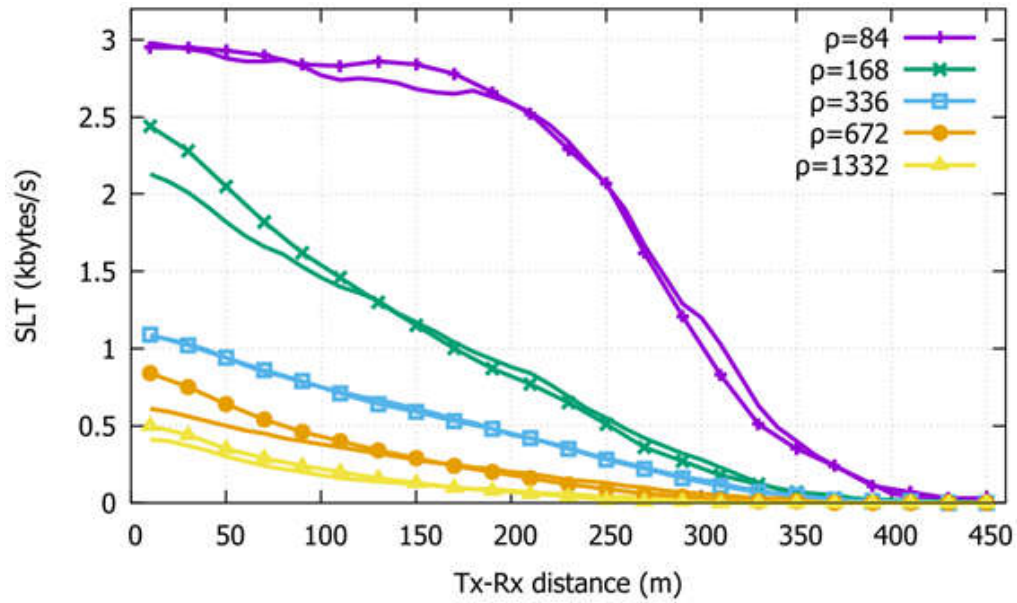
(b) ITT



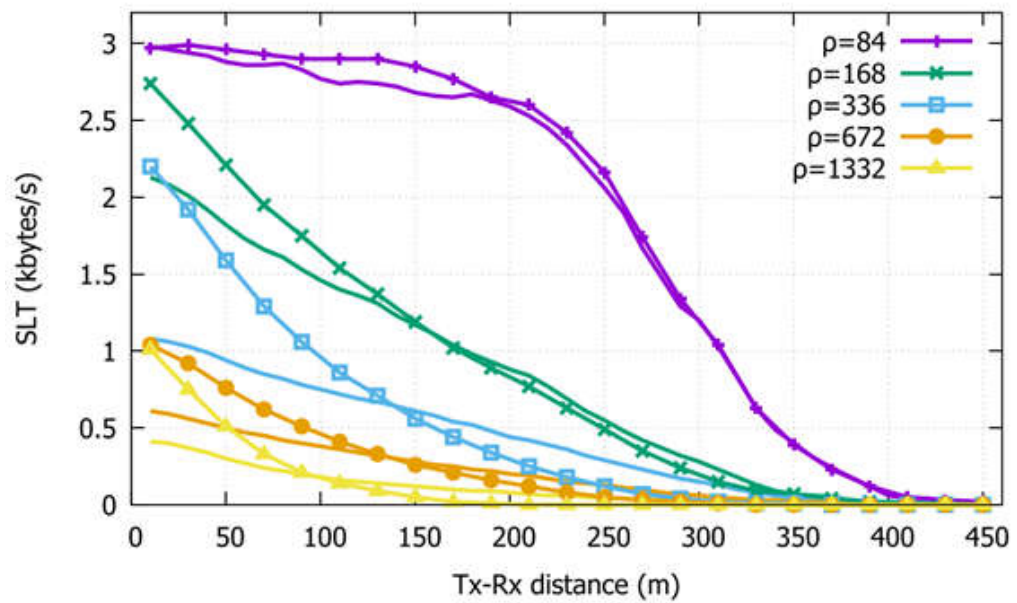
(c) CBR

그림 21. 서로 다른 완화 계수 α 에 따른 두 제어 요소(빈도, 전력)와 CBR의 평균 결과값

- ㉔ 이러한 결과가 성능에도 영향을 끼치는지를 시뮬레이션을 통해 확인함. 안전성을 평가하는 지표 중 sidelink throughput (SLT), inter-packet gap (IPG) 측면에서 더 좋은 성능을 내는 것을 확인할 수 있었음.
- ㉕ SLT는 평균적으로 차량 1대가 초당 1대로부터 몇 byte를 성공적으로 수신하여 처리했는지를 나타내는 평균값으로서, 안전성을 전달된 데이터의 양으로 나타낸 성능임. 그림 22에는 감소된 α 에 의해 유도된 거리와 SLT 사이의 상충 관계가 나타나 있음. 더 먼 거리에서 SLT 성능을 포기하는 대가로 α 값이 낮을수록 가까운 범위에서 더 높은 SLT 성능을 얻을 수 있음을 확인할 수 있음. 거리와 SLT 사이의 상충 관계는 혼잡 제어가 제대로 작동하고 있다는 증거라고 볼 수 있는데, 이는 차량 충돌을 피하기 위해 더 짧은 거리에서 주변 정보를 빠르게 업데이트하는 것이 안전 측면에서 더 바람직하기 때문임[20], [21].
- ㉖ 거리와 SLT 사이의 상충 관계에서, 도로 상의 차량 밀도가 높을수록 더 좋은 SLT 성능을 내는 거리가 짧아지는데, 차량 밀도가 높은 경우 차량 통행 속도가 낮아지기 때문에 더 근거리에만 초점을 맞추어도 된다는 점에서도 안전성에 해가 없다고 볼 수 있음. 이는 차량 밀도가 높을수록 차량 통행 속도가 낮아진다는 교통 공학 이론이 뒷받침하고 있음[22].
- ㉗ IPG는 수신된 메시지 간 시간 간격의 평균값으로서, 지연 정도를 직접적으로 나타낸다는 점[21]에서 안전성을 매우 직접적으로 나타내는 성능임. 주행 안전 애플리케이션의 관점에서 평균 IPG가 클수록 차량이 서로의 주행 정보에 대해 덜 자주 업데이트된다는 뜻이기 때문에 잠재적 충돌 위험이 더욱 높아짐. SLT와 마찬가지로 IPG도 먼 거리에 있는 이웃에 대해 더 큰 IPG 값을 갖더라도 더 가까운 이웃에 대해 더 작은 IPG 값을 갖는 것이 혼잡시 좋은 절충안으로 간주됨. α 값을 낮출수록 더 가까운 거리에서의 평균 IPG 값이 낮아지는 것이 그림 23에 나타나 있고, 이는 차량 밀도가 높아질수록 그 경향이 두드러지는 것을 확인할 수 있음



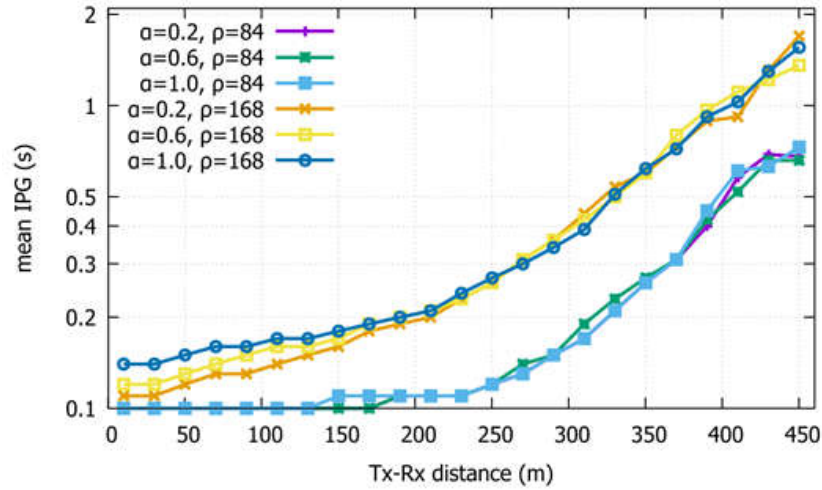
(a) $\alpha = 0.6$ vs. J2945/1



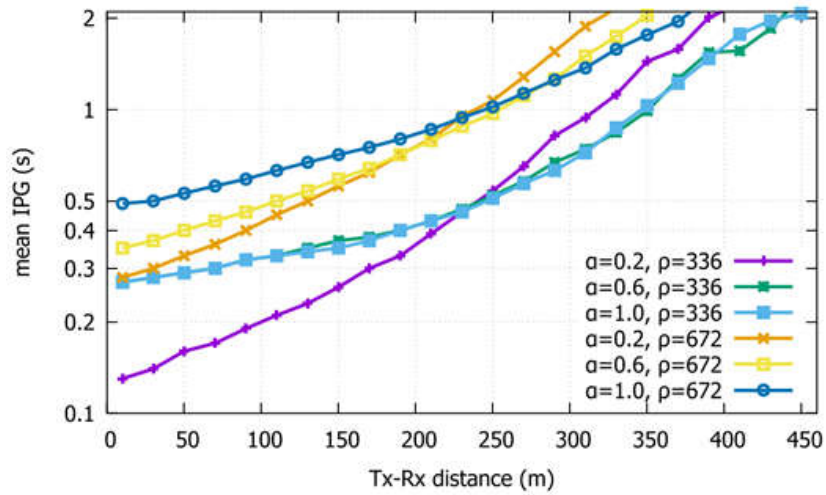
(b) $\alpha = 0.2$ vs. J2945/1

그림 22. 전송-수신 간격 별 SLT 차이.

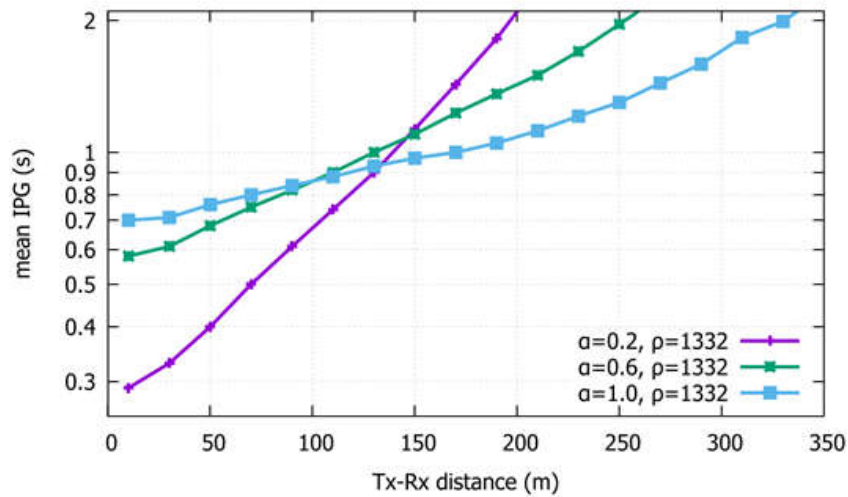
수정 전 J2945/1을 사용할 때 (실선 그래프) vs. 완화된 빈도 제어의 결과 (마크 있는 그래프)



(a) Low congestion



(b) Modest to heavy congestion



(c) Severe congestion

그림 23. 전송-수신 간격 별 IPG 차이.

수정 전 J2945/1을 사용할 때 (실선 그래프) vs. 완화된 빈도 제어의 결과 (마크 있는 그래프)

㉞ 제어 요소 간 재조정을 통해 거리가 가까운, 즉 안전에 중요한 근거리에서 업데이트 성능이 개선되어 안전성 측면에서의 성능이 개선됨을 보여주었음. 본 연구를 통해 C-V2X 혼잡 제어 알고리즘 표준화 설계 단계에서부터 균형 제어 측면을 고려해야 한다는 사실을 밝혀내었기 때문에, 더욱 기술적으로 완성된 표준이 제정되는 데 기여할 수 있을 것임

③ 연구 결과

- ㉞ C-V2X 혼잡 제어 알고리즘 표준화 설계 단계에서부터 균형 제어 측면을 고려해야 한다는 사실을 밝혀냄으로써, 더욱 기술적으로 완성된 표준이 제정되는 데 기여할 수 있게 됨
- ㉞ IEEE Access에 2020년 6월 게재 완료

(마) C-V2X 무선 자원 효율화를 위한 연구

① 연구 수행 방법

- ㉞ C-V2X의 무선 자원 할당 기법인 sensing-based SPS 알고리즘의 개선안 제시 및 시뮬레이션

② 연구 내용

- ㉞ C-V2X가 목표로 하는 응용들은 낮은 지연(low latency)과 높은 신뢰성(reliability)을 요구함. 예를 들어 자율 협력 주행(autonomous cooperative driving)은 차량 간 메시지 전송에서 10ms 지연과 함께 99.99%의 신뢰성을 요구함 [19]. 하지만 현재 표준을 기반으로서는 해당 요구사항을 만족시킬 수 없음. 이를 해결하기 위해서 성능의 개선이 필수적인 상황임

- ㉞ C-V2X에서는 각 차량 UE들이 사용하는 무선 자원의 할당 방식에 따라 sidelink mode 3와 mode 4, 두 가지 통신 모드가 존재함. 무선 기지국(eNB)이 자원 할당을 담당하는 mode 3와는 다르게 mode 4에서 각 차량은 무선 자원을 센싱(sensing)하고, 그 정보를 바탕으로 자신이 사용할 무선 자원을 선택하는 sensing-based Semi-Persistent Scheduling (SPS) [23] 알고리즘을 활용하여 자원 할당을 함. 각 차량 UE가 언제나 이동통신 커버리지(coverage) 안에 존재할 수 없기에 mode 4를 기본으로 함

- ㉞ 하지만 현재의 SPS 알고리즘에는 차량 UE 간 정보 공유의 부재로 인한 문제점

이 존재함. 특정한 두 차량 UE들이 비슷한 시간 축에서 전송을 하고 있을 때, 두 차량은 비슷한 무선 환경을 경험했으므로 센싱한 정보들이 유사하고 사용 가능한 무선 자원의 후보 역시 비슷함. 만약 두 차량이 모두 같은 무선 자원을 선택한다면 동일 무선 자원 선택으로 인한 충돌이 발생하게 됨 (그림 25)

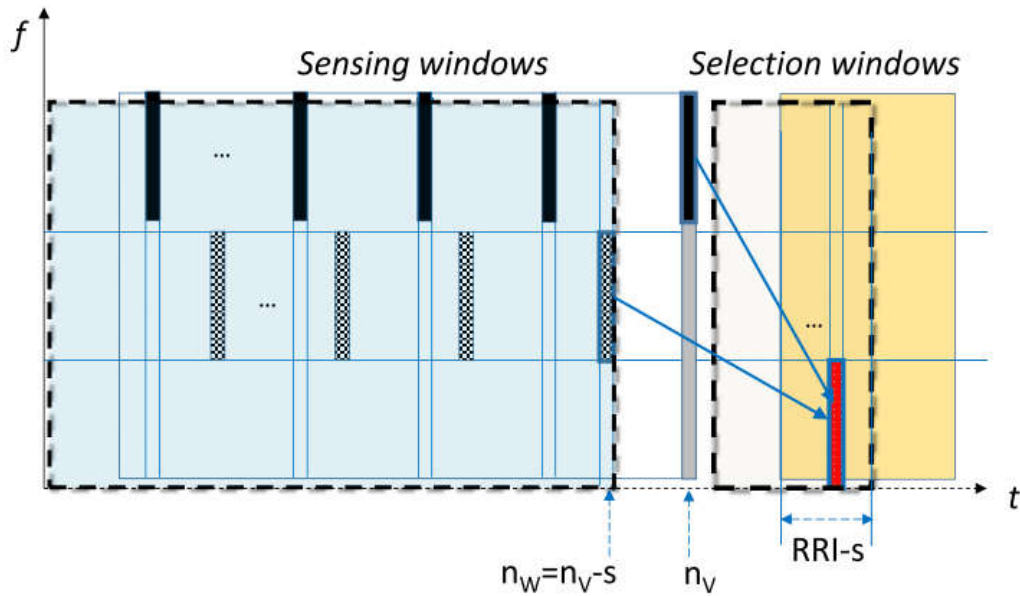


그림 25. 두 차량 간 동일 무선 자원 선택으로 인한 충돌상황

- ㉔ 따라서 본 연구에서는 각 차량이 다음에 사용할 무선 자원을 미리 선택하고, 주변에 선택한 내용을 전달하는 방식을 제안함. 각 차량이 자신이 사용할 무선 자원을 미리 선택하고 주변에 알림으로써 앞서 설명한 다른 차량의 선택에 대한 정보가 없어 발생하는 충돌하는 상황을 해결할 수 있음. 자세히는, 다음 사용할 자원을 선택하는 시점인 재선택 카운터(reselection counter; RC)가 0이 되는 시점에서 다음다음의 무선 자원을 선택 및 예약하도록 예약 기반의 SPS(GRaSPS)를 제시하였음. 이를 통해서 실제 일련의 전송에 대한 무선 자원 선택을 그 이전의 일련의 전송의 시작 직전 선택하게 되는 것임 (그림 26)

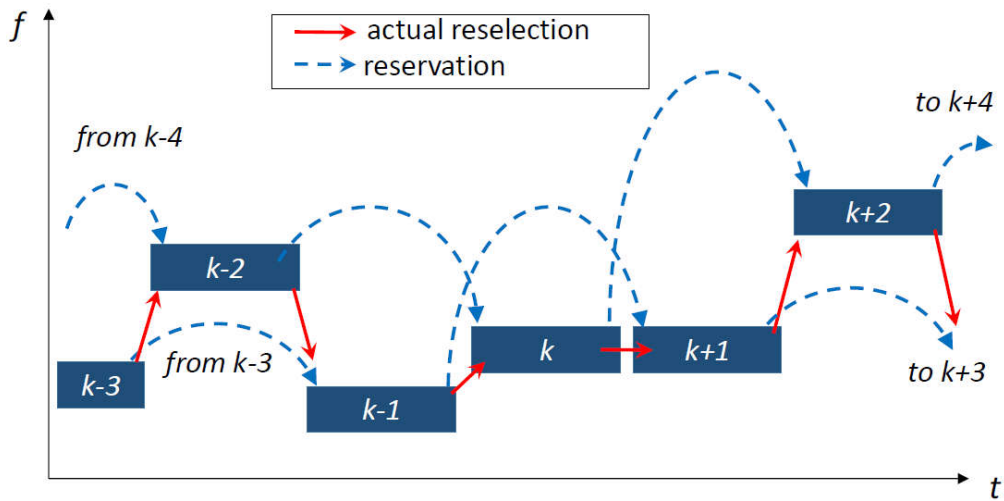
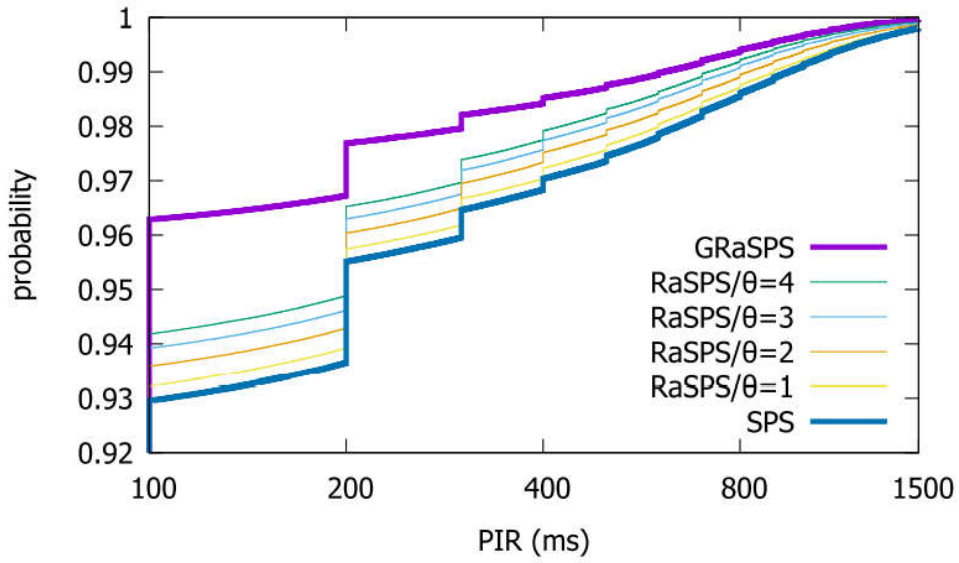
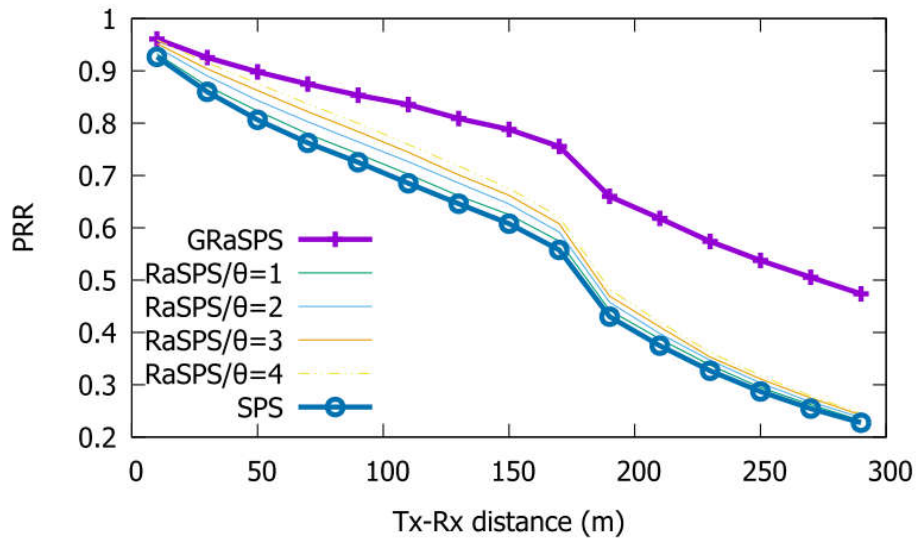


그림 26. 예약 기반의 SPS 알고리즘 (GRaSPS)

㉞ 제안하는 방식의 성능을 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였음. 3GPP TR 36.885 [24]의 도시 환경 설정을 이용하였고, 시나리오별 차량 속도에 따라 차량 간 거리를 설정하였으며 차량의 움직임은 SUMO (Simulation of Urban Mobility) [25] 를 이용하여 생성했음. 제안하는 예약 기반의 SPS 알고리즘을 활용할 때, 차량의 패킷 수신율 (packet reception ratio), 수신 패킷 간 간격 (packet inter-reception)에 대해 SPS와 비교한 성능 향상을 확인하였음 (그림 27)



(b) $v = 15$ km/h, $\rho = 270$ vehicles



(c) $v = 15$ km/h, $\rho = 270$ vehicles

그림 27. 수신 패킷 간 간격(左), 패킷 수신율(右)

③ 연구 결과

㉞ IEEE Access에 2020년 8월 게재 완료

(바) Roadside attacker의 공격 방어 아키텍처 연구

① 연구 수행 방법

㉞ Attacker의 패킷 dropping 공격을 효과적으로 회피할 수 있는 알고리즘 제시 및

② 연구 내용

㉠ 3GPP는 Release 14 이후로 C-V2X 기술을 표준화하고 있음[1]. C-V2X 기술의 가장 중요한 특성 중 하나는 sidelink 통신으로, 이는 주변 차량과 통신할 때, 기지국을 거치지 않고 직접 통신할 수 있도록 함. Sidelink 통신에는 2가지 모드가 있는데, 첫 번째는 sidelink 통신을 위한 자원을 기지국이 할당해주는 방식(Mode 3)이고, 두 번째는 sidelink 통신을 위한 자원을 자신이 직접 할당하는 방식(Mode 4)임[2], [3]. 차량들은 기지국의 통신 범위 바깥에도 존재할 수 있으므로, Mode 4가 sidelink의 기본 통신 모드임. Sidelink Mode 4의 자원 할당 알고리즘은 Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling (SB-SPS) 알고리즘임[2]. SB-SPS는 그 이름에서도 알 수 있듯, 차량이 자원을 선택했다면, 선택한 자원을 반영구적으로 사용하게 됨. 이러한 특성으로 인해 각 차량들은 사용하는 자원들에 대해 주기성을 갖고 있고, 이러한 주기성을 바탕으로 자원 선택을 하게 됨.

㉡ SB-SPS에서 자원 선택을 할 때, 다른 차량들이 전송하는 패킷의 SCI에 들어있는 RRI(Resource Reservation Interval)를 토대로 자원 선택을 하게 됨[2]. RRI 정보는 차량의 다음 전송 때 사용할 자원 정보를 담고 있음. 만약 attacker가 있어서 어떤 차량을 희생양(victim)으로 삼아, victim의 패킷 전달을 방해하는, 이른바 packet dropping attack을 감행하게 된다면 RRI 정보는 attacker에게 있어서 꽤나 유용한 정보가 될 것임. Victim의 RRI에 맞춰서 attacker의 전송이 이뤄진다면, victim의 패킷은 주변 차량들에게 인식되지 못할 것임. 특히 SPS 알고리즘의 특성상, victim은 수 초 이상의 꽤 긴 시간 동안 같은 자원을 사용하게 되는데[4], attacker의 공격을 받게 된다면 꽤 긴 시간 동안 주변 차량들에게 그 시간만큼 인식이 되지 않으며, V2X 통신 특성상 이는 꽤 위험한 상황을 초래할 수 있음. 우리는 이러한 문제점을 인지하여, jitter를 이용한 attacker의 packet dropping attack 회피 방식을 제안하였음.

㉢ 우리의 attack 회피 알고리즘은 크게 두 부분으로 이뤄져 있음. 첫 번째 부분은 attacker의 공격을 인지하는 부분임. 패킷 충돌이 일어나게 되면, 해당 서브 채널에서 충돌이 일어난 자원 바로 다음 전송을 하게 되는 차량이 패킷 충돌이 일어났다고 feedback을 해줌. 구체적으로, 패킷 충돌이 발생했다고 판단하기 위해서는 아래의 세 가지 조건을 만족해야 함. 첫 번째, 해당 자원에서 Received Sig

nal Strength Indication (RSSI)의 값이 RSSI 임계치(θ_{RSSI})를 넘겨야 함. 두 번째, 해당 자원의 Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) 값은 SINR 임계치(θ_{SINR})를 넘지 않아야 하며, 이 조건은 해당 패킷이 디코딩이 불가능하다는 것을 나타냄. 세 번째, 해당 자원과 인접한 subchannel의 RSSI 값은 특정 임계치(θ_{IBE})를 넘지 않아야 함. 위 조건 중, 세 번째 조건은 In-band Emission (IBE)로 인해 인접 채널에서의 신호가 대상 서브 채널에서는 간섭으로 느껴질 수 있고, 이 간섭으로 인해 SINR이 낮아진 것을 패킷 충돌로 인해 SINR이 낮아졌다고 오인하는 경우를 방지하기 위한 조건임. 만약 feedback을 받았을 때, 해당 자원을 사용하고 있던 차량은 그 즉시 자원을 재선택함. 만약 ω 의 시간 이내에 자신이 사용하고 있는 자원이 K 번의 피드백을 받았을 경우, 해당 차량은 attacker로부터 공격을 받고 있다고 간주하며, attacker의 공격을 회피하는 과정에 돌입함. Attack 회피 알고리즘의 두 번째 부분은 jitter 자원을 활용한 attack 회피 과정임. Victim으로 판단된 차량은 자신의 Reselection Counter(RC) 값이 0이 될 때까지 사용할 원래의 자원으로부터 시간 축으로 Δ 만큼 떨어진 자원들 중에서, 아래의 조건을 만족하는 자원을 제외하고 남은 자원 중에서 임의로 하나를 선택하여 사용한다. 첫 번째, 직전 전송에서 RRI 만큼 떨어져 있는 자원. 두 번째, 다른 차량의 RRI 포인터가 가르키고 있는 자원. 이러한 우리의 SPS 기반 공격 회피 알고리즘을 앞으로 IFJ-SPS라고 명명함. 또한, 피드백의 영향을 더 자세하게 알아보기 위해, 패킷 충돌 탐지 조건을 뺀 알고리즘을 J-SPS라고 명명함.

- ㉔ 먼저, 표준의 SPS 알고리즘을 사용했을 때, attacker가 없을 때의 업데이트 지연과 attacker가 있을 때의 victim의 업데이트 지연을 측정함 (그림 28). 그림 28에서, Attacker가 없을 때는 대부분의 패킷이 100 ms 근방의 값을 갖음. 그러나, attacker가 packet dropping attack을 하게 되면, 1초 이상의 업데이트 지연을 보이는 경우가 대부분이며, 심각할 경우 10초 이상의 업데이트 지연을 보이게 됨.

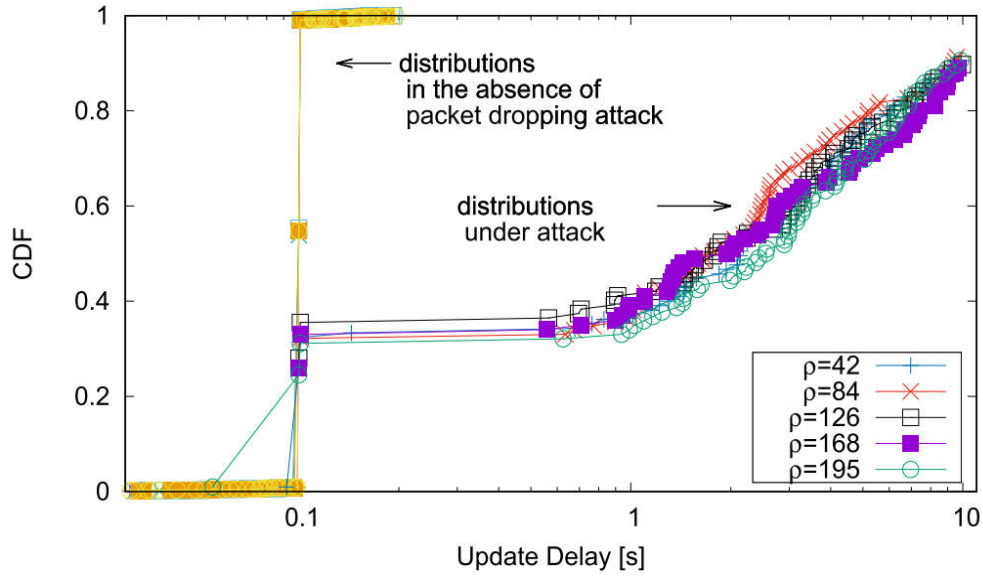
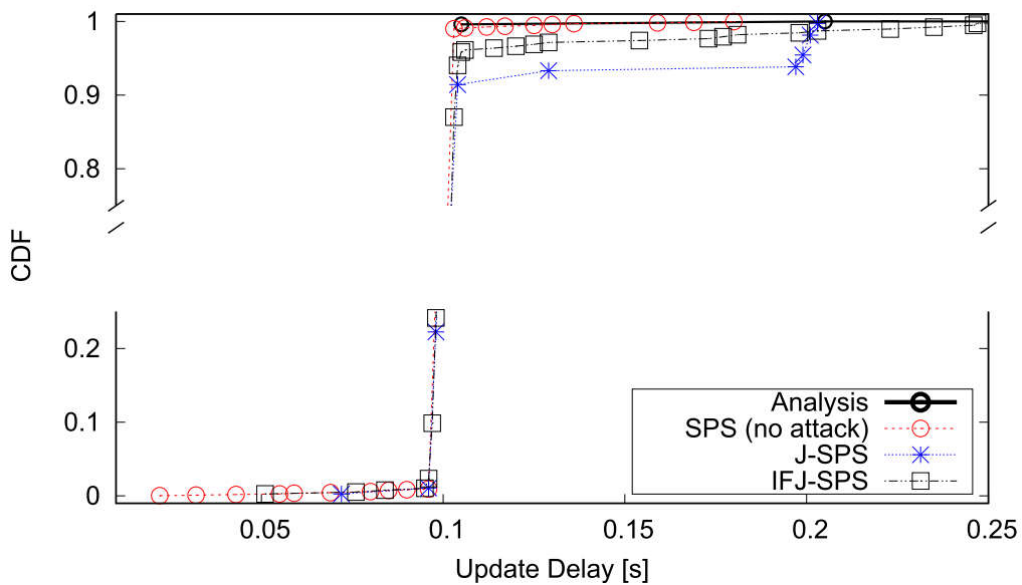


그림 28. SPS에서 Attacker가 있을 때(노란색)와 없을 때(그 외), vicvictim의 업데이트 지연

㉠ 아래 그림들은 attacker가 있어서 victim에게 packet dropping attack을 감행하는 상황에서, jitter 자원을 이용한 회피 알고리즘을 사용할 경우의 업데이트 지연을 여러 차량 밀도 상황에서 보여줌 (그림 29). 이를 통해, 공격 회피 알고리즘은 두 알고리즘 (J-SPS, IFJ-SPS) 모두 attacker의 packet dropping attack을 효과적으로 회피함을 알 수 있음.



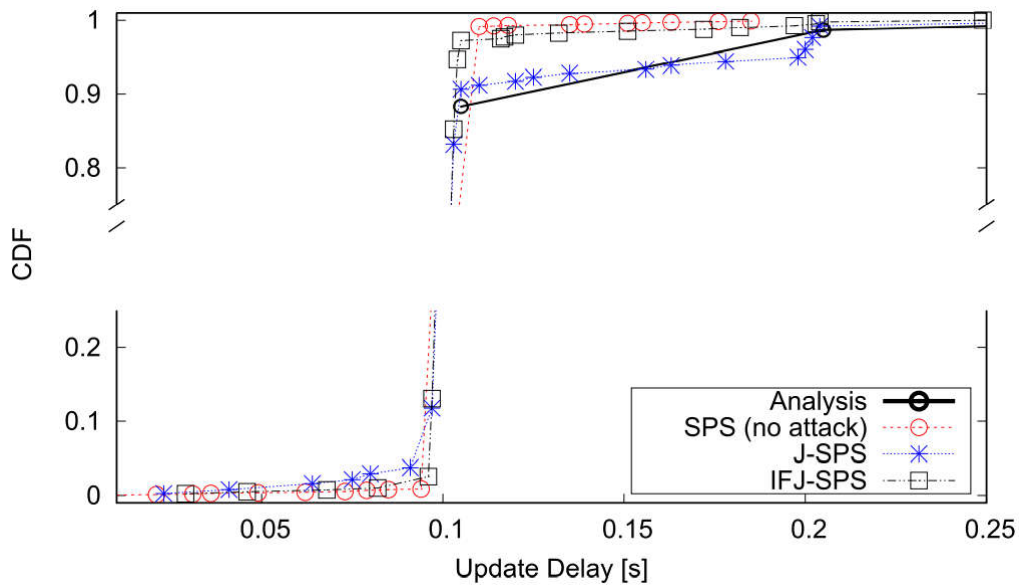


그림 29. 차량 밀도 84대/km(左)와 195대/km(右) 에서의 업데이트 지연

㉠ 공격 회피 알고리즘을 사용했을 때, 표준의 SPS를 사용했을 때보다 낮은 패킷 수신율을 보이는 것은 좋지 못한 현상임. 이 현상은 attacker의 공격을 피하겠다고 제대로 통신하고 있는 다른 차량들에게까지 악영향을 주는 현상이기 때문. 따라서 우리는 두 개의 공격 회피 알고리즘과 표준의 SPS 알고리즘의 패킷 수신율을 비교하였음 (그림 30). 피드백 과정을 고려하지 않은 알고리즘(J-SPS)은 기존 SPS를 사용했을 때보다 패킷 수신율이 악화되는 결과를 보임. 이는 여러 자원을 난잡하게 사용하게 되기 때문에 예측성을 현저히 떨어뜨려 성능 저하가 일어나게 된 것임 [6]. 그러나 피드백 과정을 고려한 알고리즘(IFJ-SPS)은 기존 SPS를 사용했을 때와 비슷하거나 살짝 높은 패킷 수신율을 보임. 이는 IBE 효과를 고려한 피드백 과정을 통해, 주변의 다른 차량들에게 악영향을 끼치지 않으면서 동시에 자신의 패킷 전송 또한 효과적으로 방어하고 있음을 알 수 있음.

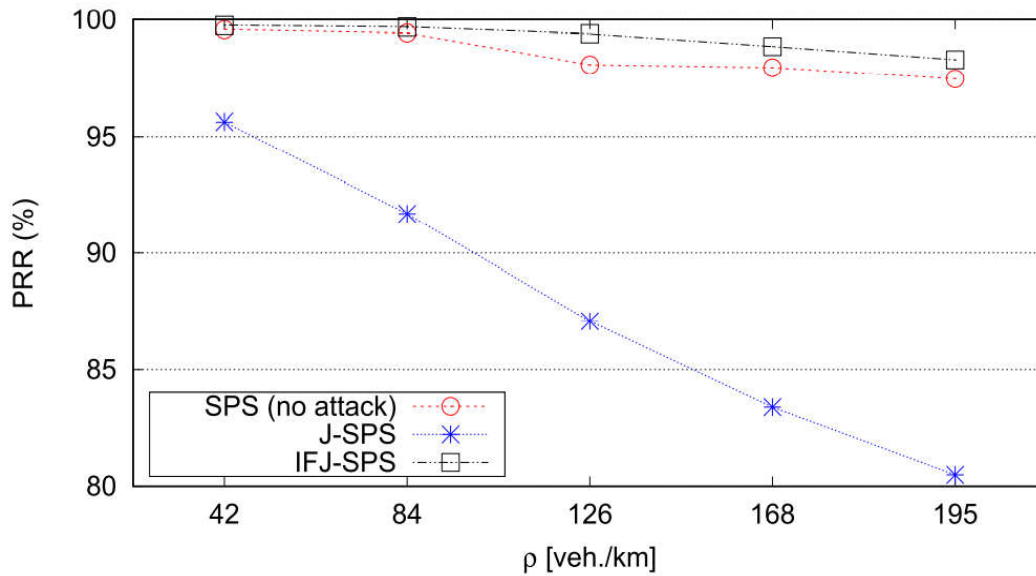


그림 30. 100미터 이내의 거리에 있는 차량들에 대한 패킷 수신율

- ㉔ 우리는 IFJ-SPS에서 Δ 값이 변함에 따라 공격 회피 효과도 달라지는지 알아보기 위해 Δ 에 따른 업데이트 지연을 측정해 봄 (그림 31). 그림 31를 보면, Δ 가 2의 값을 가질 때 가장 효과적으로 attacker의 packet dropping attack을 피하는 것을 알 수 있음. Δ 가 1의 값을 갖는 경우가 업데이트 지연의 측면에서 제일 나쁜 성능을 보이며, 이는 단 2개의 jitter만을 갖고 attacker의 공격을 회피하기에는 부족하다는 것을 의미함. Δ 가 2보다 커질 경우에는 업데이트 지연 또한 더욱 커지게 됨.

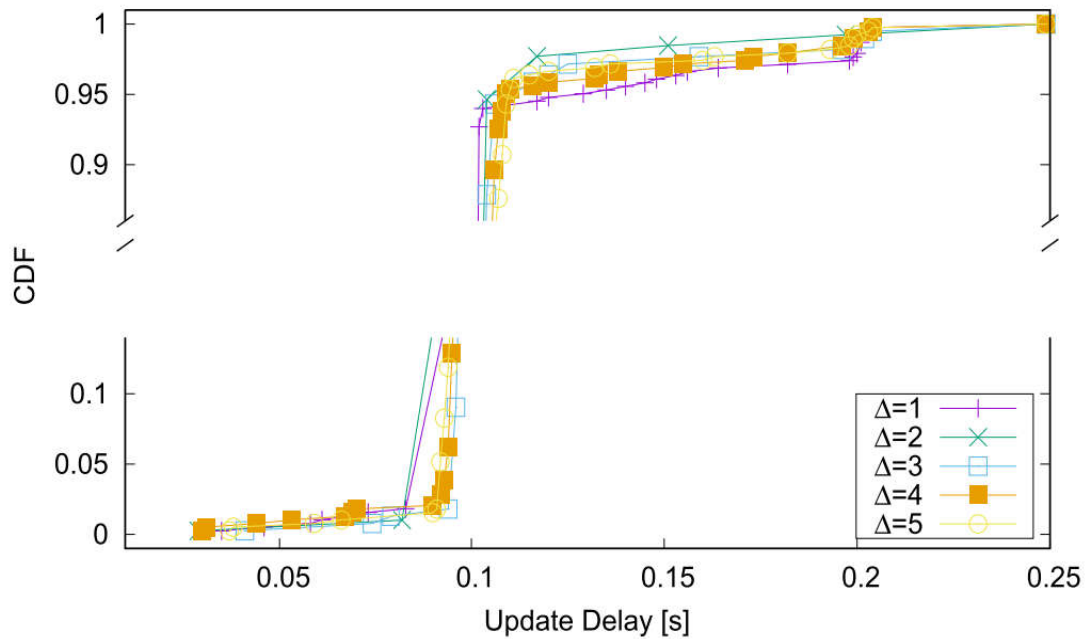


그림 31. Δ 값에 따른 업데이트 지연

③ 연구 결과

- ㉞ IEEE Communications Letters에 2021년 2월 게재 완료

(사) C-V2X 통신에서의 혼잡 제어 연구

① 연구 수행 방법

- ㉞ 시뮬레이션 내 congestion control 제안 방식 알고리즘 구현, 검증 및 성능 평가 수행

② 연구 내용

- ㉞ Vehicle-to-everything (V2X)에서 congestion 상황 시, 통신에 사용할 수 있는 자원의 양은 유한하기 때문에 자원이 부족하여 자원 하나에 여러 차량이 몰리는 경우가 생긴다. 하나의 자원에 여러 차량이 사용하게 된다면 전송에 있어서 충돌이 발생하게 됨. 이로 인해 안전에 영향을 미치고 치명적인 사고까지도 유발할 수 있음. 현재 C-V2X는 congestion control에 대한 명확한 표준이 정의되어 있지 않았으며, 표준에 명시되어 있는 부분 또한 congestion control이라 말할 수 없는 수준임 [30]

- ㉔ C-V2X 통신의 congestion control 부분을 보완하여 이러한 안전에 관련된 문제를 완화하고, 좀 더 차량의 Quality of Service를 만족하고자 하였음. C-V2X 보다 선행 연구 된 Society of Automotive Engineers(SAE)의 기술 중 하나인 J2945/1은 WiFi기반의 congestion control 알고리즘이 정의되어있음 [2]. 우리 연구는 C-V2X의 congestion 상황에 J2945/1 congestion control 알고리즘을 적용 및 응용하여 congestion 상황을 타파하되, 차량의 Quality of Service(QoS)를 지켜주고자 함 [31]
- ㉕ J2945/1 congestion control 알고리즘은 power control과 rate control 두 가지를 동시에 적용하여 congestion 상황을 해결하는 방법임. 하지만 J2945/1 congestion control 알고리즘을 그대로 C-V2X에 적용한다면 power control과 rate control 사이에서 rate control이 congestion 상황을 해결하는데 power control보다 더 큰 영향을 가져 둘 사이의 congestion 상황 해결에 대한 불공평성을 확인하게 되었음 [32]
- ㉖ 도로 위 V2X통신에 있어서 congestion control로 인한 power와 rate 조절은 패킷의 전송 빈도와 전송 파워를 조절하므로 전송 범위와 정보 업데이트에 직결되어 영향을 끼침. 따라서 넓은 범위를 커버해야하거나 또는 자주 업데이트 해주어야 하는 패킷은 congestion 상황을 해결하기 위하여 요구사항이 지켜지지 않는다는 문제가 발생함 [16],[33],[34]
- ㉗ 우리 연구는 기존에 진행되었던 J2945/1 congestion control 알고리즘을 C-V2X에 적용함에 있어 생기는 문제를 기반으로 C-V2X에서의 새로운 congestion control 알고리즘을 제안함. 새로운 congestion control 알고리즘은 차량에게 congestion control scheme에 대한 선택권을 제공하는 것으로, Class 1과 Class 2의 선택지가 존재함. Class 1은 오직 power control만 진행하고 rate control은 하지 않는 것으로, 정보 업데이트의 빈도는 유지하되 전송 패킷이 커버하는 영역이 조절됨. Class 2는 오직 rate control만 진행하고 power control은 하지 않는 것으로 정보 업데이트의 빈도가 조절되지만 전송 패킷이 커버하는 영역이 유지됨
- ㉘ 우리 연구는 congestion 상황에서 무조건 power와 rate를 조절하여 congestion을 해결하는 것이 아니라, 차량의 QoS에 맞게 조절하고 주변 차량과 자신의 의도를 주고받는 데에 본인의 QoS에 맞추면서 congestion 상황을 해결하는 방법을 연구함

- ㉔ 기존의 J2945/1는 power control은 channel busy percentage(CBP)기반으로 조절되고 rate control은 vehicle density(VD) 기반으로 조절되었음. Power control의 경우, CBP가 50% 이하일 경우에는 23dBm으로 고정, CBP가 80% 이상일 경우에는 10dBm으로 고정, 그리고 CBP가 50% 초과 80% 미만일 경우, linear하게 조절함. Rate control의 경우, VD가 25 이하일 경우에는 ITT를 0.1sec으로 고정, VD가 150 이상일 경우에는 ITT를 0.6sec으로 고정, 그리고 VD가 25 초과 150 미만일 경우, linear하게 조절함
- ㉕ J2945/1에서 power control과 rate control은 서로 다른 input을 가지고 조절되는 상태임. 서로 다른 input으로 인해 생기는 불균형을 위하여 input을 CBP로 통일하게 되었음. 또한 linear한 조절로 인한 불공평성을 해결하기 위하여 파라미터 피팅에 다이내믹한 조절이 가능한 non-linear한 조절로 congestion control을 하게 됨

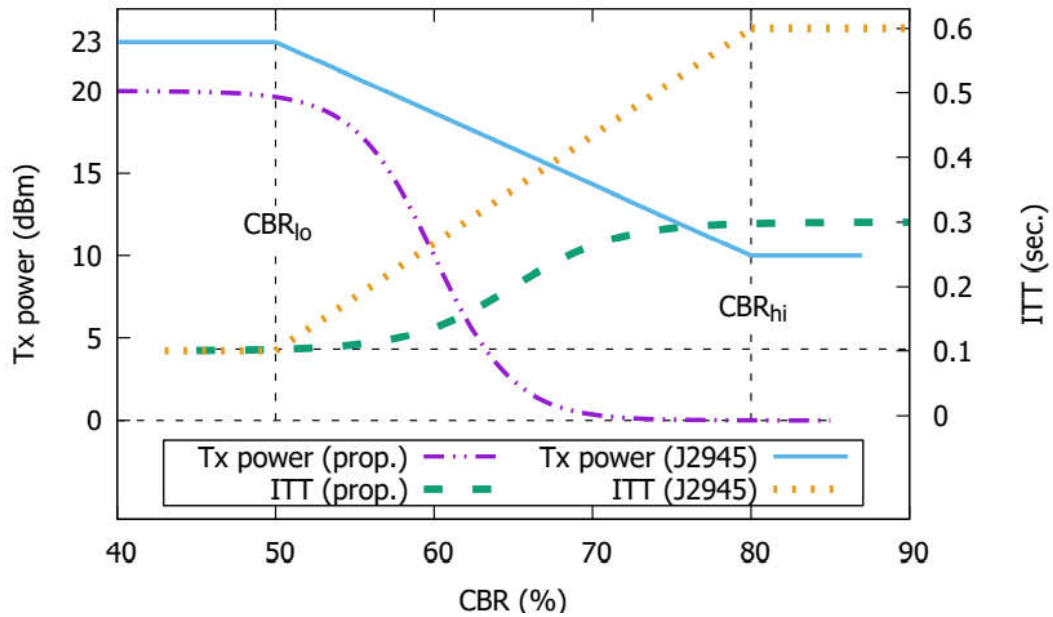


그림 32. J2945/1과 새로운 알고리즘의 조절 그래프

$$P_{tx} \text{ (dBm)} = \frac{M_p}{1 + e^{k_p(x-x_p)}}$$

$$ITT \text{ (s)} = \frac{M_i}{1 + e^{-k_i(x-x_i)}} + C$$

- ㉔ Power control의 경우, CBP가 50% 이하일 경우에는 20dBm으로 고정, CBP가 80% 이상일 경우에는 0dBm으로 고정, 그리고 CBP가 50% 초과 80% 미만일 경우, 위의 식대로 non-linear하게 조절함. Rate control의 경우, CBP가 50% 이하일 경우에는 ITT를 0.1sec로 고정, CBP가 80% 이상일 경우에는 ITT를 0.3sec로 고정, 그리고 CBP가 50% 초과 80% 미만일 경우, 위의 식대로 non-linear하게 조절함. J2945/1과 다른 최대/최소값을 갖는 이유는 새로운 알고리즘에서의 선택에 있어서 공평성을 보장해주기 위하여 조절되었으며 해당 파라미터의 값은 실험적 결과로 결정되었음
- ㉕ 새로운 알고리즘에 있어서, 차량은 power control과 rate control에 있어서 선택을 해야 하며, 또한 power control과 rate control에 있어서 J2945/1에서의 변화가 존재함. 우리 연구는 기존과 달라진 부분에 있어서 공평성을 CBP 기준으로 공평성을 보이며, 차량이 어느 control을 하게 되든 CBP 측면에서 상대적인 이득 및 손해를 보지 않는 것으로 공평성을 보여줌

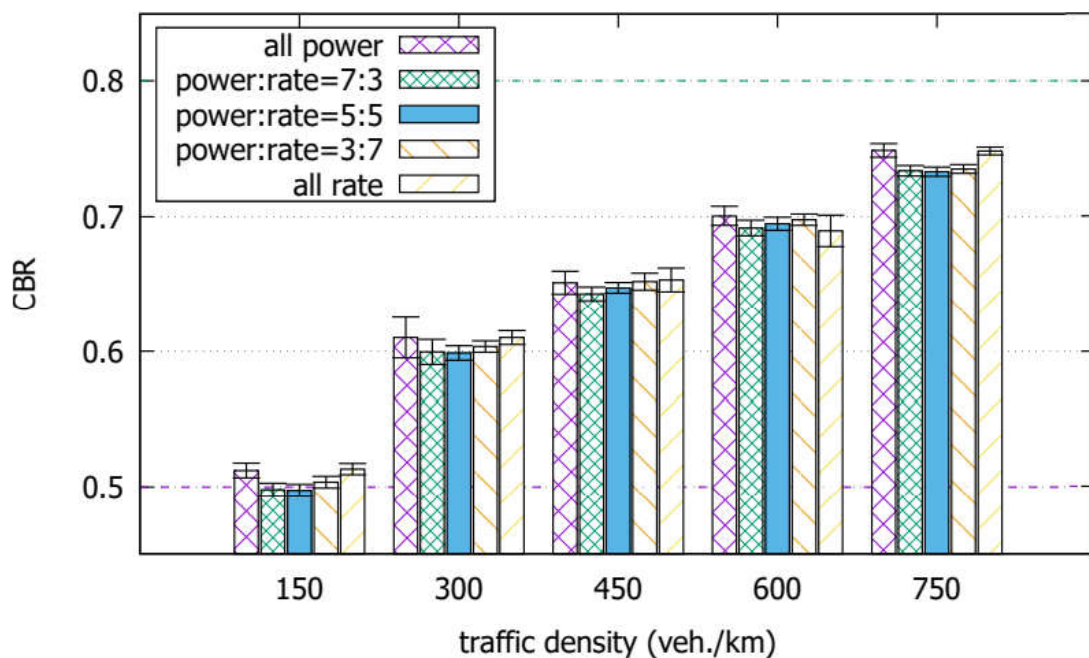
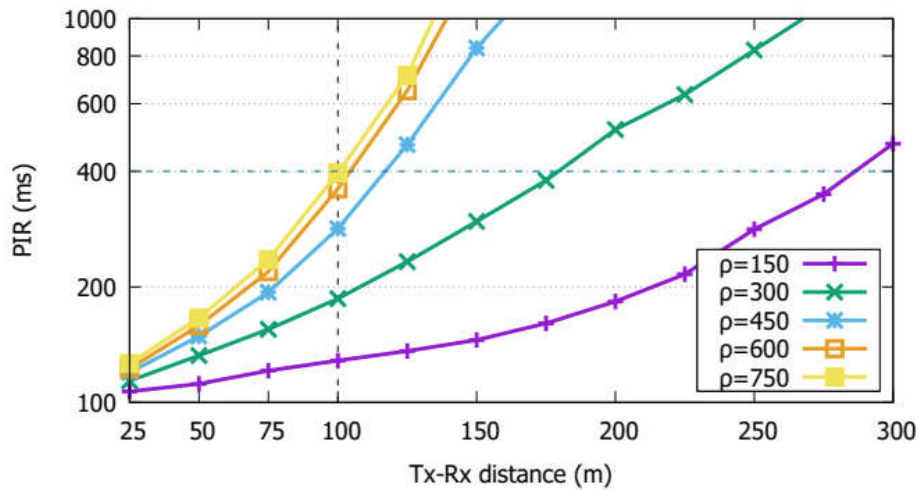


그림 33. 각 시나리오에서의 CBP 비교

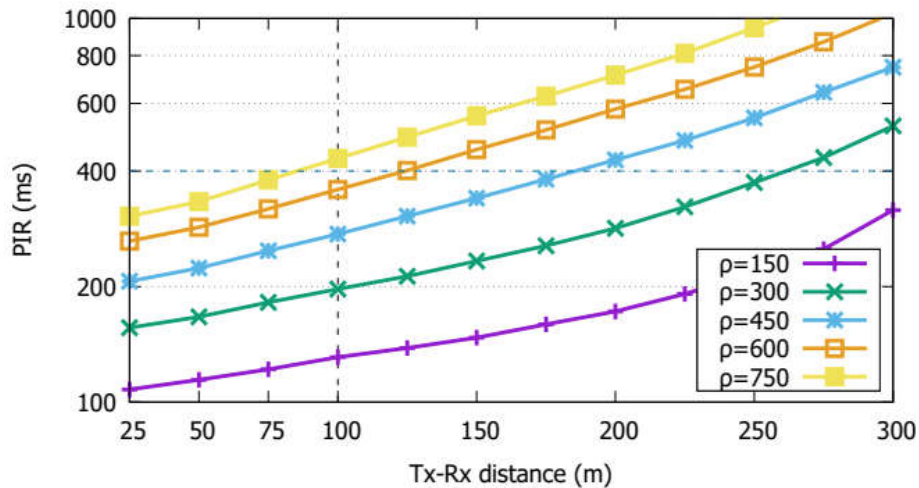
- ㉖ 시뮬레이션 내의 power control만 하는 Class 1과 rate control만 하는 Class 2의 비율 조절로 차량의 class 선택에서의 공평성을 확인하였음. Class 1과 Class 2의 비율을 5가지로 나누어 5가지의 시나리오에 대한 실험을 진행, 모든 차

량이 Class 1을 선택하는 경우, Class 1과 Class 2의 차량 비율이 3:7, 5:5, 7:3 인 경우, 그리고 모든 차량이 Class 2를 선택하는 경우가 존재. Class 1과 Class 2가 섞여있는 경우에는 각 차량들은 랜덤으로 분포하여 몰려있지 않도록 설계하였음. 차량의 밀도 또한 channel이 별로 붐비지 않는 150vehicle/km부터 해서 밀도가 높아 congestion이 매우 심한 750vehicle/km까지 시험을 진행하였음. 실험 결과 차량의 비율과 차량의 밀도에 있어서 각각이 모두 비교 가능한 CBP 결과가 나왔기 때문에 차량이 어느 class를 선택하든지 간에 CBP 측면으로 공평성이 보장되는 것을 확인 가능함

- ㉔ 성능 평가에 있어서는 packet inter-reception time(PIR)과 packet reception ratio(PRR) 두 개의 metric을 사용함. PIR은 기준 차량에 있어서 성공한 두 개의 패킷 간의 수신 시간의 차이를 나타내며, 이를 통하여 수신차량이 정보를 수신하여 정보를 업데이트 하는 빈도수를 알 수 있음. PRR은 전송한 전체 패킷과 수신 성공한 패킷의 비율을 나타내며, 이를 통해 거리에 따른 수신 성공률을 확인 하여 거리에 따른 신뢰성을 알 수 있음. 두 metric은 edge effect를 고려하여 도로 가운데 0.6km의 값을 기준으로 계산되며, 각 metric은 송신 차량이 해당 class를 선택한 차량 기준으로 계산되어 짐. 아래의 실험결과에 있어서 시뮬레이션 시나리오 중 power control과 rate control을 하는 차량의 비율이 5:5 상황에서의 결과만 보는데, 이는 다른 시나리오에서도 비슷한 성능을 보이기 때문



(a) Class I (adopting power control)



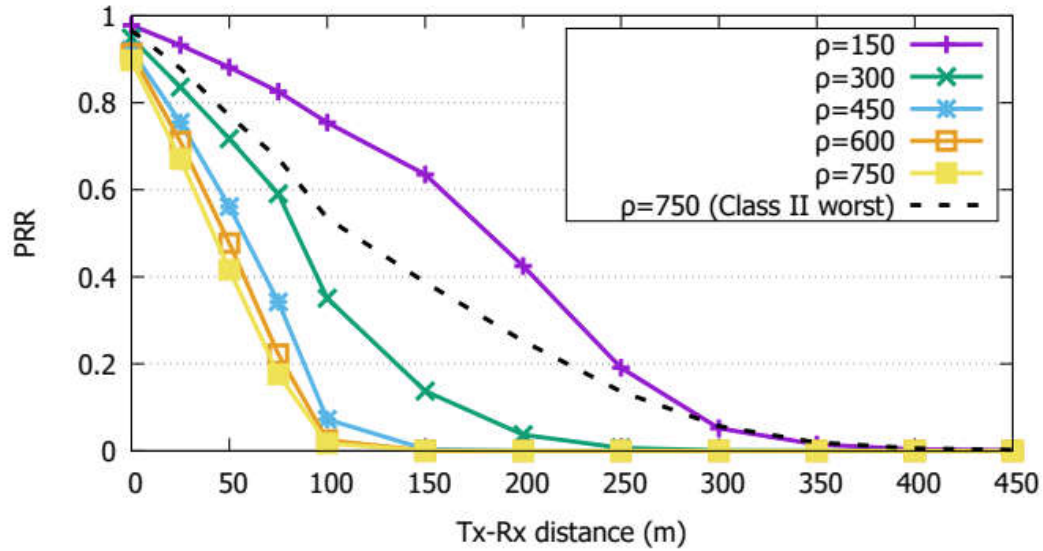
(b) Class II (adopting rate control)

그림 34. Class별 PIR 그래프

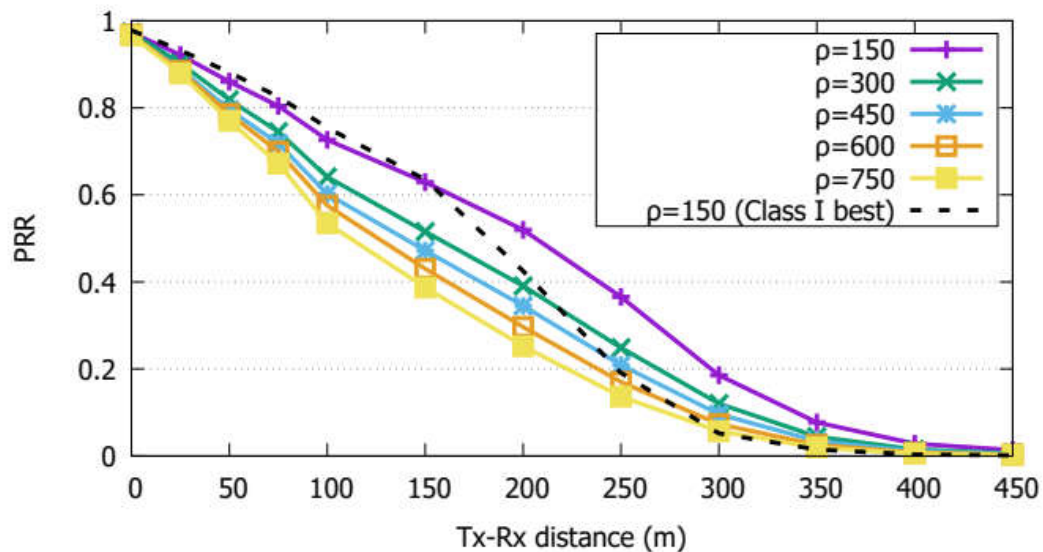
㉠ 그림 34(a)는 Class 1을 선택한 차량들에 한하여 Tx-Rx 거리에 따른 PIR 값을 각 밀도 별로 보여주는 그림이고, 그림 34(b)는 Class 2을 선택한 차량들에 한하여 Tx-Rx 거리에 따른 PIR 값을 각 밀도 별로 보여주는 그림임 . 각 그래프에서 100m 이내에서 비교해 볼 경우, 모든 밀도에서 Class 1을 선택한 차량의 PIR이 Class 2를 선택한 PIR보다 작은 PIR값을 가지는 것을 확인할 수 있음. 또한 100 m 이후에서 비교해 볼 경우, Class 1을 선택한 차량이 Class 2를 선택한 차량보다 큰 PIR값을 가지는 것을 확인할 수 있음

㉡ 100m는 J2945/1에 표시된 safety critical 거리로 표시된 것으로, safety critical 한 거리에 있어서는 Class 1이 더 잦은 업데이트를 하는 것을 확인할 수 있지만 그 이후의 거리에 있어서는 Class 2가 더 좋은 PIR을 가지는 것을 확인할

수 있음. 이를 통하여 Class 1의 목표였던 가까운 거리에서의 잦은 업데이트가 진행되고 있음을 확인할 수 있음



(a) Class I (adopting power control)



(b) Class II (adopting rate control)

그림 35. Class별 PRR 그래프

㉔ 그림 35(a)는 Class 1을 선택한 차량들에 한하여 Tx-Rx 거리에 따른 PRR 값을 각 밀도 별로 보여주는 그림이고, 그림 35(b)는 Class 2을 선택한 차량들에 한하여 Tx-Rx 거리에 따른 PRR 값을 각 밀도 별로 보여주는 그림임. 그림 35(a)에서 Class 1에서 높은 밀도에 속하는 450, 600 그리고 750vehicles/km는 100m 이후부터 PRR이 거의 0에 임박하는 것을 보임. 또한 Class 1의 150vehicles/k

m를 제외하고는 Class 2에서 가장 안 좋은 PRR을 보이는 밀도 750vehicles/km가 높은 PRR을 가지는 것을 보임. 그림 35(b)에서 모든 밀도에 따른 PRR이 Class 1보다는 완만하고 천천히 낮아지는 것을 확인 가능함. 이는 Class 2는 송신 power를 줄이지 않고 유지하기 때문에 거리에 따른 영향이 상대적으로 적으며, 즉 먼 거리에 상대적으로 강한 전달이 가능함을 확인할 수 있음. 또한 Class 1과 Class 2의 150vehicles/km를 비교해보면 200m까지는 비슷한 성능을 보이지만 Class 2가 200m 이후에도 더 높은 PRR을 나타내는 것을 확인할 수 있음

㉔ 위 결과들을 종합해보면, Class 2는 더 먼 거리에 있어서 더 신뢰성이 있음을 확인할 수 있음. 기존의 congestion control은 congestion 상황을 해결하기 위해 power control과 rate control을 동시에 실행할 뿐만 아니라 그 과정에 있어 차량의 QoS 또한 지켜지지 않음. 본 연구에서는 congestion control에서 QoS가 보장된 V2X 통신이 가능함을 보였으며 차량은 QoS에 맞춰 congestion control scheme을 선택하여 공동 자율 주행의 공평성과 유연성을 높일 수 있음을 보여주었음

㉕ Rate control을 선택한 차량은 PRR 실험 결과를 통하여 높은 신뢰성을 가지는 것을 확인하며 PIR 실험 결과를 통하여 상대적으로 넓은 범위를 커버함을 확인할 수 있음. Power control을 선택한 차량은 safety critical한 좁은 거리에서의 잦은 업데이트를 PRR과 PIR 실험 결과에서 확인할 수 있음. 우리 연구는 QoS를 고려한 congestion control의 실현 가능성을 보여주는 첫 연구라고 할 수 있으며 앞으로 더 발전된 연구를 진행할 예정임

③ 연구 결과

㉔ IEEE VNC학회에서 발표를 함

(아) 특허 출원 - 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법 및 그 장치

① 발명의 명칭

㉔ 국문 - 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법 및 그 장치

㉕ 영문 - Method and Apparatus for avoiding intentional radio resource conflicts

② 기술분야

㉔ 본 발명은 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법 및 그 장치에 관한 것임.

③ 발명의 배경이 되는 기술

㉔ 3GPP는 릴리즈 14부터 셀룰러 V2X 통신 기술의 표준화를 진행하고 있음. C-V2X 표준의 핵심 중 하나는 차량간 직접 통신이 가능하게 하는 사이드 링크 통신임. 사이드 링크 통신을 위한 무선 자원은 중앙 집중식 또는 분산 모드로 할당될 수 있음. 모드 3에서는 기지국이 할당을 조정하는 반면, 모드 4에서는 차량이 분산 알고리즘을 사용하여 무선자원을 자율적으로 할당함. 차량이 네트워크 범위를 벗어날 수 있으므로 모드 4가 기본 모드로 간주됨. 모드 4에서 사용되는 분산 자원 할당 알고리즘은 SB-SPS임. 모드 4에서의 분산 자원 할당 알고리즘은 한 번 할당된 자원은 1500ms 이상의 시간 동안 유지될 가능성이 크며, 이로 인해 보안 문제가 제기될 수 있음. 이로 인해, 만약 악의적인 의도를 가진 차량(A)이 다른 차량(B)이 사용하고 있는 무선자원을 센싱하여 그 자원을 동시에 사용하게 된다면, 그 차량(B)은 주변의 다른 차량이 인식할 수 없는 차량이 되는 문제점이 있음.

④ 해결하고자 하는 과제

㉔ 본 발명은 보안이 강화된 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법 및 그 장치를 제공하기 위한 것임. 또한, 본 발명은 주변 차량의 무선 자원 충돌을 인식하는 경우, 이를 주변 차량에게 피드백 함으로써 차량이 무선 자원 충돌 여부를 파악하도록 할 수 있는 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법 및 그 장치를 제공하기 위한 것임.

⑤ 과제의 해결 수단

㉔ 본 발명의 일 측면에 따르면, 보안이 강화된 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법이 제공됨. 본 발명의 일 실시예에 따르면, (a) 적어도 하나의 주변 차량으로부터 피드백 메시지를 수신하는 단계, (b) 상기 피드백 메시지가 수신됨에 따라 충돌 피드백 카운터 값을 지정된 크기만큼 증가시키는 단계, (c) 상기 피드백 메시지가 수신됨에 따라 무선 자원 재선택 파라미터(reselection counter)의 값을 재선택 디폴트 값으로 변경한 후 재선택 과정을 수행하는 단계를 포함하는 C-V2X 기반 모드 4에서의 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법이 제공될 수 있음. 상기 재선택 디폴트 값은 제로(0)임. 지정된 시간 이내에 상기 충돌 피드백 카운터 값이 기준치 이상인 경우, 공격 받는 것으로 결정하여 무선 자원 회피 알고리즘을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있음.

㉔ 상기 회피 알고리즘을 수행하는 단계는, 상기 무선 자원 재선택 파라미터 (resel
ection counter)의 값을 지정된 범위 내에서 임의의 값으로 변경하는 단계 및 할
당받은 무선 자원 중에서 시간 축으로 델타 시간만큼 떨어진 자원 중에서 사용
가능한 자원 중 어느 하나를 재배정받는 단계를 포함할 수 있음. 상기 사용 가능
한 자원은, SB-SPS 알고리즘에 기반하여 할당받는 무선 자원과 동일한 서브 채널
을 사용하며, 시간 축으로 델타 시간만큼 떨어진 자원이며, 직전 시간에 주변
차량이나 자차량에 의해 이용되지 않은 무선 자원일 수 있음.

㉕ 본 발명의 다른 측면에 따르면, 보안이 강화된 의도적인 무선 자원 충돌 회피가
가능한 장치가 제공됨. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 통신부, 적어도 하나의 명령어
를 저장하는 메모리, 상기 명령어를 실행하는 프로세서를 포함하되, 상기 프로
세서에 의해 실행된 명령어는, (a) 적어도 하나의 주변차량으로부터 피드백 메
시지를 수신하는 단계, (b) 상기 피드백 메시지가 수신됨에 따라 충돌 피드백 카
운터 값을 지정된 크기만큼 증가시키는 단계, (c) 상기 피드백 메시지가 수신됨
에 따라 무선 자원 재선택 파라미터(reselection counter)의 값을 재선택 디폴트
값으로 변경한 후 재선택 과정을 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로하는
충돌 회피 장치가 제공될 수 있음.

⑥ 발명의 효과

㉖ 본 발명의 일 실시예에 따른 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법 및 그 장치를
제공함으로써, 무선 자원 충돌 인식시 이를 피드백하여 무선 자원의 충돌을 인식
하도록 함으로써 보안을 강화할 수 있는 이점이 있음.

⑦ 도면의 간단한 설명

㉗ 그림 36은 본 발명의 일 실시예에 따른 C-V2X 네트워크 구성을 개략적으로 도
시한 블록도임.

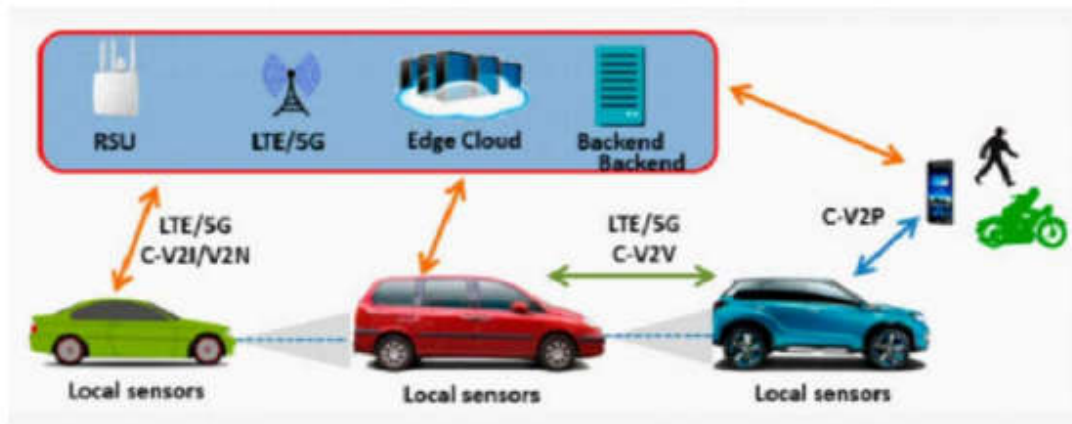


그림 36. C-V2X 네트워크 구성

㉔ 그림 37은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 자원 충돌을 피드백하는 방법을 나타낸 순서도임.

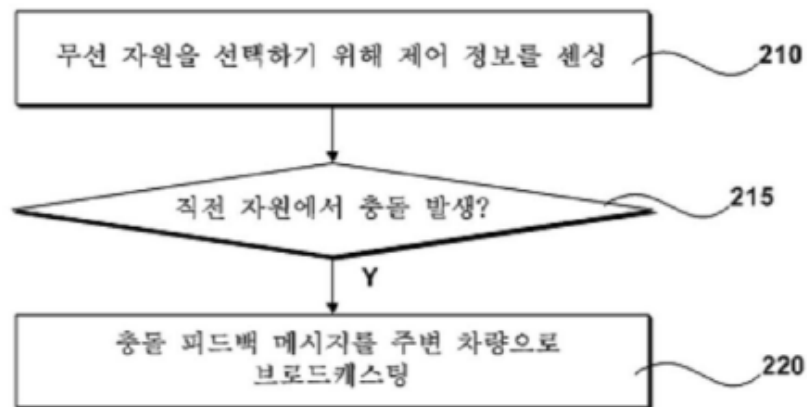


그림 37. 무선 자원 충돌을 피드백하는 방법을 나타낸 순서도

㉔ 그림 38은 본 발명의 일 실시예에 따른 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법을 나타낸 순서도임.

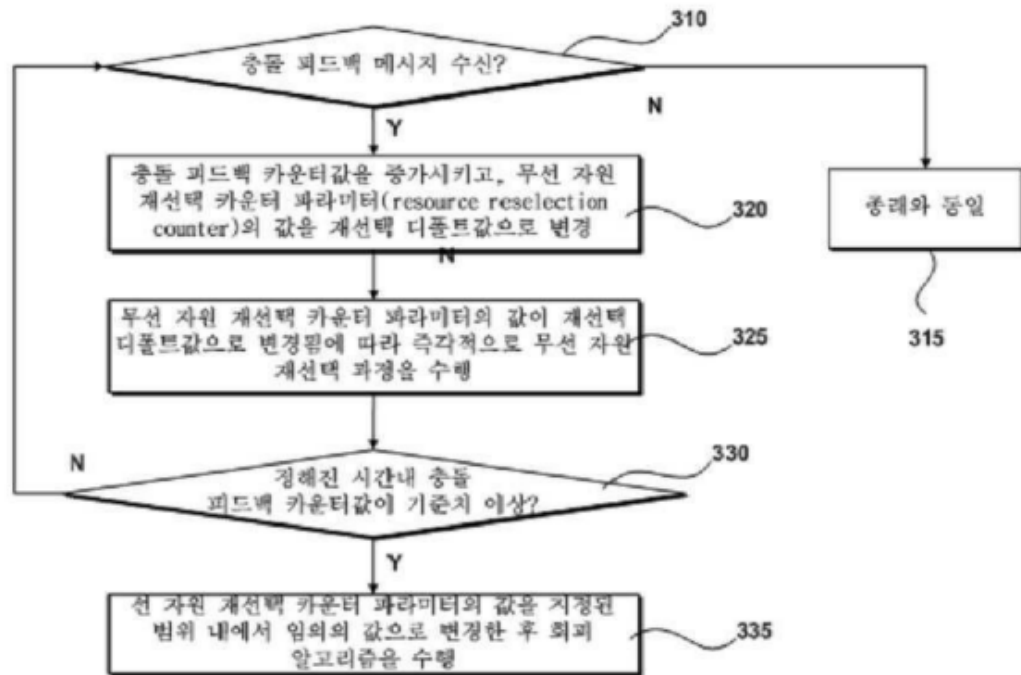


그림 38. 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법을 나타낸 순서도

㉞ 그림 39는 본 발명의 일 실시예에 따른 회피 알고리즘을 설명하기 위해 도시한 도면임.

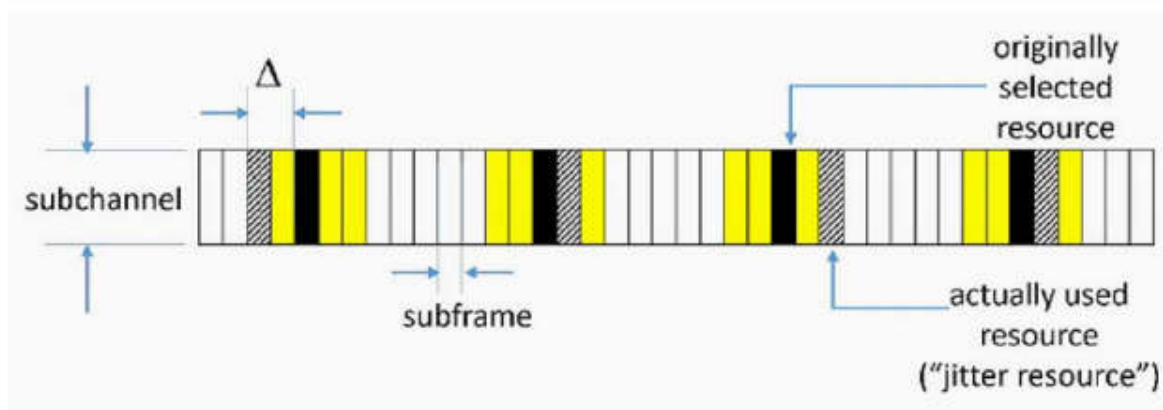


그림 39. 회피 알고리즘을 설명하기 위해 도시한 도면

㉞ 그림 40 및 그림 41은 본 발명의 일 실시예에 따른 의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법에 대한 의사 코드를 도시한 도면임.

Algorithm 2 Algorithm for feedback operation

```
1: if feedback received then
2:   Last Time = Current Time
3:   numFeedbackReceived ++
4:   if numFeedbackReceived < AtCN then
5:     RC = 0
6:     Reselect a resource
7:   else
8:     SPS-a
9:   end if
10: end if
11: if Current Time - Last Time > AtAT then
12:   numFeedbackReceived = 0
13: end if
```

그림 40. 피드백 과정을 나타내는 의사 코드

Algorithm 1 Algorithm for SPS-a

```
1: Sense and Update the sensing window
2: if RC == 0 then
3:   RC = Random natural number from 5 to 15
4:   term = Random real number from 0 to 1
5:   if term > probResKeep then
6:     Reselect a resource
7:   else
8:     Reuse the resource
9:   end if
10: else
11:   Check if  $[OrigRes - \Delta, OrigRes + \Delta]$  is available
12:   if number of available resource  $\neq 0$  then
13:     Select a resource randomly from available resources
14:   else
15:     Select the resource used at previous time
16:   end if
17: end if
```

그림 41. jitter 자원을 이용한 의도적인 공격 회피 알고리즘을 나타낸 의사 코드

㉞ 그림 42는 본 발명의 일 실시예에 따른 충돌 회피 장치의 내부 구성을 개략적으로 도시한 도면임.

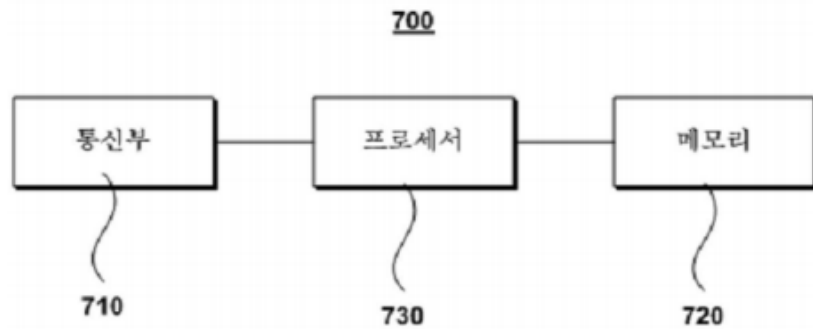


그림 42. 충돌 회피 장치의 내부 구성을 개략적으로 도시한 도면

(차) 특허 출원 - 차량 간 통신에서의 혼잡 제어 방법 및 그 장치

① 발명의 명칭

㉔ 국문 - 차량 간 통신에서의 혼잡 제어 방법 및 그 장치

㉔ 영문 - Congestion control method and apparatus for vehicle-to-vehicle communication

② 기술 분야

㉔ 본 발명의 실시예들은 차량 간 통신에서 차량 위치 및 속도 등과 같은 차량 정보를 포함하는 BSM(Basic Safety Message)을 전송하는 무선 채널에서, 통신 혼잡을 제어하기 위한 주기적 메시지 전송 설정 방법 및 장치에 관한 것임

③ 발명의 배경이 되는 기술

㉔ 차량 간 통신인 V2V(vehicle to vehicle) 통신 기술은 차량 간에 무선으로 정보를 주고받는 기술을 의미함. V2V 통신 기술은 이동 중이거나 정차 중인 차량들 간의 신호 또는 데이터를 송수신하는 무선 통신 기술로서, 일정 범위 내에 있는 차량들이 무선 통신을 통해 각자의 위치/속도 등의 차량 정보 및 주변 교통 상황 정보, 즉 BSM(Basic Safety Message)를 주고받으며, 갑작스러운 교통사고를 예방하는 시스템임

㉔ LTE를 이용한 V2V 통신 기술을 Cellular-V2V(C-V2X)라고 함. C-V2V 통신에는 기지국의 도움을 받아 통신하는 모드 3과 기지국 도움 없이 차량이 스스로 자원을 선택하여 다른 차량과 통신하는 모드 4가 존재함. 모드 4에서 차량이 스스로 자원을 선택하고 통신을 진행하기 때문에 자원 선택과 사용이 매우 중요함

㉔ 차량 간 통신은 차량이 브로드캐스트(broadcast)로 1초에 10번 주변 차량에게 BSM 보내게 됨. 통신을 위해서는 자원을 사용해야 하는데, 자원의 수가 한정된 상황에서 차량의 밀도가 높아지게 된다면 무선 채널이 혼잡해짐에 따라 사고 방지를 위해 활용할 수 있는 BSM 수신에 실패하는 경우가 많아지는 문제점이 발생할 수 있음. 혼잡 상황이 해결되지 않고 계속 유지되는 경우 차량은 정보를 브로드캐스트하는데 실패하게 될 것이고 최악의 경우 교통사고까지 유발될 수 있음

㉕ V2V 통신에서의 혼잡 제어는 혼잡 상황을 회피하는데 급급한 것으로, 메시지의 QoS(Quality of Service)를 고려한 혼잡 제어는 전혀 고려하고 있음. 본 발명은 SAE J2945 혼잡 제어 알고리즘을 C-V2X에 적용하여 C-V2X에서의 혼잡 제어를 해결하고자 함. SAE J2945 혼잡 제어 알고리즘은 메시지 전송을 위해 Channel Busy Ratio(CBR)에 기초하여 메시지의 전송 세기(Tx power)를 설정하고, 차량 밀도에 기초하여 메시지의 전송률 (Tx rate)를 설정함

④ 해결하고자 하는 과제

㉖ 본 발명은 혼잡을 해결하기 위해, 본 발명에서는 CBR 기반으로 메시지의 QoS에 따라 자원 사용에 제한을 둬으로써 파워 컨트롤(power control)과 레이트 컨트롤(rate control)의 불균형 문제를 해결할 수 있는 차량 간 통신에서의 혼잡 제어 방법 및 그 장치를 제안하고자 함

⑤ 과제의 해결 수단

㉗ 상기한 목적을 달성하기 위해 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따르면, 차량 간 통신에서의 혼잡 제어 방법에 있어서, 차량 간 통신에서 혼잡 상황이 발생하였는지 여부를 판단하는 단계 및 상기 혼잡 상황이 발생한 경우, 차량의 현재 상태 또는 메시지의 우선 순위에 따라 제1 혼잡 제어 알고리즘 및 제2 혼잡 제어 알고리즘 중 어느 하나를 선택하는 단계 및 상기 선택된 혼잡 제어 알고리즘에 따라 파워 또는 레이트를 조절하는 단계를 포함하는 차량 간 통신에서의 혼잡 제어 방법이 제공됨

㉘ 상기 제1 혼잡 제어 알고리즘은 파워 컨트롤(power control) 및 레이트 컨트롤(rate control) 중 어느 하나이며, 상기 제2 혼잡 제어 알고리즘은 파워 컨트롤(power control) 및 레이트 컨트롤(rate control)은 다른 하나임. 상기 제1 혼잡 제어 알고리즘 및 제2 혼잡 제어 알고리즘 중 선택하는 단계는 상기 차량의 현재 상태를 분석한 결과 속도가 기준치 이상이거나 상기 메시지의 우선 순위가 기준

거리 범위 이내의 통신 성공인 경우, 상기 제1 혼잡 제어 알고리즘을 선택할 수 있음. 상기 제1 혼잡 제어 알고리즘 및 제2 혼잡 제어 알고리즘 중 선택하는 단계는 상기 차량의 현재 상태를 분석한 결과 속도가 기준치 미만이거나 상기 메시지의 우선 순위가 기준 거리를 벗어난 통신 성공인 경우, 상기 제2 혼잡 제어 알고리즘을 선택할 수 있음

㉔ 상기 선택된 혼잡 제어 알고리즘에 따라 파워 또는 레이트를 조절하는 단계는 상기 제1 혼잡 제어 알고리즘과 상기 제2 혼잡 제어 알고리즘은 채널 혼잡 비율(CBR: channel busy ratio)에 기초하여 제어될 수 있음. 상기 제2 혼잡 제어 알고리즘은 상기 제1 혼잡 제어 알고리즘과 동일한 채널혼잡 비율(CBR) 임계값을 사용하여 레이트(rate)의 역을 제어할 수 있음

㉕ 상기 설정하는 단계는 상기 주기적 메시지의 전송률을 기 설정된 전송률로 고정하고, 상기 주기적 메시지의 전송 세기를 설정할 수 있음. 상기 설정하는 단계는 상기 차량 밀도가 증가할수록 상기 주기적 메시지의 전송 세기가 감소되도록 상기 주기적 메시지의 전송 세기를 설정할 수 있음

㉖ 본 발명의 다른 측면에 따르면, 차량 간 통신에서의 혼잡을 제어하는 장치가 개시 됨. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 차량 간 통신에서의 혼잡을 제어하는 장치에 있어서, 차량 간 통신에서 혼잡 상황이 발생하였는지 여부를 판단하는 혼잡 상황 감지부 및 상기 혼잡 상황이 발생한 경우, 차량의 현재 상태 또는 메시지의 우선 순위에 따라 제1 혼잡 제어 알고리즘 및 제2 혼잡 제어 알고리즘 중 어느 하나를 선택하는 선택부 및 상기 선택된 혼잡 제어 알고리즘에 따라 파워(power) 또는 레이트(rate)를 조절하는 프로세서를 포함하는 혼잡 제어 장치가 제공됨

㉗ 상기 선택부는, 상기 차량의 현재 상태를 분석한 결과 속도가 기준치 이상이거나 상기 메시지의 우선 순위가 기준 거리 범위 이내의 통신 성공인 경우, 상기 제1 혼잡 제어 알고리즘을 선택하고, 상기 차량의 현재 상태를 분석한 결과 속도가 기준치 미만이거나 상기 메시지의 우선 순위가 기준 거리를 벗어난 통신 성공인 경우, 상기 제2 혼잡 제어 알고리즘을 선택할 수 있음

⑥ 발명의 효과

㉘ 본 발명에 따르면, 혼잡 제어 방법을 제공함으로써 메시지의 QoS에 따라 혼잡 제어를 다르게 수행할 수 있는 이점이 존재하며, CBR 기반으로 메시지의 QoS에

따라 자원 사용에 제한을 둌으로써 파워 컨트롤(power control)과 레이트 컨트롤(rate control)의 불균형 문제를 해결할 수 있는 이점도 존재함

⑦ 도면의 간단한 설명

㉠ 그림 43은 차량 간 통신에서의 혼잡 제어 방법을 나타낸 순서도임

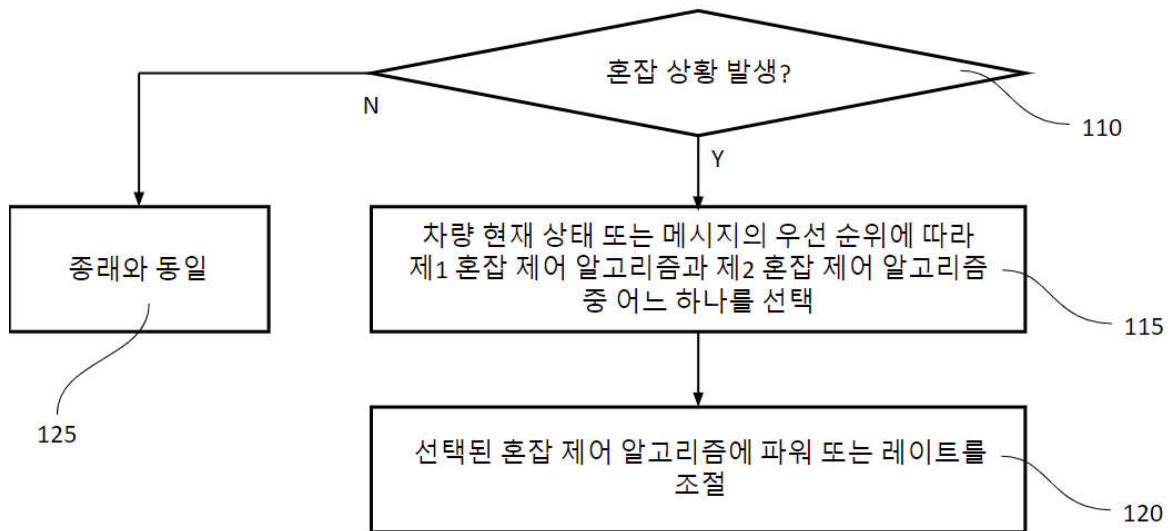


그림 43. 혼잡 제어 방법 순서도

- ㉔ 그림 44는 파워 컨트롤과 레이트 컨트롤의 입력에 따른 파워 또는 레이트 조절을 설명하기 위한 도면임

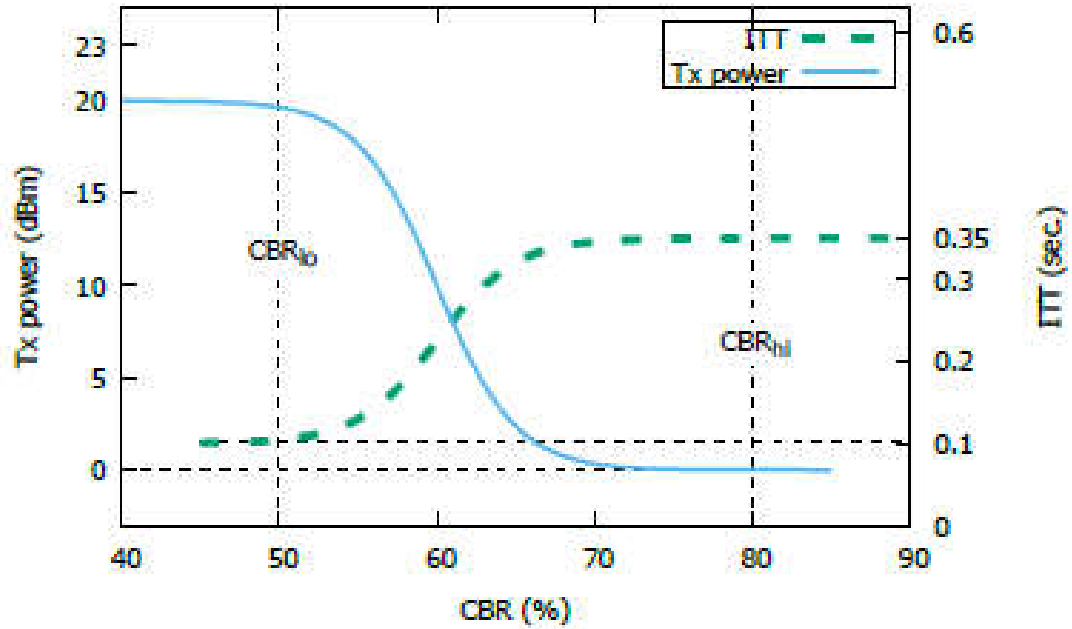


그림 44. 파워 또는 레이트의 조절

- ㉕ 그림 45는 혼잡 제어 장치의 내부 구성을 개략적으로 도시한 블록도임

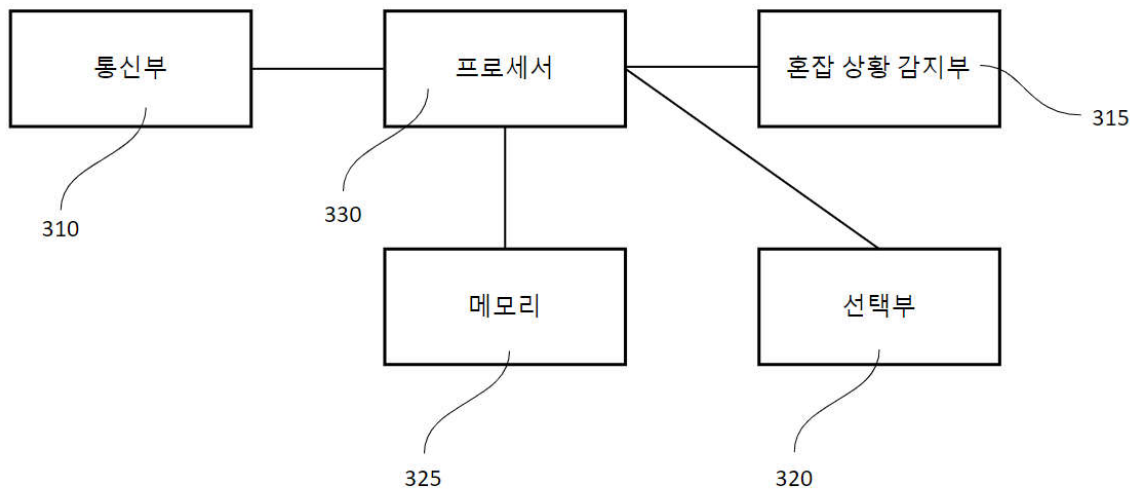


그림 45. 혼잡 제어 장치 블록도

(카) 중복되는 데이터 전송을 방지하기 위한 비주기적 패킷 전송 시나리오에서 확률 기반 자원 예약 방법

① 연구 수행 방법

㉔ 비주기적인 패킷 전송 시나리오에서 확률에 기반한 자원 예약 방식 제시 및 시뮬레이션

② 연구 내용

㉔ 3GPP는 Release 14 이후로 C-V2X 기술의 표준화를 계속 진행하고 있으며, 현재 5G에 기반한 Release 16의 표준화가 완료됨에 따라, C-V2X는 NR V2X로 불림 [35]. 이러한 NR V2X의 핵심 기술 중 하나는 Sidelink 통신으로, 주변 차량과 통신 할 때 기지국을 거치지 않고 직접 통신할 수 있는 기술임. NR V2X의 Sidelink에는 두 가지 모드가 있으며, 모드 1은 sidelink를 위한 자원을 기지국이 할당해 주는 방식이며, 모드 2는 자동차가 스스로 자원을 할당하는 방식임. 특히, 모드 2의 자원 할당 방식에 사용되는 알고리즘을 Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling (SB-SPS)라고 함[30]

㉔ 이러한 SB-SPS는 주기적인 패킷 전송 시나리오를 가정하고 있으나, LTE V2X에서 NR V2X로 주요 변경 점 중 하나는 바로 비주기적인 패킷 전송이 허용된다는 것임. 비주기적인 패킷 전송을 허용한 가장 큰 이유는 중복되는 데이터 전송을 막기 위한 것임. 비주기적인 패킷 전송은 ETSI CAM 규칙을 따름 [36]. SB-SPS는 주기적인 패킷 전송 시나리오를 가정하고, 주기적인 패킷 전송 시나리오에서 발생하는 특징들을 반영하기 때문에, 비주기적인 패킷 전송 시나리오 하에서 몇 가지 문제가 있을 수 있음 [29]. 그림 46은 주기적인 패킷 전송 시나리오에서 SB-SPS의 동작을 보여줌

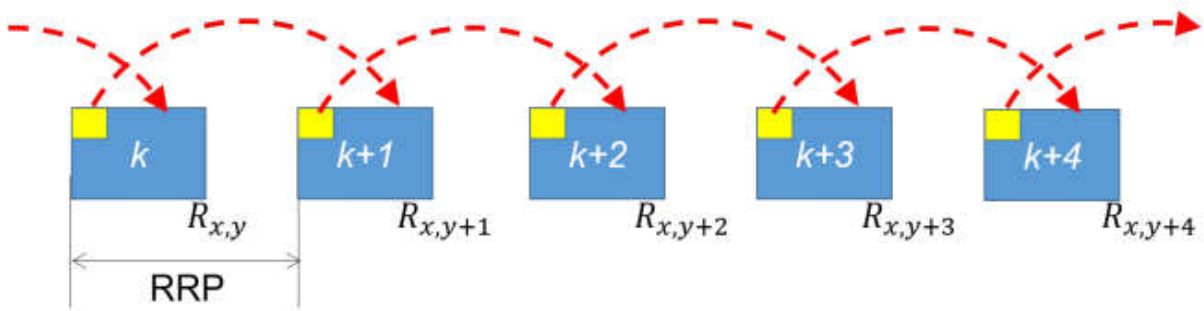


그림 46. 주기적인 패킷 전송 시나리오에서 SB-SPS의 자원 예약 체인 형성 모습

㉔ 그림 46에서, SPS에서 SCI의 Resource Reservation Period (RRP) 정보를 이용한 자원예약이 체인을 형성하며 원활하게 이뤄지고 있음을 볼 수 있음[37]. 그림 47은 비주기적인 패킷 전송 시나리오에서 SPS의 자원 예약이 비효율적으로 이뤄지는 모습을 나타냄

㉔ 그림 47에서, 비주기적인 패킷 전송 시나리오에서는 SPS의 자원 예약 과정이 크게 두 가지의 문제를 일으킴을 알 수 있음. 첫 번째는 예약한 자원에 패킷 전송이 이뤄지지 않는 경우임. 이는 자원 경쟁을 부추기기 때문에, 특히 채널 점유율이 높은 상황에서는 큰 문제를 일으킬 수 있음. 두 번째는 예약하지 않은 자원에 패킷 전송이 이뤄지는 경우임. 자원을 예약하지 않았기 때문에, 다른 자동차들은 그 자원에 동시에 패킷 전송이 이뤄질 수 있으며, 이 경우 수 초간 패킷 충돌로 이뤄지고 이는 심각한 문제를 야기할 수 있음. 우리는 실제에 더 가까운 환경인 비주기적인 패킷 전송 시나리오에서 SPS가 효율적이지 못함을 인지하고, 이를 개선하기 위한 연구를 진행함

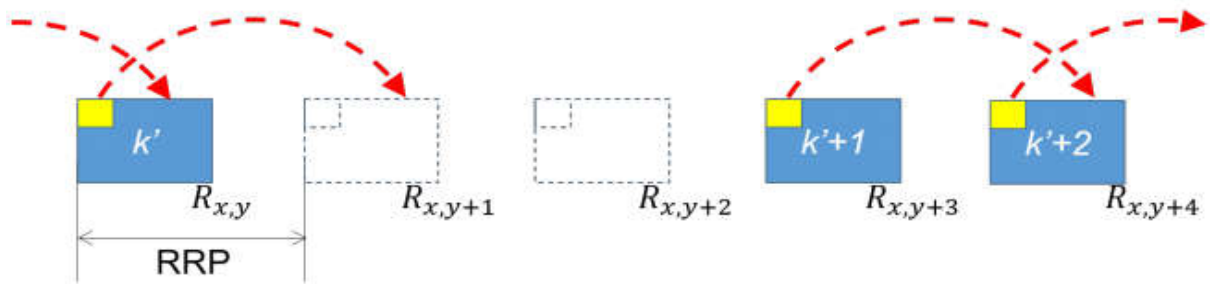


그림 47. 비주기적인 패킷 전송 시나리오에서 SB-SPS의 자원 예약 과정

㉔ 우리는 SPS에서 예약 방식을 강화하였고, 개선된 SPS를 RAP (Reservation for Aperiodic Packets)라고 부르기로 함. RAP는 비주기적인 패킷 전송 시나리오를 가정하지만, 패킷 전송에 약간의 주기성을 주기 위해서 우리는 traffic shaping이라는 것을 진행함. Traffic shaping은 패킷 전송 간격을 $i \times \delta$ 로 강제하는 것을 의미함. 여기서 i 는 1 이상의 자연수이며, δ 는 최소 패킷 전송 간격을 의미함. 즉, 패킷이 상위계층인 Facilities layer로부터 도착했을 때, Access layer에서 패킷 전송을 의도적으로 늦춰 이전 패킷과의 전송 간격을 δ 의 배수가 되도록 맞추는 일임. 그림 48은 traffic shaping의 진행 과정을 나타낸 것임

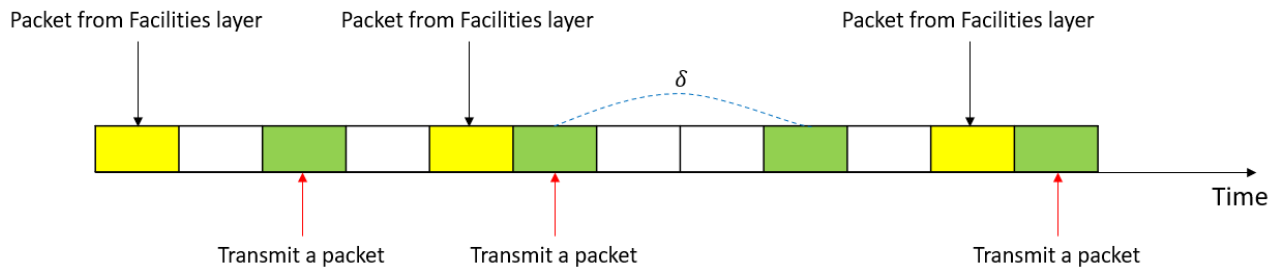


그림 48. Traffic shaping 과정

- ㉞ RAP는 크게 두 부분으로 이뤄져 있음. 첫 번째가 자원 할당 부분이고, 두 번째가 자원 예약 부분임. 자원 할당 부분은 다음과 같은 과정을 거침. 만약 패킷이 생성된다면, Reselection Counter (RC) 값을 1만큼 감소함. 이때, RC의 값이 1과 같다면, 현재 사용하고 있는 subchannel의 자원을 그대로 유지할지 결정하게 됨. 만약 유지한다면, RC의 값은 5에서 15의 값 중의 하나를 임의로 선택하여, 현재의 값에서 더하게 됨. 그 후, 자원 예약 과정으로 넘어가게 됨. 만약 RC가 0의 값을 갖고 있는 상태라면, RC의 값을 5에서 15의 값 중 하나를 임의로 배정하게 되고, SPS를 실행하여 후보자원 목록을 생성함. 만약 자원 예약 부분에서 예약한 자원이 후보자원에 속해 있다면, 그 자원을 사용하고, 그렇지 않다면 후보 자원 중에 임의로 선택하여 선택한 자원을 사용하게 됨. 모든 과정이 끝나면 자원 예약 부분으로 넘어감. 그림 49는 자원 할당의 과정을 나타낸 것임

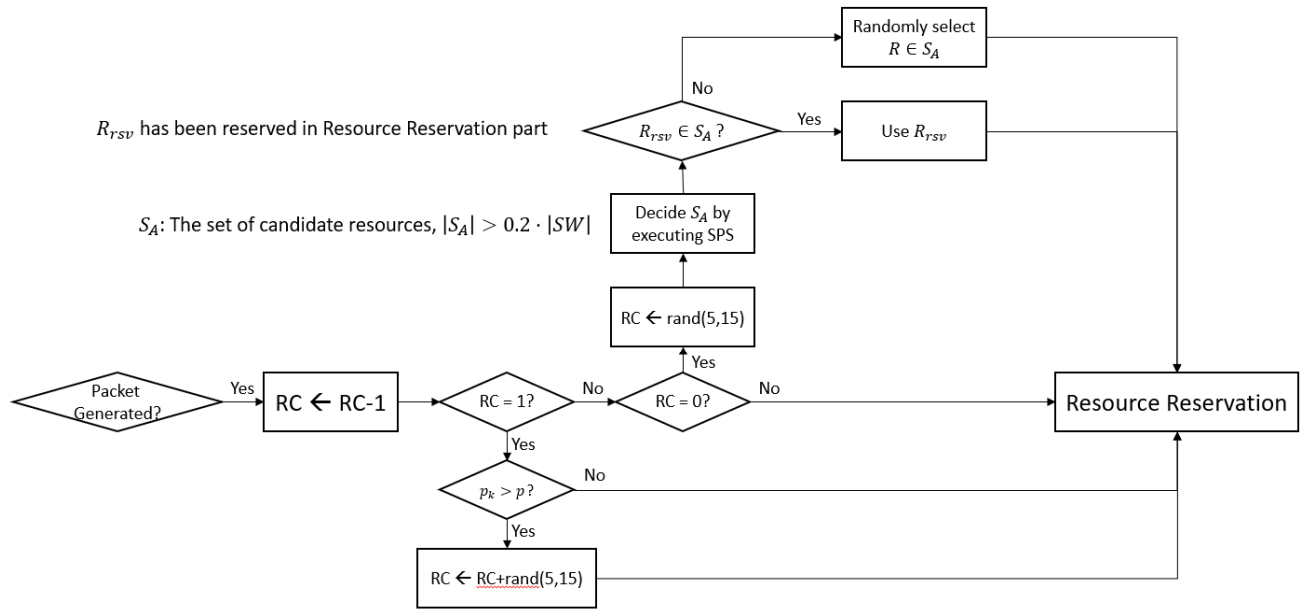


그림 49. RAP의 자원 할당 과정을 나타낸 순서도

- ㉔ RAP의 자원 예약 과정은 다음과 같음. 이전 m 개의 패킷 전송 주기를 살펴서, 다음 전송 주기를 Markov 패킷 전송 주기 모델에 따라 확률이 높은 순서대로 최대 2개까지 결정함. 이때 Markov 패킷 전송 주기 모델은 ETSI CAM 규칙을 적용했을 때, 실제 주행 중에 얻어진 데이터에 기반한 모델임[38]. 그 후, 만약 남아 있는 예약이 있다면 그 예약을 취소하는 bit를 추가함. 만약 RC의 값이 1이 아니라면, 선택한 패킷 전송 주기만큼 떨어져 있는 자원을 선택함. 만약 RC의 값이 1이라면, SPS를 실행하여 후보자원 목록을 결정한 후, 그 중에서 자원 하나를 선택하여, 다음 packet run의 시작지점을 결정함. 마지막으로, 예약할 자원의 정보와 함께 패킷 전송이 이뤄짐. 그림 50는 자원 예약 과정을 나타낸 순서도임

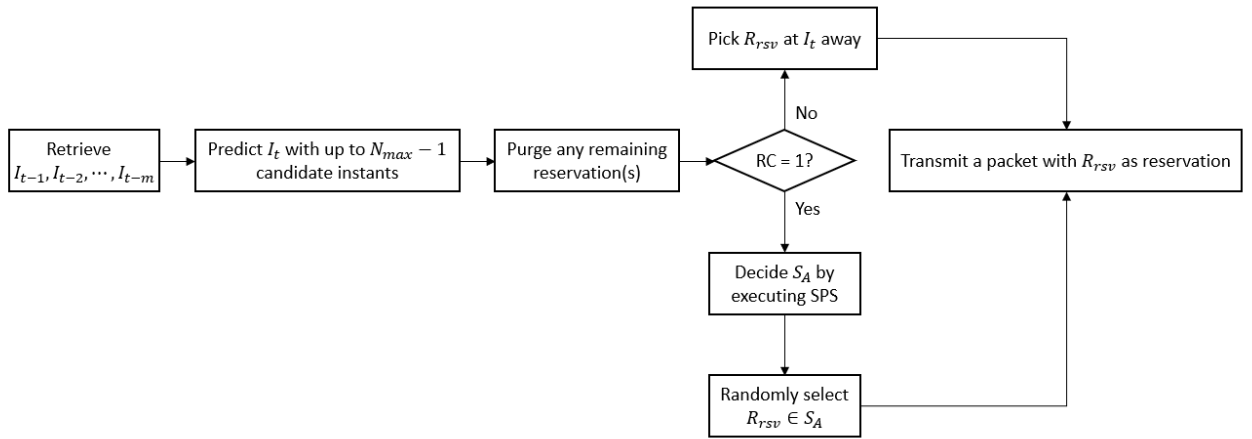


그림 50. RAP의 자원 예약 과정을 나타낸 순서도

- ㉠ 우리가 제안한 알고리즘의 성능을 측정하기 위해, 패킷 수신율과 통신 범위를 측정해봄. 그림 51은 비주기적인 패킷 전송 상황에서 전송 차량과 수신 차량의 거리에 따른 패킷 수신율을 나타냄. 자원 유지 확률에 상관없이 RAP가 기존의 SPS보다 더 나은 패킷 수신율을 보이는 것을 알 수 있음. 특히, 자원 유지 확률이 낮을수록 RAP의 패킷 수신율이 올라가는데, 이는 예상을 뛰어넘는 흥미로운 결과임

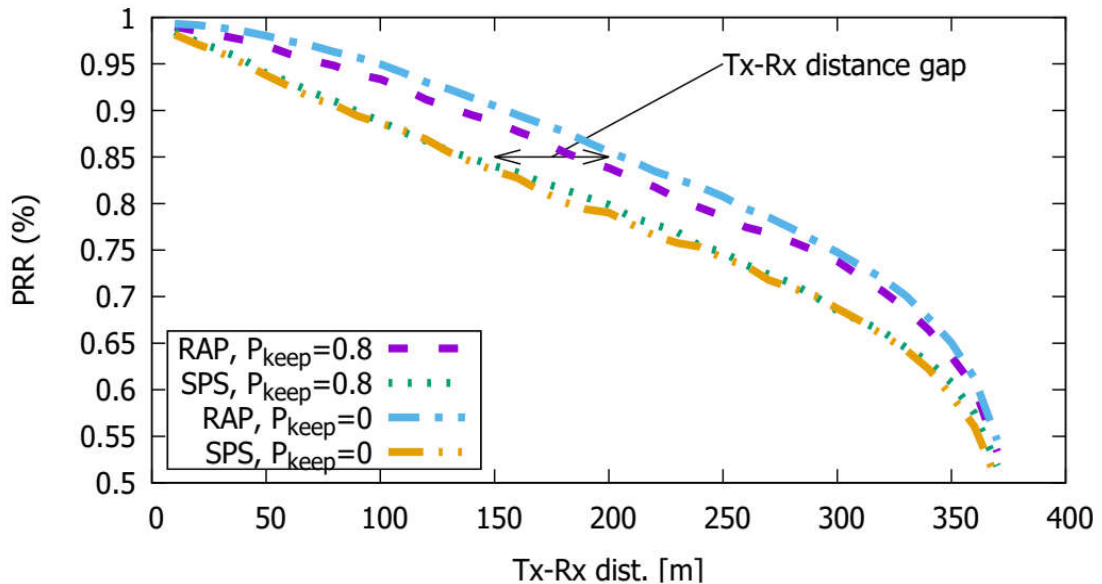


그림 51. 송신자 수신자 간 거리에 따른 패킷 수신율

- ㉡ 통신 거리가 얼마나 확장됐는지 알아보기 위해, 우리는 패킷 수신율에 따른 통신

범위의 확장이 얼마나 이뤄졌는지 확인해보았음. 그림 52는 자원 유지 확률이 0일 때의 통신 범위 확장을, 그림 53은 자원 유지 확률이 0.8일 때의 기존 SPS에 비해 통신 범위 확장을 나타내는 그림임

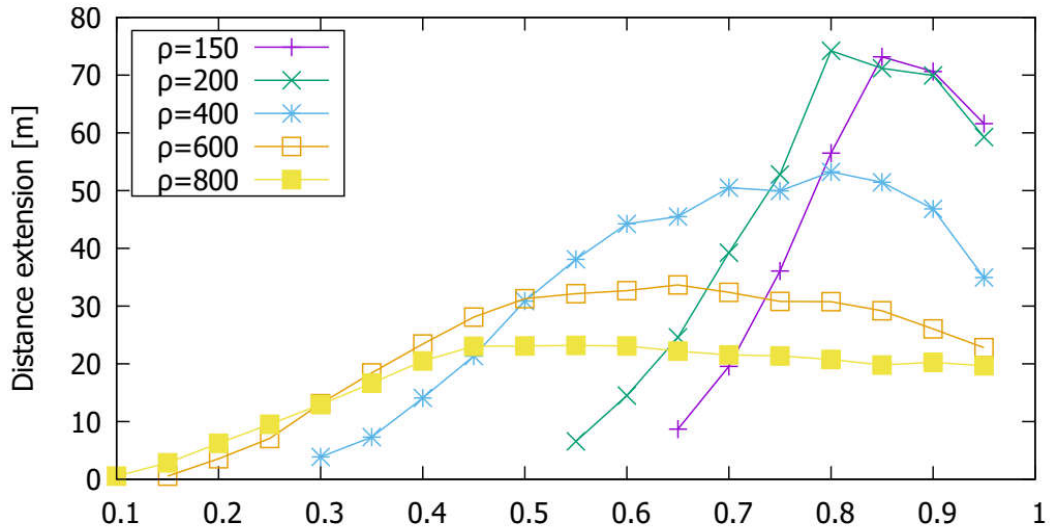


그림 52. 자원 유지 확률이 0일 때의 확장된 통신 범위

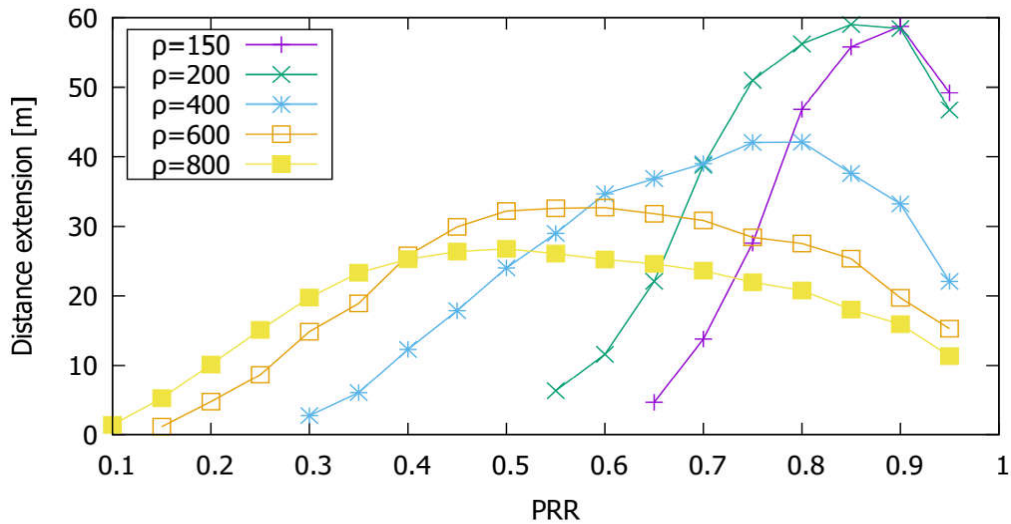


그림 53. 자원 유지 확률이 0.8일 때의 확장된 통신 범위

- ㉔ 그래프에서, 자원 유지 확률이 0이라면, 기존 SPS에 비해 최대 70m 이상의 통신 범위 확장을 기대할 수 있음. 또한, 차량 밀도가 낮은 상황일수록, 즉, 채널 점유율이 낮을수록 통신 범위 확장이 더 많이 이뤄지게 됨. 차량 밀도가 높은 상황일수록, 즉, 채널 점유율이 높을수록 확장되는 통신 범위는 20m 정도로 제한됨. 이는 채널 점유율이 높은 상황이기 때문에 예약을 위한 자원이 적게 남아있기 때

문임. 같은 차량 밀도 상황이라면 자원 유지 확률이 낮을수록 통신 범위가 더 많이 확장되는 것을 알 수 있음

③ 연구 결과

- ㉔ 이 연구는 비주기적인 전송 상황에서 기존 SPS의 예약 부분에서 발생할 수 있는 문제점을 해결하는 연구임. 이때, 비주기적인 전송은 중복되는 정보의 전송을 방지하는 상황으로써, 중복되는 정보 전송을 방지하는 상황에서의 효율적인 자원 배분이 이뤄지는 연구를 진행했다고 할 수 있음

(타) Broadcast feedback을 통한 연속적인 패킷 충돌 감소에 관한 연구

① 연구 수행 방법

- ㉔ Broadcast에 대한 feedback 방법과 이를 통해 연속적인 패킷 충돌을 감소시키는 방법 제시 및 시뮬레이션

② 연구 내용

- ㉔ 3GPP는 Release 16을 제시하며 5G NR V2X의 Sidelink Mode 2에서의 자원 할당 방법인 Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling (SPS)를 정의함[35]. SPS는 차량이 sensing을 통해 자원을 선택하고, 선택한 자원을 반영구적으로 사용할 수 있도록 함[30], [36]. 선택한 자원을 반영구적으로 사용하는 특성으로 인해, SPS를 사용하게 되면 패킷 충돌이 꽤 긴 시간동안 발생할 수 있음. [29]에 따르면, SPS를 사용할 경우, 1%의 확률로 3초 동안의 연속적인 패킷 충돌이 발생할 수 있음. 이는 저지연성을 추구하는 자동차 통신에서는 매우 긴 시간이며, 큰 사고로 이어질 수 있음. 따라서 우리는 본 연구를 통해 연속적인 패킷 충돌의 문제를 브로드캐스트에 대한 피드백 방식을 이용하여 해결하고자 함

- ㉔ 우리가 제시하는 브로드캐스트 피드백은 패킷 충돌을 해결하고자 하는 문제 해결 방식임. 따라서 효율적인 브로드캐스트 피드백 방식의 제공을 위해서는 다음과 같은 세 가지에 대해 논의를 해야함. 첫 번째는 패킷 충돌을 정확하게 판별하는 것임. 두 번째는 피드백 제공자의 입장에서, 어떤 차량이 피드백을 제공할 것인지에 대한 메커니즘을 제공해야 함. 마지막으로, 피드백 소비자의 입장에서 수신차량이 피드백을 받았을 때, 취해야 할 메커니즘도 제공해야 함

- ㉔ 먼저, 아래는 패킷 충돌을 판별하는 메커니즘에 대한 설명임. 패킷 충돌을 판별하는 과정은 총 세 가지의 조건을 만족해야 패킷 충돌이라고 규정할 수 있음. 세

가지는 RSSI (Received Signal Strength Indication), SINR (Signal to interference plus noise ratio), IBE (In-Band Emission)에 대한 조건임

- ㉔ 첫 번째는 RSSI 조건임. 앞으로 자원 R 에서 느껴지는 RSSI를 $\gamma(R)$ 라고 정의함. RSSI는 해당 자원에 패킷 송신을 진행하는 송신자들로부터 느껴지는 파워의 합과 다른 채널에서 새어나온 파워인 IBE 파워, 두 가지 신호의 합으로 생각될 수 있음. 여기서, $\gamma'(R)$ 을 자원 R 에 패킷을 전송한 전송자들로부터 느껴지는 신호 세기의 합으로 정의함. 또한, $\alpha_{i,j}$ 를 채널 i 에서 채널 j 로 새어나온 파워의 비라고 정의함. 그러면 타임 슬롯 n , 서브채널 k 에서 느껴지는 그 자원으로의 순수한 파워의 합은 다음과 같음

$$\gamma'(R_k^n) = \gamma(R_k^n) - \sum_{i \neq k} \alpha_{i,k} \gamma'(R_i^n)$$

- ㉕ 우리는 이러한 $\gamma'(R)$ 이 RSSI 임계치인 θ_{RSSI} 를 넘으면 충돌일 수 있다고 가정하였음. 실험적으로, θ_{RSSI} 는 -85.2dBm으로 설정하였음. 이는 수신자로부터 130m 거리에 떨어진 두 차량이 동시에 전송했을 때, 느껴지는 순수 수신 파워의 합임. 정리하면, RSSI 조건은 아래와 같음

$$\gamma'(R) > \theta_{RSSI}$$

- ㉖ 다음은 SINR 조건임. 이 조건은 실제상황에서 패킷이 디코딩이 안되는 조건과 같음. 만약 패킷 충돌이 일어난다면, 파워 캡처 효과가 일어나지 않는 이상 해당 자원의 SINR이 낮아져 패킷 디코딩이 제대로 이뤄질 수 없음. 따라서 만약 SINR 값(σ)이 SINR 임계치(θ_{SINR})보다 작다면, 이는 패킷 충돌의 가능성이 있음. 우리의 실험에서는 MCS 레벨 7을 이용하였고, 따라서 SINR 임계치는 7.30dB임[37]. 정리하면, SINR 조건은 아래와 같음

$$\sigma < \theta_{SINR}$$

- ㉗ 세 번째는 IBE 조건임. 패킷이 decoding이 되지 않는 이유에는 패킷 충돌도 있지만, 인접한 서브채널에서 새어나오는 파워의 크기가 커, 간섭이 커지기 때문에 패킷이 디코딩되지 않을 수도 있음. 만약 대상 자원과 인접한 서브채널에 송신하는 차량이 수신 차량 근처에 있다면, 수신 차량 입장에서는 대상 자원에 보내진

패킷이 제대로 디코딩되지 않음. 또한, 대상 자원에 실린 파워와 인접 서브채널의 자원에 실린 파워가 항상 같지 않기 때문에 이 조건은 해당 자원의 비의 형태로 존재해야함. 따라서, IBE threshold를 β 라고 한다면, β 는 아래와 같은 값을 가짐

$$\beta = \frac{\gamma'(R_k^n)}{\sum_{i \neq k} \alpha_{i,k} \gamma'(R_i^n)}$$

- ㉞ 여기서, 우리의 시뮬레이션 설정 상에서, α 는 0.35%의 값을 가짐. 따라서 IBE 조건은 아래와 같음

$$\theta_{SINR} < \beta$$

- ㉟ 위 세 조건을 모두 만족한다면, 우리는 그 자원에서 패킷 충돌이 일어났다고 간주함

- ㊱ 다음은 피드백이 어떻게 작동하는지에 대한 것임. 피드백 제공자의 입장에서, 제공자는 자신의 직전 전송시간부터 바로 다음 전송시간까지 패킷 충돌이 일어났는지를 계속 모니터링 함. 피드백 제공자는 각자 충돌 피드백 큐를 생성함. 충돌 피드백 큐는 FIFO 구조로 되어있으며, 중간의 데이터를 삭제할 수 있다는 특징을 갖고 있는 큐임. 피드백 제공자는 패킷 충돌이 감지되면 자신의 충돌 피드백 큐 안에 입력함. 만약 다른 차량이 자신의 충돌 피드백 큐 안의 자원을 피드백 해주고, 이 피드백을 받았다면, 그 자원을 충돌 피드백 큐에서 삭제시킴. 마지막으로 자신의 전송차레에 충돌 피드백 큐를 디큐하여 디큐된 자원을 피드백 함

- ㊲ 피드백 소비자는 피드백을 받았을 때, 피드백 된 자원이 자신이 사용하고 있는 자원과 일치한다면, 사용하고 있는 자원을 즉시 교체함. 이때, Reselection Counter (RC)의 값도 5에서 15 사이의 임의의 값으로 새로 배정받음. 이러한 자원 교체 프로세스는 RC 값이 0 이어서 자원 교체 시기가 오지 않아도 즉시 교체하는 것이 중요함

- ㊳ NR V2X에서는 Resource Reservation Pointer를 제외하고 최대 두 개의 자원 포인터를 사용할 수 있음. 따라서 우리의 이러한 제안은 자원 포인터 한 개를 이용하여 구현이 가능함. 다만 LTE V2X에는 이러한 자원 포인터가 주어지지 않았

음. 하지만 SCI 내에 ‘Reserved bit’를 사용하여 구현이 가능함. 만약 서브채널이 2개라면 주파수 축을 나타내는 bit는 2개, 서브채널이 3~4개라면, 주파수 축을 나타내는 bit는 3~4개가 됨. 또한 최대 약 100ms까지 떨어진 자원을 피드백하기 때문에, 시간 축 상으로는 7 bit가 필요함. 정리하면, 약간의 bit를 소모한다면, LTE V2X 상에서도 충분히 브로드캐스트에 대한 피드백을 사용할 수 있음

- ㉞ 우리가 제안한 방식이 얼마나 효과적인지 알아보기 위해, 우리는 차량 밀도가 km당 100, 150, 200, 250대인 상황에서 실험을 진행하였음. 이때의 채널 점유율은 각각 45.94%, 62.85%, 74.44%, 83.03%임. 또한, 연속적인 패킷 충돌을 줄이기 위한 방법으로 제안된 또 다른 방법과의 비교도 진행하였음. 이 방법은 자원을 두 개를 선택하여 번갈아 사용하는 방법임. 마지막으로, 신뢰성을 올리기 위한 측면으로써 표준에서 제안된 blind retransmission과의 비교도 진행하였음. 아래의 그림 54, 그림 55, 그림 56은 차량 밀도가 각각 km당 100, 150, 250대인 상황에서의 패킷 수신율을 나타냄

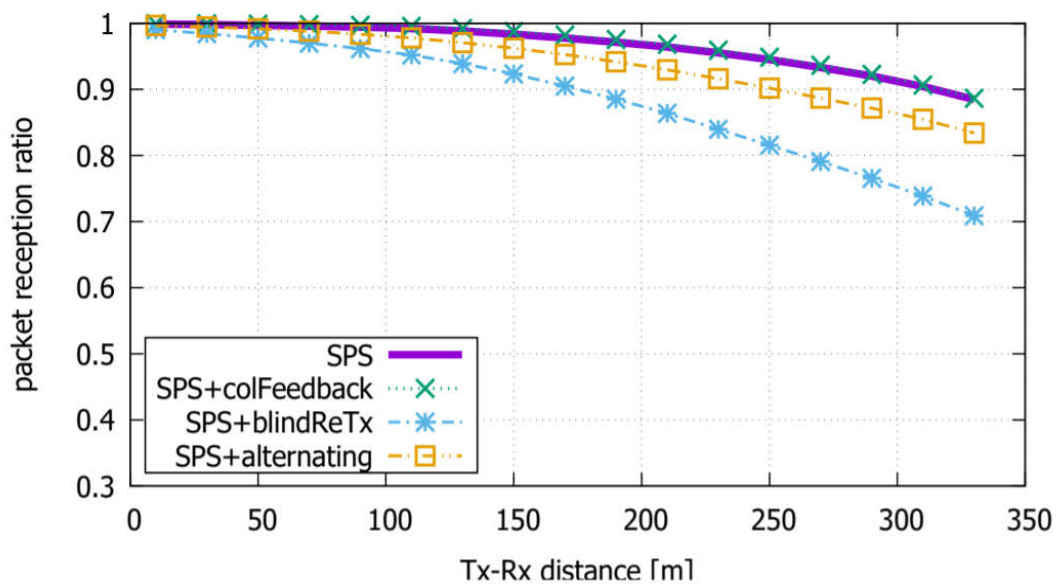


그림 54. 차량 밀도 km당 100대인 상황에서의 패킷 수신율

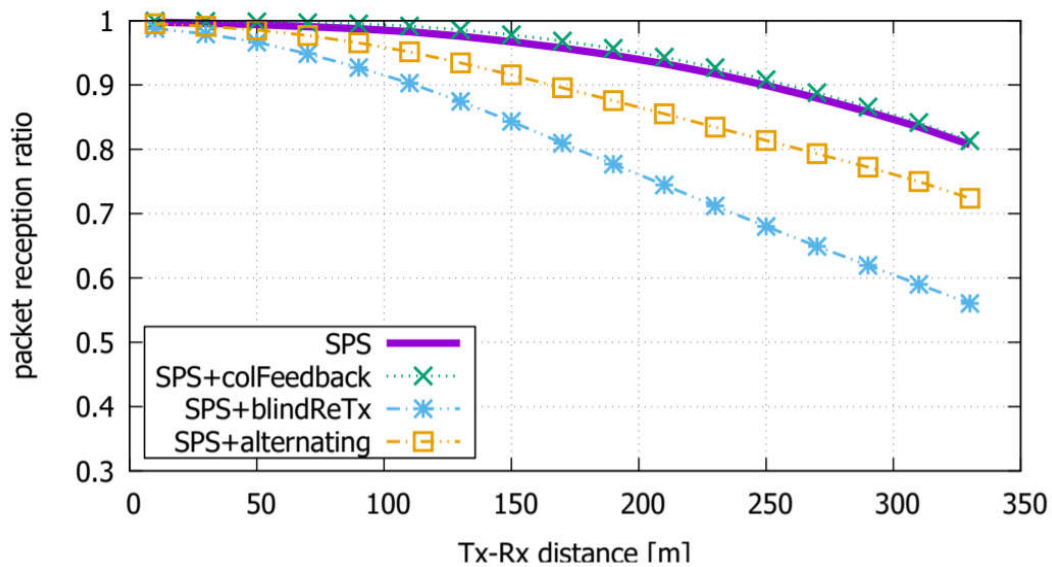


그림 55. 차량 밀도 km당 150대인 상황에서의 패킷 수신율

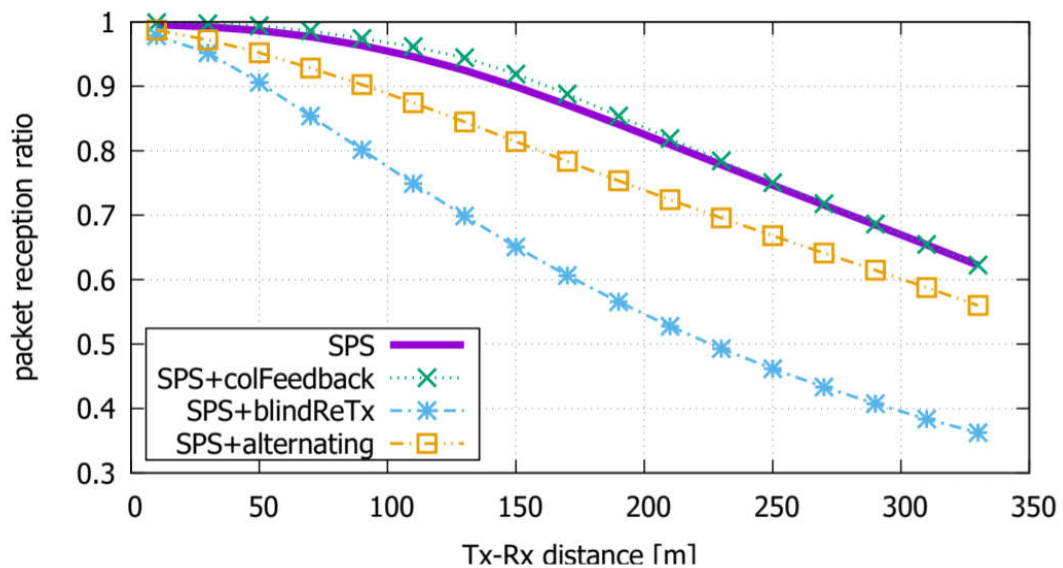


그림 56. 차량 밀도 km당 250대인 상황에서의 패킷 수신율

㉠ 패킷 수신율의 측면에서, 우리가 제안한 방법만이 기존 SPS에 비해 패킷 수신율 측면에서 손해가 발생하지 않음을 알 수 있음. 특히, 표준의 Blind Retransmission은 재전송으로 인해 채널 점유율이 높아지면서, 패킷 수신율 측면에서 매우 좋지 않은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었고, 이는 사실상 사용하지 못하는 방안이라는 것을 보여줌. 다음은 연속적인 패킷 충돌의 측면에서 살펴보도록 함

㉡ 그림 57는 한 번 패킷 충돌이 발생했을 때, 연속적인 패킷 충돌 횟수의 평균값과

95%의 신뢰구간을 나타낸 그래프임. 여기서 SPS는 한 번 충돌이 발생했을 경우, 약 2,000~2,500ms 동안 충돌이 지속되는 것을 확인할 수 있었음. 피드백을 이용한 우리의 제안은 충돌 지속시간이 100~200ms 정도에 머무는 것을 확인할 수 있었으며, 자원을 번갈아가면서 사용하는 제안과 비슷한 값을 갖는다는 것 또한 확인할 수 있었음

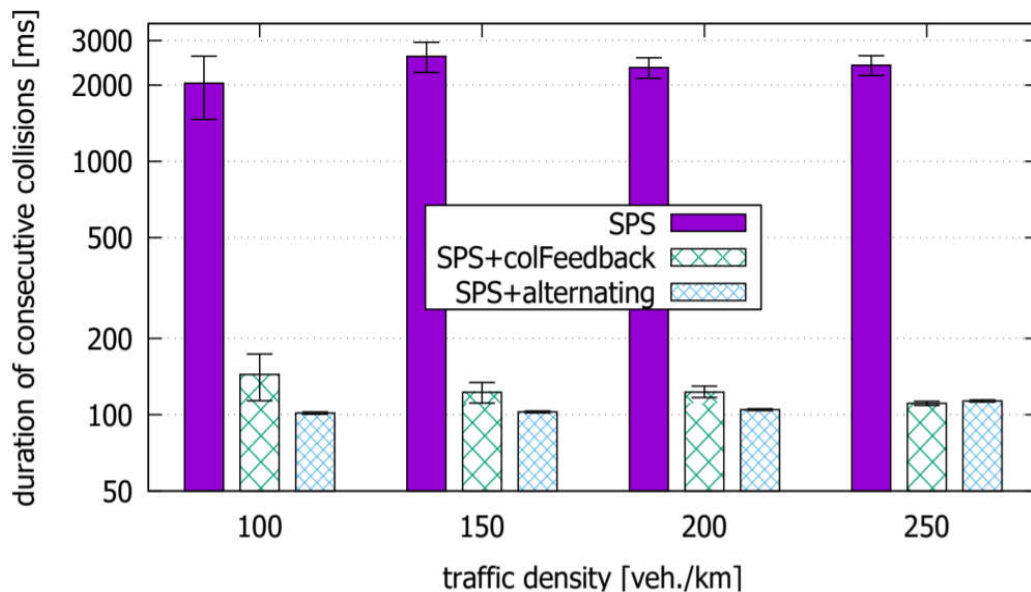


그림 57. 연속적인 패킷 충돌 횟수의 평균과 95%의 신뢰구간

- ㉠ 그림 58는 충돌 사건이 일어나는 횟수를 나타내며, 그림 59은 전체 충돌 횟수를 나타냄. 우리가 제안한 피드백 기반의 방안은 다른 어떤 방안들보다도 충돌 사건이 매우 적게 발생하는 것을 볼 수 있음. 더불어, 전체 충돌 또한 다른 방안들보다도 매우 적게 발생하는 것을 볼 수 있음. 즉, 우리는 본 연구를 통해 SPS에서 발생할 수 있는 연속적인 패킷 충돌을 브로드캐스트에 대한 피드백으로 효율적으로 해결하는 방안을 제시하였음

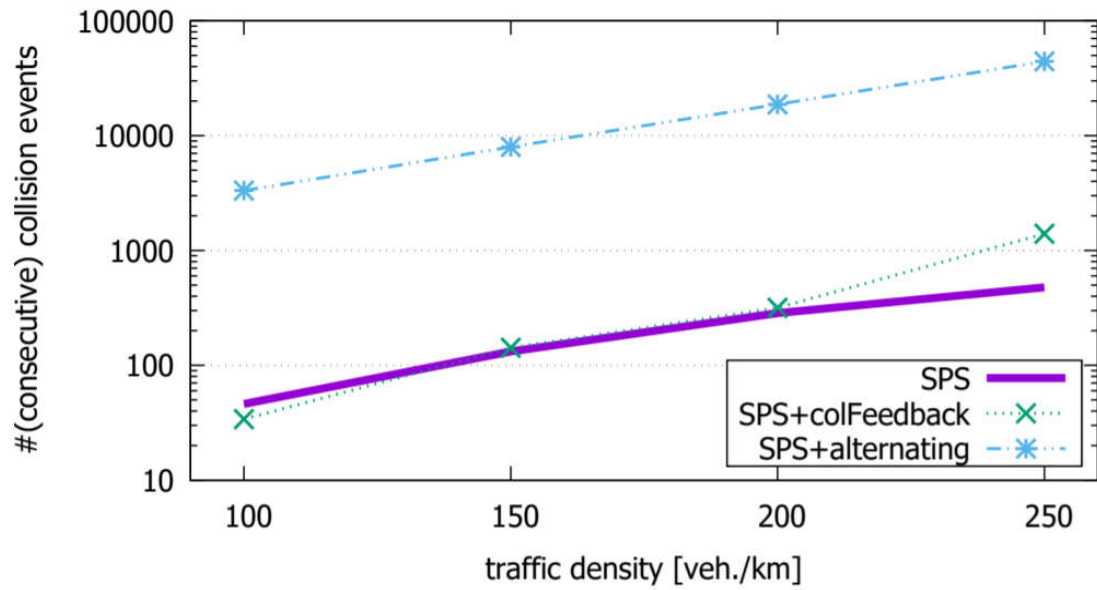


그림 58. 충돌 사건이 일어나는 횟수

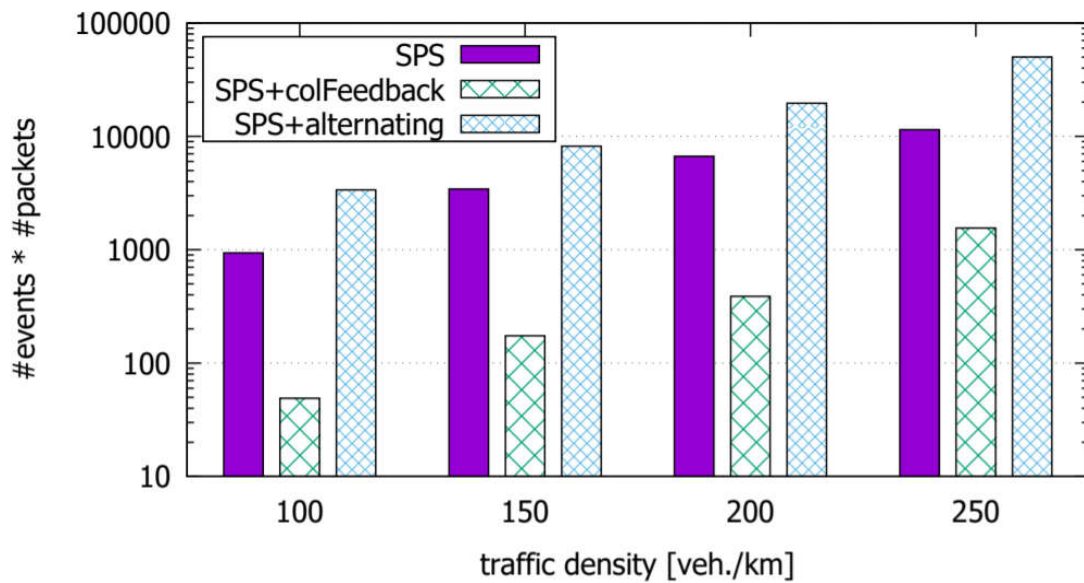


그림 59. 전체 충돌 횟수

③ 연구 결과

㉠ IEEE ICC 2021에 해당 연구 내용이 실린 논문을 제출하였음.

(파) 다수의 IoT 기기와 차량의 무선 자원 할당 효율화 연구

① 연구 수행 방법

㉠ Sensing이 제한된 다수의 IoT 기기와 차량의 무선 자원 할당을 효율적으로 이뤄질 수 있는 방안 제시 및 시뮬레이션

② 연구 내용

- ㉠ LTE V2X가 표준화되면서 배터리 절약 등의 문제를 해결하는 방식인 partial sensing을 허용함. 또한 많은 도로 주변 IoT 기기 중에는 sensing을 못하는 기기들도 많음. Sensing을 매우 제한적으로만 하거나 아예 하지 못하는 기기들의 경우, 자원을 임의로 선택하여 사용하는 수밖에 없음. 그럼에도 불구하고 가장 최근의 Release 16 NR V2X는 자동차 등의 full-sensing 기기들의 자원 스케줄링에 관해서만 규정하고 있음. 그 결과, Release 17의 주요 쟁점 중 하나는 NR V2X의 전력 절감 방법임[42]
- ㉡ 5G 시대로 와서도 전력 절감 방법은 LTE의 것을 유지함. 즉, 전력 절감 방법으로 sensing을 매우 제한적으로만 하게끔 함. 이는 결과적으로 사용하는 자원을 임의로 선택하는 결과로 이어지고, 이는 결국 패킷 충돌의 문제로 이어질 확률이 높음[30]. 따라서, partial sensing 기기들과 full sensing 기기들의 무선 자원 할당을 효율적으로 분배할 수 있는 방안이 필요함. 본 연구를 통해 그 방안을 제안하고 실험하여 우리가 제안한 방법의 효율성을 알아봄
- ㉢ Full sensing 기기들과 partial sensing 기기들의 무선 자원 할당이 효율적으로 이뤄지기 위해선 채널 정보를 정확하고 많이 알고 있는 full sensing 기기들의 ‘협조’가 필요함. 즉, full sensing 기기들은 partial sensing 기기들이 사용하는 자원을 피해줌으로써 패킷 충돌을 막을 수 있음
- ㉣ NR V2X로의 발전 과정 중 주요 변경 점 중 하나는 Resource Reservation Pointer (RRP)를 제외하고도 두 개의 추가적인 자원 포인터를 사용할 수 있다는 것임. 우리는 이러한 RRP를 이용하여 이 문제를 해결하였음. 구체적으로, Random Selection Device(RSD)들이 다음번 전송에 사용할 자원을 미리 골라놓고, Sidelink Control Information (SCI)내의 자원 포인터를 이용하여 해당 자원을 가리킴. 그러면 Full-Sensing Device(FSD)들은 해당 메시지를 받을 수 있으므로, 패킷 내의 SCI의 자원 포인터를 보고 해당 자원에서 전송을 하지 않음. 구체적으로, 만약 FSD의 전송이 RSD가 선택한 자원에 전송이 예정되어 있다면, 그 자원에 전송하지 않고 그 자원으로부터 시간 축으로 Δ 만큼 떨어진 자원들 중, 사용 가능한 자원에서 패킷 전송을 함
- ㉤ 여기서, Δ 만큼 떨어진 자원들을 jitter 자원이라고 부름. Jitter 자원에서 사용 가

능한 자원이란, FSD나 RSD에 의해 사용하겠다고 명시되지 않은 자원을 말함. 또한 Jitter 자원을 활용할 때, Packet Delay Budget (PDB)에 맞춰야 함. 그림 60은 RSD와 FSD의 자원 선택 과정을 나타낸 것임

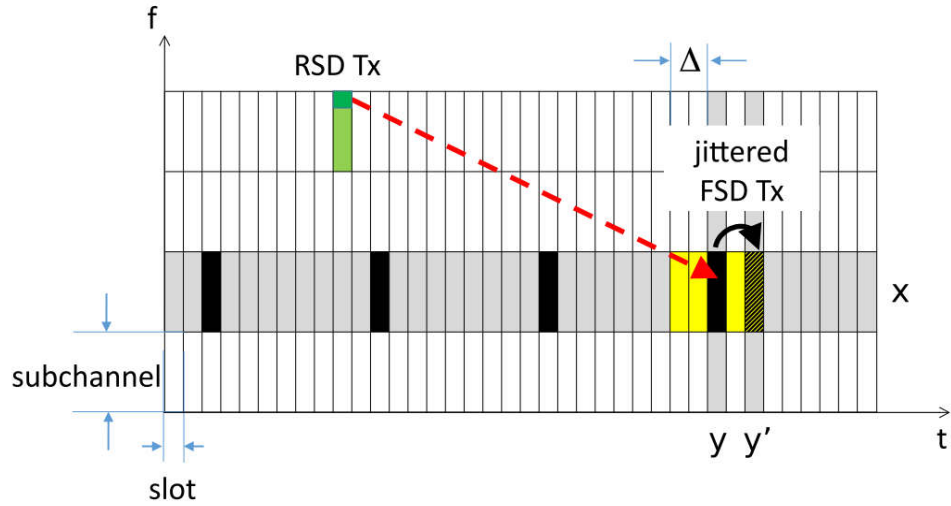


그림 60. RSD와 FSD의 자원 선택 과정

- ㉞ 우리는 우리가 제안한 방식의 성능에 대해 수학적으로 분석하였음. 만약 N 을 $T=100\text{ ms}$ 동안의 자원의 전체 개수라고 하고, RSD는 1Hz, FSD는 10Hz의 주기로 메시지를 전송한다고 가정함. 또한, ρ_r 과 ρ_f 를 각각 km당 RSD와 FSD의 개수라고 함. $\max_c$ 를 최대 통신 범위라고 가정함. 수학적 분석을 위해 디스크 모델을 가정하면, $\max_c$ 안의 FSD와 RSD의 T 동안의 전송 횟수는 각각 $N_f = 2\rho_f\max_c$, $N_r = \frac{2}{10}\rho_r\max_c$ 임. 편의상 FSD가 완벽한 sensing 과정을 통해 매우 적은 패킷 충돌만 발생시킨다고 가정함. 반면에, RSD가 자원을 임의로 선택하기 때문에, RSD에 의한 전송 횟수 K 는 포아송 분포를 따름. 즉, RSD는 다음과 같은 개수의 자원을 선택함

$$N_r' = N_r(1 - \text{prob}[K=0]) = N_r(1 - e^{-\lambda_r})$$

여기서 $\lambda_r = N_r/N$ 임. 또한, RSD의 전송과 충돌하는 FSD의 전송의 개수는 아래와 같음

$$H_f = N_f(1 - e^{-\lambda_r})$$

- ㉔ 그러나, 우리의 제안을 이용한다면, 이 중 몇 개의 전송은 jitter 자원을 활용하여 충돌이 일어나지 않을 것임. 따라서, 사용 가능한 jitter 자원을 찾을 확률은 아래와 같음

$$S_f = H_f(1 - \gamma^{2\Delta})$$

- ㉕ 여기서, γ 는 채널 점유율임. 또한, 채널 점유율의 정의대로, γ 는 아래와 같이 정의될 수 있음

$$\gamma = (N_f + N_r' - H_f + S_f)/N$$

- ㉖ 여기서 한 가지 알아둬야 할 점은, FSD의 전송이 S_f 만큼 jitter 자원으로 옮겨가면, 같은 개수의 RSD 전송 또한 문제가 일어나지 않는다는 것임. 즉, $S_f = S_r$ 이 성립함. 그림 61는 H_f 와 S_f 를 기기들의 밀도에 대한 함수로 표현한 것이며, $T = 100$ ms, $\Delta = 5$ 일 때를 나타냄

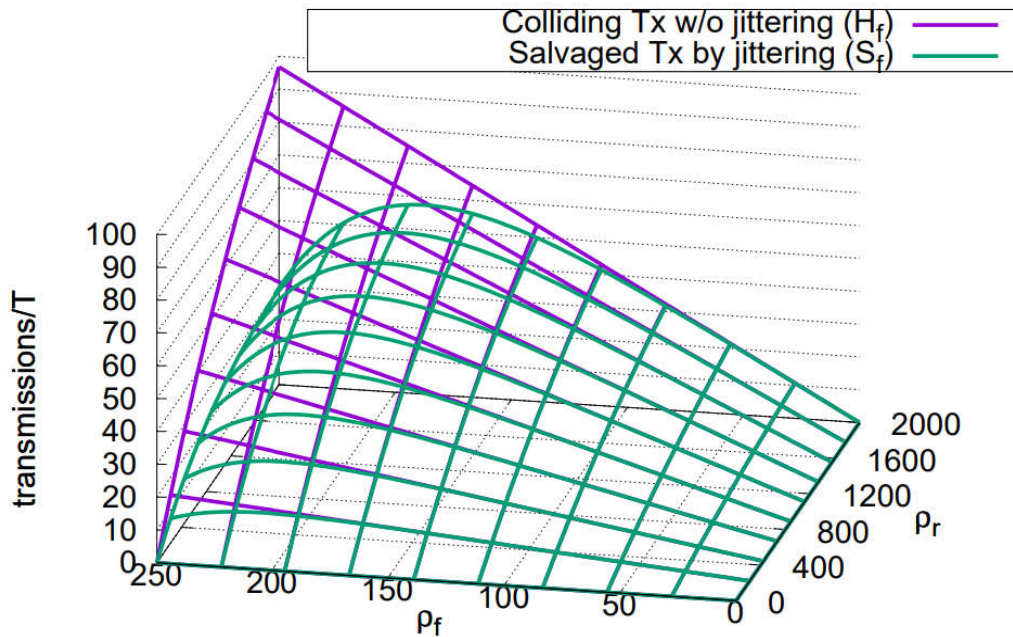


그림 61. SPS에서의 FSD-RSD 충돌 횟수와 우리의 제안에서 구조된 RSD의 전송 횟수

- ㉗ 우리는 먼저, 우리의 제안을 사용하지 않았을 때, sensing이 제한된 RSD의 존재가 FSD의 성능에 얼마나 영향을 미치는지 알아봄. 그림 62은 약 50%의 채널 점유율 상황에서 FSD만 있는 경우와 RSD가 전체 기기의 50%, 75%를 차지할 때의 경우에 대한 패킷 수신율을 나타냄

㉟ 그림 62에서, FSD만 있을 때와 RSD가 공존할 때, 패킷 수신율에 있어서 성능 차이가 심각하게 벌어져 있다는 것을 알 수 있음. 특히, 같은 패킷 수신율에 대해서 통신 범위의 차이가 100m 이상 벌어지는 것을 확인할 수 있음. 다음은 우리의 제안을 이용하였을 때의 성능을 알아봄. 그림 63와 그림 64는 각각 RSD가 전체 기기의 50%, 75%를 차지하는 상황에서 우리의 제안을 사용했을 때와 사용하지 않았을 때 FSD만 있는 경우에 비해 차량간 통신 범위가 얼마나 감소하는지를 나타냄

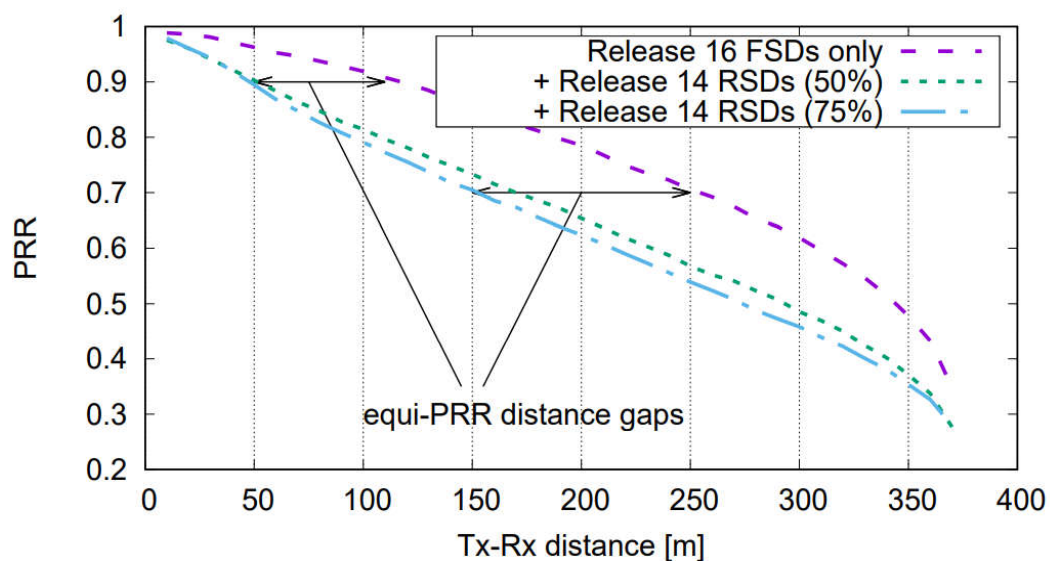


그림 62. RSD가 있을 때와 없을 때의 패킷 수신율

㊸ 그림 63와 그림 64를 보면 같은 패킷 수신율에 대해서, 우리의 제안을 이용하는 경우, 모든 기기 밀도 상황에 대해 우리의 제안을 이용하지 않는 경우보다 더 좋은 통신 범위를 제공하며, 최대 80m 정도의 통신 범위 확장을 제공함을 알 수 있음. 그림 65와 그림 66은 각각 RSD가 전체 기기의 50%, 75%를 차지하는 상황에서 우리의 제안을 사용했을 때, 우리의 제안을 사용하지 않았을 때 비해 RSD의 통신 범위가 얼마나 증가하는지를 나타냄

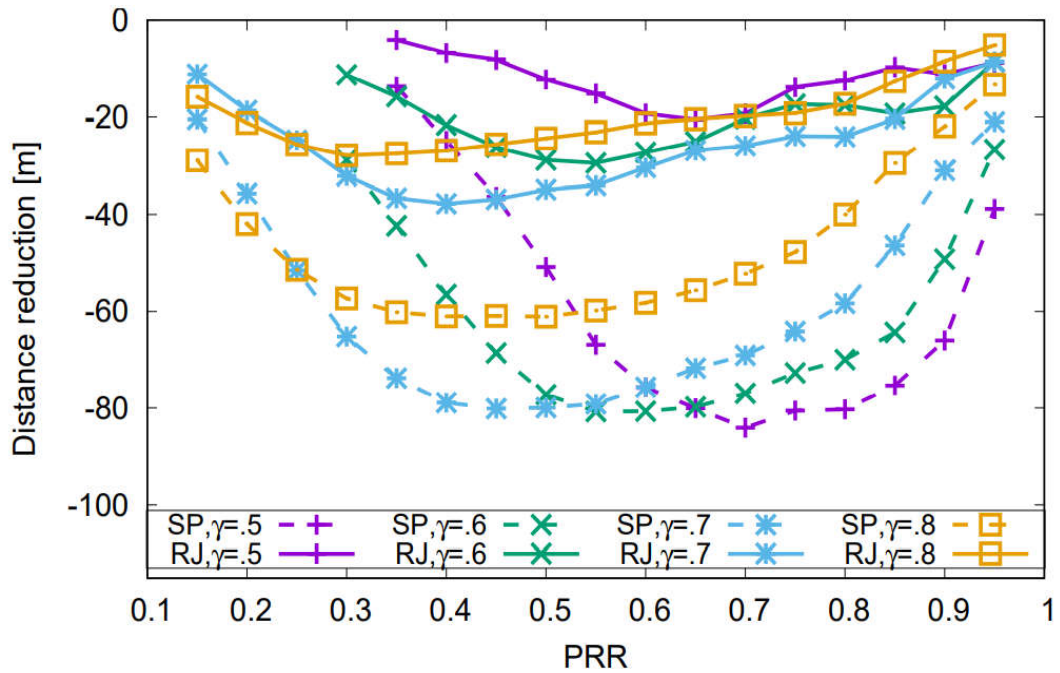


그림 63. RSD가 50%를 차지하는 경우, RSD가 0%인 경우에 비해 감소한 차량간 통신 범위

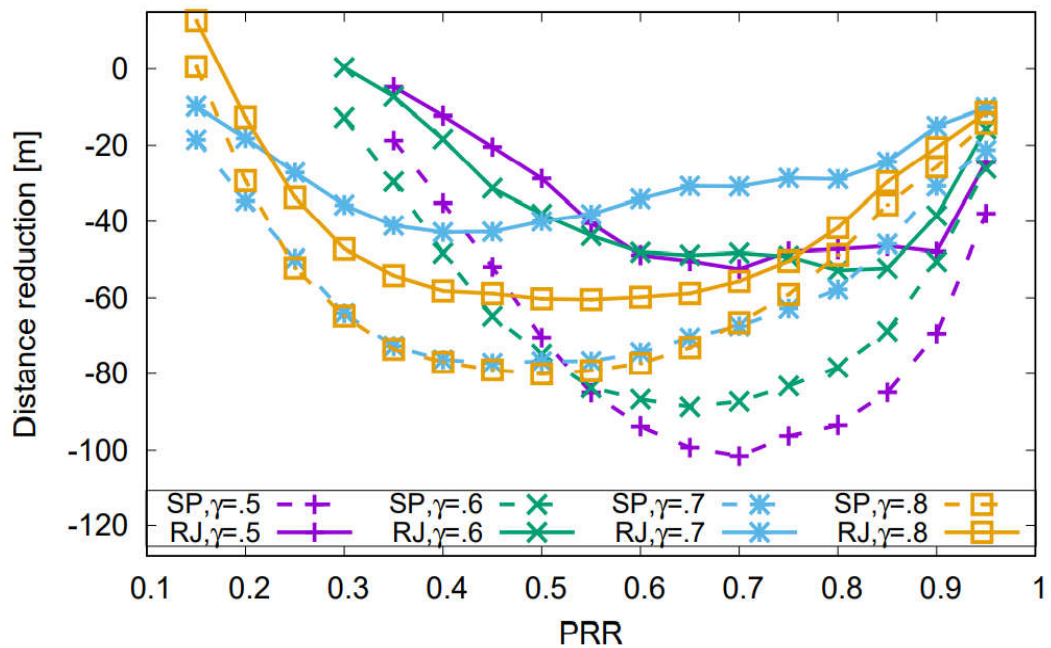


그림 64. RSD가 75%를 차지하는 경우, RSD가 0%인 경우에 비해 감소한 차량간 통신 범위

- ㉠ 그림 65과 그림 66을 보면, 우리의 제안을 사용하였을 때, RSD의 통신 범위는 최대 30m 이상까지 확장됨을 알 수 있음. 따라서, 우리의 제안은 sensing이 제한된 다수의 IoT 기기와 차량의 무선 자원 할당이 효율적으로 이뤄질 수 있게끔 한다고 할 수 있음

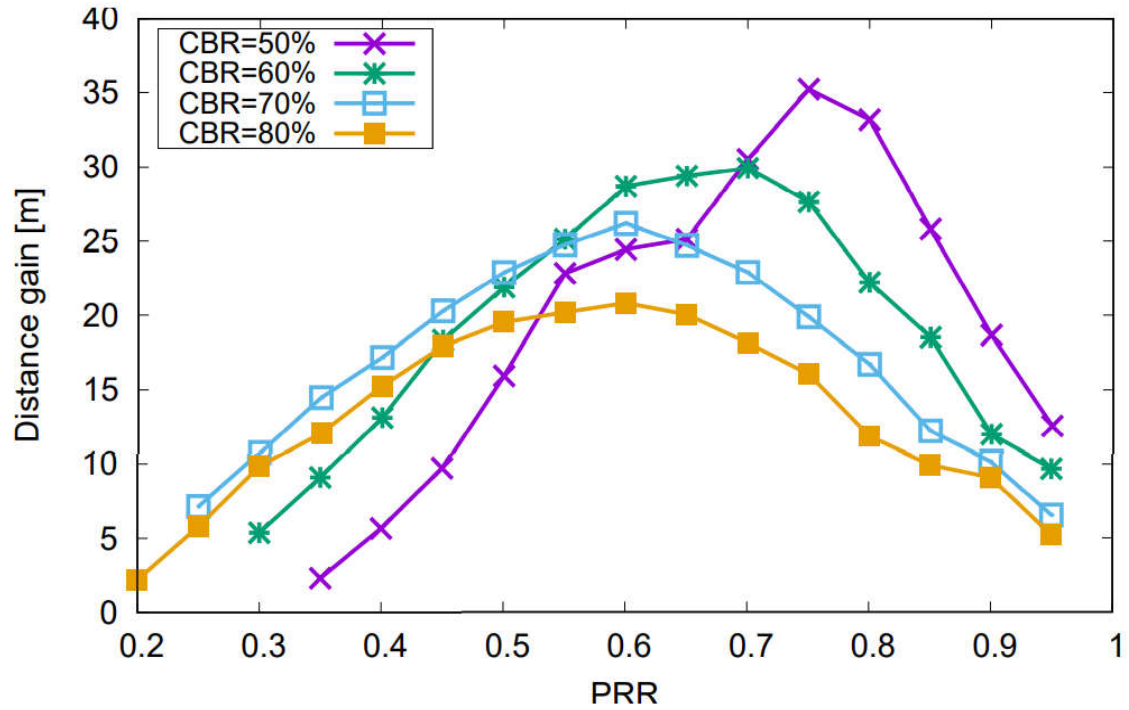


그림 65. RSD가 50%를 차지하는 경우,
우리의 제안을 사용하였을 때 RSD의 확장된 통신 범위

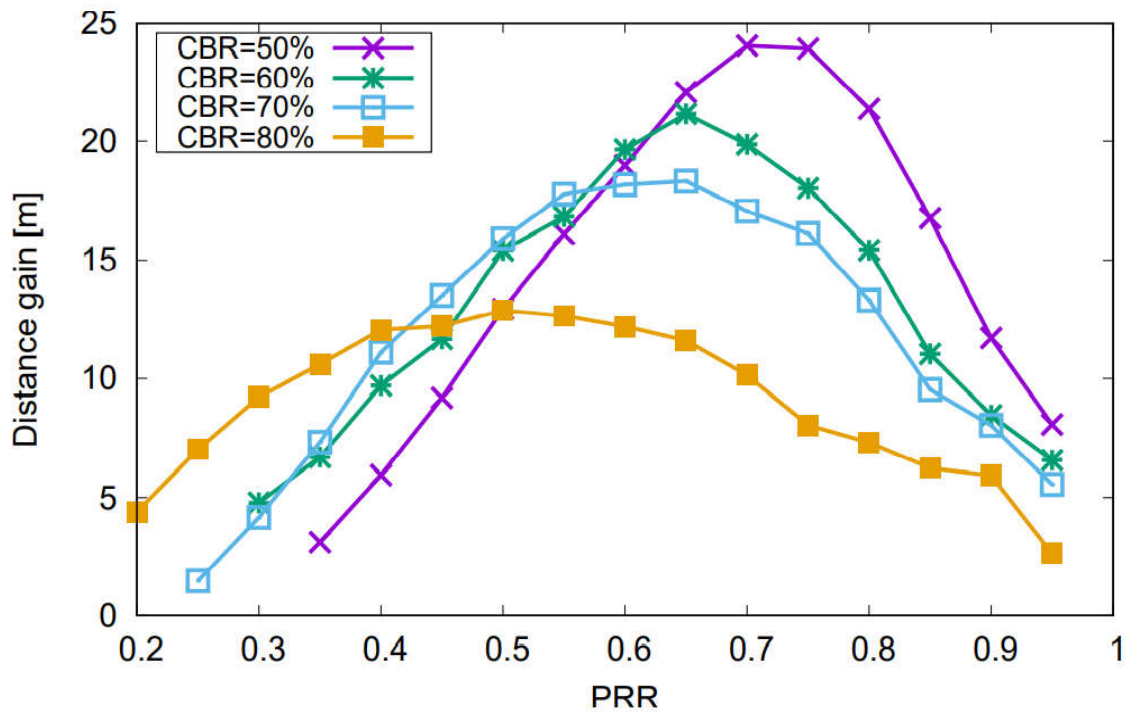


그림 66. RSD가 75%를 차지하는 경우,
우리의 제안을 사용하였을 때 RSD의 확장된 통신 범위

③ 연구 결과

- ㉞ 다수의 IoT 기기와 차량의 무선 자원 할당 효율화 연구를 통해, 5G의 mMTC를 통해 다수의 IoT 센서로부터 도로 상황 정보를 효율적으로 수집할 수 있게 되었다고 할 수 있음

(하) C-V2X 통신에서의 unicast 무선 자원 추천 연구

① 연구 수행 방법

- ㉞ 시뮬레이션 내 unicast 수신자의 무선 자원 제안 방식 알고리즘 구현, 검증 및 성능 평가 수행

② 연구 내용

- ㉞ Vehicle-to-everything (V2X)에서 unicast 통신 시, 송신자가 자신의 상황에 맞게 선택한 무선 자원이 수신자에게 있어서는 좋지 못할 가능성이 있음. broadcast 통신일 경우는 송신자의 상황만 고려하면 되지만, unicast는 수신자가 명확히 정해져 있기에 broadcast의 경우를 그대로 대입할 수 없기 때문임. 수신자가 메시지를 듣게 되는 통로, 즉 자원이 수신자의 입장에서 혼잡할 경우, 제대로 수신할 수 없게 되고, 이는 안전에 영향을 미치고 치명적인 사고까지도 유발할 수 있음

- ㉞ C-V2X unicast 통신의 자원 추천 부분을 보완하여 이러한 안전에 관련된 문제를 완화하고, 좀 더 차량의 Quality of Service를 만족하고자 하였음. 시뮬레이션에 unicast 통신 프로세스를 구현하여 송신자가 먼저 자신이 선택한 자원으로 수신자에게 통신을 먼저 제안하고, 수신자가 이 제안을 듣고 해독할 수 있게 되면, 수신자의 입장에서 적당한 자원의 리스트를 송신자에게 전송함. 그리고 송신자는 그 리스트 중 자신에게 가장 적합한 자원을 골라 unicast 메시지를 전송함

- ㉞ 이 때, 자원의 quality 평가에서 IBE는 매우 중요함. 차량 밀도가 높은 상황에서는 IBE(In-Band Emission)이 무시할 수 없는 수준이 될 수 있음. 그러므로 수신자가 IBE를 고려하지 않고 자신이 느끼는 RSSI를 유일한 기준으로 자원을 선택한다면, 좋은 자원을 놓칠 가능성이 있음[43]

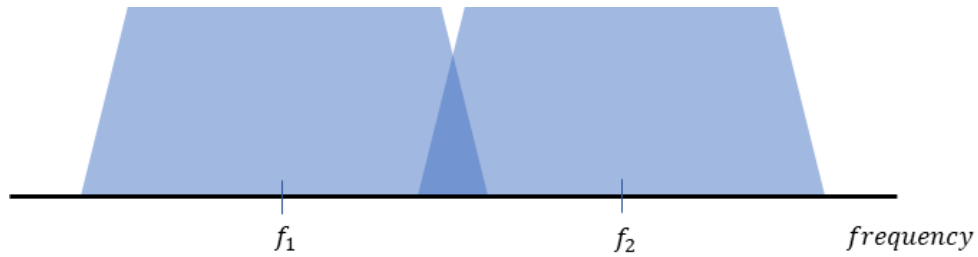


그림 67. IBE의 영향 - MCS가 7일 경우

㉠ 그림 67은 MCS(Modulation and Coding scheme) 번호가 7일 경우에 IBE가 어떻게 영향을 주는지 간략히 표현한 것임. MCS가 7인 경우 사용하는 주파수 대역은 두 가지임. 하지만 이 주파수 대역은 서로 완전히 떨어져 있지는 않고, 일정 부분 겹쳐 있음. 이 겹쳐 있는 부분으로 인해 한쪽 채널의 파워를 계산할 때 옆 채널의 파워가 일정 부분을 포함하게 됨. 즉, 옆 채널이 시끄러우면 시끄러울수록, 간섭을 크게 받는다는 뜻임.

㉡ 이 연구에서 IBE를 고려하지 않고 RSSI만을 기준으로 자원을 평가했을 때, 놓치게 되는 자원을 gem이라고 표현하였음. 아래 그림 68는 시뮬레이션에서 일정 시간마다 각 차량이 gem을 놓친 횟수의 총합을 차량의 밀도에 따라 나타낸 것임. 차량 밀도의 단위는 (차량 수)/km이며, 평균, 최대, 최소의 단위는 횟수/{(차량의 수)*(단위시간)}임

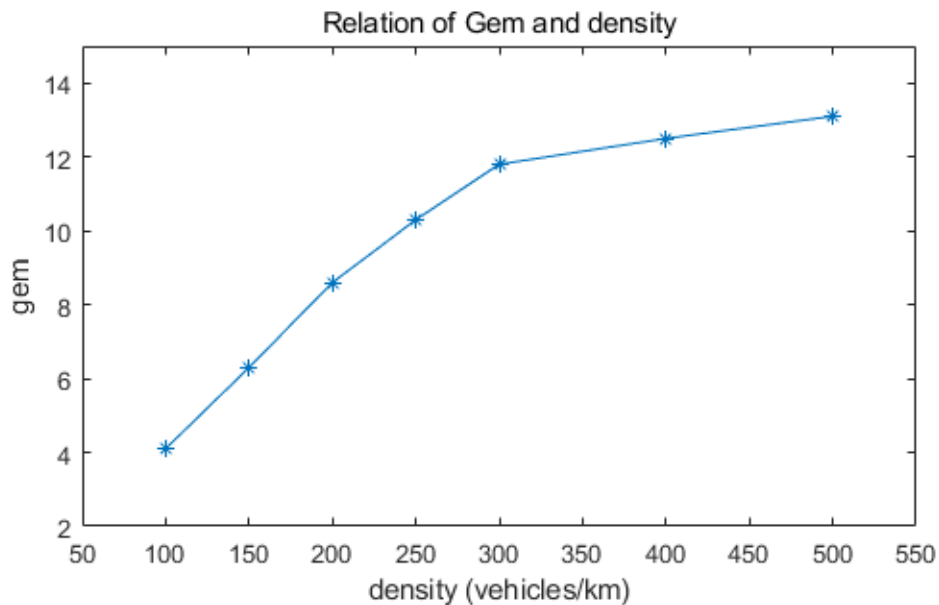


그림 68. RSSI만을 기준으로 자원을 평가할 때, 차량 밀도 별 놓친 자원의 총합

㉞ 그림 68을 보면 차량 밀도가 높아질수록, IBE로 인해 놓치는 자원의 수가 증가함. 즉, RSSI로만 자원을 판별한다면, 혼잡한 상황일수록 좋은 자원 후보군을 더욱 많이 버리게 된다는 것을 의미하고, 패킷 수신률을 낮추는 결과가 나타날 것임

㉟ 이제 위 그래프의 결과를 토대로, 실제로 IBE를 걸어내고 난 후의 자원이 좋은 자원인지를 알아야 함. gem 자원이 모두 좋은 자원인지 알아보기 위해서, 각각의 gem 자원이 할당되었다고 가정하고 시뮬레이션을 수행함. 그리고 비교를 위해 RSSI만으로 추천한 자원의 경우도 실험을 진행하였음

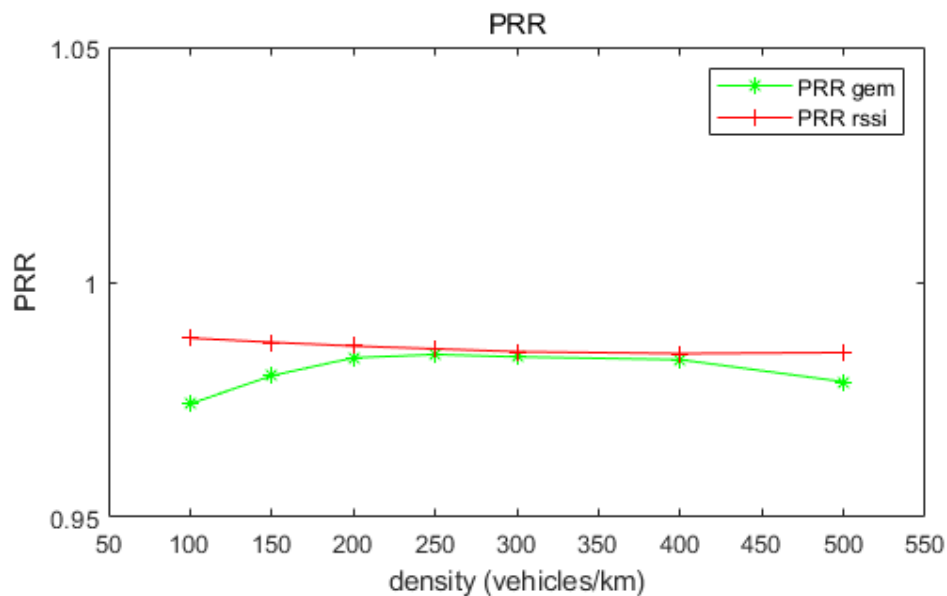


그림 69. 두 가지 방식에 대한 차량 밀도 별 패킷 수신율

㉞ 그림 69에서 확인할 수 있듯이, gem 자원과 RSSI 기준 자원에서 큰 차이를 볼 수 없음. 이 결과는 gem 자원도 SINR이 충분히 높은 자원이라는 것을 알려줌. 추가적인 데이터로, 차량 밀도에 따른 각 차량의 매 순간 평균 RSSI 자원 후보의 수도 계산하였음

㉟ 위 결과들을 토대로, unicast 통신에서 IBE를 고려하며 자원선택하는 것이 중요한 과정임을 알 수 있음

③ 연구 결과

㉞ 시뮬레이션을 통해 성능 측정 중

(거) C-V2X 통신에서의 DCC를 이용한 혼잡 제어

① 연구 수행 방법

㉞ 시뮬레이션을 통해 새로운 혼잡제어 알고리즘을 구현, 검증, 성능 평가

② 연구 내용

㉞ C-V2X 통신에서 이용하는 자원의 양은 유한함. 따라서 차량이 많은 congestion 상황에서는 자원이 부족하여 하나의 자원에서 여러 대의 차량이 전송을 하는 상황이 발생할 수 있음. 이 경우에는 충돌이 발생하게 되며 이때 이루어진 전송은 모두 수신을 받았을 때 해독할 수 없음. 현재 C-V2X에서는 이러한 혼잡 상황에 대한 대응을 따로 정의하고 있지 않음[30]

㉞ C-V2X의 혼잡 상황 대처를 보완하고 안전한 자동차 통신을 위한 기준을 만족하기 위해 혼잡 제어 기능을 도입하고자 하였음. Society of Automotive Engineers (SAE)에서는 WiFi 기술 기반의 Dedicated Short Range Communication (DSRC) 통신을 위한 혼잡 제어 방식으로 Distributed Congestion Control (DCC) 알고리즘을 표준화하였음[2]. 우리 연구에서는 DCC 알고리즘을 C-V2X 네트워크에 적용하여 혼잡 상황을 벗어나고자 함

㉞ DCC 알고리즘은 Channel Busy Ratio (CBR)을 기준으로 혼잡 상황을 5 개의 구간으로 나누어, rate control을 하는 방식임[31]. 하지만 이 방식을 C-V2X에 그대로 적용을 한다면 크게 혼잡하지 않을 때에도 지나치게 rate control을 많이 하여 오히려 congestion control을 적용하지 않았을 때 보다 성능이 저하되는 것을 확인하였음

㉞ 그림 70의 경우 DCC 방식을 적용했을 때 PRR이 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었는데 이는 심한 rate control을 하면서 네트워크 부하가 줄었기 때문에 성공적으로 도달하는 패킷의 비율이 늘어났기 때문임

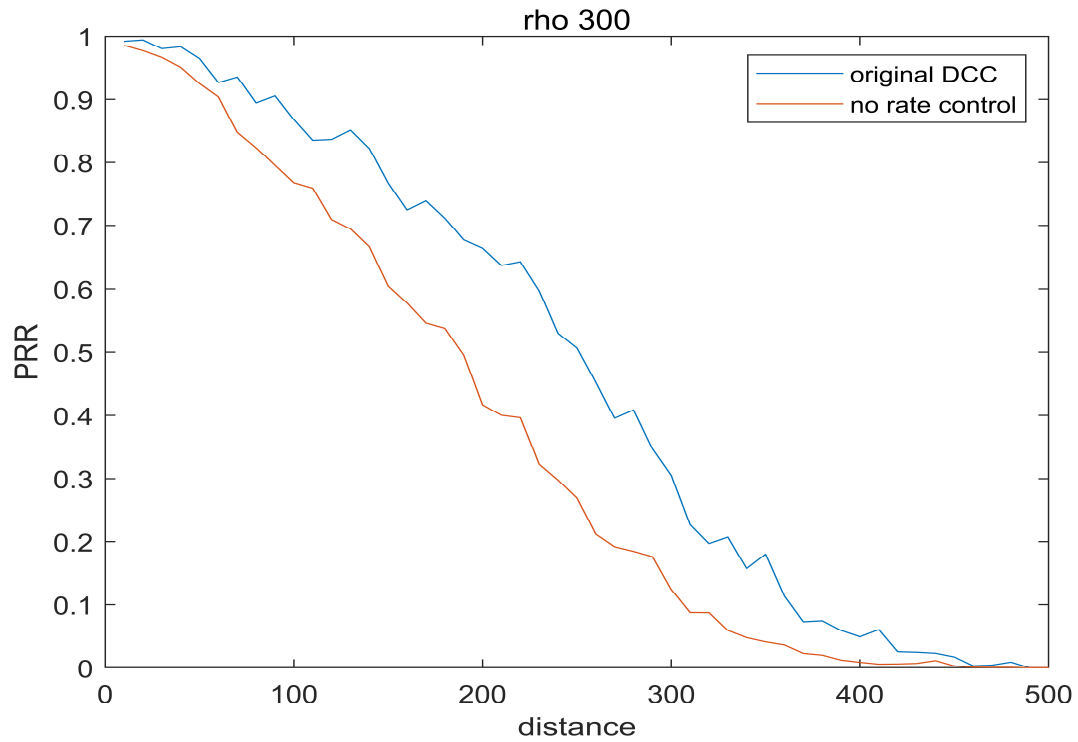


그림 70. 혼잡 제어가 없는 방식(빨간색)과 DCC 알고리즘을 적용한 방식(파란색)의 PRR(Packet Reception Rate)를 비교한 그래프

- ㉮ 그림 71와 같이 update delay(UD)가 1초보다 길어지는 경우도 생기는 경우에는 응용들의 요구조건을 맞추기 어려워짐. 특히 안전 메시지의 경우에는 메시지 사이의 시간이 너무 길면 사고가 발생할 수 있기 때문에 DCC 방식을 그대로 적용할 수 없음

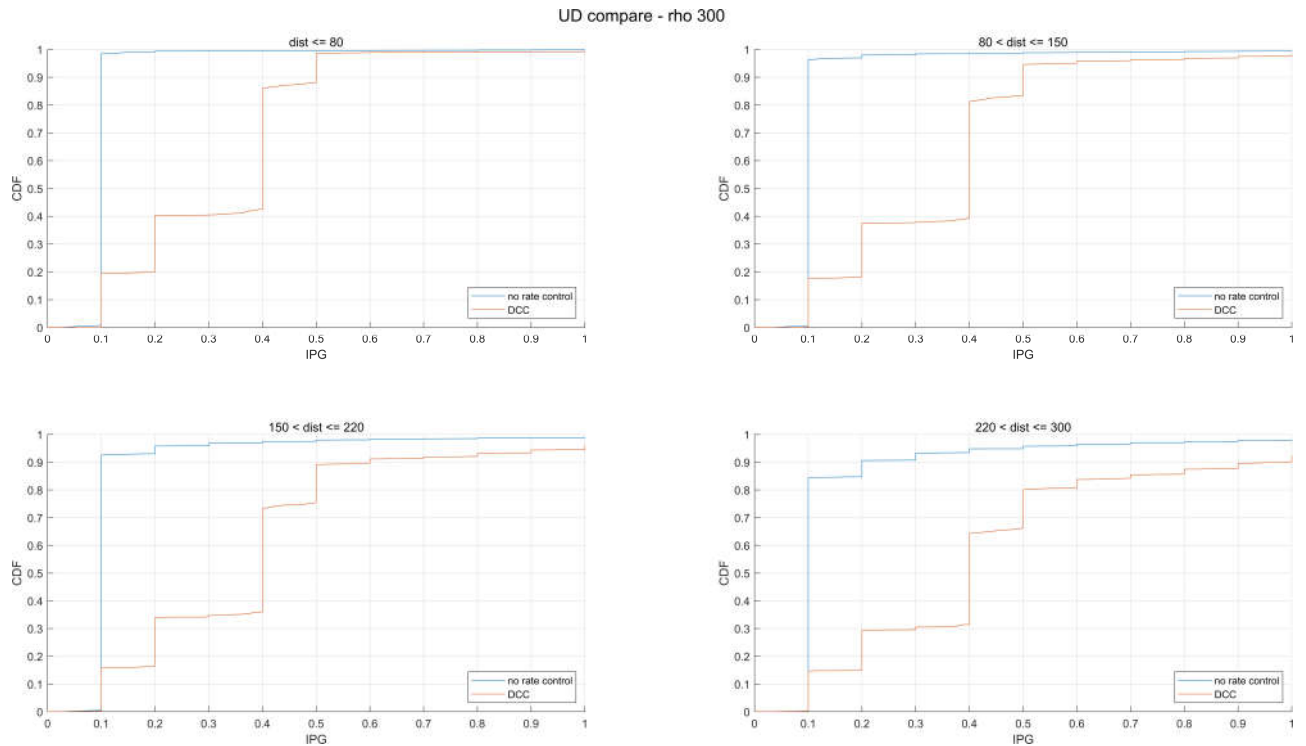


그림 71. 혼잡 제어가 없는 방식(빨간색)과 DCC 알고리즘을 적용한 방식(파란색)의 UD(Update Delay)를 비교한 그래프

- ㉮ 그림 70, 71 결과를 바탕으로 DCC 방식과 비슷한 정도의 PRR을 보이면서 혼잡 제어를 하지 않는 것보다 더 좋은 UD를 얻는 것이 연구의 목표임
- ㉯ 어느 조건에서 가장 나은 성능을 보이는지 시험하기 위해 linear한 rate control 그래프를 기울기와 구간을 조절하며 시험하였음. 여러 가지 구간을 두고 실험해 본 결과, 가장 좋은 결과가 나왔던 두 가지 함수를 추려낼 수 있었음

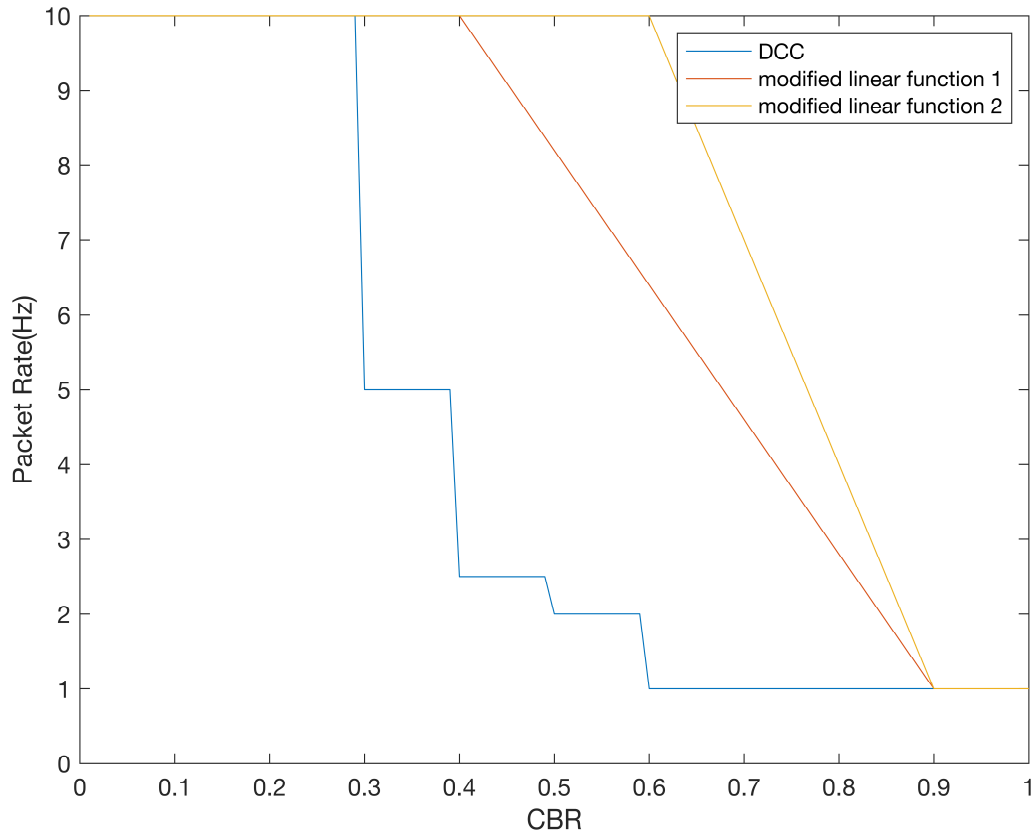


그림 72. CBR에 대한 packet rate를 조절하는 함수

- ㉠ 실험 결과 modified linear 방식은 DCC보다는 UD를 줄일 수 있었으나 여전히 혼잡 제어를 적용하지 않은 것보다 낮은 성능을 보였음. 이는 적용한 혼잡 제어 알고리즘의 변수들이 C-V2X 사정에 알맞지 않은 탓으로 볼 수 있음
- ㉡ Sidelink Throughput(SLT)는 단말이 이웃 단말로부터 수신하는 시간당 데이터량을 모든 node-pair에 대하여 평균을 낸 값임[44]. 이는 현재 알고리즘이 얼마나 효율성이 좋은지 보여주는 evaluation metric임

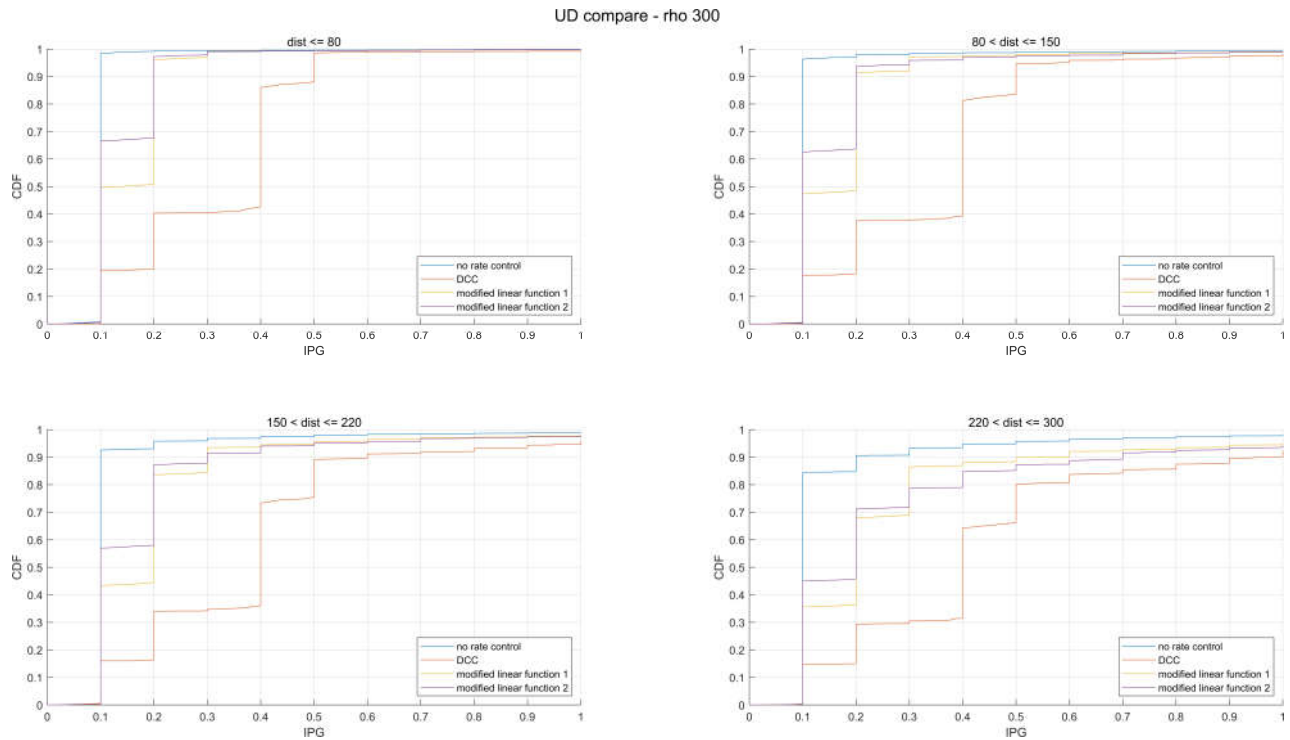


그림 73. 혼잡 제어가 없는 방식(파란색)과 DCC 알고리즘을 적용한 방식(빨간색), modified linear function 1, 2(각각 노란색, 보라색)의 거리에 따른 UD(Update Delay)를 비교한 그래프

㉠ 이 경우에도 modified lienar function의 방식은 DCC보다는 개선되었으나 아무 rate control 방식도 적용하지 않았을 때에는 미치지 못하는 성능을 보임

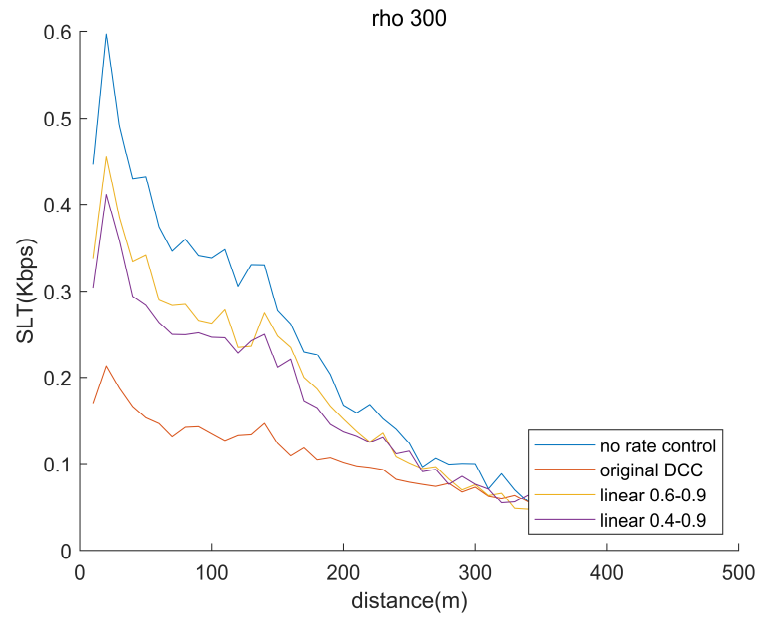


그림 74. 혼잡 제어가 없는 방식(파란색)과 DCC 알고리즘을 적용한 방식(빨간색), modified linear function 1, 2(각각 노란색, 보라색)의 거리에 따른 SLT(Sidelink Throughput)를 비교한 그래프

③ 연구 결과

- ㉔ 당초 목표했던 결과에는 미치지 못했으나 DCC 방식의 혼잡 제어를 C-V2X로 이식하려는 시도를 하였음. 이후 연구에서는 패킷 전송 rate의 최대치와 최소치를 변경하여 C-V2X에 더 적합하게 변환할 수 있을지 실험해볼 수 있을 것임

마. 연구 개발 성과

(1) 국내외 논문 게재

번호	게재 연도	논문명	저자명	학술지명	호	국내외 구분	SCI 여부 (SCI/비SCI)	등록 번호	비고
1	2019	Vehicle-to-Vehicle(V2V) Message Content Plausibility Check for Platoons through Low-Power Beaconing	김 효곤	Sensors	19(24)	국외	SCI	10.3390 /s19245 493	Impact factor 3.275
2	2020	Balancing Power and Rate Control for Improved Congestion Control in Cellular V2X Communication Environments	김 효곤	IEEE Access	8	국외	SCI	10.1109 /ACCES S.2020. 2999925	Impact factor 3.745
3	2020	An Explicit Reservation-Augmented Resource Allocation Scheme for C-V2X Sidelink Mode 4	김 효곤	IEEE Access	8	국외	SCI	10.1109 /ACCES S.2020. 3015549	Impact factor 3.745
4	2020	An Evasive Scheduling Enhancement Against Packet Dropping Attacks in C-V2X Communication	김 효곤	IEEE Communications Letters	25(2)	국외	SCI	10.1109 /LCOMM. 2020.30 30811	Impact factor 3.419

(2) 지식재산권 (특허)

번호	출원					등록			
	출원 연도	특허명	출원인	출원국	등록기탁 번호	등록 연도	특허명	등록인	등록기탁 번호
1	2019	차량-인프라 통신에서 세션 연속성 및 프라이버시 보호 방법	고려대학교 산학협력단	대한민국	10-2019-0170045				
2	2020	차량 간 통신에서의 혼잡 제어 방법 및 그 장치	고려대학교 산학협력단	대한민국	10-2020-0114300				
3	2020	의도적인 무선 자원 충돌 회피 방법 및 그 장치	고려대학교 산학협력단	대한민국	10-2020-0115058				

(3) 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	IEEE Conference on Vehicular Technology (VTC)	윤상훈 김자현 김효곤	2019.09.22-25	하와이 호놀룰루	미국
2	IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)	최지현 김효곤	2020.12.16-18	뉴욕(온라인 개최)	미국

(4) 인력 양성

번호	취득학위	이름	성별	취득학위논문명	학위취득일
1	박사	임승현	남자	Improving network efficiency for cluster file systems and security against DDoS attacks with SDNs	2019.08.24
2	박사	한상록	남자	Extending bluetooth LE for mutual discovery in massive IoT environments	2020.02.25
3	석사	전용석	남자	Lookahead를 이용한 C-V2X Mode 4 상의 센싱 기반 Semi-Persistent Scheduling (SPS) 성능 개선 및 분석	2020.02.25

바. 연구의 기술적, 경제적 성과

(1) 기술적 성과

(가) 기술의 우수성

- ① 우리는 도로 데이터의 원활한 수집배포를 위한 방안 중 하나로서 차량 간 통신에서의 혼잡 제어 기술에 대해 연구하였음. 무선 자원의 혼잡 제어 기술은 5G NR-V2X 기술 내에 표준 항목이 만들어져 있으나 아직 별다른 진척이 없는 상황이며, 어떤 표준화 단체 (3GPP, SAE)나 연구 그룹에서도 제시하지 못한 것임. 우리 과제를 통해 우리는 5G 시대에서 차량 간 통신의 혼잡 제어의 방향성을 제시하였다고 할 수 있음
- ② 또한 sensing-based SPS 기술에서 자원 예약을 통한 무선 자원 효율화 연구를 진행하였는데, 제안한 예약 기반의 SPS 알고리즘 (GRaSPS)을 적용하면 기존의 SPS 알고리즘을 활용할 때보다 target 거리 100m에서의 차량의 패킷 수신율이 20%가량 상승하였고, 패킷 간 간격이 100ms 이하일 확률이 93%에서 96% 이상으로 상승한 점을 보아 상당한 안전성 상승을 이루어냈다고 판단됨
- ③ 자율협력주행 상 안전에 영향을 줄 수 있는 sensing의 정확도, 통신의 신뢰성 등에 대한 선진 연구는 꾸준히 진행되어 왔으나, 5G가 도입되는 시점에 필요한 새로운 측면의 공격 탐지 및 방어 등을 연구하여 통신 송격에 대응하는 5G 기반 강건한 통신 아키텍처를 마련할 수 있는 선제적 기술 및 표준의 방향성을 제시함

(나) 연구 실적물

- ① Impact Factor 3 이상의 SCI 저널에 논문을 4편 게재하였고, 차량 간 통신 관련 저명한 2개의 학술대회(VTC: IEEE Vehicular Technology Conference, VNC: IEEE Vehicular Networking Conference)에서 발표를 수행하였음
- ㉠ 차량간 통신에서 혼잡제어 연구에 관한 성과로 학술대회 발표를 1회 수행하였고, SCI 저널인 IEEE Access(IF:3.745)에 논문을 게재함
- ㉡ 차량 간 통신에서 attacker의 공격 방어 아키텍처 연구에 관한 성과로 2개의 SCI 저널(Sensors(IF:3.275), IEEE Communications Letters(IF:3.419))에 각 1편씩 게재함
- ㉢ 차량 간 통신에서 자원 배분 관련 연구에 관한 성과로 SCI 저널인 IEEE Access에 논문을 게재하였고, 학술대회 발표를 1회 수행하였음

(2) 경제적 성과

- (가) V2I 통신에서의 보안 관련 특허를 1건 출원, V2V 통신에서의 attacker의 공격 방어 아키텍처 관련 특허를 1건 출원, V2V 통신에서의 혼잡 제어 기술 관련 특허를 1건

출원하여 차량 간 통신 기술이 상용화될 시, 총 3건의 특허에 대하여 해당 기술에 대한 저작권을 주장할 수 있음

(나) 5G 기반 자율협력주행 도로 인프라 데이터의 수집배포 프로토콜 및 아키텍처를 제시, 교통 정체나 교통 사고 등의 경제적 손실을 미연에 방지할 수 있고, 국토교통 인프라를 각종 기술로 활용하여 공공 서비스를 창출할 수 있으므로 사회 경제적 혜택이 있음

(다) 5G 기반 자율협력주행 상용화 시, 공공의 안전을 해치기 위해 악의적인 공격으로 사고를 유발할 수 있는데, 우리 연구는 공격자로부터 vulnerable road user (VRU)를 보호하여 인명 피해를 예방하는 등 공공의 안전을 보장하고, 그로 인해 파생되는 사회적 비용을 절감하는 효과를 누릴 수 있음

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

구분	내용
최종 목표	5G 기반 자율협력주행 도로 데이터의 효율적 수집·배포를 지원하는 프로토콜 및 도로 인프라의 강건한 통신 아키텍처 제공
세부 목표	(1) 1차년도: 5G 기반 도로 데이터 수집·배포 지원 프로토콜 연구 (가) 5G 기반 도로 데이터 수집·배포를 위한 효율적인 통신 아키텍처 연구 ① Localized information의 효율적인 업데이트 및 배포를 위한 연구 ② privacy 측면 보완을 통한 도로 데이터 전송 관련 V2I 통신 강화 ③ 도로 데이터 수집을 위한 차 내 구간 통신 효율 개선 연구 (나) 5G의 통신상의 도로 데이터 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelink) 사이의 무선 자원 관리 효율화 연구 ① sidelink 무선 자원 관리 효율화 및 강화 연구 ② uplink와 sidelink에 필요한 무선 자원 예측 연구 (다) Roadside attacker로부터의 공격 방어 아키텍처 연구 ① C-V2X 표준에 알맞은 Low-Power Beaconing을 통한 false information 대응 방안 연구

세부 목표	(2) 2차년도: 자율협력주행 도로 인프라의 5G 기반 강건한 통신 아키텍처 연구 (가) 5G 기반 도로 데이터 수집·배포를 위한 효율적인 통신 아키텍처 연구 ① V2X 구간에서 지연 최소화와 신뢰성 제고를 위한 연구 ② 비주기적 전송을 통한 중복데이터 제거 연구 ③ 주요 데이터 추출 및 전송 연동 연구 (나) 5G의 통신상의 도로 데이터 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelink) 사이의 무선 자원 관리 효율화 연구 ① Sidelink 혼잡 제어 연구 ② uplink와 sidelink에 필요한 무선 자원 예측 연구 (다) Roadside attacker로부터의 공격 방어 아키텍처 연구 ① 도로변 공격 탐지 및 대응 방안 연구 (라) 5G의 mMTC를 통해 다수의 IoT 센서로부터 도로 상황 정보를 효율적으로 수집하는 연구 ① 다수의 IoT 기기와 차량의 무선 자원 할당 효율화 연구
-------	--

3-2. 목표 달성 여부

가. 평가의 착안점 및 기준

(1) 성과 지표

(가) 우리 과제는 기초원천 유형으로서, 기초원천 연구를 통한 논문 게재 및 특허 출원을 통한 원천 기술 확보를 목표로 하므로 과정 지표와 산출 지표를 통합하여 표기하였음

투입 지표	- 투입된 박사, 석사, 학사 인력
과정 지표 및 산출 지표	- 논문 건수 - SCI급 논문 여부 - 특허 출원 건수 - 특허 등록 건수
결과 지표	- SCI급 논문 게재 건수 - 특허 출원 건수 - 특허 등록 건수

(2) 성과 지표 측정 방법 (측정 산식)

(가) 우리 과제는 연구수행 이후 논문 게재 및 특허 등록을 통해 원천기술을 확보하는 기초원천 유형으로 결과 지표가 곧 성과 지표가 됨

(3) 성과 목표 검증 방법

(가) SCI급 논문 게재 건수는 논문 게재 증빙을 통하여 검증 가능하고, 특허 출원 및 등록은 출원서 및 특허 공보를 통해서 검증 가능함

(4) 1차년도 (2019)

(가) 연구 목표 1: 5G 기반 도로 데이터 수집·배포 지원 프로토콜 연구

- ① 세부연구 1: 5G 기반 도로 데이터 수집·배포를 위한 효율적인 통신 아키텍처 연구
- ② 세부연구 2: 5G의 통신상의 도로 데이터 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelink) 사이의 무선 자원 관리 효율화 연구
- ③ 세부연구 3: Roadside attacker로부터의 공격 방어 아키텍처 연구

세부 연구 번호	성과 항목 및 성과 목표	설정 근거	가중치
1	- 특허 출원 1건 - 학술대회 발표 1건	- 국내에서는 V2Cloud 인터페이스 표준화 계획을 밝히고, 국 외에서는 표준화 논의를 시작하는 등 해당 분야는 선행 연 구 단계에 있음 - 연구책임자는 해당 세부연구의 중요성을 인식하여 해당 연 구와 관련하여 국외 학술대회에 꾸준히 참가하여 발표하였 음	58%
2	-	- 연구책임자는 무선 자원 관리와 관련된 연구 과제를 수행하 였고, 관련 논문 및 특허 실적이 다수 있음 ☞ 연구과제명: 무선 자원 사용 효율화를 위한 지향성 통신 기반 네트워크 기술 연구	10%
3	- 국외논문 SCI 1건	- 연구책임자는 자동차 통신 및 보안 관련된 연구 과제를 수 행하였고, 관련 논문 및 특허 실적이 다수 있음 ☞ 연구과제명: 자율 군집주행을 위한 군집행동 모델 및 WAVE 표준 기반 응용 프로토콜 원천기술 개발 - 연구책임자는 분야별 상위 20% 이내 SCI 논문 실적을 다 수 가지고 있음	32%

(나) 연구개발 내용 별 평가목표 및 착안점

구분	년도	세부 연구목표	세부 연구개발 내용	평가목표 및 착안점	가중치 (연구비)	추진일정			
						1분기 (1/4)	2분기 (2/4)	3분기 (3/4)	4분기 (4/4)
1차년도	2019	5G 기반 도로 데이터 수집· 배포 지원 프로토콜 연구	5G 기반 도로 데이터 수집· 배포를 위한 효율적인 통신 아키텍처 연구	특허 출원 1건, 학술대회 발표 1건	58%				
			5G의 통신상의 도로 데이터 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelin k) 사이의 무선 자원 관리 효율화 연구	-	10 %				
			Roadside attacker 로부터의 공격 방어 아키텍처 연구	국외논문 SCI 1건	32%				

(다) 1차년도 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분		1차년도 목표치	1차년도 달성치	기타
국외논문 게재	SCI	1 건	1 건	IF = 3.275
	비SCI			
	계	1 건	1 건	
국내논문 게재	SCI			
	비SCI			
	계			
특허출원	국내	1 건	1 건	
	국외			
	계	1 건	1 건	
특허등록	국내			
	국외			
	계			
인력양성	석사			
	박사	1 명	1 명	
	계	1 명	1 명	
기타	시제품			IEEE VTC-2019 fall 에서 발표
	학술대회 발표	1 건	1 건	
	일자리 창출			

(5) 2차 년도 (2020)

(가) 연구 목표 : 자율협력주행 도로 인프라의 5G 기반 강건한 통신 아키텍처 연구

- ① 세부연구 1: 5G 기반 도로 데이터 수집·배포를 위한 효율적인 통신 아키텍처 연구
- ② 세부연구 2: 5G의 통신상의 도로 데이터 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelink) 사이의 무선 자원 관리 효율화 연구
- ③ 세부연구 3: Roadside attacker로부터의 공격 방어 아키텍처 연구
- ④ 세부연구 4: 5G의 mMTC를 통해 다수의 IoT 센서로부터 도로 상황 정보를 효율적으로 수집하는 연구

세부 연구 번호	성과 항목 및 성과 목표	설정 근거	가중치
1	- 국외논문 SCI 1건	- 연구책임자는 자동차 통신 및 보안 관련 연구 과제를 수행하였고, 관련 논문 및 특허 실적이 다수 있음 ☞ 연구과제명: 자율 군집주행을 위한 군집행동 모델 및 WAVE 표준 기반 응용 프로토콜 원천기술 개발 - 연구책임자는 분야별 상위 20% 이내 SCI 논문 실적을 다수 가지고 있음	35%
2	- 국외논문 SCI 2건 - 특허 출원 1건	- 연구책임자는 무선 자원 관리와 관련된 연구 과제를 수행하였고, 관련 논문 및 특허 실적이 다수 있음 ☞ 연구과제명: 무선 자원 사용 효율화를 위한 지향성 통신 기반 네트워크 기술 연구	26%
3	- 학술대회 발표 1건	- 연구책임자는 해당 세부 연구와 관련, 다수의 SCI 논문을 발표하였음 - 연구책임자는 해당 세부연구의 중요성을 인식하여 해당 연구와 관련하여 국외 학술대회에 꾸준히 참가하여 발표하였음 - 대표적 논문 ☞ Detecting False Position Attack in Vehicular Communications Using Angular Check, ACM Carsys 2017	20%

4	- 특허 출원 1건 - 학술대회 발표 1건	- 5G의 mMTC 서비스를 위한 표준화는 현재 표준화의 시작 단계로 관련 특허 출원에 유리한 시기임 - 연구책임자는 해당 세부 연구와 관련, 다수의 센서로부터 수집된 정보를 활용한 연구를 수행하여 다수의 SCI 논문 및 특허를 가지고 있음 - 대표적 등록 특허명 ☞ 사용자 간 공존 여부 판단 방법 및 장치 ☞ 교통수단 내 동일 객차 탑승 여부 판단 방법 - 연구책임자는 해당 세부연구의 중요성을 인식하여 해당 연구와 관련하여 국외 학술대회에 꾸준히 참가하여 발표하였음	19%
---	--	--	-----

(나) 연구개발 내용 별 평가목표 및 착안점

구분	년도	세부 연구목표	세부 연구개발 내용	평가목표 및 착안점	가중치 (연구비)	추진일정			
						1분기 (1/4)	2분기 (2/4)	3분기 (3/4)	4분기 (4/4)
2차년도	2020	자율협력주행 도로 인프라의 5G 기반 강건한 통신 아키텍처 연구	5G 기반 도로 데이터 수집· 배포를 위한 효율적인 통신 아키텍처 연구	국외논문 (SCI) 1건	35%				
			5G의 통신상의 도로 데이터 업로드 (uplink)와 V2V 전송 (sidelin k) 사이의 무선 자원 관리 효율화 연구	국외논문(SCI) 2건 특허 출원 1건	26 %				
			Roadside attacker 로부터의 공격 방어 아키텍처 연구	학술대회 발표 1건	20 %				
			5G의 mMTC를 통해 다수의 IoT 센서로부터 도로 상황 정보를 효율적으로 수집하는 연구	특허 출원 1건 학술대회 발표 1건	19 %				

(다) 2차년도 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분		2차년도 목표치	2차년도 달성치	기타
국외논문 게재	SCI	3 건	3 건	IF = 3.745 IF = 3.745 IF = 3.419
	비SCI			
	계	3 건	3 건	
국내논문 게재	SCI			
	비SCI			
	계			
특허출원	국내	2 건	2 건	
	국외			
	계	2 건	2 건	
특허등록	국내			
	국외			
	계			
인력양성	석사	1 명	1 명	
	박사	1 명	1 명	
	계	2 명	2 명	
기타	시제품			
	학술대회 발표	2 건	1 건	IEEE Vehicular Networking Conference (VNC) 2020 에서 발표
	일자리 창출			

(6) 정량적 연구성과 목표 및 달성도 - 총괄

구분		1차년도	2차년도	달성치
국외논문 게재	SCI	1 건	3 건	4 건
	비SCI			
	계	1 건	3 건	4 건
국내논문 게재	SCI			
	비SCI			
	계			
특허출원	국내	1 건	2 건	3 건
	국외			
	계	1 건	2 건	3 건
특허등록	국내			
	국외			
	계			
인력양성	석사		1 명	1 명
	박사	1 명	1 명	2 명
	계	1 명	2 명	3 명
기타	시제품			
	학술대회 발표	1 건	2 건	2 건
	일자리 창출			

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성)

가. 목표 미달성 사유

- (1) 성과 목표 중 학술대회 발표 1건이 미달성 상태임. 이는 정성적으로도 미달성인 상태가 아니라 학술대회에 제출한 논문 1건이 reject 후 타 학술대회 제출을 위하여 수정·보완중이기 때문
- (2) 연구과제는 개발과제와는 달리 그 결과인 논문이 나름의 우수성을 갖고 있다고 하더라도 어떤 해외 리뷰어에게 평가가 맡겨졌느냐에 따라 당락에 다소 운이 작용하기도 하는 등, 노력한 시간에 정비례하지 않는 결과를 낳기도 함. 미달성된 1개의 학술대회 논문이 그 경우에 해당함

나. 차후 대책

- (1) 수정·보완중인 논문을 학술대회에서 발표할 것이며, 또한 논문의 아이디어를 기반으로 특허 출원도 계획하고 있음

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 추가 연구의 필요성

(1) C-V2X sensing-based SPS (SB-SPS)상의 half-duplex 문제 완화를 위한 개선된 자원 선택 알고리즘 연구

(가) C-V2X 상에서는 시간, 주파수 평면에서 자원을 선택하여 정보를 교환하는데, 대부분의 단말이 사용하는 half-duplex 방식 송수신은 이러한 자원 선택 상에서 전송에 사용중인 자원과 같은 시간대에 다른 주파수를 갖는 자원을 통해 전송되는 메시지를 수신할 수 없음. 이러한 문제를 C-V2X SB-SPS 상의 half-duplex 문제라 함.

(나) C-V2X SB-SPS 상의 half-duplex 문제는 전송 거리, 채널 상태와 관계없이 일어날 수 있는 C-V2X 전송 방식과 자원 체계의 근본적, 내재적인 문제이므로, 근거리에서도 얼마든지 수신 실패가 일어날 수 있다는 문제가 있음. 이는 5G 자율협력주행 상에서 가장 중요한 근거리 안전을 해결 수 있다는 점에서 반드시 해결되어야 할 문제임

(2) C-V2X 통신에서의 unicast 무선 자원 추천 연구

(가) vehicle-to-everything (V2X)에서 unicast 통신 시, 송신자가 자신의 상황에 맞게 선택한 무선 자원이 수신자에게 있어서는 좋지 못할 가능성이 있음. broadcast 통신 일 경우는 송신자의 상황만 고려하면 되지만, unicast는 수신자가 명확히 정해져 있기에 broadcast의 경우를 그대로 대입할 수 없기 때문임. 수신자가 메시지를 듣게 되는 통로, 즉 자원이 수신자의 입장에서 혼잡할 경우, 제대로 수신할 수 없게 되고, 이는 안전에 영향을 미치고 치명적인 사고까지도 유발할 수 있음

(나) C-V2X unicast 통신의 자원 추천 부분을 보완하여 이러한 안전에 관련된 문제를 완화하고, 좀 더 차량의 Quality of Service를 만족하고자 하는 연구를 진행중임

나. 타 연구에의 응용

(1) 5G sidelink를 기술을 감염병 위기 대응, 즉 방역에 응용하는 기술

(가) 5G Sidelink를 이용한 효율적 밀집 접촉 탐지를 위한 전송 전력 제어 방법 연구

① 5G-V2X 상의 sidelink mode 1,2에서 주기적으로 전송되는 sidelink control information (SCI) 중 SCI stage 2의 포맷 B 필드의 Required Communication Range가 있는데, 이는 SCI와 결부된 패킷이 전달되어야 하는 최소 요구 거리를 뜻함. 즉, 그 이상의 거리까지는 배달된다는 보장을 할 수 없을지라도, 이 거리 내에 있는 타 단말들에는 확실히 전달되어야 함을 뜻함. 5G NR에서 Required Communication

Range를 사용하기에 적합한 통신 방식 중 하나는 거리 기반 그룹캐스트(distance-based groupcast)임. 이 경우 그룹은 송신자로부터 일정 거리 이내의 단말들로 정의됨

- ② 같은 전력으로 송신을 하더라도 음영지가 존재하면 같은 거리에 있어도 더 많은 전력을 필요로 함. 따라서 설정된 Required Communication Range에 도달하는 전력을 조정해야 함. 수신 주기에서 다른 단말로부터 ‘수신된 ID 집합’에 자신의 ID가 있는지 확인하여, 설정된 거리보다 먼 곳에서 자신의 ID를 수신했다면 지나치게 큰 전력으로 송신이 이루어졌음을 의미함. 따라서 전력을 감소시켜 전력을 조정할 수 있음. 이때 단말 간 거리는 타 단말의 ‘위치 정보’와 자신의 위치 차이를 비교하여 알 수 있음
- ③ 지나치게 큰 전송 전력 송신 시 제한적인 무선 자원 풀로 인한 비콘 전송의 충돌이 일어날 수 있음. 이는 무선 채널의 혼잡으로 이어짐. 밀집 접촉 거리 단말이 수신 가능한 정도의 적절한 비콘 전송 전력 값을 사용하면 이를 피할 수 있고 주변 간섭을 최소화하여 공간 재사용이 증가할 수 있음. 현재 이러한 과정에 대해 시뮬레이션을 통해 실험을 진행중임

다. 기타

- (1) 과제를 통해 개발된 원천기술에 대하여 향후 자율협력주행 및 도로교통 연계 서비스에 연구성과를 활용할 수 있도록 소프트웨어 등록을 검토할 예정임

붙임. 참고 문헌

- [1] IEEE 1609 WG. IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Security Services for Applications and Management Messages; IEEE Std 1609.2–2016; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2016.
- [2] Society of Automotive Engineers, On-board system requirements for V2V safety communications, SAE J2945/1, 2016
- [3] A. Petrescu, et al. Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.11 Networks in mode Outside the Context of a Basic Service Set (IPv6-over-80211ocb). InternetDraft draft-ietf-ipwave-ipv6-over-80211ocb-11, Internet Engineering Task Force, July 2019. Work in Progress.
- [4] IEEE 1609 WG. IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Architecture, 1609.0–2019, 2019.
- [5] IEEE 1609 WG. IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Networking Services, IEEE Std 1609.3–2010, 2010.
- [6] IEEE 1609 WG. IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Multi-channel Operation, IEEE Std 1609.4–2010, 2010.
- [7] 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Services and System Aspects; Security aspect for LTE support of Vehicle-to-Everything (V2X) services (Release 15), June 2018.
- [8] C. Kaufman et al. Internet Key Exchange Protocol Version 2 (IKEv2), RFC 7296, October 2014.
- [9] S. Kent and K. Seo. Security Architecture for the Internet Protocol, RFC 4301, December 2005.
- [10] AUTOSAR. Specification of TCP/IP Stack AUTOSAR CP Release 4.3.1. <https://www.autosar.org/standards/classic-platform/classic-platform-431/>, 2017.
- [11] K. Winstein and H. Balakrishnan. Tcp ex machina: computer-generated congestion control. In Proceedings of the ACM SIGCOMM, pages 123–134, 2013.
- [12] W. Han, S. Han, and H. Kim. On TCP Throughput Pathology in CPU-Bounded Communication over Automotive Ethernet. In Proceedings of the IEEE VNC, 2018.
- [13] M. Wang, Y. Cui, X. Wang, S. Xiao, and J. Jiang. Machine learning for networking: Workflow, advances and opportunities. IEEE Network Magazine, 32(2):92–99, March–April 2017.

- [14] R. S. Sutton and A. G. Barto. Reinforcement Learning: An Introduction. MIT Press, Cambridge, MA, 2nd edition, 2018.
- [15] Parno, B.; Perrig, A. Challenges in Securing Vehicular Networks. In Proceedings of the ACM HotNets, College Park, MD, USA, 14-15 November 2005.
- [16] Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary, Standard SAE J2735, 2016.
- [17] R. Molina-Masegosa and J. Gozalvez, "LTE-V for sidelink 5G V2X vehicular communications: A new 5G technology for short-range vehicle-to-everything communications," IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 12, no. 4, pp. 30-39, Dec. 2017
- [18] Congestion Control for V2V, document R1-1702526, TSG-RAN WG1, 3GPP, Qualcomm Incorporated, Feb. 2017
- [19] Technical Specification Group Services and System Aspects; Enhancement of 3GPP Support for V2X Scenarios; Stage 1 (Release 16), document TS 22.186, 3GPP, 2019.
- [20] C.-L. Huang, Y. Fallah, R. Sengupta, and H. Krishnan, "Adaptive inter vehicle communication control for cooperative safety systems," IEEE Netw., vol. 24, no. 1, pp. 6-13, Jan. 2010
- [21] Z. Wang and M. Hassan, "Blind xor: Low-overhead loss recovery for vehicular safety communications," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 61, no. 1, pp. 35-45, Jan. 2012
- [22] M. Treiber and A. Kesting, Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation. Berlin, Germany: Springer, 2013, p. 23.
- [23] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer Procedures (V14.3.0, Release 14), document TR 36.213, 3GPP, 2017.
- [24] Study on LTE-Based V2X Services (V14.0.0, Release 14), document TR 36.885, 3GPP, 2016.
- [25] Simulation of Urban MObility (SUMO). Accessed: Aug. 11, 2020. [Online]. Available: <https://sumo.dlr.de/index.html>
- [26] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2 (v14.3.0, Release 14), 3GPP TR 36.300, 2017.
- [27] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) Protocol Specification (v14.3.0, Release 14), 3GPP TR 36.321, 2017.
- [28] A. Bazzi, C. Campolo, A. Molinaro, A. O. Berthet, B. M. Masini, and A. Zanella, "0

- n Wireless Blind Spots in the C-V2X Sidelink,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 8, pp. 9239–9243, Aug. 2020.
- [29] R. Molina-Masegosa, J. Gozalvez, and M. Sepulcre, “Comparison of IEEE 802.11p and LTE-V2X: An Evaluation with Periodic and Aperiodic Messages of Constant and Variable Size,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 121526–121548, July 2020.
 - [30] 3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Physical layer procedures for data (Release 16), 3GPP TS 38.214, June 2020.
 - [31] 3GPP, Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part V1.1.1., ETSI TS 102 687, July 2011.
 - [32] Y. Yoon and H. Kim, “Balancing Power and Rate Control for Improved
 - [33] Congestion Control in Cellular V2X Communication Environments, “ *IEEE Access*, vol. 8, pp. 105071–105081, June 2020.
 - [34] Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, Germany, Convex Project Deliverable D1.1: Use Cases, Requirements, Performance Evaluation Criteria, Oct. 2017.
 - [35] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Vehicle Safety Communications Project: Final Report. DOT HS 810 591, Apr. 2006
 - [36] ETSI, Intelligent transport systems; Vehicular communications; Basic set of applications; Part 2: Specification of cooperative awareness basic service, Tech. Rep. EN 302 637-2 V1.4.1, Jan. 2019.
 - [37] Multiplexing and channel coding (Release 16), 3GPP TS 38.212, 2020.
 - [38] R. Molina-Masegosa, M. Sepulcre, J. Gozalvez, F. Berens, and V. Martinez, “Empirical models for the realistic generation of cooperative awareness messages in vehicular networks,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 5, pp. 5713–5717, May 2020.
 - [39] Medium Access Control (MAC) protocol specification (Release 16), 3GPP TS 38.321, 2020.
 - [40] A. Bazzi, G. Cecchini, M. Menarini, B. M. Masini, and A. Zanella, “Survey and perspectives of vehicular Wi-Fi versus sidelink cellular-V2X in the 5G era,” *Future Internet*, vol. 11, no. 6, p.122, 2019.
 - [41] S. Jung, H. Cheon, and J. Kim, “Reducing Consecutive Collisions in Sensing Based Semi Persistent Scheduling for Cellular-V2X,” in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*,

Honolulu, USA, Sept, 2019.

- [42] WID revision: NR sidelink enhancement, LG Electronics, GPP RAN Meeting #88e, RP-201385, July 2020.
- [43] Y. Yoon and H. Kim, "Persistent Scheduling with Broadcast Feedback for Cellular V2X Communication."
- [44] Toghi, B., Saifuddin, M., Fallah, Y. P., & Mughal, M. O. "Analysis of distributed congestion control in cellular vehicle-to-everything networks." 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference(VTC2019-Fall)(pp. 1-7). IEEE, September 2019.

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 00000부에서 시행한 00000 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 00000부에서 시행한 00000 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.