

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2025년 1월 9일 (09.01.2025)

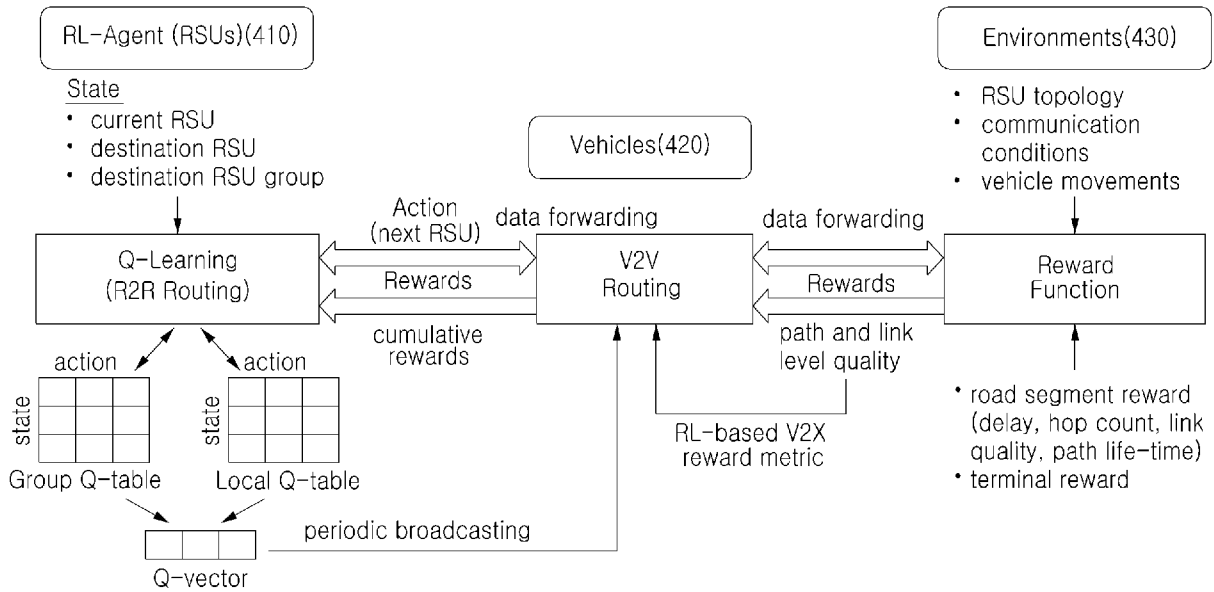


(10) 국제공개번호
WO 2025/009680 A1

- (51) 국제특허분류:
H04W 40/20 (2009.01) *H04W 40/02* (2009.01)
G06N 3/08 (2006.01) *H04L 45/12* (2022.01)
H04W 40/32 (2009.01) *H04W 4/44* (2018.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2023/021753
- (22) 국제출원일: 2023년 12월 27일 (27.12.2023)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2023-0085533 2023년 7월 3일 (03.07.2023) KR
- (71) 출원인: 인하대학교 산학협력단 (INHA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) [KR/KR]; 22212 인천광역시 미추홀구 인하로 100, Incheon (KR).
- (72) 발명자: 유상조 (YOO, Sangjo); 22212 인천광역시 미추홀구 인하로 100, Incheon (KR); 22212 인천광역시 미추홀구 인하로 100, Incheon (KR).
- (74) 대리인: 양성보 (YANG, Sungbo); 06099 서울특별시 강남구 선릉로125길 14 삼성빌딩 2층 피앤티특허법률사무소, Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, CV, GH, GM,

(54) Title: HIERARCHICAL REINFORCEMENT LEARNING-BASED ROUTING METHOD AND SYSTEM FOR SUPPORTING GROUPED RSU IN URBAN VANET

(54) 발명의 명칭: 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법 및 시스템



(57) Abstract: Proposed are a hierarchical reinforcement learning-based routing method and system for supporting a grouped RSU in an urban VANET. The hierarchical reinforcement learning-based routing method for supporting a grouped RSU in an urban VANET proposed by the present invention comprises the steps of: generating a data packet to be transmitted, determining a source roadside unit (RSU), and transmitting the packet to adjacent vehicles on the basis of a link cost table, by a user vehicle; identifying an RSU of the nearest destination vehicle among the adjacent vehicles, and determining a group to which the RSU of the destination vehicle belongs, by the source RSU; selecting a next RSU in a group Q-table on the basis of information of the destination vehicle; retransmitting an ACK message including information of the next RSU having a maximum Q-value in the group Q-table to the source RSU; and updating a local Q-table of the source RSU.

[다음 쪽 계속]

KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,
ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(57) 요약서: 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법 및 시스템이 제시된다. 본 발명에서 제안하는 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법은 사용자 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU(roadside unit)를 결정하여 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송하는 단계, 상기 소스 RSU는 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인하는 단계, 상기 목적지 차량의 정보에 기초하여 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하는 단계, 상기 그룹 Q-테이블에서 최대 Q-값을 가진 다음 RSU의 정보를 포함하는 ACK 메시지를 소스 RSU로 다시 전송하는 단계 및 소스 RSU의 로컬 Q-테이블을 업데이트하는 단계를 포함한다.

명세서

발명의 명칭: 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법 및 시스템 기술분야

- [1] 본 발명은 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원 하에 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 도시 지역의 급격한 성장과 도로 상의 차량 수 증가로 인해 운송 시스템은 상당한 도전에 직면하고 있다. 지능형 교통 시스템(Intelligent Transportation Systems; ITS)과 차량 인터넷(Internet of Vehicles; IoV)은 이러한 도전 과제를 해결하기 위한 유망한 솔루션이다. ITS 시스템은 일반적으로 센서, 카메라, GPS 장치 등 다양한 데이터 소스를 활용하여 실시간 교통 및 운송 데이터를 수집하고, 이를 처리 및 분석하여 인사이트를 생성하고 운송 시스템을 최적화하는 데에 의존한다.
- [3] 최근 몇 년간 사물 인터넷(Internet of Things; IoT)은 다양한 기기 및 시스템을 연결 및 통합하는 수단으로서 큰 관심을 받았다. IoT의 중요한 응용 분야 중 하나는 차량 인터넷(IoV)으로, 차량과 인프라 및 보행자와 같은 다른 엔티티 간의 통신 및 정보 교환을 가능하게 하는 시스템으로서 IoV는 충돌 회피, 교통 관리 및 엔터테인먼트 등 다양한 안전, 효율성 및 편의성 응용 프로그램을 가능하게 하여 교통을 혁신시킬 수 있다.
- [4] 차량 자율 네트워크(Vehicular Ad Hoc Networks; VANET)는 IoV와 ITS의 필수 구성 요소이다. VANET는 차량 간 통신(V2V) 및 차량과 도로 측면 장치(Roadside Unit; RSU) 및 다른 인프라 요소 간의 통신(Vehicle-to-Infrastructure; V2I)을 통해 차량이 직접 통신할 수 있도록 하는 무선 네트워크 유형으로, 데이터 교환을 용이하게 하며 교통 관리 및 안전성을 개선하는 기술이다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [5] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅(Hierarchical Q-learning-based routing algorithm with Grouped RSU; HQGR) 방법 및 시스템을 제공하는데 있다. 본 발명의 실시예들에 따르면 RSU는 그룹화되며, 모든 RSU 그룹 정보를 포함하는 그룹 Q-벡터는 V2X(Vehicle-to-Everything) 통신을 통해 교환되고 네트워크에서 정의된 Q-벡터 기반 도로 세그먼트(Q-Vector-based Road-Segment; QVRS) 제어 패킷은 주기적으로 각 세그먼트에서 브로드캐스팅되어 차량의 위치, 속도, 방향 및 통신 상황을 통해 얻은 V2X 평가 메트릭을 업데이트하며, 이 통합 V2X 메트릭은 Q-학습 알고리즘에서 보상 함수로 제시된다. 그룹 Q-테이블과 로컬 Q-테이블을

통해 전역적인 관점에서 패킷 전달 프로세스를 기반으로 하는 목적지 차량에 대응하여 계층적으로 훈련시키는 방법을 제공하고자 한다.

과제 해결 수단

- [6] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법은 사용자 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU(roadside unit)를 결정하여 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송하는 단계, 상기 소스 RSU는 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인하는 단계, 상기 목적지 차량의 정보에 기초하여 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하는 단계, 상기 그룹 Q-테이블에서 최대 Q-값을 가진 다음 RSU의 정보를 포함하는 ACK 메시지를 소스 RSU로 다시 전송하는 단계 및 소스 RSU의 로컬 Q-테이블을 업데이트하는 단계를 포함한다.
- [7] 상기 사용자 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU를 결정하여 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송하는 단계는 도로 상의 각 교차로에서의 RSU 위치를 기반으로 복수의 그룹을 설정하고, 상기 복수의 그룹 내 포함되는 복수의 RSU 및 상기 사용자 차량을 포함하는 복수의 차량 간의 데이터 전송을 통해 패킷을 전송한다.
- [8] 상기 소스 RSU는 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인하는 단계는 상기 소스 RSU는 상기 목적지 차량을 통해 RSU에게 QVRS(Q-Vector-based Road-Segment) 제어 메시지를 브로드캐스트하고, 상기 QVRS 메시지는 시간 스탬프, 상기 소스 RSU의 시퀀스 번호, 주소 및 상기 목적지 차량의 RSU의 그룹 정보를 포함하는 Q-벡터를 포함하고, 상기 목적지 차량이 해당 QVRS 메시지를 수신하면 상기 목적지 차량의 위치, 속도 및 방향을 기록하고, 전달 지연, 홉 카운트, 최소 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명과 관련된 통합 경로 비용을 계산하여 로컬 링크 비용 테이블에 저장하고, 이웃 RSU와의 관계를 설정 및 유지한다.
- [9] 상기 목적지 차량의 정보에 기초하여 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하는 단계는 Q-학습 알고리즘을 통해 그룹 정보를 업데이트하기 위해 전역 Q-값을 저장하는 그룹 Q-테이블과 그룹 내 RSU의 로컬 Q-값을 저장하는 로컬 Q-테이블을 이용하여 RSU의 상태를 Q-벡터로 인코딩하고, 상기 소스 RSU의 현재 위치에 따라 목적지 차량의 그룹 또는 목적지 차량 그룹 내 RSU를 나타내는 특정 상태에서 특정 동작을 수행함으로써 받는 예상 총 보상을 측정하고, 상기 소스 RSU가 상기 Q-벡터 및 전달 지연, 홉 수, 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명을 포함하는 V2X 메트릭을 평가하고, V2X 메트릭을 보상함수로 사용하여 상기 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택한다.
- [10] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템은 사용자 차량이 전송할

데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU(roadside unit)를 결정하고, 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송하면, 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인하는 RSU 그룹 확인부, 상기 목적지 차량의 정보에 기초하여 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하는 RSU 선택부 및 상기 그룹 Q-테이블에서 최대 Q-값을 가진 다음 RSU의 정보를 포함하는 ACK 메시지를 수신 받아, 상기 소스 RSU의 로컬 Q-테이블을 업데이트하는 Q-테이블 관리부를 포함한다.

발명의 효과

- [11] 본 발명의 실시예들에 따르면 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅(Hierarchical Q-learning-based routing algorithm with Grouped RSU; HQGR) 방법 및 시스템을 통해 RSU는 그룹화되며, 모든 RSU 그룹 정보를 포함하는 그룹 Q-벡터는 V2X(Vehicle-to-Everything) 통신을 통해 교환되고 네트워크에서 정의된 Q-벡터 기반 도로 세그먼트(Q-Vector-based Road-Segment; QVRS) 제어 패킷은 주기적으로 각 세그먼트에서 브로드캐스팅되어 차량의 위치, 속도, 방향 및 통신 상황을 통해 얻은 V2X 평가 메트릭을 업데이트할 수 있다. 이 통합 V2X 메트릭은 Q-학습 알고리즘에서 보상 함수로 제시된다. 그룹 Q-테이블과 로컬 Q-테이블을 통해 전역적인 관점에서 패킷 전달 프로세스를 기반으로 하는 목적지 차량에 대응하여 계층적으로 훈련시킬 수 있다.
- [12] 본 발명의 실시예들에 따르면 브로드캐스트 오버헤드를 감소시키고 경로 수명을 연장시키면서도 높은 패킷 전달 비율과 낮은 평균 종단 대기 시간을 유지할 수 있다. 게다가 그룹을 디자인하여 학습 절차의 수렴 속도가 현저하게 향상될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [13] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 도시 도로와 차량 이동성에 따라 차량 애드 혹 네트워크에서 RSU기반으로 그룹화된 라우팅 구조도이다.
- [14] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [15] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템의 구조를 나타내는 도면이다.
- [16] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 알고리즘의 블록 구조도이다.
- [17] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 그룹 Q-테이블 및 로컬 Q-테이블과 Q-벡터에 관하여 설명하기 위한 도면이다.
- [18] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 V2X 브로드캐스팅 메커니즘을 설명하기 위한 도면이다.
- [19] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 라우팅 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[20] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 및 ACK 패킷 구조를 나타내는 도면이다.

[21] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 시나리오의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

발명의 실시를 위한 형태

[22] 본 발명에서는 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법 및 시스템을 제안한다.

[23] 본 발명의 실시예에 따르면, 대규모 도시 도로 지역에서 RSU가 각 교차로에 배치된 모습으로 묘사되고 도로 구간에 연결된 두 개의 RSU는 이웃 RSU로 간주된다. 지리적 제약 때문에 각 RSU는 적어도 하나의 이웃 RSU를 가질 수 있다. 각 도로 구간에서 차량은 서로 다른 가변 속도와 이동 방식으로 움직일 수 있다. 교차로 위치를 기반으로 해당 지역을 복수의 그룹으로 나누고 각 그룹에는 복수의 RSU가 포함된다. 따라서, 전체적으로는 서로 다른 복수의 그룹이 있고, 지역적으로는 복수의 RSU가 한 그룹에 배치된다. 라우팅 경로는 데이터 패킷이 차량 및 RSU의 순서대로 이루어진 다중 홉 전송을 통해 전달되는 것을 의미한다.

[24] 본 발명의 실시예에 따른 Q-학습 알고리즘의 Q-값(또는 Q-함수)을 사용하여 에이전트가 특정 상태에서 특정 동작을 수행함으로써 받을 수 있는 예상 총 보상을 측정한다. 각 에이전트는 초기 Q-테이블을 가지고 환경 탐색을 시작한다. 에이전트는 RSU로 선택하고, 환경은 전체 네트워크 토폴로지이다. 상태는 RSU의 현재 위치에 따라 목적지 차량 그룹 또는 목적지 차량 그룹 내 목적지 RSU를 나타낸다. Q-벡터는 그룹 Q-테이블과 로컬 Q-테이블에서 핵심 정보를 수집하며, 이 정보는 브로드캐스트 메시지를 통해 이웃 RSU와 공유된다.

[25] 네트워크 환경에 대한 정보 및 링크 상태 변경 사항을 공유하고 패킷이 정확한 목적지에 원하는 시간에 신뢰성 있게 전달되도록 하기 위한 RSU 및 차량 내에서의 브로드캐스팅이 필요하다. 효율적이고 효과적인 통신을 위해 Q-벡터 기반 브로드캐스트 메커니즘을 제안한다. 각 RSU는 차량을 통해 이웃 RSU에게 제안된 Q-벡터 기반 도로 세그먼트(Q-Vector-based Road-Segment; QVRS) 제어 메시지를 각각 브로드캐스트한다. 브로드캐스트는 네트워크 오버헤드를 줄이기 위해 도로 세그먼트마다 독립적으로 발생한다. QVRS 메시지에는 시간 스탬프, 송신자 RSU의 시퀀스 번호, 주소 및 해당 RSU의 그룹 정보를 모두 포함하는 Q-벡터가 포함되고 차량이 이 도로 세그먼트에서 브로드캐스트 메시지를 받으면 먼저 위치, 속도 및 방향을 기록하고, 전달 지연, 홉 카운트, 최소 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명과 관련된 통합 경로 비용을 계산하여 이를 로컬 링크 비용 테이블에 저장하여 이웃 RSU와의 관계를 설정 및 유지한다. 마지막으로, 차량은 QVRS 메시지를 이웃 RSU에 도달할 때까지 재전송한다. 전달 지연, 홉 수, 링크 품질 및 예상 만료 수명을 평가하여 통합 도로 구간 경로 비용을 계산하며, Q-학습 알고리

즘에서 보상 함수로 이용하여 계산한다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[26]

[27] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 도시 도로와 차량 이동성에 따라 차량 애드 혹 네트워크에서 RSU기반으로 그룹화된 라우팅 구조도이다.

[28] 도 1을 참조하면, 도시 도로와 차량(120) 이동성에 따라 차량 애드 혹 네트워크에서 복수의 RSU(110)을 기반으로 그룹화(130)된 라우팅 경로(140)를 도시하였다.

[29] 도로 세그먼트로 연결된 두 RSU는 이웃 RSU로 간주된다. 지리적 조건 때문에 각 RSU는 적어도 하나의 이웃 RSU를 가지고 있다. 각 도로 세그먼트에서 차량은 서로 다른 가변 속도와 이동방향으로 이동한다. 교차로 위치에 기반하여, 해당 지역을 복수의 그룹으로 나눌 수 있다. 복수의 그룹은 $G \triangleq \{G_1, G_2, \dots, G_g, \dots, G_{NG}\}$ 로 표시하며, 여기서 $g=1, 2, \dots, NG$ 이

고 NG는 총 그룹 수다. G_g 는 복수의 RSU를 포함하는 그룹을 나타내며,

$G_g \triangleq \{R_1^{G_g}, R_2^{G_g}, \dots, R_r^{G_g}, \dots, R_{NR_g}^{G_g}\}$ 와 같이 복수의 RSU를 포함하고, 여기서 그룹 G_g 내

RSU의 총 수는 NG_g 이다. $R_r^{G_g}$ 은 인덱스 $r=1, 2, \dots, NR_g$ 을 가진 G_g 내의 RSU ID를 나

타낸다. 따라서, 전체적으로는 복수의 서로 다른 그룹이 있으며 지역적으로는 복수의 RSU가 한 그룹에 배치된다. 도 1에서 화살표 선(140)은 데이터 패킷이 차량과 RSU를 순서대로 거쳐 멀티홉 전송을 통해 전달되는 라우팅 경로를 나타낸다.

[30] 본 발명의 시나리오에 대해 Q-학습 알고리즘이 구현되었다. Q-값(또는 Q-함수)을 사용하여 에이전트가 특정 상태에서 특정 동작을 수행하여 받을 수 있는 예상 총 보상을 측정한다. 각 에이전트는 초기 Q-테이블로 시작하고 환경을 탐색하기 시작한다. 에이전트가 시간 t에 상태 s_t 에서 동작 a_t 를 수행하고 보상 R을 받으면 벨만 방정식(Bellman Optimality Equation)에 따라 Q-테이블의 Q-값을 아래 [수학식 1]로 업데이트한다:

[31] [수학식 1]

[32]
$$Q(s,a)=(s,a)+\alpha\left\{r+\gamma \max_{a'} (Q(s',a'))-Q(s,a)\right\}$$

[33] 여기서 α 는 학습률이고, γ 는 감가율이다. 학습 과정에서 Q-값은 에이전트가 받은 보상과 수행한 작업에 기반하여 업데이트된다. 특정 상태-작업 쌍에 대해 Q-값이 높으면, 그 상태에서 그 작업을 수행하고 최적 정책을 따르면 높은 총 보상을 받을 것으로 기대된다. 다시 말해, 높은 Q-값은 에이전트가 그 작업이 장기적으로 높은 보상을 가져올 가능성이 높다는 것을 학습하며, 따라서 그 상태에서 그 작업을 선택해야 한다는 것을 나타낸다.

[34]

- [35] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [36] 본 발명의 실시예에 따른 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법은 사용자 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU(roadside unit)를 결정하여 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송하는 단계(210), 상기 소스 RSU는 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인하는 단계(220), 상기 목적지 차량의 정보에 기초하여 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하는 단계(230), 상기 그룹 Q-테이블에서 최대 Q-값을 가진 다음 RSU의 정보를 포함하는 ACK 메시지를 소스 RSU로 다시 전송하는 단계(240) 및 소스 RSU의 로컬 Q-테이블을 업데이트하는 단계(250)를 포함한다.
- [37] 단계(210)에서, 사용자 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU(roadside unit)를 결정하여 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송한다. 상기 사용자 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU를 결정하여 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송하는 단계는 도로 상의 각 교차로에서의 RSU 위치를 기반으로 복수의 그룹을 설정하고, 상기 복수의 그룹 내 포함되는 복수의 RSU 및 상기 사용자 차량을 포함하는 복수의 차량 간의 데이터 전송을 통해 패킷을 전송한다.
- [38] 단계(220)에서, 상기 소스 RSU는 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인한다.
- [39] 상기 소스 RSU는 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인하는 단계는 상기 소스 RSU는 상기 목적지 차량을 통해 RSU에게 QVRS(Q-Vector-based Road-Segment) 제어 메시지를 브로드캐스트한다. 상기 QVRS 메시지는 시간 스탬프, 상기 소스 RSU의 시퀀스 번호, 주소 및 상기 목적지 차량의 RSU의 그룹 정보를 포함하는 Q-벡터를 포함하고, 상기 목적지 차량이 해당 QVRS 메시지를 수신하면 상기 목적지 차량의 위치, 속도 및 방향을 기록하고, 전달 지연, 홉 카운트, 최소 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명과 관련된 통합 경로 비용을 계산하여 로컬 링크 비용 테이블에 저장하고, 이웃 RSU와의 관계를 설정 및 유지한다.
- [40] 단계(230)에서, 상기 목적지 차량의 정보에 기초하여 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택한다. Q-학습 알고리즘을 통해 그룹 정보를 업데이트하기 위해 전역 Q-값을 저장하는 그룹 Q-테이블과 그룹 내 RSU의 로컬 Q-값을 저장하는 로컬 Q-테이블을 이용하여 RSU의 상태를 Q-벡터로 인코딩한다.
- [41] 상기 소스 RSU의 현재 위치에 따라 목적지 차량의 그룹 또는 목적지 차량 그룹 내 RSU를 나타내는 특정 상태에서 특정 동작을 수행함으로써 받는 예상 총 보상을 측정한다.

- [42] 상기 소스 RSU가 상기 Q-벡터 및 전달 지연, 홉 수, 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명을 포함하는 V2X 메트릭을 평가하고, V2X 메트릭을 보상함수로 사용하여 상기 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택한다.
- [43] 이후, 단계(240)에서 상기 그룹 Q-테이블에서 최대 Q-값을 가진 다음 RSU의 정보를 포함하는 ACK 메시지를 소스 RSU로 다시 전송하고, 단계(250)에서 소스 RSU의 로컬 Q-테이블을 업데이트한다.
- [44]
- [45] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템의 구조를 나타내는 도면이다.
- [46] 본 실시예에 따른 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템(300)은 프로세서(310), 버스(320), 네트워크 인터페이스(330), 메모리(340) 및 데이터베이스(350)를 포함할 수 있다. 메모리(340)는 운영체제(341) 및 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 루틴(342)을 포함할 수 있다. 프로세서(310)는 RSU 그룹 확인부(311), RSU 선택부(312) 및 Q-테이블 관리부(313)를 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템(300)은 도 3의 구성요소들보다 더 많은 구성요소들을 포함할 수도 있다. 그러나, 대부분의 종래기술적 구성요소들을 명확하게 도시할 필요성은 없다. 예를 들어, 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템(300)은 디스플레이나 트랜시버(transceiver)와 같은 다른 구성요소들을 포함할 수도 있다.
- [47] 메모리(340)는 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체로서, RAM(random access memory), ROM(read only memory) 및 디스크 드라이브와 같은 비소멸성 대용량 기록장치(permanent mass storage device)를 포함할 수 있다. 또한, 메모리(340)에는 운영체제(341)와 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 루틴(342)을 위한 프로그램 코드가 저장될 수 있다. 이러한 소프트웨어 구성요소들은 드라이브 메커니즘(drive mechanism, 미도시)을 이용하여 메모리(340)와는 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체로부터 로딩될 수 있다. 이러한 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체는 플로피 드라이브, 디스크, 테이프, DVD/CD-ROM 드라이브, 메모리 카드 등의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체(미도시)를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서 소프트웨어 구성요소들은 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체가 아닌 네트워크 인터페이스(330)를 통해 메모리(340)에 로딩될 수도 있다.
- [48] 버스(320)는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템(300)의 구성요소들간의 통신 및 데이터 전송을 가능하게 할 수 있다. 버스(320)는 고속 시리얼 버스(high-speed serial bus), 병렬 버스(parallel bus), SAN(Storage Area Network) 및/또는 다른 적절한 통신 기술을 이용하여 구성될 수 있다.
- [49] 네트워크 인터페이스(330)는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템(300)을 컴퓨터 네트워크에 연결하기 위한 컴퓨터 하드웨어 구성요소일 수 있다. 네트워크

인터페이스(330)는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템(300)을 무선 또는 유선 커넥션을 통해 컴퓨터 네트워크에 연결시킬 수 있다.

- [50] 데이터베이스(350)는 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅을 위해 필요한 모든 정보를 저장 및 유지하는 역할을 할 수 있다. 도 3에서는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템(300)의 내부에 데이터베이스(350)를 구축하여 포함하는 것으로 도시하고 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며 시스템 구현 방식이나 환경 등에 따라 생략될 수 있고 혹은 전체 또는 일부의 데이터베이스가 별개의 다른 시스템 상에 구축된 외부 데이터베이스로서 존재하는 것 또한 가능하다.
- [51] 프로세서(310)는 기본적인 산술, 로직 및 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템(300)의 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다. 명령은 메모리(340) 또는 네트워크 인터페이스(330)에 의해, 그리고 버스(320)를 통해 프로세서(310)로 제공될 수 있다. 프로세서(310)는 RSU 그룹 확인부(311), RSU 선택부(312) 및 Q-테이블 관리부(313)를 위한 프로그램 코드를 실행하도록 구성될 수 있다. 이러한 프로그램 코드는 메모리(340)와 같은 기록 장치에 저장될 수 있다.
- [52] RSU 그룹 확인부(311), RSU 선택부(312) 및 Q-테이블 관리부(313)는 도 2의 단계들(210~250)을 수행하기 위해 구성될 수 있다.
- [53] 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템(300)은 RSU 그룹 확인부(311), RSU 선택부(312) 및 Q-테이블 관리부(313)를 포함할 수 있다.
- [54] RSU 그룹 확인부(311)는 사용자 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU(roadside unit)를 결정하고, 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송하면, 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인한다.
- [55] 본 발명의 실시예에 따르면, 먼저 도로 상의 각 교차로에서의 RSU 위치를 기반으로 복수의 그룹을 설정하고, 상기 복수의 그룹 내 포함되는 복수의 RSU 및 상기 사용자 차량을 포함하는 복수의 차량 간의 데이터 전송을 통해 패킷을 전송한다.
- [56] 상기 소스 RSU의 RSU 그룹 확인부(311)는 상기 목적지 차량을 통해 RSU에게 QVRS(Q-Vector-based Road-Segment) 제어 메시지를 브로드캐스트한다. 상기 QVRS 메시지는 시간 스탬프, 상기 소스 RSU의 시퀀스 번호, 주소 및 상기 목적지 차량의 RSU의 그룹 정보를 포함하는 Q-벡터를 포함하고, 상기 목적지 차량이 해당 QVRS 메시지를 수신하면 상기 목적지 차량의 위치, 속도 및 방향을 기록하고, 전달 지연, 홉 카운트, 최소 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명과 관련된 통합 경로 비용을 계산하여 로컬 링크 비용 테이블에 저장하고, 이웃 RSU와의 관계를 설정 및 유지한다.
- [57] 상기 소스 RSU의 RSU 선택부(312)는 상기 목적지 차량의 정보에 기초하여 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택한다. Q-학습 알고리즘을 통해 그룹 정보를 업

데이트하기 위해 전역 Q-값을 저장하는 그룹 Q-테이블과 그룹 내 RSU의 로컬 Q-값을 저장하는 로컬 Q-테이블을 이용하여 RSU의 상태를 Q-벡터로 인코딩한다.

[58] 상기 소스 RSU의 RSU 선택부(312)는 상기 소스 RSU의 현재 위치에 따라 목적지 차량의 그룹 또는 목적지 차량 그룹 내 RSU를 나타내는 특정 상태에서 특정 동작을 수행함으로써 받는 예상 총 보상을 측정한다.

[59] 상기 소스 RSU의 RSU 선택부(312)는 상기 Q-벡터 및 전달 지연, 홉 수, 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명을 포함하는 V2X 메트릭을 평가하고, V2X 메트릭을 보상함수로 사용하여 상기 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택한다.

[60] 상기 소스 RSU의 Q-테이블 관리부(313)는 상기 그룹 Q-테이블에서 최대 Q-값을 가진 다음 RSU의 정보를 포함하는 ACK 메시지를 수신 받아 상기 소스 RSU의 로컬 Q-테이블을 업데이트한다.

[61]

[62] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 도시형 VANET에서 그룹화된 RSU 지원하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 알고리즘의 블록 구조도이다.

[63] 도 4를 참조하면, 각 RSU는 에이전트(410)로 작동하며, 두 가지 유형의 Q-테이블을 개별적으로 유지한다. 그룹 Q-테이블(Group Q-table)은 목적지 그룹 정보를 업데이트하기 위해 전역 Q-값을 저장하며, 로컬 Q-테이블(Local Q-table)은 그룹 내 목적지 차량(420)의 RSU의 로컬 Q-값을 업데이트한다. 그룹 및 로컬 Q-테이블을 기반으로 각 RSU마다 Q-벡터(Q-vector)가 생성되고, 이는 제어 패킷에 포함되어 환경(Environments)(430)에서 인접한 RSU 간의 V2X 메트릭을 평가하고, 전달 지연, 홉 수, 링크 품질 및 예상 만료 수명 등을 평가한다. 차량(420)의 데이터 라우팅을 위해 다음 RSU(next RSU)는 최대 Q-값을 기준으로 선택되며, V2X 메트릭은 보상 함수(Reward Function)로 사용되어 Q-테이블을 업데이트한다. 이 과정은 목적지에 데이터가 성공적으로 전달될 때까지 반복된다. 본 발명의 시나리오의 경우, RSU를 에이전트로 선택하고 환경은 전체 네트워크의 토폴로지이다. 상태는 RSU의 현재 위치에 따라 대상 그룹 G_d 또는 대상 그룹 내 대상 RSU $R_r^{G_d}$ 를 나타낸다. 상태는 다음과 같이 [수학식 2]로 정의된다:

[64] [수학식 2]

$$[65] S_i \triangleq \begin{cases} \{G_1, \dots, G_g, \dots, G_{NG}\}, & \text{if } R_i \notin G_d \\ \{R_1^{G_d}, \dots, R_r^{G_d}, \dots, R_{NR_d}^{G_d}\}, & \text{if } R_i \in G_d \end{cases}$$

[66] 현재 위치가 G_d 의 외부에 있는 경우, 상태는 목적지 그룹 ID이다. 모든 그룹이 목적지 그룹이 될 수 있기 때문에 상태 집합에는 모든 그룹 ID가 포함된다. 현재 위치가 G_d 내부에 있는 경우, 상태는 목적지 그룹 G_d 내의 모든 RSU ID이며, 모든 가능한 목적지에 대해 G_d 내의 모든 RSU ID가 상태 집합에 포함된다. 패킷을 전달하기 위해 다음 도로 세그먼트를 선택하는 RSU의 작업은 각 교차로에서 여러

가지 방향으로 정의되다. 이 방향들은 $A_i \triangleq \{R_1^i, \dots, R_n^i, \dots, R_{NNR^i}^i\}$ 로 정의되다. 여

기서 $_{NNR^i}$ 는 RSU R_i 의 이웃 RSU 개수다.

[67]

[68] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 그룹 Q-테이블 및 로컬 Q-테이블과 Q-벡터에 관하여 설명하기 위한 도면이다.

[69] 도 5(a)에 나타난 그룹 Q-테이블(Group Q-table)에서 테이블의 행은 가능한 모든 목적지 그룹을 나타내며, 열은 RSU가 가능한 액션으로 연결할 수 있는 이웃 RSU를 나타내는 도면이다.

[70] 도 5(b)에 나타난 로컬 Q-테이블(local Q-table)에서 테이블의 행은 목적지 그룹 내 모든 가능한 목적지 RSU를 나타내며, 열은 RSU가 가능한 액션으로 연결할 수 있는 같은 그룹 내 이웃 RSU를 나타내는 도면이다.

[71] 도 5(c)에 나타난 Q-벡터는 그룹 Q-테이블과 로컬 Q-테이블에서 핵심 정보를 수집하고 브로드캐스트 메시지를 통해 이웃 RSU와 공유되는 값을 나타내는 도면이다.

[72] 따라서, 그룹 Q-테이블과 로컬 Q-테이블의 각 셀에 있는 값인 Q-값(Q-value)는 해당 RSU가 그 동작을 취할 때 받게 될 목적지 그룹/목적지 RSU에 대한 예상 보상을 나타낸다.

[73] 도 5(c)에서 Q-벡터의 형식을 보여주며 다음과 같은 [수학식 3]와 [수학식 4] 방정식을 사용한다

[74] [수학식 3]

$$[75] \quad GQ_i(G_g, *) = \max_{\forall n \in \{1, \dots, NNR^i\}} Q_i^G(G_g, R_n^i) \text{ for } \forall G_g \neq G_{(i)}$$

[76] [수학식 4]

$$[77] \quad GQ_i(G_{(i)}, *) = \text{avg}_{\forall r \in \{1, \dots, NR_{(i)}\}} \left\{ \max_{\forall n \in \{1, \dots, NNR^i\}} Q_i^L(R_r^{G_{(i)}}, R_n^i) \right\}$$

[78] 여기서 $GQ_i(G_g, *)$ 는 목적지 그룹을 제외한 모든 그룹 G_g 에 해당하는 R_i 의 그룹 Q-테이블에서 이웃 RSU의 모든 최대 Q-값 중 최대 Q-값을 나타낸다. R_n^i 은 R_i 의 이웃 RSU를 나타내며, 인덱스 $n \in \{1, \dots, NNR^i\}$ 이다.

$\text{avg}_{\forall r \in \{1, \dots, NR_{(i)}\}} \left\{ \max_{\forall n \in \{1, \dots, NNR^i\}} Q_i^L(R_r^{G_{(i)}}, R_n^i) \right\}$ 는 R_i 의 지역 Q-테이블에서 목적지 RSU $R_r^{G_{(i)}}$ 에 대한 모든 최대 Q-값의 평균값을 나타낸다. $R_r^{G_{(i)}}$ 는 목적지 그룹에서 R_i 의 이웃 RSU를 나타내며, 인덱스 $r \in \{1, \dots, NR_{(i)}\}$ 이다.

[79]

[80] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 V2X 브로드캐스팅 메커니즘을 설명하기 위한 도면이다.

- [81] 네트워크 환경에 대한 정보 및 링크 상태를 공유하고 패킷이 제때에 안정적으로 목적지로 전달되도록 하기 위해 RSU(611, 612) 및 차량 내에서 브로드캐스트가 필요하다. 네트워크에서 효율적이고 효과적인 통신을 가능하게 하기 위해 Q-벡터 기반의 브로드캐스트 메커니즘을 제안한다. 각 RSU(611)는 차량을 통해 이웃 RSU(612)에게 설계된 QVRS 제어 메시지를 브로드캐스트한다. 네트워크 오버헤드를 줄이기 위해 브로드캐스트는 각 도로 구간에서 독립적으로 발생한다. QVRS 메시지에는 타임 스탬프, 송신 RSU(611)의 시퀀스 번호, 주소, 그리고 해당 RSU의 그룹 정보를 모두 포함하는 Q-벡터가 포함된다. 차량은 이 도로 세그먼트에서 브로드캐스트 메시지를 수신하면 먼저 자신의 위치, 속도 및 방향을 기록하고, QVRS의 전달 지연, 홉 수, 최소 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명과 관련된 통합 V2X 경로 비용을 계산한 다음, 이웃 RSU(612)관계를 설정 및 유지하기 위한 로컬 V2X 링크 비용 테이블에 저장한다. 마지막으로 차량은 이 QVRS 메시지를 이웃 RSU(612)에 도달할 때까지 재방송한다. 통합 V2X 경로 비용을 계산하는 데 사용되는 지표는 아래에서 설명한다.
- [82] 먼저, 배송 지연(Delivery delay) $DD_{R_i}(V_{n \rightarrow m})$ 은 송신자 RSU R_i 로부터 이전 중간 노드 v_n 을 통해 수신자 v_m 으로 패킷이 전송되는 데 걸리는 시간을 의미한다. 이는 R_i 에서 v_n 까지의 배송 지연 $DD_{R_i}(V_{k \rightarrow n})$ 과 v_n 에서 v_m 으로의 일회성 배송 지연 $OD_{v_n}(v_m)$ 의 합계로 구성된다. 이는 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.
- [83] [수학식 5]
- [84] $DD_{R_i}(V_{n \rightarrow m}) = DD_{R_i}(V_{k \rightarrow n}) + OD_{v_n}(v_m)$
- [85] 한 회차(Hop) 배송 지연 $OD_{v_n}(v_m)$ 은 패킷이 단일 네트워크 홉(Hop)을 통과하는 데 걸리는 시간을 나타내며, 송신자 v_n 에서 수신자 v_m 까지의 전송 지연 $d_{v_n}^{tx}(v_m)$, 전파 지연 $d_{v_n}^{pr}(v_m)$, v_n 에서 v_m 으로의 대기열 지연 $d_{v_n}^{que}(v_m)$ 및 v_n 에 인접 노드가 없는 경우 v_n 의 저장-전달 지연 $d_{v_n}^{SCF}$ 을 포함하여 여러 요소에 의해 결정된다. 이러한 지연은 다음과 같이 각각 [수학식 6] [수학식 7] [수학식 8] [수학식 9]로 나타낼 수 있다.
- [86] [수학식 6]
- [87] $OD_{v_n}(v_m) = d_{v_n}^{tx}(v_m) + d_{v_n}^{pr}(v_m) + d_{v_n}^{que}(v_m) + d_{v_n}^{SCF}$
- [88] [수학식 7]
- [89] $d_{v_n}^{tx}(v_m) = \frac{l_{msg}}{\mu_{nm}}$
- [90] [수학식 8]

[91]

$$d_{v_n}^{pr}(v_m) + \frac{dist_{nm}}{c}$$

[92]

[수학식 9]

[93]

$$d_{v_n}^{que}(v_m) + \frac{ql_m}{\mu_{nm}}$$

[94]

여기서 l_{msg} 는 v_m 의 메시지 길이, μ_{nm} 는 전송률, $dist_{nm}$ 는 두 노드 사이의 거리, c 는 매체에서의 전파 속도, ql_m 는 v_m 의 대기열 버퍼 크기이다.

[95]

다음으로 홉 카운트(Hop count) $HC_{R_i}(v_n \rightarrow v_m)$ 는 송신자 RSU R_i 에서 현재 수신자 v_m 까지의 중간 노드 수 또는 '홉(Hop)' 수를 나타낸다. 차량이 패킷을 전달할 때마다 홉 카운트가 1씩 증가한다. 일반적으로, 홉 카운트가 낮을수록 더 직접적이고 효율적인 경로를 의미하며 혼잡 또는 데이터 손실 가능성이 적다.

[96]

다음으로, 링크 품질(Link quality) $lq_{v_n}(v_m)$ 은 v_n 과 v_m 간의 통신 링크의 신뢰성과 안정성을 나타내고, 아래 [수학식 10]로 나타낼 수 있다.

[97]

[수학식 10]

[98]

$$lq_{v_n}(v_m) + \frac{p_{v_n}^{rcv}(v_m) - p_{min}^{rcv}}{p_{min}^{rcv}}$$

[99]

여기서 p_{min}^{rcv} 는 부호화 속도, 채널 대역폭 및 기타 요인에 기초한 최소 해독 가능 전력 (dBm)이다. p_{min}^{rcv} 은 이전 노드 v_n 의 메시지의 v_m 수신 전력이다.

[100]

다음으로 예상 만료 수명(Expected lifetime)에 대하여 설명한다. 수신 노드가 송신자의 송신 범위를 벗어나면 통신 링크는 끊어진다. 만료된 수명은 통신 연결의 지속 시간을 나타내며, 연결 링크가 존재할 수 있는 기간이다. 만료된 수명은 차량의 위치, 속도 및 움직임에 의해 결정된다. 시간 t 에서 v_m 과 v_n 사이의 거리는 $dist_{nm}(t)$ 로 표시되며, V_m, V_n 은 각각 시간 t 에서 v_m 과 v_n 의 속도를 나타낸다. V_{x_m}, V_{y_m} 은 각각 v_m 의 X, Y 방향에서의 속도 성분을 나타내며, V_{x_n}, V_{y_n} 은 v_n 의 X, Y 방향에서의 속도 성분을 나타낸다. 일정 시간이 지난 후, $dist_{nm}(t + elt_{v_n}(v_m)) \geq d_{tx}$ 인 경우, $elt_{v_n}(v_m)$ 은 다음 방정식[수학식 11]을 사용하여 v_m 과 v_n 간의 예상 만료 수명을 나타낸다.

[101]

[수학식 11]

[102]

$$dist_{nm}(t + elt_{v_n}(v_m))^2 = A \times (elt_{v_n}(v_m))^2 + B \times (elt_{v_n}(v_m)) + C$$

[103]

여기서,

[104]

$$A = (V_{x_m} - V_{x_n})^2 + (V_{y_m} - V_{y_n})^2$$

[105] $B=2[(x_m-x_n)(V_{x_m}-V_{x_n})+(y_m-y_n)(V_{y_m}-V_{y_n})]$

[106] $C=(x_m-x_n)^2+(Y_m-Y_n)^2$

[107] 통신 범위 d_{tx} 는 로그-정규 그림자 페이딩(log-normal shadowing)을 사용한 경로 손실 모델에서 다음 방정식[수학식 12]을 사용하여 나타낸다.

[108] [수학식 12]

[109]
$$P_{v_n}^{rcv}=P_{tx}+10\log_{10}K-10\beta\log_{10}\left(\frac{d_{tx}}{d_0}\right)+X_c$$

[110] 여기서,

[111]
$$K=\frac{G_tG_r\lambda^2}{(4\pi)^2}$$

[112] 다음으로, 통합 V2X 경로 비용(Integrated V2X path reward)은 배달 지연과 홉 카운트가 길면 불리하고, 링크 품질과 예상 만료 시간이 길면 유리하다는 네 가지 요소를 종합적으로 고려한 지표이다. 다음과 같은 [수학식 13]을 사용하여 계산된다.

[113] [수학식 13]

[114]
$$r_{R_i}(v_{n \rightarrow m})=\omega_1 \frac{DD_{R_i}(v_{n \rightarrow m})}{\max DD}-\omega_2 \frac{HC_{R_i}(v_{n \rightarrow m})}{\max HC}-\omega_3 \frac{\max \min LQ-\min LQ_{R_i}(v_{n \rightarrow m})}{\max \min LQ}-\omega_4 \frac{\max \min ELT-\min ELT_{R_i}(v_{n \rightarrow m})}{\max \min ELT}$$

[115] 여기서

[116] $\min LQ_{R_i}(v_{n \rightarrow m})=\min[\min LQ_{R_i}(v_{k \rightarrow n}),lq_n(v_m)]$

[117] $\min ELT_{R_i}(v_{n \rightarrow m})=\min[\min ELT_{R_i}(v_{k \rightarrow n}),elt_n(v_m)]$

[118] 여기서 $\min LQ_{R_i}(v_{n \rightarrow m})$ 과 $\min ELT_{R_i}(v_{n \rightarrow m})$ 은 R_i 에서 v_m 으로의 모든 링크 중 최소 링크 품질과 예상된 수명을 나타낸다. 변수 $\max DD$ 와 $\max HC$ 는 각각 가능한 최대 전송 지연 및 홉 수 값을 나타낸다. 마찬가지로, 변수 $\max \min LQ$ 와 $\max \min ELT$ 는 각각 최소 링크 품질과 예상된 수명의 가능한 최대 값을 나타낸다. 가중치 요소 ω_1 , ω_2 , ω_3 , 및 ω_4 는 메트릭에서 네 가지 요소의 중요성을 균형있게 조정하는 데 사용된다. $r_{R_i}(v_{n \rightarrow m})$ 값을 음수로 유지하고 이 값은 송신자 RSU R_i 와 수신자 v_m 사이의 통신 링크의 경로 비용을 나타내기 때문이다. QVRS 메시지 방송 중에 각 차량은 링크 비용 테이블에 이웃의 정보를 업데이트하고 저장한다. r_{R_i, R_j} 는 R_i 에서 R_j 로 다른 차량을 통해 아래 [수학식 14]이 이루어지는 최대 경로 보상을 나타낸다.

[119] [수학식 14]

$$[120] \quad r_{R_i-R_j} = \max_{\forall v_m \in V_{R_j}^{ngb}} r_{R_i}(v_m \rightarrow R_j)$$

[121] 이때, 동일 도로 세그먼트에서 두 방향으로의 경로 보상은 다른 값을 갖는 것에 유의해야 한다. 주변 RSU들에게 QVRS 메시지가 도착하면, R_j 는 R_i 에 대응하는 그룹 Q-테이블의 전체 열을 다음 [수학식 15]을 사용하여 업데이트한다.

[122] [수학식 15]

$$[123] \quad Q_j^G(G_g, R_i) = (1 - \alpha_G) \times Q_j^G(G_g, R_i) + \alpha_G \{ r_{R_i-R_j} + \gamma G Q_i(G_g, *) \} \quad \forall G_g$$

[124] 여기서, α_G 는 전역 Q-테이블의 학습률을 나타내며, $G Q_i(G_g, *)$ 은 모든 그룹에 대한 R_i 의 Q-벡터를 나타낸다.

[125] 차량이 데이터 패킷을 생성하여 전송할 때 먼저 소스 RSU(R_s 로 표시)를 결정하고 링크 테이블을 기반으로 이를 이웃 차량 중 하나에게 전달해야 한다. 이후 소스 RSU는 목적지 차량까지의 최근접 RSU(목적지 RSU, R_d 로 식별)를 식별하고 해당 RSU가 속한 그룹(G_d , 즉, R_d 가 속한 그룹)을 확인한다. 소스 RSU와 목적지 RSU 사이의 모든 RSU(R_i)는 데이터 패킷을 전달하기 위해 다음 RSU를 결정해야 한다. 만약 R_i 가 목적지 그룹 G_d 에 속하지 않는 경우, 다음 RSU R_j 는 해당 RSU의 그룹 Q-테이블을 사용하여 결정될 수 있다. 만약 R_i 가 목적지 그룹 G_d 에 속하는 경우, 이는 [수학식 16]에서처럼 해당 RSU의 로컬 Q-테이블을 사용하여 다음 RSU R_j 를 결정한다.

[126] [수학식 16]

$$[127] \quad R_j = \begin{cases} \arg \max_{\forall R_n^j \in R_{nbg}^j} Q_j^G(G_d, R_n^j) & \text{if } R_j \notin G_d \\ \arg \max_{\forall R_n^j \in R_{nbg}^j} Q_j^L(R_d, R_n^j) & \text{if } R_j \in G_d \end{cases}$$

[128]

[129] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 라우팅 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[130] 도 7은 본 발명의 데이터 라우팅 과정 보여준다. 데이터 라우팅 프로세스는 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하면 먼저 소스 RSU를 결정하고 링크 비용 테이블을 기반으로 이웃 차량에게 패킷을 전달해야 한다(710). 소스 RSU는 가장 가까운 목적지 차량의 RSU인 R_d 를 식별(720)하고 R_d 가 속한 그룹인 G_d 를 확인한다. 목적지 차량의 정보를 기반으로 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하고(730), 목적지 차량을 통해 데이터를 전송한다(740). 실제 V2X 비용은 최대 Q-값을 가진 이웃 RSU를 포함하는 ACK 메시지를 사용하여 송신자 RSU(다시 말해, 소스 RSU)

로 다시 보내지며(750), 이를 통해 송신자 RSU의 Q-테이블이 업데이트되다(760). RSU R_d 가 다음 RSU R_j 로 데이터를 전달하고 보상을 관찰하면 Q-값을 업데이트한다. 다음 RSU R_j 와 목적지 그룹 G_d 의 위치를 따라 최대 Q-값 $\max Q_j(G_d, R_d)$ [수학식 17]로 계산하다.

[131] [수학식 17]

$$[132] \quad \max Q_j(G_d, R_d) = \begin{cases} \max_{\forall R_n^j \in R_{nbg}^j} Q_j^G(G_d, R_n^j) & \text{if } R_j \notin G_d \\ \max_{\forall R_n^j \in R_{nbg}^j} Q_j^L(R_d, R_n^j) & \text{if } R_j \in G_d \end{cases}$$

[133] 만약 R_j 가 목적지 그룹 G_d 의 범위를 벗어나면, 다음 [수학식 18]을 사용하여 R_i 의 그룹 Q-값 $Q_i^L(R_d, R_j)$ 을 업데이트한다.

[134] [수학식 18]

$$[135] \quad Q_i^G(G_d, R_j) = (1 - \alpha_G) \times Q_i^G(G_d, R_j) + \alpha_G \{R + \gamma \max Q_j(G_d, R_d)\}$$

[136] 만약 R_j 가 목적지 그룹 G_d 안에 있다면, R_i 의 로컬 Q-값 $Q_i^L(R_d, R_j)$ 를 아래 [수학식 19]을 이용하여 업데이트한다.

[137] [수학식 19]

$$[138] \quad Q_i^L(R_d, R_j) = (1 - \alpha_L) \times Q_i^L(G_d, R_j) + \alpha_L \{R + \gamma \max Q_j(G_d, R_d)\}$$

[139] α_L 는 로컬 Q 테이블의 학습률을 나타내며, 그룹과 로컬 Q 테이블 갱신 간에 다른 학습률을 사용하여 에이전트가 새로운 경험에 기반하여 Q-값을 더 잘 갱신할 수 있도록 한다. 보상 함수 R은 다음과 같이 [수학식 20]로 정의되다.

[140] [수학식 20]

$$[141] \quad R = \begin{cases} R_T + r_{R_i-R_j}^{data}, & \text{if } R_j = R_d \\ r_{R_i-R_j}^{data}, & \text{if } R_j \neq R_d \end{cases}$$

[142] 여기서 R_T 는 데이터 패킷이 목적지 RSU에 도달할 때만 제공되는 종단 보상이며, $r_{R_i-R_j}^{data}$ 는 데이터 전달 중 [수학식 14]을 사용하여 계산된 실제 V2X 경로 비용을 나타낸다. 시간이 지남에 따라 Q-테이블은 각 상태에서 각 행동에 대한 예상 보상에 대한 더 많은 정보로 업데이트되다. Q-테이블이 더욱 정확해지면 RSU는 예상 장기적 보상을 최대화하는 행동을 선택하기 위해 사용할 수 있다. 한편, 탐사와 활용의 균형을 맞추기 위해 입실론-탐사 기법을 사용한다. 이 기법은 초기에 더 높은 ϵ 값으로 시작하여 탐사를 촉진하고, Q-테이블이 환경에 대해 더 많은 정보를 축적함에 따라 지수적으로 감소한다.

[143]

- [144] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 및 ACK 패킷 구조를 나타내는 도면이다.
- [145] 도 8(a)는 데이터 패킷 구조를 나타내고, 도 8(b)는 ACK 패킷 구조를 나타낸다.
- [146]
- [147] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 시나리오의 예시를 설명하기 위한 도면이다.
- [148] 도 9(a)는 Q-벡터 생성, 도 9(b)는 브로드캐스트 중 V2X 메트릭 계산, 도 9(c)는 Q-벡터 및 경로 보상으로 Q-테이블 업데이트, 도 9(d)는 RSU 선택 및 데이터 라우팅의 Q-테이블 업데이트를 설명하기 위한 도면이다.
- [149] 도 9을 참조하면, 예제 토폴로지에서는 3개의 그룹과 8개의 RSU를 가정한다. 각 교차점에서 각각 수학식3과 수학식4를 사용하여 현재 그룹 Q-테이블과 로컬 Q-테이블을 기반으로 Q-벡터를 생성한다. 도 9(a)에 도시된 바와 같이, G_2 및 G_3 의 R_1^1 의 Q-벡터 값은 그룹 Q-테이블에서 G_2 , G_3 상태에서 최대 Q-값을 캡처한 반면, R_1^1 의 G_1 Q-벡터 값은 여기서 R_1^1 은 로컬 Q-테이블의 모든 상태에서 최대 Q-값을 합산한 다음 평균을 내어 계산한다. Q-벡터는 QVRS 메시지에 포함되어 이웃 RSU에 브로드캐스팅된다. 도 9(b)와 같이 R_1^1 은 V2X 메트릭을 기록하여 다중 홉 차량을 통해 QVRS 메시지를 R_2^1 에게 브로드캐스트한다. 홉 수와 전달 지연은 차량을 통해 누적되었지만 링크 품질과 예상 만료 수명은 경로의 모든 링크 중에서 최소값을 얻는다. 동시에 각 차량은 가중치 팩터가 0.25, 최대 정규화 값이 10일 때 수학식13를 사용하여 경로 보상을 계산한다. 경로 보상은 V2X 라우팅 결정을 내리기 위해 차량의 링크 테이블에 저장된다. QVRS에서 R_2^1 에 도달할 때까지 방송 중에 경로 보상이 업데이트된다. R_2^1 은 수학식13을 사용하여 다중 소스 QVRS 메시지를 비교하여 최대 경로 보상 $r_{R_1^1-R_2^1}$ 을 선택한다.
- [150] 도 9(c)에서 학습할 때 수학식14를 사용하여 R_1^1 의 Q-벡터와 R_1^1 동작에 해당하는 $r_{R_1^1-R_2^1}$ 을 기반으로 R_2^1 의 그룹 Q-테이블 업데이트를 표시한다. 비율은 0.1이고 할인 계수는 0.9이다. 도 9(d)에서 데이터 패킷이 목적지 정보 G_2 와 함께 R_1^1 에 도착했을 때 $Q_1^G(G_2, R_2^1)$ 이 상태 G_2 에서 최대 Q-값을 저장한다. 데이터 패킷은 R_2^1 에 대한 링크 테이블을 기반으로 차량에 의해 전달된다. 데이터 패킷이 R_2^1 에 도착하면 G_2 상태에서 R_2^1 의 최대 Q 값과 데이터 경로 보상 $r_{R_1^1-R_2^1}^{data}$ 가 ACK에 포함되어 R_1^1 로 다시 전송된다. 마지막으로 R_1^1 은 $Q_1^G(G_2, R_2^1)$ 의 Q-값을 업데이트한다.
- [151]
- [152] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러,

ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다.

이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[153] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[154] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[155] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및

변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[156] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

청구범위

- [청구항 1] 사용자 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU(roadside unit)를 결정하여 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송하는 단계;
 상기 소스 RSU는 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인하는 단계;
 상기 목적지 차량의 정보에 기초하여 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하는 단계;
 상기 그룹 Q-테이블에서 최대 Q-값을 가진 다음 RSU의 정보를 포함하는 ACK 메시지를 소스 RSU로 다시 전송하는 단계; 및
 소스 RSU의 로컬 Q-테이블을 업데이트하는 단계를 포함하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
 상기 사용자 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU를 결정하여 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송하는 단계는,
 도로 상의 각 교차로에서의 RSU 위치를 기반으로 복수의 그룹을 설정하고, 상기 복수의 그룹 내 포함되는 복수의 RSU 및 상기 사용자 차량을 포함하는 복수의 차량 간의 데이터 전송을 통해 패킷을 전송하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
 상기 소스 RSU는 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인하는 단계는,
 상기 소스 RSU는 상기 목적지 차량을 통해 RSU에게 QVRS(Q-Vector-based Road-Segment) 제어 메시지를 브로드캐스트하고, 상기 QVRS 메시지는 시간 스탬프, 상기 소스 RSU의 시퀀스 번호, 주소 및 상기 목적지 차량의 RSU의 그룹 정보를 포함하는 Q-벡터를 포함하고, 상기 목적지 차량이 해당 QVRS 메시지를 수신하면 상기 목적지 차량의 위치, 속도 및 방향을 기록하고, 전달 지연, 홉 카운트, 최소 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명과 관련된 통합 경로 비용을 계산하여 로컬 링크 비용 테이블에 저장하고, 이웃 RSU와의 관계를 설정 및 유지하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법.
- [청구항 4] 제1항에 있어서,
 상기 목적지 차량의 정보에 기초하여 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하는 단계는,

Q-학습 알고리즘을 통해 그룹 정보를 업데이트하기 위해 전역 Q-값을 저장하는 그룹 Q-테이블과 그룹 내 RSU의 로컬 Q-값을 저장하는 로컬 Q-테이블을 이용하여 RSU의 상태를 Q-벡터로 인코딩하고,
 상기 소스 RSU의 현재 위치에 따라 목적지 차량의 그룹 또는 목적지 차량 그룹 내 RSU를 나타내는 특정 상태에서 특정 동작을 수행함으로써 받는 예상 총 보상을 측정하고,
 상기 소스 RSU가 상기 Q-벡터 및 전달 지연, 홉 수, 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명을 포함하는 V2X 메트릭을 평가하고, V2X 메트릭을 보상함수로 사용하여 상기 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하는
 계층적 강화 학습 기반 라우팅 방법.

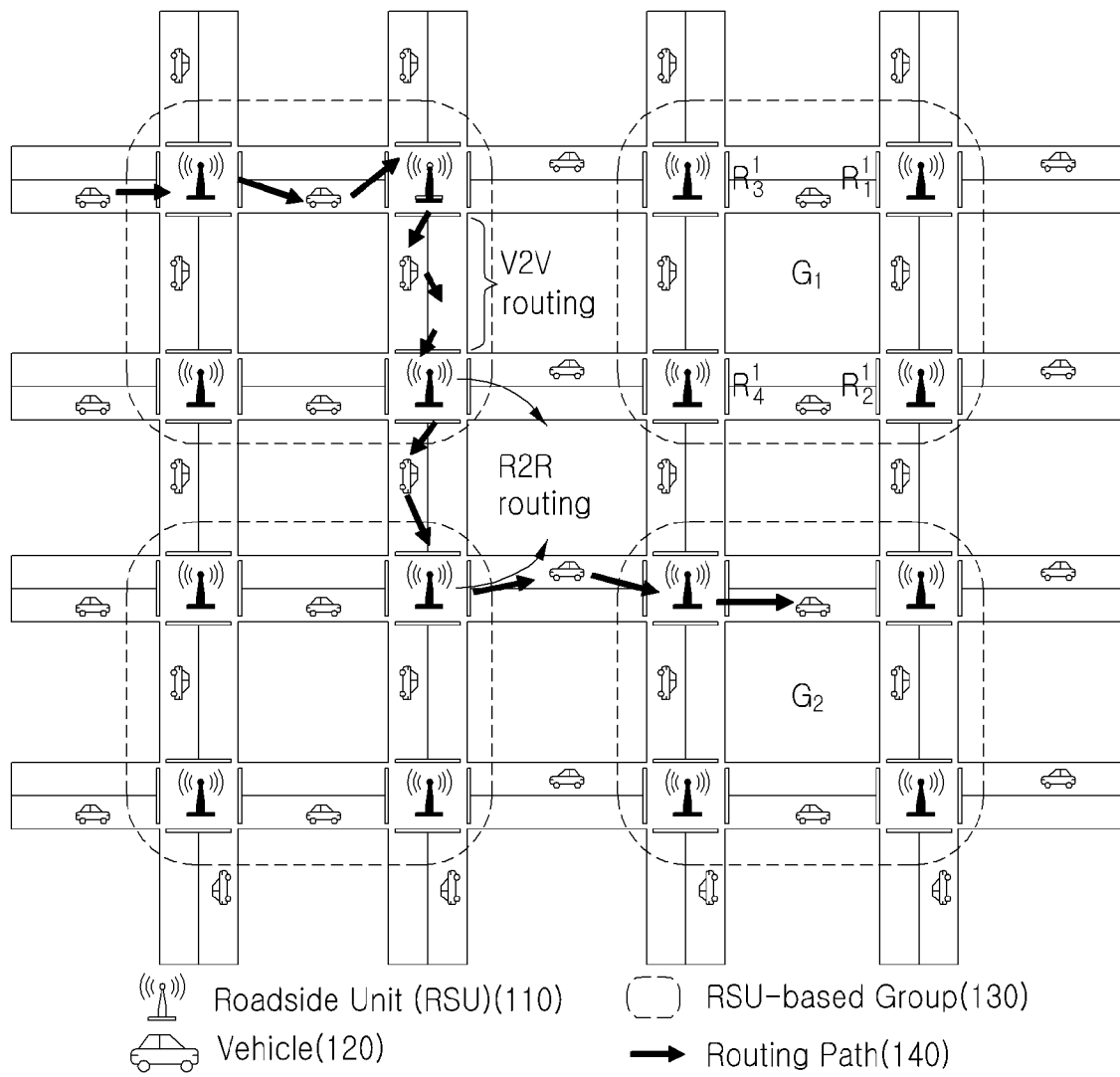
[청구항 5] 사용자 차량이 전송할 데이터 패킷을 생성하여, 소스 RSU(roadside unit)를 결정하고, 링크 비용 테이블을 기반으로 인접 차량들에게 패킷을 전송하면, 인접 차량들 중 가장 가까운 목적지 차량의 RSU를 식별하고, 상기 목적지 차량의 RSU가 속한 그룹을 확인하는 RSU 그룹 확인부;
 상기 목적지 차량의 정보에 기초하여 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하는 RSU 선택부; 및
 상기 그룹 Q-테이블에서 최대 Q-값을 가진 다음 RSU의 정보를 포함하는 ACK 메시지를 수신 받아, 상기 소스 RSU의 로컬 Q-테이블을 업데이트하는 Q-테이블 관리부를 포함하는 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템.

[청구항 6] 제5항에 있어서,
 상기 RSU 확인부는,
 상기 소스 RSU는 상기 목적지 차량을 통해 RSU에게 QVRS(Q-Vector-based Road-Segment) 제어 메시지를 브로드캐스트하고, 상기 QVRS 메시지는 시간 스탬프, 상기 소스 RSU의 시퀀스 번호, 주소 및 상기 목적지 차량의 RSU의 그룹 정보를 포함하는 Q-벡터를 포함하고, 상기 목적지 차량이 해당 QVRS 메시지를 수신하면 상기 목적지 차량의 위치, 속도 및 방향을 기록하고, 전달 지연, 홉 카운트, 최소 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명과 관련된 통합 경로 비용을 계산하여 로컬 링크 비용 테이블에 저장하고, 이웃 RSU와의 관계를 설정 및 유지하는
 계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템.

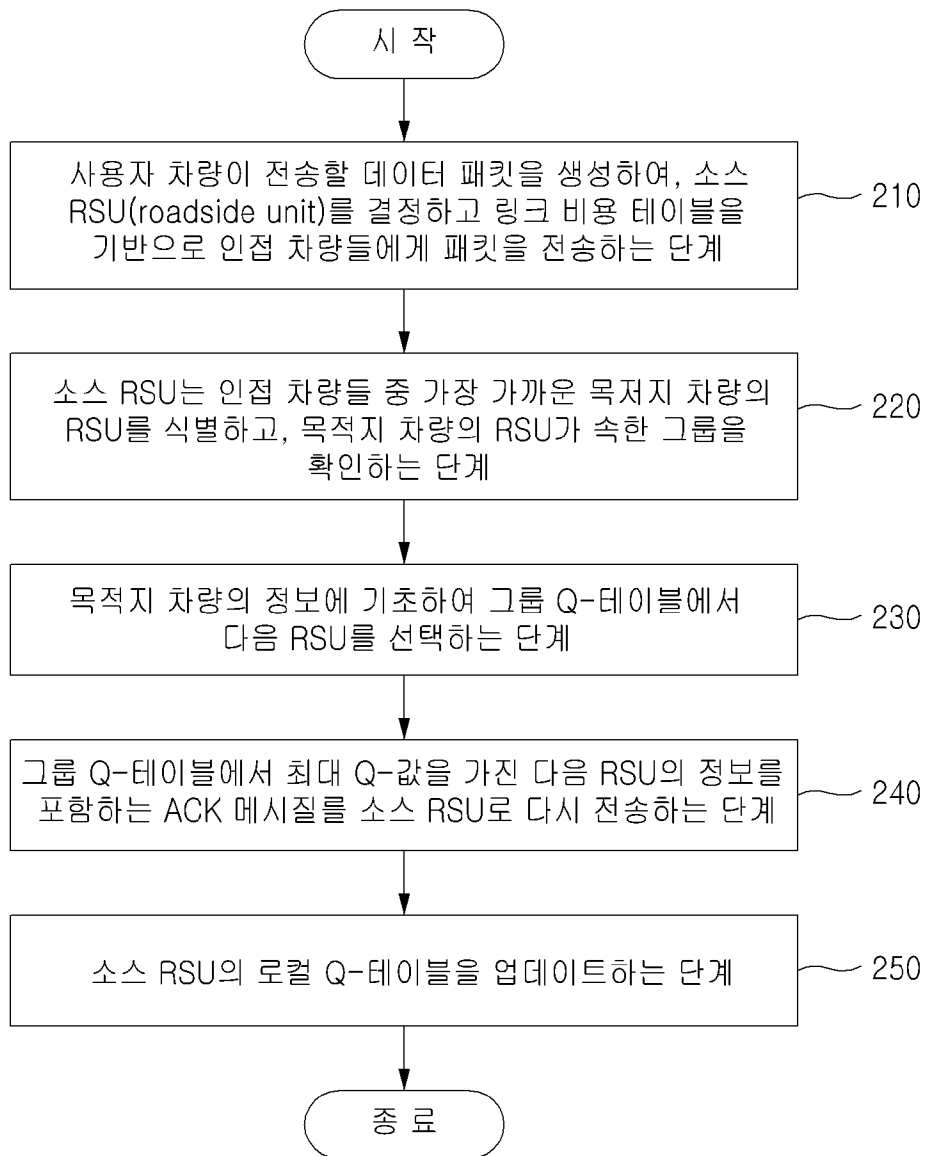
[청구항 7] 제5항에 있어서,
 상기 RSU 선택부는,
 Q-학습 알고리즘을 통해 그룹 정보를 업데이트하기 위해 전역 Q-값을 저장하는 그룹 Q-테이블과 그룹 내 RSU의 로컬 Q-값을 저장하는 로컬 Q-테이블을 이용하여 RSU의 상태를 Q-벡터로 인코딩하고,

상기 소스 RSU의 현재 위치에 따라 목적지 차량의 그룹 또는 목적지 차량 그룹 내 RSU를 나타내는 특정 상태에서 특정 동작을 수행함으로써 받는 예상 총 보상을 측정하고,
상기 소스 RSU가 상기 Q-벡터 및 전달 지연, 홉 수, 링크 품질 및 최소 예상 만료 수명을 포함하는 V2X 메트릭을 평가하고, V2X 메트릭을 보상함수로 사용하여 상기 그룹 Q-테이블에서 다음 RSU를 선택하는
계층적 강화 학습 기반 라우팅 시스템.

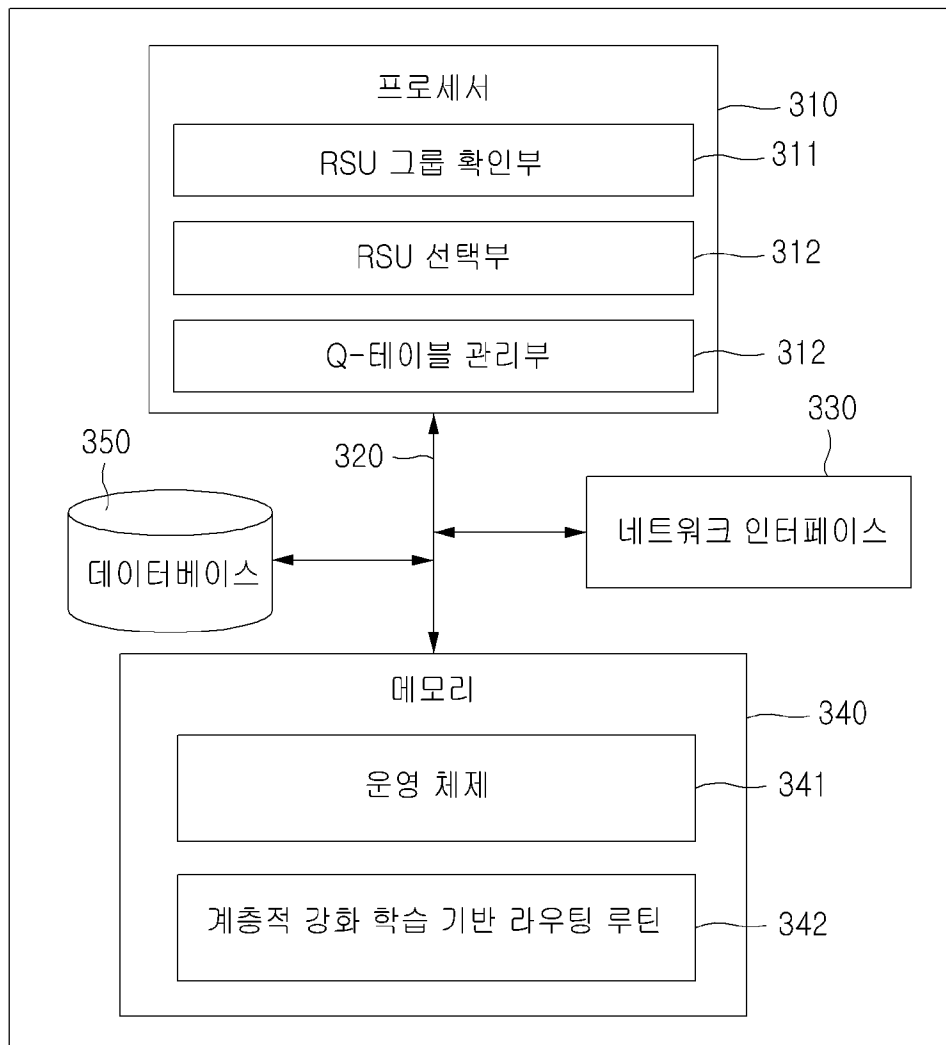
[도1]



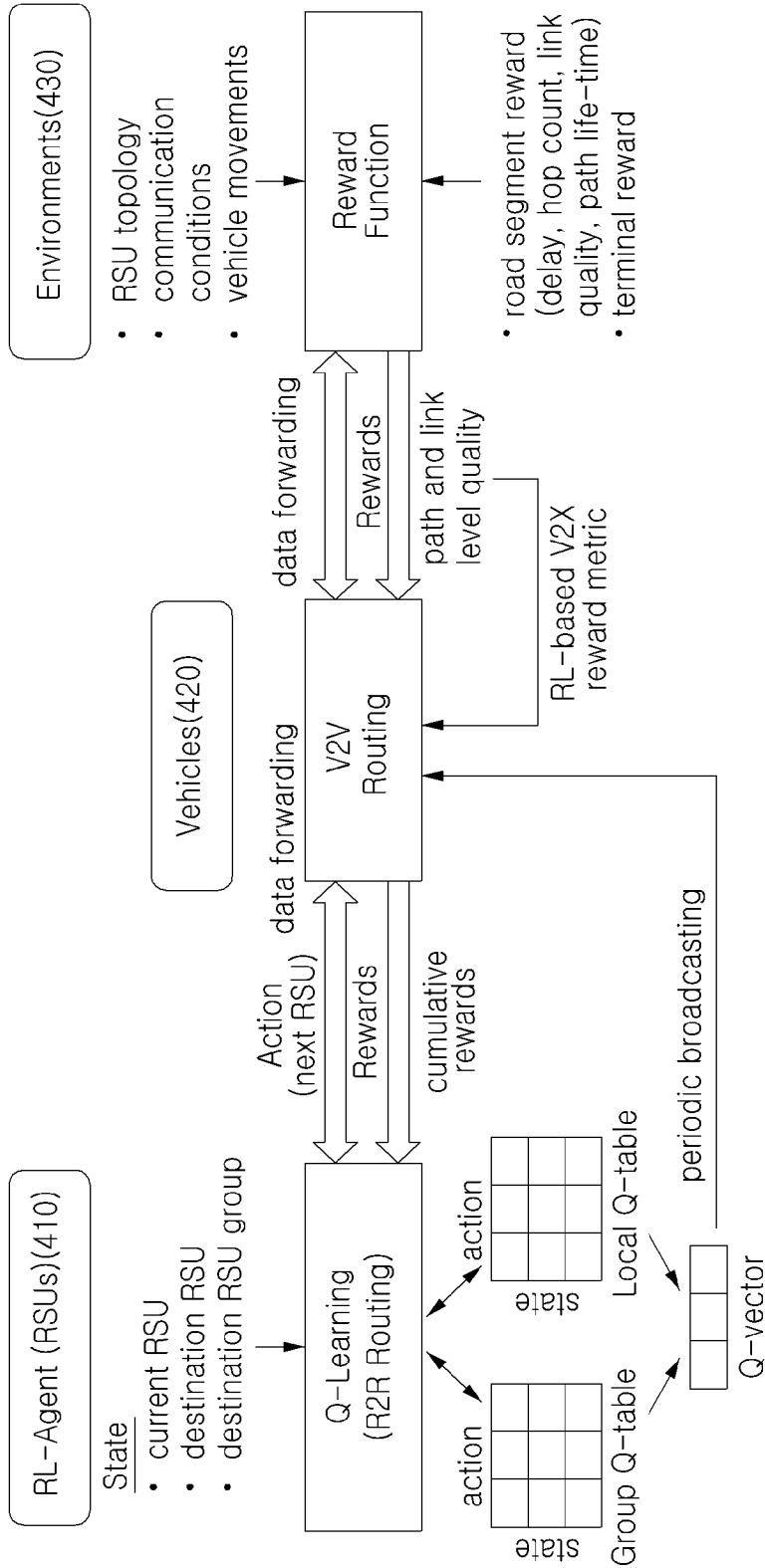
[도2]



[도3]

200

[도4]



[도5]

Group State	Action		
	R_1^i	...	R_n^i
G_1	$Q_1^G(G_1, R_1^i)$	...	$Q_n^G(G_1, R_n^i)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
G_g	$Q_1^G(G_g, R_1^i)$	...	$Q_n^G(G_g, R_n^i)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

(a)

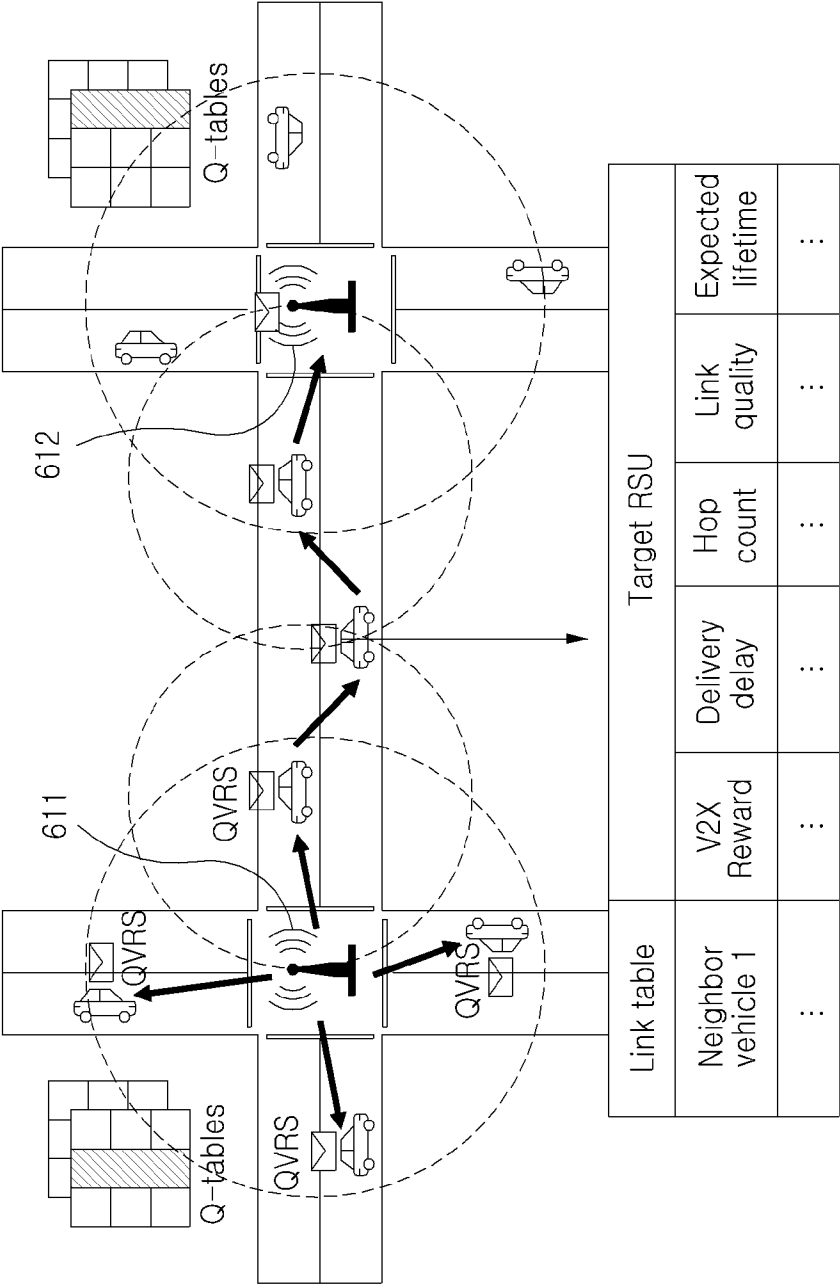
Local State	Action		
	R_1^i	...	R_n^i
$R_1^{G_d}$	$Q_1^L(R_1^{G_d}, R_1^i)$	...	$Q_n^L(R_1^{G_d}, R_n^i)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$R_{r-d}^{G_d}$	$Q_1^L(R_r^{G_d}, R_1^i)$	...	$Q_n^L(R_r^{G_d}, R_n^i)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

(b)

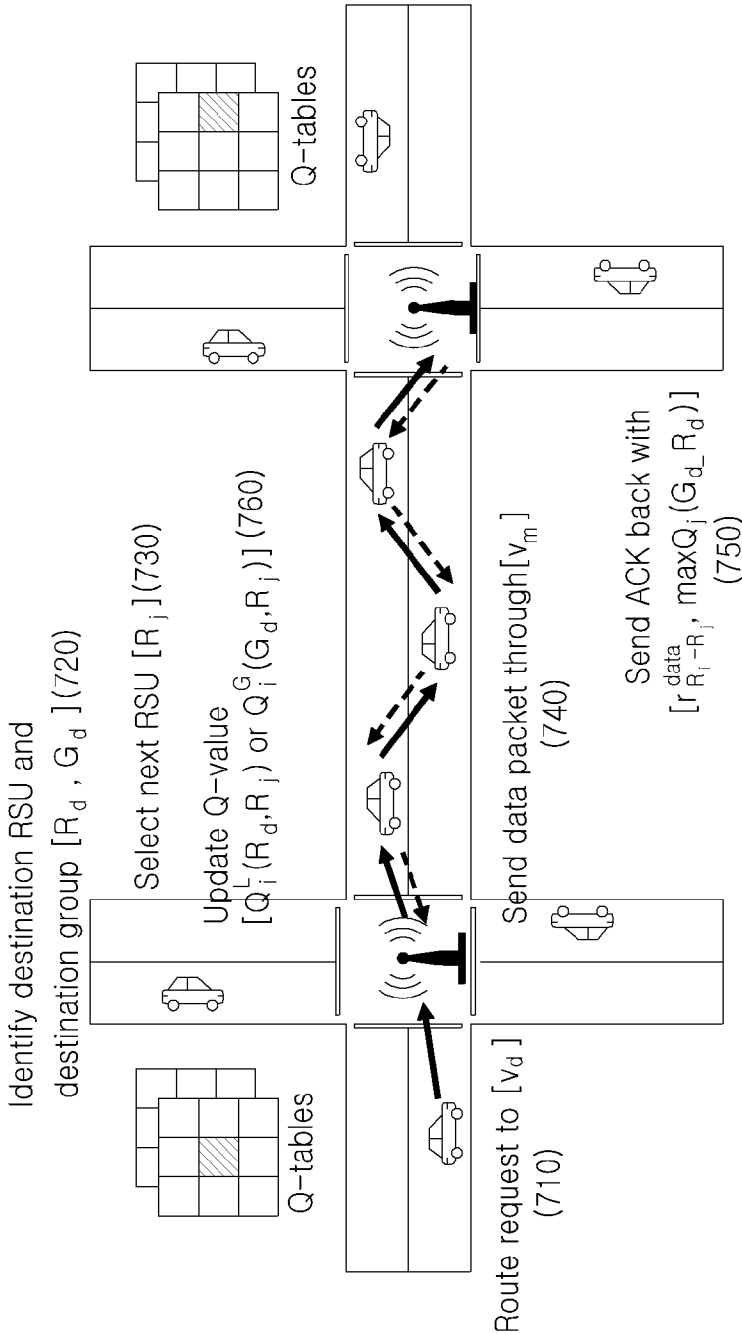
R_i 's Q-Vector	
Group	Value
G_1	$GQ_i(G_1, *)$
$\vdots$	$\vdots$
G_g	$GQ_i(G_g, *)$
$\vdots$	$\vdots$

(c)

[도6]



[도7]



[도8]

Data Packet Structure				
Data header	Vehicle position	Vehicle velocity	Vehicle direction	
Delivery delay	Hop count	Minimum link quality	Minimum expected lifetime	
Data				

(a)

ACK Packet Structure	
Data path reward ($r_{R_i - R_j}^{data}$)	Maximum Q-value ($\max Q_j (G_d R_d)$)
Acknowledgment for data	

(b)

Figure 1 illustrates the proposed framework, showing the interaction between a central router (R) and four agents (V1, V2, V3, V4). Each agent maintains a local Q-table and a Q-vector. The router maintains a global Q-table and a Q-vector. The agents interact with the router, and the router provides routing information to the agents.

Group Q-table (R_1^1)

a	R_1^1	R_2^1	R_3^1
s	G_1	G_2	G_3
G_1	4	2	5
G_2	3	5	4
G_3	5	4	3

Local Q-table (R_1^1)

a	R_1^1	R_2^1	R_3^1
s	R_1^1	R_2^1	R_3^1
R_1^1	1	10	1
R_2^1	10	1	10
R_3^1	1	10	1
R_1^1	4	3	5

Q-vector (R_1^1)

G_1	6
G_2	4
G_3	5

$10 = 10 + 4 = 4$

Router (R)

$R_1^1 \rightarrow v_1$	$R_1^1(v_1 \rightarrow v_2)$	$R_1^1(v_2 \rightarrow v_3)$	$R_1^1(v_3 \rightarrow v_4)$	$R_1^1(v_4 \rightarrow R_2^1)$
R_1^1 Qvector	R_1^1 Qvector	R_1^1 Qvector	R_1^1 Qvector	R_1^1 Qvector
hc 1	hc 2	hc 3	hc 4	hc 5
dd 2	dd 4	dd 6	dd 9	dd 9
minlq 3	minlq 3	minlq 3	minlq 3	minlq 3
minelt 4	minelt 2	minelt 2	minelt 2	minelt 1
reward -0.4	reward -0.325	reward -0.6	reward -0.7	reward -0.65
R_1^1 V2X routing	R_1^1 V2X routing	R_1^1 V2X routing	R_1^1 V2X routing	R_1^1 V2X routing

Agents (V1, V2, V3, V4)

$V_1 \rightarrow v_1$	$V_2 \rightarrow v_2$	$V_3 \rightarrow R_2^1$	$V_4 \rightarrow R_2^1$
hc = 1	hc = 1	hc = 1	hc = 1
dd = 2	dd = 2	dd = 3	dd = 2
lq = 3	lq = 4	lq = 4	lq = 4
elt = 4	elt = 2	elt = 5	elt = 1

Router (R)

R_1^1	R_2^1
R_1^1	R_2^1

Agents (V1, V2, V3, V4)

V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	V_2	V_3	V_4

Router (R)

R_1^1	R_2^1
R_1^1	R_2^1

Agents (V1, V2, V3, V4)

V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	V_2	V_3	V_4

Router (R)

R_1^1	R_2^1
R_1^1	R_2^1

Agents (V1, V2, V3, V4)

V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	V_2	V_3	V_4

Router (R)

R_1^1	R_2^1
R_1^1	R_2^1

Agents (V1, V2, V3, V4)

V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	V_2	V_3	V_4

Router (R)

R_1^1	R_2^1
R_1^1	R_2^1

Agents (V1, V2, V3, V4)

V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	V_2	V_3	V_4

Router (R)

R_1^1	R_2^1
R_1^1	R_2^1

Agents (V1, V2, V3, V4)

V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	V_2	V_3	V_4

Router (R)

R_1^1	R_2^1
R_1^1	R_2^1

Agents (V1, V2, V3, V4)

V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	V_2	V_3	V_4

Router (R)

R_1^1	R_2^1
R_1^1	R_2^1

Agents (V1, V2, V3, V4)

V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	V_2	V_3	V_4

Router (R)

R_1^1	R_2^1
R_1^1	R_2^1

Agents (V1, V2, V3, V4)

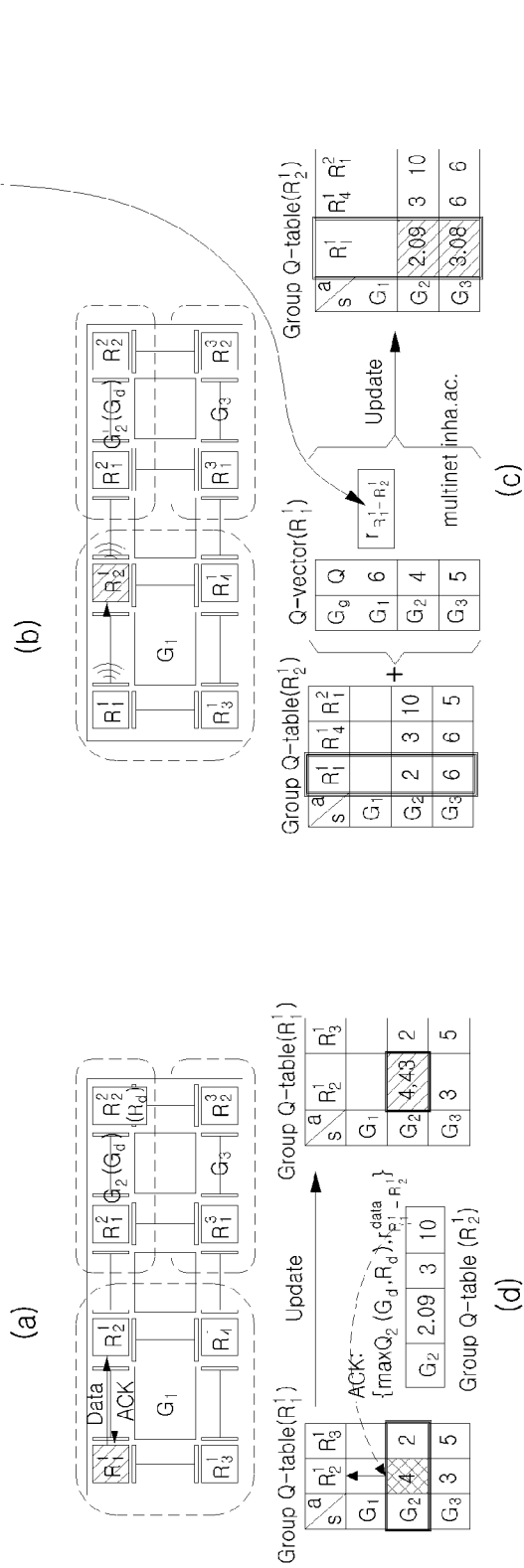
V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	V_2	V_3	V_4

Router (R)

R_1^1	R_2^1
R_1^1	R_2^1

Agents (V1, V2, V3, V4)

V_1	V_2	V_3 </
-------	-------	----------



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2023/021753

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04W 40/20(2009.01)i; **G06N 3/08**(2006.01)i; **H04W 40/32**(2009.01)i; **H04W 40/02**(2009.01)i; **H04L 45/12**(2022.01)i;
H04W 4/44(2018.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04W 40/20(2009.01); H04W 40/14(2009.01); H04W 52/04(2009.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
 Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: VANET(Vehicular Ad Hoc Networks), 차량(vehicle), RSU(Roadside Unit), 그룹(group), Q-테이블(Q-table), 업데이트(update)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WU, Celimuge et al. Computational Intelligence Inspired Data Delivery for Vehicle-to-roadside Communications. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY. 20 September 2018. See pages 1-6.	1-2,4-5,7 3,6
Y	SIDDIQUA, Farhana et al. A Trust-Based Malicious RSU Detection Mechanism in Edge-Enabled Vehicular Ad Hoc Networks. Department of Computer Science and Engineering, University of Dhaka, Dhaka, Bangladesh. 11 August 2022. See pages 3-7.	1-2,4-5,7
A	KHAN, Muhammad Umair et al. An Intersection-Based Routing Scheme Using Q-Learning in Vehicular Ad Hoc Networks for Traffic Management in the Intelligent Transportation System. Mathematics. 11 October 2022. See entire document.	1-7
A	KR 10-2023-0086516 A (SOOKMYUNG WOMEN'S UNIVERSITY INDUSTRY-ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 15 June 2023 (2023-06-15) See abstract; and claim 1.	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “D” document cited by the applicant in the international application
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 October 2024

Date of mailing of the international search report

04 October 2024

Name and mailing address of the ISA/KR

**Korean Intellectual Property Office
 Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208**

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2023/021753

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-2009-0054163 A (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE et al.) 29 May 2009 (2009-05-29) See abstract; and claim 1.	1-7
X	YANG, Qin et al. Grouped Intersection-based Routing using Reinforcement Learning for Urban VANETs. 2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). 19-21 October 2022. See entire document. * This document is a document declaring exceptions to lack of novelty in an earlier application that serves as a basis for claiming priority of the present international application.	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2023/021753

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
KR	10-2023-0086516	A	15 June 2023	None			
KR	10-2009-0054163	A	29 May 2009	KR	10-0932556	B1	17 December 2009

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

H04W 40/20(2009.01)i; G06N 3/08(2006.01)i; H04W 40/32(2009.01)i; H04W 40/02(2009.01)i; H04L 45/12(2022.01)i; H04W 4/44(2018.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H04W 40/20(2009.01); H04W 40/14(2009.01); H04W 52/04(2009.01)

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: VANET(Vehicular Ad Hoc Networks), 차량(vehicle), RSU((Roadside Unit), 그룹(group), Q-테이블(Q-table), 업데이트(update)

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y A	CELIMUGE WU 등., "Computational Intelligence Inspired Data Delivery for Vehicle-to-roadside Communications", IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, 2018.09.20 페이지 1-6	1-2,4-5,7 3,6
Y	FARHANA SIDDIQUA 등., "A Trust-Based Malicious RSU Detection Mechanism in Edge-Enabled Vehicular Ad Hoc Networks", Department of Computer Science and Engineering, University of Dhaka, Dhaka, Bangladesh, 2022.08.11 페이지 3-7	1-2,4-5,7
A	MUHAMMAD UMAIR KHAN 등., "An Intersection-Based Routing Scheme Using Q-Learning in Vehicular Ad Hoc Networks for Traffic Management in the Intelligent Transportation System", 2022.10.11 문헌 전체	1-7
A	KR 10-2023-0086516 A (숙명여자대학교산학협력단) 2023.06.15 요약; 및 청구항 1	1-7
A	KR 10-2009-0054163 A (한국전자통신연구원 등) 2009.05.29 요약; 및 청구항 1	1-7

☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일

2024년10월04일(04.10.2024)

국제조사보고서 발송일

2024년10월04일(04.10.2024)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소

대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동,
정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

양정록

전화번호 +82-42-481-5709

C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	QIN YANG 등., Grouped Intersection-based Routing using Reinforcement Learning for Urban VANETs, 2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2022.10.19-21 문헌 전체 * 위 문헌은 본 국제출원의 우선권주장의 기초가 되는 선출원에서 공지예외주장된 문헌임	1-7

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2023-0086516 A	2023/06/15	없음	
KR 10-2009-0054163 A	2009/05/29	KR 10-0932556 B1	2009/12/17