(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0049092
(43) 공개일자 2019년05월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G08G 1/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G08G 1/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0144563
(22) 출원일자 2017년11월01일
심사청구일자 2017년11월01일

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
이숙영
경기도 광명시 오리로 801, 301동 1701호 (하안동, e편한세상센트레빌아파트)
이미정
서울특별시 용산구 이촌로 347, 15동 507호 (서빙고동, 신동아아파트)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

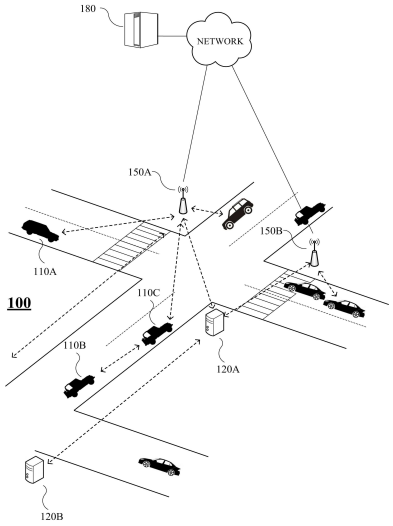
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **적응적 교차로 교통 신호 제어 방법**

(57) 요 약

적응적 교차로 교통 신호 제어 방법은 신호제어장치가 타겟 교차로의 교통 상황과 관련된 트래픽 정보를 획득하는 단계, 상기 신호제어장치가 상기 트래픽 정보를 이용하여 일정한 시간 구간에서 상기 타겟 교차로의 교통 신호를 제어하는 모드를 결정하는 단계, 상기 신호제어장치가 상기 모드를 제1 모드로 결정한 경우 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로에서의 교통신호조합을 기준으로 상기 타겟 교차로의 트래픽을 제어하는 단계 및 상기 신호제어장치가 상기 모도를 제2 모드로 결정한 경우 상기 타겟 교차로에서 특정 방향에서 진입하여 특정 방향으로 진출하는 차량의 흐름을 기준으로 상기 타겟 교차로의 트래픽을 제어하는 단계를 포함하되, 상기 시간 구간 동안 상기 타겟 교차로에서 진행가능한 각 방향의 신호가 적어도 한번 발생하고, 상기 교통신호조합은 적어도 하나의 진행 방향에 대한 녹색 신호를 포함한다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016R1D1A1B03930635

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구사업(학술진흥)-기본연구지원사업

연구과제명 차량흐름 최적화를 위한 실시간 교통정보 기반 교통신호제어 및 중앙가변차로 제어와의 연동 최적화 방안

기 여 율 1/1

주관기관 이화여자대학교 산학협력단

연구기간 2016.11.01 ~ 2019.10.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

신호제어장치가 타겟 교차로의 교통 상황과 관련된 트래픽 정보를 획득하는 단계;

상기 신호제어장치가 상기 트래픽 정보를 이용하여 일정한 시간 구간에서 상기 타겟 교차로의 교통 신호를 제어하는 모드를 결정하는 단계;

상기 신호제어장치가 상기 모드를 제1 모드로 결정한 경우 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로에서의 교통신호조합을 기준으로 상기 타겟 교차로의 트래픽을 제어하는 단계; 및

상기 신호제어장치가 상기 모도를 제2 모드로 결정한 경우 상기 타겟 교차로에서 특정 방향에서 진입하여 특정 방향으로 진출하는 차량의 흐름을 기준으로 상기 타겟 교차로의 트래픽을 제어하는 단계를 포함하되, 상기 시간 구간 동안 상기 타겟 교차로에서 진행가능한 각 방향의 신호가 적어도 한번 발생하고, 상기 교통신호조합은 적어도 하나의 진행 방향에 대한 녹색 신호를 포함하는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 신호 제어 장치는 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로의 도로 점유율, 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로를 지나간 차량의 수 및 상기 시간 구간에서 진행방향으로 진행하지 못하고 대기하는 차량의 수 중 적어도 하나를 기준으로 상기 모드를 결정하는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 신호 제어 장치는 상기 타겟 교차로의 도로 점유율이 임계값 이하인 경우 상기 모드를 제1 모드로 결정하고,

상기 도로 점유율이 임계값을 초과하면서 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로의 처리량이 상기 시간 구간의 이전 구간의 처리량 이하이고, 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로에서 대기하는 차량의 수가 상기 이전 구간에서 대기하는 차량의 수 이상인 경우 상기 모드를 제2 모드로 결정하는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 신호제어장치는 상기 제1 모드에서 상기 시간 구간의 길이 조정, 상기 시간 구간에 발생하는 교통신호조합의 순서 재구성 및 상기 교통신호조합에 대한 녹색 신호 길이의 조정 중 적어도 하나를 수행하는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 신호제어장치는 상기 제1모드에서 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로에서 대기하는 차량의 수와 상기 시간 구간에 발생한 상기 교통신호조합의 개수를 기준으로 상기 시간 구간의 다음 구간의 길이를 조절하는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 신호제어장치는 상기 제1모드에서 상기 시간 구간의 다음 구간에 발생하는 교통신호조합의 순서를 재구성

하는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 교통신호조합은 복수의 교통신호로 구성되고,

상기 신호제어장치는 상기 타겟 교차로에서 진행가능한 모든 교통흐름 중에서 상기 복수의 교통신호 중 각 교통신호가 처리하는 교통흐름과 나머지 교통흐름의 상대적인 트래픽 혼잡도를 기준으로, 상기 트래픽 혼잡도가 상대적으로 높은 교통신호가 먼저 발생하도록 상기 다음 구간의 교통신호조합을 재구성하는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 신호제어장치는 상기 제1모드에서

상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로에 대기중인 차량의 수, 상기 시간 구간에 상기 타겟 교차로에 진입한 차량의 수 및 상기 시간 구간의 다음 구간에 상기 타겟 교차로에 진입할 것으로 예상되는 차량의 수를 기준으로 상기 교통신호조합을 구성하는 각 교통신호의 길이를 조절하는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 신호제어장치는 상기 제2모드에서 상기 시간 구간의 트래픽 처리량이 상기 시간 구간의 이전 구간보다 증가한 경우,

상기 시간 구간의 다음 구간의 길이를 상기 시간 구간의 길이와 동일하게 하거나, 상기 이전 구간에서 상기 타겟 교차로에서 대기하는 차량의 수과 상기 시간 구간에서 대기하는 차량의 수의 차이를 기준으로 상기 다음 구간의 길이를 줄이는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 신호제어장치는 상기 제2모드에서 상기 시간 구간의 이전 구간에 비하여 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로의 트래픽 처리량 및 상기 타겟 교차로에서 대기하는 차량의 수가 모두 증가한 경우,

상기 이전 구간에서 상기 타겟 교차로에서 대기하는 차량의 수과 상기 시간 구간에서 대기하는 차량의 수의 차이를 기준으로 상기 시간 구간의 다음 구간의 길이를 늘리는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 신호제어장치는 상기 제2모드에서 상기 타겟 교차로로 유입하는 차량이 줄어들어 상기 시간 구간의 이전 구간과 상시 시간 구간에서 연속하여 상기 타겟 교차로의 트래픽 처리량 줄어든 경우,

상기 이전 구간에서 상기 타겟 교차로를 지나는 차량이 대기하는 평균 시간과 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로를 지나는 차량이 대기하는 평균 시간의 차이를 기준으로 상기 시간 구간의 다음 구간의 구간 길이를 조절하는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 신호제어장치는 상기 제2모드에서 상기 타겟 교차로에서 다른 교차로로 유출되는 도로의 혼잡도가 증가하여 상기 타겟 교차라의 트래픽 처리량이 줄어든 경우,

상기 시간 구간에서 대기하는 차량의 수가 상기 시간 구간의 이전 구간에서 상기 타겟 교차로에서 대기하는 차

량의 수 보다 줄어들었다면, 상기 시간 구간의 다음 구간의 길이를 상기 시간 구간의 길이와 동일하게 하고,

상기 시간 구간에서 대기하는 차량의 수가 상기 시간 구간의 이전 구간에서 상기 타겟 교차로에서 대기하는 차량의 수 이상이라면, 상기 이전 구간에서 상기 타겟 교차로의 트래픽 처리량과 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로의 트래픽 처리량의 차이를 기준으로 상기 시간 구간의 다음 구간에서 상기 교통신호조합에 대한 녹색 신호 길이를 줄이는 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 이하 설명하는 기술은 교차로에서 교통 신호를 제어하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 도심에 밀집하는 자동차는 교통 체증, 사고 발생, 에너지 소모 및 환경 문제를 유발한다. 따라서 차량 트래픽(traffic)을 제어하는 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 ITS(intelligent transportation system)는 카메라의 영상 및 센싱 데이터를 이용하여 도로 상태를 모니터링하고, 개별 차량에 일정한 정보를 전달하기도 한다.

[0003] 차량 트래픽 제어 기술은 크게 두 가지 방향으로 연구되고 있다. 하나는 차량 통신(VANET 등)을 이용하여 트래픽 데이터를 수집하고, 데이터를 분석하여 차량의 이동 경로를 제어하기 위한 연구이다. 다른 하나는 도로 상황을 파악하여 실시간으로 교통 신호를 적응적으로 제어하는 연구이다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0004] (비특허문헌 0001) C. Hu and Y. Wang, "A novel intelligent traffic light control scheme," in Grid and Cooperative Computing (GCC), 9th International Conference on, pp. 372-376, 2010.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 대부분의 ATLC(adaptive traffic light control)는 주변 교차로의 정보를 고려하지 않고, 교통 신호를 최적화하려는 한계가 있었다. 이하 설명하는 기술은 하나의 교차로에서 해당 교차로와 주변 교차로의 교통 상태를 고려하여 최대 트래픽 흐름을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 적응적 교차로 교통 신호 제어 방법은 신호제어장치가 타겟 교차로의 교통 상황과 관련된 트래픽 정보를 획득하는 단계, 상기 신호제어장치가 상기 트래픽 정보를 이용하여 일정한 시간 구간에서 상기 타겟 교차로의 교통 신호를 제어하는 모드를 결정하는 단계, 상기 신호제어장치가 상기 모드를 제1 모드로 결정한 경우 상기 시간 구간에서 상기 타겟 교차로에서의 교통신호조합을 기준으로 상기 타겟 교차로의 트래픽을 제어하는 단계 및 상기 신호제어장치가 상기 모도를 제2 모드로 결정한 경우 상기 타겟 교차로에서 특정 방향에서 진입하여 특정 방향으로 진출하는 차량의 흐름을 기준으로 상기 타겟 교차로의 트래픽을 제어하는 단계를 포함한다. 상기 시간 구간 동안 상기 타겟 교차로에서 진행가능한 각 방향의 신호가 적어도 한번 발생하고, 상기 교통신호조합은 적어도 하나의 진행 방향에 대한 녹색 신호를 포함한다.

발명의 효과

[0007] 이하 설명하는 기술은 하나의 교차로에서 적응적으로 교통 신호의 순서 및 특정 신호 구간의 길이를 제어하여 해당 교차로에서 최적의 교통 흐름을 갖게 한다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 교차로의 신호 제어 시스템에 대한 예이다.

도 2는 도로 네트워크의 예이다.

도 3은 교차로에서 가능한 신호의 종류를 도시한 예이다.

도 4는 교차로의 교통 신호에 대한 예이다.

도 5는 교통신호주기에 대한 예이다.

도 6은 주변 교차로를 고려하여 교차로의 도로 상황을 모니터링하는 과정에 대한 예이다.

도 7은 교통 신호 제어를 위한 모드의 변환을 설명하는 예이다.

도 8은 CAP 모드에서 교통신호를 제어하기 위한 4가지 케이스에 대한 예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 이하 설명하는 기술은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시례를 가질 수 있는 바, 특정 실시례들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 이하 설명하는 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 이하 설명하는 기술의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0010] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 해당 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않으며, 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 이하 설명하는 기술의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

[0011] 본 명세서에서 사용되는 용어에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 해석되지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함한다" 등의 용어는 설시된 특징, 개수, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 의미하는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 개수, 단계 동작 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0012] 도면에 대한 상세한 설명을 하기에 앞서, 본 명세서에서의 구성부들에 대한 구분은 각 구성부가 담당하는 주기능 별로 구분한 것에 불과함을 명확히 하고자 한다. 즉, 이하에서 설명할 2개 이상의 구성부가 하나의 구성부로 합쳐지거나 또는 하나의 구성부가 보다 세분화된 기능별로 2개 이상으로 분화되어 구비될 수도 있다. 그리고 이하에서 설명할 구성부 각각은 자신이 담당하는 주기능 이외에도 다른 구성부가 담당하는 기능 중 일부 또는 전부의 기능을 추가적으로 수행할 수도 있으며, 구성부 각각이 담당하는 주기능 중 일부 기능이 다른 구성부에 의해 전담되어 수행될 수도 있음은 물론이다.

[0013] 또, 방법 또는 동작 방법을 수행함에 있어서, 상기 방법을 이루는 각 과정들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 과정들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.

[0016] 이하 설명하는 기술은 하나의 교차로에서 주변 교차로의 교통 상황까지 고려하여 차량 트래픽을 최대화한다. 일반적으로 도로의 교통 흐름을 분석하기 위하여 그래프 자료구조를 사용한다. G = (V, E)에서 V는 교차로이고, E는 교차로를 연결하는 도로에 해당한다.

[0017] 이하 설명하는 기술은 하나의 교차로에서 차량 밀집도 및 유휴(idle) 상태의 녹색 신호 구간을 줄이기 위하여 적응적으로 교통 신호의 순서 및 신호 구간의 길이를 제어한다. 기본적으로 이하 설명하는 기술은 트래픽 처리량을 늘리고, 교차로에서의 대기 시간을 줄인다. 나아가 이하 설명하는 기술은 특정 교차로 및 주변 교차로의 도로 정체 정도를 고려하여 트래픽 처리량 및 대기 시간을 동적으로 조절한다.

[0018] 이하 설명에서 교통 신호의 순서 내지 구간 길이를 제어하는 장치를 신호제어장치라고 명명한다. 신호제어장치가 특정 교차로 i_c에서 교통 신호 제어를 제어한다고 가정한다. 신호제어장치는 교차로에 배치되는 신호 제어기

일 수 있다. 또는 제어 장치는 전체 도로의 흐름을 제어하는 제어 센터에 있는 제어기일 수도 있다.

[0020] 도 1은 교차로의 신호 제어 시스템(100)에 대한 예이다. 신호 제어 시스템(100)은 신호제어장치(120A, 120B), RSU(150A, 150B) 및 제어 센터(180)를 포함한다. 도 1은 신호제어장치가 교차로에 배치되는 신호 제어기(120A, 120B)인 경우를 도시하였다. RSU(150A, 150B)는 차량(110A, 110B, 110C)과 통신하는 도로변 AP에 해당한다. 또한 RSU(150A, 150B)는 신호제어장치(120A, 120B)와도 통신할 수 있다. RSU(150A, 150B)와 차량(110A, 110B, 110C)은 다양한 차량 무선 통신을 기법으로 정보를 주고 받을 수 있다. RSU(150A, 150B)와 신호제어장치(120A, 120B)는 유선 또는 무선 통신으로 정보를 주고 받을 수 있다. RSU(150A, 150B)는 제어 센터(180)와 유선 또는 이동통신과 같은 무선 통신으로 정보를 주고 받을 수 있다. 이하 설명에서 신호 제어 시스템(100)에서 사용하는 통신 기법을 특정한 통신 기법으로 제한하지 않는다.

[0021] 차량(110A)은 위치, 목적지, 이동 방향, 이동 속도 등과 같은 주행 정보를 RSU(150A)에 전달한다(V2I 통신). 나아가 차량(110A)은 카메라 등으로 획득한 주변 정보, 교통 상황 등을 RSU(150A)에 전달할 수도 있다. 차량(110B)는 차량(110C)에 주행 정보, 교통 상황 등을 전달할 수 있다(V2V 통신). 차량(110C)는 자신의 정보와 차량(110B)가 전달한 정보를 RSU(150A)에 전달할 수 있다. 신호제어장치(120A)는 RSU(150A, 150B)를 통해 교차로에 위치하는 차량에 대한 정보를 획득할 수 있다. 신호제어장치(120A)는 교차로의 특정 도로에 위치하는 차량의 수, 차량의 속도, 각 차량의 진입 경로, 각 차량의 진출 경로 등과 같은 정보를 획득할 수 있다. 도 1에서 신호제어장치(120A)가 RSU를 통해 정보를 전달받는 것으로 도시하였지만, 경우에 따라 신호제어장치(120A)가 직접 차량으로부터 또는 제어센터(180)로부터 정보를 수신할 수도 있다.

[0022] 나아가 신호제어장치(120A)는 주변 교차로에 위치하는 다른 신호제어장치(120B)로부터 정보를 전달받을 수도 있다. 신호제어장치(120A)는 주변 교차로에서 신호제어장치(120A)가 담당하는 교차로로 진입하는 차량에 대한 정보(차량의 수, 차량의 속도, 해당 차량의 목적 경로 등)를 획득할 수 있다.

[0023] 한편 신호제어장치(120A)는 제어 센터(180)로부터 제어 센터(180)가 수집한 정보를 수신할 수도 있다. 제어 센터(180)는 도로 교통망 전체의 차량 정보, 주변 교차로의 교통 상황 등과 같은 정보를 신호제어장치(120A)에 전달할 수 있다. 이하 설명에서 신호제어장치(120A)는 다양한 경로 중 적어도 어느 하나를 통해 주변 교차로의 교통 상황 및 자신이 담당한 교차로의 교통 상황에 대한 정보를 획득할 수 있다고 가정한다. 이를 통해 신호제어장치(120A)는 도로의 혼잡도, 특정 도로 상의 차량의 수, 차량의 대기 시간 등을 파악할 수 있다. 또한 신호제어장치(120A)는 교차로 교통신호를 제어하는 장치이므로, 해당 교차로의 교통신호에 대한 정보(교통 신호의 순서 및 특정 신호의 길이 등)도 사전에 알고 있다고 전제한다.

[0025] 신호제어장치는 교차로 i_c 신호를 제어한다고 가정한다. 신호제어장치는 교차로의 교통 상황을 나타내는 정보를 필요로 한다. 예컨대, 교차로 i_c를 지나가는 차량의 수, 교차로 i_c에 도착하는 차량의 수, 교차로 i_c에서 진출 가능한 모든 방향 각각에 대한 대기 시간, 교차로 i_c에 도달하는 도로의 트래픽 밀집도 등과 같은 정보가 필요하다. 신호제어장치는 V2V, V2I 및/또는 I2I 통신 등을 통해 교차로의 교통 상황을 수집한다고 가정한다.

[0026] 간략하게 설명하면 신호제어장치는 교차로 i_c를 지나가는 차량의 수를 늘리고, 교차로 i_c에서의 차량 대기 시간을 줄이는 방향으로 신호를 제어한다. 신호제어장치는 교차로 i_c를 지나가는 차량의 수와 차량의 평균 대기 시간을 균형있게 조절하는 방향으로 신호를 제어한다. 신호제어장치는 크게 두 가지 방향성으로 신호를 제어한다. (i) 교차로 i_c 근처(연결된) 도로가 낮은 트래픽 정도(차량의 밀집도)를 갖는다면, 신호제어장치는 교차로 i_c를 지나가는 차량의 대기 시간을 줄이고자 무효 녹색 신호 구간을 줄이는데 초점을 맞춘다. (ii) 반대로 교차로 i_c 근처(연결된) 도로가 높은 트래픽 정도를 갖는다면, 신호제어장치는 높은 트래픽을 완화하는데 초점을 맞춘다.

[0027] 신호제어장치는 기본적으로 신호 구간의 길이를 조절한다. 예컨대, 신호제어장치는 특정 방향의 좌회전 신호 구간의 길이를 줄이고, 특정 방향의 직진 신호 구간의 길이를 늘일 수 있다. 나아가 신호제어장치는 해당 교차로에서 진행가능한 각 진행방향에 대한 신호의 순서를 제어할 수 있다. 예컨대, 신호제어장치는 "제1방향의 직진→제1 방향의 좌회전→제2 방향의 직진→제2 방향의 좌회전"인 신호 순서를 "제1방향의 직진→제2 방향의 직진→제2 방향의 좌회전→제1 방향의 좌회전"으로 변경할 수 있다. 신호제어장치는 신호의 순서와 함께 특정 신호의 구간 길이를 제어할 수 있다.

[0028] 신호제어장치는 현재 교차로 i_c 및 주변 교차로의 도로 정체 정도를 고려하여 트래픽 처리량 및 대기 시간을 동적으로 조절한다.

[0030] 신호제어장치는 교차로 i_c의 신호를 제어하여 트래픽 흐름을 최대화한다. 신호제어장치는 교차로 i_c 및 주변 교차로의 트래픽 상황을 실시간으로 고려하여 교차로 i_c의 신호를 제어한다.

[0031] 도 2는 도로 네트워크의 예이다. 설명의 편의를 위하여 도 2는 그리드 형태의 도로 네트워크를 도시하였다.

[0032] 신호제어장치는 교차로 i_c의 신호를 제어한다. 교차로 i_c는 주변에 다른 교차로가 존재한다. 신호제어장치가 고려해야할 주변 교차로는 교차로 i_c의 트래픽 흐름에 영향을 주는 교차로이다. 도 2에서 교차로 i_c의 주변 교차로는 도로로 직접 연결된 4개의 교차로이다. 4개의 주변 교차로는 i_c^N, i_c^S, i_c^W, i_c^E이다. 4개의 주변 교차로는 도 2에서 교차로 i_c를 기준으로 각각 북쪽(N), 남쪽(S), 서쪽(W), 동쪽(E)에 위치한 교차로이다. 도 2와는 다른 형태의 교차로도 존재할 수 있다. 다만 설명의 편의를 위해 이하 도 2와 같은 사거리 교차로를 기준으로 설명한다.

[0033] 그래프 G = (V, E)로 설명하면, 신호제어장치가 신호 제어를 위하여 트래픽 상황을 고려해야할 교차로는 $V = \{i_c, i_c^N, i_c^S, i_c^W, i_c^E\}$이다. E는 교차로를 연결하는 도로이다. 교차로 i_c를 기준으로 차량이 유입되는 도로는 4개의 주변 교차로 중 어느 하나에서 교차로 i_c로 향하는 4개의 도로이다. 또한 교차로 i_c를 기준으로 차량이 유출되는 도로는 4개의 주변 교차로로 향하는 4개의 도로이다.

[0034] 차량의 흐름을 F_i라고 한다. $F_i = \{src_i, dst_i, n_i\}$로 정의된다. src_i는 교차로 i_c에 도착한 차량이 출발했던 교차로이다. dst_i는 교차로 i_c를 지나 차량이 도달하는 교차로이다. n_i는 src_i에서 dst_i에 이르는 경로에 있는 차량의 수이다.

[0035] 특정한 차량 흐름은 $F(i_c^b, i_c^a)$로 정의할 수 있다. a, b ∈ {N,S,W,E}이다. $F(i_c^b, i_c^a)$를 단순화하여 F_{ba}로 표기할 수 있다. 즉 해당 차량 흐름은 교차로 i_c^b에서 i_c를 거쳐 교차로 i_c^a에 도달하는 흐름이다. 예컨대, 차량이 교차로 i_c^S방향에서 교차로 i_c진입하여 직진으로 교차로 i_c^N향한다면, 해당 차량 흐름은 $F(i_c^S, i_c^N)$ 또는 간단하게 F_{SN}이라고 표기할 수 있다.

[0036] 교차로를 연결하는 도로 세그먼트도 정의한다. 도로 세그먼트를 S라고 표기한다. 교차로 i_c를 기준으로 2가지 유형의 도로 세그먼트가 있다. 하나는 다른 교차로에서 교차로 i_c로 진입하는 도로 세그먼트이다. 다른 하나는 교차로 i_c에서 다른 교차로로 진출하는 도로 세그먼트이다. 진입하는 도로 세그먼트는 $S(i_c^x, i_c)$라고 표시할 수 있다. 진출하는 도로 세그먼트는 $S(i_c, i_c^x)$라고 표시할 수 있다. 여기서 x ∈ {N,S,W,E}이다.

[0038] 도 3은 교차로에서 가능한 차량 흐름의 종류를 도시한 예이다. 도 3은 교차로 i_c에 지나가는(진입하는) 차량 흐름의 종류를 도시한다. 4개의 도로가 만나는 교차로에서 차량은 좌회전(GL), 직진(GS) 및 우회전(GR)으로 진행할 수 있다. 도 3에서 세로축은 교차로 i_c에서 차량이 출발하는 출발방향(출발점)을 나타낸다. 각 차량 흐름에 대하여 3가지 기본 트래픽 흐름이 있다. 따라서 도 2와 같은 도로 네트워크의 교차로에서는 모두 12개의 차량 흐름이 존재한다. 교차로 i_c로 진입하는 모든 차량 흐름을 S_{in_flow}라고 명명한다. N_{in_flow}는 $|S_{in_flow}|$이다. N_{in_flow}는 차량 흐름의 개수로 도 3의 경우 12이다.

[0040] 도 4는 교차로의 교통 신호에 대한 예이다. 도 4(a)는 교차로에서 가능한 교통 신호의 종류를 도시한 예이고, 도 4(b)는 교차로에서 진행 방향에 따라 교통 신호를 도시한 예이다. 여기서 교통 신호는 차량이 해당 방향으로

진행 가능한 녹색 신호를 의미한다. 도 4(a)에서 세로축은 교차로 i_c에 차량이 출발하는 출발 방향을 나타낸다. 예컨대, 도 4(b)에서 차량이 i_c^S로부터 진입했다면 해당 차량의 출발 방향은 S이다. 도 4(a)에서 가로축은 차량 진행 방향에 따른 교통 신호를 도시한 예이다. 도 4(a)를 살펴보면 교차로에서 모두 20개의 서로 다른 종류의 교통 신호를 도시한다. 물론 논리적으로 다른 형태의 교통 신호가 있을 수 있지만, 일반적으로 직진(GS), 좌회전(GL), 우회전(GR), 좌회전 및 직진(GL&GS), 우회전 및 직전(GS&GR)이 교차로에서 볼 수 있는 보편적인 신호에 해당한다. 도 4(b)는 예시적으로 실제 교차로에서 진행 방향에 따라 서로 다른 교통 신호 15개를 도시하였다. 이하 특정 교차로에서 발생할 수 있는 신호들을 후보 교통 신호라고 명명한다.

[0042] **분석 대상 파라미터**

[0043] 먼저 신호제어장치가 교통 신호 제어를 위하여 분석하는 파라미터에 대하여 설명한다. 신호제어장치는 교차로 주변의 트래픽 상황을 모니터링하고, 트래픽 혼잡도를 결정한다. 트래픽 혼잡도를 결정하는 기준에 대해서는 후술한다. 신호제어장치는 트래픽 혼잡도를 기준으로 교통 신호의 구간 길이를 제어한다. 나아가 신호제어장치는 후보 교통 신호 중 사용할 교통 신호의 순서 및 각 신호의 구간 길이를 제어할 수도 있다. 신호제어장치가 조절하는 신호 내지 구간에 대하여 먼저 설명한다.

[0045] CYC_t: 교차로에서 가능한 모든 차량 흐름 F_{ba}에 대하여 적어도 한번 녹색 신호가 발생하는 교통신호주기를 의미한다. 논리적으로 하나의 CYC_t에서 같은 차량 흐름에 대해 한 번 이상 녹색 신호 구간이 있을 수 있다.

[0046] ph: 특정 시점에 교차로에서 발생할 수 있는 교통신호조합을 의미한다. 교통신호조합은 적어도 하나의 교통신호를 포함한다. 교통신호조합은 같은 시점에 같은 방향 또는 서로 다른 방향에서 진입하는 차량이 충돌없이 진행 가능한 적어도 하나 이상의 교통신호를 포함한다.

[0047] $dur_t(ph)$: 특정 CYC_t에서 어느 하나의 ph에 대하여 녹색 신호가 발생하는 구간의 길이를 의미한다.

[0048] $dur(CYC_t)$: CYC_t의 전체 구간 길이를 의미한다. 이는 해당 주기에 존재하는 모든 ph에 대한 $dur_t(ph)$의 합과 같다. 다른 측면에서 $dur(CYC_t)$는 교차로 i_c에 도착한 어떤 차량이 녹색 신호를 위해 대기하는 최장 시간이라고 할 수 있다. 신호제어장치는 트래픽 혼잡을 해결하기 위하여 $dur(CYC_t)$를 조정할 수 있다. 이는 CYC_t에 나타나는 복수의 ph 중 적어도 하나의 길이를 조정한다는 의미이다.

[0049] $PH(CYC_t)$: 신호제어장치가 CYC_t에서 교통 상황에 따라서 변경하는 ph의 순서(리스트)를 말한다.

[0051] 도 5는 교통신호주기에 대한 예이다. 도 5는 CYC_0 및 CYC_1를 도시한다. CYC_0 및 CYC_1는 각각 4개의 ph로 구성된다. CYC_0은 순서대로 (F_{NS}, F_{SN}), (F_{NE}, F_{SW}), (F_{EW}, F_{WE}) 및 (F_{WN}, F_{ES}) 교통흐름을 위한 교통신호로 구성된다. CYC_1은 순서대로 (F_{NE}, F_{SW}), (F_{EW}, F_{WE}), (F_{WN}, F_{ES}) 및 (F_{NS}, F_{SN}) 교통흐름을 위한 교통신호로 구성된다. 도 5는 (F_{NE}, F_{SW}) 진행을 위한 대기 시간 및 (F_{NS}, F_{SN}) 진행을 위한 대기 시간을 예로 표시하였다.

[0053] 신호제어장치가 교통신호 제어를 위하여 측정하는 파라미터에 대해서도 설명한다.

[0055] $TH_t(F_{ba})$: CYC_t구간에 교통흐름 F_{ba}에 대한 녹색 신호 구간에서 교차로 i_c에서 출발한(교차로를 지나간) 차량의 수를 의미한다. $TH_t(F_{ba})$는 교통흐름 F_{ba}에 대한 교차로 i_c의 처리량이라고 할 수 있다.

[0056] $NDV_t(F_{ba})$: 교차로 i_c에서 의도하는 진행방향 F_{ba}로 진행하지 못하고 대기하는 차량의 수이다. 즉 $NDV_t(F_{ba})$는 CYC_{t-1}에 교차로를 지나가지 못하여 CYC_t에 교차로 진입을 대기하는 차량의 수이다.

[0057] $Delay_t(F_{ba})$: CYC_t에서 진행방향의 녹색 신호 상태에서 F_{ba}로 진행하는 차량이 대기하는 평균 시간이다. $Delay_t(F_{ba})$는 $NDV_t(F_{ba})$에 속한 차량의 평균 대기시간에 해당한다.

[0058] $Speed_t(F_{ba})$: 교통 흐름 F_{ba}에 위치하는 차량들의 평균 이동 속도이다. 신호제어장치는 차량이 전송하는 속도 정보로 $Speed_t(F_{ba})$를 알 수 있다.

[0059] $NAV_t(F_{ba})$: 교통 흐름 F_{ba}에 대하여 CYC_{t-1}의 진행방향 녹색 신호와 CYC_t의 녹색 신호 사이에 주변 교차로에서 교차로 i_c로 유입된 차량의 수이다.

[0060] $NEV_{t+1}(F_{ba})$: 다음 주기인 CYC_{t+1} 구간에서 교통흐름 F_{ba}에 대하여 교차로 i_c에 유입이 예상되는 차량의 수이다.

[0062] 신호제어장치는 교차로의 트래픽 혼잡도를 결정하고, 이에 따라 교통신호를 제어한다고 설명하였다. 신호제어장치는 각 주기마다 트래픽 혼잡도를 분석하여 다음 주기의 교통신호 구간 길이 및 교통신호의 순서 중 적어도 하나를 제어한다. 이하 트래픽 혼잡도에 대하여 설명한다.

[0063]

[0064] $FOR_t(F_{ba})$: 교통흐름 F_{ba}에 대하여 CYC_t 구간에서 측정된 도로 점유율을 의미한다. 도로 점유율은 해당 교통흐름에 사용되는 도로의 차량 수용능력에 반비례하고, 도로를 점유한 차량 수 및 도로점유시간에 비례하는 상대적인 값이 된다. $FOR_t(F_{ba})$는 아래 수학식 1과 같이 표현할 수 있다.

수학식 1

[0066]
$$FOR_t(F_{ba}) = Delay_t(F_{ba}) \times \frac{(NDV_t(F_{ba}) + NAV_t(F_{ba}))}{CP(S(i_C^b, i_C))}$$

[0067] 여기서, $S(i_c^b, i_c)$는 교통 흐름 F_{ba}를 위해 교차로 i_c를 지나가면서 차량이 점유하는 도로 세그먼트이다. CP()는 특정 도로 세그먼트의 차량 수용량을 의미한다.

[0069] $CL_t(F_{ba})$: CYC_t에서 교차로 i_c를 지나는 다른 교통 흐름과 비교한 교통흐름 F_{ba}에 대한 상대적인 트래픽 혼잡도를 의미한다. $CL_t(F_{ba})$는 아래 수학식 2와 같이 표현할 수 있다.

수학식 2

[0071]
$$CL_t(F_{ba}) = \frac{FOR_t(F_{ba})}{\sum_{\forall F \in i_C} FOR_t(F)} + \frac{TH_{t-1}(i_C)}{TH_{t-1}(F_{ba})} + \frac{NEV_{t+1}(F_{ba})}{NEV_{t+1}(i_C)}$$

[0072] 수학식 2에서 $TH_{t-1}(i_c)$는 CYC_{t-1}에서 교차로 i_c를 지나간 모든 차량의 수이고, $TH_{t-1}(F_{ba})$는 CYC_{t-1}에서 교통흐름 F_{ba} 방향으로 교차로 i_c를 지나간 모든 차량의 수이다. 수학식 2에서 $NEV_{t+1}(F_{ba})$는 CYC_{t+1} 구간에 교통흐름 F_{ba}에 대하여 교차로 i_c에 유입이 예상되는 차량의 수이다. $NEV_{t+1}(i_c)$는 CYC_{t+1}구간에 교차로 i_c에 유입이 예상되는 차량의 수이다. $NEV_{t+1}()$는 CYC_t 구간에서 주변 교차로에서 교차로 i_c를 향하여 진행하는 차량의 수에 따라 예측될 수 있다. 즉 $NEV_{t+1}()$는 주변 교차로에서 교차로 i_c를 향하는 교통흐름에 있는 차량의 수와 주변 교차로의 처리량에 따라 결정될 수 있다.

[0073] 신호제어장치는 $CL_t(F_{ba})$을 연산하여 실시간으로 교통흐름 F_{ba}에 대하여 요청되는 트래픽의 변화를 알 수 있다.

[0075] $CL_t(ph)$: CYC_t구간에서 특정 ph에 대한 상대적인 트래픽 혼잡도를 의미한다. $CL_t(ph)$는 ph이 처리하는 모든 교통흐름 F_{ba}에 대한 상대적인 트래픽 혼잡도이다. 즉 $CL_t(ph)$는 $CL_{ph} = \sum_{\forall F_{ba} \in ph} CL_t(F_{ba})$로 연산될 수 있다.

[0077] $CL_t(S)$: CYC_t구간에서 특정 도로 세그먼트 S에 대한 상대적인 트래픽 혼잡도를 의미한다. $CL_t(S) = \sum_{\forall F_{ba} \in S} CL_t(F_{ba})$이다. 예컨대, 주변 교차로 i_C^E에서 교차로 i_C를 연결하는 도로 세그먼트 $S(i_C^E, i_C)$에 대한 상대적인 트래픽 혼잡도는 $CL_t(S(i_C^E, i_C)) = \sum_{F_{Ea}, \forall a \in \{N,W,E\}} CL_t(F_{ba})$이다.

[0079] **<u>신호제어장치의 교통신호제어</u>**

[0080] 이제 신호제어장치가 교차로의 교통상황에 따라 교통 신호를 제어하는 과정에 대하여 설명한다. 전술한 바와 같이 신호제어장치는 교통상황에 대한 정보를 획득할 수 있다고 전제한다. 신호제어장치는 교차로에 설치된 카메라 내지 센서 장치를 통해 교차로에 존재하는 차량의 수 및 특정 도로 세그먼트에 위치하는 차량의 수를 알 수 있다. 또는 신호제어장치는 제어센터와 같은 인프라와의 통신(I2I)을 통해 차량의 위치, 차량의 진행 방향, 차량의 속도 등을 획득할 수 있다. 또는 신호제어장치는 차량과의 통신(V2I)을 통해 차량이 목적하는 진행방향을 파악할 수 있다. 또한 신호제어장치는 교차로에 설치된 제어장치 간 통신(I2I)을 통해 주변 교차로에서 해당 교차로로 진입할 차량의 수 등을 알 수 있다. 신호제어장치가 교통정보를 취득하는 시스템이나 기법에 대해서는 종래 연구된 다양한 기술을 활용할 수 있다.

[0082] 신호제어장치는 일정한 구역(도시 전체 또는 단위 구역)에서 트래픽 처리량을 최대화하면서 차량의 이동 시간을 최소화는 목표를 갖는다. 즉, 신호제어장치는 교차로 i_C에서 모든 주기 t에 대하여 $\sum_{\forall F} TH_t(F_{ba})$을 최대화하고, $\sum_{\forall F} Delay_t(F_{ba})$ 및 $\sum_{\forall F} NDV_t(F_{ba})$를 최소화하는 목표를 갖는다.

[0084] 신호제어장치가 동작하는 과정은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 신호제어장치는 두 가지 구성이 독립적으로 동작한다. 두 가지 에이전트는 TFW(Traffic Flow Watcher and Evaluator)와 TFM(Traffic Flow Manager)이다. TFW는 교통 상황에 대한 정보를 수집하고 업데이트하는 구성이다. TFM은 TFW가 생성한 교통 혼잡도 정보에 기반하여 제어를 위한 동작 모드를 결정하고, 동작 모드에 따라 교통 신호를 제어한다.

[0086] TFW는 교차로 i_C를 향하는 각 교통흐름 F_{ba}의 변화를 추정한다. TFW는 교차로i_C의 주변 교차로에 대한 트래픽 흐름 변화를 수집하고 분석한다. TFW는 업데이트, 교환 및 추정이라는 3가지 서브 태스크(sub-task)로 구성된다. 업데이트는 획득한 교통 정보에 기반하여 파라미터를 업데이트하는 과정이고, 교환은 주변 교차로의 신호제어장치(TFW)와 업데이트한 정보를 서로 주고 받는 과정이고, 추정은 생성한 파라미터와 다른 교차로의 신호제어장치로부터 획득한 정보를 기반으로 유입되는 교통 흐름과 같은 정보를 유추하는 과정이다.

[0087] TFW는 교차로 i_C에 대한 유입 흐름의 상태를 모니터링한다. TFW는 교통 흐름과 관련된 파라미터를 업데이트한다. TFW는 하나의 주기 CYC_t 끝에 $NDV_t(F_{ba})$, $Delay_t(F_{ba})$, $Speed_t(F_{ba})$, $NAV_t(F_{ba})$를 업데이트할 수 있다. TFW는 관련된 교통 상황 정보를 획득하고, 획득한 정보를 바탕으로 상기 파라미터를 업데이트할 수 있다.

[0088] TFW는 시간에 따라 업데이트한 상기 파라미터를 주변 교차로의 신호제어장치(TFW)로부터 수신할 수 있다. 또

TFW는 자신이 업데이트한 파라미터를 주변 교차로에 전송할 수 있다. 복수의 교차로는 서로 다른 CYC_t를 가질 수 있기 때문에 교차로 간 정보 교환은 제어 주기의 중간에 발생할 수도 있다. TFW는 주변 교차로(TFW)가 수집한 정보를 수신하여 교차로 i_C로 들어오는 도로 상의 트래픽 상황을 분석하고, 다음 주기에서 유입될 흐름 $NEV_{t+1}(F_{ba})$를 추정한다.

[0089] 도 6은 주변 교차로를 고려하여 교차로의 도로 상황을 모니터링하는 과정에 대한 예이다.

[0090] 예컨대, i_c의 동쪽으로부터 진입하는 교통 흐름을 기준으로 설명하면, i_c의 TFW는 먼저 도 6에서 어두운 음영으로 표시한 도로 세그먼트 $S(i_c^E, i_c)$의 트래픽 상황을 업데이트한다. 그리고 i_c의 동쪽에 위치한 i_c^E로부터 획득한 정보를 이용하여 다음 주기 CYC_{t+1}에서 i_c^E로부터 유입될 차량의 양을 추정한다. i_c에 유입될 차량의 흐름은 i_c^E에서 F_{NW}, F_{EW} 및 F_{SW}이다. i_c^E로부터 i_c에 유입되는 차량의 흐름을 $\{F_{NW}, F_{EW}, F_{SW} | i_c^E\}$라고 표기한다. CYC_{t+1}에 i_c^E로부터 i_c에 유입된 차량은 i_c에서 F_{EW}, F_{EN} 및 F_{ES}에 합류하게 된다. i_c에 유입된 차량의 진행 방향에 대한 정보는 개별 차량으로부터 획득할 수 있다. 이와 같이 TFW는 $NEV_{t+1}(F_{Ea})$, $a \in \{N,S,W\}$를 새롭게 업데이트할 수 있다.

[0091] 나아가 TFW는 교차로 i_c를 지나는 차량의 수를 최대화하기 위하여 i_c에서 진출할 수 있는 교통 흐름$(S(i_c, i_c^a)$, $a \in \{N,S,W,E\})$을 관찰하고 이를 TFM과 공유한다. 예컨대, 다음 주기에서 $S(i_c^E, i_c)$에서 F_{EW} 처리량은 $S(i_c, i_c^W)$의 혼잡도에 영향을 받는다. TFW는 $S(i_c, i_c^W)$의 혼잡도에 기반하여 i_c^W에서의 진출 흐름을 평가한다. $CL_t(S(i_c, i_c^W))$의 값은 3개의 도로 세그먼트 $\{S(i_c^W, (i_c^W)^N), S(i_c^W, (i_c^W)^W), S(i_c^W, (i_c^W)^S))$의 혼잡도에 영향을 받는다.

[0092] 정리하면 i_c의 TFW는 주변 교차로의 실시간 교통 상황을 고려하여 트래픽을 최적화한다.

[0094] TFM(신호제어장치)은 혼잡 모드를 결정하고, 결정한 혼잡 모드에 따라 교통 신호를 제어한다. 각각의 과정에 대하여 설명한다.

[0095] TFM은 먼저 수집된 정보에 기반하여 혼잡 모드를 결정한다. 혼잡 모드는 교차로의 트래픽 상황을 제어하기 위한 제어 동작의 모드를 의미한다. TFM은 교차로에 있는 차량의 수, 차량의 대기 시간 및 실제 교차로를 지나가는 차량의 수에 기반하여 혼잡도를 결정한다. TFM은 CYC_t에서 교차로 i_C에 대한 혼잡도를 결정하기 위하여 도로 점유율, 지연정도 및 교차로를 지나간 차량의 개수를 고려한다. 전술한 파라미터로 설명하면 TFM은 $FOR_t(i_C)$, $Delay_t(i_C)$ 및 $TH_t(i_C)$을 결정한다. 이는 교차로 i_C를 지나는 모든 교통 흐름에 대한 평균값을 연산하는 것으로, 각 파라미터는 아래의 수학식 3과 같이 표현할 수 있다.

수학식 3

[0097]
$$FOR_t(i_C) = (\sum_{\forall F_{ba} \in i_C} FOR_t(F_{ba}))/N_{in_flow},$$
$$Delay_t(i_C) = (\sum_{\forall F_{ba} \in i_C} Delay_t(F_{ba}))/N_{in_flow},$$
$$TH_t(i_C) = (\sum_{\forall F_{ba} \in i_C} TH_t(F_{ba}))/N_{in_flow}.$$

[0099] TFM은 수학식 3에서 표현한 3 가지 파라미터를 사용하여 혼잡 모드를 결정한다. 교차로 i_C에서 주기 CYC_t에 대한 혼잡 모드를 $Mode_t(i_C)$라고 명명한다.

[0100] 혼잡 모드는 두 가지 중 하나이다. 혼잡 모드는 FFP(Free flow period) 모드와 CAP(Continuously adjusted period)로 구분된다. FFP 모드에서 TFM은 트래픽 혼잡이 적은 상황으로 CYC_t의 길이 내지 신호 구간의 길이 조절에 초점을 맞춘다. FFP모드에서는 평균 대기 시간을 줄이기 위하여 짧은 주기를 갖는 것이 바람직할 수 있다. CAP은 트래픽 혼잡도가 높은 상황이다. CAP 모드에서 TFM은 CYC_t를 구성하는 신호의 조합 및 신호 구간의 길이를 조절한다. 즉, TFM은 교통흐름 별 혼잡도에 따라 주기를 구성하는 ph의 종류 및 순서를 조절하고, 각 신호의 길이도 조절한다.

[0102] 도 7은 교통 신호 제어를 위한 모드의 변환을 설명하는 예이다. TFM은 교통 상황에 따라 적절한 모드를 유지하고, 불필요한 모드 변환을 방지하고자 한다.

[0103] 최초 교차로 i_C의 주변 도로 상의 전체 트래픽 양이 적다고 가정한다. 이 경우 $Mode_t(i_C)$는 FFP 모드이다. 즉 TFM은 $FOR_t(i_C) \leq P_{FFP}$인 경우 FFP 모드로 동작한다. 이후 점차 도로 상의 트래픽 양이 증가하여 사전에 정의한 임계값(P_{FFP})를 넘는다면 TFM은 CAP 모드로 변환하기 전에 임시 상태(Ready-to-leave)에 들어 간다. 임시 상태 동안 TFM은 FFP 모드와 동일하게 교통 신호를 제어한다. 다만 TFM은 개별 교통 흐름 F_{ba} 상에서의 트래픽 상태 변화를 추가적으로 모니터링한다.

[0104] 임시 상태에서 $TH_t(i_C)$ 또는 $Delay_t(i_C)$가 개선된다면(즉 $TH_t(i_C)$ 증가하거나, $Delay_t(i_C)$가 감소하면), TFM은 모드를 변환하지 않는다. 임시 상태에서 $TH_t(i_C)$ 및 $Delay_t(i_C)$가 악화된다면, TFM은 CAP 모드로 변환한다. 임시 상태에서 $TH_t(i_C)$ 감소하고 $Delay_t(i_C)$가 증가하거나, 어느 하나의 교통 흐름 F_{ba}에 대하여 $FOR_t(F_{ba}) > P_{FFP}$이되면 TFM은 CAP 모드로 변환한다.

[0105] CAP 모드에서 TFM은 흐름 기반으로 트래픽을 최적화한다. CAP 모드는 $FOR_t(i_C) > P_{FFP}$이면서, 적어도 하나의 어떤 교통 흐름 F_{ba}에 대하여 $FOR_t(F_{ba}) > P_{FFP}$인 경우 모드가 유지된다. 반대로 모든 교통 흐름 F_{ba}에 대하여 $FOR_t(F_{ba}) \leq P_{FFP}$인 경우 TFM은 CAP 모드에서 임시 상태(Ready-to-leave)에 들어 간다.

[0106] CAP 모드에서 임시 상태로 들어간 경우 임시 상태에서 $TH_t(i_C)$ 또는 $Delay_t(i_C)$가 개선되어 $FOR_t(i_C) \leq P_{FFP}$가 되면 TFM은 FFP 모드로 변환한다.

[0108] 이하 TFM이 각 모드에 교통신호를 제어하는 동작에 대하여 설명한다.

[0109] FFP 모드에서 TFM은 3가지 전략을 점진적으로 활용할 수 있다. TFM은 ① 하나의 주기 길이 $dur(CYC_t)$를 조정한다. ② 하나의 주기에서 교통 신호의 조합의 순서 $PH(CYC_t)$을 재구성한다. ③ 각 ph에서 녹색 신호 구간의 길이 $dur_t(ph)$를 조정한다.

[0110] 3가지 전략에 대하여 구체적으로 설명하면, 첫 번째로 TFM은 교차로 주변 도로의 트래픽이 임계값보다 낮은 경우 아래의 수학식 4를 사용하여 차량의 대기 시간이 줄어들도록 주기의 길이를 조정한다.

수학식 4

[0112] $$dur(CYC_{t+1}) = Delay_t(i_C) \times |PH(CYC_t)|$$

[0113] TFM은 현재 주기 CYC_t에서 평균 대기 시간 $Delay_t(i_C)$과 ph의 개수에 따라 다음 주기 CYC_{t+1}에서의 주기 길이를 결정한다.

[0115] 주기 길이 $dur(CYC_t)$를 조정한 후에도 대기 중인 차량의 수 $NDV_t(i_C)$가 줄지않고, 교차로 i_C로 유입되는 차량의

수가 늘어난다면, 두 번째로 TFM은 각 ph의 혼잡도에 따라 PH(CYC_t)을 재구성한다. 재구성된 PH(CYC_t)는 CL_t(ph) 값이 높은 ph부터 점차 낮아지는 순서로 정렬된다.

[0117] 두 번째 접근방법 역시 평균대기시간 $Delay_t(i_C)$를 줄이지 못한다면, TFM은 마지막(세 번째)으로 다음 주기에서 각 개별 ph의 구간 길이를 최적화한다. ph의 구간 길이 조절은 아래의 수학식 5로 결정할 수 있다.

수학식 5

[0119] $$\sum_{\forall F_{ba} \in ph} \frac{(NDV_t(F_{ba}) + NAV_t(F_{ba}) + NEV_{t+1}(F_{ba}))}{Speed_t(F_{ba})}$$

[0120] TFM은 특정 교통 흐름 F_{ba}에 대하여 교차로 i_C에 있거나 유입이 예상되는 차량의 수와 해당 교통 흐름의 차량 속도를 기준으로 각 교통 흐름 F_{ba}에 관련된 ph의 길이를 조정한다. TFM은 특정 교통 흐름 F_{ba}와 관련된 ph에 대하여 현재 주기에 교차로 i_C에 대기 중인 차량 $NDV_t(F_{ba})$, 새롭게 유입된 차량 $NAV_t(F_{ba})$ 및 다음 주기에 유입될 것으로 예상되는 차량 $NEV_{t+1}(F_{ba})$의 수를 기준으로 ph의 길이를 조정한다.

[0121] 세 번째 접근에 따라 ph의 길이를 조절하면 전체 주기의 길이도 조절이 된다. 다음 주기 길이 dur(CYC_{t+1})는 $\sum_{\forall ph \in PH(CYC_t)} dur_{t+1}(ph)$ 이다.

[0123] CAP 모드에서 TFM은 도로 혼잡도를 줄이기 위하여 교통 흐름에 존재하는 차량의 수를 줄이고자 한다. 즉 CAP 모드에서 TFM은 트래픽 처리량을 극대화시키고자 한다. CAP 모드에서도 TFM은 주변 교차로에서 교차로 i_C로 유입되는 차량의 양을 예측하지만, FFP 모드와 달리 교통신호의 조합인 ph으로 분석하지 않고 교통 흐름을 기준으로 분석한다. CAP 모드에서 TFM은 교통 흐름과 관련된 3개의 파라미터 $Delay_t(F_{ba})$, $NDV_t(F_{ba})$ 및 $TH_t(F_{ba})$를 고려한다.

[0124] 또한 CAP 모드에서 TFM은 교통 흐름 F_{ba}, b,a∈ {N,S,W,E}에 있는 차량이 다음 주기 CYC_{t+1}에서 향하는 각 도로 세그먼트 S(i_c, i_c^a)의 트래픽 혼잡도를 고려한다. 즉 전술한 파라미터로 표현하면 TFM은 CL_t(S(i_c, i_c^a))을 기준으로 교통신호를 제어한다. 예컨대, 교차로 i_C에서 다음 도로 세그먼트가 매우 혼잡하다면 단순하게 해당 방향의 녹색 신호 구간을 늘리는 것으로 트래픽 처리량이 향상되지 않는다. 따라서 TFM은 S(i_c, i_c^a)의 트래픽 혼잡도를 고려하는 것이다.

[0125] CAP 모드에서 TFM은 먼저 CL_t(S(i_c, i_c^a))을 고려하여 $dur_{t+1}(F_{ba})$을 추정한다. 또한 TFM은 이전 주기에 대비하여 $Delay_t(F_{ba})$, $NDV_t(F_{ba})$, $TH_t(F_{ba})$ 및 $NEV_{t+1}(F_{ba})$의 변화를 확인한다. 도 8은 CAP 모드에서 교통신호를 제어하기 위한 4가지 케이스에 대한 예이다. 확인한 파라미터를 기준으로 TFM은 도 8과 같은 4개의 케이스로 구분하여 교통 신호를 제어한다. TFM은 다음 주기의 교통 흐름에 대한 주기 $dur_{t+1}(F_{ba})$를 조절하고, 교통신호 조합 PH(CYC_{t+1})을 최적화한다. 각각의 케이스에 대하여 설명한다.

[0127] Case 1

[0128] 케이스 1은 트래픽 양이 증가하지만 비교적 도로 혼잡도는 낮은 경우이다. 이 경우 교차로 i_C에서 교통 흐름 F_{ba}의 트래픽 처리량은 이전 주기 CYC_{t-1}에 비하여 현재 주기 CYC_t에 증가한다. 관련된 $Delay_t(F_{ba})$는 줄어들고, 대기하는 차량 $NDV_t(F_{ba})$은 늘어난다. 다른 말로 하면 이 경우는 유입 및 유출 도로는 혼잡하지 않고, 유입되는 트

래픽의 양은 도로 수용량 범위 내라고 할 수 있다. 따라서 신호제어장치(TFM)는 현재의 주기 길이가 충분히 길다고 판단한다. 결과적으로 신호제어장치는 현재 주기의 길이를 유지하거나, 두 개의 연속된 주기 사이에 남아 있는 트래픽 양인 $\frac{NDV_t(F_{ba})}{NDV_{t-1}(F_{ba})}$에 따라 $dur_{t+1}(F_{ba})$를 줄인다. 이하 $\frac{NDV_t(F_{ba})}{NDV_{t-1}(F_{ba})}$를 γ_{NDV}라고 표기한다. 결과적으로 대기하는 트래픽 양은 줄어든다. 즉, $\gamma_{NDV} < 1$이면 $dur_{t+1}(F_{ba})$는 γ_{NDV} 만큼 줄어든다. $\gamma_{NDV} \geq 1$이면, 주기의 길이는 동일하게 유지된다.

[0130] Case 2

[0131] 케이스 2는 로드 세그먼트 $S(i_c^b, i_c)$ 상의 트래픽 양이 증가하여 $TH_t(F_{ba})$ 및 $Delay_t(F_{ba})$가 모두 증가한 경우이다. 아직 $S(i_c, i_c^a)$에서 혼잡도가 높지 않기 때문에 교통 흐름 F_{ba}에 대한 처리량이 높다. 이 경우 신호제어장치는 차량의 대기 시간(지연)이 늘어나면 도로 세그먼트 상의 이동 속도가 예상보다 줄어든다고 판단한다. 따라서 신호제어장치는 $NDV_t(F_{ba})$에 따라 $dur_{t+1}(F_{ba})$를 늘리거나 유지한다. 다른 말로 하면 대기하는 트래픽 양이 증가하는 경우 즉, $\gamma_{NDV} > 1$이면 신호제어장치가 $dur_{t+1}(F_{ba})$을 "$dur_t(F_{ba}) \times \gamma_{NDV}$"만큼 증가시킨다.

[0133] Case 3

[0134] 케이스 3은 도로에 유입되는 교통량이 감소하여 두 개의 연속된 주기에서 $TH_t(F_{ba})$가 감소하는 경우이다. 이 경우 신호제어장치는 $dur_t(F_{ba})$가 불필요하게 길다고 판단한다. 따라서 다음 주기 CYC_{t+1} 동안에 F_{ba}에 유입되는 차량의 숫자 $NEV_{t+1}(F_{ba})$가 CYC_t에 비하여 증가하지 않는다면 신호제어장치는 다음 주기 $dur_{t+1}(F_{ba})$의 길이를 줄인다. 주기를 줄이는 정도는 $\frac{Delay_t(F_{ba})}{Delay_{t-1}(F_{ba})}$로 판단한다. 이하 $\frac{Delay_t(F_{ba})}{Delay_{t-1}(F_{ba})}$를 γ_{DELAY} 라고 명명한다. 신호제어장치는 $\gamma_{DELAY} < 1$이면, 다음 주기 $dur_{t+1}(F_{ba}) = dur_t(F_{ba}) \times \gamma_{DELAY}$로 줄인다. 반대로 신호제어장치는 $\gamma_{DELAY} \geq 1$이면, 다음 주기 $dur_{t+1}(F_{ba})$를 $dur_t(F_{ba})$와 동일하게 유지한다.

[0136] Case 4

[0137] 케이스 4는 유출 도로 세그먼트 $S(i_c, i_c^a)$에서 혼잡도가 증가하여 $TH_t(F_{ba})$가 감소하는 상태이다. 신호제어장치는 트래픽 혼잡이 두 가지 가능성 중 어느 하나라고 판단한다.

[0138] 첫 째로, CYC_{t-1}에 비하여 CYC_t에 대하는 차량의 수가 줄어드는지 관찰한다. 즉, $\gamma_{NDV} < 1$인지 여부를 판단한다. 그렇다면 트래픽 처리량이 줄어든 것은 유출 도로 세그먼트 $S(i_c, i_c^a)$의 혼잡도 때문으로 판단한다. 따라서 신호제어장치는 $dur_{t+1}(F_{ba})$를 $dur_t(F_{ba})$와 같이 유사하게 유지한다.

[0139] 만약 그렇지 않다면 신호제어장치는 $NDV_t(F_{ba})$가 $NDV_{t-1}(F_{ba})$보다 증가했다고 판단한다. 즉, $\gamma_{NDV} > 1$인 경우이고 이는 유입 도로 세그먼트 $S(i_c^b, i_c)$ 또한 혼잡하다는 의미이다. 유출, 유입 도로가 모두 혼잡상태이므로 녹색 신호주기의 효율성이 떨어진다. 따라서 신호제어장치는 녹색 신호 시간을 줄여 $dur_{t+1}(F_{ba})$를 $dur_t(F_{ba})$보다 줄어들게 한다. 이때 $dur_{t+1}(F_{ba})$은 트래픽 처리량의 변화 $\frac{TH_t(F_{ba})}{TH_{t-1}(F_{ba})}$에 비례하게 줄인다. 이하 $\frac{TH_t(F_{ba})}{TH_{t-1}(F_{ba})}$를 γ_{TH} 라고 명명한다. 결국 신호 제어 장치는 다음 주기 $dur_{t+1}(F_{ba}) = dur_t(F_{ba}) \times \gamma_{TH}$"로 줄인다. 이때 $\gamma_{TH} < 1$ && $\gamma_{NDV} > 1$이다.

[0140] 신호제어장치는 모든 교통 흐름에 대하여 $dur_{t+1}(F_{ba})$를 연산하고, $CL_t(F_{ba})$의 값이 가장 큰 교통흐름 F_{ba}가 우선적

으로 배치되도록 PH(CYC_t)를 재구성한다. 즉, {CL_t(F_{ba})의 값이 가장 큰 교통흐름 F_{ba}를 우선으로 선택하고, 선택된 F_{ba}와 충돌없이 동시에 녹색신호를 받는것이 가능한 다른 F_{ba}와 하나의 ph로 묶어 PH(CYC_t)의 맨 앞자리에 배치}한다. 모든 F_{ba} 가 PH(CYC_t)에 포함될때까지 { } 부분을 반복하되, 이때 같은 ph에 묶인 dur_{t+1}(Fba) 값들의 편차가 최소화되도록 한다. 결국 다음 주기에서 보다 혼잡한 흐름에 대한 교통신호가 덜 혼잡한 흐름에 대한 교통신호보다 앞서게 된다. 교통신호 순서 재구성은 하나의 주기가 모든 교통흐름에 대한 신호를 포함하면 중단한다.

[0142] 본 실시례 및 본 명세서에 첨부된 도면은 전술한 기술에 포함되는 기술적 사상의 일부를 명확하게 나타내고 있는 것에 불과하며, 전술한 기술의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시례는 모두 전술한 기술의 권리범위에 포함되는 것이 자명하다고 할 것이다.

부호의 설명

[0143] 100 : 교차로의 신호 제어 시스템

차량 : 110A, 110B, 110C

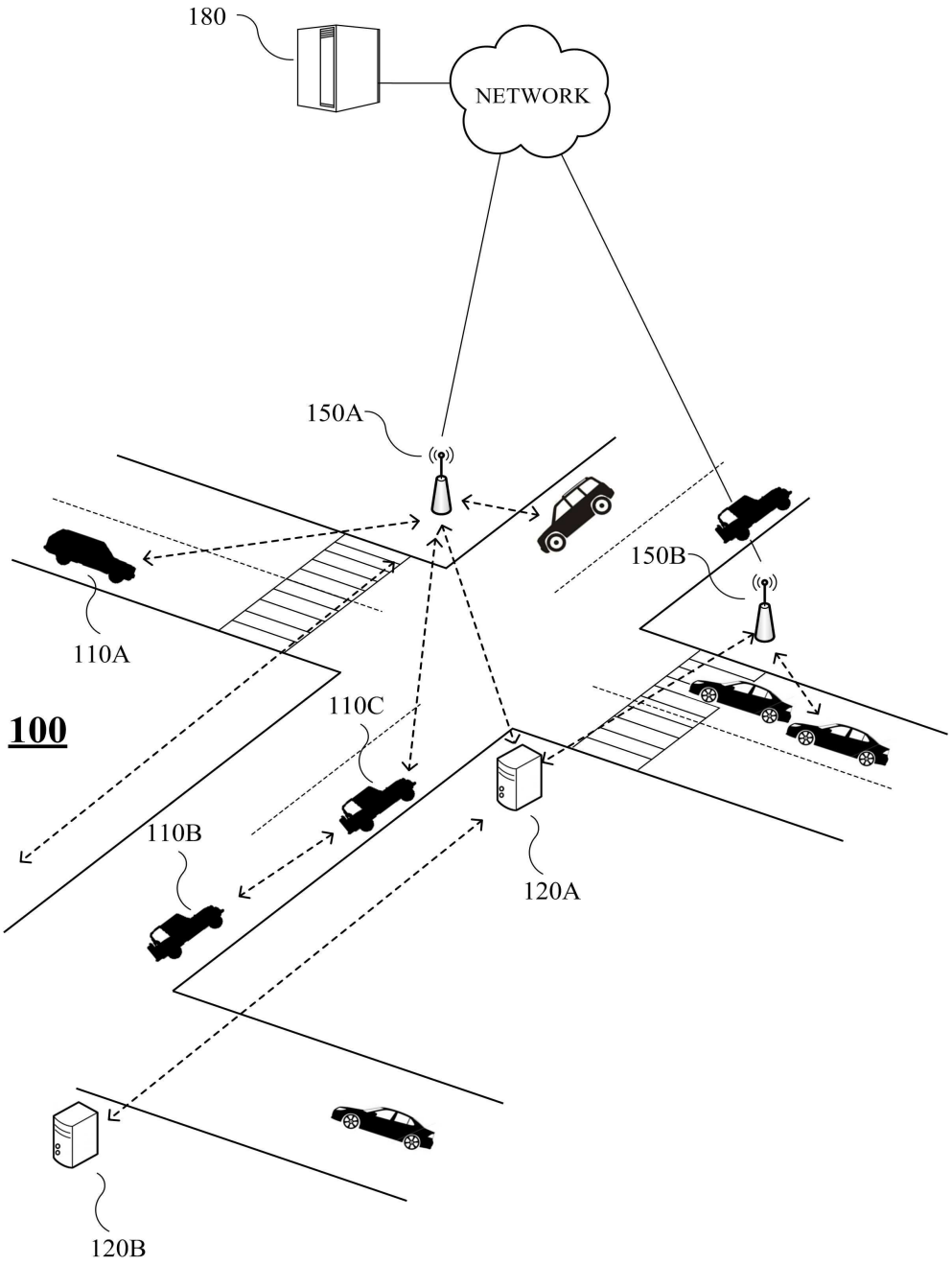
120A, 120B : 신호제어장치

150A, 150B : RSU

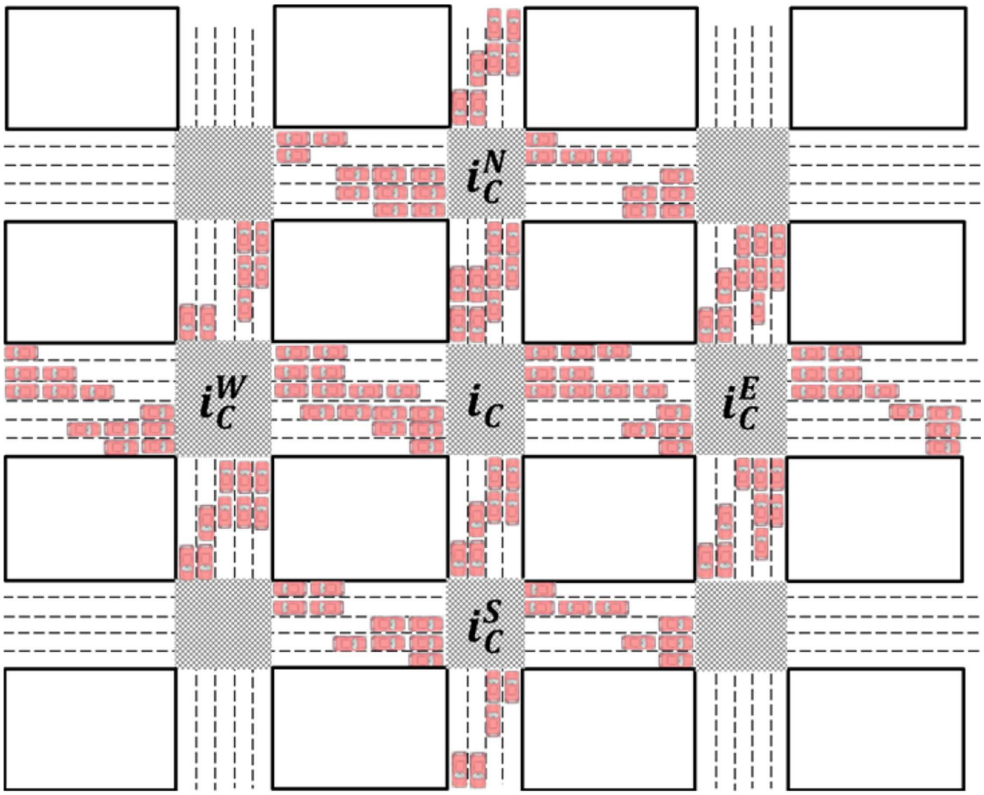
180 : 제어 센터

도면

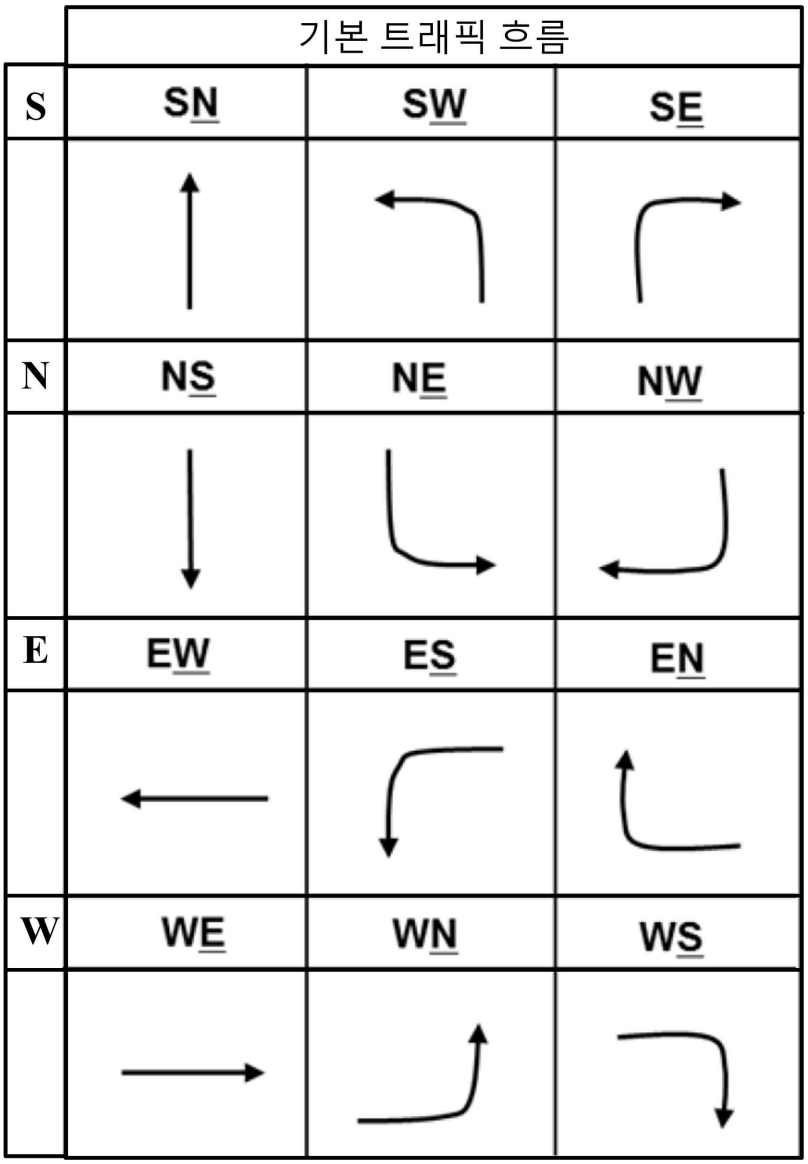
도면1



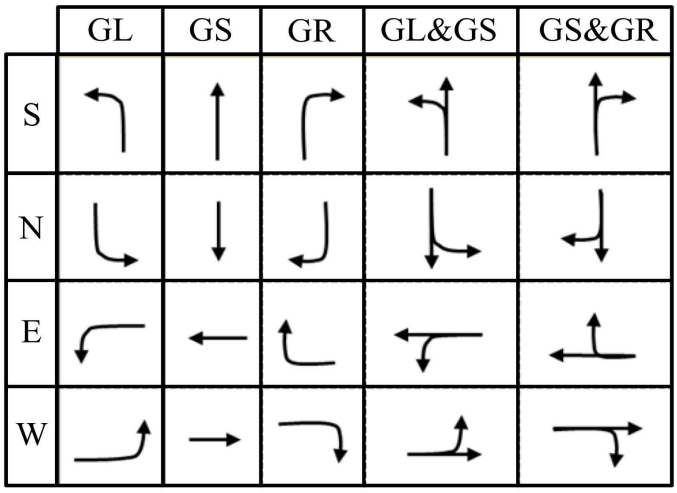
도면2



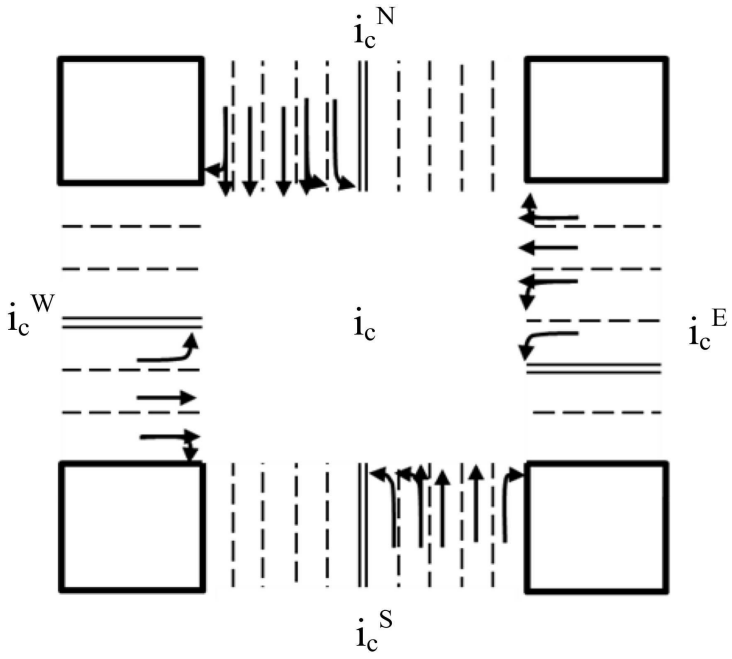
도면3



도면4

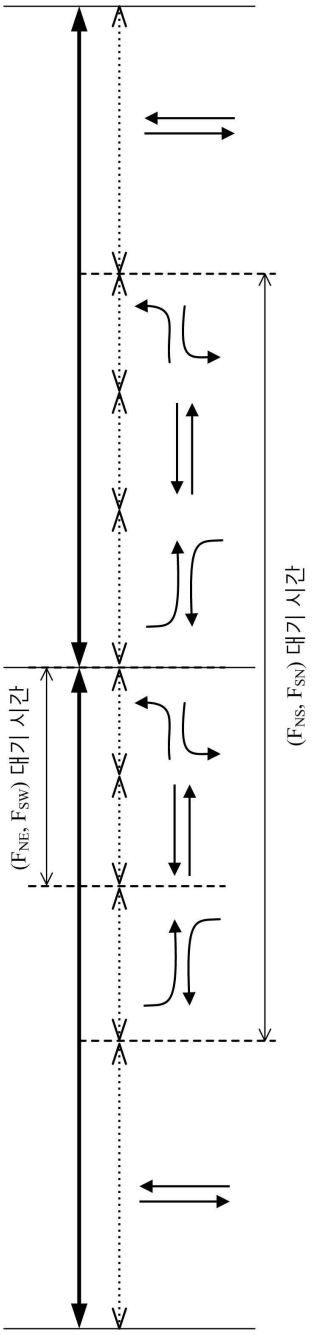


(A)

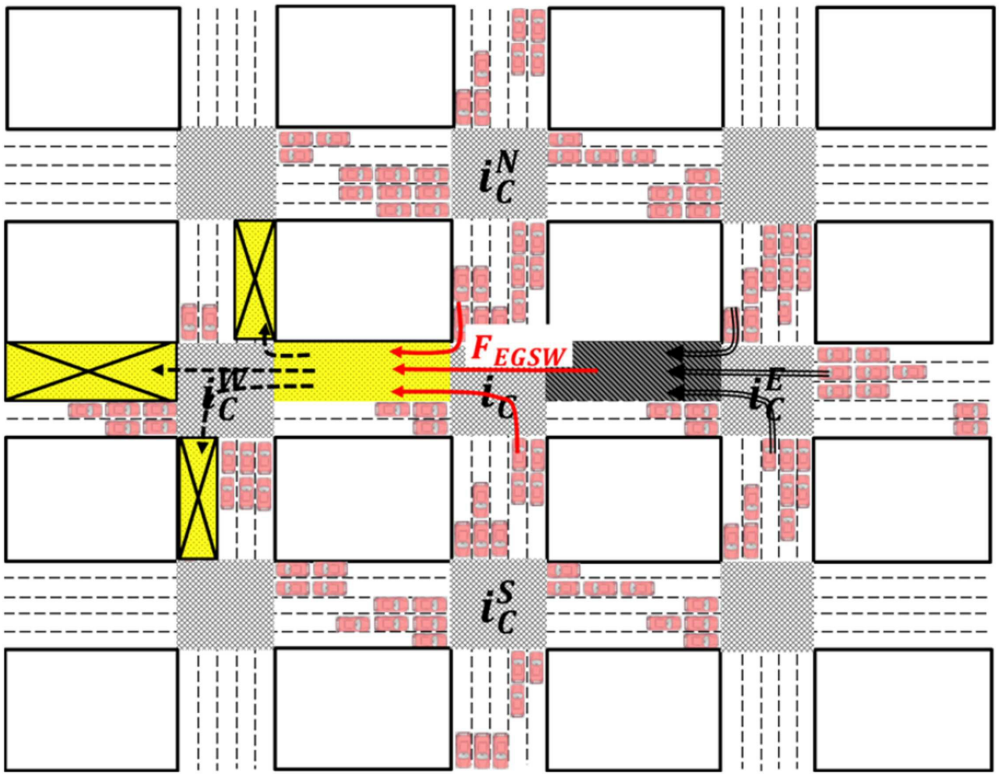


(B)

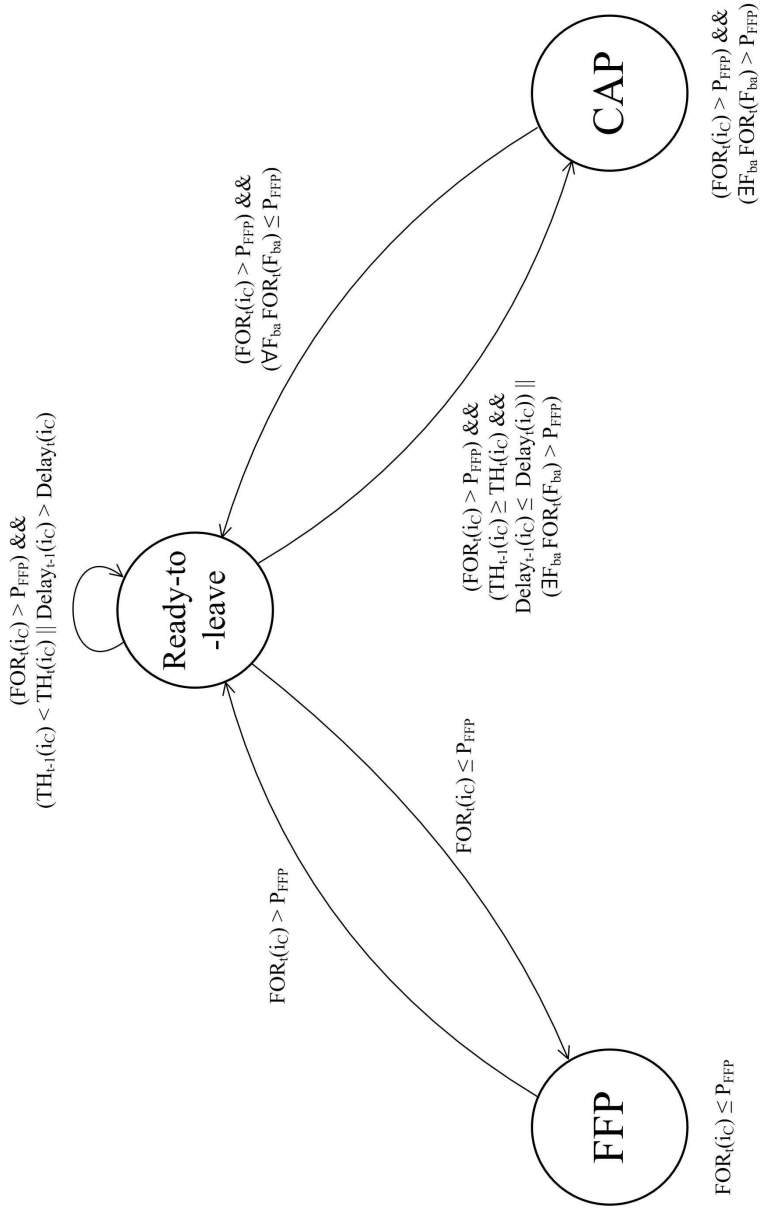
도면5



도면6



도면7


CAP
Ready-to
-leave
FFP
(FOR$_t$(i$_C$) > P$_{FFP}$) &&
(TH$_{t-1}$(i$_C$) < TH$_t$(i$_C$) || Delay$_{t-1}$(i$_C$) > Delay$_t$(i$_C$)
(FOR$_t$(i$_C$) > P$_{FFP}$) &&
(∀F$_{ba}$ FOR$_t$(F$_{ba}$) ≤ P$_{FFP}$)
(FOR$_t$(i$_C$) > P$_{FFP}$) &&
(TH$_{t-1}$(i$_C$) ≥ TH$_t$(i$_C$) &&
Delay$_{t-1}$(i$_C$) ≤ Delay$_t$(i$_C$)) ||
(∃F$_{ba}$ FOR$_t$(F$_{ba}$) > P$_{FFP}$)
(FOR$_t$(i$_C$) > P$_{FFP}$) &&
(∃F$_{ba}$ FOR$_t$(F$_{ba}$) > P$_{FFP}$)
FOR$_t$(i$_C$) > P$_{FFP}$
FOR$_t$(i$_C$) ≤ P$_{FFP}$
FOR$_t$(i$_C$) ≤ P$_{FFP}$

도면8

case #	Statistics of F_{ba}				Status of forwarding road, $S(i_C, i_C^a)$	Status of driving road, $S(i_C^b, i_C)$ (reason)	Previous duration of F_{ba}	Reaction $dur_{t+1}(F_{ba}) = dur_t(F_{ba}) \times CR_t$
	Throughput, γ_{TH}	Delay, γ_{DELAY}	Delayed Traffic Volume, γ_{NDV}	Newly joining volume, γ_{NVOL}				
	$\frac{TH_t(F_{ba})}{TH_{t-1}(F_{ba})}$	$\frac{Delay_t(F_{ba})}{Delay_{t-1}(F_{ba})}$	$\frac{NDV_t(F_{ba})}{NDV_{t-1}(F_{ba})}$	$\frac{NEV_{t+1}(F_{ba})}{NEV_t(F_{ba})}$	$CL_t(S(i_C, i_C^a))$	$CL_t(S(i_C^b, i_C))$	$dur_t(F_{ba})$ was ..	
1-1	Higher (> 1)	Shorter (< 1)	Lower (< 1)	No matter how it is	Probably not congested	Probably not congested	Unnecessarily long	Decreased, $CR_t = \gamma_{NDV} < 1$
1-2			Higher (> 1)				Long enough	Maintained, $CR_t = 1$
2-1	Higher (> 1)	Longer (> 1)	Lower (< 1)	No matter how it is	Probably not congested	May be congested (higher volume)	Long enough	Maintained, $CR_t = 1$
2-2			Higher (> 1)				Not long enough	Increased, $CR_t = \gamma_{NDV} > 1$
3-1	Lower (< 1)	Shorter (< 1)	Lower (< 1)	Higher (> 1)	Probably not congested	Probably not congested (lower volume)	Too long unnecessarily	Maintained, $CR_t = 1$
3-2				Lower (< 1)				Decreased, $CR_t = \gamma_{DELAY} < 1$
4-1	Lower (< 1)	Longer (> 1)	Lower (< 1)	No matter how it is	No matter how it is	May be congested (other flows)	Not effective	maintained, $CR_t = 1$
4-2			Higher (> 1)		May be congested	No matter how it is	Not effective	Decreased, $CR_t = \gamma_{TH} < 1$