▣ 論 文 ▣

무선통신 환경에서의 개별차량 정보를 이용한 교차로 신호제어 알고리즘 개발

Development of a Signal Control Algorithm Using an Individual Vehicle's Data in a Wireless Environment

이 인 규
(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

김 영 찬
(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 관련 연구의 검토
1. 무선통신을 이용한 정보수집 관련 연구
2. 무선통신을 이용한 신호제어 관련 연구
Ⅲ. 무선통신을 이용한 정보수집 방법론
1. 기존 정보수집 체계의 한계점
2. 무선통신을 이용한 개별차량 정보수집
Ⅳ. 신호제어 전략 개발
Ⅴ. 시뮬레이션 평가
1. PARAMICS API 모형
2. 교차로 기하구조 및 기본가정
3. 분석 시나리오
4. 시뮬레이션 결과
Ⅵ. 결론 및 향후 연구과제
참고문헌

Key Words : 유비쿼터스, 무선통신 센서네트워크, 감응식 신호제어, 시뮬레이션, 파라믹스 API
Ubiquitous, Wireless Sensor Network, Actuated Signal Control, Simulation, PARAMICS API

요 약

최근 정보통신의 발달로 인해 유비쿼터스 환경이 급속히 확산됨에 따라 교통운영 및 관리분야에서도 무선통신기술을 응용한 진보가 이루어지고 있고, 그에 따른 신호제어전략을 개발하여 신호교차로의 운영 효율성과 안전성을 획기적으로 향상시킬 필요성이 있다. 본 논문은 차량 내 단말기와 신호제어시스템과의 무선통신 및 네트워크 기술, 감응식 신호제어기술을 응용하여 최종 목표인 무선통신 환경에서의 개별차량 감응식 신호제어 알고리즘을 개발하였다. 신호제어를 위한 개별차량의 정보수집환경을 정의하였고, 개발된 제어전략을 평가하기 위해 PARAMICS의 API를 통하여 V2I와 V2V를 이용한 정보수집환경을 구현하여 새로운 개별차량 감응식 신호제어 알고리즘에 대한 분석을 수행하였다. 시뮬레이션 분석결과, WSN 신호제어가 저포화와 근포화의 조건에서 모두 정주기식제어와 완전감응식제어에 비해 최대 64%의 지체감소 효과를 나타내는 것으로 분석되었다.

Recently, as IT technology and the ubiquitous environment have diffused, the application of these techniques are being attempted in the field of traffic operations and management. Therefore, it is necessary to develop data collection systems and signal control strategies that are suitable in the ubiquitous environment and that will improve efficiency and safety of signalized intersections. The authors conducted a study on the Wireless Sensor Network (WSN) signal control strategy using a wireless communication network between individual vehicles and a signal-control system and full actuated signal control technique to propose a new signal control strategy in the ubiquitous environment. The WSN was defined to evaluate the algorithm used with PARAMICS API simulation. The simulation produced results that the WSN signal control is more effective than other signal control methods. The WSN signal control could reduce vehicle delay time to a maximum of 64% in comparison with other signal control methods in low and near saturation flow conditions.

본 연구는 한국건설교통기술평가원이 주관하는 'u-Transportation 기반 기술개발' 과제에 의해 수행되었습니다.

I. 서론

최근 정보통신 기술의 발달로 텔레매틱스 기기의 보급과 유비쿼터스 환경이 급속히 확산됨에 따라 지능형교통시스템(Intelligent Transportation System, ITS)중 교통운영 및 관리분야에서도 무선통신기술을 응용한 진보가 이루어지고 있다. 신호교차로의 신호운영과 관련하여 노변장치(RoadSide Equipment, RSE)와 차량단말장치(OnBoard Equipment, OBE)과의 양방향 통신이 가능한 능동형 단거리전용통신(Active Dedicated Short Range Communication, DSRC) 기술은 ETCS와 차량검지 등의 기술에 적용되고 있다. 무선통신 기술의 발달과 ITS의 적용은 앞으로도 계속될 전망이며, 국내뿐만 아니라 국외에서도 이러한 기술의 적용과 서비스 시장의 발달이 빠르게 형성되어 가고 있다.

1960년대 전자신호제어기(computer-based controller)의 등장 이후 최적의 교통신호 제어시스템을 구현하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔지만 대부분의 신호제어전략이 링크내의 지점 검지기로부터 제공되는 교통량, 지점속도, 점유율 등의 제한된 정보에 의한 교통수요 예측에 의존하게 되어 제어운영의 질을 높이는데 한계가 있고, 구간정보수집체계 또한 그 수집율과 정확성에 문제점을 가지고 있다. 그러나 최근의 신호제어전략 연구는 정확한 교통수요를 실시간으로 예측하여 신호제어에 적용하려는 추세로 가고 있다. 따라서 새로운 개념의 유비쿼터스 환경에 적합한 자료수집체계와 그에 따른 신호제어전략을 개발하여 신호교차로의 운영 효율성과 안전성을 획기적으로 향상시킬 필요성이 있다.

본 논문은 이러한 개별차량단말기를 통한 신호제어시스템과의 무선통신 및 네트워크 기술을 응용하여 최종목표인 개별차량 감응식 신호제어 알고리즘을 개발하고, 평가하여 이를 차세대 신호제어전략으로 제시하는 것을 목표로 한다.

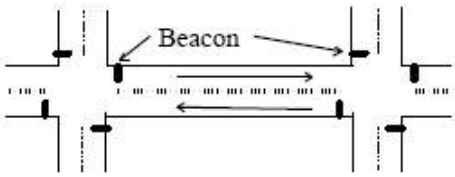
본 연구는 다음과 같이 구성하였다. 2장에서는 국내외의 관련문헌과 무선통신을 이용한 정보수집과 신호제어 연구에 대해 검토하였고, 3장과 4장을 통해 정보수집 방법과 신호제어 방안을 연구하였다. 5장에서 시뮬레이션을 통한 분석을 수행하여 그 결과값을 분석하였고, 마지막 장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해 서술하였다.

II. 관련 연구의 검토

1. 무선통신을 이용한 정보수집 관련 연구

M. Massart et al.(1995)는 비콘을 통해 수집된 통행시간 정보를 이용한 신호제어 알고리즘을 개발하였다. 비콘을 통과하는 개별차량의 정보를 통해 개별차량의 정지선 통과시각과 지체를 산출하였으며, 개별차량의 지체와 통과시각을 취합하여 구간통행정보를 신호제어 알고리즘에 적용하였다.

Massart의 방법은 접근로별 상류부에 1개의 비콘을 설치하여 개별차량이 각각의 비콘을 통과하는 시간을 체크하는 방법으로 개별차량의 방향별 지체 직접측정이 가능하다.



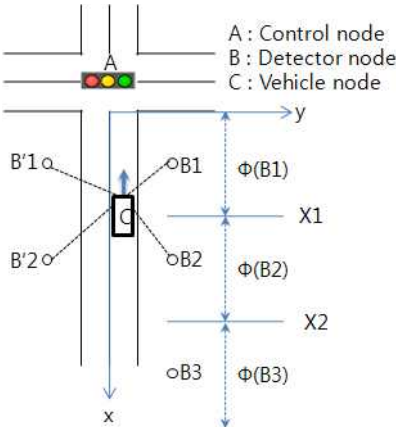
<그림 1> 비콘을 이용한 구간지체정보 수집
(Massart, 1995)

Chen Wenjie(2005)는 WSN(Wireless Sensor Network) 기술을 이용한 차량정보수집 방법을 제시하였다. WSN은 정보수집을 위한 3개의 노드로 구성된다.

① control node : 모든 접근로의 정보를 수집·계산하여 현시길이 산정 알고리즘을 통해 신호 시간을 계산. 교차로에는 하나의 control node 설치
② detector node : 개별차량에 대한 정보를 수집하고, control node로 정보 전송. detector node는 도로 양옆을 따라 50~200m간격으로 설치되어 무선신호 영역을 구축
③ vehicle node : 차량에 장착된 것으로 자신의 위치정보를 계산해 detector node로 전송. vehicle node는 모든 차량에 장착됨을 가정

차량이 정보수집구간 내에 진입했을 때, 차량의 검지시간과 위치를 저장하고, 정보를 동기화해서 control node로 전달한다. 그리고 각각의 정보를 취합하여 신호계산에 이용한다.

<그림 2>는 개별차량 정보수집을 위한 방법을 나타내고 있다.



<그림 2> WSN 환경에서의 차량정보 수집
(Chen Wenjie, 2005)

① B2가 자신의 위치와 정지선으로 부터의 거리를 Broadcast
② 링크 진입 시 vehicle node 활성화
③ 3개 이상의 B로부터 Broadcast 받으면, vehicle node는 자신의 위치와 속도를 계산
④ 모든 B는 자신과 가까운 차량을 Count
⑤ C는 차로와 교차로까지 거리를 인지
⑥ 개별차량의 거리와 속도정보로 차량이 교차로를 통과하는 것이 가능한지 계산
⑦ 교차로 통과시간 A로 전송
⑧ 통과시간을 고려하여 A에서 현시 계산
⑨ B로 계산된 현시 전송

Wischhof et al.(2003)는 FLEETNET 프로젝트를 통해 SOTIS라는 시스템을 제시하였다. GPS 수신기와 digital map, Wireless radio transceiver를 보유한 차량은 개별적으로 각 지역의 교통정보(통행속도, 도로 및 기상 조건 등)을 수집하여 C2CC(Car 2 Car Communication)를 통해 통신범위내의 모든 차량에게 전송하고, 이를 이용해 지역교통상화의 지속적인 표출과 동적경로계산에 이용하였다.

Jerbi et al.(2007)의 IFITS(Infrastructure-Free Traffic Information System) 연구에서는 GPS장치와 디지털맵을 이용해 도로의 밀도를 측정하는 방법을 제시하였다.

국내의 연구사례로 차세대 무선통신 신호제어시스템 개발(2003~2006) 연구에서는 차량과 노변장치 간의 무선통신 검지 방식으로 DSRC 통신 방식을 이용하여 개별차량의 정보를 수집 및 전송하는 연구를 수행하였다.

2. 무선통신을 이용한 신호제어 관련 연구

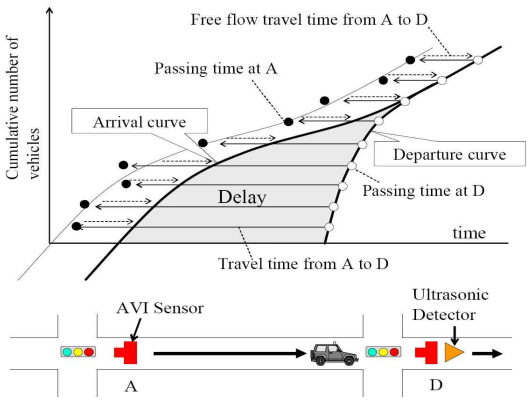
일본의 CARREN 시스템에서 M. Asano et al.(2003)는 AVI와 지점검지기를 통해 개별차량의 통행시간과 출발교통량을 관측, 누적교통량 곡선을 이용한 신호제어 알고리즘을 개발하였다. 교차로를 통과한 모든 차량들의 통과시각 정보와 주행시간 정보를 이용하여 출발교통류의 누적교통량 곡선을 측정하고, 이를 기반으로 도착교통류의 누적교통량 곡선을 추정하였다.

Asano는 제어전략은 동서방향의 신호를 단위시간 만큼 증가시키고 남북방향의 신호를 단위시간만큼 감소시키는 경우와 동서방향의 신호를 감소시키고, 남북방향을 증가시키는 경우, 변동하지 않는 경우의 총 세 가지 경우 중에서 총지체가 최소인 신호시간을 선택하는 방법을 사용하였다. 또한 주기를 단위시간만큼 증감시킨 총 지체값을 비교하여 주기의 증감여부를 결정한다.

Chen Wenjie(2005)는 실시간으로 검지구간 내 대기행렬 소거시간(TQ_x)을 구하여, 그에 따른 필요시간을 해당 현시에 제공하였다.

$$TQ(\eta,\ \theta) = \sum_j TV(V_j) = T_1 + \sum_i \tau_i = TQ_P(\eta,\ \theta) + TQ_R(\eta,\ \theta)$$
$$= \sum_m TV(V_m) + \sum_n TV(V_n)$$

여기서, η=접근로, θ=회전방향, $i \in Q(\eta,\ \theta)$,
$i \neq 1$; $j \in Q(\eta,\ \theta)$; $m \in Q_R(\eta,\ \theta)$, $n \in Q_P(\eta,\ \theta)$;
τ=자신의 위치에서 앞차의 위치까지의 주행 시간
T_1=첫번째 차량의 통과시간
$TV(V_i)$= Vi차량의 주행시간



<그림 3> 통행시간 산정과 지체 산정을 위한 누적 교통량 곡선
(2003, Asano)

정영제(2005)는 전체 차량에 대한 지체정보가 정확히 수집되는 상황을 전제하고, 각 이동류의 통행시간을 이용하여 교통량/포화교통류율비를 변환하여 이를 기준으로 대기행렬 길이를 균등화하는 신호제어 알고리즘을 개발하였다.

백현수(2007)는 교차로 유출부에 DSRC 노변장치를 설치하여 교차로를 통과하는 표본율을 알 수 없는 DSRC 단말기 장착 차량의 정보를 수집하여 통행시간 지체를 산정하였다. 현재주기와 전주기의 신호시간과 지체의 변화율 개념을 도입하여 각 이동류별로 전 주기와 현재주기의 신호시간 변화에 따른 지체의 변화를 계산하여 단위 신호시간 변화당 지체의 변화량을 설정한다. 지체의 단위 변화량에 따라 전체 이동류를 평균에 가깝게 조정하기 위해 녹색시간을 증감한다.

차세대 무선통신 신호제어시스템 개발(2003~2006) 연구에서는 기존 매설식 검지기를 통해 지역제어기로 전송되는 교통량 및 점유율 등 극히 제한적인 차량의 데이터를 새로운 방식의 무선 통신체계로 전환함으로써 실시간 차량의 **링크주행정보 (20% 정도의 Sample data)를 수집하고,** 차량의 실시간 통행시간 및 속도변화에 따라 교차로 전체의 개별차량 통행시간 균등배분(Equity)을 기반으로 신호시간을 배분하여 개별차량에 배정하도록 알고리즘을 구성하였다.

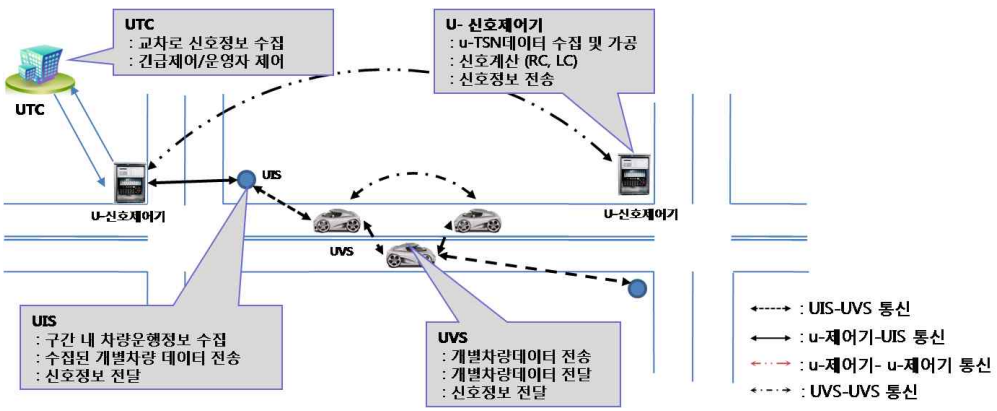
III. 무선통신을 이용한 정보수집 방법론

1. 기존 정보수집 체계의 한계점

기존의 교통정보 수집체계는 지점검지기의 경우, 수집되는 정보가 검지기 설치지점의 지점속도(Spot Speed)이고, 이것을 해당링크를 주행한 통행속도(Link Speed)의 대표값으로 사용하기 때문에 구간정보를 산출하는데 오류발생의 가능성이 있으며, 검지 스테이션간의 과다한 이격거리가 있을 경우, 구간 내 발생한 돌발 상황에 대한 신속한 검지 및 대응에 한계가 있다. 또한 매설된 검지기의 단선 및 파손으로 인한 결측자료 발생, 현장의 돌발상황에 대한 신속한 대처 미흡 등의 문제가 발생할 수 있다. 최근의 유비쿼터스 환경 보급으로 교차로에도 무선통신 환경이 구축된다면 이를 이용한 개별차량 데이터 수집으로 기존 정보수집체계의 한계극복이 가능할 것으로 예상된다.

2. 무선통신을 이용한 개별차량 정보수집

지금까지 교통정보 검지체계에 대한 많은 연구가 매설식 검지기에 국한되어 수행되어왔지만, 향후에는 차량의 속도, 위치, 가감속 등의 정보가 UWB, DSRC, RFID 등을 활용한 노변장치를 통해 수집될 뿐만 아니라 비매설식 검지기를 통해서도 수집되는 등 검지체계에 많은 발전이 예상된다. 이러한 무선통신 기반 교통정보수집시스템은 교통이용자 입장에서 필요로 하는 교통정보서비스의 수집 및 생성, 처리과정, 제공이 센서네트워크 기반에서 능동적, 자율적으로 이루어지게 하는 교통서비스 인프라로서, 교통체계 구성요소인 여행자, 교통수단 및 각종 시설물이 유/무선으로 연결되는 네트워크를 말한다. 이러한 시스템에서 가공된 다양한 정보가 교통체계 구성요소에 전달될 뿐만 아니라, 구성요소들 간에 네트워크 구성을 통한 실시간 정보교환이 가능하다. 이러한 검지방법의 새로운 등장



<그림 4> 무선통신 센서네트워크 체계

으로 기존의 유선기반 매설식 검지기체계에 의존해 왔던 차량의 검지체계가 더욱 다양해지고, 비매설식 혹은 이동식 검지체계로의 전환이 빠르게 이루어질 전망이다. 이러한 여건 변화에 따라, 본 연구에서는 신호제어를 위한 정보를 수집하기 위해 유비쿼터스 환경에서 센서네트워크를 <그림 4> 같이 구성하였다.

<그림 4>에서 표현된 센서 네트워크 환경은 국가 R&D과제로 수행되고 있는 u-Transportation 기반 기술개발에서 개발된 u-TSN 고정밀측정 차량시스템에 의해 수집되는 개별차량 수집 시스템을 가정하여 구성되었다. 수집되는 개별차량 데이터는 UVS(Ubiquitous Vehicle Sensor) 내의 GPS(Global Positioning System), GLONASS(Global Navigation Satellite System), 3축 가속도 센서, 자이로 센서 데이터를 이용하여 생성된 개별차량의 정밀주행궤적과 위치, 속도정보 등을 단위시간(100ms) 마다 UIS(Ubiquitous Infra. Sensor)로 전송된다. 해당링크에 진입한 UIS 통신반경(500m) 내의 개별차량들은 RF 방식의 I2V 통신을 통해 자신의 정보를 전송하고, UIS 통신반경 밖의 차량들은 V2V 통신을 통해 UIS로 정보를 전달한다. 이때 대향차로의 UVS 장착 차량 또한 V2V 통신 시 전달매체가 된다. 이렇게 UIS로 수집된 개별차량정보는 단위시간 마다 u-신호제어기로 전달되어 개별차량 감응식 신호제어 알고리즘에 적용된다. u-신호제어기는 UIS로부터 수집된 위치정보를 이용하여 접근로 별 개별차량의 정지선으로부터의 거리를 산출하고, 개별차량의 속도정보와 위치정보를 이용하여 차량이 이미 대기행렬에 도착해 정지해 있는지, 차량이 주행하고 있는 상태지만 현시 종료 전에 교차로부에 도착하는 차량인지, 혹은 현시 종료 후에 도착하는 차량인지에 대한 정보를 알 수 있다. 따라서 이러한 정보를 바탕으로 개별차량 감응식 신호제어를 수행하게 된다. 센서 네트워크 환경에서 수집되는 정보를 정의하였다.

<표 1> u-신호제어기에서 수집되는 개별차량 정보

수집 정보	내용
ID	개별 차량 ID
Current Position	정지선으로부터의 거리(m)
Lane Position	차로 위치정보
X Current Position	차량의 X 좌표
Y Current Position	차량의 Y 좌표
Current Speed	현재 속도(km/h)
System Time	현재 시간(sec)

IV. 신호제어 전략 개발

국내·외 신호제어시스템의 제어방식은 미리 입력된 신호시간 정보에 의해 운영되던 정주기식제어에서, 현장의 교통상황에 따라 신호시간이 자동으로 조절되는 실시간 교통류 대응 제어로 발전되어 왔다. 그리고 점유율, 포화도, 대기차량길이, 교통량 등 군집 교통정보가 주요 신호제어의 운영 자료로 이용되고 있다. 하지만 기존의 신호제어 전략 및 알고리즘은 유선 신호시스템의 고정검지기체계의 한계 때문에 개발에 많은 제약이 있었다. 무선통신기술을 활용한 검지시스템은 이러한 한계를 벗어나게 할 뿐만 아니라 개별차량의 정보를 제공하기 때문에 유비쿼터스 시대의 새로운 신호제어 알고리즘과 전략을 필요로 한다.

본 논문에서 제안하는 제어 알고리즘은 크게 2개의 부분으로 구분된다. 첫째는 황색시간과 적색시간 동안 도착한 차량들의 대기행렬길이 정보를 수집하여 초기녹색시간을 제공하는 전략이고, 두 번째는 초기녹색시간에 이후에 진입하는 차량들에 대해서 최대녹색시간까지 단위연장 시간을 제공하는 전략이다.

개별차량 정보를 이용한 효과적인 신호제어를 위해서 u-신호제어기는 UIS를 통해 전달받은 개별차량 정보를 이용하여 대기행렬 소거시간인 초기녹색시간을 계산하고, 대기행렬 소거시간 이후에 실시간 차량정보를 이용한 단위연장시간을 계산하여 감응식 신호제어를 수행한다. 신호제어 전략은 Variable Initial Interval 계산과 Variable Extension Interval 계산으로 구분된다.

1) Variable Initial Interval 계산

녹색시간의 초기부분으로서 황·적색 신호 동안 대기한 차량을 통과시킬 수 있는 최소녹색시간을 제공한다. 초기녹색시간을 계산하기 위해서 필요한 개별차량의 정보는 차량의 좌표값과 접근로방향, 회전방향, 속도이며, 이를 이용하여 대기차량 소거시간 (T_{Ri})을 계산한다.

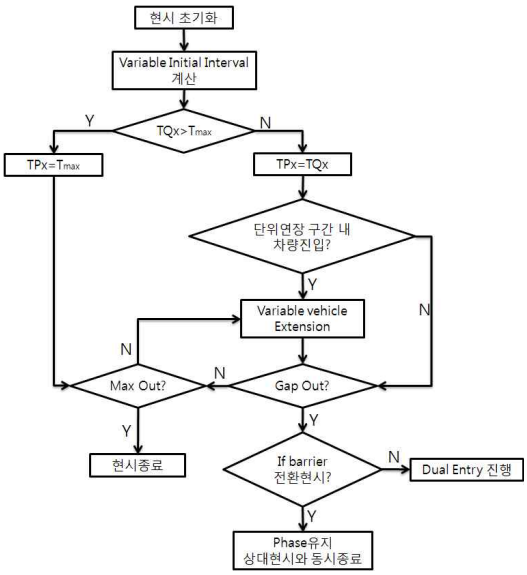
$$T_{Ri} = SLT_i + Q_{\max i} \times \frac{1}{S}$$

여기서, T_{Ri} : i현시의 초기 녹색시간(sec)
SLT_i : i현시의 출발 손실시간(≈ 2.3sec)
S : 포화교통류율($2000 veh/h$)
$Q_{\max i}$: i현시의 최대대기 행렬 길이(veh)

T_{Ri}를 구하여 T_{Ri}가 최대녹색시간(Tmax) 보다 크다면 최대녹색시간까지 현시를 진행하고, 최대녹색시간 보다 작다면 남은시간에 Variable Vehicle Extension을 수행한다.

2) Variable Vehicle Extension 계산

최소 녹색 시간에 접근하는 교통량에 따라 녹색 시간 연장분을 결정하는 것으로 이 시간 내에 뒷차량이 검지되면 한 단위의 연장이 이루어지고 단위연장 범위 내에 다음 차량이 감응되지 않으면 현시를 종료한다.(Gap-out) 단위연장시간은 통신범위 내에 존재하는 차량이 현재 위치에서 정지선까지 진행하는데 걸리는 시간으로 정의한다. u-신호제어기는 UIS로부터 매초마다 수집되는 개별차량 속도(Vi)와 개별차량의 위치를 이용해 계산한 정지선까지의 거리(Di)를 이용하여 단위연장시간을 계산한다.



<그림 5> 신호제어 알고리즘

$$If((D_i/V_i) \le 3), \quad T_{Ei} = MAX(D_i/V_i)$$

여기서, T_{Ei} : i현시의 단위연장시간

Di : i번째 차량의 정지선으로부터 거리(m)

V_i : i번째 차량의 속도$(m/\sec)$

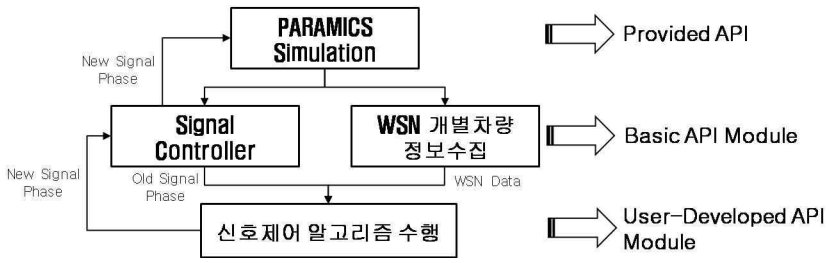
상대현시의 차량감응이 있고, 지정된 최대녹색시간까지 진행된 경우(Max-out)와 해당현시에 더 이상 차량감응이 없는 경우에 현시를 종료하며, 만약 상대현시에 차량감응이 없는 경우에는 주방향 현시로 전환하여 1초씩 단위연장을 수행한다.

Ⅴ. 시뮬레이션 평가

시뮬레이션을 통한 효과분석은 PARAMICS 모형을 활용하여, 단일교차로와 네트워크 교차로에 대해서 WSN 제어를 정주기식과 감응식 신호제어 전략과 비교하여 1시간(3600초) 동안 시뮬레이션을 수행하였다.

1. PARAMICS API 모형

본 연구에서는 대표적인 미시적 시뮬레이션 모델중 하나인 PARAMICS를 시뮬레이션 도구로 사용하였다. PARAMICS는 미시적 교통류 시뮬레이션 모형으로 단위 시간 별로 네트워크 내 개별차량의 행동을 연속적으로 파악하여 분석하며, 새로운 신호제어 알고리즘 적용이 가능한 API(Advanced Program Interface) 기능이 포함되어 새로운 알고리즘에 대한 적용 분석이 가능하다. 유비쿼터스 환경에서 개별차량의 정보를 얻고, 이를 이용하여 신호알고리즘에 적용하기 위한 Paramics API 수행 과정은 <그림 6>과 같다. API 프로그래밍을 통해 개별차량 데이터를 수집을 위해서 시뮬레이션 단위



<그림 6> 신호제어 API의 적용

시간(100ms) 동안 해당 링크를 주행하는 모든 차량의 위치 및 속도 정보를 수집하였으며, 수집된 데이터를 바탕으로 신호제어 알고리즘 통해 신호시간을 계산하였다.

2. 교차로 기하구조 및 기본가정

본 연구에서는 시뮬레이션 분석을 위해 설정한 기본 가정 및 기하구조, 신호조건을 정의하였다.

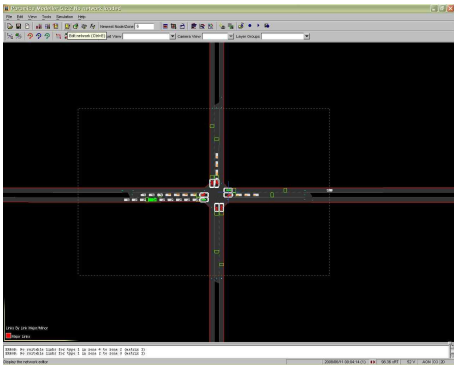
1) 교통조건 및 신호조건

① 현시체계 : 8현시 dual ring 방식으로 선행 좌회전을 사용한다.

② 도로조건 : 전 방향 2차로, 좌회전 bay를 포함하며 링크길이가 1200m 독립교차로로 가정한다. 네트워크의 경우는 <그림 7>와 같이 2,3,4차로를 가정하였다.

③ 교통량조건 : 포화교통류율은 직진현시에 2000 vpghpl, 좌회전 현시는 1600vpghpl 으로 가정한다.

④ 신호운영조건 : 정주기식의 경우, TRANSYT-7F를 이용하여 대상 교차로의 교통조건을 입력한 후, 최적화 작업을 수행하여 도출된 주기, 현시분할, 옵셋값을 사용한다. 감응식 신호제어의 경우에 좌회전과 직진현시 최소녹색시간은 설정 없이 계산된 Variable Initial Interval 값에 의해 결정되며, 최대녹색시간은 V/C 별 TRANSYT-7F에 의해 최적화된 현시분할 값을 기준으로 설정하였고, WNS 신호제어는 알고리즘에 의해 계산된 값을 적용하여 신호운영시간이 적용된다.



<그림 8> PARAMICS 실행

3. 분석 시나리오

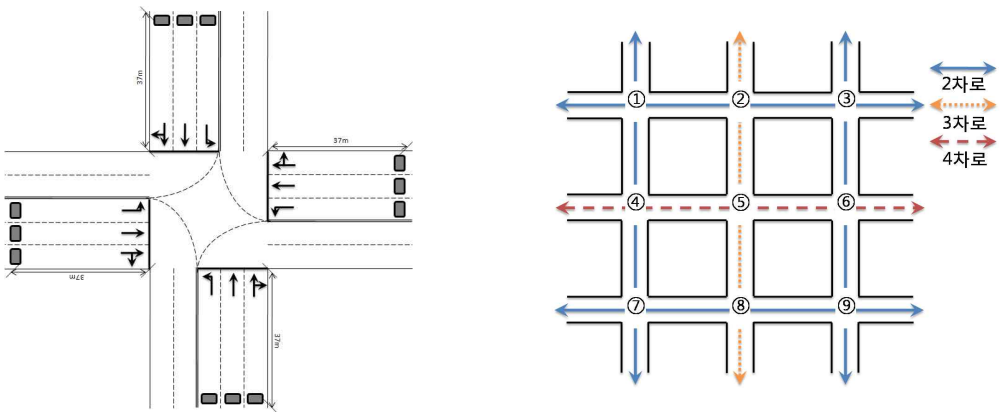
효과분석을 위한 4개의 분석시나리오를 설정하여 <그림 7>의 가상교차로에 대해 분석을 수행하였다.

1) 효과척도 (MOE)

교차로의 효율성을 측정하기 위한 효과척도로는 링크평균지체(sec/veh)를 사용한다. 링크평균지체 값은 해당링크에 진입한 차량이 링크를 통과하는 시간과 자유속도와의 차이로 계산된다.

2) V/C에 따른 비교분석

교통량의 변화에 따른 효과가 다르게 나타날 것이라고 판단하여 동일한 조건하에서 V/C가 0.4 , 0.6, 0.8 일 때의 각 접근로 별 효과척도를 정주기식과 감응식 신호제어와 비교한다.



<그림 7> 분석대상 교차로

3) 교통량 변화에 따른 비교분석

v/c가 0.6이고 교통량이 15분단위로 변동할 때(이때 최대 녹색시간은 v/c 0.6에서 최적화된 녹색시간이 아닌 v/c 0.8에서 최적화된 녹색시간은 이용) v/c 0.6의 교통량에서 처음 15분 동안 전체 교통량의 120%, 두번째 15분은 80%, 세번째 15분은 120%, 마지막 15분은 80%의 교통량을 발생시켜, 교통량의 변동에 따른 교차로 성능변화를 측정하였다.

4) 차량의 주행속도 변화에 따른 제어 효과분석

v/c가 0.4, 0.8의 조건에서 TRANSYT-7F에 의해 주기와 현시분할, 옵셋이 최적화된 정주기식제어와 비교하여 네트워크 조건에서 WSN 제어의 효과를 비교하였다.

5) 네트워크에서 효과분석

v/c가 0.4, 0.8의 조건에서 TRANSYT-7F에 의해 주기와 현시분할, 옵셋이 최적화된 정주기식제어와 비교하여 네트워크 조건에서 WSN 제어의 효과를 비교하였다. <표 2>에서 WSN 신호제어의 효과분석을 위한 시나리오를 정의하였다.

<표 2> 분석 시나리오

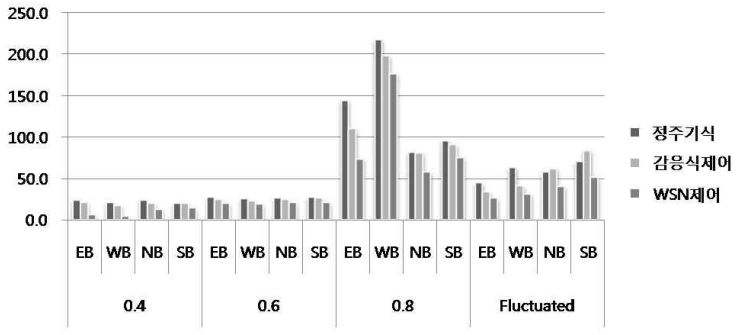
분석대상	정주기식 신호제어	완전 감응식 신호제어	WSN 신호제어
시나리오 1	V/C=0.4, 0.6, 0.8, 단일교차로 시뮬레이션		
시나리오 2	V/C=0.6에서 15분 단위로 교통량 변화 (120% → 80% → 120% → 80%, 단일교차로 시뮬레이션		
시나리오 3	V/C=0.6에서 제한속도 변화에 따른 단일교차로 시뮬레이션 (40kph : 60kph : 80kph)		
시나리오 4	V/C=0.4, 0.8, 교통량변화 조건에서 9개 네트워크 교차로를 시뮬레이션		

4. 분석 결과

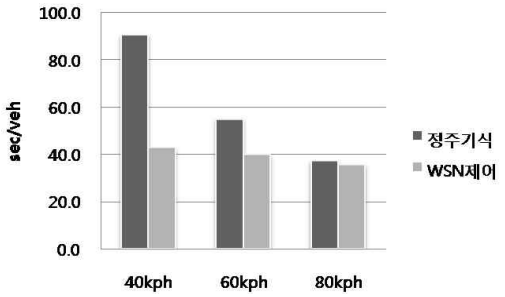
알고리즘을 평가하기 위해 PARAMICS 모형을 이용하여 분석 시나리오에 따른 각각의 제어방법에 대해서 시뮬레이션을 수행하여 결과값을 도출하였다. <그림 9>에서 보는 바와 같이 교차로 평균지체 결과에서 WSN 신호제어가 V/C 0.4에서 최대 정주기식보다 74.6%의 지체감소 효과를 나타냈고, 완전감응식보다 70.6%의 지체감소 효과를 나타냈다. V/C 0.6과 0.8에서도 앞선 두 제어방식에 비해 지체감소효과가 있는 것으로 나타났으며, 근포화 조건에서보다는 저포화 조건에서 WSN제어의 지체감소 효과가 더 큰 것으로 분석되었다. V/C 0.6에서의 교통량변동 시나리오의 결과에서도 WB의 정주기식 제어에서 최대 51.2%의 지체감소가 나타났고, 완전감응식 제어에 비해24.3% 지체감소 효과를 보였다.

차량의 주행속도 변화에 따른 신호제어 효과를 분석한 결과, 링크의 제한속도를 낮게 설정할수록 정주기식 제어에 비해 지체감소 효과가 큰 것으로 나타났다. 정주기식 제어의 경우 링크의 주행속도가 높아짐에 따라 평균정지지체가 크게 감소하는 것으로 나타났으나, WSN 제어는 차량의 주행속도 변화에 따라 소폭의 지체감소효과를 나타냈다. 이는 차량의 평균주행속도가 높을 경우 WSN 제어 시에 개별차량의 현시연장 기회가 많아지므로 해당현시가 최대녹색시간까지 진행될 가능성이 높아진다. 따라서 정주기식 제어와 WSN 제어의 지체결과가 거의 같아진 것으로 판단된다.

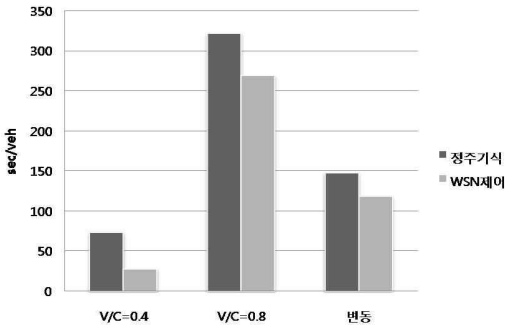
<그림 11>의 네트워크 조건에서 교차로의 평균링크지체 값을 살펴보면, 앞선 지체 결과값과 마찬가지로 V/C가 낮을수록, WSN 신호제어에서 낮은 링크평균지체 값이 나타남으로서 WSN 신호제어가 네트워크 조건에서도 교차로의 효율을 향상시키는 것으로 나타났다.



<그림 9> 방향별 링크지체 결과 (sec/veh)



<그림 10> 제한속도별 링크지체 결과 (sec/veh)



<그림 11> 네트워크 조건에서 지체 결과 (sec/veh)

Ⅵ. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 새로운 유비쿼터스 환경에서 개별차량 단말기를 통한 신호제어시스템과의 무선통신 및 네트워크 기술을 응용한 자료수집 방법을 제안하고, 개별차량 감응식 신호제어 전략을 개발하여 시뮬레이션 분석을 통해 효과를 검증하였다.

이를 위해 PARAMICS의 API를 통하여 V2I와 V2V를 이용한 정보수집환경을 구현하였고, 새로운 개별차량 감응식 신호제어 알고리즘을 적용하여 분석을 수행하였다. 저포화 상태와 근포화 상태의 V/C에 따른 알고리즘의 효과를 살펴보면 저포화 상태와 근포화 상태에서 모두 링크지체와 링크속도가 정주기식 운영과 감응식 운영 보다 제어효과가 높은 것으로 나타났다, 시뮬레이션 시간동안 Period 별 교통량변화를 주었을 때 결과값도 지체감소 효과가 나타나는 것으로 분석됐다.

본 연구의 한계점으로 차량의 UVS 장착률을 100%로 가정하여 연구를 수행하였지만, 현실적인 운영을 위해서는 자료를 수집할 수 있는 차량의 비율에 따른 제어전략과 대안을 제시하고, 그에 따른 효과 분석이 필요하겠다.

향후의 연구과제로서 본 연구는 NEMA 감응식 신호제어에 기반을 둔 개별차량의 효율적인 신호제어와 효과분석에 연구의 초점을 맞췄지만, 개별차량의 실시간 데이터를 이용하여 여러 가지 신호제어기법의 적용이 가능하다. 따라서 다양한 교통축이나 네트워크 단위에서 개별차량의 실시간 주행 데이터를 이용한 감응식 신호제어 알고리즘을 개발할 예정이며, 본문에서 언급한 차량의 UVS 장착비율에 따른 제어효과 분석도 보완될 예정이다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제59회 학술발표회(2008. 10.24)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. Steven M.Click(2008), “Evaluation of Variable Maximum Green Time to Improve Rural Traffic Signal Operations”, TRB.
2. CHEN Wenjie, CHEN Lifeng, CHEN Zhanglong, TU Shiiang(2005), “A Realtime Dynamic Traffic Control System Based on Wireless Sensor Network”, Proceeding of the 2005 International Conference on Parallel Processing Workshops, IEEE.
3. Miho ASANO, Ryota HORIGUCHI, Masao KUWAHARA(2005), “Adaptive Traffic Signal Control Using Real-Time Delay Measurement”.
4. CHEN Wenjie, GAO Liqiang, CHAI Zhanglong, TU Shiliang(2005), “An Intelligent Guiding and Controlling System for Transportation Network Based on Wireless Sensor Network Technology”, Proceeding of the 2005 The Fifth International Conference on Computer and Information Technology, IEEE.
5. Asano M., Nakajima A., Horiguchi R.(2003), “A traffic signal control based on a queuing model using ITS sensing Technologies”, Proc. of 10th ITS World Congress, Modrid.
6. M. Massart, M. koshi, M. kuwahara(1995), “Traffic Signal Control Based on Travel Time Information from Beacons”, Proceeding of the second world congress on intelligent transportation systems ’95 Vol.1 pp.30~35, VERTIS.

7. Wischoff, L.; Ebner, A.; Rohling, H.; Lott, M.; Halfmann, R. SOTIS - a self-organizing traffic information system. Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual Volume 4, Issue , 22-25 April 2003 Page(s): 2442-2446 vol.4
8. M Jerbi, SM Senouci, T Rasheed, Y Ghamri-Doudane. An Infrastructure-Free Traffic Information System for Vehicular Networks. Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall.
9. Huaying Xu and Matthew Barth(2006), Travel Time Estimation Techniques for Traffic Information Systems Based on Intervehicle Communications. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board No. 1944, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp.72~81.
10. U.S DOT. Traffic Control Systems Handbook.
11. Jing Zhu and Sumit Roy(2003), "MAC for Dedicated Short Range Communications in Intelligent Transport System", IEEE Commun. Mag., Vol.41, No.12, Dec, pp.60~67.
12. "차세대 무선통신 신호제어시스템 개발"(2006), 건설교통부.
13. 국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기기 개발(2002.09), 교통개발연구원.
14. 백현수(2007), "무선통신 검지자료를 이용한 통행시간기반 신호제어 알고리즘 개발", 서울시립대학교 박사학위 논문.
15. 정영제(2006), "구간검지체계의 통행시간정보를 이용한 신호제어 알고리즘 개발", 서울시립대학교 석사학위 논문.

♧ 주 작 성 자 : 이인규
♧ 교 신 저 자 : 김영찬
♧ 논문투고일 : 2008. 10. 24
♧ 논문심사일 : 2008. 12. 2 (1차)
2009. 5. 18 (2차)
2009. 7. 9 (3차)
2009. 7. 31 (4차)
♧ 심사판정일 : 2009. 7. 31
♧ 반론접수기한 : 2010. 2. 28
♧ 3인 익명 심사필
♧ 1인 abstract 교정필