무선 센서 네트워크 기반의 차량 검지 시스템을 위한 교통신호제어 기법

Traffic Signal Control Scheme for Traffic Detection System based on Wireless Sensor Network

홍 원 기*, 심 우 석
(Won-Kee Hong¹ and Woo-Seok Shim²)

¹Daegu University, Dept. of Multimedia Engineering

²HYUNDAI AUTRON, Eco Vehicle Platform Team

Abstract: A traffic detection system is a device that collects traffic information around an intersection. Most existing traffic detection systems provide very limited traffic information for signal control due to the restriction of vehicle detection area. A signal control scheme determines the transition among signal phases and the time that a phase lasts for. However, the existing signal control scheme do not resolve the traffic congestion effectively since they use restricted traffic information. In this paper, a new traffic detection system with a zone division signal control scheme is proposed to provide correct and detail traffic information and decrease the vehicle's waiting time at the intersection. The traffic detection system obtains traffic information in a way of vehicle-to-roadside communication between vehicles and sensor network. A new signal control scheme is built to exploit the sufficient traffic information provided by the proposed traffic detection system efficiently. Simulation results show that the proposed signal control scheme has 121 % and 56 % lower waiting time and delay time of vehicles at an intersection than other fuzzy signal control scheme.

Keywords: traffic detection system, wireless sensor network, signal control scheme, vehicle-to-roadside communication

I. 서론

급격한 차량의 증가로 인해 발생하는 교통 정체는 천문학적인 경제적·사회적 비용 손실을 가져오고 있음은 주지의 사실이다[1]. 특히, 교차로에서의 효과적인 교통 신호 제어는 교통 정체와 차량의 원활한 흐름을 결정짓는 매우 중요한 요소이다. 그러나 교차로에서의 교통량은 장소와 시간에 따라 그 변화가 매우 심하기 때문에 이를 효과적으로 수집하여 능동적으로 대처할 수 있는 신호 운영 방법이 요구된다. 현재, 실시간 마다 교통량의 변화 등 여러 교통 정보를 수집하기 위해 다양한 차량 검지 시스템이 고안, 도로에 설치되어 운용 중에 있다[2-5]. 그러나 기존 차량 검지 시스템은 고가의 설치 비용, 한정된 검지 영역, 일기 조건으로 인한 검지 오류, 복잡한 감지 알고리즘 등의 문제로 인해 정확하고 충분한 교통 정보 수집에 제약을 안고 있다.

일반적으로 교차로에서의 교통 신호 제어는 차량 검지 시스템으로 부터 획득한 교통 정보를 이용하여 신호 현시(signal phase)의 지속 시간과 전환 신호를 결정하는 식으로 이루어진다. 신호 현시란 교통 신호의 조합을 의미한다. 따라서, 신호 현시의 지속 시간은 차량의 신호 대기 시간과

원활한 교통 흐름을 결정짓는 중요한 요소이다. 대표적인 신호 제어 방법인 고정시간 신호제어 기법(pre-timed signal control scheme)은 사전에 작성된 신호 계획을 바탕으로 현시 지속 시간이 결정되고 고정되기 때문에 교통량의 변화가 매우 심한 지역에는 비효율적이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 검지 시스템으로 부터 수집되는 교통량 정보에 따른 다양한 교통 신호 제어 기법들이 제안되어 왔다[7-11]. 그러나 기존의 교통 신호 제어 기법은 차량 검지 시스템이 제공하는 교통 정보의 제약과 함께 교차로에 진입하는 차량의 이동류(회전류, 직진류) 특성과 불규칙한 차량 분포 등을 고려하지 않아 교차로에서의 교통 정체를 효과적으로 해결하지 못하고 있다.

본 논문에서는 실시간으로 교차로 주변의 차량에 관한 정확한 정보를 수집하기 위해 무선 센서 네트워크를 활용한 차량-도로간 통신 기반의 검지시스템을 제안한다. 이는 교차로에 진입하는 모든 차량들이 RF 통신이 가능한 텔레메틱스 단말을 장착하고 있으며 주기적으로 차량의 정보(속도, 차선위치, 회전 방향 등)를 무선 센서 노드에 전달한다. 교차로에 배치된 무선 센서 노드들이 수집한 정보는 다시 신호 제어 단말로 전달되어 교통 신호를 제어하는데 활용된다. 이러한 차량-도로간 통신 기반의 검지 시스템에서 획득한 교통 정보를 효과적으로 활용하여 차량의 신호 대기 시간을 줄이기 위해 본 논문에서 제안하는 교통신호제어 기법은 구역 분할을 기반으로 한다. 구역 분할이란 교차로로부터 떨어진 거리에 따라 주위 도로를 분할하고 교차

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 5. 15., 수정: 2012. 6. 14., 채택확정: 2012. 6. 30.
홍원기: 대구대학교 정보통신공학부 교수(wkhong@daegu.ac.kr)

심우석: 현대오토론(WooSeok.Shim@hyundai-autron.com)

※ 이 논문은 2011학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의하여 작성되었음.

로에 인접한 구역의 차량 밀도를 기준으로 현시 지속시간을 결정하는 방법이다. 차량 밀도는 차선 별로 계산되며 이는 차량의 방향을 고려한 신호 현시 지속 시간을 결정하게 함으로써 원활한 교통 흐름을 제어할 수 있도록 하고 있다. 제안하는 교통 신호 제어 기법은 시뮬레이션을 통해 성능 평가를 수행하였으며, 실험 결과 기존 퍼지 기법에 비해 차량 평균대기시간이 최대 121 %, 평균지체시간이 최대 56 %, 비용함수가 최대 102 % 개선된 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 기존 교통신호 제어 기법들에 대해 소개하고 문제점을 제시한다. III 장에서는 본 논문에서 제안하는 차량 감지시스템과 교통신호 제어를 위한 구역 분할 기법에 대해 설명한다. IV 장에서는 기존의 여러 교통신호 제어 기법들과 성능 비교 평가를 통해 구역분할 기반의 교통신호제어 기법의 우수성을 검증한다. 마지막으로 V 장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

교차로 상에서 녹색신호와 적색신호, 황색신호와 같은 교통신호를 제어하여 원활한 교통소통을 돕는 교통신호 제어 기법은 교차로 상의 차량 신호 대기시간을 최소화하고 교통정체와 같은 교통문제를 해결하기 위해 설계된다. 일반적으로 해당 교차로의 신호제어를 운영하는 기법은 교차로의 신호시간을 계산하는 방식과 온라인 · 오프라인 여부에 의하여 구분된다.

1. 고정시간 교통신호제어 기법

고정시간 신호제어 기법은 사전에 작성된 신호계획을 이용하여 고정된 주기 및 신호 현시를 가지고 시간대별 신호 시간계획에 의해 신호제어가 이루어진다[7]. 주기는 신호등의 등화가 완전히 한 번 바뀌는 것 또는 그 시간의 길이를 나타내고, 현시는 한 주기 중에서 신호 표시가 변하지 않는 일정한 시간구간 또는 신호의 상태를 뜻한다. 고정식 신호 제어기법은 교통량의 변화와 상관없이 규칙적인 신호주기를 반복하는 방식으로 교통패턴이 안정되어 변동량이 적은 경우에 적합한 신호제어 기법이다. 또한 신호주기 일정하여 인접 신호등과 연동화가 용이하며 조작이 간편하고, 설치 · 운영비가 적게 드는 장점이 있으나 짧은 시간동안 발생될 수 있는 현장 교통상황의 변화에 따라 능동적으로 조정되지 못해 현재의 교통상황을 반영하지 못한다는 문제점을 가지고 있다.

2. 퍼지 교통신호제어 기법

퍼지 신호제어 기법(fuzzy signal control scheme)은 감지 시스템을 통해 수집한 정보를 이용하여 퍼지이론에 의해 신호제어가 이루어지는 기법이다. 퍼지 제어방식을 적용한 연구는 다음과 같다.

Mamdani와 Pappis는 2개의 일방통행 교차로를 대상으로 퍼지 논리 제어기(fuzzy logic controller)를 제안하였다[8]. 감지시스템으로부터 수집한 정보를 바탕으로 현재 녹색 신호 후 경과시간, 녹색 신호시간동안 교차로에 진입하는 차량 수, 적색 신호시간동안 대기 중인 차량수를 퍼지 논리 제어기의 입력변수로 사용하고, 현재 신호를 연장할 확장시간을 출력변수로 설정하였다. 제어규칙은 25개의 규칙이 5개씩 5

개의 군으로 나뉘어져서, 매 10초마다 다른 군의 제어규칙을 순서대로 이용한다. 이 기법은 현실과는 차이가 있는 단순 교차로를 대상으로 실험하였고, 제어규칙을 선정하는 방법 또한 복잡하여 실제에 적용하기 어려운 기법이다.

Gomide 등은 브라질 상 파울로 시의 특정 교차로를 대상으로 적응 전략 방식을 가진 퍼지 교통 제어기를 제안하였다[10]. 이 퍼지 교통 제어기는 녹색 신호 현시에 진입하는 교통량과 다른 방향에서 형성된 차량정보를 입력변수로 사용하여, 현 녹색 현시의 확장시간을 결정한다. 이때 녹색 현시의 확장은 미리 정해진 최대 녹색시간에 도달할 때까지 가능하다. 이 기법은 일반적인 교차로와 다른 브라질 상 파울로 시의 특정교차로를 대상으로 실험하였고, 실제 환경에 적용하기 어려운 적응전략방식을 사용하였다.

Jamshidi 등은 왕복 2차선 도로가 만나는 4지 교차로를 대상으로 3개의 입력변수와 1개의 출력변수를 가정하였다[11]. 녹색신호 후 평균 차량 밀도, 적색신호 후 평균 차량 밀도, 현재 사용하는 주기의 길이를 입력변수로 사용하였고, 출력변수로 현재 현시를 변경할 수 있는 가능성 정도를 사용하여 다음 현시로 변경할 것인가를 결정하였다. 또한 26개의 제어규칙을 사용하였다. 이 기법은 교통량의 변화가 적은 구역에서는 적용이 가능하나, 교통량의 변화가 많은 구역에서는 적용하기 힘들 것으로 예상된다.

이외에도 교차로 형태(오거리, 삼거리, 사거리 등) 및 회전 보정계수를 퍼지 규칙으로 산정하여 최적 녹색시간을 산출 하는 방식이 제안되었고, [12]에서는 퍼지의 입력 변수로 도로 정체 상황을 잘 반영할 수 있는 교통량을 추가로 하여 23개의 제어 규칙으로 현 녹색 현시의 확장시간을 결정하는 방식을 제안하였다.

기존의 퍼지 제어방식은 기존 감지 시스템(전기 유도식 루프 감지시스템, 초음파 감지시스템, 초단파 감지시스템, 적외선 감지시스템, 화상 감지시스템 등)으로 획득한 제한된 정보를 이용하여 신호제어의 효율을 떨어뜨렸으며, 실제 적용하기 어려운 환경을 대상으로 테스트되었다.

III. 고정형 신호 현시 기반의 교통신호 제어 기법

본 절에서는 무선 센서 네트워크를 이용해 교통 신호 제어에 필요한 정보를 획득하기 위한 차량-도로간 통신 기반의 차량 감지 시스템을 제안한다. 또한, 제안된 차량 감지 시스템을 기반으로 신호등에서 차량의 평균 대기 시간을 줄일 수 있는 새로운 교통신호 제어 기법인 구역 분할 기법을 제안한다.

1. 차량 감지시스템

본 논문에서 제안하는 차량-도로 간 통신 기반의 차량 감지시스템은 차량 노드, 센서 노드, 신호제어 단말로 구성되며, 그림 1과 같이 교차로 주위에 설치된 센서노드와 차량 간 통신을 통하여 교통정보를 수집한다. 모든 차량은 고유한 ID를 가지고 있으며, RF 송수신기, GPS 수신기를 내장한 텔레매틱스 단말기를 장착하여 도로에 설치된 센서노드들과 무선통신이 가능하다. 차량은 센서노드들에 자신의 ID, 위치, 속도, 진행방향등을 전달하게 된다. 차량의 진행 방향은 진입한 차선에 의해 결정되는데, 이는 차량의 위치

그림 1. 차량-도로 간 통신 기반의 차량 검지시스템.

Fig. 1. Vehicle detection system based on vehicle-to- roadside communication.

정보를 활용해 계산할 수 있다. RF 송수신기를 내장하여 차량과 무선 통신을 수행하는 센서 노드들은 차량 고유의 ID를 이용해 차량의 수를 계산함으로써 정확하고 신뢰성 있는 정보를 얻을 수 있다. 또한 특정차량 (긴급차량, 도난 차량, 속도위반차량 등)에 대한 정보획득도 가능하다. 센서 노드들은 교차로로부터 일정한 간격으로 배치되어 도로 상에 자신의 검지 영역을 갖고 있다. 이는 구역별 교통 정보의 획득을 가능하게 하여 최적의 현시 지속시간을 구하고 차량의 신호 대기 시간을 줄이는데 활용된다. 이와 같이 도로 주변에 설치된 센서노드는 차량에 정보요청 메시지뿐만 아니라 경고 메시지, 안내 메시지 등도 전달할 수 있고, 차량은 자신의 차량 정보와 함께 교통 상황 정보 등을 제공하여 도로상에 발생할 수 있는 여러 사건 상황 정보를 실시간에 전달할 수 있도록 한다. 신호제어단말은 여러 센서 노드들이 획득한 차량 ID, 속도, 진행방향정보 등과 같은 필요 정보를 센서 노드들과 연결된 유선 통신 케이블을 통해 전달 받는다.

본 논문에서 제안하는 차량-도로 간 통신기반의 교통 검지시스템의 교통정보 획득 프로세스는 다음과 같다. 우선 도로에 일정한 간격으로 배치된 센서노드들은 해당 검지 구역을 지나고 있는 차량들에 주기적으로 정보요청 메시지를 전파한다. 교차로에 접근하고 있는 차량은 정보요청 메시지를 수신하게 되면 통신 상태를 수신 상태(listening state)에서 동작 상태(active state)로 변경한다. 이 때 차량은 자신의 차량 ID, GPS 수신기를 통해 획득한 속도, 진행방향정보(좌회전/직진/우회전, 동/서/남/북) 등을 센서노드로 전송한다. 이 정보를 수신한 각 센서노드들은 획득한 정보를 통신 케이블을 통해 신호제어단말로 전송하게 되고 획득한 정보는 교통신호제어를 위해 방향별(North/South/West/East), 구역별(100m, 200m, 300m, ..., nm), 이동류별(직진/좌회전/우회전)로 분류된다.

2. 구역 분할 교통신호제어 기법

기존의 교통신호제어 기법은 교차로에 접근하는 좌회전 차량, 우회전 차량과 같은 회전류 차량을 고려하지 않고 이들 차에 해당하는 신호시간을 일정하게 부여하는 등 모든 이동류(회전류, 직진류)별 특성을 고려하지 않고 있다. 이로 인해 좌회전 차량이 많을 경우 짧은 좌회전 녹색시간을 부여하여 한 현시 내에 소수의 차량만이 교차로를 통과하게 되어 교차로 내 차량 신호 대기시간을 증가시키고, 좌회전

그림 2. 그룹 운행과 저밀도 운행으로 인한 녹색시간 낭비.

Fig. 2. Inefficient light operation due to platoon and sparse driving.

그림 3. 교차로의 구역 분할.

Fig. 3. Zone division at the crossing.

차량이 적거나 없을 경우 좌회전 녹색시간을 낭비하는 단점을 가진다. 또한 기존의 신호제어 기법들은 사전에 결정된 검지구역 내의 차량의 수에 따라 교통신호를 제어하고 있다. 만약 차량들이 그림 2(a)와 같이 교차로로부터 멀리 떨어진 구역에서 그룹을 지어 진입한다면 W 만큼의 녹색시간을 낭비하게 되고 소수의 차량만이 교차로를 통과하게 될 것이다. 그리고 그림 2(b)와 같이 차량 분포가 일정하지 않은 경우에도 소수의 차량만이 교차로를 통과하게 될 것이고 신호의 효율도 떨어지게 될 것이다.

또한 기존 신호제어기법 대부분이 2개의 일방통행 교차로, 1개의 일방통행 도로, 특정 도시의 교차로 등과 같은 실체에 적용하기 어려운 환경을 대상으로 설계되었을 뿐만 아니라 매우 복잡한 제어규칙을 사용하고 있어 실제 교차로 환경에 적용하기에는 많은 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 독립 교차로를 대상으로 교차로를 구역별로 구분하였으며, 교차로 인접구역을 우선으로 차량 밀도에 따라 신호 현시 지속시간을 결정하는 구역 분할 신호제어 기법을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 구역 분할 기법(ZDS: Zone Division Scheme)은 그림 3과 같이 교차로로부터의 거리에 따라 주위의 도로를 n 개의 구역 ($Z_1, Z_2, \dots, Z_n$)으로 분할한다. 여기서, Z_i 는 Z_{i+1} 보다 교차로에 근접한 구역을 의미한다. 현시지속시간(green light last time)은 Z_i 구역 내의 차량 수로 정의되는 밀도 d_i 에 따라 결정되며, 미리 정의된 최대

현시 지속 시간 ($T_{\max}$)보다 작거나 같다. 본 논문에서는 구역 별로 제공되는 최대 현시 지속 시간 (T_i)은 구역 내에 정지 상태에 있는 모든 차량이 녹색 신호 후 자기 구역을 지나는데 걸리는 시간으로 정의한다. 따라서 n 개의 구역으로 이루어진 교차로에서 최대 현시지속시간 $T_{\max}$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$T_{\max} = \sum_{i=1}^n T_i \quad (1)$$

기본적으로 각 구역의 현시지속시간은 구역 내의 차량 밀도에 의해 결정되며, 해당 구역의 밀도가 정해진 값 (δ)를 초과할 경우 다음 구역을 위한 현시지속시간이 추가된다. 구역 Z_i 의 차량 밀도 (d_i)는 해당 구역의 한 차선에서 수용할 수 있는 차량의 수 대비 대기 차량이 최대인 차선에 있는 차량 수로 정의된다. 즉, 임의의 구역에서 차량 밀도 d_i 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$d_i = \frac{\max(N_b, N_s)}{w_i} \quad (2)$$

여기서 w_i 는 구역 Z_i 의 한 차선에 대기할 수 있는 최대 차량의 수를 말하며, N_b 은 좌회전 차선에 대기하고 있는 차량의 수, N_s 는 직진 차선에 대기하고 있는 차량의 수를 말한다.

만약 Z_i 구역의 밀도 d_i 가 δ 를 초과한다면 현시지속시간은 d_i 에 의해 결정된 시간에 구역 Z_{i+1} 의 밀도 d_{i+1} 에 의해 결정된 시간을 추가하게 된다. 이는 현재의 현시지속시간을 최적화하고 다른 현시에 차량의 불필요한 대기시간을 최소화하기 위해서이다. 따라서, 현시지속시간 T_{zds} 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$T_{zds} = \sum_{i=1}^n \tau(d_i, d_{i-1}) \quad (3)$$

여기서 임의의 구역 Z_i 을 위한 현시지속시간 $\tau(d_i, d_{i-1})$ 은 이전 구역의 밀도 d_i 에 의해 결정되며 이는 다음과 같이 정의할 수 있다. 단, d_0 는 항상 δ 보다 크다.

$$\tau(d_i, d_{i-1}) = \begin{cases} T_i \times d_i & \text{if } d_{i-1} > \delta \\ 0 & \text{if } d_{i-1} \leq \delta \end{cases} \quad (4)$$

이와 같이 Z_i 구역(교차로 인접구역)을 우선으로 차량 밀도에 따른 현시 지속시간을 결정함으로써 교차로에서 멀리 떨어진 구역에서 그룹을 지어 차량이 진입하거나, 차량 분포가 일정하지 않은 경우 발생하는 비효율적인 신호체계를 개선할 수 있다. 본 논문에서 제시하는 교통신호 구역 분할 기법은 그림 4와 같이 고정된 현시 신호 순서(남/북 직진, 남/북 좌회전, 동/서 직진, 동/서 좌회전)를 기반으로 한다. 각 신호 현시는 구역 분할 기법에 의해 계산된 현시지속시간에 따라 신호를 제어한다. 고정형 신호 현시를 기반으로 할 경우 교차로로 진입하는 차량의 수가 각 방향별(동/서/남/북)로 비슷하거나 동일하게 발생할 경우 그 성능은 더욱

그림 4. 4현시 체계.

Fig. 4. Four signal phases of traffic signal light.

그림 5. 고정형 신호 현시 기반의 교통 신호 제어 알고리즘.

Fig. 5. Signal control algorithm based on fixed signal phases.

향상된다. 또한 비교적 간단한 알고리즘으로 현시에 해당하는 양방향 차량 수를 비교하여 계산된 현시지속시간은 보다 많은 차량이 교차로를 통과할 수 있도록 한다. 특히, 교차로 인접구역 우선으로 현시지속시간이 계산되므로 기존의 신호제어 기법에 비해 녹색시간의 낭비가 적은 효율적인 신호제어 기법이다.

본 논문에서 제안하는 고정형 신호 현시 기반의 교통신호제어 알고리즘은 그림 5와 같은 순서로 진행된다.

IV. 성능평가

본 절에서는 시뮬레이션을 통해 제안하는 구역 분할 기법 기반의 신호제어 기법과 기존 신호제어 기법들의 성능 비교를 통해 성능의 우수성을 검증한다.

1. 실험환경

본 논문에서 제안하는 구역 분할 기법(ZDS)은 고정 시간 제어 방식(Pre-timed)과 Gomide, Mamdani가 제안한 두 가지 퍼지 제어기법을 비교대상으로 성능평가를 수행하였다. 성능평가를 위한 시뮬레이터는 [14]에서 개발한 복합 교차로에서의 교통신호제어를 위한 객체지향 시뮬레이터를 본 논문의 환경에 맞게 수정하여 사용하였다. 모든 차량의 길이는 4 m, 정지시 차간 거리는 2 m로 가정하였으며 교차로에

표 1. 실험 변수.

Table 1. Experimental parameter.

Case	초당 차량 발생 수				직/좌/우회전 비율 (%)
	북	동	남	서	
1	5	5	5	5	70/10/20
2	10	10	10	10	70/10/20
3	5	5	5	5	50/30/20
4	10	10	10	10	50/30/20

도착하는 차량은 포아송 분포를 갖는다고 가정하였다. 교차로는 모두 편도 3차선 도로이며, 각 방향별 검지영역은 400 m로 가정하였다. 센서 노드의 RF 통신 반경은 50 m로 노드 배치 간격은 100 m로 정하였으며, 최소 녹색 지연 시간은 10초로 가정하였다.

성능 평가 요소로 차량의 평균 대기 시간, 평균 지체 시간, 그리고 비용 함수를 이용한다. 차량의 평균 대기 시간은 교차로 상에서 녹색신호를 부여받기 위해 멈추어 기다리고 있는 차량의 대기 시간을 평균한 값이다. 평균 지체 시간은 적색 신호의 지체시간과 녹색 신호의 지체시간 합을 검지기에 검지된 모든 차량의 수로 나눈 값으로 계산된다. 비용함수는 교차로에 진입한 총 차량수와 교차로를 통과한 차량수, 교차로의 검지기를 통과한 차량이 교차로를 빠져나가는 동안 이동한 시간과 정지한 시간을 반영한 값이다[14]. 비용함수 (F_{cost})는 다음의 공식을 통해 계산되어진다.

$$F_{cost} = \frac{T_w \cdot n_{entveh}}{T_d \cdot n_{exitveh}} \times 100 \quad (5)$$

여기서 T_w 는 교차로 내 차량의 평균 대기시간을 말하며, N_{entveh} 은 교차로에 진입한 차량의 수를, T_d 는 교차로 내 차량의 평균 운전 시간, $N_{exitveh}$ 은 교차로를 빠져 나간 차량의 수를 말한다.

실험에서 가정하고 있는 방향별 진입 차량의 변화와 회전 방향에 따른 비율은 표 1과 같이 4가지 경우로 나누어 실험을 진행하였다.

2. 실험결과 및 분석

그림 6은 4가지 실험변수에 따른 각 신호 제어 알고리즘의 평균 차량 대기 시간을 보여주고 있다. 교차로에 진입하는 차량 수가 적을수록 모든 신호 제어 알고리즘들이 낮은 차량 대기 시간을 보여 주고 있으나, 같은 차량 진입률에 비해 차량의 직/좌/우회전 비율이 다양하게 나타날수록 차량 대기 시간이 증가하는 것을 보여주고 있다. 특히, ZDS는 진입 차량 수가 많을수록 차량의 직/좌/우회전 비율이 다양하게 나타날수록 기존의 신호 제어 알고리즘에 비해 평균 차량 대기 시간을 더 많이 줄여주고 있는데, 이는 기존 신호 제어 알고리즘은 좌회전 차량을 고려하고 있지 않기 때문이다. 즉, 진입 차량이 증가함에 따라 좌회전 차량의 수가 증가하게 되고 이것이 대기 시간에 미치는 영향이 따라서 증가함을 보여준 결과이다. 또한, 좌회전 차량 비율이 증가할 때 이에 따른 적절한 좌회전 현시지속시간이 주어지지 않는다. 반면 ZDS는 교차로 인접 구역을 우선으로 차량 밀도를 검사하여 전체적인 대기시간을 줄여준다.

그림 6. 평균 차량 대기 시간.

Fig. 6. Average vehicle waiting time.

그림 7. 평균 차량 지연 시간.

Fig. 7. Average vehicle delay time.

그림 8. 비용 함수.

Fig. 8. Cost function.

그림 7과 그림 8은 각각 차량 지연 시간과 비용함수를 보여주고 있다. 차량 지연 시간의 경우 ZDS 뿐만 아니라 Gomide와 Mamdani의 신호 제어 방식이 고정 시간 제어 방식에 비해 지연 시간을 많이 개선할 수 있음을 보여주고 있다. 이는 Gomide와 Mamdani가 퍼지 제어를 통해 교통량에 따른 신호 제어를 통해 어느 정도 차량 지연 시간 개선을 얻은 결과이다. 그러나 기존 퍼지 신호제어 기법은 검지영역 내의 차량 수만을 고려하여 현시 지속시간을 결정하기 때문에 다량의 차량이 그룹을 지어 교차로에 진입할 경우 불필요하게 낭비되는 녹색 현시 시간을 줄여주지 못하고 차량 밀도를 고려하지 못하기 때문에 전체적으로 ZDS에 비해 높은 차량 지연 시간을 보여주고 있다.

비용 함수 측면에서 ZDS는 Pre-time에 비해 최대 108 %, Gomide 방식에 비해 최대 99 %, 그리고 Mandani 방식에 비해 최대 102 %를 개선하고 있다. 이는 ZDS가 센서 네트워크로부터 획득한 교통 정보를 효과적으로 활용하고 있음을 보여준다.

V. 결론

도로 상의 교통정보 획득 및 교통신호제어를 위해 사용되는 기존 차량 감지시스템은 고가의 설치비용, 한정된 감지영역, 일기 조건으로 인한 감지오류, 복잡한 감지 알고리즘 등의 단점으로 인해 충분한 교통정보를 제공하지 못하고 있다. 또한 차량 감지시스템으로부터 획득한 정보를 바탕으로 교차로 상의 교통신호를 제어하는 기존 교통신호제어 기법은 감지영역 내 단순 차량 수 정보에 따른 현시 지속시간 결정, 복잡한 신호제어 알고리즘, 한정된 정보의 이용으로 인해 교통정체를 효율적으로 해결하지 못하는 단점을 가진다.

본 논문에서는 기존 차량 감지시스템의 문제점을 해결하기 위해 도로 주변에 설치된 센서노드와 차량 간의 통신을 통해 교통정보를 획득하는 차량-도로 간 통신 기반의 차량 감지시스템을 제안하였다. 제안하는 차량 감지시스템은 차량과 센서노드 간의 통신을 통해 교통정보를 획득하므로 신뢰성 있는 정보의 획득이 가능하며, 설치 및 관리 비용이 저렴하고 보다 다양한 정보의 획득을 가능하게 한다. 또한 각 센서노드는 도로 상에 자신의 감지영역을 가지고 있어 구역별 상세한 교통정보의 획득이 가능하다. 제안하는 차량 감지시스템으로부터 획득한 정보를 바탕으로 교통신호를 제어하는 구역 분할 신호제어 기법은 교차로에 인접한 구역을 우선으로 차량 밀도에 따라 현시 지속시간을 결정한다. 또한 기존 신호제어기법에서 고려하지 않은 좌회전 차량도 고려하여 현시 지속시간을 결정하므로 전체 교차로의 차량 신호 대기시간을 감소시키는 결과를 얻었다.

제안하는 구역 분할 기반 교통신호 제어 기법은 성능평가를 위해 기존 신호제어 기법인 고정시간 신호제어 기법, Gomide, Mamdani가 제안한 퍼지 신호제어 기법을 비교대상으로 실험하였다. 실험결과 구역 분할 기법은 기존 퍼지 기법에 비해 차량 평균대기시간이 최대 121 %, 평균지체시간이 최대 56 %, 비용함수가 최대 102 % 개선된 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] C. Cho and K.-Y. Hwang, "Improving the estimation method of traffic congestion costs," *Journal of Korean Society of Transportation (in Korean)*, vol. 28, no. 1, pp. 63-74, 2010.
- [2] L. A. Klein, "Traffic parameter measurement technology evaluation," *Proc. of IEEE-IEE Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, pp. 529-533, 1993.
- [3] T. Matsuo, Y. Kaneko, and M. Matano, "Introduction of intelligent vehicle detection sensors," *Proc. of IEEE/IEEE/JSAT Int. Conf. on ITS*, pp. 709-713, 1999.
- [4] K. Sakamoto and H. Takimoto, "Comparative study for performance level between types of vehicle detector: comprehensive results," *Proc. of 1999 IEEE/IEEE/JSAT Int. Conf. on ITS*, pp. 1008-1012, 1999.
- [5] T.-G. Kim, "A study on the improving solution and evaluation by experimental analysis for the traffic response control system," Master Thesis, Hanbat University (in Korean), 2009.
- [6] J. Zhou, D. Gao, and D. Zhang, "Moving vehicle detection for automatic traffic monitoring," *IEEE Tr. on Vehicular Technology*, pp. 51-59, 2007.
- [7] Davol, P. Angus, "Modeling of traffic signal control and transit signal priority strategies in a microscopic simulation laboratory," *Master of Science in Transportation, Department of Civil and Environmental Engineering*, 2001.
- [8] C. P. Pappis and E. H. Mamdani, "A fuzzy logic controller for a traffic junction," *IEEE Tr. on Systems, man and Cybernetics*, pp. 707-717, 1977.
- [9] C.-W. Kim and S. Choi, "A fuzzy traffic controller with asymmetric membership functions," *Journal of Korean Information Processing Society (in Korean)*, vol. 04, no. 10, pp. 2485-2492, 1997.
- [10] J. Favilla, A. Machion, and F. Gomide, "Fuzzy traffic control: adaptive strategies," *Proc. of 2nd IEEE Int'l Conf. on Fuzzy Systems*, pp. 506-511, 1993.
- [11] M. Jamshidi, R. Kelsey, and K. Bisset, "Traffic fuzzy control: software and hardware implementations," *Proc. of 5th IFSA World Congress*, pp. 907-910, 1993.
- [12] Y.-S. Hong, S.-H. Kim, J.-S. Kim, and J.-K. Park, "Fuzzy traffic signal light," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems (in Korean)*, vol. 11, no. 1, pp. 76-81, 2001.
- [13] A. Benslimane, "Localization in vehicular Ad hoc networks," *Proc. of Systems Communications*, pp. 19-25, 2005.
- [14] J. W. Kim, "A fuzzy logic control simulator for adaptive traffic management," *Proc. of 6th IEEE Int'l conf. on Fuzzy Systems*, pp. 1519-1524, 1997.

홍 원 기

1995년 연세대 전산학과 졸업. 1997년 동 대학원 석사. 2001년 동 대학원 박사. 2001년~2002년 UC Irvine PostDoc. 2002년~2004년 LG전자 선임 연구원. 2004년~현재 대구대학교 정보통신공학부 교수. 관심분야는 무선센서네트워크, 임베디드시스템, VANET.

심 우 석

2005년 대구대 전산공학과 졸업. 2007년 동 대학원 석사. 2007년~2011년 UTRC 연구원. 2012년~현재 현대 오토론 선임연구원. 관심분야는 VANET, 차량용 전장 시스템.