

# Global Report

## 무선센서통신망을 이용한 교통관리시스템 개론

1. 서론
2. 주요 쟁점
3. 개요
4. 기술 검토
5. 선결 과제

## 1. 서론

본 논문은 2016년 1월에 학술 저널인 Sensor 에 실린 논문이다. Sensor 저널은 센서와 관련된 과학 기술 분야를 다루는 국제적이고 공개적인 학술지이다. 논문의 저자인 Nellore 와 Hanke 는 남아프리카의 Pretoria 대학에서 첨단 센서 및 통신망 분야의 연구원으로 재직 중이다.

본 논문에서는 무선 센서 통신망(wireless sensor networks)을 기반으로 하는 도시 교통 관리 시스템에 대한 개론을 제시한다. 본문은 크게 네 부분으로 나누어진다. 첫 번째 부분에서는 도시 교통 관리 시스템의 주요 쟁점에 관해 다룬다. 두 번째 부분에서는 무선 센서 분야에 대한 전반적인 개론을 설명한다. 세 번째 부분에서는 이 분야에서 사용되는 첨단 기술들에 대해 다룬다. 네 번째 부분에서는 도시 교통 관리 시스템의 앞으로의 과제에 대해 설명한다.

## 2. 주요 쟁점

교통 체증은 많은 도시에서 이동차량의 증가로 인해 겪는 흔한 문제이다. 교통 체증은 크게 두 가지 유형으로 나눌 수 있다. 첫 번째 유형은 규칙적 교통 체증으로, 매일 같은 시간과 같은 장소에서 일어나는 유형이다. 두 번째 유형은 불규칙적 교통 체증으로, 예측 불가능한 시간과 장소에 임의로 일어나는 유형이다. 두 가지 유형 중 불규칙적 교통 체증은 실시간 교통 정보 없이는 발견되기 어렵기 때문에 더욱 주목받고 있다.

교통 체증의 근본적인 원인은 차량의 효과적인 이동을 위한 도로의 수용력 부족으로 인해 발생한다. 미국 연방 도로청(US Federal Highway Administration)에서는 교통 체증을 원인을 6가지로 분석하고 각각의 비율을 제시한다. 그 6가지 원인과 비율은 도로의 병목 구간이 40%, 교통 사고가 25%, 기상 악화가 15%, 도로 공사가 10%, 마라톤이나 파업 시위 등의 특수 행사가 5%, 신호등의 비효율적인 시간 간격이 5% 로 집계되었다.

교통 체증은 하루를 기준으로 볼 때 특정 시간대에 집중적으로 발생한다. 미국 연방 도로청에서는 제시한 대도시에서 각 시간대별로 통행량을 측정한 자료를 제시한다. 이 자료에 의하면 하루 중 통행량이 가장 높은 시간은 오전 8시와 오후 5시로 나타났다. 이 자료에서는 최대 통행량을 100%라 할 때, 각 시간별 통행량을 %로 나타내고 있다. 오전 12 ~ 6시 사이에는 10% 이하의 통행량을 보인다. 그 이후 급격한 통행량의 증가가 이어져 오전 8시에는 최대 통행량인 100%의 통행량이 된다. 그 이후에는 통행량이 감소하여 오후 1 ~ 3시 사이에는 20%로 감소하게 된다. 그 이후 다시 급격한 통행량의 증가가 이어져 오후 5시에는 100%로 증가한다. 그 이후 다시 통행량이 감소하여 오후 11시 ~ 12시에는 10% 이하가 된다.

새로운 교통 관리 시스템이 대도시에서 교통 체증을 억제하기 위해서는 몇 가지의 자격 조건을 충족시켜야 한다. 그 조건은 대중교통을 위한 계층화된 도로 기반 시설, 교통 정보의 신뢰성, 시스템의 신속한 연산 능력, 응급 차량에게 우선권 부여 방식, 시스템의 교통사고 인식 능력, 시스템의 보안 체계 등이 있다.

## 3. 개요

이 부분에서는 교통 관리와 관련된 무선 센서 기술의 진화, 다양한 센서 및 통신망의 비교, 센서 노드의 구성, 도시 교통 관리 시스템의 계층적 구조에 대해 살펴보고 다양한 기술들을 소개한다.

센서 기술은 다양한 관련 기술의 발달과 함께 서서히 진화되어 왔다. 센서는 지능형 시스템의 핵심 요소로서, 지능형 시스템에서 내리는 판단의 토대가 되는 교통 정보를 제공하는 역할을 한다. 그러나 센서 기술은 높은 가격과 제한된 간편성이라는 두 가지의 이유로 인해 실질적인 적용에는 한계가 있었다. 그러나 최근에는 다양한 무선 센서의 접근성과 관련 기술들의 발달로 인해 이러한 한계는 사라져 가고 있다. 이에 따라 센서의 가격도 점차 낮아지고 크기도 점점 소형화 되어 가고 있는 추세이다.

본문에서는 데이터 수집을 위한 교통 감시망에 자주 쓰이는 센서 기술들을 소개하고 각각의 원리, 장단점, 필요한 장비를 설명한다. 본문에 소개된 센서는 다음과 같은 10가지이다.

- 유도 루프 센서 ·무선 주파수 인식 기술 (RFID) ·마이크로파 레이더 ·음향 센서
- 자기계(magnetometer) ·자석 센서 · 적외선 센서 ·항공/인공위성 사진
- 초음파 센서 ·비디오 영상 처리 시스템 (VIP)

유도 루프 센서의 장점은 다양한 응용이 가능하고 날씨에 영향을 받지 않으며 비교적 정확한 데이터를 제공한다는 점이고, 단점은 설치와 수리 시에 도로 포장을 걷어내야 하고 한 장소마다 많은 루프가 필요하며 차량의 등급에 따라 정확도가 떨어진다는 점이다. 무선 주파수 인식 기술의 장점은 경제적이고 신호를 방해하지 않는다는 점이고, 단점은 오직 태그가 부착된 차량만 인식할 수 있다는 점이다. 마이크로파 레이더의 장점은 날씨에 영향을 받지 않고 속도를 즉시 측정할 수 있으며 여러 차선을 측정할 수 있다는 점이고, 단점은 연속파 도플러 센서(continuous wave Doppler sensor)로는 움직이지 않는 차량을 측정할 수 없다는 점이다. 본문에서는 나머지 다른 센서에 대해서도 비슷한 방식으로 설명하고 있다.

교통 관리 시스템에서 중시되는 또 하나의 기술 분야는 무선 통신 분야이다. 본문에서는 여러 가지 통신 기술에 대해 소개하고, 각각의 특징, 프로토콜, 주파수, 사정거리, 전송 속도 등에 관해 설명하고 있다. 본문에서 언급되는 통신 기술은 다음과 같은 8가지이다.

- Wi-MAX ·ZigBee ·Bluetooth ·UWB ·Wi-Fi ·GSM ·GPRS ·RFID

Wi-Max의 특징은 높은 속도와 여러 명의 사용자가 동시에 사용 가능하다는 점이고, 주파수는 2 - 11 GHz, 사정거리는 10 km 이하, 전송 속도는 75 Mbps 이하이다. ZigBee의 특징은 그물 통신망을 사용하고 여러 프로토콜을 이용 가능하다는 점이고, 주파수는 2.4 GHz, 사정거리는 75 m 이하, 전송 속도는 250 Kbps 이다. Bluetooth의 특징은 저전력 버전을 이용 가능하다는 점이고, 주파수는 2.4 GHz, 사정거리는 등급에 따라 1 - 100 m, 전송 속도는 버전에 따라 1 - 3 Mbps 이다. UWB의 특징은 서버와 휴대 기기 사이에 극도로 빠른 전송 속도이고, 주파수는 3.1 - 10.6 GHz, 사정거리는 2 - 10 m 이하, 통신 속도는 110 - 480 Mbps 이다. 본문에서는 나머지 다른 통신망에 대해서도 비슷한 방식으로 설명하고 있다.

일반적으로 대부분의 교통 감시 센서 노드는 네 가지 모듈이 모여서 하나의 노드를 구성한다. 이 네 가지 모듈은 각각 센서 모듈, 처리 및 저장 모듈, 라디오 모듈, 파워 모듈을 말한다. 센서 모듈은 수치 정보를 직접 얻는 역할을 가지고 있고, 처리 및 저장 모듈은 정보를 처리하고 저장하는 역할을 가지고 있고, 라디오 모듈은 무선 통신을 연결하는 역할을 가지고 있고, 파워 모듈은 전력 공급을 관리하는 역할을 가지고 있다.

도시 교통 관리 시스템은 계층적 구조를 가진 통합된 시스템이다. 이 시스템은 역할에 따라 크게 세 가지의 하위 시스템으로 다시 나눌 수 있다. 그 세 가지의 하위 시스템은 각각 센서 통신망 시스템, 교통 제어 시스템, 안전 시스템을 말한다. 센서 통신망 시스템은 차량 개수, 존재 유무, 속도, 등급 등의 실시간 교통 정보를 센서를 통해서 얻고, 이 정보를 다른 하위 시스템인 교통 제어 시스템으로 넘겨주는 역할을 한다. 교통 제어 시스템은 넘겨받은 교통 정보를 바탕으로 신호등을 조절하여 교통 체증 완화, 응급 차량에게 우선권 부여, 평균 신호대기 시간(AWT)의 감축이라는 세 가지의 역할을 수행한다. 보안 시스템은 각종 기계 고장이나 파괴 행위로부터 교통 제어 시스템을 지키는 역할을 한다.

#### 4. 기술 검토

이 부분에서는 무선 센서 통신망을 이용한 지능형 교통 관리 시스템에 관한 내용을 주로 다루고 있다. 본문에서는 지능형 교통 관리 시스템과 관계된 세계 각국의 프로젝트에 대해 설명한다. 또한 지능형 교통 관리 시스템의 목적을 데이터 수집, 교통 체증 완화, 응급 차량에 대한 우선권 부여, 신호 대기 시간 감축 등의 네 가지로 나누고, 각 목적을 달성하기 위해 적용할 수 있는 최신 기술들에 대해 소개한다.

도시 교통 관리 시스템은 세계 각국에서 주목받고 있는 기술 중 하나이다. 본문에서는 이와 관련된 몇 가지의 개발 프로젝트 사례를 보여준다. 홍콩 정부에서는 2010년에 전국적인 교통 문제를 해소하기 위해 지능형 교통 시스템 (ITS) 개발 프로젝트를 완료했다. 이 프로젝트는 10년에 걸친 대규모 프로젝트로 약 4억 2300만 달러의 예산이 소비되었다. 네덜란드의 교통 연구소(Dutch Traffic and Transport Laboratory for Student)에서는 교통 흐름을 예측하는 시뮬레이션 소프트웨어인 Fast Lane 개발 프로젝트를 2013년에 완료했다. 인도의 전자정보기술청(Department of Electronics and Information Technology)에서는 100 개 이상의 GPS 장비와 32개의 비디오카메라를 사용하여 교통 정보를 수집하고, 분석된 정보를 사용자에게 제공하는 고급 여행 정보 시스템 (ATIS) 개발 프로젝트를 2014년에 완료했다. 미국의 연구혁신기술청(Research and Innovative Technology Administration)에서는 2010년에 도로 공사 현장에 설치되어 주변 교통을 감시할 수 있는 저가의 교통 센서 네트워크를 개발했고, 2012년에는 차량이 환경에 끼치는 다양한 요소들을 다각도에서 통합적으로 고려하는 다차원적 교통 모델을 개발했다. 또한 현재는 고화질 디지털 카메라를 이용한 교통 감시 시스템과 에이전트 기반의 강화 학습(reinforcement learning)을 적용한 교통 관리 시스템을 개발 중에 있다.

지능형 교통 관리 시스템의 목적은 데이터 수집, 교통 체증 완화, 응급 차량에 대한 우선권 부여, 신호 대기 시간 감축 등의 네 가지로 나누어질 수 있다. 본문에서는 각 목적을 위해 적용할 수 있는 최신 기술들에 대해 소개한다.

지능형 교통 관리 시스템의 첫 번째 목적은 무선 시스템을 통한 효과적인 데이터 수집이다. 본문에서

는 이 주제와 관련하여 다음과 같은 11가지의 최신 기술을 소개하고 있다.

- 동적 교통 감시 시스템 (DTMon) ·GPS 기반의 대중 교통의 위치 확인
- 차량 대 차량(V2V)과 차량 대 도로변(V2R) 통신망의 활용
- 탐욕(Greedy) 알고리즘과 확률적 데이터 수집(PDC) 알고리즘을 이용한 데이터 수집
- 무선 주파수 인식 기술 (RFID) 기반의 지능형 시스템
- 대칭적 양면 쌍방 알고리즘을 이용한 차량 위치 및 속도 측정
- 무선 센서 통신망(WSN)의 계층간 설계 ·차량 센서 통신망(VSN) 의 최적화 라우팅 정책
- 블루투스를 이용한 실시간 정보 수집 ·차량 상표 인식 알고리즘
- 개인 맞춤형 교통 정보 시스템

지능형 교통 관리 시스템의 두 번째 목적은 교통 체증의 완화이다. 본문에서는 교통 체증 완화를 위해 다음과 같은 8가지의 최신 기술에 대해 간략하게 설명한다.

- 순환순찰(circuit patrol)과 탐욕순찰(greedy patrol) 알고리즘
- 차량 임시 통신망(VANET) 기반의 교통 상황 추정
- 각각의 차량으로부터의 정보 수집 방식
- 교통 제어 알고리즘의 가상실험이 가능한 마이크로컨트롤러 실험대
- D-Greedy 알고리즘과 D-Min 알고리즘을 이용한 통신 알고리즘
- 적응적 신호 제어 시스템
- 직비(ZigBee) 통신망 기반의 무선 시스템
- 무작위 조기 탐지(TRED) 알고리즘을 이용한 신호 일정 관리

지능형 교통 관리 시스템의 세 번째 목적은 응급 차량에게 우선권을 부여하는 것이다. 이 시스템은 응급 차량이 사거리에 진입할 시 신호등을 인위적으로 조작함으로써 신속한 응급 차량의 운행을 돕게 된다. 본문에서는 우선권을 부여하는 6가지의 최신 기술을 소개하고 있다.

- 응급 차량에 탑재하여 우선권 신호를 보내는 무선 송신기
- 두 대의 응급 차량이 한 지점에서 만날 시의 우선권 부여 알고리즘
- 지능형 신호제어 시스템(STLC)와 지능형 교통체증 회피 시스템(SCA)
- SIP/Zigbee 통신망 구조를 이용한 분산된 센서 노드의 통합
- 병참 본부에서의 무선 센서 통신망(WSN)을 이용한 교통 감시
- 백오프 선택 방식(back-off selection scheme)을 이용한 신속한 응급 상황 전달

지능형 교통 관리 시스템의 네 번째 목적은 평균 신호 대기 시간을 최소화하는 것이다. 신호 대기 시간을 줄이기 위해서는 직진, 좌회전, 우회전 신호의 시간을 효율적으로 조절해야 한다. 본문에서는 평균 신호 대기 시간을 줄이기 위한 8가지 최신 기술에 대해 소개하고 있다.

- 최대 교차로 활용 상황(MIU)과 공차선 녹색신호 상황(ELWGL)을 고려한 신호등 알고리즘
- 적응적 신호등 제어 시스템
- 교통의 흐름을 기준으로 하는 신호등 알고리즘
- 효과적 동적 교통 제어 시스템(EDTCS)
- 4단계 계층적 분산 알고리즘
- 적색신호 통행(RLR) 현상을 줄이는 신호등 알고리즘
- 불분명 논리(fuzzy logic)
- 은닉 마코브 모델(HMM)

## 5. 선결 과제

무선 센서 통신망 기반의 교통 관리 시스템은 안전성을 확보해주고 운전 시간을 단축시켜주는 성과를 거두었다. 그러나 교통 관리 시스템은 앞으로 해결해야 할 문제를 안고 있다. 본문에서는 5 가지의 선결 과제에 대해 설명하고 있다. 첫째, 통신망의 연결성과 적용 범위의 개선이 필요하다. 연결성을 위해 센서 노드를 밀집시키면 적용 범위가 좁아지고, 반대로 적용 범위를 넓히기 위해 센서 노드를 퍼뜨리면 연결성이 약화된다. 둘째, 통신에 사용되는 에너지를 최소화해야 한다. 에너지 소모의 최소화는 배터리의 수명을 늘리고, 이로 인해 통신망의 수명이 늘어나고 교통 관리 시스템의 신뢰도도 높아진다. 셋째, 교통 체증 완화에 힘써야 한다. 교통 관리 시스템으로 인해 교통 체증은 감소하고 있지만 여전히 불규칙적 교통 체증에는 신속한 대응을 못하고 있는 실정이다. 넷째, 교통 사건을 인식하는 방법을 개발해야 한다. 사건의 인식은 단순히 센서의 측정 수치를 읽는 것과는 달리 사건을 판단할 수 있는 논리가 필요하다. 다섯째, 각 요소들의 상호 협력과 실행 방식을 개선해야 한다. 효율적인 교통 관리를 위해서는 인접한 신호등 간의 상호 협력을 개선해야 하며, 고급 이론을 실제로 시스템에 적용할 수 있도록 실행 방법을 개발해야 한다.