

# 대기행렬이론과 Q-러닝 알고리즘을 적용한 지역문화축제 진입차량 주차분산 시뮬레이션 시스템

조영호\* · 서영진\*\* · 정대율\*\*\*

## 〈목 차〉

I. 서론	IV. 시뮬레이션 및 성능분석
II. 선행연구 및 이론적 기초	4.1 시뮬레이션 모델
2.1 LoRa 네트워크	4.2 실험을 위한 비교 알고리즘
2.2 대기행렬이론	4.3. 실험결과
2.3 Q-러닝 알고리즘	V. 결론
III. 시뮬레이션 시스템 설계	참고문헌
3.1 기본가정 및 아키텍처	<Abstract>
3.2 시스템 사용 시나리오	

## I. 서론

지역 자원을 이용하는 문화행사 중에서 지역 축제는 거주민들의 지속적이고 자발적인 참여 동기를 유발하고 외부관광객들의 참여를 유도 함으로써 그 지역 경제 활성화에 기여한다 (Attanasia et al., 2013). 한국문화관광연구원 연구보고서(2014)에 따르면 2013년 전국 16개 우수 지방축제 기간에 하루 평균 13만 4천여 명이 해당 지역축제를 방문하였다. 이는 전년도 대비 1일 평균 14,000명(12.2%) 증가한 수치이다.

지역 축제 같은 문화 행사는 그 특성상 시간적, 공간적 제약을 갖기 때문에 외부 관광객들은 가능한 한 짧은 시간 내에 차별화된 콘텐츠들을 많이 체험하려 한다(서아리아, 김의창, 2015). 이런 이유 때문에 동시에 동일 장소에 많은 차량이 몰려 주차문제를 야기하며, 이는 사회적, 환경적, 경제적 문제들을 발생시키는 원인이 된다(박종창 등, 2014). 그러므로, 지역 문화축제와 같은 시간과 공간이 한정된 환경에서 주차문제를 해결하는 것이 축제의 성공과 더불어 관광객 편의에 많은 기여와 영향을 미

\* 경상대학교 대학원 문화융복합학과, cyhmmh@gnu.ac.kr(주저자)

\*\* 경상대학교 자연과학대학 컴퓨터학과, young@gnu.ac.kr

\*\*\* 경상대학교 경영대학 경영정보학과, 경영경제연구소 책임연구원, dyjeong@gnu.ac.kr(교신저자)

친다. 축제 시 폭주하는 차량 주차문제를 해결하기 위해서는 스스로 상황 데이터들을 인지(Context-Awareness), 학습(Learning), 처리시켜(Processing) 주는 지능형(Intelligent) 주차 알고리즘 시스템이 필요하다(Faheem et al., 2013; Xu et al., 2016). 또한, 이런 지능적 주차 알고리즘을 적용하려면 실시간으로 지역 내 다양한 축제장소들을 연결하여 주차정보를 통신, 제어할 수 있는 저비용, 고효율의 무선 네트워크도 또한 필요하다(지용주 등, 2016; Benson et al., 2006; Ganchev et al., 2008).

한정된 공간에서 주차 자원을 효율적으로 분배하기 위해 다양한 주차 알고리즘들이 제안되었으나(Faheem et al., 2013; Marsanic, 2015; Xu et al., 2016, Ji et al., 2016), 기존 시스템에 관한 연구들은 대부분 실내 주차장의 주차문제를 최적화하는 방법에 관한 연구이며, 본 연구와 같이 실외 환경에서 사물인터넷(IoT)과 연동된 LoRa 네트워크를 기반으로 한 지능형 주차 자원할당기법에 대한 연구는 거의 없었다. 주차 문제 중 병목현상의 원인은 주로 이용자의 관점에서 최단거리를 찾아 주차하려는 요구로 인해 발생한다. 지금까지의 연구들은 사용자 관점에서 최단거리 및 효율성을 구하는 방법들만 제안이 되었다(Ganchev et al., 2008; Lecce and Amato, 2011). 그러나 넓게 분포된 주차자원을 효율적으로 활용하면서 차량을 분산하여 가장 짧은 시간 내에 주차 성공율을 높이는 연구는 없었다.

그러므로 본 논문은 축제의 관리자 관점에서 지역 축제 시 외부로부터 갑자기 증가하는 교통 트래픽을 실시간으로 빠르게 분산시키고 도로의 대기시간을 줄이고 가장 빨리 주차를 할

수 있도록 하기 위해 Q-Learning 알고리즘을 적용한 주차배분시스템(Parking Dispatching or Distribution System)을 제안한다. 또한 실시간 교통자원들의 정보교환을 위해 LoRa(Long Range) 네트워크를 기반으로 하는 시스템을 제안한다.

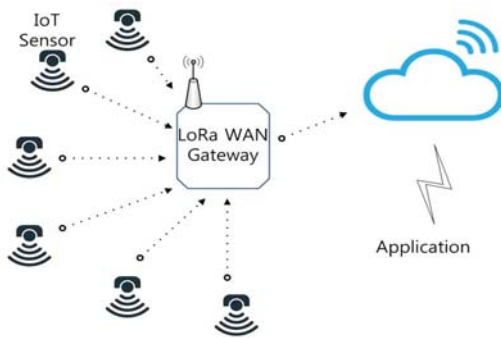
제안된 시스템의 기본 교통네트워크 구조는 실제 경남 진주의 유등축제를 기본모델로 하여 시뮬레이션을 하였다. 유등축제는 문화관광부가 지정하는 대한민국 대표축제로 축제기간 동안 매년 100만 이상의 인파가 몰린다. 제안하는 시스템의 효율성 검증을 위해 무작위로 자원을 할당하는 방법과 최단거리 알고리즘 중에서 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘을 적용하는 방법들과의 비교 실험을 하였으며, 비교 실험에서 주차장이 어느 정도 포화가 되었을 때 제안된 Q-Learning 기반의 시스템의 성능이 우수함을 입증하는 것이 본 연구의 목적이다.

본 연구의 구성은 제 2장에서 선행 연구로 LoRa 네트워크와 대기행렬이론(Queueing Theory), 그리고 Q-Learning 알고리즘에 대해 살펴보고, 제 3장에서는 제안된 시스템의 구현을 위한 아키텍처와 핵심 프로세스 로직을 제시한다. 제 4장에서는 제안된 알고리즘의 효율성 검증을 위한 시뮬레이션 환경과 시나리오별 주차성공확률을 계산하였다. 마지막 제 5장에서는 제안한 시스템 총평과 함께 연구결과의 적용을 위한 추후 연구과제에 대해 논하였다.

## II. 선행 연구 및 이론적 기초

### 2.1 LoRa 네트워크

LoRa 네트워크는 비면허 대역을 사용하기 때문에 누구나 개발할 수 있어 다양한 서비스가 가능한 플랫폼으로 전파 도달거리가 최대 20Km이고 모듈가격이 저렴하다. 하지만 비면허 대역 주파수 921MHz를 사용하므로 주파수 간섭이 있을 수 있는 단점이 있다. 그러나 배터리를 사용할 수 있는 초저전력의 특징으로 유지비용이 저렴한 장점이 있다(유용덕, 이영석, 2015).



<그림 1> LoRa 네트워크 구성

LoRa 네트워크 구조는 성상토폴로지(Star-of-Star Topology)를 사용하며 저전력 디바이스들을 연결하여 장거리 무선전송을 할 수 있다. 이 구조가 갖는 특징은 다음과 같다.

- ① LoRa 모듈을 통해서 얻어지는 데이터(Data)들을 하나 혹은 그 이상의 복수의 게이트웨이(Gateway)로 보낼 수 있다.
- ② Gateway는 LoRa WAN 서버로 보내어진다.
- ③ 이 서버는 응답 되어지는 어플리케이션 서버(Application Sever)로 그 데이터(Data)들을 보내기 때문에 따로 LoRa 네트워크에서는 복잡한 연산이 필요하지 않아 속도 또한 빠르다.

센서 네트워크(Sensor Network) 내에 각 센서들로부터 데이터를 받아 인터넷과의 인터페이스 기능을 하기 때문에 시스템 구조가 간단하며, 많은 저장 공간과 리소스를 필요하지 않는다. 또한, LoRa 네트워크에서는 별도의 종이 티켓이 필요가 없다. 실시간으로 운전자와 데이터교환이 가능하며, 인증된 자동차를 인식하기 위해 이미지 프로세싱(Imaging Processing)도 불필요하다. 모바일로 결제 및 고유의 개별 ID가 인식되기 때문이다. 이러한 장점들 때문에 실시간 주차자원을 효율적으로 관리가 용이하므로 트래픽 분산에 효과적이다(김태원 등, 2016, 이성호 등, 2016).

## 2.2 대기행렬이론

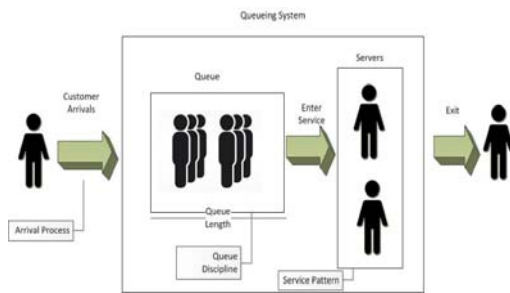
실제 주차상황을 고려하면 LoRa 네트워크와 통신시간 및 대기시간 등을 고려해야 한다. 그러므로 이러한 대기 상황들과 서비스 되어지는 시간 등을 측정하기 위해 우리는 대기행렬이론(Queuing Theory)를 적용하였다. 대기행렬이론에서의 주요 변수는 <표 1>과 같은 도착특성과 서비스 특성, 그리고 서비스 위치에 관한

<표 1> 대기행렬이론의 주요 변수

변수	설 명
도착 특성	평균도착률 ( $\lambda$ ): 도착 대수 또는 도착 간격에 관한 확률분포
서비스 특성	평균 서비스율( $\mu$ ): 서비스 시간의 확률 분포, 동시에 서비스 할 수 있는 시설의 수
서비스 위치	FCFS : First come First served LCFS : Last come First served RSS : Random selection for service PR : Priority GD : General discipline

내용으로 구분되어진다(Marsanic et al., 2015).

대기행렬이론에서는 대기행렬시스템에 접근하는 도착분포는 포아송분포(Poisson Distribution)를 따르며, 시스템의 서비스 시간 분포는 지수분포(Exponential Distribution)을 따른다고 가정한다. 대기행렬이론을 도식화 하면 다음과 같다.



<그림 2> 대기행렬 시스템

이 이론은 주어진 시간 내에 무작위적으로 발생하는 사건설명에 적합하며 차량 도착확률 등을 계산할 때 적용이 된다. 대기행렬이론에서 도착 확률은 다음 (식 1)과 같다.

$$p(x) = \frac{\mu^x \cdot e^{-\mu}}{x} \quad (\text{식 1})$$

여기서  $x=0, 1, 2 \dots$ 이며  $x$ 는 일정시간 내에 도착하는 차량대수를 의미한다.  $p(x)$ 는 계수 기준 내에  $x$ 대 도착할 확률이며,  $\mu$ 는 계수 기준 내 도착할 평균 차량 대수를 의미한다. 모든 도착 실체(Arrival Entity)는 포아송 분포형태의 특별한 도착모델(Arrival Model)을 사용한다. 대기행렬이론은 시간에 따른 순차적(Sequence) 처리가 가능하므로 이산적인 이벤트 시물레이션(Discrete Event Simulation)을 가능하게 해준다. 그러므로 대기행렬이론의 큐(Queue)는

서버의 대기시간과 유희시간과 잘 동기화가 되어 있어야 한다. 이런 동기화를 유지하기에 LoRa 네트워크의 동기화 통신 방식이 실시간으로 업데이트하기 때문에 매우 적합하다(지용주 등, 2016).

### 2.3 Q-러닝 알고리즘

최근 인공지능의 기본 개념인 강화학습(Reinforcement Learning)에서 Q-러닝(Q-learning) 알고리즘이 기존의 알고리즘들의 단점을 극복한 대안으로 떠오르고 있다. Q-러닝은 개념은 기본적으로 모델 없이 학습하는 강화학습기법 중의 하나이다. Q-러닝은 주어진 상태에서 유한 마코브 의사결정과정(Finite Markov Decision Process)의 최적의 정책을 찾기 위해 사용할 수 있다. Q-러닝은 주어진 상태(State)에서 주어진 행동(Action)을 수행하는 것이 가져다 줄 효용의 기대값을 예측하는 함수인 Q-함수를 학습함으로써 최적의 정책을 학습한다. Q-러닝에서 정책이란 주어진 상태에서 어떤 행동을 수행할지 나타내는 규칙이다.

Q-러닝 알고리즘의 원리는 다음과 같다. 특정 에이전트(Agent)가 현재 상황(State)에서 행한 행위(Action)는 미래 행위들에 대한 보상값(Reward)을 합한 값으로 정의한다. Q-러닝이 해결하고자 하는 문제는 하나의 에이전트(의사결정자), 유한한 상태집합(S), 그리고 각 상태에서 취할 수 있는 행동집합(A)가 있다면, 특정 시점(t)에서 하나의 상태( $s_t$ )에서 특정 행동(a)를 취하면 에이전트는 이에 따른 보상( $r_t$ )을 얻는다. 궁극적으로 Q-러닝에서 에이전트의 최종목표는 보상( $R_t$ )의 총합을 최대화하는 것이다. 이

를 위해 에이전트는 각 상태( $s_t$ )에서 어떤 행동 ( $a_t$ )을 취하는 것이 최적인지 학습해야 한다. 각 상태에서 최적의 행동이란, 그 상태에서 장기적으로 가장 큰 보상을 얻을 수 있도록 하는 행동을 의미한다. 이 때 감쇠상수(학습률)를 고려하여 합한다. 알고리즘은 각 상태-행동 쌍에 대하여 다음과 같은 Q 함수를 가진다(<식 2> 참조).

$$Q_{t+1}(s_t, a_t) = \underbrace{Q_t(s_t, a_t)}_{\text{old value}} + \underbrace{\alpha_t(s_t, a_t)}_{\text{learning rate}} \cdot \left( \underbrace{R_{t+1}}_{\text{reward}} + \underbrace{\gamma}_{\text{discount factor}} \underbrace{\max_a Q_t(s_{t+1}, a)}_{\text{estimate of optimal future value}} - \underbrace{Q_t(s_t, a_t)}_{\text{old value}} \right)$$

(식 2)

그러나 Q-러닝 알고리즘은 Q-Table을 작성할 때 학습시간이 소요되며 이 학습시간은 주어진 환경의 크기와 복잡도에 따라 달라진다. 또한 단일 에이전트(Single Agent)가 주어진 유한한 조건이 변하지 않는다는 가정 하에 강화 학습을 하는 알고리즘이다(김영준, 2008). 그러나 실제 주차장 블록에서는 들어오고 나가는 차량의 변화로 인해 주어진 환경의 변화가 계속되기 때문에 본 논문에서는 단일 에이전트를 기준으로 주차장의 임계값을 기준으로 학습 정책을 변화시켜 빠르게 주차공간을 배분할 수 있는 Q-러닝 알고리즘을 제안한다.

### Ⅲ. 시뮬레이션 시스템 설계

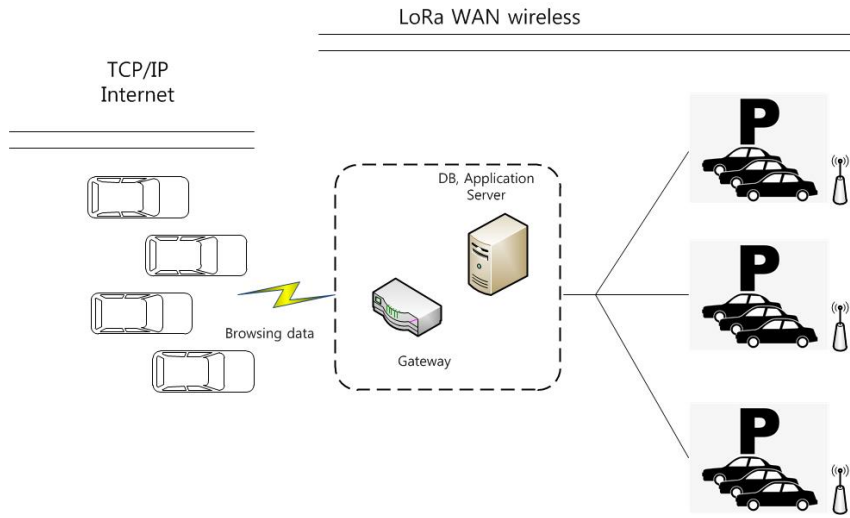
#### 3.1 기본가정 및 아키텍처

본 연구에서 제안하는 LoRa 네트워크 기반

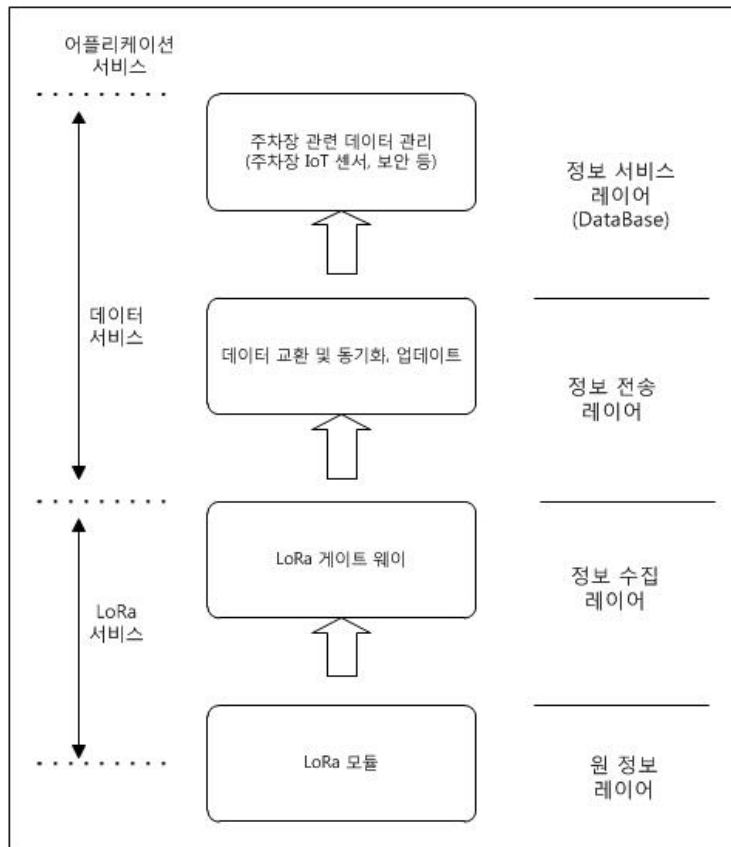
의 지능형 주차분산시스템의 구현과 제안된 Q-러닝 알고리즘의 우수성을 입증하기 위하여 실제 축제 때 차량의 폭증(Explosive Increase)으로 시내 주차장을 찾아가는데 큰 혼란이 야기되었던 진주시 유등축제 때의 상황을 고려한다. 시스템 시뮬레이션을 위해 다음과 같은 기본가정으로부터 출발한다.

- ① 유등축제가 열리는 진주 시내의 진입을 위해서는 고속도로 IC 톨게이트(Local City IC Tollgate) 진입부터 LoRa 네트워크 범위가 시작된다고 가정한다. 그러므로 SMS처럼 브로드캐스팅(Broadcasting)된 정보를 실시간으로 받을 수 있다.
- ② 진입자(Agent)는 지능형 주차 시스템에 회원 가입이 되어 있다(각각의 고유 ID를 가지고 있다).
- ③ 교통신호 위반, 과속으로 인한 벌금 등의 법적인 고려는 하지 않는다.
- ④ 교통신호(Traffic Signal)에서 대기하는 시간은 무시한다.
- ⑤ 고속도로 IC진입과 주차장 진입차량의 분포는 모두 포아송분포를 따른다고 가정한다.
- ⑥ 제안된 Q-러닝 알고리즘은 멀티 에이전트(Multi-Agents)가 아닌 단일 에이전트(Single Agent)로 가정한다.

제안된 시스템은 <그림 3>과 같이 크게 두 가지 영역으로 나뉜다. IC 진입 전까지는 TCP/IP 프로토콜을 사용하는 인터넷영역과 IC 진입 후부터는 LoRa 네트워크 영역이다. LoRa 모듈(Module)들이 각각의 주차장(Parking Lot)에 설치가 되어 있으며, 광원센서(Light Sensor) 기능을 가진다. 각각의 LoRa 모듈은 최소의 사이즈와 최저가로 구성된다.



<그림 3> System Architecture



<그림 4> LoRa 네트워크 기반의 시스템 레이어 아키텍처

LoRa 네트워크는 한 개 또는 여러 개의 게이트웨이와 연결된 단일 홉(Single-Hop) LoRa 링크(Link)를 거쳐 마지막 수신단(End Device)과 연결이 되는 성상토폴로지(Star-of-Star Topology) 형태로 구성이 되므로 표준 IP 프로토콜(Standard IP Protocol) 방식으로 네트워크 서버(NET SERVER)에서 게이트웨이(Gateway) 다음 단계가 이루어진다(차동호, 이승준, 2015; 김태원 등, 2016; 이승호 등, 2016).

본 연구에서 제안하는 LoRa 네트워크 기반의 주차 분산 시스템은 <그림 4>와 같이 크게 3개의 레이어(Layer)로 구성되어 있다. 먼저, LoRa 네트워크 서비스 구간 내에서는 IoT 센서로 부터 얻어지는 데이터들을 단순 저장하고 실시간으로 업데이트를 한다. LoRa 게이트웨이와 연결이 되어 있는 데이터교환(Data Communication) 영역에서는 전체 정보를 전달하는 계층(Layer)으로써 주서버인 주차정보관리서버(Parking Management Server)와의 중계(Interface) 역할을 담당한다. 3단계 레이어 아키텍처는 서비스지향적 아키텍처로서 IoT 수신단(End Nodes)에서 포착된 정보를 NET SERVER로 이동하기 위한 모든 복잡한 네트워크 관리를 간단하게 해준다(Centenaro et al, 2016).

### 3.2 시스템 사용 시나리오

사용자의 차량은 고속도로 IC에 진입하기 전에 축제장 주변 주차장 현황을 모바일 폰에 설치된 앱(App)을 통해 파악할 수 있다. 이때 미리 사용자의 고유한 ID가 애플리케이션 서버(Application Server)의 고객 데이터베이스(DataBase) 등록이 되어 있기 때문에 실시간으

로 앱에 현 주차장 정보를 브라우징(Browsing) 해준다. 만일 사용자의 ID가 없거나 인증이 되지 않았을 때는 앱을 통해 애플리케이션 서버로 접근하여 고객과 차량정보를 등록을 하면 고객 데이터베이스에 새로 사용자를 추가하거나 업데이트를 한다.

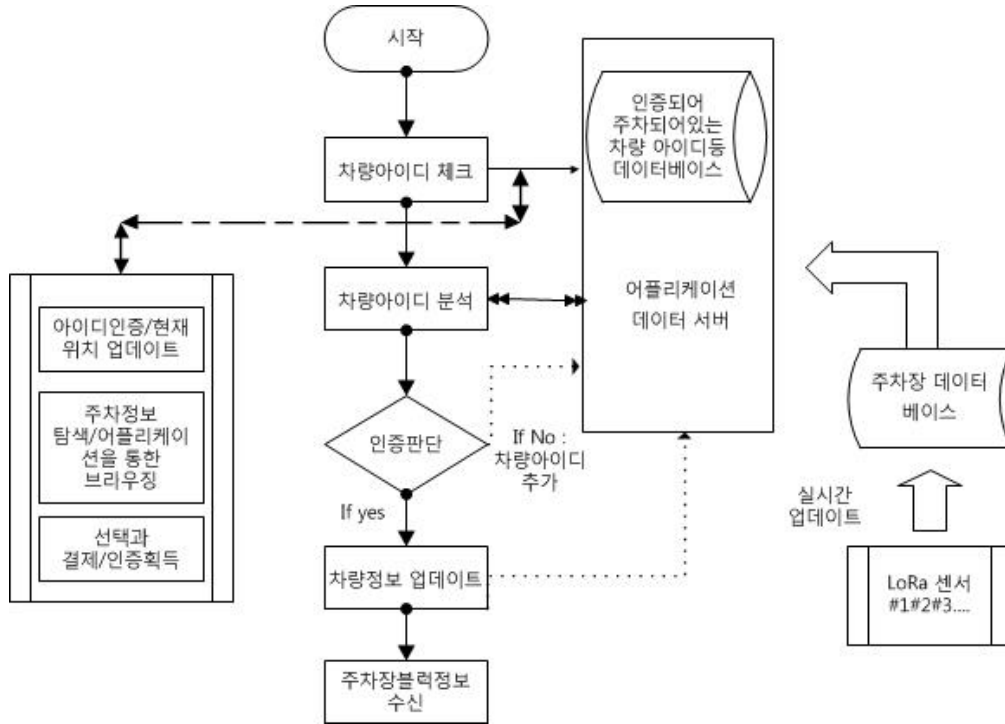
동시에 여러 주차장(Parking Block)들의 정보들이 LoRa 네트워크를 통해 실시간으로 들어오면 곧바로 주차상황을 기록하는 데이터베이스에 업데이트되며 실시간으로 애플리케이션 서버는 데이터베이스에 동기화된 정보들을 브로드캐스팅(Broadcasting) 해 준다. 전체적인 시스템 사용 시나리오를 플로우 다이어그램으로 나타내면 <그림 5>와 같다.

## IV. 시뮬레이션 및 성능분석

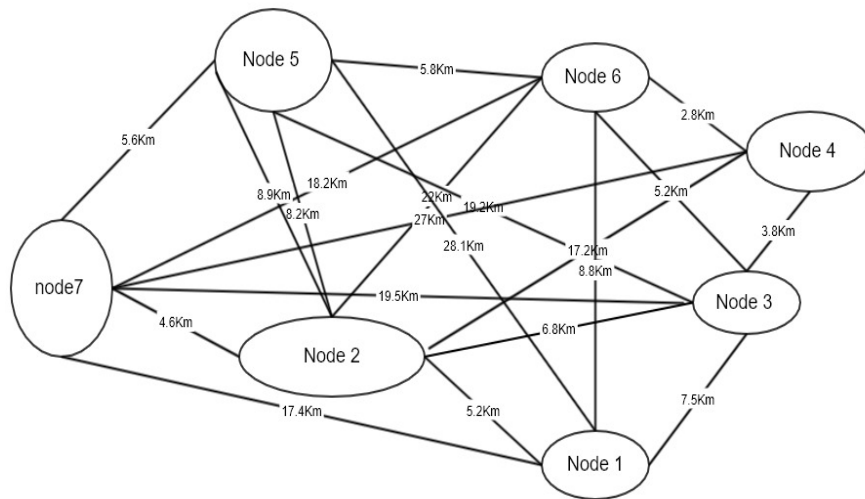
### 4.1 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 실제 진주시 교통망 환경과 축제 시 사용하는 임시주차장의 주차용량을 기초로 시뮬레이션 모델을 만들었다. 그러나 지역 축제 장소의 범위가 넓고 교차로와 신호등의 변수들이 너무 많은 지리적 상황을 고려해 효율적인 시뮬레이션을 위해 최대한 상황을 단순화시켰다. 유등축제 시 진주시에서는 총 7개의 임시 대형주차장을 운영한다. 진주시에서 제공하는 각각의 주차장 간의 거리를 기반으로 최단 경로를 구하기 위한 네트워크 다이어그램을 그리면 <그림 6>과 같다. 여기서 노드 1(Node 1)은 서진주 IC 톨게이트 입구 주차장이다. 그리고 각 주차장 별 주차 가능한 최대 차량의 수

는 <표 2>와 같다.



<그림 5> 시스템 플로우 다이어그램(System Flow Diagram)



<그림 6> 진주시 유등축제 임시주차장 교통네트워크



<표 2> 진주유등축제 임시주차장별 주차 가능(Capacity) 대수

주차장 N(Node)	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7
주차가능 대수 C(Capacity)	800	1,300	1,500	2800	1,300	600	1,600

시뮬레이션을 위해 7개의 Node가 <그림 6>과 같이 연결이 되어 있으며, Node 1에서 출발하여 Node 7로 도착하는 상황을 설정한다. Node 1에서 들어오는 차량만이 존재하며, 나가는 차량은 없는 것으로 가정한다. 시뮬레이션을 위한 보다 더 세부적인 가정을 제시하면 다음과 같다.

- ① 주차장 수는 총 7개(N1~N7)이며 각 노드 안에 표시된 주차능력의 총합은 총 9,900대이며, 특정 축제 당일, 오후 5시부터 9시까지 4시간 동안 총 10,000대가 들어온다고 가정한다.
- ② 들어오는 방향은 N1(Node 1)부터 시작이 되며, 빠져나가는 차는 없다
- ③ 거리를 비용으로 계산하기 위해 시간당 유입되는 차량 수는 일정하며 노드 간 주행속도는 60Km/h로 일정하다고 가정한다.
- ④ 실시간 교통자원들은 LoRa 네트워크를 기반으로 하기 때문에 각 센서로부터 브로드캐스팅(broadcasting) 받아 실시간 업데이트한다.

#### 4.2 실험을 위한 비교 알고리즘

##### (1) 알고리즘이 없는 경우(Non-Algorithm)

무작위로 들어오는 경우, 이때는 자신이 아는 경로나 가장 가까운 주차장으로 갈 확률이

높다. 입구에서 가장 가까운 곳부터 채워질 확률이 높다.

##### (2) 최단경로 알고리즘(Shortest Route Algorithm)

거리를 기준으로 가까이 있는 곳을 찾기 때문에 목적지를 찾는 데는 유효하지만, 목적지인 주차장이 찼을 경우에는 다른 주차장을 찾아야 하므로, 여러 번의 시행착오가 발생할 수 있다. 거리만을 기준으로 하기 때문에 시간을 구할 수 없다. 그러므로 시간에 대한 개념을 적용하기 위해서 속도개념을 도입해야 하며, 속도는 60Km/h로 일정하다고 가정한다.

최단거리의 트래픽 루트(Traffic Route)를 찾기 위한 알고리즘들로 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘, 에이스타(A\*) 알고리즘, 벨만-포드(Bellman-Ford) 알고리즘 등이 있다(Lecce and Amato, 2011). 다익스트라 알고리즘은 현재 대중적인 차량용 네비게이션의 핵심 알고리즘으로써 현재 노드부터 목표지점까지 노드 간 가중치를 부여해서 가장 작은 가중치의 합을 구해 결과값을 도출하기 때문에 구현이 용이하나 모든 노드를 탐색해야 하기 때문에 연산작업 횟수가 많아 시간이 걸리는 단점이 있다(Reeds and Shopp, 1990). 에이스타(A\*) 알고리즘은 휴리스틱(Heuristic) 추정 값이라는 최상의 경로를 추정하는 순위 값을 가지고 각 노

드별 평가함수를 바탕으로 노드를 선택하고 확장해 나가는 알고리즘으로써 탐색속도가 빠르지만 정확도가 떨어지는 단점을 가진다. 벨만-포드 알고리즘은 노드간선이 음수 가중치를 가질 수 있어 비용이 적게 드는 방식이라는 장점이 있으나 검색속도가 느리다는 단점이 있다.

위와 같은 최단경로 알고리즘 중 상업화가 가능하려면 DP(Dynamic Programming)가 가능해야 하며(Martinez-Marin, 2004), 정확도와 연산속도 등의 효율적인 면 등을 고려해 볼 때 현재 차량용 네비게이션에는 다익스트라 알고리즘을 가장 많이 쓰기 때문에 본 연구에서 비교를 위해 최단 경로 알고리즘 중 다익스트라 알고리즘을 선택하기로 한다.

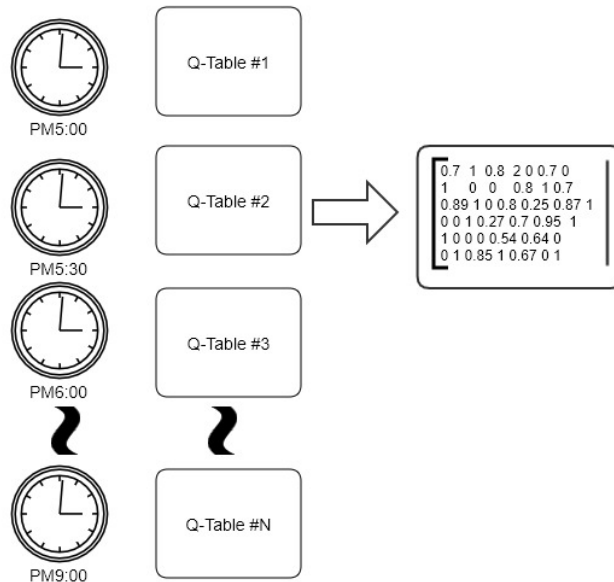
### (3) Q-러닝 알고리즘

본 연구의 특징은 가고자 하는 목적지 주차

장이 찾을 경우 미리 학습된 Q-Table에 의해 가장 효율적인 곳을 예측할 수 있다는 데 있다. 각 시간대 별 전체 교통상황이 달라지므로, 거리를 비용함수(Cost Function)로 보상(Reward)을 계산하여 Q-Table을 완성한다. 각 시간대별 Q(x) Table을 업데이트시킬 수 있다. 차량의 유입 대수와 주차 가능 능력은 시간에 대한 비용함수로 나타낼 수 있으므로, 총비용의 기울기는 시간에 따라 증가하다가 모든 주차장이 찾을 때 일정해진다.

### 4.3 실험결과

축제와 같이 특정 시점에 차량의 폭주가 일어나는 경우 효율적인 차량배분을 위해 본 연구에서 제안하는 Q-러닝 알고리즘의 효율성을 검증하기 위하여 앞에서 제안한 3가지 비교대상을 중심으로 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬



<그림 7> Q-Table

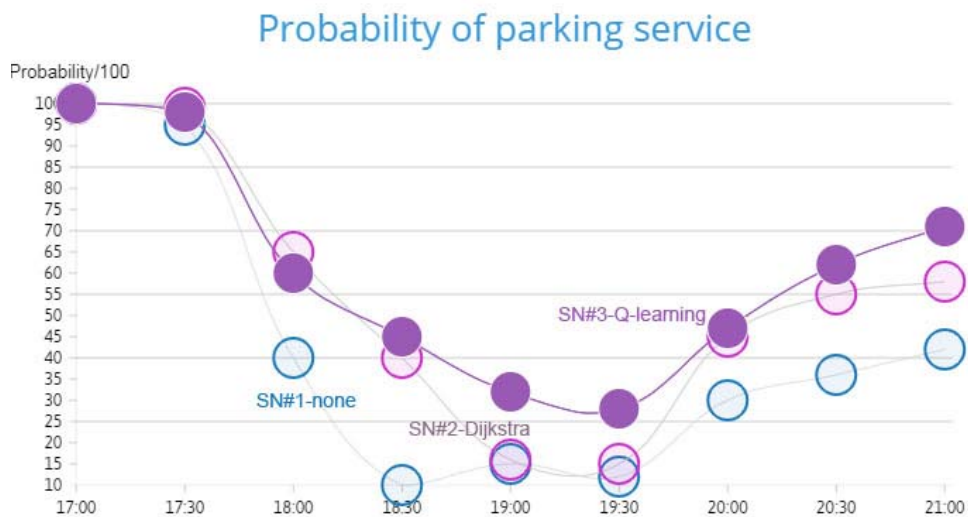
레이션을 위해 최단거리 알고리즘인 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘의 경우 무작위적(Random)으로 거리의 총합을 기준으로 최단경로를 찾기 때문에 시간의 함수로 계산하기 위해서는 속도개념을 도입해서 거리를 시간으로 나타내어 각 주차장에 채워지는 비용함수로 만들었다. 실험에 사용된 세 가지 알고리즘의 효율성을 평가하기 위한 성과변수로서 주차성공확률을 이용한다. 주차성공확률은 축제장으로 진입하는 차량이 가장 가까운 거리를 이동하여 원하는 주차장에 주차를 성공적으로 마칠 확률을 의미한다.

<식 2>에서 주어진 Q-러닝 알고리즘의 공식을 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 만들었다. Q-러닝 알고리즘은 LoRa 네트워크로부터 실시간으로 업데이트된 Q-Value Table 때문에 주차장이 채워지는 시간에 가까울수록 주차성공확률이 높게 나타난다. 본 연구에서는 여러 차례 파라미터들을 반복적으로 실험하였으며 최적

의 실험조건으로  $r=0.8$   $\alpha=0.3$ 일 때임을 알았다. 이것을 기준으로 Km당 (-10점)씩 Reward(비용함수) 하기로 했을 때 주차성공확률은 <그림 8>과 같이 나타났다.

시뮬레이션을 위한 시나리오는 다음과 같다. SN#1은 시나리오 1번으로 아무 정보 없이 무작위로 들어오는 경우이며, SN#2는 시나리오 2번으로 최단 경로 알고리즘 중 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘으로 적용한 경우이다. 그리고 SN#3는 Q-러닝 알고리즘을 사용했을 때이다. 각각의 시나리오별로 시간이 흐름(오후 17시~21시)에 따른 주차성공확률 결과는 <그림 8> 같이 나타났다. 세 가지 시나리오 상황을 비교한 결과, 차량의 유입이 지속적으로 증가하여 노드 1에서 가까운 주차장의 주차가능한 용량(Capacity)을 초과하면 할수록 Q-러닝 알고리즘을 적용한 예측정보가 있는 경우 더 우수한 결과를 나타냈다.

<그림 8>에서 시뮬레이션 결과를 보면, 처음



<그림 8> 시간에 따른 시나리오별 주차성공확률(%)

30분은 거리가 가까운 주차장에 주차용량이 충분하여 주차성공확률이 100%에 가깝다. 그러나 차량의 유입량이 증가하여 가까운 주차장에서 주차할 곳을 찾기 어려워질 경우 주차장에 대한 정보가 없는 경우 가까운 주차장이 다 차면 다른 곳으로 계속해서 이동해야 한다. 시뮬레이션이 시작되고 1시간이 경과하면서 주차성공확률은 급격히 떨어진다. 시뮬레이션 시작 1시간 30분까지는 다익스트라 알고리즘과 Q-러닝 알고리즘 간에는 큰 차이가 없다. 그러나 대부분의 주차장이 포화상태에 도달하는 시점인 시뮬레이션 시작 2시간 이후부터는 두 알고리즘 간에 주차성공확률에서 큰 차이를 보인다. 따라서 LoRa 네트워크로부터 실시간으로 업데이트된 정보를 이용하여 스스로 학습하는 Q-러닝 알고리즘을 적용한 경우 폭증하는 차량을 효과적으로 적당한 주차장으로 잘 유도할 수 있음을 보이고 있다.

## V. 결론

본 연구에서는 중장기 무선통신기술과 Q-러닝 알고리즘과 같은 인공지능기술이 축제와 같이 교통의 폭증을 가져오는 상황에서 어떻게 효과적으로 이용될 수 있는가를 실제의 하나의 사례연구를 통하여 제시하고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 저전력, 저비용, 장거리 무선 센서네트워크인 LoRa 네트워크를 기반으로 대기행렬이론과 Q-러닝 알고리즘을 결합한 지능형 주차 배분 시스템을 제안하였다. 기존의 센서네트워크 기술 중 LoRa 네트워크의 구조를 이용해 빠르고 간단하면서 저렴한 비용의 시스템을

구축할 수 있었다. 또한 최단거리를 빠른 시간 내에 구할 수 있는 대기행렬이론을 기반으로 제안된 Q-러닝 알고리즘으로 더 높은 주차확률의 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문의 중요 아이디어는 먼저, 차량진입 시 각 축제장 주차장 쪽으로 향하는 대기차량의 분포를 계산하여 임계값(Threshold Value)이 넘지 않도록 미리 알려준다. 둘째, 가장 빠른 길을 계산할 때 주차장 안에서 또는 도시 안에서 계산이 따로 필요하므로 이를 한 번에 연산할 수 있는 장점을 가진다. 또한, 지금까지는 운전자관점에서 최단거리 알고리즘이 주요 이슈였으나, 이는 곧 트래픽 병목현상을 발생시키는 또 다른 원인을 제공 할 수 있다. 그렇기 때문에 본 연구는 축제관리자 관점에서 대중교통의 전체 흐름을 원활하게 하는데 활용할 수 있다는 데 연구의 주요 의의를 가진다.

본 연구의 결과가 현실에 적용되기 위해서는 다양한 인프라가 사전에 갖추어져 있어야 한다. 먼저, 각 주차장마다 LoRa 센서 네트워크가 구축되어야 하며, 현장에서 수집된 정보를 실시간으로 전송하고 저장하는 동적 에이전트들이 구현되어야 한다. 또한 인공지능기술을 적용한 예측 알고리즘을 통해 예측된 정보를 사용자에게 모바일로 실시간으로 서비스할 수 있는 시스템이 구축되어야 한다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 본 연구는 지역문화 축제와 같은 특정 기간 및 특정 장소의 교통폭증으로 인해 주차 전쟁을 해결하기 위한 연구이므로 주차관리시스템의 범용적 활용에 제한이 있을 수 있다. 또한 하나의 단일에이전트(Single-Agent)로 계산하기에는 예측하지 못할 변수들이 많기 때문에 차후 멀티에이전트

(Multi-Agents) 상황의 연구가 필요하다. 또한, 대기행렬이론의 단순 차량유입 확률분포에 기초하고 있어 실제 트래픽 시그널(Traffic Signal)과 결합될 경우 더 복잡할 수 있다. 이 경우 보다 더 정교한 학습알고리즘을 적용하는 연구가 필요하다.

### 참고문헌

- 김대경, 이병수, “주문 예약 분할 시스템 최적화를 위한 큐잉 알고리즘 모델링 연구,” 한국정보기술학회논문지, 제8권, 제10호, 2010. pp. 167-177.
- 김영준, “지능형 시스템을 위한 수정된 Q-learning,” 한국통신학회논문지, 제33권, 제2호, 2008, pp. 82-87.
- 김용석, 이현길, “선점 가능한 실시간 태스크들의 동적인 스케줄링을 위한 최적 알고리즘,” (구)정보과학회논문지, 제22권, 제7호, 1995, pp. 1029-1035.
- 김태원, 박창호, 이상익, 오수정, “LoRa 기술을 적용한 전기안전 IoT 장치의 전원특성에 관한 연구,” 대한전기학회 학술대회 논문집, 2016.10, pp. 256-257.
- 박종창, 김경태, 윤희용, “큐잉 네트워크 모델 기반의 교통량 예측 시스템 설계 및 구현,” 한국컴퓨터정보학회 하계학술대회 논문집, 제22권, 제2호, 2014, pp. 395-396.
- 서아리아, 김의창, “지역축제 활성화를 위한 상황인식기반 스마트관광시스템 구현,” e-비즈니스연구, 제16권, 제4호, 2015, pp. 289-306.
- 송은봉, 최문철, 조한성, 신상호, 최재원, 안순신, “큐의 상태를 고려한 VOQ 스케줄링 알고리즘,” 한국정보과학회 학술발표논문집, 제27권(2III), 2000, pp. 201-203.
- 유용덕, 이영석, “중장거리 LoRa 무선망 기술 기반 스마트 IoT 디바이스 및 응용 솔루션 설계 및 구현,” 한국통신학회 학술대회논문집, 2015.06, pp. 105-106.
- 이성호, 김종화, 전해군, 여상욱, 김진석, 홍형섭, “전력 IoT를 위한 LoRa, 기반 게이트웨이 및 통신프로토콜 최적화에 관한 연구,” 대한전기학회 학술대회 논문집, 2016. 10, pp. 380-381.
- 조국현, “시뮬레이션을 위한 큐잉모델,” 정보과학회지, 제8권, 제1호, 1990, pp. 33-36.
- 지용주, 최학희, 김동성, “Q-learning 모델을 이용한 IoT기반 주차유동 시스템의 설계 및 구현,” 대한임베디드공학회논문지, 제11권, 제3호(통권 6호), 2016, pp. 153-162.
- 차동호, 이승준, “사물인터넷과 주차수 자원,” 한국콘텐츠학회지, 제13권, 제1호, 2015, pp. 36-42.
- 한국문화관광연구원, 2013 국민여행실태조사, 연구보고서, 2014.
- Attanasia, G., Casoriab, F., Centorrioc, S., and Urso, G., “Cultural Investment, Local Development and Instantaneous Social Capital: A Case Study of a Gathering Festival in the South of Italy,” *The Journal of Socio-Economics*, Vol. 47,

- No. 12, 2013, pp. 228-247.
- Benson, J. P., O'Donovan, T., O'Sullivan, P., Roedig, U., Sreenan, C., Barton, J., Murphy, A., and O'Flynn, B., "Car-park Management Using Wireless Sensor Networks," *Proc. of 31st IEEE Conference on the Local Computer Networks*, Tampa, FL, USA, 2006, pp. 588 - 595.
- Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., and Zorzi, M., "Long Range Communications in Unlicensed Bands: The Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 23, Iss. 5, 2016, pp. 60-67.
- Faheem, S., Mahmud, S. A., Khan, G. M., Rahman, M., and Zafar, H., "A Survey of Intelligent Car Parking System," *Journal of Applied Research and Technology*, Vol. 11, Iss. 5, 2013, pp. 714-726.
- Ganchev, I., O'Droma, M., and Meere, D., "Intelligent Car Parking Locator Service," *Int'l Journal of Information Technology and Knowledge*, Vol. 2, 2008, pp. 166 - 173.
- Ji, Y. J., Choi, H. H., and Kim, D. S., "Design and Implementation of Parking Guidance System based on Internet of Things (IoT) using Q-learning Model," *IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications*, Vol. 11, No. 3, 2016, pp. 153-162.
- Jo, J. B, Lee, J. K., Lee, J. U., Gen, M., and Yamazaki, G., "A Network Model Based on Fuzzy Queuing System," *KITE Journal of Electronics Engineering*, Vol. 6, No. 1, 1995, pp. 50-55.
- Lecce, D. V. and Amato, A., "Route Planning and User Interface for an Advanced Intelligent Transport System," *IET Intelligent Transportation Systems*, Vol. 5, Iss. 3, 2011, pp. 149 - 158.
- Marsanic, R., Zenzerovic, Z., and Mrnjavac, E., "Application of the Queuing theory in the Planning of Optimal Number of Servers (Ramps) in Closed Parking Systems," *Economic Research*, Vol. 24, Iss. 2, 2015, pp. 26-43.
- Martinez-Marin, T., "A Reinforcement Learning Algorithm for Optimal Motion of Car-like Vehicles," *2004 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, Washington. D.C., USA, October 3-6, 2004.
- Reeds, I. A. and Shopp, R. A., "Optimal Path for a Car that Goes Both Forward and Backward," *Pacific Journal of Math.*, Vol. 145, No. 2, 1990, pp. 367-393.
- Xu, Z., J. He, and Li, H., "On Research IoT-based Intelligent Parking Management System and Its Design," *International Journal of Smart Home*, Vol. 10, No. 5, 2016, pp. 217-230.

**조 영 호 (Cho, Youngho)**



명지대학교 전자공학사와 연세대학교 전자전파공학석사학위를 취득하였다. 현재 경상대학교 문화융복합학과 박사과정을 수료하였으며, 주요 관심분야는 IT융복합, 지역문화예술축제 등이다.

**서 영 건(Seo, Yeong Geon)**



경상대학교 전산학과와 숭실대학교 전산학박사학위를 취득하였다. 현재 경상대학교 컴퓨터과학과 교수로 재직하고 있으며, 주요 관심분야는 컴퓨터네트워크, 이미지처리 등이다.

**정 대 울 (Jeong, Dae-Yul)**



부산대학교 경영학 학사, 석사, 박사학위를 취득하였다. 현재 경상대학교 경영정보학과 교수로 재직하고 있으며, 주요 관심분야는 지능형의사결정지원시스템, 객체지향 분석 및 설계 등이다.

<Abstract>

## **A Simulation of Vehicle Parking Distribution System for Local Cultural Festival with Queuing Theory and Q-Learning Algorithm**

Cho, Youngho · Seo, Yeong Geon · Jeong, Dae-Yul

### **Purpose**

The purpose of this study is to develop intelligent vehicle parking distribution system based on LoRa network at the circumstance of traffic congestion during cultural festival in a local city. This paper proposes a parking dispatch and distribution system using a Q-learning algorithm to rapidly disperse traffics that increases suddenly because of in-bound traffics from the outside of a city in the real-time base as well as to increase parking probability in a parking lot which is widely located in a city.

### **Design/methodology/approach**

The system get information on realtime-base from the sensor network of IoT (LoRa network). It will contribute to solve the sudden increase in traffic and parking bottlenecks during local cultural festival. We applied the simulation system with Queuing model to the Yudeung Festival in Jinju, Korea. We proposed a Q-learning algorithm that could change the learning policy by setting the acceptability value of each parking lot as a threshold from the Jinju highway IC (Interchange) to the 7 parking lots. LoRa Network platform supports to browse parking resource information to each vehicle in realtime. The system updates Q-table periodically using Q-learning algorithm as soon as get information from parking lots. The Queuing Theory with Poisson arrival distribution is used to get probability distribution function. The Dijkstra algorithm is used to find the shortest distance.

### **Findings**

This paper suggest a simulation test to verify the efficiency of Q-learning algorithm at the circumstance of high traffic jam in a city during local festival. As a result of the simulation, the proposed algorithm performed well even when each parking lot was somewhat saturated. When an intelligent learning system such as an O-learning algorithm is applied, it is possible to more



effectively distribute the vehicle to a lot with a high parking probability when the vehicle inflow from the outside rapidly increases at a specific time, such as a local city cultural festival.

**Keyword:** Queuing Theory, Q-learning, LoRa Network, IoT, Parking Distribution, Parking Probability, Local Cultural Festival

\* 이 논문은 2020년 5월 24일 접수, 2020년 6월 5일 1차 심사, 2020년 6월 14일 게재 확정되었습니다.