

논문 2016-11-18

# Q-learning 모델을 이용한 IoT 기반 주차유도 시스템의 설계 및 구현

(Design and Implementation of Parking Guidance System  
Based on Internet of Things(IoT) Using Q-learning Model)

지용주, 최학희, 김동성\*

(Yong-Joo Ji, Hak-Hui Choi, Dong-Seong Kim\*)

**Abstract** : This paper proposes an optimal dynamic resource allocation method in IoT (Internet of Things) parking guidance system using Q-learning resource allocation model. In the proposed method, a resource allocation using a forecasting model based on Q-learning is employed for optimal utilization of parking guidance system. To demonstrate efficiency and availability of the proposed method, it is verified by computer simulation and practical testbed. Through simulation results, this paper proves that the proposed method can enhance total throughput, decrease penalty fee issued by SLA (Service Level Agreement) and reduce response time with the dynamic number of users.

**Keywords** : Internet of things (IoT), Q-learning, Cloud computing, Virtual machine provisioning (VM provisioning)

## 1. 서론

사물인터넷(Internet of Things, IoT) 기반의 주차유도 시스템은 주차유도 시스템 사용자에게 대형 포털을 통하여 주차장 기본정보와 사용 가능한 주차공간의 여부를 알려주는 서비스이다. 이 서비스를 사용함으로써 사용자는 주차시간을 최소화하여 교통체증 완화, 주차장 관리의 효율성을 극대화 시킨다 [1, 2].

이와 관련하여 서비스 관리자 및 사용자에게 주차공간의 사용가능 여부를 전달하는 효과적인 시스템 모델들이 제안되었으며 [3-5], 주차유도 시스템의 구성요소인 CPU, 메모리 등의 자원할당을 효율

적이고 안정적으로 배분하기 위하여 다양한 알고리즘들이 주차유도 시스템에 적용되어 졌다 [6, 7]. 그러나 이러한 연구들은 기존의 시스템을 최적화하는 방법에 있어서 사물 인터넷과 연동된 기법을 바탕으로 한 동적 자원할당 기법에 대한 고려가 되어 있지 않다.

본 논문에서는 사물인터넷 기반의 주차유도 시스템에 자원할당 예측방법인 Q-learning 방식을 결합하여 IoT 기반의 최적의 주차장 관리 기법을 구현함으로써 사용자의 다양한 서비스 품질(Quality of service, QoS)을 만족시킨다.

또한 서비스 제공자의 이익을 최대화 할 수 있는 적합한 자원할당 방법을 통해 낭비되는 비용과 서비스 제공 지연시간의 감소, 시간 단위의 서비스 처리량의 증가를 모의실험으로 증명한다. 더불어 기존의 주차유도 시스템 방식을 적용한 설비 구축비용과 제안된 주차유도시스템 적용 시 예상되는 비용을 예측 후에 비교하여 본 논문에서 제안된 주차유도 시스템의 효율성을 보인다.

사물인터넷을 적용한 주차유도 시스템은 아직 초기단계이며, 사물인터넷 주차유도 서비스 제공자가 광범위한 사용자들의 요구를 충족하기 위한 자원

\*Corresponding Author (dskim@kumoh.ac.kr)

Received: 2 May 2016, Revised: 16 May 2016.

Accepted: 27 May 2016.

Y.J. Ji, H.H. Choi, D.S. Kim: Kumoh National Institute of Technology

※ 본 연구는 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업으로 수행된 연구결과임 (NO.

NRF-2015H1C1A1035971).

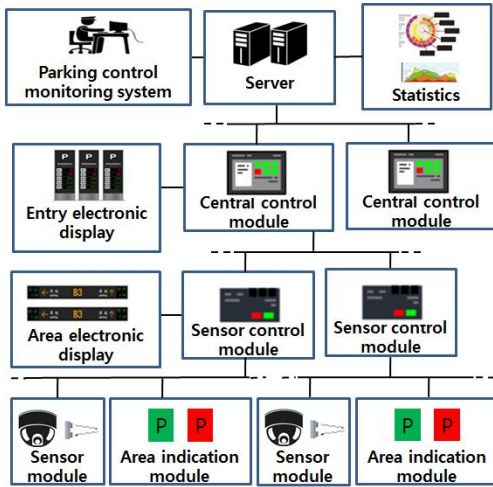


그림 1. 기존 주차유도 시스템 구성도  
Fig. 1 Block diagram of a existing parking guidance system

할당 역시 표준화 되어 있지 못한 상태이다.

따라서 제 2장에서는 기존 주차유도 시스템의 문제점을 분석하고 제 3장에서는 제안된 사물인터넷 기반의 Q-learning 적용 주차유도 시스템을 설명하고 제 4장에서는 사물인터넷 기반의 Q-learning 적용 주차유도 시스템과 다른 방식을 비교한 시뮬레이션을 구현하고 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대해 논의한다.

## II. 기존 주차유도 시스템의 문제점 분석

주차유도 시스템은 운전자들이 주차공간을 찾기 위해 겪는 배회현상을 예방하기 위하여 사용 가능한 주차 공간을 정보처리시스템과 연동해 안내해주는 시스템이다. 그림 1은 기존의 주차유도시스템 구성도이다.

영상 또는 초음파 감지 센서에서 수집된 정보들은 주차유도 서버에 저장된 후 주차장 관제 모니터링 시스템에 의해서 관리된다. 이러한 기존 주차유도 시스템 구조는 서비스 사용자들에게 주차 가능한 공간의 여부를 주차장 입구의 키오스크를 통하여 제공하게 된다 [8].

결과적으로 기존 주차유도시스템의 공간적인 정보 전달 제약성은 해당 주차장에서 사용 가능한 주차공간이 없을 시, 서비스 사용자의 배회현상을 야기한다. 또한, 서버, 제어모듈, 키오스크 등 기존

표 1. 기존 주차유도 시스템과 제안된 주차유도시스템과의 비교표

Table 1. Comparison chart between a existing parking guidance system and the proposed parking guidance system

	Previous system	Proposed system
Applied algorithm	-	Q-learning
Cloud computing	Transfer simple information	Predict the number of user
Capacity of user	Fixed number	Predicted number

주차유도시스템의 물리적인 구성요소들은 동적인 사용자의 수 및 사용자가 폭증하는 시간대 등의 환경적 변수들을 고려하지 않고 최대 사용자의 수에 따라 할당된다.

이를 해결하고자 주차정보를 지속적으로 저장 및 처리하기 위해, 클라우드 시스템을 연계하여 기존 주차유도 시스템의 공간적인 정보 전달의 제약성을 극복하고 물리적 구성요소들을 간소화 하는 방식의 연구가 향후 차세대 주차 시스템에서는 반드시 필요하며 이를 통해 공간적인 제약 조건과 비용적인 측면을 동시에 해결 할 수 있다 [9-11]. 다음 표 1은 기존의 주차유도 시스템과 제안된 주차유도 시스템을 비교한다.

본 논문은 사물인터넷을 기반으로 한 학습강화(Reinforcement Learning) 기법인 Q-learning 방식을 이용하여 기존의 가상 클라우드 주차유도 시스템 방식보다 효율적인 주차 공간의 활용과 시설 구축에 대한 시뮬레이션 결과를 제공한다.

## III. 사물인터넷 기반의 Q-learning 적용 주차유도 시스템

본 논문에서는 주차유도 시스템 제공자의 합리적인 하드웨어 할당과 주차유도 시스템 사용자의 편리한 주차시설 이용을 위하여 사물인터넷 기반의 주차유도 시스템을 제안한다.

```

1: Inputs
2:     S is a set of states
3:     A is a set of actions
4:     γ the discount
5:     α is the step size
6: Local
7:     real array Q[S,A]
8:     previous state s
9:     previous action a
10: initialize Q[S,A] arbitrarily
11: observe current state s
12: repeat
13:     select and carry out an
        action a
14:     observe reward r and state s'
        Q[s,a]←Q[s,a]+α(r+γmaxa'Q[s',a']-Q[s,a])
15: until     s ← s'
16:     termination
17: end
    
```

알고리즘 1. 제안된 모델에 쓰인 Q-learning 알고리즘

Algorithm 1. Q-learning algorithm used in proposed scheme

클라우드 시스템에서 제안된 주차유도 시스템은 기능이 CPU, 스토리지, 메모리 등으로 나누어진 가상기계(Virtual Machine, VM)들의 합리적인 할당을 위하여 강화 학습에 속하는 Q-learning 방식을 이용한다 [12, 13].

Q-learning에서는 주차공간이 특정한 State에 놓여있을 때, 과거 값과 학습을 통한 값에 취할 수 있는 각각의 Action에 대한 보상을 이용하여 특정 State에서 가장 합리적인 Action을 취하면서 Q-value를 학습한다. State는 S, Action은 A로 나타내며, Q-value는 Q[S,A]로 표현한다. 시간 t에서 현재 상태를  $s \in S$ , 행동을  $a \in A$ 라 할 때 제안된 방식에서 Q-learning 방식의 pseudo 코드는 Algorithm 1과 같다.

$\gamma$ 는 discount value로 보상에 대한 중요성을 나타낸다. 일반적으로 행동선택은  $\epsilon$ -greedy 방식 또는 Boltzmann exploration을 사용한다 [14]. 다음 그림 2는 Q-learning algorithm의 흐름도이다.

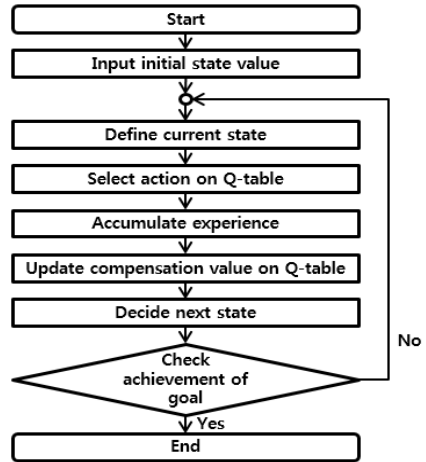


그림 2. Q-learning 알고리즘의 흐름도  
Fig. 2 Flow of Q-learning algorithm

사물인터넷 주차유도 모델에서의 상태는 사물인터넷 주차유도 서비스 사용자가 주차구역을 찾는 데 요구되는 자원의 양에 대한 정보이며  $s = \{VM_{user}\}$ 로 정의한다. 행동은 실제 사용된 자원을 측정하여 증가와 감소를 판단하며  $A = \{decrease, zero, increase\}$ 로 정의한다. 보상 함수는 VM 자원예측율과 서비스 수준 협약 (Service Level Agreement, SLA)에 의한 서비스 응답 시간, 실제 서비스 응답 시간으로 계산할 수 있으며 다음과 같이 정의한다 [6].

$$R = \beta \left| 1 - \frac{VM_{pro}}{VM_{user}} \right| + (1 - \beta) \frac{(T_{res} + D_{pro})}{T_{SLA}} \quad (1)$$

식 (1)에서  $\beta$ 는 사물인터넷 주차유도 자원 예측율과 사물인터넷 주차유도 서비스 응답 시간에 대한 가중치를 나타내고, 사물인터넷 주차유도 서비스 응답 시간  $T_{res}$ 는 사물인터넷 주차유도 서비스 처리 시간과 사물인터넷 주차유도 서비스 처리율을 이용하여 계산한다. 사물인터넷 주차유도 시스템에서의 강화학습은 주차환경을 탐색하는 에이전트가 현재 주차환경의 상태를 인식하여 행동을 취할 때 누적되는 보상이 최대가 되도록 하는 방식을 정의한다 [15-19]. 사물인터넷 주차유도 시스템에서의 Q-learning은 사물인터넷 주차유도 시스템 사용자의 QoS를 만족시키고 사물인터넷 주차유도 서비스 제공자의 총 구축비용을 최소화하는 것을 목적인다.

표 2. 제안된 모델을 위한 매개변수 정의  
Table 2. Parameters for proposed system model

Parameter	Description
$D_{pro}$	VM provisioning delay
$T_{res}$	Service response time
$T_{SLA}$	Threshold of service response time to be guaranteed by SLA
$VM_{user}$	amount of resource demanded by user
$VM_{pro}$	amount of resource demanded by service provider
$E_{total}$	Total expense for service
$C_{unit}$	Cost for a unit of providing resources
$O_{pro}$	Cost for a unit of idle resource in over-provisioning
$U_{pro}$	Penalty for a unit of SLA violation resources in under-provisioning

[20], [21]은 부족한 자원할당과 과한 자원할당의 경우를 고려하여 주차유도 시스템 서비스 제공자의 손해를 최소화하는 자원의 수량을 결정하고 비교한다. 표 2는 사물인터넷 주차유도 시스템 제안 모델에서 자원을 할당하기 위한 지연시간을 계산하기 위해 사용되는 매개변수를 보여준다.

1. VM 자원할당 지연시간

사물인터넷 주차유도 서비스 제공자가 사전에 준비한 자원이 사물인터넷 주차유도 서비스 사용자가 요구한 자원보다 적다면 부족한 자원을 준비하기 위한 지연시간이 발생하며 다음과 같이 정의한다.

$$D_{pro} = \begin{cases} 0 & (\text{과한자원할당의 경우}) \\ (VM_{user} - VM_{pro}) * t_{vm} & (\text{부족한자원할당의 경우}) \end{cases} \quad (2)$$

$t_{vm}$  은 부족한 자원을 준비하는데 소요되는 자원당 대비시간을 의미한다. 지연시간으로 인한 서비스 응답 시간이 SLA에 명시된 서비스 응답 시간을 초과하면 사용자에게 불편함을 주게 된다.

2. 사물인터넷 주차유도 서비스 제공자의 총 구축비용

기존의 시계열 예측 기법을 이용한 모델들은 주차유도 시스템 사용자의 QoS 보장에 초점을 맞추

어, 사용자가 요구하는 자원량을 예측하는 것을 목적으로 한다. 반면 제안된 모델은 응답 시간에 따른 사용자의 QoS 뿐만 아니라 제공자가 서비스 제공을 위해 소비하는 총 구축비용을 최소화하여 이익을 최대화 하는 것을 목표로 한다. 제공자의 총 구축비용은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$E_{total} = \begin{cases} VM_{user} * C_{unit} + (VM_{pro} - VM_{user}) * C_{pro} & (\text{과한자원할당의 경우}) \\ VM_{pro} * C_{unit} + (VM_{user} - VM_{pro}) * U_{pro} & (\text{부족한자원할당의 경우}), \end{cases} \quad (3)$$

과한 자원할당의 경우, 사물인터넷 주차유도 서비스 제공자에게는 서비스 제공에 필요한 비용과 여분 자원에 따른 기회비용이 발생한다. 부족한 자원할당의 경우, 사물인터넷 주차유도 서비스 제공에 필요한 비용과 부족한 자원으로 인하여 발생 할 수 있는 서비스 수준 협약 위반에 대한 페널티가 발생한다. 따라서 제안된 모델은 사물인터넷 주차유도 서비스 제공자의 총 구축비용을 최소화하는 VM 자원할당의 크기를 결정하게 된다.

3. 사물인터넷 주차유도 시스템 클라우드 서비스

주차관제시스템에서 클라우드로 업데이트한 빅데이터는 주차가능 여부, 빈 주차면 수, 지도에 검색한 장소에서 가장 가까운 주차장 등의 정보로 분석되어 사용자에게 제공함으로써 편의를 도모한다.

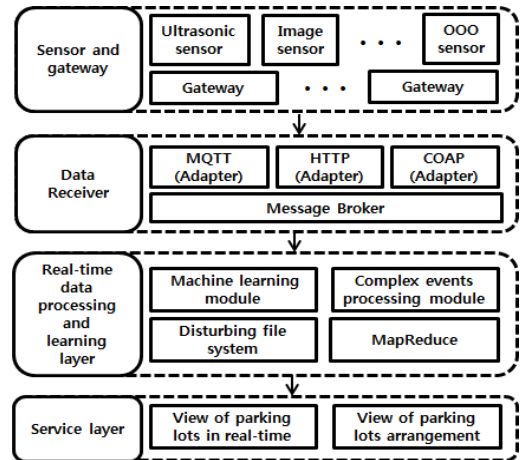


그림 3. 클라우드 기반의 주차유도 시스템 구조  
Fig. 3 Architecture of a parking guidance system based on cloud

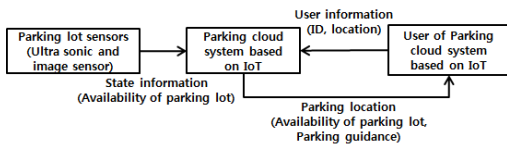


그림 4. 제안된 주차유도 시스템의 입출력 흐름도  
Fig. 4 Input and output flow diagram of the proposed parking guidance system

그림 3은 클라우드 기반의 사물인터넷 주차유도 시스템 구조이다.

게이트웨이에서 주차환경에 대한 데이터들을 ZigBee, Z-Wave, Bluetooth, WiFi, NFC, RFID 등의 근거리 무선통신으로 수집한다 [9-11]. 수신부에서 Message broker의 역할은 예측되기 어려운 데이터 손실을 최소화하기 위함이며 메시지 큐 기반의 클러스터링을 구성된다. 실시간 처리 계층은 확장성을 고려한 실시간 분산제어시스템 (Distributed Control System, DCS) 기술을 제안한다 [22]. 배치 처리 계층은 검색엔진 Nutch의 분산처리 모델인 Hadoop을 사용한다. 마지막으로 가공된 데이터는 서비스 계층에서 저장 후 응용 프로그램을 위한 다양한 관점에서의 정보를 대형 포털 사이트의 로드 뷰 형식으로 제공한다.

위의 과정 중에서 실시간 데이터 처리 및 학습 계층과 서비스 계층은 대형포탈 기업과의 제휴를 통하여 제공받은 클라우드에서 진행하게 된다. 사물인터넷 주차유도시스템을 포털에 적용함으로써, 대형포탈 기업 입장에서는 주차유도시스템 사용자들에게 브랜드 가치를 높임과 동시에 서비스 콘텐츠의 다양함을 지니게 된다.

그림 4는 제안된 주차유도 시스템의 입출력 흐름도이다.

주차장 센서들로부터 상태정보를 입력으로 받으면 처리한 주차정보를 사물인터넷 주차유도 시스템 서비스 사용자에게 제공한다.

이 절에서는 국내의 국제공항의 주차유도 시스템을 시공한 기업의 자료를 통하여 기존의 주차유도시스템과 제안된 사물인터넷 주차유도시스템을 비교한다.

다음 표 3은 국제공항 주차장에 설치된 장비 목록이다. 표 3의 목록 중에서 VM로 대체할 수 있는 하드웨어의 종류들로는 주차유도서버, 주차장 관리 서버, 스토리지, 키오스크가 있다.

표 4. 국내의 국제공항 기존 주차유도 시스템 하드웨어 목록들의 예

Table 4. Example lists of hardware for conventional parking guide system in a korean international airport

Name	Description	Number
Ultrasonic sensor	Color : Red/Green Input voltage: 12V~24V Detect range: 400mm~4,000mm Communication standard: RS-485 SERIAL	2068
Sensor controller	Input voltage: AC220V Output voltage: DC24V Available temperature: -20℃ ~ 50℃ Available humidity: 5~95 %RH Communication standard: RS-485 SERIAL, TCP/IP	6
Cloud Server	6-Core 2.50Ghz 20MB L3 Cache * 2EA memory 16GB Internal disk: 300GB SAS 10K*2 integration 10/100/1000MB Ethernet 4 port(on board) 2 embedded 10 Gb Ethernet port(10GBASE-T RJ-45 or 10GBASE-SR SFP+ based): onboard 1Gb 4port, 10Gb 2port	1
Parking lot management server	6-Core 2.50Ghz 20MB L3 Cache * 2EA memory 16GB Internal disk: 300GB SAS 10K*2 integration 10/100/1000MB Ethernet 4Port (on board) 2 embedded 10 Gb Ethernet port(10GBASE-T RJ-45 or 10GBASE-SR SFP+ based): onboard 1Gb 4port, 10Gb 2port	1

Storage	Controller : fail-over, Intel Quad core 2.1GHz processor Cache: data cache 64GB, cache protect function	1
SAN switch	2/4/8Gbps Auto-negotiation 8 port 128Gbps ISL WEBTOOLS using Small Form-Factor Pluggable(SFP) transceiver Simple SAN management Inter-Switch Link(ISL) Trunking	2
KIOSK	Indoor display : LED 128 x 128mm Module Outdoor display : LED 200 x 200mm Module	1

표 4. 시뮬레이션 환경구성 파라미터  
Table 4. Parameters of simulations environment configuration

Parameter	Value
Maximum user	15,000 (person)
Minimum user	300 (person)
Under-provisioning cost per unit of VM	20 (USD)
Over-provisioning cost per unit of VM	4(USD)

표 5. 사용자 수에 따른 각 주차유도 시스템 방식의 절약비용 총합

Table 5. Total saving costs for each parking algorithm of each scenario

[Unit: USD]

조건	Conventional	EWMA	Q-learning
Maximum number of users	22,400	4,260	4,020
Minimum number of users	1,640,000	47,989	30,354

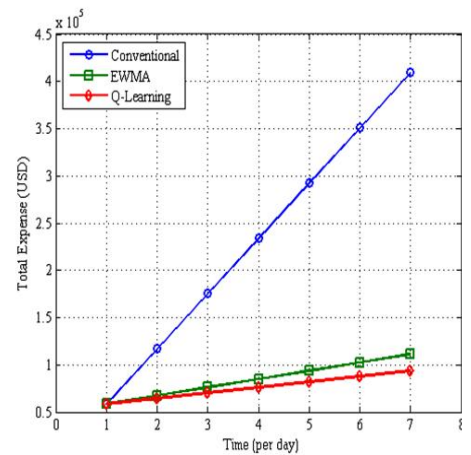
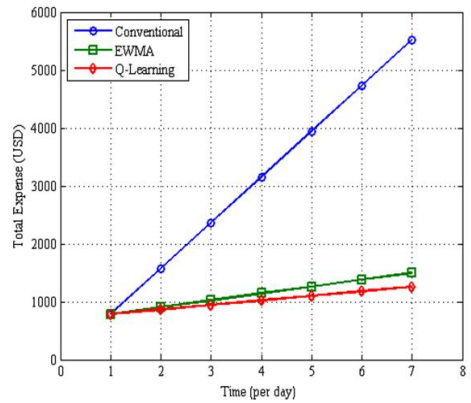


그림 5. 사물인터넷 주차유도 시스템의 SLA 위반 시 대가 및 단위 할당자원 당 낭비비용의 총합 비교분석 (a) 최대 사용자 시, (b) 최소 사용자 시

Fig. 5 Comparative studies of IoT parking guidance system's penalty fee (a) costs on peak visitor scenario, (b) costs on worst visitor scenario

#### IV. 모의실험 및 구현

##### 1. 제안된 방법의 효율성 평가 시뮬레이션

제안된 방법의 효율성을 평가하기 위하여 모의 실험을 통해 주차장의 누적사용자 수, 진행응답 지연시간 및 동적인 사용자 수에 대한 주차장의 총 구축비용 시뮬레이션을 시행한다. 객관적인 성능측정을 위해서 본 논문에서는 과거 경험을 참조한 학습을 통하여 과거 파라미터의 비중을 조절하는 Q-learning 방식과 그와 유사하지만 과거자료의 비

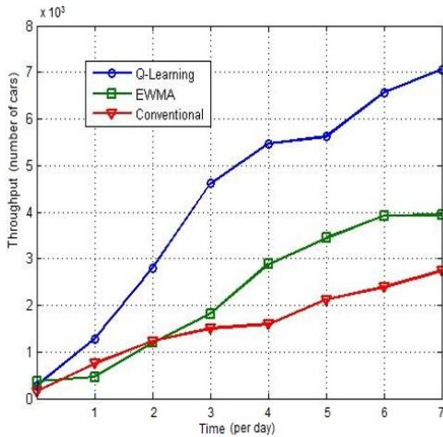


그림 6. 한 주(7일)간 서비스의 누적 처리량  
Fig. 6 Throughput of parking lot cumulative cars per week

중을 단순히 지수형태로 감소시키는 지수가중이동 평균(Exponentially Weighted Moving Average, EWMA) 방식, 학습기법이 적용되지 않은 기존방식을 이용한 주차유도 시스템의 성능을 비교한다 [6].

표 4와 같이 각각의 시나리오에 대해서 예상되는 주차유도 사용자 수로 하루 당 최소 사용자들 300명, 최대 사용자들 15,000명으로 가정한다.

그림 5 (a)와 5 (b)은 각 방식들의 최대, 최소 인원에 대한 주차유도 시스템의 SLA 위반 시 대가 및 단위 할당자원 당 낭비비용의 총합을 분석한 것이다.

표 5는 그림 5a 및 5b의 디바이스별 시뮬레이션 결과를 사물인터넷 주차유도 서비스에서 사용자 수에 따라 절약되는 비용에 대하여 기존과 EWMA, Q-learning의 방식에 따른 결과 값들을 보여준다.

사용자 수가 최저일 때 Q-learning 방식을 사용한 디바이스의 총 비용절약은 4,020달러이고 기존의 방식은 22,400달러, EWMA는 4,260달러, 마찬가지로 사용자수가 최대일 때 Q-learning 방식은 30,354달러이며 기존의 방식은 1,640,000달러, EWMA는 47,989달러이므로 결과적으로 Q-learning 방식을 이용했을 때 비용이 가장 절약되는 것을 알 수 있다.

그림 6은 각각의 주차유도 시스템의 한 주간 누적 처리량을 나타낸 것이다.

다음 그림 7은 수시로 변하는 사용자의 수로 인하여 소모되는 진행응답 지연시간을 측정하는 것이다.

두 모의실험은 일주일 간 최소 주차장 이용 차

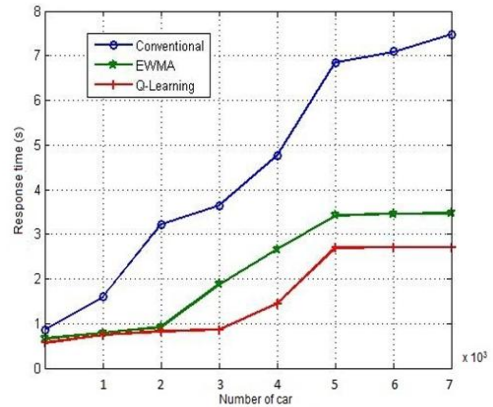


그림 7. 동적인 사용자 수에 따른 진행응답 지연시간  
Fig. 7 Response time from server to users with the dynamic number of users



그림 8. 테스트 중인 국내 국제공항 내의 주차유도 시스템 (a) 영상 모니터링 소프트웨어, (b) 주차공간 관리 소프트웨어

Fig. 8 Trial parking guidance system in korean international airport (a) Video surveillance software, (b) Parking slot management software.

량이 8,000대에 이르는 가장 붐비는 국내의 한 국제공항의 기간을 환경으로 설정하여 실행한 것이다. 그림 7에서 나타내는 것과 같이 제안된 Q-learning 방식은 일주일 당 7,000대의 차량들을 수용할 수 있다.

반면에 EWMA 방식과 기존의 방식은 각각 4,000대, 2800대의 차량들이 이용했다. 이것은 다른 두 방식들보다 더 나은 약 90%의 사용자들이



제안된 방식에서 성공적으로 주차장을 이용하였다는 것이다. 또한 EWMA 방식과 기존의 방식의 응답 지연시간이 사용차량의 증가에 따라 증가한 반면에, 제안된 방식은 주차장의 사용자가 최대일 때에도 2.8초(s)를 유지한다.

## 2. 테스트용 구현 적용 사례

그림 8은 국내 국제공항 내에 설치되어 있는 주차유도 시스템의 상황통제실의 예를 보여준다. 그림 8 (a)는 주차장 입구와 출구에 설치된 모든 보안카메라들을 관리하는 영상 모니터링 소프트웨어를 보여주며, 그림 8 (b)는 주차공간을 보여주는 관리 소프트웨어이다. 이와 같이 사물인터넷 기반의 주차유도 시스템 방식이 적용되어 현재 성능 테스트를 진행하고 있다.

## V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 사물인터넷 기반의 주차유도 시스템에 적용할 클라우드 시스템의 동적인 자원 할당의 최적화를 위한 Q-learning 자원 예측 모델 및 설계 기법을 제안하였다.

국내의 국제공항에 사용하였던 기존의 주차유도 시스템의 하드웨어 자원할당을 분석하였고 사물인터넷 적용 주차유도 시스템과의 경제적 타당성을 비교하고 사물인터넷 기술을 적용한 주차유도 시스템을 사용하기 위한 클라우드 시스템에 대해 알아보았다. 더 나아가 Q-learning 기반의 자원 예측 모델기법을 기존의 주차유도 시스템에 적용하여 사용자의 QoS를 만족하고 서비스 제공자의 시스템 구축비용을 최소화하였다. 또한 사물인터넷 응용서비스 분야의 하나인 주차유도 시스템에서 우수한 성능의 자원 예측을 적절하게 사용할 수 있다는 것을 증명하였다.

향후 사물인터넷 기반의 클라우드 컴퓨팅 시스템에 Q-learning 기반의 자원 예측 모델기법을 다양한 응용 분야에 적용해 그 가능성을 검증해 보고자 한다.

## References

- [1] K.S. Song, J.C. Yoo, "A Design and Implementation of Parking Guidance and Information System in U-city," Journal of The Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 35, No. 6, pp. 940 - 947, 2010 (in Korean).
- [2] J. Belissent, "Getting Clever about Smart Cities: New Opportunities Require New Business Models," Forrester Research Incorporation, 2010.
- [3] S.A. Mahmud, G.M. Khan, M. Rahman, H. Zafar, "A Servey of Intelligent Car Parking System," Journal of Applied Research and Technology, Vol. 11, No. 5, pp. 714-726, 2013.
- [4] T. Rajabioun, P.A. Ioannou, "On-street and Off-street Parking Availability Prediction Using Multivariate Spatiotemporal Models," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 16, No. 5, pp. 2913-2924, 2015.
- [5] G. Yan, W. Yang, D.B. Rawat, S. Olariu, "Smartparking: A Secure and Intelligent Parking System," IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, Vol. 3, No. 1, pp. 18-30, 2011.
- [6] Y.H. Choi, Y.J. Lim, J.S. Park "Reinforcement Learning Approach for Resource Allocation in Cloud Computing," Journal of The Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 40, No. 4 pp. 653-658, 2015 (in Korean).
- [7] Y. Geng, C.G. Cassandras, "New "Smart Parking" System Based on Resource Allocation and Reservations," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 14, No. 3, pp. 1129-1139, 2013.
- [8] A. Kianpisheh, N. Mustaffa, P. Limtrairut, P. Keikhosrokiani, "Smart Parking System (SPS) Architecture Using Ultrasonic Detector," Journal of Software Engineering and Its Applications, Vol. 6, No. 3, 2012.
- [9] J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal, "Wireless Sensor Network Survey," Computer Networks, Vol. 52, pp. 2292-2330, 2008.
- [10] A. Dunkels, F. Osterlind, Z. He, "An Adaptive Communication Architecture for Wireless Sensor Networks," Proceeding of 5th ACM Conference Networked Embedded Sensor System, pp. 335-349, 2007.
- [11] "Guidelines for Construction of Cloud Data



- Centers,” Telecommunications Technology Association, 2013 (in Korean).
- [12] J. Hui, D. Culler, “IP is Dead, Long Live IP for Wireless Sensor Networks,” Proceeding of 6th ACM Conference Networked Embedded Sensor System, pp. 15-28, 2008.
- [13] H.T. Kim, H.N. Kim, “Control Algorithm for Virtual Machine-level Fairness in Virtualized Cloud Data Center,” Journal of The Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 38, No. 6, pp. 512-520, 2013 (in Korean).
- [14] R.E. Parr, “Hierarchical Control and Learning for Markov Decision Processes,” Ph.D. dissertation, University of California, 1998.
- [15] C.J.C.H. Watkins, P. Dayan, “Q-Learning,” Machine Learning, Vol. 8, pp. 279-292, 1992.
- [16] Y. Chen, C. Chang, F. Ren, “Q-learning-based Multirate Transmission Control Scheme for RRM in Multimedia WCDMA Systems,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 53, No. 1, pp. 38-48, 2004.
- [17] L. Hu, X.L. Che, S.Q. Zheng, “Online System for Grid Resource Monitoring and Machine Learning-based Prediction,” IEEE Transactions Parallel Distributed Systems, Vol. 23, No. 1, pp. 134-145, 2012.
- [18] Y.J. Kim, “Modified Q-learning for Intelligent System,” Journal of The Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 33, No. 2, pp. 82-87, 2008 (in Korean).
- [19] J. Rao, X. Bu, C.Z. Xu, K. Wang, “A Distributed Self-learning Approach for Elastic Provisioning of Virtualized Cloud Resources,” IEEE 19th Annual International Symposium on Modelling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, pp. 45-54, 2011.
- [20] Y. Jiang, C. Perng, T. Li, R.N. Chang, “Cloud Analytics for Capacity Planning and Instant VM Provisioning,” IEEE Transactions Network and Service Management, Vol. 10, No. 3, pp. 312-325, 2013.
- [21] H.H. Kim, W.S. Kim, Y.W. Kim, “A Pattern-based Prediction Model for Dynamic Resource Provisioning in Cloud Environment,” Korean Society for Internet Information, Vol. 5, No. 10, pp. 1712-1732, 2011 (in Korean).
- [22] M. Riedl, H. Zipper, T. Bangemann, M. Meier, “Distributed automation system supports process monitoring and control,” Industrial Electronics, 2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 711-715, 2011.

### Yong-Joo Ji (지 용 주)



He received MS degree in Information Management from Konkuk University, Korea, in 1998. He has currently been a Ph.D candidate in IT Convergence from

Kumoh National Institute of Technology.

Research interests: IoT platform, Cloud computing.

Email: brave102@naver.com

### Hak-Hui Choi (최 학 회)



He received BS degree in Information Electronics Engineering from Kumoh National Institute of Technology, Korea, in 2016. He has currently been a MS

candidate in IT Convergence from Kumoh National Institute of Technology.

Research interests: Networks programming.

Email: hh\_91@kumoh.ac.kr

**Dong-Seong Kim (김 동 성)**

He received Ph.D. degree in Electrical and Computer Engineering from the Seoul National University, Seoul, Korea, in 2003. From 1994 to 2003, he worked as a full-time researcher in ERC-ACI at Seoul National University, Seoul, Korea. From March 2003 to February 2005, he worked as a post-doctoral researcher at the Wireless Network Laboratory in the School of Electrical and Computer Engineering at Cornell University, NY. He is currently a director of ICT Convergence Research Center supported by Korean government at Kumoh National Institute of Technology.

Research interests: Industrial wireless control network, Networked embedded system and Fieldbus.

Email: [dskim@kumoh.ac.kr](mailto:dskim@kumoh.ac.kr)