

스마트 모빌리티를 위한 경로변경이 가능한 스마트 셔틀 운행기법 연구

정성욱*, 강용수, 손영훈

A Re-Routable Smart Shuttle Traveling Scheme for Smart Mobility

Sung-Wook Chung*, Yong-Su Kang, Yeong-Hun Son

요약 4차 산업의 발달과 관련 기술의 발전으로 사용자들은 보다 다양한 서비스를 보다 편리한 방법으로 일상생활에서 사용하고 있다. 이러한 기술 중 스마트 모빌리티(Smart Mobility) 기술은 출발지에서 최종 목적지까지 다양한 방법을 이용하여 효과적으로 이동 및 운송하는 서비스로 단계별 운송수단의 활용(Multi-Modal Service), 효과적인 운송수단의 공유 등의 방법을 통해 보다 사용자들이 해당 서비스를 사용하고 있다. 이러한 스마트 모빌리티 기술 중 최종 목적지 도착단계에서 셔틀(Shuttle)을 이용할 수 있는데, 기존 셔틀 운행방법은 운행회사의 운용성만 고려한 방법으로, 일정한 한 방향으로만 주기적으로 운행하는 방법으로 운행함으로써 셔틀 탑승객의 효율성을 전혀 고려하지 않고 있는 방법이다. 따라서 본 연구에서는 스마트 모빌리티를 지원하는 경로변경이 가능한 스마트셔틀 운행기법을 제안하고자 한다. 제안하는 기법은 셔틀운행 알고리즘, 셔틀 경로변경 알고리즘, 승객 셔틀탑승 알고리즘의 3가지로 구성되며 각각의 알고리즘들이 유기적이고 효과적으로 작동하여 기존 방법보다 우수한 성능을 보여준다. 스마트 셔틀기법의 효과적인 성능분석을 위하여 심도있는 실험(Extensive Experiments)을 수행하였으며, 해당 실험을 통해 승객별 평균 23.6%의 목적지 도착시간 감소, 승객별 평균 10.37% 탑승 대기시간 감소, 그리고 시간당 평균 15.39% 셔틀 이동거리 단축의 성능향상을 보여준다. 이는 탑승자를 고려한 스마트 셔틀기법이 효과적인 경로변경을 통하여 기존 방법보다 보다 우수한 성능을 제공하고 있음을 입증한다.

Abstract With the development of the 4th Industry Revolution and the progress of related technologies, people have been using various services in a more convenient way in their daily lives. Among these technologies, the smart mobility is a service that effectively transports people or packets from the origin to the final destination using a variety of methods/vehicles. With respect to the smart mobility technology, the shuttle service is operational at the final destination. The conventional shuttle operation only takes into account the shuttle operability and does not consider the shuttle-passenger efficiency at all by the one-way routing. Therefore, in this paper, we propose the smart shuttle algorithm that can change the routes to efficiently support boarding passengers. Our proposed scheme consists of 3 algorithms: the shuttle operating algorithm, the re-routable shuttle traveling algorithm, and the passenger-riding algorithm. All those 3 algorithms are effectively co-operated and collaborated for better performance. In-depth experiments were conducted to analyze and to show the superior performance, resulting in an average 23.6% reduction of destination-arrival time per passenger, average 10.37% reduction of shuttle-waiting time per passenger, and average 15.38% decrease of shuttle traveling time per hour. This proves that our smart shuttle traveling scheme reveals the whole remarkable performance, effectively using the re-routable characteristics.

Key Words : 4th Industry Revolution, Multi-Modal Transportation, Re-Routable Algorithm, Smart Mobility, Smart Shuttle Traveling

This paper was supported by the Changwon National University Research Fund in 2018.

*First & Corresponding Author : Department of Computer Engineering, Changwon National University (swchung@changwon.ac.kr)

Received June 17, 2020

Revised June 24, 2020

Accepted June 24, 2020

1. 서론

컴퓨터 기술 및 네트워크 기술 그리고 다양한 단말 기술의 발달로 인해, 보다 많은 사람들이 다양한 환경에서 본인에게 필요한 서비스를 시간, 장소에 구애받지 않고 실시간으로 사용할 수 있게 되었다. 뿐만 아니라, 4차산업 기술의 발달로 인해 AI (Artificial Intelligence), 빅데이터, IoT (Internet of Things), 초연결 (Hyper Connectivity), 5G, 블록체인 (Block Chain) 등의 기술이 등장하고, 이에 따라 보다 다양한 분야에서 사용자 편의 서비스들이 개발되어 제시되고 있다.

최근, 4차 산업의 기술의 응용으로 제시되는 대표적인 기술 중 하나가 스마트 모빌리티 (Smart Mobility) 기술이다. 스마트 모빌리티란 다양한 운송수단을 이용하여 사람이나 물품을 하나의 출발지로부터 최종 목적지까지 운송하는 서비스로, 승차공유, 카 셰어링 (Car Sharing), 대중교통, 걷기, 자전거 타기 등을 포함한 많은 다양한 형태를 취할 수 있으며, 멀티모달 (Multi-Modal) 서비스를 포함한다[1][2][3]. 즉, 스마트 모빌리티는 다양한 운송수단을 활용하여 출발지로부터 최종 목적지까지 다양한 방법으로 운송, 배달하는 서비스를 포함하는 통합 교통 시스템(Total Transportation System)을 의미한다.

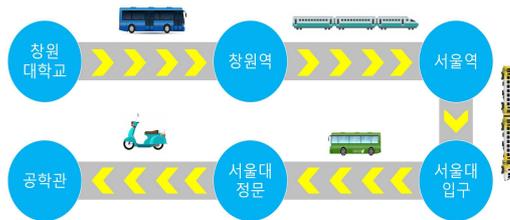


그림 1. 멀티 모달 스마트 모빌리티 예시
Fig. 1. Example of Multi-modal Smart Mobility

예를 들어, 그림 1과 같이 한 학생이 창원대학교에서 서울대학교 공학관까지 가려고 한다면, 창원대학교에서 창원역까지는 버스를 이용하고, 창원역에서 서울역까지는 기차를 이용하며, 서울역에서 서울대입구역까지는 지하철을 이용하고, 서울대입구역에서 서울대 정문까지는 마을버스를 이용하며, 서울대 정문에서 공학관까지는 전기스쿠터(Electric Scooter)를 활용하는

방법을 고려해 볼 수 있는데, 이러한 전체의 경우를 고려하는 통합 교통체계 및 서비스를 스마트 모빌리티라고 할 수 있다.

특히, 이러한 통합 시스템 중 최근 스마트 모빌리티 서비스는 차량공유나 최종 목적지 운송수단 공유 및 활용방법에 보다 포커스를 맞추고 있다. 즉 Zipcar[4]나 Lime 서비스[5]와 같은 운송수단 공유 서비스가 활성화되어 보다 많은 사람들이 편하게 스마트 모빌리티 서비스를 제공받고 있다.

본 논문에서 우리는 이러한 다양한 스마트 모빌리티 서비스 중 일정구간을 왕복하는 스마트 셔틀서비스를 스마트 모빌리티 서비스로 제안하고자 한다. 즉, 공원이나 연구단지, 학교와 같은 비교적 소구역을 반복 운행하며, 스마트 모빌리티의 최종 목적지 도착단계에서 활용 가능하고 해당 운행경로에서 경로변경이 가능한 스마트셔틀 운행기법(Re-routable Smart Shuttle Traveling Scheme)을 제안하고자 한다.

일반적으로 셔틀서비스는 왕복구간을 주어진 시간 표에 따라 원형으로 왕복 운행한다. 이것은 셔틀운행의 편의성을 주로 고려한 것으로 사용자의 편의성, 예를 들어 사용자 호출시간, 대기시간, 도착시간 등의 조건 등은 고려되지 않은 서비스이다. 뿐만 아니라, 일정시간에 이미 정해진 고정방향 만으로의 운행방법은 차량의 효율성 및 보다 많은 고객운송의 가능성 등을 고려하지 않은 방법이라 할 수 있다. 따라서 우리는 본 연구를 통해 탑승한 승객의 도착방향 및 호출한 승객의 승차를 고려하여 셔틀 운행방향을 시계방향 및 반시계 방향으로 변경 가능하도록 고안한, 최종 목적지의 스마트 모빌리티에 효과적으로 적용 가능하는 경로변경이 가능한 스마트 셔틀 운행기법(Re-routable Smart Shuttle Traveling Scheme)을 제안한다. 해당기법은 셔틀운행 알고리즘, 셔틀 경로변경 알고리즘, 승객 셔틀탑승 알고리즘의 3가지로 구성된다. 우리는 본 연구를 통해 이들 알고리즘이 유기적이고 효과적으로 작동하여, 승객별 평균 23.6%의 목적지 도착시간의 감소, 승객별 평균 10.37% 탑승 대기시간의 감소, 시간당 평균 15.39% 셔틀이동거리의 단축을 통해 스마트 셔틀 기법의 우수한 성능향상을 보여주고자 한다.

2. 관련 연구

스마트 모빌리티에 대한 기본적인 개념 및 연구방향 등은 서론에서 설명하였다[1][2][3]. Jung, et al.은 사용자가 대중교통을 이용하기 위한 대기시간을 줄임과 동시에 목적지까지의 이동시간을 평균값이 아닌 다중경로와 리스크의 개념을 결합하여 경로를 제안하였지만, 일반적인 대중교통의 데이터를 분석하기에 소규모 인프라에 적합한 승객의 호출에 따른 최적경로를 탐색부분은 연구되지 않았다[6]. Park, et al.은 택시 및 승용차의 수요를 일부 수용하여 출근시간 교통체증을 줄일 수 있는 지선 버스 노선을 제안하였으나, 출근시간이라는 특수 시간대에 대한 정보를 분석하여 새로운 경로 노선을 제안하였으며 고정된 노선을 제안하였지만 동시다발적인 승객의 호출에 따라 버스의 이동방향이 변화한다는 내용은 연구되지 않았다[7]. Kim, et al.은 이용자 선호도에 따른 안전, 환경 비용을 추가한 대중교통 경로 탐색 알고리즘을 도출하였지만, 안전, 환경 저항값에 따라 우회하더라도 안전하고 환경적인 경로를 선택기법만을 고려하였다[8]. Song은 한국의 사립 초등학교들이 가지는 독특한 특성들을 반영하는 수리 모형을 개발하고 학생들에게 보다 효율적인 스쿨버스 서비스를 제공할 수 있도록 하는 서비스 규칙을 제안하였으나, 승객에 따른 실시간 경로변경에 대한 내용은 고려되지 않았다[9]. Shin, et al.은 환승누적합수를 고려하여 최적경로를 탐색하는 효과적인 방안을 제안하였지만, 실시간 고객의 탑승을 고려한 최적경로 탐색에 대한 연구는 수행되지 않았다[10].

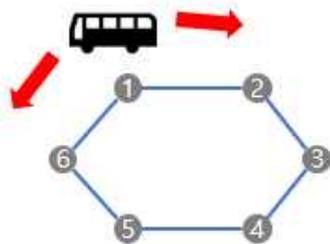


그림 2. 경로변경이 가능한 셔틀운행 모형
Fig. 2. Model of Re-Routable Smart Shuttle Traveling

표 1. 스마트 셔틀서비스 기법의 우선순위
Table 1. Top Priority of Smart Shuttle Scheme

Considerations of Smart Shuttle Algorithm
- Top Priority: On-board Passengers' Destination-Arrival Time
- Re-Routing: Sum of All Boarding Passengers' Destination-Arrival Time after Direction Change \leq Sum of All Boarding Passengers' Destination-Arrival Time of Current Direction
- New Passengers on the Shuttle Direction can be On-Board

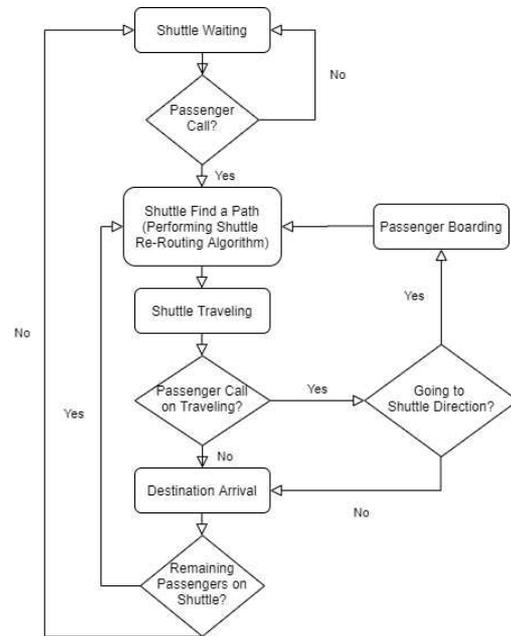


그림 3. 경로변경이 가능한 스마트셔틀 기법 전체흐름도
Fig. 3. Flow-chart of Re-Routable Smart Shuttle Scheme

3. 경로변경이 가능한 스마트 셔틀 서비스 기법

이 장에서는 우리가 제안하는 경로변경이 가능한 스마트 셔틀 서비스 기법을 구체적으로 제안한다. 그림 2는 6개의 정류장을 가진 셔틀서비스를 나타내고 있다. 일반적인 셔틀서비스는 시계방향 혹은 시계 반대방향의 한쪽 방향으로만 운행한다. 하지만 우리는 탑승객의 목적지에 따른 도착시간을 고려하여 좌/우 측, 시계방향이나 시계 반대방향 모두 운행가능한 스마트 셔틀기

법을 제안한다. 우리의 기법은 총 3가지의 알고리즘으로 구성되며 전체적인 알고리즘 흐름도는 그림 3과 같다. 제안한 스마트 셔틀 서비스의 핵심은 탑승승객의 도착시작을 고려한 경로변경에 있다. 표 1에서와 같이 우리의 기법은 기존 버스 탑승승객의 도착시간을 제일의 우선순위(Top Priority)로 고려하여 3가지 알고리즘으로 구현된다. 즉, 경로변경은 탑승승객의 도착시간에 이점이 있을 때에만 수행되며, 그렇지 않은 경우에는 기존 진행경로로 계속 운행한다.

3.1 셔틀운행 알고리즘

셔틀운행 알고리즘은 운행중인 셔틀이 수행하는 알고리즘이다. 그림 4와 같이 초기값은 호출승객을 대기하고 있으며 호출한 승객 발생 시 가까운 경로로 이동한다. 이동 중 대기승객은 탑승시키며 새로운 승객이 승차할 때마다 경로변경 알고리즘을 수행하여 진행경로를 결정한다. 그리고 모든 승객이 하차 시 해당 정류장에 대기하며 다음승객의 호출을 기다린다.

```
[Algorithm] Shuttle Moving
if (Passenger Call == NULL)
    Wait at the Current Shuttle-Stop;
else {
    while (true) {
        Move to the Passenger Shuttle-Stop;
        Take the Passengers on the Shuttle-Moving;
    }
}
```

그림 4. 셔틀운행 알고리즘
Fig. 4. Shuttle Moving Algorithm

3.2 셔틀 경로변경 알고리즘

셔틀의 경로변경 알고리즘은 본 논문의 경로변경이 가능한 스마트 셔틀서비스 기법의 핵심 알고리즘이다. 그림 5에서 설명하고 있는 것처럼, 각 탑승객은 셔틀 탑승 시 진행방향을 고려한 목적지까지의 도착예정시간을 유지하게 되는데, 임의의 승객이 하차시 또는 승차할 경우, 전체 탑승객의 현재 진행방향 기준의 도착 예정시간과 진행 방향변경 시의 도착 예정시간을 계산하여 후자가 작거나 같은 경우 셔틀의 진행경로를 변경한다. 그렇지 않은 경우는 기존진행 방향으로 계속

진행한다.

```
[Algorithm] Shuttle Re-Routing
if ((Sum of All Destination-Arrival Times of the On-Board Passengers)
    ≤ (Sum of All Destination-Arrival Times after Route-Change))
    Stay the Current Path;
else
    Change the Routing-Path;
```

그림 5. 셔틀 경로변경 알고리즘
Fig. 5. Re-Routing Algorithm

3.3 승객 셔틀탑승 알고리즘

승객의 셔틀탑승 알고리즘은 그림 6에서 설명하고 있다. 임의의 한 승객은 임의의 정류장에서 목적지를 명시하여 셔틀을 호출한다. 호출된 셔틀은 진행방향으로 호출된 승객의 방향으로 지나갈 때 해당승객을 승차시키며, 해당 승객은 셔틀을 탑승할 때 현재 진행방향을 기준으로 도착예정시간이 계산된다. 승객별 도착 예정시간은 임의의 승객이 하차 혹은 승차할 때 경로변경 알고리즘을 호출하여 업데이트 된다.

```
[Algorithm] Passenger Boarding
if (Waiting at the Shuttle-Stop)
    Call the Shuttle Presenting His Destination;
if (On the Shuttle-Ride)
    Calculate the Destination-Arrival Time per Passenger Considering the Current Shuttle-Path;
if (After the Shuttle-Ride) {
    Perform Re-Routing Algorithm;
    if (The Routing-Path Change Occurs)
        Update All Passengers' Destination-Arrival Times;
}
```

그림 6. 승객 셔틀탑승 알고리즘
Fig. 6. Passenger Boarding Algorithm

4. 실험결과 및 분석

제안한 알고리즘의 효과적인 성능분석을 위하여 그림 7과 같은 실험환경을 구성하였다. 일반적으로 셔틀은 비교적 작은 구역을 왕복 운행하므로, 우리는 실험

의 테스트베드용 환경으로 6개의 정류장을 구성하였으며 정류장 간의 거리는 상대적인 거리로 경로시간(분)을 값으로 나타내었다. 그리고 임의의 시점에 임의의 승객이 셔틀을 호출하며 랜덤 목적지로 승객의 목적지를 설정하였으며, 셔틀은 평균 20km/h의 속도로 총 6시간의 운행시간을 기준으로 실험하였다. 이와 같은 시나리오를 기반으로 하나는 시계방향으로만 움직이는 기존의 셔틀운행 방법으로 시뮬레이션하고, 다른 하나는 우리가 제안한 3가지 알고리즘이 상호 유기적으로 동작하는 경로변경이 가능한 스마트 셔틀 서비스 기법을 적용하여 실험을 수행하여 두 가지의 성능을 서로 비교·분석하였다.

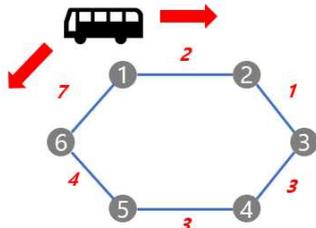


그림 7. 성능분석을 위한 셔틀 테스트베드
Fig. 7. Testbed for Performance Evaluation

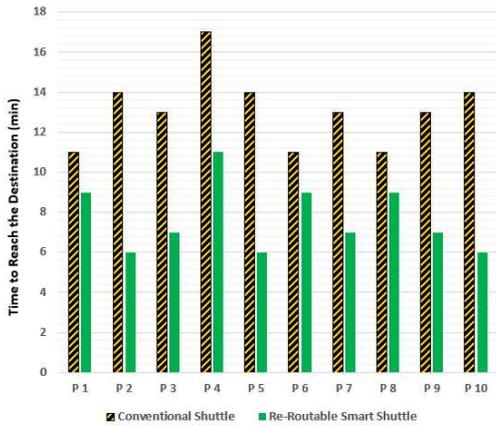


그림 8. 10명 승객의 목적지 도착시간
Fig. 8. Time to Reach the Destination for 10 Passengers

4.1 승객별 도착시간

본 실험은 총 6시간의 운행을 기준으로 수행하였지만, 운행 중 임의의 시점에서의 임의의 승객 10명의 승차 후 목적지 도착시간을 그림 8에 나타내었다. 그림

8이 보여주는 것처럼 해당 10명의 승객 모두에서 스마트 셔틀기법이 기존방법보다 빠른 목적지 도착시간을 보여주고 있다. 그리고, 전체실험을 통해 얻은 승객 1명당 평균 목적지 도착시간은 기존방법이 11.1분 그리고 스마트 셔틀기법이 8.98분으로 스마트셔틀 기법이 평균 23.6%의 성능향상을 보였다.

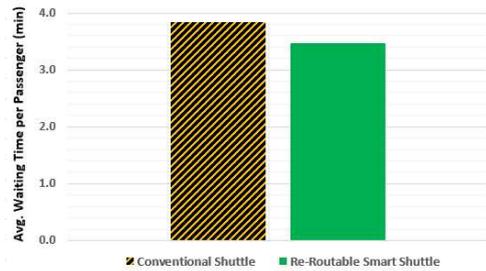


그림 9. 승객당 평균 탑승 대기시간
Fig. 9. Avg. Waiting Time per Passenger

4.2 승객별 평균 탑승 대기시간

그림 9는 적용기법에 따른 승객당 평균 셔틀 승차 대기시간을 나타내고 있다. 그래프에서 나타난 것처럼 기존방법은 승객당 평균 대기시간이 3.83분, 그리고 스마트 셔틀기법은 3.47분의 성능을 보여준다. 이는 승객당 평균 10.37% 승차 대기시간 감소로, 스마트 셔틀기법의 성능우수성을 다시 한번 드러낸다.

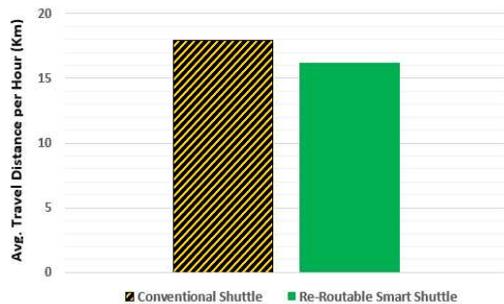


그림 10. 시간당 평균 셔틀 이동거리
Fig. 10. Avg. Shuttle Travel Distance per Hour

4.3 셔틀의 시간당 평균 이동거리

그림 10은 적용기법에 따른 시간당 평균 셔틀 이동 거리를 나타낸다. 즉, 기존방법은 1시간 평균 17.93km를, 스마트 셔틀기법은 15.17km를 이동하였으며 이는 한 시간동안 평균 15.39% 셔틀의 이동거리 단축을 의미한다. 즉 스마트 셔틀기법이 셔틀당 15.39% 성능향상을 보여주고 있다.

5. 결론

4차산업의 발달 및 관련 기술의 발전으로 사람들은 보다 편리하고 효과적인 서비스들을 일상생활에서 누리고 있다. 그 중 스마트 모빌리티는 출발지부터 최종 목적지까지 보다 효과적인 방법으로 운송 및 배송을 가능하게 해주고 있다. 본 연구에서 이러한 스마트 모빌리티 지원하는 경로변경이 가능한 스마트 셔틀 운행 기법을 제안하였으며, 해당 기법은 셔틀운행 알고리즘, 셔틀 경로변경 알고리즘, 승객 셔틀탑승 알고리즘으로 구성되며, 해당 알고리즘들이 서로 유기적으로 작동하여 효과적인 성능향상을 보여준다. 즉, 기존 셔틀운행 방법과 비교하여 스마트 셔틀 운행기법은 승객별 평균 23.6%의 목적지 도착시간 감소, 평균 10.37% 탑승 대기시간 감소, 그리고 시간당 평균 15.39% 셔틀이동거리 단축의 성능향상을 나타내었다. 이는 제안한 스마트 셔틀기법이 효과적인 경로변경을 통하여 우수성을 보여주고 있음을 알 수 있다.

앞으로 스마트 모빌리티는 보다 다양한 분야에서 활용되고 적용될 것이다. 따라서 다양한 스마트 모빌리티 운송수단에 대한 효과적인 운행기법 및 운송수단의 공유 및 관리기법에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 예상된다.

REFERENCES

- [1] R. Faria, L. Brito, K. Baras, and J. Silva. "Smart mobility: A Survey," Proc. of 2017 International Conference on Internet of Things for the Global Community (IoTGC), pp. 1-8, July, 2017.
- [2] Rosaria Battarra, Carmela Gargiulo, Maria Rosa Tremitterra, Floriana Zucaro. "Smart mobility in Italian metropolitan cities: A comparative analysis through indicators and actions," Sustainable Cities and Society, vol. 41, pp 556-567, 2018.
- [3] R. Cruz, J. Jardim, J. Mira and C. Teixeira. "Smart Rail for Smart Mobility," Proc. of 16th International Conference on Intelligent Transportation Systems Telecommunications (ITST), pp. 1-7, Oct., 2018.
- [4] Zipcar, [online] <https://www.zipcar.com>
- [5] Lime Micromobility, [online] <https://www.li.me>
- [6] K. Jung, J. Kim, H. Kim, "Public Transportation Hyper-path Recommendation System Considering Moving-Time Uncertainty," Proc. of Korean Institute Of Industrial Engineers, pp. 3596-3610, Nov., 2019
- [7] J. Park, J. Lee, S. Son, "Second Bus-Line Recommendation System Using Taxi GPS Data and Road2Vec," Proc. of Korean Institute Of Industrial Engineers, pp. 772-791, Nov., 2017.
- [8] Eun-Ji Kim, Seon-Ha Lee, Choon-Keun Cheon, Byung-Young Yu, "Development of the Algorithm of a Public Transportation Route Search Considering the Resistance Value of Traffic Safety and Environmental Index." The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 16, no. 1, pp. 78-89, 2017.
- [9] Seung Min Song. "Optimal School Bus Routing Problem in Korean Private Elementary Schools Considering Customer Satisfaction," Korean Society of Supply Chain Management, vol. 12, no. 2, pp. 135-141, 2012.
- [10] Seongil Shin, Nam Cheol Baek, Doo Hee Nam, "A Heuristic Optimal Path Search Considering Cumulative Transfer Functions," Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 15, no. 3, pp. 60-67, 2016.

저자약력

정 성 욱 (Sung-Wook Chung) [정회원]



- 2005년 5월 : CISE dept. Univ. of Florida, USA, (MS)
- 2010년 8월 : CISE dept. Univ. of Florida, USA, (Ph.D)
- 2010년 10월 ~ 2012년 2월 : KT 종합기술원 중앙연구소 선임 연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 컴퓨터공학과 부교수

〈관심분야〉 IoT, 스마트 모빌리티, 실시간 분산 멀티미디어 시스템, 홈네트워크

손 영 훈 (Yeong-Hun Son) [학생회원]



- 2015년 3월 ~ 2018년 12월 : 경남대학교 컴퓨터공학과 학부
- 2019년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 컴퓨터공학과 학부

〈관심분야〉 스마트 모빌리티, 실시간 분산 멀티미디어시스템

강 용 수 (Yong-Su Kang) [학생회원]



- 2015년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 컴퓨터공학과 학부

〈관심분야〉 스마트 모빌리티, 실시간 분산 멀티미디어시스템