

효과적인 도로 상황 인지를 위한 도로 객체 그래프 모델링 방법

¹Nyamdavaa Ariunerdene, ²정성모, ^{3*}송석일

Road Object Graph Modeling Method for Efficient Road Situation Recognition

¹Nyamdavaa Ariunerdene, ²Seongmo Jeong, ^{3*}Seokil Song,

요약

이 논문에서는 차량 또는 도로 인프라 센서에 의해 검출된 도로상의 각 객체들 간의 상황 인지를 효과적으로 하기 위해서 그래프 데이터 모델을 도입한다. 제안하는 방법은 도로상의 각 객체들을 그래프의 정점(Vertex)로, 객체들 간의 관계를 그래프의 간선(Edge)로 모델링하여 그래프 데이터베이스를 구축하고, 객체의 속성과 간선의 속성을 실시간으로 업데이트한다. 이때 간선으로 표현되는 객체들 간의 관계는 각 객체의 위치, 이동방향, 이동속도 등을 고려하여 객체들 간에 근접 가능성이 있을 경우 설정한다. 또한, 제안하는 그래프 모델링 방법을 통해 표현한 도로 객체 그래프 데이터베이스를 실시간으로 업데이트 하기 위해 그래프 정점과 간선에 대한 공간 색인 기법을 제안한다. 제안하는 색인기법 기반의 그래프 데이터베이스 업데이트 성능을 평가하기 위해서 색인 없이 업데이트하는 방법과 비교하였으며 비교결과 제안하는 방법이 10배 더 빠르게 업데이트를 할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, a graph data model is introduced to effectively recognize the situation between each object on the road detected by vehicles or road infrastructure sensors. The proposed method builds a graph database by modeling each object on the road as a node of the graph and the relationship between objects as an edge of the graph, and updates object properties and edge properties in real time. In this case, the relationship between objects represented as edges is set when there is a possibility of approach between objects in consideration of the position, direction, and speed of each object. Finally, we propose a spatial indexing technique for graph nodes and edges to update the road object graph database represented through the proposed graph modeling method continuously in real time. To show the superiority of the proposed indexing technique, we compare the proposed indexing based database update method to the non-indexing update method through simulation. The results of the simulation show the proposed method outperforms more than 10 times to the non-indexing method.

Keywords: graph, road infrastructure, vehicle, node, edge

¹ 한국교통대학교 컴퓨터공학과 박사과정 (ariunkk@gmail.com)

² 한국교통대학교 컴퓨터공학과, 석사과정 (jsm9720@u.ut.ac.kr)

^{3*} 교신저자 한국교통대학교 컴퓨터공학과 교수 (sisong@u.ut.ac.kr)

I. 서론

C-ITS (Cooperative-Intelligent Transport Systems)는 V2X 통신기술을 이용하여 자율주행차나 일반 운전자에게 도로의 상황정보를 실시간으로 제공하여 차량이 돌발상황에 신속하게 대응하여 안전운전을 지속할 수 있도록 도와주는 것을 목적으로 한다[1]. 미국, 유럽, 일본에서는 2000년대 초반부터 관련된 다양한 연구가 진행되었으며 국내에서는 2018년부터 고속도로 및 몇몇 지방 자치단체에서 C-ITS 실증사업을 진행하고 있다. C-ITS 실증사업에서는 DTG(Digital Tacho Graph), ADAS(Advanced Driver Assistance System)로부터 원시데이터를 취득하여 C-ITS 와 연계하여 수집하고 있다. 수집하는 데이터는 속도, 가속도, 차량의 위치, 주행거리, 브레이크 작동상태, 전방 충돌 경고, 차로 이탈 경고, 선행차량과의 차간거리, TTC(Time-To-Collision) 등이 포함된다.

고속도로 C-ITS 실증사업에서는 도로 인프라 센서로 취득한 도로의 교통사고, 공사구간 등의 정보가 C-ITS 단말기를 통해 실시간으로 운전자에게 전달된다[1]. 더 나아가, 2021년도에 시작된 “자율주행기술개발혁신사업단”에서는 자율주행 차량의 인지 범위를 확장하기 위해 도로 인프라 센서를 이용하여 도로상의 각 객체들 간의 상황을 인지한 정보를 자율주행차량에 실시간으로 공유하여 4단계 자율주행을 가능하게 하는 연구를 진행하고 있다[2]. 도로 인프라 센서가 수집한 데이터를 이용하여 도로의 각 객체들 간의 상황을 실시간으로 인지하고 차량에 전달하기 위해서는 효과적인 통신기술 및 데이터 처리 기술이 필요하다.

이 논문에서는 효과적인 상황인지를 위한 데이터 처리 기술 중 도로상의 객체들을 표현하기 위한 데이터 모델링 기법을 제안한다. 도로 상황인지를 위한 데이터 모델링 기법은 다음과 같은 요구사항을 만족해야 한다.

첫번째, 객체들 간의 관계를 효과적으로 표현할 수 있어야 한다. 도로 상황인지에서 가장 중요한 것은 객체들 간의 충돌 가능성을 예측하는 것이다[3, 4]. 이를 위해서는 도로 상의 각 객체들의 위치, 속도, 방향 변화에 따라 객체들 간의 충돌 가능성을 효과적으로 재 계산할 수 있어야 한다. 도심 도로의 혼잡 상황에서는 수많은 형태의 객체(보행자, 자동차, 이륜차 등)들이 혼재하게 된다. 이 객체들의 위치, 속도, 방향 변화가 발생할 때 마다 모든 객체들 간의 충돌가능성을 계산하는 것은 실시간 상황인지 및 전달을 불가능하게 한다. 효과적인 처리를 위해서는 충돌 가능성이 있는 객체들을 신규로 빠르게 인지해야 하며 이미 충돌 가능성이 있다고 인지된 객체들(관계가 있는)에 대해서는 충돌 가능성을 실시간으로 재 계산해야 한다.

두번째, 객체들 간의 관계를 효과적으로 인지해야 한다. 앞의 첫번째 요구사항에서 기술한 바와 같이 객체들 간의 관계 (충돌 가능성)를 표현하기 위해서는 먼저 객체들 간의 충돌 가능성을 인지하여 관계가 있는지를 파악해야 한다. 이를 파악하기 위해서 도로상의 모든 객체들 간의 충돌 가능성을 파악하는 것은 이미 언급한 바와 같이 실시간 상황인지를 불가능하게 하는 요인이 된다.

이 논문에서는 위에 기술한 두가지 요구사항을 고려하여 객체 간의 관계를 가장 효과적으로 표현할 수 있는 그래프 데이터 모델을 제안한다. 기존에 [5]과 같이 도로를 그래프로 표현하고자 하는 일부 연구가 제안된 바 있다. 하지만, [5]는 도로 네트워크 자체를 그래프로 표현하는 방법에 관한 것으로 본 연구에서 필요로 하는 도로상의 객체들 간의 관계를 그래프로 표현하는 것은 아니다. 제안하는 그래프 모델은 도로상의 각 객체들을 그래프의 정점(Vertex)로, 객체들 간의 관계를 방향이 있는 간선(Edge)로 모델링하여 그래프 데이터베이스를 구축하고, 객체의 속성과 간선의 속성을 실시간으로 업데이트한다. 이때 간선으로 표현되는 객체들 간의 관계는 각 객체의 위치, 이동방향, 이동속도 등을 고려하여 객체들 간에 근접 가능성이 있을 경우 설정한다. 또한, 효과적인 객체들 간의 관계를 인지하기 위해서 그래프 정점과 간선에 대한 그리드(Grid) [6] 기반 공간 색인 기법을 제안한다.

이동객체에 대한 효과적인 색인 기법은 이미 다수가 제안된 바 있다[7, 8]. 이 두 방법 모두 도로 네트워크를 고려한 이동객체 대한 효과적인 색인 방법 및 질의처리 방법을 제안하고 있다. 도로 네트워크를 고려하고 있지만, 도로 네트워크 상의 객체들 간의 관계를 고려하지 못한다. 앞서 기술한 바와 같이 도로 상의 객체들 간의 관계를 그래프로 표현하고 객체들의 변화에 따라

지속적으로 그래프를 업데이트해야 하는 요구사항에는 적용할 수 없다. 이에 따라 본 논문에서는 도로상의 객체들 간의 관계를 나타낸 그래프에 대한 공간 색인 기법을 새롭게 제안한다.

II. 제안하는 도로 네트워크에서 객체에 대한 그래프 모델링 방법

일반적으로 그래프(G)는 $G=(V, E)$ 로 정의된다[9]. 여기에서 V 는 정점(Vertex)의 집합을 의미하고, E 는 간선(Edge)들의 집합을 의미한다. 이 논문에서 제안하는 도로 객체들에 대한 그래프 모델링 방법에서는 도로상의 각 객체를 그래프의 정점으로 표현하고 각 객체 간에 충돌 가능성이 있을 경우 이를 객체 간의 관계로 설정하고 해당 객체들의 정점 간의 간선으로 표현한다. 다음 그림 1 은 도로상의 객체들을 인프라 센서로 인식하고 이를 그래프로 모델링하는 과정을 보여준다.

그림 1 과 같이 도로에는 라이다, 카메라, 레이더, 루프 검지기 등 각종 인프라 센서가 설치될 수 있다. 인프라 센서는 도로상의 객체들을 인식하고 이를 도로변 MEC(Mobile Edge Computing)[10] 서버에 전송한다. MEC 서버는 인프라 센서가 전송한 객체 정보(위치, 방향, 속도 등)를 수신하고 객체들 간의 관계를 판단하여 그래프 데이터로 모델링한다. 모든 객체는 그래프 상에서 정점이 되며 각 객체의 위치, 방향, 속도를 기반으로 충돌 가능성이 있는 경우 모두 관계로 설정한다. 이를 위해 현재 시점의 속도, 방향, 위치를 기반으로 충돌(또는 접근) 예상시간을 계산하고 충돌(또는 접근) 예상시간이 무한대가 아니면 모두 관계를 설정하고 지속적으로 관계를 업데이트한다.

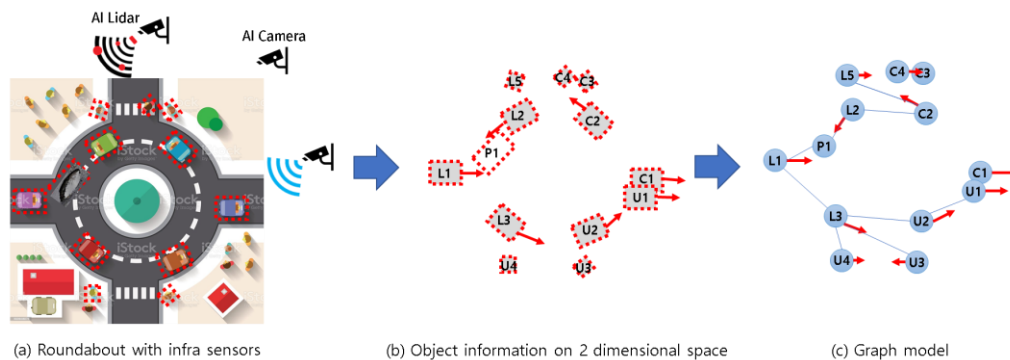


Figure 1. Process of graph modelling

그림 1 의 (b)에서 C2 의 이동방향과 속도를 볼 때 C4 나 C3 와는 충돌위험이 전혀 없고 L5 와는 충돌위험이 존재할 때 C2 와 L5 사이에 간선을 연결하고 상호간의 충돌(또는 접근) 예상시간을 간선의 속성으로 기록한다. 그 이후에 C2 와 L5 의 위치가 업데이트 될 때 마다 간선의 속성을 같이 업데이트 한다. 다음 그림 2 와 3 은 그래프 모델의 정점과 간선의 속성을 보여주고 있다.

표 1 의 간선 속성들 중 Deadline 은 AoI(Age of Information)과 TTC(Time to Collision)을 고려하여 간선으로 연결된 정점에 해당하는 객체들에 정보 전송을 반드시 해야 하는 한계 시간으로 한계시간 후에는 더 이상 정보의 유효성이 없다는 것을 의미한다. 즉, 두 객체가 서로 0.5 초 후에 충돌 가능성이 있고 전송지연이 0.1 초, 객체의 내부 처리 지연이 0.1 초라면 0.3 초 이내에 정보를 전송할 수 있어야 한다는 의미이다. 표 2 의 정점 속성들 중 AoI(Age of Information)의 약자로 인프라 센서가 정보를 전송한 시간에서 객체를 인식하는데 소요되는 시간을 빼서 계산된다. AoI 는 어떤 정보의 유효성을 판단할 때 중요한 근거로 사용된다. 객체의 형태(Object Type) 중 낙하물, 포트홀, 공사 등 정적인 객체들의 경우 이동속도, 방향 정보는 존재하지 않는다.

Table 1. Properties of edges

Properties	Description
EdgeID	Identifier of a graph edge
TTC	Time to Collision
Deadline	Deadline to Inform Message. Time limit that information must be transmitted to vertices connected to the edge considering AOI, TTC

Table 2. Properties of vertex

Properties	Description
NodeID	Identifier of a graph vertex
Trajectory	Former 5 objects' information. List of (loc, heading, speed)
Sensor Type	Type of sensors used for recognize objects (0:Camera, 1:Lidar, 2:Road Status)
Location	Location of objects. (x, y)
Heading	Heading of objects
Speed	Speed of objects
AoI	Age of Information. Data output time of recognize module of sensor – estimated execution time of recognize module
Object Type	Type of objects (0:vehicle, 1:pedestrian, 2:motor cycle, 3: bicycle, 4:falling objects, 5: pothole, 6:construction)
MBR	Minimum Bounding Rectangle of object. (x_left, y_upper, x_right, y_lower)

이 논문에서는 객체들 간의 관계를 효과적으로 판단하기 위해서 그림 2와 같이 그래프 정점에 대한 그리드 기반의 공간 색인 기법을 제안한다. 도로상의 객체들은 모두 위치를 가지고 있고 각 객체들은 그래프의 정점으로 표현된다. 그리드 기반의 공간색인은 도로상의 각 객체의 현재 위치를 기반으로 각 셀에 고유한 번호를 부여하고 각 셀에 포함되는 그래프 정점들을 색인한다. 이 그리드 색인의 각 셀의 크기는 주어지는 값으로 도로 상황에 따라 변경이 가능하다. 그림 2의 왼쪽은 현재 시점의 그래프 정점에 대한 공간 색인 결과를 보여준다. 이때 그림 2의 오른쪽 그림에서처럼 New 객체가 발생하면 New 객체가 포함되는 셀을 계산을 통해서 결정하고 해당 셀 및 인접하는 셀들에 포함되는 기존 객체들과 위치, 방향, 속도에 대한 비교를 수행하여 관계가 있는지 판단한다. 이 경우 전체 객체들과의 비교를 수행하는 것이 아니라 New 객체가 포함되는 셀과 그 인접 셀들에 포함되는 객체들과의 비교만 수행하면 되므로 상대적으로 빠르게 객체들 간의 관계를 설정할 수 있다.

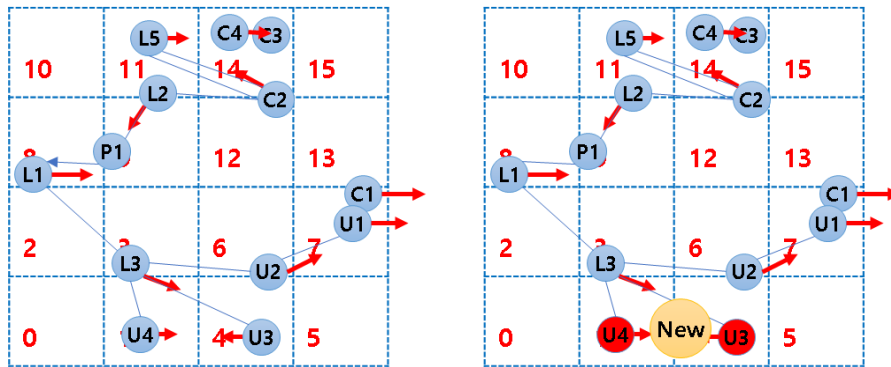


Figure 2. Spatial index for graph vertex

New 객체와 비교해야 하는 객체의 수는 셀 하나의 크기에 의해서 결정된다. 셀의 크기를 크게 하면 상대적으로 많은 객체가 하나의 셀에 포함될 수 있으므로 비교 대상이 많아진다. 셀의 크기를 너무 작게 하면 센서 오차 등을 고려할 때 New 객체가 포함된 셀과 그 인접 셀들을 조회해서는 가능한 관계를 모두 파악하기가 어렵다. 이 논문에서는 한 셀에 2~3 개 정도의 객체가 포함될 수 있는 수준으로 셀 크기를 결정한다. 이 경우 New 객체가 발생할 때 비교해야

하는 객체는 최대 27 개의 객체가 된다. 실제 색인의 자료구조는 그림 3 과 같다. 셀 테이블에는 셀번호(CellID)와 해당 셀에 포함되는 객체들이 저장된다. 그리고, 정점 테이블에는 각 객체에 해당하는 정점 속성과 해당 정점에 대한 간선에 대한 속성정보가 저장된다.

CellID	Objects	NodeID	Properties	Adjacent Node List (NodeID, Edge Properties)
0				
1	U4	U4	Traj., 1, Loc1, H1, S1, Aol, 1, MBR1	In : L3
2		U3	Traj., 1, Loc2, H2, S2, Aol, 1, MBR2	In : L3
3	L3	P1	0, Loc3, Aol, 5, MBR3	In : L2
4	U3	L3	Traj., 1, Loc4, H4, S4, Aol, 0, MBR4	In : L1 Out : U2, U3, U4
5				
6	U2			
7	U1, C1			
	...			

Figure 3. Data structure for spatial index for graph

III. 성능 평가

이 논문에서는 제안하는 그래프 모델링 및 공간색인 방법이 새로운 객체에 대한 관계를 설정하고 해당 관계를 업데이트 하는 성능을 시뮬레이션을 통해서 검증한다. 실험은 표 3 과 같은 HW 및 SW 환경에서 진행되었다. 객체의 수는 모두 500 개로 하였으며 500 개 객체들의 위치, 방향, 속도가 0.2 초 단위로 업데이트 된다고 가정하였다. 이때 그래프로 모델링된 데이터 베이스에 대한 관계 설정 및 데이터 업데이트에 소요되는 시간을 측정하였다. 제안하는 방법 (Grid based Graph Index Method)과 유사한 기존 방법이 존재하지 않아서 별도의 색인 없이 하나의 객체에 대한 관계 설정 및 관계 업데이트를 위해서 모든 객체와의 비교를 수행하는 방법(Non-Index Method)과 비교를 수행하였다. Non-Index Method 는 그래프의 정점과 간선에 대한 색인만 존재하며 각 정점과 색인에 대한 공간 색인은 적용되지 않는 방법이다. 즉, Non-Index Method 에서 어떤 객체의 위치변화로 인한 간선과 정점의 속성을 변경하기 위해서는 모든 정점들과의 비교를 통해서 기존 정점에 대한 변경을 할 것인지 새로운 객체로 등록할 것인지 결정한 후에 간선을 추가 하거나 변경할 수 있다.

Table 3. Experimental environments

Division	Specification
HW	Intel(R) Core(TM) i7-8750H CPU @ 2.20GHz 2.21 GHz 16G RAM, 500G SSD
SW	Python 3.7, Windows 11

표 4 는 실험 결과를 보여준다. 표에서는 제안하는 방법(Proposed Method)와 별도의 색인을 사용하지 않는 방법(Non-Index Method)이 동시에 발생하는 500 개의 객체의 위치 변화를 그래프에 반영하는 시간을 측정한 결과를 보여준다. 표에서 보는 바와 같이 제안하는 방법은 500 개의 객체들의 위치변화를 모두 처리를 하는데 약 0.005 초가 걸림을 볼 수 있었다. Non-Index Method 가 0.059 초가 소요되는 것에 비하면 약 10 배 정도 빠름을 볼 수 있다. 속도가 향상되는 이유는 그래프의 각 정점에 대한 그래프 색인을 도입하여 관계 설정 및 업데이트에 계산해야 하는 대상을 효과적으로 줄일 수 있기 때문인 것으로 보인다.

Table 4. Experimental results

Division	Execution time for 1 object (seconds)	Execution time for 500 objects (seconds)
Grid based Graph Index Method	1.03466E-05	0.005173304
Non-Index Method	0.000130819	0.059463268

IV. 결론

이 논문에서는 도로상의 객체(차량, 보행자 등)들 사이에 관계를 그래프 자료구조로 지속적으로 유지하여 도로 상황인지를 효과적으로 지원하는 방법을 제안하였다. 이를 위해서 도로 상의 객체들 간의 관계를 효과적으로 표현할 수 있는 그래프 데이터 모델링 방법과 그래프 데이터 대한 효과적인 처리를 위한 공간 색인 기법을 제안하였다. 제안하는 그래프 모델은 도로상의 각 객체들과 객체들 간의 관계를 각각 그래프의 정점(Vertex)과 간선(Edge)로 표현하고 객체의 속성과 간선의 속성을 객체의 위치가 변할 때 마다 실시간으로 업데이트한다. 이때 간선으로 표현되는 객체들 간의 관계는 각 객체의 위치, 이동방향, 이동속도 등을 고려하여 객체들 간에 근접 가능성이 있을 경우 설정한다. 효과적인 객체들 간의 관계를 인지 및 업데이트를 위해서 그래프 정점과 간선에 대한 공간 색인 기법을 제안하였다. 제안하는 방법이 객체들의 정보를 효과적으로 처리함을 보이기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며 제안하는 방법이 모든 객체들 간의 비교를 통한 처리 방법에 비해 약 10 배 정도 처리 속도가 향상됨을 확인하였다.

V. 감사의 글

본 논문은 국토교통기술촉진사업 "세계시장 진출을 위한 구글맵(Google Maps) 기반의 증강현실(AR) 적용 실내공간용 보행자 내비게이션 플랫폼 개발" 과제번호 19CTAPC15272801000000) 지원으로 수행하였습니다. 또한, "본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다. (과제번호 21AMDP-C160502-01)."

VI. 참고문헌

- [1] K. O. Jieun, J. Jiyong, and O. H. Cheol, "Assessing the safety benefits of in-vehicle warning information by vehicle interaction analysis in C-ITS environments," *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 39, No. 1, pp. 1-13, Feb. 2021.
- [2] Korea Autonomous Driving Development Innovation Foundation, Available: <http://imixtest.com/>
- [3] G. Shobana, X. Annie, and R. Arockia, "Detection mechanism on vehicular adhoc networks (VANETs) a comprehensive survey," *International Journal of Computer Science & Network Security*, Vol. 21, No. 6, pp. 294-303, Jun. 2021.
- [4] J. H. Bang, J. R. Lee, "Collision avoidance method using vector-based mobility model in TDMA-based vehicular ad hoc networks," *Applied Sciences*, Vol. 10, No. 12, pp. 4181, Jun. 2020.
- [5] W. B. Kang, S. H. Park, and W. G. Lee, "A study on update of road network using graph data structure," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 20, No. 1, pp. 193-202, Feb. 2021.
- [6] K. Park, "Location-based grid-index for spatial query processing," *Expert Systems with Applications*, Vol. 41, No. 4, pp. 1294-1300, Mar. 2014.
- [7] B. Shen, Y. Zhao, W. Zheng, Y. Qin, B. Yuan, and Y. Rao, "V-tree: Efficient knn search on moving objects with road-network constraints," *IEEE 33rd International Conference on Data Engineering (ICDE)*, San Diego, CA, US, Apr. 2017, pp. 609-620.
- [8] D. He, S. Wang, X. Zhou, and R. Cheng, "GLAD: A grid and labeling framework with scheduling for conflict-aware kNN queries," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 33,

No. 4, pp. 1554-1566, Apr. 2019.

[9] M. S. Rahman, Basic graph theory, in Springer International Publishing, 2017.

[10] N. Abbas, Y. Zhang, A. Taherkordi, and T. Skeie, "Mobile edge computing: A survey," IEEE Internet of Things Journal, Vol. 5, No. 1, pp. 450-465, Feb. 2018.

저자 소개



정성모(Seongmo Jeong)

2020년 8월 한국교통대학교 컴퓨터공학과 학사수료

2020년 9월~현재 한국교통대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야: 데이터베이스, 인공지능, 그래프 분석



Nyamdavaa Ariunerdene

2016년 9월~현재 한국교통대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야: 데이터베이스, 위치 기반 서비스, 딥러닝 등



송석일 (Seokil Song)

2000년 2월 충북대학교 대학원 정보통신공학과 석사수료

2003년 2월 충북대학교 대학원 정보통신공학과 박사수료

2003년 7월~현재 : 한국교통대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야: 데이터베이스, 센서 네트워크, 스토리지 시스템 등
