

# Essay on Urban Computing

Sumin Han  
hsm6911@kaist.ac.kr

August 15, 2024

본 에세이는 독자의 가독성을 위해 의도적으로 한국어로 작성하였다. 본 박사과정을 수행하며 겪었던 단상을 들을 염려하였으며, 어쩌면 본 논문에서 주장하고자 하는 도시 임베딩(Urban Embedding)의 존재성과 그것을 가공하기 위한 방법론보다 훨씬 의미있는 내용이라고 저자는 믿는다. 방법론은 시대에 따라 더 좋은 것에 알맞게 변화하겠지만, 본 머리말에 써져 있는 철학적 고민은 저자가 인생의 마지막에서 이 글을 읽어 보더라도 후회가 없을 만큼 여태까지 고민해왔던 흔적을 담아내고자 노력했다. 나와 비슷한 문제에 대한 해답을 찾고 있는 누군가는 나의 걸어온 길을 살피고 나의 목소리를 조금이라도 믿어보려고 하지 않을까 생각한다. 철학자 쇼펜하우어가 그랬듯 내 시대가 아닌 내 후대가 들었으면 싶은 메시지를 담고자하였다.

## 1 Urban Space Robot

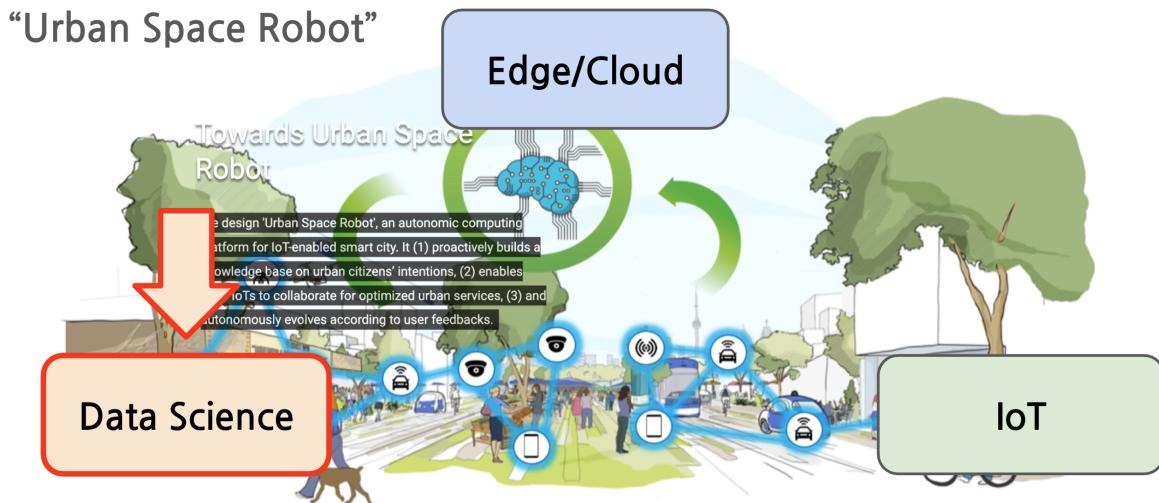


Figure 1: Urban Space Robot

도시 공간 로봇<sup>1</sup>이란 무엇인가? 특정한 작업을 위해 프로그래밍되어 움직이는 수동적인 기계와 다르게, 로봇은 특정 상황을 해결하기 위한 알맞는 솔루션을 스스로 제공할 수 있다. 도시 공간 로봇은 도시의 과도한 도시화를 막고, 자동으로 필요한 건물을 건축하며, 지속적으로 도시민의 안녕과 만족을 위해 스스로 해결책을 마련해 해 나갈 것이다. 도시 공간 로봇은 상온의 숨쉬고 땀흘리는 동물과 비슷한데, 도시란 인구 밀도, 교통, 에너지 사용 등이 균형 있게 효율적으로 일어나야 한다.

가까운 미래 도시에서는, 엣지/클라우드 기술이 더욱 발전되어 많은 부분들에 활용될 것이다. 이 기술은 IoT 장비들을 여러 플랫폼에 사용할 수 있게 하고, 이러한 장비들은 스마트 교통 카메라, 전기 스쿠터, 전기 자동차 등을 포함한다. 이러한 도시에 있는 IoT 장비들에서 시공간 도시 데이터가 어마어마하게 만들어질 것이며, 데이터를 이해하기 위한 해결책을 마련하는 것이 필요하다. 이러한 도시의 데이터들은 본 박사논문에서 제안하는 도시의 임베딩(Urban Embedding)으로 학습되어 다양한 딥러닝 기반의 AI 어플리케이션에 접목되어 활용될 것이다.

<sup>1</sup>도시 공간 로봇은 저자가 속한 CDSN 연구실의 핵심 비전이다 – <http://cds.kaist.ac.kr/>

## 2 The City as Will and Representation

본 박사논문의 저자는 아서 쇼펜하우어 (Arthur Schopenhauer; 1788–1860)의 역작 “의지와 표상으로서의 세계 (German: *Die Welt als Wille und Vorstellung*)”에 큰 철학적 영향을 받았다.

“세계는 나의 표상이다. 인간은 태양과 대지를 아는것이 아니라 태양을 보는 눈과 대지를 느끼는 손을 지니고 있음에 불과하다는 것, 인간을 에워싸고 있는 세계는 표상으로서만 존재한다.”  
– *의지와 표상으로서의 세계*, 1권, 1장

쇼펜하우어는 세상을 표상과 의지라는 두가지 개념으로 이해할 수 있다고 믿었다. 표상(Representation)<sup>2</sup>이란 우리가 감각기관을 통하여 느끼는 모든것을 포함한다. 예를 들어, 우리가 숫자를 보면, 실제로 일어나는것은 우리의 눈이 시각적 신호를 뉴런전기신호로 바꾸어 뇌로 전달하고, 최종적으로 그 숫자가 어떤 값인지를 맞춘다. 쇼펜하우어는 이러한 인식들의 단계들을 모두 표상이라고 보았으며, 공교롭게도 딥러닝은 이와 거의 유사하게 작용한다. Figure. 2을 보면 컨볼루션뉴럴네트워크(Convolutional Neural Network)기반의 딥러닝 구조로 숫자 이미지를 읽어 최종 분류화를 하는 모델을 제안하는데, 어떠한 잠재 벡터(Latent Vector) 단계에서 모든 것이 실수값으로 벡터화된 임베딩 표상 (Embedded Representation)으로 존재함을 볼 수 있다.

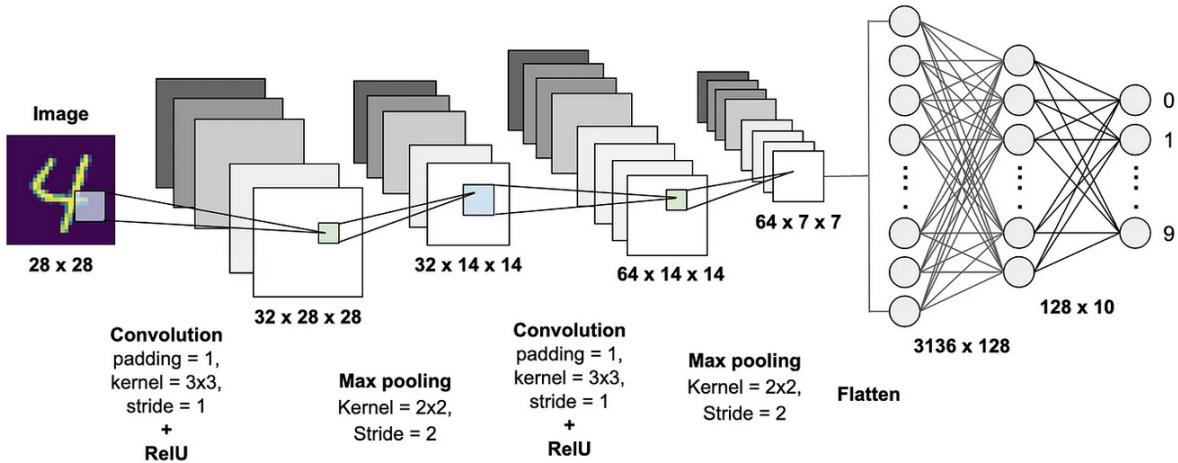


Figure 2: 컨볼루션뉴럴네트워크(CNN)와 임베딩 표상(Embedded Representation)

반면에 쇼펜하우어에게 의지(Wille)란 개념은 일반적인 의미를 넘어, ‘욕망’, ‘욕구’, ‘갈망’, ‘추구’, ‘노력’, ‘고집’ 등을 포함하는 개념이다<sup>3</sup>. Figure 3를 보면 사람들이 도시에 방문하고 싶어하는 강한 의지를 느낄 수 있다. 특히 피크 지역중 하나는 보스턴의 경제 구역(Financial District)로, 도시민들의 물질적 성공 욕망, 도시민의 가치관과 그들의 의지를 보여준다고도 볼 수 있다.

“세계가 한편으론 철저히 표상이듯이 다른 한편으론 철저히 의지이기도 하다.”  
– *의지와 표상으로서의 세계*, 1권, 1장

도시를 표상과 의지로 나누어서 생각해보면 많은 부분들이 명쾌하게 이해될 때가 많다. 아시아의 도시와 유럽의 도시를 비교해보자면, 아시아의 도시(한국, 중국 등)들은 편리성, 효율성, 경제성 등 물질적 숫자로 표상될 수 있는 것들로 도시를 평가한다. 심지어 개개인의 가치조차 학벌, 실적, 재산 등 정량적 지표로 타인을 평가한다. 이는 과거 높은 인구밀도로 인해 교육이나 일자리의 기회를 얻는 사람이 적었고, 선형적(a priori) 감각을 기반으로 하는 책임감이나 사명감과 같은 정신적인 에너지가 많이 소비되는 정성적인 평가기준 보다는 비교적 기존의 통념에 따라 시스템을 만들어 효율적으로 인간의 가치를 평가할 수 있는 정량적 시스템이 기반하였을 것이라고 추측해본다.

반면에 유럽의 도시들은 아름다움, 웅장함, 종교, 역사적 가치 등 도시마다의 이야기를 갖고있다. 이들의 도시민들은 모든 개인이 취향과 개성이 있듯이 다양성을 존중하며 타인의 가치관이 잘못되었다고 함부로 말하지 않는다. 즉 개개인이 추구하고자 하는 의지를 존중한다. 어쩌면 이 글은 개개인의 개성과 의지와 다양성이 거세된, 오직 표상으로만 이루어진 대한민국이라는 아시아의 작은 세계에 갇혀, 정작

<sup>2</sup>딥러닝에서 논하는 Representation은 표현 보다는 표상으로 번역하는것이 어울린다. 표현은 주로 예술분야에서, 표상은 주로 공학에서 언급된다.

<sup>3</sup>의지와 표상으로서의 세계 (홍성광 옮김)의 44페이지의 주석을 참조

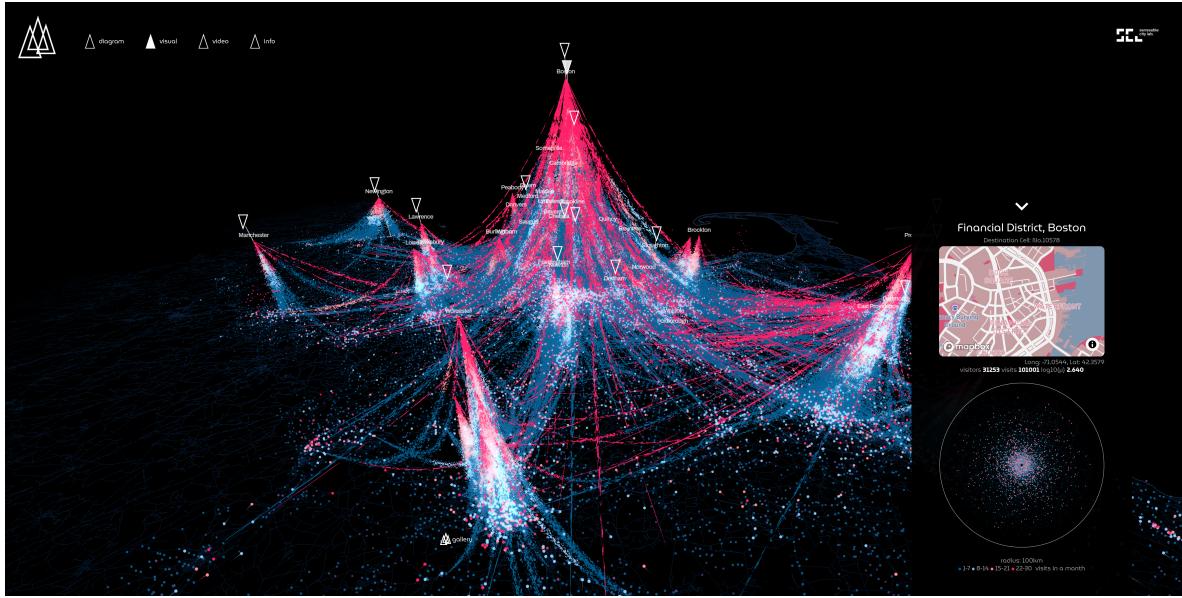


Figure 3: Human movement in WanderLust by MIT Senseable City Lab

중요한 인류에 공헌하고자 하는 순수한 의지가 필요한 분야가 과학임을 망각한 학자들을 위하여 작성하게 되었다.

결론적으로 본 박사논문에서도 활용하는 방법론인 딥러닝(Deep Learning)은 의지가 아닌 표상의 영역의 문제에 대해서만 적용이 가능해짐을 유추할 수 있다. 또한 그 한계점이 명확하다. 마치 어떤 옷이나에게 어울리는지를 고민하는 지능을 인공지능이 완벽하게 추천해줄 수는 없듯이, 왜 나에게는 렇랑의 열정소나타보다 백건우의 열정소나타가 더 아름답게 들리는지는 딥러닝이 판단해 줄 수 없다. 어쩌면 후대 세대가 인공지능으로 대체되지 않을 수 있는 유일하게 갖춰나갈 수 있는 지능은, 나는 어떤 음식을 먹었을 때 기분이 좋은지, 어떤 옷을 입고 싶은지, 어떤 음악을 듣는게 좋은지, 지금 무엇을 해야 내가 행복할 수 있는지를 스스로가 결정할 수 있는 원초적인 지능이라고 저자는 주장하고 싶다.

### 3 Contribution as a Computer Scientist

도시에 관한 연구는 정치, 경제, 문화, 인종 등 사실상 세상의 모든 것에 관한 연구이기 때문에 매우 복잡하고 난해하다. 상관관계로 보이는 수많은 변수들 사이에서 인과관계를 정확히 파악하기 어렵고, 도시의 변화를 예측하기 위한 변수가 너무나도 많다. 앞서 언급한것 처럼 도시는 단순히 **표상**으로 나타나는 정량적인 지표로 읽히기보다 도시의 문화와 개개인의 가치관과 같이 **의지**로 나타나는 정성적인 지표로 읽혀야 할 필요가 있는 경우가 많기 때문이다. 예를들어 GDP가 높은 국가일지라도 사람들끼리 소통하지 않고 실질적 값어치가 없는 명품이나 부동산과 같은 물질로 서로를 경쟁시키는 암울한 분위기에서는 앞으로의 미래 성장을 점치기가 어렵다. 반면에 GDP가 낮은 국가일지라도 사람들의 교육수준이 높거나 좀 더 평등하면서 활발한 소통과 서로를 돋는 커뮤니티가 잘 형성된 곳은 미래 성장 가능성이 크다고 볼 수 있다.

컴퓨터 과학자가 인류에 공헌 할 수 있는 일은 앞서 언급한것처럼 과학예술 혹은 엔지니어 분야로 나누어 생각해볼 수 있다. 과학예술자는 도시에서 정량적으로 나타나는 지표로부터 정성적인 의미를 파악하고, 사회적 문제를 진심으로 느끼고, 그것을 사람들이 공감하고 소통 하기위한 작품으로 만들어 낼 수 있다. 특히 MIT Senseable City Lab<sup>4</sup>에서는 이러한 도시 데이터의 시각화 연구를 많이 수행해왔다. 한편 엔지니어는 도시의 인공지능을 비롯한 다양한 솔루션들을 이용해서 효율적으로 이를 해결할 수 있는 기반을 만들 수 있을것이다. 특히 도시의 시공간데이터의 경우 그 복잡성으로 인해 데이터가 제대로 정제되어있지 않은 경우가 많이 있는데, 정제되지 않은 데이터로 실험을 할 경우 가비지 인 가비지 아웃(Garbage in, garbage out)의 결과가 도출될 가능성이 크다. 예를 들어 본 저자가 발표한 교통 예측 모델(Urban Activity-based Graph Convolutional Recurrent Neural Network: UAGCRN)의 경우[HPL<sup>+23</sup>], 최초로 제안된 Diffusion Convolutional Recurrent Neural Network (DCRNN)[LYSL18] 이후 6년간 100 편 가까이 논문이 출판되는 동안 그 어떠한 연구자도 최초 제안된 그래프컨볼루션반복네트워크의 가장 핵심인 그래프의 연결성 가중치 값의 과학적 당위성을 파악하지 않은 채, 오직 딥러닝 모델 아키텍쳐의

<sup>4</sup><https://senseable.mit.edu/>

복잡성을 높여 그럴싸해 보이는 논문 출판 개수를 늘리는 것에만 집중해왔다고 감히 논평한다.

컴퓨터 과학자들은 단순히 교통을 편리하게 만드는 솔루션을 만드는 것을 넘어, 진정으로 도시민들이 원하는 것이 무엇인지를 정성적으로 끊임없이 고민해야 한다. 예를 들어 정량적으로 도시의 교통 정체 예측 모델을 평균 절대 오차(Mean Absolute Error)로 학습할 수는 있겠으나, 그 모델의 정확도가 도시민을 위한 서비스의 실질적 만족도를 높인다고 말하기 어렵다. 다시 말해 ‘평균 절대 오차’ 또한 모델을 학습시키기 위한 하나의 표상적 수단일 뿐, 이것이 도시민의 행복도를 어느 정도 정량적으로 표상하여 측정할 수는 있겠으나, 그것이 정성적인 만족도를 의미한다고 단정지울 수 없다. 다시 말해, 본질적으로는 정량적 지표보다는 정성적인 도시민의 만족감을 따져서 도시 공간 로봇을 설계해야 한다. 좋은 도시란 어떠한 정량적 규격이 정해진 곳이 아니다. 누군가는 차와 다과를 먹으며 마음의 여유를 가질 수 있는 곳을 원할 것이며, 누군가는 각테일 바에 가서 당구를 치며 새로운 사람들과 어울릴 수 있는 시끄러운 곳을 원할 것이다. 사람이 사는 곳은 돈을 벌어 부동산을 사는 곳이 아닌, 커뮤니티와 대화하고 주변인을 도울 수 있으며 인류의 문제를 함께 해결해 나가는 행복한 사회가 되어야 한다.

## References

- [HPL<sup>+</sup>23] Sumin Han, Youngjun Park, Minji Lee, Jisun An, and Dongman Lee. Enhancing spatio-temporal traffic prediction through urban human activity analysis. In *Proceedings of the 32nd ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, pages 689–698, 2023.
- [LYSL18] Yaguang Li, Rose Yu, Cyrus Shahabi, and Yan Liu. Diffusion convolutional recurrent neural network: Data-driven traffic forecasting. In *6th International Conference on Learning Representations, ICLR 2018, Vancouver, BC, Canada, April 30 - May 3, 2018, Conference Track Proceedings*. OpenReview.net, 2018.