“Bike Sharing”+”Deep Learning”

A bike sharing system provides convenient and sustainable urban mobility to users, while governments solve problems such as traffic congestion, environment, resident health, etc. The sharing system is generally conducted through dock-based and dockless services which are distinguished from restriction of the rent or return locations. The dock-based services require dock planning with comprehensive PoI analyses of the cities and existing transportations (bus, subway, bicycle path, etc.). The dockless services provides better flexibility to users mobility, however, it requires providers to cost expensive maintenance due to sidewalk blocking or bicycle theft and damage controls. Hence, inadequate service operations lead to oversupply or service failure, as in China's bicycle grave case [2]. Furthermore, imbalance of the bike supply-demand is inevitable problem of these services due to spatial characteristics of the cities. The current rebalancing solution is collecting and reallocating bikes by other vehicles, despite of their time intensive and high-cost operations.

바이크 공유 시스템은 스마트 도시모빌비티로 사용자에게 이동성을 부여하면서 정부 및 지자체는 교통혼잡, 환경, 주민건강, 등의 문제를 해결한다. 이 시스템은 크게 도시의 지정된 장소에서 대여/반납하는 도크기반 서비스와 사용자들의 자율적 운용에 의존하는 도크리스 서비스로 구분된다. 도크기반 서비스는 이용 시작과 끝 지점이 제한되기 때문에 활성화를 위해서는 사용자 집중지점들을 분석하고 자전거 도로와 기존 교통수단(버스, 전철 등)과 융합된 도시 스테이션 설계를 필요로 한다 [1]. 도크리스 서비스는 사용자에게 더 큰 유연성을 제공하지만 보도 차단 혹은 자전거 도난 및 파손으로 인한 비용관리가 필요하다. 또한 부적절한 서비스 운용은 중국의 자전거 무덤 사례와 같이 공급 과잉 혹은 서비스 실패로 이어진다[2]. 게다가 시스템 운영측면에서, 두개의 서비스들은 도시 지형과 이동 특성에 따라 자전거의 공급과 수요의 불균형이 필연적이고, 운송수단으로 자전거를 수거하고 재분배하는 고비용의 리발란싱을 수행한다.

공유 자전거 시스템 관련 초기연구는 자전거 서비스의 수요와 weather, built environment and land use, public transportation, station level, socio-demographic effects, temporal factors, and safety 와 같은 인자들의 상관관계를 분석한다 [3, 4]. 이후 연구에서는 리발란싱 문제를 최적화하기 위해 자전거 대여 데이터 기반 딥러닝을 활용한다. 대부분의 연구에서 재배치 시뮬레이션에 따른 보상계산 방식이나 다음 어떤 시점의 자전거 수요량과 공급량 혹은 둘의 차이를 예측하는 방식으로 접근한다. 도시의 지형적 특성을 학습하기 위한 CNN모델의 활용과 이동성의 시간적 특성을 활용하기 위한 RNN 계열 모델이 활용된다 [ref short-term ]. 자전거의 이동은 대여와 반납 지점의 상관관계를 의미하고 vertex와 edge를 활용해 이를 효과적으로 반영하는 Graph Neural Network 기반 수요공급 예측모델이 제안되고 [ref redpacket], 예측 정확도 향상을 위해 영향인자 기반 클러스터링 기법이 함께 사용된다 [ref cluster based]. 최근 연구에서는 사용자의 이동과 반납에 대한 위치정보와 기상정보, 최근 이용패턴 등 다수의 정보를 동시에 입력으로 활용해 이후 세개의 입력으로부터 추출한 특성정보를 residual connection기반의 fusion layer를 통해 하여 예측 정확도를 향상시킨다 [ref adeeplearning-access, short-term]. 이러한 노력에도 불구하고 이 연구들은 리발란싱 작업에 예측결과의 구체적인 활용을 제시하지 못한다는 한계를 갖는다.

Early studies on bike sharing systems are mostly done to correlate the bike service demands with factors such as weather, built environment, public transportation, station level, socio-demographic effects, temporal factors, and safety [3, 4]. Most of related studies utilize deep learning based on bike rental data to optimize the rebalancing problem in the sharing systems. The DL-based methods approach the problem using Reinforcement learning that calculates reward of the action (i.e., decision) for optimal strategy or Supervised learning that predicts bike demand, supply, or their gap based on historical data. To this end, Convolutional Neural Networks to learn spatial characteristics of the region data and Recurrent Neural Network families to utilize the temporal characteristics of mobility are used [5]. These works evolve into using demand and supply prediction model that utilize Graph Neural Networks to effectively learn correlation between rental and return points [6]. Furthermore, an influencing factor-based clustering technique is used together to improve prediction accuracy [7]. In recent studies, the prediction models improve accuracy performance using fusion layers and residual connections on multiple input data such as geographical or meteorological information, and recent mobility patterns [5][8]. Despite these efforts, these studies present only prediction results or performances, while rebalancing problem still remains as challenge task.

현재 학습에 활용된 데이터셋은 트립의 시작과 끝지점의 위치정보만 사용하고 있으나 GPS trip 데이터의 추가활용은 사용자의 서비스 경험을 향상시킬 수 있다. 뉴욕, 워싱턴DC의 citybike, 시카고, 싱가폴, 타이페이 등 다양한 지역의 공유 자전거를 활용한 사용자 트립 데이터가 공개되어 있으나 이동경로의 GPS 좌표 정보등의 세세한 정보는 포함하지 않고 있다. GPS 데이터의 활용은 자전거(혹은 유저)의 현재 위치를 파악할 수 있으므로 학습된 데이터를 기반으로 실시간 추론 어플리케이션을 제공할 수 있다. 예를 들어, 유저의 실시간 이동 패턴은 사용자나 자전거의 컨디션 및 긴급상황을 추적할 수 있고 이동중인 자전거의 수량과 흐름을 예측하여 재배치 장소 및 수량, 시점을 근사할 수 있다. 축적된 데이터는 DL/ML기반 분석으로 사용자의 interest가 적은 지역을 선별하거나 도시 재구축, 상권 개발 등에 활용할 수 있다.

The datasets for model training and testing contains only bike rental and return location of the user trips. This is rational by practical difficulties in collecting and analyses on huge amount of urban data. However, GPS tracking data of the user trips can improve the user's service experience. The user trip data using shared bikes in various regions such as New York, Citybike in Washington DC, Chicago, Singapore, and Taipei are publicly opened without detailed route information (i.e., GPS coordinates). The GPS information enables real-time inference applications to provide location-based services, since the data can specify the current location of the bikes (or users). For example, a user's real-time movement pattern can track bike conditions or user emergencies, and can approximate optimal rebalancing strategy that includes location, quantity, and time of relocation by predicting bike flows in real-time. Moreover, the accumulated data can be used for DL/ML-based analyses on low interest areas in the city, urban reconstruction, and commercial district developments.

[1] Haoran Zhang, Xuan Song, Yin Long, Tianqi Xia, Kai Fang, Jianqin Zheng, Dou Huang, Ryosuke Shibasaki, Yongtu Liang, Mobile phone GPS data in urban bicycle-sharing: Layout optimization and emissions reduction analysis, Applied Energy, Volume 242, Pages 138-147, 2019.

[2] https://www.bbc.com/future/article/20210112-the-vast-bicycle-graveyards-of-china

[3] McKenzie, Grant. "Docked vs. dockless bike-sharing: Contrasting spatiotemporal patterns (Short Paper)." 10th international conference on geographic information science (GIScience 2018). Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2018.

[4] Ezgi Eren, Volkan Emre Uz, A review on bike-sharing: The factors affecting bike-sharing demand, Sustainable Cities and Society, Volume 54, 2020.

[5] X. Li, Y. Xu, Q. Chen, L. Wang, X. Zhang and W. Shi, "Short-Term Forecast of Bicycle Usage in Bike Sharing Systems: A Spatial-Temporal Memory Network," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, doi: 10.1109/TITS.2021.3097240.

[6] H. Zhu et al., "RedPacketBike: A Graph-Based Demand Modeling and Crowd-Driven Station Rebalancing Framework for Bike Sharing Systems," in IEEE Transactions on Mobile Computing, doi: 10.1109/TMC.2022.3145979.

[7] TAVARES, Bárbara; SOARES, Cláudia; MARQUES, Manuel. A Cluster-Based Trip Prediction Graph Neural Network Model for Bike Sharing Systems. arXiv preprint arXiv:2201.00720, 2022.

[8] M. Xu, H. Liu and H. Yang, "A Deep Learning Based Multi-Block Hybrid Model for Bike-Sharing Supply-Demand Prediction," in IEEE Access, vol. 8, pp. 85826-85838, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2987934.