

교통카드 데이터의 개별 통행 동적 시각화 방법

An Individual Trip Dynamic Visualization method using Smartcard Data

양현재* · 김근한** · 남현우*** · 전철민****

Yang, Hyunjae · Kim, Geunhan · Nam, Hyunwoo · Jun, Chulmin

요 旨

교통카드 데이터는 대중교통 이용 승객의 개별 통행이 미시적인 단위로 기록된다. 교통카드 데이터는 크기로 인하여 유의미한 패턴을 찾는 데 많은 시간이 소모되어, 대용량 시공간 데이터에서 패턴을 찾을 수 있는 시각화 기법이 활용되고 있다. 그러나 교통카드 데이터를 활용한 시각화 방법은 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 통행패턴을 확인할 수 있는 방법으로 교통카드 데이터에서 개별 통행을 동적으로 시각화하는 방법을 제안한다. 본 논문은 교통카드 데이터와 대중교통 네트워크로 개별 통행의 궤적을 추정하고, 추정된 궤적을 동적으로 시각화하는 방법을 제시한다. 제시한 방법론을 적용하여 강남역을 이용한 승객의 교통카드 데이터를 시각화하여 미시적인 통행 특성을 분석하였다. 분석 결과 강남역을 이용하는 버스 승객들이 평일 오전에 강남 이남과 이북에서 상이한 패턴을 보이는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 동적 시각화, 교통카드 데이터, 개별 통행, 통행 패턴

Abstract

Smartcard data contain individual movements of passengers as microscopic units. Finding meaningful patterns in smartcard data takes considerable time due to size. Thus, visualization technique is frequently used to find patterns in large scale spatio-temporal data. However, previous studies regarding visualization of smartcard data can not be found. In this paper, we proposed a method to visualize dynamically individual trips in smartcard data as a way to identify the travel pattern. We proposed a method that can visualize individual passages using smart card data and public transport network, which enables us to find movement pattern in microscale. The proposed method was applied to a test site(Gangnam Station). The result showed different patterns at north and south side of Gangnam Station on weekday mornings.

Keywords : Dynamic Visualization, Smartcard Data, Individual Travel, Travel Pattern

1. 서 론

교통카드 데이터는 개인의 통행을 알 수 있어 과거 설문조사를 기반으로 구축한 행동동 단위 통행 데이터와 달리 유동 데이터(flow data)로서의 활용가치가 크다. 유동 데이터는 사람이나 물건의 이동을 표현하는 데이터로 공간의 상호작용을 이해할 수 있다. 일반적으로 유동 데이터는 출발지와 목적지의 쌍으로 구성된다. 교통카드 데이터는 통행의 승차 정류장과 하차 정류장이 어딘지 기록되고 있어 유동 데이터로서 활용이 가능

하다. 특히, 이용한 노선의 정보를 통하여 통행의 궤적을 찾을 수 있다.

기존에는 교통카드 데이터에서 단순히 통행량을 집계하여 지역별 승차량이나 하차량, 환승량을 이용한 수요 추정이나 통행 특성 분석이 주로 이루어졌다(Hwang, 2014; Munizaga and Palma, 2012; Lee and Kim, 2016). 최근에는 교통카드 데이터에서 승객이 이동한 경로를 활용하여 주중의 통행 패턴의 차이나 노선의 변화에 따른 통행 패턴의 차이를 통행 흐름의 변화로 파악하는 분석이 시도되고 있다(Oh et al., 2015;

Received: 2017.11.08, revised: 2018.03.08, accepted: 2018.06.18

* 정회원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정(Member, Ph. D. Student, Department of Geoinformatics, University of Seoul, greenbag1897@uos.ac.kr)

** 한국환경정책평가연구원 연구원(Researcher, Korea Environment Institute, ghkim@kei.re.kr)

*** 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정(Ph. D. Student, Department of Geoinformatics, University of Seoul, hwnam@uos.ac.kr)

**** 교신저자 · 정회원 · 서울시립대학교 정교수(Corresponding Author, Member, Professor, Department of Geoinformatics, University of Seoul, cmjun@uos.ac.kr)

Park and Koo, 2016). 이를 통해 연구자나 정책입안자들은 기존의 분석보다 미시적인 통행 패턴들을 찾아 정책결정에 활용하고 있다.

그러나 교통카드 데이터를 미시적인 유동 데이터로 분석할 수 있는 기법은 미비한 실정이다(Lee and Jang, 2015). 시각화 기법은 대용량의 시공간 데이터를 이해하기에 효과적인 방법으로 연구되고 있다(Seo and Kim, 2015; Kim et al., 2016b). 유동 데이터는 시공간 데이터의 일종으로 사물이나 사람의 흐름을 내포하고 있어 다양한 시각화 기법들이 연구되었다. 유동 데이터를 시각화하는 기법 중에 하나인 유선도(flow map)는 흐름을 이해하는 데 효과적인 주제도로 알려져 있다. 그러나 일반적으로 활용되는 유선도는 출발지와 도착지를 직선으로 연결하여, 출·도착지의 개수가 늘어날수록 지도의 가독성이 떨어지는 비주얼 클러터링(visual cluttering)의 문제를 야기한다(Guo, 2009; Kim and Lee, 2017). 특히 교통카드 데이터는 일반적으로 다른 유동 데이터보다 훨씬 큰 데이터의 크기를 가지고 있어 비주얼 클러터링이 더 크게 나타난다.

이에 본 연구에서는 교통카드 데이터를 유동 데이터로서 시각화하여 효율적으로 패턴을 찾을 수 있는 동적 시각화 기법을 제안한다. 먼저 통행을 가시화하기 위한 방법으로 개별 통행의 궤적을 추정하였고, 개별 통행이 시공간에 분포한 형태를 효과적으로 사용자에게 전달하기 위하여 동적 시각화 방법을 적용하였다. 또한, 개별 통행이 가지는 이동시간이나 환승횟수 등과 같은 속성을 활용하여 다양한 관점에서 시각화의 활용을 제시하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2절에서는 교통카드 데이터를 시각화한 관련 연구들을 고찰하였다. 3절에서는 개별 통행을 시각화하기 위하여 교통카드 데이터 구축 방법과 대중교통 네트워크 구축 방법, 시각화 방법을 제시하였다. 4절에서는 서울시를 대상으로 제시한 방법을 적용하고 그 결과를 서술하였다. 마지막 5절에서는 연구결과와 향후 연구 과제에 대하여 논하였다.

2. 관련 연구

교통카드 데이터를 유동 데이터로 이용한 시각화는 다양하게 시도되고 있다. 최근 위치정보를 수집할 수 있는 GPS를 비롯한 장치들이 사용됨에 따라, 대량의 시공간 데이터를 분석할 수 있게 되었다. 이에 대량의 시공간 데이터를 분석하기 위한 방법으로 시각화 기법들이 다양하게 연구되고 있다. 특히, 시공간 데이터에서 출발지와 목적지로 이동하는 사람이나 차량의 통행

과 같은 유동 데이터를 유선도의 형태로 시각화하는 연구들이 이루어지고 있다(Andrienko and Andrienko, 2008; Crnovrsanin et al., 2009; Bast et al., 2014). 이러한 맥락에서 시각화 기법들을 이용하여 교통카드 데이터를 유선도로 시각화한 연구들이 이루어졌다.

교통카드 데이터의 분석에 시각화를 활용한 연구들은 시공간에 분포한 통행을 효과적으로 시각화하기 위해서 여러 시점에서 통행 패턴의 차이를 비교하거나, 통행 유형이나 이용 노선을 구분하여 시각화하였다(Park and Koo, 2016; Tao et al., 2014). Tao et al.(2014)은 급행 버스를 이용하는 패턴과 비급행 버스를 이용하는 패턴의 차이를 비교하기 위해서 두 버스를 이용하는 통행을 유선도로 표현하였다. 또한, 통행패턴의 차이를 확인하기 위해서 Tao et al.(2014)은 각 시간대도 구분하여 시각화하였다. 이러한 방법은 다양한 속성을 활용할 수 있는 장점이 있다.

동적 시각화는 시간의 흐름에 따라 정보의 변화를 시각화하는 기법이다. 일반적인 시각화 기법은 시각화된 결과물이 고정되어 변화하지 않는다. 반면, 컴퓨팅 기술의 발전으로 대량의 시공간 데이터를 시각화할 수 있게 되면서 한 시점에 고정되어있지 않고 동적으로 변화하는 시각화 기법이 연구되었다. 다양한 시공간 데이터의 동적 시각화 기법들이 연구되었으나, 교통카드 데이터에 관한 연구는 많지 않다(Itoh et al., 2013; Kawamura et al., 2015; Lee et al., 2017). Itoh et al.(2013)과 Lee et al.(2017)은 링크(link)와 정류장(node)의 높이와 색상으로 통행량을 표현하는 동적 시각화 기법을 제시하고, 각각 도쿄와 서울의 지하철 승객의 통행량을 시각화하였다. 이러한 방법은 다양한 시간 축에 분포한 패턴을 확인할 수 있는 기법으로 효과적이다.

그러나 기존의 방법론은 통행량을 표현하는 데 치중하여 속성을 표현할 수 없거나 다양한 시점에서의 통행 패턴을 효율적으로 확인하기 어렵다. 일반적으로 교통카드 데이터를 시각화한 결과에서 다양한 통행 속성을 활용하고 있으나, 시공간에 분포한 데이터를 비교하는 데 많은 시간이 소모된다. 동적 시각화 기법으로 교통카드 데이터를 시각화한 선행연구에서 다양한 시간대의 통행패턴을 효과적으로 찾을 수 있는 것을 확인하였다. 하지만 공간데이터를 활용하기 위해서는 속성데이터의 연계가 필수적이다(Kim et al., 2016a). 통행의 다양한 속성을 표현할 수 없으면 시각화로 전달할 수 있는 정보에 한계가 존재하기 때문이다. 그러나 통행을 집계하면 링크나 점에서의 높이, 색상으로 해당 통행들의 속성을 표현해야한다. 유출·유입의 여부나 승객의

종류와 같은 속성은 평균이나 합처럼 하나의 값으로 집계하기 어렵기에 시각화할 수 없는 한계를 가진다.

이에 본 연구에서는 교통카드 데이터에서 통행의 속성을 활용할 수 있고 다양한 시간대의 통행패턴을 효과적으로 파악할 수 있는 방법으로 개별 통행을 동적으로 시각화하는 기법을 제시하였다. 다양한 통행 속성을 활용하기 위해서 개별 통행을 시각화하였으며, 여러 시간대의 분석을 위해서 동적인 시각화 기법을 적용하였다.

3. 방법론

본 연구는 개별 통행을 시각화하기 위하여 교통카드 데이터와 대중교통 네트워크, GIS 도구인 Carto를 이용하였다. 시각화 과정은 Fig. 1과 같으며, 교통카드 데이터를 통행 데이터(travel data)로 변환하는 과정과 통행 데이터에서 시점별 위치 데이터를 추출하는 과정, 데이터를 필터링하고 관련된 속성정보를 이용하여 지도에 통행을 가시화하는 과정으로 진행된다.

3.1 통행 데이터 변환

통행의 다양한 속성을 활용하기 위하여 교통카드 데이터를 통행사슬 기반의 통행 데이터로 변환한다. 대중교통 통행의 주체는 승객이지만, 교통카드 데이터 하나의 열(row)에는 승객이 하나의 교통수단으로 이동한 기록이 저장된다. 따라서 교통카드 데이터를 이용하여 승객의 통행을 구조화하여야 통행에서 발생한 다양한 속성을 활용할 수 있다. 이에 교통카드 데이터를 이용하여 승객, 통행사슬, 단일통행으로 이루어진 세 개의

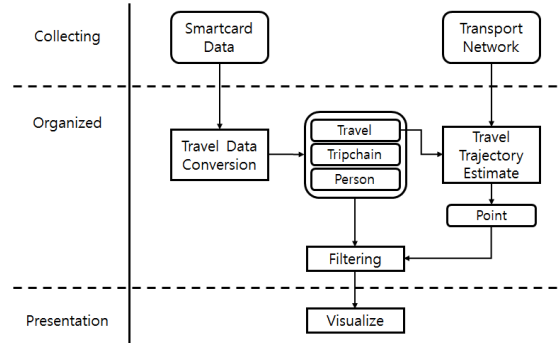


Figure 1. Visualization process

테이블로 구성된 통행 데이터로 변환하였다.

단일통행 테이블은 하나의 교통수단으로 이동한 통행을 의미하여 승·하차 정류장과 이용한 노선, 차량, 이동거리와 같은 데이터를 담고 있다. 통행사슬은 최초출발지에서 최종목적지까지 일어난 일련의 통행 집합을 의미한다. 통행사슬 테이블은 환승횟수, 출근 통행여부, 대기시간, 환승대기시간, 버스 지하철 연계와 같은 데이터를 가진다. 승객 테이블은 나이와 주중 통행횟수와 같은 데이터를 가진다.

통행 데이터를 구축하는 방법은 다음과 같이 진행하였다. 교통카드 데이터에서 카드ID를 기준으로 승객 테이블을 구축하였다. 그리고 동일한 승객이며 30분 이내에 다른 노선을 탑승한 통행을 찾아 통행사슬 테이블로 구축하였다. 마지막으로 구축한 승객 테이블과 통행사슬 테이블을 이용하여서 교통카드 데이터에서 결측 데이터를 보정하여 단일통행 테이블을 구축하였다.

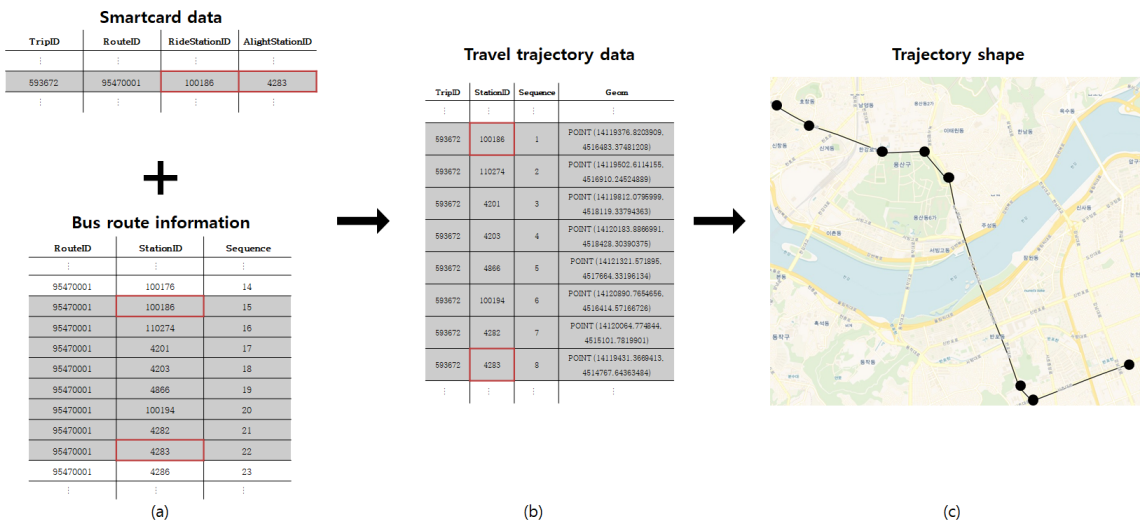


Figure 2. An example of estimation of a travel trajectory: (a) Raw data tables of smartcard and bus route, (b) Finding each station point, (c) A trajectory linking the found points

3.2 통행궤적 추정

개별 통행을 지리적으로 표현하기 위하여 승객이 이동한 통행궤적을 추정한다. 통행 데이터에서 움직인 경로를 찾기 위하여 단일통행 테이블의 승·하차 정류장과 이용한 노선으로 지나간 통행궤적을 추정하였다. 각 정류장의 위치정보를 사용하기 위하여 대중교통 네트워크에서 각 정류장의 경위도 좌표를 이용하였다. Fig. 2는 통행궤적을 추출하는 예시이다. 첫 번째 과정에서 교통카드 데이터의 통행 테이블에서 승·하차 정류장과 노선 정보를 이용하여 경유한 정류장들을 순서대로 찾았다. 두 번째 과정에서 경유한 정류장들의 좌표를 연결하여 통행궤적을 구축하였다.

3.3 Carto를 이용한 시각화

개별 통행을 애니메이션으로 표현하기 위하여 Carto를 이용하였다. ArcGIS, QGIS를 비롯한 GIS 도구들은 대용량의 공간정보를 지도상에 시각화하는 데 소요되는 시간이 길고, 시간의 흐름에 따라 동적으로 변화하는 지도를 생성하기 어렵다. 반면, 비전문가가 시각화 도구를 개발하기에는 시간이 많이 소요되어 데이터의 활용성이 떨어진다. 이에 본 연구에서는 대용량 공간데이터의 시각화가 가능한 Carto를 활용하였다.

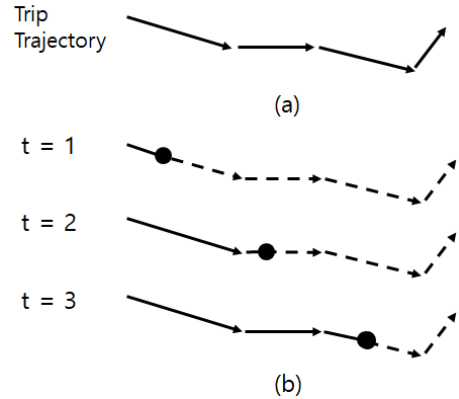


Figure 3. Visualizing a travel trajectory:
(a) An example of a trajectory
(b) Passing points of each time(t)

Carto는 다양한 오픈소스를 기반으로 지도를 생성하는 기능을 제공한다. 그 중, Torque.js는 위치와 시간으로 구성된 데이터를 애니메이션으로 구현해준다. 이에, 통행궤적에서 Fig. 3과 같이 1분당 위치와 시간을 추정하여, 단일통행의 궤적을 여러 개의 점 데이터로 변환하였다.

최종적으로 구축한 통행 데이터와 추정한 점 데이터

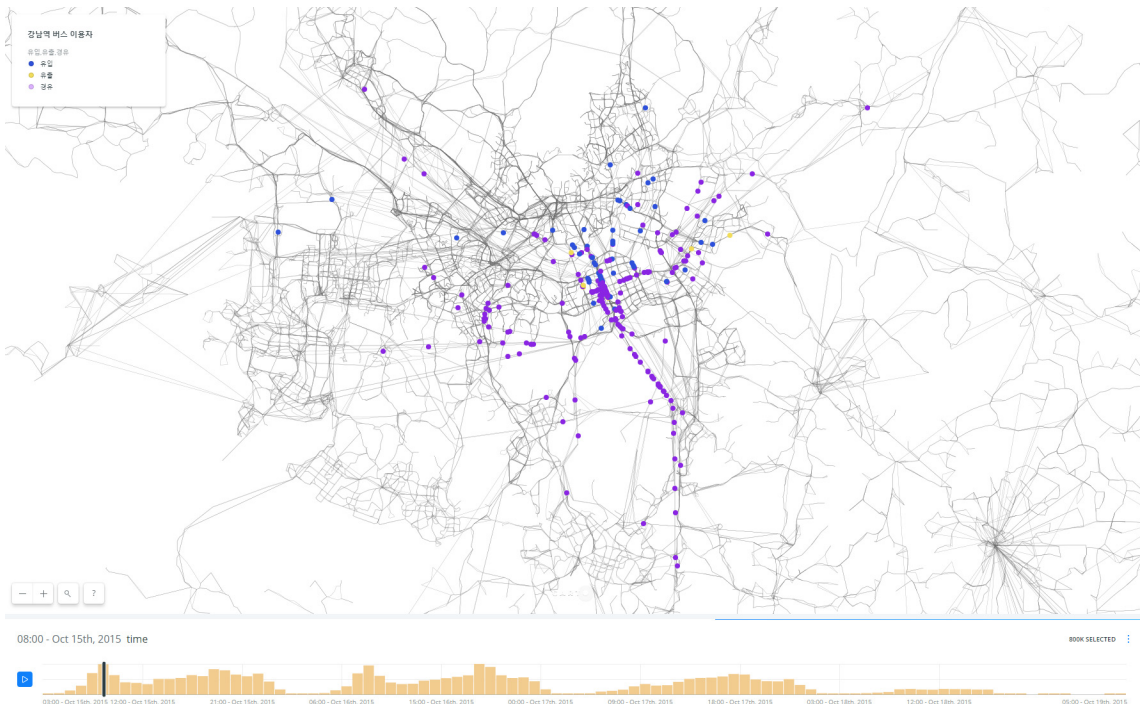


Figure 4. Visualization of individual passengers who used Gangnam Station

를 시각화하였다. 통행 데이터를 지역 혹은 시간으로 필터링하여 표현하고자하는 통행들을 동적으로 움직이는 애니메이션으로 표현하였다. 또한, 통행 데이터에서 각 테이블이 보유한 여러 속성을 점의 색으로 가시화하여 다양한 패턴들을 확인하였다.

4. 사례연구

사례 연구에서는 서울시 TOPIS에서 제공받은 2015년 10월 15일부터 18일까지 4일 간의 교통카드 데이터를 활용하였다. 연구기간 사이에 강남역과 그 주변 정류장을 버스로 이용한 승객의 통행은 약 9만 건으로 나타났다으며, 이를 본 연구에서 제시한 방법론으로 시각화

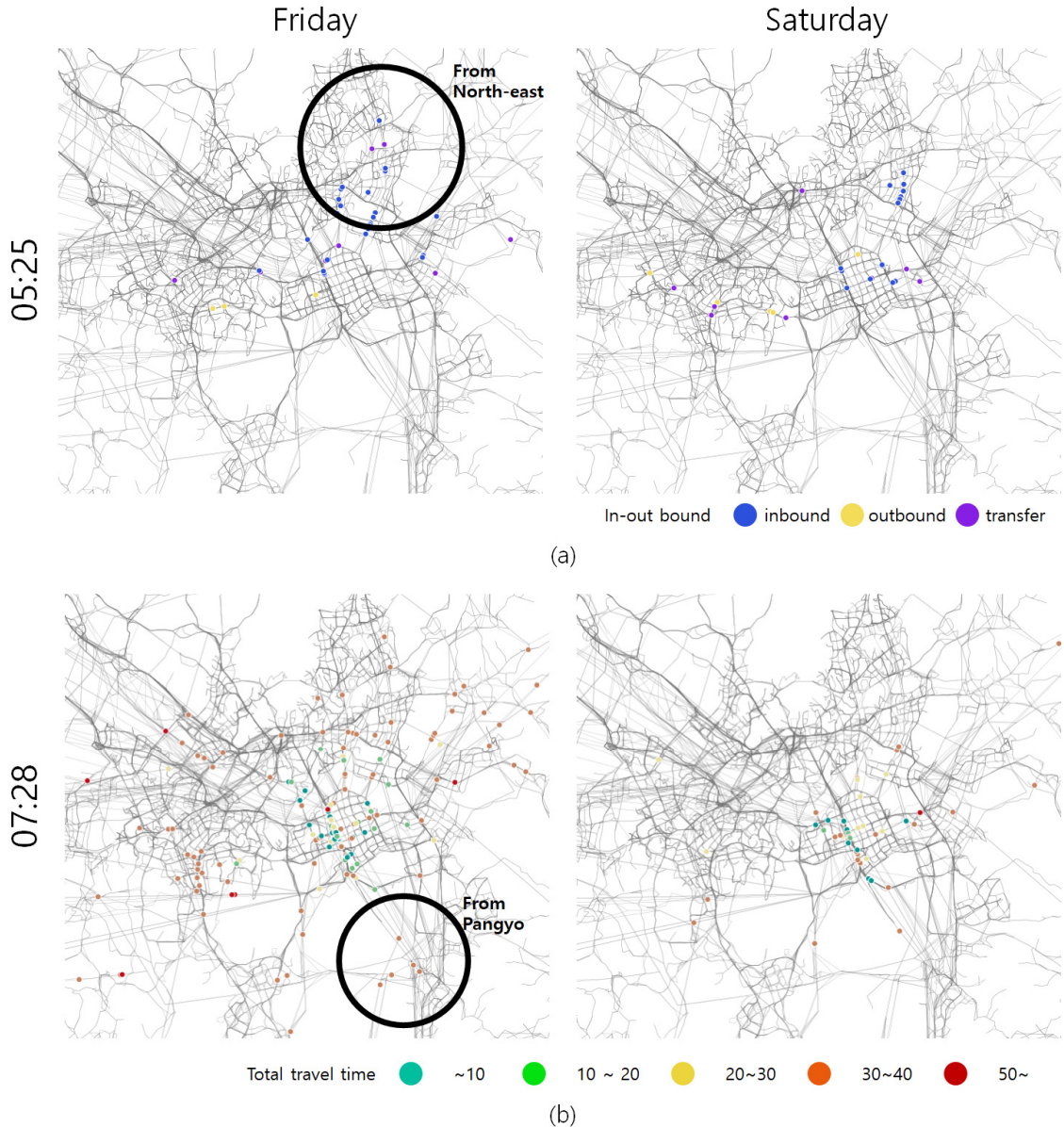


Figure 5. Microscopic patterns of forenoons on Friday and Saturday: (a) Passengers' in-out bound pattern at 5:25 am
(b) Passengers' total travel time pattern at 7:28 am

하고 분석 가능한 패턴들을 찾았다.

4.1 개별 통행 시각화

시각화 결과(<https://goo.gl/hXXpnp>)의 스냅 샷은 Fig. 4로 2017년 10월 15일 목요일 오전 10시에 통행자들의 위치와 서울시 버스 노선의 경로를 나타내고 있다. 각 점은 통행자들의 위치를 의미하며 선은 버스 노선들을 의미한다. 각 점의 색상은 통행자의 통행이 유입·유출·경유 인지를 구분하였다. 해당 통행의 유형을 구분하기 위하여 통행사슬 테이블에서 최종 목적지와 최초 출발지가 강남역인지 혹은 경유하는지를 찾았다. 또한, 하단의 바(bar) 그래프의 높이는 시간 당 점의 개수를 의미한다.

Fig. 4에서도 간단한 패턴을 확인할 수 있다. 목요일 오전에는 유출 통행이 거의 없다는 점과 많은 통행이

강남역을 경유를 목적으로 이용한다는 점, 그리고 강남역 일대와 판교, 인천 등 통행이 발생하거나 집중된 지역을 알 수 있다. 이는 강남역이 업무단지가 집중되어 있고 교통의 요충지이기에 나타난 것으로 판단된다.

4.2 통행 패턴

동적으로 시각화한 결과에서 몇 가지 패턴을 찾았다. 많은 통행이 강남역 인근에서 이루어지는 패턴과 전체 통행자 중에 경유 통행이 높은 비율로 발생하는 패턴, 인천과 판교, 서울동북부와 같은 외곽 지역에서 통행패턴의 차이 등 몇몇 패턴들이 나타났다. 그 중 평일 오전 시간대에서 시간대에 따라 통행량이 집중되는 지역이 차이는 패턴을 확인하였다. Fig. 5는 이러한 패턴이 나타나는 시점의 스냅샷이다. Fig. 5(a)는 오전 5시 25분에 각 승객의 유출·유입·경유 통행을 구분한 결과이다.



Figure 6. A flow map showing passengers who used Gangnam Station

Fig. 5(b)는 오전 7시 28분에 통행 중인 승객의 목적지까지의 총 통행시간을 표시한 결과이다.

평일 오전 시간을 살펴보면 오전 5시에서 7시까지의 통행과 7시에서 9시까지의 통행이 다르게 나타났다. 오전 5시에서 7시에는 서울 동북부에서 발생한 통행이 주를 이루었으나 7시 이후로는 판교에서의 통행이 많이 발생하였다. 반면 토요일에 동일한 시간대에서는 통행의 분포는 비슷하였으나 전반적으로 통행량이 적게 나타났다.

발견한 패턴을 확인하기 위해서 각 시간대의 통행을 집계하여 일반적인 유선도로 표현하였다. Fig 6은 2시간 간격으로 각각 오전 5시와 7시, 금요일과 토요일의 통행량을 집계하고 시각화한 결과이다. 이처럼 금요일 오전의 통행에서 5시에서 통행과 7시에서 통행이 집중되는 구간이 나누는 패턴을 확인하였다. 반면, 토요일에는 금요일에 비하여 전반적으로 통행량이 적고 토요일과 같이 시간대의 변화에 따른 패턴의 차이가 없음을 확인하였다.

시각화 결과, 강남역을 이용하는 버스 승객의 미시적인 패턴을 확인할 수 있었다. 강남 북쪽 지역의 이용은 대부분 강남역이 목적인 통행으로 이른 시간대부터 존재하였다. 반면, 강남 남쪽 지역의 통행은 강남역을 경유하여 다른 목적지로 이동하는 통행으로 강남 북쪽의 지역보다 늦게 발생하는 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구는 교통카드 데이터를 유동 데이터로 활용하고 미시적인 패턴을 효율적으로 찾을 수 있는 방법으로 개별 통행을 동적으로 시각화하는 기법을 제시하였다. 개별 통행을 시간의 흐름에 따라 이동하는 점으로 표현하기 위해, 데이터의 구축과 통행의 시점별 위치 추정, Carto를 이용한 시각화 방법을 제시하였다. 제시한 방법론을 서울시를 대상으로 적용하여 시각화를 수행하고 몇몇 패턴을 확인하였다.

사례연구에서 강남역 주변의 정류장을 이용한 버스 승객의 통행을 제시한 방법으로 시각화하고 패턴을 찾았다. 제시한 방법론을 시각화한 결과 몇몇 미시적인 패턴을 확인할 수 있었다. 그 중 평일 오전의 시간 차이에 따라 패턴의 변화를 보다 명확하게 확인하였다. 이를 통해 제시한 방법론을 이용하여 넓은 시간대에 분포한 교통카드 데이터의 통행 패턴을 미시적으로 분석할 수 있음을 확인하였다.

제시한 시각화 방법론의 한계로 지하철의 통행 데이터를 활용하지 못한 점과 실제 경로를 고려하지 못한

점이 존재하나, 교통카드 데이터를 직관적으로 분석할 수 있는 방법으로 의의가 있다고 판단된다. 지하철을 이용한 통행은 환승 정보가 없고 승차 시간을 알 수 없어, 본 연구에서는 버스를 이용한 통행만 시각화하였다. 또한, 실제 승객의 이동경로가 아닌 버스 노선의 정류장을 연결하여 통행궤적을 산출하여 실제 승객의 이동과는 차이가 존재한다. 그러나 제시한 시각화 기법으로 교통카드 데이터에서 미시적인 패턴을 찾을 수 있어 대중교통 운영자 및 실무자, 연구자에게 기존의 시각화 기법으로 찾을 수 없는 대중교통에 대한 통찰력을 제공해 줄 것으로 예상된다.

감사의 글

이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015S1A5B8046775)

References

1. Andrienko, G. and Andrienko, N., 2008, Spatio-temporal Aggregation for Visual Analysis of Movements, Visual Analytics Science and Technology, 2008. IEEE Symposium, pp. 51-58.
2. Bast, H., Brosi, P. and Storandt, S., 2014, Real-Time Movement Visualization of Public Transit Data, Proceedings of the 22nd ACM SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems, pp. 331-340.
3. Crnovrsanin, T., Muelder, C., Correa, C. and Ma, K. L., 2009, Proximity-based Visualization of Movement Trace Data, Visual Analytics Science and Technology, 2009 IEEE Symposium, pp. 11-18.
4. Hwang, J. H., 2014, Analyzing Factors Affecting Public Transit Transfer Volume: Focused on Daegu City, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 32, No. 3, pp. 179-186.
5. Itoh, M., Yokoyama, D., Toyoda, M., Tomita, Y., Kawamura, S. and Kitsuregawa, M., 2013, Visualization of passenger flows on metro, IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology, http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/top/modules/newdb/extract/1303/data/VAST2013_1.pdf.
6. Kawamura, S., Tomita, Y., Itoh, M., Yokoyama, D., Toyoda, M. and Kitsuregawa, M., An Effective Use of Tokyo Metro Passengers Flow by Visualization of Smart Card Ticket 'PASMO' Origin-Destination Data

- for Public Transport Network to be Sustainable, Proc. WECC, 2015.
7. Kim, G. H., Jun, C. M., Jung, H. C. and Yoon, J. H., 2016a, Providing service model based on concept and requirements of spatial big data, Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science, Vol. 24, No. 4, pp. 89-96.
 8. Kim, J. W. and Lee, G. H., 2017, Exploring geovisualization of flow data using a web-based data visualization tool, Journal of the Korean Cartographic Association, Vol. 17, No. 1, pp. 25-39.
 9. Kim, S. Y., Yeon, H. B. and Jang, Y., 2016b, Spatiotemporal Data Visualization using Gravity Model, Journal of KIISE, Vol. 43, No. 2, pp. 135-142.
 10. Lee, S. J. and Jang, D. I., 2015, Transit user's tempo-spatial pattern analysis and simulation with transportation databases, Research report, The Korea Transport Institute, KR, pp. 8-16.
 11. Lee, M. Y. and Kim, J. H., 2016, Analysis of Transit Passenger Movements within Seoul-Gyeonggi-Incheon Area using Transportation Card, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 15, No. 5, pp. 12-19.
 12. Lee, K. S., Kim, H. S. and Park, J. S., 2017, Time-Space variability analysis for the weekly passenger flow of the Seoul subway system: Based on dynamic visualization methods, Journal of the Economic Geographical Society of Korea, Vol. 20, No. 2, pp. 158-172.
 13. Munizaga, M. A. and Palma, C., 2012, Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin-Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile, Transportation Research Part C: Emerging Technologies 24, pp. 9-18.
 14. Oh, K. H., Kim, K. H., Lee, Y. K. and Jung, J. Y., 2015, Spatial Movement Pattern Analysis in Public Transportation Using Smart Card Data, Journal of Information Technology and Architecture, Vol. 12, No. 1, pp.129-134.
 15. Park, S. J. and Koo, D. H., 2016, Spatial Travel Patterns of Subway Passengers in Busan, Korea, The Geographical Journal of Korea, Vol. 50, No. 3, pp. 339-348.
 16. Seo, Y. M. and Kim, W. K., 2015, Information visualization process for spatial big data, Journal of Korea Spatial Information Society, Vol. 23, No. 6, pp. 109-116.
 17. Tao, S., Corcoran, J., Mateo-Babiano, I. and Rohde, D., 2014, Exploring bus rapid transit passenger travel behaviour using big data, Applied Geography, Vol. 53, pp. 90-104.