Global Report

CT-Mapper : 다층 교통네트워크를 이용한 다중 교통수단의 휴대전화 궤적

1. 서론
2. 연구내용
3. CT-Mapper 시스템
4. CT-Mapper 시스템의 평가
5. 결론

KAIA 국토교통 과학기술진흥원

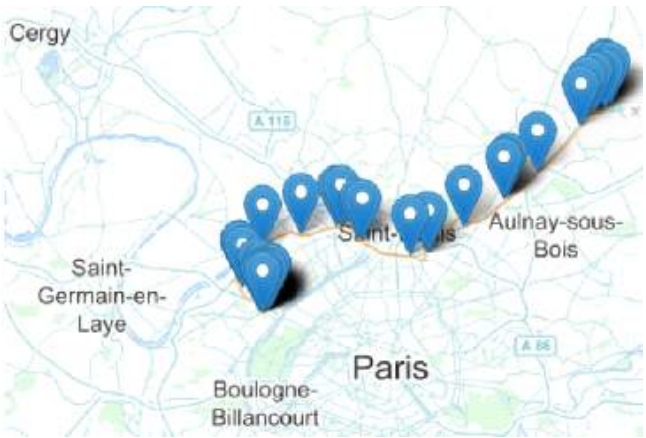
작성자 | 박세환

1. 서론

대도시에서 다양한 운송 네트워크(도로, 기차, 지하철 등)의 교통흐름에 대한 거시적인 분석은 매우 어려운 작업이다. 교통행정 당국은 다양한 교통시스템 전반에 대한 공통된 정보의 부재로 인해 도시 내 거주민의 이동성 패턴에 대한 통일된 관점을 확보하기가 힘들다. 이러한 맥락에서 최근의 휴대폰을 이용한 개인의 이동성 행동에 대한 데이터를 수집하고 분석하는 일이 주목받고 있다. 휴대폰의 유비쿼터스(ubiquitous)적인 사용행태 덕분에 휴대폰의 데이터 마이닝(data mining)은 대도시 지역에서 모바일 사용자의 대중교통(기차, 지하철, 버스 등)을 이용한 일일 이동경로를 파악하는 것에서부터 대중교통 사용 현황의 기록(record)까지, 다중교통수단을 이용한 거주민의 이동성을 이해하는데 대단히 유용한 방법이 되었다[1][2][3]. 대도시에서 거주민의 이동성 연구로서 GPS(Global Positioning System)를 이용한 전통적인 방법은 공간감지 데이터(sense spatial data)의 오차범위가 50m 이내이다. 이처럼 GPS 정보를 기반으로 한 데이터 획득 방법은 세밀한 이동성 궤적을 획득할 수 있도록 하지만, 두 가지 중요한 단점이 있다[4][5]:

- 첫째로, 에너지(연료)를 많이 소비한다는 점이다.
- 둘째로, 택시나 자동차 운전자 등과 같은 특정 집단에만 제한적으로 적용된다.

프랑스의 수도인 파리 국제공항에서부터 시내 중심가까지 여행자의 대중교통을 이용한 이동경로 파악을 통해 교통흐름에 대해 거시적인 분석을 실행하였다. 이때 GPS 궤적은 분(minute) 단위로 샘플링 하였다. (그림1 참조)



* 자료 : Fereshteh Asgari et al., “CT-Mapper: Mapping sparse multimodal cellular trajectories using a multi-layer transportation network”, ELSEVIER, Computer Communications (2016) 1 – 13.

※ GPS 궤적은 분(minute) 단위로 샘플링 하였음

[그림 1] 파리 공항에서 시내 중심가까지 여행자의 이동경로

GPS에 의한 데이터 감지(sensing) 기술은 대도시 인구의 이동성에 대한 대규모 데이터를 수집

하는 데에는 정확도 측면에서 약간 부적절하다고 할 수 있다. 이와 대조적으로, 휴대폰 데이터 네트워크 사업자에 의해 제공되는 휴대폰을 이용한 개인의 이동성 데이터 수집 작업은 이러한 부정확성 문제를 해소할 수 있다. 최근에는 대도시의 이동성 데이터를 수집하는 데 있어 모바일 네트워크 사업자의 CDR(Call Data Records)을 중요한 자원(Source)으로 이용하는 사례가 확산되고 있다[3][6][7].

2. 연구내용

2.1. CDR 매핑 알고리즘

개인이나 이동개체의 이동성에 대한 주요 연구방법으로 내비게이션 시스템, 트래픽 모니터링 및 대중교통 추적 등과 같은 GPS 데이터를 이용한 연구[8][9][10][11][12][13][14]가 주를 이루고 있다. 이외에도 EM(Expectation Maximization[15][16][17]) 및 HMM(Hidden Markov Model[8][9][10][18][19])과 같은 다양한 통계적 접근법을 이용하여 도시교통 네트워크의 순차적 위치 데이터를 매핑(mapping)하는 데 이용되고 있다. 이러한 접근 방법들은 50m의 공간감지 데이터 정학도를 가지는 GPS를 이용한다. 아울러 학습된 데이터(labeled data)를 이용하여 지도모델(Supervised Model, 자율 모델의 상대의미로 운영자가 제어하는 모델)의 모델 매개변수가 자동적으로 최적화 되도록 조절하였다. 이러한 모델의 세부 조정을 수행한 후, 이 모델을 이용하여 일련의 (노이즈가 포함된)위치 데이터에 연계된 네트웍 상에서 가장 가능성 있는 경로(most likely path)를 찾는데 사용된다. 그러나 대부분 이러한 매핑 알고리즘들은 데이터 매핑 시 도로 네트웍 이외의 다른 이동 수단을 고려하지 않고 개발되어 향후 이에 대한 보완이 필요하다.

2.2. 휴대전화 사용 기록(Call Data Records, CDR) 궤적을 이용한 이동성 모델링

휴대폰 사용이 급속히 증가되면서, 데이터 마이닝 기능을 이용하여 대도시의 대중교통을 통한 이동경로 파악 등 CDR 매핑 알고리즘을 이용한 정확한 위치데이터 제공 기술이 빠르게 확산되고 있다. 휴대폰을 통해 수집한 데이터 세트를 이용한 대도시 인구의 이동성에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 그러나 CDR 매핑 알고리즘에는 다음과 같은 두 가지 중요한 제한요인이 있다:

- 첫째, 휴대폰 사용자가 음성통화나 문자메시지를 통신할 때에만 간헐적으로 정보를 확인할 수 있다.
- 둘째, 휴대폰을 이용한 위치정보는 GPS에 비해 정확도가 현저하게 떨어진다는 제한요인이 있다.

이러한 제한요인이 있음에도 불구하고 거의 모든 주민들이 휴대폰을 사용한다는 사실은 이용교통수단의 유추(inferring transportation modes)등과 같이 개인의 이동성에 대한 중요한 측면을

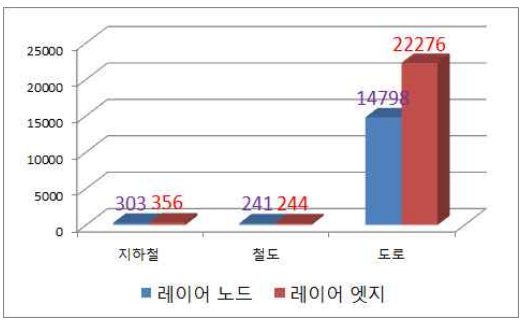
연구할 수 있도록 한다[3]. 휴대폰 데이터 네트워크는 장거리 여행 시 여러 가지 장거리 교통수단을 분류해 낼 수 있다[2][3]. Thiagaran 등은 휴대폰 데이터 네트워크에서 GPS 데이터의 한계를 극복하기 위해 CDR 매핑 알고리즘을 개발하여 휴대폰 센서에 이를 적용함으로써 데이터신호의 정확도를 향상시킬 수 있는 기술을 개발한바 있다[8]. 이 연구에서는 프랑스 파리의 도심영역(Paris metropolitan area : Ile-de-France)의 복합 교통네트워크에 휴대폰 이동궤적을 도식화할 수 있는 자율적(Unsupervised) 도식화 알고리즘을 재안한다.

3. CT-Mapper 시스템

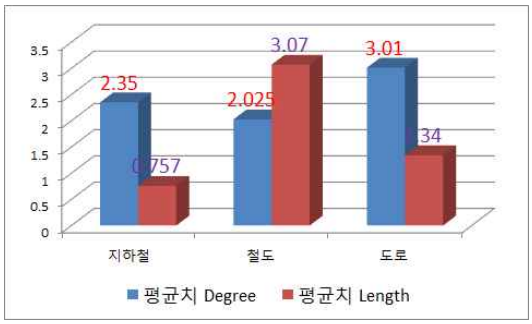
이 연구에 이용된 기본적인 교통네트워크는 파리 도심영역(Ile-de-France)의 복합 교통네트워크를 서로 다른 운송수단별로 분리된 도면 층으로 모델링하여 다층그래프 G(multi-layer graph G)로 연결된 네트워크를 구축하는 것이다. 이러한 다층그래프 G를 구축하기 위해 IGN(Institute of National Geographic)에서 모델링한 도로네트워크와, OSM(Open Street Map)을 이용한 운송네트워크(기차, 도시철도)등의 다양한 지형 공간 데이터집합(multiple geospatial data-sets)이 조합되었다[20][21]. 다층그래프 G의 각 노드는 도로 교차로, 철도역 또는 지하철역을 나타낸다. 다층그래프 G의 각 레이어별 지형적 차이점을 <표 1>에 나타낸다.

<표 1> 각 레이어별 교통 네트워크의 특성

구분	개수(Number)		평균치		
	노드	엣지	Degree	Length	Reference
지하철	303	356	2.35	0.757	OSM
철도	241	244	2.025	3.07	OSM
도로	14798	22276	3.01	1.34	IGN



레이어(노드/엣지)



평균치

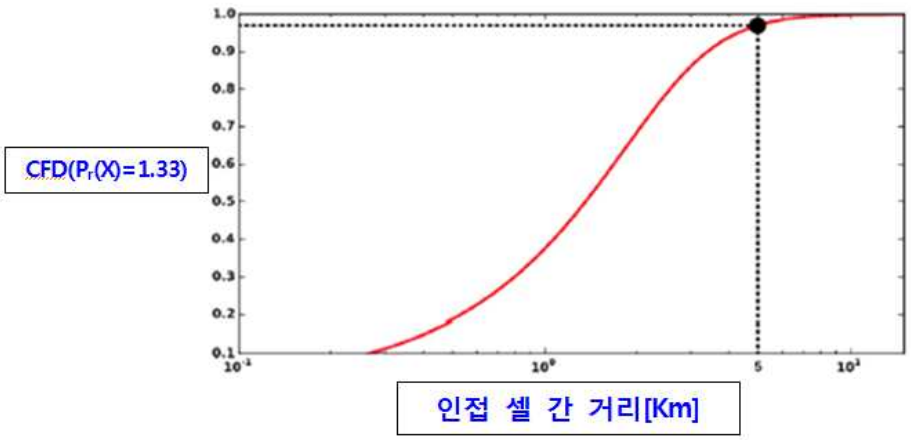
* 자료 : Fereshteh Asgari et al., “CT-Mapper: Mapping sparse multimodal cellular trajectories using a multi-layer transportation network”, ELSEVIER, Computer Communications (2016) 1 – 13 / recomposition.

상기 표의 내용은 예를 들어, 두 개의 연속된 교차점 사이의 평균 길이는 교통수단 층 별로 상당히 다른 결과를 나타낸다. 네트워크의 복잡성을 정량적으로 평가하기 위해 엔트로피를 측정

한 연구[1]도 있다.

4. CT-Mapper 시스템의 평가

이 연구에서 제안한 CT-Mapper 시스템의 성능을 평가하기 위해 2014년 8월~9월 사이 한 달 동안 수집한 참가자 10명의 휴대폰 이동 궤적과 이에 대응하는 GPS 데이터를 이용하였다. GPS 데이터는 참가자의 스마트폰에 설치된 응용프로그램을 이용하여 수집하였다. 캡처된 데이터를 통해 참가자들의 움직임(도보, 달리기, 사이클링, 교통수단이동)을 4개의 분류기준을 이용하여 이동하는 동안 스마트폰의 위치를 획득하였다. 이러한 데이터집합을 바탕으로 몇 가지 전처리단계를 거쳐 교통 네트워크상에 매핑할 휴대폰 궤적을 추출하였다. 참가자의 실제 휴대폰 궤적과 노이즈(무의미한 신호)의 구분에 필요한 공간적 정확도는 휴대폰 네트워크의 기지국 간 거리에 따라 좌우된다. 이러한 무의미한 노이즈를 제거하기 위해, 임계치(Pr) 이하의 궤적은 걸러내었다. 이때 모든 궤적에 대한 필터링 임계값은 $P_r(X<X_{th})=q$로 계산할 수 있다. 여기서 $P_r(X)$는 인접한 휴대폰 안테나 간 거리 분포로서 [그림 2]와 같이 $P_r(X)=0.97$ 일 경우, 모든 인접거리는 5Km 미만으로 나타난다.



* 자료 : Fereshteh Asgari et al., “CT-Mapper: Mapping sparse multimodal cellular trajectories using a multi-layer transportation network”, ELSEVIER, Computer Communications (2016) 1 – 13.

[그림 2] CT-Mapper 시스템의 성능평가를 위한 인접한 휴대폰간 거리 분포

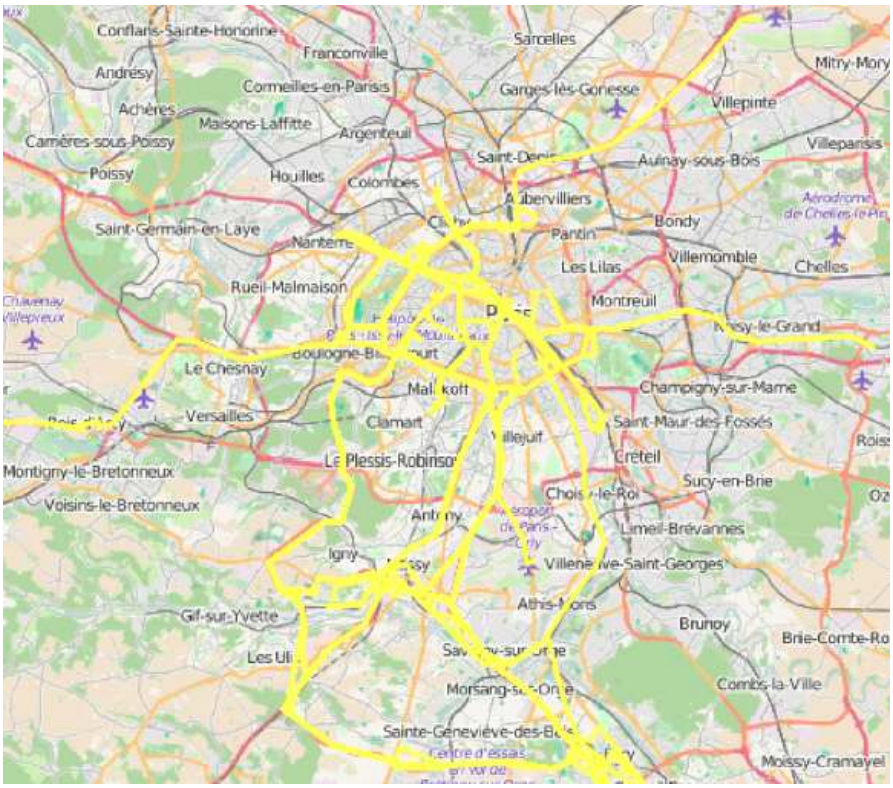
CT-Mapper 시스템의 성능평가 결과를 간단히 요약하면 다음과 같다.

- 80개의 셀룰러 궤적에 대한 데이터집합은 다층그래프 G로 매핑된 해당 GPS 경로를 이용하였다.
- 파리의 다층 교통네트워크는 약 16,000~26,000 노드와 경계부(edge)를 이용하였다.

1) M. Rosvall, A. Trusina, P. Minnhagen, K. Sneppen, Networks and cities: an information perspective, Phys. Rev. Lett. 94 (2) (2005), doi: 10.1103/physrevlett. 94.028701.

- 이용자의 궤도는 총 2,200Km의 거리를 커버리지로 설정하였다.
- 각 셀룰러 궤적에 대한 모니터링 포인트는 26.5km의 궤적 평균길이에 대해 평균 5.55로 설정하였다.

CT-Mapper 시스템의 성능평가를 위한 GPS 데이터의 적용영역을 [그림 3]에 나타낸다. 파리 도심영역(Ile-de-France)의 GPS 데이터집합 범위 및 영역은 지도에서 노란색으로 표시되어 있다.



* 자료 : Fereshteh Asgari et al., “CT-Mapper: Mapping sparse multimodal cellular trajectories using a multi-layer transportation network”, ELSEVIER, Computer Communications (2016) 1 – 13.

[그림 3] CT-Mapper 시스템의 성능평가를 위한 GPS 데이터의 적용영역

5. 결론

이 연구에서는 복합 교통네트워크를 통해 모델링한 CT-Mapper 시스템을 제안하고 셀룰러 궤적과 이에 해당하는 지상의 GPS 데이터를 이용하여 시스템의 성능을 평가하였다. 이를 위해 파리 도심영역(Ile-de-France)의 지하철, 기차 및 도로에 대한 다층 교통 네트워크를 구축하였다. 다층 교통그래프 G의 복잡성을 조사하고, 교통레이어 유형 및 토폴로지의 속성을 활용하여 확률모델을 추정하였다. 2014년 8월~9월 사이 한 달 동안 10명의 참가자가 참여한 80개의 휴대폰 궤적에 대한 데이터집합을 이용하여 자동화된 HMM(Unsupervised Hidden Markov Model)기반의 CDR 매핑 알고리즘의 성능을 평가하였다.

본 연구에서 제안한 확률모델의 유효성을 검사하기 위하여 확률모델을 각 교통레이어의 교통 특성을 반영하지 않은 기본 알고리즘과 비교하였다. 그 결과, 20%의 정확도가 개선되었음을 확인하였다. 이는 CDR 매핑 알고리즘과 다층그래프 G 모델링을 이용한 복합 교통네트워크의 복잡성을 한층 완화시킬 수 있음을 증명하였다. 이 연구결과는 국내 모바일 교통트래픽 서비스 등의 기술 분야에 밴치마킹 자료로 활용할 수 있는 가치가 있다.

참고문헌

[1] S. Reddy, M. Mun, J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, M. Srivastava, Using mobile phones to determine transportation modes, ACM Trans. Sen. Netw. 6 (2) (2010) 13:1 – 13:27, doi: 10.1145/1689239.1689243.

[2] J. Doyle , P. Hung , D. Kelly , S. McLoone , R. Farrell , Utilising mobile phone billing records for travel mode discovery, in: 22nd IET Irish Signals and Systems Conference, ISSC, 2011.

[3] Z. Smoreda , A.-M. Olteanu-Raimond , T. Couronné, Spatiotemporal data from mobile phones for personal mobility assessment, Transport survey methods: best practice for decision making. Emerald Group Publishing, London, 2013.

[4] C. Kang, S. Sobolevsky, Y. Liu, C. Ratti, Exploring human movements in singapore: a comparative analysis based on mobile phone and taxicab usages, in: Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing, (UrbComp '13), 2013, pp.1:1 – 1:8, doi: 10.1145/2505821.2505826.

[5] F. Giannotti, M. Nanni, D. Pedreschi, F. Pinelli, C. Renso, S. Rinzivillo, R. Trasarti, Unveiling the complexity of human mobility by querying and mining massive trajectory data, VLDB J. 20 (5) (2011) 695 – 719, doi: 10.1007/ s00778- 011-0244-8.

[6] Detecting mobility patterns in mobile phone data from the ivory coast, in: "Data for Challenge D4D 2013", 2013.

[7] R. Agarwal, V. Gauthier, M. Becker, T. Toukabrigunes, H. Afifi, Large scale model for information dissemination with device to device communication using call details records, Comput. Commun. 59(2015) 1 – 11, doi: 10.1016/j.comcom.2014.

[8] A. Thiagarajan , L. Ravindranath , H. Balakrishnan , S. Madden , L. Girod , Accu- rate, low-energy trajectory mapping for mobile devices, in: Proceedings of the 8th USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementation (NSDI'11), USENIX Association, 2011, pp.267 – 280.

[9] C. Goh, J. Dauwels, N. Mitrovic, M. Asif, A. Oran, P. Jaillet, Online map-matching based on hidden markov model for real-time traffic sensing applications, in: Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2012 15th International IEEE Conference on, 2012, pp.776 – 781, doi: 10.1109/ITSC.2012.6338627.

[10] P. Newson, J. Krumm, Hidden markov map matching through noise and sparseness, in:

Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (GIS '09), ACM, New York, NY, USA, 2009, pp.336 – 343, doi: 10.1145/1653771.1653818.

[11] C. Hu , W. Chen , Y. Chen , D. Liu , Adaptive Kalman filtering for vehicle navigation, J. Global Position. Syst. 2 (1) (2003) 42 – 47.

[12] H. Xu , H. Liu , C.-W. Tan , Y. Bao , Development and application of a Kalman filter and GPS error correction approach for improved map matching, J. Intell. Transport. Syst. 14 (1) (2010) 27 – 36.

[13] T. Hunter, T. Moldovan, M. Zaharia, S. Merzgui, J. Ma, M.J. Franklin, P. Abbeel, A.M. Bayen, Scaling the mobile millennium system in the cloud, in: Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Cloud Computing-SOCC'11, 2011, pp.1 – 8, doi: 10.1145/2038916.2038944.

[14] A. Thiagarajan, L. Ravindranath, K. LaCurts, S. Madden, H. Balakrishnan, S. Toledo, J. Eriksson, Vtrack: accurate, energy-aware road traffic delay estimation using mobile phones, in: Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, in: SenSys '09, 2009, pp.85 – 98, doi: 10.1145/1644038.1644048.

[15] T. Hunter, T. Moldovan, M. Zaharia, S. Merzgui, J. Ma, M.J. Franklin, P. Abbeel, A.M. Bayen, Scaling the mobile millennium system in the cloud, in: Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Cloud Computing - SOCC '11, 2011, pp.1 – 8, doi: 10.1145/2038916.2038944.

[16] C. Hu , W. Chen , Y. Chen , D. Liu , Adaptive Kalman filtering for vehicle navigation, J. Global Position. Syst. 2 (1) (2003) 42 – 47.

[17] H. Xu , H. Liu , C.-W. Tan , Y. Bao , Development and application of a Kalman filter and GPS error correction approach for improved map matching, J. Intell. Transport. Syst. 14 (1) (2010) 27 – 36.

[18] A. Thiagarajan, L. Ravindranath, K. LaCurts, S. Madden, H. Balakrishnan, S. Toledo, J. Eriksson, Vtrack: accurate, energy-aware road traffic delay estimation using mobile phones, in: Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, in: SenSys '09, 2009, pp.85 – 98, doi: 10.1145/1644038.1644048.

[19] B. Hummel , Map matching for vehicle guidances, in: R. Billen, E. Joao, D. For rest (Eds.), Dynamic and Mobile GIS: Investigating Changes in Space and Time, CRC Press, 2006.

[20] Institut géographique national, 2015, http://www.ign.fr/).

[21] OSM(Open Street Map) project, 2015, http://www.OpenStreetMap.org/).를 하고 있다.