

Simulación de la movilidad humana en La Habana

Alejandro Mesejo

mesejo@matcom.uh.cu

Universidad de La Habana

Facultad de Matemática y Computación

Marzo de 2024

Introducción

Los estudios de movilidad humana son aquellos que describen cómo los seres humanos se mueven dentro de una red o sistema. Analizar y predecir la movilidad humana tiene muchas aplicaciones en diversas áreas entre las que se incluyen la propagación de enfermedades, la planificación urbana, la ingeniería de tráfico y los mercados financieros entre otras. En el caso de enfermedades infecciosas, como la COVID-19, se conoce que uno de los factores clave para su propagación es la movilidad humana.

Actualmente una inmensa cantidad de datos de trayectorias de movilidad se recopilan a través de sensores y diversas aplicaciones. No obstante existen desafíos en su utilización directa en la práctica debido a preocupaciones de privacidad, consideraciones comerciales, valores faltantes y altos costos de implementación. Por ello la generación sintética (*in silico*) de datos de trayectorias de movilidad se ha convertido en una tendencia emergente para reducir las dificultades en el empleo de las bases de datos reales. La investigación en el tema de la generación de trayectorias de movilidad tiene amplia atención como lo reflejan las numerosas publicaciones en al respecto en campos interdisciplinarios.

En nuestra Facultad uno de los proyectos del Programa Nacional de Ciencias Básicas que se ejecutan es el titulado “Nuevas aproximaciones en la modelación dinámica de enfermedades” (PN223LH010-042). Entre los resultados planificados se encuentra el desarrollo de modelos basados en metapoblaciones considerando movilidad humana sobre redes para estudiar la influencia de la heterogeneidad espacial de agentes transmisores en la propagación de enfermedades infecciosas.

P

Propuesta: La presente propuesta de proyecto para las asignaturas Inteligencia Artificial y Simulación consiste en desarrollar un generador de trayectorias de movilidad para La Habana capaz de simular el movimiento de los habitantes de la capital considerando fundamentalmente las redes de ómnibus (Metrobús y otras) y los recorridos de los vehículos de alquiler (Metrotaxi y otros). El objetivo fundamental es estimar que cantidad de habitantes se encuentran en cada municipio de la capital durante las 24 horas de un día.

1. Breve descripción del problema

Una trayectoria de movilidad es un conjunto $S = \{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ donde cada x_i , $0 \leq i \leq n$, es un registro espacio-temporal (spatio-temporal record en inglés). Un registro espacio-temporal es una tupla (l_i, t_i) donde l_i denota la información espacial y t_i la temporal (vea [21]). La información espacial l_i refleja una localidad y puede aparecer en la forma de coordenadas de GPS o de un identificador asociado a dicha localidad. La información temporal t_i es la marca de tiempo (timestamp) que señala aproximadamente el instante en que se alcanza la localidad. En la presente propuesta las localidades se ubican en La Habana y las timestamp se encuentran en el rango de un día, es decir 00:00:00 a 23:59:59.

Los métodos para la generación de trayectorias de movilidad se pueden dividir en dos clases fundamentales, los basados en el conocimiento (knowledge-driven) y los basados en datos (data-driven). Para el presente trabajo se emplearán solo los basados en el conocimiento empleando principalmente cuatro

tipos de informaciones de conocimiento de dominio (domain knowledge information) que se utilizan comúnmente en trabajos sobre la generación de trayectorias de movilidad existentes. Estos cuatro tipos son: información de rutas de transporte, información demográfica, información espacial, información sobre la demanda.

1.1. Información de rutas de transporte

Para la presente investigación se asume que la movilidad en La Habana ocurre exclusivamente a través de las rutas de ómnibus y vehículos de Metrotaxi (GAZelles). La fuente más actual de información sobre las rutas de ómnibus se obtiene (mapa de paradas incluido en muchos casos) mediante la aplicación MWUrbanos [9]. Esta apk informa sobre todas las rutas de Metrobus (P), las alimentadoras (A) y las locales (C) de La Habana. Las rutas de las GAZelles se obtienen también mediante la apk MWRuteros [8] igualmente desarrollada por la agencia GeoMIX.

Una tarea para este proyecto consiste entonces en obtener a través de [9] los mapas de todas las rutas de ómnibus de La Habana (con paradas si están disponibles) y crear a partir de esta información una red (grafo dirigido) cuyos vértices son las paradas y las aristas conectan paradas que en sucesión recorre un ómnibus. Si no se dispone de la secuencia de paradas de un ómnibus y este recorre una ruta aún no descrita en la red los vértices a añadir a la red habrá que incluirlos a partir de *puntos de interés* (PDI) a lo largo del recorrido. Evidentemente los vehículos de Metrotaxi no tienen que cumplir la restricción de detenerse en una parada de ómnibus (aunque la experiencia indica que las guaguas de La Habana tampoco) por lo cual se procederá de forma similar a la de un ómnibus con paradas desconocidas.

1.2. Información demográfica

Datos demográficos de Cuba son publicados regularmente por la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI) de Cuba. Los más actuales están recogidos en el reporte *"Estudio y Datos de Población 2023"* [24] con datos referidos al 31 de diciembre de 2022 (actualización de mayo del 2023). El reporte puede ser descargado de [4]. Para esta investigación se trabajará entonces con los datos de habitantes por municipio de La Habana presentes en [24] página 8.

1.3. Información espacial

La información espacial, es decir un mapa de La Habana con diferentes capas, puede obtenerse del proyecto colaborativo para crear mapas editables y libres OpenStreetMap [3]. En el sitio Wiki de OpenStreetMap existe una página de Cuba [2] con informaciones relativas al "mapeo" de Cuba. El proyecto ÖPNV-Karte [10], derivado de la base de datos de OpenStreetMap, contiene capas sobre transporte público en diferentes ciudades entre las que se encuentra La Habana. Estos datos de transporte público están incluidos en la BD de OpenStreetMap y extractos de esta BD se pueden obtener mediante Geofabrik [6]. El empleo de mapas de OpenStreetMap en Python está posibilitado por varias bibliotecas y tutoriales sobre su uso (vea, por ejemplo, [1], [5], [11] y [12]).

1.4. Información sobre la demanda

La existencia de datos confiables sobre la demanda de movilidad urbana en La Habana es escasa, solo se puede asegurar que excede la oferta. No obstante en el trabajo [15] se presenta un análisis de la movilidad y la migración internacional en Cuba con énfasis en La Habana. El trabajo [15] está motivado por el hecho de que la movilidad humana constituye el principal riesgo de importación y difusión de la infección por SARS-CoV-2 (COVID-19).

En [15] se realiza un estudio de la movilidad pendular o cotidiana de la población ocupada, según municipios de residencia y municipios donde trabajan, de La Habana (vea tablas 2 y 3 en [15]). A partir de este estudio se puede elaborar un estimado de la demanda de movimiento entre municipios en forma de una matriz de Origen-Destino.

2. Posibles soluciones al problema

El tema de la movilidad humana es de amplio interés en diferentes áreas, una perspectiva amplia se presenta en [16]. Un ejemplo de estudio de movilidad en una ciudad mexicana media se presenta en [23]. Sin embargo para esta propuesta solo se emplearán técnicas o métodos de la Simulación o la Inteligencia Artificial que se hayan presentando en las respectivas asignaturas. Se propone además simular solo la movilidad a través de medios de transporte automotor por ello el énfasis está en simular autobuses y vehículos a través de rutas preestablecidas.

Una introducción a la simulación de la movilidad humana en áreas urbanas aparece en [20]. En el campo del transporte uno de los métodos comúnmente empleados es la simulación basada en agentes [18]. Sugerimos entonces desarrollar la simulación mediante este método aplicándolo a las rutas de transporte descritas en la sección 1.1. Trabajos relevantes para este tema son [17] y [19]. Para adaptar los parámetros de un modelo de simulación basado en agentes a requerimientos específicos se requiere resolver problemas de optimización. Una introducción a este tema se tiene en [25]. En el presente proyecto, dada la ausencia de otras fuentes de datos, el sistema de agentes a desarrollar debe satisfacer las demandas globales presentadas en las tablas 2 y 3 de [15].

Existen también sistemas (más complejos) de simulación de tráfico. Uno de ellos multimodal, microscópico, portable y de código abierto diseñado para funcionar con grandes redes es SUMO (Simulation of Urban MObility) [22]. La documentación de SUMO, con instrucciones de instalación, se encuentra en [14]. Tutoriales para el uso de SUMO con Python aparecen en [7] y [13].

Referencias

- [1] Accessing OSM Data in Python — Python Open Source Spatial Programming & Remote Sensing. https://pygis.io/docs/d_access_osm.html.
- [2] Cuba - OpenStreetMap Wiki. <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/ES:Cuba>.
- [3] Cuba (307833) - OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org/relation/307833>.
- [4] Estudios y Datos de Población 2022 - Oficina Nacional de Estadísticas e Información. <https://www.onei.gob.cu/estudios-y-datos-de-poblacion-2022>.
- [5] Find The Best Route with OpenStreetMap using Python. <https://medium.com/@nilufarmohammadi1/find-the-best-route-with-openstreetmap-using-python-da70eff5b1ac>.
- [6] Geofabrik Download Server. <https://download.geofabrik.de/>.
- [7] How To Simulate Traffic On Urban Networks Using SUMO | by Skanda Vivek | Towards Data Science. <https://towardsdatascience.com/how-to-simulate-traffic-on-urban-networks-using-sumo-a2ef172e564>.
- [8] Mobilweb rutero: Apklis - Centro Cubano de Aplicaciones Android. <https://www.apklis.cu/application/cu.geomix.taxis>.
- [9] Mobilweb urbanos: Apklis - Centro Cubano de Aplicaciones Android. <https://apklis.cu/application/cu.geomix.mwurbanos>.
- [10] ÖPNVKarte. <https://www.xn--pnvkarte-m4a.de/#-82.3534;23.1139;13>.
- [11] OSMPythonTools - OpenStreetMap Wiki. <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/OSMPythonTools>.
- [12] Pyrosm. <https://pyrosm.readthedocs.io/en/latest/>.
- [13] Road Traffic Simulation Using SUMO, TraCI, and Python | by Mohamad Mahmood | Medium. <https://medium.com/@mohamad.razzi.my/road-traffic-simulation-using-sumo-traci-and-python-63604977a4d1>.
- [14] SUMO Documentation. <https://sumo.dlr.de/docs/index.html>.

- [15] Antonio Aja Díaz, Arianna Rodríguez García, and Marbelis Orbea López. COVID-19, migración externa y desplazamientos territoriales en Cuba, una mirada diferente a la población residente en la capital del país. *Novedades en Población*, 16(32), January 2023.
- [16] Hugo Barbosa, Marc Barthelemy, Gourab Ghoshal, Charlotte R James, Maxime Lenormand, Thomas Louail, Ronaldo Menezes, José J Ramasco, Filippo Simini, and Marcello Tomasini. Human mobility: Models and applications. *Physics Reports*, 734:1–74, 2018.
- [17] Faza Fawzan Bastariant, Thomas O. Hancock, Charisma Farheen Choudhury, and Ed Manley. Agent-based models in urban transportation: Review, challenges, and opportunities. *European Transport Research Review*, 15(1):19, June 2023.
- [18] Jiangyan Huang, Youkai Cui, Lele Zhang, Weiping Tong, Yunyang Shi, and Zhiyuan Liu. An Overview of Agent-Based Models for Transport Simulation and Analysis. *Journal of Advanced Transportation*, 2022:1–17, February 2022.
- [19] Grace O. Kagho, Milos Balac, and Kay W. Axhausen. Agent-Based Models in Transport Planning: Current State, Issues, and Expectations. *Procedia Computer Science*, 170:726–732, 2020.
- [20] Karim Keramat Jahromi, Matteo Zignani, Sabrina Gaito, and Gian Paolo Rossi. Simulating human mobility patterns in urban areas. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 62:137–156, March 2016.
- [21] Xiangjie Kong, Qiao Chen, Mingliang Hou, Hui Wang, and Feng Xia. Mobility trajectory generation: A survey. *Artificial Intelligence Review*, 56(S3):3057–3098, December 2023.
- [22] Pablo Alvarez Lopez, Michael Behrisch, Laura Bieker-Walz, Jakob Erdmann, Yun-Pang Flötteröd, Robert Hilbrich, Leonhard Lücken, Johannes Rummel, Peter Wagner, and Evamarie Wießner. Microscopic traffic simulation using sumo. In *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 2575–2582. IEEE, 2018.
- [23] Saúl Antonio Obregón-Biosca and Eduardo Betanzo-Quezada. Análisis de la movilidad urbana de una ciudad media mexicana, caso de estudio: Santiago de Querétaro. *Economía Sociedad y Territorio*, page 61, January 2015.
- [24] ONEI. Estudios y Datos Sobre la Población Cubana 2022. Technical report, Centro de Estudios de Población y Desarrollo, La Habana, 2023.
- [25] Matthew Oremland and Reinhard Laubenbacher. Optimization of Agent-Based Models: Scaling Methods and Heuristic Algorithms. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 17(2):6, 2014.