**33- Marcela A. Munizaga y Carolina Palma.** **Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin-Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. Transportation Research Part C 24 (2012) p.p 9-18.**

En Santiago, el sistema de pago con tarjetas inteligentes, es el único sistema de tarifas disponible en buses y es el más utilizado en metro.

Los investigadores se han focalizado en la integración y el enriquecimiento de la información disponible en las diferentes fuentes de datos pasivos (como el sistema de tarifa automática, el sistema de localización de vehículos y el contador de pasajeros), detección y corrección de errores en la información, estimación de bajas o puntos de destino, identificación de transbordos y generación de matriz origen-destino.

El sistema de pago en Transantiago es tal que cada pasajero paga una tarifa cuando ingresa al sistema, que permite a él o ella hacer tres transbordos dentro de las dos horas siguientes al pago. La estructura de pago es diferente entre el metro y buses. En buses, el único sistema de pago es mediante la tarjeta bip!, mientras que en metro, es posible comprar un ticket o usar la tarjeta bip!, sin embargo el porcentaje de usuarios que compra el ticket es de aproximadamente 3%. Por otro lado el pago en metro difiere, ligeramente más alto, para los horarios de alta demanda, entonces si un pasajero usa primero bus y luego transborda a metro, la diferencia entre ambas líneas de transporte es cobrada cuando la persona accede a metro.

Existen 150 estaciones de bus o zonas paga, que están equipadas con sistema de pago de vehículo entra donde el pasajero paga cuando entra a la estación, lo cual incrementa la eficiencia de las subidas a los buses. Estas estaciones de buses operan durante los horarios de alta demanda en los puntos de congestión.

Todas las transacciones bip! Son guardadas en una base de datos que contiene información sobre los operadores y el instante en que la transacción fue hecha. Cada pasajero tiene que hacer una transacción acercando su tarjeta al dispositivo de pago, cuando ingresa al bus, estación de bus o metro. Cada dispositivo de pago tiene asociado un id y este está asociado también con un bus, estación de bus o metro. La información recolectada para cada transacción incluye el id de la tarjeta y tipo, código de bus o sitio donde se realizó la transacción, tiempo, fecha y monto de pago. Todas las semanas se realizan alrededor de 35 millones de transacciones con cerca de 3 millones de tarjetas bip!. La localización de la transacción se puede obtener de la base de datos de estaciones de bus y metro, sin embargo no está disponible para las transacciones en bus.

Otra base de datos contiene información sobre la localización de todos los buses, como la latitud, longitud, tiempo, fecha y la velocidad instantánea. Cada bus se identifica por un número de placa y un código de operador.

Cruzando la información de transacción y posición de las bases de datos por cada placa de bus o código de metro/estación de bus y tiempo, es posible identificar la posición donde la transacción es realizada en un 98,5% de los casos en datos de 2009 y 99,9% de los casos en datos del 2010.

**Estimación de bajadas**

Como en el sistema de tarifa solo se validan las subidas, es necesario estimar los puntos de bajadas de las transacciones, asumiendo que la próxima transacción bip! Ocurre después de la bajada.

Se asume que cada tarjeta corresponde a un usuario, entonces la tarjeta bip! y el usuario son usados indistintamente. Básicamente la idea es seguir una cadena de viajes de una tarjeta e identificar la posición de bajada (de bus o metro) mirando la posición y el tiempo de la próxima subida de esta tarjeta. Esto es solamente posible cuando la actual y siguiente transacción tiene información de posición, la cual es tomada de la base de datos de localización automática de vehículos. En caso de la última transacción del día, se asume que el destino es cercano al punto donde el primer viaje del día comienza, encontrando así un viaje cíclico diario para los usuarios particulares. Si hay solo un viaje por tarjeta, no es posible inferir con solo un día de información.

1. Buses

El tiempo y posición de bajada estimada es un punto de la trayectoria del bus, que minimiza el tiempo de distancia generalizada con respecto al próximo tiempo-posición de subida. El tiempo de caminata es estimado como la división entre la distancia, entre la posición i y el la posición de la próxima subida (, y la velocidad de caminata. El factor de penalización, , representa la desutilidad de tiempo de caminata sobre el tiempo de viaje en el vehículo. El tiempo de viaje asociado a la posición i puede ser obtenido como menos el tiempo de la subida del viaje en cuestión. Luego el problema de optimización se escribe como:

Si la solución del problema no es encontrado para alguna transacción por no cumplir la restricción, se asume que el viaje es perdido, en el cual probablemente se utilizó luego de la bajada otro medio de transporte, impidiendo la estimación.

1. Metro

En el caso de metro los segmentos de viaje, los puntos de bajadas y subidas son estaciones de metro. La estación de subida es directamente conocido de la data, y la estación de bajada es estimada como la más cercana a la próxima subida, dentro de una circunferencia definida por una distancia de caminata de 1 kilómetro. Si no hay estación dentro de esa distancia, se asume que es información de transacción perdida y la bajada no puede ser estimada.

1. Estación de bus

Primero, todas las rutas que pasan por la estación de bus y tienen por lo menos una parada de bus dentro de la distancia caminable (1 km) de la posición de la próxima transacción bip! son identificadas.

-Si solamente un servicio presenta la situación encontrada, se asume que el usuario se subirá al primer bus del servicio que pase por la estación de bus después de la transacción bip!.

- Es posible encontrar un conjunto de líneas comunes que presentan la situación encontrada, luego se asume que el usuario toma el primer servicio-bus de las líneas comunes, que llega después de que él o ella ha hecho la transacción bip.

Si no hay una ruta que tenga por lo menos una parada de bus dentro de la distancia caminable de la próxima subida, no es posible estimar el punto de bajada.

1. Post-procesamiento

Como no todos los viajes son identificados con el procedimiento, es necesario construir factores de expansión para los viajes no observados. Hay tres casos que requieren de tratamiento distinto: (i) Viajes asociados con una transacción bip! donde el origen es conocido pero no pudo ser estimado; (ii) viajes asociados a una transacción bip donde ni el origen ni el destino son conocidos y (iii) viajes no detectados con una transacción bip por evasión de tarifa. Para el primer caso, podemos asumir que la distribución de viajes con destino desconocido es el mismo que otros viajes con el mismo origen. Luego, nosotros construimos un factor de expansión asociado con los viajes de un origen particular en un periodo de tiempo que cuenta todos los viajes con destino desconocido:

Donde i es el origen del viaje y j es el destino del viaje.

Para el segundo caso se construye un factor de expansión general, el cual es solamente desagregado por el tiempo:

Un tratamiento similar podría aplicarse al tercer caso, sin embargo se requiere información adicional, pues los efectos de evasión de tarifa no es homogénea en la ciudad.