

випадку необхідно використовувати зональний або пороговий метод відбору компонентів перетворення.

1. *Красильников Н.Н.* Теория передачи и восприятия изображений и ее приложения. - М.: Радио и связь, 1986.
2. Возможности реализации адамаровского спектроанализатора / К.Ф. Берковская [и др.] // Оптическая обработка информации. - Л.: Наука, 1978.
3. *Ахмед Н., Пао К.* Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / пер. с англ. М.: Связь, 1980.
4. *Дурняк Б.В., Тимченко О.В., Колодій Р.С., Сабат В.І.* Інтернет-технології передавання мовних сигналів. – Львів: Вид. УАД, 2010. – 256 с.
5. *Hongqing Zhu.* Image analysis by discrete orthogonal Racah moments / Hongqing Zhu, Huazhong Shu, Jun Liang, Lumin Luo, Jean-Louis Coatrieux // Signal Processing. – April, 2007. – V. 87, No. 4. – P. 687-708.
6. *Pratt W. K.* Digital Image Processing. — Wiley, 2001.
7. *Taubman D., Ordentlich E., Weinberger M., Seroussi G.* Embedded block coding in JPEG2000 // Signal Processing — Image Communication. — 2002. — Vol. 17, no. 1. — P. 49—72.

Поступила 20.08.2018р.

УДК 004.62

В.Р. Сподарик, НУ «Львівська політехніка»

ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСУ ПРИБУТТЯ АВТОБУСА НА ЗУПИНКУ НА ОСНОВІ GTFS ДАНИХ ТА ФІЛЬТРУ КАЛМАНА

Розглянуто проблему визначення часу прибуття на зупинку громадського транспорту при відхиленнях від розкладу у зв'язку корками чи іншими факторами. Запропоновано рішення автоматичного прогнозування часу прибуття за допомогою фільтру Калмана. Система може використовуватись для відображення на інформаційних табло на зупинках, онлайн сервісах та мобільних додатках.

Ключові слова: GPS, GTFS, фільтр Калмана, прогнозування прибуття на зупинку, громадський транспорт, графік руху.

In this article analyzed the problem of determining the time of arrival at the stop of public transport in case of deviations from the schedule in connection with the crust or other factors is considered. The solution of automatic forecasting of arrival time with Kalman filter is proposed. The system can be used to display on information boards at stops, online services and mobile applications.

Keywords: GPS, GTFS, Kalman filter, prediction arrival to stop, public transport, timetable.

I. Постановка проблеми

У багатьох містах України громадський транспорт не завжди дотримується графіків руху. Найчастіше це стається, на нічних маршрутах та коли мова йде про графічність на проміжних зупинках, де будь-яке випередження графіку чи затримка («зелений коридор», корок, ДТП, і т.д.) впливає на час прибуття. Але мешканці потребують інформації про те, коли і який транспорт прибуває аби не чекати занадто багато чи марно.

Дедалі більше перевізників встановлює на свій транспорт GPS-трекери, які надають інформацію про поточну позицію транспорту. Також ця інформація може включати швидкість, напрямок руху та відстань, значення одометра, тощо. Проте звичайним користувачам цієї інформації не завжди достатньо. Зокрема коли мова йде про туристів, які погано орієнтуються в місцевості та не знають специфіки руху громадського транспорту.

Зручнішим рішенням є відображення інформації про час до прибуття на зупинку, де власне знаходиться пасажир. Така інформація може використовуватись для відображення на табло, у мобільних додатках чи навіть у службах моніторингу транспорту, які займаються аналізом графічності та коригують графіки маршрутів. Проте іноді на табло відображається тільки дані з графіку, або ж робота по коригуванню графіку може робитись вручну диспетчером, що не ефективно. [1]

II. Мета роботи

Розробити алгоритм, який дозволить точно передбачати час прибуття громадського транспорту на зупинку в режимі реального часу на основі GTFS даних міста Львів та алгоритму фільтру Калмана.

III. Опис алгоритму

Для вирішення даної задачі потрібно спершу звідкись отримувати дані. Найпопулярнішим форматом для передачі такої інформації є формат GTFS (General Transit Feed Specification). Якщо коротко, то це загальноприйнятий формат передачі даних від служб, які генерують дані про рух транспорту до сервісів споживачів. Він складається з 2 частин:

- GTFS Static – статична інформація про громадський транспорт, яка рідко змінюється. Являє собою звичайний zip-архів, який може містити інформацію про перевізників, графіки руху, опис автобусів, опис маршрутів включно з координатами, зупинок, тощо.

- GTFS Realtime – може містити різноманітну оперативну інформацію, яка змінюється дуже часто. Наприклад, про транспортні засоби (VehiclePosition) їх поточну позицію, швидкість, напрямок руху та відстань, значення одометра, ідентифікатор маршруту. Також протокол передбачає передачу оперативної інформації про події на маршрутах (Alert), та

інформацію з уточненням графіку руху автобусів (TripUpdates) [2]. Проте останнє наразі не доступно у м. Львів. Дані передаються спеціальним структурованим бінарним форматом розробленим в Google - Protocol Buffers. [3]

Для вирішення поставленої задачі нам потрібні будуть дані з GTFS Realtime та наступних файлів GTFS Static:

- routes.txt – який містить загальну інформацію про маршрут
- trips.txt – який містить інформацію про послідовність зупинок на маршруті
- shapes.txt – який містить набір координат ламаної маршруту
- stops.txt – який містить інформацію про зупинки громадського транспорту
- stop_times.txt – який містить інформацію про час прибуття на зупинку

Коли дані вже є доступні, відомо де знаходиться транспортний засіб і куди їде, можна перейти безпосередньо до прогнозування часу прибуття на конкретну зупинку. Для цього обрано фільтр Калмана, також відомий лінійно-квадратичне оцінювання.

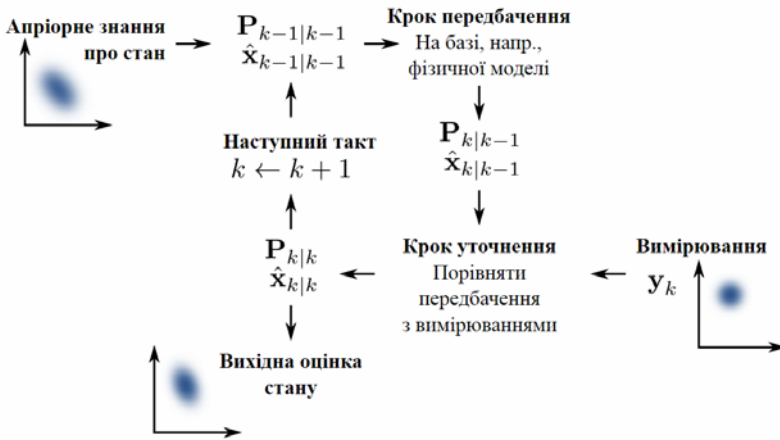


Рис.1. Схема роботи алгоритму фільтр Калмана

Загалом – це алгоритм, що використовує послідовності вимірювань протягом часу, які містять шум (випадкові відхилення) та інші неточності, й видає оцінки невідомих змінних, що є потенційно точнішими за базовані на самих лише вимірюваннях. Формальніше, фільтр Калмана працює рекурсивно на потоках зашумлених вхідних даних, і видає статистично оптимальну оцінку базового стану системи. Фільтр названо на честь

Рудольфа Калмана, одного з головних розробників його теорії. Алгоритм має численні застосування у технології. Поширеним є застосування для наведення, навігації та керування транспортними засобами, особливо літаками та космічними апаратами. Крім того, фільтр Калмана є широко застосовуваною концепцією в аналізі часових рядів, що використовується у таких галузях як обробка сигналів та економетрія. Фільтри Калмана також є однією з головних тем у плануванні та керуванні роботизованим рухом, й іноді включаються до оптимізації траєкторії. [4] [5]

Далі нам потрібні дані про історичний рух транспорту по маршруту, хоча для першого прогнозу достатньо даних із запланованого графіку руху по зупинках. Зокрема необхідно отримати час добирання від однієї зупинки до наступної. Така інформація знаходиться у файлі GTFS stop_times.txt. Приклад, графіку історичних даних:

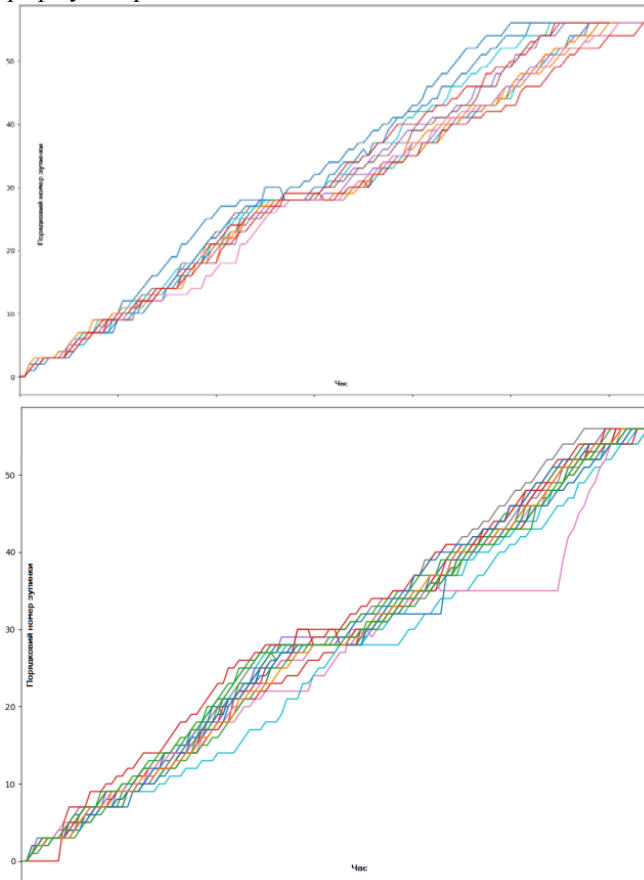


Рис. 2. Приклад графіків історичного руху на маршруті 16А у м.Львів, де зображено час добирання на наступну зупинку

Щоб почати обрахунки потрібно визначити де знаходиться автобус, для якої зупинки буде робитись прогноз і які зупинки є по-дорозі. Потім розраховуємо час подолання шляху від кожної зупинки до наступної окремо за допомогою фільтру Калмана.

Для цього потрібно від часу прибуття до наступної зупинки відняти час відправки з поточної. Повторивши це для всіх історичних замірів на цій ділянці, можна вирахувати середнє арифметичне число. Потім вираховуємо середньоквадратичне відхилення від цього значення для кожного заміру:

$$variance = \frac{\sum_{i=0}^n ((dest\ time - start\ time) - average)^2}{n}$$

Також виміряємо рівень шуму процесу як відношення середнього арифметичного до середньоквадратичного значення, додавши значення попередньої помилки:

$$gain = \frac{last\ prediction\ error + average}{last\ prediction\ error + 2 * variance}$$

Далі вираховуємо використавши відхилення від руху останнього автобуса на цій ділянці, можемо отримати прогноз:

$$prediction = \frac{(1 - gain) * last\ duration}{gain * average}$$

$$last\ prediction\ error = \frac{variance}{1 - gain}$$

Отримавши прогноз для однієї зупинки, повторюємо обчислення для всіх наступних аж до бажаної чи до кінця маршруту. Таким чином отримує список прогнозованих інтервалів по доїзду до кожної зупинки. Вираховувавши суму – отримаємо бажане значення, яке можна відображати користувачам на табло чи в мобільних додатках.

IV. Аналіз отриманих результатів

Даний алгоритм прогнозування часу прибуття на зупинку автобусів було використано для мобільного додатку популярного у місті Львів. За його допомогою проведено оцінку достовірності цих прогнозів. Результати вийшли достатньо точні для типового пасажира, за винятком ситуацій коли GPS-трекери переставали надсилати дані чи надсилати з великим запізненням. Також на прогнози прибуття транспорту впливали поломки автобусів та ДТП на дорозі.

V. Висновки

В результаті, було розроблено систему, яка дозволяє достатньо точно і швидко прогнозувати час прибуття на зупинку транспортних засобів. Результати роботи системи можуть бути використані для відображення прогнозів часу прибуття громадського транспорту для користувачів мобільних додатків, які очікують на зупинці.

Система була перевірена в реальних умовах емпіричним шляхом і

показала свою ефективність, незважаючи на те, що іноді GPS-трекери не давали або давали застарілі дані.

17:07 Кавалерідзе		22:20 Куліша	
0	A16 (Сихівська - Залізничний в... хв № BC2492ET	6	A20 (Суботівська - Польова) хв № BC0599EA
3	A41 (вул. Сихівська - вул. Б. Хм... хв № BC1574AA	18	A20 (Суботівська - Польова) хв № BC7921CI
6	A16 (Сихівська - Залізничний в... хв № BC2497ET	27	A20 (Суботівська - Польова) хв № BC1959AA
10	A41 (вул. Сихівська - вул. Б. Хм... хв № BC0473AA	32	A41 (вул. Сихівська - вул. Б. Хм... хв № BC4407AA
20	A41 (вул. Сихівська - вул. Б. Хм... хв № BC9606EE	33	A25 (ТРЦ 'Кінг Кросс' - Староз... хв № BC2801AA
24	A16 (Сихівська - Залізничний в... хв № BC6644ET	33	A20 (Суботівська - Польова) хв № BC1981AA
25	A16 (Сихівська - Залізничний в... хв № BC2662EP	40	A41 (вул. Сихівська - вул. Б. Хм... хв № BC1729AA
32	A41 (вул. Сихівська - вул. Б. Хм... хв № BC4407AA		
38	A16 (Сихівська - Залізничний в...		

Рис.3. Результати прогнозування руху автобуса на маршруті А16

- 1) «ДЖЕДАІ перевірили нові електронні табло на зупинках громадського транспорту.» [3 мережі]. Available: <https://2plus2.ua/dzhedai-voiny-dorog/novyny/dzhedai-perevirili-novi-elektronni-tablo-na-zupinkah-gromadskogo-transportu>.
- 2) «GTFS Static Overview,» [3 мережі]. Available: <https://developers.google.com/transit/gtfs/>.
- 3) «Protocol Buffers,» [3 мережі]. Available: <https://developers.google.com/protocol-buffers/>.
- 4) «Фільтр Калмана,» Wikipedia, [3 мережі]. Available: https://uk.wikipedia.org/wiki/Фільтр_Калмана.
- 5) Р. Калман, «A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems,» Transactions of the ASME--Journal of Basic Engineering, pp. 35-45, 1960.

Поступила 8.10.2018р.