

IDENTIFIKASI LAJUR KENDARAAN PENYIDIK WAKTU NYATA DI SIMPANG BERSINYAL MENGGUNAKAN METODE SUPPORT VECTOR MACHINE

(Probe Vehicle Lane Identification at Signalized Intersection Using Support Vector Machine Method)

Semuel Y. R. Rompis

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi
E-mail: semrompis@unsrat.ac.id

Diterima 15 Agustus 2022, Disetujui 21 September 2022

ABSTRAK

Permasalahan transportasi di Indonesia khususnya di daerah perkotaan bisa dipecahkan dengan menerapkan Intelligent Transportation Systems (ITS), salah satunya adalah dengan menggunakan sistem kendaraan penyidik / probe vehicle berbasis Global Positioning System (GPS). Sistem ini semakin berkembang karena telepon pintar (smartphone) bisa digunakan sebagai instrumen kendaraan penyidik. Sistem ini memberikan informasi lokasi dan kecepatan seluruh kendaraan penyidik setiap detik, sehingga memungkinkan untuk memperkirakan keadaan lalu lintas yang sedang berlangsung (real time traffic condition) pada suatu ruas jalan yang dilewati oleh kendaraan penyidik. Penerapan sistem ini di kota Manado dapat membantu memperbaiki kondisi lalu lintas karena begitu banyak pengendara kendaraan bermotor yang membawa telepon pintar ketika sedang mengemudi. Namun yang menjadi masalah adalah GPS pada telepon pintar ini umumnya mempunyai keakuratan sampai 4,9 meter, sehingga data GPS ini tidak bisa digunakan untuk mengatasi masalah transportasi pada tingkat mikro seperti pada simpang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh suatu metode dalam mengidentifikasi lajur kendaraan penyidik melalui data GPS dari telepon pintar. Langkah-langkah dalam mencapai tujuan penelitian adalah 1) membangun model transportasi dalam skala mikro menggunakan perangkat lunak untuk mendapatkan data 2) membangun suatu algoritma pengolahan data untuk identifikasi lajur kendaraan menggunakan teori arus lalu lintas dan metode machine learning dalam hal ini Support Vector Machine (SVM), dan 3) melakukan validasi model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gelombang kejut antrian secara individual dari masing-masing kendaraan penyidik bisa digunakan untuk mengidentifikasi lajur kendaraan penyidik tersebut. Penelitian ini juga mengkonfirmasi bahwa metode Support Vector Machine bisa digunakan untuk memprediksi posisi lajur dari kendaraan penyidik.

Kata Kunci: kendaraan penyidik, GPS, SVM

ABSTRACT

Transportation problems in Indonesia, especially in urban areas, can be solved by applying Intelligent Transportation Systems (ITS), one of which is by using a Global Positioning System (GPS) based probe vehicle system. This system is growing because smartphones can be used as instruments for investigators' vehicles. This system provides information on the location and speed of all investigator vehicles every second, making it possible to estimate the real time traffic condition on a road segment passed by the probe vehicle. The implementation of this system in the city of Manado can help improve traffic conditions because so many motorists carry smartphones while driving. However, the problem is that the GPS on this smartphone has a low accuracy of 3 to 15 meters, so this GPS data cannot be used to solve transportation problems at the micro level such as at intersections. The purpose of this study was to obtain a method for identifying probe vehicle lanes through GPS data from smartphones. The steps in achieving the research goal are 1) building a microscopic transportation model using software to obtain data 2) building a data processing algorithm for vehicle lane identification using traffic flow theory and machine learning methods which in this case is Support Vector Machine, and 3) perform model validation. The results showed that the individual queue shock wave from each probe vehicle could be used to identify the lane of the probe vehicle. This study also confirms that the Support Vector Machine method can be used to predict the lane position of the probe vehicle.

Keywords: probe vehicle, GPS, SVM

PENDAHULUAN

Permasalahan transportasi di Indonesia semakin kompleks seiring dengan bertambahnya kendaraan yang tidak diimbangi dengan penambahan kuantitas jalan. Lebih jauh dari itu rambu – rambu lalu lintas dan marka jalan yang ada tidak mendukung manajemen lalu lintas yang baik. Hal – hal tersebut menyebabkan tingginya jumlah kecelakaan, terjadinya kemacetan dan antrian yang panjang di ruas – ruas jalan di daerah perkotaan. Masalah-masalah transportasi ini dialami oleh kota – kota di Indonesia termasuk kota Manado. Manado adalah ibukota provinsi Sulawesi Utara dengan luas total wilayah sebesar 159,02 km² dan jumlah penduduk 434.845 jiwa (BPS, 2009).

Umumnya kemacetan terjadi di simpang termasuk simpang bersinyal. Hal ini sebenarnya bisa diminimalkan dengan mengoptimasi kinerja simpang yang bisa dilakukan jika terdapat informasi yang akurat mengenai panjang antrian pada setiap lajur di lengan simpang.

Teknologi satelit telah memungkinkan kendaraan untuk digunakan sebagai pengumpul data terkini yang dikenal dengan istilah probe vehicle. Caranya adalah dengan memasang instrumen Global Positioning System (GPS) pada kendaraan tersebut. Instrumen ini dapat memberikan trajektori kendaraan yaitu lokasi dan kecepatan kendaraan setiap detik.

Dengan kemajuan teknologi, telepon genggam khususnya smart phone, sudah dapat digunakan sebagai instrumen GPS yang bisa ditaruh di dalam kendaraan, sehingga informasi mengenai trajektori kendaraan bisa diperoleh. Informasi dari telepon ini kemudian bisa dikirim ke server untuk dianalisa oleh perangkat lunak yang sudah dimasukkan ke dalam komputer dan kemudian mengirimkan informasi tersebut lewat alat penyampai pesan dinamis. Dengan semakin banyaknya penggunaan *smart phone*, semakin dimungkinkan untuk mendapatkan prosentase kendaraan penyidik (*probe vehicle*) yang tinggi dari seluruh jumlah populasi kendaraan.

Dalam beberapa studi terdahulu, kendaraan penyidik ini sudah diteliti penggunaannya untuk estimasi waktu perjalanan (Chen and Chien 2001, Chu, Oh et al. 2005, Liu and Ma 2009), deteksi insiden (Sethi, Bhandari et al. 1995, Dia and Thomas 2011), evaluasi keadaan lalu lintas (Dai, Ferman et al. 2003, Nanthawichit, Nakatsuji et al. 2003), estimasi panjang antrian (Comert and Cetin 2009, Cetin 2012, Comert 2013, Ramezani and Geroliminis 2013), pola pemilihan rute dan bahkan untuk estimasi kekasaran perkerasan jalan.

Seperti sudah dibahas sebelumnya kendaraan penyidik (*probe vehicle*) dapat memberikan informasi kecepatan dan lokasi kendaraan setiap detik. Informasi ini merupakan informasi yang penting untuk memprediksi tingkat kemacetan di suatu ruas jalan. Dapat diprediksi bahwa di ruas – ruas dengan kecepatan relatif rendah terjadi kemacetan sedangkan

di ruas – ruas dengan kecepatan normal, arus lalu lintas cukup stabil.

Yang menjadi masalah adalah tingkat keakuratan GPS dari smart phone ini adalah sekitar 4,9 meter atau 16 feet (GPS.Gov, 2022), sehingga data GPS ini tidak bisa digunakan untuk optimasi simpang.

Tujuan studi ini adalah untuk memperoleh suatu metode dalam mengidentifikasi lajur kendaraan penyidik khususnya pada simpang bersinyal. Dengan melakukan teknik *clustering* (pengelompokan data) berdasarkan gelombang kejut dari trajektori masing-masing kendaraan ketika berhenti di simpang bersinyal maka lajur kendaraan dapat diidentifikasi. Untuk mencapai tujuan penelitian ini maka hal pertama yang harus dilakukan adalah membangun model transportasi pada skala mikro menggunakan perangkat lunak untuk mendapatkan data. Langkah kedua yang harus ditempuh adalah membangun suatu algoritma untuk pengolahan data untuk identifikasi lajur kendaraan menggunakan teori arus lalu lintas dan metode machine learning sehingga lajur lalu lintas pada suatu simpang bersinyal dapat diidentifikasi secara waktu nyata (*real time*) dengan akurat. Langkah yang terakhir adalah melakukan validasi model dengan cara membandingkan hasil prediksi dengan lajur kendaraan yang sebenarnya.

METODE

Gelombang Kejut dari Kendaraan Penyidik

Waktu dan ruang pada saat kendaraan penyidik bergabung dalam antrian membentuk sebuah profil yang dikenal dengan nama gelombang kejut. Gelombang kejut antrian ini bergerak berlawanan dengan arah garis henti pada simpang bersinyal dengan kecepatan yang sama dengan gradien garis membentuk sebuah profil. Koordinat dari gelombang kejut antrian ini diekstrak dari data trajektori kendaraan yang diproduksi oleh sebuah kendaraan penyidik berbasis GPS. Salah satu faktor penting yang menentukan panjang antrian adalah jumlah arus kendaraan. Menurut teori arus lalu lintas (Kuhne and Michalopoulos, 1997), kecepatan gelombang kejut adalah fungsi dari jumlah arus kendaraan, karena itu panjang antrian dari dua lajur yang berdampingan akan berbeda secara signifikan. Ketika arus keduanya berbeda secara signifikan pula.

Dalam situasi ideal, garis kecepatan gelombang kejut antrian dari koordinat-koordinat kendaraan-kendaraan ketika mereka masuk dalam antrian adalah linear. Namun dalam dunia nyata, tidak selalu terjadi demikian. Dalam studi ini kecepatan gelombang kejut yang digunakan bukanlah kecepatan yang dihasilkan dari koordinat-koordinat antrian kelompok kendaraan, melainkan yang dihasilkan dari masing-masing kendaraan. Informasi ini digunakan untuk memprediksi lajur kendaraan pada kasus panjang antrian yang tidak seimbang. Idanya adalah untuk membedakan lajur kendaraan berdasarkan kecepatan gelombang kejut antrian. Tentu saja, akan ada variasi dari gelombang kejut individu yang dihasilkan dari jumlah arus yang

sama, namun hal ini dapat didekati dengan mengetahui distribusi kecepatan gelombang kejut pada masing-masing lajur.

Sebuah garis linear digambarkan menggunakan koordinat waktu dan ruang dari lampu merah dan sebuah kendaraan penyidik ketika bergabung dengan antrian. Nilai gradien garis ini adalah kecepatan gelombang kejut antrian individu. Hal yang sama dilakukan untuk seluruh kendaraan. Kecepatan gelombang kejut antrian adalah sama dengan nilai dari sebuah garis yang menghubungkan koordinat waktu dan ruang dari sebuah kendaraan dan lampu merah yang dihitung dengan persamaan berikut,

$$w_i^c = \frac{X_i^c - X}{t_i^c - t^c} \tag{1}$$

dimana $i = 1,2,\dots, n$; n adalah jumlah kendaraan penyidik pada siklus ke- c ; w_i^c adalah kecepatan gelombang kejut antrian pada siklus ke- c ; X_i^c adalah posisi dari kendaraan secara individu ketika bergabung dengan antrian pada siklus ke- c ; X adalah posisi dari lampu lalu lintas; t_i^c adalah waktu dari sebuah kendaraan ketika bergabung di antrian pada siklus ke- c ; dan t^c adalah waktu ketika signal berubah menjadi merah pada siklus ke- c .

Data dan Skenario Simulasi Lalulintas

Dalam studi ini, data trajektori kendaraan diambil dengan membuat simulasi mikroskopik menggunakan software PTV VISSIM. Sebuah network sederhana dengan satu ruas dan 2 lajur dibuat sebagai representasi dari sebuah lengan simpang. Di bagian hilir dipasang lampu merah yang terdiri dari hanya lampu merah dan hijau dengan durasi masing-masing 45 detik dengan waktu siklus 90 detik. Kecepatan diatur menjadi 60 km/h dan kendaraan tidak diizinkan mengganti lajur. Untuk mendapatkan data yang baik, simulasi ini dilakukan selama 9000 detik (100 siklus). Tujuan studi ini adalah untuk identifikasi kendaraan pada dua lajur yang memiliki panjang antrian berbeda, dimana ada satu lajur dengan antrian yang panjang dan satu lajur dengan antrian yang pendek.

Ada 3 skenario untuk arus lalu lintas dari 2 lajur dengan panjang antrian berbeda, yaitu 300 kend/jam dan 900 kend/jam (skenario 1), 450 kend/jam dan 900 kend/jam (skenario 2) dan 600 kend/jam dan 900 kend/jam (skenario 3). Semua skenario merepresentasikan kondisi arus lalu lintas tidak jenuh.

Dalam studi ini data diekstraksi dari simulasi lalu lintas tersebut di atas. Data penting yang diperlukan adalah kecepatan gelombang kejut yang dibentuk dari koordinat waktu dan ruang ketika kendaraan berhenti dan mulai berjalan pada sebuah simpang bersinyal. Ekstraksi data yang dilakukan menempuh cara sebagai berikut,

1. Subset trajektori untuk setiap kendaraan i

$$df_i = \{df | id = i\} \tag{3}$$

dimana df_i = data set untuk kendaraan i
 df = seluruh data set
 id = indeks kendaraan

2. Cek jika kendaraan tiba pada lampu merah dan sempat antri atau tidak. Definisi antri adalah Ketika kendaraan benar-benar berhenti (kecepatan = 0). Jika kendaraan tidak pernah berhenti, lanjutkan ke data set kendaraan berikutnya.

$$if (\{df | s = 0\} = \emptyset), \{next\} \tag{4}$$

dimana s = kecepatan kendaraan (km/h)

3. Temukan koordinat waktu dari kendaraan paling depan dalam antrian

$$t^* = \underset{t}{\operatorname{argmin}} (X - X_0) \tag{5}$$

Dimana

t^* = koordinat waktu kendaraan paling depan
 t = koordinat waktu
 X = koordinat jarak
 X_0 = posisi lampu lalu lintas

4. Mencari siklus dimana kendaraan yang pertama kali melewati garis stop mulai berjalan

$$c_i = \frac{t^*}{CL} + 0.5 \tag{6}$$

dimana c_i = indeks siklus (dibulatkan)
 CL = Panjang siklus

5. Subset semua data kendaraan dengan kecepatan = 0 (kendaraan berhenti)

$$S = \{df | s = 0\} \tag{7}$$

dimana S = data set Ketika kendaraan berhenti

6. Ambil waktu terakhir Ketika kendaraan berhenti (momen pertama Ketika kendaraan mulai berjalan)

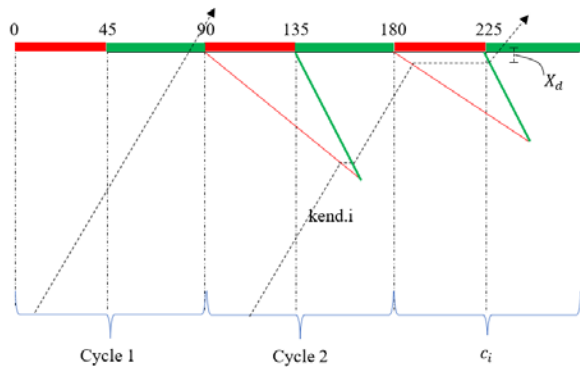
$$D = \{S | t = t_{max}\} \tag{8}$$

dimana D = data set dari saat kendaraan mulai berjalan

7. Pilih data stop kendaraan untuk siklus tersebut. Ini dilakukan untuk menghindari data kendaraan i yang berhenti dari siklus sebelumnya (lihat gambar 1).

$$S_i = \{S | X < X_d + \alpha \ \& \ X > X_d - \alpha\} \tag{9}$$

dimana X_d = jarak dari kendaraan ke garis henti Ketika mulai berjalan (diambil dari dataset D)
 α = koefisien toleransi dari pergerakan kendaraan dalam antrian



Gambar 1. Trajectory dari kendaraan i pada simpang bersinyal

8. Ambil data set titik kedatangan

$$AP = \{S_i | t = t_{min}\} \tag{10}$$

dimana AP = data set titik kedatangan (awal dari antrian)

t_{min} = titik koordinat minimum

Skenario prosentasi kendaraan penyidik

Prosentasi kendaraan penyidik divariasikan dari 10% sampai 100% dengan kenaikan 10%. Sebuah kendaraan dinyatakan bergabung dengan antrian hanya pada saat kendaraan itu benar-benar berhenti (kecepatan = 0 km/h). Alasan untuk definisi antrian ini adalah karena aplikasi studi ini adalah pada simpang bersinyal dimana kecepatan kendaraan biasanya rendah, demikian juga dengan jarak kendaraan yang satu dengan kendaraan yang lain.

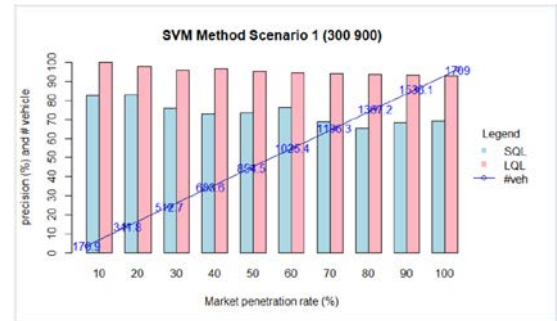
Support Vector Machine

Dalam penelitian ini untuk memprediksi lajur kendaraan digunakan sebuah metode machine learning yaitu Support Vector Machine (SVM). SVM pertama kali diperkenalkan oleh Vapnik pada tahun 1992 sebagai konsep unggulan untuk machine learning. SVM adalah metode yang bekerja atas prinsip Structural Risk Minimization (SRM), dengan tujuan mendapatkan hyperplane terbaik yang memisahkan dua kelompok pada ruang masukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

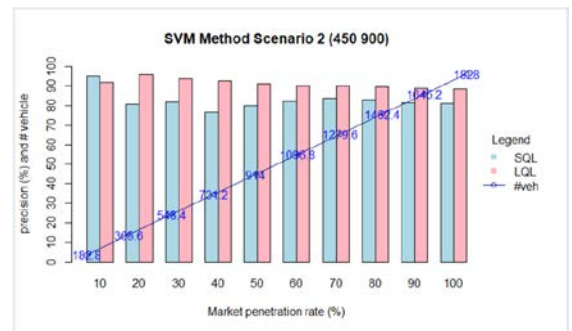
Setelah melakukan prosedur algoritma ekstraksi data seperti yang sudah diterangkan di atas maka digunakan metode Support Vector Machine untuk klasifikasi lajur berdasarkan gelombang kejut individu masing – masing

kendaraan penyidik. Metode Support Vector Machine ini dilakukan untuk ketiga skenario seperti yang sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Gambar 2 menunjukkan tingkat akurasi identifikasi lajur untuk skenario 1 pada 10 sampai 100% prosentasi kendaraan penyidik.



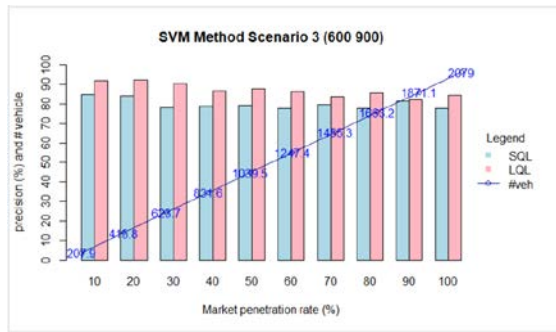
Gambar 2. Tingkat akurasi identifikasi lajur untuk skenario 1

Gambar 2 memperlihatkan bahwa prosentasi kendaraan penyidik dari seluruh mobil tidak menambah keakuratan identifikasi lajur secara signifikan. Bahkan terlihat kecenderungan bahwa semakin banyak prosentasi kendaraan penyidik, yang berarti semakin banyak pula kendaraan yang diidentifikasi lajurnya, semakin menurun akurasi pada lajur dengan antrian panjang, sedangkan pada lajur dengan antrian pendek berfluktuasi. Terlihat bahwa ada perbedaan akurasi antara kendaraan penyidik pada lajur antrian panjang dan lajur antrian pendek. Hal ini wajar karena jumlah kendaraan pada lajur antrian pendek lebih sedikit dibanding dengan jumlah kendaraan pada lajur antrian panjang.



Gambar 3. Tingkat akurasi identifikasi lajur untuk skenario 2

Gambar 3 menunjukkan kecenderungan yang sama untuk lajur antrian panjang, kecuali pada prosentasi kendaraan penyidik 10%. Dari hasil pada gambar tersebut terlihat bahwa baik lajur antrian panjang maupun antrian pendek mempunyai tingkat akurasi lebih besar dari 80%.



Gambar 4. Tingkat akurasi identifikasi lajur untuk skenario 3

Dibandingkan dengan skenario 1, selisih prosentasi keakuratan identifikasi lajur dengan antrian pendek dan antrian panjang tidak signifikan. Gambar 4 menunjukkan bahwa walaupun mempunyai kecenderungan yang sama dengan skenario sebelumnya namun tingkat keakuratan pada skenario 3 turun dibandingkan pada skenario 2. Untuk prosentasi keakuratan kedua lajur tidak berbeda jauh seperti pada skenario 2. Dari ketiga skenario yang dikembangkan dapat disimpulkan bahwa,

1. Secara umum prediksi pada lajur antrian panjang (LQL) lebih akurat dibandingkan dengan lajur pada antrian pendek (SQL) hal ini berhubungan dengan semakin banyaknya kemungkinan kendaraan penyidik pada lajur antrian panjang
2. Semakin tinggi volume lalu lintas pada lajur pendek semakin baik prediksi lajur lalu lintas kendaraan penyidik.

KESIMPULAN

Studi ini menyajikan kegunaan kendaraan penyidik untuk menganalisa dinamika antrian pada simpang bersignal. Kesimpulan dari penelitian ini adalah, lajur kendaraan penyidik dapat diidentifikasi dengan menggunakan teori arus lalu lintas (*Traffic Flow Theory*) dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). Teori arus lalu lintas yang digunakan adalah gelombang kejut. Hal ini dilakukan dengan memperhatikan posisi lajur kendaraan penyidik khususnya pada kasus panjang antrian yang tidak seimbang pada jalan yang mempunyai banyak lajur. Selanjutnya Metode Kecerdasan Buatan yang digunakan adalah *Support Vector Machine* yang merupakan bagian dari metode pembelajaran mesin (*machine learning*).

Studi ini membangun sebuah kerangka untuk mengidentifikasi lajur kendaraan penyidik secara waktu aktual pada simpang bersignal pada kasus antrian tidak seimbang di simpang bersinyal yang mempunyai lengan dengan jumlah lajur lebih dari satu. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa,

1. Untuk mengidentifikasi lajur kendaraan penyidik tidak perlu menggunakan kecepatan gelombang kejut antrian yang diperoleh secara simultan dari seluruh kendaraan penyidik yang ada, melainkan menggunakan kecepatan gelombang kejut

antrian individu dari masing-masing kendaraan penyidik.

2. Selain kecepatan gelombang kejut antrian individu, posisi lajur dari kendaraan penyidik juga dapat dikarakterisasikan dengan rata-rata jarak kendaraan penyidik dari lampu lalu lintas.

Lajur kendaraan penyidik dapat diprediksi dengan baik ketika probabilitas kecepatan gelombang kejut antrian individunya dan prediksi jarak lebih besar atau sama dengan 85% untuk lajur antrian pendek dan lebih besar atau sama dengan 75% untuk lajur antrian yang panjang.

Sebagai usulan penelitian selanjutnya, perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mencari metode / algoritma penyetelan parameter (*parameter fine tuning*) yang terbaik dari metode Support Vector Machine. Penelitian ini juga belum mencakup mengenai jenis-jenis kendaraan yang ada di jalan. Disarankan agar pada penelitian selanjutnya hal ini bisa diperhitungkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini dibiayai oleh Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Badan Layanan Umum Universitas Sam Ratulangi, karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak Universitas Sam Ratulangi atas kesempatan mendapatkan pembiayaan untuk studi ini.

REFERENSI

- Badan Pusat Statistik Kota Manado** [WWW Document], (2017). URL <https://manadokota.bps.go.id/> (accessed 9.16.17).
- Cetin, M.** (2012). Estimating queue dynamics at signalized intersections from probe vehicle data: Methodology based on kinematic wave model. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 164–172.
- Chen, M., Chien, S.** (2001). Dynamic freeway travel-time prediction with probe vehicle data: Link based versus path based. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 157–161.
- Comert, G.** (2013). Effect of stop line detection in queue length estimation at traffic signals from probe vehicles data. *Eur. J. Oper. Res.* 226, 67–76.
- Dia, H., Thomas, K.** (2011). Development and evaluation of arterial incident detection models using fusion of simulated probe vehicle and loop detector data. *Inf. Fusion* 12, 20–27.
- GPS.gov: GPS Accuracy** [WWW Document]. (2022). URL <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/> (accessed 8.14.22).
- Kuhne, R., Michalopoulos, P.** (1997). Continuum flow models. *Traffic flow theory: A state of the art report revised monograph on traffic flow theory* 18.
- Nanthawichit, C., Nakatsuji, T., Suzuki, H.** (2003).

Application of probe-vehicle data for real-time traffic-state estimation and short-term travel-time prediction on a freeway. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 49–59.

Ramezani, M., Geroliminis, N. (2013). Exploiting probe data to estimate the queue profile in urban networks, in: *Intelligent Transportation Systems-(ITSC), 2013 16th International IEEE Conference on. IEEE*, pp. 1817–1822.

Sethi, V., Bhandari, N., Koppelman, F.S., Schofer, J.L. (1995). Arterial incident detection using fixed detector and probe vehicle data. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 3, 99–112.