

Penghindaran Jalur Rintangan untuk Kendaraan *Pick up Autonomous* Berdasarkan *Artificial Potential Field Algorithm*

¹Bayu Ramadhan, ²Mohamad Yamin

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
Jl. Margonda Raya No. 100 Pondok Cina, Depok 16424 Indonesia

Email: ¹bayuu.ramadhann@gmail.com, ² mohay@staff.gunadarma.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima pada 31 Oktober 2020
Disetujui pada 20 Februari 2021
Dipublikasikan pada 28 Februari 2021
Hal. 195-204

Kata Kunci:

autonomous, artificial potential field, carsim, matlab

DOI:

<http://dx.doi.org/10.28926/briliant.v3i4.574>

Abstrak: Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dinamika kemudi otonom (*autonomous*). Tugas penting kendaraan otonom adalah bergerak mengenali lingkungan dan mendeteksi terjadinya hambatan. Tujuannya adalah mengurangi kecelakaan. Untuk menghasilkan sistem yang efisien, paper ini menggunakan kendaraan *Pick-up* dengan kecepatan 18 *sec* dan metode *artificial potential field algorithm*. Kemudian mensimulasikan menggunakan *software carsim/matlab (co-simulation)* dengan kecepatan laju 80 km/h dan 40 km/h yang menghasilkan dinamika. Perencanaan yang telah disimulasi dapat disimpulkan dan diimplementasi sebagai manuver dengan kinerja jalur kendala yang efektif, aman dan nyaman saat berkendara.

PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir, penelitian tentang kemudi otonom menjadi salah satu topik terbaru yang berkembang maju di berbagai industri dan akademis (Lee, Yoon, Shim, Vasseur, & Demonceaux, 2014; Li, Sun, Cao, He, & Zhu, 2015). Teknologi tersebut memfokuskan kedalam jalur sistem penggerak, sistem kontrol dengan gerakan secara otomatis berdasarkan kondisi kendaraan dan kondisi jalan (Katrakazas, Quddus, Chen, & Deka, 2015). Kondisi tersebut, kendaraan dengan sistem kontrol kemudi otonom dapat membantu meningkatkan keselamatan dan aktivitas dalam berkendara.

Berbagai perkembangan studi di era teknologi 4.0 semakin maju menghasilkan teknologi sensor, teknologi kontrol elektronik dan teknologi kecerdasan buatan. Kendaraan otonom diharapkan lebih cerdas, lebih manusiawi dan ramah lingkungan. Dengan demikian, desain sistem perencanaan jalur kendaraan kemudi otonom dapat mengatasi jalur *scenario* yang dimanis. (Y. Liu, Wang, Li, Cheng, & Chen, 2019). Mengatasi masalah rintangan kemudi harus berdasarkan informasi persepsi yang telah direncanakan, yaitu salah satunya fungsi dari sistem dan modul perencanaan. Teknologi utama untuk menghindari kendala kemudi harus mengambil keputusan perencanaan jalur dan pelacakan jalan yang

akan di gunakan (H. Chen, Xiong, Gong, & Jiang, 2014). Oleh karena itu, dalam masalah perencanaan jalur untuk menghindari rintangan kemudi otonom memiliki makna penting secara praktis dan bisa digunakan dalam aplikasi sistem kontrol.

Panduan perencanaan jalur kemudi otonom dapat menghasilkan jalur yang inovatif, dapat menghindari jalur rintangan dengan memenuhi ketentuan permintaan keselamatan jalan dan rintangan jalur dinamika kendaraan (Gong, Jiang, & Xu, 2014; P. Wang, Gao, Li, Cheng, & Zhao, 2019). Penelitian tentang algoritma untuk perencanaan jalur menjadi salah satu pembahasan yang bertujuan dan memfokuskan pengembangan kendaraan kemudi otonom. Berbagai metode algoritma telah diterapkan untuk penelitian tersebut. Saat ini, metode utama dalam penelitian menggunakan metode *artificial potential field algorithm (APF)* (H. Chen et al., 2014; Gong et al., 2014). Struktur *artificial potential field algorithm* yang digunakan dapat memenuhi persyaratan kontrol dalam waktu nyata dan efisiensi terhadap waktu untuk mendeteksi hambatan berkendara. Dengan demikian, algoritma memiliki keuntungan untuk mengatasi masalah kendaraan otonom di jalur rintangan dan perencanaan jalur untuk penghindaran hambatan dalam waktu tertentu (Fu et al., 2015).

Menurut beberapa peneliti, Xiu berpendapat (Caijing & Hui, 2013) metode yang digunakan di bidang *traditional artificial potential field* dan mempublikasikan faktor penyesuaian jalur hasilnya tidak optimal dan kurang efisien. Wang memberi pendapat mengusulkan terhadap lingkup jalur lapangan baru yang menggunakan metodenya dan mempertimbangkan kondisi operasi kendaraan depan secara otonom (Shufeng & Junxin, 2018). Kemudian Luo merancang metode penelitiannya untuk mengembangkan perencanaan lintasan berdasarkan fungsi lintasan *polynomial quantic* (Luo, Xiang, Cao, & Li, 2016). Ji memberikan pendapat dengan model lapangan virtual berbahaya 3D untuk mengukur dan menggambarkan resiko mengemudi (J Ji & Ji, 2016; Jie Ji, Khajepour, Melek, & Huang, 2016) berdasarkan perencanaan jalur dan pelacakan lintasan kendaraan otonom. Wang mengusulkan metode perencanaan jalur yang dilakukan penelitiannya berdasarkan pada model *predictive control algorithm* (H. Wang et al., 2018) dengan menggabungkan faktor potensi dari hasil di lapangan dan mendata hasil tingkat kecelakaan berkendara. Chen mengusulkan metode penelitiannya untuk penghindaran rintangan kendaraan otonom kecepatan rendah berdasarkan *polar algorithm* (Y. Chen, Peng, & Grizzle, 2017).

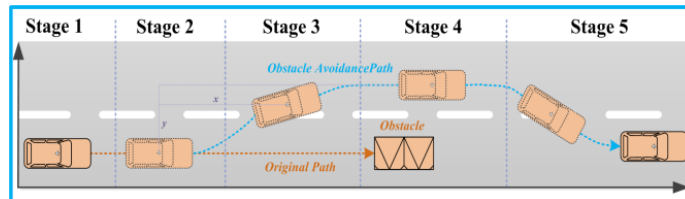
Paper ini memberikan pengembangan baru menggunakan kendaraan sebelumnya yaitu kendaraan sedan. Kemudian dikembangkan menggunakan kendaraan *Pick-up* dengan kecepatan 40 km/h dan 80 km/h. Perencanaan jalur rintangan kendaraan otonom disimulasikan menghasilkan data dinamis, mempertimbangkan karakteristik gerakan yang nyata dan mengetahui bahaya hambatan kendaraan otonom.

Perencanaan jalur penghindaran dapat disimulasikan dan memiliki 2 kontribusi utama:

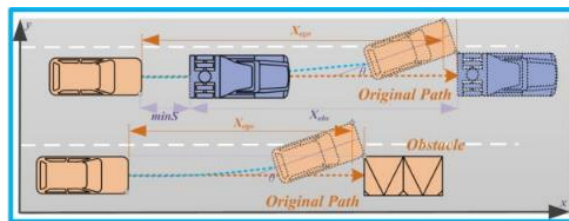
1. Memberikan karakteristik keselamatan dan menganalisis keamanan kendaraan otonom.
2. Berdasarkan model keselamatan, kendaraan dapat menghasilkan laju bebas di jalur dimanis dengan kecepatan tertentu.

METODE

Penelitian yang dihasilkan dari *National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)* memberikan data, hampir 30% kecelakaan kendaraan di tempat umum terjadi karena perbaikan jalur (Paleti, Eluru, & Bhat, 2010). Untuk menanggulangi kecelakaan tersebut, paper ini memberikan kontribusi. Hasil tersebut memberikan dampak baik untuk memperbarui kecepatan, pergerakan dan sifat hambatan kecelakaan. (J Wang, Wu, & Li, 2016). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar (1) dan Gambar (2) menggambarkan kondisi menghindari tabrakan.



Gambar 1. Proses penghindaran rintangan (P. Wang, Gao, Li, Sun, et al., 2019)



Gambar 2. Jarak keamanan *longitudinal* antara kendaraan *autonomous* dan rintangan (P. Wang, Gao, Li, Sun, et al., 2019)

$$X_{ego} + \omega \sin \theta < X_{obs} + S \quad (1)$$

Dalam persamaan (1) X_{ego} adalah perpindahan posisi *longitudinal* dari kendaraan laju awal menuju penghindaran rintangan, X_{obs} adalah perpindahan waktu dan posisi *longitudinal* dari kendaraan otonom, S adalah jarak awal antara kendaraan otonom dan kendaraan rintangan, ω adalah lebar kendaraan otonom, θ adalah sudut antara sumbu x koordinat kendaraan dan jalur. Nilai θ terkait dengan kecepatan lateral.

Selama perpindahan *longitudinal* kendaraan otonom memiliki waktu penghindaran rintangan dapat dinyatakan dalam persamaan (2):

$$X_{ego} = \int_0^{t_c} X_{ego} dt \quad (2)$$

Ketika jalur kendaraan tidak ada perubahan, maka untuk menentukan tidak terjadi tabrakan, jarak awal S harus memenuhi:

$$S = X_{ego} + \omega \sin \theta - X_{obs} > 0 \quad (3)$$

Untuk persamaan (3) di atas dapat digabungkan dengan hubungan kinematik kendaraan, jarak keselamatan minimum digunakan untuk menyelesaikan penghindaran kendaraan otonom tanpa tabrakan. Kemudian dapat dinyatakan dengan persamaan (4):

$$\min S = \{(X_{ego} - X_{obs})t_c \int_0^{t_c} (X_{ego}(t) - X_{obs}(t))dt + \omega \sin \theta, 0\} \quad (4)$$

Dalam proses lalu lintas, persamaan (5) memberikan hasil kecepatan menyalip *relative* rendah dan menghasilkan faktor kesalahan yang lebih besar. Kemudian, untuk memastikan keselamatan berkendara. Persamaan (5) memberikan peningkatan dalam mempertimbangkan karakteristik perkembangan waktu dan pengemudi.

$$\min D = \min S + c(X_{obs} - X_{obs}) + d_0 + \sigma (X_{obs} + X_{obs}) \quad (5)$$

Persamaan (5) diatas c merupakan kelajuan, d_0 adalah jarak pengereman yang aman, σ adalah faktor hambatan, yang dapat dinyatakan dalam persamaan (6):

$$\sigma = \frac{G_1 m_{obs} \omega_{obs}}{G_2 s} \exp G_3 \max\{(X_{ego} - X_{obs}), 0\} \quad (6)$$

Persamaan (6) memberikan keterangan bahwa m dan ω adalah massa dan lebar rintangan, masing-masing G_1 , G_2 , dan G_3 adalah koefisien penyesuaian.

Pembahasan *artificial potential field algorithm* sudah dibahas oleh Khatib pada tahun 1986 (An, Chen, Cheng, & Fang, 2017; Wahid, Zamzuri, Rahman, Kuroda, & Raksincharoensak, 2017). Hal tersebut mendeskripsikan untuk membangun dibidang *virtual potential field* (Rasekhipour, Khajepour, Chen, & Litkouhi, 2016). Selain menghindari rintangan dengan aman ketika berkendara, gerakan otonom harus berada dijalur tengah jika tidak ada penghalang yang terdeteksi oleh sensor. Selanjutnya, menghindari jalur rintangan untuk kendaraan *autonomous*. *The artificial potential field method (APF)* dapat didefinisikan dalam persamaan (7):

$$U_{road} = \begin{cases} k_{road} \exp\left(\frac{\omega_{lane}}{2} - l_{ego}^l\right), l_{ego}^l \in \left(\frac{\omega_{ego}}{2}, \frac{\omega_{lane}}{2}\right) \\ 0, l_{ego}^l, l_{ego}^r \notin \left(\frac{\omega_{ego}}{2}, \frac{\omega_{lane}}{2}\right) \\ k_{road} \exp\left(\frac{\omega_{lane}}{2} - l_{ego}^r\right), l_{ego}^r \in \left(\frac{\omega_{ego}}{2}, \frac{\omega_{lane}}{2}\right) \end{cases} \quad (7)$$

Dari persamaan di atas adalah, k_{road} adalah koefisien dari bidang potensial, l_{ego}^r adalah jarak antara kendaraan dan garis jalur kanan, dan l_{ego}^l adalah jarak antara kendaraan dan garis jalur kiri, ω_{lane} dan ω_{ego} masing-masing mewakili lebar jalur dan kendaraan (Pan, Li, Hu, & Zhu, 2015).

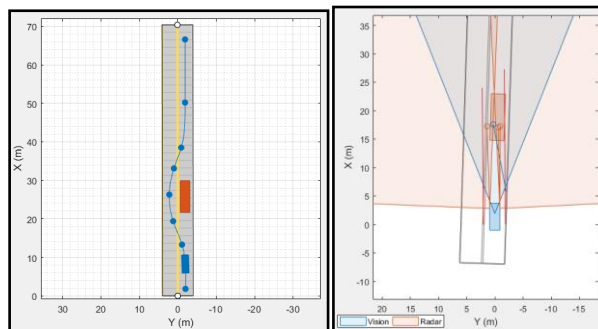
HASIL

Pembahasan kendala otonom dengan metode *artificial potential field algorithm* dan perangkat lunak *Carsim/Matlab* disimulasikan, kemudian input parameter yang telah direncanakan dalam tabel (1). Gambar 3 menunjukkan implementasi simulasi dan skenario jalur penghindaran kendala otonom secara dinamis.



Gambar 3. Proses simulasi perangkat lunak

Dalam proses desain simulasi, kendaraan *Pickup* otonom bergerak di jalan yang lurus dengan kecepatan 40 km/h dan 80 km/h di jalur yang sama. Untuk menghindari terjadinya tabrakan di jalur kendaraan otonom, jalur kendaraan menyalip dan mendeteksi terjadinya rintangan. Setelah melewati hambatan rintangan, kendaraan otonom kembali bergerak ke jalur semula. Berikut jalur *scenario* ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Jalur penghindaran kendaraan otonom

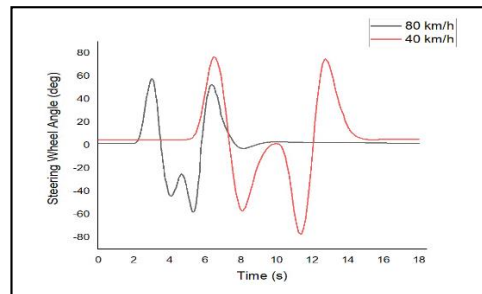
Kendaraan otonom disimulasikan menggunakan *Carsim*. Kemudian, parameter kendaraan di *input*. Berikut tabel (1) model parameter.

Tabel 1. Model *Parameters*

<i>Model Parameters</i>	<i>Value/(units)</i>
<i>Vehicle mass</i>	1998 (kg)
<i>Yaw inersia</i>	5757 (kg.m ²)
<i>Roll inersia</i>	846.6 (kg.m ²)
<i>Pitch inersia</i>	5757 (kg.m ²)
Waktu	18 (sec)

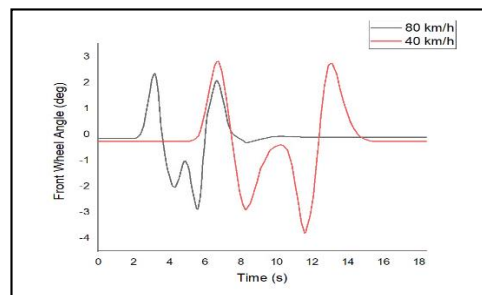
PEMBAHASAN

Gambar 5 memberikan hasil kurva sudut *steering*. Ketika kendaraan melaju dengan kecepatan 80 km/h, maka sudut mengemudi mengalami manuver 60° ke kiri dan -60° ke kanan dan kembali normal di sudut 40° . Kemudian, kendaraan kembali normal di waktu 9s. Kemudian, kurva warna merah untuk manuver kecepatan 40 km/h sudut *steering* kembali normal di waktu 15s. Hasil kurva menunjukkan bahwa jalur kendaraan otonom yang dihasilkan dari sudut putaran *steering* kendaraan otonom layak dan sesuai dengan karakteristik operasi kendaraan.



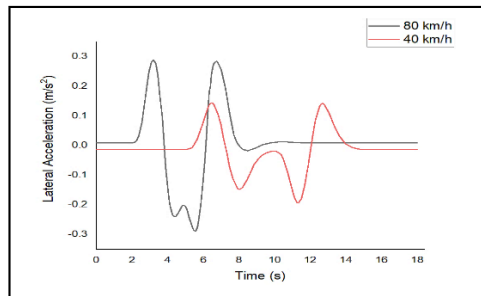
Gambar 5. *Angles of the steering wheel.*

Gambar 6 memberikan hasil kurva sudut roda depan. Ketika kecepatan 80 km/h, sudut roda depan mengalami pergerakan antara $\pm 2.3^\circ$ dan -2° hingga -2.8° sudut kembali normal di waktu 8.8 s. Kemudian, untuk kecepatan 40 km/h mengalami perubahan sudut di waktu 4.8 s. Sudut roda depan manuver ke 2.6° dan -3.8° , sudut roda depan kembali normal di waktu 15 s. Hasil kurva menunjukkan, sudut roda depan mengalami gerakan yang berbeda. Sehingga dengan kecepatan 80 km/h dan 40 km/h stabil.



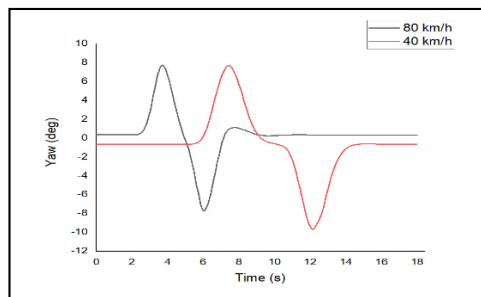
Gambar 6. *Angles of the front wheels.*

Gambar 7 memberikan hasil kurva percepatan lateral. Dari gambar berikut, percepatan lateral lebih besar ketika kendaraan otonom melakukan penghindaran rintangan kendaraan pada kecepatan jalu 80 km/h. Dari kecepatan 80 km/h memberikan nilai maksimum percepatan lateral adalah $\pm 0.27 \text{ m/s}^2$ dan $\pm 0.15 \text{ m/s}^2$ untuk kecepatan 40 km/h. -0.3 m/s^2 dari kecepatan 80 km/h dan -0.19 m/s^2 dari 40 km/h. Kecepatan tersebut relatif rendah sehingga kendaraan otonom kembali stabil.



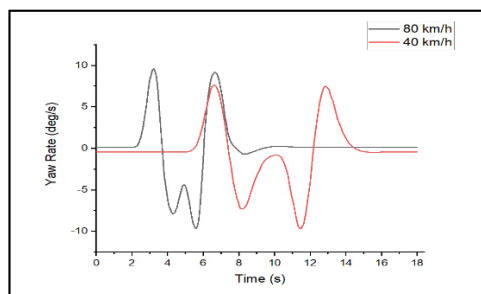
Gambar 7. *Lateral acceleration of the vehicle.*

Gambar 8 memberikan hasil kurva *Yaw angles*. Gambar berikut memberikan keterangan, ketika kecepatan kendaraan 80/40 km/h laju sudut *yaw* mengalami pergerakan yang sama ± 8 deg/s. *Speed* 80 km/h sudut tegak lebih cepat mengalami manuver dari 7° menuju -8° dan sudut tegak kembali normal di waktu 8.5s. Kemudian, *speed* 40 km/h lebih rendah ketika sudut tegak mengalami manuver di waktu 6 s hingga -10° dan kembali normal di waktu 14s. Hasil tersebut dapat menjaga kestabilan, keamanan pada kecepatan tinggi dan rendah. *Slip* gerakan sangat kecil.



Gambar 8. *Yaw angles of the vehicle.*

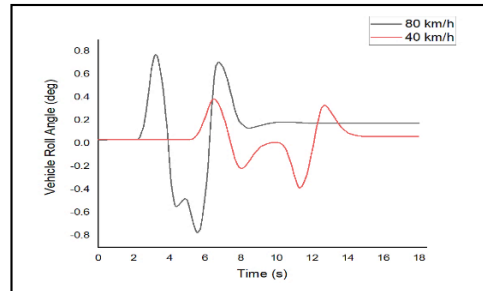
Gambar 9 memberikan hasil kurva *Yaw rates*. Kendaraan melaju kecepatan 80 km/h mengalami perubahan waktu ketika manuver 2.5° , -10° , 9° hingga kembali normal dalam waktu 8.5s berbeda dengan kecepatan 40 km/h manuver di 4.5° , -9° , 8.3° dan kembali normal disaat 14.5s.



Gambar 9. *Yaw rates of the vehicle.*

Gambar 10 memberikan hasil kurva sudut *roll*. Dari kurva berikut untuk menjaga tidak terjadinya *rollover*. Kurva ini menunjukkan sudut *roll* lebih besar

ketika kendaraan melakukan *maneuver* untuk penghindaran kendaraan otonom dengan kecepatan 80 km/h. Untuk sudut *roll* 40 km/h -0.4° dan sudut *roll* 80 km/h -0.8° . Maka hasil berikut ini, bahwa terjadinya *rollover* kendaraan otonom sangat rendah.



Gambar 10. *Roll angles of vehicle.*

Dari semua simulasi yang dihasilkan untuk jalur kendaraan otonom yaitu menghindari rintangan dan keamanan, terhindar dari tabrakan dan dapat melacak jalur referensi dengan kecepatan 80 km/h dan 40 km/h secara akurat.

KESIMPULAN

Dengan menggunakan metode *artificial potential field algorithm* dapat menghasilkan kontribusi yang lebih baik kedalam *High Automation* dan *Full Automation*. Kemudian bisa menyelesaikan simulasi dinamika *Angles of the steering wheel*, *Angles of the front wheels*, *Lateral acceleration of the vehicle*, *Yaw angles of the vehicle*, *Yaw rates of the vehicle*, *Roll angles of vehicle* dengan kecepatan 80 km/h dan 40 km/h. Hal tersebut mengurangi faktor kecelakaan lalu lintas kendaraan otonom dan bisa mendeteksi terjadinya rintangan. Metode ini dapat menganalisis mekanisme perencanaan jalur kendaraan otonom bebas benturan, model keselamatan kendaraan dan ramah lingkungan. Persamaan yang diterapkan telah memperhitungkan ringtangan secara efektif.

SARAN

Di Indonesia kendaraan otonom harus dikembangkan lebih modern dan bisa diekperimenkan. Kemudian sistem kontrol menggunakan *software matlab* harus ditingkatkan secara *structural*.

DAFTAR RUJUKAN

- An, L., Chen, T., Cheng, A., & Fang, W. (2017). Simulation on the Path Planning of Intelligent Vehicles Based on Artificial Potential Field Algorithm. *Automot. Eng*, 39, 1451-1456.
- Caijing, X., & Hui, C. (2013). A Research on Local Path Planning for Autonomous Vehicles Based on Improved APF Method. *Automotive Engineering*(9), 11.
- Chen, H., Xiong, G., Gong, J., & Jiang, Y. (2014). Introduction to Self-Driving Car. *Beijing Institute of Technology Press: Beijing, China*, 32-64.
- Chen, Y., Peng, H., & Grizzle, J. (2017). Obstacle avoidance for low-speed autonomous vehicles with barrier function. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 26(1), 194-206.

- Fu, X., Jiang, Y., Huang, D., Huang, K., Wang, J., & Lu, G. (2015). A novel real-time trajectory planning algorithm for intelligent vehicles. *Contr. Dec.*, 30(10), 1751-1758.
- Gong, J., Jiang, Y., & Xu, W. (2014). Model predictive control for self-driving vehicles. *Beijing Institute of Technology Press: Beijing, China.*
- Ji, J., & Ji, P. (2016). P, H.; Li, Y. Design of 3D Virtual Dangerous Potential Field for Vehicle Active Collision Avoidance. *Automot. Eng.*, 38, 1065-1071.
- Ji, J., Khajepour, A., Melek, W. W., & Huang, Y. (2016). Path planning and tracking for vehicle collision avoidance based on model predictive control with multiconstraints. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(2), 952-964.
- Katrakazas, C., Quddus, M., Chen, W.-H., & Deka, L. (2015). Real-time motion planning methods for autonomous on-road driving: State-of-the-art and future research directions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 60, 416-442.
- Lee, U., Yoon, S., Shim, H., Vasseur, P., & Demonceaux, C. (2014). *Local path planning in a complex environment for self-driving car.* Paper presented at the The 4th Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent.
- Li, X., Sun, Z., Cao, D., He, Z., & Zhu, Q. (2015). Real-time trajectory planning for autonomous urban driving: Framework, algorithms, and verifications. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 21(2), 740-753.
- Liu, Y., Wang, X., Li, L., Cheng, S., & Chen, Z. (2019). A novel lane change decision-making model of autonomous vehicle based on support vector machine. *IEEE Access*, 7, 26543-26550.
- Luo, Y., Xiang, Y., Cao, K., & Li, K. (2016). A dynamic automated lane change maneuver based on vehicle-to-vehicle communication. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 62, 87-102.
- Paleti, R., Eluru, N., & Bhat, C. R. (2010). Examining the influence of aggressive driving behavior on driver injury severity in traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1839-1854.
- Pan, Z., Li, J. Q., Hu, K. M., & Zhu, H. (2015). *Intelligent vehicle path planning based on improved artificial potential field method.* Paper presented at the Applied Mechanics and Materials.
- Rasekhipour, Y., Khajepour, A., Chen, S.-K., & Litkouhi, B. (2016). A potential field-based model predictive path-planning controller for autonomous road vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(5), 1255-1267.
- Shufeng, W., & Junxin, Z. (2018). A Research on Overtaking Lane Planning for Intelligent Vehicles Based on Improved Artificial Potential Field Method. *Automobile Technology*(3), 2.
- Wahid, N., Zamzuri, H., Rahman, M. A. A., Kuroda, S., & Raksincharoensak, P. (2017). *Study on potential field based motion planning and control for automated vehicle collision avoidance systems.* Paper presented at the 2017 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM).

- Wang, H., Huang, Y., Khajepour, A., Liu, T., Qin, Y., & Zhang, Y. (2018). *Local Path Planning for Autonomous Vehicles: Crash Mitigation*. Paper presented at the 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV).
- Wang, J., Wu, J., & Li, Y. (2016). Concept, Principle and Modeling of Driving Risk Field Based on Driver-vehicle-road Interaction. *China Journal of Highway and Transport*, 29, 105-114.
- Wang, P., Gao, S., Li, L., Cheng, S., & Zhao, L. (2019). Automatic steering control strategy for unmanned vehicles based on Robust Backstepping sliding mode control theory. *IEEE Access*, 7, 64984-64992.