

Simulasi Sistem Penghindar Tabrakan Depan Belakang Berbasis Logika Fuzzy

Noor Cholis Basjaruddin, Didin Saefudin, Anggun Pancawati

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : noorcholis@polban.ac.id

ABSTRAK

Sistem penghindar tabrakan depan belakang (Rear-end Collision Avoidance System, RCAS) adalah perangkat untuk membantu pengemudi agar terhindar dari tabrakan depan belakang. RCAS merupakan bagian dari Advanced Driver Assistance Systems (ADASs) dan menjadi bagian penting pada kendaraan tanpa pengemudi (driverless car). Paper ini membahas simulasi RCAS berbasis logika fuzzy menggunakan mobil remote control. Metoda inferensi yang digunakan pada bagian kendali fuzzy adalah metoda Mamdani dan direalisasikan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma RCAS berbasis logika fuzzy dapat bekerja sesuai rancangan.

Kata Kunci

rear-end collision avoidance system, advanced driver assistance system, logika fuzzy, tabrakan depan belakang

1. PENDAHULUAN

Beberapa jenis tabrakan yang kerap terjadi adalah tabrakan samping (serempetan), tabrakan depan belakang, dan tabrakan depan-depan. Tabrakan depan belakang mencapai sekitar 30% dari seluruh jenis tabrakan [1], [2].

Sebagian besar tabrakan depan belakang disebabkan karena kelalaian pengemudi yaitu sekitar 67% [3]. Secara teknis 45% penyebab tabrakan depan belakang disebabkan karena pengemudi gagal mengerem atau menghindari kendaraan di depannya yang melambat atau berhenti secara tiba-tiba [1]. Pada jalan bebas hambatan tabrakan depan belakang berpotensi menjadi penyebab tabrakan beruntun yang dapat melibatkan puluhan bahkan ratusan kendaraan.

Rear-end collision avoidance system (RCAS) dirancang untuk mencegah tabrakan depan belakang dengan cara mengambil alih fungsi kemudi ketika tabrakan depan belakang akan terjadi dan pengemudi tidak berusaha menghindari karena sebab tertentu. Manuver kendaraan yang dilengkapi RCAS untuk menghindari tabrakan depan belakang adalah dengan mengatur kecepatan sehingga jarak aman tetap terpelihara atau mengerem sampai berhenti ketika kendaraan di depannya berhenti secara tiba-tiba.

RCAS dikenal dengan beberapa nama lain seperti Forward Collision Avoidance Assist (Nissan), Automatic Emergency Braking (Hyundai), Pre-Safe Brake (Mercedes-Benz), dan Collision Warning with Auto Brake (Volvo).

Beberapa kendaraan yang telah dilengkapi dengan RCAS antara lain BMW seri 5 dan 6, Audi A3 dan A6, Cadillac CTS dan XTS, Hyundai Genesis, Mercedes-Benz CLA dan E-class, serta Toyota Avalon [4].

Fokus penelitian RCAS adalah pada pengembangan algoritma dan sensor. Beberapa penelitian yang mengembangkan algoritma RCAS antara lain [5] dan [6]. Sedangkan penelitian RCAS pada bagian sensor dilakukan oleh [7] dan [8].

2. METODA PENELITIAN

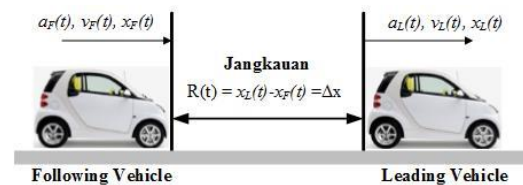
Prinsip kerja RCAS adalah memantau jarak dan kecepatan kendaraan di depannya dengan sensor. Ketika jarak terlalu dekat dibanding jarak aman maka kendaraan akan melambat atau berhenti ketika kendaraan di depannya tiba-tiba berhenti.

Pada pembahasan berikut digunakan penamaan kendaraan dibelakang (following vehicle, FV) untuk menamai kendaraan yang dilengkapi RCAS dan kendaraan di depan (leading vehicle,

LV) untuk kendaraan yang melaju di depan FV pada lajur yang sama.

2.1. Persoalan Tabrakan Depan Belakang

Tabrakan depan belakang dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1: Persoalan tabrakan depan belakang

$a_F(t)$, $v_F(t)$, dan $x_F(t)$: percepatan, kecepatan, dan posisi FV
 $a_L(t)$, $v_L(t)$, dan $x_L(t)$: percepatan, kecepatan, dan posisi LV
 $R(t)$: jarak antara dua mobil

Tabrakan depan belakang dapat terjadi dengan skenario sebagai berikut:

- Mobil di depan (*leading vehicle*, LV) mengerem mendadak dan mobil di belakang (*following vehicle*, FV) tidak dapat mengerem atau menghindari sehingga menabrak mobil di depannya.
- Mobil di depan berjalan dengan kecepatan normal dan mobil di belakang melaju dengan kecepatan tinggi sehingga menabrak mobil di depannya.

Secara matematis kecelakaan depan belakang dapat terjadi karena $R(t) \leq 0$, $R(t)$ adalah jarak antara mobil di belakang (FV) dan mobil di depan (LV). Untuk menghindari kecelakaan depan belakang, mobil di belakang harus bermanuver dengan cara mengurangi kecepatan mobil atau mengerem sampai berhenti.

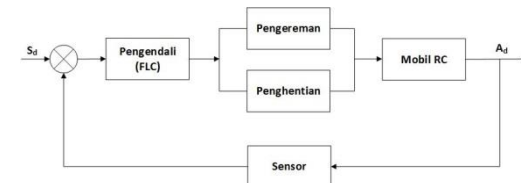
Perancangan RCAS pada dasarnya adalah merancang sistem yang memungkinkan kendaraan mampu melambat atau mengerem sampai berhenti untuk menghindari tabrakan depan belakang secara otomatis. Baik melambat maupun berhenti secara tiba-tiba keduanya membutuhkan jarak FV dan LV yang mencukupi untuk proses melambat atau berhenti secara tiba-tiba. Jarak tersebut dinamakan jarak aman antar dua mobil atau *safety distance* (SD).

Tabrakan depan belakang dapat terjadi karena jarak FV dan LV lebih kecil dari jarak aman dan situasi tersebut tidak diperbaiki. Ketidackukupan jarak aman tersebut disebabkan karena keterbatasan pengemudi atau pengaruh lingkungan seperti cuaca dan kondisi

jalan. Ukuran kendaraan juga dapat menyebabkan jarak aman tidak terpantau dengan baik, misalkan pada kendaraan besar seperti bus dan truk.

2.2. Diagram Blok Simulasi RCAS

Diagram blok simulasi RCAS dapat dilihat pada [9].

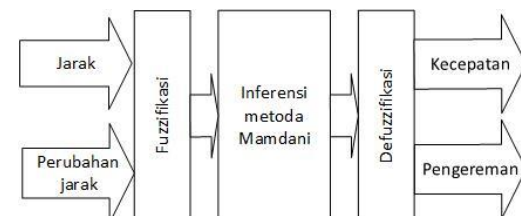


Gambar 1: Diagram blok simulasi RCAS

S_d adalah jarak aman antara mobil FV dan LV. A_d adalah jarak aktual antara mobil FV dan LV yang dipantau oleh sensor jarak. Jika A_d lebih kecil dibanding S_d , maka Pengendali (*Fuzzy Logic Control*, FLC) akan memilih cara menghindari tabrakan dengan LV. Jika masih memungkinkan dilakukan penyesuaian kecepatan maka FV akan mengerem dan jika tidak dimungkinkan penyesuaian kecepatan maka dilakukan penghentian dengan cara mengerem secara penuh (*full brake*).

2.3. RCAS berbasis Logika Fuzzy

Diagram blok RCAS berbasis logika fuzzy dapat dilihat pada Gambar 2.

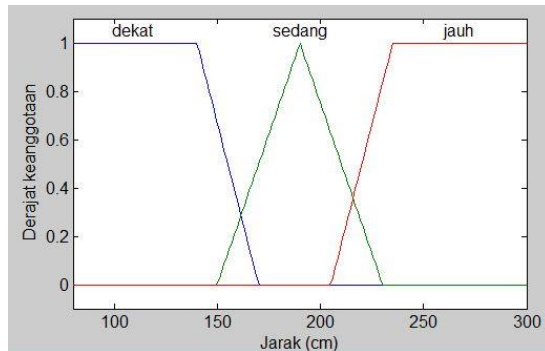


Gambar 2: Diagram blok RCAS berbasis logika fuzzy

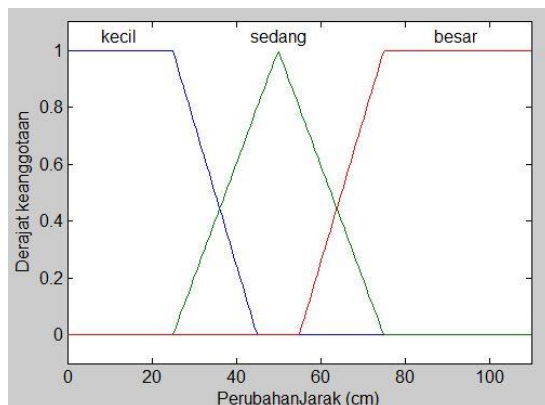
1) *Fungsi Keanggotaan Masukan*: Fungsi keanggotaan masukan RCAS berbasis logika fuzzy dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Fungsi keanggotaan masukan jarak dibagi menjadi tiga bagian yaitu dekat, sedang, dan jauh. Sedangkan fungsi keanggotaan perubahan jarak dibagi menjadi kecil, sedang, dan besar.

2) *Fungsi Keanggotaan Keluaran*: Fungsi keanggotaan keluaran dapat dilihat pada Gambar 5. Sebagai peubah keluaran adalah nilai PWM yang akan digunakan pada simulasi menggunakan mobil *remote control*.

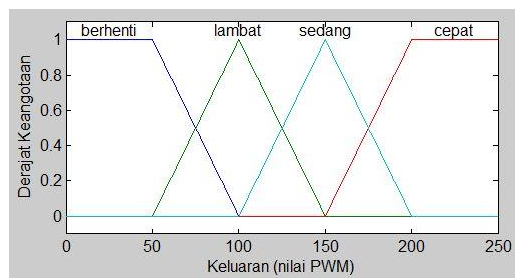
3) *Basis Aturan*: Basis aturan pada FLC yang dikembangkan dapat dilihat pada Tabel .



Gambar 3: Fungsi keanggotaan masukan jarak



Gambar 4: Fungsi keanggotaan masukan perubahan jarak

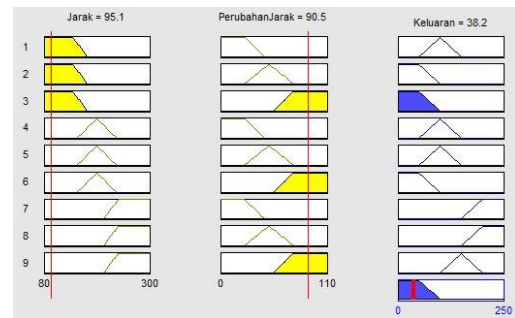


Gambar 5: Fungsi keanggotaan keluaran

Tabel 1: Basis Aturan

		Perubahan jarak		
		kecil	sedang	besar
Jarak	dekat	lambat	berhenti	berhenti
	sedang	lambat	lambat	berhenti
	jauh	cepat	cepat	sedang

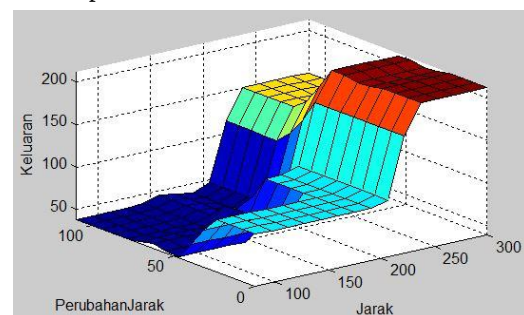
4) *Tampilan rules*: Tampilan *rules* dari FLC dapat dilihat pada Gambar 6. Tampilan ini dipilih pada saat situasi jarak FV dan LV terlalu dekat dan perubahan jarak besar (artinya LV sangat lambat atau berhenti). Pada situasi tersebut FV harus mengerem penuh agar berhenti.



Gambar 6: Tampilan *rules*

Nilai keluaran 36,2 pada tampilan *rules* menunjukkan bahwa mobil RC berhenti.

5) *Simulasi Bagian Fuzzy Logic*: Hasil simulasi perancangan *fuzzy logic controller* (FLC) dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7: Hubungan masukan dan keluaran

2.4. Simulasi perangkat keras

Simulasi perangkat keras dilakukan dengan menggunakan mobil remote control seperti diperlihatkan pada Gambar 8): Mobil *remote control* untuk simulasi (a) Tampak samping, (b) Tampak depan

1) *Mobile remote control*: Mobil *remote control* (RC) yang digunakan sebagai perangkat utama simulasi mempunyai skala 1:10 terhadap mobil nyata.

2) *Sensor*: Pada simulasi perangkat keras dalam penelitian ini digunakan satu sensor ultrasonik yang dipasang pada bagian depan mobil RC. Sensor tersebut digunakan EV untuk mengukur jarak mobil di depannya (LV).

3) *Sistem mikrokontroller*: Mobil RC dikendalikan dengan menggunakan sistem mikrokontroler Arduino Uno R3 berbasis ATmega328. Sistem mikrokontroller ini memungkinkan dilengkapi dengan pustaka fungsi kendali logika fuzzy dengan metoda inferensi Min-Max Mamdani dan proses defuzzifikasi menggunakan *center of area* [[HYPERLINK \l "Msc14" 10](#)].

4) *Kendali motor*: Pengendalian motor utama mobil RC dilakukan dengan menggunakan

sinyal Pulse Width Modulation (PWM). Melalui PWM kecepatan mobil RC dapat diatur sesuai keperluan.

5) *Data logger*: Data penting selama proses pengujian disimpan dalam memori Secure Digital (SD) card. Perangkat tambahan yang digunakan untuk proses penyimpanan adalah Arduino SD card shield

2.5.

Pengujian simulasi perangkat keras dengan mobil RC dilakukan dalam dua bagian. Bagian pertama pengujian sub sistem, sedangkan bagian kedua pengujian keseluruhan sistem.

2.6. Pengujian Sub Sistem

1) *Pengujian kecepatan mobil RC*: Hasil pengujian nilai PWM terhadap kecepatan mobil RC dapat dilihat pada table 2.

Tabel 2: Hasil Pengujian Kecepatan Mobil RC

No	PWM	Jarak (cm)	Waktu (s)	Kecepatan (cm/s)
1.	255	300	2.27	132.15
2.	190	300	2.60	115.38
3.	175	300	3.04	98.68
4.	150	300	4.28	70.09
5.	130	300	4.36	68.80
6.	110	300	4.10	73.17

[[HYPERLINK \l "Ang14" 9](#)].



(a)



(b)

Gambar 8}: Mobil *remote control* untuk simulasi (a) Tampak samping, (b) Tampak depan

2) *Mobile remote control*: Mobil *remote control* (RC) yang digunakan sebagai perangkat utama simulasi mempunyai skala 1:10 terhadap mobil nyata.

3) *Sensor*: Pada simulasi perangkat keras dalam penelitian ini digunakan satu sensor ultrasonik yang dipasang pada bagian depan mobil RC. Sensor tersebut digunakan EV untuk mengukur jarak mobil di depannya (LV).

4) *Sistem mikrokontroller*: Mobil RC dikendalikan dengan menggunakan sistem mikrokontroler Arduino Uno R3 berbasis ATmega328. Sistem mikrokontroller ini memungkinkan dilengkapi dengan pustaka fungsi kendali logika fuzzy dengan metoda inferensi Min-Max Mamdani dan proses defuzzifikasi menggunakan *center of area* [[HYPERLINK \l "Msc14" 10](#)].

5) *Kendali motor*: Pengendalian motor utama mobil RC dilakukan dengan menggunakan sinyal Pulse Width Modulation (PWM). Melalui PWM kecepatan mobil RC dapat diatur sesuai keperluan.

6) *Data logger*: Data penting selama proses pengujian disimpan dalam memori Secure Digital (SD) card. Perangkat tambahan yang digunakan untuk proses penyimpanan adalah Arduino SD card shield

2.7.

Pengujian simulasi perangkat keras dengan mobil RC dilakukan dalam dua bagian. Bagian pertama pengujian sub sistem, sedangkan bagian kedua pengujian keseluruhan sistem.

2.8. Pengujian Sub Sistem

7) *Pengujian kecepatan mobil RC*: Hasil pengujian nilai PWM terhadap kecepatan mobil RC dapat dilihat pada table 2.

Tabel 2: Hasil Pengujian Kecepatan Mobil RC

No	PWM	Jarak (cm)	Waktu (s)	Kecepatan (cm/s)
1.	255	300	2.27	132.15
2.	190	300	2.60	115.38
3.	175	300	3.04	98.68
4.	150	300	4.28	70.09
5.	130	300	4.36	68.80
6.	110	300	4.10	73.17

Hasil pengujian kecepatan mobil RC menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai PWM yang diberikan maka semakin tinggi kecepatan mobil RC.

8) *Pengujian tanggapan sistem terhadap perubahan jarak*: Perubahan jarak FV dan LV akan ditanggapi dengan perubahan nilai PWM yang menyebabkan tegangan masukan ke motor mobil RC berubah. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8: Tanggapan sistem terhadap perubahan jarak

Hasil pengujian tanggapan sistem terhadap perubahan jarak menunjukkan bahwa tegangan masukan ke motor RC berubah sesuai dengan jarak. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antara FV dan LV maka kecepatan mobil FV akan semakin besar. Pada jarak di bawah nilai 80 cm, tegangan masukan ke motor adalah nol artinya mobil RC berhenti.

2.9. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan dilakukan dengan menggunakan mobil RC lain yang berperan sebagai *leading vehicle* (LV).

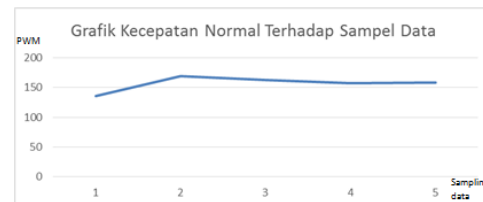
1) *Pengujian untuk kecepatan tinggi*: Kecepatan FV akan tinggi atau **cepat** jika jarak FV dan LV *jauh*, serta perubahan jarak *kecil* dan *sedang*. Pengujian dilakukan dengan mengatur jarak FV dan LV berjauhan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9: Hasil pengujian untuk kecepatan tinggi

Pada saat FV jauh dari LV maka FV dimungkinkan melaju dengan kecepatan **cepat**. Nilai PWM diatas 200 menunjukkan bahwa mobil RC melaju dengan cepat.

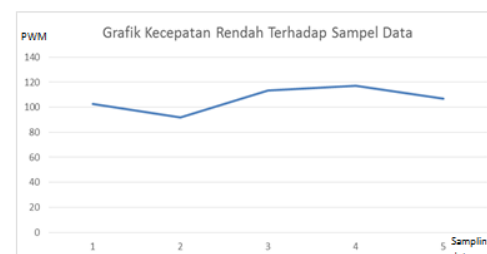
2) *Pengujian untuk kecepatan sedang*: Jarak FV dan LV diset pada kondisi *jauh*. Kecepatan FV menjadi **sedang** ketika perubahan jarak *besar*. Pada perubahan jarak *besar* artinya LV melaju lebih pelan dibanding kecepatan FV. Situasi ini ditanggapi dengan penurunan kecepatan FV menjadi **sedang** agar tabrakan depan belakang dapat dihindari. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10: Hasil pengujian untuk kecepatan sedang

Nilai PWM dalam kisaran 100 sampai 200 menunjukkan kecepatan mobil RC adalah **sedang**.

3) *Pengujian untuk kecepatan lambat dan berhenti*: Jarak FV dan LV diset pada kondisi dekat. Pada saat FV dan LV berdekatan maka keluaran FLC adalah **lambat** jika perubahan jarak *kecil* dan keluaran FLC **berhenti** jika perubahan jarak *sedang* dan *besar*. Pada jarak sedang, keluaran FLC akan **lambat** jika perubahan jarak *kecil* dan *sedang*. Sedangkan pada perubahan jarak *besar* keluaran FLC akan **berhenti**. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11: Hasil pengujian untuk kecepatan rendah

Nilai PWM dalam kisaran 0 sampai dengan 150 menunjukkan mobil RC melaju dengan kecepatan rendah atau berhenti. Nilai PWM di bawah 100 menunjukkan mobil RC berhenti.

3. KESIMPULAN

Simulasi bagain FLC menggunakan piranti lunak Matlab menunjukkan bahwa FLC dapat bekerja dengan baik untuk mengatur kecepatan mobil RC sehingga tabrakan depan belakang dengan kendaraan di depannya dapat dicegah.

Implementasi simulasi perangkat keras menggunakan mobil RC menunjukkan FLC

berhasil mengendalikan laju mobil RC untuk menghindari tabrakan depan belakang.

Penyempurnaan pada FLC untuk meningkatkan kinerja RCAS antara lain dapat dilakukan dengan menambah peubah masukan yaitu kecepatan mobil di depannya. Penambahan peubah masukan diharapkan dapat memperhalus perubahan kecepatan mobil RC.

Penyempurnaan pada simulasi perangkat keras antara lain dapat dilakukan dengan menambah jangkauan sensor jarak dan memilih mobil RC yang lebih baik sehingga pengujian FLC yang telah dirancang dapat lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suzanne E. Lee, Eddy Llaneras, Sheila Klauer, and Jeremy Sudweeks, "Analyses of Rear-End Crashes and Near-Crashes in the 100-Car Naturalistic Driving Study to Support Rear-Signaling Countermeasure Development," USDOT/National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, Final Report 207.
- [2] Thomas F. Golob, Wilfred W. Recker, and Veronica M. Alvarez, "Freeway safety as a function of traffic flow," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 36, p. 933-946, September 2004.
- [3] John M. Sullivan and Michael J. Flannagan, "Risk of Fatal Rear-End Collisions: Is There More To It Than Attention?," in *The Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, Iowa, 2003, pp. 239-244.
- [4] James W. Jenness, Neil D. Lerner, Steve Mazor, J. Scott Osberg, and Brain C. Tefft, "Use of Advanced In-Vehicle Technology By Young and Older Early Adopter: Survey Results on Adaptive Cruise Control Systems," USDOT/National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, Final Report 2008.
- [5] M. Brannstrom, J. Sjöberg, and E. Coelingh, "A situation and threat assessment algorithm for a rear-end collision avoidance system," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Eindhoven, 2008, pp. 102-107.
- [6] Lee Yang, Ji Hyun Yang, E. Feron, and V. Kulkarni, "Development of a performance-based approach for a rear-end collision warning and avoidance system for automobiles," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Columbus, 2003, pp. 316-321.
- [7] K. Yamada, T. Ito, and K. Nishioka, "Road lane recognition system for RCAS," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Tokyo, 1996, pp. 177-182.
- [8] T. Kasuga and S. Yakubo, "Design of a Highly Safe Model Vehicle for Rear-End Collision Avoidance Considering Multiple Faults of Sensors," in *International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation*, Brno, 2009, pp. 63-68.
- [9] Anggun Pancawati, "Sistem Penghindaran Tabrakan Depan-belakang Berbasis Logika Fuzzy pada Mobile Remote Control," Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Proyek Akhir 2014.
- [10] L. Msc.Marvin and AJ Alves. (2014, September) Github. [Online]. <https://github.com/zerokol/eFLL>.
- [11] Cheryl Jensen. (2014, September) Tests Show Improvements in Crash-Avoidance Systems. [Online]. http://www.nytimes.com/2014/05/29/automobiles/tests-show-improvements-in-crash-avoidance-systems.html?_r=0
- [12] Hideo Araki, Kenichi Yamada, Yasuhisa Hiroshima, and Toshio Ito, "Development of Rear-end Collision Avoidance System," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Tokyo, 1996, pp. 224 - 229.
- [13] Sam Abuelsamid. (2014, September) Nissan reveals new object detection, rear-collision avoidance systems. [Online]. <http://www.autoblog.com/2010/07/29/nissan-reveals-new-object-detection-rear-collision-avoidance-sy/>