

Pengembangan Sistem Kontrol Navigasi

Kursi Roda Cerdas Menggunakan Arsitektur *Subsumption* Studi Kasus

Door Passing Dan Corridor Following

Iwan Setiawan
Darjat
Rano Gusman Namara

Abstract: Several research have shown that both children and adults benefit substantially from access to a means of independent mobility. While the needs of many individuals with disabilities can be satisfied with traditional manual wheelchairs, a segment of the disabled community finds it difficult or impossible to use wheelchairs independently. To accommodate this population, researchers have used technologies originally developed for mobile robots to create "smart wheelchairs." Smart wheelchairs have been the subject of research since the early 1980s. Our goal in this project is to develop a smart wheelchair with a human friendly interface for high-level control

There are two main capability that we embedded in this wheelchairs (1) Obstacle avoidance and (2) Door passing. From the experiment result,those capability seems to be work, but there must be enchantment due to wheelchairs comportsability.

Key word : Kursi Roda Cerdas, Arsitektur Subsumption, Joystick, Sensor Ultrasonik.

Kursi roda adalah alat bantu yang digunakan oleh orang yang mengalami kesulitan berjalan menggunakan kaki, baik dikarenakan oleh penyakit, cedera, maupun cacat. Ketika beberapa individu dengan keterbatasan gerakan dapat terbantu dengan kursi roda standar, beberapa individu dengan keterbatasan gerakan lainnya mengalami kesulitan atau mustahil untuk dapat mengoperasikan kursi roda standar. Untuk mengakomodasi populasi ini, beberapa peneliti telah mempergunakan teknologi yang mula-mula dikembangkan untuk *mobile robot* untuk menciptakan *smart wheelchair* (kursi roda cerdas), yang mengurangi kebutuhan fisik, keterampilan, dan keterampilan yang diperlukan untuk mengoperasikan kursi roda standar. Kursi roda cerdas didisain untuk menyediakan kemudahan bagi pemakainya, seperti memastikan bepergian tanpa bentrokan/tabrakan, membantu kinerja dari tugas spesifik (misalnya, melewati pintu masuk), dan atau secara otomatis mengantarkan pemakai ke lokasi tertentu.

Tujuan

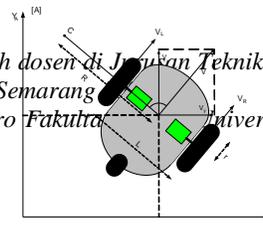
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merencanakan, merancang dan mengaplikasikan sistem kontrol untuk kursi roda cerdas sehingga dapat dikendalikan menggunakan joystick, dapat menghindari halangan atau rintangan, dan dapat melewati pintu/koridor dengan kesalahan yang minimal.

DASAR TEORI

Kinematika Kursi Roda Penggerak Diferensial

Kursi roda tipe penggerak diferensial memiliki 2 buah roda penggerak yang terpisah (kanan dan kiri). Sehingga kedua roda ini berfungsi sebagai penggerak sekaligus sebagai kemudi kursi roda. Sebagai penyeimbang umumnya kursi roda ini dilengkapi juga dengan satu atau dua buah roda castor yang ditempatkan dibagian belakang kursi roda tersebut

Iwan Setiawan, Darjat (iwan.darjat@elektro.ft.undip.ac.id), adalah dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl. Prof. Sudharto, S.H. Tembalang, Semarang
Rano Gusman Namara adalah mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl. Prof. Sudharto, S.H. Tembalang, Semarang 50275



Gambar 2.1 Posisi dan Orientasi Mobile Robot dalam Sistem Koordinat Cartesian.

Secara matematis kecepatan linier dan kecepatan angular robot mobil dirumuskan sesuai persamaan (2.1).

$$\begin{bmatrix} V(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R(t) \\ V_L(t) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) diatas pada dasarnya memperlihatkan relasi kinematika langsung antara kecepatan linier roda-roda robot terhadap kecepatan linier dan angular robotnya, sedangkan Persamaan (2.2) berikut memperlihatkan relasi sebaliknya (Kinematika Balik).

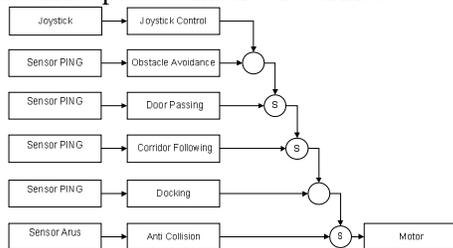
$$\begin{bmatrix} V_R(t) \\ V_L(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{L}{2} \\ 1 & -\frac{L}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

PERANCANGAN SISTEM

Perancangan Software

Sistem pengendalian kursi roda cerdas ini menggunakan arsitektur *subsumption*. Arsitektur *Subsumption* adalah suatu cara menyederhanakan perilaku kecerdasan yang kompleks menjadi beberapa perilaku sederhana, yang tersusun menjadi lapisan-lapisan.

Blok diagram pengendalian secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 31 Blok diagram arsitektur subsumption

Level terbawah (level 0), *anti collision* mendeteksi adanya benturan atau tabrakan antara kursi roda dengan objek lain, level ini membuat kursi roda melarikan diri atau melepaskan diri dari objek tersebut. Level kesatu, *Docking*

mendeteksi adanya benda persis di depan kursi roda, *Docking* aktif jika sensor jarak tengah/depan mendeteksi adanya halangan kurang dari satu meter kemudian kursi roda akan merapat terhadap halangan tersebut. Level kedua, *Corridor Following* mendeteksi adanya koridor, *Corridor Following* aktif jika sensor jarak kiri dan kanan keduanya mendeteksi halangan/benda kurang dari 50cm maka kursi roda akan mengikuti koridor tersebut seperti tingkah *wall following*. Level ketiga, *Door Passing* mendeteksi adanya pintu, *Door Passing* aktif jika sensor jarak kiri tengah dan kanan tengah keduanya mendeteksi adanya halangan kurang dari 80cm. Level keempat, *Obstacle Avoidance* mendeteksi adanya halangan yang berada di kiri atau kanan dengan menggunakan sensor jarak dan menghindarinya. Level kelima, *joystick control* mendeteksi adanya perubahan posisi pada *joystick* untuk mengendalikan gerakan kursi roda.

Simbol S pada blok diagram di atas menunjukkan tanda *arbitration*. Tanda *arbitration* memutuskan level mana yang digunakan mengontrol motor sebagai aktuator. Simbol S (*Suppression*) berarti mengganti sinyal masukan dengan sinyal masukan dari level yang lebih rendah.

Program Utama

Program utama dari perancangan kursi roda cerdas ini meliputi enam subrutin program utama, yaitu *anti collision*, *docking*, *corridor following*, *door passing*, *obstacle avoidance*, dan *joystick control*. Penjelasan dari tiap subrutin program utama adalah sebagai berikut.

Docking

Ketika kecepatan linier $v > -1$ dan jarak sensor *range* tengah (s2) kurang atau sama dengan satu meter maka aksi *docking* akan aktif dan membuat kecepatan linier v kursi roda berkurang sesuai persamaan (3.1) di bawah ini.

$$v = s2 \times v / 100 \quad (3.1)$$

dan jika jarak halangan yang terdeteksi oleh s1 atau s3 lebih kecil atau sama dengan jarak minimal sebesar 15 cm maka v dan w akan diset nol, kemudian jika sensor *range* tengah (s2) kurang atau sama dengan 40 cm maka v akan diset nol.

Corridor Following

Saat aksi *Corridor Following*, kursi roda akan mengikuti koridor seperti tingkah *wall following*, untuk melakukan ini kursi roda diberi nilai referensi yang nanti akan mengatur besar

kecepatan angular w . Nilai referensi diperoleh dari persamaan (3.2)

$$ref = \frac{(s0+s4)}{2} \quad (3.2)$$

Jika kecepatan linier $v \neq 0$ maka nilai w yang akan mengatur kecepatan roda kiri dan kanan diperoleh dari persamaan (3.3).

$$w = gain \times error \quad (3.3)$$

Dimana $error$ diperoleh dari persamaan (3.4).

$$error = ref - s4 \quad (3.4)$$

Ketika kecepatan linier $v > 10$, dan kemudian $s1 \leq 30$ maka kecepatan linear v akan berkurang sesuai dengan persamaan (3.5).

$$v = s1 \times v / 30 \quad (3.5)$$

Atau jika $s3 \leq 30$ maka kecepatan linear v akan berkurang sesuai dengan persamaan (3.6).

$$v = s3 \times v / 30 \quad (3.6)$$

Pengurangan nilai v bertujuan untuk menghindari tabrakan saat ada halangan di dalam koridor. Ketika nilai $v=0$ maka nilai w_j akan diset menjadi nol, ini bertujuan untuk menghilangkan kecepatan angular w yang diberikan oleh pembacaan dari *joystick* saat kursi roda berada di dalam koridor.

Door Passing

Jika kecepatan linier $v > -1$, dan ada pintu terdeteksi maka kecepatan linier v kursi roda berkurang sesuai persamaan (3.7) di bawah ini.

$$v = \frac{s1+s2}{80} \times v \quad (3.7)$$

Pengurangan nilai v saat mendekati pintu bertujuan untuk menghindari tabrakan saat kursi roda terlalu dekat dengan bibir pintu. Ketika nilai $s1 \leq 25$ cm atau $s2 \leq 25$ cm, ini mengindikasikan bahwa jarak bibir pintu terlalu dekat maka nilai v akan diset menjadi nol. Ketika $w > 0$ dan $s1 \leq 20$ cm atau ketika $w < 0$ dan $s3 \leq 20$ cm, maka nilai v dan w akan diset menjadi nol. Ini bertujuan untuk menghindari tabrakan saat melewati pintu.

Obstacle Avoidance

Obstacle Avoiance merupakan aksi menghindar yang dilakukan oleh kursi roda apabila terdapat rintangan pada jarak tertentu yang menghalangi kursi roda.

Untuk menghasilkan sinyal kontrol supaya kursi roda menghindar digunakan persamaan (3.8) berikut ini.

$$\begin{aligned} wL &= K / s1 \\ wR &= K / s3 \\ wO &= wR - wL \\ w &= wJ + wO \end{aligned} \quad (3.8)$$

keterangan :

- K = konstanta penguat sinyal kontrol
- wO = kecepatan angular dari hasil pengolahan sensor jarak (s1 dan s3)
- wJ =kecepatan angular dari hasil pembacaan *joystick*
- w = kecepatan angular kursi roda

Persamaan (3.8) di atas didapat dari proses *trial and error* untuk mendapatkan respon berupa sinyal kontrol untuk aksi menghindar yang tepat, yaitu semakin dekat halangan maka dibutuhkan sinyal kontrol yang semakin besar.

Kemudian sinyal kontrol yang didapatkan

dimasukan dalam persamaan (3.9) di bawah

ini.

$$\begin{aligned} v_mtr_kiri &= v - w; \\ v_mtr_kanan &= v + w; \end{aligned} \quad (3.9)$$

Dari persamaan (3.9) di atas, jika terdapat halangan dan jarak yang terdeteksi sensor kiri lebih dekat ($s0 < s1$), maka wL lebih besar dari wR , sehingga w akan bernilai negatif (bila $wJ=0$), maka kecepatan roda kiri akan bertambah atau robot menghindar ke arah kanan.

PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengujian Tingkah Laku Kursi Roda Cerdas Tanpa Halangan

Pengujian dilakukan dengan merubah posisi *joystick*, dan membandingkan nilai PWM kanan dan kiri kursi roda cerdas dengan hasil perhitungan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3.

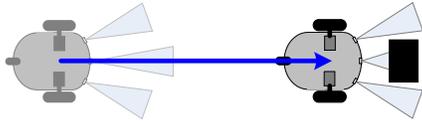
Dari Tabel 4.3, didapatkan nilai PWM hasil pengujian sama dengan hasil perhitungan, tanda (-) menunjukkan roda berputar mundur.

Tabel 4.3 Hasil pengujian tingkah laku kursi roda cerdas tanpa halangan.

Joystick		Duty cycle Hasil Pengujian (%)		Duty Cycle Hasil Perhitungan (%)	
v	w	PWM Kiri	PWM Kanan	PWM Kiri	PWM Kanan

0	0	0	0	0	0
100	0	100	100	100	100
100	100	0	100	0	100
0	100	(-) 100	100	(-) 100	100
-100	100	(-) 100	0	(-) 100	0
-100	0	(-) 100	(-) 100	(-) 100	(-) 100
-100	-100	0	(-) 100	0	(-) 100
0	-100	100	(-) 100	100	(-) 100
100	-100	100	0	100	0

Pengujian Tingkah Laku Kursi Roda Cerdas dengan Halangan



Gambar 4.1 Hasil pengujian tingkah laku dengan halangan berada di depan

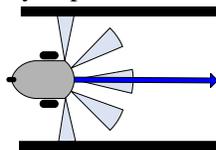
Tabel 4.4 Hasil pengujian tingkah laku kursi roda cerdas dengan halangan berada di depan

Joystick		Jarak Terdeteksi PING Tengah (cm)	v Pengujian	v Perhitungan
v	w			
100	0	100	100	100
100	0	80	80	80
100	0	60	60	60
100	0	40	0	0
100	0	20	0	0

Dari Tabel 4.4 di atas dapat dilihat bahwa semakin kecil jarak kursi roda dengan halangan yang berada di depannya, kecepatan kursi roda (v) akan semakin berkurang dan berhenti ketika jarak dari halangan kurang dari 40 cm.

Pengujian Tingkah Laku dengan Halangan Berada di Samping Kiri dan Kanan Menyerupai Koridor (Corridor Following)

Gambar 4.2 menunjukkan pengujian tingkah laku dengan halangan berada di samping kiri dan kanan menyerupai koridor.



Gambar 4.2 Hasil pengujian tingkah laku dengan halangan berada di samping kiri dan kanan menyerupai koridor.

Pengujian dilakukan dengan meletakkan sebuah halangan di kanan dan kiri dengan jarak yang berbeda, dan membandingkan nilai kecepatan linier (v) kursi roda cerdas dengan hasil

perhitungan. Hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 4.5.

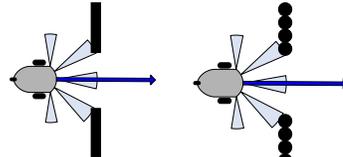
Tabel 4.5 Hasil pengujian tingkah laku kursi roda cerdas dengan halangan berada di samping kiri dan kanan menyerupai koridor dengan v=100 dan w=0.

Jarak Halangan Terdekat (cm)		Referensi (cm)	Error (Referensi Halangan di Kanan)		W= 2 X Error		
Ki	Ka		Peng-ujian	Per-hitungan	Peng-ujian	Per-hitungan	
15	50	33	32.5	-17	-17.5	-34	-35
15	40	28	27.5	-12	-12.5	-24	-25
15	30	23	22.5	-7	-7.5	-14	-15
15	20	18	17.5	-2	-2.5	-4	-5
15	15	15	15	0	0	0	0
20	15	17	17.5	2	2.5	4	5
30	15	22	22.5	7	7.5	14	15
40	15	27	27.5	12	12.5	24	25
50	15	32	32.5	17	17.5	34	35
30	30	30	30	0	0	0	0

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai w berubah sesuai dengan nilai error yang diperoleh, sehingga kursi roda dapat mengikuti koridor. Nilai w yang diperoleh dari pengujian sedikit berbeda dengan nilai w perhitungan, hal ini disebabkan oleh terjadinya pembulatan perhitungan dalam pemrograman. Lebar koridor yang dapat dideteksi kursi roda terbatas, yaitu minimal 110 cm dan maksimal 150 cm.

Pengujian Tingkah Laku dengan Halangan Berada di Samping Kiri dan Kanan Agak Kedepan Menyerupai Pintu (Door Passing)

Halangan yang digunakan dalam pengujian Door Passing ini ada dua jenis, yang pertama halangan berbentuk kotak, dan yang kedua halangan berbentuk silinder, yang disusun menyerupai pintu, halangan berbentuk silinder ini bertujuan untuk memperluas jangkauan pendeteksian sensor.



Gambar 4.3 Hasil pengujian tingkah laku dengan halangan berada di samping kiri dan kanan agak kedepan menyerupai pintu.

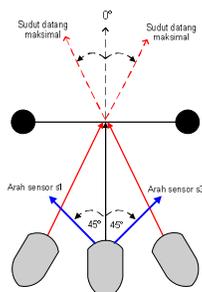
Pengujian dilakukan dengan merubah jarak halangan, dan membandingkan nilai kecepatan linier (v) kursi roda cerdas dengan hasil

perhitungan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil pengujian tingkah laku kursi roda cerdas dengan halangan berada di samping kiri dan kanan agak kedepan menyerupai pintu dengan $v=100$ dan $w=0$.

Jarak Halangan Terdeteksi (cm)		v pengujian	v perhitungan
Kiri Tengah	Kanan Tengah		
80	80	99	100
70	70	86	87.5
60	60	74	75
50	50	61	62.5
40	40	49	50
30	30	37	37.5
25	25	0	0
20	20	0	0
80	70	92	93.75
80	60	86	87.5
80	50	80	81.25
80	40	74	75
80	30	68	68.75
80	25	0	0
80	20	0	0
80	10	0	0

Dari Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa semakin kecil jarak kursi roda dengan halangan yang dibaca sensor kiri tengah dan sensor kanan tengah, kecepatan kursi roda (v) akan semakin berkurang dan berhenti ketika jarak dari halangan ≤ 25 cm. Lebar pintu minimal yang dapat dilewati kursi roda adalah 110 cm. Untuk pendeteksian pintu oleh kursi roda terbatas pada sudut datang kursi roda terhadap pintu, dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Sudut datang kursi roda terhadap pintu.

Berdasarkan pengujian didapatkan sudut maksimal yang masih dapat dideteksi kursi roda sebagai pintu.

Tabel 4.7 Hasil pengujian sudut datang maksimal kursi roda terhadap pintu.

Lebar Pintu (cm)	Jarak Kursi roda ke tengah bidang pintu (cm)	Sudut datang maksimal ($^{\circ}$)	
		Halangan kotak	Halangan silinder
110	15	0	20
110	30	-	26
110	40	-	14
110	50	-	2

Dari tabel 4.7 diatas dapat dilihat bahwa sudut datang maksimal pendeteksian pintu untuk halangan berbentuk kotak sangat kecil yaitu 0° untuk jarak pintu 15 cm, sedangkan untuk jarak pintu 30 cm, 40 cm dan 50 cm, kursi roda sama sekali tidak dapat mendeteksi pintu dari sudut manapun, karena sinyal pantulan dari halangan berbentuk kotak tidak diterima oleh kedua receiver sensor s1 dan s3, ini disebabkan oleh range sudut pendeteksian sensor pada bidang datar kecil. Sehingga sudut datang maksimal kursi roda terhadap pintu yang tersusun dari silinder lebih besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kursi roda cerdas dapat dikendalikan dengan menggunakan joystick. Gerakan kursi roda sesuai dengan perubahan nilai pada joystick, jika di sekitar kursi roda tidak terdeteksi adanya halangan.
2. Kursi roda cerdas dapat mendeteksi adanya halangan yang berada di depan, dan ketika bergerak maju, kecepatan kursi roda akan berkurang, kemudian berhenti apabila jarak kursi roda dari halangan kurang dari sama dengan 40 cm, tingkah laku ini dinamakan sebagai docking.
3. Kursi roda cerdas dapat mendeteksi adanya halangan di sebelah kiri dan kanan, ketika jarak kedua halangan sebelah kiri dan kanan ≥ 5 cm dan jarak halangan tersebut ≤ 50 cm, kursi roda akan menganggap halangan tersebut sebagai koridor, dan mengikuti koridor tersebut seperti tingkah wall following, tingkah laku ini dinamakan corridor following.
4. Kursi roda cerdas dapat mendeteksi adanya halangan di samping sebelah kanan dan kiri agak kedepan, ketika jarak dari kedua halangan ≤ 80 cm, kursi roda menganggap halangan tersebut sebagai pintu, kecepatan kursi roda akan berkurang, Kursi roda akan

melewati pintu jika $v > 0$, tingkah laku ini dinamakan sebagai *door passing*.

5. Kursi roda cerdas dapat mendeteksi adanya halangan di samping sebelah kanan dan atau kiri agak kedepan, ketika jarak dari salah satu halangan(kiri tengah atau kanan tengah) ≤ 50 cm dan jarak halangan lainnya ≥ 80

cm, kursi roda dapat bergerak menghindari halangan tersebut, tingkah laku ini dinamakan sebagai *obstacle avoidance*.

6. Kursi roda cerdas dapat mendeteksi adanya benturan/tabrakan dengan benda di depannya yang tidak terdeteksi oleh sensor PING)))TM menggunakan sensor arus, sehingga kursi roda akan melarikan diri atau melepaskan diri dengan berhenti selama 1 detik, dan kemudian mundur selama 1 detik, tingkah laku ini dinamakan sebagai *anti collision*.

SARAN

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Penambahan sensor jarak pada kursi roda cerdas ini akan memperluas *range* pendeteksian benda yang akan dijejak.
2. Penambahan sensor *limit swicth* pada sekeliling kursi roda dapat mendeteksi letak terjadinya benturan/tubrukan.
3. Kursi roda cerdas ini dapat dikembangkan dengan menambahkan kemampuan tingkah laku yang lain seperti otomatis mengantarkan pemakai ke posisi tertentu (*go to goal*) atau bergerak mengikuti tembok (*wall follower*).
4. Kursi roda cerdas ini dapat dikembangkan untuk dikendalikan menggunakan media lain selain *joystick*, seperti dengan menggunakan suara atau gerakan otot.

Andrea, Bonci, L. Sauro, M. Andrea, dan V. Massimo "Navigation system for a smart wheelchair". *Journal of Zhejiang University SCIENCE*. 2004.

Bogoni, Luca, "Subsumption Architecture and Discrete Event Systems: A Comparison", *Department of Computer and Information Science University of Pennsylvania, Philadelphia, 1993*.

Brooks, R. A., "A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*", 2, 14-23, 1986.

Harper, Christopher J. dan Alan F. T. Winfield, "Designing Intelligent Control Systems for Safety Critical Applications", *University of the West of England, Inggris*.

Simpson, Richard, E. L. Presti, I. Nourbakhsh, dan D. Miller, "The Smart Wheelchair Component System", *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 41, 38, 429-442, 2004.

Simpson, Richard, E. L. Presti, S. Hayashi, S. Guo, D. Ding, W. Ammer, V. Sharma dan R. Cooper, "A prototype power assist wheelchair that provides for obstacle detection and avoidance for those with visual impairments", *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2005.

-----, ATmega8535 Data Sheet, <http://www.atmel.com>.

-----, ATmega162 Data Sheet, <http://www.atmel.com>.

-----, PING)))TM Ultrasonic Distance Sensor Data Sheet, <http://www.parallax.com>.