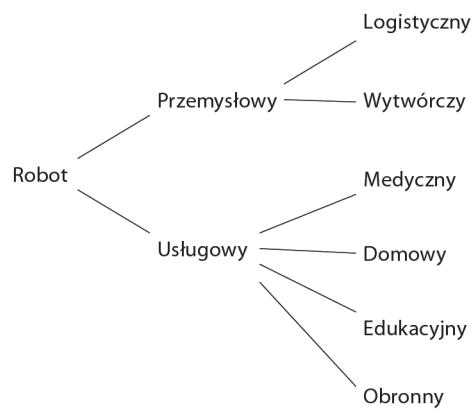


Rysunek 1.1. Klasyfikacja robotów na podstawie środowiska i mechanizmu oddziaływania z nim



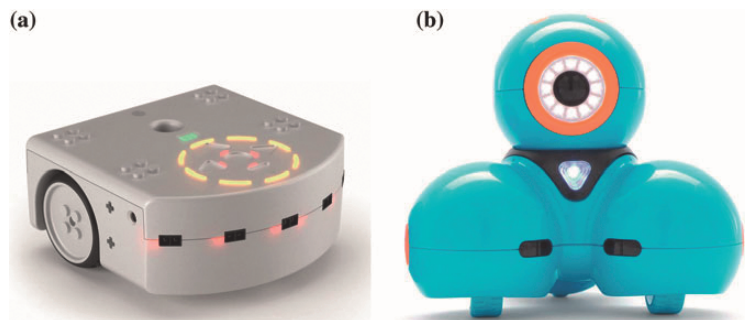
Rysunek 1.2. Klasyfikacja robotów na podstawie obszaru zastosowań



Rysunek 1.3. Roboty na linii montażowej w fabryce samochodów.

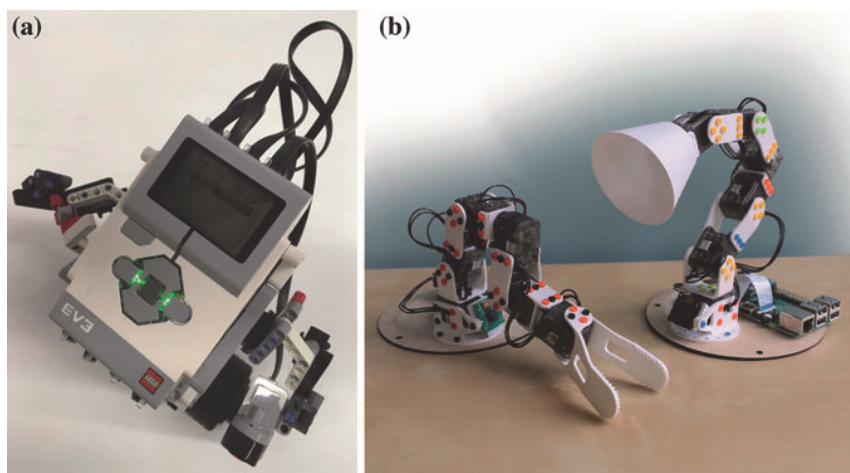


Rysunek 1.4. Autonomiczny robot mobilny do pielienia chwastów
(dzięki uprzejmości firmy Ecorobotix)



Rysunek 1.5. (a) Robot Thymio. Źródło: <http://wiki.thymio.org/zh:mediakit> za zgodą École Polytechnique Fédérale de Lausanne i École Cantonale d'Art de Lausanne. (b) Robot Dash.

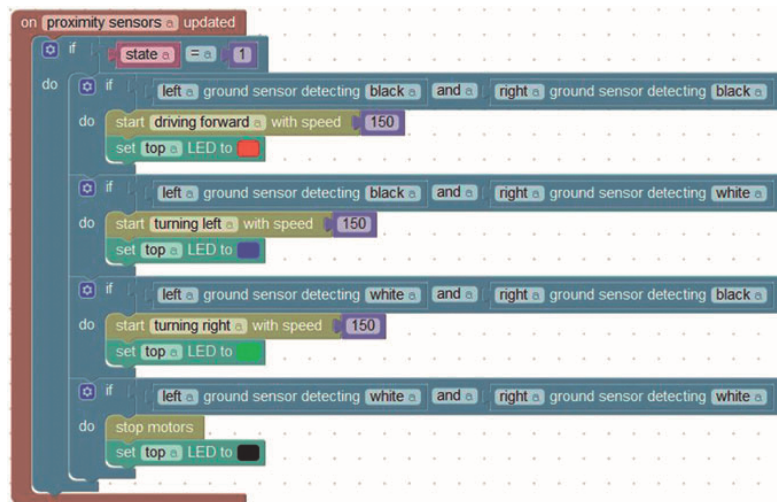
Źródło: <https://www.makewonder.com/media-resources/> za zgodą firmy Wonder Workshop



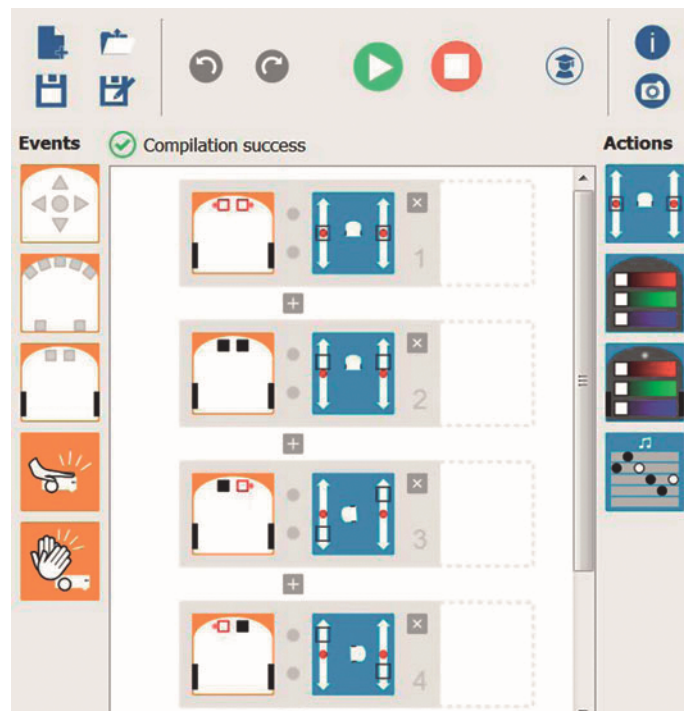
Rysunek 1.6. (a) Zestaw LEGO® Mindstorms EV3 (dzięki uprzejmości Adiego Shoraka, Intelitek). (b) Ramiona robota Poppy Ergo Jr (dzięki uprzejmości Poppy Project)



Rysunek 1.7. Oprogramowanie Blockly robota Thymio



Rysunek 1.7. Oprogramowanie Blockly robota Thymio

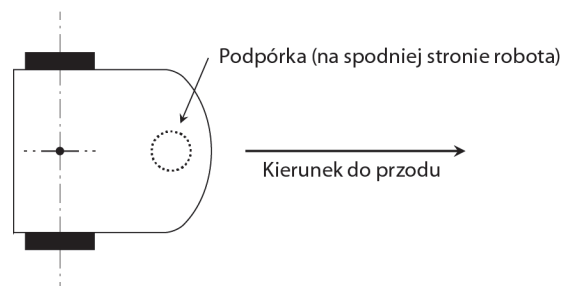


Rysunek 1.8. Oprogramowanie VPL robota Thymio

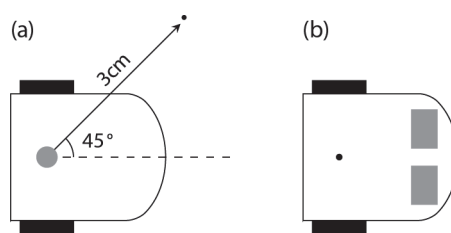


Rysunek 1.9. Oprogramowanie Wonder robota Dash.

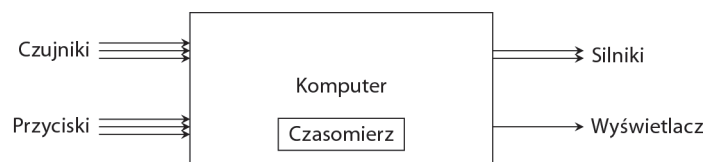
Źródło: <https://www.makewonder.com/media-resources/> za zgodą firmy Wonder Workshop



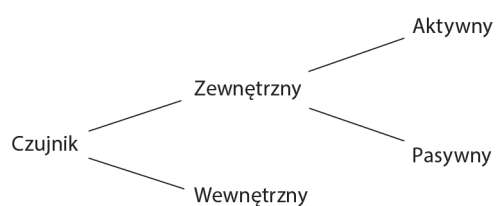
Rysunek 1.10. Robot z napędem różnicowym



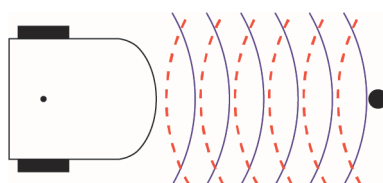
Rysunek 1.11. (a) Robot z obrotowym czujnikiem (szara kropka). (b) Robot z dwoma czujnikami podłoża umieszczonymi na spodzie robota (szare prostokąty)



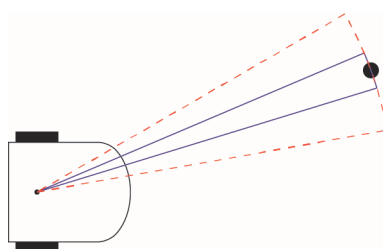
Rysunek 1.12. Wbudowany komputer



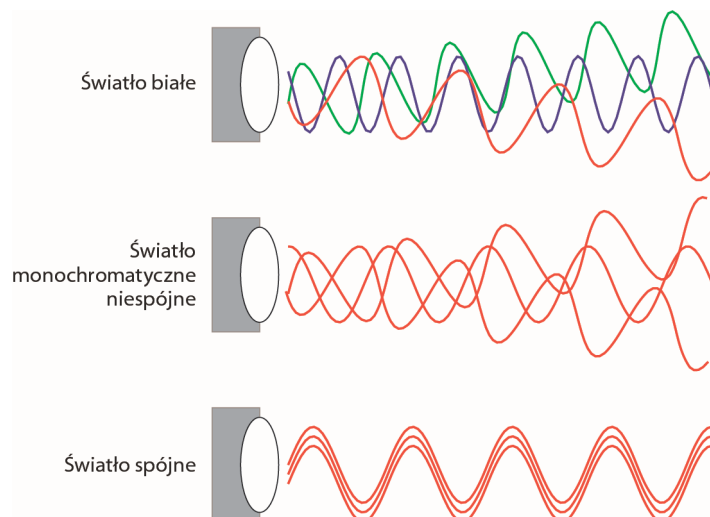
Rysunek 2.1. Podział czujników



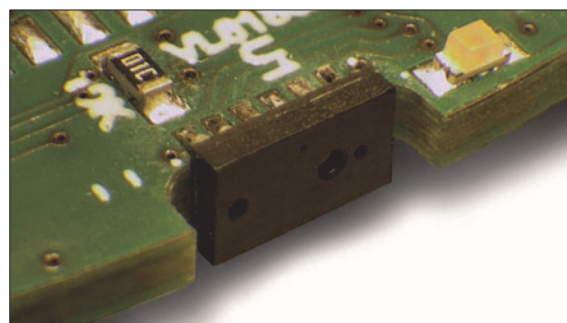
Rysunek 2.2. Pomiar odległości przez wysłanie fali i rejestrowanie jej odbicia



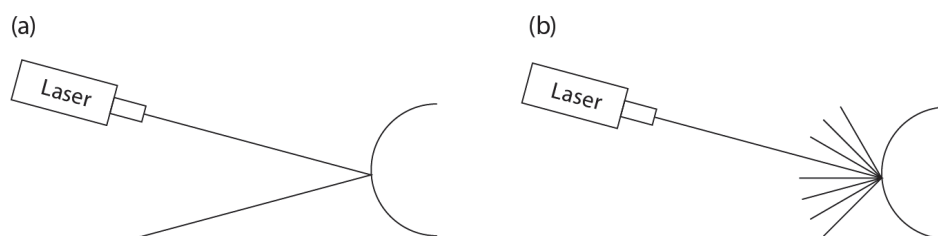
Rysunek 2.3. Szerokość wiązki światła laserowego (linia ciągła) i światła niespójnego (linia przerywana)



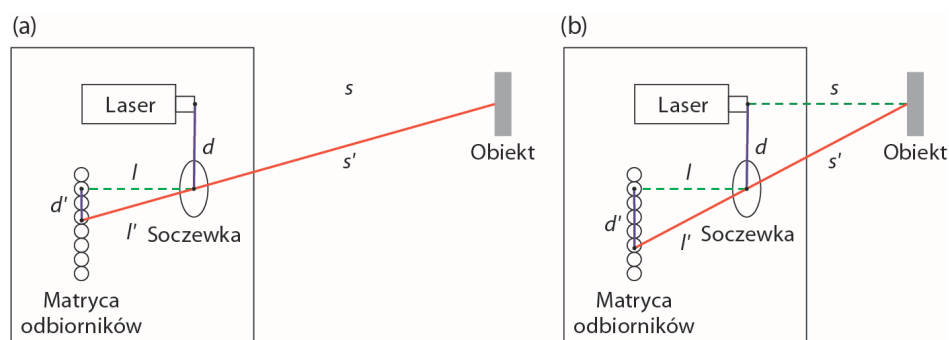
Rysunek 2.4. Światło białe, monochromatyczne i spójne



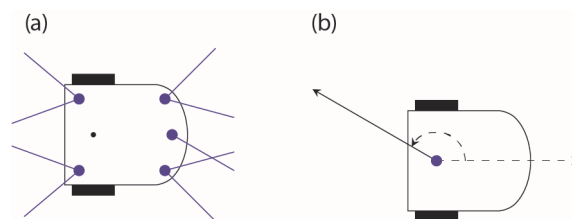
Rysunek 2.5. Czujnik odległości typu ToF (czarny) zamontowany na obwodzie drukowanym o grubości 1,6 mm (zielony)



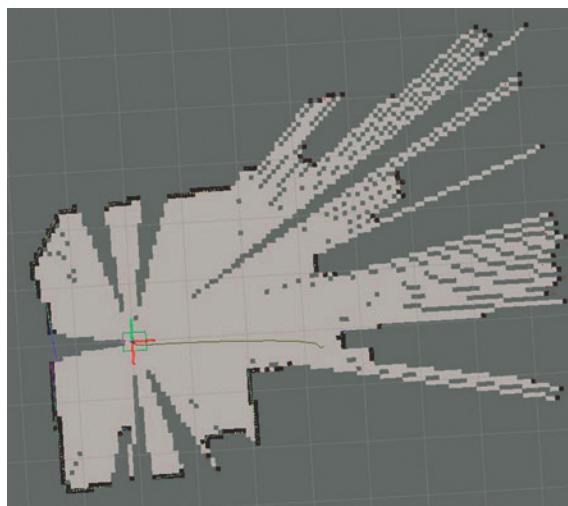
Rysunek 2.6. (a) Odbicie lustrzane. (b) Odbicie rozproszone



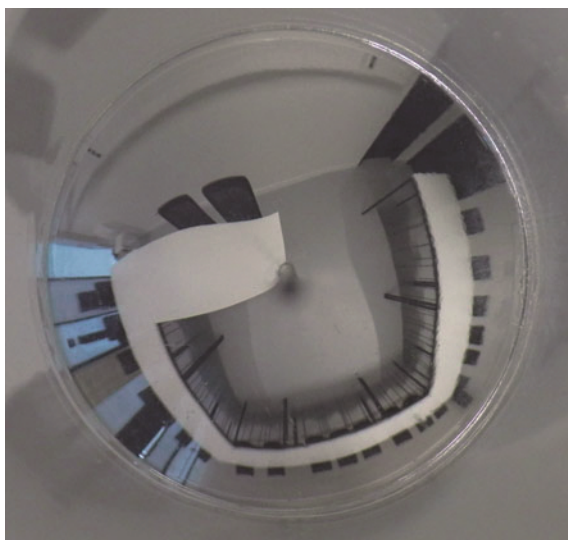
Rysunek 2.7. (a) Triangulacja odległego obiektu. (b) Triangulacja pobliskiego obiektu



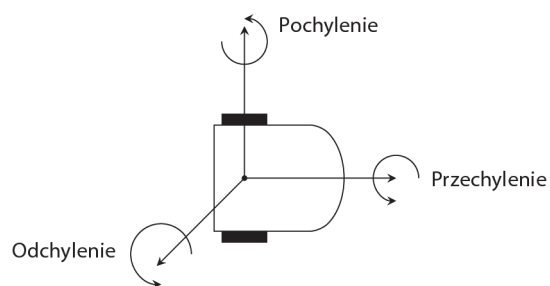
Rysunek 2.8. (a) Pięć osobnych czujników. (b) Czujnik obrotowy



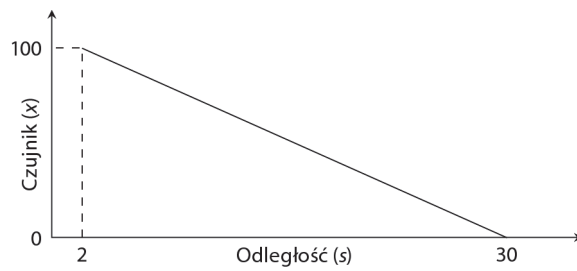
Rysunek 2.9. Mapa środowiska uzyskana za pomocą skanera laserowego



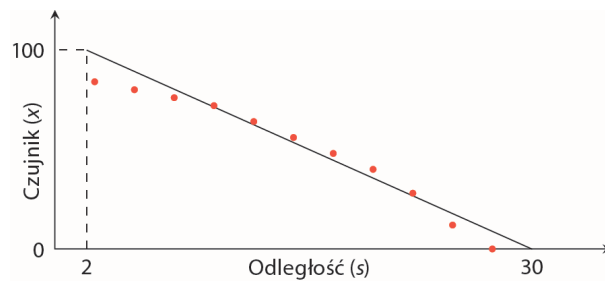
Rysunek 2.10. Obraz uchwycony za pomocą kamery wielokierunkowej o polu widzenia wynoszącym 360°



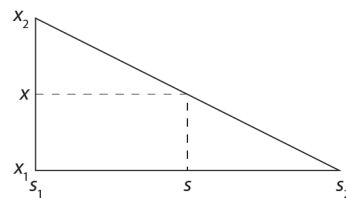
Rysunek 2.11. Akcelerometr trójosiowy



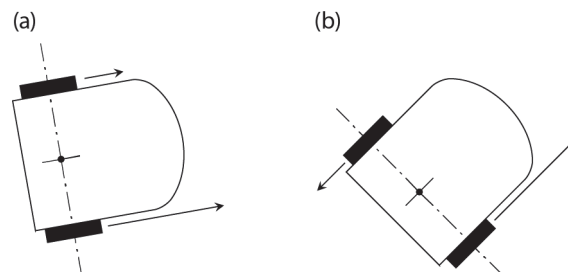
Rysunek 2.12. Wartość zwracana jako funkcja liniowa odległości



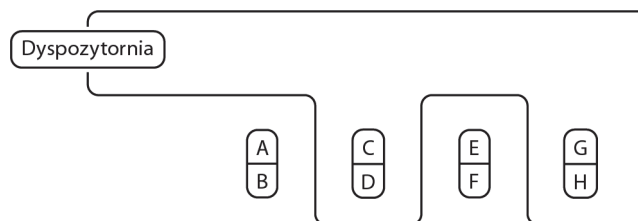
Rysunek 2.13. Eksperymentalne wartości zwracane jako funkcja odległości



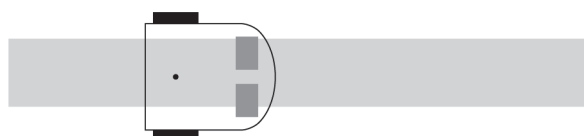
Rysunek 2.14. Interpolacja wartości czujnika



Rysunek 3.1. (a) Łagodny skręt w lewo. (b) Ostry skręt w lewo



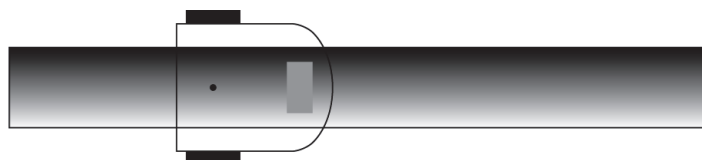
Rysunek 3.2. Zrobotyzowany magazyn



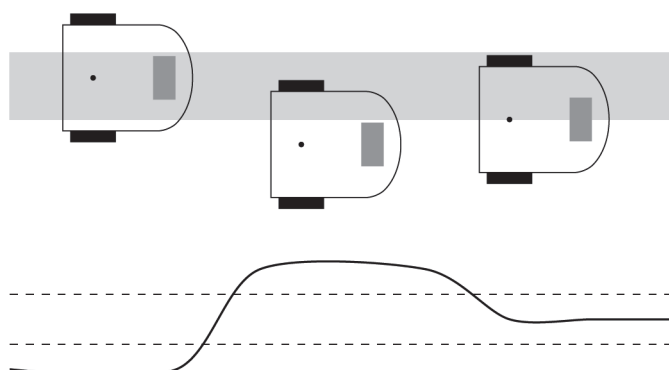
Rysunek 3.3. Robot wyposażony w dwa czujniki podłoża poruszający się wzdłuż linii



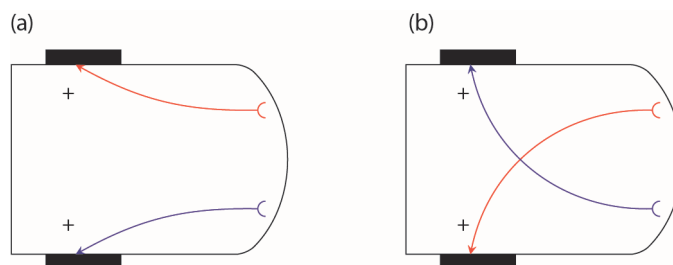
Rysunek 3.4. Zbaczanie z linii



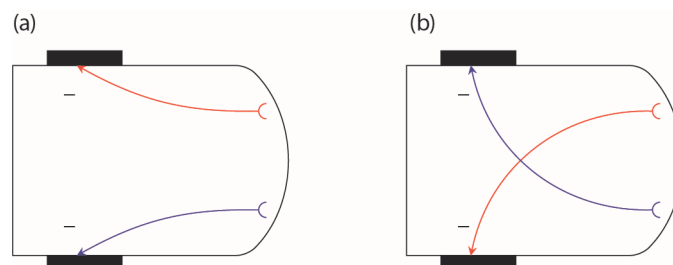
Rysunek 3.5. Linia z gradientem odcieni szarości



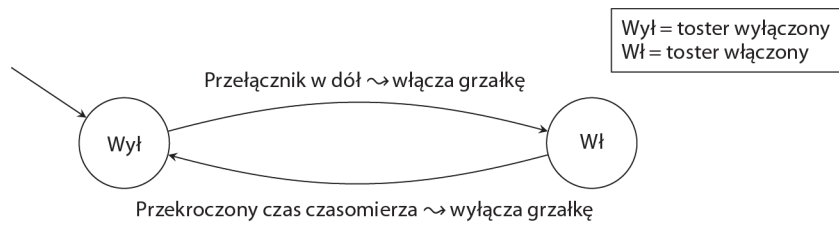
Rysunek 3.6. Bezgradientowe podążanie za linią za pomocą jednego czujnika.
Na górze: robot poruszający się wzdłuż linii, na dole: wykres wartości czujnika w funkcji odległości



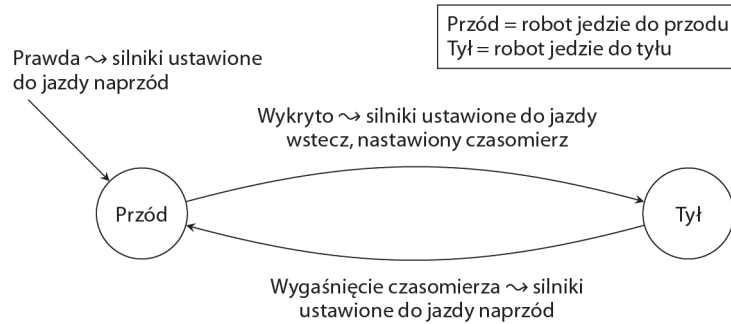
Rysunek 3.7. (a) Pojazd tchórzliwy. (b) Pojazd agresywny



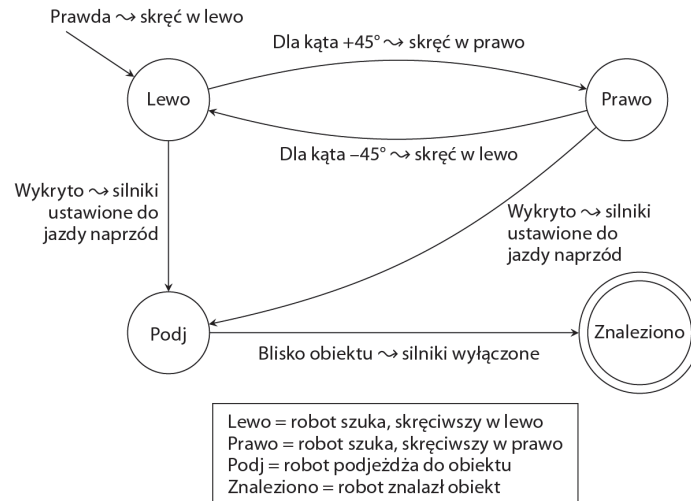
Rysunek 3.8. (a) Pojazd miłujący. (b) Pojazd odkrywca



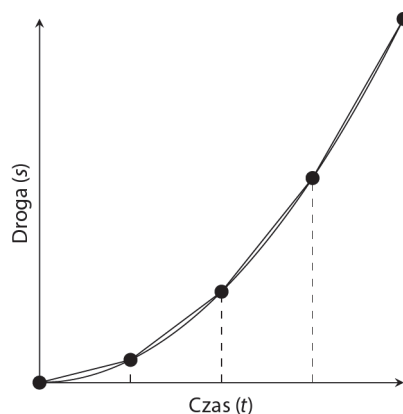
Rysunek 4.1. Diagram stanów tostera



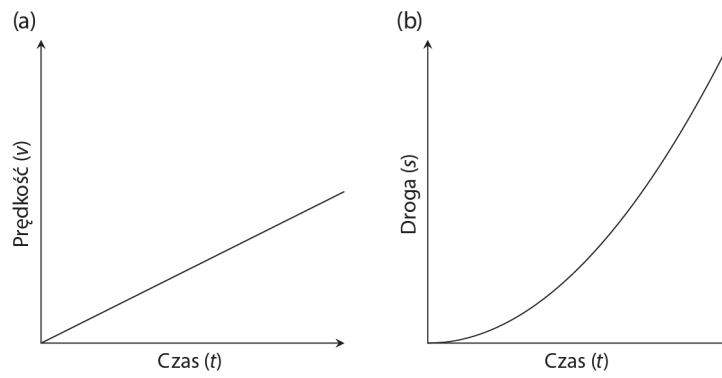
Rysunek 4.2. FSM wytrwałego pojazdu Braitenberga



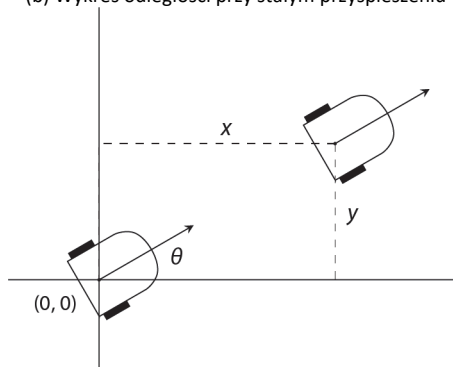
Rysunek 4.3. Diagram stanów robota szukającego i podjeżdżającego



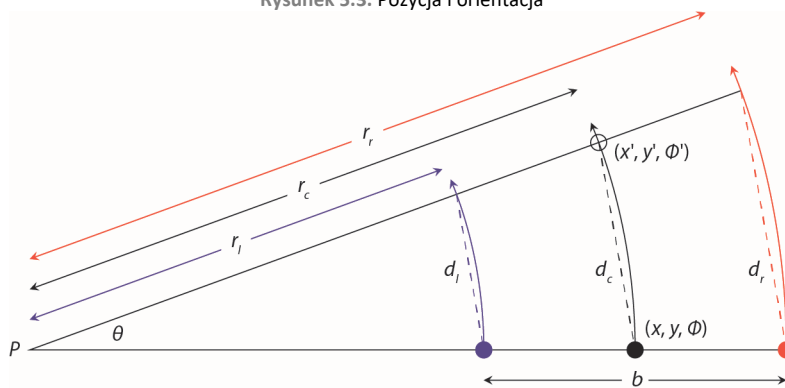
Rysunek 5.1. Przyspieszający robot: odległość zostaje podniesiona do kwadratu w każdej jednostce czasu



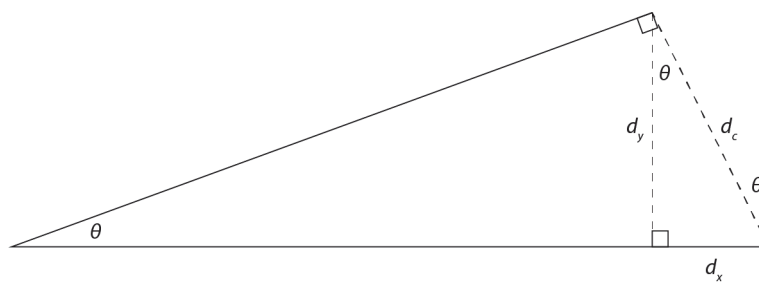
Rysunek 5.2. (a) Wykres prędkości przy stałym przyspieszeniu.
(b) Wykres odległości przy stałym przyspieszeniu



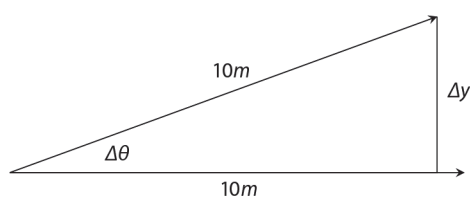
Rysunek 5.3. Pozycja i orientacja



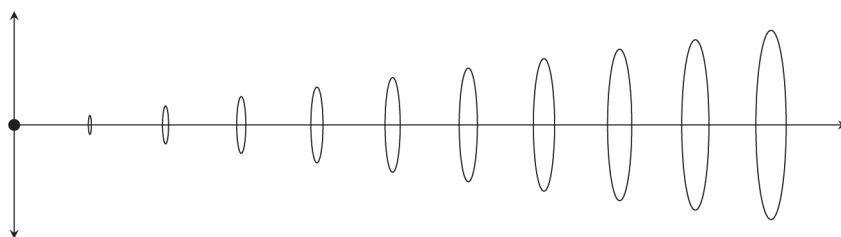
Rysunek 5.4. Geometria skrętu w lewo robota dwukołowego



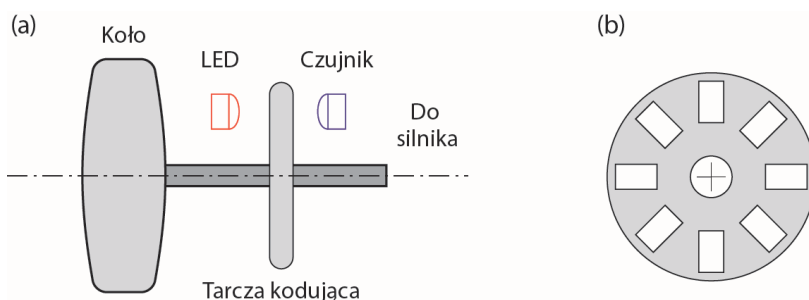
Rysunek 5.5. Zmiana orientacji



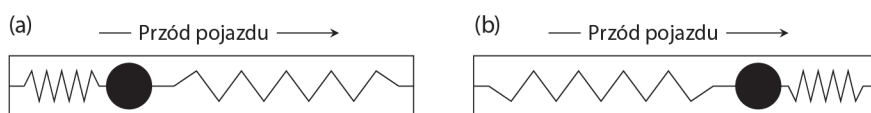
Rysunek 5.6. Rysunek pomocniczy do opisu odometrycznego błędu orientacji robota



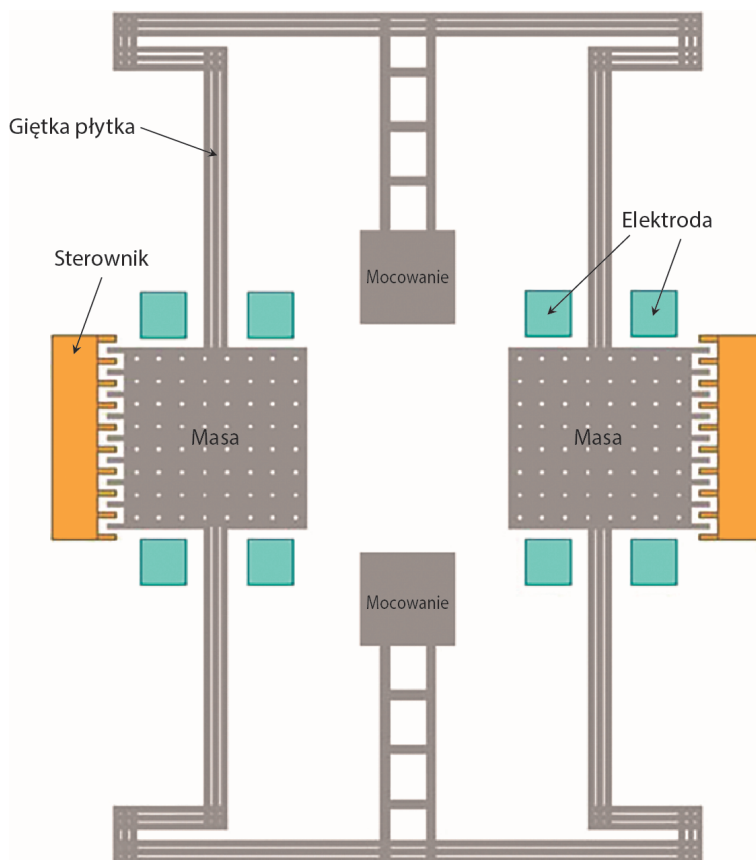
Rysunek 5.7. Błędy odometrii



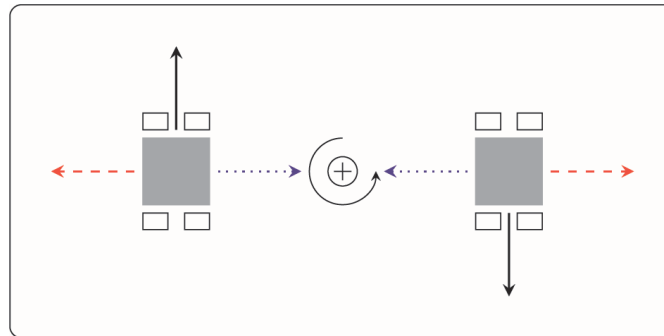
Rysunek 5.8. (a) Optyczny koder koła. (b) Tarcza kodująca



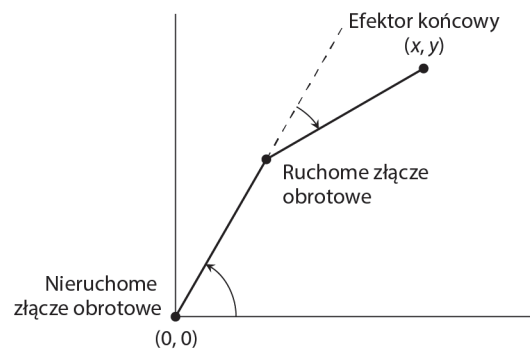
Rysunek 5.9. (a) Przyspieszenie. (b) Hamowanie



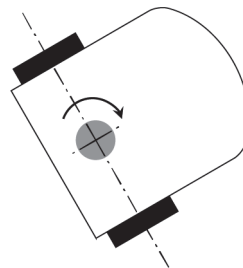
Rysunek 5.10. Żyroskop kamertonowy (dzięki uprzejmości Zhili Hao, Old Dominion University)



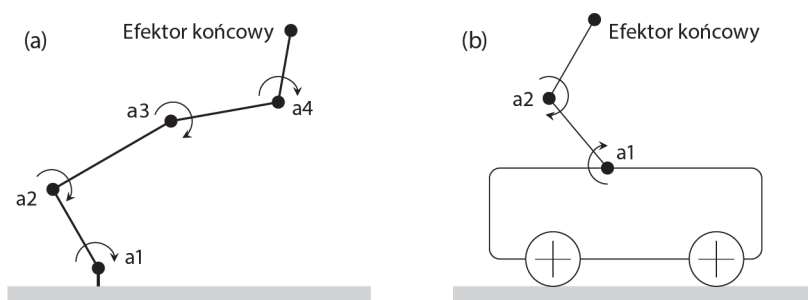
Rysunek 5.11. Mechanizm działania żyroskopu kamertonowego: czerwone i niebieskie strzałki ukazują kierunek drgań; czarne strzałki symbolizują kierunek siły Coriolisa



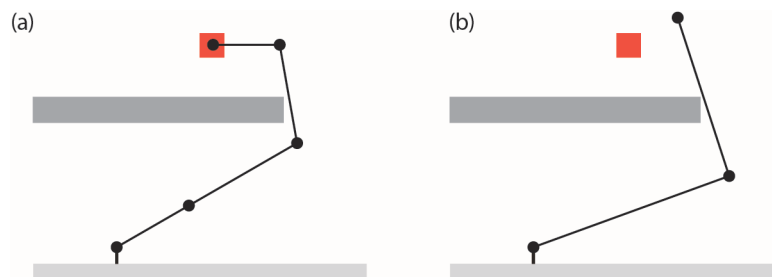
Rysunek 5.12. Dwuczłonowe ramię robota o dwóch stopniach swobody



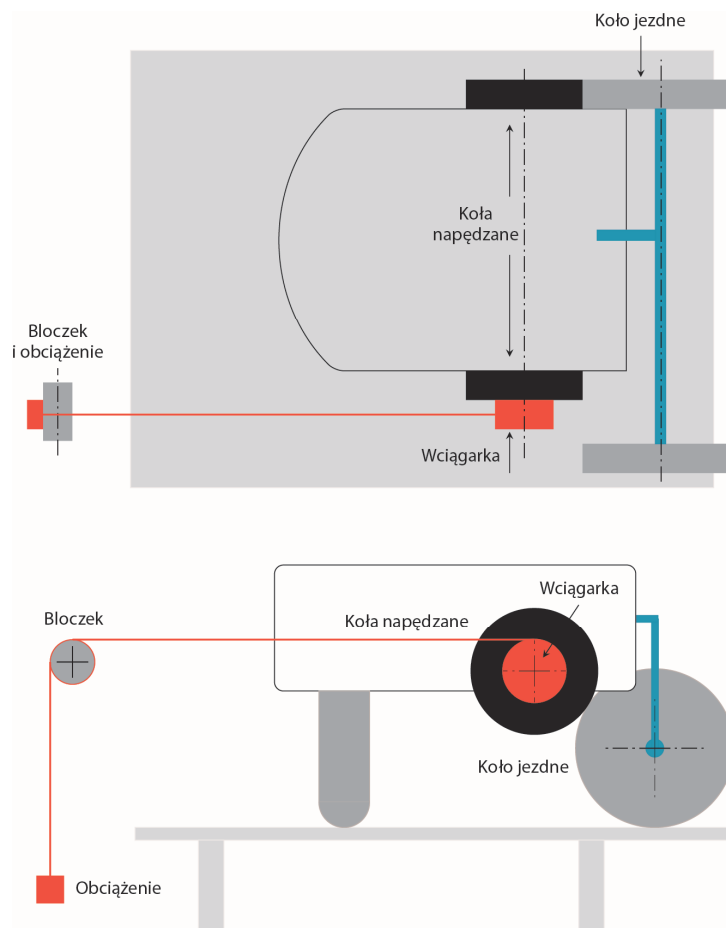
Rysunek 5.13. Robot, który obraca się tylko wokół osi (szarej kropki)



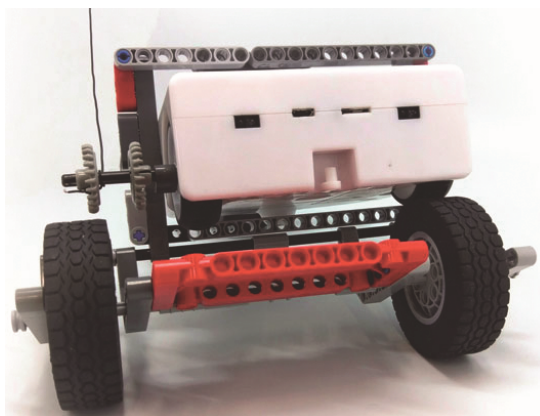
Rysunek 5.14. (a) Ramię robota: dwa stopnie swobody i cztery elementy wykonawcze. (b) Robot mobilny z ramieniem: dwa stopnie swobody i trzy elementy wykonawcze



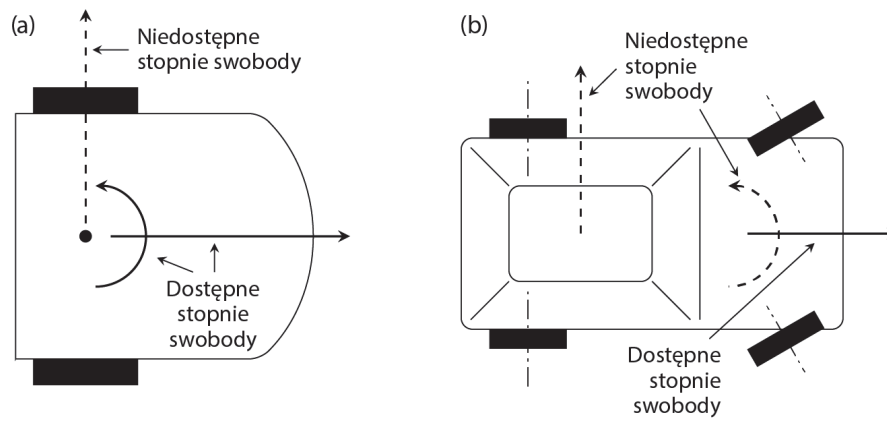
Rysunek 5.15. (a) Ramię wyposażone w cztery elementy wykonawcze może dosięgnąć trudno dostępnego miejsca. (b) Ramię z dwoma aktuatorami jest blokowane przez przeszkodę



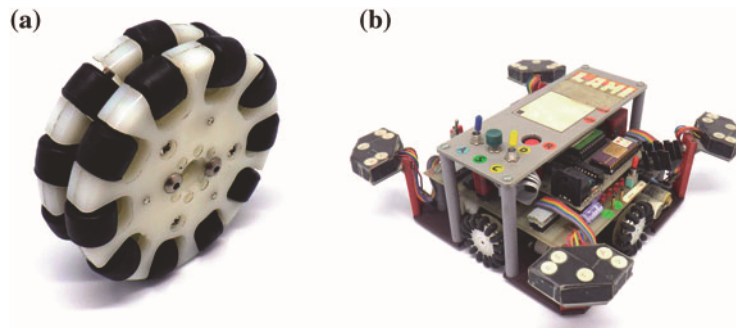
Rysunek 5.16. Dźwig robotyczny skonstruowany z robota mobilnego i wciągarki (na górze rzut z góry, na dole rzut z boku); na rzucie z boku nie widać lewego koła



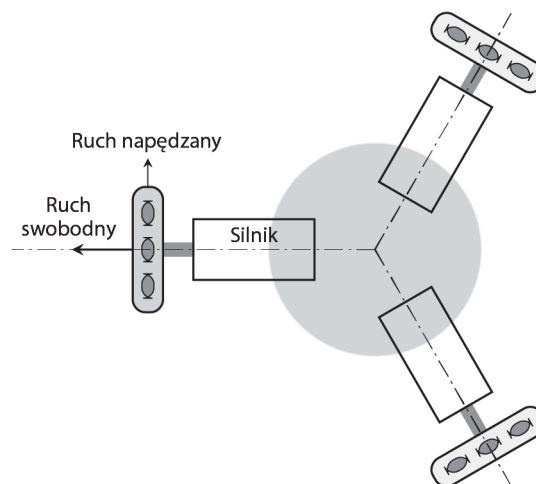
Rysunek 5.17. Dźwig robotyczny zrobiony z robota Thymio i klocków LEGO®



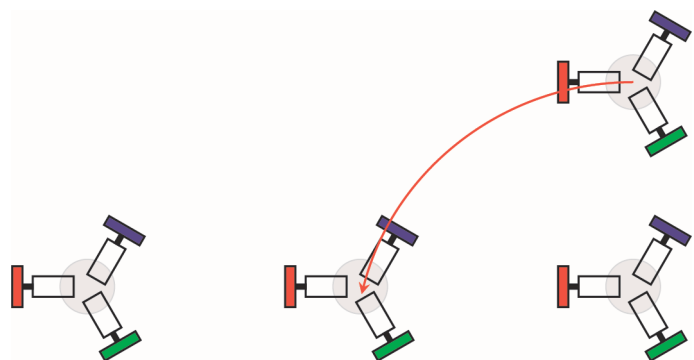
Rysunek 5.18. (a) Dostępne i niedostępne stopnie swobody u robota wyposażonego w napęd różnicowy. (b) Dostępne i niedostępne stopnie swobody u robota wyposażonego w system kompensacji Ackermanna



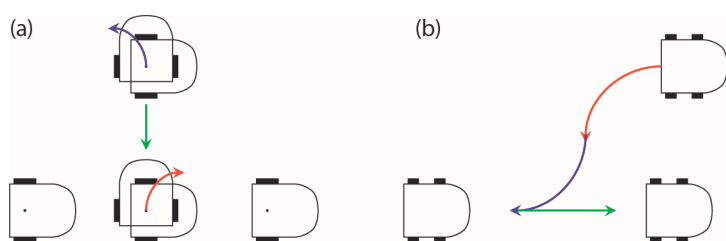
Rysunek 5.19. (a) Koło szwedzkie. (b) Robot wielokierunkowy (dzięki uprzejmości LAMI-EPFL)



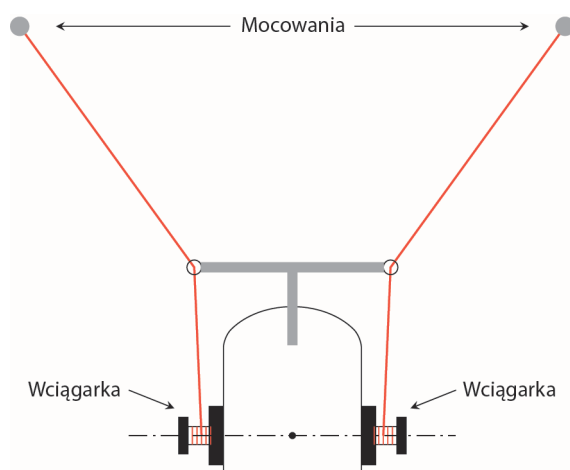
Rysunek 5.20. Robot wielokierunkowy wyposażony w trzy koła szwedzkie



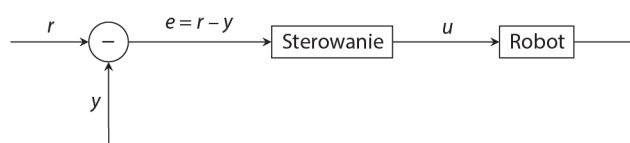
Rysunek 5.21. Parkowanie równoległe w wykonaniu robota wielokierunkowego



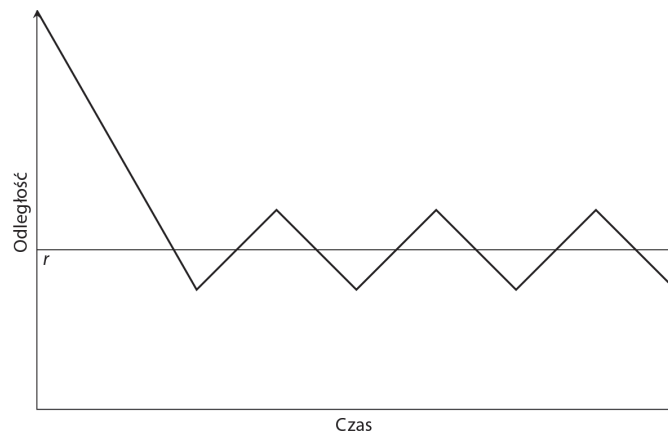
Rysunek 5.22. (a) Parkowanie równoległe nieholomicznego robota mobilnego wyposażonego w napęd różnicowy. (b) Parkowanie równoległe nieholomicznego samochodu



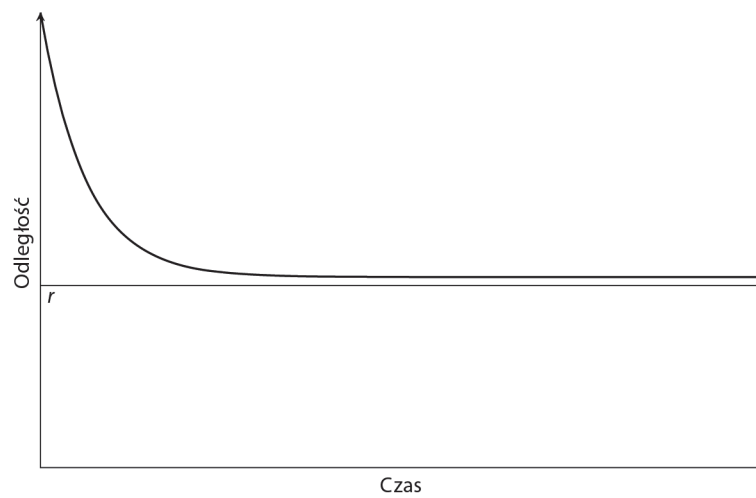
Rysunek 5.23. Robot czyszczący ściany



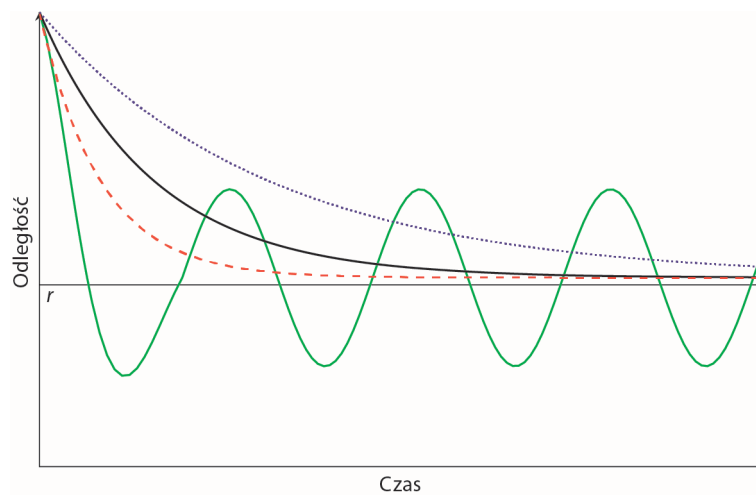
Rysunek 6.1. Układ sterowania w pętli zamkniętej



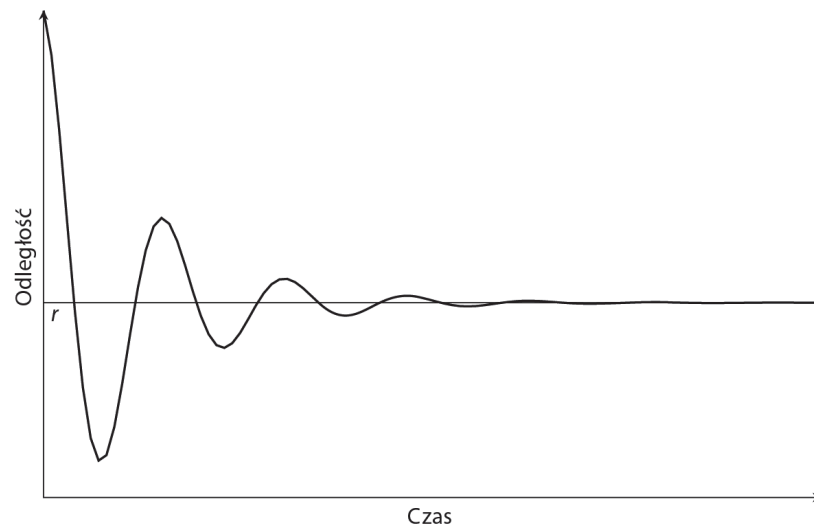
Rysunek 6.2. Działanie algorytmu „on-off”



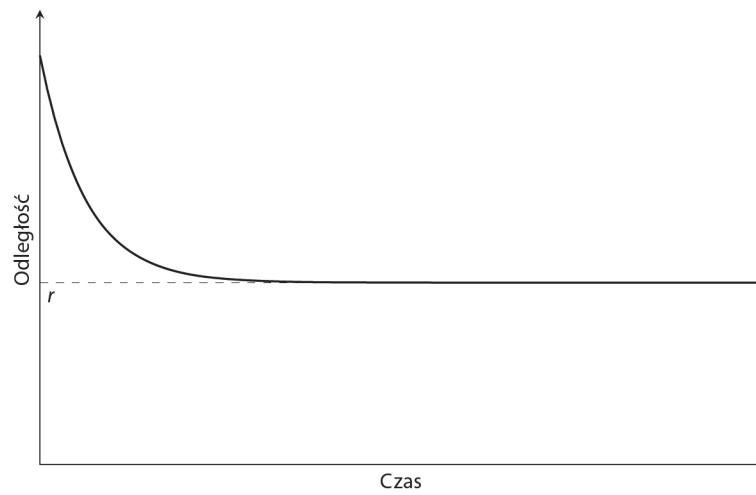
Rysunek 6.3. Działanie regulatora P



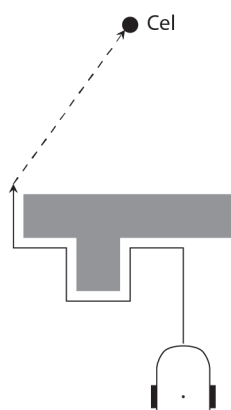
Rysunek 6.4. Wpływ wzmocnienia na regulator P: małe wzmocnienie (niebieska linia przerywana), duże wzmocnienie (czerwona linia przerywana), bardzo duże wzmocnienie (oscylująca linia zielona)



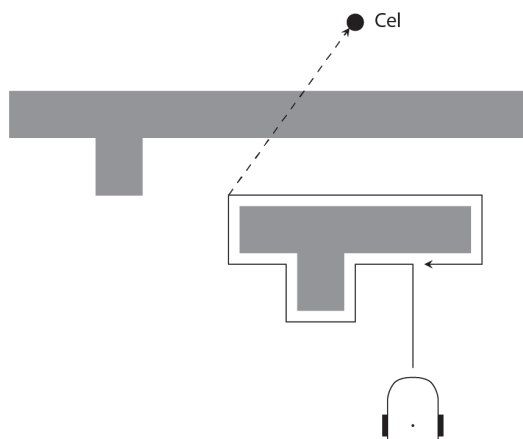
Rysunek 6.5. Działanie regulatora PI



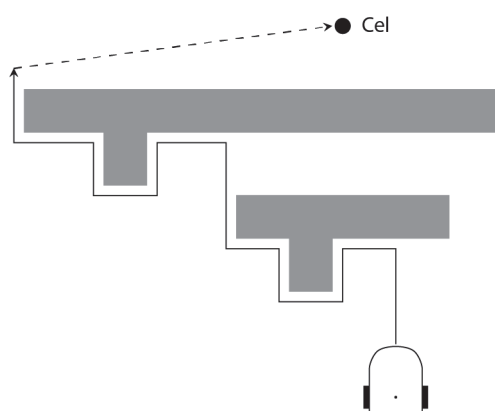
Rysunek 6.6. Działanie regulatora PID



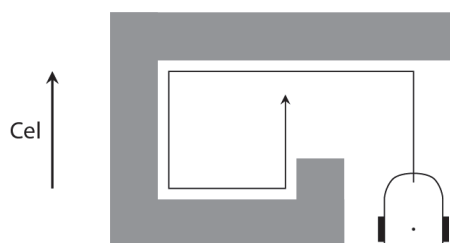
Rysunek 7.1. Podążanie wzdłuż ściany



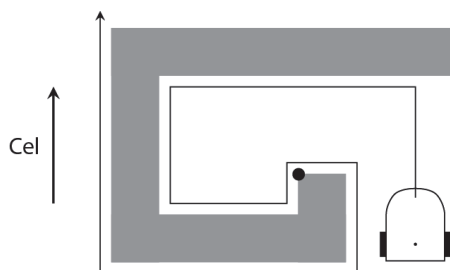
Rysunek 7.2. Algorytm prostego podążania wzdłuż ściany
nie zawsze umożliwia robotowi dotarcie do celu



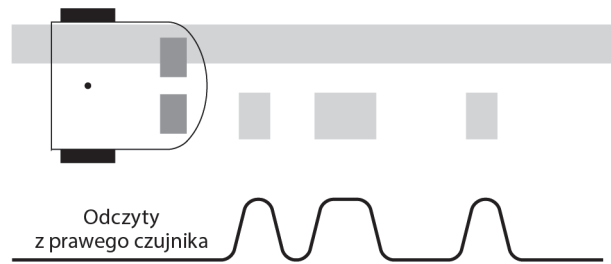
Rysunek 7.3. Ukierunkowane podążanie wzdłuż ściany



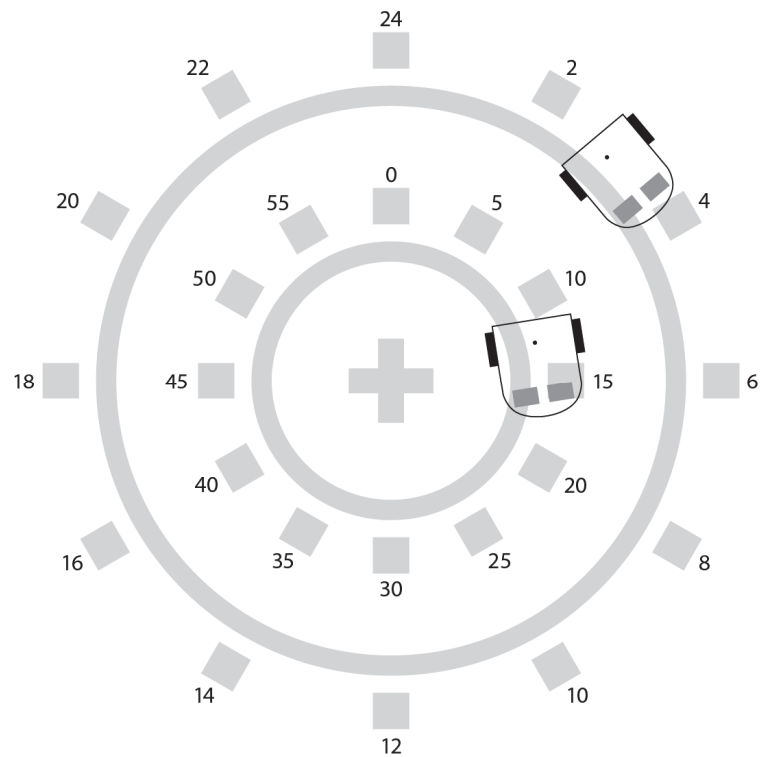
Rysunek 7.4. Algorytm ukierunkowanego podążania wzdłuż ściany nie zawsze działa



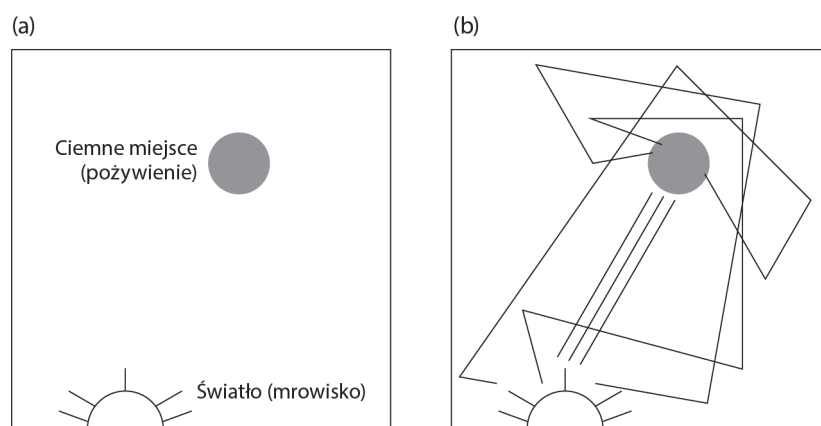
Rysunek 7.5. Algorytm Pledge'a podążania wzdłuż ściany



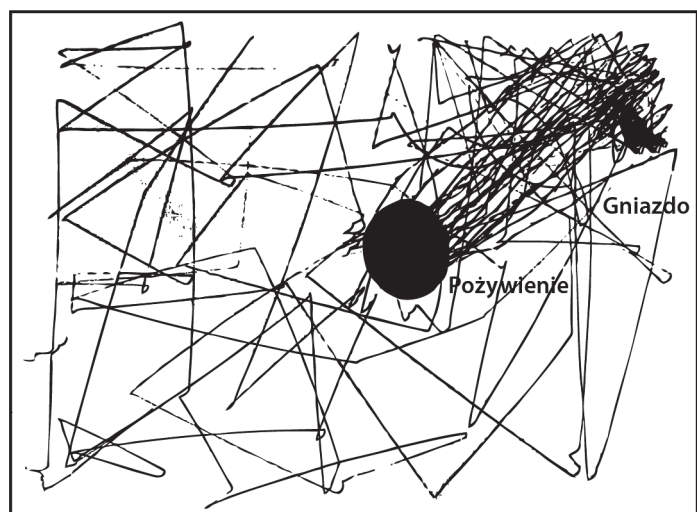
Rysunek 7.6. Za sprawą lewego czujnika robot podąża wzdłuż linii, natomiast prawy czujnik służy do odczytywania kodu



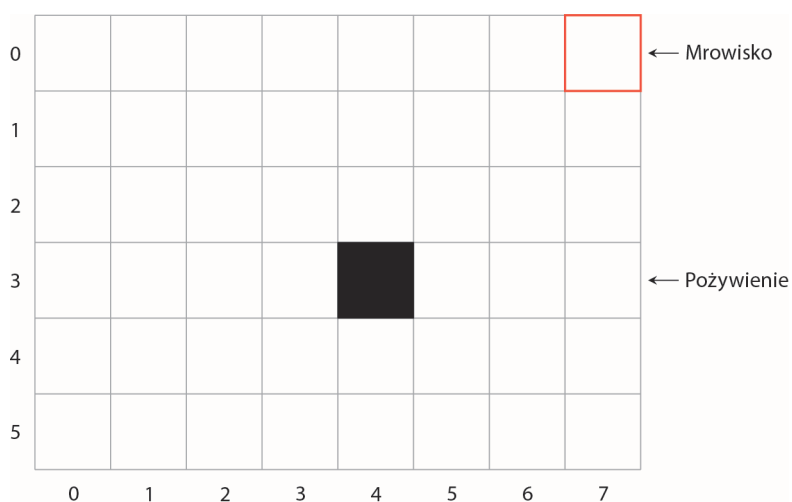
Rysunek 7.7. Zegar robotyczny: jeden robot wskazuje godziny, a drugi minuty



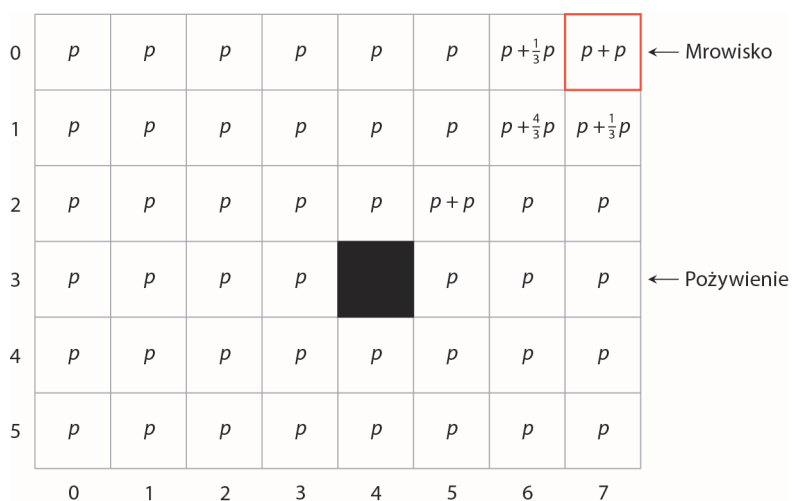
Rysunek 7.8. (a) Mrowisko i źródło pożywienia. (b) Feromony wyznaczają szlak



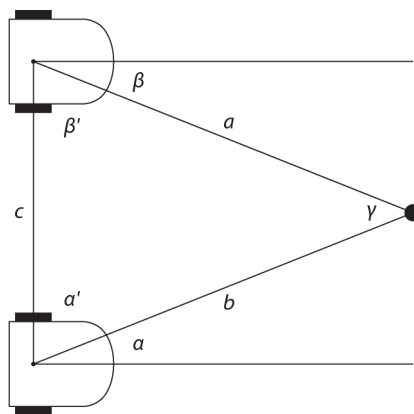
Rysunek 7.9. Robot symulujący wydzielanie feromonów



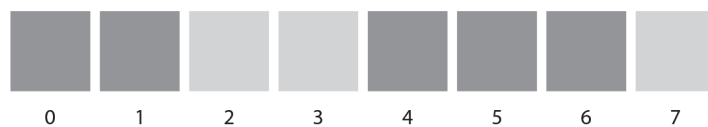
Rysunek 7.10. Środowisko jako siatka komórek



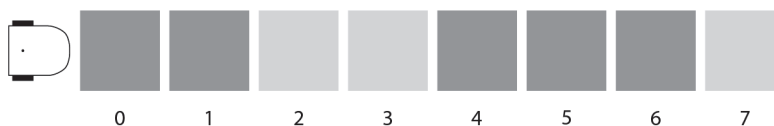
Rysunek 7.11. Prawdopodobieństwa umiejscowienia mrówki



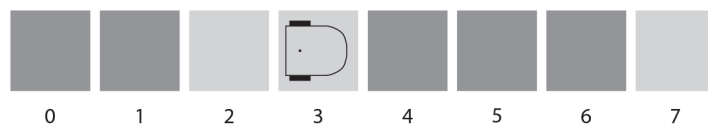
Rysunek 8.2. Triangulacja



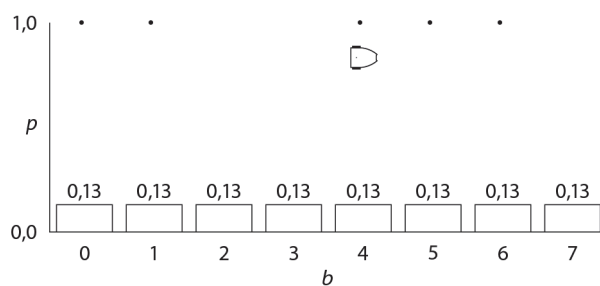
Rysunek 8.3. Mapa ściany



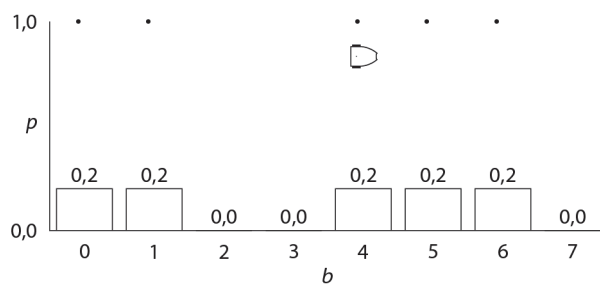
Rysunek 8.4. Początkowa pozycja robota



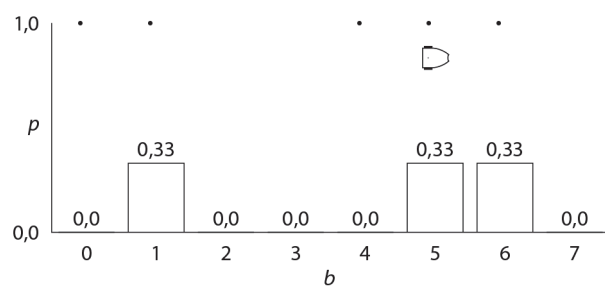
Rysunek 8.5. Robot stojący na pozycji 3.



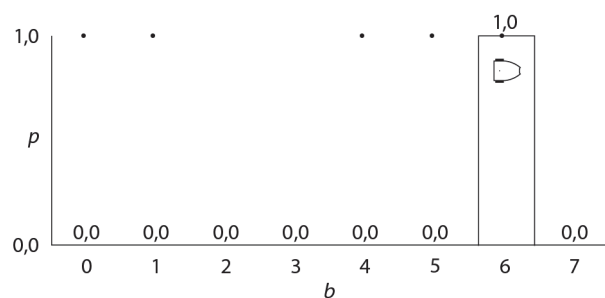
Rysunek 8.6. Robot przypisujący wszystkim pozycjom takie samo prawdopodobieństwo



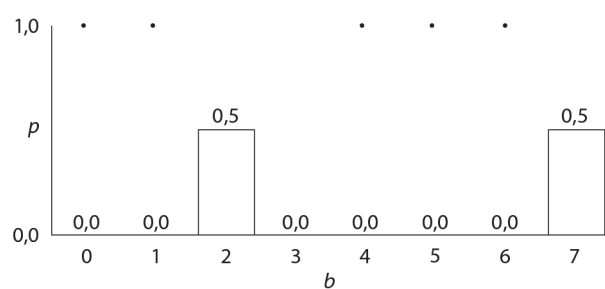
Rysunek 8.7. Sytuacja po wykryciu ciemnoszarej powierzchni



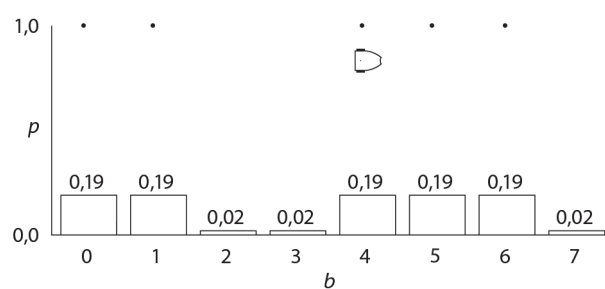
Rysunek 8.8. Sytuacja po przemieszczeniu się robota o jedną pozycję w prawo



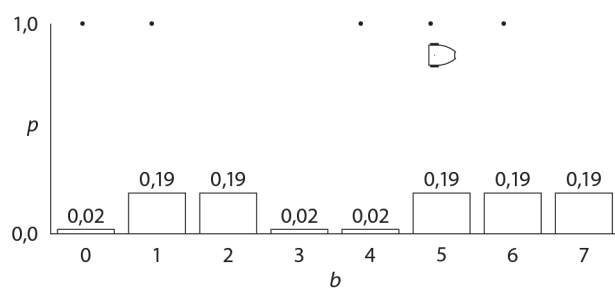
Rysunek 8.9. Sytuacja po przemieszczeniu się o kolejną pozycję w prawo



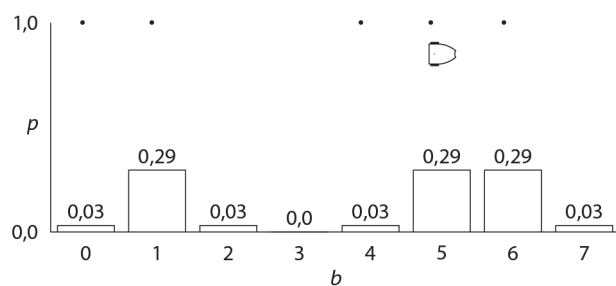
Rysunek 8.10. Sytuacja, w której robot nie wykryłby ciemnoszarej powierzchni po drugim ruchu



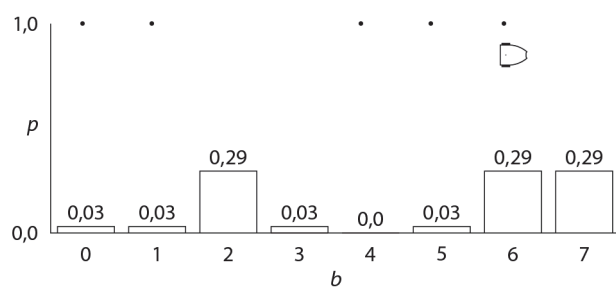
Rysunek 8.11. Początkowa sytuacja po normalizacji



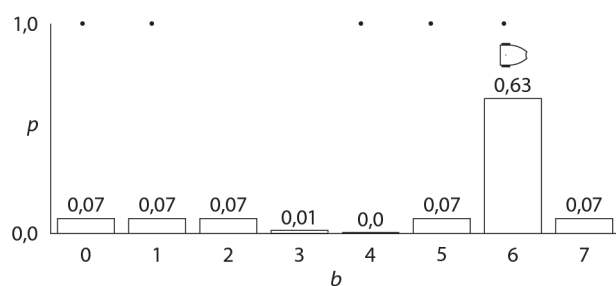
Rysunek 8.12. Sytuacja po przemieszczeniu się robota o jedną pozycję w prawo



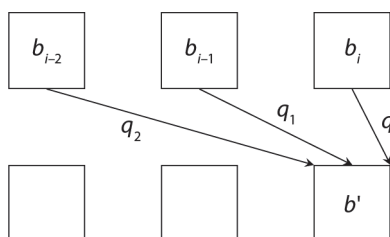
Rysunek 8.13. Sytuacja po znormalizowaniu prawdopodobieństw z pierwszego ruchu



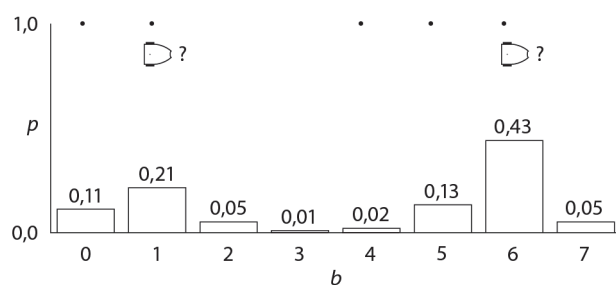
Rysunek 8.14. Sytuacja po przemieszczeniu się robota o kolejną pozycję



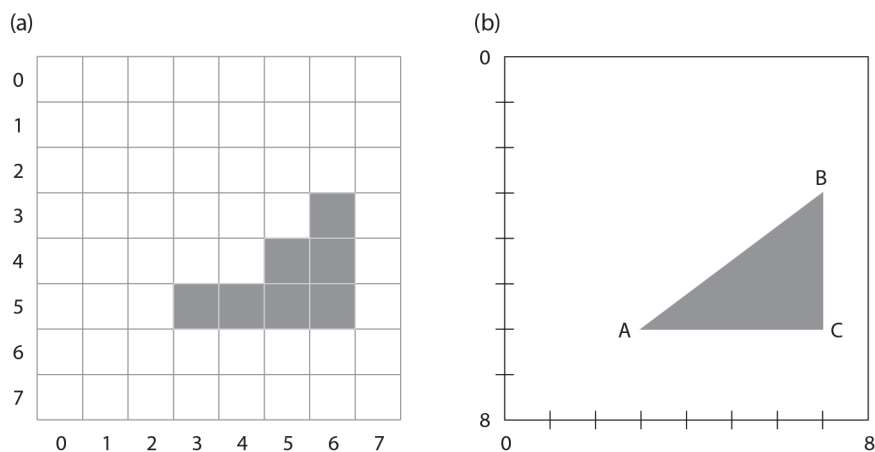
Rysunek 8.15. Sytuacja po znormalizowaniu prawdopodobieństw z drugiego ruchu



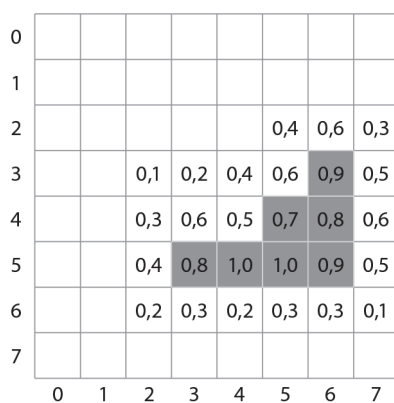
Rysunek 8.16. Obliczanie tablicy przekonań z uwzględnieniem niepewności ruchu



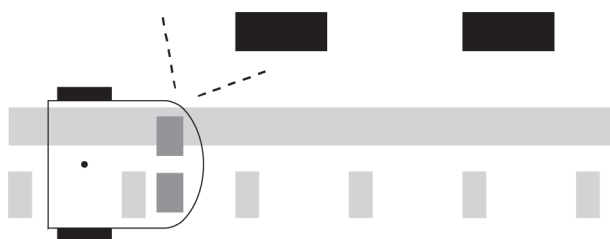
Rysunek 8.17. Wartości tablicy przekonań dla ostatniego ruchu z uwzględnieniem niepewności pomiarów i ruchu



Rysunek 9.1. (a) Mapa dyskretna komórek zajmowanych przez obiekt.
(b) Mapa ciągła tego samego obiektu



Rysunek 9.2. Probabilistyczna mapa z siatką współrzędnych



Rysunek 9.3. Czarne prostokąty są przeszkodami, które należy zmierzyć. Szara linia nadaje kierunek ruchu robotowi, natomiast szare prostokąty służą do lokalizacji

?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	1	?	?	?	?	?	?	0,9	1	0,9	?
?	?	?	?	?	1	0,1	0,1	?	?	?	?	1	0,2	1	?
?	?	?	?	?	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?
?	?	?	?	?	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?
?	?	?	?	?	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?	?
?	?	?	?	?	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	?
?	?	?	?	?	?	?	?	1	1	0,9	1	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Rysunek 9.4. Mapa z siatką współrzędnych zawierająca prawdopodobieństwo obłożenia

?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	1	?	?	?	?	?	0,9	1	0,9	?	?
?	?	?	?	?	1	0,1	0,1	?	?	?	1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	1	1	0,9	1	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

 Pozycja robota

Rysunek 9.5. Robot przemieszcza się na rubież

?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	1	?	?	?	?	?	0,9	1	0,9	?	?
?	?	?	?	?	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	1	1	0,9	1	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

 Pozycja robota

Rysunek 9.6. Robot aktualizuje informacje o uprzednio niezbadanych komórkach sąsiadujących z rubieżą

?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	1	?	?	0,8	1	1	0,9	1	0,9	?	?
?	?	?	?	?	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	1	1	0,9	1	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

 Pozycja robota

Rysunek 9.7. Druga iteracja algorytmu rubieżowego

?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	1	?	?	0,8	1	1	0,9	1	0,9	?	?
?	?	?	?	?	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?	?
?	?	?	?	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	1	1	0,9	1	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

 Pozycja robota

Rysunek 9.8. Robot unika przeszkody w drodze do kolejnej rubieży

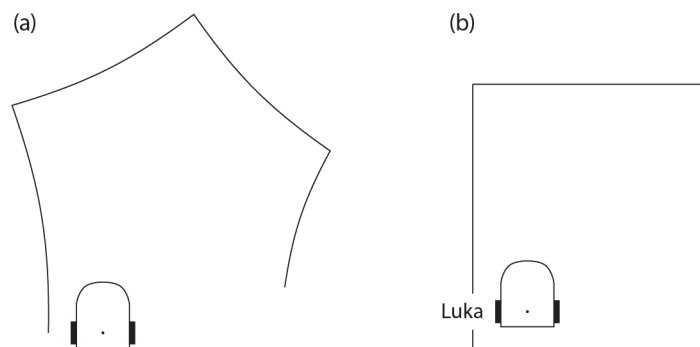
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
0,8	1	1	1	1	1	1	1	0,8	1	1	0,9	1	0,9	?	?
0,9	0,1	0,1	0,1	0,2	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	1	0,2	1	?	?
1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?	?
1	0,1	0,1	0,9	0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1	?	?
1	0,1	0,3	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	0,8	?
1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	?
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	1	?
1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	1	0,9	1	1	0,1	0,1	1	?
0,8	1	1	1	1	0,8	?	?	?	?	?	1	1	1	1	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

 Pozycja robota

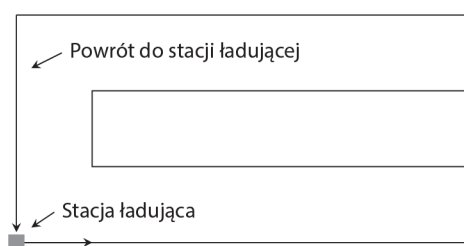
Rysunek 9.9. Mapa zbudowana przez algorytm rubieżowy i trasa przebyta przez robota

0	?	?	?	?	?	?	?
1	?	?	?	0,1	?	?	?
2	?	?	0,1	0,1	1	?	?
3	?	?	0,1	0,1	1	?	?
4	?	1	1	1	1	?	?
5	?	?	?	?	?	?	?
6	?	?	?	?	?	?	?
	0	1	2	3	4	5	6

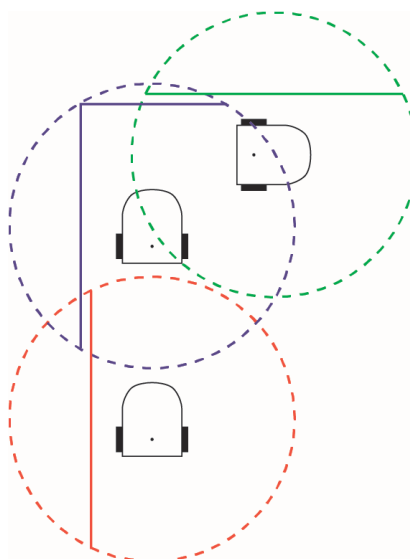
Rysunek 9.10. Eksploracja labiryntu



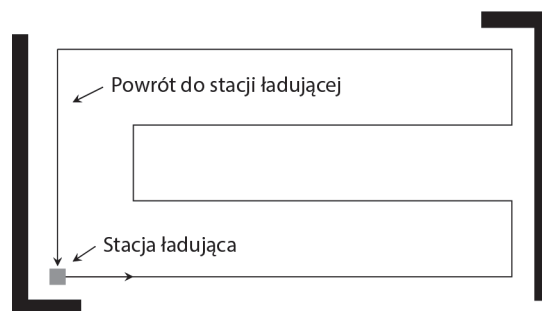
Rysunek 9.11. (a) Postrzegany ruch robota bazujący na odometrii.
(b) Połączenie odometrii ze znajomością geometrii ścian



Rysunek 9.12. Robotyczna kosiarka do trawy kosząca trawę i wracająca do stacji ładującej

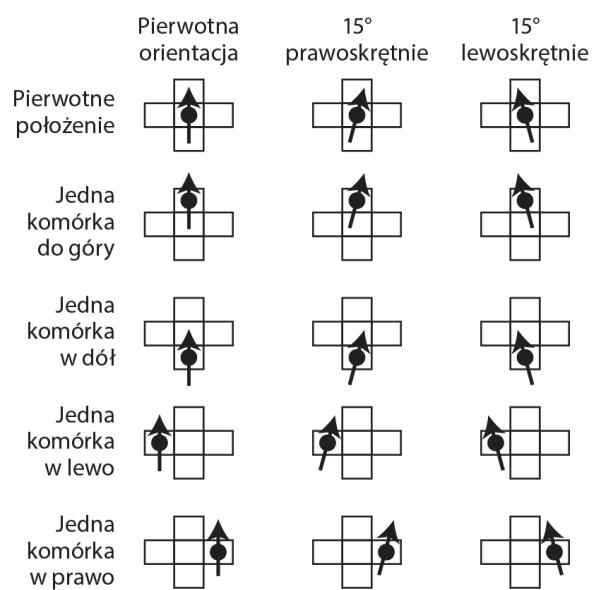


Rysunek 9.13. Pomiary czujników dalekiego zasięgu mogą się wzajemnie nakładać

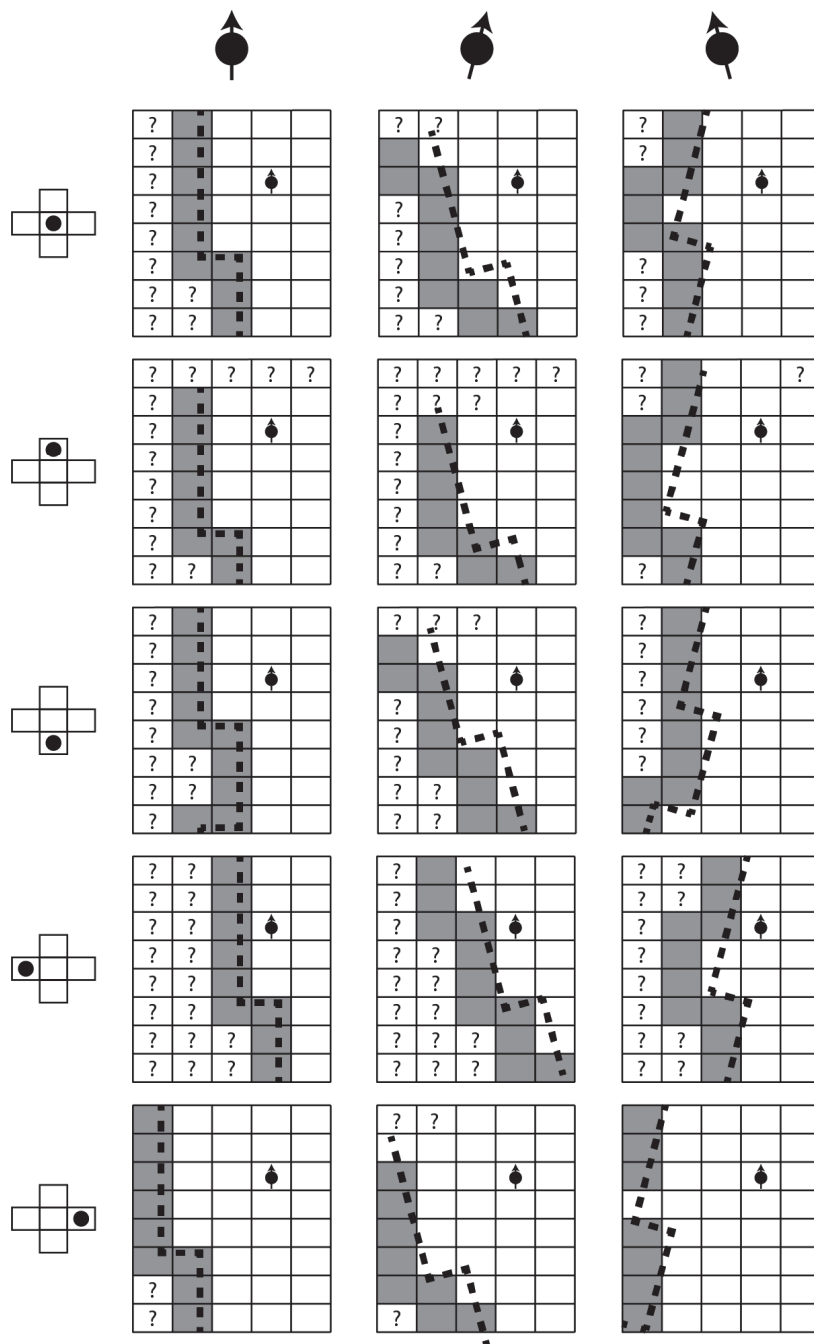


Rysunek 9.14. Środowisko robotycznej kosiarki z zaznaczonymi punktami orientacyjnymi

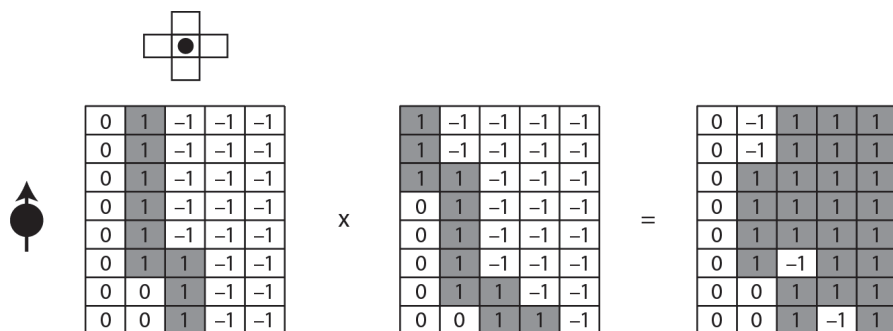
Rysunek 9.18. (a) Oczekiwana perspektywa robota. (b) Rzeczywista perspektywa robota



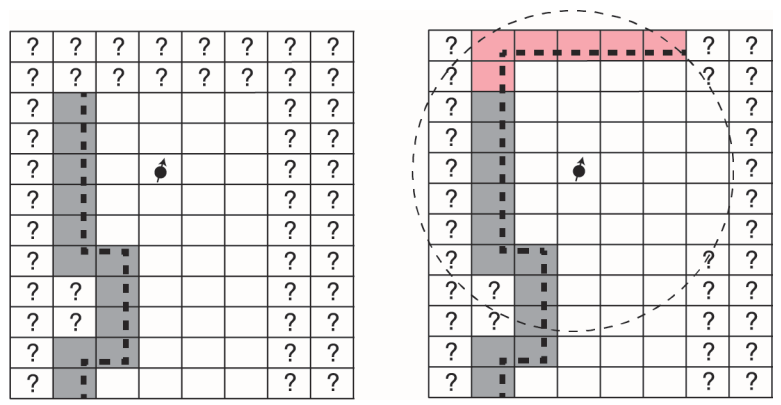
Rysunek 9.19. Możliwe postury robota



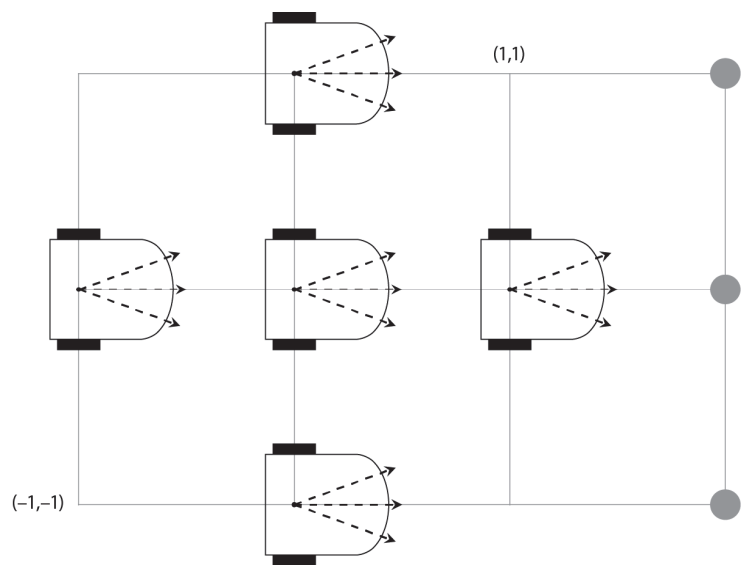
Rysunek 9.20. Oszacowania perspektywy robota znajdującego się w różnych posturach



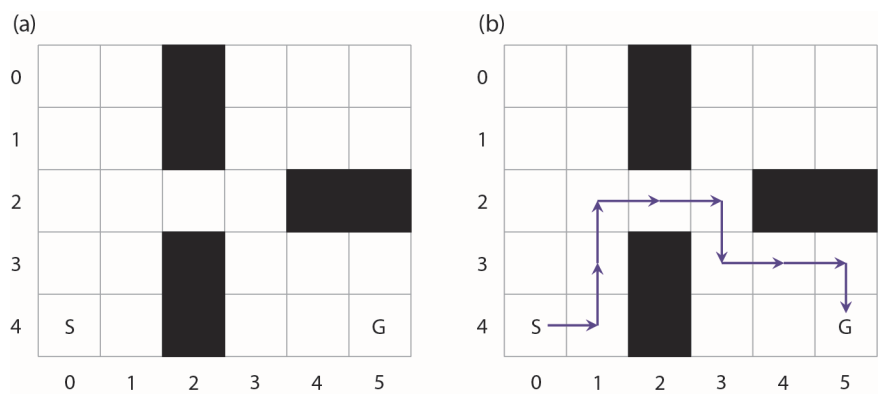
Rysunek 9.21. Obliczanie dopasowania między dwiema mapami



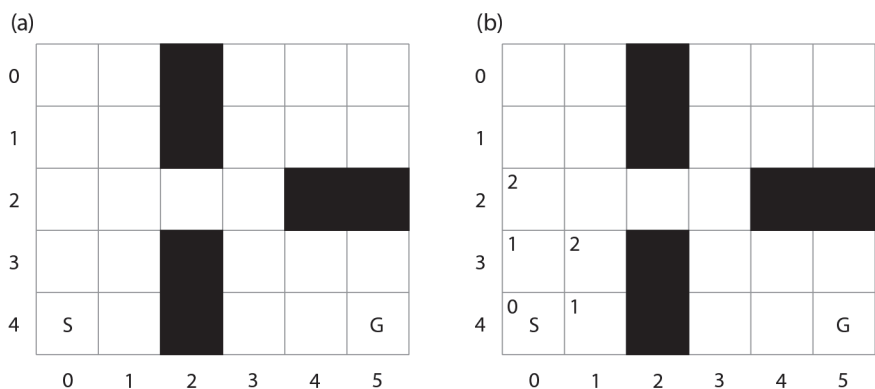
Rysunek 9.22. Mapa przed aktualizacją i po aktualizacji za pomocą danych pochodzących z mapy perspektyw



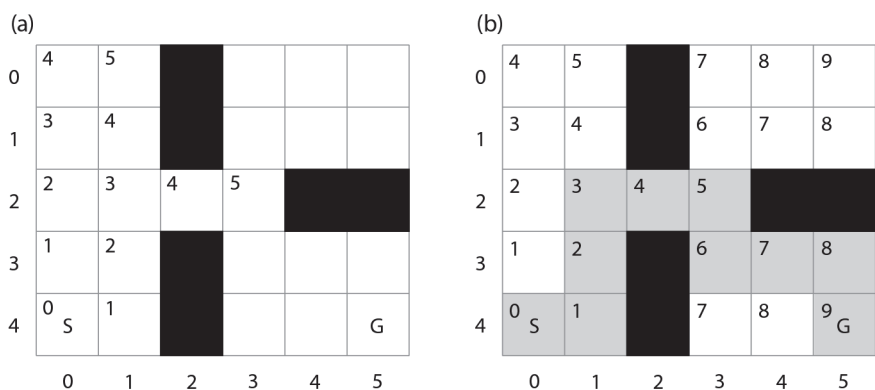
Rysunek 9.23. Konfiguracja użyta w algorytmie SLAM



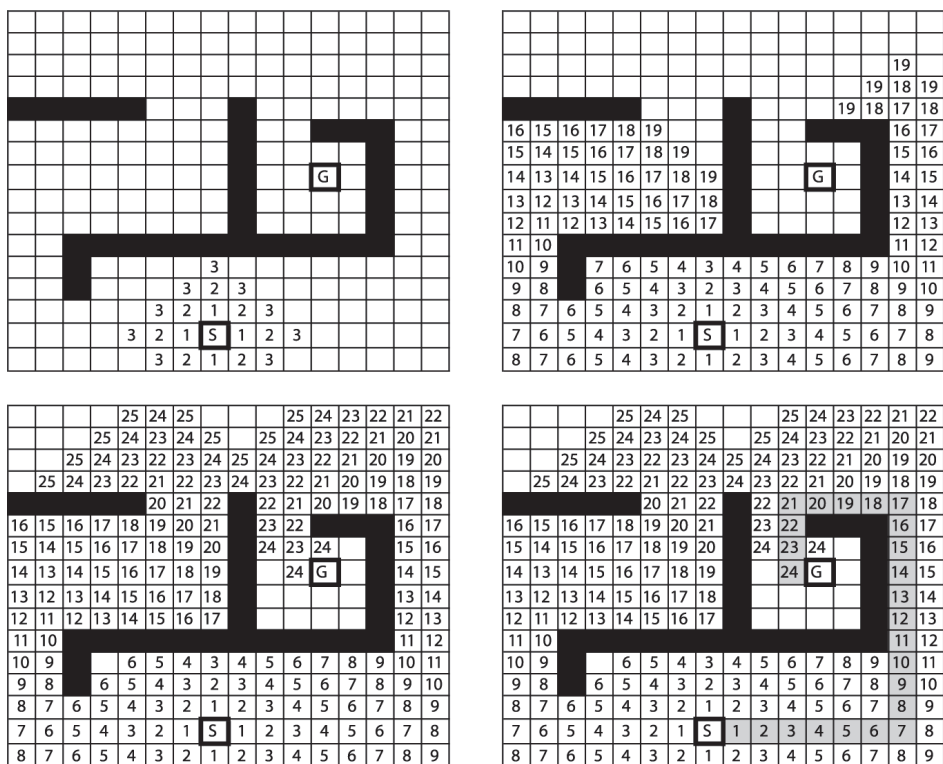
Rysunek 10.1. (a) Mapa z siatką współrzędnych używana w algorytmie Dijkstry.
(b) Najkrótsza trasa wykryta przez algorytm Dijkstry



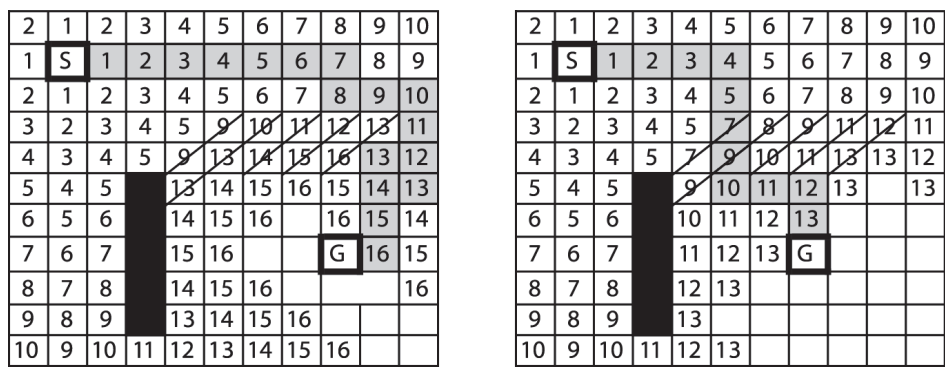
Rysunek 10.2. (a) Mapa z siatką współrzędnych używana w algorytmie Dijkstry.
(b) Pierwsze dwie iteracje algorytmu Dijkstry



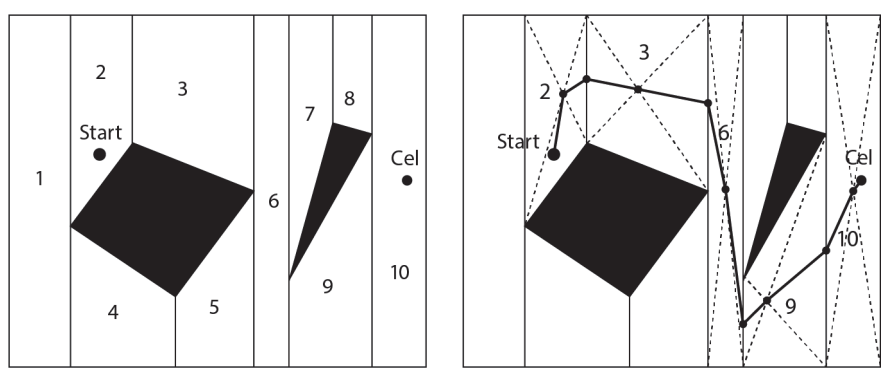
Rysunek 10.3. (a) Mapa po pięciu iteracjach algorytmu Dijkstry.
(b) Mapa z zaznaczoną najkrótszą trasą



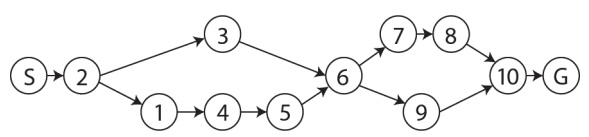
Rysunek 10.4. Algorytm planowania trasy dla mapy z siatką współrzędnych.
Widoczne są cztery etapy algorytmu, począwszy od lewego górnego diagramu



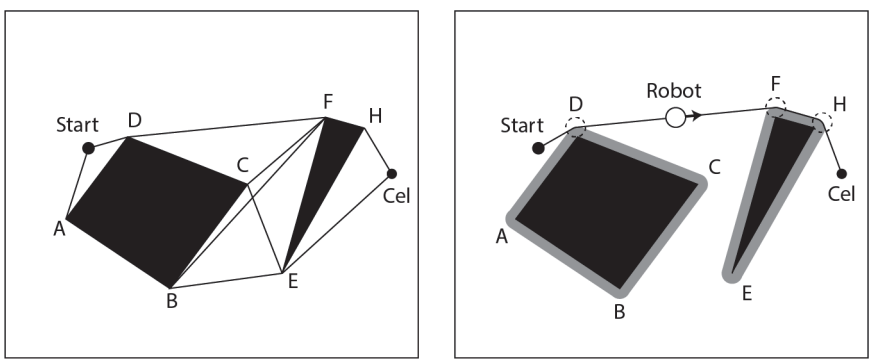
Rysunek 10.5. Algorytm Dijkstry uwzględniający zmienny koszt każdej komórki (na lewym diagramie koszt wynosi 4, a na prawym jest on równy 2)



Rysunek 10.6. Segmentowanie mapy ciągłej za pomocą linii pionowej, a także trasa prowadząca przez segmenty

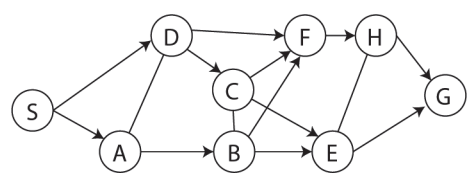


Rysunek 10.7. Graf skonstruowany na podstawie posegmentowanej mapy ciągłej

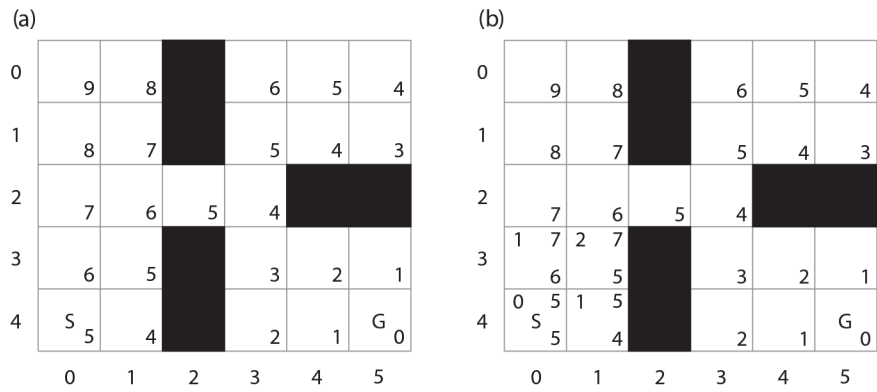


⊙ = rozmiar robota

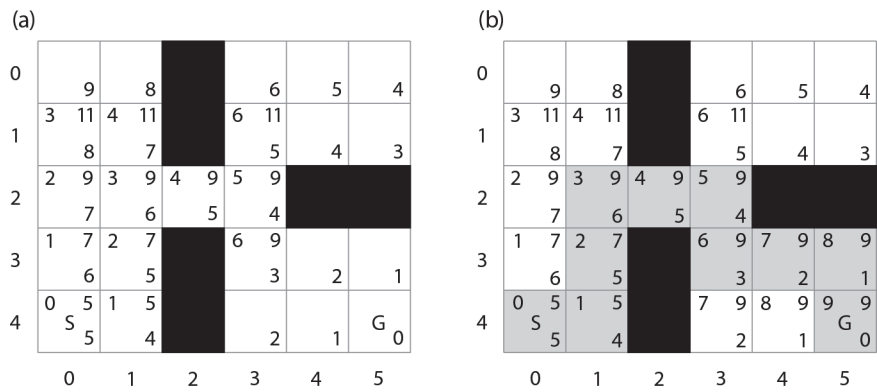
Rysunek 10.8. Mapa ciągła zawierająca linie łączące wierzchołki geometryczne przeszkód, a także trasa między wierzchołkami geometrycznymi



Rysunek 10.9. Graf skonstruowany na podstawie posegmentowanej mapy ciągłej

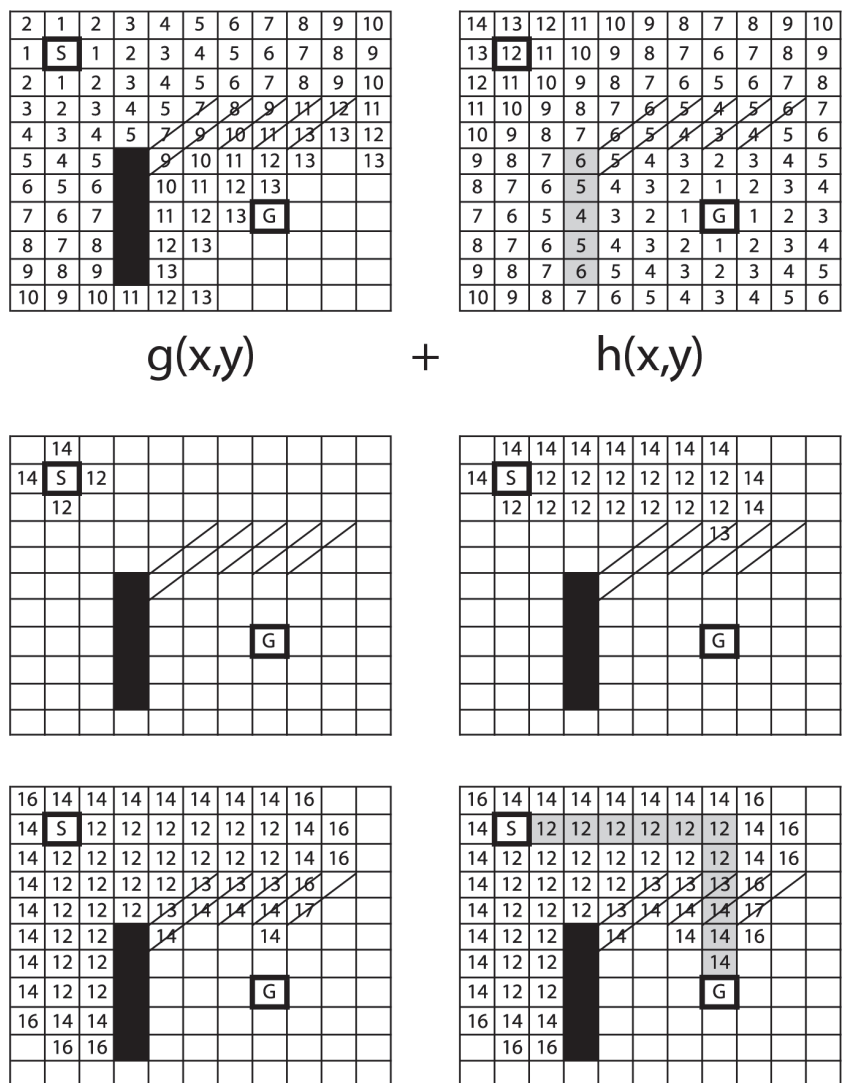


Rysunek 10.10. (a) Funkcja heurystyczna. (b) Dwie pierwsze iteracje algorytmu A*

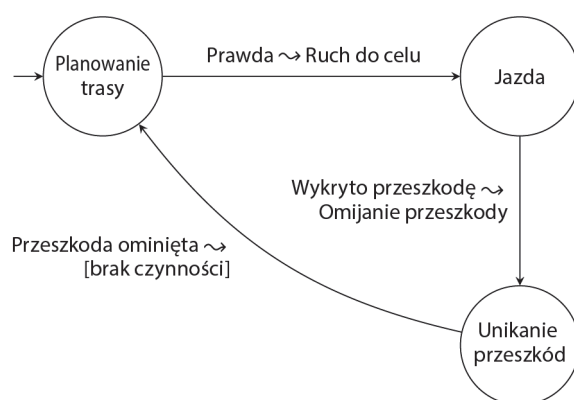


Rysunek 10.11. (a) Algorytm A* po sześciu iteracjach.

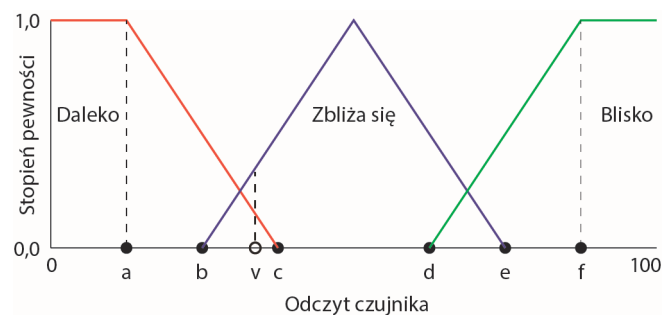
(b) Algorytm A* dociera do komórki docelowej i wyznacza najkrótszą trasę



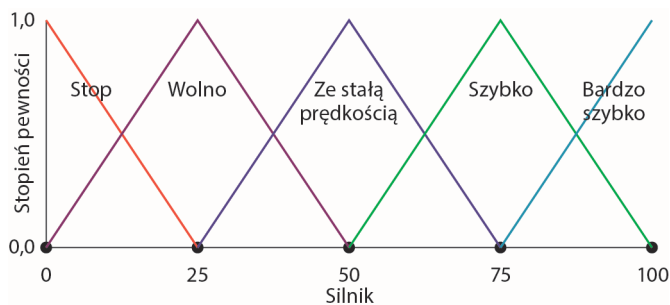
Rysunek 10.12. Algorytm A*. Lewy górny diagram: liczba ruchów do celu. Prawy górny diagram: funkcja heurystyczna. Diagramy środkowe i dolne: cztery iteracje algorytmu



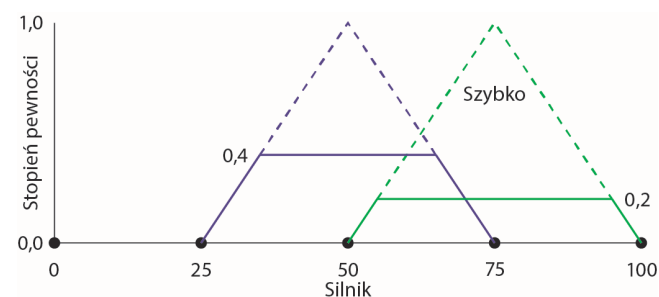
Rysunek 10.13. Łączenie algorytmów planowania trasy i omijania przeszkód



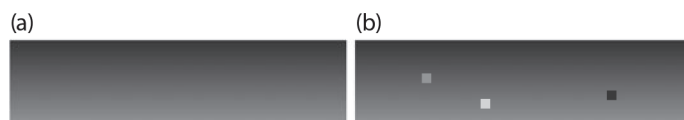
Rysunek 11.1. Rozmycie wartości uzyskiwanych przez horizontalny czujnik zbliżeniowy



Rysunek 11.2. Wyostrzenie w celu uzyskania ostrych ustawień mocy silnika



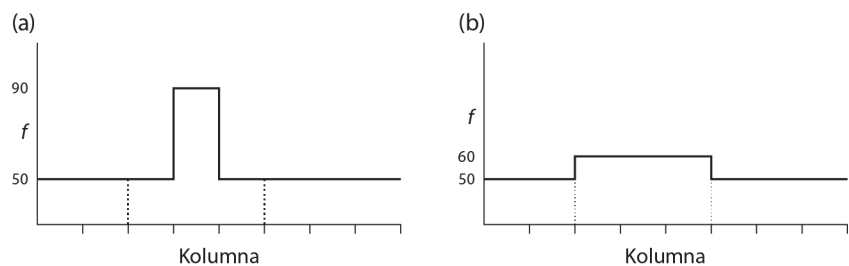
Rysunek 11.3. Obszary zdefiniowane przez stopnie pewności następników



Rysunek 12.1. (a) Obraz niezaszumiony. (b) Obraz zaszumiony

(a)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	(b)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	2	30	30	30	20	30	30	30	30	30	30
3	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	3	40	40	40	40	40	40	10	40	40	40
4	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	4	50	50	50	50	50	90	50	50	50	50
5	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	5	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

Rysunek 12.2. (a) Tablica niezaszumionych pikseli. (b) Tablica zaszumionych pikseli

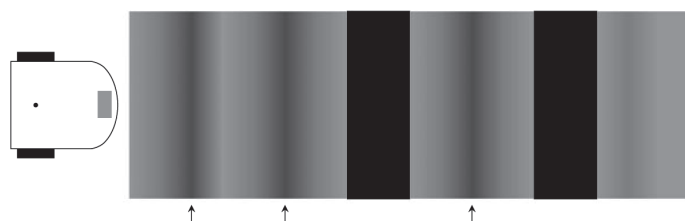


Rysunek 12.3. (a) Wykres intensywności przed uśrednieniem.
(b) Wykres intensywności po uśrednieniu

(a)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1	20	20	18	18	18	20	20	20	20	20	20
2	30	30	28	28	28	26	26	26	30	30	30
3	40	40	38	43	43	41	36	36	40	40	40
4	50	50	50	54	54	51	46	46	50	50	50
5	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

(b)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1	20	20	19	19	19	20	20	20	20	20	20
2	30	30	29	25	29	28	28	28	30	30	30
3	40	40	39	41	41	40	25	38	40	40	40
4	50	50	50	52	70	50	48	48	50	50	50
5	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

Rysunek 12.4. (a) Wygładzanie za pomocą filtra prostokątnego.
(b) Wygładzanie za pomocą filtra ważonego

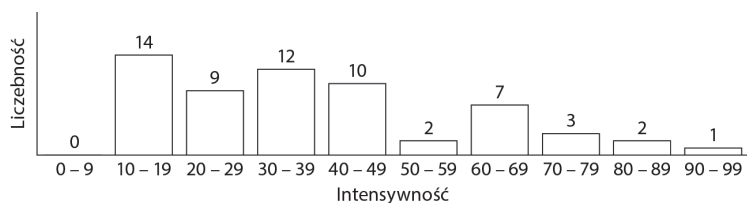


Rysunek 12.5. Jednowymiarowe usprawnienie obrazu

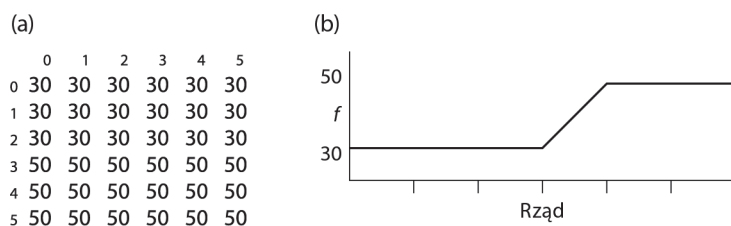
(a)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	10	90	90	90	90	90	10	10	10
3	10	10	10	90	90	90	90	90	10	10	10
4	10	10	10	90	90	90	90	90	10	10	10
5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

(b)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	19	17	37	19	26	11	46	27	37	10	10
1	11	24	17	30	14	43	29	22	34	46	46
2	31	37	38	63	72	86	65	64	27	47	47
3	33	38	49	73	63	66	59	76	40	10	10
4	47	13	44	90	86	56	63	65	18	44	44
5	10	34	29	14	35	31	26	42	15	25	25

Rysunek 12.6. (a) Niezaszumiony obraz binarny. (b) Zaszumiony obraz binarny



Rysunek 12.7. Histogram zaszumionego obrazu



Rysunek 12.8. (a) Obraz zawierający krzyż. (b) Intensywność krzyża

Rysunek 12.14. (a) Obraz z rogami. (b) Tablica pikseli dla obrazu zawierającego rogi

(a)										(b)									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	20	20	0	0	0	-20	-20	0	0	0	20	60	80	80	80	60	20
2	0	0	60	60	0	0	0	-60	-60	0	0	0	20	60	80	80	80	60	20
3	0	0	80	80	0	0	0	-80	-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	80	80	0	0	0	-80	-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0


Rysunek 12.15. (a) Krawędzie pionowe. (b) Krawędź pozioma

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	8	7	6	5	5	5	6	7
2	0	8	6	3	5	5	5	3	6
3	0	8	5	5	8	8	8	5	5
4	0	8	5	5	8	8	8	5	5
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

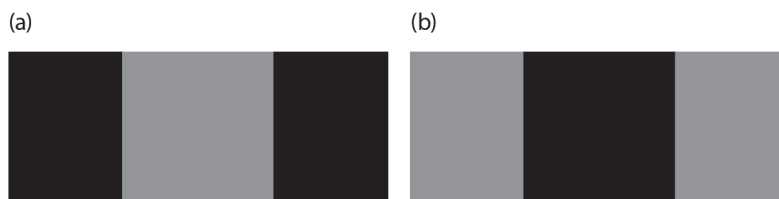
Rysunek 12.16. Sąsiedzi podobni

(a)										(b)									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	0	46	42	40	50	46	44	40	33	30
1	30	30	30	30	80	80	30	30	30	1	32	46	46	46	67	73	39	47	39
2	30	30	30	80	80	80	80	30	30	2	33	40	40	73	68	63	73	44	42
3	30	30	30	80	80	80	80	30	30	3	35	41	50	67	60	71	60	37	30
4	80	30	30	30	80	80	30	30	80	4	68	46	32	44	61	77	48	42	45
5	30	30	30	30	30	30	30	30	30	5	39	37	38	34	33	40	35	37	34

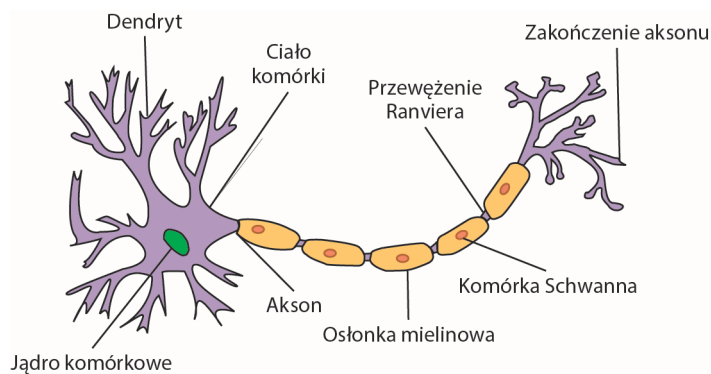
Rysunek 12.17. (a) Plama. (b) Zaszumiona plama

(a)										(b)									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
1	0	0	0	0	67	73	0	0	0										
2	0	0	0	73	68	63	73	0	0										
3	0	0	0	67	60	71	60	0	0										
4	68	0	0	0	61	77	0	0	62										
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0										

Rysunek 12.18. (a) Plama po wprowadzeniu wartości progowej. (b) Plama do wykrycia

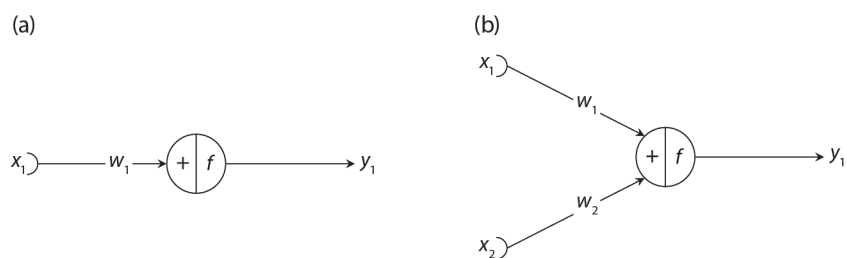


Rysunek 12.19. (a) Wzór z drzwiami. (b) To nie są drzwi

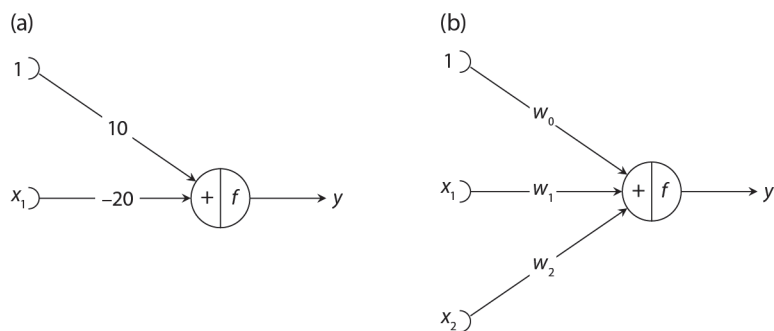


Rysunek 13.1. Budowa neuronu.

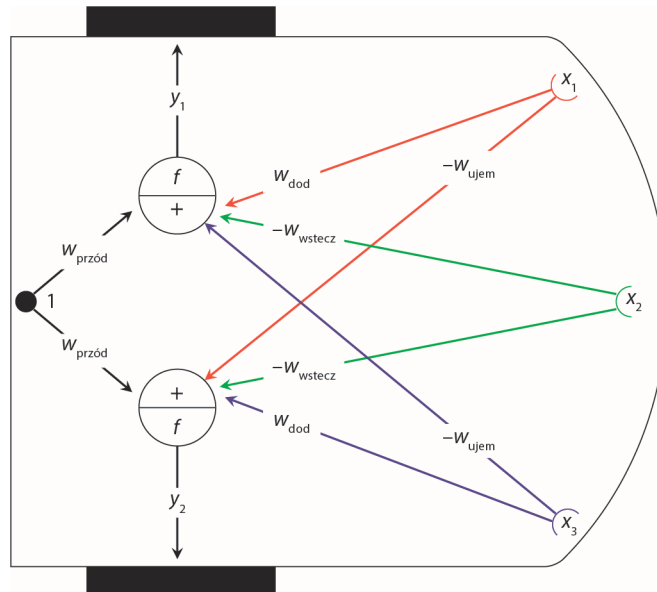
Źródło: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neuron.svg> autorstwa Dhp1080 [licencja CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.pl>) lub GFDL (https://en.wikipedia.org/wiki/GNU_Free_Documentation_License)], poprzez Wikimedia Commons



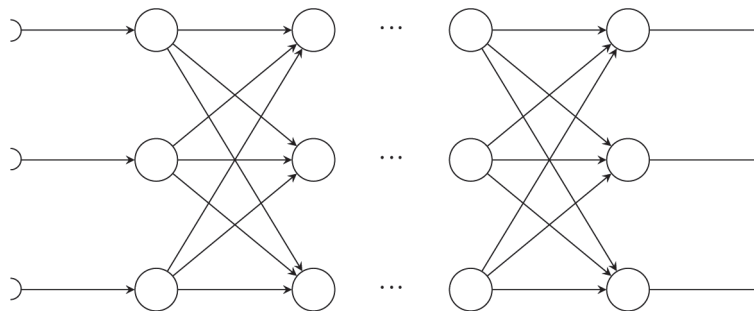
Rysunek 13.2. Sieć ANN: (a) Jeden neuron z jednym sygnałem wejściowym. (b) Jeden neuron z dwoma sygnałami wejściowymi



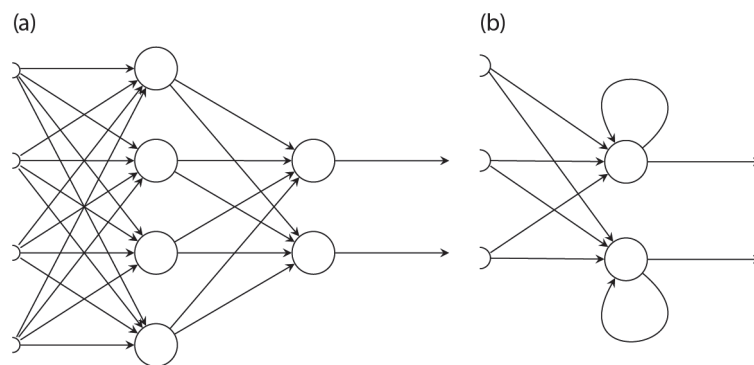
Rysunek 13.3. (a) Sztuczny neuron realizujący funkcję bramki NOT. (b) Sztuczny neuron realizujący funkcje bramek and i or



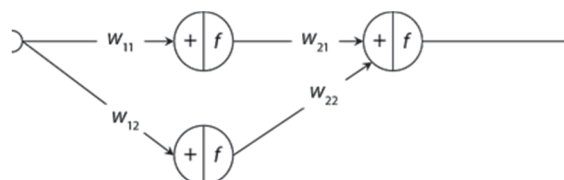
Rysunek 13.4. Sieć neuronowa służąca do omijania przeszkód



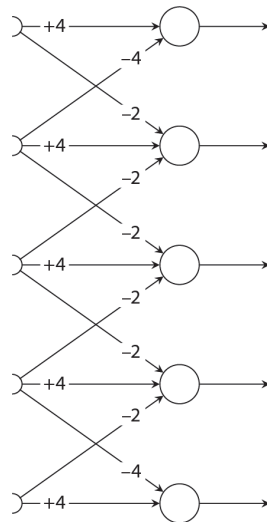
Rysunek 13.5. Sieć neuronowa wykorzystywana w uczeniu głębokim



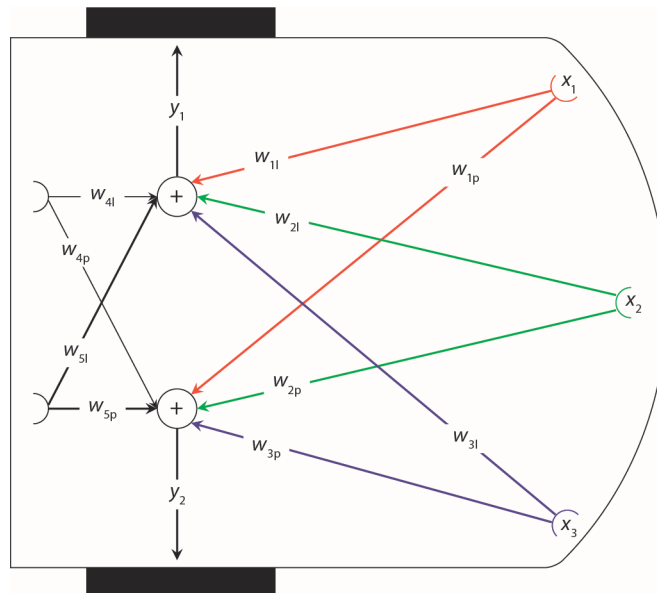
Rysunek 13.6. (a) Wielowarstwowa sieć ANN. (b) Sieć ANN z pamięcią



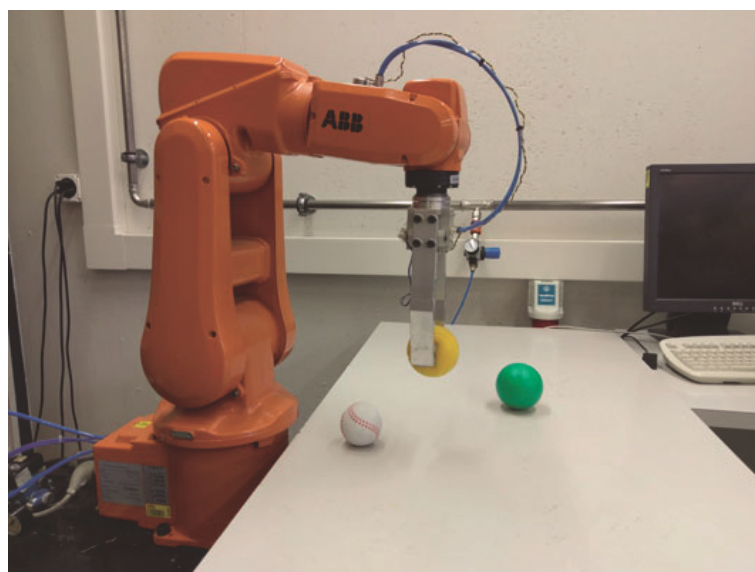
Rysunek 13.7. Dwuwarstwowa sieć ANN



Rysunek 13.8. Sieć ANN jako filtr przestrzenny



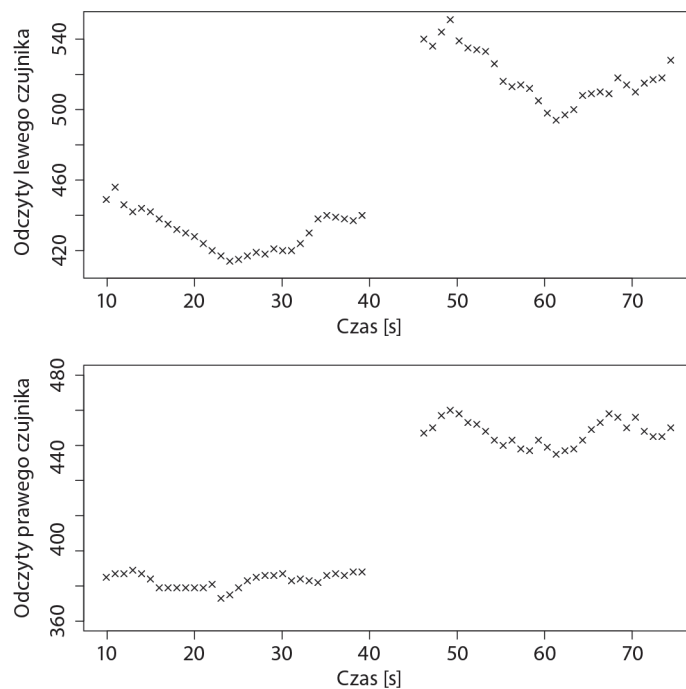
Rysunek 13.9. Sieć neuronowa demonstrująca uczenie hebbowskie



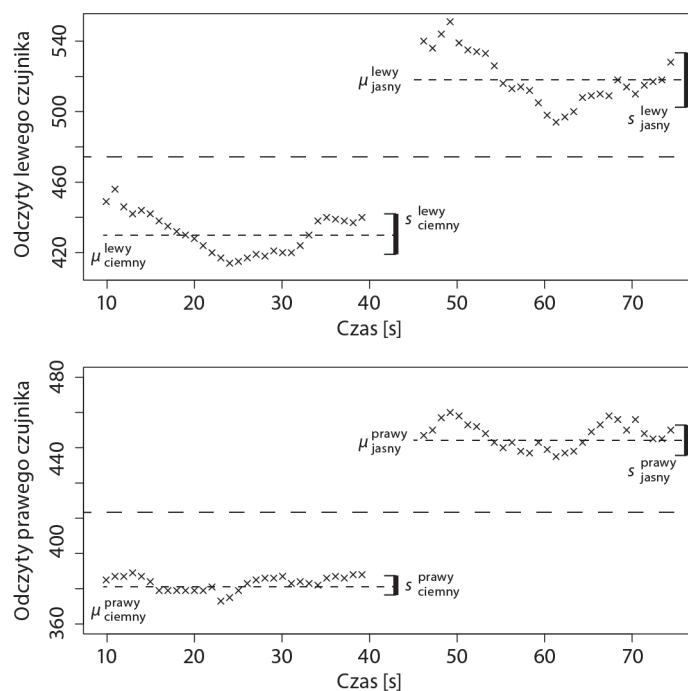
Rysunek 14.1. Ramię robota sortujące kolorowe piłeczki



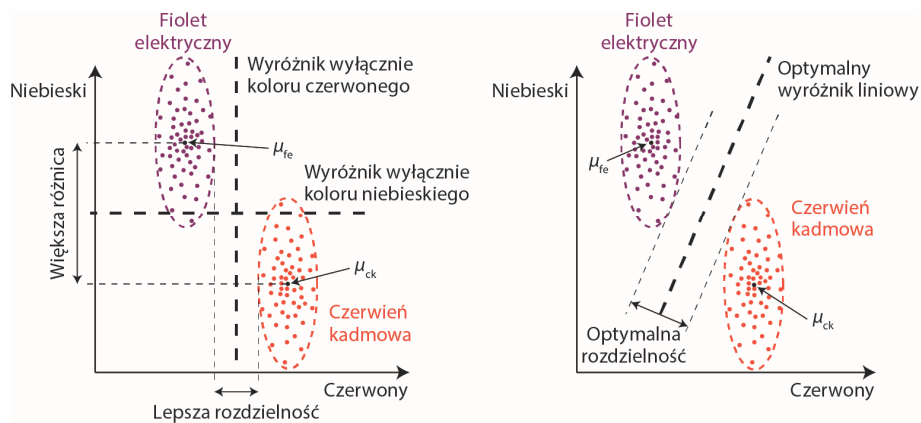
Rysunek 14.2. Rozróżnianie dwóch odcieni szarości



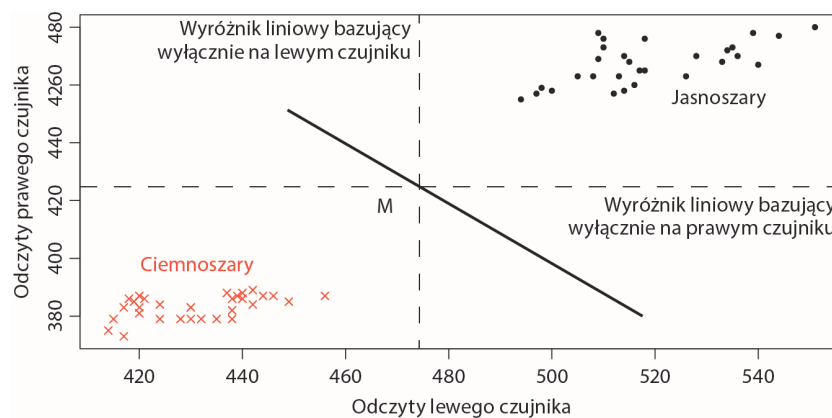
Rysunek 14.3. Wykresy współczynnika odbicia światła w funkcji czasu dla czujnika lewego (na górze) i prawego (na dole)



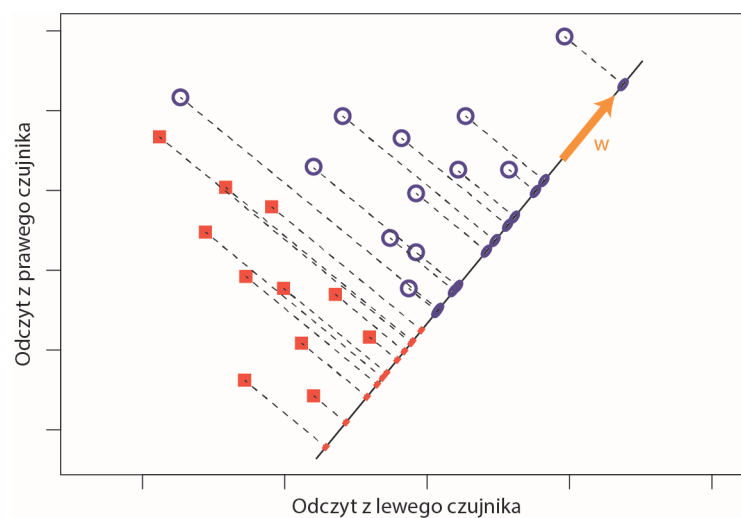
Rysunek 14.4. Wykresy z rysunku 14.3 ze średnimi (linia przerywana z krótkimi kreskami), wariancjami (nawiasy) i wyróżnikami (linia przerywana z długimi kreskami)



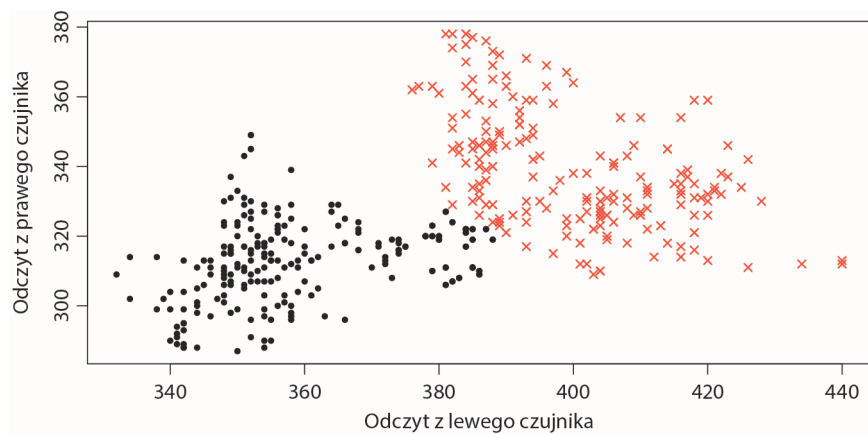
Rysunek 14.5. Optymalny wyróżnik liniowy do rozróżniania dwóch kolorów



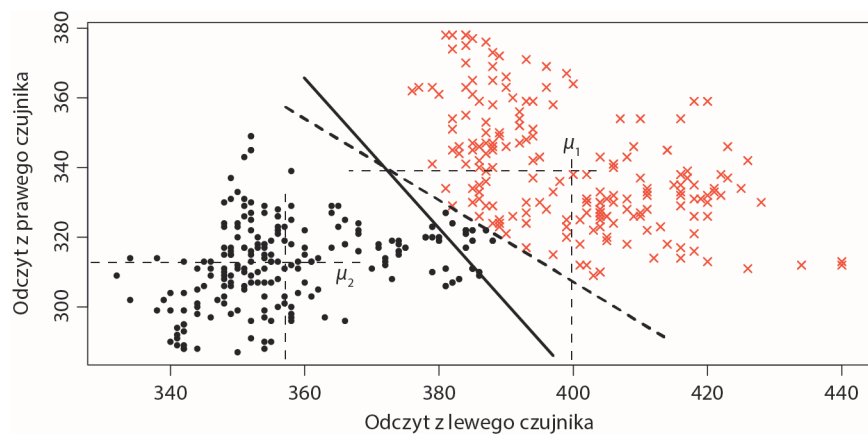
Rysunek 14.6. Wykres punktowy odcieni szarości ukazujący wyróżniki z poszczególnych czujników oraz wyróżnik optymalny



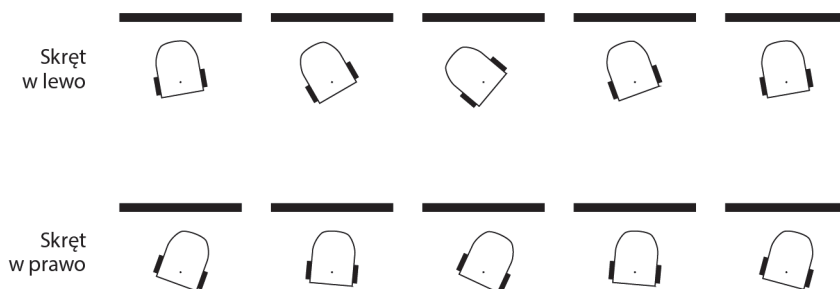
Rysunek 14.7. Rzutowanie próbek dwóch klas na linię zdefiniowaną przez wektor \mathbf{w}



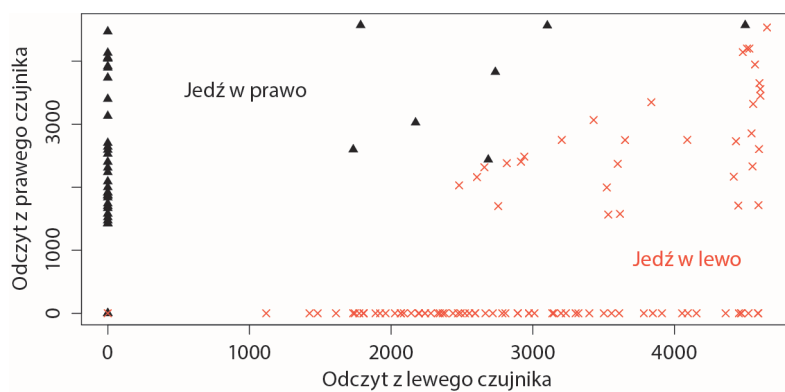
Rysunek 14.8. Podobne szare obszary (czarne kropki pochodzą z ciemniejszego obszaru, czerwone krzyżyki są obszaru jaśniejszego)



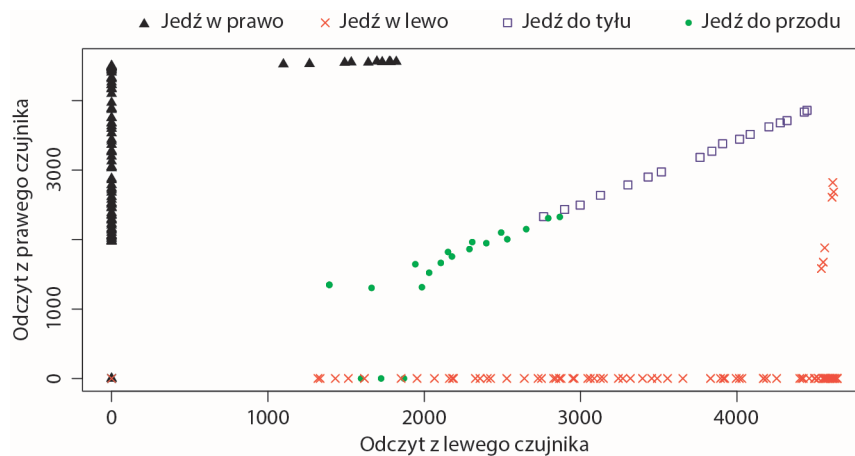
Rysunek 14.9. Średnie każdej klasy (cienkie linie przerywane), linia wyróżnika otrzymana metodą LDA (linia ciągła), linia wyróżnika w pełni rozdzielająca klasy (gruba linia przerywana)



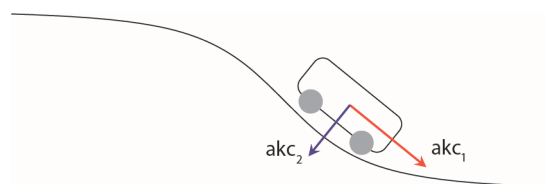
Rysunek 14.10. Uczenie robota omijania przeszkód



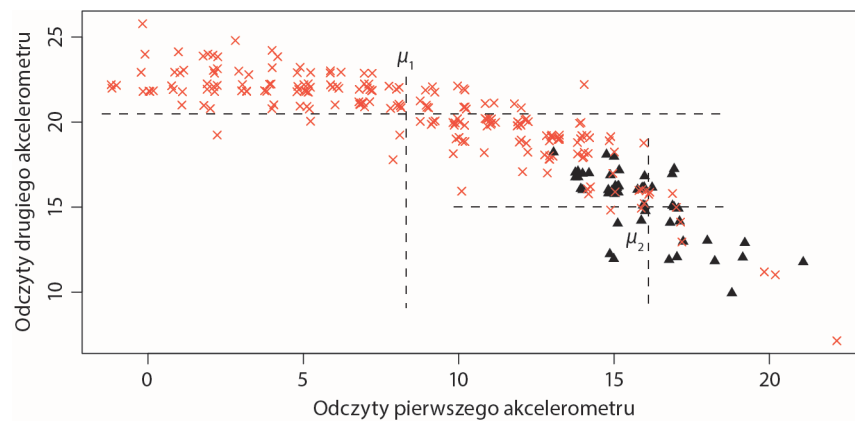
Rysunek 14.11. Dane omijania przeszkód podzielone na klasy „jedź w lewo” (czerwone krzyżyki) i „jedź w prawo” (czarne trójkąty)



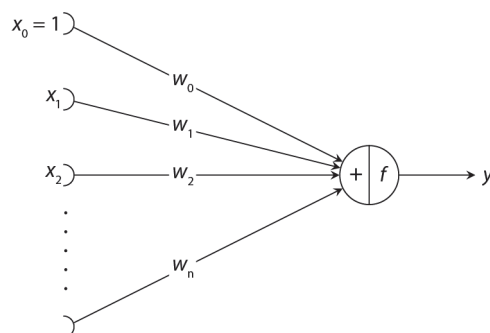
Rysunek 14.12. Dane uzyskane w fazie uczenia podążania za obiektem



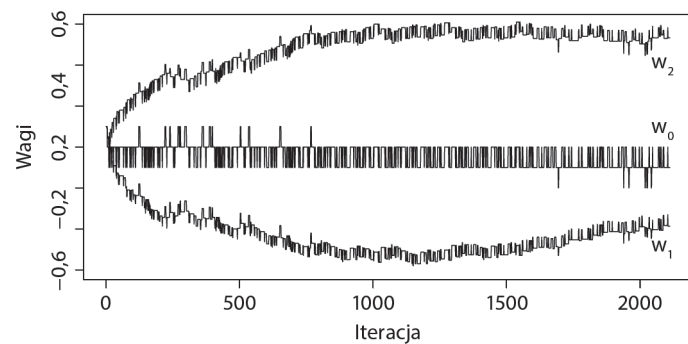
Rysunek 14.13. Robot wyposażony w akcelerometry, poruszający się po trudnym terenie



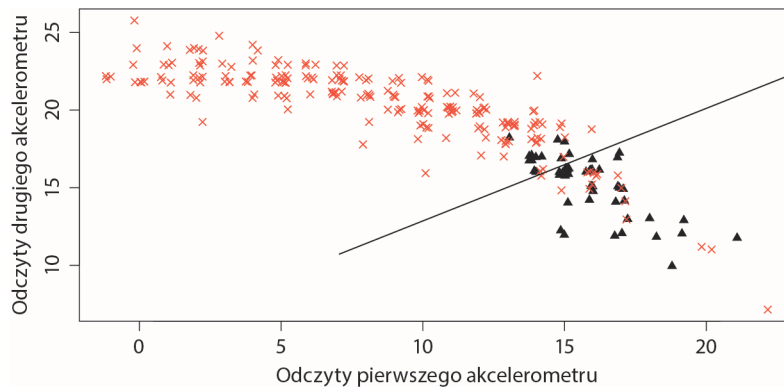
Rysunek 14.14. Wykrywanie niebezpiecznego zbrocza za pomocą odczytów akcelerometrów



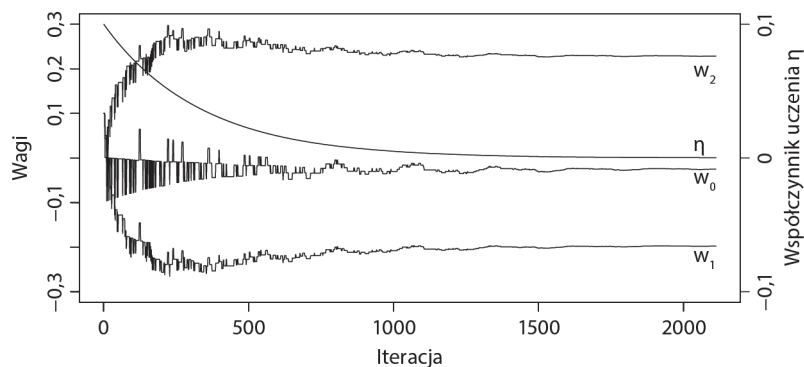
Rysunek 14.15. Perceptron



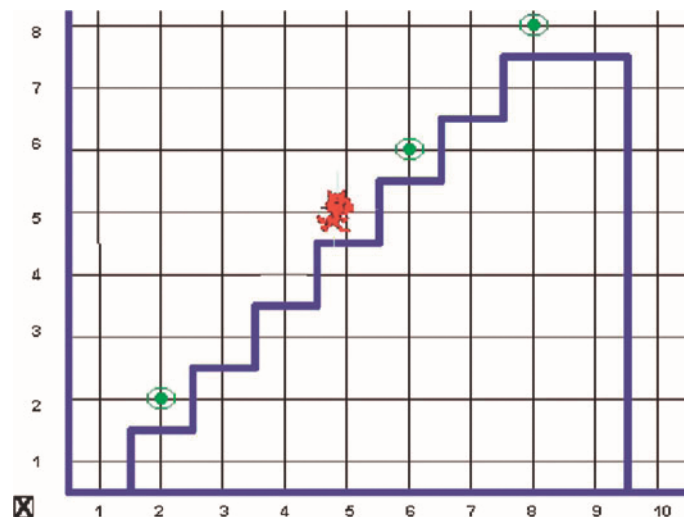
Rysunek 14.16. Ewolucja wag używanych w uczeniu przy zastosowaniu perceptronów



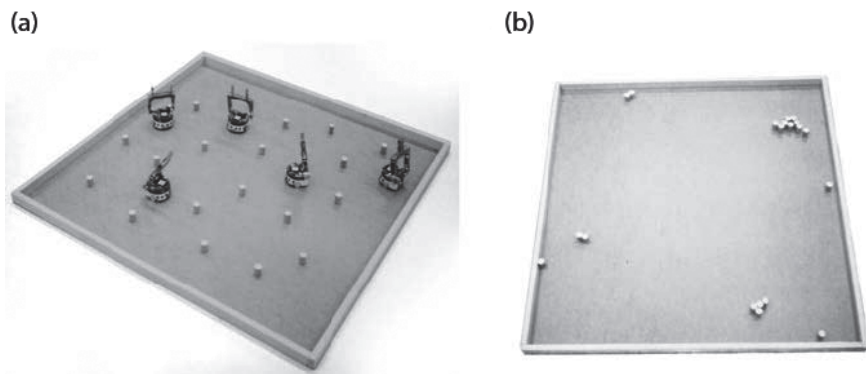
Rysunek 14.17. Linia wyróżnika obliczona za pomocą wag perceptronu



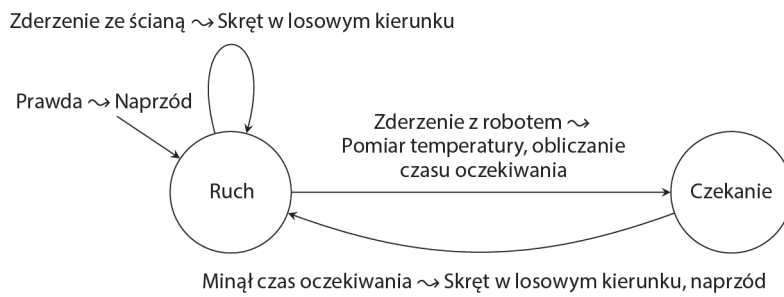
Rysunek 14.18. Ewolucja wag używanych w uczeniu przy zastosowaniu perceptronów (zmienny współczynnik uczenia)



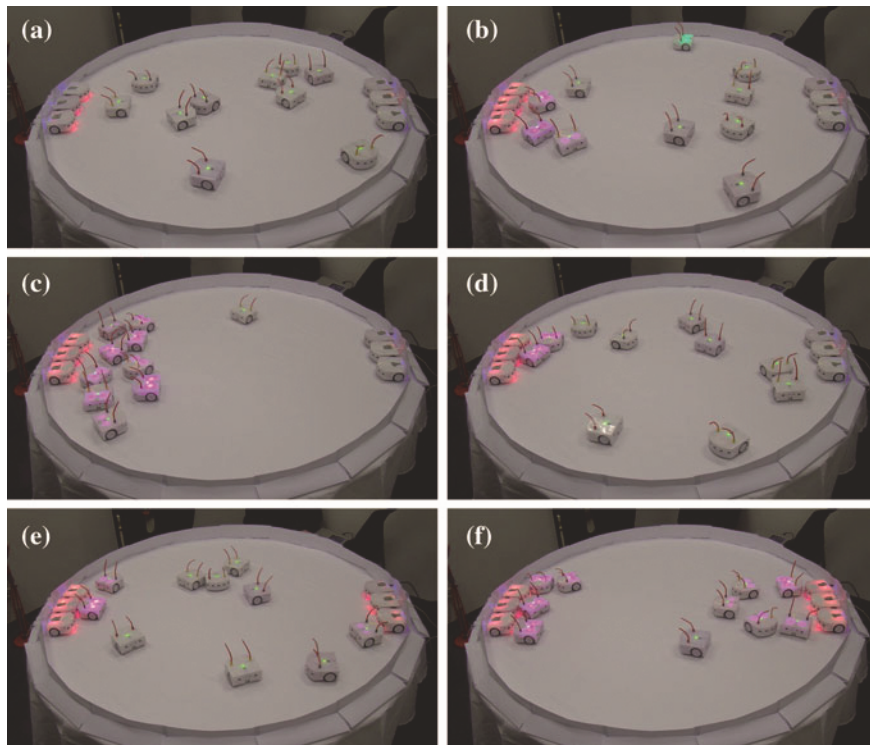
Rysunek 15.1. Robot Karel zaimplementowany w języku Scratch; zielone kropki są brzęczykami



Rysunek 15.2. (a) Roboty z chwytakami umieszczone w środowisku wypełnionym drobnymi obiektami. (b) Obiekty pozierane w grupy

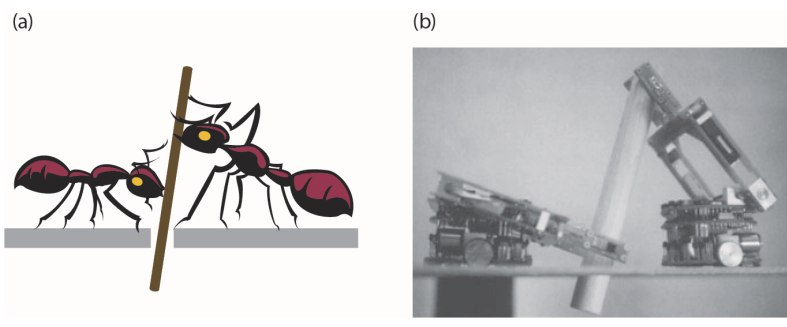


Rysunek 15.3. Algorytm BeeClust

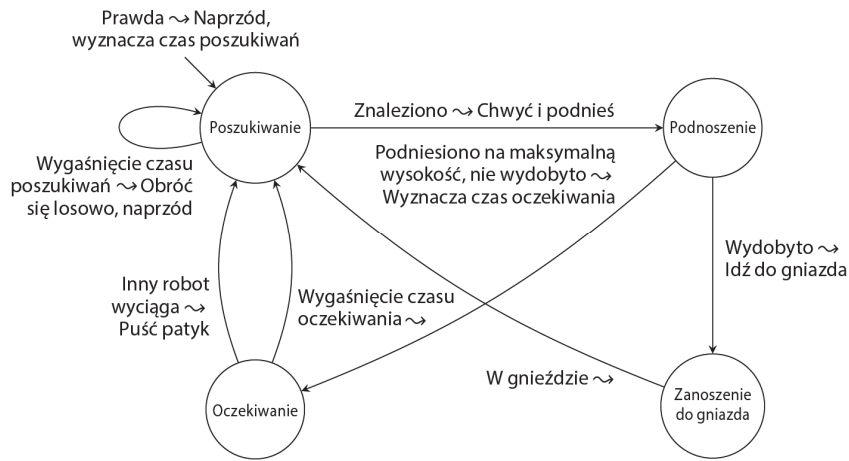


Rysunek 15.4. Implementacja algorytmu BeeClust.

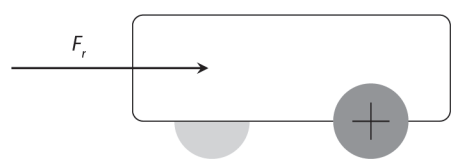
Zdjęcia zostały wykonane po upływie następującego czasu (min:s) od początku eksperymentu:
 (a) 1:40, (b) 2:30, (c) 9:40, (d) 12:40, (e) 13:20, (f) 21:10



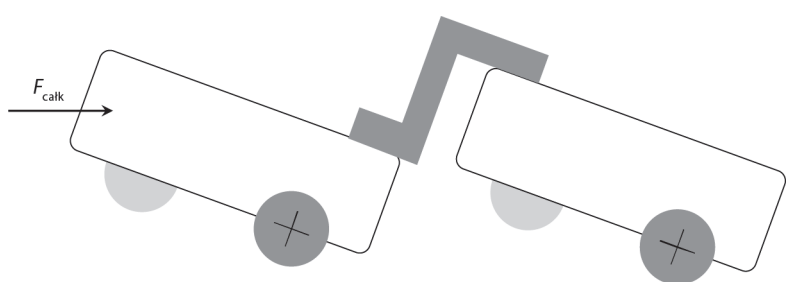
Rysunek 15.5. (a) Mrówki wyciągające patyk z ziemi. (b) Roboty wyciągające patyk z ziemi



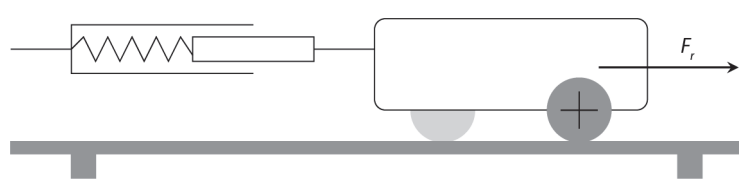
Rysunek 15.6. Algorytm rozproszonego wydobywania patyka



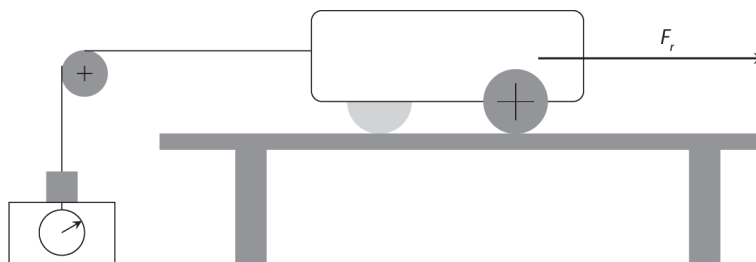
Rysunek 15.7. Jeden robot ciągnący jakiś obiekt z siłą F_r



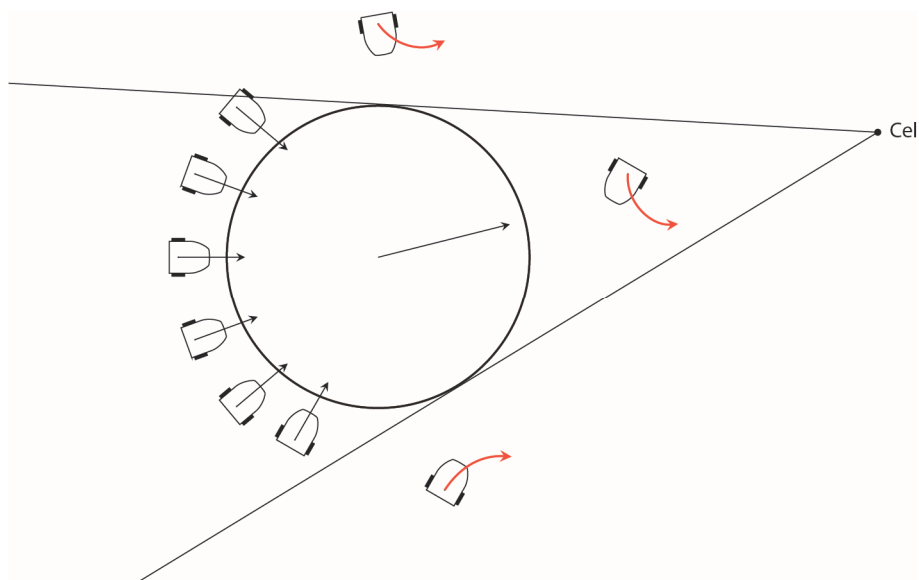
Rysunek 15.8. Dwa połączone roboty ciągnące jakiś obiekt z daną siłą F_{calk}



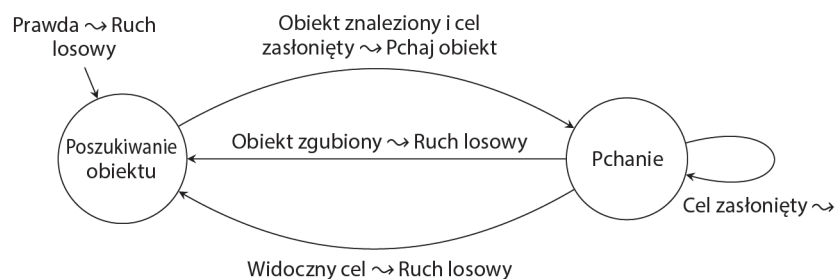
Rysunek 15.9. Pomiar siły za pomocą dynamometru



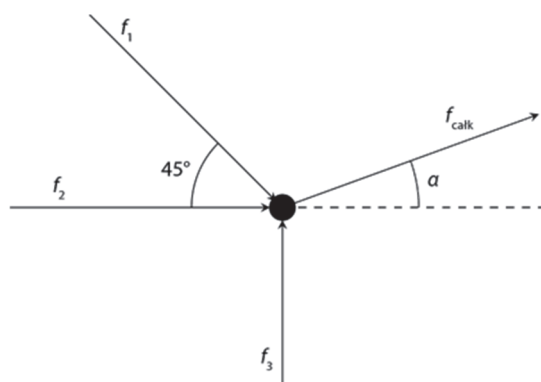
Rysunek 15.10. Pomiar siły za pomocą odważników i szalki



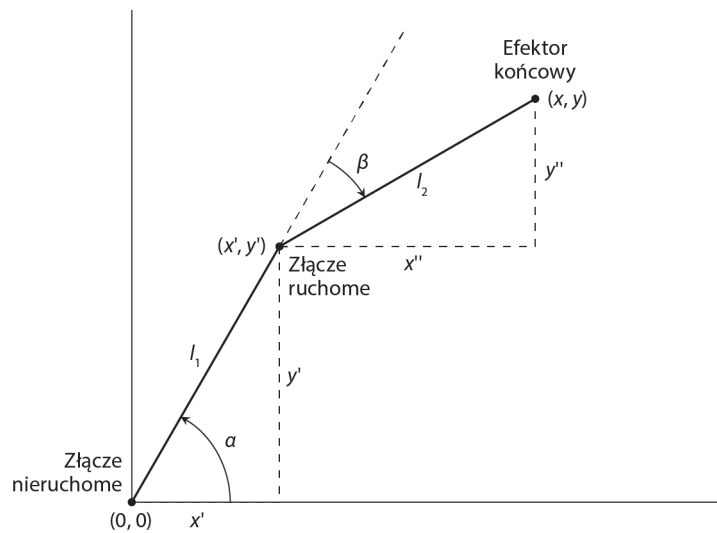
Rysunek 15.11. Koordynacja z użyciem okluzji; czarnymi prostymi strzałkami zaznaczone są roboty przesuwające obiekt, a czerwonymi zakrzywionymi strzałkami roboty poszukujące pozycji, w której cel będzie zasłonięty



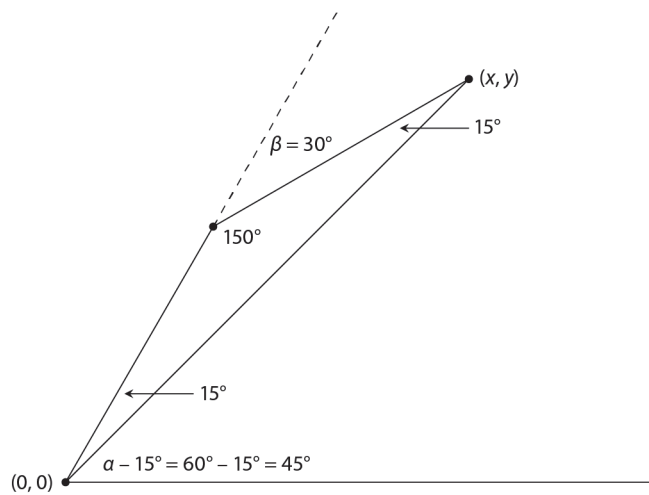
Rysunek 15.12. Algorytm koordynacji z użyciem okluzji



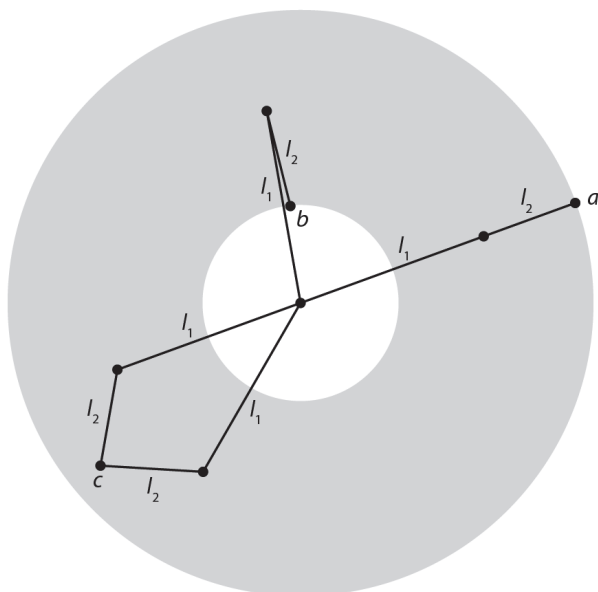
Rysunek 15.13. Siła całkowita wywierana przez trzy roboty



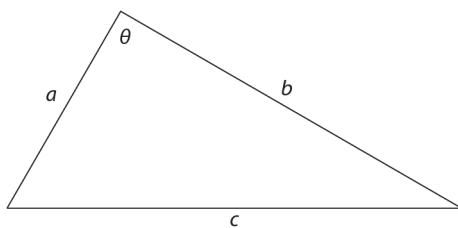
Rysunek 16.1. Kinematyka prosta ramienia dwuczłonowego



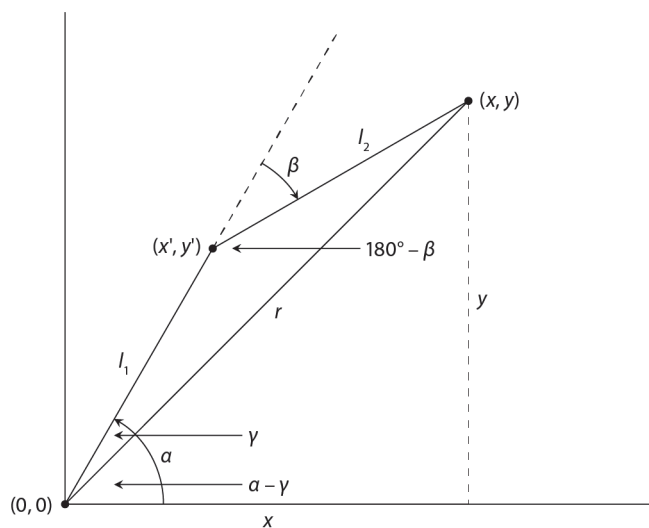
Rysunek 16.2. Obliczanie kątów



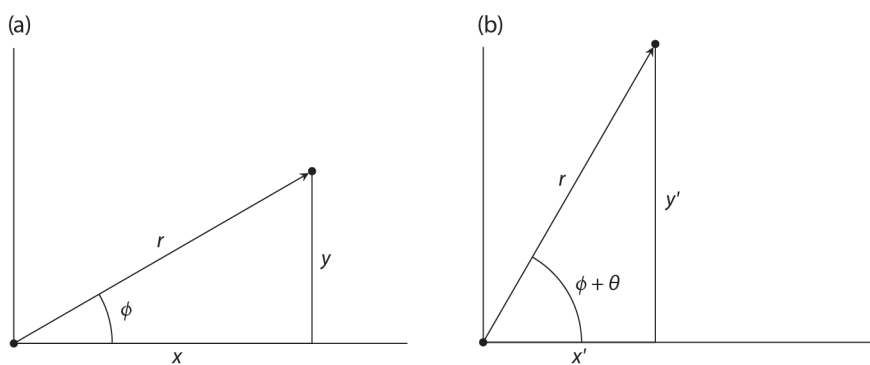
Rysunek 16.3. Przestrzeń robocza ramienia dwuczłonowego



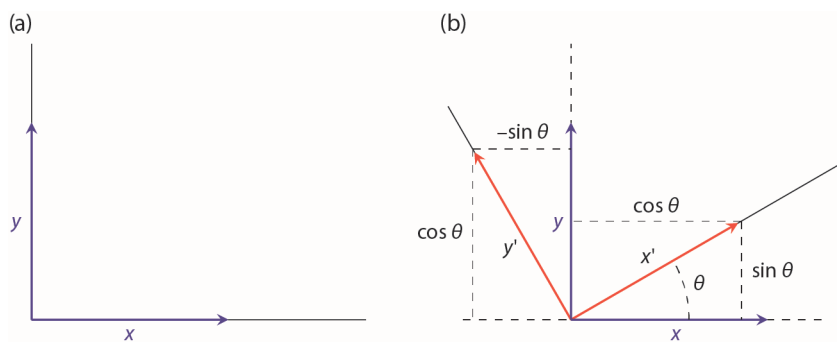
Rysunek 16.4. Twierdzenie cosinusów



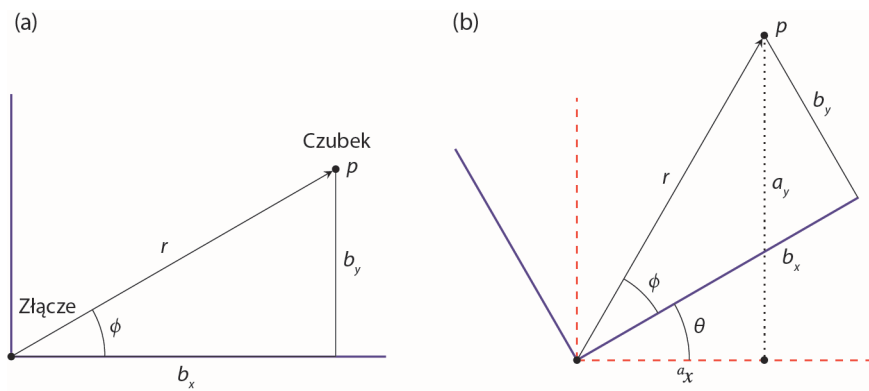
Rysunek 16.5. Kinematyka odwrotna ramienia dwuczłonowego



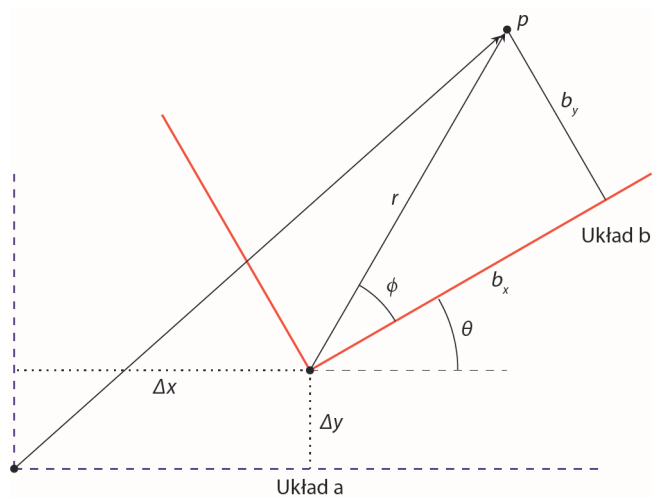
Rysunek 16.6. (a) Wektor. (b) Wektor obrócony o kąt θ



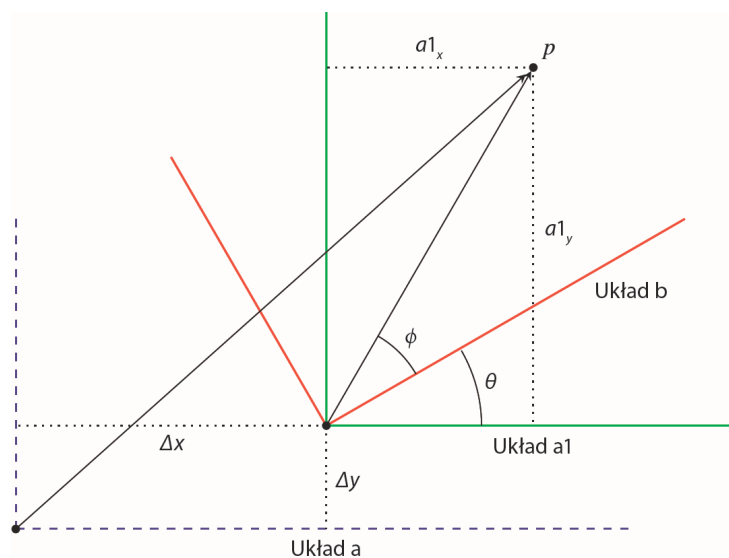
Rysunek 16.7. (a) Pierwotny układ współrzędnych (niebieski). (b) Nowy układ współrzędnych (czerwony) otrzymany poprzez obrócenie pierwotnego układu współrzędnych (niebieskiego) o kąt θ



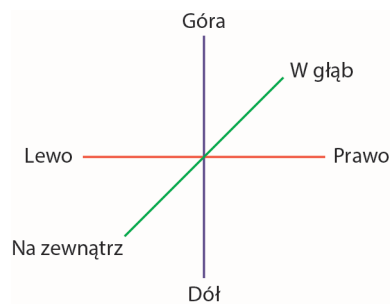
Rysunek 16.8. (a) Punkt p na czubku efektora końcowego w układzie współrzędnych b (niebieski). (b) Punkt p w układach współrzędnych a (czerwony) i b (niebieski)



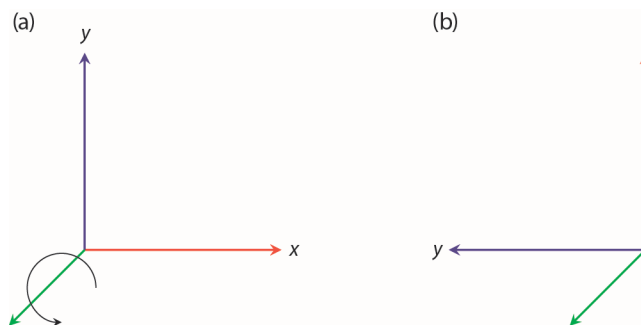
Rysunek 16.9. Układ współrzędnych b jest obrócony i przesunięty względem układu współrzędnych a



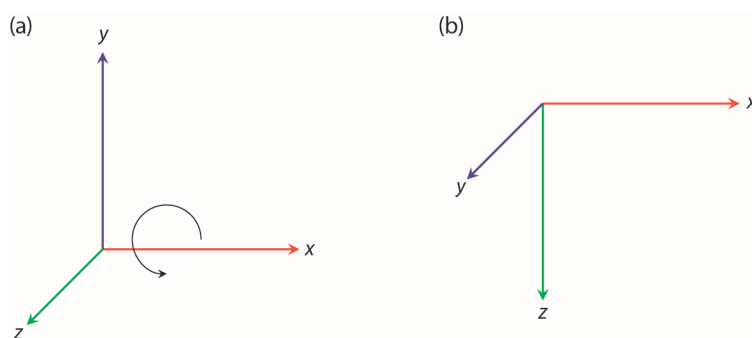
Rysunek 16.10. Układ współrzędnych b zostaje obrócony tak samo jak układ a_1 , a następnie przesunięty tak samo jak układ a



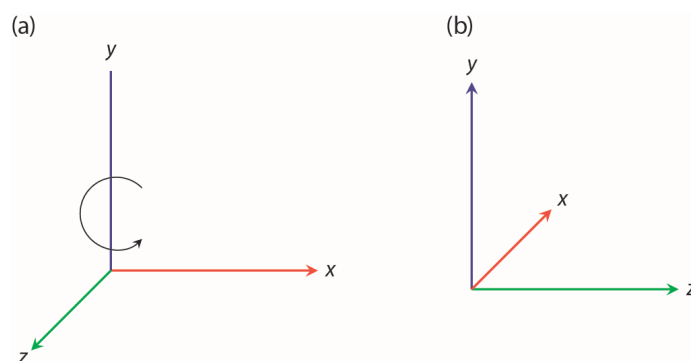
Rysunek 16.11. Trójwymiarowy układ współrzędnych



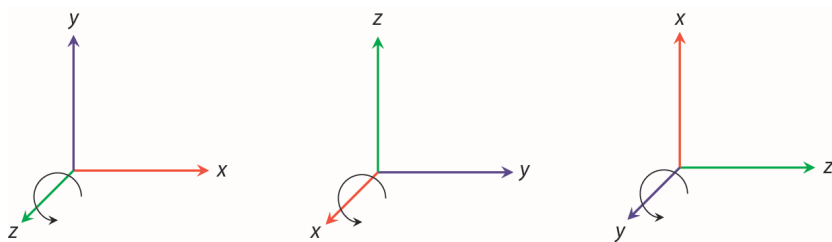
Rysunek 16.12. (a) Układ współrzędnych x-y-z.
(b) Układ współrzędnych x-y-z po obrocie o 90° wokół osi z



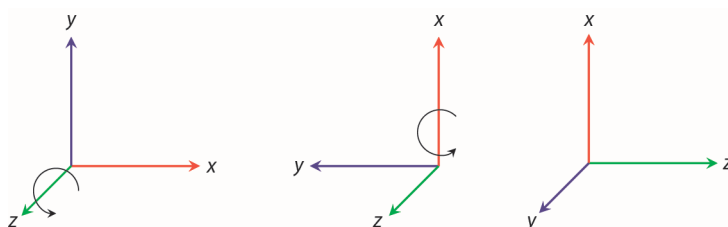
Rysunek 16.13. (a) Układ współrzędnych x-y-z.
(b) Układ współrzędnych x-y-z po obrocie o 90° wokół osi x



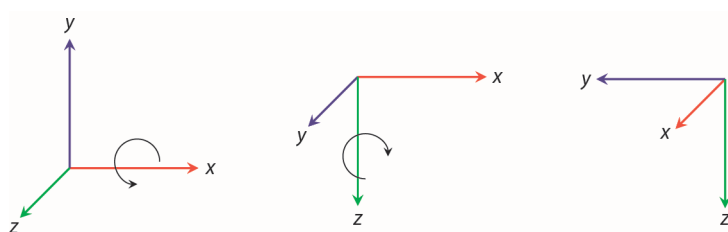
Rysunek 16.14. (a) Układ współrzędnych x-y-z.
(b) Układ współrzędnych x-y-z po obrocie o 90° wokół osi y



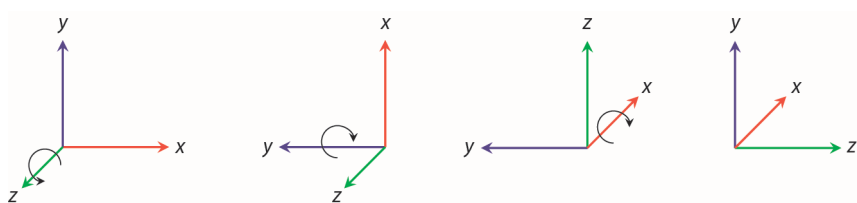
Rysunek 16.15. Reguła prawej dłoni



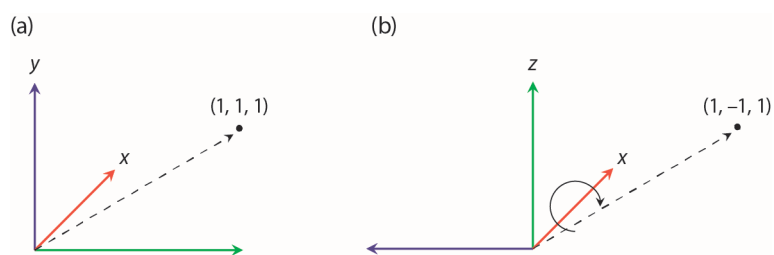
Rysunek 16.16. Obrót wokół osi z, po którym następuje rotacja wokół osi x



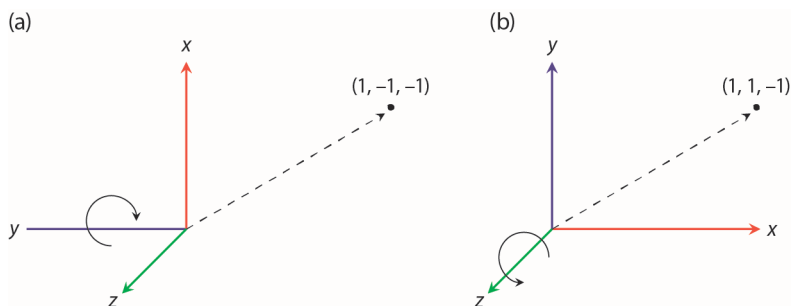
Rysunek 16.17. Obrót wokół osi x, po którym następuje rotacja wokół osi z



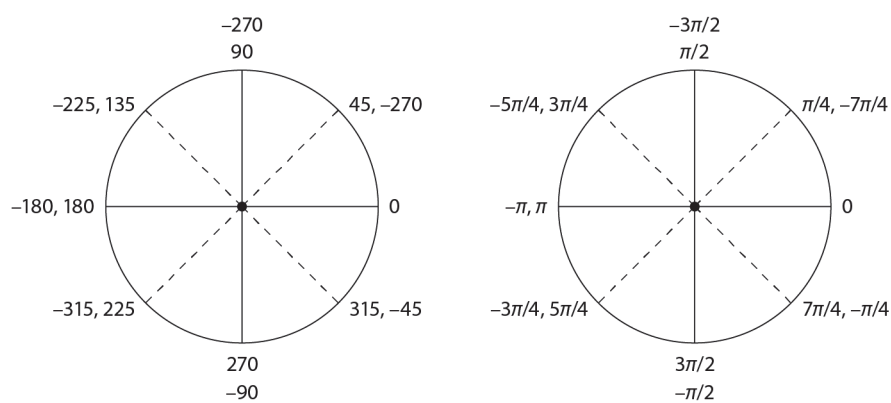
Rysunek 16.18. Kąty Eulera ($90^\circ, 90^\circ, 90^\circ$) w układzie zyx



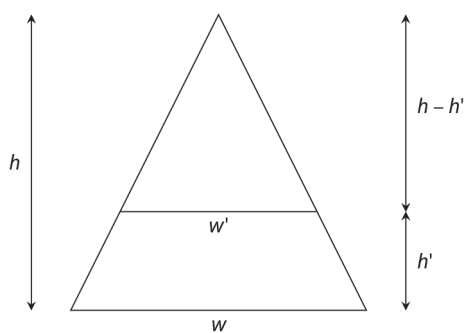
Rysunek 16.19. (a) Wektor po ostatniej rotacji. (b) Wektor przed obrotem wokół osi x



Rysunek 16.20. (a) Wektor przed obrotem wokół osi y .
 (b) Wektor w stałym układzie współrzędnych przed obrotem wokół osi z



Rysunek A.1. Kąty w stopniach (po lewej) i radianach (po prawej)



Rysunek B.1. Trapez tworzący podstawę trójkąta