



# Algorytmy robotyki mobilnej Budowanie map

Janusz Jakubiak

Katedra Cybernetyki i Robotyki

2020/2021



## Informacja o prawach autorskich

Prezentacja jest materiałem pomocniczym do kursu Algorytmy robotyki mobilnej. Zawarte w niej informacje, zdjęcia, wykresy i inne są chronione prawami autorskimi autorów lub wydawców. Materiały te są prezentowane w celach edukacyjnych związanych z ww. kursem. Inne ich wykorzystanie w całości lub części wymaga uzyskania zgody właścicieli praw autorskich.

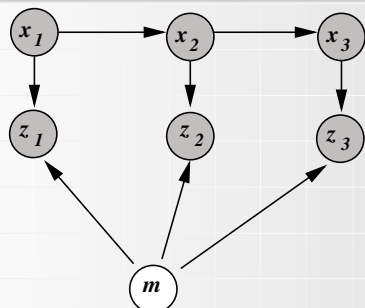
Niniejsza prezentacja zawiera materiały z książki Probabilistic Robotics (S. Thurn et al. ) oraz Autonomous mobile robots (R. Siegwart et al.)



## Budowanie map

### Definicja zadania

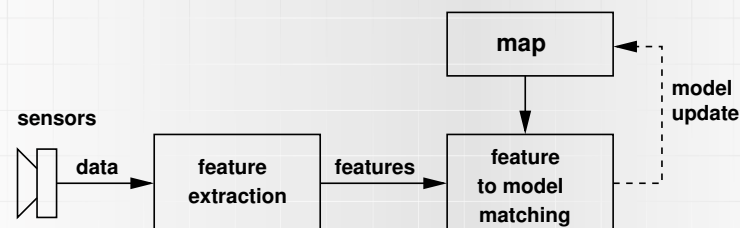
Na podstawie **znanego** ciągu konfiguracji robota (*trajektorii*) oraz odczytów z sensorów (*obserwacji*) w tych konfiguracjach - wyznaczyć położenie przeszkód i obszarów wolnych w otoczeniu robota (mapę w **wybranej reprezentacji**).



- ▶  $m$  - mapa
- ▶  $x_i$  - pozycja robota w chwili  $i$
- ▶  $z_i$  - obserwacja w chwili  $i$



## Budowanie mapy - schemat



Etapy budowania mapy [Crowley 1989]

1. Utworzenie opisu wyższego poziomu na podstawie bieżących obserwacji i modeli czujników
2. Dopasowanie cech wykrytych przez czujniki do aktualnego opisu środowiska (bieżącej mapy)
3. Aktualizacja mapy (modyfikacja prawdopodobieństw wykrytych obiektów)

## Mapy – cechy i czujniki

### Najczęściej wykorzystywane cechy

- ▶ linie i odcinki
- ▶ narożniki
- ▶ znaczniki

Wykryte cechy (nawet w środowisku statycznym) muszą być śledzone w kolejnych iteracjach (weryfikacja poprawności i w miarę potrzeby – korekta mapy)

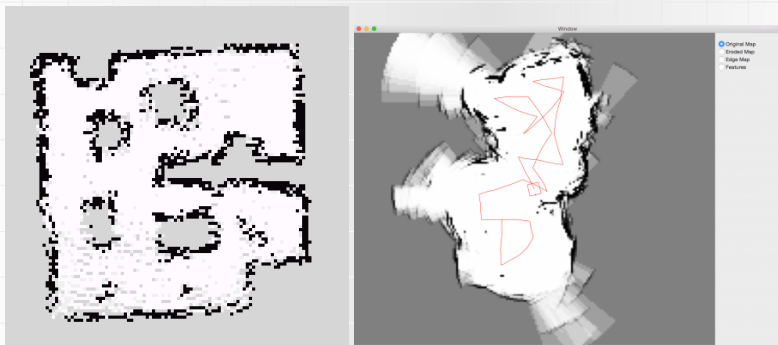
### Czujniki

Do budowania map wykorzystuje się zwykle:

- ▶ dane z samolokalizacji robota (odometria i inne)
- ▶ skanery laserowe
- ▶ sonary
- ▶ kamery mono i stereowizyjne
- ▶ kamery TOF, czujniki głębi

5

## Rastrowe mapy metryczne



<sup>o</sup><http://emergent.brynmawr.edu/eprg/?page=PyroModuleMapping>  
<http://letsmakerobots.com/robot/project/mapping-rover-the-classic-rover-5-with-improved-3d-printed-axis-adaptors>

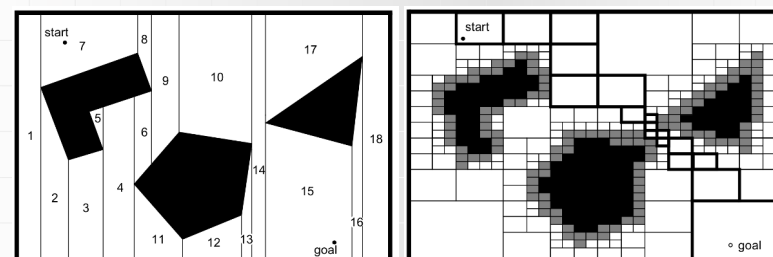
7

## Klasyfikacja map

- ▶ Zmienność
  - ▶ Statyczne
  - ▶ Dynamiczne
- ▶ Reprezentacja
  - ▶ Metryczne
    - ▶ Rastrowe
    - ▶ Wektorowe
  - ▶ Topologiczne
  - ▶ Hybrydowe

6

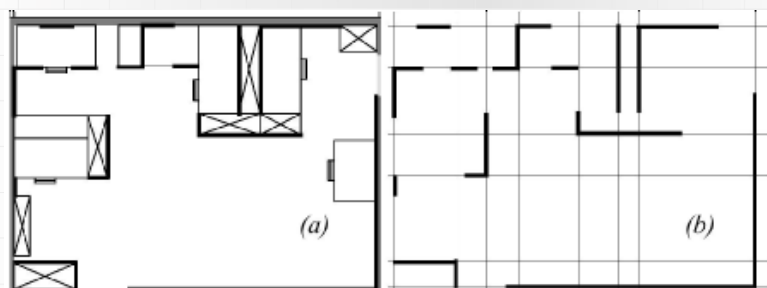
## Mapy metryczne



<sup>o</sup>Siegwart et al. Introduction to autonomous mobile robots

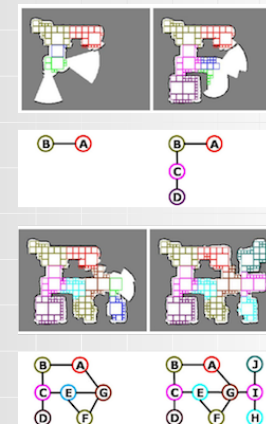
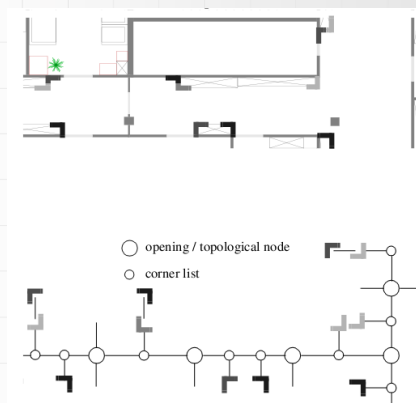
8

## Wektorowe mapy metryczne



°Siegwart et al. Introduction to autonomous mobile robots

## Mapy topologiczne



°Tomatis et al. Combining topological and metric: a natural integration for SLAM,  
<http://www.autonomousrobotsblog.com/tag/mapping/>

## Porównanie map metrycznych i topologicznych

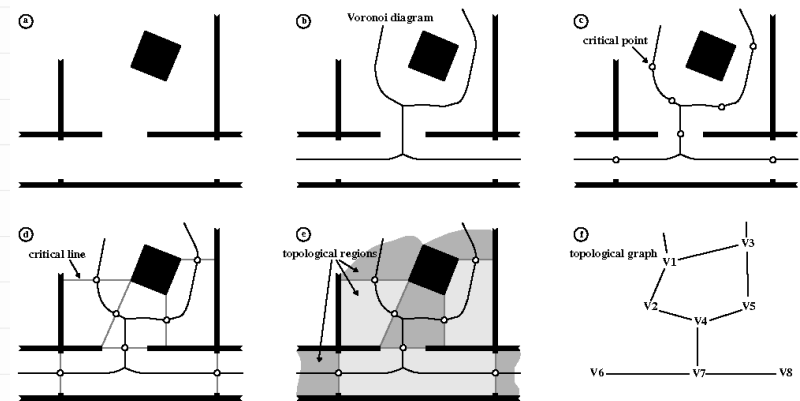
### Przewagi map metrycznych

- ▶ łatwość budowania, reprezentacji, aktualizacji
- ▶ dopasowanie danych z czujników niezależne od położenia robota
- ▶ możliwa optymalizacja ścieżek

### Przewagi map topologicznych

- ▶ złożoność zależy od rodzaju obszaru, a nie jego rozmiaru
- ▶ duża dokładność lokalizacji robota nie jest potrzebna
- ▶ łatwiejsze przetwarzanie wysokiego poziomu

## Przykład przekształcenia mapy metrycznej w topologiczną



°Thrun. Learning maps for indoor mobile robot navigation

## Budowanie map – wybór reprezentacji

- ▶ Dokładność mapy musi odpowiadać dokładności, z jaką robot ma realizować zadanie
- ▶ Dokładność mapy i rodzaj cech musi odpowiadać dokładności i typowi danych zwracanych przez czujniki robota
- ▶ Złożoność reprezentacji mapy bezpośrednio wpływa na złożoność obliczeniową wnioskowania na jej podstawie, lokalizacji i nawigacji

13

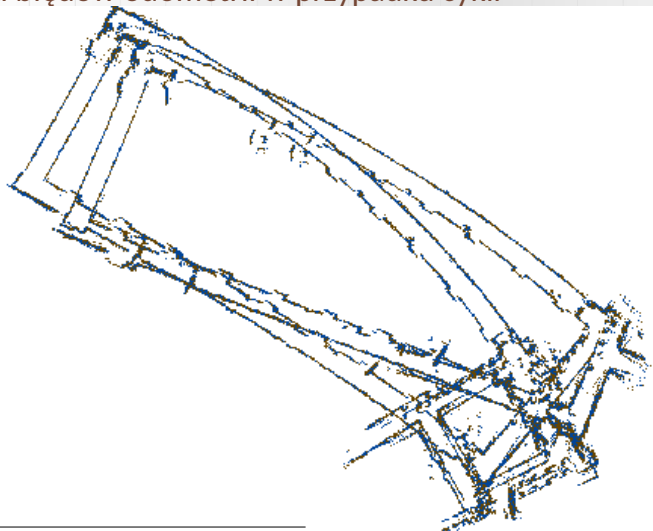
## Budowanie map – złożoność

Główne czynniki wpływające na złożoność:

- ▶ rozmiar środowiska względem zasięgu czujników
- ▶ zakłócenia obserwacji i lokalizacji robota
- ▶ niejednoznaczność percepcji (dopasowanie wielu hipotez)
- ▶ zamknięte cykle (przy lokalizacji przyrostowej)

14

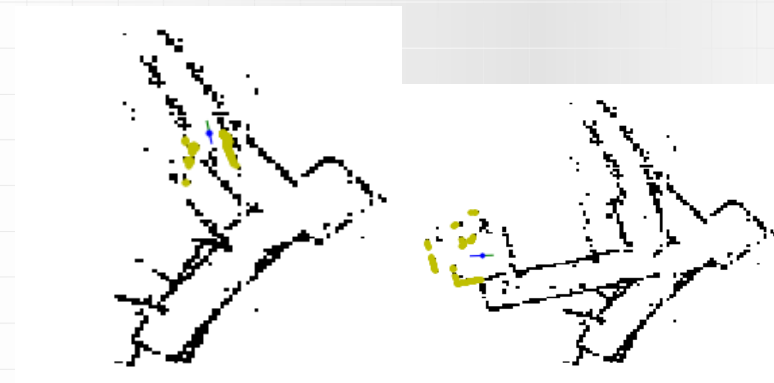
## Skutki błędów odometrii w przypadku cykli



15

°Thrun. Integrating topological and metric maps...

## Skutki błędów odometrii w przypadku cykli



16

°Przykład mapy korytarza w bud. C-16 (Smorąg, Śliwa)

## Ograniczenia praktyczne

- ▶ dostępny typ pomiarów
- ▶ zasięg czujników
- ▶ błędy pomiarów
- ▶ niejednoznaczność interpretacji
- ▶ błędy lokalizacji
- ▶ dynamika środowiska
- ▶ konieczność przetwarzania w czasie rzeczywistym

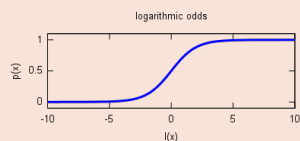
## Siatka zajętości – reprezentacja wartości komórki

1. prawdopodobieństwo  $p(x) \in [0, 1]$
2. logarytmiczna  $l(x) \in (-\infty, +\infty)$

$$l(x) = \log \frac{p(x)}{p(\neg x)} = \log \frac{p(x)}{1 - p(x)}$$

z prawdopodobieństwem wyliczonym następnie według

$$p(x) = 1 - \frac{1}{1 + \exp\{l(x)\}}$$



3. trafienia/liczba pomiarów  $(h(x), f(x))$

## Siatka zajętości

Poszukiwanie (statycznej) mapy maksymalizującej prawdopodobieństwo

$$p(m|z_{1:t}, x_{1:t}).$$

Mapa podzielona jest na obszary (komórki)  $m = \{m_i\}$ , z których każda opisana jest prawdopodobieństwem zajętości (1 – zajęta, 0 – wolna).

Problem skali:

Siatka o wymiarze 100x100 ma  $10^4$  komórek, czyli liczba możliwych map wynosi:  $2^{10000}$ .

Standardowe rozwiązanie:

Zakładamy niezależność prawdopodobieństw w komórkach i analizujemy każdą komórkę oddzielnie

$$p(m|z_{1:t}, x_{1:t}) \simeq \prod_i p(m_i|z_{1:t}, x_{1:t})$$

Komórka jest następnie aktualizowana z użyciem binarnego filtru Bayesa

## Przykład algorytmu, reprezentacja logarytmiczna

$$l_0 = \log \frac{p(m_i=1)}{p(m_i=0)} = \log \frac{p(m_i)}{1-p(m_i)}$$

foreach  $m_i$  do

if  $m_i$  in perception\_field( $z_t$ )

$$l_{t,i} = l_{t-1,i} + \text{inverse\_sensor\_model}(m_i, x_t, z_t) - l_0$$

else

$$l_{t,i} = l_{t-1,i}$$

endif

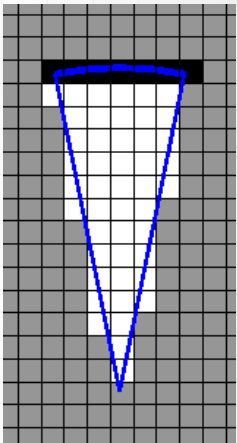
endfor

$$p(m_i|z_{1:t}, x_{1:t}) = 1 - \frac{1}{1 + \exp\{l_{t,i}\}}$$

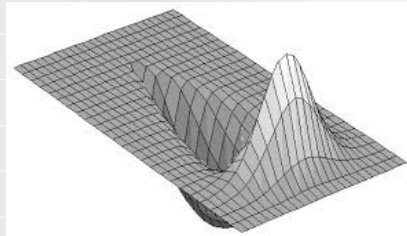
$$\text{inverse\_sensor\_model}(m_i, x_t, z_t) = \log \frac{p(m_i|z_t, x_t)}{1 - p(m_i|z_t, x_t)}$$

## Model czujnika dla sonaru

Wersja uproszczona



Pełna wersja:



## Pytania kontrolne

1. Czym jest zadanie budowania mapy?
2. Z jakich etapów składa się proces budowania mapy?
3. W jaki sposób klasyfikuje się mapy? (rodzaje map)
4. Kluczowe aspekty budowania map?
5. Jak buduje się siatkę zajętości?

## Siatka zajętości i fuzja sensorów

### Pytanie

Jak utworzyć mapę korzystając jednocześnie z różnych czujników?

1. (proste) Uruchamiać algorytm kolejno dla danych z poszczególnych czujników.  
Problem: Jeśli któryś czujnik nie wykrywa przeszkód pewnego typu, mapa może być niestabilna
2. (typowe) Tworzyć oddzielne mapy na podstawie każdego typu czujników, kiedy potrzebna jest informacja z mapy – łączyć dane z tych map wybraną metodą, np. przy założeniu niezależności pomiarów

$$p(m_i) = 1 - \prod_k (1 - p(m_i^k)),$$

lub z hipotezą pesymistyczną

$$p(m_i) = \max_k p(m_i^k).$$