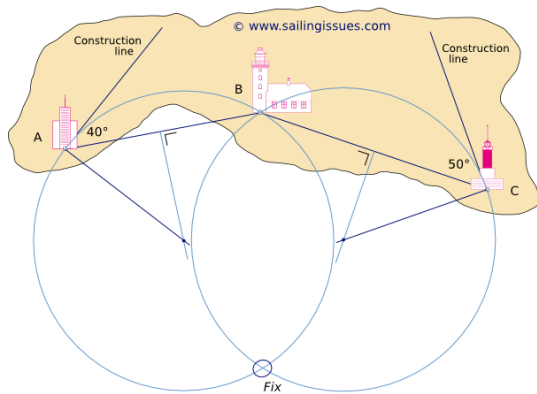


# Nawigacja według znaczników

Borenstein, Everett, Feng, "Where am I?..." rozdz. 5

# Podział znaczników, historia

- ▶ naturalne, sztuczne
- ▶ aktywne, pasywne



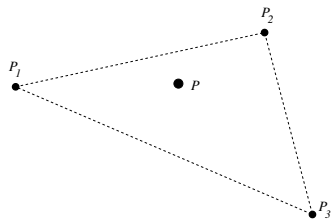
- ▶ trilateracja – wyznaczanie pozycji na podstawie pomiaru odległości do trzech znaczników
- ▶ triangulacja – wyznaczanie pozycji na podstawie pomiaru kątów, pod którymi znajdują się znaczniki

- ▶ trilateracja – wyznaczanie pozycji na podstawie pomiaru odległości do trzech znaczników
- ▶ triangulacja – wyznaczanie pozycji na podstawie pomiaru kątów, pod którymi znajdują się znaczniki

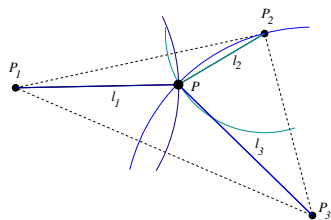
## Własności

- ▶ są najskuteczniejsze, gdy robot znajduje się wewnątrz trójkąta utworzonego przez znaczniki
- ▶ kąty widzenia znaczników powinny wynosić przynajmniej  $\pi/4$
- ▶ dokładność metod wzrasta wraz ze wzrostem kątów pomiędzy znacznikami

# Trilateracja



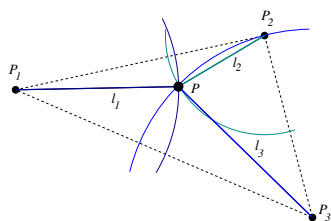
# Trilateracja



$$l_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2$$

$$l_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2$$

$$l_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2$$



$$l_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2$$

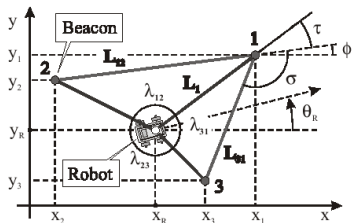
$$l_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2$$

$$l_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2$$

## Metody rozwiązania

- ▶ jako układ 3 równań kwadratowych
- ▶ jako układ 1 równania kwadratowego i 2 liniowych
- ▶ we współrzędnych barycentrycznych (wyznaczniki Cayley'a-Mengera)

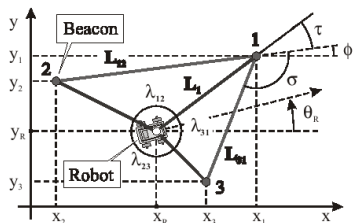
# Uogólniona metoda triangulacji<sup>1</sup>



<sup>1</sup>J. Sena Estevez, A. Carvalho, C. Couto. Generalized geometric triangulation algorithm for mobile robot absolute self-localization.



# Uogólniona metoda triangulacji<sup>1</sup>

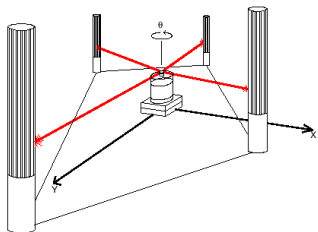


## Geometric Triangulation Algorithm

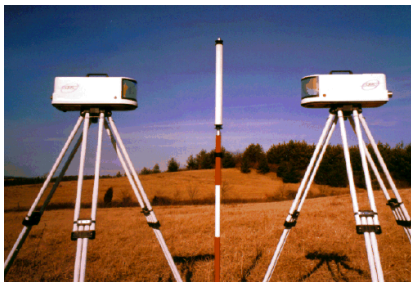
1. Properly order beacons.
2. Let  $\lambda_{31} = 360^\circ + (\lambda_1 - \lambda_3)$
3. Let  $\lambda_{12} = \lambda_2 - \lambda_1$
4. Let  $\phi$  be the angle between the positive x-axis and the line formed by the points of beacons 1 and 2.
5. Let  $\sigma$  be the angle between the positive x-axis and beacons 1 and 3, plus  $\phi$ .
6. Let  $\gamma = \sigma - \lambda_{31}$
7. Let  $p = \frac{L_{31} \cdot \sin \lambda_{12}}{L_{12} \cdot \sin \lambda_{31}}$
8. Let  $\tau = \tan^{-1} \left[ \frac{\sin \lambda_{12} - p \cdot \sin \gamma}{p \cdot \cos \gamma - \cos \lambda_{12}} \right]$
9. Let  $L_1 = \frac{L_{12} \cdot \sin(\tau + \lambda_{12})}{\sin \lambda_{12}}$
10.  $x_R = x_1 - L_1 \cdot \cos(\phi + \tau)$
11.  $y_R = y_1 - L_1 \cdot \sin(\phi + \tau)$
12.  $\theta_R = \phi + \tau - \lambda_1$

<sup>1</sup>J. Sena Estevez, A. Carvalho, C. Couto. Generalized geometric triangulation algorithm for mobile robot absolute self-localization.

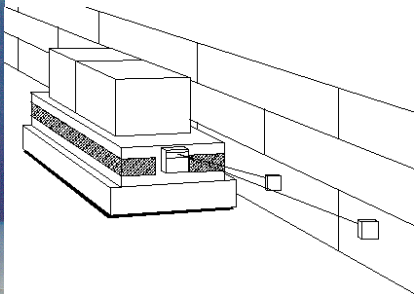
- ▶ ruchomy odbiornik, aktywne stałe nadajniki
- ▶ ruchomy nadajnik/odbiornik , aktywne stałe nadajniki
- ▶ ruchomy nadajnik/odbiornik , stałe odbiorniki
- ▶ ruchomy nadajnik/odbiornik , stałe lustra (systemy optyczne)



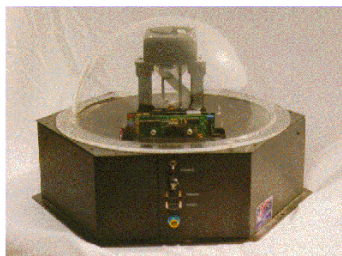
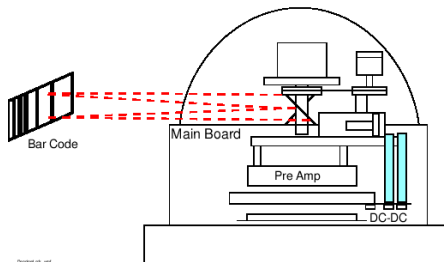
Beacon Navigation System (TRC)  
(SPSi)



Odyssey



LASERNET (Namco Controls) – zasięg 15m



LaserNav (Denning Branch International Robotics) – zasięg 180m,  
32 znaczniki

# Podsumowanie metody aktywnych znaczników

- ▶ Potrzebna jest modyfikacja otoczenia robota
- ▶ Wymagane jest zachowanie widoczności przynajmniej 2 lub 3 znaczników
- ▶ Istnieją rozwiązania komercyjne, charakteryzują się dużą niezawodnością i dokładnością

# Postępowanie w przypadku pasywnych znaczników

1. Zebranie danych sensorycznych
2. Segmentacja obrazu, wykrywanie znaczników
3. Dopasowanie wykrytych znaczników do mapy
4. Obliczenie pozycji

# Podsumowanie metody pasywnych znaczników

- ▶ W porównaniu z metodami aktywnymi, maksymalna odległość do znaczników jest znacznie mniejsza, dokładność spada wraz ze wzrostem odległości od znaczników, wymaga przetwarzania większej ilości danych
- ▶ W przypadku naturalnych znaczników niepotrzebna jest modyfikacja otoczenia robota
- ▶ Sztuczne znaczniki są łatwiej wykrywalne, mogą dostarczać więcej informacji dla robota
- ▶ Wykorzystanie naturalnych znaczników jest uzależnione od oświetlenia, czasem wymagane poszukiwanie znaczników
- ▶ W przypadku powtarzających się znaczników trzeba wyznaczyć przynajmniej przybliżoną pozycję początkową i utrzymywać bazę położeń znaczników