



Techniki lokalizacji

Plan wykładu

1. Punkt wyjścia: **ZASTOSOWANIA** lokalizacji

2. **TECHNIKI** wyznaczania pozycji

3. **ALGORYTMY** lokalizacji bezprzewodowej

4. Nawigacja **SATELITARNA**

Motywacje: location-based services/apps

"over 90% of mobile phone users keep location services on"

© Geomarketing.com

- nawigacja
- social media
- zakupy online
- serwisy dot. pogody, podróży
- i inne: np. randkowe, fitness, zdrowotne...



Ale:

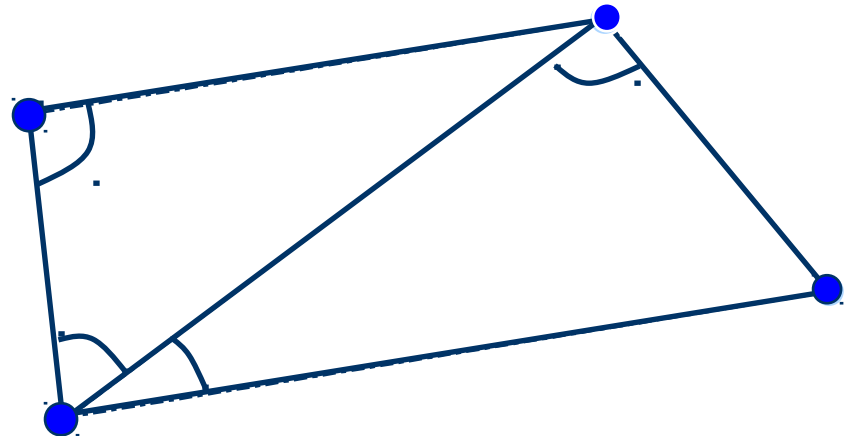
- pomiary geodezyjne
- nawigacja lotnicza i morska
- wyznaczanie pozycji wewnątrz budynków,
w gęstej zabudowie, lesie, pod wodą
- lokalizacja sensorów i mikro-urządzeń

- wymagania > GPS:
- dokładność
 - niezawodność
 - dostępność usługi
 - niskie zużycie energii

Określanie pozycji

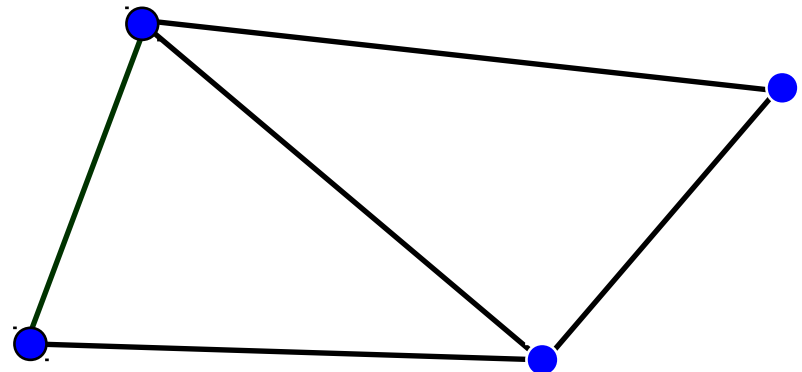
Triangulacja

wyznaczanie współrzędnych punktów na podstawie pomierzonych kątów



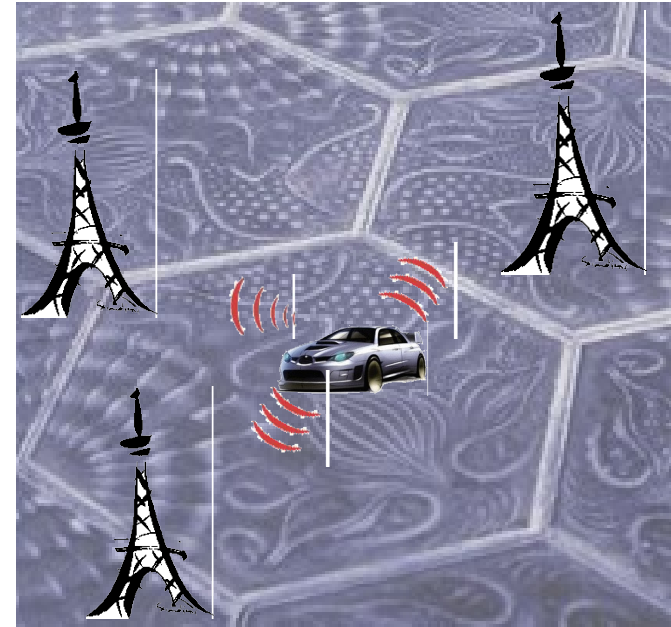
Trilateracja

wyznaczanie współrzędnych punktów na podstawie pomierzonych długości odcinków

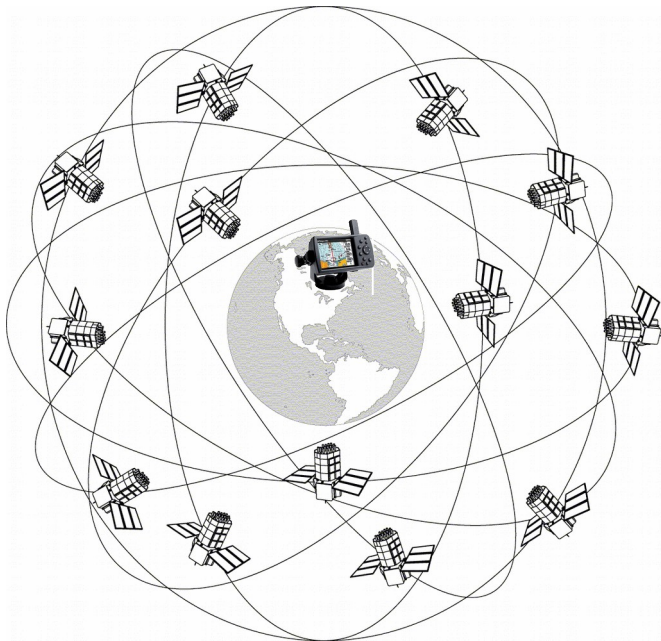


Systemy lokalizacji

←
**Network-based systems
(network-centric positioning):**



**Mobile-based systems
(self-positioning):**



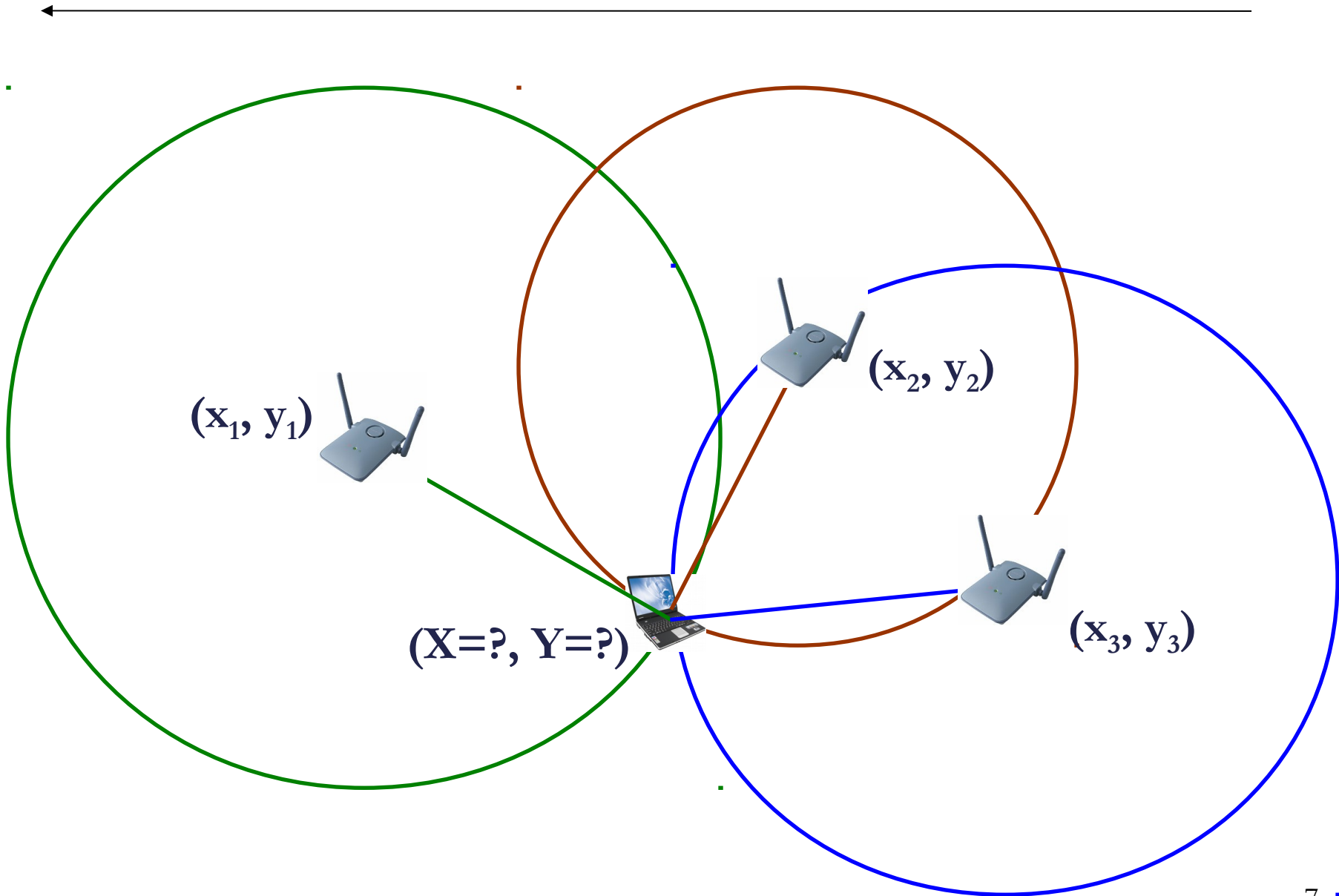
W sieciach komórkowych:

- numer komórki/sektora
- poziom odbieranej mocy
- Timing Advance / Round Trip Time
- różnica czasów odbioru sygnału

Lokalizacja w systemach bezprzewodowych

- Time of Arrival
- Time Difference of Arrival
- Receive Signal Strength
- Fingerprinting
- Angle of Arrival

Time of Arrival




ToA – algorytm najmniejszych kwadratów (1)

$$d_i = c \cdot \text{Time_of_Arrival}_i$$


Zakładając:


$$x_1 = 0, y_1 = 0$$


$$d_1^2 = X^2 + Y^2$$

$$d_2^2 = (X - x_2)^2 + (Y - y_2)^2$$

$$d_3^2 = (X - x_3)^2 + (Y - y_3)^2$$


$$d_2^2 - d_1^2 = x_2^2 - 2 \cdot x_2 \cdot X + y_2^2 - 2 \cdot y_2 \cdot Y$$


$$d_3^2 - d_1^2 = x_3^2 - 2 \cdot x_3 \cdot X + y_3^2 - 2 \cdot y_3 \cdot Y$$

ToA – algorytm najmniejszych kwadratów (2)

$$d_2^2 - d_1^2 = x_2^2 - 2 \cdot x_2 \cdot X + y_2^2 - 2 \cdot y_2 \cdot Y$$

$$d_3^2 - d_1^2 = x_3^2 - 2 \cdot x_3 \cdot X + y_3^2 - 2 \cdot y_3 \cdot Y$$



$$x_2 \cdot X + y_2 \cdot Y = 0.5 \cdot (d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 + y_2^2)$$

$$x_3 \cdot X + y_3 \cdot Y = 0.5 \cdot (d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 + y_3^2)$$



$$\begin{bmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 + y_2^2 \\ d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 + y_3^2 \end{bmatrix}$$

ToA – algorytm najmniejszych kwadratów (3)

$$\begin{bmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 + y_2^2 \\ d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 + y_3^2 \end{bmatrix}$$

Więcej pomiarów ToA?

$$\begin{bmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 + y_2^2 \\ d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 + y_3^2 \\ d_1^2 - d_4^2 + x_4^2 + y_4^2 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

ToA – algorytm najmniejszych kwadratów (4)

$$\begin{bmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 + y_2^2 \\ d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 + y_3^2 \\ d_1^2 - d_4^2 + x_4^2 + y_4^2 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad r = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad b = \frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 + y_2^2 \\ d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 + y_3^2 \\ d_1^2 - d_4^2 + x_4^2 + y_4^2 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$A \cdot r = b$$

$$\hat{r} = (A^T A)^{-1} A^T b$$

Time Difference of Arrival

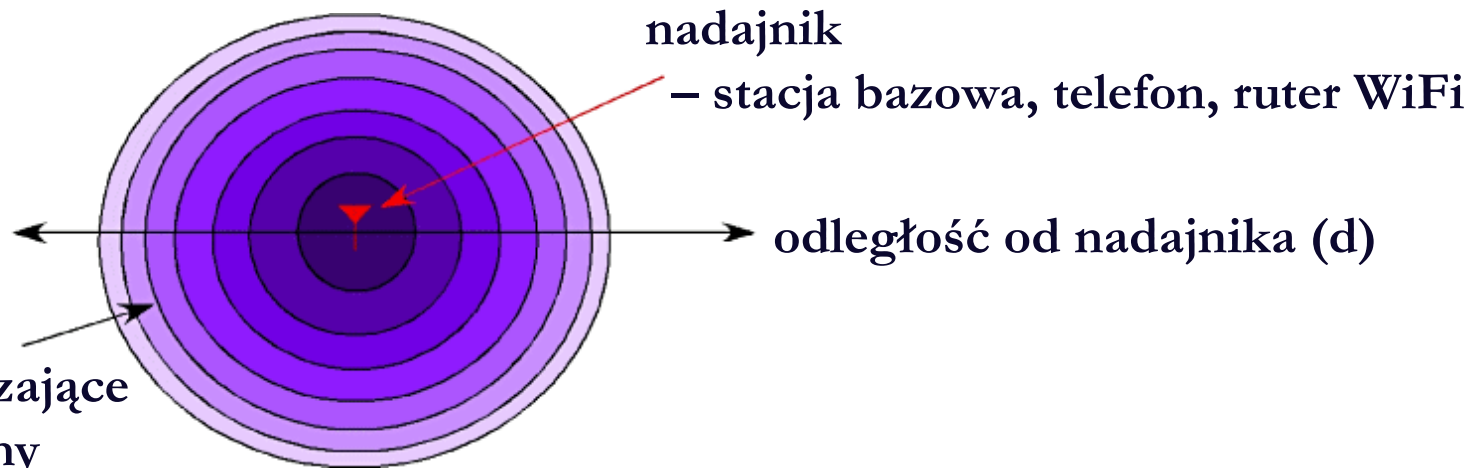
+ eliminacja błędu zegara
stacji nadawczej
przy zsynchronizowanych
stacjach odbiorczych



© www.commscope.com

Receive Signal Strength

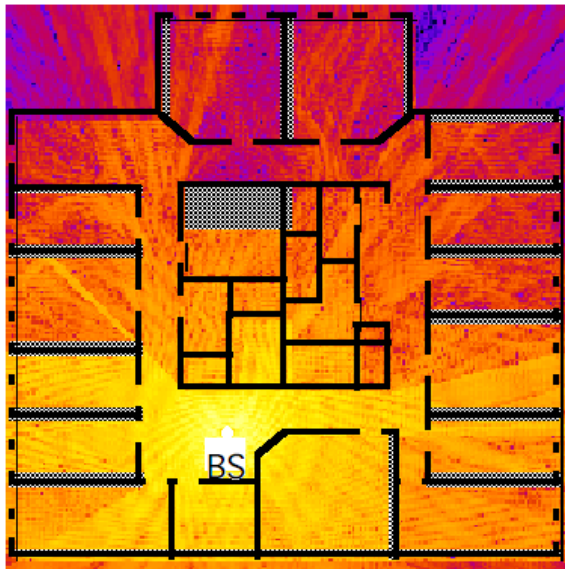
$$\text{Path Loss [dB]} = A + B \cdot \log_{10} d$$



kontury oznaczające
kolejne poziomy
mocy

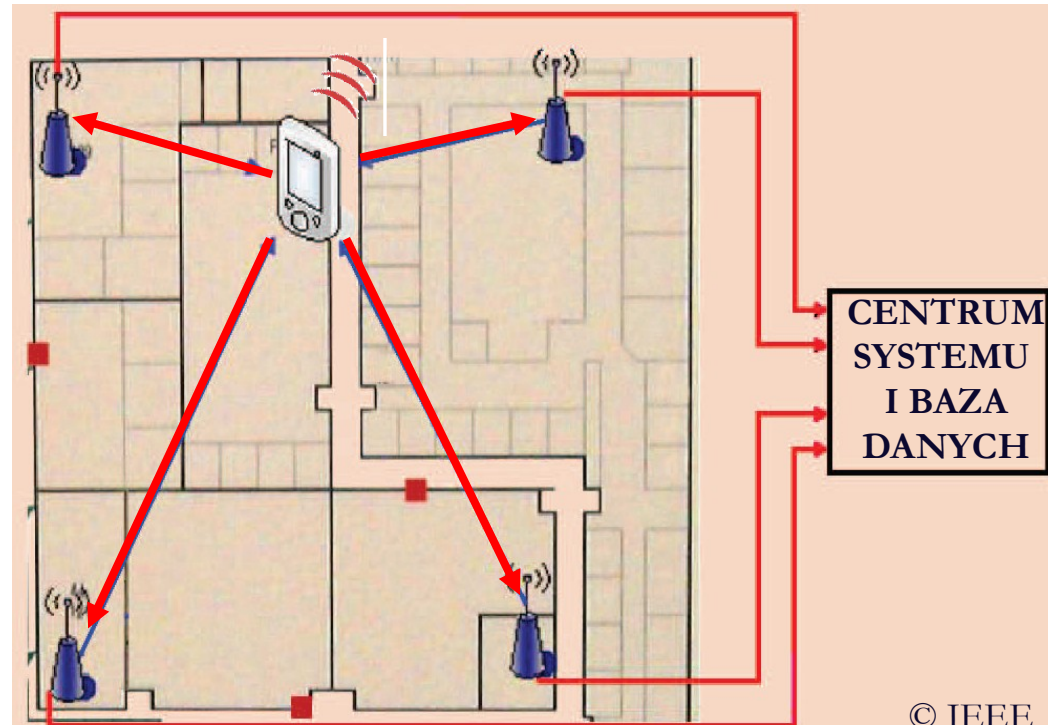
Mapping techniques (fingerprinting)

Sytuacja rzeczywista:



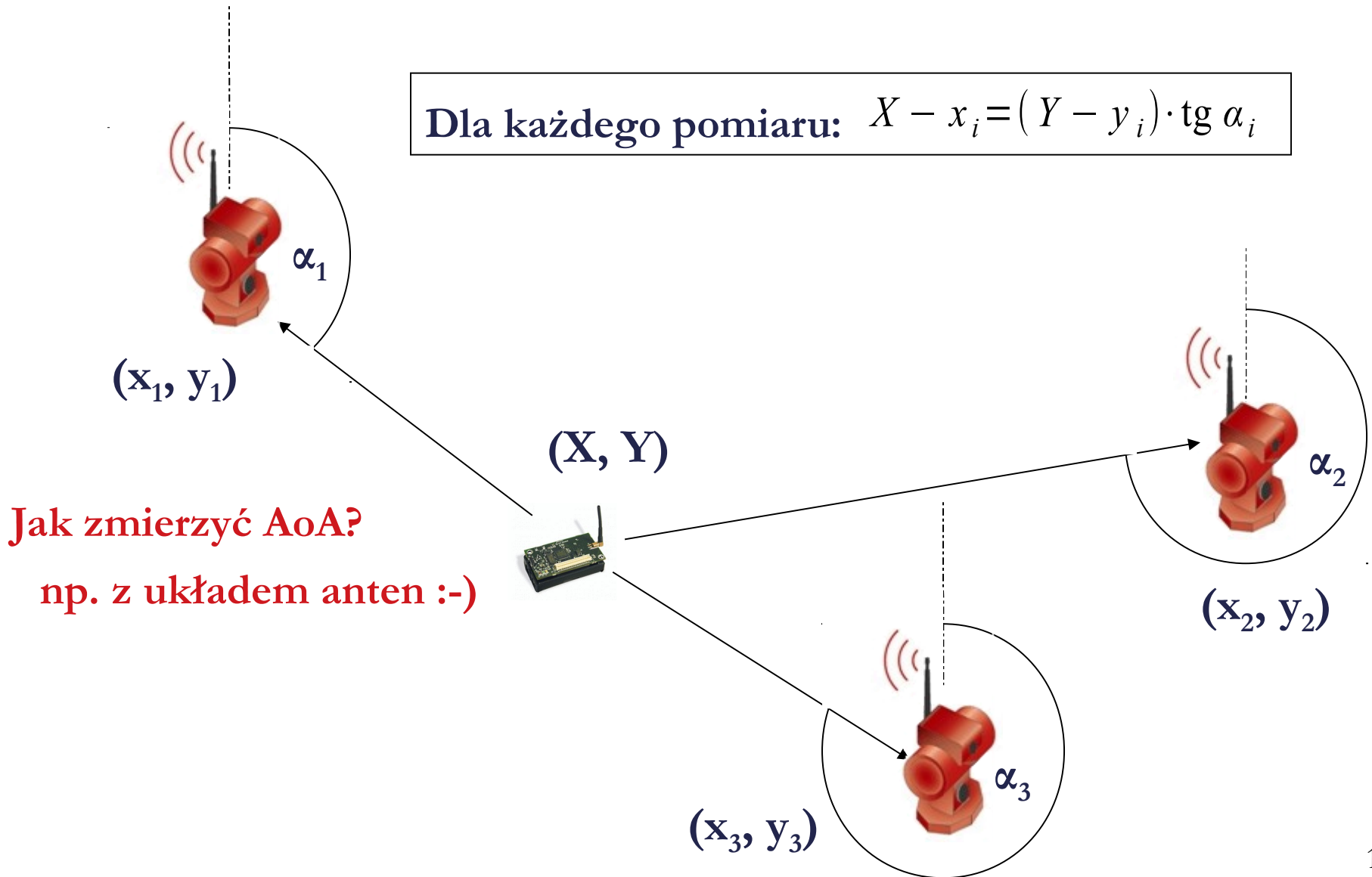
© S. Knorz

Mapy mocy odbieranego sygnału
przygotowane **PRZED** rozpoczęciem
działania sieci:



© IEEE

Angle of Arrival



AoA – algorytm najmniejszych kwadratów (1)

$$X - x_i = (Y - y_i) \cdot \operatorname{tg} \alpha_i$$



$$X - Y \cdot \operatorname{tg} \alpha_i = x_i - y_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i$$



$$\begin{bmatrix} 1 & -\operatorname{tg} \alpha_1 \\ 1 & -\operatorname{tg} \alpha_2 \\ 1 & -\operatorname{tg} \alpha_3 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 - y_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \\ x_2 - y_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \\ x_3 - y_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

AoA – algorytm najmniejszych kwadratów (2)

$$\begin{bmatrix} 1 & -\operatorname{tg} \alpha_1 \\ 1 & -\operatorname{tg} \alpha_2 \\ 1 & -\operatorname{tg} \alpha_3 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 - y_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \\ x_2 - y_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \\ x_3 - y_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -\operatorname{tg} \alpha_1 \\ 1 & -\operatorname{tg} \alpha_2 \\ 1 & -\operatorname{tg} \alpha_3 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad r = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} x_1 - y_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \\ x_2 - y_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \\ x_3 - y_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$A \cdot r = b$$

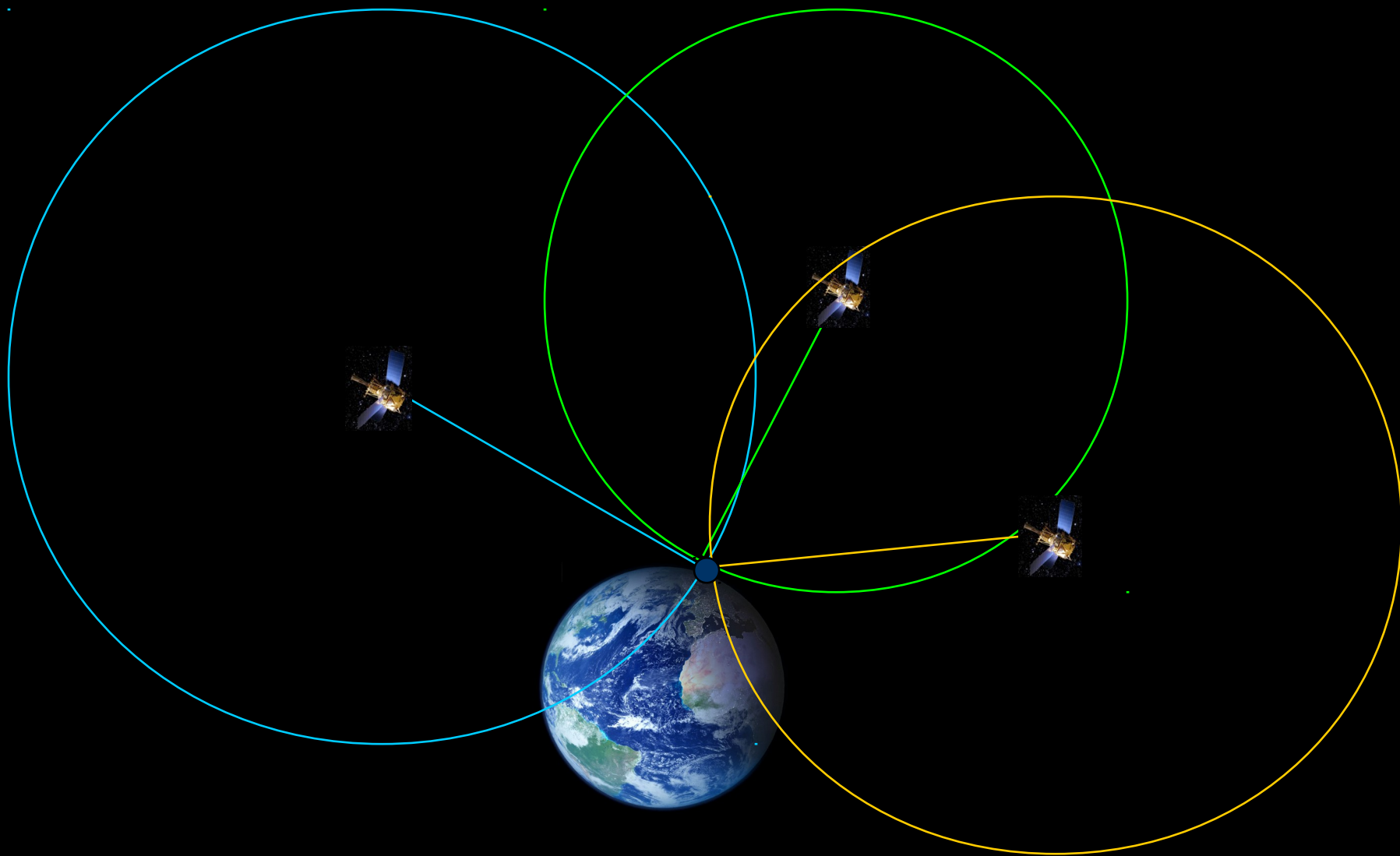
$$\hat{r} = (A^T A)^{-1} A^T b$$

Problemy algorytmów ToA/TDoA/RSS/AoA

Kiedy ww. algorytmy nie działają najlepiej?

- słaby poziom sygnału od stacji nadawczych
- niestacjonarność kanału radiowego i zaniki sygnału
- propagacja wielodrogowa i warunki NLoS

Trilateracija satelitarna



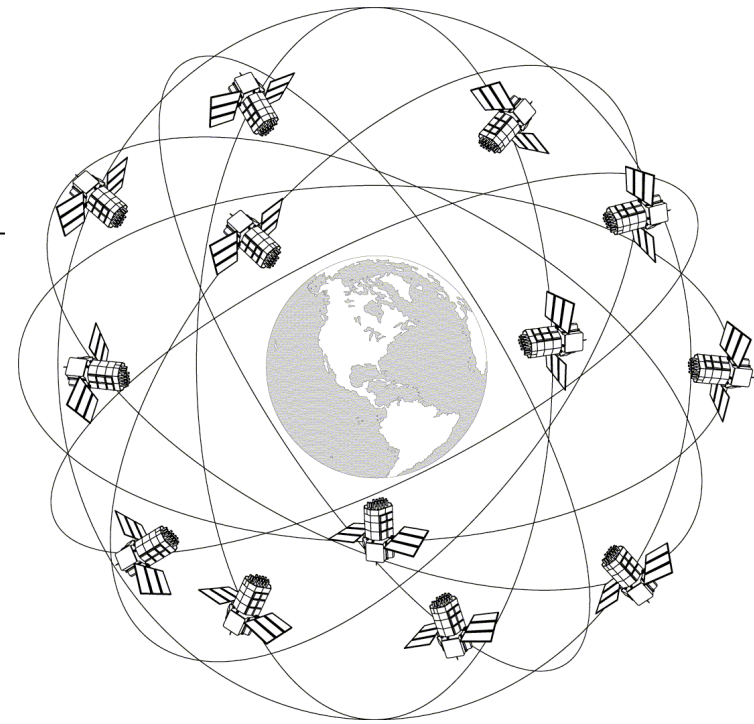
GPS Navstar

NAVigation Satellite Timing And Ranging

- sfinansowany i utrzymywany przez Departament Obrony USA
- pierwsze satelity GPS na orbicie w roku 1978
- system w pełni funkcjonalny - 1995 rok
- 3 segmenty systemu: kosmiczny, kontrolny i użytkownika

Segment kosmiczny:

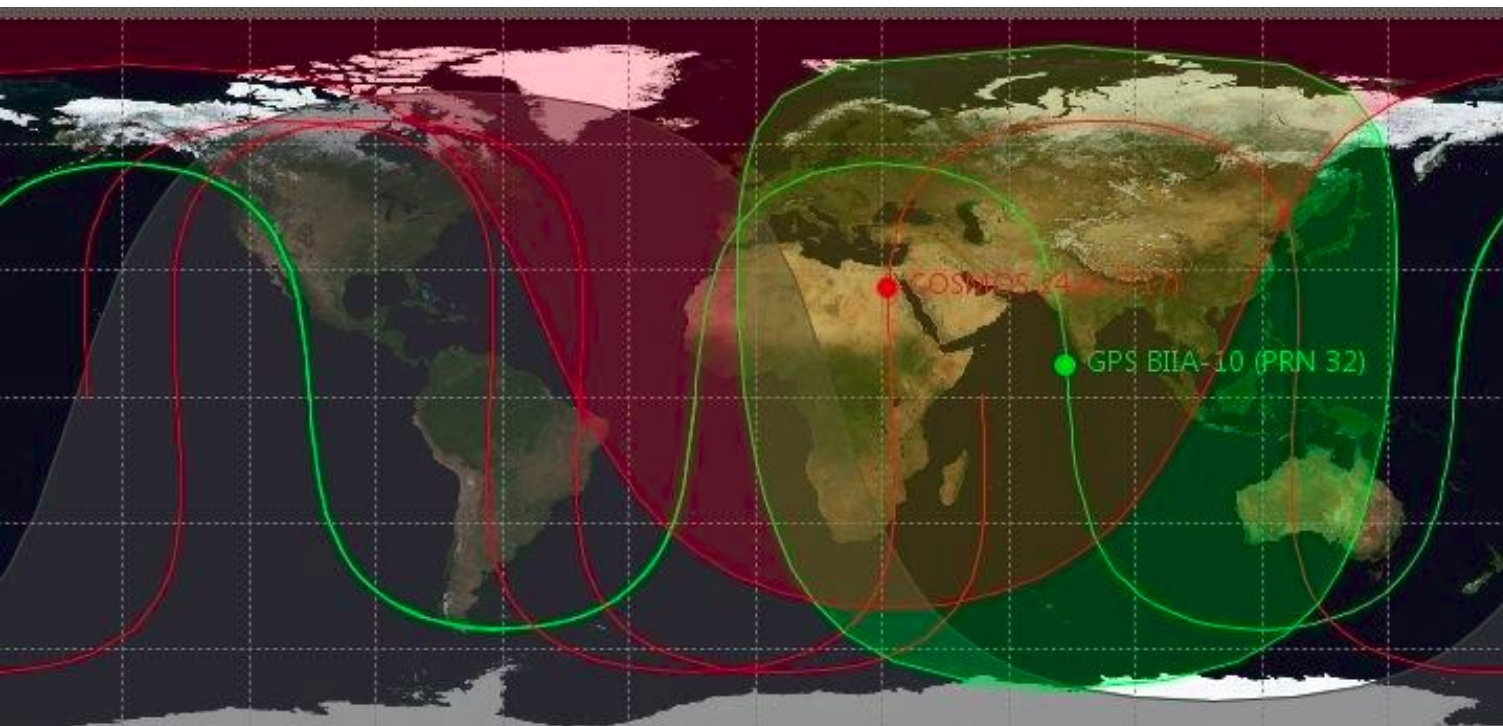
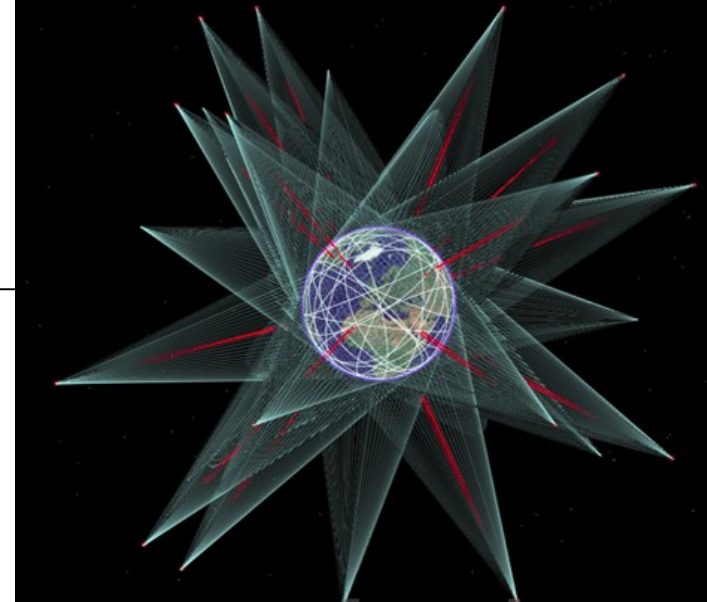
- 24-32 satelity na 6 orbitach (typy: IIR, IIR-M, IIF, III/IIIF)
- wysokość orbit: 20 200 km
- inklinacja: 55°
- z każdego punktu Ziemi widocznych jest jednocześnie przynajmniej 5 satelitów z prawdopodobieństwem 99.96 %



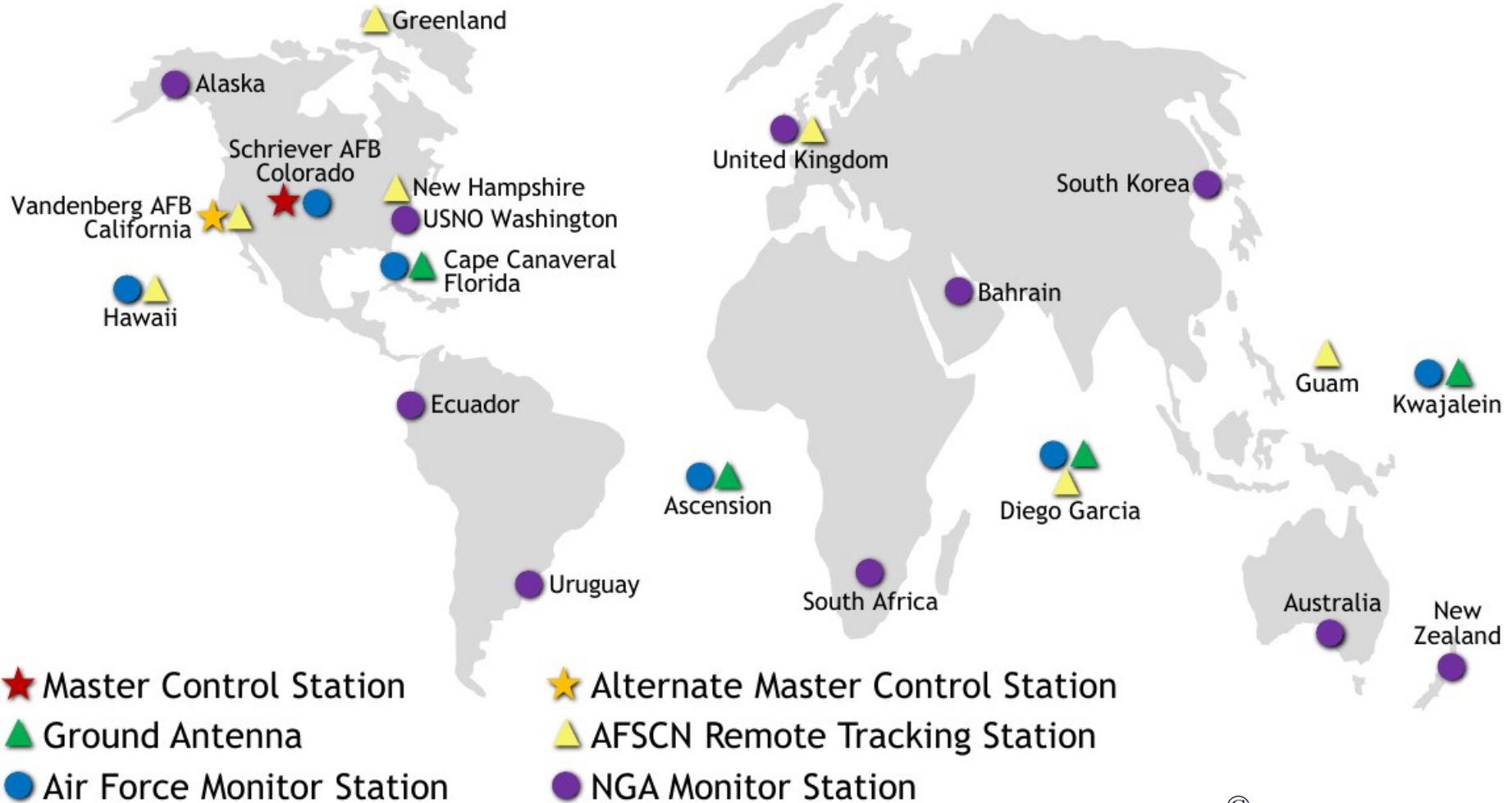
Zasięg satelitów Navstar

← symulacja widoku z kosmosu →

zasięg odbioru sygnału ↓



Segment kontrolny Navstar



© gps.gov

Transmisja sygnałów GPS

Atomowe zegary pokładowe – cezowe lub rubidowe:

- generują częstotliwość : $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$
- stabilność : co najmniej 10^{-13} s

Trzy częstotliwości sygnału:

- L1 = 1575.42 MHz = $154 \cdot f_0$
- L2 = 1227.60 MHz = $120 \cdot f_0$
- L5 = 1176.45 MHz = $115 \cdot f_0$



Zegar atomowy

- technika wielodostępu: CDMA, dane nawigacyjne: 50 bit/s
- moc układów nadawczych satelitów: 50 W
- poziom sygnału odbierany na powierzchni Ziemi: -160 dBW
- przeszkody dla propagacji: zabudowania, gęsty las, woda
- dokładność w terenie otwartym: **5-10 metrów**

GPS różnicowy (DGPS)

- założenie: podobieństwo błędów na niewielkim obszarze
- korekcja sygnałów satelitarnych przez odbiornik o znanej pozycji
- eliminacja błędów, poprawa dokładności wyznaczania pozycji:

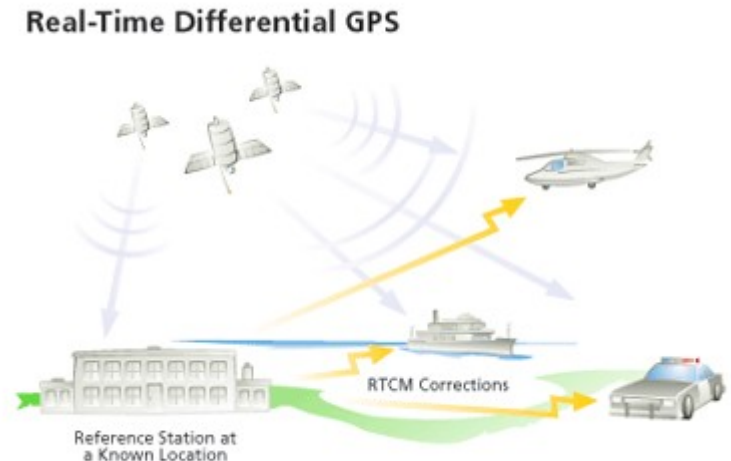
0.5-2 metry

- zasięg stacji różnicowych: 100 km

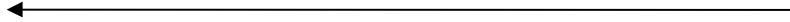
Polska: sieci stacji na Śląsku i koło Warszawy,
stacje na Wybrzeżu: Dziwnów i Rozewie

Zastosowania DGPS:

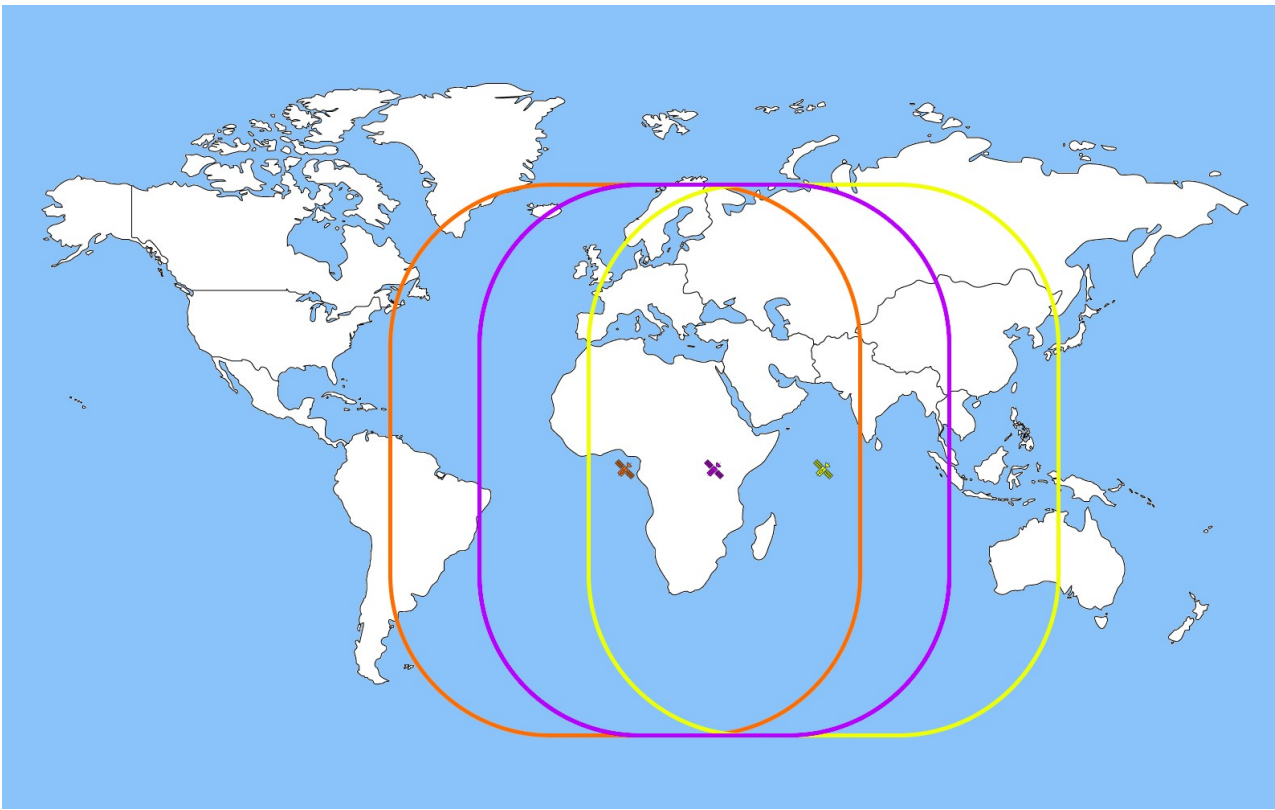
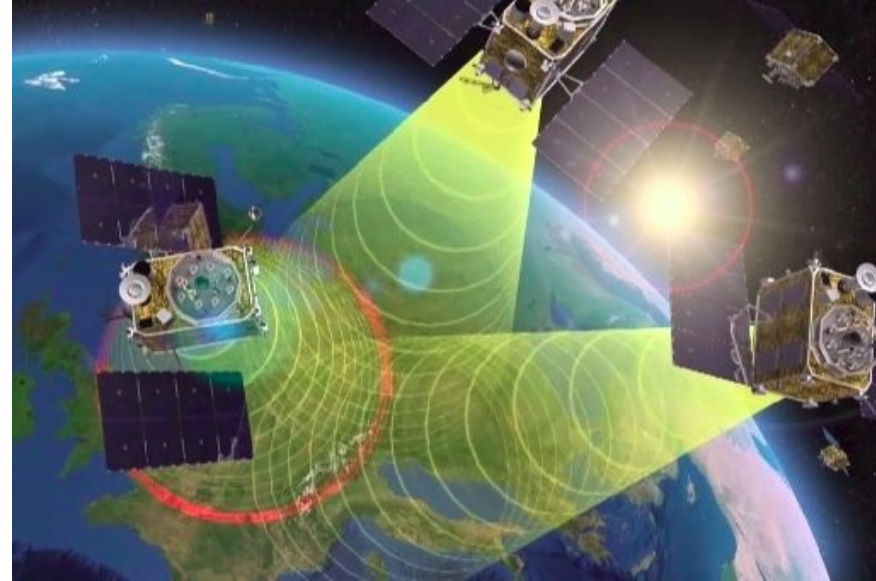
- nawigacja lotnicza i morska
- pomiary geodezyjne
- aplikacje podwyższonego bezpieczeństwa/dokładności



Satelite EGNOS

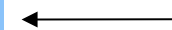


symulacja widoku z kosmosu



zasięg odbioru

sygnału



EGNOS



- koncepcja cywilnego systemu nawigacji satelitarnej
- 3 satelity geostacjonarne (15.5°W , 21.5°E i 25°E)
- naziemne stacje pomiarowe i kontrolne
- poprawa dokładności danych z sieci Navstar
- weryfikacja działania Navstar – aplikacje "Safety of Life"
- SISNET -> dane o wiarygodności systemów GPS/GLONASS przez Internet
- dokładność GPS + EGNOS: **3-5 metrów**

Inne systemy typu GNSS

Galileo:



- projekt kontrolowany przez Komisję Europejską i Europejską Agencję Kosmiczną (ESA)
- obecnie (listopad 2023): 22 działające satelity
- dokładność: **poniżej 1 metra**
- docelowo 30 satelitów – 3 orbity 23 222 km,
- inklinacja 56° , okres obiegu Ziemi: ok. 14 godzin
- naziemne stacje pomiarowe i kontrolne, jedna z nich w CBK w Warszawie

Większość nowych smartfonów obsługuje Galileo:

- w sumie ponad miliard urządzeń (wrzesień 2019)
- obecnie (przynajmniej od marca 2022) już wszystkie nowe sprzedawane w EU

Inne:

Glonass
(Rosja)



BeiDou
(Chiny)



Dziękuję za uwagę