Dokładność pozycji

dr inż. Stefan Jankowski
s.jankowski@am.szczecin.pl

Nawigacja

- Nawigacja jest gałęzią nauki zajmującą się prowadzeniem statku bezpieczną i optymalną drogą. Znajomość nawigacji umożliwia określanie pozycji własnej oraz pomaga osiągnąć punkt przeznaczenia
- Współcześnie zadaniem nawigacji jest określenie pozycji jednostki ruchomej - człowieka, pojazdu, statku czy samolotu
- Zadanie to można realizować poprzez obserwację minięcia charakterystycznego punktu orientacyjnego, zliczanie parametrów ruchu od punktu o znanej pozycji oraz przez wyznaczenie linii pozycyjnych.

W celu prowadzenia nawigacji niezbędna są:

- Metoda wyznaczania pozycji
- Aktualna mapa
- Metoda wyznaczania kierunku i odległości do punktu przeznaczenia lub kolejnego punktu drogi

Rodzaje pozycji

- Pozycja obserwowana (fix) – otrzymana na przecięciu się linii pozycyjnych, co oznacza konieczność wykonania pomiarów nawigacyjnych (określenia wartości parametrów nawigacyjnych) do punktów odniesienia
- Pozycja zliczona (dead reckoning) – otrzymywana na końcu wektora (COG, SOG), którego początek znajduje się w poprzedniej pozycji. Dokładność takiej pozycji spada w funkcji czasu od ostatniej pozycji obserwowanej
- Symulowana – pozycja otrzymywana na podstawie danych wprowadzonych przez użytkownika: pozycja początkowa, COG, SOG oraz odniesiona do czasu symulacji. Tryb demonstracyjny (demo) w celu zaprezentowania funkcji oraz działania odbiornika

Linia pozycyjna LOP

- Jest zbiorem punktów możliwej pozycji obiektu, określonym stałą wartością mierzonej wielkości fizycznej, która tę linię (zbiór) wyznacza w sposób jednoznaczny
- Kształt linii pozycyjnej zależy od mierzonej wielkości. Pomiar tej wielkości (parametru nawigacyjnego) z dowolnego jej punktu daje zawsze ten sam wynik
- Linie pozycyjne można określić na podstawie obserwacji:
  - wielkości naturalnych takich jakich magnetyzm ziemski, położenie ciał niebieskich, izobaty itp., lub
  - poprzez pomiar parametrów radionawigacyjnych, czyli wykorzystanie własności fal radiowych.

Systemy nawigacyjne

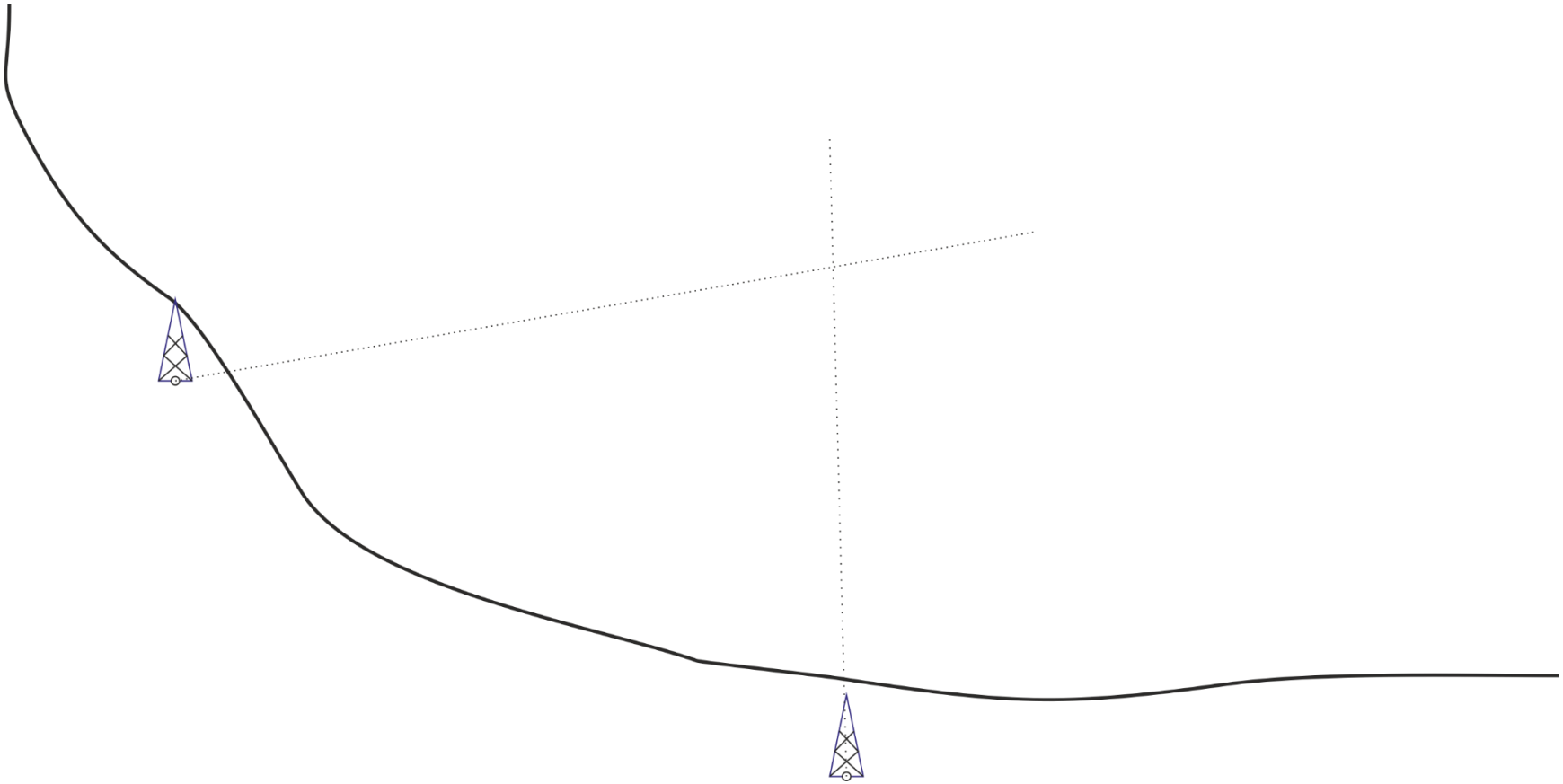
Ze względu na metodę wyznaczania pozycji systemy nawigacyjne można podzielić na:

- Kątowe - pomiar dwóch kątów (radionamierzanie);
- odległościowo-kątowe - pomiar kąta i odległości (współrzędnych biegunowych)
- Odległościowe - pomiar dwóch odległości
- Hiperboliczne - pomiar różnicy odległości od statku do co najmniej dwóch par radiolatarni;

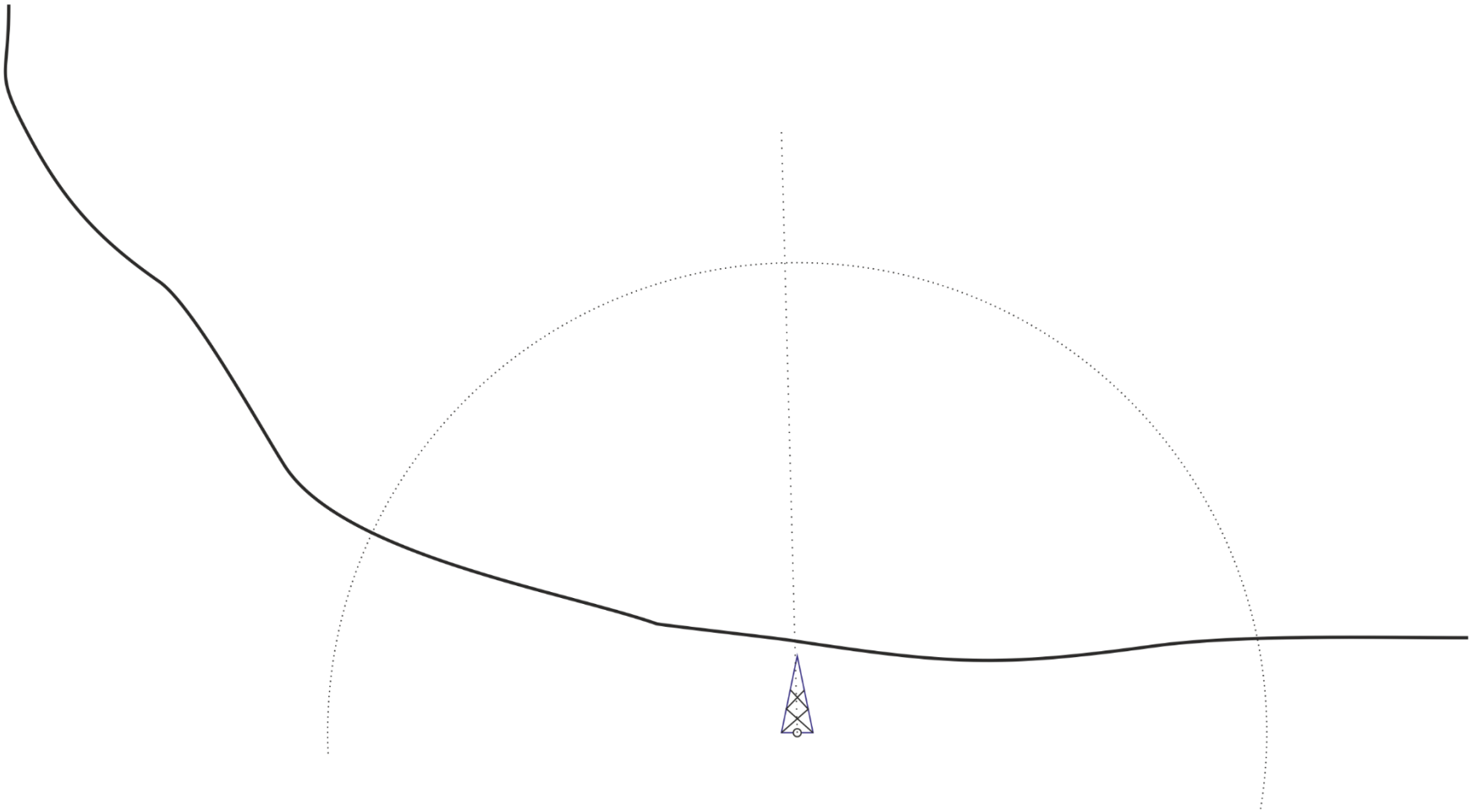
Pozycja obserwowana

- Namiary (co najmniej dwa – 2D)
- Namiar i odległość – 2D
- Odległości (co najmniej 3 – 2D, co najmniej 4 – 3D)
- Różnice odległości (co najmniej dwa – 2D)

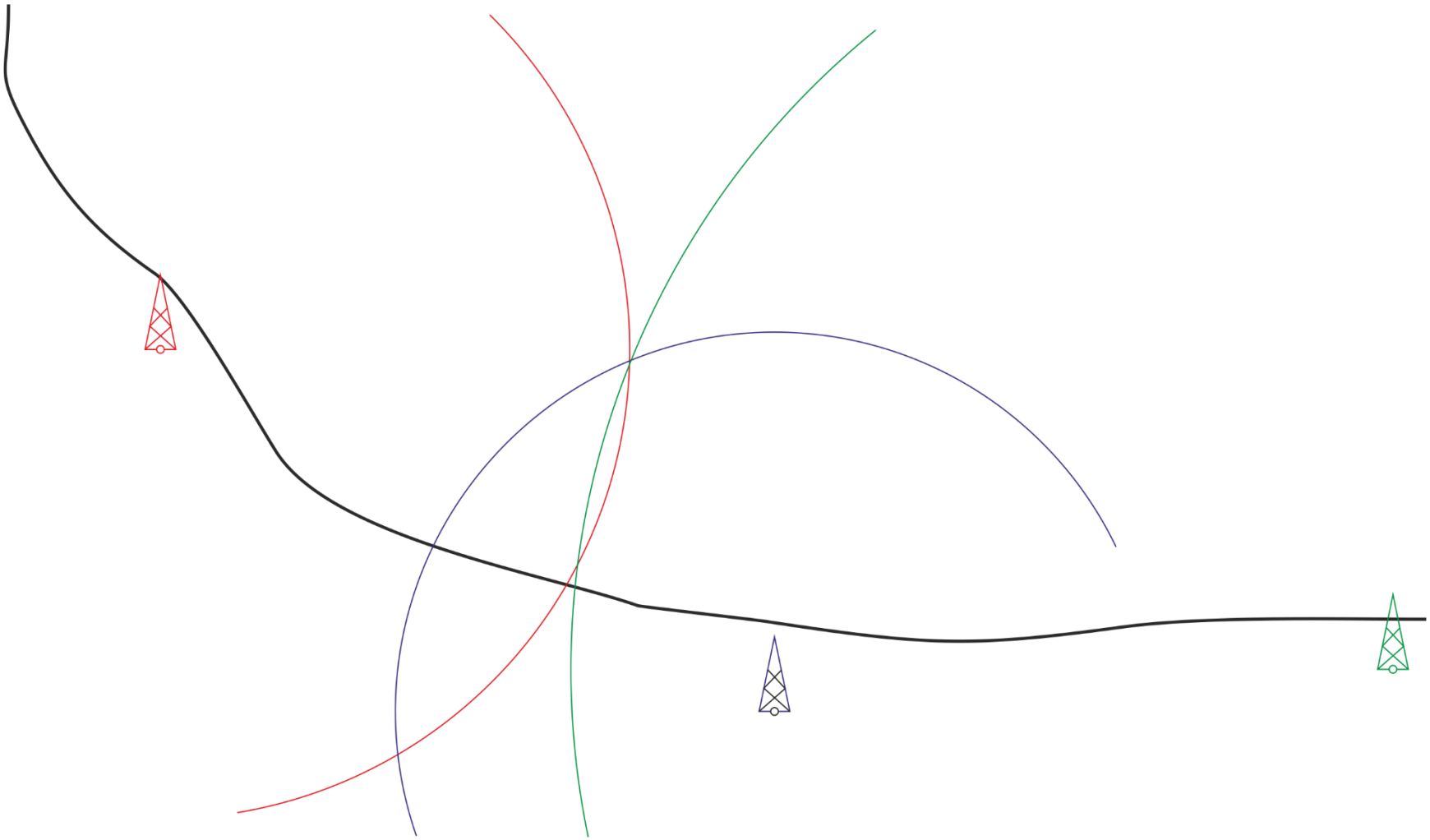
Dwa namiary



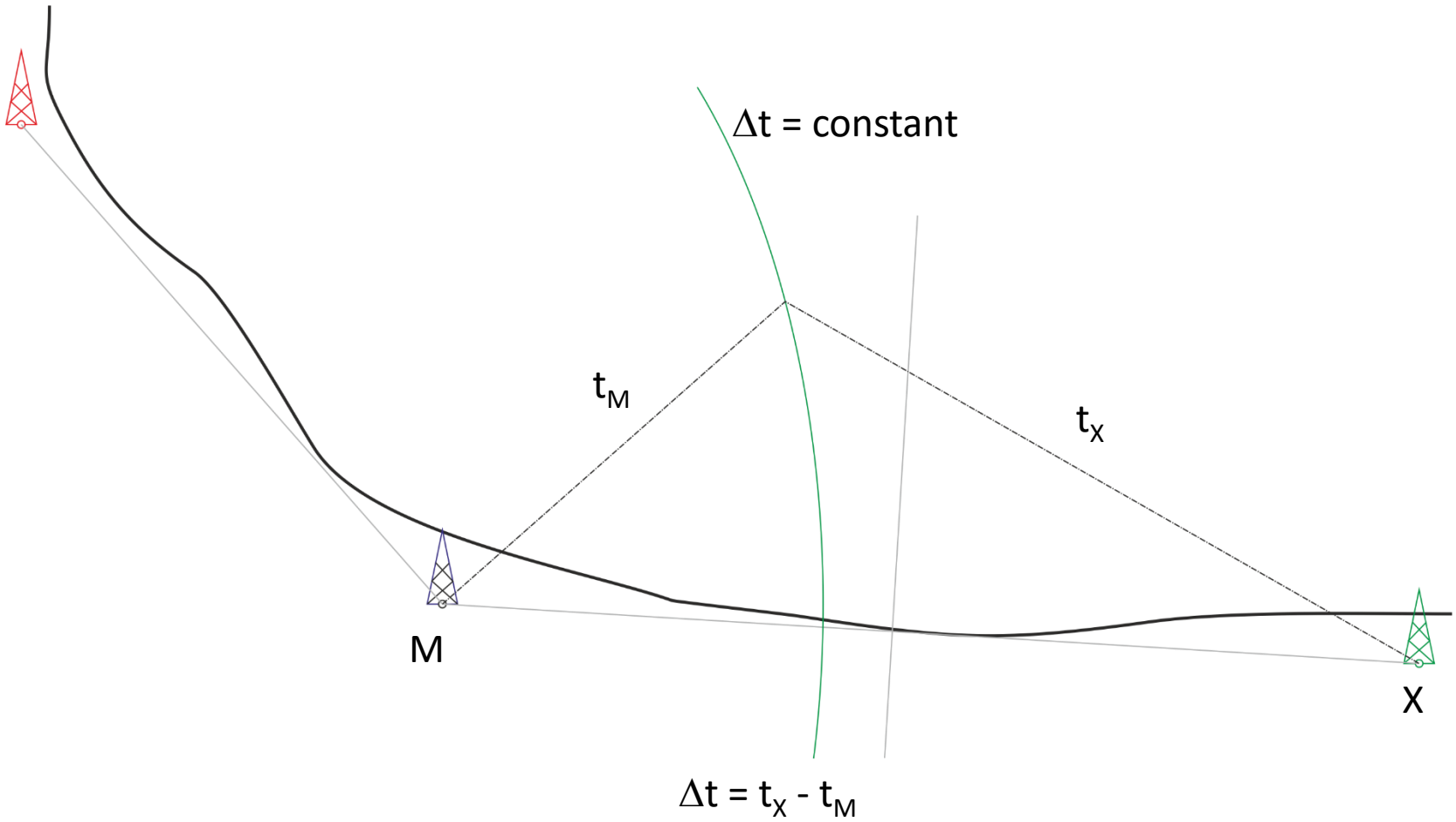
Odległość i namiar



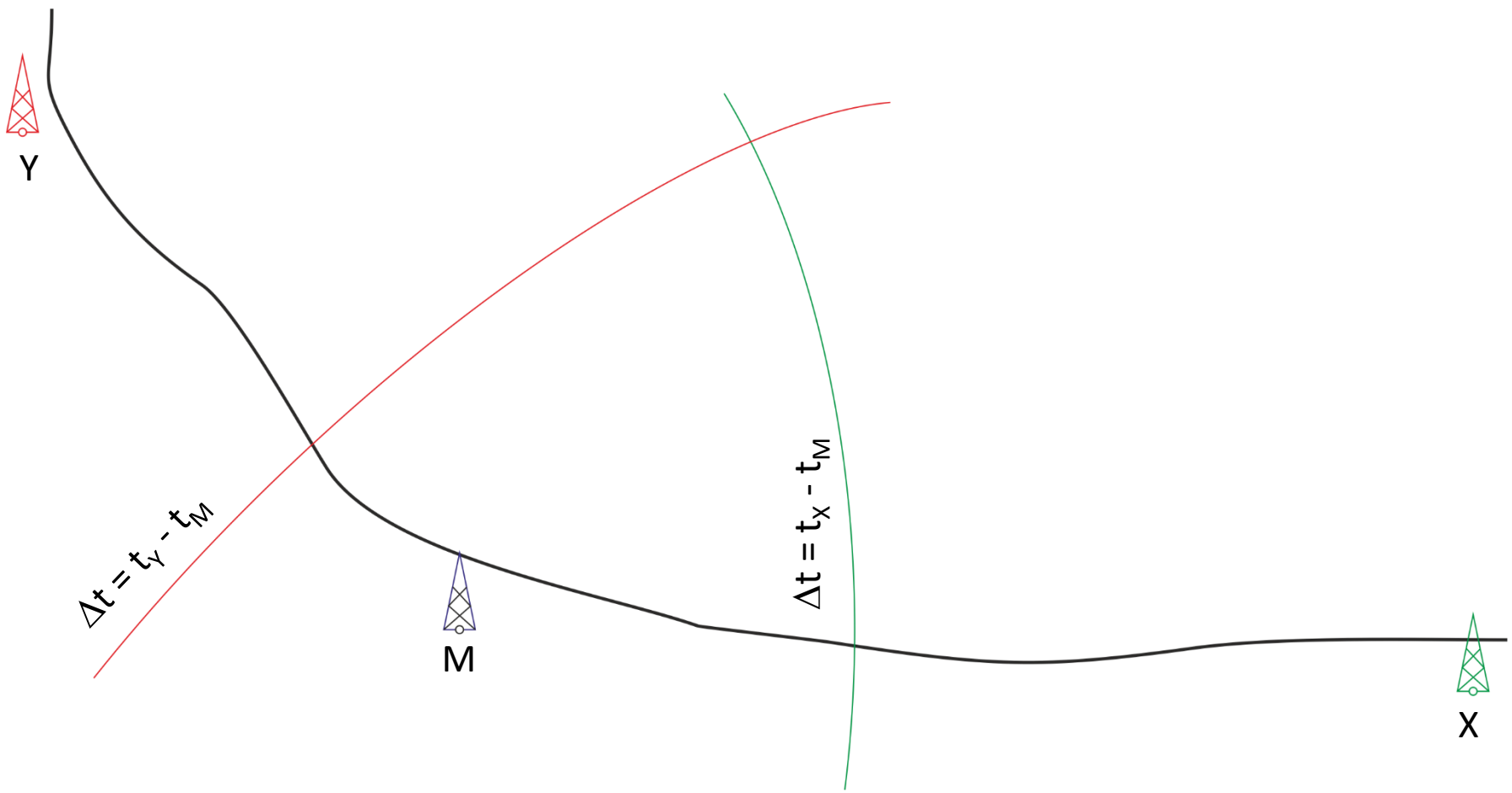
Odległości



Różnice odległości (hiperbole)



Różnice odległości (hiperbole)



Dokładność

Poziom dokładności zależy od celu pozycjonowania:

- Nawigacja na otwartym morzu: mile morskie, kable
- Dynamic Positioning (DP) : do 5 metrów
- Określanie punktu geodezyjnego (na lądzie): do 5 cm

Dokładność - Res. A.915(22):

- Dokładność absolutna (Absolute accuracy) – dokładność pozycji oszacowana w odniesieniu do geograficznych lub geodezyjnych współrzędnych Ziemi
- Przewidywalna dokładność (Predictable accuracy) – dokładność pozycji szacowana w odniesieniu do mapy
- Względna dokładność (Relative accuracy) – Dokładność, z jaką użytkownik może określić pozycję w stosunku do pozycji innego użytkownika tego samego systemu nawigacyjnego w tym samym czasie
- Powtarzalna dokładność (Repeatable accuracy) – dokładność, z jaką użytkownik może powrócić do pozycji, której współrzędne zostały zmierzone w poprzednim czasie przy użyciu nieskorelowanych pomiarów z tego samego systemu nawigacji

Błędy

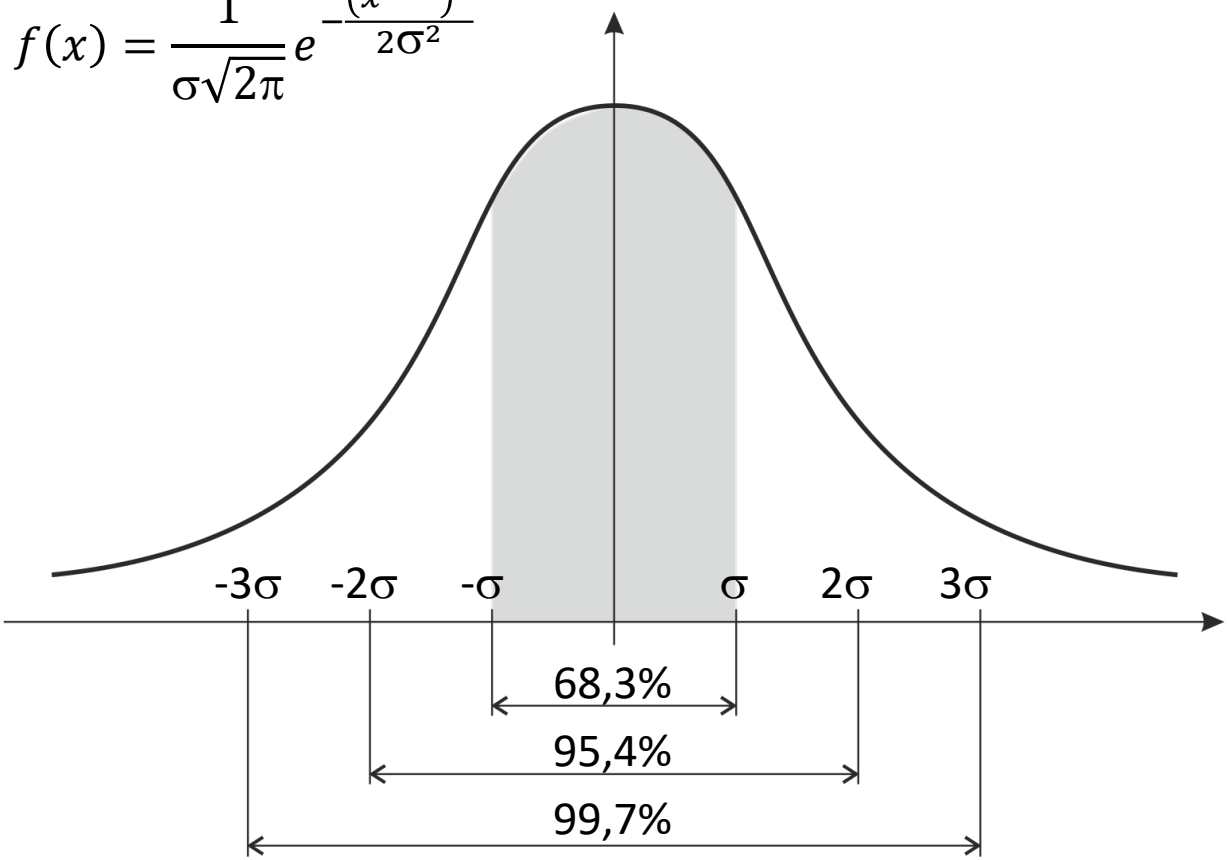
Należy zawsze wskazać prawdopodobieństwo dokładności ze względu na statystyczny charakter błędów.

Możemy wyróżnić następujące błędy:

- Systematyczne, stałe – błędy, które mogą być stałe lub wynikać z pewnej zależności; z czasem można je skalibrować; pochodzą głównie z przyrządów pomiarowych; ich średnia nie równa się zero
- Przypadkowe (zmienne) - mają losowy charakter, podlegają rozkładowi normalnemu, którego wartość średnia jest równa zero
- Duże (omyłki) - gdy jeden z wyników pomiarów odbiega znacząco od pozostałych, można założyć, że wystąpiło zdarzenie, które spowodowało zniekształcenia pomiarów. Wyniki te są często odrzucane podczas analizy statystycznej

Rozkład normalny wyników pomiarów

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\ )^2}{2\sigma^2}}$$



x – wynik pomiaru

μ – wartość średnia

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

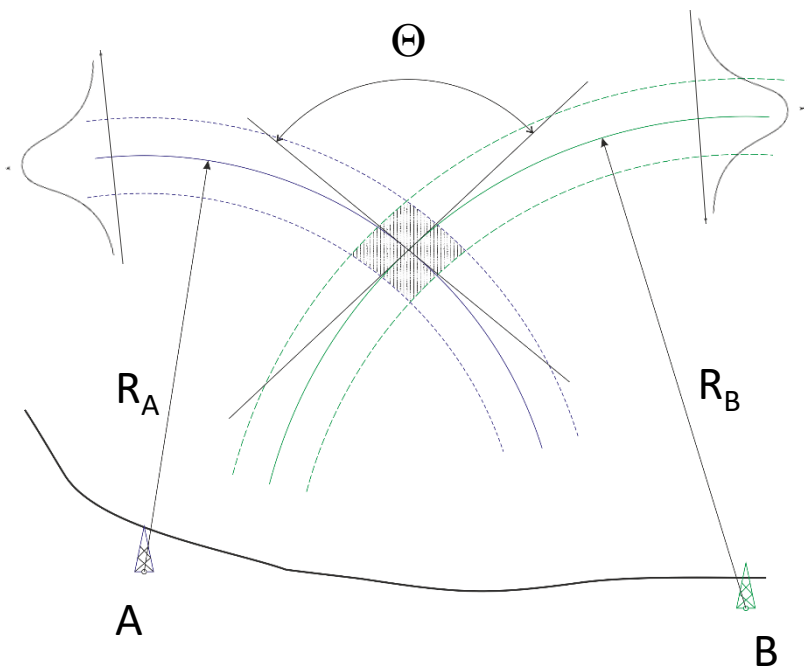
σ^2 – wariancja

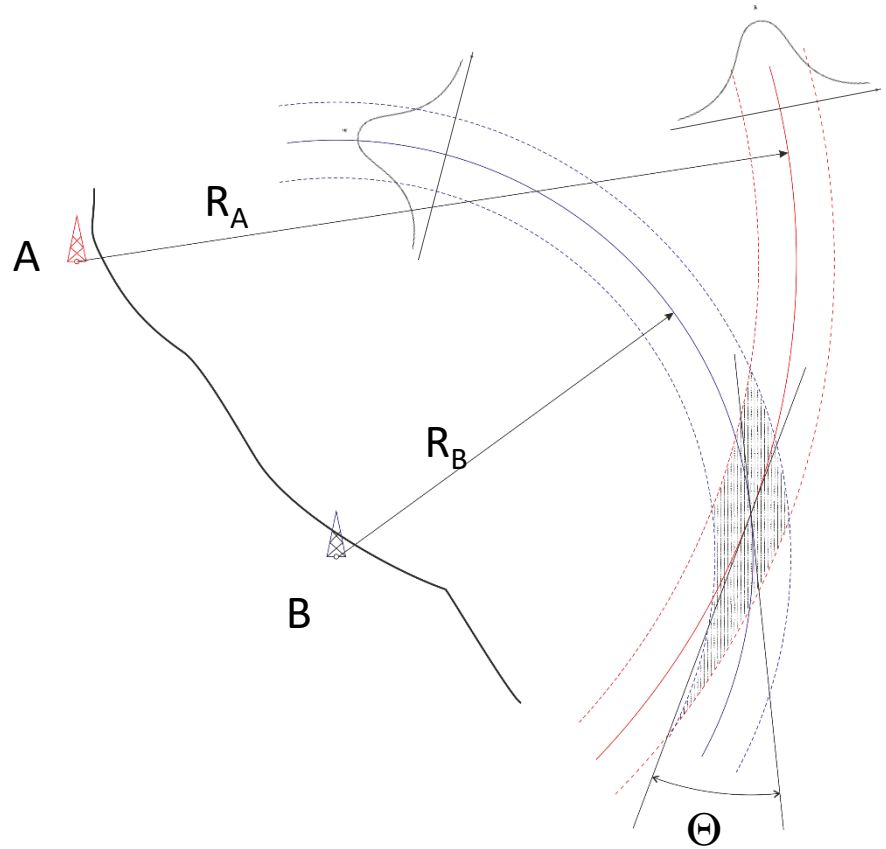
$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2}{n}$$

σ – odchylenie standardowe

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2}{n}}$$

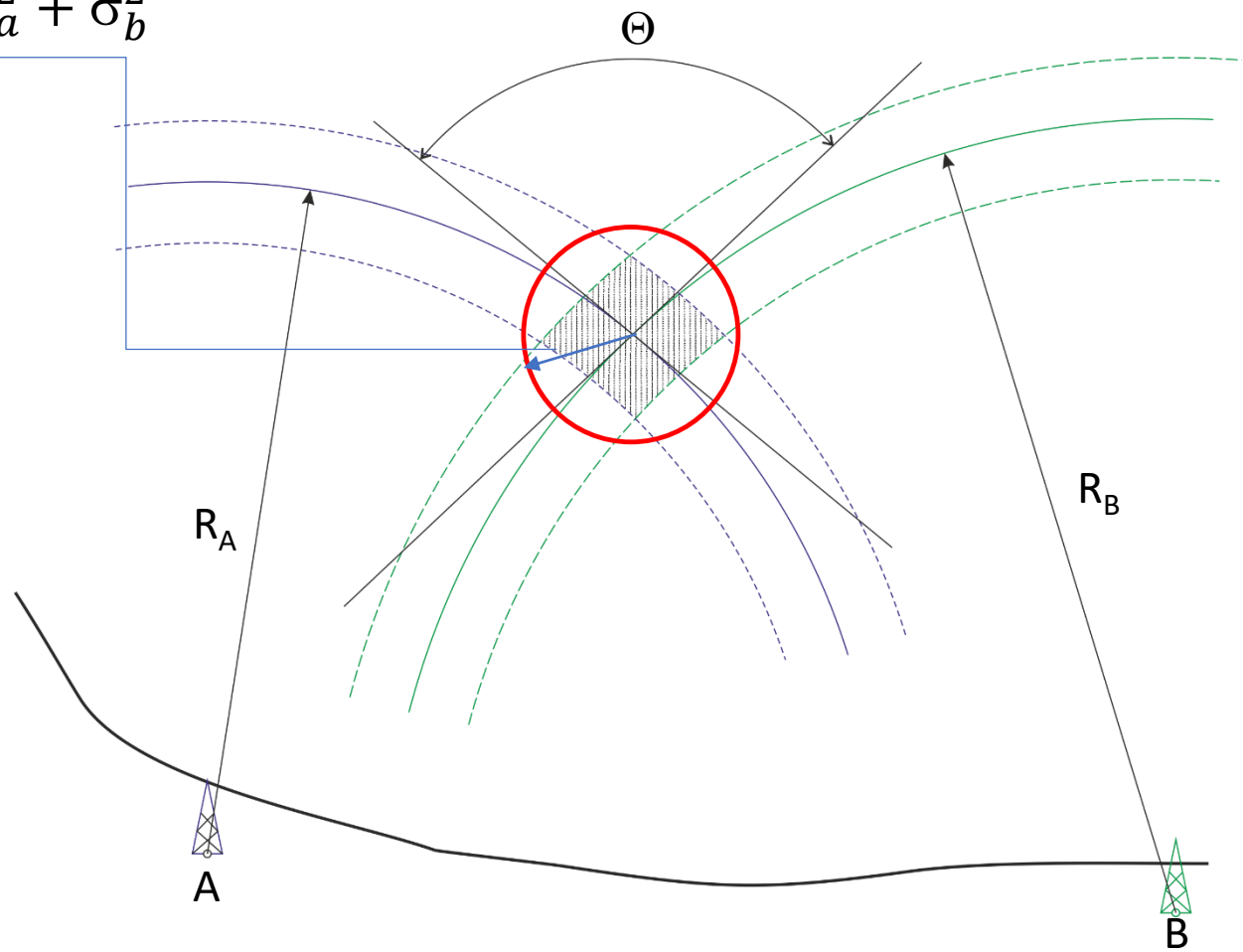
Geometria linii pozycyjnych





Błąd średni (kołowy) - d_{RMS}

- $d_{RMS} = \frac{1}{sin\Theta}\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}$
- $d_{RMS} = \sigma^2\ DOP$



DOP – dilution of precision; rozmycie dokładności pozycji

- Horizontal DOP

$$\mathrm{HDOP} = \frac{1}{\sigma}\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

+

- Vertical DOP

$$\mathrm{VDOP} = \frac{\sigma_z}{\sigma}$$

=

- Position DOP

$$\mathrm{PDOP} = \frac{1}{\sigma}\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}$$

+

- Time DOP

$$\mathrm{TDOP} = \frac{\sigma_t}{\sigma}$$

=

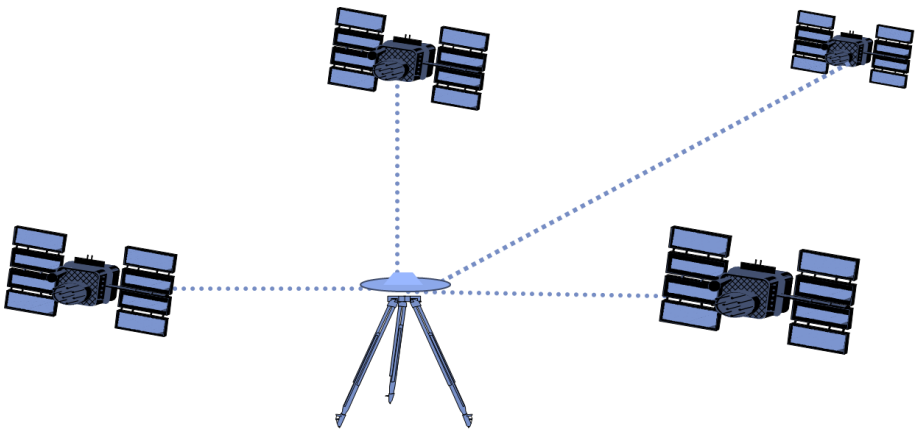
- Geometric DOP

$$\mathrm{GDOP} = \frac{1}{\sigma}\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_y^2 + \sigma_t^2}$$

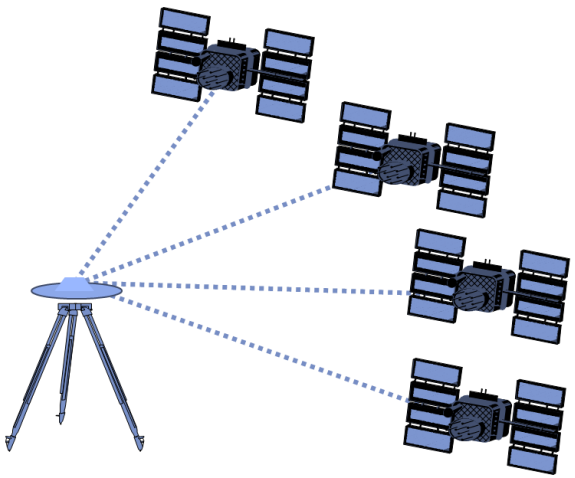
σ - błąd średniokwadratowy pomiaru parametru nawigacyjnego (odległość)

σ_x , σ_y , σ_y , σ_t - błędy średniokwadratowe wyznaczonej pozycji w 3 kierunkach x,y,z oraz czasu

DOP – dilution of precision/ rozmycie dokładności pozycji



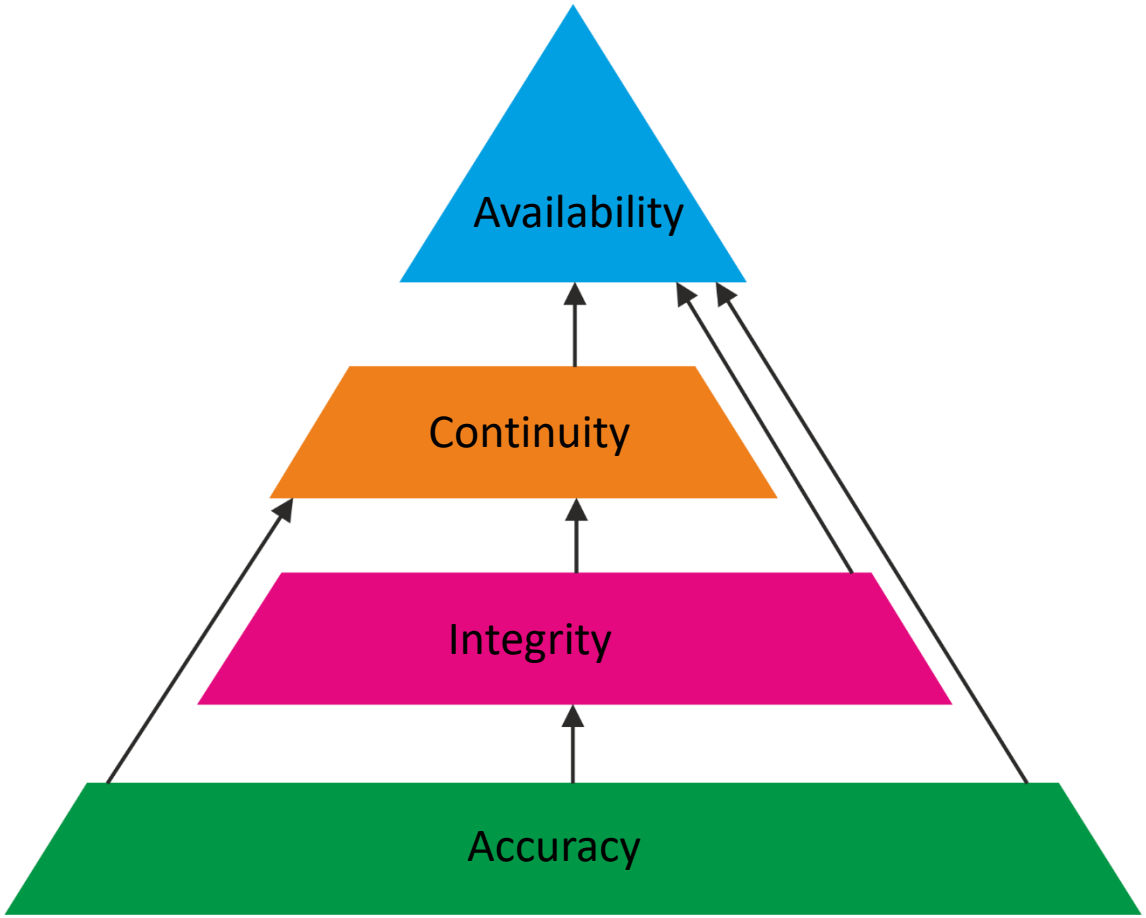
Good DOP



Poor DOP

QUALITY	DOP
Very Good	*1-3*
Good	*4-5*
Fair	*6*
Suspect	*>6*

Jakość systemów pozycjonowania



Jakość systemów pozycjonowania

- **Integrity/ wiarygodność** – możliwość zapewnienia użytkownikom ostrzeżeń w określonym czasie, gdy system nie powinien być używany do nawigacji
  RAIM – receiver autonomous integrity monitoring
- **Continuity/ ciągłość** – prawdopodobieństwo (przy poprawnie działającym odbiorniku), że użytkownik będzie w stanie wyznaczyć pozycję z określoną dokładnością i jest w stanie monitorować jej wiarygodność w (krótkim) przedziale czasu mającym zastosowanie do określonej operacji w obszarze objętym zasięgiem systemu
- **Availability/ dostępność** - procent czasu, w którym urządzenie/system spełnia wymaganą funkcję w określonych warunkach. Brak dostępności może być spowodowany zaplanowanymi i / lub niezaplanowanymi przerwami.
  - *Signal availability.*
    Dostępność sygnału radiowego w określonym obszarze zasięgu.
  - *System availability*
    Dostępność systemu dla użytkownika, w tym dostępność sygnału i sprawność odbiornika użytkownika.

Jakość systemów pozycjonowania

- *Coverage/ zasięg* –
  zasięg zapewniany przez system radionawigacyjny to powierzchnia lub objętość przestrzeni, w której sygnały są wystarczające, aby umożliwić użytkownikowi określenie pozycji do określonego poziomu dokładności.

Appendix 2

Table of the minimum maritime user requirements for general navigation

	System level parameters				*Service level parameters*			
	Absolute accuracy	Integrity			Availability % per 30 days	Continuity % over 3 hours	Coverage	2 Fix interval seconds
	Horizontal (metres)	Alert limit metres	2 Time to alarm - seconds	Integrity risk (per 3 hours)				
Ocean	10	25	10	10^{-5}	99.8	N/A[1]	Global	1
Coastal	10	25	10	10^{-5}	99.8	N/A[1]	Global	1
Port approach and restricted waters	10	25	10	10^{-5}	99.8	99.97	Regional	1
Port	1	2.5	10	10^{-5}	99.8	99.97	Local	1
Inland waterways	10	25	10	10^{-5}	99.8	99.97	Regional	1

Notes:

[1] Continuity is not relevant to ocean and coastal navigation.

[2] More stringent requirements may be necessary for ships operating above 30 knots.

Koniec