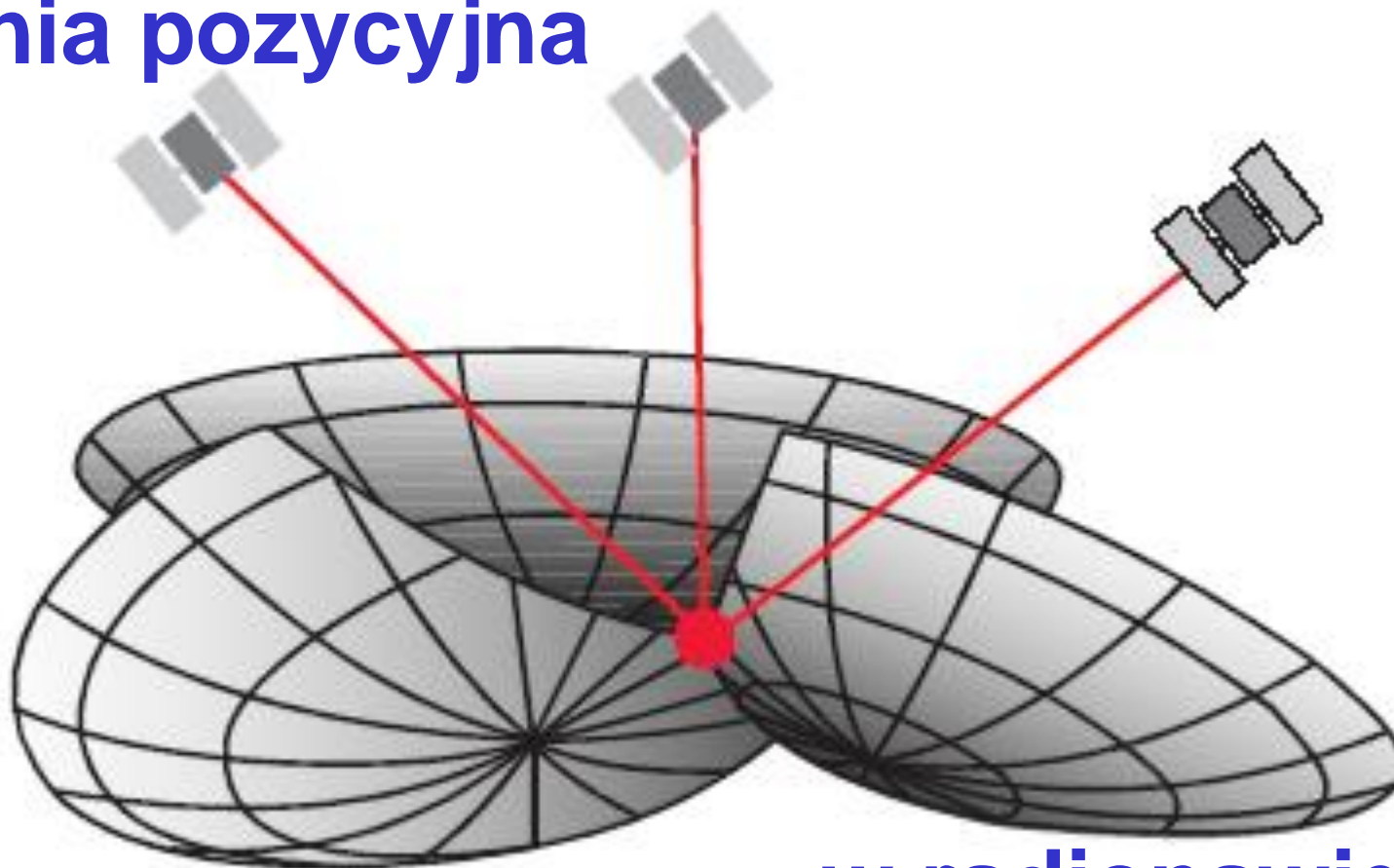


Linia pozycyjna



w radionawigacji

dr inż. Paweł Zalewski



Wprowadzenie

Jednym z zadań nawigacji jest określenie pozycji jednostki ruchomej - człowieka, pojazdu, statku czy samolotu. Pozycję ustala się przez zaobserwowanie minięcia wyróżnionego punktu orientacyjnego, zliczanie parametrów ruchu od punktu o znanej pozycji oraz przez wyznaczenie linii pozycyjnych.

Linia pozycyjna jest zbiorem punktów możliwej pozycji statku (anteny odbiorczej lub nadawczej), określonym stałą wartością mierzonej wielkości fizycznej. Charakterystycznym dla linii pozycyjnej jest więc zawsze ten sam wynik pomiaru parametru linii (mierzonej wielkości fizycznej) w dowolnym jej punkcie.

Z definicji tej wynika, iż linia pozycyjna może być prostą lub krzywą na powierzchni kuli (geoidy) ziemskiej lub figurą przestrzenną, gdy dotyczy pozycji w trzech wymiarach (poniżej lub powyżej poziomu morza).



Metody określania pozycji

Kształt linii pozycyjnej zależy od mierzonej wielkości - jest on uzależniony od zasady działania użytego systemu nawigacyjnego.

Pozycję można uważać za punkt przecięcia się co najmniej dwóch linii pozycyjnych na powierzchni Ziemi.

Linie pozycyjne przy pomocy urządzeń nawigacyjnych można określić na podstawie obserwacji wielkości naturalnych (magnetyzmu ziemskiego, położenia-topografii obiektów lądowych lub dna morza, położenia ciał niebieskich, bezwładności mas, czasu) albo poprzez pomiar parametrów radionawigacyjnych, czyli wykorzystanie własności fal radiowych.



Metody określania pozycji

Radionawigacja polega na wykorzystaniu w nawigacji pokładowych urządzeń radiotechnicznych i radiolatarni zewnętrznych.



Określenie „radiolatarni zewnętrznych” nie oznacza tylko naziemnych pomocy radionawigacyjnych. Mogą one z powodzeniem znajdować się na morzu lub w przestrzeni okołoziemskiej.



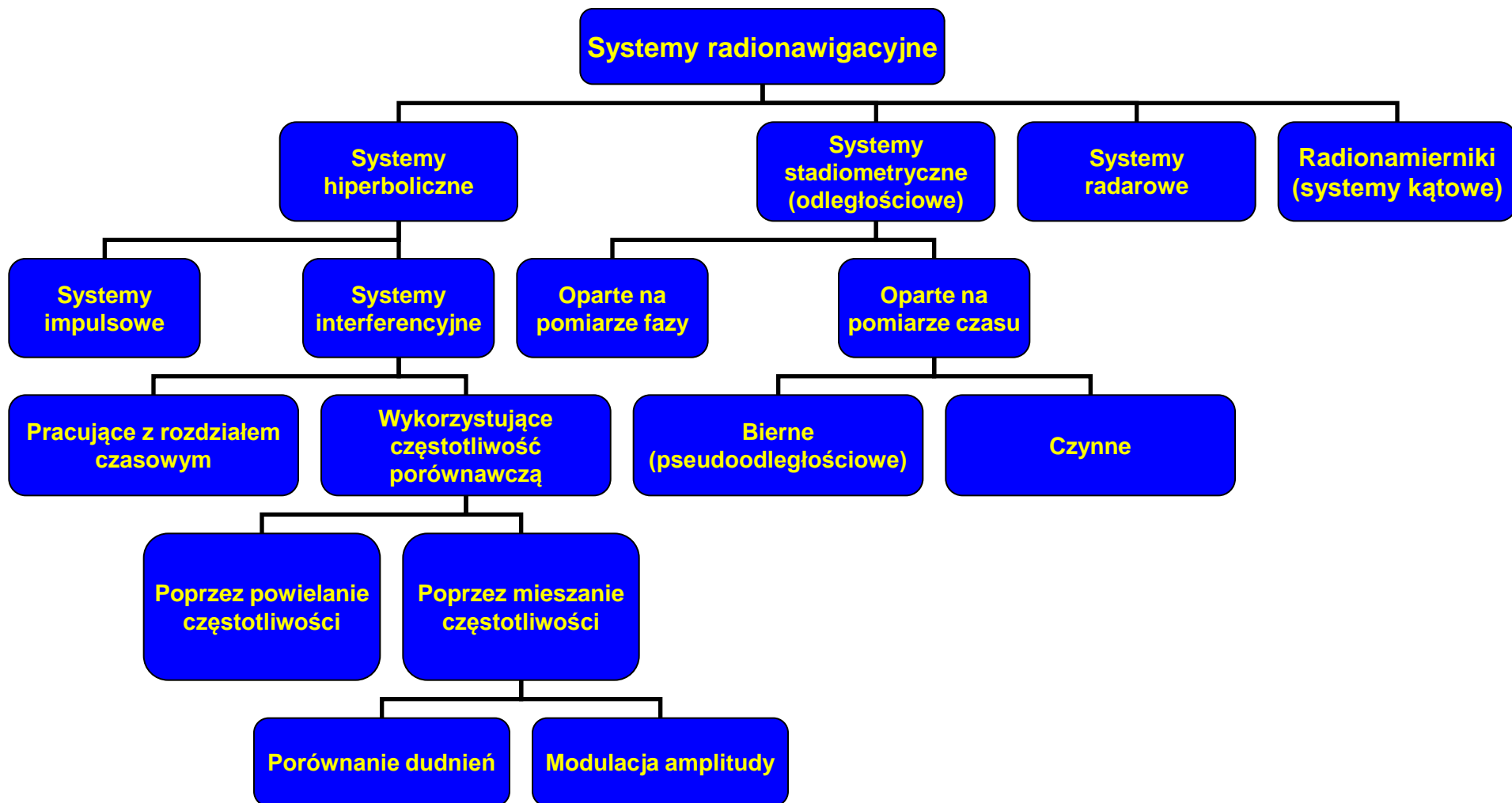
Metody określania pozycji

Aby jednoznacznie określić współrzędne położenia względem punktów orientacyjnych na powierzchni Ziemi (2D) można zastosować następujące metody:

- pomiar dwóch lub więcej kątów (zasada goniometrii),
- pomiar dwóch lub więcej odległości,
- pomiar trzech lub więcej pseudoodległości,
- pomiar kąta i odległości (współrzędnych biegunowych – zasada zobrazowania radarowego lub pomiaru sygnałów równobieżnych radiowo-akustycznych),
- pomiar różnicy odległości do co najmniej dwóch par radiolatarni – czyli przy udziale co najmniej trzech radiolatarni (zasada systemów hiperbolicznych),
- zliczenie zmian współrzędnych obiektu, począwszy od punktu o znanych współrzędnych.



Podział systemów nawigacyjnych według metody określania pozycji





Systemy kątowe - radionamiary

Metoda pomiaru radiowego kąta (radionamiaru) polega na określeniu kierunku do radiolatarni. Dzieli się ona na:

- a) metoda namiarów obcych,
- b) metoda namiarów własnych,
- c) metoda namiarów na radiolatarnie kierunkowe.

Przy **namiarze obcym** statek jest namierzany przez **stację brzegową zwaną stacją radionamiarową** (statek wysyła w tym celu sygnał do namierzenia, czyli staje się **radiolatarnią**) i wynik namierzania podawany jest drogą radiową.

Ażeby otrzymać namiar statek musi być wyposażony w odbiornik i nadajnik radiowy.



Systemy kątowe - radionamiary

Przy **namiarze własnym** nawigator na statku namierza stacje służące do tego celu, czyli **radiolatarnie** lub **brzegowe stacje radiowe prowadzące serwis QTG** (one wysyłają do statku sygnały służące do namierzenia).

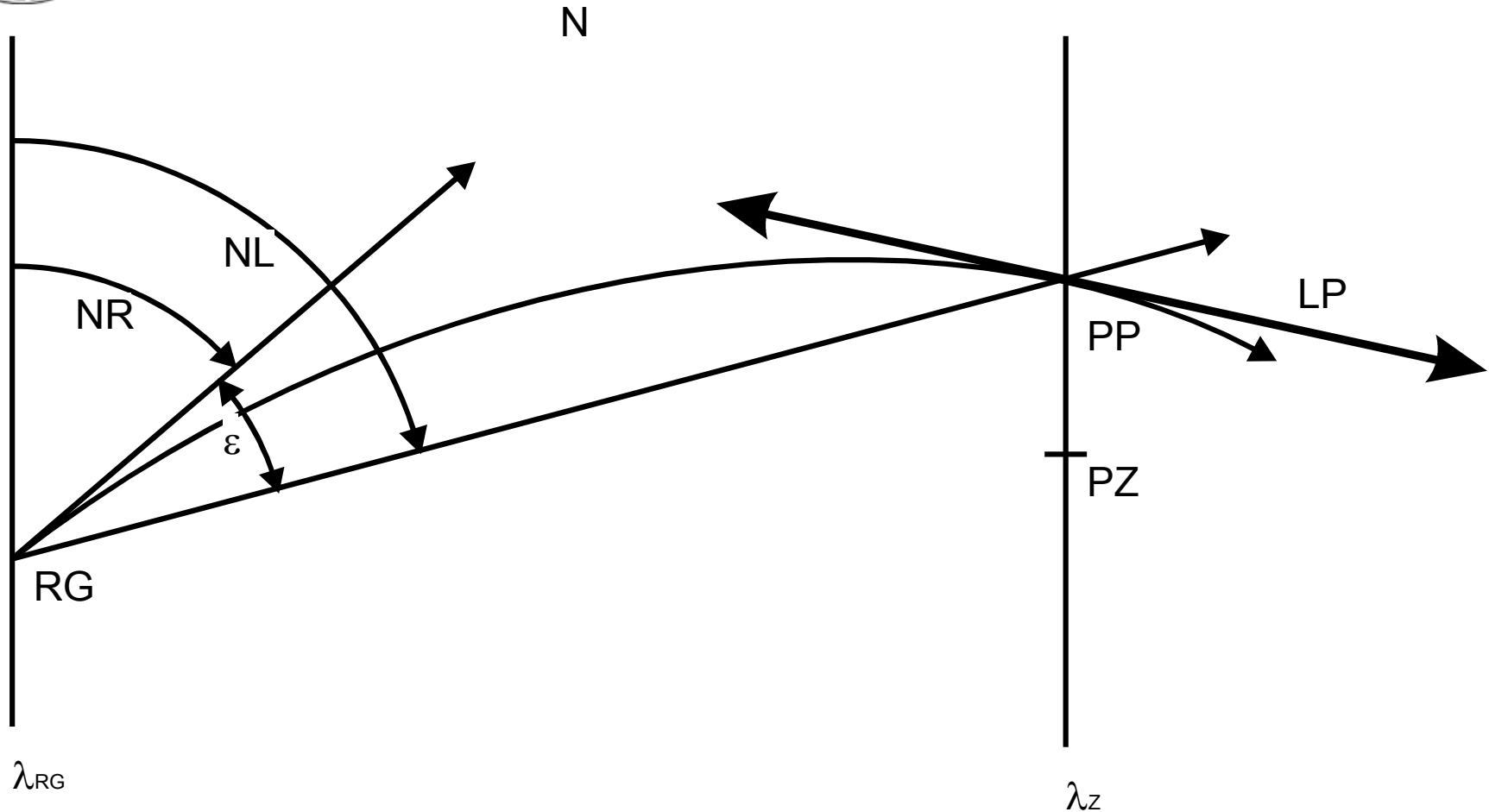
Statek musi być wyposażony w radionamiernik.

Dla określenia **namiaru według radiolatarni kierunkowej** nawigator nasłuchuje długiego ciągłego sygnału w linii **radionabieżnika** (kierunek oznaczony na mapie i w ALRS).

Statek musi być wyposażony w odbiornik radiowy.



Systemy kątowe - radionamiary



Określenie linii pozycyjnej z radionamiaru obcego w odwzorowaniu Merkatora:

NR - namiar radiowy ortodromiczny, NL - namiar loksodromiczny,

ε - poprawka loksodromiczna, PP - pozycja prawdopodobna, PZ - pozycja zliczona



Systemy kątowe - radionamiary

Poprawka loksodromiczna jest to różnica kątowa między loksodromicznym a ortodromicznym kątem drogi. Jest ona równa połowie zbieżności południków wyrażonej w mierze kątowej (w stopniach lub w minutach). W przybliżeniu poprawkę loksodromiczną można określić zależnością:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\lambda'}{2} \times \sin \frac{\varphi_{st} + \varphi_z}{2} \text{ [']}, \text{ gdzie:}$$

$\Delta\lambda$ - różnica długości statku i stacji namierzającej ($\lambda_z - \lambda_{st}$),

φ_{st} - szerokość geograficzna stacji,

φ_z - szerokość geograficzna statku.

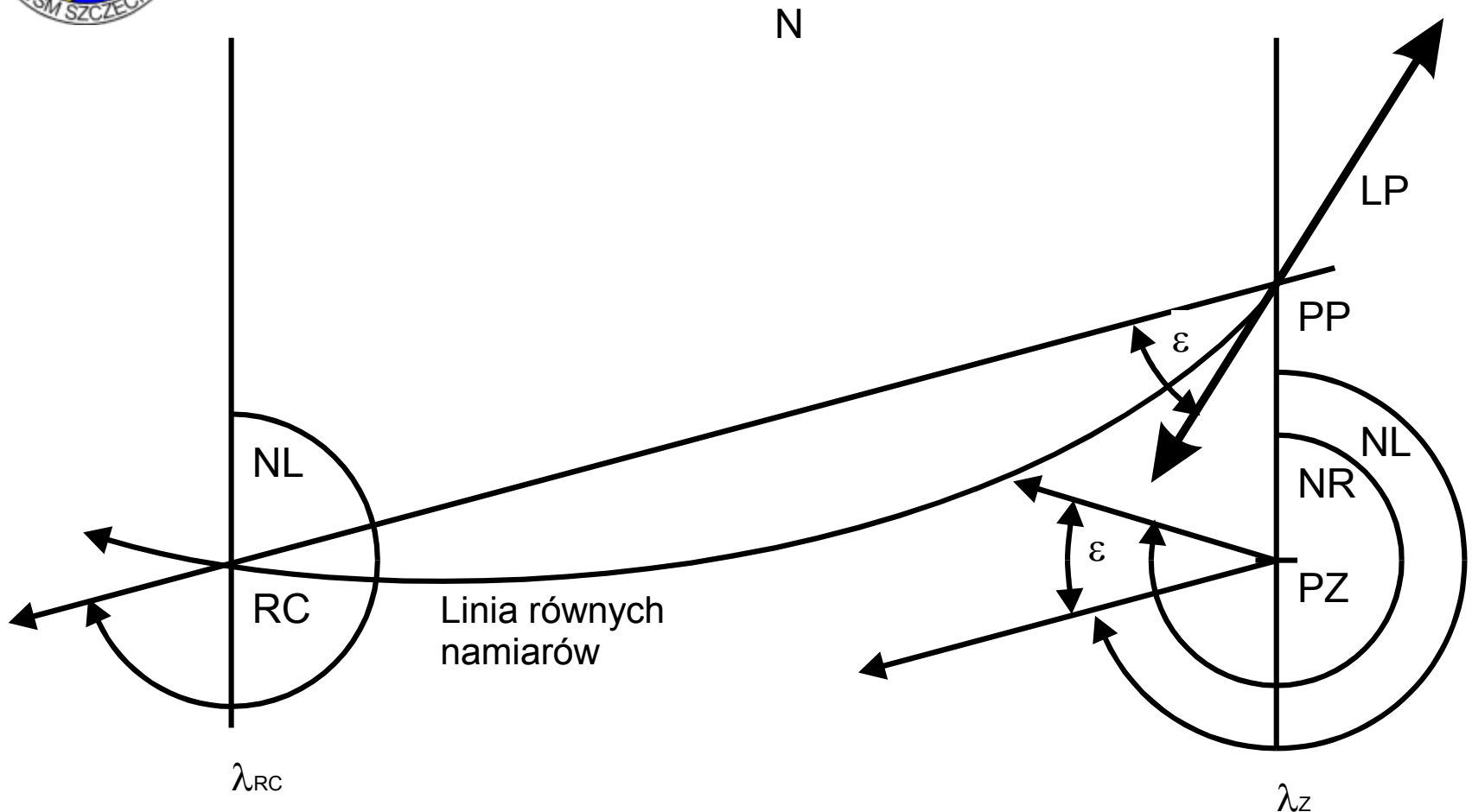
Wartości poprawki loksodromicznej można również uzyskać:

a) znajdując ją w tablicach nawigacyjnych, np. TN-74, gdzie nosi nazwę poprawki ortodromicznej,

b) korzystając z zamieszczonej w ALRS vol. 2 skali zbieżności południków albo diagramów przeznaczonych do obliczania poprawki loksodromicznej.



Systemy kątowe - radionamiary



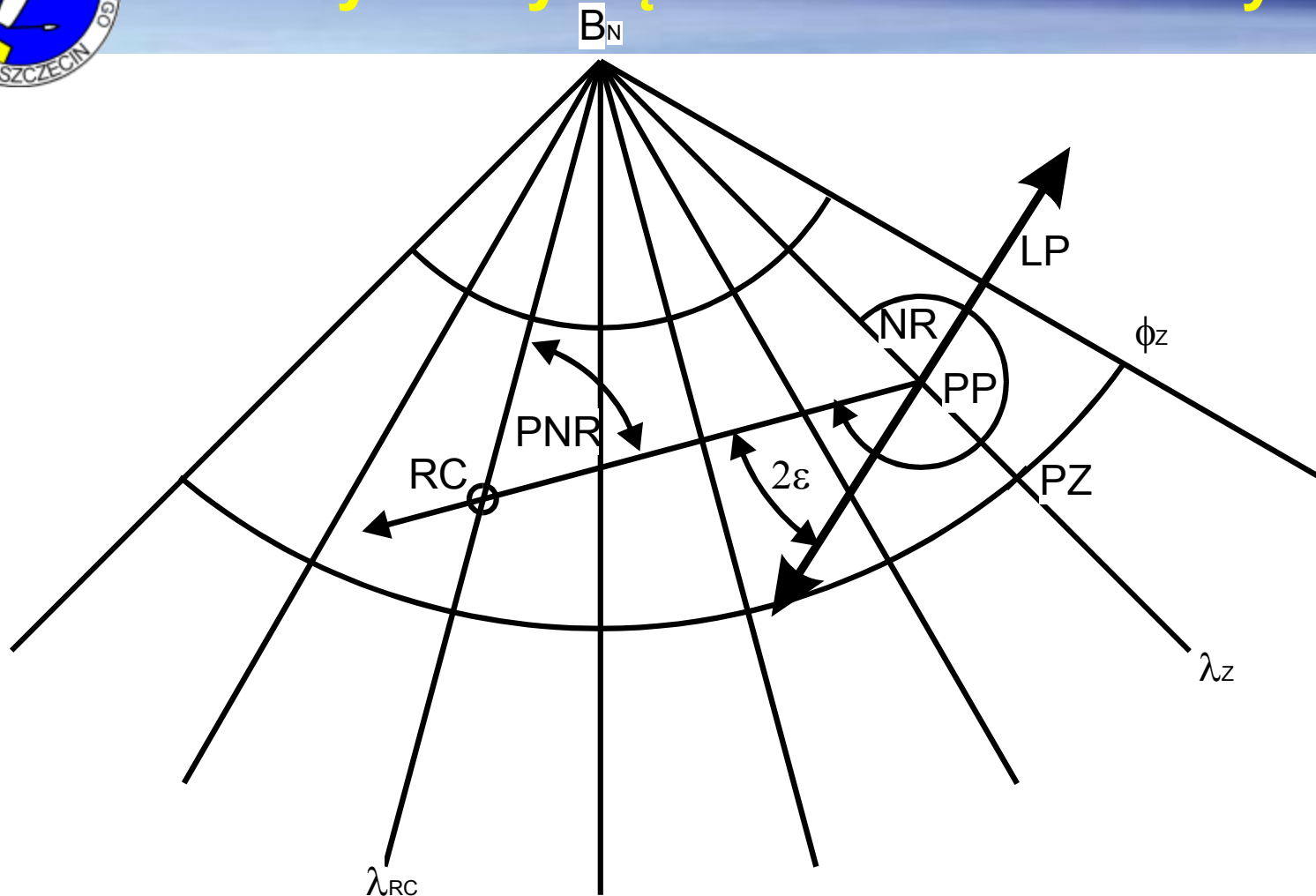
Określenie linii pozycyjnej z radionamiaru własnego w odwzorowaniu Merkatora:

NR - namiar radiowy ortodromiczny, NL - namiar loksodromiczny,

ε - poprawka loksodromiczna, PP - pozycja prawdopodobna, PZ - pozycja zliczona



Systemy kątowe - radionamiary



Określenie linii pozycyjnej z radionamiaru własnego w odwzorowaniu gnomonicznym:

NR - namiar radiowy ortodromiczny, PNR - przeciwnamiar ortodromiczny,

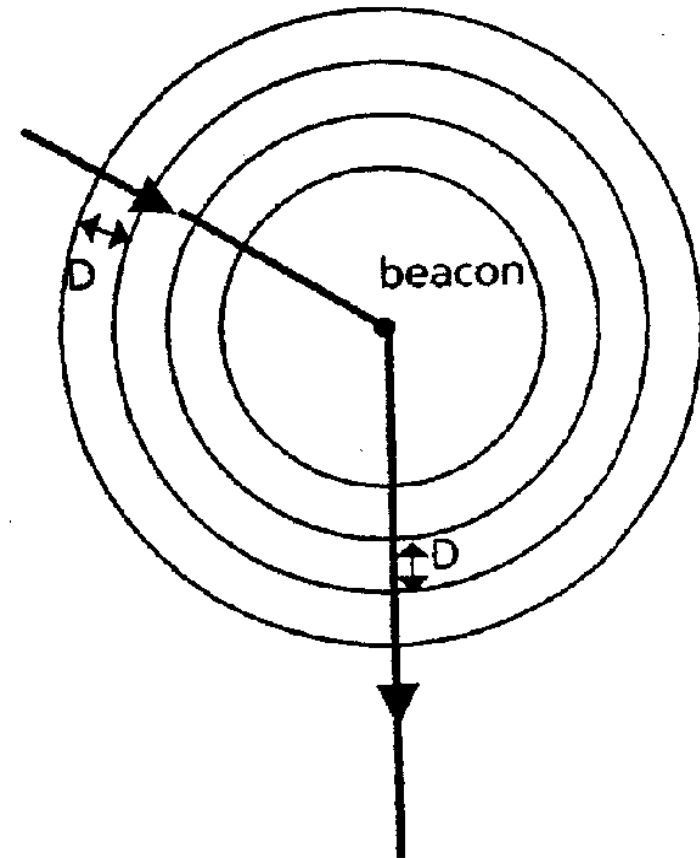
ε - poprawka loksodromiczna, PP - pozycja prawdopodobna, PZ - pozycja zliczona

Pomiar czasu:

$$d = c \cdot t = c \cdot (t_0 - t_n)$$

gdzie:

- c – prędkość fali elektromagnetycznej
- t – czas propagacji
- t_0 – moment wysłania fali elektromagnetycznej przez stację nadawczą
- t_n – moment odbioru fali elektromagnetycznej przez odbiornik
- D – szerokość pasa stadiometrycznego





Systemy stadiometryczne

Pomiar czasu może być realizowany w sposób następujący:

- stacja nadawcza i odbiorcza wyposażone są w dokładne wzorce czasu (metoda ta wymaga wzorców czasu o dużej dokładności wzajemnie zsynchronizowanych)
- jako pomiar „pseudoodległości”
- w transmisji stacji nadawczej wprowadza się znaczniki czasu służące synchronizacji
- stosuje się zespoły nadawczo-odbiorcze w stacji zapytującej i odzewowej



Systemy stadiometryczne

Pomiar pseudoodległości:

$$p_{Rsj} = c \times t_{Rsj}$$

$$p_{Rsj} = \sqrt{(x_R - x_{sj})^2 + (y_R - y_{sj})^2 + (z_R - z_{sj})^2} + c \times \Delta t_R$$



Systemy stadiometryczne

Pomiar fazy:

Emitowany przez stację nadawczą sygnał o częstotliwości f dociera do znajdującego się w odległości d odbiornika z opóźnieniem fazowym ϕ równym:

$$\phi = 2\pi f \left(\frac{d}{c} - t \right) + \phi_0$$

gdzie:

ϕ_0 - faza początkowa sygnału w chwili $t = 0$.

Przyjmując, że w chwili $t = 0$ mamy $\phi_0 = 0$ można zapisać, że opóźnienie fazowe wynosi:

$$\phi = 2\pi f \cdot \frac{d}{c} = 2\pi \cdot \frac{d}{\lambda}$$

gdzie:

λ - długość fali



Systemy stadiometryczne

Pomiar fazy:

Odległość d można przedstawić następująco:

$$d = k \cdot \lambda + \Delta d$$

Wówczas opóźnienie fazowe na tej trasie wyniesie:

$$\phi = k \cdot 2\pi + \phi_z$$

gdzie:

ϕ_z - faza zmierzona w punkcie odbiorczym.

W związku z tym faza zmierzona wynosi:

$$\phi_z = \frac{2\pi}{\lambda} (d - k\lambda) \quad \text{gdzie: } k \in \mathbf{N}$$

Szerokość pasa stadiometrycznego wynosi: $D = \lambda$

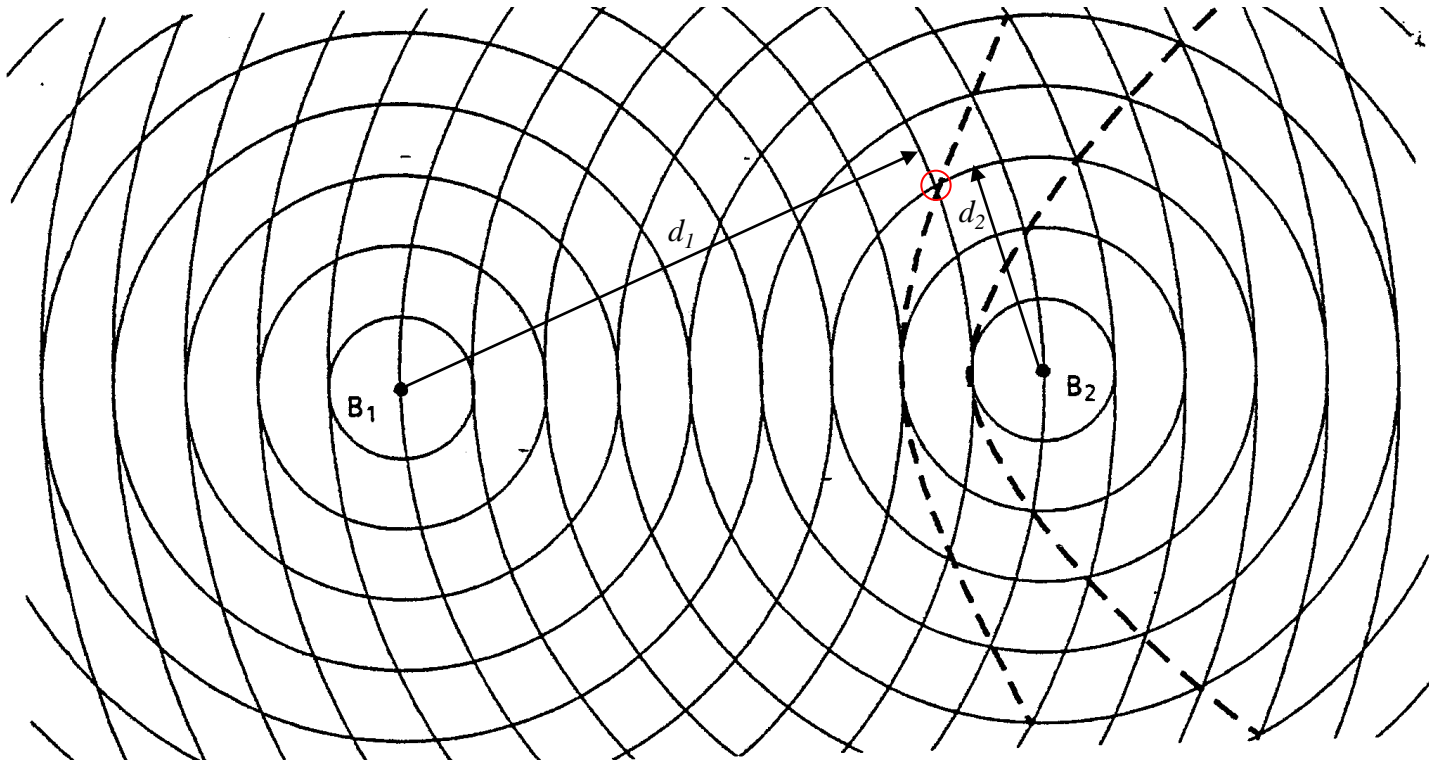


Systemy hiperboliczne

Pomiar różnicy czasu:

Pomiar różnicy czasu polega na porównaniu momentów odbioru sygnałów emitowanych przez dwie stacje nadawcze zsynchronizowane w czasie:

$$|d_1 - d_2| = c \cdot |t_1 - t_2| = c \cdot \Delta t$$





Systemy hiperboliczne

Pomiar różnicy czasu:

$$c \cdot \Delta t = \left| \sqrt{(x_R - x_{Mch})^2 + (y_R - y_{Mch})^2} - \sqrt{(x_R - x_{Schj})^2 + (y_R - y_{Schj})^2} \right|$$



Systemy hiperboliczne

Pomiar różnicy faz:

Pomiar różnicy faz polega na porównaniu faz fali ciągłej emitowanej przez dwie stacje.

Sygnaly docierają do odbiornika z następującymi opóźnieniami fazowymi:

$$\phi_1 = 2\pi f \left(\frac{d_1}{c} - t \right) + \Delta\phi_1$$

$$\phi_2 = 2\pi f \left(\frac{d_2}{c} - t \right) + \Delta\phi_2$$

gdzie: $\Delta\phi_1$ i $\Delta\phi_2$ są fazami początkowymi sygnałów.

Stąd mierzona przez odbiornik różnica opóźnień fazowych wynosi:

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = \frac{2\pi f}{c} (d_1 - d_2) + (\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)$$



Systemy hiperboliczne

Pomiar różnicy faz:

W przypadku zsynchronizowania (w fazie) emisji stacji nadawczych różnica faz początkowych sygnałów ($\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2$) powinna być wartością stałą i znaną, a w najprostszym przypadku równą zero.

Różnica faz określana jest wyłącznie w obrębie 2π .

Przy założeniu, że w punkcie odbioru faza sygnału docierającego ze stacji nadawczej jest równa:

$$\phi_i = \frac{2\pi}{\lambda}(d_i - k\lambda)$$

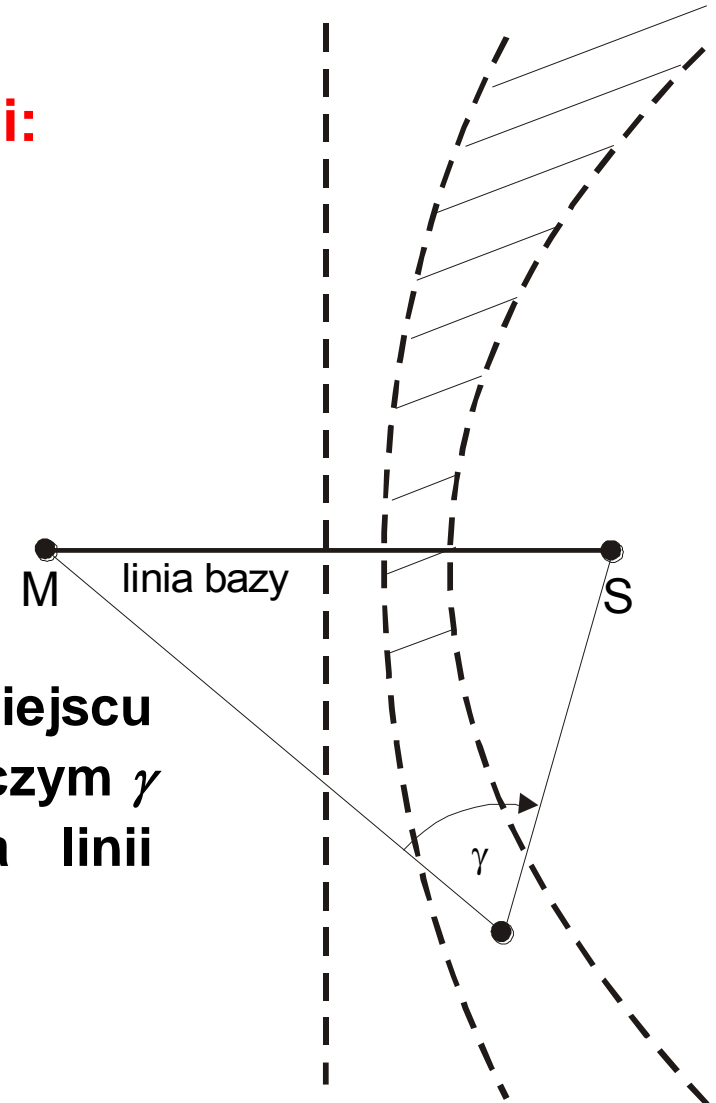
mierzona w odbiorniku różnica faz wynosi:

$$\Delta\phi_f = \frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) + k \cdot 2\pi$$

Szerokość pasa hiperbolicznego wynosi:

$$D_H = \frac{\lambda}{2} \quad - \text{ na linii bazy}$$

$$D_H = \frac{\lambda}{2 \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)} \quad - \text{ w dowolnym innym miejscu poza linią bazy, przy czym } \gamma \text{ jest kątem widzenia linii bazy}$$





Systemy hiperboliczne - interferencyjne

Powielanie częstotliwości:

Powielanie częstotliwości występuje w systemach wykorzystujących pomiar różnicy faz i służy do sprowadzenia sygnałów emitowanych na różnych częstotliwościach przez stacje nadawcze do jednej częstotliwości porównawczej. Częstotliwość porównawczą uzyskuje się w sposób następujący:

$$k_1 \times f_1 = k_2 \times f_2 = f_H$$

gdzie: k_1, k_2 – krotność powielenia

f_1, f_2 – częstotliwości emisji poszczególnych stacji

Aby zapewnić stałą relację $\frac{f_1}{f_2} = \frac{k_2}{k_1}$ częstotliwości f_1 i f_2 powstają przez powielenie jednej wspólnej częstotliwości zwanej podstawową. Istotą jest, aby powielanie nie zniekształcało informacji fazowej. Po stronie odbiorczej wygląda to tak jakby obie stacje emitowały falę o częstotliwości f_H , a nie f_1 i f_2 .



Systemy hiperboliczne - interferencyjne

Mieszanie częstotliwości:

Stacje emitują sygnały na częstotliwościach f_1 i f_2 . W miejscu odbiornika w wyniku mieszania sygnałów różnica opóźnień fazowych jest równa:

$$\Delta\phi = 2\Pi(f_1 - f_2) \cdot t - \frac{2\Pi}{c}(f_1 d_1 - f_2 d_2) + (\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)$$

Jeśli częstotliwości f_1 i f_2 są bardzo bliskie to zachodzi wówczas zdudnianie, w którym informacja fazowa zostaje przeniesiona na częstotliwość różnicową: $f_r = f_1 - f_2$. W związku z tym różnicę opóźnień fazowych określa się z zależności:

$$\Delta\phi = 2\Pi f_r t - \frac{2\Pi}{c} f_n (d_1 - d_2) + (\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)$$

gdzie: $f_n \approx f_1 \approx f_2$

Częstotliwością porównawczą, na której dokonywany jest pomiar jest w tym przypadku f_n równa w przybliżeniu częstotliwościom stacji nadawczych.



Systemy hiperboliczne - interferencyjne

Mieszanie częstotliwości:

Przedstawiona metoda wymaga przekazania do punktu odbiorczego fazy odniesienia, co jest realizowane poprzez **porównanie dudnień** lub **modulację amplitudy**.

Porównanie dudnień:

Stacja główna i stacja podległa emitują sygnały na dwóch częstotliwościach f_{M1} i f_{M2} oraz f_{S1} i f_{S2} tak dobranych, że:

$$f_{S1} - f_{M1} = f_{M2} - f_{S2} = f_r$$

gdzie f_r jest częstotliwością dudnień.

Pracę stacji synchronizuje dodatkowy odbiornik sprzężony ze stacją podległą. Częstotliwość na której dokonywany jest pomiar różnicy opóźnień fazowych równa jest sumie obu częstotliwości emitowanych przez każdą stację.

$$f_H = f_{M1} + f_{M2} = f_{S1} + f_{S2}$$



Systemy hiperboliczne - interferencyjne

Mieszanie częstotliwości:

Modulacja amplitudy:

Modulacja amplitudy polega na tym, że stacje nadawcze emitują sygnały na dwóch częstotliwościach f_1 i f_2 bardzo do siebie zbliżonych, zaś faza odniesienia przesyłana jest z dodatkowego nadajnika wysyłającego sygnały, których amplituda jest zmodulowana przebiegiem o częstotliwości powstałej w wyniku zdudnienia sygnałów docierających z obu stacji.