

O technologii pomiarów GPS RTK (Real Time Kinematic)

1. Wstęp

Pomiar RTK to na dzień dzisiejszy najnowocześniejsza na świecie technologia dokładnych pomiarów uzyskiwanych w czasie rzeczywistym bez wykonywania obliczeń po pomiarze w tzw. post-processingu. Metoda pomiaru kinetycznego RTK jest jedną z metod różnicowych stosującą poprawkę na przesunięcie fazowe GPS do wyliczenia współrzędnych z „centymetrową” dokładnością. Metody czasu rzeczywistego RTK z inicjalizacją On-The-Fly (OTF) umożliwiają szybkie (prawie natychmiastowe) wyznaczenie położenia centrum fazowego anteny odbiornika z dokładnością 1-2 cm. Wartość nieoznaczoności pomiarów fazowych jest szybko wyznaczana metodą filtracji Kalmana lub w odbiornikach nowej generacji metodą LAMBDA, zaproponowaną przez Teunissen. Czas inicjacji pomiarów w odbiorniku GPS przy wykorzystaniu tych metod wynosi ok. 10 sekund.

2. Metody wyznaczania pozycji w trybie RTK

Istnieją trzy metody precyzyjnego wyznaczania pozycji w trybie RTK na podstawie danych transmitowanych bezpośrednio ze stacji referencyjnych:

1/ Jedna stacja referencyjna

Odbiornik ruchomy wyznacza współrzędne punktu na podstawie sygnałów odebranych przez jego anteny: satelitarnych przez antenę GPS oraz sygnałów ze stacji referencyjnej przez antenę modemową lub telefon komórkowy.

2/ Wiele stacji referencyjnych

Nad co najmniej dwoma punktami o znanych współrzędnych ustawione są anteny odbiorników GPS pełniących funkcje stacji referencyjnych i wykorzystujących do transmisji różne częstotliwości. Odbiornik ruchomy wyznacza pozycje swojej anteny kolejno w odniesieniu do poszczególnych stacji poprzez zmianę kanału, otrzymując w wyniku pozycję uśrednioną. Możliwe jest także nadawanie danych przez różne stacje referencyjne na jednej częstotliwości z wykorzystaniem do transmisji różnych momentów czasu w epoce pomiarowej. Metoda ta sprowadza się do wielokrotnego powtórzenia niezależnych rozwiązań pojedynczego wektora i otrzymania w wyniku współrzędnych uśrednionych. Ich jakość będzie silnie zależała od jednorodności współrzędnych stacji referencyjnych.

3/ Sieć stacji referencyjnych

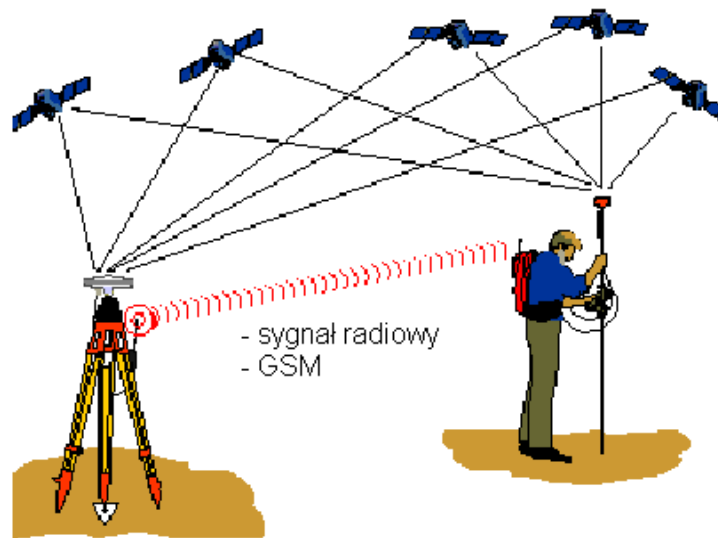
Sieć tworzą co najmniej trzy odbiorniki GPS. Generalnie istnieją dwa sposoby uwzględniania danych z sieci stacji referencyjnych przy precyzyjnym wyznaczaniu współrzędnych:

- FKP to niemiecki skrót od *Flachen Korrektur Parameter*
- VRS to angielski skrót od *Virtual Reference Station*

W obydwu przypadkach mamy do czynienia z powierzchniowymi systemami dystrybucji poprawek RTK. Możliwa jest też transmisja przez stacje referencyjne oryginalnych danych, które zostały przez nie odebrane z satelitów.

Istnieje także możliwość pośredniego wykorzystania obserwacji stacji referencyjnych, np. za pośrednictwem protokołu NTRIP w EUREF-IP.

W niniejszym opracowaniu omówimy metodę z jedną stacją referencyjną.



W metodzie tej są niezbędne co najmniej dwa odbiorniki GPS. Jeden odbiornik jest konieczny do utworzenia stacji referencyjnej (bazowej) GPS, prowadzącej ciągle obserwacje i wysyłającej dane w międzynarodowym formacie RTCM, bądź w formacie CMR opracowanym przez firmę Trimble za pomocą radiomodemu lub telefonu komórkowego GSM. Za pomocą radiomodemu transmituje surowe dane do jednego lub więcej odbiorników ruchomych (chodzących). Komputer polowy (kontroler) pracujący ze stacją ruchomą GPS wylicza na podstawie danych z punktu referencyjnego i chodzącego pozycję w dowolnym momencie.

Zazwyczaj odbiornik ruchomy przemieszcza się od punktu do punktu np. w celu zbierania danych lub tyczenia. Należy przyjąć, że obserwacje wykonywane w tym samym czasie i rejonie geograficznym przez dwa odbiorniki równocześnie są obciążone tymi samymi błędami systematycznymi. Porównanie wyników pomiarów z dwóch odbiorników i poddanie ich wspólnej obróbce wyeliminuje błędy systematyczne i otrzymamy bardzo dokładnie pomierzone współrzędne.

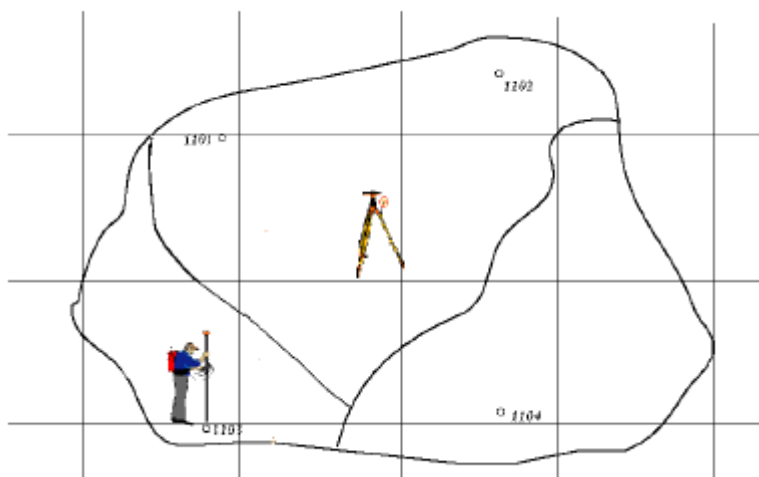
3. Istotne elementy pomiaru RTK

Najistotniejszymi elementami pomiaru RTK są:

1/ **Ustanowienie stanowiska /kalibracja systemu/**

Aby prowadzić pomiary metodą RTK należy ustalić wcześniej związek między WGS 84 (układem współrzędnych odniesienia GPS) a płaskim układem współrzędnych – lokalnym lub państwowym np. układem „1965”, w którym chcemy uzyskiwać wyniki pomiaru. Opcja oprogramowania kontrolera definiuje właśnie taki związek oraz określa położenie stacji referencyjnej GPS w wybranym układzie współrzędnych, stąd też nazwa Ustanowienie Stanowiska. W procesie ustalania tego związku uzyskujemy parametry transformacji, które mogą być wyliczone z danych pochodzących zarówno z nowego pomiaru jak i z danych już posiadanych. W zależności od posiadanego kontrolera można wyznaczyć 5-cio lub 7-mio parametrową transformację.

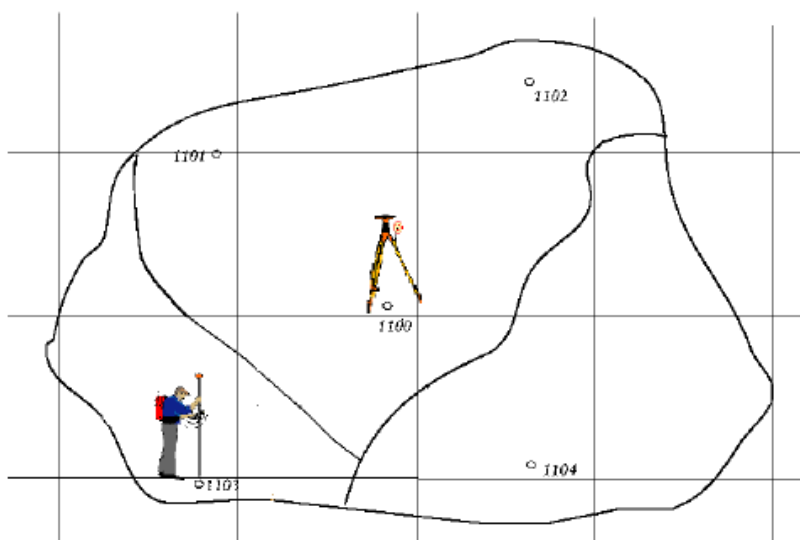
Jest kilka metod ustanowienia stanowiska i uzyskania parametrów transformacji w zależności od potrzeb i posiadanych danych. Np. metody: Punkt Swobodny, Punkt Znany, tworzą układ lokalny i są zalecane dla małych obszarów opracowania gdzie są dostępne dokładne współrzędne w układzie lokalnym.



W metodzie Punkt Swobodny odbiornik referencyjny ustawiamy w dowolnym punkcie /stanowisko swobodne/ i do nawiązania tegoż stanowiska swobodnego możemy wykorzystać nieskończoną liczbę punktów dostosowania o znanych współrzędnych w układzie lokalnym (zaleca się jednak wykorzystanie 4-6 punktów). Na ich podstawie tworzymy definicję lokalnego układu współrzędnych (Local Coordinate System LCS).

Współrzędne lokalne punktów dostosowania mogą być wprowadzane w trakcie procedury „stanowisko swobodne” a ich współrzędne WGS 84 mogą być wprowadzane zarówno ręcznie jak i pomierzone w terenie. Gdy wprowadzimy odpowiednią liczbę punktów dostosowania zostaną wyliczone metodą najmniejszych kwadratów parametry 5-cio lub 7-mio parametrowej transformacji oraz współrzędne punktu referencyjnego.

Raz zapisany lokalny układ współrzędnych w postaci pliku o rozszerzeniu LCS może być użyty wielokrotnie.



W metodzie Punkt Znany odbiornik referencyjny ustawiamy na punkcie o znanych współrzędnych lokalnych. W identycznej procedurze jak w metodzie Punkt Swobodny uzyskujemy parametry transformacji do układu lokalnego.

Parametry LCS są wyliczone utrzymując punkt znany jako ustalony.

2/ Inicjalizacja

Ważnym elementem pomiaru RTK jest inicjalizacja, która jest niezbędna na początku pomiaru i ewentualnie re-inicjalizacja w przypadku utraty sygnału czy to radiowego czy satelitarne. RTK stosuje technikę pomiaru różnicowego używając danych z dwóch odbiorników, dlatego też potrzebny jest dokładny pomiar odległości do każdego z widocznych satelitów. Odległość ta jest wyliczana jako ilość pełnych odłożeń długości fali i dodanej poprawki pomiaru fazy. Inicjalizacja to proces, w którym odbiorniki ustalają sobie pełne odłożenia długości fal do wszystkich satelitów. Proces ten jest również nazywany „rozwiązaniem niejednoznaczności”. Raz znalezione rozwiązanie jest utrzymywane przez odbiornik i odpowiednio korygowane ze względu na przemieszczanie się odbiornika ruchomego, dlatego też do wykonania każdego kolejnego pomiaru odbiornik potrzebuje tylko dodać poprawkę przesunięcia fazy.

Z kilku metod inicjalizacji wspomniemy tutaj o najpopularniejszej z nich – OTF. Inicjalizacja On-The-fly (OTF) – odbywa się w trakcie przemieszczania się odbiornika ruchomego. W inicjalizacji OTF wymagana jest łączność z 5-cio ma lub więcej satelitami wspólnymi dla odbiornika bazowego i chodzącego, natomiast po inicjalizacji do pomiaru wystarczają w zupełności 4 satelity. Odbiorniki dwu-częstotliwościowe inicjalizują się w kilka sekund, natomiast jedno-częstotliwościowe potrzebują kilka minut.

3/ Utrata kontaktu /łączności/

Utrata łączności objawia się z reguły w sytuacji utraty kontaktu odbiornika z satelitą powodującego utratę wyliczonej niejednoznaczności. Krytyczna utrata łączności pojawia się w sytuacji gdy odbiornik otrzymuje sygnał od mniej niż czterech satelitów.

Cztery satelity to minimalna liczba do określenia pozycji 3D. W przypadku RTK utratą kontaktu jest również utrata łączności radiowej między odbiornikami.

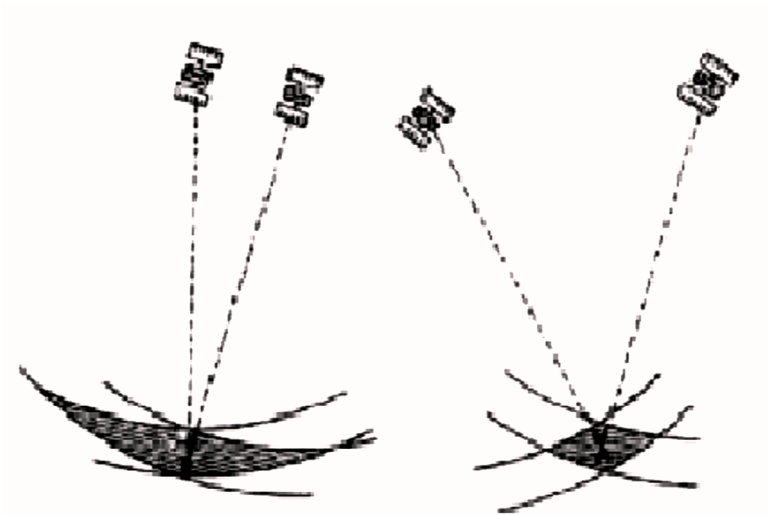
W każdym przypadku utraty kontaktu konieczna jest re-inicjalizacja systemu.

4/ Telemetria

RTK wymaga łączy radiowego, które przenosi dane z odbiornika referencyjnego do odbiornika ruchomego. Standardowo stosowane są radiomodemy i modemy GSM. Tryb pracy radiomodemu zwany jest trybem transparentnym, w którym dane są przesyłane w sposób ciągły a nie przesyłane w pakietach. Możliwości RTK w dużym stopniu zależą od wyboru odpowiedniej anteny i jakości łączy radiowego pomiędzy odbiornikiem referencyjnym a odbiornikiem ruchomym. Małe anteny wysyłają i odbierają większość ich energii przez koniuszek anteny. Anteny colinearne i anteny długie wysyłają i odbierają większość energii przez ściany anteny i są przez to bardziej wydajne dla celów RTK, zapewniając większy zasięg. Antena na punkcie referencyjnym powinna być umiejscowiona najwyżej jak to możliwe i najlepiej w pewnej odległości od odbiornika stacji referencyjnej. Niemniej należy pamiętać, że im dłuższy kabel między modemem a anteną tym większa strata mocy sygnału.

5/ DoP (Dilution of Precision)

W systemie GPS pozycję wyznacza się poprzez znalezienie punktu przecięcia linii pozycyjnych emitowanych przez satelity. Jednak każda taka linia obciążona jest pewnym błędem, tak więc miejsce przecięcia tych linii nie będzie punktem a pewnym obszarem zależnym od wzajemnego położenia satelitów. Sytuację dla dwóch satelitów ilustruje obrazek poniżej.



Tak powstały błąd nazywa się parametrem **DoP**. Parametr DoP opisuje pięć rodzajów rozprożeń:

- rozproszenie geometryczne - GDoP (wszystkie wymiary przestrzenne i czas)
- rozproszenie pozycji - PDoP (wszystkie wymiary przestrzenne)
- rozproszenie horyzontalne - HDoP (płaszczyzna ziemi)
- rozproszenie wertykalne - VDoP (wysokość)
- rozproszenie czasu TDoP

Ogólnie przyjmuje się, że jeżeli interesujący nas parametr DoP jest mniejszy od czterech to pomiar uważa się za autorytatywny, jeżeli DoP mieści się w przedziale cztery do sześciu to warto chwilę poczekać aż nadlecą inne satelity i będzie możliwy wybór innego zestawu, jeżeli parametr DoP jest większy od sześciu to nie należy zbytnio opierać się na wynikach obliczania pozycji.

4. Praktyczne wskazówki do pomiarów RTK

Położenie punktu referencyjnego – punkt referencyjny należy ustanawiać na otwartej przestrzeni z dobrą widocznością nieba najwyżej jak to możliwe na terenie zakresu pomiaru. Jeżeli część nieba będzie dla odbiornika referencyjnego przesłonięta, RTK nie będzie mogło uzyskać swojej wydajności.

Interwał śledzenia / Kąt odbiornika referencyjnego – zaleca się ustawienie interwału śledzenia na 1s a kąta widoczności /śledzenia/ na 10 lub wartość mniejszą od wartości ustawionej dla odbiornika ruchomego przy odległościach większych niż 10 km.

Interwał śledzenia / Kąt odbiornika ruchomego - zaleca się ustawienie interwału śledzenia na 1s a kąta widoczności /śledzenia/ na 10. 15 zaleca się wówczas gdy widocznych jest kilkanaście satelitów a ryzyko odbić jest bardzo duże.

PDOP – zaleca się pomiary przy PDOP nie większym od 5. Słaba geometria satelitów oznacza dłuższy czas pomiaru oraz konieczność częstego re-inicjalizowania systemu.

Utrata kontaktu – należy przewidywać kiedy i gdzie może nastąpić krytyczna utrata kontaktu /obserwowanie mniej niż czterech wspólnych satelitów/. Przed wejściem w taki obszar /blisko budynków, drzew itp./ powinno pomierzyć się bardzo starannie łatwy do zidentyfikowania punkt, który pozwoli na szybką re-inicjalizację w wypadku utraty kontaktu jak również na wykonanie pomiaru kontrolnego.

Antena – zasięg anteny zależy od lokalnych warunków terenowych, pogody i jej ustawienia. Antena odbiornika referencyjnego winna być ustawiona wysoko na otwartej przestrzeni. Pracując na odległościach 2-3 km zaleca się ustawienie anten: radiowej i GPS w odległości kilku metrów od siebie. Zalecamy również stosowanie anten colinarnych lub anten długich.

Odbicia – tak ustawiać anteny odbiorników by zminimalizować ryzyko odbić.

5. Propozycja wykazu dokumentów z pomiaru RTK niezbędnych do złożenia operatu technicznego.

- 1/ Protokół z ustanowienia stanowiska /kalibracji systemu/
- 2/ Szkic z rozmieszczenia punktów: referencyjnego i dostosowania
- 3/ Residua uzyskane na punktach dostosowania
- 4/ Dzienniki z pomiaru RTK, w których powinny być:
 - a/ obligatoryjnie
 - **typ i numer seryjny odbiornika GPS użytego do pomiaru**
 - **typ i numer seryjny anteny GPS użytej do pomiaru**
 - **karta gwarancyjna producenta (serwisu), lub zaświadczenie (certyfikat) jakości i dokładności.**
 - wysokość anteny nad punktem pomierzona na początku i na końcu sesji obserwacyjnej,
 - imię i nazwisko wykonującego pomiar
 - data wykonania pomiaru na punkcie,
 - czas rozpoczęcia i zakończenia pomiaru
 - nr punktu mierzonego lub kontrolnego
 - współrzędne x, y, h
 - błąd pomiaru punktu
 - b/ nieobligatoryjnie
 - kod punktu (szczególnie w przypadku gdy nie jest prowadzony szkic polowy)
 - informacje dotyczące mierzonego punktu (np. średnica studni, głębokość studni, rodzaj słupa, itp.)

Załączniki:

Przykładowe dokumenty do operatu.

Opracowanie:
Stanisław Wesołowski
Jan Siedlecki
Krzysztof Grądzki

Zatwierdził:
WINGiK
Regina Zagala