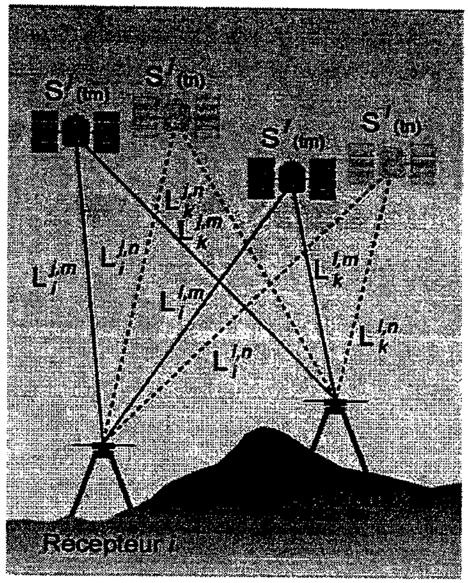
گیرنده‌ها و تفاضلی دوگانه بین گیرنده‌ها و ماهواره‌ها آمده است (Abousalem, 1996). همانگونه که از جدول (۱) پیداست، برای طول های کوتاه می‌توان از خطاهای مداری، یونسفری و تروپوسفری در روش هـای تفاضلی صرفنظر کرد.

تعیین موقعیت تفاضلی سه گانه

مطابق نگاره (۶) این نوع تعیین موقعیت تفاضلی مبتنـی بـر مشـاهده ترکیـب تفاضـلی بـین دو گیرنـده و دو ماهواره در دو اپک متوالی ($\delta\nabla\Delta$) است. دراین نوع تعیین موقعیت تفاضلی، خطاهای ساعت گیرنده و ماهواره و نیز ابهام فاز اولیه حذف و در صورت کوتاه بودن فاصـله بـین دو گیرنـده، خطاهـای مـداری و اتمسـفری و یونسفری نیز به شدت کاهش می یابند. اما مطابق قانون انتشار خطاها، خطاهای چندمسـیری و نـویز گیرنـده تشدید می‌شوند. از این نوع تعیین موقعیت عمدتا برای کشف جهش فازها و بـرآورد بهتـرین مختصـات اولیـه ایستگاه های زمینی و سایر مقادیر مجهول استفاده می‌شود. معادلات مربوط به این نوع تعیین موقعیـت بـرای مشاهدات شبه فاصله کد و فاز موج حامل به صورت زیر می باشند (Wells,1986).

$$\delta\nabla\Delta P = \delta\nabla\Delta\rho + \delta\nabla\Delta d\rho + \delta\nabla\Delta d_{ion} + \delta\nabla\Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta\nabla\Delta P_{mult}) + \varepsilon(\delta\nabla\Delta P_{rx}) \qquad (۱۵)$$

$$\delta\nabla\Delta\Phi = \delta\nabla\Delta\rho + \delta\nabla\Delta d\rho - \delta\nabla\Delta d_{tion} + \delta\nabla\Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta\nabla\Delta\Phi_{mult}) + \varepsilon(\delta\nabla\Delta\Phi_{rx}) \qquad (۱۶)$$



نگاره ۶– تفاضل سه گانه بین دو گیرنده و دو ماهواره در دو مقطع زمانی

تعیین موقعیت تفاضلی در حالت های استاتیک و کینماتیک

همانگونه که می‌دانیم بسته به نوع کاربرد ممکن است گیرنده مجهول در یک محل ساکن بماند یا در یک مسیر حرکت نماید. از آنجا که درتعیین موقعیت عمدتا از روش های تفاضلی استفاده می شود، لذا در زیر به بررسی حالات استاتیکی و کینماتیکی تعیین موقعیت تفاضلی می پردازیم.

حالت استاتیک

در هر پروژه های نقشه برداری استاتیک که به منظور تعیین موقعیت های نسبی دقیق اجرا می شوند، حداقل از دو گیرنده با قابلیت دریافت فاز استفاده می شود که هر دو گیرنده (در ایستگاه های معلوم و مجهول) در طول مدت اندازه گیری جابجا نمی شوند و ثابت باقی می مانند. با این فرض که هر دو گیرنده در ایستگاه های A و B قادر به ردیابی ماهواره های یکسان و ثبت مشاهده فاز در هر لحظه هستند، در زیر به بررسی حالات مختلف تعیین موقعیت های نسبی می پردازیم.

تفاضلی یگانه بین گیرنده ها: برای بررسی ساده تر، معادله (۱۲) را برای ایستگاه های A و B و ماهواره k در لحظه t به صورت زیر در نظر می گیریم (Hofmann,1994).

$$\Delta\Phi^{k}_{AB}(t) = \Delta\rho^{k}_{AB}(t) + \lambda\Delta N^{k}_{AB} + c\delta t_{AB}(t) \qquad (۱۷)$$

چنانچه تعداد ماهواره ها را با n_s و تعداد اپک های مشاهداتی را به n_t نمایش دهیم، نامعادله زیر برای رسیدن به جواب باید برقرار باشد.

$$n_s n_t \geq 3 + n_s + n_t \qquad (۱۸)$$

نا معادله فوق را می توان بصورت زیر بازنویسی کرد.

$$n_t \geq \frac{n_s+3}{n_s-1} \qquad (۱۹)$$

حداقل اپوک

از نا معادله (۱۹) پیداست که هرگز با داشتن یک ماهواره نمی توان به جواب رسید. چنانچه تعداد ماهواره ها را $n_s = 2$ در نظر بگیریم، به طور تئوریک باید حداقل پنج اپک مشاهده انجام دهیم ($n_t \geq 5$) تا به جواب برسیم. با فرض وجود حداقل ۴ ماهواره قابل ردیابی ($n_s = 4$)، حداقل ۳ اپک مشاهداتی ($n_t \geq 3$) مورد نیاز است، یعنی $n_t \geq \frac{7}{3}$.

تفاضلی دوگانه بین گیرنده ها و ماهواره ها: با همان منطق قبلی، معادله (۱۴) را برای دو گیرنده A و B و دو ماهواره k و l در لحظه t می توان بصورت زیر در نظرگرفت (Hofmann,1994).

$$\Delta\nabla\Phi_{AB}^{kl}(t) = \Delta\nabla\rho_{AB}^{kl}(t) + \Delta\nabla N_{AB}^{kl} \quad (۲۰)$$

با توجه به تعداد مشاهدات و مجهولات، برای رسیدن به جواب باید نامعادله زیر برقرار باشد.

$$(n_s - 1)n_t \geq 3 + (n_s - 1) \quad (۲۱)$$

در نامعادله فوق تعداد مشاهدات برابر $(n_s - 1)n_t$ و تعداد مجهولات با احتساب مختصات گیرنده و ابهام فاز های تفاضلی دوگانه برابر با $3 + (n_s - 1)$ می باشد. نا معادله (۲۱) را می توان به صورت زیر نیز نمایش داد.

$$n_t \geq \frac{n_s + 2}{n_s - 1} \quad (۲۲)$$

چنانچه تعداد ماهواره های موردنیاز را حداقل ۲ در نظر بگیریم $(n_s \geq 2)$، در این صورت تعداد اپک‌ها باید حداقل ۴ باشد $(n_t \geq 4)$، و اگر فرض نماییم که حداقل ۴ ماهواره قابل ردیابی باشد $(n_s \geq 4)$، در این صورت حداقل ۲ اپک مشاهداتی مورد نیاز است $(n_t \geq 2)$.

تفاضلی سه گانه: با مفروضات قبلی در مورد خطاها، معادله (۲۳) به صورت زیر برای دو لحظه t_1 و t_2 قابل نمایش می باشد. در این معادله مجهولات ما تنها سه مولفه مختصات ایستگاه مجهول در مقابل $(n_t - 1)(n_d - 1)$ مشاهده است (Hofmann,1994).

$$\delta\Delta\nabla\Phi_{AB}^{kl}(t_{12}) = \delta\Delta\nabla\rho_{AB}^{kl}(t_{12}) \quad (۲۳)$$

شرط رسیدن به جواب برای معادله مشاهده فوق، برقراری نامعادله زیر می‌باشد.

$$(n_t - 1)(n_s - 1) \geq 3 \qquad (۲۴)$$

با تغییر آرایش می توان نامعادله (۲۴) را به صورت زیر نمایش داد.

$$n_t \geq \frac{n_s + 2}{n_s - 1} \qquad (۲۵)$$

از نامعادله (۲۵) پیداست که با ردیابی حداقل ۲ ماهواره ($n_s \geq 2$) به ۴ اپک ($n_t \geq 4$) نیاز است. اگر تعداد ماهواره ها را حداقل ۴ ($n_s \geq 4$) در نظر بگیریم در آن صورت تعداد اپک‌های موردنیاز حداقل ۲ ($n_t \geq 2$) می باشد.

حالت کینماتیک

در تعیین موقعیت‌های نسبی کینماتیکی تنها گیرنده مستقر در ایستگاه معلوم A ثابت مانده و گیرنده ایستگاه مجهول B در حال حرکت است و بنابراین باید در هر لحظه موقعیت آن را تعیین کرد. بنابراین با در نظر داشتن معادلات مشاهدات تفاضلی فاز موج حامل (۱۷)، (۲۰) و (۲۳) برای حالت های تفاضلی یگانه، دوگانه و سه گانه، شرط رسیدن به جواب برقراری نامعادلات زیر می باشد.

تفاضلی یگانه : $n_s n_t \geq 3n_t + n_s + n_t$ (۲۶)

تفاضلی دوگانه : $(n_s - 1)n_t \geq 3n_t + (n_s - 1)$ (۲۷) $n-1$ [illegible]

که تعداد ماهواره

تفاضلی سه گانه : $(n_s - 1)(n_t - 1) \geq 3n_t$ (۲۸)

به روشنی می‌توان دید که دستیابی به موقعیت گیرنده متحرک در هر اپک بر پایه مشاهدات فاز موج حامل ممکن نیست، مگر اینکه در شروع عملیات به نحوی ابهام فاز اولیه حل گردد. درصورت حل ابهام فاز اولیه با داشتن حداقل ۴ ماهواره ($n_s \geq 4$) در هر لحظه، در حالت تفاضلی یگانه می‌توان به مختصات ایستگاه متحرک رسید. چنانچه بخواهیم از روش تفاضلی سه گانه استفاده نماییم لازم است که موقعیت گیرنده محترک را حداقل در یک اپک بویژه در شروع عملیات بدانیم دراین صورت با داشتن حداقل ۴ ماهواره ($n_s \geq 4$) در هر لحظه می‌توان موقعیت گیرنده متحرک را تعیین نمود.

ضریب تعدیل دقت (DOP)

یکی از عوامل محدود کننده درتعیین موقعیت GNSS مسئله ترکیب هندسی ماهواره های مورد ردیابی با ایستگاه استقرار گیرنده می‌باشد. کمیتی که بتوان با آن اثر ترکیب هندسی را روی دقت تعیین موقعیت محاسبه نمود، معیار DOP (Dilution of Precision) است. DOP در واقع بنا به تعریف عبارتست از نسبت بین دقت تعیین موقعیت σ و دقت اندازه گیری σ_0 که بصورت زیر نمایش داده می‌شود (Hofmann,1994).

$$DOP = \frac{\sigma}{\sigma_0} \tag{۲۹}$$

با توجه به رابطه فوق می توان تعاریف خاصی از DOP بصورت زیر ارائه داد.

$GDOP.\sigma_0$: دقت هندسی در موقعیت و زمان (X,Y,Z,t)

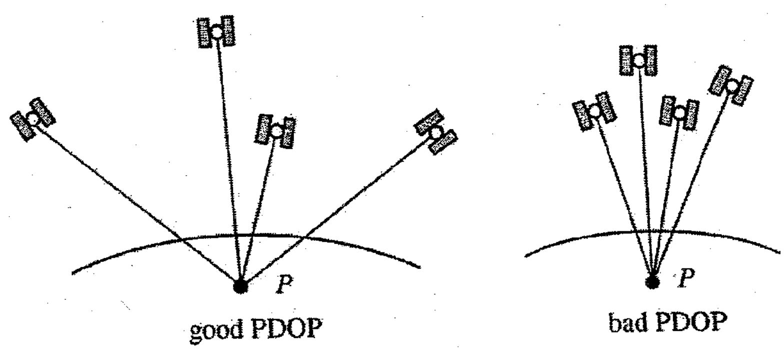
$PDOP.\sigma_0$: دقت درموقعیت سه بعدی (X,Y,Z)

$TDOP.\sigma_0$: دقت در زمان (t)

$HDOP.\sigma_0$: دقت در موقعیت مسطحاتی (φ,λ)

$VDOP.\sigma_0$: دقت در موقعیت ارتفاعی (h)

چنانچه تنها چهارماهواره در نظر گرفته شود، بهترین آرایش هندسی برای تعیین موقعیت، زمانی است که حجم هرم متشکل از ماهواره‌ها و گیرنده بیشترین مقدار باشد. در این صورت DOP کمترین مقدار و در نتیجه بهترین دقت برای تعیین موقعیت حاصل می شود. نگاره (۷) دوحالت خوب و بد برای $PDOP$ را نمایش می دهد.



نگاره ۷- ترکیب هندسی ماهواره ها و $PDOP$

مدل ریاضی تعیین موقعیت نقطه ای با سنجه کد

برای سنجه کد در هر لحظه معادله مشاهده ساده شده زیر را مجددا در نظر می گیریم که حاوی چهار مجهول (X_i, Y_i, Z_i) مختصات ایستگاه و ساعت گیرنده (δt_i) می باشد.

$$P_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\delta t_i(t) \qquad (۳۰)$$

سه مجهول مختصات ایستگاه (X_i, Y_i, Z_i) از طریق رابطه زیر در معادله مشاهده سنجه کد مستتر است.

$$\rho_i^j(t) = f(X_i, Y_i, Z_i) = \sqrt{(X^j - X_i)^2 + (Y^j - Y_i)^2 + (Z^j - Z_i)^2} \qquad (۳۱)$$

مختصات ایستگاه

مختصات ماهواره j نیز که در رابطه فوق آمده اند (X^j, Y^j, Z^j)، در لحظه از طریق پیام های ناوبری معلوم فرض می شوند. در واقع مجهولات اصلی مختصات گیرنده می باشند. با داشتن مختصات تقریبی گیرنده (X_0, Y_0, Z_0) می توان مقادیر تصحیح آنها ($\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$) را به عنوان مجهول در نظر گرفت و به دست آورد.

$$X_i = X_0 + \Delta X_i \quad Y_i = Y_0 + \Delta Y_i \quad Z_i = Z_0 + \Delta Z_i \tag{۳۱}$$

بنابراین رابطه (۳۱) را می توان به صورت تابعی از مجهولات جدید ($\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$) نوشت.

$$\rho_i^j(t) = f(X_i, Y_i, Z_i) = f(X_0 + \Delta X_i, Y_0 + \Delta Y_i, Z_0 + \Delta Z_i) \tag{۳۲}$$

حال با توجه به غیر خطی بودن رابطه فوق، آن را حول مختصات تقریبی گیرنده (X_0, Y_0, Z_0) با استفاده از سری تیلور بسط می دهیم.

$$\begin{aligned} f(X_i, Y_i, Z_i) = {} & f(X_0, Y_0, Z_0) \\ & + \frac{\partial f(X_0, Y_0, Z_0)}{\partial X_0}\Delta X_i + \frac{\partial f(X_0, Y_0, Z_0)}{\partial Y_0}\Delta Y_i + \frac{\partial f(X_0, Y_0, Z_0)}{\partial Z_0}\Delta Z_i \\ & + \frac{1}{2!}\frac{\partial^2 f(X_0, Y_0, Z_0)}{\partial X_0^2} + \cdots \end{aligned} \tag{۳۳}$$

برای پرهیز از حالت غیر خطی به ناچار از عبارت های خطی به بعد در بسط تیلور صرفنظر می کنیم. مقادیر سمت راست معادله (۳۳) بر اساس مختصات تقریبی ایستگاه به صورت زیر بیان می شوند.

$$\rho_0^j(t) = f(X_0, Y_0, Z_0) = \sqrt{(X^j - X_0)^2 + (Y^j - Y_0)^2 + (Z^j - Z_0)^2} \tag{۳۴}$$

$$\frac{\partial f(X_0,Y_0,Z_0)}{\partial X_0}=-\frac{X^j(t)-X_0}{\rho_0^j(t)}$$
$$\frac{\partial f(X_0,Y_0,Z_0)}{\partial Y_0}=-\frac{Y^j(t)-Y_0}{\rho_0^j(t)}$$
$$\frac{\partial f(X_0,Y_0,Z_0)}{\partial Z_0}=-\frac{Z^j(t)-Z_0}{\rho_0^j(t)} \qquad (۳۵)$$

اکنون رابطه (۳۰) به صورت زیر قابل بازنویسی است.

$$P_i^j(t)=\rho_0^j(t)-\frac{X^j(t)-X_0}{\rho_0^j(t)}\Delta X_i-\frac{Y^j(t)-Y_0}{\rho_0^j(t)}\Delta Y_i-\frac{Z^j(t)-Z_0}{\rho_0^j(t)}\Delta Z_i+c\delta t_i(t) \qquad (۳۶)$$

مقدار تقریبی فاصله بین گیرنده و ماهواره در لحظه t ($\rho_0^j(t)$) را به سمت چپ معادله فوق منتقل نموده و سپس آن را به صورت زیر خلاصه می کنیم.

$$l_i^j(t)=a_{Xi}^j\Delta X_i+a_{Yi}^j\Delta Y_i+a_{Zi}^j\Delta Z_i+c\delta t_i(t) \qquad (۳۷)$$

که در آن

$$l_i^j(t)=P_i^j(t)-\rho_0^j(t) \qquad (۳۸)$$
$$a_{Xi}^j=-\frac{X^j(t)-X_0}{\rho_0^j(t)}$$
$$a_{Yi}^j=-\frac{Y^j(t)-Y_0}{\rho_0^j(t)}$$
$$a_{Zi}^j=-\frac{Z^j(t)-Z_0}{\rho_0^j(t)}$$

بنابراین بدون نیاز به در نظر گرفتن ماتریس وزن مشاهدات می توان به جواب سرشکنی کمترین مربعات رسید.

$$\underline{\hat{X}} = \left(\underline{A}^T \underline{A}\right)^{-1} \underline{A}^T \underline{L} \tag{۴۵}$$

در نتیجه ماتریس وریانس کوریانس مجهولات به صورت زیر به دست می آید.

$$\underline{C}_{\hat{X}} = \left(\underline{A}^T \underline{A}\right)^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma^2_{X_r} & \sigma_{X_rY_r} & \sigma_{X_rZ_r} & \sigma_{X_rt_r} \\ \sigma_{X_rY_r} & \sigma^2_{Y_r} & \sigma_{Y_rZ_r} & \sigma_{Y_rt_r} \\ \sigma_{X_rZ_r} & \sigma_{Y_rZ_r} & \sigma^2_{Z_r} & \sigma_{Z_rt_r} \\ \sigma_{X_rt_r} & \sigma_{Y_rt_r} & \sigma_{Z_rt_r} & \sigma^2_{t_r} \end{bmatrix} \tag{۴۶}$$

با توجه به اینکه مختصات ایستگاه مجهول گیرنده در دستگاه مختصات زمین چسب به دست آمده است، عناصر مختصاتی ماتریس وریانس کوریانس مجهولات نیز در همین دستگاه به دست آمده اند. چنانچه نیاز به مقادیر وریانس کوریانس در مولفه های مختصات محلی (مسطحاتی و ارتفاعی) باشد، باید از تبدیل زیر استفاده شود.

تبدیل ماتریسی به φ و λ و h

$$\underline{C}_{\hat{\ell}} = \underline{R}\underline{C}_{\hat{X}}\underline{R}^T = \begin{bmatrix} \sigma^2_{n_r} & \sigma_{n_re_r} & \sigma_{n_rh_r} \\ \sigma_{n_re_r} & \sigma^2_{e_r} & \sigma_{e_rh_r} \\ \sigma_{n_rh_r} & \sigma_{e_rh_r} & \sigma^2_{h_r} \end{bmatrix} \tag{۴۷}$$

که ماتریس تبدیل $\underline{R}$ بر حسب طول ژئودتیک ایستگاه (λ) و عرض ژئودتیک ایستگاه (φ) به صورت زیر معرفی می شود.

$$\underline{R}=\begin{bmatrix}-\sin\varphi\cos\lambda & -\sin\varphi\sin\lambda & \cos\varphi\\ -\sin\lambda & \cos\lambda & 0\\ \cos\varphi\cos\lambda & \cos\varphi\sin\lambda & \sin\varphi\end{bmatrix}$$

اکنون با داشتن ماتریس واریانس کوواریانس مختصات محلی ایستگاه، می توانیم با روابط زیر *DOP* را برای مولفه های مختلف محاسبه نماییم. دقت مورد نظر

$$DOP=\frac{\sigma}{\sigma_0} \rightarrow$$ دقت ذاتی مشاهدات $\boxed{0/01}$

$$\begin{aligned} VDOP &= \sigma_{h_r}^2 \\ HDOP &= \sqrt{\sigma_{n_r}^2+\sigma_{e_r}^2} \\ PDOP &= \sqrt{\sigma_{n_r}^2+\sigma_{e_r}^2+\sigma_{h_r}^2} \\ TDOP &= \sigma_{t_r}^2 \\ GDOP &= \sqrt{\sigma_{n_r}^2+\sigma_{e_r}^2+\sigma_{h_r}^2+\sigma_{t_r}^2} \end{aligned} \qquad (۴۸)$$

از مولفه ارتفاعی (VDOP)؛ از هر سه (PDOP)؛ زمان (TDOP)

تبدیل اطلاعات مداری ماهواره به مختصات ماهواره در دستگاه زمین چسب

همانطور که می دانیم اطلاعات مداری ماهواره ها از طریق پیام های ناوبری برای کاربران سامانه های تعیین موقعیت ماهواره ای ارسال می شود. این اطلاعات معمولا برای فواصل زمانی معینی توسط ایستگاه های کنترل سامانه های تعیین موقعیت ماهواره ای محاسبه و منتشر می شوند. کاربران برای تعیین موقعیت هر لحظه دلخواه خود نیاز به مختصات ماهواره ها دارند. بر این اساس در این بخش سعی می شود ضمن معرفی اطلاعات مداری انتشاری هر ماهواره به چگونگی تبدیل آنها به مختصات ماهواره در هر لحظه بپردازیم. پیام های ناوبری با قالب مشخصی شامل پارامترهای انتشاری مندرج در جدول (۲) برای هر ماهواره می باشد.

VDoP برابر با 4 می باشد دقت تعیین موقعیت برای کد C.a با طول موج 300m برابر 16m می باشد
HDoP را برای این موقعیت محاسبه نمایید

$$VDoP=\sigma=4$$

$$\sigma=\underset{3^m}{\sigma_0}\times PDoP=16^m \Rightarrow PDoP\cong 5$$

$$PDoP=\sqrt{HDoP^2+VDoP^2}$$

$$5=\sqrt{\ldots+16}$$

جدول ۲- مولفه های اطلاعات مداری ماهواره ها

$SVPRN$:	شماره ماهواره
t_{0e}:	زمان مرجع اطلاعات مداری(زمان مرجع زمانی اطلاعات ارسال جدید)
M_0:	آنومالی متوسط
$\sqrt{a}$:	جذر نیم قطر بزرگ بیضی مدار حرکت ماهواره
e:	خروج از مرکزی اول بیضی مدار حرکت ماهواره
Ω_0:	بعد نقطه گرهی صعودی
$\dot{\Omega}_0$:	نرخ بعد نقطه گرهی صعودی (مشتق زمانی)
i_0:	میل صفحه مداری
$\dot{i}_0$:	نرخ میل صفحه مداری
ω_0:	آرگومان پریجی
Δn:	تغییر سرعت زاویه ای متوسط
$C_{\omega c}, C_{\omega s}, C_{rc}, C_{rc}, C_{ic}, C_{ic}$:	ضرایب تصحیح آرگومان پریجی، شعاع مداری و میل ناشی از نیروهای اغتشاشی

آلگوریتم مورد نظر در محاسبه مختصات ماهواره با استفاده اطلاعات مداری، به صورت مرحله ای زیر معرفی می شود.

۱- استخراج پارامترهای مندرج در جدول فوق از پیام های ناوبری و تعیین زمان مورد نظر (t) برای محاسبه مختصات ماهواره.

۲- محاسبه اختلاف زمان مورد نظر (t) با زمان مرجع (t_{0e}):

$$t_k = t - t_{0e} \tag{۴۹}$$

۳- محاسبه آنومالی متوسط برای زمان دلخواه (M_k):

$$M_k = M_0 + \left(\sqrt{GM/a^3} + \Delta n\right)t_k \tag{۵۰}$$
$$GM = 3.986004418 \times 10^{18}\, m^3/s^2$$

۴- حل بازگشتی آنومالی خارج از مرکزی (E_k):

$$E_k = M_k + e\sin E_k \qquad (۵۱)$$

۵- محاسبه آنومالی حقیقی ():

$$f_k = \arctan\left(\frac{\sqrt{1-e^2}\sin E_k}{\cos E_k - e}\right) \qquad (۵۲)$$

۶- تصحیح اغتشاشات مداری به آرگومان پریجی:

$$\omega_k = \omega_0 + C_{\omega c}\cos 2(\omega_0 + f_k) + C_{\omega s}\sin 2(\omega_0 + f_k) \qquad (۵۳)$$

۷- تصحیح اغتشاشات مداری به شعاع مداری:

$$r_k = a(1 - e\cos E_k) + C_{rc}\cos 2(\omega_0 + f_k) + C_{rs}\sin 2(\omega_0 + f_k) \qquad (۵۴)$$

۸- تصحیح اغتشاشات مداری به زاویه میل:

$$i_k = i_0 + \dot{i}t_k + C_{ic}\cos 2(\omega_0 + f_k) + C_{is}\sin 2(\omega_0 + f_k) \qquad (۵۵)$$

۹- محاسبه بعد نقطه گرهی صعودی در زمان دلخواه:

$$\Omega_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \omega_e)t_k - \omega_e t_{0e} \qquad (۵۶)$$

$$\omega_e = 7.2921151467 \times 10^{-5}\ rad/s$$

۱۰-محاسبه بردار موقعیت ماهواره در دستگاه مختصات مداری:

فصل هشتم

پردازش داده های سامانه های تعیین موقعیت ماهواره ای

داده های دریافتی در گیرنده های سامانه های تعیین موقعیت ماهواره ای شامل سنجه های کد و فاز و نیز پیام های ناوبری باید قبل از استفاده از آنها در تعیین موقعیت و سرشکنی چند عملیات اساسی زیر بر روی آنها صورت گیرد.

- بازیابی و ویرایش داده ها
- تبدیل فرمت داده ها در صورت نیاز
- شناسایی و رفع جهش فاز
- حل ابهام فاز

بازیابی و ویرایش داده ها

پس از اتمام هر جلسه اندازه گیری، باید داده های ذخیره شده در گیرنده ها به منظور پردازش های بعدی به کمک نرم افزارهای مربوط بر روی یک رایانه انتقال یابند. در حین بازیابی داده ها در محیط نرم افزاری پردازش داده ها باید توجه نمود که در صورت نیاز، برخی ویرایش ها نظیر اصلاح ارتفاع آنتن، نام ایستگاه، نوع گیرنده و آنتن، نام فایل مشاهداتی، نام عامل مشاهده کننده و ... نیز انجام می گیرد.

تبدیل فرمت داده ها در صورت نیاز

معمولا هر گیرنده بنا بر روش فشرده سازی خاصی که کارخانه سازنده تعیین نموده است داده ها را تحت فرمت مخصوص خود که از نوع دودویی هستند ذخیره می کند. چنانچه صرفا از داده های جمع آوری شده شده توسط گیرنده های یکسان برای تعیین موقعیت استفاده شود و نیاز به هیچ داده کمکی دیگر نباشد، معمولا با استفاده نرم افزار متناظر با همان گیرنده ها می توان بدون نیاز به تبدیل فرمت داده ها آنها را مورد پردازش قرار داد. اما در موارد بسیار زیادی ناچار به استفاده از چندین نوع گیرنده متفاوت هستیم که هر کدام فرمت ذخیره مخصوص به خود را دارند. در برخی موارد هم نیاز به استفاده از داده های کمکی مانند اطلاعات

مداری دقیق ماهواره ها می باشد یا مشاهدات جمع آوری شده با یک نرم افزار دیگر مورد پردازش قرار می گیرند.. بر همین اساس باید قبل از هرگونه پردازشی، فرمت داده های جمع آوری شده را به یک فرمت واحد و قابل خواندن برای نرم افزار ها تبدیل نمود. بنابر قرارداد این فرمت مستقل از نوع گیرنده و به صورت ASCII است که RINEX (Receiver INdependent EXchange) نامیده می شود. حاصل تبدیل فایل داده هر گیرنده به فرمت RINEX سه فایل مشاهداتی، ناوبری و هواشناسی است. طبق قاعده، ترکیب نام هر فایل با فرمت RINEX باید به صورت "ssssdddf.yyt" باشد که چهار حرف یا رقم اول آن بیانگر شناسه ایستگاه (ssss)، سه رقم بعدی از 001 تا حداکثر 366 بیان کننده روز از سال داده (ddd)، حرف یا رقم هشتم نشاندهنده جلسه کاری (f)، دو رقم بعدی مشخص کننده سال مشاهده (yy) و آخرین حرف بیانگر نوع فایل (t) می باشد که برای فایل مشاهداتی o، برای فایل ناوبری n و برای فایل هواشناسی m می باشد. به عنوان مثال tehn3471.09o بیانگر یک فایل مشاهداتی در جلسه کاری 1 برای ایستگاه tehn در روز 347 از سال ۲۰۰۹ می باشد.

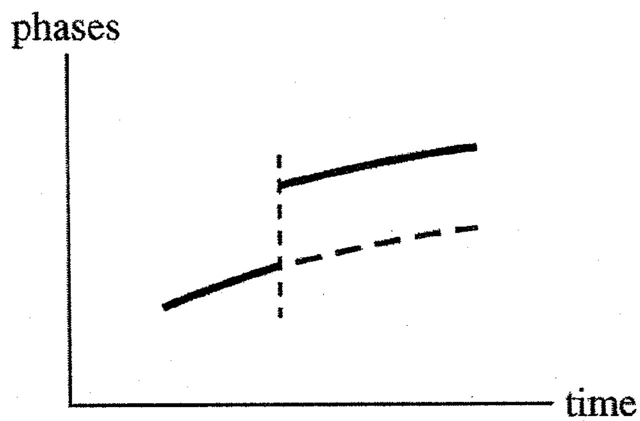
تمام فایل های مشاهداتی و ناوبری ایستگاه های شبکه جهانی IGS و اطلاعات مداری مختلف با فرمت RINEX در دسترس همه کاربران قرار دارند و در صورت نیاز به آنها می توان از طریق سایت های مختلف آنها را دریافت نمود. علاوه بر فرمت مستقل از گیرنده (RINEX) فرمت دیگری نیز برای تبادل داده های پردازش شده توسط نرم افزارهای مختلف موسوم به SINEX (Software INdependent EXchange) ارائه شده است که با استفاده از آن می توان مستقل از فرمت خروجی نرم افزارها، آنها را در یک نرم افزار دیگر که فرمت SINEX را حمایت می کند با هم ترکیب و مجددا سرشکنی نمود.

تشخیص و ترمیم جهش فاز

همانطور که قبلا در تعریف معادله مشاهده سنجه فاز دیده شد، تا زمانیکه ارتباط بین هر گیرنده و هر ماهواره از لحظه شروع اندازه گیری فاز قطع نشود یک عبارت مجهول ولی ثابت به نام ابهام فاز اولیه در مشاهدات آنی فاز وجود دارد که باید حل شود. اما چنانچه به هر دلیلی ارتباط گیرنده و ماهواره برای لحظاتی قطع شود،

این امر باعث یک پرش فاز به تعداد صحیحی از دور موج حامل می شود که به اصطلاحا به آن جهش یا لغزش فاز می گویند. دلایل متعددی برای بروز جهش فاز وجود دارد که برخی از انها به شرح زیر معرفی می شوند.

- وجود موانع بین گیرنده و ماهواره مانند درختان، ساختمان ها، پل ها و کوه ها
- پایین بودن سیگنال به نویز (S/N)، چند مسیری زیاد، حرکت گیرنده و پایین بودن ارتفاع ماهواره
- اشکال در نرم افزار های تعبیه شده در گیرنده و کارکرد بد نوسان ساز های ماهواره



نگاره ۱– نمایش بروز جهش فاز

همانطور از نگاره (۱) پیداست تشخیص و ترمیم جهش فاز نیازمند شناخت دقیق محل بروز جهش فاز و اندازه آن (تعداد دور های صحیح) است. برای تشخیص و تعیین محل جهش فاز از کمیت های آزمایشی استفاده می شود و سپس با تعیین تعداد دور های صحیح جهش فاز عملیات ترمیم انجام می گیرد.

کمیت های آزمایشی

برای یک گیرنده تنها، کمیت های آزمایشی می توانند فاز خام، ترکیبات فاز، ترکیبات فاز و کد یا ترکیبات فاز و فرکانس داپلر انتگرال گیری شده باشند. استفاده از کمیت های آزمایشی برای یک گیرنده بسیار مهم می باشند زیرا امکان تشخیص و ترمیم جهش فاز را بوسیله یک نرم افزار داخلی فراهم می سازد. چنانچه از

سنجه های ترکیبی دو گیرنده استفاده شود، در آن صورت می توان از تفاضل های یگانه، دوگانه و سه گانه در تشخیص و ترمیم جهش فاز استفاده نمود.

ابتدا به بیان کمیت های آزمایشی برای یک گیرنده تنها می پردازیم.

- **کمیت آزمایشی فاز خام**

همانطورکه قبلا دیده شد سنجه فاز برای یک گیرنده r و یک ماهواره s به صورت زیر است.

$$\Phi_r^s(t) = \rho_r^s(t) + d\rho_r^s(t) + c\left(\delta t_r(t) - \delta t^s(t)\right) + \lambda N_r^s - d_{ion}(t) + d_{trop}(t) + \varepsilon(t) \qquad (۱)$$

همانطور که از معادله فوق پیداست، ممکن است خطاهای مختلف مانع از تشخیص جهش فاز شوند.

- **کمیت آزمایشی ترکیب دو فاز حامل**

با در نظر گرفتن یک گیرنده دو فرکانسه، یک ماهواره و یک لحظه، می توان دو معادله زیر را برای دو فرکانس f_1 و f_2 نوشت.

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \frac{1}{\lambda_1}\rho + f_1\delta t_r^s + N_1 - \frac{1}{\lambda_1} d_{ion}(f_1) \\ \Phi_2 &= \frac{1}{\lambda_2}\rho + f_2\delta t_r^s + N_2 - \frac{1}{\lambda_2} d_{ion}(f_2) \end{aligned} \qquad (۲)$$

حال با ترکیب زیر به یک سنجه ترکیبی جدید موسوم به باقیمانده یونسفری می رسیم که در آن

$$\Phi_I = \Phi_1 - \frac{f_1}{f_2}\Phi_2 = N_1 - \frac{f_1}{f_2}N_2 - \frac{1}{c}\frac{40.3}{\cos z'} VTEC\left(\frac{1}{f_1} - \frac{f_1}{f_2^2}\right) \qquad (۳)$$

سنجه ترکیبی فوق عاری از تغییرات هندسی گیرنده و ماهواره در طول زمان است و تنها تابعی از تغییرات یونسفر است. بنابراین در شرایط عادی که تغییرات یونسفر ناگهانی نیست، هر نوع جهش یا پرش ناگهانی در آن را می توان ناشی از بروز جهش فاز دانست و بنابراین از کمیت آزمایشی ترکیبی فوق می توان برای تشخیص جهش فاز استفاده نمود. البته اینکه جهش فاز مربوط به کدام فاز است، سوالی است که باید پاسخ آن را در کمیت ترکیبی فاز و کد بیابیم.

- **کمیت آزمایشی ترکیب فاز و کد**

مجددا با در نظر گرفتن یک گیرنده با دو سنجه فاز و کد، یک ماهواره و یک لحظه، می توان دو معادله زیر را برای دو سنجه فاز و کد به صورت زیر نوشت.

$$\Phi_r^s(t) = \rho_r^s(t) + d\rho_r^s(t) + c\left(\delta t_r(t) - \delta t^s(t)\right) + \lambda N_r^s - d_{ion}(t) + d_{trop}(t) + \varepsilon(t) \qquad (۴)$$

$$P_r^s(t) = \rho_r^s(t) + d\rho_r^s(t) + c\left(\delta t_r(t) - \delta t^s(t)\right) + d_{ion}(t) + d_{trop}(t) + \varepsilon(t) \qquad (۵)$$

اختلاف گیری بین دو معادله فوق منجر به معادله جدید زیر خواهد شد.

$$\Phi_r^s(t) - P_r^s(t) = \lambda N_r^s - 2d_{ion}(t) \qquad (۶)$$

تنها متغیر زمانی در سمت راست معادله فوق مربوط به اثر یونسفر است. با توجه به اینکه تغییرات یونسفر در فاصله بین دو زمان ثبت داده ناچیز است، می توان تغییرات ناگهانی سنجه ترکیبی فوق را ناشی از بروز جهش فاز دانست. نقطه ضعف کمیت آزمایشی مذکور عمدتا ناشی از سطح نویز بالای سنجه کد است. بنابراین چنانچه بتوان قدرت تفکیک پذیری یک طول موج یا چیپ را از حدود ی صدم به یک هزارم برسانیم، این نقطه ضعف تا حدود بسیار زیادی بر طرف می گردد.