

Geodeziya GPS şəbəkələrinin kinematik sxemində virtual baza stansiyalarının qurulması üçün maksimal informativ zona metodu

R.Ə. Eminov, t.e.n.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

e-mail: eminovramiz@mail.ru

Açar sözlər: GPS-qəbuledici, virtual baza stansiyası, kinematik sxem, mövqəyəyinetmənin qiymətləndirilməsi, geodeziya şəbəkəsi.

Метод максимально информативной зоны для построения виртуальной базовой станции в кинематических схемах геодезических GPS сетей

Р.А. Эминов, к.т.н.

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Ключевые слова: GPS-приемник, виртуальная базовая станция, кинематическая схема, оценка позиционирования, геодезическая сеть.

Систематизирован существующий фактический материал по экспериментальной оценке погрешности позиционирования в VRS GPS сетях, где мобильный приемник обеспечивается виртуальной базовой станцией. Предложен метод высокоинформативной зоны для устранения исходной неопределенности выбора базовых станций при построении минимальной VRS GPS сети, состоящей из трех базовых станций. Даны методические указания и рекомендации по использованию предложенного метода.

Method of maximum informative zone for development of virtual base station in kinematic schemes of geodetic GPS networks

R.A. Eminov, Cand. in Tec. Sc.

Azerbaijan State Oil and Industry University

Keywords: GPS receiver, virtual base station, kinematic scheme, positioning estimation, geodetic network.

Actual data on error estimation of positioning in VRS GPS networks, where the mobile receiver is provided with virtual base station has been systematized. The paper suggests highly informative zone for elimination of initial uncertainty of base station selection in the development of VRS GPS network consisting of three base stations. Methodic instructions and recommendations on using of offered method are presented.

Giriş

Yüksək dəqiqlik kinematik peyk stansiyalarının (GPS) mövqəyəyinetmə sistemlərini qurmaq üçün baza (dayaq) stansiyalar (BS) şəbəkələrindən geniş istifadə olunur. RTK sistemlərin sayyar qəbuledicilərinin (SQ) dəqiqliyinə təsir edən əsas müntəzəm xətalara çoxyolluluq, atmosfer və efemerid xətalari aid edilir. RTK mövqəyəyinetmə sistemlər dəqiqliyinin sonradan artırılmasının perspektiv yollarından biri də virtual baza stansiyalar (Virtual Reference Station – VRS) metodunun yaradılmasıdır. Bu metod SQ yaxınlığında yerləşən BS modelinin qurulmasını nəzərdə tutur. VRS metodunun tətbiqi çoxyolluluq, ionosfer və troposfer gecikmələr, eləcə də efemeridlər səhvlərindən əmələ gələn mövqəyəyinetmə xətalərini azaltmağa imkan verir [1].

Böyük məsafələrdə santimetr dəqiqliyi ilə sürətli statik, yaxud real vaxtda (RTK) kinematik mövqəyəyinetmə üçün Almaniya 30–35 km addımı ilə dayaq GPS-in şəbəkələri yaradılmışdır [2]. Bu şəbəkələr çərçivəsində siqnalın yayılma vaxtı daha dəqiq təyin edə bilən hər bir peyk üçün ayrılıqda məsafədən asılı olan ionosfer və troposfer refraksiyalarına və s. görə əmələ gələn xətalərin qiymətləri modelləşdirilmişdir. Bu prosedür VRS konsepsiyasına gətirib çıxarır. Onlardan alınan çıxış informasiya kompüterdə emal olunur və bu məqsədlə real mövcud olan BS məlumatlarından istifadə edilir. Bir neçə dayaq stansiyasında eyni zamanda aparılan müşahidələrin kombinə edilməsi tam informasiya məzmununun istifadəsi metodlarından biridir. Bunu elə edirlər ki, VRS-də SQ mövqeyinin təyini üçün yararlı olan kodlu və fazalı ölçmələrin optimal çoxluğu formalaşsın.

Şəbəkənin BS-lərində alınan aparar tezliklər fazasının ölçmə nəticələrinin VRS-in aparar tezlik fazasının modelləşdirilmiş ölçmə nəticələrinə transformasiyası üçün bir sıra əməliyyatlar aparılmalıdır [3].

1. Aparar tezlik fazasının ikiqat diferensiallaşdırılması nəticəsində əmələ gələn qeyri-birqiymətliyin aradan götürülməsi.

2. Məsafədən asılı olan xətti ionosfer kombinasiyasına əsaslanan ionosfer modelinin və xətti kombinasiyaya əsaslanan, troposfer və orbital xətalardan ibarət həndəsi xətlər modelinin hesablanması.

Bu zaman məlumatlar mərkəzi hesablayıcıda, yaxud da mərkəzi hesablayıcı ilə istifadəçi arasında bölünərək, emal edilə bilər.

BS-lər arasında məsafə 32 km-ə qədər olduqda VRS konsepsiyası RTK mövqe təyinetməni 2 sm dəqiqliyi ilə etməyə imkan verir [4].

VRS-in əsas yaradılma prinsipləri aşağıdakılardır [4]:

– baza stansiyalar şəbəkəsindən məlumatlar hesablama mərkəzinə ötürülür;

– şəbəkə məlumatlarından ionosfer, troposfer və orbital xətlər modellərinin hesablanması istifadə olunur;

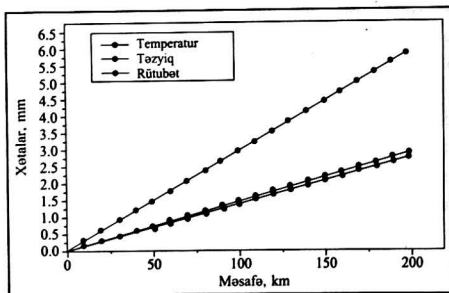
– aparar signal fazasının qeyri-birqiymətliyi şəbəkənin baza məsafələrinin nəzərə alınması ilə qeydə alınır;

– aparar signalın qeydə alınmış fazasının ölçmələrindən istifadə edərək, baza məsafələrin faktiki şəhvləri santimetr dəqiqliyi ilə təyin olunur;

– istifadəçi tapılmasının cəm xətasının proqnozu üçün xətlər modellərinin xətti kombinasiyasından istifadə olunur;

– VRS SQ yaxınlığında yaradılır;

– VRS məlumatları istifadəçiyə (RTCM) standart formatlarda ötürülür.



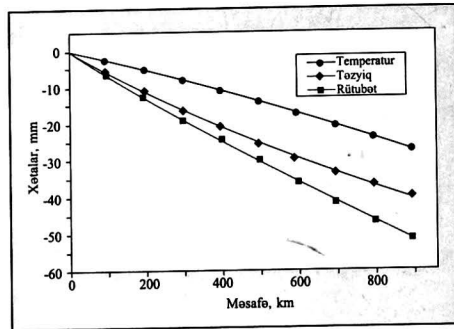
Şəkil 1. Meteoelementlərin temperaturlar fərqi 10 °C, təzyiqlər fərqi 20 hPa, nisbi rütubətlər fərqi 50 % olduqda SQ və BS arasındakı məsafələrdən irəli gələn mövqetəyinetmə xətasının asılılıq qrafiki

Mövcud metodların təhlili

Standart meteoroloji şəraitlərdə müxtəlifliyin olması mövqetəyinetmənin müəyyən xətasının yaranmasına səbəb ola bilər [5]. SQ və BS eyni hündürlükdə, meteşəraitlər isə fərqli olsa, onlar hərərət, təzyiq və rütubətlərin fərqlərindən irəli gələn, SQ və BS arasındakı məsafə ilə asılılıqda olan mövqetəyinetmə xətasına səbəb olacaq (şəkil 1).

Şəkil 1-də verilən qrafikdən görünür ki, məsafələr böyük olanda mövqetəyinetmə xətası 5 mm və ondan çox ola bilər.

SQ-nin hündürlüyü ilə BS-nin hündürlüyü arasında fərq olduqda hərərətlər fərqi 10 °C; təzyiqlər fərqi 20 mbar; nisbi rütubətlər fərqi isə 10 %-ə çatarsa SQ və BS arasındakı hündürlüklər fərqi-dən irəli gələn mövqetəyinetmə xətasının asılılığı düzxətli formaya yaxın olur (şəkil 2) [5].



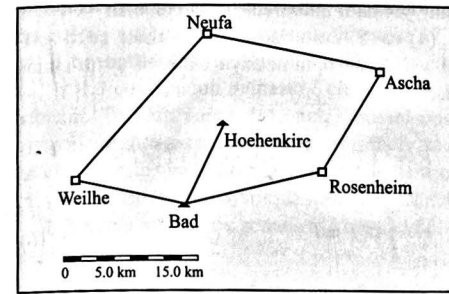
Şəkil 2. Temperatur, təzyiq və nisbi rütubətlər fərqi mövcud olduqda SQ və BS arasındakı hündürlüklər fərqi-dən irəli gələn mövqetəyinetmə xətasının asılılıq qrafiki

Şəbəkəli RTK sistemlərdə mövqetəyinetmə xətasının ən kritik komponenti kimi dayaq stansiyalar şəbəkəsi ilə SQ arasındakı diferensial ionosferli qalıq xəta hesab olunur. Bu zaman sabit ionosfer şəraitində qalıq ionosferli parametrlərin keyfiyyətli interpolasiyası gözlənilə bilər. Lakin hiddətli ionosfer halında ionosferli qalıq parametrlər stansiyalar arasındakı məsafələrdən kəskin qeyri-xətti asılılıqda olur [5].

Müxtəlif stansiyalar arasındakı məsafələrdə və müxtəlif ionosfer şəraitlərdə ionosferli parametrlərin interpolasiya dəqiqliyi Bavariyanın Torpaq Axtarış Departamenti (BVLA) şəbəkəsinin 5 dekabr 2002-ci il tarixli məlumatlarına əsasən təhlil olunur.

Şəkil 3-də BVLA (kiçik şəbəkə) şəbəkəsinin standart konfigurasiyası göstərilir.

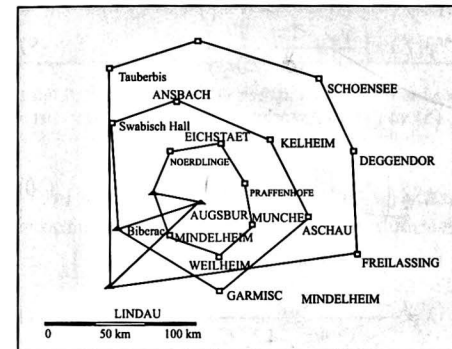
Şəbəkə modelini qurarkən Xoxenkirxen stansiyası ona yaxın olan və aralarındakı məsafə 31.2 km olan Bed Tols (Bad Toelz) stansiyası ilə birgə SQ kimi seçilmişdir.



Şəkil 3. Kiçik BVLA şəbəkəsinin standart konfigurasiyası (SQ və yaxın stansiya üçbucaqla qeyd olunub)

Şəkil 4-də daxilində yaxın stansiyalarla birgə SQ kimi Auqsburq stansiyası seçilmiş, üç əlavə BVLA şəbəkə konfigurasiyası: ortaölçülü – SQ-yə qədər məsafəsi 46.2 km olan Güensburq, böyük – SQ-yə qədər məsafəsi 86.8 km olan Biberax, həddindən böyük – SQ-yə qədər məsafəsi 126 km olan Lindau stansiyaları göstərilmişdir.

Şəkil 5-də müxtəlif ölçülü şəbəkələrdə interpolasiya xətlərinin diaqramı verilmişdir.



Şəkil 4. BVLA şəbəkəsinin üç əlavə konfigurasiyası (SQ və yaxın stansiyalar üçbucaqla qeyd olunub)

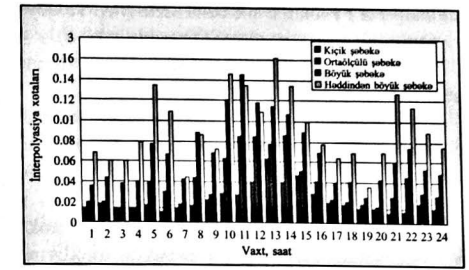
Diaqramdan görüldüyü kimi, şəbəkə ölçüsü artdıqca interpolasiya xətası da artır. Saat 13:00-də ionosfer hiddəti maksimuma çatır və Auqsburqda yerləşən stansiyada interpolasiya xətləri 6 sm-ə yaxınlaşır.

Beləliklə, VRS-in yaradılmasını nəzərdə tutan RTK GPS sistemlərdə xətlərin analizinə dair aşağıdakı nəticələrə gəlmək olar:

– meteşəraitlərin fərqi-dən əmələ gələn xəta SQ ilə BS arasındakı məsafədən asılı olaraq xətti formada artır;

– interpolasiya xətasının qiymətləndirilməsində əsasən səs tərkibini müəyyən edən ionosferli xəta daha çox təsadüfi xarakter daşıyır.

Belə nəticəyə gəlmək olar ki, interpolasiya-



Şəkil 5. Dördölçülü GPS şəbəkəsi üçün interpolasiya xətlərinin diaqramı

ya metodu SQ koordinatlarını metodiki planda və yüksək dəqiqlikli mövqe ilə təyin edir. Çünki həmin metod interpolasiya xətasının daima olmasını nəzərdə tutur. Bu zaman həmin metodda interpolasiya xətası və ondan SQ mövqeyi haqqında əlavə informasiyanın çıxarılması barədə məlumat verilmir. Bunları nəzərə alaraq, yüksək informativ zona metodu adlanan, yeni informasiyon-interpolyasyon VRS mövqetəyinetmə metodu təklif olunur. Onun mahiyyəti bundan ibarətdir.

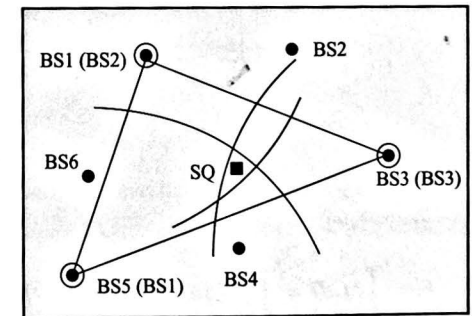
1. VRS SQ üzərində yerləşir, yəni onların mövqetəyinetmə yerləri üst-üstə düşür.

2. İnterpolasiya edilir və SQ-nin interpolasiya qiyməti müəyyən olunur.

3. Məhdudlaşdırıcı şərtləri nəzərə almaqla, BS-dən öz mövqeyi haqqında müəyyən qaydada informasiyanı ötürərək, onun maksimum miqdarda qəbulunu təmin edən SQ-nin yerləşmə sahəsində maksimal informativ zona təyin olunur.

4. İnterpolasiya məqsədilə hər bir SQ və VRS mövqeyi üçün elə bir BS üçlüyü seçilir ki, onların maksimal informativ zonası VRS-in yerləşmə nöqtəsinə təyin edə bilsin.

Təklif olunan metod üçün əsas baza nisbətləri-



Şəkil 6. Təklif olunan yüksək informativ zona metodunun qrafik izahı: SQ – səyyar qəbuledici; BS1 – BS6 – başlanğıc şəbəkələr; (BS1) – (BS3) – istifadə olunan üçbucaq şəbəkəsinin baza stansiyalarıdır

ni əlaqə. Fərz edək ki, altı baza stansiyası və qeyri-dəqiq koordinatları olan SQ vardır (şəkil 6).

İlk növbədə BS1, BS3 və BS5 stansiyalarını seçirik.

Kanallardakı səsləri nəzərə almaqla, BS-dən SQ-yə doğru informasiyanı ötürmək üçün şəxsi mövqelər haqqında məlumatların çoxqat ötürülməsindən istifadə olunur.

Beləliklə, fasiləsiz yazılma formasına keçərək, VRS-lə qəbul olunmuş informasiya miqdarını belə qiymətləndirmək olar:

$$F_1 = \int_0^{T_{\max}} M_1 dT = \int_0^{T_{\max}} T \log_2 [\psi(l) + 1] dT, \quad (1)$$

burada T – informasiyanın BS-dən VRS-ə doğru T_{\max} – maksimal qiymətlə ötürülməsi müddəti; ψ – ötürülən informasiyada siqnal səs nisbəti; l – BS və VRS arasında məsafədir.

Birinci yaxınlaşmada bunu alırıq:

$$\psi(l) = \psi_0 + \psi' l, \quad (2)$$

burada ψ_0 – BS-də siqnal səs nisbəti ψ təyinatına görə yüksək qiymətə malikdir, çünki BS mövqeləri haqqında informasiyalar dəqiqdir;

$$\psi' = \frac{d\psi(l)}{dl}.$$

Baxılması üçün aşağıdakı əlaqə funksiyasını daxil edək:

$$l = \psi(T). \quad (3)$$

(1), (2) və (3) düsturları nəzərə alsaq, bunu yazmaq olar:

$$F_1 = \int_0^{T_{\max}} M_1 dT = \int_0^{T_{\max}} T \log_2 [\psi_0 + \psi(T) + 1] dT. \quad (4)$$

SQ-dən BS-ə qədər məsafələrin cəm qiymətinə məhdudiyət qoysaq:

$$F_2 = \int_0^{T_{\max}} M_2 dT = \int_0^{T_{\max}} \varphi(T) dT = C_1, \quad (5)$$

burada $C_1 = \text{const}$; $M_2 = \varphi_0(T)$.

(1)-ci düstur monoton olsa, (5)-cini informasiya qəbulunun cəm davam olmasına qoyulan məh-

dudiyət kimi interpretasiya etmək olar.

(4) və (5) düsturlarını nəzərə alsaq, qeyri-şərtsiz varyasyon optimizasiya tənliyini tərtib etmək olar.

$$F_3 = \int_0^{T_{\max}} T \log_2 [\psi_0 + \psi'(T) + 1] dT + \lambda \int_0^{T_{\max}} \varphi(T) dT \quad (6)$$

burada λ – Laqranj vurğusudur.

Məlumdur ki, φ_{opt} optimal funksiya Eyler şərtinə cavab verir

$$\frac{d(M_1 + \lambda M_2)}{d\varphi(T)} = 0. \quad (7)$$

(6) (7)-yə əsasən, aşağıdakımı yazmaq olar.

$$\frac{T\psi'}{(\ln 2)[\psi_0 + \psi'(T) + 1]} + \lambda = 0. \quad (8)$$

(8)-dən bunu alırıq:

$$\varphi(T) = \left(\frac{\psi_0}{\psi'} + \frac{1}{\psi'} + \frac{T}{\lambda \ln 2} \right). \quad (9)$$

(5) və (7)-yə nəzərən aşağıdakımı alırıq:

$$-\int_0^{T_{\max}} \left(\frac{\psi_0}{\psi'} + \frac{1}{\psi'} + \frac{T}{\lambda \ln 2} \right) dT = C_1. \quad (10)$$

(10)-cu düsturdan hesablayırıq:

$$\lambda = - \frac{T_{\max}}{2 \ln 2 \left[\frac{\psi_0}{\psi'} + \frac{1}{\psi'} + \frac{C_1}{T_m} \right]} \quad (11)$$

(8) və (11)-ci düsturlara nəzərən bunu alırıq:

$$l = \varphi(T) = \frac{2T[\psi_0 + 1 + C_1\psi']}{T_{\max}\psi'} - \frac{(\psi_0 + 1)}{\psi'}. \quad (12)$$

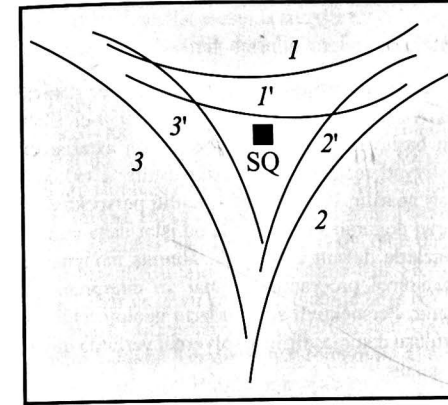
ψ' qiymətinin mənfəi olmasını nəzərə alsaq, $\psi' = |\psi'|$ qəbul edək. Bu halda (12)-ci düstur aşağıdakı şəkildə yazılacaq.

$$l = \varphi(T) = \frac{(\psi_0 + 1)}{|\psi'|} - \frac{2T[\psi_0 + 1 - C_1|\psi'|]}{T_{\max}|\psi'|}. \quad (13)$$

Beləliklə, ψ_0 , $|\psi'|$, T_{\max} məlum qiymətlərində T kəmiyyətinin xətti şkalasını verib, (13)-ə görə l qiymətini hesablamaq olar.

Sonra i indeksinə görə çoxluq elementlərinin qiymətləri xətti dəyişmə qanununa tabe olan $\{T_i\}$, $i=1,3$ qiymətlərin tərtib olunmuş çoxluğuna görə $\{l_i\}$, $i=1,3$ çoxluğunun münasib l_i elementləri hesablanır. Bundan sonra $\{l_i\}$, $i=1,3$ hesablanmış qiymətlərə görə axtarılan yüksək informativ zona həndəsi qurulur və onun SQ-si həm ola, həm olmaya bilər. Bu iki halı ayrılıqda nəzərdən keçirək:

1. Yüksək informativ zonada SQ mövqeyi olan halda (şəkil 7).



Şəkil 7. Yüksək informativ zonanın sıxlaşdırılması qaydası:

1, 2, 3 – yüksək informativ zonanın qurultma konturları

Bu halda 1, 2, 3 kimi qeyd olunmuş yüksək informativ zonanın qurulma konturları informasi-

yanın $\{T_i\}$, $i=1,3$ münasib qəbul etmə müddətinin azaldılması məqsədilə zona sahəsinin minimizasiyasına doğru sıxlaşdırılır.

2. Qurulmuş yüksək informativ zonada SQ olmadığı halda iki hərəkət variantı mümkündür:

– SQ-nin xeyli uzaqlaşması nəzərdə tutulmursa, VRS yüksək informativ zonada qurulur;

– SQ daxilində yüksək informativ zonanın qurulmasını təmin edən BS üçlüyü seçilir.

Beləliklə, bu məqalədə təklif olunan maksimal informativ zona anlayışı interpolyasiya metodu ilə SQ mövqeyini təyin etmək üçün BS minimal şəbəkəsinin seçimindəki ilkin qeyri-müəyyənliyi aradan götürür. SQ mövqeyinin bu halda ikikriterili təyinetmə konsepsiyası çoxkriterili optimizasiyanın klassik konsepsiyasına tabe olmur. Burada kriterilər antoqonizmi mövcud olmadığından, bir kriteriyə görə tələblərin yerinə yetirilməsi son həddə digərlərinin avtomatik yerinə yetirilməsi deməkdir.

Nəticə

1. SQ VRS ilə təmin olunan VRS GPS şəbəkələrində mövqə təyinetmə xətasının eksperimental qiymətləndirilməsinə dair faktiki materiallar sistemləşdirilib.

2. Minimal GPS şəbəkəsinin qurulmasında BS seçiminin ilkin qeyri-müəyyənliyini aradan götürmək üçün yüksək informativ zona metodu təklif olunmuşdur.

3. Təklif olunan metodun istifadəsinə dair metodik göstərişlər və təkliflər verilmişdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Vollath U., Deking A., Landau H., Pagels Ch. Long-range RTK positioning using virtual reference stations, 2014, pp. 470-474.
2. Wanninger L. The performance of virtual reference stations to active geodetic GPS-networks under solar maximum conditions, 2012, pp.1419-1427.
3. Wanninger L. Improved ambiguity resolution by regional differential modeling of the ionosphere. Proc. ION GPS '95, 1995, pp. 55-62.
4. Vollath U., Landau H., Chen X., Doucet K., Pagels Ch. Network RTK versus single base RTK understanding the error characteristics // ION GPS 2002, 24-27 September 2002, Portland, OR, pp. 2774-2781.
5. Landau H., Vollath U., Chen X. Virtual reference stations versus broadcast solutions in network RTK – advantages and limitations, 2006, pp. 1-15.