

Assesments of the Influence of Rain on Tropospheric Delay of GPS Signals

R.A. Eminov

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)

For correspondence:

Eminov Ramiz / e-mail: eminovramiz@mail.ru

Abstract

For carrying out GPS measurements with millimeter accuracy, the most important issues of ensuring such measurements are the issues of correct assessment of the effect of water vapor and hydrometeors. It is considered that the "dry" delay of GPS signals usually falls into the category of "systematic" error, which can be eliminated by calculation. Methods and means for measuring water vapor have been currently developed and worked out much more widely than methods for measuring hydrometeors. Taking into account the above, it becomes clear that an accurate assessment of the impact of hydrometeors, and especially rain on the signals of GPS satellites is an urgent task. It is noted that the relevance of the development of technical means for measuring the intensity of rainfall is also explained by the property of rains to greatly attenuate electromagnetic waves with a frequency of 10 GHz and higher. Based on the analysis of the factual material, it is shown that the delay of GPS satellite signals due to the influence of hydrometeors will be 5-8% of the "wet" delay. The process of distrometric measurements of the occurrence frequency of raindrops of various sizes has been optimized. The functional of unconstrained variational optimization has been formulated and its mathematical algorithm has been given.

Keywords: *GPS signals, rain, hydrometeors, wet delay, dystrometric measurements, optimization, estimation.*

DOI: 10.52171/2076-0515_2021_13_02_101_105

For citation:

Eminov R.A.

[Assesments of the Influence of Rain on Tropospheric Delay of GPS Signals]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy

2021, vol. 13, no. 2, Pp. 101–105. (in Azerbaijan)

Yağışın GPS siqnallarının troposfer gecikməsinə etdiyi təsirin qiymətləndirilməsi

R.Ə. Eminov

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı ş., AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün:

Eminov Ramiz / e-mail: eminovramiz@mail.ru

Annotasiya

GPS ölçmələrini millimetr dəqiqliyi ilə aparmaq üçün önəmli məsələlərdən biri də troposferdəki su buxarlarının və hidrometeorların onlara edilən təsirin düzgün qiymətləndirilməsidir. Hesab edirlər ki, GPS siqnallarının “quru” gecikməsi adətən “müntəzəm” səhvlər kateqoriyasına aiddir və buna görə də onu hesablamaq yolu ilə təsirin azaltmaq olar. Yuxarıda qeyd etdiklərimizi nəzərə alsaq, demək olar ki, GPS siqnallarına hidrometeorların və əsasən də yağışların etdikləri təsirlərinin dəqiq qiymətləndirilməsi aktual məsələdir. Qeyd olunur ki, yağış 10 HHs və ondan yuxarı tezlikli elektromaqnit dalğalarını çox zəyiflətmək xassəsinə malik olduğundan, onun intensivliyinin ölçülməsi üçün yeni texniki vasitələrinin yaradılmasını da aktual hesab etmək olar. Faktiki materialların təhlili nəticəsində göstərilmişdir ki, hidrometeorların təsiri nəticəsində GPS siqnallarının gecikməsi cəm “rütubət” gecikməsinin 5-8 % təşkil edir. Müxtəlif ölçülü yağış damcılarının yağma tezliyinin distrometrik ölçülməsi prosesi optimallaşdırılmışdır. Şərtsiz variasion optimizasiyasının funksionalı formalaşdırılmışdır və onun riyazi alqoritmi verilmişdir.

Açar sözlər: GPS siqnallar, yağış, hidrometeorlar, rütubət gecikməsi, distrometrik ölçmələr, optimallaşdırma, qiymətləndirmə.

DOI: 10.52171/2076-0515_2021_13_02_101_105

УДК: 528.4, 528.856

Оценка влияния дождя на тропосферную задержку GPS сигналов

Р.А. Эминов

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, г. Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки:

Эминов Рамиз / e-mail: eminovramiz@mail.ru

Аннотация

Для проведения GPS-измерений с миллиметровой точностью наиболее важными вопросами обеспечения проведения таких измерений являются вопросы правильной оценки влияния водяных паров и гидрометеоров. Считается, что «сухая» задержка сигналов GPS обычно относится к категории «систематической» погрешности, которая устранима расчетным путем. Точная оценка воздействия гидрометеоров, и в особенности дождей, на сигналы GPS спутников является актуальной задачей. Отмечается, что актуальность разработки технических средств измерения интенсивности дождей, скорее всего, также объясняется свойством дождей сильно ослаблять электромагнитные волны с частотой 10 ГГц и выше. На основе анализа фактического материала показано, что задержка сигналов GPS спутников из-за влияния гидрометеоров составляет 5-8 % от «влажной» задержки. Оптимизирован процесс дистрометрических измерений частотности появления дождевых капель различных размеров. Сформулирован функционал безусловной вариационной оптимизации и дан его математический алгоритм.

Ключевые слова: GPS сигналы, дождь, гидрометеоры, влажная задержка, дистрометрические измерения, оптимизация, оценка.

Giriş

Məlumdur ki, Qlobal Mövqəyəyinetmə Sisteminin peyklərilə ötürülən 1,575 HHs və 1,228 HHs tezlikli mikrodalğalı siqnallar aşağıdakı amillərin təsiri nəticəsində troposferdə gecikməyə məruz qalırlar [1]: atmosferin quru hava kütləsi; su buxarları; hidrometeorlar (buludlar, duman, qar, yağış, dolu); giqroskopik aeroxollar; qum qasırgaları; vulkanik küllər.

GPS ölçmələrini millimetr dəqiqliyilə aparmaq üçün önəmli məsələlərdən biri də su buxarlarının və hidrometeorların onlara edilən təsirinin düzgün qiymətləndirilməsidir. Hesab edirlər ki, GPS siqnallarının “quru” gecikməsi adətən “müntəzəm” səhvlər kateqoriyasına aiddir və buna görə də onu hesablamaq yolu ilə təsirini azaltmaq olar. Eyni zamanda “hidrometeorlar” adlanan bir qrup amillər tərəfdən törədilən gecikmələr su buxarlarının əmələ gətirən gecikməsinin 5-8 % -ni təşkil edir.

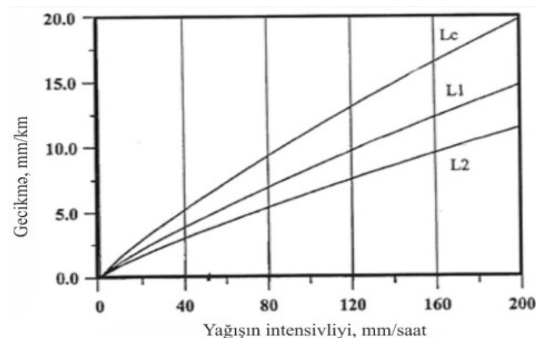
Qeyd etmək lazımdır ki, müasir zamanda hidrometeorları ölçən metodlar, su buxarlarını ölçən metod və vasitələrilə müqayisədə, xeyli az inkişaf etmişdir. Yuxarıda qeyd etdiklərimizi nəzərə alsaq, demək olar ki, GPS siqnallarına hidrometeorların və əsasən də yağışların etdikləri təsirlərinin dəqiq qiymətləndirilməsi aktual məsələdir.

İş [2]-də yağışın GPS sistemlərinin keyfiyyətinə etdiyi təsirinin kompleks qiymətləndirilməsi aparılmışdır və onun peyk siqnallarına neqativ təsirləri qiymətləndirilmişdir.

Şək. 1-də GPS siqnallarının gecikmə qiymətinin yağış intensivliyindən asılılığının əyriləri göstərilir [3].

Şək.1-də verilən qrafiklərdən görünür ki, güclü yağışda siqnalların gecikməsi bir

neçə metrə çatır və bu GPS-ölçmələri hətta metr dəqiqliyilə aparmağa imkan vermir. Qeyd etmək lazımdır ki, yağış 10 HHs və ondan yuxarı tezlikli elektromaqnit dalğalarını çox zəiflətmək xassəsinə malik olduğundan, onun intensivliyinin ölçülməsi üçün yeni texniki vasitələrin yaradılmasını da aktual hesab etmək olar.



Şəkil 1. GPS siqnallarının gecikmə qiymətinin yağış intensivliyindən asılılığının əyriləri göstərilir: L1 – 1,575 HHs tezlikli siqnal gecikməsidir; L2 – 1.228 HHs tezlikli siqnal gecikməsidir; Lc – cəm gecikmədir.

Figure 1. The probability curves of the delay value of GPS signals from rain intensity are shown: L1 – 1,575 HHs is the frequency of signal delay; L2 – 1.228 HHs is the frequency of signal delay; Lc-total delay.

Bu tezlik həddindən aşağıda siqnalların zəiflənməsi xeyli azalır və 1,2 – 1,5 HHs tezliklərində çox cüzi olur. Beləliklə, yağışın intensivliyini ölçməyə imkan verən hər bir texniki vasitə iki təyinatlı olmalıdır:

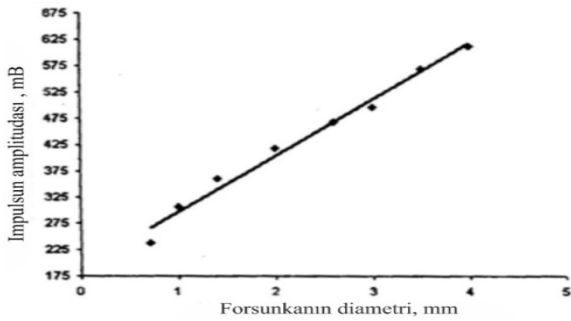
1. 10 HHs və ondan yuxarı tezliklərdə yağış damcıları ilə radiosiqnalların zəiflənməsinin qiymətləndirilməsi üçün;
2. 1,2 – 1,5 HHs tezliklərdə GPS radiosiqnallarının gecikməsinin qiymətləndirilməsi üçün.

Bu günə kimi məsafədən zondlaşdırma prinsipi əsasında işləyən və “lazerli distrometr” adlanan lazerli yağışölçənlər buraxılıb tətbiq olunur.

İş [3]-də qeyd olunur ki, distrometrlərin iş prinsipi aşağıdakına əsaslanır. Lazer şüası fotoqəbuledicinin üzərinə yönəlir və bu zaman yağış damcıları onun üzərindən keçərək şüalandırmanı kəsir yaxud da zəiflədir. Bu halda impulsun hündürlüyü və eni damcının ölçüsünə və şüanın damcıdan keçməsi müddətinə uyğun olur.

Bu cür ölçücülərin nizamlanması üçün müxtəlif generatorlardan və su damcılarının formalaşdırıcısından istifadə edirlər. Məsələn, şəkl.2-də impuls hündürlüyünün su damcıları formalaşdırıcıdan çıxan damcının diametrindən asılılığının əyrisi verilib.

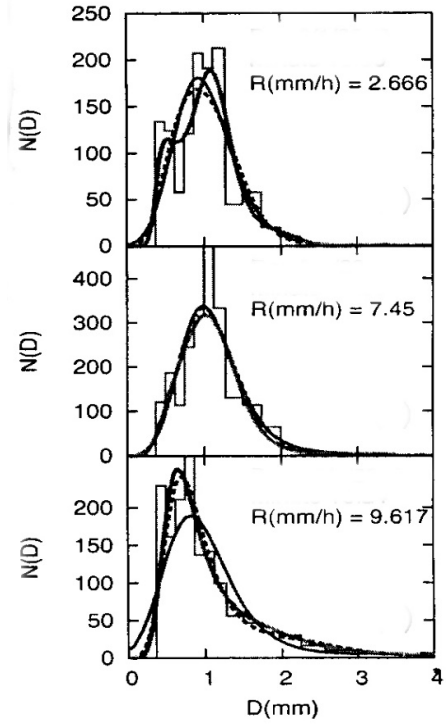
İş [4]-də 785 nm dalğa uzunluğunda işləyən və seriya ilə buraxılan lazerli distrometr haqqında məlumatlar verilir. Onun vasitəsilə 0,005 m/saat - 250 mm/saat arasındakı intensivlik diapazonunda 0,16 mm – 8 mm diametrlə damcıları ölçmək olar.



Şəkil 2. İmpuls amplitudasının forsunka diametrindən asılılığı, mm

Figure 2. Dependence of pulse amplitude on injector diameter, mm

İş [5]-də göstərilir ki, yağış damcılarının ölçülərinə görə baş verən tezliklər paylanması qamma paylanmasının normallaşmış funksiyası ilə daha yaxşı aproksimasiya olunur (şəkl.3).



Şəkil 3. Yağış damcılarının diametrlərinin paylanması qrafikləri. Qəbul olunmuş qeydlər: D – diametri D olan damcıların yağma tezliyidir; R – yağışın intensivliyidir.

Figure 3. Graphs of raindrop diameter distribution. Accepted notes: D- is the precipitation frequency of droplets with diameter D; R – is the intensity of rain.

Məsələnin həlli

Distrometrik yağış ölçmələrinin optimizasiya məsələsini nəzərdən keçirək.

Bu məqsədlə distrometrik yağış ölçmələrinin əsas informativ parametrlərini müəyyən edək. Həmin parametrlər bunlardır:

1. Yağış damcılarının ölçülərinə görə yağma tezliyinin paylanma diaqramı.
2. Ölçücünün çıxışında siqnal/səs nisbəti.

Yuxarıda göstərilən parametrlərin qarşılıqlı əlaqəsi distrometrik yağış ölçmələrinin optimal rejimində nəzərdən keçirilib. İlk növbədə, bu ölçmələrin optimallıq meyarının seçimi məsələsi üzərində dayanaq.

İş [5]-də tətbiq olunan şərti-entropiyalı meyardan fərqli olaraq, bizim halda aşağıda göstərilən inteqral informasiya funksionalın tətbiqi daha məqsədyönlüdür [6]

$$\int_0^{D_{max}} N(D) \cdot \log_2 [\psi(D)+1] dD \quad (1)$$

burada $N(D)$ -yağış damcılarının ölçülərinə görə paylanma funksiyasıdır; $\psi(D)$ -ölçünün çıxışında siqnal/səs nisbətidir.

İş [6]-dan fərqli olaraq, bu məqsədlə aşağıdakı kvadratik qiymətləndirmə ifadəsindən istifadə edərək, iş [1]-dəki meyarın formasını dəyişmək məqsədyönlüdür

$$\int_0^{D_{max}} \{N(D) \cdot \log_2 [\psi(D)+1]\}^2 dD \quad (2)$$

(2)-ci kvadratik inteqral meyarından istifadə etsək, $N(D)$ və $\psi(D)$ kəmiyyətlərinin cüzi dəyişən hallarında daha həssas qiymətləndirilmə almaqla yanaşı, siqnallarda yaranan müxtəlif təsadüfi additiv səslərə qarşı müqaviməti də artırmaq olar.

Distrometrik yağış ölçmələrinin optimizasiyasını etmək üçün aşağıdakı məhdudlaşdırıcı şərtəndən istifadə edək:

$$\int_0^{D_{max}} N(D) dD = C, \quad (3)$$

burada $C = const$.

(2)-ci və (3)-cü ifadələr şərtsiz variasion optimizasiyasının aşağıdakı funksionalını formalaşdırmağa imkan verir:

$$F_0 = \int_0^{D_{max}} F_1[N(D), \psi(D)] dD = \int_0^{D_{max}} \{N^2(D) \cdot \log_2^2 [\psi(D)+1] + \lambda \cdot N(D)\} dD \quad (4)$$

burada λ - Laqranj sabitidir.

Eyler qanununa əsasən, F_0 ekstremumunu $N(D)$ -yə görə hesablamaq üçün aşağıdakı şərtəndən istifadə edək:

$$\frac{dF_1}{dN(D)} = 0. \quad (5)$$

$$(4)\text{-cü və } (5)\text{-ci ifadələrə nəzərən } 2N(D) \cdot \log_2^2 [\psi(D)+1] + \lambda = 0, \quad (6)$$

$$N(D) = -\frac{\lambda}{2 \log_2 [\psi(D)+1]}. \quad (7)$$

(3)-cü və (7)-ci ifadələrə nəzərən

$$\lambda = -\frac{C}{\int_0^{D_{max}} \frac{dD}{2 \log_2 [\psi(D)+1]}}. \quad (8)$$

Yekunda (7)-ci və (8)-ci ifadələrdən bunu alırıq

$$N(D) = \frac{C}{\log_2 [\psi(D)+1] \cdot \int_0^{D_{max}} \frac{dD}{\log_2 [\psi(D)+1]}} \quad (9)$$

Bu qeydləri etsək,

$$\int_0^{D_{max}} \frac{dD}{\log_2 [\psi(D)+1]} = C_1, \quad C_1 = const \quad (10)$$

onda, (9)-cu ifadədən bunu alırıq:

$$N(D) \cdot \log_2 [\psi(D)+1] = \frac{C}{C_1} = C_2. \quad (11)$$

Beləliklə, (10)-cu şərt yerinə yetirilsə, $N(D)$ və $\log_2 [\psi(D)+1]$ qarşılıqlı dəyişsə, $N(D)$ isə $\psi(D)$ azalsa–artsa və əksinə olsa, onda (4)-cü funksional ekstremuma çatacaq.

Çatdığımız ekstremumunun xarakterini nəzərdən keçirərək, (4)-cü funksionalın ikinci törəməsini $N(D)$ -yə görə alıb bunu əldə etdik:

$$\frac{d^2 F_0}{dN^2(D)} = \log_2^2 [\psi(D)+1]. \quad (12)$$

Beləliklə, (12)-ci ifadəyə görə (4)-cü funksionalın ikinci törəməsi müsbət kəmiyyətdir, bu da onu göstərir ki, (11)-ci şərt yerinə yetirilsə, funksional minimuma çatacaq. Beləliklə, (10)-cu funksionalı maksimuma çatdırmaq üçün $N(D)$ və $\psi(D)$ funksiyalarının sinfəzli dəyişməsinə təmin etmək tələb olunur, yəni, $\psi(D)$ artan zaman $N(D)$ böyüməlidir və əksinə.

Beləliklə, yağma tezlikləri maksimal qiymətdə olan damcılardan ölçülməsi zamanı optimal distrometr çıxışda siqnal/səs nisbətinin ən böyük qiymətini təmin etməlidir. Ölçücünün bu cür iş alqoritmi onun optimal çalışmasını da təmin edə bilər.

Nəticə

Aparılmış tədqiqatlar əsasında aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

Faktiki materialların təhlili nəticəsində göstərilmişdir ki, hidrometeorların təsiri nəticəsində GPS siqnallarının gecikməsi cəmi “rütubət” gecikməsinin 5 – 8 % -ni təşkil edir.

Müxtəlif ölçülü yağış damcılarının yağma tezliyinin distrometrik ölçülməsi prosesi optimallaşdırılmışdır.

Şərtsiz variasion optimizasiyasının funksionalı formalaşdırılmışdır və onun riyazi alqoritmi verilmişdir.

REFERENCES

1. Solheim F.S., Vivekanandan J. Propagation delays induced in GPS signals by dry air, water vapor, hydrometeors, and other particulates // *Journal of Geophysical Research*. – April 27 1999, Vol. 104, No. D8. Pp. 9663-9670.
2. Eminov R.Ə., İbrahimova S.İ. Yağışın GPS mövqetəyinetmə sistemlərinin keyfiyyətinə etdiyi təsirin kompleks qiymətləndirilməsi // *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*. Bakı, – 2020, № 1, cild 12, s. 92-96.
3. Saikia M., Devi M., Barbara A.K., Sarmah H.K. Raindrop size distribution profiling by laser distrometer and rain attenuation of centimeter radio waves // *Indian Journal of Radio & Space Physics*, – 2009, Vol. 38, pp. 80-85.
4. Lee, I.-S., Ge, L. The performance of RTK GPS for surveying under challenging environmental conditions // *Earth Planets Space*, – 2006. Vol. 58, – p. 515-522.
5. Checa, R., Tapiador, F.J. A maximum entropy modeling of the rain drop size Distribution // *Entropy*, – 2011, vol. 13, – p. 293-315: 10.3390/e1302029.
6. Asadov H.G., Ismailov K.H. Informacionnyj metod pozicionirovaniya obyektov // – M.: *Informacionnye tekhnologii*, – 2011. № 9, – s. 37-39 (in Russian).

Redaksiyaya daxil olub: 30.08.2020

Tamamlama işlərindən sonra: 14.06.2021

Nəşrə qəbul edilib: 17.06.2021