

UYALI ALOQA TARMOQLARIDA RADIOCHASTOTA SHOVQINLARINI TAHLIL QILISH VA ULARNI BARTARAF QILISH USULLARI

Berdiyev Alisher - dotsent

*Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti. Toshkent, O'zbekiston*

Ubaydullayev Shoxjaxon - magistrant

*Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti. Toshkent, O'zbekiston*

Annotatsiya. Radiochastota shovqinlari (RFI) signal spektrogrammasi (chastota va vaqt domenini namoyish qilish) asosida aniqlash va yumshatish algoritmlari taqdim etilgan. Radiometrik signalning spektrogrammasi tasvir sifatida ko'rib chiqiladi va shuning uchun RFI ni ikki o'lchovli filtrlash orqali aniqlash va yumshatish uchun tasvirni qayta ishlash texnikasi qo'llaniladi. Oddiy chegara algoritmi va o'zgartirilgan ikki o'lchovli Viner filtring ishlashini baholash uchun bir qator Monte-Karlo simulyatsiyalari amalga oshirildi.

Kalit so'zlar: radiometriya; spektrogram; RFI; aniqlash; yumshatish

Аннотация. Представлены алгоритмы обнаружения и смягчения радиочастотных помех (RFI) на основе спектрограммы сигнала (отображение частотной и временной областей). Спектрограмма радиометрического сигнала рассматривается как изображение, поэтому методы обработки изображений используются для обнаружения и смягчения радиочастотного излучения с помощью двумерной фильтрации. Представлены алгоритмы обнаружения и смягчения радиочастотных помех (RFI) на основе спектрограммы сигнала (отображение частотной и временной областей).

Ключевые слова: радиометрия; спектрограмма; RFI; обнаружение;

Abstract. Detection and mitigation algorithms based on radio frequency noise (RFI) signal spectrogram (frequency and time domain representation) have been provided. The spectrogram of a radiometric signal is treated as an image and therefore image processing techniques are used to detect and mitigate RFI through two-dimensional filtering. Detection and mitigation algorithms based on radio frequency noise (RFI) signal spectrogram (frequency and time domain representation).

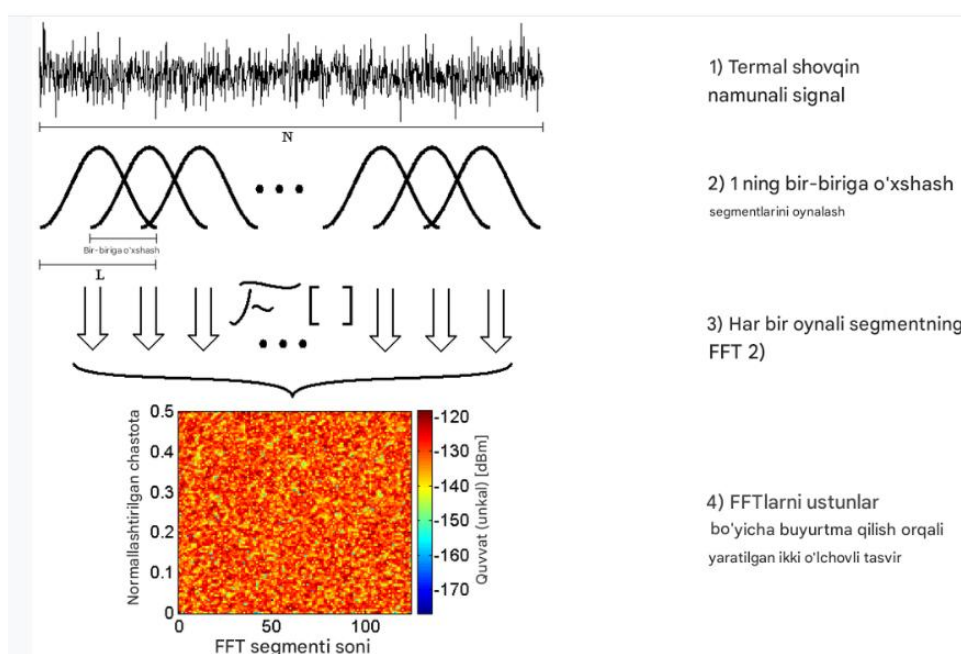
Keywords: radiometry; spectrogram; RFI; detection; mitigation

Mikroto'lqinli radiometriya bugungi kunda geofizik parametrlarni masofadan o'lchash uchun muntazam ravishda qo'llaniladi. Mikroto'lqinli radiometrlar juda sezgir asboblardir, ammo o'lchovlar radiochastota aralashuvi (RFI) mavjudligi bilan buzilishi mumkin. RFI manbalariga pastki chastota diapazonlaridan soxta signallar va harmonikalar, "himoyalangan" ish diapazoniga to'g'ri keladigan tarqalish spektrli signallar yoki oldindan aniqlash filtrlari tomonidan to'g'ri rad etilmagan diapazondan tashqaridagi chiqindilar kiradi.

Oldindan aniqlangan kuchlanish signalida RFI mavjudligi o'lchangan geofizik parametrlarni noto'g'ri olishga olib keladigan o'lchangan quvvat qiymatini o'zgartiradi [1-3]. So'nggi yillarda radiometrik o'lchovlarda RFI mavjudligini aniqlash texnikasi

ishlab chiqildi. Ular vaqt o'z ichiga oladi-va / yoki chastota domen tahlil [4], yoki qabul signal statistik tahlil [5,6]. Idindan aniqlangan kuchlanish signalida RFI mavjudligi o'lchangan geofizik parametrlarni noto'g'ri olishga olib keladigan o'lchangan quvvat qiymatini o'zgartiradi [1-3]. So'nggi yillarda radiometrik o'lchovlarda RFI mavjudligini aniqlash texnikasi ishlab chiqildi. Ular vaqt o'z ichiga oladi-va / yoki chastota domen tahlil [4], yoki qabul signal statistik tahlil [5,6]. Bundan tashqari, spektral Kurtoz deb ataladigan algoritm [7] turli xil RFI aniqlash algoritmlarining kombinatsiyasi samaradorligidan foydalangan holda yaxshi natijalar bilan o'rganilgan.

Vaqt va chastota domenlarini tahlil qilishni birgalikda birlashtirgan holda, spektrogram ilgari radio-astronomiyada RFI aniqlashda ishlatilgan kuchli vosita bo'lib xizmat qiladi [8,9]. Spektrogram qisqa vaqt ichida (odatda desibel shkalasi bo'yicha) intensivlik uchastkasidan iborat Furiye konvertatsiyasi (STFT) kattaligi [10]. STFT bir qatordan iborat Furiye konvertatsiyasi (FT) uzunroq ma'lumotlar to'plamidan ketma-ket oynali ma'lumotlar segmentlari. aqt va chastota domenlarini tahlil qilishni birgalikda birlashtirgan holda, spektrogram ilgari radio-astronomiyada RFI aniqlashda ishlatilgan kuchli vosita bo'lib xizmat qiladi [8,9]. Spektrogram qisqa vaqt ichida (odatda desibel shkalasi bo'yicha) intensivlik uchastkasidan iborat Furiye konvertatsiyasi (STFT) kattaligi [10]. STFT bir qatordan iborat Furiye konvertatsiyasi (FT) uzunroq ma'lumotlar to'plamidan ketma-ket oynali ma'lumotlar segmentlari. Derazalar odatda vaqt bilan qoplanadi, shuning uchun ma'lumotlar segmentlari 1-rasmda ko'rsatilgandek ortiqcha ma'lumotlarga ega bo'lishi mumkin. STFT vaqt o'tishi bilan o'zgarib turadigan signalning chastota komponentlarining vaqt bo'yicha lokalizatsiya qilingan spektral ma'lumotlarini beradi, standart FT esa butun signal vaqt oralig'ida o'rtacha chastota ma'lumotlarini beradi [10]. Spektrogram ikki o'lchovli intensivlik syujeti bo'lgani uchun uni tasvir sifatida tahlil qilish mumkin, shuning uchun barcha tasvirni qayta ishlash vositalari qo'limizda.



1-rasm. Termal shovqinning namunali signalidan spektrogrammani olish jarayoni.

Ushbu ishda birinchi navbatda radiometrik signal spektrogrammalarida shovqin naqshlarini aniqlash va yo'q qilish uchun oddiy chegara algoritmi ishlab chiqilgan va simulyatsiya natijalari keltirilgan. Simulyatsiya qilingan RFI signallari sinusoidal va chirp oilalaridan kelib chiqadi. Signallarning parametrlarini, tarmoqli kengligi va vaqt davomiyligini sozlash orqali turli xil signallarni olish mumkin. Keyin radiometrik signalda RFI komponentlarini bekor qilishni yaxshilashga harakat qilish uchun spektrogrammaga ikki o'lchovli (2d) filtr qo'llaniladi. Spektrogrammani hisoblashning qisqacha tavsifi 2-bo'limda keltirilgan. 3-bo'limda ushbu ishda taklif qilingan tasvirni qayta ishlash algoritmi tasvirlangan, bu "tekislash algoritmi" deb nomlanadi. 4-bo'limda Vinerni filtrlash jarayoni tasvirlangan va taklif qilingan "tekislash algoritmi" bilan taqqoslangan. 5-bo'limda ikkala algoritmnin RFI chirp signallari to'plami bilan ifloslangan termal shovqin signaliga qo'llash natijasida olingan natijalar ko'rsatilgan. Va nihoyat, 6-bo'lim ushbu ishning xulosalarini umumlashtiradi.

Spektrogrammani hisoblash

Ushbu ishda radiometrik signallar Nyquist mezonini qondiradigan etarli namuna olish tezligida namuna olinadi deb taxmin qilinadi va spektrogrammalar ushbu diskret vaqt signallaridan olinadi.

Spektrogrammani hisoblash bir nechta parametrlarga bog'liq: signal namunalarining umumiy soni, FFT hajmi, ma'lumotlar segmentlarini FFT hisoblash uchun ishlatiladigan oyna va 1-rasmda ko'rsatilgandek, ushbu ma'lumotlar segmentlari orasidagi bir-birining ustiga chiqish. Ushbu hujjatda ishlatiladigan spektrogram diskret namunalar yordamida hisoblanadi, ularning har biri oldindan aniqlangan kuchlanish signalini o'lchashga mos keladi. Spektrogrammani tashkil etuvchi namunalar soni (N) har bir spektrogram tomonidan olingan radiometrik piksellar sonini aniqlaydi. FFT kattaligi-har bir FFTNI hisoblash uchun ishlatiladigan namunalar soni va spektral va vaqtinchalik rezolyutsiyalarni aniqlaydi. Agar FFT hajmi (L) oshsa, spektral rezolyutsiya ortadi, vaqtinchalik rezolyutsiya esa kamayadi, chunki ketma-ket ma'lumotlar segmentlari orasidagi vaqt oralig'i ortadi. Aksincha, kichikroq FFT o'lchamlari past chastotali piksellar soniga va yuqori vaqtinchalik o'lchamlarga olib keladi. Shuning uchun FFT o'lchamini tanlash radiometrik o'lchovlarda mavjud bo'lgan RFIga qarab ehtiyotkorlik bilan tanlanishi kerak. FFTNI hisoblash istalmagan "yon loblarni" minimallashtirish va ma'lumotlar segmentining ikkala uchida keskin qisqartirishlar natijasida FFTDA jiringlashni kamaytirish uchun tahlil oynasi funktsiyasidan foydalanishni talab qiladi. Bu holat Gibbs hodisa deb nomlangan FFT bir tebranish xatti sabab [11]. Ushbu muammoni oldini olish uchun bir nechta funktsiyalardan foydalanish mumkin, ammo ma'lumotlar manbai noma'lum bo'lsa, Hann oynasi 18 dB/oktavada mukammal siljish tezligi tufayli spektrni tahlil qilishda ishlatiladigan eng keng tarqalgan oynalardan biridir [12].

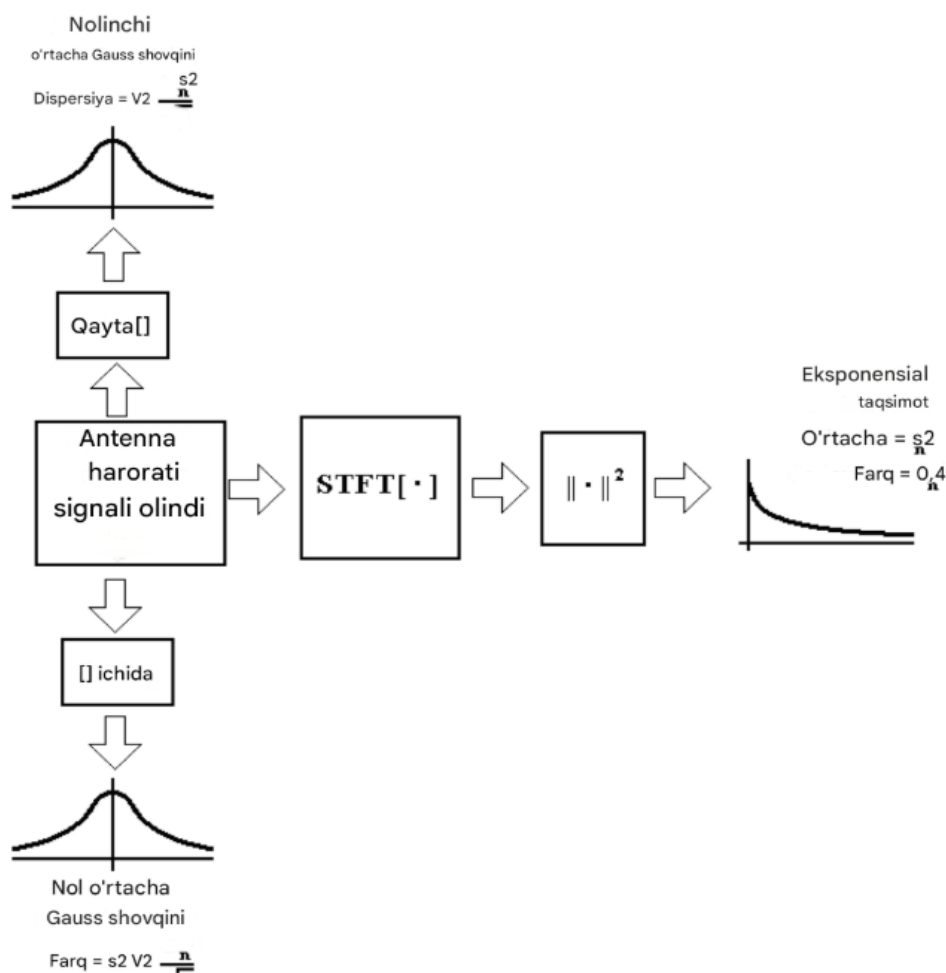
FFT hisoblashda oynadan foydalanganda ma'lumotlar yo'qolishining oldini olish uchun ketma-ket ma'lumotlar segmentlari orasida bir-biriga o'xshash (O) mavjud bo'lishi kerak (1-rasm). Bundan tashqari, ma'lumotlar segmentlari boshlanishi kamayadi sifatida nizomiga muvofiq vaqtinchalik qaror oshiradi. Shu bilan birga, bir-birining ustiga chiqishni ko'paytirish hisoblash va boshqarish uchun namunalarning umumiy sonining ko'payishiga olib keladi, bu esa apparat dizaynini murakkablashtiradi. Bir-birining ustiga chiqish omili Hann oynasi uchun 75% bo'lishi

tavsiya etiladi [13,14]; bu ishda $\sigma = 75\%$ qiymat ishlatiladi. hisoblashda oynadan foydalanganda ma'lumotlar yo'qolishining oldini olish uchun ketma-ket ma'lumotlar segmentlari orasida bir-biriga o'xshash (O) mavjud bo'lishi kerak (1-rasm). Bundan tashqari, ma'lumotlar segmentlari boshlanishi kamayadi sifatida nizomiga muvofiq vaqtinchalik qaror oshiradi. Shu bilan birga, bir-birining ustiga chiqishni ko'paytirish hisoblash va boshqarish uchun namunalarning umumiy sonining ko'payishiga olib keladi, bu esa apparat dizaynini murakkablashtiradi. Bir-birining ustiga chiqish omili Hann oynasi uchun 75% bo'lishi tavsiya etiladi [13,14]; bu ishda $\sigma = 75\%$ qiymat ishlatiladi.

Ushbu ishda hisoblangan spektrogrammalar quyidagi parametrlarga ega:

Namunalar soni: radiometrik piksellar sonini maksimal darajada oshirish uchun ushbu parametr iloji boricha yuqori bo'lishi kerak, chunki namunalarning ko'pligi uzoqroq integratsiya vaqtini anglatadi. Boshqa tomondan, juda katta qiymatlar Monte-Karlo simulyatsiyalarini bajarish uchun zarur bo'lgan hisoblash vaqtini oshiradi. Ushbu ishda tanlangan qiymat $n = 218$ namunadir.

Qoplama: 218 namunalari uchun $\sigma = 75\%$ bir-birining ustiga chiqish qiymati oqilona [13,14] axborot yo'qotilishining oldini olish uchun.



2-rasm. Nol o'rtacha Gauss shovqin taqsimotlarini (faza va kvadratura komponentlari) bir xil standart og'ish va o'rtacha ko'rsatkich bilan eksponensial taqsimotga aylantirish.

FFT hajmi: FFT o'lchami chastota o'lchamlari va FFT segmentlari sonini aniqlaydi, vaqtinchalik piksellar sonini aniqlaydi. Ushbu ishda amalga oshirilgan simulyatsiyalar uchun va RFI haqida har qanday ma'lumot ma'lum deb taxmin qilish uchun FFT hajmi FFT segmentlari soniga teng, o'xshash spektral va vaqtinchalik rezolyutsiyalarga ega bo'lishi uchun tanlangan (ikkala rezolyutsiya ham maqbul bo'lmasligi mumkin); shuning uchun FFT hajmi kvadrat bo'lishi kerak namunalar sonining ildizi (N). Ketma-ket Hann oynalari orasida 75% qoplama mavjudligini hisobga olib, FFT segmentlari sonini 4 ga ko'paytirish kerak. Shunday qilib, asl kelishuvni saqlab, ikkala rezolyutsiyani muvozanatlash uchun FFT hajmi $L = 210$ sifatida tanlangan va endi namunalarining umumiy soni 220 tani tashkil etadi (bir-birining ustiga chiqishi sababli ortiqcha ballarni hisobga olish).

Aytilganidek, spektrogram operatsiyasi Stft kattaligining kuchidan (mutlaq qiymat kvadratidan) iborat. Spektrogram operatsiyasi qabul qilingan issiqlik shovqinining ehtimollik zichligi funktsiyasini o'zgartiradi, bu Gauss tomonidan taqsimlangan tasodifiy o'zgaruvchilar juftligi (biri fazali komponent uchun, ikkinchisi kvadratura komponenti uchun). Amplitudaning kvadrati ikkala Gauss taqsimotining kvadratlari yig'indisiga teng, bu eksponensial taqsimotga teng bo'lgan ikki darajali erkinlik bilan chi-kvadrat taqsimotning ta'rifi [15]. 2-rasmda bu jarayon tasvirlangan.

Smoothing Algoritmi

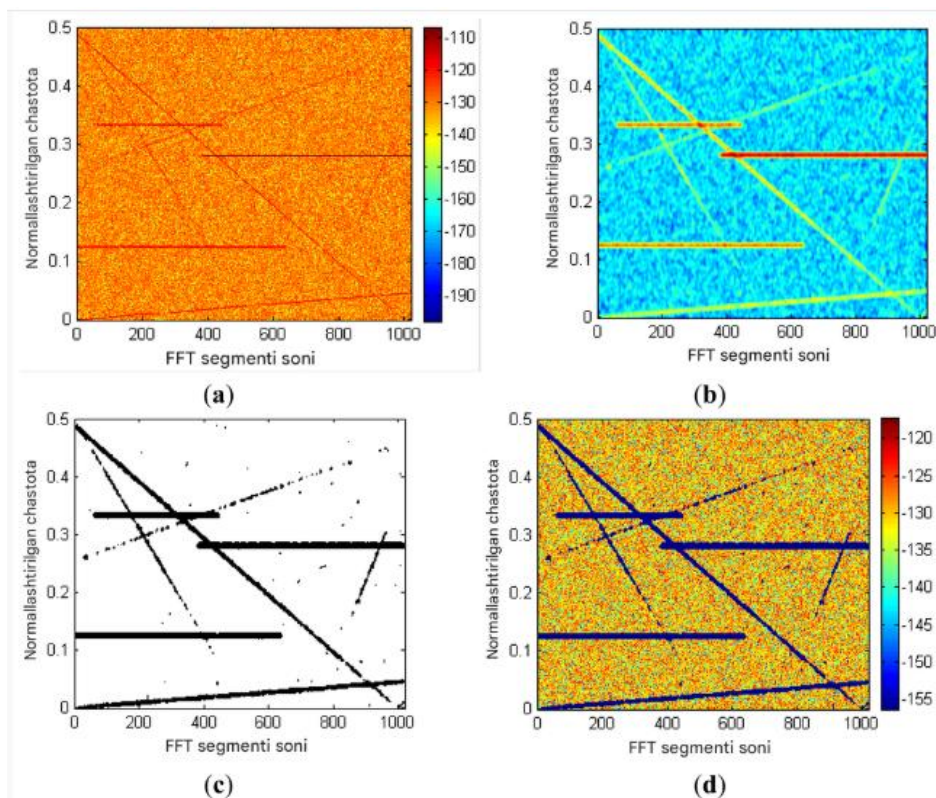
Radiometrik signalda shovqin mavjudligini aniqlashning eng aniq usuli bu qabul qilingan signalda RFI yo'qligida o'lchangan termal shovqinning dispersiyasidan kattaroq quvvat cho'qqilarini aniqlashdir. Ushbu aniqlash vaqt va chastota sohalarida ham amalga oshirilishi mumkin.

Ushbu texnikani to'g'ridan-to'g'ri spektrogrammaga kengaytirish mumkin. Quvvat cho'qqisi RFI signali tomonidan ishlab chiqarilganligini hisobga olsak, chegara qiymati termal shovqin dispersiyasi (quvvat) funktsiyasi bo'lishi kerak va RFI aniqlash (P_{det}) ehtimolini maksimal darajada oshirishi va noto'g'ri signal (P_{fa}) ehtimolini minimallashtirishi kerak. aniqlash. RFI aniqlash ehtimolini oldindan hisoblash mumkin emas, chunki RFI mavjudligi noma'lum, ammo noto'g'ri signal berish ehtimolini olish oson, chunki termal shovqin ma'lum Gauss taqsimotiga to'g'ri keladi. Ushbu ishda bajarilgan barcha simulyatsiyalar antenna harorati (TA) 300 K va radiometr qabul qiluvchining shovqin harorati 100 K bo'lgan holda amalga oshirildi, shovqin kuchi va RF aralashuvchi signal kuchi o'rtasidagi munosabatni o'rnatish uchun shovqin va shovqin nisbati (INR) quyidagicha belgilanadi:

$$INR \triangleq \sigma^2 RFI / \sigma^2 Noise$$

bu erda a_{2rfi} -bu aralashuvchi signalning kuchi va a_{2noise} -bu issiqlik shovqin kuchi.

Noto'g'ri signallar tomonidan ishlab chiqarilgan taxminiy antenna haroratidagi xatoni cheklash uchun ushbu algoritmnining chegara qiymati tanlanishi kerak.



3-rasm. Simulyatsiya qilingan radiochastota shovqiniga (RFI) ifloslangan radiometrik signalga qo'llaniladigan tekislash algoritmi. (a) RFI ifloslangan signal ning spektrogram, $rx2rfi = rx2n - 5$ dB; (b) a n bilan spektrogram Konvolyutsiyasi $N = 15$ Rx 15 Hann oyna; (c) PFA uchun Thresholding = 10-4: qora piksel RFI hisoblanadi; (D) RFI-yumshatish spektrogram yordamida "bo'sh"RFI ifloslangan piksellarning

Agar RFISIZ spektrogram kuzatilsa shovqin kuchi cho'qqilari chastotada ham, vaqtda ham tarqalganligi (va odatda izolyatsiya qilinganligi) aniq, RFI ifloslangan spektrogrammada, RFI odatda chastotada belgilangan mintaqalarda to'planadi.- vaqt samolyoti. Spektrogrammani tasvir sifatida hisobga olgan holda, shovqin kuchi cho'qqilari odatda to'plangan RFIGA qaraganda yuqori fazoviy chastotali tarkibni (tez o'zgarishlarni) taqdim etadi. Shunday qilib, 2D tekislash filtrini qo'llash (past o'tkazgichli filtr) ushbu eksponent "cho'qqilarni" susaytiradi, RFI ifloslangan hududlar esa saqlanib qoladi. RFI saqlanib qoladi, shuning uchun uni yanada cheklangan chegara bilan aniqlash mumkin.

Xulosa qilib aytganda, ikkita yangi RFI aniqlash va yumshatish algoritmlari taqdim etildi. Ikkalasi ham radiometrik signal spektrogrammasini qayta ishlashga asoslangan va shu bilan vaqt va chastota domenlarida bir vaqtning o'zida ishlaydi.

Tekislash (va chegara) algoritmi o'rganiladi va uning ishlashi Monte-Karlo simulyatsiyalari yordamida baholanadi. Silliqlash algoritmidagi chegara qiymati eng muhim parametrdir, chunki u filtr o'lchamiga va priori noma'lum bo'lgan RFI kuchiga qarab olingan TA xatosini minimallashtiradi. Belgilangan filtr hajmi uchun RFI signal kuchini o'zgartiradigan va shovqin kuchini doimiy ravishda ushlab turadigan eng yaxshi chegarani hisoblash mumkin. Eklash (va chegara) algoritmi o'rganiladi va ishlashi Monte-Karlo simulyatsiyalari yordamida baholanadi. Silliqlash algoritmidagi

chegara qiymati eng muhim parametrdir, chunki u filtr o'lchamiga va priori noma'lum bo'lgan RFI kuchiga qarab olingan TA xatosini minimallashtiradi. Belgilangan filtr hajmi uchun RFI signal kuchini o'zgartiradigan va shovqin kuchini doimiy ravishda ushlab turadigan eng yaxshi chegarani hisoblash mumkin. Agar shovqin sinusoidal bo'lsa, har qanday RFI kuchi uchun olingan ta xatosini minimallashtiradigan optimal chegara qiymati mavjudligi aniqlanadi. Ushbu chegara qiymati tekislash algoritmidan ishlatiladigan filtr hajmi bilan kamayadi. Sinusoidal RFI uchun, chegara qiymati $1,37 \cdot \text{dikkat}^{2n}$, olingan TA xatosi 2 k 25 piksellik filtr hajmi va har qanday INR qiymati uchun.

Agar RFI keng polosali bo'lsa, PRN RFI va OFDM RFI bo'lgan ikkita holat o'rganildi. PRN RFI shovqin kabi harakat qiladi va optimal chegara qiymati yo'qligi aniqlandi, chunki RFI quvvatini oshirish har doim olingan TA xatosini oshiradi. OFDM RFI o'zini sinusoidal RFI kabi tutadi, shuning uchun optimal chegara qiymati ham mavjud, garchi TA da olingan maksimal xato sinusoidal holatga qaraganda yuqori. Bundan tashqari, spektrogram keng polosali RFI ning contaminate extense joylari, kambag'al radiometrik qarori natijasida spektrogram yana bir qancha piksel bartaraf etildi.

Signal spektrogrammasidagi RFI ni taxmin qilish va uni ifloslanganidan substrakt qilish uchun tegmaslik filtr filtri (LLMMSE) asosida 2D de noising filtri ham o'rganiladi. Shu bilan birga, Viner filtri qabul qilingan signalning shovqin kuchi aniq ma'lum bo'lgan taqdirdagina keyingi substraktsiya uchun RFI signallarini aniqlash uchun spektrogrammada qo'llaniladigan maqbul ishlashga ega ekanligi aniqlandi, bu aslida aniqlanishi kerak bo'lgan kattalikdir. Shuning uchun Viner filtri signalni qayta ishlashda signalni denoizatsiya qilish uchun maqbul bo'lsa-da, shovqin kuchini baholashda talab qilinadigan aniqlik mikroto'lqinli radiometriyada odatdagi telekommunikatsiya dasturlariga qaraganda ancha yuqori va shuning uchun u RFI yumshatish uchun mos emas.

Ushbu ikkita algoritm faqat sinusoidal, chirp, PRN va OFDM kabi signallar bilan sinovdan o'tkazildi, kelajakda ushbu algoritmlar bilan boshqa turdagi RFI signallarini sinab ko'rish va o'lchangan ma'lumotlarni qayta ishlash amalga oshiriladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Skou, N.; Sidharth, M.; Søbjaerg, S.S.; Balling, J.E.; Kristensen, S.S. RFI as Experienced During Preparations for the SMOS Mission. *Proceeding of International Union of Radio Science; General Assembly (URSI), Chicago, IL, USA, 7–16 August 2008.*
2. Ellingson, S.W.; Johnson, J.T. A polarimetric survey of radio-frequency interference in C- and X-bands in the continental United States using WindSat radiometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2006**, *44*, 540–548. [[Google Scholar](#)]
3. Ruf, C.S.; Misra, S. Detection of Radio Frequency Interference with the Aquarius Radiometer. *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2007), Barcelona, Spain, 23–28 July 2007; pp. 2722–2725.*

4. Guner, B.; Johnson, J.T.; Niamsaun, N. Time and frequency blanking for radio frequency interference mitigation in microwave radiometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2007**, *45*, 3672–3679. [[Google Scholar](#)]
5. Ruf, C.S.; Gross, S.M.; Misra, S. RFI detection and mitigation for microwave radiometry with an agile digital detector. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2006**, *44*, 694–706. [[Google Scholar](#)]
6. Tarongi, J.M.; Camps, A. Normality analysis for RFI detection in microwave radiometry. *Remote Sens.* **2010**, *2*, 191–210. [[Google Scholar](#)]
7. Johnson, J.T.; Potter, L.C. Performance Study of Algorithms for Detecting Pulsed Sinusoidal Interference in Microwave Radiometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2009**, *47*, 628–636. [[Google Scholar](#)]
8. Nelson, W.B. Basic Concepts and Distributions for Product Life. In *Applied Life Data Analysis*, 1st ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2004; p. 41. [[Google Scholar](#)]
9. Lee, J.S. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* **1980**, *PAMI-2*, 165–168. [[Google Scholar](#)]