

## ВАРИАНТИ НА МЕТОДИ ЗА ЗАЩИТА НА СПЪТНИКОВИТЕ КОМУНИКАЦИИ ОТ НЕОТОРИЗИРАН ДОСТЪП С ИЗПОЛЗВАНЕ НА АНТЕННИ РЕШЕТКИ НА БОРДА НА ИЗКУСТВЕНИ СПЪТНИЦИ НА ЗЕМЯТА

М. Желязов А. Муратова

РУ "Ангел Кънчев"

[mjeliazov@mail.bg](mailto:mjeliazov@mail.bg), [nastiusha@mail.bg](mailto:nastiusha@mail.bg)

**key words: communication link, unauthorized access, determination of the coordinates, unknown transmitter**

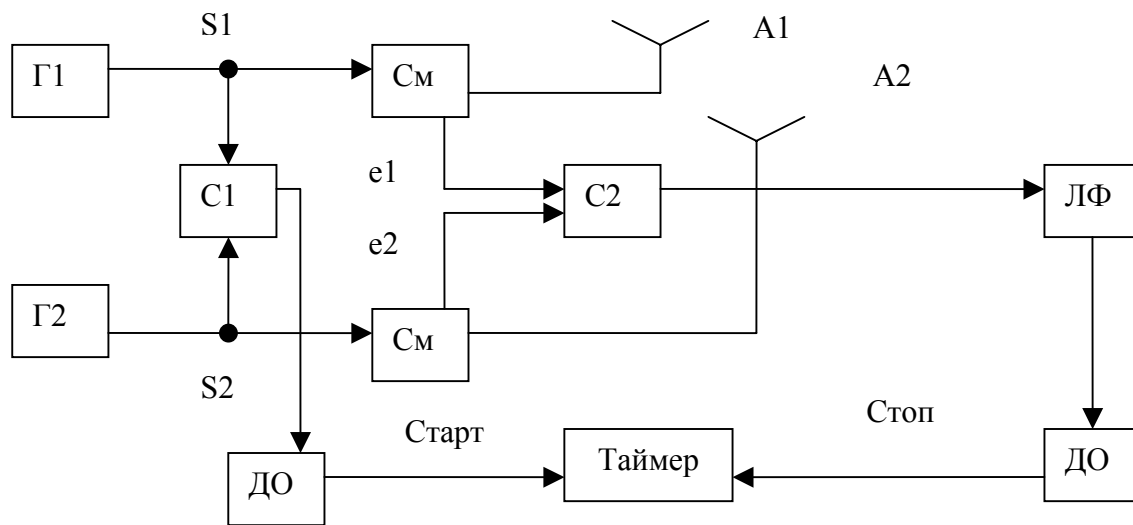
*The space communication link displays specific characteristics different from those of terrestrial ones: larger link delay, significant size of maintained territory, etc. A new problem in last several years is Unauthorized Access in Systems for Communication via Satellite. In review are considered both methods and technologies for determination of the coordinates for unknown transmitter breaking function of the legal users. Also, there is analysis of ways, reducing efficiency of transfer information for the unauthorized users.*

### *1. Метод с използване на антенни решетки, монтирани на борда на ИСЗ.*

Ограничените възможности на разглежданите в предходната статия варианти, свързани преди всичко с необходимостта от използване на два ИСЗ са очевидни. Много по-дълбоко от теоретична и практическа гледна точка е направлението, свързано с разполагането на борда на ИСЗ на антенна решетка (АР), която се състои от три или четири елемента в най-простия случай. Ъгловите характеристики на фронта на приеманата вълна се оценява с помощта на АР по разликата във времето на преминаване на вълната между елементите на антената. Съществуващите в момента ИСЗ за целите на комуникациите са оборудвани с една антена за приемане на всички сигнали и затова ъгловите характеристики на фронта на приеманата вълна изчезват и преизлъченият сигнал не носи информация за координатите на спътника.

В [1] се отбелязва, че в спътниковите комуникации, които използват бордови антени с голям коефициент на усилване могат да възникнат проблеми, свързани със смущенията по линията ИСЗ - Земя, които зависят от насочените свойства на бордовата антена или от позицията на ИСЗ на орбита. В последния случай се имат в пред вид проблемите, свързани с електромагнитната съвместимост на няколко близко разположени ИСЗ. Предлага се измерването да се извършва чрез сравняване на амплитудите на сигналите от смущенията, приети от многолъчевата бордова антена на спътника. Разпределението на мощността на смущението между отделните лъчи се измерва на Земята. Предимството на тази система е в това, че за целта е необходим само един ИСЗ, и в това, че не се изисква сложна доработка на бордовото оборудване на спътника. Експерименталните изследвания, използвани като основа на написването на този доклад са проведени с многолъчева антенна решетка, предназначена за работа в S диапазона на борда на ИСЗ от типа Engineering Test Satellite V1. В [2] са развити теоретичните обосновки на това предложение. Новите метод и алгоритъм използват модулирани сигнали с циклична

(кръгова) стационарност, които разделят неизвестния сигнал на смущението и шумовете за намаляването на нежеланите сигнали (смущения). Сигналите, приети от антените се обработват в линеен прогнозиращ филтър. Изчислява се цикличната корелация, основана върху цикличната стационарност на полезните сигнали. С отчитането на грешките при изчисляването на цикличната корелационна функция се определя ъгъла на пристигане на сигнала от смущенията. Този метод осигурява достатъчно ефективно определяне на ъгъла на пристигане на вълната от сигнала на смущението при малки отношения сигнал / шум. На фиг. 1 е разгледана работата на система с триелементна антенна система, където с А1 и А2 са означени отделните елементи на АР, разположени на разстояние  $b$  – наречено база ( базово разстояние ). Нека с  $a_1$  и  $a_2$  са означени сигналите, постъпващи върху елементите на АР съответно и имат вида :



фиг.1 Блокова схема на антенното устройство: С1 и С2 – суматори; ДО – детектор на обвиващата; См 1 и См 2 – смесители; ЛФ – лентов филтър[3].

$$(1.1) \quad a_1(t) = U \cos(\omega t)$$

и

$$a_2(t) = U \cos(\omega t + \varphi) = U \cos \left[ \omega t + \left( \frac{b\omega}{c} \right) \cos(\alpha) \right].$$

В тези равенства  $\varphi$  – фазово изместване между сигналите, приемани от елементите А1 и А2, което се обуславя от различните пътища на лъчите от източника на смущението до елементите на АР;  $\alpha$  – ъгъла на пристигане на фронта на вълната;  $\omega$  – носеща на честотата на сигнала от смущението;  $c$  – скорост на светлината.

Същността на предлагания метод се състои в компенсиране при измерването на изместването на фазите между сигналите, приемани от елементите А1 и А2 на антенната решетка. Генераторите  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  формират опорни немодулирани трептения:

$$(1.2) \quad \begin{aligned} s_1(t) &= B \cos(\omega_1 t) \\ s_2(t) &= B \cos(\omega_2 t) = B \cos[(\omega_1 + \Delta\omega)t] \end{aligned}$$

Сравнително лесно може да се докаже, че продължителността на интервала от време, който се формира от таймера е равна на задръжката по време между нулите на обвиващите от изходите на суматорите С1 и С2:

$$(1.3) \quad \Delta T = \left( \frac{b\omega}{c\Delta\omega} \cos \alpha \right).$$

В този израз ъгъла на пристигане на вълната  $\alpha$ , който се определя от (1.3) се отчита в плоскостта на меридиана относно екватора. Трябва да се отбележи, че максималната стойност на  $\alpha$  не превишава  $8^\circ$ .

При извършването на разчетите се полага, че  $b = 5$  m. и  $\omega = 2\pi \cdot 6 \cdot 10^9$  рад. / сек. За определеност може да се счита, че  $\Delta T = 6,2 \cdot 10^{-3}$  ms,  $\Delta \omega = 100$  KHz, и тогава грешката при определянето на ъгъла  $\alpha$  при максималната възможна стойност:

$$(1.4) \quad \delta\alpha = \frac{10^{-2}}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} (\Delta\omega\delta\Delta T + \Delta T\delta\Delta\omega).$$

При пресмятането ще се изхожда от това, че относителната грешка при измерването на интервала от време е  $10^{-3}$ , а също така и от това, че относителната нестабилност на генератора, от който се формира честотната разстройка  $\Delta\omega$  е  $10^{-6}$ . При условие, че при  $\delta\Delta T = 10^{-6}$  сек. и  $\delta\Delta\omega = 0,1$  рад. / сек. : то  $\delta\alpha = 40 \cdot 10^{-3}$  градуса [5].

Прехода от ъглови мерни единици към разстояние върху повърхността на Земята ще се проведе по следния начин. Ширината на лентата на неизвестния предавател (НП)  $\varphi$  и грешката при нейното определяне  $\Delta\varphi$  се изчисляват от сравнително простите геометрични зависимости:

$$(1.5) \quad \varphi + \Delta\varphi = 180 - \left[ \arcsin\left(\frac{R_1 \sin(\alpha - \Delta\alpha)}{R}\right) + \alpha + \Delta\alpha \right],$$

където  $R_1$  и  $R$  са съответно разстоянията от центъра на Земята до геометричния център на антенната решетка и радиуса на Земята.

Пресмятанията показват, че грешката при измерването на ширината в единици за разстояние в конкретния случай е  $\delta D = 34$  км.

## 2. Метод с използване нискоорбитални ИСЗ.

Разгледаните по-горе системи и методи за определяне на координатите на неизвестен предавател, осъществяващ нерегламентиран достъп използват спътници, разположени на геостационарна орбита. Задачата, поставена в началото е решима и за нискоорбитални ИСЗ, както и за ИСЗ с регионален лъч. Но системите от подобен вид са разработени даже в патентната литература много по-слабо от описаните по-горе. Системата за определяне на координатите на предавателя включва подвижна платформа. В оригиналните текстове не се упоменава къде ще бъде точно мястото на тази платформа, но в същността си изобретението предлага предположението, че такава подвижна платформа може да се разположи на борда на самолет или на борда на нискоорбитален ИСЗ (НОИСЗ)[6,7]. Разполагането на платформата на борда на НОИСЗ обаче няма никакъв смисъл, тъй като е много сложно решаването на задачата за получаване на висока точност при измерването на координатите на неизвестния предавател.

В конструктивния състав на платформата влизат приемна антена и измервателна апаратура. Платформата се премества и формира траектория на измерванията. Стойността на честотата на приеманият от антената сигнал се измерва в точките, разположени около траекторията на измерванията. В схемата трябва да се включи и инерциална навигационна система, чрез която ще се определят текущите координати на платформата. Бордовият компютър изчислява координатите на предполагаемата позиция на предавателя по метода на най-

малките квадрати, като се започва от някаква, предварително зададена стартова позиция.

Стандартната технология за определяне на координатите на местоположението на неоторизирания предавател се състои в триангулационния метод за определяне на направлението при промяна на позицията на платформата относно предавателя. Ако са известни географските координати на платформата, то могат да се изчислят координатите на предавателя. За постигането на висока точност при определянето на координатите трябва да се осигури кръстосано движение на платформата относно предавателя, което изисква и допълнително време.

Мястото на предавателя се определя чрез измерване на доплеровото изменение на честотата на приемания сигнал. Честотата се измерва многократно при движението на платформата за осигуряването на база данни и статистика или серия измервания, разпределени около измерваната траектория. Инерциалната навигационна система следи координатите на платформата по време на нейното движение[8].

Ако сигнала от предавателя е сигнал от радиолокационна станция, то той се представя във вид на пачка (поредица) от импулси, като всеки импулс има обвиваща и честота на запълване (носеща), които могат да бъдат измерени. Извършва се измерване на разликата в честотите между всеки импулс и импулсите в пачката за да се оцени времето на закъснение и изминатия път.

Многократните измервания позволяват да се определи средното направление на визирната линия на антената при изместването на платформата. Когато това вече е направено, то се избират две изпитателни позиции, разположени на достатъчно разстояние една от друга. Пресечната точка на визирните линии от изпитателните точки дават трета точка, в която е разположен неизвестния предавател.

В алгоритъма, който е синтезиран първата стъпка е събирането и предварителна обработка на данните, приети в процеса на движение на платформата. Всяка пачка от импулси при радарни сигнали ще съответствува на точката на измерване от семейството измервани точки, разпределени по измервателната траектория. Компютъра ще получава цифровите стойности на амплитудата и фазата на импулсите. От тези цифрови стойности се определя честотата във всяка точка на измерване, съответстваща на пачката импулси и формира навигационната единица за всяка пачка. Компютъра изчислява тегловата функция по метода на най-малките квадрати и установява истинското значение по най-ниската стойност на тегловата функция. Навигационната единица се сравнява с данните, получени от инерциалната навигационна система.

Следващата стъпка е обработката на информацията, проверка за достатъчност на данните за вземането на решение при точното определяне на координатите. Проверката включва потвърждаване на това, че броя на приетите пачки импулси съответства на някакъв предварително определен минимум. Ако количеството на данните не е достатъчно до тази стъпка, то изпълняването на алгоритъма по позиционирането не се активира до получаването на достатъчен обем от данни.

Следващата стъпка е корекцията на рефракцията. След завършване на корекцията процеса преминава към изчисляване на координатите на предавателя. В началният етап на алгоритъма се използват две изпитателни точки, едната от които е насочена под ъгъл  $45^{\circ}$  относно средната точка на вектора между точките А и В, избрани предварително за база на измерването. Втората точка е разположена на същия ъгъл относно обратното направление на вектора. Тези точки обикновено се

разполагат от лявата или дясната страна на траекторията на полета, която е основана върху средното значение на визирната линия на антената. Предимствата на описаната система са очевидни.

По-големи и трудно решими в този случай са организационните проблеми, които произлизат от това, че е необходимо да се притежават права и пароли за достъп до НОСЗ, което при геостационарните СЗ е по-лесно решимо. Обемът от трафик, предаван от двата вида ИСЗ също е несравним. В този смисъл е по-целесъобразно НОСЗ да се разглеждат като спомагателно средство за определяне на координатите на НП, поразяващ работата на геостационарен ИСЗ. От тук следва и изискването ИСЗ трябва да носи приемна апаратура за връзка, работеща в диапазона от честоти на защитаваните ИСЗ. Трябва да се определи канал за радиовръзка, по който на борда на НОСЗ да се предават команди, показващи работната честота на НП. Тъй като координатите на НП не са известни дори приблизително, то НОСЗ ще ретранслира приетите сигнали по указаната честота във време на движение по цялата траектория в пределите на петното, осветявано от поразяваният ИСЗ. Освен това на борда на НОСЗ трябва да се разположи навигационна апаратура за точно определяне на собственото пространствено разположение. Координатите на НОСЗ и сигналите, които се предполага, че поразяват работата на геостационарен ИСЗ, формират пачки (кластери). При натрупването на кластерите, същите се предават на земната станция за управление и наблюдение, която също трябва да съдържа поразяващите сигнали. Понататъшната обработка се състои в изчисляването на функцията на взаимна корелация на наистина поразяващия сигнал и сигнала от един от кластерите по максималната стойност на взаимнокорелационната функция. След това местонахождението на НП се определя в точката на пресичане на правата, на която са разположени НОСЗ и поразявания ИСЗ с повърхността на Земята.

## Литература

1. Matsumoto Y., Tanaka M., Okazawa H., et al., Satellite Interference Location System Using On-board Multibeam Antenna. Electronics and Communication in Japan (Part 1: Communications), 1997, vol. 80, I. 11.
2. Tsuji H., Xin J., Yoshimoto S. and Sano A., Detection of Direction and Number of Impinging Signals in Array Antennas Using Cyclostationarity, Electronics and Communication in Japan (Part 1: Communications), 1999, vol. 82, I. 10.
3. Wachs M. R., Communications Satellite Interference Location System. – US Patent no. 6147640, 2000.
4. Czarniecki S. V., Johnson J. A., Gray C. M., et al., Doppler Triangulation Transmitter Location System. – US Patent no. 5874918, 1999.
5. Giusto R. and Vincenti P., Phase – Only Optimization for the Generation of Wide Deterministic Nulls in the Radiation Pattern of Phased Arrays, IEEE Transaction on Antennas and Propagation, September, 1983, vol. AP – 31. no. 5.
6. Matsumoto Y., Tanaka M., Kozono S., et al., Interference Suppression by Adaptive Beamforming of Satellite-Borne Phased-Array Antennas, Electronics and Communication in Japan (Part 1: Communications), 1998, vol. 82, I. 11.
7. Горностаев Ю. М., Соколов В. В., Невдяев Л. М. Перспективные спутниковые системы связи. – М.: Горячая линия, 2000.
8. Панько С. П., Сухотин В. В. Несанкционированный доступ в системы спутниковых коммуникаций. – Успехи современной радиоэлектроники, №4, 2002.