

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НЕИЗВЕСТНЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ, НАРУШАЮЩИХ РАБОТУ ЛЕГАЛЬНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

А. Муратова М. Желязов

РУ "Ангел Кънчев"

nastiusha@mail.bg, mjeliazov@mail.bg

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

Abstract

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.

Введение. Во многих странах в государственных, гражданских и оборонных приложениях получили системы передачи информации с использованием искусственных спутников Земли (ИСЗ). Спутниковые коммуникации, в последнее время, все больше используются в качестве сегмента компьютерных сетей или в виде интегрированной структуры передачи компьютерной информации и сообщений с использованием речи.

Телекоммуникационная система, в общем случае, состоит из одной или нескольких земных станций и активного бортового ретранслятора, находящегося на борту искусственного спутника Земли.

Состояние проблемы. Преимущественно аппаратура земных станций и бортового ретранслятора не содержит средств защиты от несанкционированного доступа частотного ресурса. Поэтому проблема уязвимости систем спутниковой связи является актуальной. В радиоразведке и радиопротиводействии для наземных средств связи существуют методы и технологии для защиты от несанкционированного доступа, создана система подготовки специалистов, разработаны и выпускаются специальные средства, чего нельзя сказать о спутниковых коммуникациях. Постановщик помехи, которой в данном случае является сигнал нелегитимного пользователя, может располагаться в любой точке земной поверхности в пределах зоны радиовидимости с ИСЗ. Отсюда следует, что задача определения координат постановщика помех как самостоятельная часть проблемы защиты спутниковых коммуникаций от постороннего вмешательства особенно важна. Обстоятельства, способствующие развитию этого негативного явления:

- "прозрачность" бортового ретранслятора для любых сигналов, поступающих на его приемную антенну;

- широкая доступность сведений о расположении искусственного спутника Земли на геостационарной орбите, также о диапазоне рабочих частот.

Захват ресурсов бортового ретранслятора происходит без учета интересов законных пользователей, даже в ущерб им. В [2] говорится об официально зарегистрированных около 200 пиратских передач, и только одна из них была идентифицирована, как принадлежащая земной станции, расположенной на территории Марокко. Борьба с несанкционированным вмешательством состоит в определении координат неизвестного передатчика для предъявления различного рода санкций и создания условий, которые бы обеспечивали невозможность работы нелегитимных пользователей.

Изложение. Определение координат неизвестного передатчика системой спутниковой связи – одна из первых работ, принадлежащих США с 1991г.[3]. В системе использованы два ИСЗ, которые расположены достаточно близко на геостационарной орбите, на рис. 1 ИСЗ обозначены как 4 и 5. Угловое расстояние между двумя геостационарными искусственными спутниками Земли охватывает 3° .

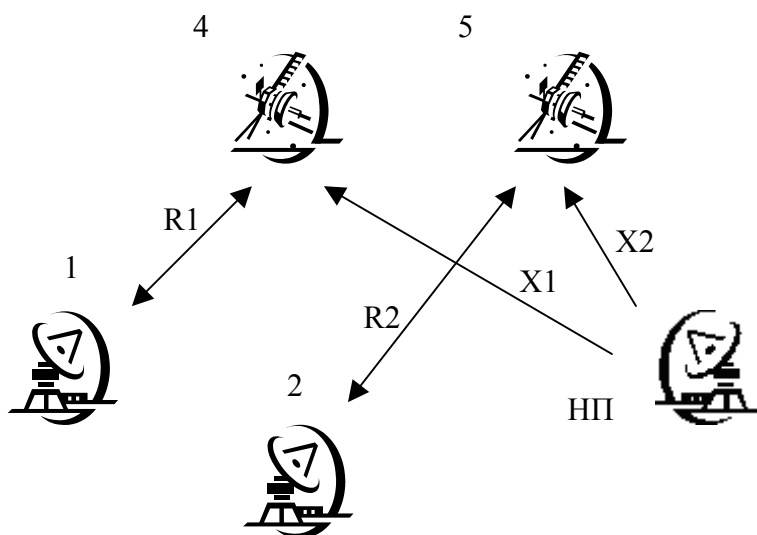


Рис. 1. Схема системы с использованием двух искусственных спутников Земли

Неизвестный передатчик излучает сигнал по основному лепестку диаграммы направленности в сторону ИСЗ5, а по боковому – в сторону ИСЗ4. На поверхности Земли можно построить изолинию постоянных разностей $X1 - X2$. В общем случае эта изолиния является гиперболой. На земных станциях 1 и 2 принимаются сигналы с ИСЗ4 и ИСЗ5 со сдвигом по времени

$$(1.1) \quad DT = \frac{(X1 - X2)}{c},$$

где c - скорость света.

Чтобы определить вторую координату используется доплеровское смещение частоты принимаемого сигнала, вызванное суточным движением геостационарного ИСЗ. Траектория движения ИСЗ отличается от идеальной окружности из-за неточности вывода ИСЗ на орбиту и изменяющегося гравитационного поля. В результате ИСЗ движется с периодом 24 ч по замкнутой траектории, напоминающей цифру 8, в плоскости, перпендикулярной экваториальной.

Доплеровский сдвиг несущей частоты ретранслированного сигнала

$$(1.2) \quad DF = \frac{(f_0 v \cos \psi)}{c},$$

где f_0 - несущая частота; v - скорость движения ИСЗ; ψ - угол между вектором ИСЗ и направлением на неизвестный передатчик.

На поверхности Земли может быть построена доплеровская изолиния – линия постоянства значения доплеровского смещения частоты для каждого ИСЗ. В точке пересечения доплеровской и дальностной изолиний находится неизвестный передатчик (рис. 2).

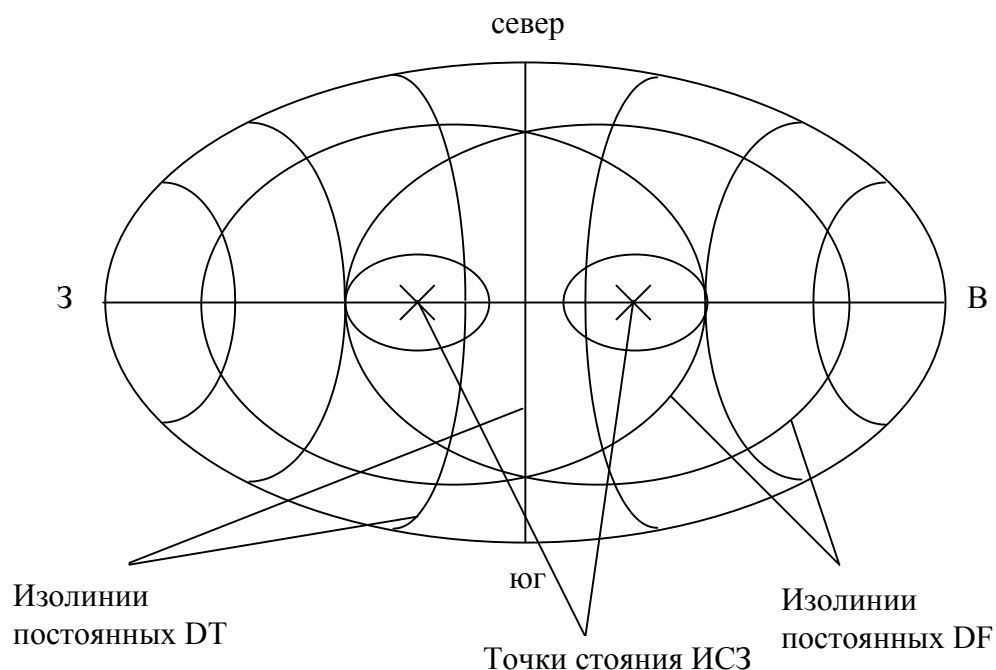


Рис.2. Изолинии на поверхности Земли

Описанная система определения местоположения имеет много недостатков, в частности, различие доплеровского смещения частоты в каждом канале [3]. В системе, показанной на рис. 3 эти недостатки устранены [4].

Неизвестный передатчик излучает сигнал по главному лепестку диаграммы направленности в сторону ИСЗ1. Относительно штатных сигналов этот сигнал является помехой. С помощью анализатора спектра, который непрерывно сканирует диапазон рабочих частот, определяется появление помехи. Сигнал помехи поступает на ИСЗ2 по боковому лепестку. ИСЗ1 транслирует все принимаемые сигналы в обратном направлении на земную станцию ЗС1, а ИСЗ2 – на земную станцию ЗС2. В системе используется опорный передатчик в известной географической позиции. По третьей трассе он излучает опорный сигнал, который принимается на земной станции ЗС1 и земной станции ЗС2. В аппаратуре каждой из земных станций производится обработка в узлах обработки УО1 / УО2 опорных сигналов, по которым вычисляются положение и скорость каждого ИСЗ. В результате чего вносится поправка в сигналы помехи, принимаемые с каждого ИСЗ. Благодаря этому исключается влияние несинхронизированности движений искусственных спутников Земли ИСЗ1 и ИСЗ2. Обработанные сигналы помехи по линии связи, например, по линиям модемной связи МЛ1 и МЛ2 поступают на удаленный процессор УП, где осуществляется вычисление искомых изолиний постоянных DE и DF, в точке пересечения которых расположен неизвестный передатчик.

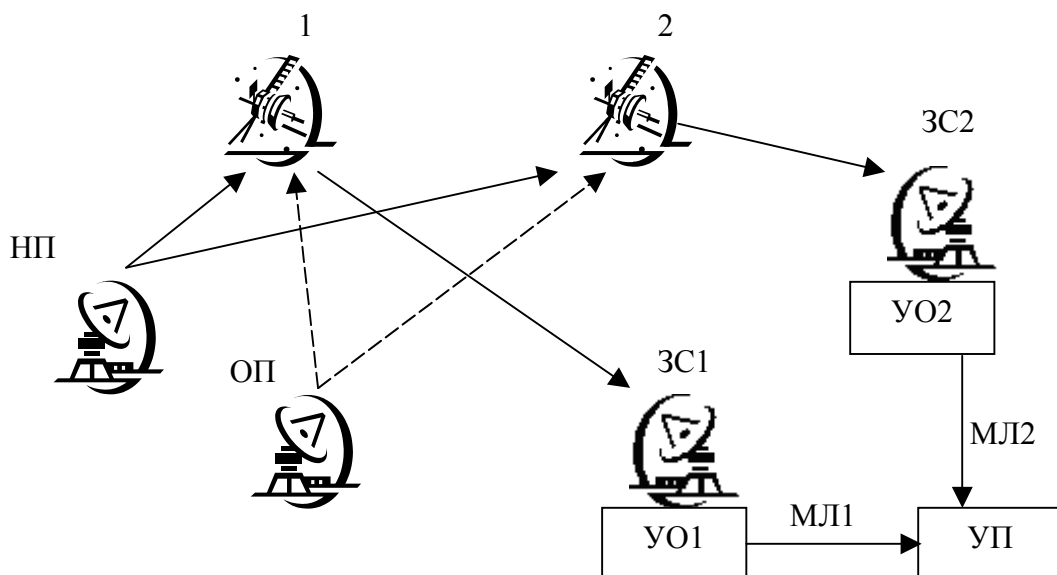


Рис.3.Улучшенная схема системы с использованием двух искусственных спутников Земли

Существуют различные методики, которые устраняют независимый дрейф бортовых опорных кварцевых генераторов каждого из искусственных спутников Земли [5]. Частоты местных генераторов дрейфуют непредсказуемо под воздействием температурных, механических и прочих факторов. Чтобы компенсировать такой дрейф, используется метод, при котором оба искусственных спутника Земли принимают не только сигнал помехи, но и специальный калиброванный по фазе сигнал от известного наземного источника и ретранслируют все сигналы на земные станции [6]. В аппаратуре земных станций калиброванные сигналы обрабатываются независимо от сигнала помехи, в результате чего формируется компенсирующий сигнал, который используется для корректировки сигнала помехи, принимаемого на каждой земной станции. Это приводит к существенному снижению влияния независимого дрейфа частот местных бортовых генераторов. Этот метод имеет и свои недостатки. Если калиброванный сигнал каким-то образом искажен, то его нельзя использовать для компенсации. Кроме того, необходимо получить еще один или несколько дополнительных сигналов с известной земной позиции для корректировки любой орбитальной неточности. Решение, позволяющее достичь цели существует, но поскольку для обработки каждого сигнала необходима независимая аппаратура, то и стоимость довольно таки высока. Поэтому необходимо осуществлять частотную компенсацию как можно быстрее и минимизировать расходы на аппаратуру для обработки всех интересующих сигналов одновременно в одном корреляторе [12].

В некоторых системах, как минимум два геостационарных искусственных спутника Земли принимают и ретранслируют сигнал помехи и калиброванный сигнал на различных, но известных частотах [5]. Эти сигналы наблюдаются одновременно в общей полосе частот и кросскоррелируются совместно, чем существенно увеличивается скорость обработки данных. Сигнал помехи и калиброванные сигналы затем разделяются в соответствии с их несущими частотами и подвергаются преобразованию Фурье в частотной области. Местоположение неизвестного передатчика может быть идентифицировано достаточно точно на основании полученных данных с помощью обычных методов.

В [7] описано дальнейшее развитие, первой рассмотренной в этой статье, системы с использованием двух искусственных спутников Земли [3], по которому

сигнал помехи, излучаемый неизвестным передатчиком, принимается как минимум, двумя приемниками, которые расположены на неизвестных позициях двух искусственных спутников Земли, двигающихся с известной скоростью. Для обеспечения высокой точности местоопределения при использовании этого метода важно, чтобы были известны скорость движения и позиция каждого искусственного спутника Земли. Неточность этих данных в значительной степени влияет на точность определения координат.

Система на рис. 4 состоит из трассировочного передатчика ТП семейства приемников Пр, сети, обхватывающей большую территорию, контроллера/анализатора КА, модема, телефонной линии Тлф. А также в состав системы входит обозначенный узлом TLS (Transmitter Location System) прототип – система определения координат неизвестного передатчика в соответствии с [3]. Система трассировки ИСЗ работает в активном или пассивном режиме. В активном режиме трассировочный передатчик излучает сигнал, синхронизированный с единым временем. Бортовой ретранслятор ИСЗ принимает и переизлучает трассировочный сигнал, который принимается семейством приемников. Принятые сигналы преобразуются в цифровую форму и вводятся в сеть для доставки к подключенным узлам, в том числе контроллеру/анализатору, который обрабатывает сигналы для определения позиции и скорости искусственного спутника Земли. В этом режиме ТП и Пр располагаются в известных точках на поверхности Земли. В пассивном режиме, как минимум два приемника принимают сигналы, излучаемые бортовым ретранслятором при штатной работе ИСЗ. Функции остальных узлов сохраняются прежними. Приемники (Пр) целесообразно графически размещать так, чтобы одна пара располагалась в плоскости широты, а вторая – в плоскости долготы. Это позволяет определять координаты ИСЗ [12].

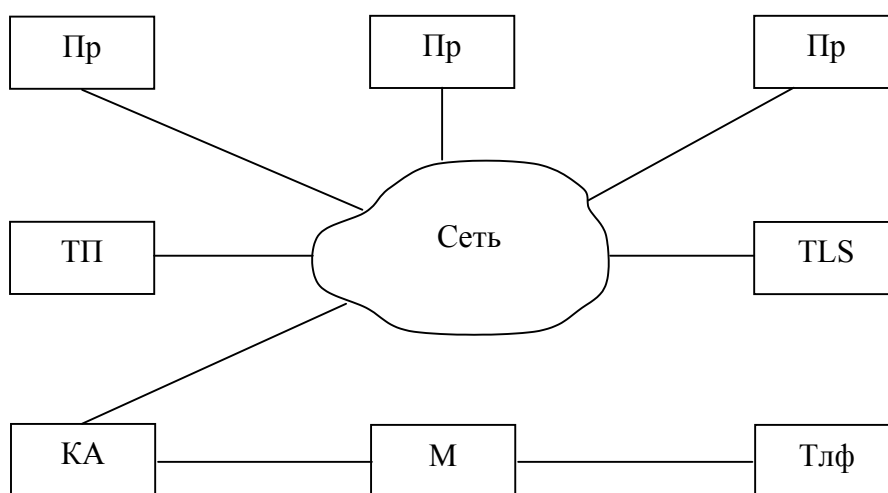


Рис. 4. Структурная схема системы

Контроллер/анализатор, выполненный на обычном персональном компьютере, управляет работой всех узлов сети. Другие пользователи, стремящиеся получить информацию о параметрах орбиты ИСЗ, подключаются к системе с помощью модема по стандартной телефонной линии. TLS имеет постоянный доступ к данным с Пр и КА. Синхронизация работы узлов производится с помощью шкалы времени GPS, входящих в состав всех узлов. В состав КА входит коррелятор, с помощью которого определяется разность времени прихода и доплеровские частоты сигналов на различных Пр.

Заключение: Результаты экспериментальных исследований [8], выполненных с использованием ИСЗ Eutelsat II F4 и Eutelsat II F2, показали, что прием сигнала по боковому лепестку может быть осуществлен при диаметре приемной антенны порядка 20 м и отсутствии дополнительных сигналов в исследуемой полосе частот. Потенциальная точность определения координат при использовании описанной методики, как считают авторы, может составить 10 – 20 км. Однако на практике погрешность достигает по одной из координат 150 – 200 км, а иногда до 600 км. Единственным оправданием таких результатов на фоне столь детально проработанной методики можно считать то, что именно они явились толчком к появлению описанных патентов. Европейские патенты [9, 10, 11] также посвящены развитию этого направления.

Литература

1. Спутниковые системы связи и вещания, 1999/2000. В 2-х частях/ Под ред. В. Р. Анпилогова. – М.: ИПРЖ “Радиотехника”, 2000.
2. Колюбакин В. Конференция в Дубне. ТЕЛЕ-Спутник, май, 1999.
3. Effland J. E., Gipson J. M., Shaffer D. B. and Webber J. C., Method and System for Locating an Unknown Transmitter. – US Patent no.5008679, 1991.
4. Haworth D. P., Locating the Source of an Unknown Signal. – US Patent no.6018312, 2000.
5. Webber J. C. and Knight C. A., Method and System for Locating an Unknown Transmitter Using Calibrated Oscillator Phases. – US Patent no. 5594452, 1997.
6. Effland J. E., et al., Field Trials of a Transmitter Location System Using INTELSAT Satellites, Dec. 30, 1991, INTEL-874 Phase 3.
7. Knight C. A. and Webber J. C., Method and System for Tracking Satellites to Locate Unknown Transmitting Accurately. – US Patent no.5570096, 1996.
8. Haworth D. P., Smith N. G., Bardeli R. and Clement T., Interference Localization for EUTELSAT Satellites – the First European Transmitter Location System. International Journal of Satellite Communication, 1997, vol. 15.
9. Wetzel D. and Lansard E., Systeme de radiolocalisation a base de satellites geosynchrone, Patent of France no. 9712065, Bulletin 99/13, 02.04.99.
10. Durmez F. and Bousquet J., Precede de localization d'un terminal fixe grace a une constellation de satellites. – Patent of France no. 97106026, Bulletin 99/086, 26.02.99.
11. Wetzel D. and Lansard E., Systeme de radiolocalisation a base de satellites geosynchrone, Patent of France no. 2769097B1.
12. Панько С. П., Сухотин В. В. Несанкционированный доступ в системы спутниковых коммуникаций. – Успехи современной радиоэлектроники, №4, 2002.