

РАЗРАБОТКА СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА WI-FI

Г.А. Титов

titovgeorgy@mail.ru

ГБОУ Лицей № 1568, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрено создание мобильной станции мониторинга и пеленгации для проверки объектов на наличие источников электромагнитного излучения. Станция способна постоянно отслеживать источники сигнала в автоматическом режиме и отображать координаты обнаруженных источников излучения.

Ключевые слова

Пеленгация, антенна, диаграмма направленности, коэффициент усиления, обработка сигнала, помехозащищенность, сервопривод, сканирование, поиск, источник сигнала

Поступила в редакцию 06.07.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Одной из основных проблем современной информационной безопасности является утечка конфиденциальных данных. Эта проблема актуальна как для аудио и видео информации, так и для информации, передаваемой по локальным сетям.

Применение firewall, IDS, правильно настроенных системных политик и ограничение прав доступа к данным существенно усложняют их несанкционированное получение, но не обеспечивают полной гарантии защиты от инсайдерских утечек. К способам несанкционированного доступа к данным относится и их передача за пределы защищенного периметра с использованием радиоканала, в частности Wi-Fi. Поиск скрытых передающих устройств, например точек доступа Wi-Fi, на сегодняшний день является достаточно трудоемкой задачей. Обнаружение источников электромагнитного излучения осуществляется с помощью ручных сканеров, что занимает много времени [1].

Разработанная станция представляет собой программно-аппаратный комплекс, делающий возможным получение панорамы источников радиоизлучения. Поскольку данная работа изначально рассматривалась как экспериментальная, было принято решение отказаться от задачи обнаружения разнообразных аудиозакладок и «жучков», работающих в широком интервале частот и ограничиться поиском точек Wi-Fi (b, g, n) частотного диапазона 2,4 ГГц. Такое решение позволило существенно сузить диапазон контролируемых частот, отказаться от его сканирования и упростить конструкцию антенны [2].

Станция состоит из узкополосного пеленгатора с механическим сканированием по азимуту и углу места и программного обеспечения, управляющего движением пеленгатора и осуществляющего обработку сигнала, включающую в себя первичное преобразование сигнала, сжатие данных и их обработку для уменьшения влияния случайных помех.

Выбор антенны. Основной пеленгатора является антенна, от характеристик которой зависит точность работы комплекса. Антенна должна удовлетворять следующим требованиям:

- быть узконаправленной;
- обладать высоким коэффициентом усиления (КУ);
- иметь габаритные размеры и массу, позволяющие использовать для ее позиционирования приводы ограниченной мощности;
- быть достаточно технологичной для изготовления в условиях домашней мастерской;
- обеспечивать высокую повторяемость;
- быть не требовательной в настройке.

В процессе разработки комплекса было рассмотрено несколько типов антенн, работающих в указанном диапазоне и удовлетворяющих перечисленным требованиям в той или иной степени [3].

Антенна «волновой канал» или антенна Уда–Яги (рис. 1) была изобретена в 1926 г. Шинтаро Уда, а ее первое описание на английском языке опубликовал Хидецугу Яги. Эта антенна, получившая широкое применение в первых радиолокаторах, представляет собой конструкцию с параллельными вибраторами (рефлекторами) и директорами, расположенными вдоль линии максимального излучения. Как правило, применяют один активный вибратор и несколько директоров, количество которых может быть более десяти. Директора расположены на расстоянии примерно четверти длины волны [4, 5].

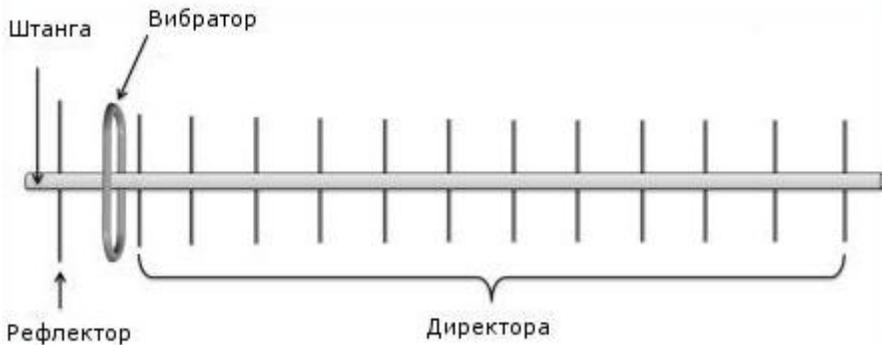


Рис. 1. Антенна «волновой канал»

Принцип работы антенны основан на сложении прямого и отраженного сигналов, имеющих сдвиг фазы. В сторону рефлектора сигнал складывается в противофазе, а в направлении директора — в фазе.

Каждый дополнительный директор увеличивает КУ антенны. Так, КУ 3-элементной антенны составляет около 5...6 дБ, 6-элементной — 8...10 дБ, 10-элементной — 12...14 дБ (но это — теоретические значения). При дальнейшем удлинении антенны рост КУ равен примерно 2,2 дБ на каждое удвоение ее длины. Острота диаграммы направленности также возрастает с увели-

чением длины антенны. Неоспоримыми достоинствами антенны «волновой канал» являются высокий КУ, простота конструкции, малая масса и низкая парусность. Однако на высоких частотах в полной мере проявляются недостатки, присущие такой антенне. Требуемая точность ее изготовления и настройки существенно возрастает, а вероятность создания реальной конструкции с числом элементов более трех стремиться к нулю.

Таким образом, несмотря на острую диаграмму направленности, антенна «волновой канал» сложна в изготовлении и требует тонкой настройки.

Антенна Харченко или «двойной квадрат» (рис. 2) [6], представляющая собой разновидность рамочной антенны, состоит из двух и более квадратных рамок и отражателя.

Конфигурация антенны для вертикальной поляризации сигнала напоминает очки. Такая антенна имеет достаточно простую конструкцию, малые габаритные размеры и менее острую, чем у антенны «волновой канал», диаграмму направленности. КУ антенны «двойной квадрат» составляет 6...8 дБ.

К возможным вариантам исполнения антенны относятся двойной и тройной биквадраты, которые настроить без приборов достаточно сложно. КУ тройного биквадрата может достигать 14 дБ.

Конструкция антенны достаточно проста, но ее малые габаритные размеры требуют выдерживания точности в пределах 1 мм.

Рупорная антенна (рис. 3) является разновидностью апертурных антенн.



Рис. 2. Антенна «двойной квадрат»



Рис. 3. Рупорная антенна

Антенны подобной конструкции широкополосны и легко повторяемы, имеют острую диаграмму направленности и малый уровень задних лепестков. Антенны с небольшим КУ отличаются простотой конструкции. Изготовление антенны с КУ до 20...25 дБ не вызывает существенных трудностей, но ее размеры будут достаточно большими. Чтобы достичь высокого КУ, необходимо применить сложные устройства, выравнивающие фазу волны, или увеличить габаритные размеры рупора. Без таких устройств антенна получится непрактично громоздкой. Грубо, можно считать, что КУ антенны определяется раскрытием ее рупора, а полоса пропускания — параметрами волновода [7].

Спиральная антенна, разработанная Джоном Краузом в конце 40-х годов, относится к классу антенн бегущей волны. Она имеет достаточно острую диаграмму направленности и высокий КУ даже при малом количестве витков. Круговая поляризация антенны позволяет принимать как вертикально, так и горизонтально поляризованную волну с некоторой потерей КУ. Поляризация такой антенны (круговая) отличается от поляризации (вертикальной) большинства используемых точек доступа, что снижает КУ антенны примерно на 3 дБ. Благодаря высокому входному сопротивлению антенны ее можно стыковать с кабелем, имеющим сопротивление 50 Ом, без применения дополнительного согласующего трансформатора. Широкополосность антенны упрощает ее изготовление и настройку. КУ 4-витковой антенны составляет примерно 7 дБ, а 16-витковой — 13 дБ.

Таким образом, антенна Уда-Яги сложна в настройке и требовательна к качеству изготовления. Антенна типа «двойной квадрат», хотя и обладает малыми габаритными размерами и простотой конструкции, но также требует точности изготовления. Кроме того, эксперименты с этой антенной показали ее малую направленность, недостаточную для использования в пеленгаторе. Рупорная антенна громоздка и имеет большую массу. Также можно было бы применить не рассмотренную выше параболическую антенну, но необходимые размеры отражателя и сложная технология ее изготовления не позволяют этого сделать.

Из представленных антенн для пеленгатора больше других подходит спиральная, которая при КУ, сравнимом с КУ антенны Уда-Яги, имеет меньшие габаритные размеры. Такая антенна обладает достаточно узкой диаграммой направленности, не чувствительна к точности изготовления, ее легко рассчитать и настроить. Кроме того, она не требует согласующего трансформатора и технологична в изготовлении, а при заданных характеристиках имеет размеры, позволяющие ее использовать в качающейся части пеленгатора [8].

Расчет параметров спиральной антенны. Во время работы пеленгатора на антенну действуют большие динамические нагрузки. Для предотвращения искажения формы и изменения характеристик антенны ее конструкция должна иметь достаточную жесткость.

Антенну можно изготовить либо как жесткую диэлектрическую трубу с навитой на ее внешней стороне спиралью (широкополосность антенны позволяет это сделать), либо в виде одной или нескольких направляющих (штанг),

поддерживающих спираль. При использовании первого варианта характеристики антенны ухудшаются, поэтому был выбран второй вариант. Это немного усложнило ее изготовление, но позволило достичь более высоких параметров. Антенна выполнена на трех штангах, так как при сборке на цилиндрическом основании значительно возрастают шумы, и снижается КУ.

Расчет спиральной антенны, схема которой показана на рис. 4, выполнен с помощью калькулятора [9] при следующих исходных данных: центральная частота $f = 2\,445$ МГц и число витков спирали $N = 16$. Шаг намотки спирали $s = 0,22\lambda$, где λ — длина волны.

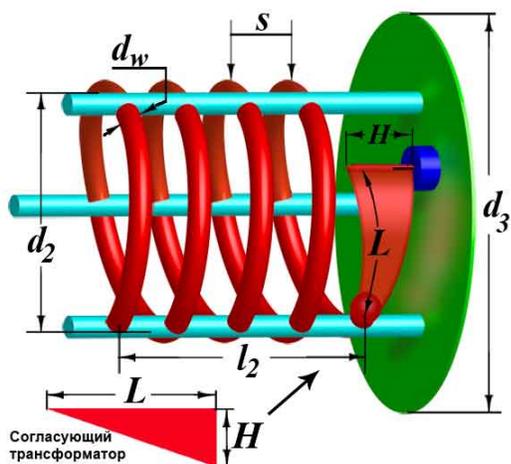


Рис. 4. Схема к расчету спиральной антенны

Результаты расчета

Шаг намотки спирали s , мм.....	27
Внутренний диаметр спирали d_2 , мм	39,1
Диаметр провода d_w , мм	2,5
Диаметр круглого рефлектора d_3 , мм.....	98,2
Коэффициент усиления антенны G	$\sim 13,64$
Входное сопротивление антенны R , Ом.....	140
Параметры согласующей линии (140/50 Ом), мм:	
длина L	71
высота H	17

Изготовление антенны. Антенну создавали следующим образом. Из пластиковой трубки диаметром 8 мм сделали штанги. С шагом намотки спирали $s = 27$ мм и смещением, равным 9 мм относительно соседних штанг, разметили отверстия для пропуска спирали. Отверстия сверлили под углом 6° , так как спираль не перпендикулярна штангам. Для крепления штанг между собой изготовили две проставки и отражатель из оргстекла, имеющие технологические отверстия для сборки и центровки с помощью монтажной шпильки, которая необходима для предотвращения искажения формы и размеров антенны в процессе монтажа. Проставкам придали правильную форму, позволяющую закрепить их на направляющих после навивки спирали. Чтобы склеить каркас антенны, его собрали на монтажной шпильке. После окончательной сборки и склейки каркаса шпильку удалили.

Медный провод диаметром 2 мм навили на трубу диаметром 40 мм для придания ему спиральной формы. Спираль пропустили через просверленные отверстия в направляющих силового каркаса. Отражатель оклеили фольгой,

которую в дальнейшем заменили металлической пластиной. Затем припаяли согласующий лепесток и коаксиальный кабель, соединяющий антенну и приемник сигнала.

Конструкция станции. Разработанная станция (рис. 5) состоит из антенны, двухосевого сервопривода, детектора сигнала и платы Arduino micro, осуществляющей обработку сигнала.

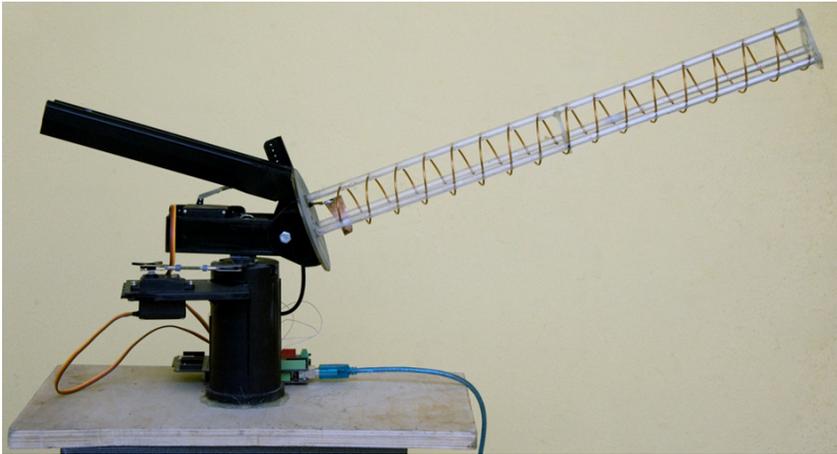


Рис. 5. Внешний вид станции

Конструкция снабжена противовесом и уравновешена в вертикальной плоскости. Антенна смонтирована на двухосевом подвесе, позволяющем наводить ее по азимуту и углу места. В качестве силовых приводов использованы рулевые машинки от аппаратуры радиоуправления. Момент, развиваемый на валу рулевых машинок, собственно и ограничивает габаритные размеры и массу антенны. Углы наведения выбраны равными 150° по горизонтали и $+30 \dots -15^\circ$ по вертикали. Для экспериментального образца этого вполне достаточно. Углы наведения можно регулировать изменением длины тяг и качалок, а также программно. Для снижения влияния подвеса на характеристики антенны его конструкция выполнена из диэлектрических материалов.

В качестве приемника и усилителя сигнала применен Noname детектор наличия Wi-Fi, снабженный линейным индикатором, состоящим из шести элементов. Считывание сигнала с контактов, предназначенных для каждого элемента индикатора, позволяет получать информацию об уровне сигнала с градацией от 0 до 6. Для обработки полученной информации и управления движением антенны использован микроконтроллер на базе чипа Atmega 2560 с объемом памяти 256 Кбайт.

Программа обработки сигнала. Программа состоит из двух частей. В первой выполняется сканирование пространства и заполнение матрицы значений. На приводы антенны подаются управляющие сигналы, сдвигающие ее в вертикальной и горизонтальной плоскостях. На каждом шагу происходит дискретное перемещение на $1/60$ диапазона по вертикали ($\sim 0,75^\circ$), а по достижении его

конца — по горизонтали ($\sim 1,25^\circ$). При достижении конца диапазона перемещений по горизонтали антенна возвращается в первоначальное положение. На каждом шагу проводится измерение уровня сигнала и занесение его в матрицу значений. Во время перемещения антенны в стартовое положение выполняется вычисление векторов источников сигнала. Цикл повторяется.

Помехозащищенность системы достигается многократным сканированием диапазона и усреднением полученных значений. Результатом многократного сканирования является выделение постоянных источников сигнала на фоне случайных помех. Сканирование и отображение информации выполняются в угловой системе координат. Обработка сигнала включает в себя два этапа.

Считывание карты сигналов со статистическим усреднением. На рис. 6 показан алгоритм работы, где $A(x, y)$ функция сжатия матрицы значений от 0 до 6 с точностью до второго знака после запятой.

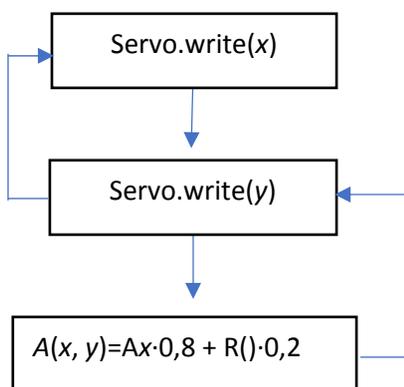


Рис. 6. Алгоритм работы

Такая точность обусловлена тем, что среда разработки позволяет создавать массивы только формата `integer`, которые при размере 70×120 имеют недопустимо большой вес. Глобальная переменная Ax содержит значение функции $A()$ при последнем вызове и применяется для ускорения работы программы. Функция $R()$ преобразовывает цифровой сигнал от преобразователя антенны в целое число от 0 до 6.

При перемещении антенна проходит вертикальный срез, после чего сдвигается на один шаг вправо и затем движется вниз. При достижении крайней правой точки антенна возвращается в начальное левое положение и начинает новый цикл сканирования.

Обработка полученной карты для выделения вектора источников сигнала (локальных максимумов). Для определения локальных максимумов проводится построение матрицы градиентов по двум осям, и при совпадении точка считается источником. Рассмотрим действие алгоритма на примере матрицы 5×7 . Результаты сканирования диапазона занесены в табл. 1, градиент по вертикали — в табл. 2, градиент по горизонтали — в табл. 3, конъюнкция градиентов — в табл. 4.

Таблица 1

Результаты сканирования диапазона

1	1	1	1	1	1	1
1	2	2	2	2	1	1
1	2	4	2	3	1	1
1	2	3	2	3	1	1
1	1	2	1	1	1	1

Таблица 2

Градиент по вертикали

0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0
0	1	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3

Градиент по горизонтали

0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0

Таблица 4

Конъюнкция градиентов

0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0

После этого на консоль выводятся координаты источников и уровни сигнала.

Дальнейшим развитием представленной системы может быть объединение данных, полученных с нескольких разнесенных пеленгаторов. Это позволит использовать метод триангуляции для существенного повышения точности определения координат источников сигнала.

Вывод. Разработанная станция может быть применена не только для поиска точек доступа Wi-Fi, но и для обнаружения других источников электромагнитного излучения. Возможно использование нескольких подобных устройств, работающих на различных частотах.

Работа выполнена в рамках научной конференции молодых исследователей «Шаг в будущее, Москва».

Литература

- [1] Ротхаммель К. *Массовая радио библиотека*. Вып. 637. Москва, Энергия, 1967, 272 с.
- [2] Беньковский З., Липинский Э. *Любительские антенны коротких и ультракоротких волн*. Москва, Радио и связь, 1983, 480 с.
- [3] Конструкции антенн. Онлайн расчеты. URL: <http://3g-aerial.biz> (дата обращения 22.08.2017).
- [4] Спиральные антенны. URL: <http://ew8au.narod.ru/a10.html> (дата обращения 22.08.2017).
- [5] Теория радиоволн: антенны. URL: <https://habrahabr.ru/post/158273/> (дата обращения 22.08.2017).
- [6] Антенны бегущей волны. URL: <http://gardenweb.ru/antenny-begushchei-volny> (дата обращения 22.08.2017).

- [7] Рупорные антенны. Основные типы рупорных антенн. URL: <http://vunivere.ru/work10955> (дата обращения 22.08.2017).
- [8] Изготовление спиральной антенны для беспроводных сетей диапазона 2.4 ГГц. URL: <http://www.wifiantenna.org.ua/antennas/helix/> (дата обращения 22.08.2017).
- [9] Расчет спиральной антенны. URL: <http://3g-aerial.biz/onlajn-raschety/raschety-antenn/raschet-spiralnoj-antenny> (дата обращения 22.08.2017).

Титов Георгий Андреевич — ученик, ГБОУ Лицей № 1568, Москва, Российская Федерация.

DEVELOPING A MONITORING STATION FOR THE WI-FI FREQUENCY RANGE

G.A. Titov

titovgeorgy@mail.ru

Lyceum no. 1568, Moscow, Russian Federation

Abstract

The study deals with designing a mobile station for monitoring and direction finding, so as to check presence of electromagnetic radiation sources in objects. The station can continuously track signal sources in its automated mode and display coordinates of radiation sources discovered.

Keywords

Direction finding, antenna, radiation pattern, gain factor, signal processing, noise immunity, servomotor, scanning, search, signal source

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Rotkhammel' K. Massovaya radio biblioteka. Vyp. 637 [Public radio library. Iss. 637]. Moscow, Energiya, 1967, 272 p.
- [2] Ben'kovskiy Z., Lipinskiy E. Lyubitel'skie anteny korotkikh i ul'trakorotkikh voln [Amateur HF and UHF antennas]. Moscow, Radio i svyaz' publ., 1983, 480 p.
- [3] Konstruktsii antenn. Onlayn raschety. [Antenna constructions. Online calculations]. Available at: <http://3g-aerial.biz> (accessed 22 August 2017).
- [4] Spiral'nye anteny [Spiral antennas]. Available at: <http://ew8au.narod.ru/a10.html> (accessed 22 August 2017).
- [5] Teoriya radiovoln: anteny [Radio waves theory: antennas]. Available at: <https://habrahabr.ru/post/158273/> (accessed 22 August 2017).
- [6] Anteny begushchey volny [Fishbone antenna]. Available at: <http://gardenweb.ru/anteny-begushchei-volny> (accessed 22 August 2017).
- [7] Rupornye anteny. Osnovnye tipy rupornykh antenn [Horn antennas. Main types of horn antennas]. Available at: <http://vunivere.ru/work10955> (accessed 22 August 2017).
- [8] Izgotovlenie spiral'noy anteny dlya besprovodnykh setey diapazona 2.4 GGts [Making spiral antenna for 2.4 GHz wireless networks]. Available at: <http://www.wifiantenna.org.ua/antennas/helix/> (accessed 22 August 2017).
- [9] Raschet spiral'noy anteny [Calculation of spiral antenna]. Available at: <http://3g-aerial.biz/onlajn-raschety/raschety-antenn/raschet-spiralnoj-anteny> (accessed 22 August 2017).

Titov G.A. — high school student, Lyceum no. 1568, Moscow, Russian Federation.