

Алгоритм оценки точности измерения пеленга импульсных сигналов широкополосным амплитудным пеленгатором

П.О. Козлов¹

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь

Разработан алгоритм для программы измерения пеленга импульсных сигналов широкополосным амплитудным пеленгатором, рассмотрены существующие методы пеленгации источника радиоизлучения, представлены основные качества радиопеленгаторов и способы уменьшения влияния шумовых характеристик на импульсные сигналы.

Ключевые слова: Алгоритм оценки точности; Пеленг; Радиомониторинг; Пеленгование источников радиоизлучения.

Введение

В настоящее время из-за технического прогресса средств радиосвязи наблюдается стабильно возрастающее осложнение радиоэлектронной обстановки, так как значительно увеличилось количество различных радиоэлектронных устройств и активно развивается телекоммуникационное оборудование. Это в свою очередь стимулирует развитие средств и систем автоматизированного радиомониторинга (АРМ) с целью контроля электромагнитной обстановки, использования радиочастотного спектра (РЧС) и применения средств радиосвязи. К настоящему времени системы и средства АРМ используют самые различные методы пеленгования, которые отличаются по множеству факторов – начиная от сферы применения и условий эксплуатации и заканчивая перечнем реализованных функций. При этом развитие техники пеленгования не имеет четко выраженной направленности в совершенствовании какого-либо количественного или качественного показателя.

1. Способы для повышения чувствительности и точности определения пеленга.

Решая задачу оценки точности вычисленного пеленга, необходимо вычислить величину отношения сигнал / шум, так как на его основе вычисляется точность пеленгования по формуле минимальной ошибки пеленга (1) и учитывать показатели качества самого радиопеленгатора .

Наиболее важные показатели качества радиопеленгаторов: чувствительность, помехоустойчивость, быстродействие, разрешающая способность, диапазон рабочих частот, вид пеленгуемого сигнала [1].

Одной из основных характеристик пеленгационной системы является чувствительность радиопеленгатора – это минимальное значение напряженности электромагнитного поля, при котором пеленгование осуществляется при заданных характеристиках пеленгования, например при заданной СКО. Чувствительность радиопеленгатора определяется чувствительностью его приемных трактов, конструкцией антенной системы и алгоритмом вычисления пеленга. Кроме того, способность пеленговать кратковременные периодические сигналы будет зависеть от математической обработки, которую реализует блок цифровой обработки пеленгатора.

При определении точности пеленгатора проводят большое число измерений, варьируя азимуты расположения ИРИ и частоту излучения.

Точность пеленгования в УКВ диапазонах на открытой местности составляет доли градусов: 0,1°, 0,2°; точность определения координат в этих диапазонах – доли процентов, в КВ-диапазоне – 3-5% от дальности. В городских условиях точность пеленгования ниже из-за влияния радиоволн, отраженных от зданий и автомобилей.

Отношение «сигнал/шум» (SNR) – это отношение среднеквадратического значения величины входного сигнала к среднеквадратическому значению величины шума.

Обычно отношение сигнал/шум выражается в децибелах (дБ)

Точность оценки пеленга имеет непосредственную зависимость от величины SNR, поэтому необходимо учитывать все возможные факторы, которые способны значительно снизить его величину.

2. Факторы, влияющие на отношение «сигнал/шум»

Потери, связанные с ограничением полосы. Все системы используют в передатчике фильтры для передачи энергии в ограниченной или выделенной полосе. Это позволяет исключить интерференцию с сигналами других каналов или пользователей, а также удовлетворить требования органов государственного регулирования. Подобная фильтрация уменьшает общее количество передаваемой энергии; результат – ослабление сигнала[3].

Межсимвольная интерференция. Фильтрация в системе – передатчике, канале и приемнике – может привести к межсимвольной интерференции. Принятые импульсы перекрываются; хвост одного импульса «размывается» на соседние символьные интервалы, что мешает процессу обнаружения. Даже при отсутствии теплового шума, неидеальная фильтрация, ограничение полосы системы и замирание в каналах приводят к возникновению межсимвольной интерференции.

Ослабление и шум на обтекателе. Обтекателем называется специальная оболочка, применяемая для некоторых антенн в целях защиты от погодных воздействий. Обтекатель, который находится на пути сигнала, будет рассеивать и поглощать некоторую энергию сигнала, что приведет к ослаблению сигнала.

Потеря наведения. Если принимающая либо передающая антенна направлена неидеально, существует возможность потери сигнала.

Помехи соседнего канала (adjacent channel interference – ACI). Этот фактор характеризуется нежелательными сигналами, которые поступают, из других частотных каналов, или энергией, привносимой в интересующий нас канал. Возможность такого «заползания» соседнего сигнала определяется модуляционным спектральным сглаживанием, а также шириной и формой основного спектрального лепестка сигналов.

Потери аппаратной реализации. Эти потери представляют собой разность между теоретической эффективностью обнаружения и реальной, которая определяется несовершенством системы: ошибками синхронизации, уходом частоты, конечными временами нарастания и спада сигналов и конечнозначной арифметикой[4].

Неидеальная синхронизация. Если фаза несущей, фаза поднесущей и синхронизация символов организованы не идеально, то это приводит к значительным потерям.

Тепловой шум. Он вызывается тепловым движением электронов во всех проводящих элементах. Он создается в местах соединения антенны и приемника и в первых каскадах приемника.

Спектральная плотность мощности шума постоянна для всех частот, вплоть до 1012 Гц, что определило название белый шум. Процесс теплового шума в приемниках системы связи моделируется как процесс аддитивного белого гауссового шума (additive white Gaussian noise – AWGN).

3. Описание программы оценки точности пеленга ИРИ широкополосным амплитудным пеленгатором.

Программа для оценки точности пеленга ИРИ широкополосным амплитудным пеленгатором была написана в среде MATLAB и является макетом для финального тестирования оборудования. Среда MATLAB была выбрана для разработки макета из-за простоты работы в данной среде и наличия встроенной функцией конвертирования написанного кода в код языка C/C++, а также очень хороших средств визуализации. Данная программа осуществляет свою работу путем анализа и обработки данных, полученных от широкополосного амплитудного пеленгатора, которые сохраняются им в файл, с которым и работает программа. В результате обработки исходных данных по специальному алгоритму программа выделяет необходимый сигнал и вычисляет его пеленг.

В первом этапе выставляется частота дискретизации, на котором работало приемное устройство в ходе получения записи с двух каналов

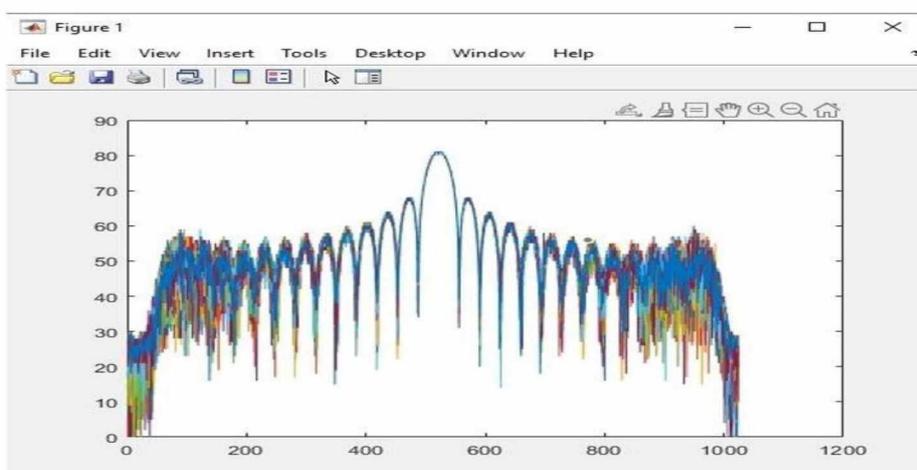


Рисунок 2 – Вид исходного сигнала

Как видно из рисунка 1 исходный импульсный сигнал содержит много шума и ненужных составляющих, которые будут влиять на точность обнаружения сигнала ИРИ. Поэтому, для исключения имеющихся мешающих составляющих, была проведена работа с исходными данными, описанная в ходе следующих этапов работы программы[2].

На втором этапе работы программы, происходит работа с исходными данными. Исходные данные представляют собой массив из нескольких миллионов значений, что в свою очередь влияет на быстродействие аппаратных средств обработки. Для этого была введена размерность массива для каждого канала и количество выделяемых сигналов. На третьем этапе работы программы, были приведены реальные уровни сигналов в dBm для каждого канала и применён сглаживающий фильтр (ФНЧ). На четвертом этапе работы был сделан перевод значений в мВ, а также была определена максимальная длина записи для 1 и 2-го канала. После этого, был установлен порог по значениям в каждом канале, что в свою очередь дает возможность работать с «чистым» сигналом без шумов. На пятом этапе работы программы проводилось сравнение амплитуд и запись номеров частот, которые превышали установленный порог. После этого было применено усреднения и повторное сравнение для более точного результата. Что бы убрать ненужные значения из матрицы первого и второго канала была применена стандартная функция среды разработки MATLAB для удаления нулей из матрицы, которые получились после сравнения с порогом значений. Исходя из этого были получены значения

около идеальных сигналов в двух каналах. Следовательно, это дало возможность сравнить амплитуды и вычислить пеленг и среднеквадратичную ошибку. На заключительном этапе работы программы производятся итоговые операции по проверке полученного угла, удаление нулевых значений, усреднение оставшихся и расчет по ним среднеквадратичной ошибки. Проведя все необходимые операции, в итоге производится нахождение пеленга сигнала.

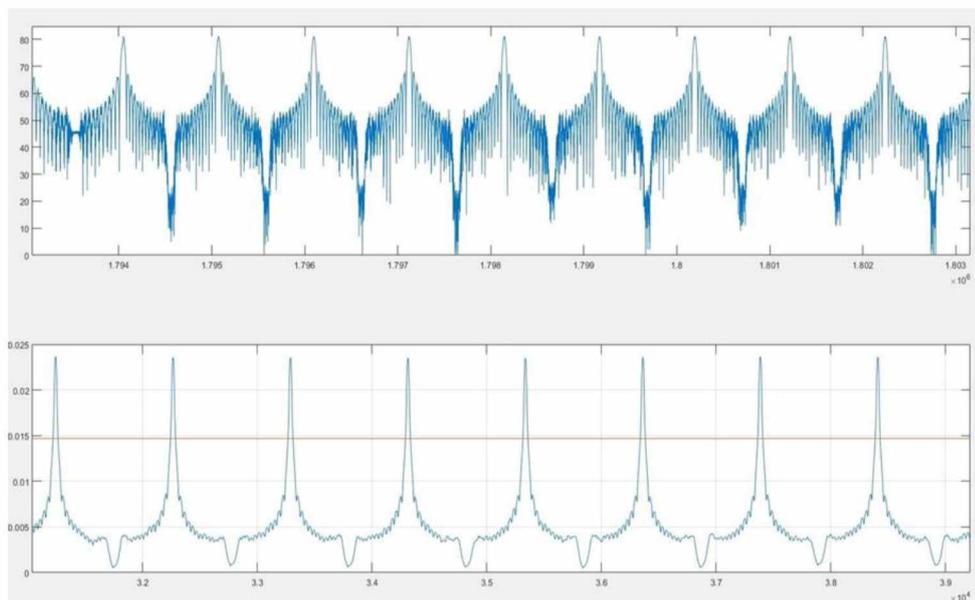


Рисунок. 2. Сравнение исходного сигнала с сигналом, полученным по результатам работы программы

Исходя из рисунка видно, что программа качественно обработала исходный сигнал, максимально убрав шум и выделив необходимый сигнал. Благодаря этому, можно точно найти пеленг, а вычисленная среднеквадратичная ошибка, равная <0.5 мВ, является очень хорошим результатом. Следовательно, в ходе работы программы был получен практически идеальный сигнал.

Из всего сказанного выше можно сделать вывод, что алгоритм работы программы составлен правильно и все этапы работы программы выполнены в полном объеме.

Заключение

Рассмотрены способы для повышения чувствительности и точности определения пеленга, также рассмотрены факторы, влияющие на отношение «сигнал/шум» такие как: потери, связанные с ограничением полосы, межсимвольная интерференция, ослабление и шум на обтекатель, потеря наведения, помехи соседнего канала, неидеальная синхронизация и др. Приведено описание разработанного программного обеспечения для оценки точности измерения пеленга импульсных сигналов широкополосным амплитудным пеленгатором.

Список источников

- [1] Радиомониторинг – задачи, методы, средства / Под ред. А.М. Рембовского. 2–е изд., перераб. и доп. – М. : Горячая линия–Телеком, 2010. – 624 с.
- [2] **Чингаева, А. М.** Исследование и разработка алгоритмов оценивания оптимальной фильтрации параметров канала с рассеянием во времени и по частоте. Дисс. Канд. Техн. Наук: 05.12.13 / Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики. – Самара, 2007. – 166 с.

- [3] **Шевченко, М. Е.** Пеленгование источников радиоизлучения в широкой полосе частот с использованием круговой антенной решетки // М. Е. Шевченко, В. Н. Малышев, Д. Н. Файзуллина. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2018.– №6. – С. 30 – 40.
- [4] **Денисов, В. П.** Устранение аномально больших ошибок в двухбазовых фазовых пеленгатора, работающих по сканирующему источнику излучения // В. П. Денисов, Н. А. Колядин, К. Е. Мухомор, М. П. Скородумов // Радиотехника. – 2013. – № 2. – С. 10 – 17.

ALGORITHM FOR ESTIMATING THE ACCURACY OF MEASURING THE BEARING OF PULSE SIGNALS WITH A BROADBAND AMPLITUDE DIRECTION FINDER

P.O. Kozlov¹

¹ Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

An algorithm has been developed for measuring the bearing of pulse signals with a broadband amplitude direction finder, existing methods of direction finding of a radio source are considered, the main qualities of radio direction finders and ways to reduce the influence of noise characteristics on pulse signals are presented.

Keywords: Accuracy estimation algorithm; Bearing; Radio monitoring; Bearing of radio sources.