

Автоматизация местоопределения источников электромагнитного излучения на объектах

Введение

В Отчете рассматриваются особенности применения мобильной станции радиомониторинга и пеленгования для проверки объектов на наличие источников электромагнитного излучения (ЭМИ). Для этой цели в мобильной станции желательное использование быстродействующего корреляционно – интерферометрического пеленгатора, делающего возможным получение панорамы пеленгов по азимуту и по углу места от источников радиоизлучений с узкополосными и с широкополосными видами модуляции, высокочастотных бытовых и медицинских установок, других источников радиопомех. Мобильная станция должна быть оснащена видеокамерой, с помощью которой осуществляется привязка местоположения источника ЭМИ к конкретной области объекта. Кроме того, условием успешной работы станции, является наличие специализированного программного обеспечения, учитывающего особенности решаемой задачи и реализующего быстрые и надежные методы поиска.

Методы выявления источников ЭМИ в объектах

Наиболее очевидными методами для выявления источников ЭМИ в протяженном инженерном или природном объекте с помощью мобильной станции, находящейся вне этого объекта, являются:

- 1) проверка уровней сигналов;
- 2) пеленгование.

Проверка уровней сигналов заключается в сравнении амплитуд спектров сигналов, полученных в непосредственной близости от проверяемого объекта и при достаточном удалении от него. Если источник находится внутри объекта, то, как правило, амплитуда сигнала на расстоянии порядка нескольких десятков метров от него значительно превышает амплитуду сигнала при удалении от объекта более, чем на несколько сотен метров. При этом уровни сигналов от посторонних источников излучения практически не меняются.

Для примера, на Рисунок 1 и Рисунок 2 показаны спектры от источника радиоизлучения, мощностью около 60 мВт с частотой излучения 300,25 МГц, который находился внутри кирпичного здания. Спектр на Рисунок 1 получен при удалении станции от здания на 50 м, а спектр на Рисунок 2 при удалении примерно на 1000 м.

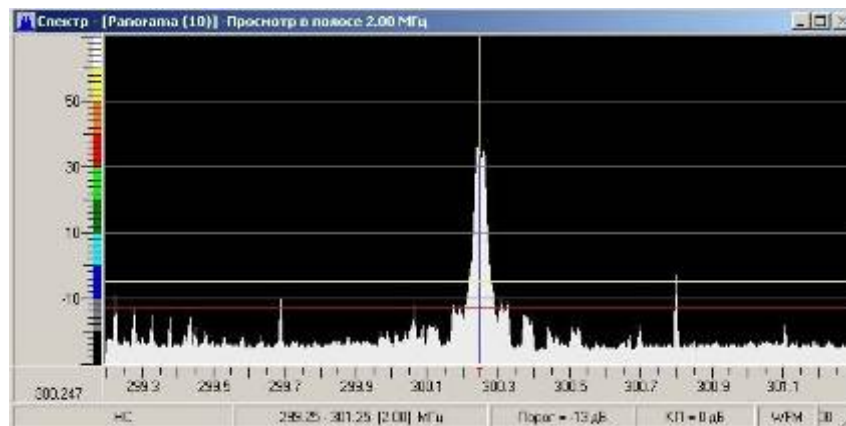


Рисунок 1. Спектр сигнала вблизи источника

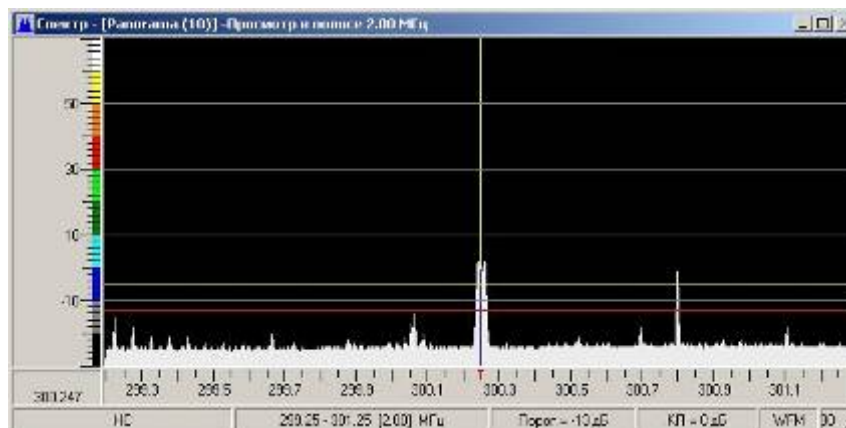


Рисунок 2. Спектр сигнала при удалении от источника на 1000 м

Сравнение рисунков подтверждает, что амплитуда сигнала источника ЭМИ, находящегося в здании, уменьшилась почти на 20 дБ, в то время как амплитуда сигнала на частоте 300,8 МГц, принадлежащему удаленному источнику, практически не изменилась.

Метод пеленгования, используемый при поиске, сводится к задаче определения положения источника по пеленгам, но решаемой "наоборот". При обычном подходе частота источника заранее известна и на основе пеленгов, вычисленных с разных позиций, требуется определить местоположение источника. Здесь же, сам факт наличия источника неизвестен, его частота также неизвестна, но возможное

местонахождение ограничено границами объекта. Требуется установить факт наличия источника в объекте, определить частоту его излучения, а затем локализовать его размещение в объекте.

Как и при сравнении уровней, пеленгование мобильной станцией должно производиться с нескольких позиций, расположенных с разных сторон объекта. Для каждой позиции запоминается угловое расположение объекта по отношению к мобильной станции, вычисляются пеленги для всех источников, которые также запоминаются. На основе значений пеленгов, полученных с разных позиций, определяются частоты источников, угол прихода сигналов от которых совпал с угловым положением объекта для данной позиции. В результате формируется список частот, которые могут принадлежать источникам, находящимся в объекте. Далее производится уточнение результатов обнаружения путем пеленгования и анализа сигналов, с частотами, попавшими в список.

Как известно, пеленгование в условиях города, из-за многолучевого распространения радиоволн и влияния местных предметов, является вероятностной задачей. Правильность получаемых пеленгов во многом будет определяться позицией мобильной станции. Часто оказывается, что смещение позиции станции на один - два метра приводит к изменению значений пеленгов. При выборе позиции следует стремиться к тому, чтобы была прямая видимость объекта, чтобы рядом с мобильной станцией не было высоких строений или крупных металлических предметов. К сожалению, дать более конкретные рекомендации по тому, как следует выбирать позицию станции в условиях плотной городской застройки, вряд ли возможно, но, во всяком случае, увеличение числа позиций мобильной станции, как правило, повышает достоверность выявления источников ЭМИ в исследуемом объекте.

Возможный диапазон частот источников ЭМИ простирается от сотен килогерц до десятков тысяч мегагерц, причем для крупного города характерна сильная загрузка радиочастотного диапазона. Например, в диапазоне от 25 до 3000 МГц число одновременно наблюдаемых источников может превышать несколько тысяч. Поэтому эффективность работы мобильной станции будет определяться скоростью вычисления спектров и пеленгов, а также быстродействием алгоритмов, работающих с базой полученных данных.

Состав программного обеспечения

В состав программного обеспечения станции входят программное обеспечение для управления аппаратурой радиомониторинга и пеленгования (управляющий пакет), а также специальная программа, предназначенная для решения задачи обнаружения и определения местоположения источников ЭМИ в протяженных объектах.

Указанное приложение обеспечивает следующие функции:

- импорт из управляющего пакета результатов многоканального пеленгования и их сохранение в БД;
- отображение панорамы спектров, панорамы пеленгов;
- сохранение изображений исследуемого объекта, полученного с помощью цифровой камеры;
- объединение нескольких цифровых изображений объекта в общее "панорамное" изображение объекта;

- формирование и хранение сеансов и кадров работы с объектами;
- визуальное задание границ объекта на цифровом изображении для поиска источника с помощью пеленгования;
- формирование списка интересующих частот, которые могут соответствовать источнику излучения внутри объекта;
- использование для поиска интересующих частот азимутов и амплитуд обнаруженных сигналов;
- трансляцию из управляющего пакета результатов одноканального пеленгования с привязкой к угловым координатам и отображение их на изображении объекта;
- экспорт в управляющий пакет списка частот для их детального анализа;
- ведение баз данных, содержащих как первичную информацию, полученную из управляющего пакета, так и результаты поиска источников ЭМИ для каждого из исследуемых объектов

Исходными данными служат спектральные и пеленгационные панорамы, импортируемые из управляющего пакета, а также изображения исследуемых объектов, полученные от цифровой видеокамеры. Результатом работы программы является список интересующих частот, которые могут принадлежать источникам излучения, находящимся внутри объекта. Программа отображает на цифровой фотографии объекта места вероятного расположения источника ЭМИ, позволяет экспортировать список интересующих частот в управляющий пакет для их детального анализа.

В программе анализа ведется база данных (БД) объектов, которая хранит в полном объеме данные, полученные из управляющего пакета, а также результаты поиска источников для каждого из исследуемых объектов.

База данных состоит из общей БД и автономных БД объектов, создаваемых для каждого объекта в отдельной папке. Общая база данных включает в себя таблицу объектов и таблицу запрещенных частот. Таблица запрещенных частот содержит частоты, которые могут быть исключены из анализа.

В БД объекта хранится полная информация для сеансов мониторинга, осуществленных в разное время.

В свою очередь, каждый сеанс мониторинга состоит из кадров, как показано на Рисунок 3. Кадр соответствует определенной позиции мобильной станции относительно исследуемого объекта и содержит первичные данные: спектральные и пеленгационные панорамы, а также цифровые изображения объекта, полученные на данной позиции.

Поиск источника ЭМИ

Сеанс поиска источника ЭМИ мобильной станцией осуществляется в несколько этапов:

- 1) Накопление кадров первичных данных;

- 2) Обработка кадров и формирование списка интересующих частот;
- 3) Проверка частот из списка и уточнение местоположения источников.

Задачей первого этапа поиска источников электромагнитных излучений является формирования банка исходных данных, необходимых для принятия решения.

На первом этапе мобильная станция последовательно занимает несколько позиций на близком расстоянии от исследуемого объекта и несколько позиций на удалении от него. На каждой позиции формируется один кадр первичной информации. Выбор позиций должен производиться так, чтобы они находились по возможности с разных сторон объекта.

Для получения спектральных и пеленгационных панорам используется режим многоканального пеленгования. В этом режиме на каждой частоте настройки ЦРПУ сразу для всей полосы пропускания цифрового тракта осуществляется формирование панорамы спектров, обнаружение и пеленгование источников ЭМИ. По сравнению с режимом одноканального пеленгования, где приемник последовательно настраивается на частоту каждого обнаруженного сигнала, такой метод значительно уменьшает время получения панорамы пеленгов. При скорости многоканального пеленгования 300 МГц/с период прохода диапазона частот от 25 до 3000 МГц не превышает 10 секунд.

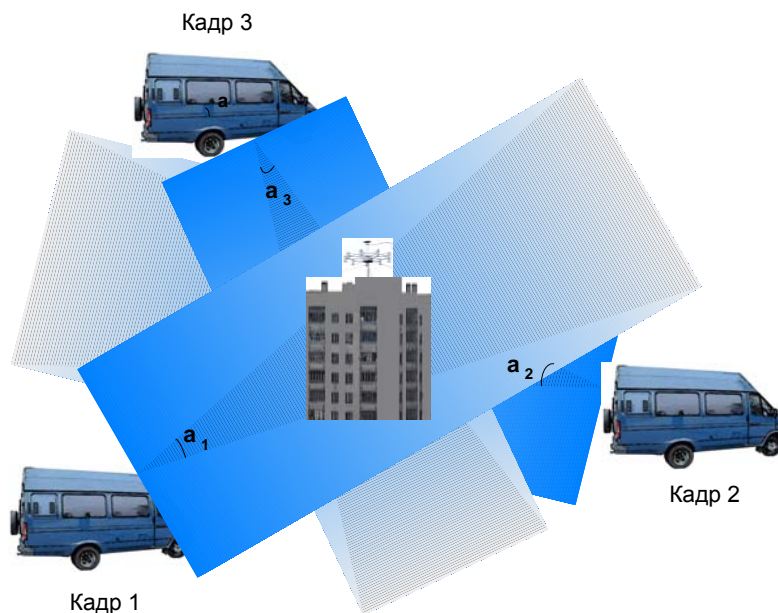


Рисунок 3. Сеанс работы мобильной станции состоит из нескольких кадров

После того, как будет достигнута верхняя граница задания, ЦРПУ автоматически вернется к нижней границе и процесс многоканального пеленгования будет продолжен.

Во время накопления спектральных и пеленгационных данных с помощью управляющего пакета, оператор станции сохраняет изображение объекта от цифровой видеокамеры, жестко закрепленной внутри автомобиля. С помощью окна настроек, оператор вводит данные о том, в какую сторону от автомобиля направлена видеокамера и в каких положениях велась съемка, после чего и импортирует изображение объекта в БД специальной программы.

Для кадров, формируемых на значительном удалении от объекта, должен быть установлен признак "Д" (далекая позиция), чтобы сделать возможным поиск источников путем сравнения уровней.

После завершения прохода диапазона частот по заданию, спектральная панорама, список обнаруженных частот из управляющего пакета по команде оператора импортируются в БД специальной программы. В списке обнаруженных частот содержатся значения центральной частоты, полосы, амплитуды, пеленга в горизонтальной и вертикальной плоскости, а также результирующая диаграмма направленности антенной решетки.

Цифровое изображение объекта, спектральная панорама и список обнаруженных частот отображаются в окне специальной программы. Частота, на которую указывает маркер в таблице частот, на спектральной панораме выделяется с помощью вертикального маркера, в окне спектральной линзы дается детальное изображение спектра, а на лимбе выводятся значения пеленгов в горизонтальной и вертикальной плоскости и диаграмма направленности антенной решетки. Пеленг в виде перекрещивающихся линий отображается на цифровой фотографии объекта.

Обработка кадров и формирование списка интересуемых частот

После формирования не менее трех-пяти кадров первичных данных оператор на цифровых фотографиях объекта, отображаемых в окне специальной программы, с помощью «мыши» обводит цветной рамкой изображение исследуемого объекта, как показано на Рисунок 4. Тем самым задаются угловые границы объекта, необходимые для поиска пеленгованием. В расчете используются только те сигналы, горизонтальный и вертикальный углы прихода которых находятся внутри границ объекта, задаваемых рамками.



Рисунок 4. Задание угловых границ объекта с помощью рамки

После задания угловых границ оператор подает команду на запуск процедуры обнаружения источников, в результате которой в БД объекта формируется новый список, который содержит объединенные частоты, полученные из частот кадров первичных данных. Объединение частот производится следующим образом. При пересечении полос нескольких частот формируется новая частота, значение полосы которой принимается равной объединенной полосе, а значение центральной частоты – соответствует центру объединенной полосы. Например, в результате объединения частот А, В, С, D в объединенном кадре формируется частота Е, как показано на Рисунке 5.

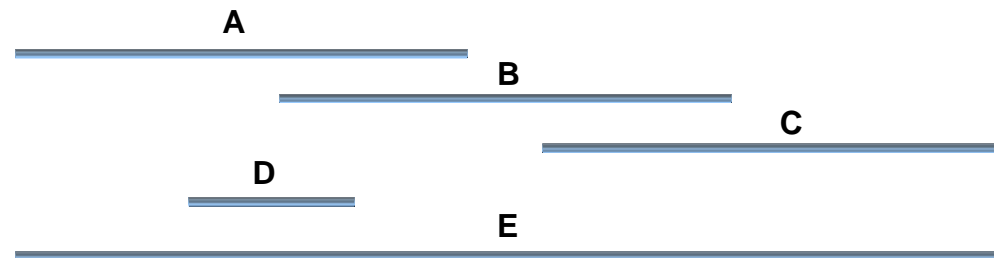


Рисунок 5. Формирование "объединенной" частоты

Для контроля в результирующую таблицу объединенного списка помещается информация о количестве исходных частот, попавших в объединенную частоту, и количестве кадров первичных данных, в которых эта частота наблюдалась. Для объединенных частот оператор может установить фильтр по количеству кадров, в которых наблюдалась частота, а также просмотреть все исходные частоты.

Накладывающиеся частоты, содержащиеся как в одном, так и разных кадрах, объединяются в одну, содержащую в себе весь диапазон накладываемых частот.

После выполнения процедуры слияния частот в объединенном списке отображается список интересующих частот, в который включены сигналы, которые наблюдались не менее, чем в двух кадрах и направление прихода которых совпадает с угловым расположением исследуемого объекта.

Кадры с признаком "Д" (далекая позиция) не участвуют в формировании объединенного кадра. После формирования объединенного кадра из "ближних" кадров (с признаком "Б"), амплитуды частот, содержащихся в объединенном кадре, сравниваются с амплитудами частот из кадров с признаком "Д". Если амплитуда сигнала для кадра вблизи объекта, оказывается на заданную величину больше амплитуды сигнала, наблюдавшегося для кадров с признаком "Д", то частота в объединенном кадре помечается специальной меткой, которая указывает на высокую вероятность принадлежности данной частоты к источнику внутри объекта, поскольку для этой частоты положительный результат получен при пеленговании и при проверке уровней.

После выполнения процедуры обнаружения в объединенном кадре отображается список интересующих частот с сигналами, наблюдавшимися не менее, чем в двух кадрах, направление прихода которых совпадает с угловым расположением исследуемого объекта, а также частоты, обнаруженные сравнением уровней.

В качестве примера, на Рисунок 6 показано окно специальной программы после выполнения процедуры обнаружения источников. Обнаружения выполнялось по шести кадрам первичных данных. Получение данных для трех кадров происходило в непосредственной близости от объекта, в условиях его прямой видимости и цифровые изображения объекта, полученные из этих позиций мобильной станции, показаны в окне программы. Для трех других кадров получение данных осуществлялось с позиций вне прямой видимости объекта на расстояниях в пределах 800-1500 м. В ходе обработки была выявлена частота 300,25 МГц, сигнал которой наблюдался во всех 6 кадрах первичных данных, и направление прихода ЭМИ соответствовало угловому положению объекта. Из рисунка следует, что вероятным местом нахождения источника ЭМИ является помещение на втором этаже здания, которому соответствуют четвертое и пятое окно с левой стороны объекта.

Проверка частот из списка и уточнение местоположения источников

В условиях города при приеме и пеленговании радиосигналов часто наблюдается интерференция, которая может привести к существенным ошибкам при формировании списка интересующих частот. Поэтому каждая частота из полученного списка нуждается в дальнейшей проверке на принадлежность ее источнику ЭМИ, находящемуся в объекте.

Для выполнения проверки, оператор выделяет в таблице объединенного кадра необходимые частоты, затем специальной командой экспортирует их в отдельную таблицу для одноканального пеленгования и детального анализа.

При одноканальном пеленговании сигналов значения пеленгов из управляющего пакета транслируются в специальную программу, в которой они наносятся на изображение объекта, получаемое от видеокамеры. Это позволяет визуально оценить местонахождение источника в исследуемом объекте. Одноканальное пеленгование проводится из нескольких положений мобильной системы, чтобы уменьшить возможное влияние интерференции. Детальный спектральный анализ сигнала позволяет обнаружить в его составе побочные спектральные составляющие, подтверждающие незначительное расстояние до источника ЭМИ. Если включено вычисление угла места, то местоположение желтого "креста" будет определяться по горизонтали азимутом, а по вертикали углом места источника, как показано на Рисунок 6.

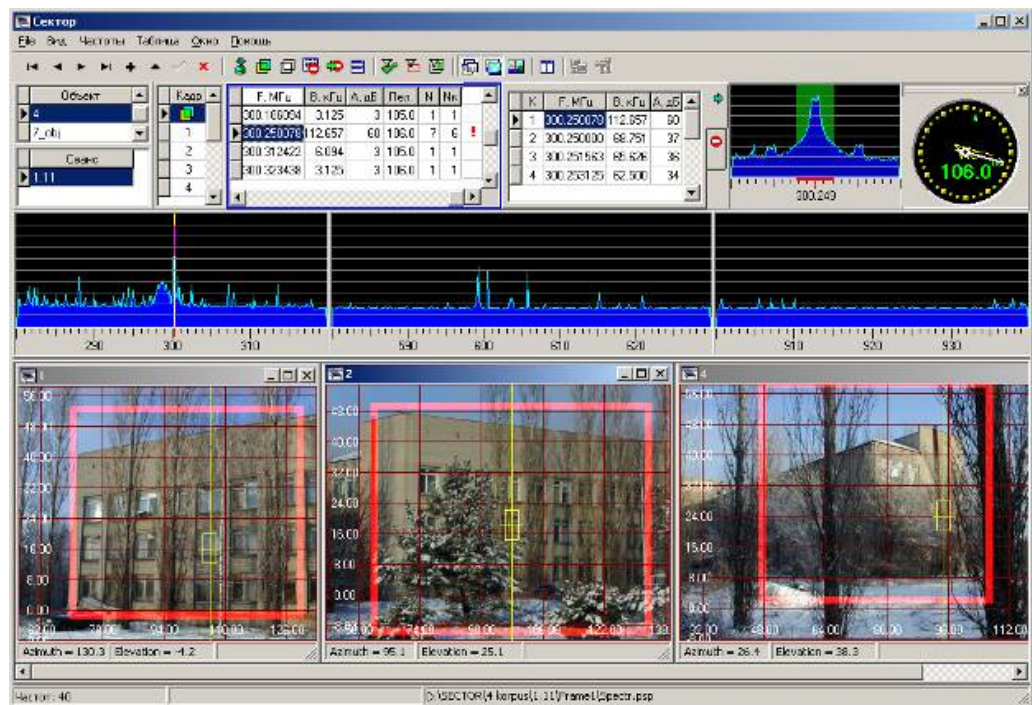


Рисунок 6. Вид окна специальной программы после выполнения процедуры поиска

После того, как установлено, что источник излучения находится в исследуемом объекте и определено его примерное расположение, проводится его непосредственный поиск. Поскольку примерное местоположение и частота излучения источника уже известны, то поиск внутри или на крыше объекта, как правило, не представляет серьезных проблем.

Заключение

Использование мобильной станции радиомониторинга и пеленгования для целей выявления источников ЭМИ, находящихся внутри объектов, имеет ряд очевидных достоинств. Прежде всего - это ее мобильность. Станция может быстро перемещаться от одного исследуемого объекта к другому, она сразу готова к работе, позволяет производить мониторинг по всему периметру объекта. Мобильная станция универсальна. Она может использоваться как для поиска источников электромагнитного излучения внутри объектов, так и для решения других задач радиомониторинга.

Опыт эксплуатации подобных станций в городских условиях подтверждает эффективность их использования для поиска источников ЭМИ в объектах.

Литература

1. Веб-сайт: www.ircos.ru/eng/

2. Рембовский А.М, Ашихмин А.В., Козьмин В.А. **Радиомониторинг: задачи, методы, средства/** под редакцией А.М. Рембовского. Москва: Горячая линия-Телеком, 2006, с. 492 (на русском языке).