

Международный союз электросвязи

МСЭ-R
Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SM.2039
(08/2013)

**Развитие методов контроля
за использованием спектра**

Серия SM
Управление использованием спектра



Международный
союз
электросвязи

Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2014 г.

© ITU 2014

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SM.2039-0*

Развитие методов контроля за использованием спектра

(Вопрос МСЭ-R 235/1)

(2013)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводится краткая вводная информация о развитии методов контроля за использованием спектра и рекомендуется учитывать требования и технологии, обеспечивающие возможность развития методов контроля за использованием спектра.

Ключевые слова

Развитие методов контроля за использованием спектра, требования к системам.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что контроль за использованием спектра является одним из основных элементов управления использованием спектра;
- b) что технологии и системы радиосвязи развиваются постоянно и быстрыми темпами;
- c) что среди прочих технологий необходимо изучить воздействие радио с программируемыми параметрами и систем когнитивного радио на потребности контроля за использованием спектра;
- d) что использование спектра в полосах более высоких частот продолжает расти;
- e) что Рекомендации и Отчеты МСЭ-R серии SM, а также Справочник МСЭ-R по контролю за использованием спектра (издания 2011 г.) предоставляют обширную информацию о контроле за использованием спектра существующими технологиями и системами радиосвязи;
- f) что, возможно, необходимо провести оценку существующих систем и/или методов контроля за использованием спектра (включая фиксированные, подвижные и транспортируемые станции) в отношении их возможностей контроля новых технологий и систем радиосвязи;
- g) что совершенствование оборудования по контролю за использованием спектра повышает эффективность и результативность процесса управления использованием спектра;
- h) что возрастающий объем собираемых результатов измерений спектра может потребовать адаптации организации и обработки данных, а также применяемых методов контроля за использованием спектра;

признавая,

- a) что использование мультиплексирования совпадающих частот, передовых методов совместного использования спектра и других методов могло бы увеличить занятость частот и повысить эффективность использования спектра;
- b) что широкополосные системы радиосвязи могли бы обеспечивать возможность более быстрой связи и что технологии развиваются очень быстрыми темпами, особенно в будущих сетях передачи данных;
- c) что некоторые системы контроля за использованием спектра испытывают трудности с обнаружением и определением местоположения маломощных устройств радиосвязи, в которых используются современные методы модуляции,

* В 2019 году 1-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла поправки редакционного характера в настоящую Рекомендацию в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1.

рекомендует,

1 чтобы при развитии методов контроля за использованием спектра применялись системы, которые могут расширить охват функциями контроля, выполнять различные функции и включать удобные для пользователя операции, которые описываются в Приложении 1;

2 чтобы при развитии методов контроля за использованием спектра применялись такие технологии, как технологии обнаружения слабых сигналов, разделения сигналов на совпадающей частоте и определения местоположения в различных режимах на основе сочетания методов, которые описываются в Приложении 2.

Приложение 1

Потребности систем, обеспечивающих возможность развития методов контроля за использованием спектра

1 Расширение охвата функциями контроля

При постоянном и быстром развитии технологий радиосвязи, более высоких частотах и более широких полосах пропускания все больше сокращаются расстояния распространения радиоволн. Это приносит новую задачу, связанную с управлением использованием спектра и контролем за использованием спектра. Чтобы усилить управление использованием спектра радиочастот и контроль за ним, необходимо расширить охват функциями контроля за использованием спектра или увеличить чувствительность систем контроля, с тем чтобы они могли обнаруживать слабые сигналы в условиях низких отношений сигнал/шум. Для обнаружения слабых сигналов следует использовать следующие технологии:

- увеличение усиления антенны (например, направленной антенны, антенны с изменяемой конфигурацией);
- уменьшение потерь при передаче (например, установка оборудования вне помещений для максимального сокращения потери в кабеле РЧ);
- уменьшение коэффициента шума приемника;
- уменьшение шума с помощью обработки сигнала (например, вычитание шума, корреляция).

Но недостаточно решить вопросы, связанные с уменьшением расстояния распространения радиоволн. Следует рассмотреть возможность увеличения количества станций контроля, но не всегда целесообразно развертывать крупные фиксированные сети контроля. При учете практических условий потребуются гибкая работа и развертывание с применением различных типов систем контроля:

- высокопроизводительные системы контроля (например, фиксированные системы контроля);
- недорогие системы контроля для особых диапазонов/сигналов (например, система контроля для диапазона 2,4 ГГц для ПНМ);
- системы контроля для особых целей/регионов (например, система контроля в аэропортах, перевозимая система контроля для крупных мероприятий);
- подвижные и портативные системы контроля.

2 Выполнение различных функций

2.1 Несколько областей

Следует, чтобы система контроля проводила различные виды анализа в нескольких областях, как это показано в таблице 1. Анализ нескольких областей помогает операторам идентифицировать сигналы и получить параметры сигналов. В частности, анализ известного стандартного протокола передачи данных может обеспечить больше информации, в том числе идентификацию передатчика. Базовыми и необходимыми являются существующие виды анализа, например области времени/спектра и области амплитуды/фазы. По мере того как все большее применение находят более широкие полосы сигнала и меньшая длительность сигнала, такой анализ может потребоваться для радиопеленгации нескольких каналов в дополнение к радиопеленгации основного единого канала. Разработка технологий обработки сигналов делает возможным осуществление одновременной радиопеленгации нескольких каналов, что может содействовать получению пространственной информации по каждому каналу. Кроме того, возможна радиопеленгация кратковременных сигналов, таких как сигналы со скачкообразной перестройкой, а результаты радиопеленгации многоканальных систем могут обеспечить информацию о том, является ли неизвестный широкополосный сигнал тем же самым каналом или нет. Кроме того, при одновременном проведении радиопеленгации одного канала и нескольких каналов можно ожидать получения более надежных результатов радиопеленгации.

ТАБЛИЦА 1

Пример различных видов анализа в нескольких областях

Уровень по отношению к времени	Уровень по отношению к частоте	Частота по отношению к времени	Синфазный по отношению к квадратурному фазовому	Пространство по отношению к частоте
<ul style="list-style-type: none"> – Амплитуда – Импульс – Глаз-диаграмма 	<ul style="list-style-type: none"> – Спектр – Занятость – Побочные излучения – Спектральная маска – Шум 	<ul style="list-style-type: none"> – Девиация частоты – Сдвиг частоты – Скачки частоты 	<ul style="list-style-type: none"> – "Звездная" диаграмма – Величина вектора ошибки (EVM) – Сдвиг фазы 	<ul style="list-style-type: none"> – Многоканальная радиопеленгация

2.2 Несколько измерений

При наличии высокопроизводительных систем контроля требуется меньше времени для измерения благодаря сокращению затрат времени на обработку, например времени на настройку приемника и времени на обработку сигнала. В результате несколько измерений могут осуществляться с помощью разделения по времени, как это отмечается в приведенных ниже примерах:

- измерение занятости канала и анализ конкретной частоты путем одновременного разделения по времени;
- когда два пользователя в одно и то же время обращаются с просьбой измерить и проанализировать отдельные полосы частот, вычисление и передача результатов возможны с помощью разделения времени.

2.3 Несколько приемников

При использовании нескольких приемников можно ожидать повышения скорости и производительности благодаря одновременным измерениям и могут выполняться следующие функции:

- Поиск и прослушивание путем передачи контроля
Операторы могут осуществлять поиск и прослушивание обнаруженных сигналов с помощью передачи контроля.

- Радиопеленгация и определение местоположения
Подробные сведения о радиопеленгации и определении местоположения передатчиков приводятся в Главе 4.7 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.). В случае использования для определения местоположения нескольких станций, существуют два метода: метод триангуляции с использованием угла прихода (AOA) систем с несколькими приемниками и метод разницы во времени прихода (TDOA) с использованием разницы времени каждой распределенной системы. С помощью сочетания этих двух методов может быть достигнута большая точность при определении местоположения в связи с тем, что они служат дополнениями для преимуществ и ограничений каждого метода.
- Пространственное разнесение
Сигнал передается по нескольким различным трассам распространения, что приводит к сдвигам фазы, задержкам по времени, затуханиям и искажениям, которые могут создавать взаимные пагубные помехи на апертуре приемной антенны. Пространственное разнесение осуществляется, как правило, путем выбора лучшего отношения сигнал/шум (SNR) среди принятых сигналов или/и путем сочетания сигналов с помощью прямого или когерентного сложения и может улучшить качество и надежность сигнала беспроводной линии.
- Корреляционное обнаружение
В системе с несколькими приемниками могут использоваться методы корреляции. Можно обнаруживать слабые сигналы с помощью сокращения количества источников случайного шума, такого как белый шум приемников.

2.4 Несколько пользователей

Следует изменить методы соединения, используемые между станциями и операторами. При управлении станциями контроля на любом терминале тип соединения желательно изменить с типа один с одним (1:1) на один со многими (1:N) или многие со многими (N:N), подобно тому как сети электросвязи преобразуются из сетей с коммутацией каналов в сети с коммутацией пакетов. Когда несколько пользователей одновременно запрашивают измерения от произвольно выбранных станций, то соответствующая станция анализирует и планирует свои собственные ресурсы. Затем она осуществляет измерения и передает результаты согласно графику. В случае использования нескольких станций (например, TDOA и обнаружения с перекрестной корреляцией) планировать и контролировать измерения может ведущая станция (или центральный контроллер).

3 Удобные для пользователя операции

С развитием технологий и появлением различных новых типов сигналов ширина полосы сигнала увеличивается, и установка параметров для целей анализа сигналов становится все сложнее. Использование звуковых сигналов и изображений с аналоговой модуляцией преобразовалось в передачу цифровых данных, при которой, как правило, используются более сложные методы модуляции и различные способы кодирования. Например, при использовании аналоговой модуляции можно анализировать сигнал с помощью установки частоты, ширины полосы и типа модуляции. Но при анализе методов цифровой модуляции такой анализ должен включать не только частоту, ширину полосы и методы модуляции, но и такие стандартные параметры, как тип согласованного фильтра, скорость передачи символов, структуру кадра и различные коды.

По мере изменения простой области, такой как спектр и уровень сигналов, в несколько областей, как это показано в таблице 1, операторам может потребоваться удобное для пользователя табло управления (часто называемый "графический интерфейс пользователя", или GUI), которое дает возможность автоматически устанавливать параметры и графики для эффективного и подходящего анализа. Полезное и удобное для пользователя табло для контроля может быть оборудовано такими функциями, как автоматическая установка параметров в соответствии с типами сигналов и различными стандартами цифровой связи. Кроме того, оно должно включать регулировку усиления в зависимости от уровня получаемого сигнала и удобное обнаружение неисправностей сети и аппаратного обеспечения. Когда контроль и измерения осуществляются в течение длительного времени, в базе данных накапливаются большие объемы данных. Поэтому изменения сигналов в зависимости от

времени и места можно эффективно оценить путем сопоставления с имеющимися данными благодаря легкому доступу к базе данных.

Приложение 2

Технологии, обеспечивающие возможность развития методов контроля за использованием спектра

1 Обнаружение слабых сигналов

Использование широкополосных устройств и устройств малого радиуса действия за последние годы быстро растет, что создает трудности для некоторых систем контроля без передовых методов обработки, которым приходится иметь дело с такими сигналами с низкой плотностью мощности, особенно для определения местоположения незаконных передатчиков или источников побочных излучений и др. Развертывание большего количества систем контроля поможет решить эту проблему, но такое решение может оказаться дорогостоящим.

Во многих случаях обнаружение слабых сигналов можно улучшить с помощью использования динамичной сети контроля, которая может состоять из подвижных систем, поддерживающих работу фиксированных станций и работающих, чтобы их дополнить.

Будущие системы контроля за использованием спектра, где применяется технология обнаружения слабых сигналов, будут обнаруживать сигналы с низкой плотностью мощности без больших затрат. Как правило, перекрестная корреляция может увеличить чувствительность систем контроля за использованием спектра на 20–30 дБ. Для обнаружения слабых сигналов с низкой плотностью мощности могут использоваться такие передовые технологии, как синхронизирующий усилитель, выборочное интегрирование, автокорреляция, перекрестная корреляция и адаптивное подавление шумов.

2 Разделение сигналов на совпадающей частоте

Для увеличения занятости частот и повышения эффективности использования спектра радиочастоты используются в различных областях, включая частотную область, временную область, амплитудную область, область модуляции, пространственную область и др. Традиционные устройства контроля могут легко разделять различные сигналы FDMA, но может оказаться сложным контролировать сигналы на совпадающей частоте, например помехи на совпадающей частоте, сигналы TDMA, CDMA и SDMA.

Будущие системы контроля за использованием спектра, где применяется технология разделения сигналов на совпадающей частоте, могут легко контролировать сигналы, работающие в различных областях. Как фильтр может разделять сигналы, работающие на неперекрывающихся частотах, так и антенна с формированием луча может разделять сигналы, поступающие из различных направлений. Для разделения сигналов, работающих в различных областях в соответствии с их различными характеристиками, могут использоваться такие передовые технологии, как восстановление сильного сигнала, анализ независимых компонентов, пространственное формирование луча на основе спектра и пространственно согласованная фильтрация.

3 Определение местоположения в различных режимах (на основе сочетания технологий определения местоположения)

Сигналы в различных областях несут соответствующую информацию о местоположении. Поэтому такая информация о местоположении может быть получена с помощью соответствующей технологии или алгоритмов компьютерной обработки, которые используются при определении местоположения

источника сигнала. Постоянно растут технические возможности по цифровой обработке сигналов (DSP) и организации сетей. Устройства на основе DSP и организации сетей становятся более приемлемыми в ценовом отношении. Системы контроля за использованием спектра на основе алгоритмов DSP и сетевых технологий могут легче осуществлять идентификацию передатчиков с различными характеристиками, работающих в разных областях.

Будущие системы контроля за использованием спектра, где применяется технология определения местоположения в различных режимах на основе DSP и организации сетей, повысят эффективность и точность при осуществлении контроля за сигналами с различными характеристиками. TDOA является наглядным примером системы на основе обработки DSP и организации сетей для определения местоположения источников излучения с использованием относительных значений времени прихода сигнала на несколько приемников. Системы TDOA обеспечивают гибкость в выборе антенны и ее размещения, поскольку на точность TDOA в минимальной степени влияют близко расположенные отражатели, а антенны и кабели, как правило, не встроены в приемники TDOA. Для определения местоположения источников излучения в различных обстоятельствах могут использоваться имеющиеся передовые технологии, такие как основанные на AOA (угол прихода), TDOA, FDOA (сдвиг частоты прихода сигналов), POA (мощность приходящего сигнала), и методы идентификации на основе вспомогательных данных.
