

МСЭ-R
Сектор радиосвязи МСЭ

Отчет МСЭ-R SM.2270
(06/2013)

**Технология визуализации источников
радиоизлучения для контроля
за использованием спектра**

Серия SM
Управление использованием спектра



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 Отчетов МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REP/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

Примечание. – Настоящий Отчет МСЭ-R утвержден на английском языке исследовательской комиссией 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.

ОТЧЕТ МСЭ-R SM.2270

**Технология визуализации источников радиоизлучения
для контроля за использованием спектра**

(2013)

1 Введение**1.1 Исходные положения**

С учетом наблюдаемого в последние годы прогресса в развитии технологий беспроводной связи постоянно растет число людей, использующих такие системы связи. Кроме того, радиоволны используются во все более широком разнообразии электронной продукции общего назначения. В результате такого возрастающего использования радиоустройств и связанной с этим нехватки радиочастот отмечается целый ряд случаев появления помех.

В частности, в последние годы сообщается о большем количестве случаев появления помех в диапазонах более высоких частот. Помимо этого, поскольку устройства связи становятся все более продвинутыми в плане повышения чувствительности, негативное влияние на окружающие устройства могут оказывать даже источники помех с небольшой мощностью передачи.

В обычной схеме определения местоположения источника радиоизлучения с использованием метода угла прихода (АОА) можно установить местоположение этого источника на двухмерной карте, но нельзя рассчитать его местоположение по высоте.

Поэтому в районе предполагаемой точки размещения источника радиоизлучения местоположение этого радиоисточника необходимо идентифицировать, используя портативную систему радиопеленгации.

Технология визуализации источников радиоизлучений (RAVIT) может визуально указывать точное местоположение конкретного источника излучения на небольших расстояниях и поэтому она весьма полезна на заключительном этапе идентификации точного местоположения источника излучений, после того как с помощью обычной системы радиопеленгации был определен предполагаемый район нахождения этого источника.

В настоящем Отчете дается пример применения рассматриваемой системы в рамках фактических работ по контролю за использованием спектра, в то же время в этом документе приводится краткое описание, принцип работы и основные характеристики технологии RAVIT, а также предлагается пример ее применения в будущей системе контроля за использованием спектра.

На рисунке 1 показан принцип работы системы RAVIT.

РИСУНОК 1

Принцип работы системы RAVIT



Report SM.2270-01

1.2 Принцип визуализации

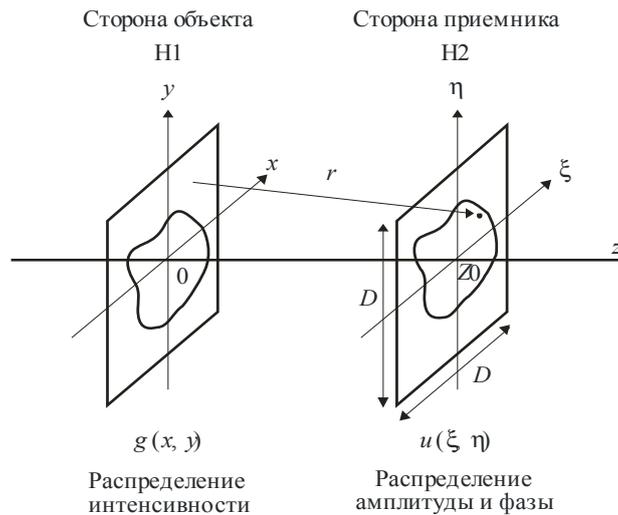
На рисунке 2 показаны принцип и основное уравнение радиологического метода, используемого в системе RAVIT.

На рисунке 2 приводится распределение интенсивности коэффициента пропускания $g(x, y)$ на стороне объекта Н1. Когда двумерная электрическая волна (длина волны λ) излучается по вертикали, то на стороне приемника Н2, который находится на расстоянии Z_0 от Н1, в плоскости Н2 наблюдается дифракционная картина $u(\xi, \eta)$.

Эта картина описывается посредством формулы (1) дифракционного интегрирования Френеля-Кирхгофа.

РИСУНОК 2

Принцип радиологического метода



Report SM.2270-02

$$u(\xi, \eta) = \frac{j}{\lambda} \iint g(x, y) \frac{\exp(-jkr)}{r} dx dy . \quad (1)$$

Основное уравнение дифракционного интегрирования Френеля-Кирхгофа:

$$r = \sqrt{z_0^2 + (\xi - x)^2 + (\eta - y)^2} . \quad (2)$$

Если расстояние между стороной объекта Н1 и стороной приемника Н2 устанавливается по условиям дальнего поля и удовлетворяет условиям Фраунгофера, формула (1) может быть преобразована, как это показано ниже.

В формуле (3) распределение $u(\xi, \eta)$ амплитуды и фазы на стороне приемника Н2 описывается с помощью двумерного обратного преобразования Фурье для значений распределения интенсивности на стороне источника радиоизлучения:

$$\begin{aligned} u(\xi, \eta) &= \frac{j}{\lambda \cdot z_0} \exp(-jkz_0) \exp\left(-jk \frac{\xi^2 + \eta^2}{2z_0}\right) \iint g(x, y) \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda \cdot z_0} (\xi \cdot x + \eta \cdot y)\right\} dx dy \\ &= \text{const} \cdot \text{Fourier } 2^{-1}[g(x, y)], \end{aligned} \quad (3)$$

где:

- *const* – это константа;
- *Fourier2[...]* – это двумерное преобразование Фурье.

Распределение $g(x, y)$ интенсивности сигнала на стороне объекта, которое требуется при использовании RAVIT, описывается преобразованием Фурье для формулы, показанной в уравнении (4):

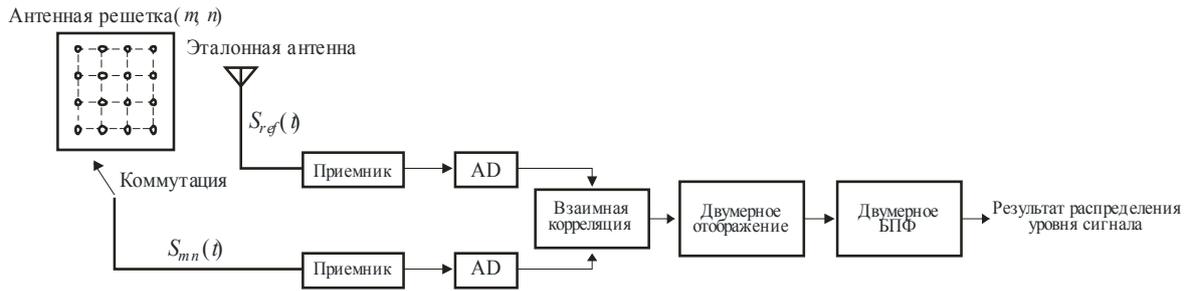
$$g(x, y) = \text{const} \cdot \text{Fourier } 2[u(\xi, \eta)] . \quad (4)$$

В реальной системе для того чтобы получить распределение амплитуды и фазы на приемной стороне, собирается информация о взаимной корреляции принимаемых данных от элементов каждой антенной решетки и от того или иного элемента эталонной антенны.

Распределение $u(\xi, \eta)$ амплитуды и фазы на приемной стороне вычисляется путем отображения данных на двумерной плоскости. Изображение кривой распределения интенсивности сигнала излучаемой радиоволны может быть получено на выходе при выполнении двумерного быстрого преобразования Фурье (БПФ) для этих результирующих данных. При числовом расчете в ходе цифровой обработки сигнала указанные выше процессы выполняются с использованием алгоритма, показанного на рисунке 3.

РИСУНОК 3

Алгоритм обработки сигнала



$S_{ref}(t)$ – принимаемый сигнал в эталонной антенне;

$S_{mn}(t)$ – принимаемый сигнал в каждом элементе (m, n) ;

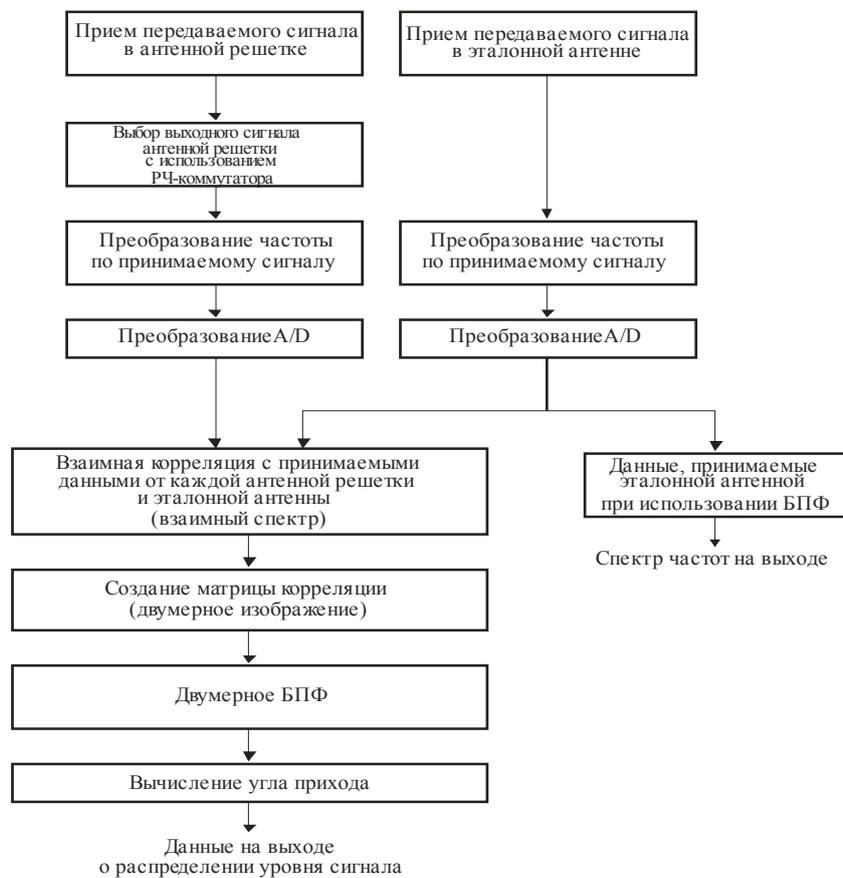
$m = 1, \dots, M, \quad n = 1, \dots, N$

Report SM.2270-03

На рисунке 4 показана последовательность операций по обработке сигнала.

РИСУНОК 4

Последовательность операций по обработке сигнала



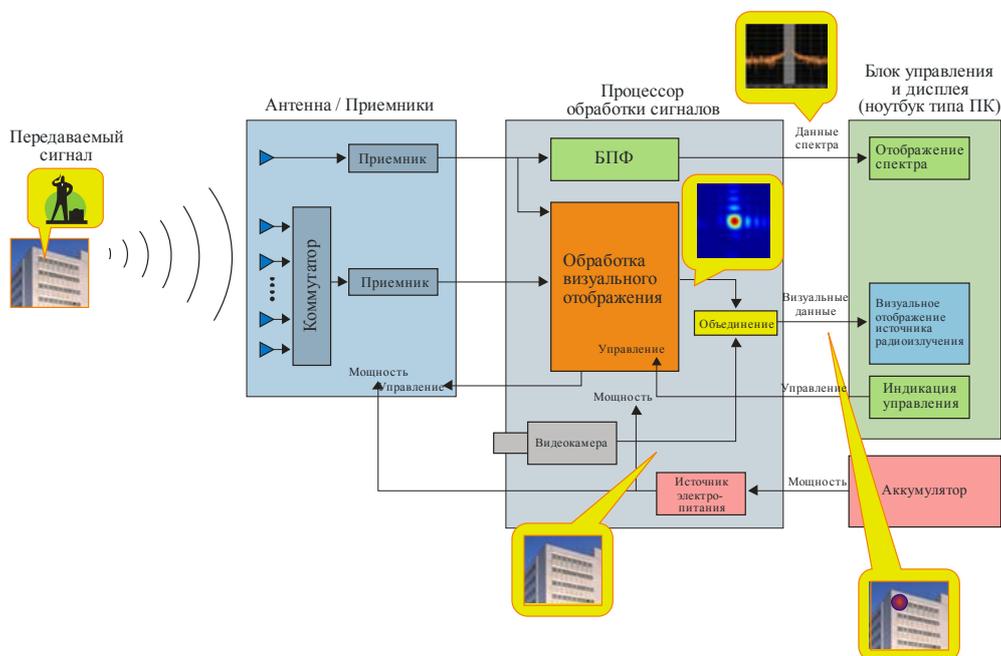
Report SM.2270-04

1.3 Функциональная диаграмма при системном подходе

На рисунке 5 показан пример функциональной диаграммы при применении RAVIT в отношении реальной системы.

РИСУНОК 5

Функциональная диаграмма система RAVIT



Report SM.2270-05

В этой диаграмме сигнал, передаваемый от источника радиоизлучения, принимается с помощью эталонной антенны и некоторых элементов антенной решетки. Сигнал, принимаемый от каждого из антенных элементов, преобразуется в сигнал ПЧ (промежуточной частоты) в модуле антенна/приемник и оцифровывается в конвертерах А/Д.

Приемник работает в диапазоне частот от УВЧ до диапазона С и охватывается тремя модулями антенна/приемник.

В модуле процессора оцифрованные сигналы представляются на выходе в виде сигнала частотного спектра и графика распределения интенсивности сигнала согласно показанной на рисунке 4 последовательности операций. При объединении полученного графика распределения уровня этого сигнала с изображением на видеокамере генерируется изображение визуализации, которое воспроизводится на мониторе вместе с сигналом частотного спектра.

2 Оценка основных технических характеристик в звукопоглощающей камере

2.1 Содержание испытания

Для оценки основных технических характеристик системы с использованием RAVIT в звукопоглощающей камере определяются показатели точности позиционирования для уровня принимаемого сигнала и показатели пространственного разделения при оценке прихода двух передаваемых сигналов.

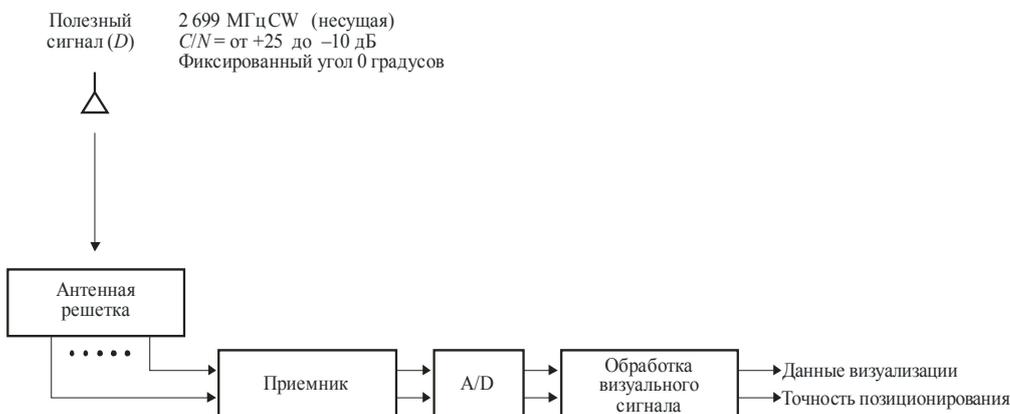
Оценка точности позиционирования для входного уровня принимаемого сигнала заключается в следующем.

Ситуация с отображением визуализации и точность позиционирования определяются при колебаниях отношения C/N принимаемого сигнала в пределах от +25 до -10 дБ.

На рисунке 6 показана блок-схема установки для оценочных испытаний.

РИСУНОК 6

**Блок-схема установки для оценочных испытаний
(точность позиционирования для уровня принимаемого сигнала)**



Report SM.2270-06

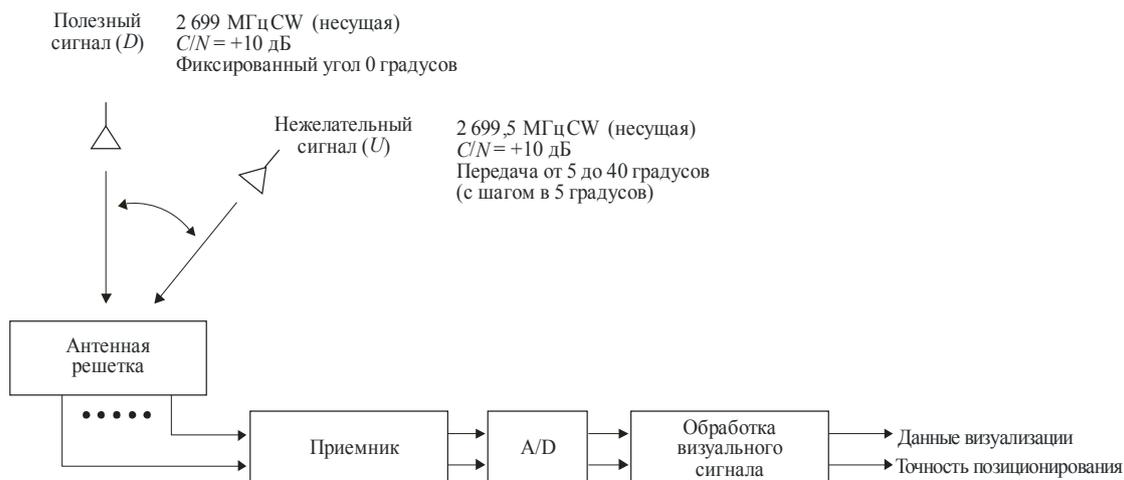
Оценка пространственного разрешения в случае прихода нескольких радиосигналов заключается в следующем.

В качестве испытательных сигналов на вход испытательного оборудования поступают два передаваемых сигнала, причем направление прихода одного из этих двух сигналов изменяется в пределах от 5 до 40 градусов, и на дисплее для каждого из заданных углов прихода отображаются измеренные данные визуализации.

На рисунке 7 показана блок-схема установки для оценочных испытаний.

РИСУНОК 7

**Блок-схема установки для оценочных испытаний
(пространственное разрешение в случае прихода двух сигналов)**



Report SM.2270-07

2.2 Результаты испытаний в звукопоглощающей камере

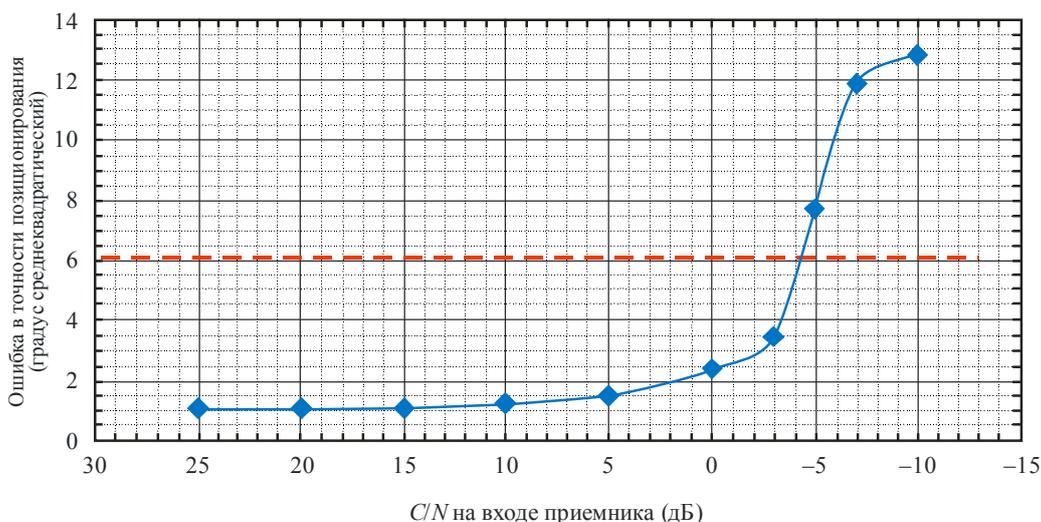
На рисунке 8 показаны результаты испытаний точности позиционирования для уровня принимаемого сигнала системы RAVIT. В условиях входного сигнала низкого уровня точность позиционирования снижается из-за влияния теплового шума приемника.

Техническим условием для точности позиционирования системы является значение 6 градусов (среднеквадратическое). Отношение C/N для принимаемого сигнала, которое соответствует этому условию, составляет -4 дБ.

На рисунке 9 показаны результаты измерения на дисплее для каждого уровня сигнала на входе приемника. На рисунке 9 красными точками отмечены результаты измерения местоположения, а желтыми точками – местоположение передающей антенны.

РИСУНОК 8

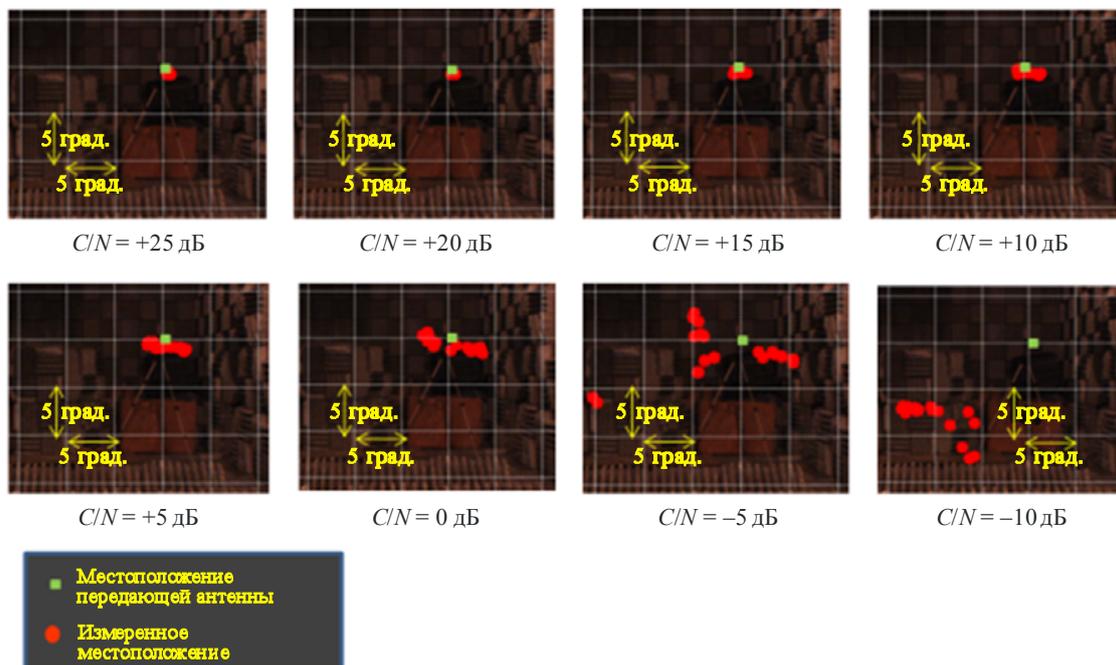
Точность позиционирования в зависимости от уровня принимаемого сигнала



Report SM.2270-08

РИСУНОК 9

Результаты определения точности позиционирования с помощью системы RAVIT



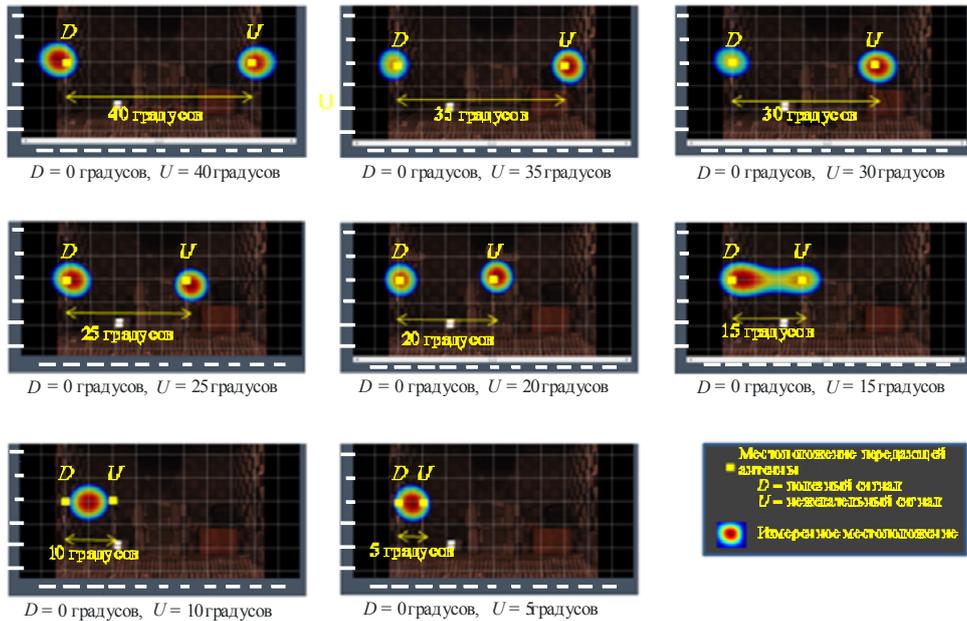
Report SM.2270-09

На рисунке 10 показаны результаты измерения характеристик пространственного разделения в случае прихода двух передаваемых сигналов. На рисунке 10 красными точками отмечены результаты обработки при использовании системы RAVIT, а желтыми точками – местоположения двух передающих антенн.

Когда разностный угол между двумя поступающими сигналами устанавливается в пределах от 40 до 15 градусов, система RAVIT может различать два передаваемых сигнала. Однако когда разностный угол между двумя сигналами находится в пределах от 10 до 5 градусов, разделение двух передаваемых сигналов не представляется возможным, поэтому визуальное отображение источника радиоизлучений воспроизводится на дисплее в центре между двумя передающими антеннами как один радиоисточник.

РИСУНОК 10

Результаты измерения пространственного разделения в случае прихода нескольких (двух) сигналов



Report SM.2270-10

3 Оценка в полевых условиях

3.1 Обнаружение беспроводной системы (портативная радиостанция Walkie-Talkie)

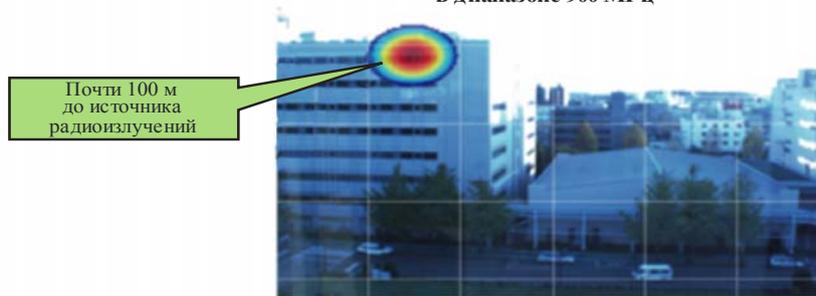
На рисунке 11 показан пример ситуации, когда местоположение персональной беспроводной системы (портативной радиостанции Walkie-Talkie) было обнаружено с расстояния, равного почти 100 м. Эта персональная беспроводная система создавала излучения на радиоволнах в диапазоне 900 МГц.

На этом рисунке показано, каким образом система RAVIT может идентифицировать не только конкретное здание, но и этаж, на котором находится источник излучения.

РИСУНОК 11

Пример визуального отображения: портативная радиостанция Walkie-Talkie

Визуальное отображение
беспроводной системы (Walkie-Talkie)
в диапазоне 900 МГц



Report SM.2270-11

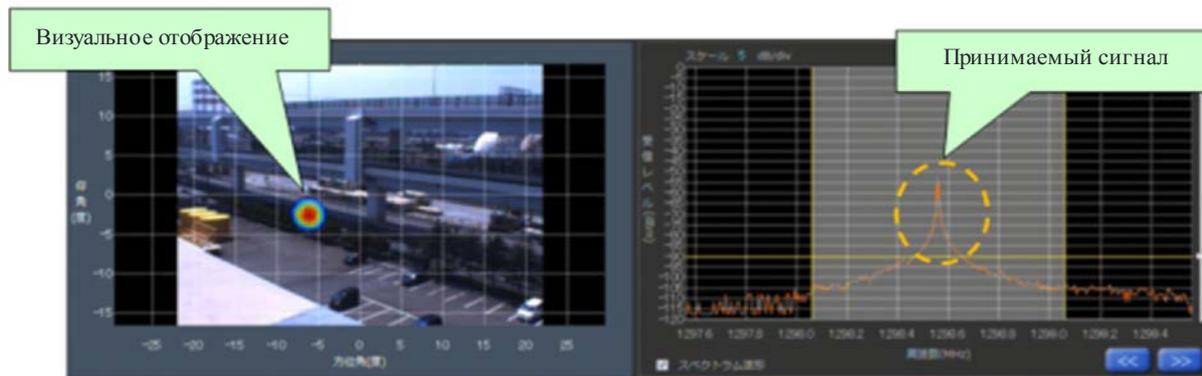
3.2 Обнаружение беспроводной системы (любительская радиостанция)

На рисунке 12 показан пример ситуации, когда было получено визуальное отображение излучений от любительской радиостанции, установленной в автомобиле. В данном случае цель располагалась в относительной близости от точки контроля, и поэтому можно было четко различить радиоволны, излучаемые любительской радиостанцией.

РИСУНОК 12

Пример визуального отображения: радиостанция Walkie-Talkie, установленная в автомобиле

Визуальное изображение беспроводной системы
(любительская радиостанция)
в диапазоне 1200 МГц



Report SM.2270-12

3.3 Обнаружение нелегальной ретрансляционной станции в системе сотовой телефонной связи

На рисунке 13 в качестве примера показана ситуация, когда была обнаружена нелегальная ретрансляционная станция в центральной части города. Этот ретранслятор (обведен желтым кружком) установлен нелегально и может создавать помехи близлежащим базовым станциям сотовой телефонной связи.

РИСУНОК 13

Обнаружение нелегального ретранслятора в центральной части города

**Поиск нелегального ретранслятора
в системе сотовой телефонной связи**



Report SM.2270-13

4 Применение в будущем

4.1 Обнаружение импульсного сигнала (волна, излучаемая радаром)

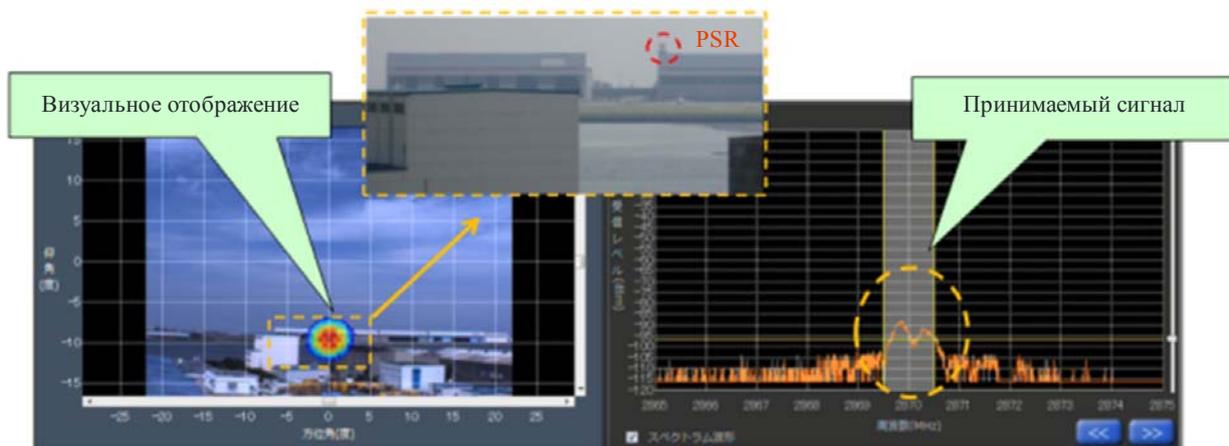
Система RAVIT может также обнаруживать импульсные радиоволны. Поэтому ожидается, что использование RAVIT будет полезно для обнаружения помех, создаваемых системами связи в диапазонах высоких частот, превышающих 3 ГГц.

На рисунке 14 показан пример визуального отображения радиоволн, излучаемых системой первичного обзорного радиолокатора (PSR) в токийском аэропорту Ханеда. В этом случае установленное оборудование RAVIT для контроля за импульсными радиоволнами от PSR размещается на крыше здания в 2 км от аэропорта.

РИСУНОК 14

Пример визуального отображения (первичный обзорный радиолокатор)

**Визуальное отображение
радиолокационной системы (PSR) в диапазоне 2,7 ГГц**



Report SM.2270-14

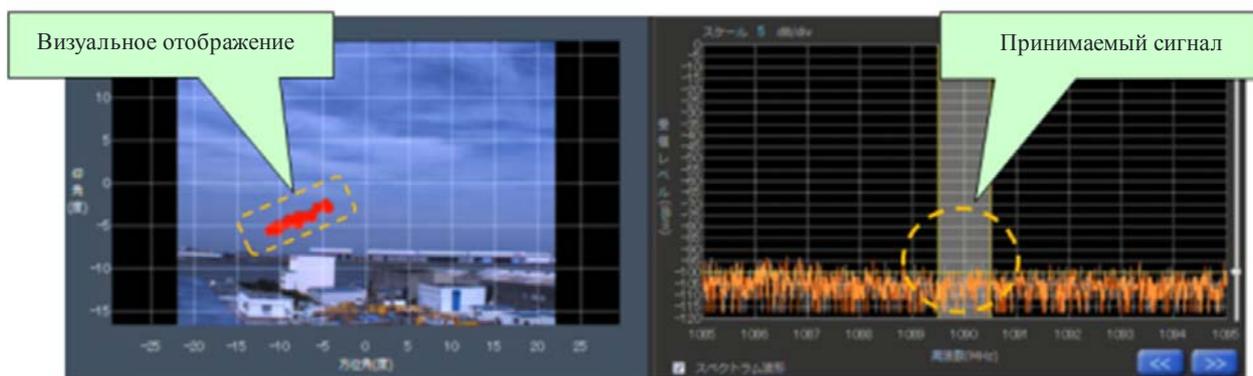
На рисунке 15 показан пример визуального отображения радиоволн, излучаемых радиоответчиком на самолете.

В этом случае при взлете самолета бортовой ответчик излучает радиоволны в направлении системы вторичного обзорного радиолокатора (SSR).

РИСУНОК 15

**Пример визуального отображения
(радиоволны, излучаемые ответчиком на самолете в направлении системы SSR)**

**Визуальное отображение
радиолокационной системы (SSR) на 1 090 МГц**



Report SM.2270-15

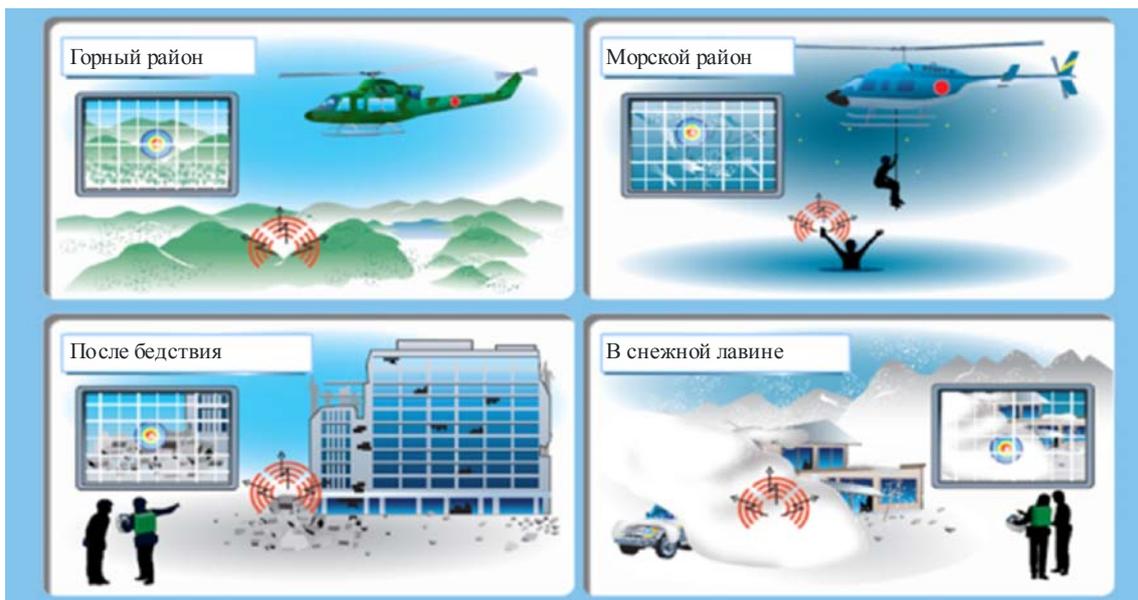
4.2 Применение для будущих задач по поиску и спасению

Система RAVIT способна визуализировать радиосигналы от небольших передатчиков, таких как сотовые телефоны, и поэтому ожидается, что данная система будет полезна для применений в будущих задачах по поиску и спасению.

На рисунке 16 показаны изображения, связанные с применением для будущих задач по поиску и спасению.

РИСУНОК 16

Изображения, связанные с применением для будущих задач по поиску и спасению

Обнаружение радиоволны от сотового телефона,
посылающего вызов в службу спасения

Report SM.2270-16

5 Заключение

В последние годы отмечается целый ряд случаев появления помех, вызванных возрастающим масштабом использования источников радиоизлучения и связанной с этим нехваткой частот.

Система RAVIT позволяет визуально отображать и измерять точное местоположение источника излучения, поэтому ее использование эффективно при быстрой идентификации источников помех.

Эта система может также применяться в будущем при осуществлении, например, работ по поиску и спасению.