

# Имитационная модель процесса распознавания принадлежности сигналов линий спутниковой связи

Б.В. Илларионов  
Д.С. Малиев, e-mail: dmaliev@mail.ru  
В.В. Шевченко

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

***Аннотация.** В интересах оценки эффективности алгоритмов распознавания принадлежности сигналов линий спутниковой связи излучениям одновременно наблюдаемым геостационарным спутникам-ретрансляторам проведено имитационное моделирование процесса распознавания, воспроизводящее процессы обработки ТС, позволяющее получить количественные оценки показателей качества распознавания.*

***Ключевые слова:** радиоконтроль; спутниковая связь; распознавание сигналов, имитационная модель.*

## **Введение.**

Возможность одновременного наблюдения в точке размещения средств радиоконтроля сигналов, излучаемых пространственно-разнесенными спутниками-ретрансляторами (СР), обуславливает необходимость решения задачи распознавания сигналов линий спутниковой связи (СС) излучениям одновременно наблюдаемым геостационарным СР способом диагностики трактов ретрансляции [1,2].

В этой связи имитационное моделирование процесса распознавания принадлежности сигналов линий СС в интересах оценки эффективности алгоритмов распознавания, базирующихся на использовании различий в значениях компонентов векторных параметров положения одновременно наблюдаемых СР  $\vec{P}_{a,b,c}$ , является актуальным.

## **1. Алгоритмы распознавания принадлежности сигналов.**

Решение задачи распознавания сигналов линий СС излучениям одновременно наблюдаемым геостационарным СР базируется на предварительных детерминированных и статистических расчетах с использованием вербальной описательной модели трактов ретрансляции и обработки тестовых сигналов (ТС) при попарном одновременном наблюдении излучений двух СР [2,3], построенной в соответствии с физическими принципами технической реализации трактов ретрансляции систем СС с учетом априорной неопределенности о входе и выходе ретранслятора, включающей блоки оказывающие

принципиальное влияние на распространение и обработку ТС с различных точек наблюдения на поверхности Земли. В этих условиях решение задачи распознавания проводится на основе обработки ретранслированных ТС, поступающих на вход приемных устройств средств радиоконтроля в составе смеси [3,4]:

$$\bar{y}(t) = \bar{s}(t, \bar{\Lambda}) + \bar{n}(t), \quad (1)$$

где  $\bar{y}(t)$  – вектор принимаемой реализации входного случайного процесса;  $\bar{s}(t, \bar{\Lambda})$  – вектор принимаемых ТС;  $\bar{\Lambda}$  – вектор параметров ТС, входящий в векторный параметр положения  $\bar{\Pi}_{a,b,c}$ , характеризующий отдельный СР;  $\bar{n}(t)$  – вектор шумов наблюдения, характеризующий все шумы приему ТС, включая сигналы линий СС как помехи радиоприему, а также помехи, обусловленные взаимодействием сигналов и шумов в нелинейном ретрансляторе.

В зависимости от частотно-временных параметров ретранслированных ТС решение задачи распознавания принадлежности вновь наблюдаемых сигналов линий СС пространственно-разнесенным геостационарным СР может быть проведено посредством виртуального разрешения принимаемых ТС в условиях действия некоррелированных шумов [3,5]:

$$y(t) = \theta_1 s_1(t, A_1, \tau_{31}) + \theta_2 s_2(t, A_2, \tau_{32}) + n_0(t), \quad t \in [0, T], \quad (2)$$

где  $\theta_1$  и  $\theta_2$  – независимые случайные величины, которые могут принимать значения 0 и 1; тестовые сигналы  $s_1(t, A_1, \tau_{31})$ ,  $s_2(t, A_2, \tau_{32})$ ;  $A_1, A_2$  – амплитуда ТС;  $\tau_{31}, \tau_{32}$  – задержки ТС при ретрансляции, обусловленные пространственным дрейфом наблюдаемых спутников.

Применительно к уравнению (2) математический алгоритм распознавания принадлежности вновь наблюдаемых сигналов линий СС пространственно-разнесенным геостационарным СР может быть представлен в виде [3,5]:

$$\begin{cases} \left\{ \frac{1}{E_1(1-\rho_{12}^2)} \int_0^T y(t) \left[ s_1(t, A_1, f_{\theta 1}, \tau_1) - \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} \rho_{12} s_2(t, A_2, f_{\theta 2}, \tau_2) \right] dt > l_n \right. \\ \left. \left\{ \frac{1}{E_2(1-\rho_{12}^2)} \int_0^T y(t) \left[ s_2(t, A_2, f_{\theta 2}, \tau_2) - \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} \rho_{12} s_1(t, A_1, f_{\theta 1}, \tau_1) \right] dt > l_n \right. \right. \end{cases} \quad (3)$$

где  $\rho_{12}$  – коэффициент взаимной корреляции ТС, определяемый согласно выражению [5,6]:

$$\rho_{12} = \frac{1}{\sqrt{E_1 E_2}} \int_0^T s_1(t, A_1, f_{\sigma 1}, \tau_{31}) s_2(t, A_2, f_{\sigma 2}, \tau_{32}) dt ; \quad (4)$$

$l_n$  – пороговый уровень, определяемый в общем случае по критерию минимума среднего риска [6].

При этом определение коэффициента взаимной корреляции ТС, ретранслированных пространственно-разнесенными геостационарными СР, обеспечивающего реализацию алгоритма распознавания, проводится согласно выражения:

$$\rho_{\tau} = 1 - \frac{(\tau_{31} - \tau_{32})}{T_{TC}}, \quad \tau_{31} - \tau_{32} < T_{TC} . \quad (5)$$

## 2. Имитационное моделирование процесса распознавания.

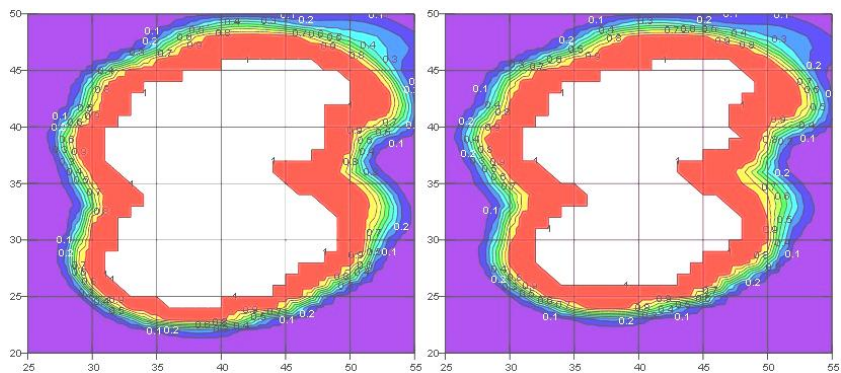
В интересах оценки эффективности представленных алгоритмов распознавания в среде математического программирования Mathcad разработана имитационная модель процесса распознавания принадлежности сигналов линий СС излучениям одновременно наблюдаемых пространственно-разнесенных СР.

Моделирование частотно-временных параметров тестовых сигналов при нестабильности орбиты контролируемого геостационарного спутника-ретранслятора позволяет определить дальность от точки наблюдения на поверхности Земли до геостационарного СР, движущегося по трехмерной фигуре дрейфа, с помощью которой производится расчет суммарного ослабления ТС  $L_{\Sigma}$ , характерного для распространения радиоволн на участках линий СС «вверх», «вниз» [3].

Учет суммарного ослабления ретранслированного ТС лежит в основе построения зоны обслуживания наблюдаемого СР, которая задается координатами спутника на орбите и точкой прицеливания в центр зоны обслуживания и представляет из себя линии равного уровня формируемые на поверхности Земли с использованием эллиптичности аппроксимируемой ДН и геометрии взаимного положения спутника и точки прицеливания.

Энергетический расчет пересекающихся зон обслуживания пространственно-разнесенных СР, учитывающих влияние различных дестабилизирующих факторов на параметры ТС при их распространении на участках линий СС «вверх», «вниз» в свободном пространстве, позволяет воспроизвести процессы обработки ТС при реализации математических алгоритмов распознавания принадлежности сигналов линий СС излучениям одновременно наблюдаемых СР.

Реализация алгоритма виртуального разрешения, выполненная с использованием имитационной модели, представлена на рисунке 1. Полученные зоны достоверного распознавания принадлежности сигналов линий СС одновременно наблюдаемых пространственно-разнесенных СР, представляют из себя зависимости вероятности правильного распознавания  $p_{ПР}$  от географических координат размещения средства РР для различных информативных признаков распознавания при наличии пространственно-временного разнесения спутников  $\tau_{31}, \tau_{32}$ .



*Рис. 1.* Зоны достоверного распознавания принадлежности одновременно наблюдаемых СР для различных признаков распознавания

Практическая реализация алгоритма попарного различения, выполненная для случая пространственно-временного разнеса одновременно наблюдаемых СР, представлена на рисунке 2.

### Выводы

Разработанная в среде математического программирования Mathcad, имитационная модель процесса распознавания принадлежности сигналов линий СС, воспроизводящая процессы обработки ТС при влиянии дестабилизирующих факторов на их параметры для условий распространения сигналов на участках линий СС «вверх», «вниз» в свободном пространстве и мешающих излучений земных станций позволяет произвести энергетический расчет пересекающихся зон обслуживания одновременно наблюдаемых СР, получить количественные оценки показателей качества распознавания с учетом модификации обобщенного уравнения ретрансляции ТС при

проявлении эффекта Доплера как функции скорости дрейфа спутника-ретранслятора, величины меняющейся частотной подставки ствола и координат точек наблюдения, оценок возможностей изменения параметров орбиты и конфигурации трактов ретрансляции применительно к различным значениям векторного параметра положения  $\Pi_{a,b,c}$  СР.

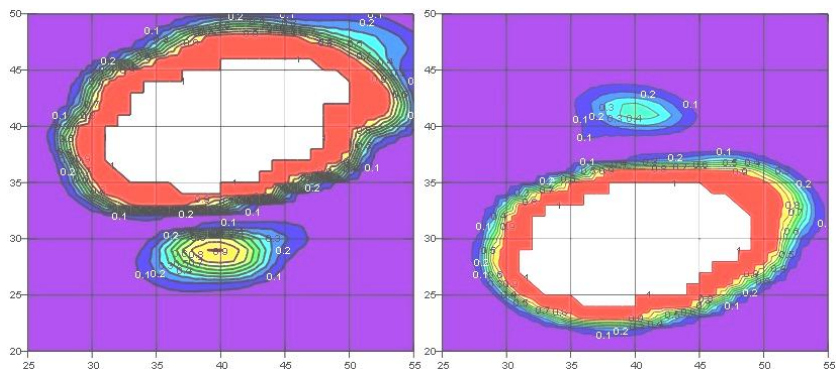


Рис. 2. Зоны достоверного распознавания одновременно наблюдаемых СР при учете пространственно-временного разнosa

### Литература

1. Регламент радиосвязи. Том 2 // МСЭ. – Женева, 2012. – 826 с.
2. Спутниковые системы связи и вещания. / Под ред. Ю.А. Подъездкова. М.: Радиотехника, 2015. 330 с.
3. Илларионов, Б.В. Моделирование зоны обслуживания одновременно наблюдаемых спутников-ретрансляторов в интересах радиоконтроля / Б.В. Илларионов, Д.С. Малиев, А.С. Парфенов// Информатика: проблемы, методы, технологии: сборник материалов XXI Международной научно-методической конференции / под редакцией А. А. Зацаринного, Д. Н. Борисова; Воронеж, Воронежский государственный университет, 11-12 февраля 2021 г. – Воронеж: ООО «ВЭЛБОРН», 2021. – С. 343-349.
4. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы. Минск: Высшэйшая школа, 1988. 369 с.
5. Илларионов, Б.В. Моделирование частотно-временных параметров тестовых сигналов при нестабильности орбиты контролируемого геостационарного спутника-ретранслятора / Б.В.

Илларионов, Д.С. Малиев, Д.А. Червань // Телекоммуникации. – 2020. – № 6. – С. 8-13.

б. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника - М.: Сов.радио, 1966. – 680 с.