

Важно понимать, что LSB-стеганография не является единственным способом скрытия информации в аудио. Существуют и другие методы, такие как фазовое кодирование (изменение фазы аудиосигнала), расширение спектра (распределение скрываемой информации по широкому диапазону частот), эхо-скрытие (внесение в сигнал искусственного эха с малой задержкой) и частотная маскировка (использование эффекта маскировки более громкими звуками). Каждый из этих подходов имеет свои сильные и слабые стороны, и выбор конкретного метода зависит от требований к незаметности, устойчивости к искажениям и объему скрываемых данных.

Стеганография в аудио находит широкое применение в различных областях. Она может использоваться для защиты авторских прав на музыкальные произведения путем внедрения в них невидимых (неслышимых) цифровых водяных знаков. Стеганография обеспечивает конфиденциальность при передаче секретной информации, такой как пароли, личные сообщения или любые другие данные, которые необходимо скрыть от посторонних глаз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грибунин, В.Г. Стеганография: учебное пособие / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2016. – 304 с.
2. Конахович, Г.Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г.Ф. Конахович, А.Ю. Пузыренко. – Киев : МК-Пресс, 2006. – 288 с.
3. Кузнецов, А.А. Исследование устойчивости методов стеганографии в аудио к атакам / А.А. Кузнецов, Д.С. Лавров, Е.С. Григорьева // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2021. – № 7(205). – С. 3-10.
4. Пташкина, А.С. Обзор и анализ методов стеганографии / А.С. Пташкина // Наука и образование сегодня. – 2021. – №2 (61). – С. 14-16.

УДК 621.396.98

А.А. Дятко, доц. (БГТУ, г. Минск)

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОКОМПЕНСАТОРА ПОМЕХ

Одним из важнейших элементов современных радиоэлектронных систем является автокомпенсатор помех. Он представляет собой адаптивную антенную решетку [1] – антенную решетку, осуществляющую автоматическую подстройку своих характеристик в соответствии с из-

меняющимися условиями приема сигнала. Обычные системы чувствительны к уменьшению отношения сигнал/помеха, обусловленному неизбежным присутствием наряду с полезным сигналом нежелательных «помеховых» сигналов, поступающих на вход по боковым и (или) по главному лепесткам диаграммы направленности антенны. Эти сигналы могут создаваться передатчиками помех, отражениями от местных предметов и другими источниками помех. Системы с адаптивными антенными решетками способны без априорной информации о помеховой ситуации автоматически обнаружить присутствие источников помех и подавить их сигналы на выходе, улучшая тем самым условия приема полезного сигнала.

Разработка радиоэлектронной системы с автокомпенсатором помех, как и любой другой системы, предполагает проектирование функциональных узлов различного назначения и исследование их работы при различных входных воздействиях и различных значениях их конструктивных параметров. Такое исследование требует наличия специальных стендов и, следовательно, материальных и временных затрат. В то же время подобные испытательные стенды можно реализовать в виде компьютерных моделирующих систем, создав соответствующее программное обеспечение. Компьютерная моделирующая система позволяет в режиме диалога с пользователем оценить качество функционирования того или иного устройства при изменении его параметров, получить визуализацию процессов в том или ином блоке.

Рассмотрим функциональную схему автокомпенсатора помех, представленную на рис. 1.

Пусть  $S' = (s'_0, s'_1, \dots, s'_{N-1})^T$  – вектор комплексных входных сигналов антенной системы, состоящей из  $N$  ( $N=5$ ) приемных каналов (рис. 1), где

$$s'_i = s'_i(t) = \sum_{k=1}^M G_i(\theta_k - \theta_i) A'_{ki}(t) e^{j(\omega_k t + \Delta\varphi_{ki})},$$

$G_i(\theta)$  – множитель, описывающий диаграмму направленности (ДН)  $i$ -того приемного канала;  $\theta_k$  – угловое положение  $k$ -того входного сигнала;  $\theta_i$  – направление максимума ДН  $i$ -того приемного канала;  $A'_{ki}(t)$  – огибающая  $k$ -того входного сигнала на  $i$ -том приемном элементе, представляющая собой комплексный узкополосный случайный процесс (для узкополосной помехи) или прямоугольный импульс (для радиоимпульса, отраженного от цели),  $\omega_k$  – высокая частота для  $k$ -того входного сигнала,  $\Delta\varphi_{ki} = \frac{\omega_k}{c} d \sin \theta_k$  – междуканальная разность фаз

между  $i$ -тым вспомогательным и опорным ( $i = 0$ ) каналами;  $d$  – расстояние между основным и вспомогательным каналами;  $c$  – скорость света;  $M$  – число входных сигналов на приемных элементах.

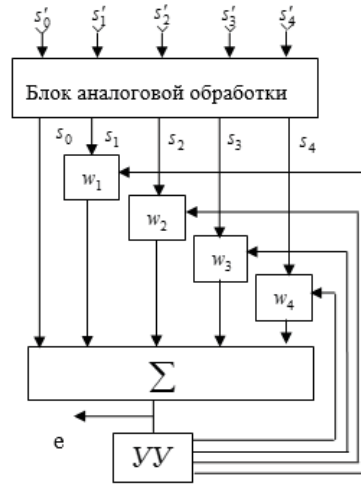


Рисунок 1 – Функциональная схема автокомпенсатора помех

При этом, междуканальный коэффициент корреляции между сигналами основного и вспомогательных каналов может быть отличным от единицы и иметь различные значения для разных входных сигналов, т. е.

$$|r_{i0}^k| = \left| \frac{\overline{s_i^k s_0^{k*}}}{\sqrt{|s_0^k|^2} \sqrt{|s_i^k|^2}} \right| = \left| \frac{\overline{A'_{k0}(t) A'_{ki}{}^*(t)}}{\sqrt{|A'_{k0}|^2} \sqrt{|A'_{ki}|^2}} \right| \neq 1.$$

На выходе блока аналоговой обработки вектор сигналов примет вид  $Z = S + \xi$ , где  $S = (s_0, s_1, \dots, s_{N-1})^T$  – вектор сигналов, прошедших тракт аналоговой обработки (рис. 1);  $\xi = (\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_{N-1})^T$  – вектор внутренних шумов на выходе каналов аналоговой обработки,

$$s_i = s_i(t) = \sum_{k=1}^M G_i(\theta_k - \theta_i) A_{ki}(t) e^{j\Delta\varphi_{ki}}, \quad \omega_k = 0, \quad A_{ki}(t) \text{ – огибающая}$$

$k$ -того входного сигнала на выходе  $i$ -того канала аналоговой обработки без учета ДН;  $\xi_i = \xi_i(t)$  – комплексный стационарный случайный процесс, ширина спектра которого определяется полосой пропускания выходных устройств каналов аналоговой обработки. Таким образом

$$z_i(t) = \sum_{k=1}^M G_i(\theta_k - \theta_i) A_{ki}(t) e^{j\Delta\varphi_{ki}} + \xi_i(t).$$

Для придания модели сигнала на выходе блока аналоговой обработки большей общности представим ее в виде

$$y_i(t) = \sum_{k=1}^M G_i(\theta_k - \theta_i) A_{ki}(t) e^{(\Omega_k t + j\Delta\varphi_{ki})} + \xi_i(t),$$

где введенная частота  $\Omega_k$  позволяет при необходимости смоделировать сигналы с центральной частотой спектра отличной от нуля.

Примем следующие аппроксимации диаграмм направленности по основному и вспомогательным каналам.

Для основного канала  $G_0(\theta) = \frac{1}{\beta} \left| \frac{\sin \beta \theta}{\theta} \right|$ , где параметр  $\beta$  опреде-

лим как ширину главного луча ДН по уровню 0,  $\beta = \frac{2\pi}{\Delta\theta}$ .

Учитывая, что приемная антенна основного канала (рис. 1) может вращаться с угловой скоростью  $\Omega_a$ , положим

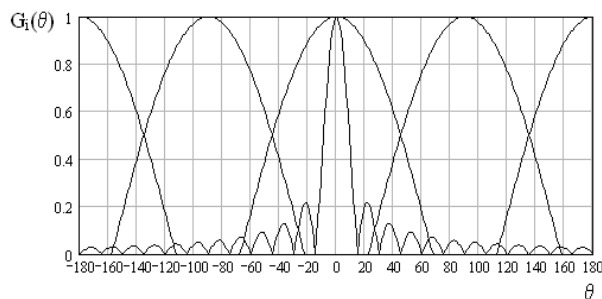
$$G_0(\theta, t) = \frac{\Delta\theta}{2\pi} \left| \frac{\sin \frac{2\pi}{\Delta\theta} (\theta - \Omega_a t)}{\theta - \Omega_a t} \right|.$$

Для диаграмм вспомогательных каналов примем, что

$$G_i(\theta) = \left| \cos \frac{4}{\pi} \arccos h(\theta - \theta_i) \right|,$$

где  $\theta_1 = 0$ ,  $\theta_2 = \frac{\pi}{2}$ ,  $\theta_3 = \pi$ ,  $\theta_4 = -\frac{\pi}{2}$ ;  $h$  – уровень перекрытия ДН вспомогательных каналов.

На рис. 2 представлены диаграммы направленности по основному и вспомогательным каналам для  $h = 0,5$  и  $\Delta\theta = \frac{\pi}{6}$  или  $\Delta\theta^0 = 30^\circ$



**Рисунок 2 – Диаграммы направленности по основному и вспомогательным каналам**

Выходной сигнал автокомпенсатора формируется как взвешенная сумма сигналов после блока аналоговой обработки (рис. 1) и определяется выражением

$$e = s_0 + \sum_{i=1}^{N-1} s_i w_i = s_0 + S_1^T W,$$

где  $S_1 = (s_1, s_2, s_3, s_4)^T$  и  $W = (w_1, w_2, w_3, w_4)^T$ .

Вектор весовых коэффициентов адаптивно формируется устройством управления «УУ» (рис. 1), алгоритм работы которого синтезируется по критерию минимума средней мощности на выходе автокомпенсатора [1] и имеет вид  $W_n = W_{n-1} - 2\mu e_{n-1}^* S_1$ ,  $W_0 = W^0$ , где  $n = 1, 2, \dots$  – номер временного отсчета;  $\mu$  – некоторый коэффициент.

На рис. 3 и рис. 4 представлены результаты моделирования работы автокомпенсатора помех. Рассматривается случай, когда на приемных элементах антенной системы присутствует сигнал (прямоугольный импульс), отраженный от некоторого объекта с угловым положением  $\theta_0 = 0^\circ$  и три источника помех с угловыми положениями соответственно  $\theta_1 = -80^\circ$ ,  $\theta_2 = 10^\circ$  и  $\theta_3 = 80^\circ$ .

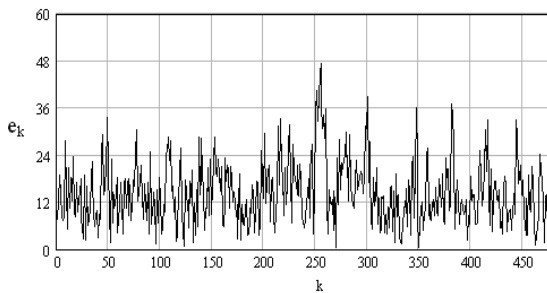


Рисунок 3

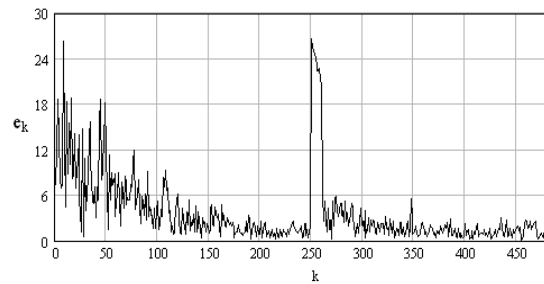


Рисунок 4

На рис. 3 показан выходной сигнал антенной системы, когда компенсационные каналы не используются ( $W = 0$ ,  $\mu = 0$ ) и входные сигналы принимаются по главному и боковым лепесткам диаграммы направленности основного канала.

На рис. 4 представлен выходной сигнал в режиме использования компенсационных каналов.

Из сравнения рисунков видно, что без использования компенсации помех (рис. 3) полезный сигнал в данной ситуации практически не различим на фоне помех. В то же время применение автокомпенсации помех (рис. 4) позволяет уверенно выделить полезный сигнал.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию. – М.: Радио и связь, 1986.