

Предложен подход к решению задачи обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) в системе радиоэлектронных средств связи (РЭС), основанный на математическом аппарате геометрического проектирования. Задача совместного качественного функционирования различных РЭС и систем в рамках единого выделенного радиочастотного ресурса представлена в виде задачи размещения геометрических объектов. Предлагаемая математическая модель обеспечит одновременное управление несколькими параметрами сигнала и позволит эффективнее решать задачу обеспечения ЭМС в системе радиоэлектронных средств связи.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Л.И. Мельникова

Старший преподаватель кафедры телекоммуникационных систем Харьковского Национального университета радиоэлектроники, пр.Ленина, 14, г.Харьков, Украина, 61166

Контактный тел.: +38(0572)657-256

Решение проблемы ЭМС состоит в обеспечении возможностей выполнения соответствующих функций различных РЭС и систем в рамках выделенного ресурса параметров. Как известно, одним из подходов к решению задачи ЭМС на этапе функционирования является управление параметрами сигнала, такими как мощность, поляризация, частота, координаты размещения и др.. Известные методы оптимального обеспечения ЭМС основаны на управлении одним (или принимаемая) РЭС; параметром сигнала [1, 2, 3, 4]. Предлагаемый системный подход к решению задачи ЭМС в коллективе РЭС с позиций геометрического проектирования обеспечивает возможность одновременного управления несколькими параметрами сигнала и позволит эффективнее решать задачу обеспечения ЭМС в системе РЭС связи как на этапе проектирования, так и на этапе функционирования.

Функционирующее радиоэлектронное средство связи, как известно, является потребителем частотного, пространственного и временного ресурсов и может быть представлено не только точкой в пространстве параметров, но и в виде многомерного объекта – радиоспана, занимающего определенный объем [5]:

$$S = V \cdot F \cdot T, \quad (1)$$

где V - объем заданной зоны обслуживания в физическом пространстве, F - необходимая ширина полосы частот, излучаемая (или принимаемая) РЭС; T - необходимое время для работы РЭС. Радиоспан можно рассматривать как геометрический объект, так по определению геометрический объект представляет собой точечное множество, образующее тело или фигуру в евклидовом пространстве R^n . Количественной мерой радиоспана является произведение значений входящих в него параметров, т.е. его объем. таким образом, радиоспан может рассматриваться как геометрический объект, измеримый по Лебегу [6]. Радиоспан представляет собой математическую модель физического объекта, что определяет следующие его свойства: радиоспан является не пустым и канонически замкнутым множеством точек S , внутренность ($int S$) и замыкание ($cl S$) этого множества имеют один и тот же

гомотопический тип, объем радиоспана можно рассматривать как меру Лебега множества $S - \mu(S)$. Таким образом, радиоспан удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к определению Φ - объектов [7], и его можно представить как Φ - объект, например класса Φ - многоугольников пространства R^n .

Как известно [4], задача обеспечения ЭМС в системе РЭС связи по своей сути сводится к поиску оптимального плана использования группой РЭС (системой РЭС) пространственно-частотно-энергетического ресурса, выделенного для функционирования всей системы. Если представить ограниченный ресурс системы как Φ -объект S_0 , а каждую пару передатчик-приемник (канал связи) как Φ -объект S_i , то задача обеспечения ЭМС системы РЭС связи по какому-либо из критериев ЭМС может быть сформулирована как задача размещения: имеются размещаемые Φ -объекты S_i с параметрами размещения $U_i = \{U_i^1, U_i^2, \dots, U_i^k\}$, $i=1, n$ и область размещения S_0 . Требуется определить такие значения параметров размещения U_i , при которых j -объекты S_1, S_2, \dots, S_n располагались бы в области S_0 , попарно не пересекались, и заданный функционал достигал экстремума. Область S_0 , определяющую заданный ресурс всей системы РЭС, можно представить в виде следующей геометрической информации:

$$g_0 = \{ \{S_0\}, \{m\}, \{f_0, t_0, x_0, y_0\} \} \quad (2)$$

где $\{S_0\}$ - элементарная пространственная форма (отрезок, окружность, сфера, цилиндр, конус и т.д.);

$\{m\}$ - метрические характеристики, определяющие максимальные размеры области размещения S_0 (максимальная полоса частот, выделяемая для системы РЭС, максимальные размеры области размещения, максимальное время работы системы и др.); $\{f_0, t_0, x_0, y_0\}$ - множество координат размещения области S_0 , определяющие, как правило, центр симметрии (тяжести) в R^4 . Соответственно каждому РЭС связи можно представить в виде геометрического объекта S_i с помощью следующей геометрической информации:

$$g_i = \{ \{S_i\}, \{m_i\}, \{f_i, t_i, x_i, y_i\} \} \quad (3)$$

где $\{S_i\}$ – элементарная пространственная форма ϕ -объекта, описывающего функционирующее РЭС; $\{m_i\}$ – метрические характеристики, определяющие максимальные размеры области S_i (необходимая ширина полосы излучения для данного класса излучения, размеры заданной зоны обслуживания, необходимое время передачи информации); $\{f_i, t_i, x_i, y_i\}$ – вектор параметров размещения S_i в пространстве $R^4(f, t, x, y)$. Предполагается, что метрическая информация, связанная с размерами областей S_0 и S_i , не изменяется, что характерно для большинства существующих систем радиосвязи. Тогда задачу обеспечения ЭМС в системе РЭС связи можно рассматривать как задачу размещения объектов с неподвижными границами [7]. Условия непересечения формализуются следующим образом: расстояние r_{ij} между ϕ -объектами S_i и S_j определено как:

$$r_{ij} = \inf_{\substack{x \in S_i \\ y \in S_j}} \rho(x, y), \tag{4}$$

где $\rho(x, y)$ – метрика пространства, в котором индуцируются точечные множества S_i и S_j , т.е.:

$$\rho(S_i, S_j) = \sqrt{(f_i - f_j)^2 + (t_i - t_j)^2 + (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \tag{5}$$

Очевидно, что если $S_i \cap S_j \neq \emptyset$, то $r_{ij} = 0$; если $clS_i \cap clS_j \neq \emptyset$, то $r_{ij} > 0$. Здесь по определению clS_i – замыкание S_i и clS_j – замыкание S_j [7]. Величина r_{ij} однозначно определяется значениями параметров размещения $U_i = \{f_i, \delta_i, x_i, y_i\}$ и $U_j = \{f_j, \delta_j, x_j, y_j\}$ ϕ -объектов S_i и S_j при их собственных конгруэнтных преобразованиях, т.е. $r_{ij} = r_{ij}(f_i, t_i, x_i, y_i, f_j, t_j, x_j, y_j)$. Поэтому условия непересечения ϕ -объектов S_i и S_j представляют собой ограничение на параметры их размещения: $r_{ij}(f_i, t_i, x_i, y_i, f_j, t_j, x_j, y_j) > 0$, а условия размещения ϕ -объектов S_i и S_j на расстоянии, не превышающем $l_{ij} > 0$ и не меньше $d_{ij} > 0$, описываются ограничениями вида

$$d_{ij} \leq r_{ij}(f_i, t_i, x_i, y_i, f_j, t_j, x_j, y_j) \leq l_{ij}. \tag{6}$$

Кроме условий взаимного непересечения ϕ -объектов в задачах размещения должны выполняться условия размещения ϕ -объектов в области S_0 . Взаимоотношения между ϕ -объектами S_i и областью S_0 должны быть такими, чтобы все точки точечных множеств S_1, S_2, \dots, S_n принадлежали множеству S_0 . Его можно сформулировать как условия непересечения ϕ -объектов S_i и cS_0 , где cS_0 дополнение множества S_0 до всего пространства, в котором индуцируются рассматриваемые точечные множества, при этом $r_{0i} = r_{0i}(f_i, t_i, x_i, y_i) > 0$. Так как положение области S_0 фиксировано и переменные метрической характеристики S_0 отсутствуют, то имеет место E_k -задача с неподвижными границами [7]. Таким образом, задачу размещения можно сформулировать как следующую задачу математического программирования:

$$\text{extr } x(w) \tag{7}$$

где область $w \in W$, W заданная системой неравенств

$$r_{ij}(f_i, t_i, x_i, y_i, f_j, t_j, x_j, y_j) > 0 \tag{8}$$

$$r_{0i} = r_{0i}(f_i, t_i, x_i, y_i) > 0, \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad j > i \tag{9}$$

В качестве локального критерия ЭМС λ_i предлагается использовать отношение (шум+помеха)/сигнал на входе i -го приемника, так как в большинстве случаев многие показатели качества работы радиоканала являются монотонной функцией от отношения (шум+помеха)/сигнал [4]:

$$\lambda_i = \frac{P_{\text{ш}i} + \sum_{\substack{j \neq i \\ j=1}}^n P_j a_{ij}}{P_i a_{ii}}, \tag{10}$$

где $P_{\text{ш}i}$ – мощность шумов естественного происхождения, P_j – мощность излучения j -го «мешающего» передатчика; P_i – мощность i -го «собственного» передатчика; a_{ii}, a_{ij} – коэффициенты затухания сигналов на трассах распространения: $a_{ij} = \Phi(f_i, f_j, t_i, t_j, x_i, x_j, y_i, y_j)$, $a_{ii} = \Phi(f_i, t_i, x_i, y_i)$, т.е. являются функциями параметров размещения.

С учетом введенных обозначений (10) можно представить в виде:

$$\lambda_i = \frac{P_{\text{ш}i} + \sum_{\substack{j \neq i \\ j=1}}^n P_j \cdot \Phi(f_i, f_j, t_i, t_j, x_i, x_j, y_i, y_j)}{P_i \cdot \Phi(f_i, t_i, x_i, y_i)}. \tag{11}$$

где $f_i, f_j, t_i, t_j, x_i, x_j, y_i, y_j$ – переменные геометрической информации, а $P_{\text{ш}i}$ не зависит от параметров размещения. В качестве глобального показателя электромагнитной совместимости РЭС выбран показатель вида:

$$\lambda = \max_i C_i \lambda_i,$$

где C_i – весовой коэффициент, учитывающий тип и значимость РЭС [4].

С учетом введенного критерия задача (7,8,9) будет иметь следующую формулировку E_k - задачи : минимизировать

$$\lambda = \max_i C_i \frac{P_{\text{ш}i} + \sum_{\substack{j \neq i \\ j=1}}^n P_j \Phi(f_i, f_j, \delta_i, \delta_j, x_i, x_j, y_i, y_j)}{P_i \cdot \Phi(f_i, t_i, x_i, y_i)} \tag{12}$$

при ограничениях:

$$d_{ij} \leq \sqrt{(f_i - f_j)^2 + (t_i - t_j)^2 + (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq l_{ij} \tag{13}$$

$$\sqrt{f_i^2 + t_i^2 + x_i^2 + y_i^2} > 0, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad j > i$$

В приведенной постановке E_k - задачи вид оптимизируемого функционала может быть определен без затруднений, но для ее решения необходимо знать конкретный вид функций, входящих в ограничения, методы формализации которых в настоящее время хорошо разработаны и широко применяются [7].

Перспективность использования предлагаемой геометрической модели системы РЭС связи определяют следующие возможности:

1. Расширение представления радиоспана пространственно-поляризационными характеристиками сигнала позволит увеличить число управляемых параметров, что обеспечит существенное расширение области допустимых решений задачи обеспечения ЭМС в системе РЭС связи.

2. Наличие хорошо разработанного математического аппарата геометрического проектирования позволит привести сформулированную задачу размещения геометрических объектов к соответствующему классу задач математического программирования и выбрать эффективный метод ее решения.

3. Использование высокопроизводительной многопроцессорной вычислительной техники обеспечит решение задачи математического программирования в реальном масштабе времени, что позволит одновременно управлять несколькими параметрами сигнала и эффективнее решать задачу обеспечения ЭМС в системе РЭС связи как на этапе проектирования, так и на этапе функционирования.

Литература

1. Стефанюк В.Л., Цетлин М.Л.. О регулировке мощностей в коллективе радиостанций // Проблемы передачи информации. Вып. 4, 1967.
2. Силин А.В., Козлов С.Е. Задачи управления мощностями излучения передатчиков с целью обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных систем в комплексе связи // Электромагнитная совместимость. Горький, 1978.
3. Мейров М.В. Исследование и оптимизация много-связных систем управления. М.: Наука, 1986.
4. Виноградов Е.М. Винокуров В.И., Харченко И.П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Л.: Судостроение, 1986.
5. Егоров Е.И., Калашников Н.И., Михайлов А.С. Использование радиочастотного спектра и радиопомехи.
6. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. - М.: наука, 1981.
7. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. - Киев: Наук. думка, 1986.

УДК 621.391

В данной работе предлагается использование вейвлет-технологий для первичной обработки электрокардиосигнала. Проведен анализ существующих вейвлет-функций для выбора базовой, представлены результаты сжатия электрокардиосигнала с использованием различных пороговых правил с выбором оптимального по критерию нормы сжатия и восстановления. Результаты могут быть использованы в системах кардиодиагностики, в частности для исследования тонкой структуры ЭКГ.

ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ- ТЕХНОЛОГИЙ

Е.В. Мельникова

Аспирантка кафедры биомедицинских электронных устройств и систем Харьковского национального университета радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, Харьков, Украина, 61166.

Контактный тел.: +38(057) 702-13-64

e-mail: mel_hel2002@yahoo.com

Одной из важнейших проблем анализа электрокардиограмм (ЭКГ) при помощи ЭВМ является получение максимального объема диагностической информации при минимальной размерности массива данных.

Решение этой проблемы связано с переходом на новые технологии обработки электрокардиосигнала (ЭКС). Разработка принципиально нового математического аппарата представления сигналов, а также инструментальных и программных средств для его реализации, открывает новые возможности для улучшения качества регистрируемой ЭКГ и повышения её информативности. В данной работе предлагается для обработки ЭКС использовать вейвлет-технологии обработки сигналов, применение которых позволяет существенно повысить качество обработки и анализа ЭКГ.

В настоящее время накоплен значительный опыт по обработке и анализу ЭКГ. Успехи ЭКГ-диагностики во многом связаны с использованием математического аппарата представления сигналов в виде рядов Фурье. Однако, в последние годы стало очевидно, что он оказывается малоэффективным при описании локальных особенностей функций (пиков, резких перепадов и т.п.). Это связано с тем, что базисная функция рядов Фурье – синусоида определена в пространстве от $-\infty$ до $+\infty$ и по своей природе является гладкой и строго периодической функцией. Такая функция на практике (в условиях ограничения числа членов ряда или спектра разложения) принципиально не способна описывать произвольные сигналы и функции [1]. Вейвлет-функции свободны от указанных недостатков, что объясняет качественно новые возможности вейвлет-технологий обработки сигналов.

Поскольку качество всех последующих этапов обработки и анализа ЭКГ напрямую зависит от точности кодирования кривой, а также от качества предварительной обработки ЭКС (этапов сжатия и очистки сигнала от шума), то целесообразно применение вейвлет-технологий для решения проблем кодирования кривой ЭКГ с целью выявления диагностически ценной информации и сжатия полученных данных с максимальным сохранением их информативности, что и рассматривается в данной работе.

Выбор оптимального базиса вейвлетов для кодирования сигнала является трудной и пока математически не решенной задачей. Известен ряд критериев построения “хороших” вейвлетов, но, тем не менее, наилучшая комбинация этих свойств неизвестна. Выбор конкретного вейвлета зависит от данного анализируемого сигнала и определяется интуицией и практическим опытом исследователя [2].

В качестве основных требований к вейвлет-базису, применяемому в обработке ЭКС, можно указать:

- обеспечение реконструкции сигнала;
- обеспечение непрерывного и дискретного преобразований с применением алгоритмов быстрого вейвлет-преобразования (БВП).

Для проверки влияния типа базисной вейвлет-функции на качество представления сигнала ЭКГ выбраны вейвлеты Хаара, Добеши, Симлета, Койфлета и В-сплайновые биортогональные вейвлеты различных порядков, как наиболее отвечающие данным требованиям. Исследования проводились на сигнале стандартной ЭКГ-покоя, представленном 3090 отсчетами (частота дискретизации