УДК 621.317.328

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ БАКАЛАВРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «РАДИОТЕХНИКА»

[1]Звездина М.Ю., [1]Шокова Ю.А., [2]Левченков А.Н., [2]Сидельников В.И., [3]Шоков А.В.

[1]ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, e-mail: zvezdina_m@mail.ru;

[2]ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону», e-mail: levkov53@mail.ru;

[3]АО «КБ «Связь», Ростов-на-Дону

Формирование поведенческой модели в процессе обучения в соответствии с новыми Федеральными государственными образовательными стандартами реализуется совокупностью компетенций, ориентированных на работу с информацией и моделированием процессов. При этом глубокое понимание и усвоение материала достигается возможностью интерпретации получаемых при моделировании результатов исследований. Целью статьи является анализ возможности применения информационных технологий при формировании поведенческой модели на примере разработки модуля «Адаптивные антенные решетки» в курсе дисциплины «Устройства СВЧ и антенны» по направлению обучения 11.03.01 Радиотехника. В качестве основных параметров адаптивной антенной решетки, исследование которых позволило бы усвоить принципы работы данных устройств, были выделены величина коэффициента передачи в цепи обратной связи вычислителя адаптивной антенной решетки и параметры помеховой обстановки. Приведен пример реализации модуля в языковой среде MathCad 15, иллюстрирующий его возможности при проведении исследований влияния параметров помеховой обстановки на характеристики адаптивной антенной решетки, а также влияния параметров контура адаптации на величину отношения сигнал/шум, т.е. критерия, с помощью которого оценивается качество в канале связи. Показано, что получаемые при этом результаты являются за счет применения информационных технологий наглядными и позволяют легче усвоить известные положения теории адаптивных антенных решеток.

Ключевые слова: поведенческая модель, информационные технологии, сложная помеховая обстановка, адаптивные антенные решетки, физическая интерпретация результатов моделирования

INFORMATION TECHNOLOGY IMPLEMENTATION FEATURES IN BACCALAUREATE COURSEWORK IN RADIOTECHNICS

[1]Zvezdina M.Y., [1]Shokova Y.A., [2]Levchenkov A.N., [2]Sidelnikov V.I., [3]Shokov A.V.

[1]FSBEI HSE «Don State Technical University», Rostov-on-Don, e-mail: zvezdina_m@mail.ru;

[2]FSAEI HSE «South Federal University», Rostov-on-Don, e-mail: levkov53@mail.ru;

[3]JSC «KB «Svyaz», Rostov-on-Don

In accordance to Federal State Educational Standards behavioral model shaping is implicated in educational process as an aggregate of competences targeted on information processing and process simulation. In-depth content understanding and assimilation is achieved by interpretation of the research results obtained through simulation. The object of the article is an analysis of information technology implementation in behavioral model shaping on example of «Adaptive antenna arrays» module development in «SHF devices and antennae» for the 11.03.01 Radiotechnics coursework. Transfer efficiency value in feedback circuit of adaptive antenna array numerator and interference environment parameters are considered as main parameters of antenna array, which allow information assimilation on device functioning through the research. An example of module development in MathCad 15 is given to illustrate the module capabilities in researching the interference environment influence on adaptive antenna array characteristics and in researching the adaptive circuit influence on signal/noise ratio, which is considered to be a criterion of communication channel quality estimation. It is shown that the obtained results are demonstrable due to information technology implementation and they allow an easier assimilation for adaptive antenna arrays theory.

Keywords: behavioral model, information technologies, complex interference environment, adaptive antenna arrays, physical interpretation of the simulation results

Введение в Российской Федерации новых образовательных стандартов высшего образования определило основную цель образовательного процесса – формирование у обучаемых поведенческой модели, подразумевающей способность анализировать бакалавром возникающую задачу и определять требуемые для ее решения технические средства [6]. В учебном процессе вуза данная модель реализуется компетенциями, ориентированными на работу с информацией и моделированием процессов, что дает возможность осуществлять также и разнообразную и детальную интерпретацию получаемой информации, а следовательно, гарантировать более глубокое понимание и усвоение материала.

Цель статьи – анализ возможности применения информационных технологий при формировании поведенческой модели с использованием информационных технологий на примере разработки модуля «Адаптивные антенные решетки» в курсе дисциплины «Устройства СВЧ и антенны»

по направлению обучения 11.03.01 Радиотехника.

Актуальность выбранной темы модуля обусловлена тем, что в условиях резкого роста используемых радиотехнических систем и вследствие этого существенного усложнения радиотехнической установки одним из способов обеспечения устойчивого функционирования подвижных систем связи являются адаптивные антенные решетки, позволяющие осуществлять динамическую подстройку диаграммы направленности в реальном режиме времени.

Возможные направления использования информационных технологий в модуле

Выполним анализ возможных направлений применения информационных технологий при реализации обучающего модуля «Адаптивные антенные решетки».

Как известно, например, из [4], структурная схема адаптивной антенны наряду с излучателями и диаграммообразующей схемы должна включать адаптивный процессор для вычисления вектора весовых коэффициентов, обеспечивающих формирование главного лепестка в направлении полезного сигнала и «нулей» в направлении помеховых сигналов при использовании алгоритма либо оптимального, либо адаптивного типов. Поскольку случай, когда направления прихода сигналов являются неизвестными, то при построении модуля целесообразно рассматривать адаптивные алгоритмы, осуществляющие расчет вектора весовых коэффициентов путем статистической обработки накопленных выборок, т.е. за период так называемого переходного процесса. Данный процесс, называемый также обучением устройства обработки, начинается с обнаружения сигналов и заканчивается в момент нахождения оптимального решения, т.е. когда отношение «сигнал/шум» на выходе антенны достигает максимального значения. Следует отметить, что наблюдаемые в переходный период процессы определяют качество функционирования адаптивной антенны, т.е. глубину и скорость формируемых «нулей» диаграммы направленности.

На длительность переходного процесса оказывают существенное влияние параметры алгоритма адаптации. В приведенной в работе [2] классификации алгоритмов управления к адаптивным алгоритмам относятся алгоритмы прямого решения (непосредственного обращения матрицы, рекурсивного обращения матрицы, последовательной декорреляции) и рекурсивные (градиентные и Хауэлса-Аппельбаума). Каждый из перечисленных выше типов алгоритмов имеет свои достоинства. Так, алгоритм рекурсивного обращения матрицы, описанный в [1], обеспечивает упрощение схемы процессора, а, следовательно, и уменьшение вычислительных затрат при нахождении вектора весовых коэффициентов. С точки зрения простоты и наглядности построения модуля, что необходимо обеспечить в учебном процессе, целесообразно использовать рекурсивный алгоритм Хауэлса-Аппельбаума. Достоинствами данного алгоритма, как известно из теории, приведенной, например, в [4], являются относительная простота ее технической реализации, способность к самокоррекции промежуточных ошибок вычислений, возможность максимизации отношения «сигнал/шум» в предположении о том, что направление прихода полезного сигнала известно, однако сам сигнал в течение большей части времени приема может отсутствовать.

Модель алгоритма Хауэлса-Аппельбаума

Функциональная схема адаптивной антенной решетки из N элементов с контуром Хауэса-Аппельбаума из работы [4] приведена на рис. 1. Анализ данной схемы показывает, что в общем случае алгоритм функционирования представляет собой рекурсивную процедуру с положительной обратной связью [3], следовательно, данный процесс может быть описан уравнением [4]:

$$\tau\frac{d\mathbf{w}}{dt}+\left(\mathbf{I}+\gamma\mathbf{R}\right)\mathbf{w}=\gamma\mathbf{S}_c^*, \qquad (1)$$

где τ – постоянная времени контура адаптации; γ – коэффициент передачи в цепи обратной связи; $\mathbf{I}$ – единичная матрица; * – знак операции комплексного сопряжения; $\mathbf{w}$ – вектор весовых коэффициентов, соответствующий комплексным амплитудам возбуждения для каждого элемента антенны; $\mathbf{S}$ – вектор полезной части сигнала.

Ковариационная матрица помех $\mathbf{R}$ в случае действия J помеховых сигналов определяется выражением:

$$\mathbf{R}=\delta\cdot\left(\mathbf{I}+\sum_{j=1}^{J}V_jU_j^*U_j^T\right), \qquad (2)$$

где δ – мощность тепловых шумов в канале адаптивной антенной решетки; V_j – относительная мощность j-го помехового сигнала; $U_j^T=[U_{1j},\ldots,U_{Nj}\rangle$ – транспонированный вектор несущих колебаний помехового сигнала; T – знак операции транспонирования.

Критерий оптимизации – величина отношения «сигнал/шум» – в рассматриваемом процессоре может быть вычислена с использованием выражения [4]:

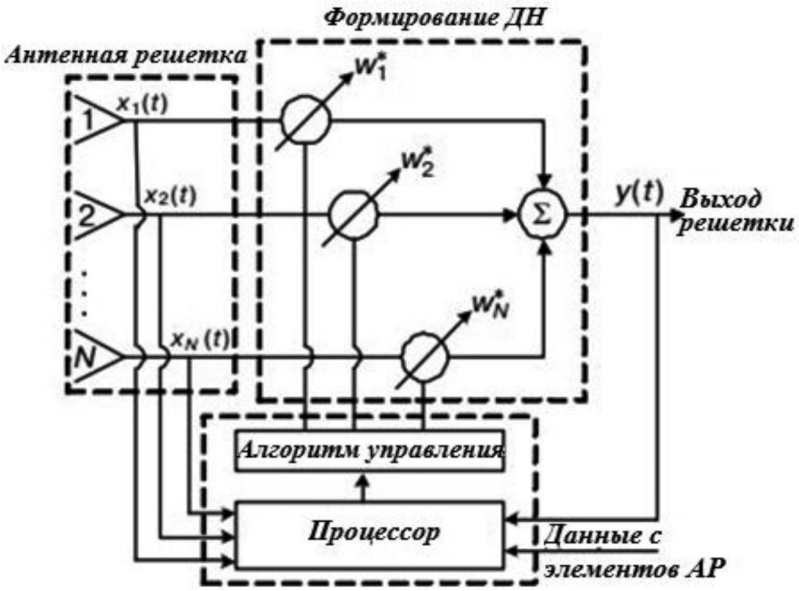

Рис. 1. Функциональная схема адаптивной антенной решетки из N элементов

$$H^2 = \frac{\mathbf{w}^T \mathbf{S}^* \mathbf{S}^T \mathbf{w}^*}{\mathbf{w}^H \mathbf{R} \mathbf{w}}. \qquad (3)$$

Анализ результатов моделирования

С использованием приведенных выше соотношений в языковой среде *MathCad* 15 была разработана программа, используемая для проведения исследований в модуле «Адаптивная антенная решетка». Программа включает несколько блоков: задание исходных данных; моделирование переходного процесса в контуре, включая получение окончательной диаграммы направленности и вычисление отношения «сигнал/шум»; исследование переходного процесса в контуре в различные моменты времени. Программа позволяет иллюстрировать в различные моменты переходного процесса изменение формы диаграммы направленности и величины отношения «сигнал/шум». На рис. 2 и 3 приведены примеры работы данного модуля для случая прихода одного полезного и одного помехового сигнала на линейную антенную решетку из 11 элементов, расположенных в излучающем раскрыве с шагом, равным половине длины волны. При этом на рис. 2 и в таблице приводятся результаты исследований влияния параметров помеховой обстановки на глубину формируемого «нуля» диаграммы направленности, обеспечивающего максимальное для данного случая значение критерия отношения сигнал/шум, а также непосредственно на величину критерия. При проведении исследований полагалось, что относительная мощность помех составляла 1000. Количество помех варьировалось от одной до двух, поскольку рассматривались самые простейшие из возможных случаи помеховой обстановки. Считалось, что две помехи могли приходить либо с одной стороны относительно главного лепестка диаграммы направленности (несимметричный случай), либо симметрично относительно главного лепестка диаграммы направленности. Для оценки получаемых значений используется потенциальное значение величины отношения «сигнал/шум», равное, как следует из теории [6], числу элементов антенной решетки.

Анализ получаемых при проведении исследований влияния параметров помеховой обстановки на характеристики адаптивной антенной решетки с помощью разработанного модуля позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, при приходе двух помех с одной стороны главного лепестка деформирование главного лепестка больше, чем в случае прихода помех с разных сторон. Во-вторых, при приходе двух помех одинаковой мощности симметрично с разных сторон главный лепесток диаграммы направленности остается симметричным, что подтверждается известным патентом [5]. В-третьих, для обеспечения максимально достижимого значения отношения «сигнал/шум» при более мощных помехах требуется формирование «нулей» диаграммы направленности большей глубины: чем мощнее помеха, тем глубже должен быть «нуль» у формируемой диаграммы направленно-

сти. Наконец, в-четвертых, помехи, приходящие с одной стороны главного лепестка диаграммы направленности, снижают величину отношения сигнал/шум на 0,19 дБ по сравнению со случаем симметричного прихода и на 0,21 дБ по сравнению со случаем прихода одной помехи.

Зависимость величины отношения «сигнал/шум» от параметров помеховой обстановки

Помеховая ситуация	Отношение «сигнал/шум», дБ
Потенциальное значение в отсутствие помех	11
Одна помеха	10,16
Две помехи одинаковой мощности с разных сторон главного лепестка	10,14
Две помехи одинаковой мощности с одной стороны главного лепестка	9,95

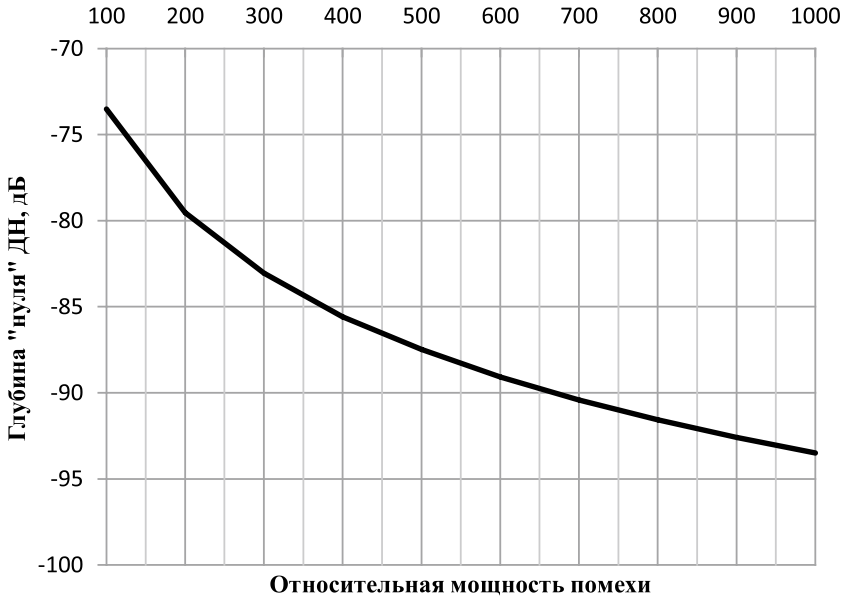

Рис. 2. Зависимость глубины формируемого «нуля» диаграммы направленности от мощности помехи

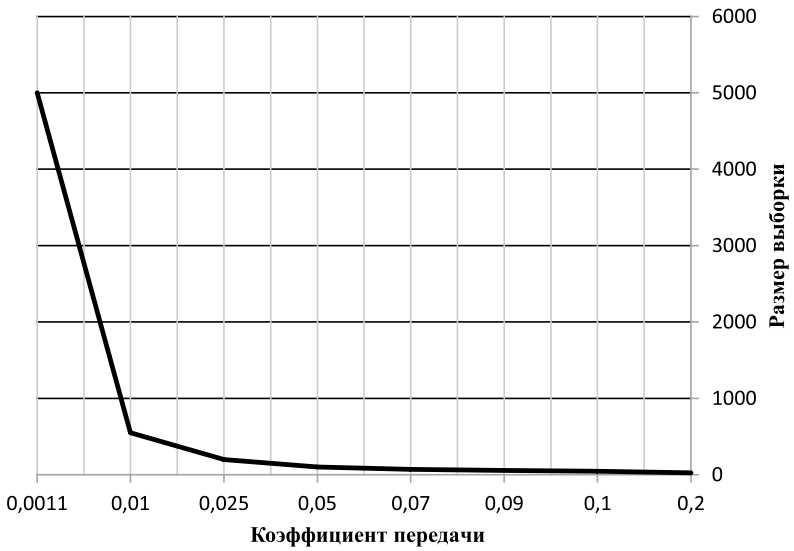

Рис. 3. Влияние коэффициента передачи на длительность переходного процесса

Рис. 3 иллюстрирует результаты исследований влияния параметров контура Хауэлса-Аппельбаума (значения коэффициента передачи в цепи с положительной обратной связью γ) на длительность переходного процесса, оцененную количеством накопленных выборок. Анализ данного рисунка позволяет обучаемому сделать вывод о том, что большие значения коэффициента передачи обеспечивают достижение требуемого значения критерия оптимальности при меньших размерах накопленных выборок. Так, при $\gamma = 0{,}2$ размер накопленных выборок должен составлять 25, а при коэффициенте обратной связи 0.0011 число накопленных выборок увеличивается до 10^4. Следовательно, длительность переходного процесса в первом случае будет в 400 раз меньше, чем во втором. Таким образом, чем больше коэффициент обратной связи, тем меньшее время требуется системе управления на обучение, тем более скоростной будет работа адаптивной антенной решетки.

Выводы

Выполнено обоснование использования информационных технологий при реализации компетенций по формированию поведенческой модели на примере разработки модуля «Адаптивные антенные решетки» в курсе дисциплины «Устройства СВЧ и антенны» направления обучения 11.03.01 Радиотехника. Показано, что актуальность разработки модуля обусловлена необходимостью обучения будущих радиотехников особенностям функционирования подвижных систем связи в условиях сложной, постоянно изменяющейся помеховой обстановки. Выполненный анализ функциональной схемы адаптивной антенной решетки позволил выделить основные параметры, исследование которых целесообразно осуществлять с использованием информационных технологий. В качестве данных параметров при разработке модуля были использованы: величина коэффициента передачи в цепи обратной связи вычислителя адаптивной антенной решетки; количество помеховых сигналов, их относительная мощность и направления прихода, т.е. параметры помеховой обстановки. Приведенный пример получаемых с использованием разработанной в языковой среде *MathCad* 15 результатов показывает, что обучающиеся по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника могут проводить исследования влияния параметров помеховой обстановки на характеристики адаптивной антенной решетки, а также влияния параметров контура адаптации на величину отношения «сигнал/шум», т.е. критерия, с помощью которого оценивается качество в канале связи. Получаемые при этом результаты являются за счет применения информационных технологий наглядными и позволяют легче усвоить известные положения теории адаптивных антенных решеток.

Список литературы

1. Алгоритм обращения эрмитовой матрицы / М.Ю. Звездина [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. – 2015. – №2 (81). – С. 79–85. doi: 10.12737/11585.

2. Баланис К.А., Иоанидес П.И. Введение в смарт-антенны. – М.: Техносфера, 2012. – 200 с.

3. Королев Г.В. Электронные устройства автоматики. – М.: Высш. шк., 1991. – 256 с.

4. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.

5. Патент 2092942 РФ. МКИ3 H01Q21/00. Адаптивная антенная решетка / Д.Д. Габриэльян, М.Ю. Звездина, В.В. Шацкий (RU). – № 93030523/09, завл. 15.06.93; опубл. 10.10.97.

6. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению 11.03.01 Радиотехника (уровень бакалавра). Утв. Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 6 марта 2015 г. № 179.