

модельной избыточности, а также адаптивном выборе функциональных моделей, что в совокупности, в интерактивном режиме обеспечивает высокую готовность сервис-ориентированных систем.

Планируется использовать полученные результаты при формировании методологии анализа, моделирования и поддержки принятия решений по управлению процессами обеспечения требуемого уровня показателей качества сервисов, информационной безопасности при заданном уровне информационно-вычислительных ресурсов. Реализованный ПДК ППР будет интегрирован в систему поддержки принятия решения по реинжинирингу ИТ-подразделений сервис-ориентированных систем.

Библиографический список использованной литературы

1. Харченко В.С. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения / Под ред. Харченко В.С., Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2011. — 641 с.
2. Воронин Д.Ю., Скатков А.В., Харченко В.С. Технологии Web, Grid, Cloud для гарантоспособных ИТ-инфраструктур / Технологии Web, Grid, Cloud для гарантоспособных ИТ-инфраструктур: Монография / Под ред. В.С. Харченко, А.В. Горбенко. — Харьков: Изд-во ХАИ, 2013. — 868 с.: табл. 119, ил. 323, библиограф. 321 назв. ISBN 978 — 966 — 662 — 307 — 5.
3. Скатков А.В. Информационные технологии для критических инфраструктур: моногр. / Под ред. А.В. Скаткова — Севастополь: СевНТУ, 2012. — 306 с.
4. Скатков А.В. Обеспечение гарантоспособности распределенной вычислительной системы на основе моделей диспетчеризации / А.В. Скатков, Д.Ю. Воронин // Радиоэлектронные и компьютерные системы. — 2009. — №5 (39). — С. 31 — 38.
5. Воронин Д.Ю. Оперативная диспетчеризация в распределенных вычислительных системах на основе нейросетевых моделей / Д.Ю. Воронин // Радиоэлектронные и компьютерные системы. — 2010. — №6 (47). — С. 73 — 77.
6. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 400 с.

Voronin D.Y., Skatkov I.A., Kobylanskaya M.S. Resource allocation models in service-oriented systems and infrastructures

The actual problem of quality management in service-oriented systems is considered. In this paper resource allocation models are proposed. They are focused on the support of decision-making concerning the audit of IT-services and the evaluation of IT-resource amount needed for critical service-oriented systems. The developed real-time tool allows to provide the required level of informational QoS for IT-processes.

Key words: resource allocation, IT-services, IT-processes, audit, lack of a priori information, decision support, evaluation of critical events, critical infrastructure.

УДК 681.5

Е.А. Байздренко

А.Е. Безуглая, доц., канд. техн. наук

Е.А. Шушляпин, профессор, д-р. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Россия, 299053

E-mail: baizdrenko@gmail.com

ПОСТРОЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ РЕЛЕЙНЫХ УПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФУРЬЕ-АППРОКСИМАЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ ФУНКЦИЙ

Работа посвящена задаче определения моментов переключения ограниченных релейных управлений для нелинейных систем, обеспечивающих достижение состояний системы, близких к состояниям, получаемым под воздействием ограниченных в тех же пределах управлений произвольной формы.

Ключевые слова: релейное управление, эквивалентное управление, замена управления

Введение. Актуальность задачи построения релейных управлений для линейных и нелинейных систем объясняется большей простотой физической реализации таких управлений, по сравнению с управлениями произвольной формы. При этом наиболее широко используемые методы расчета управляющих воздействий дают управления, которые имеют непрерывный или смешанный вид.

Таким образом, возникает задача преобразования ограниченного управляющего сигнала произвольной формы (далее будем называть его эталонным сигналом или управлением) в релейный

сигнал, оказывающий по своему воздействию эквивалентное влияние на результат управления. В работах [1], [2] задача формирования эквивалентных по конечному состоянию релейных управлений решена соответственно для линейных и нелинейных систем на основе полиномиальной аппроксимации определенных ниже функций $h_i(t)$. При этом оказалось, что как для линейных, так и для нелинейных систем моменты переключений эквивалентных по конечным состояниям релейных управлений не зависят от параметров управляемой системы, если полиномиальная аппроксимация точная. При этом количество моментов переключения в точности равно количеству членов полинома. В случае, когда полиномиальная аппроксимация неизвестна, предложено разбивать интервал работы системы на малые по длительности участки, на которых можно ожидать линейности функций $h_i(t)$. При этом, кроме всего прочего, для расчетов моментов переключений получены простые математические выражения вида

$$\mathcal{G}_1 = \frac{k_2}{k_1} - \frac{k_1}{2}, \quad \mathcal{G}_2 = \frac{k_2}{k_1} + \frac{k_1}{2}, \quad k_{j+1} = \int_{t_0}^{t_f} t^j \xi(t) dt, \quad j=0,1, \quad (1)$$

где $\mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2$ – моменты переключения, $0 \leq \xi(t) \leq 1$ – нормированное эталонное управление. Доказано, что при этом $t_0 \leq \mathcal{G}_1 \leq \mathcal{G}_2 \leq t_f$ (t_0, t_f – начальное и конечное времена работы системы или малого интервала). Для общего случая полиномиальной аппроксимации получена система уравнений вида:

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_4 - \mathcal{G}_3 + \dots + \mathcal{G}_m - \mathcal{G}_{m-1} &= k_1, \\ \mathcal{G}_2^2 - \mathcal{G}_1^2 + \mathcal{G}_4^2 - \mathcal{G}_3^2 + \dots + \mathcal{G}_m^2 - \mathcal{G}_{m-1}^2 &= 2 \cdot k_2, \\ &\dots \\ \mathcal{G}_2^m - \mathcal{G}_1^m + \mathcal{G}_4^m - \mathcal{G}_3^m + \dots + \mathcal{G}_m^m - \mathcal{G}_{m-1}^m &= m \cdot k_m, \end{aligned} \quad (2)$$

где k_{j+1} , $j=0,1,\dots,m-1$ вычисляются так же, как в (1). В процессе отыскания решений должны, кроме того, выполняться неравенства $t_0 \leq \mathcal{G}_1 \leq \mathcal{G}_2 \leq \dots \leq \mathcal{G}_m \leq t_f$.

Выражения (1) и система (2) могут порождать достаточно большое количество переключений релейного управления, которое определяется либо количеством малых интервалов (при использовании (1)) либо высокой степенью аппроксимирующего полинома (при использовании (2)) в том случае, если функции $h_i(t)$ имеют сложную криволинейную форму. По этой причине целесообразно исследовать и другие аппроксимирующие функции, в частности, отрезки рядов Фурье. При этом сразу же рассмотрим случай нелинейных систем.

Метод построения релейных управлений нелинейными системами. Рассмотрим систему со скалярным нормированным управлением вида:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \Phi(t, x(t)) + B(t) \cdot \xi(t), \quad t \in [t_0, t_f], \quad x(t_0) = x^0. \quad (3)$$

где Φ – в общем случае нелинейная дифференцируемая вектор-функция, зависящая от текущего времени t и n -мерного вектора состояния x , ξ – нормированное управляющее воздействие, ограниченное нулем и единицей, B – n -мерный вектор коэффициентов при управлении. Результаты для данного случая легко обобщаются и на общий случай векторного ненормированного управления.

Для систем вида (3) известно представление, называемое «интегральной формулой В.М. Алексеева» [3]:

$$x(t_f) = \bar{x}(t_f, t, x(t)) + \int_t^{t_f} W(t_f, \tau, x(\tau)) B(\tau) \xi(\tau) d\tau, \quad (4)$$

где $\bar{x}(t_f, t, x(t))$ – переменная конечного состояния системы, отображающая прогноз неуправляемого ($\xi(\tau)=0$ на интервале $t \leq \tau \leq t_f$) конечного состояния системы (3), имеющей в момент времени t состояние $x(t)$.

В скалярном виде (4) можно переписать в виде:

$$x_i(t_f) = \bar{x}_i(t_f, t, x(t)) + \int_t^{t_f} h_i(t_f, \tau, x(\tau)) \xi(\tau) d\tau, \quad (5)$$

$$h_i(t_f, t, x(t)) = \sum_{j=1}^n W_{ij}(t_f, t, x(t)) B_j(t), \quad (6)$$

Выражения, определяющие переменные конечного состояния $\bar{x}$ и нелинейную переходную матрицу W , имеют вид:

$$\begin{aligned}\frac{d\bar{x}(\theta, t, x(t))}{d\theta} &= \Phi(\theta, \bar{x}(\theta, t, x(t))), \\ \frac{dW(\theta, t, x(t))}{d\theta} &= \frac{\partial \Phi(\theta, x)}{\partial x} \Big|_{x=\bar{x}(\theta, t, x(t))} \cdot W(\theta, t, x(t)), \\ \theta &\in [t, t_f], W(t, t, x(t)) = I, \bar{x}(t, t, x(t)) = x(t), t \in [t_0, t_f]\end{aligned}\quad (7)$$

где I - единичная матрица.

В [4] получены приближенные решения для систем вида (7) на основе полиномов, отрезков рядов Фурье и нейронных сетей. Полиномиальные представления h_i использованы в [2] для обоснования применимости (1) и (2). Для метода, предлагаемого в статье, используем отрезки тригонометрического ряда Фурье вида:

$$h_i(t) = c_i + \sum_{k=1}^K (a_{ik} \sin(k\omega_0 t) + b_{ik} \cos(k\omega_0 t)) \quad (8)$$

В работе [4] получена система линейных уравнений и ее решение для коэффициентов ряда $z = \text{colon}(c_1, a_{11}, b_{11}, \dots, a_{1K}, b_{1K}, \dots, c_n, a_{n1}, b_{n1}, \dots, a_{nK}, b_{nK})$:

$$z = (A(0, K, \omega_0))^{-1} d(0, x_0, p), \quad (9)$$

где в скобках показаны зависимости матрицы и правых частей от начального времени $t = 0$, параметров разложения K, ω_0 , начального состояния x_0 и параметров системы p .

При этом первые n строк матрицы A состоят из множителей при фурье-коэффициентах из (8) и нулей, каждая строка для конкретного $i = 1, 2, \dots, n$. Вторые n строк – для множителей при фурье-коэффициентах $\frac{dh_i(t)}{dt}$ и нулей и т.д. Последняя строка матрицы содержит множители при фурье-коэффициентах для $\frac{d^{2K}h_i(t)}{dt^{2K}}$ и нулей. Элементы же вектора d состоят из полных производных по времени функции $h_i(t_f, t, x(t))$, определяемой выражением (6), вычисленных в начальный момент времени. Здесь важно то, что фурье-коэффициенты являются функцией начального состояния x_0 , а от текущего времени t и текущего состояния $x(t)$ не зависят.

Покажем, что для случая функций h_i вида

$$h_i(t) = c_i + a_{i1} \sin(\omega_0 t) + b_{i1} \cos(\omega_0 t) \quad (10)$$

можно найти такие моменты переключений $\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2, \mathcal{Q}_3$, что все n координат вектора конечного состояния $x(t_f)$ приобретут значения $x^* = \int_0^{t_f} h(t) \xi(t) dt$, $x^* = \{x_i^*\}$, $h(t) = \{h_i(t)\}$, $i = 1, 2, \dots, n$.

В соответствии с поставленной выше задачей имеем систему уравнений:

$$\int_{\mathcal{Q}_1}^{\mathcal{Q}_2} (c_i + a_{i1} \sin(\omega_0 t) + b_{i1} \cos(\omega_0 t)) dt + \int_{\mathcal{Q}_2}^{t_f} (c_i + a_{i1} \sin(\omega_0 t) + b_{i1} \cos(\omega_0 t)) dt = x_i^*, i = 1, 2, \dots, n.$$

Вычислив определенные интегралы, получаем систему уравнений относительно $\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2, \mathcal{Q}_3$:

$$\begin{aligned}c_i(\mathcal{Q}_2 - \mathcal{Q}_1) - \frac{a_{i1}}{\omega_0} (\cos(\omega_0 \mathcal{Q}_2) - \cos(\omega_0 \mathcal{Q}_1)) + \frac{b_{i1}}{\omega_0} (\sin(\omega_0 \mathcal{Q}_2) - \sin(\omega_0 \mathcal{Q}_1)) + \\ + c_i(t_f - \mathcal{Q}_3) - \frac{a_{i1}}{\omega_0} (\cos(\omega_0 t_f) - \cos(\omega_0 \mathcal{Q}_3)) + \frac{b_{i1}}{\omega_0} (\sin(\omega_0 t_f) - \sin(\omega_0 \mathcal{Q}_3)) = x_i^*, \quad i = 1, 2, \dots, n.\end{aligned}\quad (11)$$

Покажем, что система (11) для всех $n > 3$ линейно зависима. Обозначив i уравнение (11) f_i , запишем условие линейной независимости:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i f_i = 0, \quad \lambda_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

После подстановки (11) в (12) получаем:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \left(c_i(\mathcal{Q}_2 - \mathcal{Q}_1) - \frac{a_{i1}}{\omega_0} (\cos(\omega_0 \mathcal{Q}_2) - \cos(\omega_0 \mathcal{Q}_1)) + \frac{b_{i1}}{\omega_0} (\sin(\omega_0 \mathcal{Q}_2) - \sin(\omega_0 \mathcal{Q}_1)) + \right. \\ \left. + c_i(t_f - \mathcal{Q}_3) - \frac{a_{i1}}{\omega_0} (\cos(\omega_0 t_f) - \cos(\omega_0 \mathcal{Q}_3)) + \frac{b_{i1}}{\omega_0} (\sin(\omega_0 t_f) - \sin(\omega_0 \mathcal{Q}_3)) - x_i^* \right) =$$

$$= \sum_{i=1}^n \lambda_i c_i (\vartheta_2 - \vartheta_1 + t_f - \vartheta_3) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{a_{i1}}{\omega_0} (\cos(\omega_0 \vartheta_2) - \cos(\omega_0 \vartheta_1) + \cos(\omega_0 t_f) - \cos(\omega_0 \vartheta_3)) + \\ + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{b_{i1}}{\omega_0} (\sin(\omega_0 \vartheta_2) - \sin(\omega_0 \vartheta_1) + \sin(\omega_0 t_f) - \sin(\omega_0 \vartheta_3)) - \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i^*.$$

Поскольку в общем случае моменты переключения $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$ не совпадают, то условие (12) превращается в совокупность условий в виде системы уравнений:

$$\begin{aligned} \left(\sum_{i=1}^n c_i \lambda_i \right) &= 0, \\ \left(\sum_{i=1}^n \frac{a_{i1}}{\omega_0} \lambda_i \right) &= 0, \\ \left(\sum_{i=1}^n \frac{b_{i1}}{\omega_0} \lambda_i \right) &= 0, \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i^* \lambda_i \right) &= 0. \end{aligned} \quad (13)$$

С учетом соотношений

$$\begin{aligned} x_i^* &= \int_0^{t_f} h_i(t) \xi(t) dt = \int_0^{t_f} (c_i + a_{i1} \sin(\omega_0 t) + b_{i1} \cos(\omega_0 t)) \xi(t) dt = \\ &= c_i \int_0^{t_f} \xi(t) dt + a_{i1} \int_0^{t_f} \sin(\omega_0 t) \xi(t) dt + b_{i1} \int_0^{t_f} \cos(\omega_0 t) \xi(t) dt = \\ &= c_i k_1 + a_{i1} k_{21} + b_{i1} k_{22}, \\ k_1 &= \int_0^{t_f} \xi(t) dt, \quad k_{21} = \int_0^{t_f} \sin(\omega_0 t) \xi(t) dt, \quad k_{22} = \int_0^{t_f} \cos(\omega_0 t) \xi(t) dt, \end{aligned} \quad (14)$$

следующих из приведенного выше определения x_i^* , получаем следующую матрицу линейной системы (13):

$$A = \begin{pmatrix} c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ \frac{a_{11}}{\omega_0} & \frac{a_{12}}{\omega_0} & \dots & \frac{a_{1n}}{\omega_0} \\ \frac{b_{11}}{\omega_0} & \frac{b_{12}}{\omega_0} & \dots & \frac{b_{1n}}{\omega_0} \\ c_1 k_1 + a_{11} k_{21} + b_{11} k_{22} & c_2 k_1 + a_{12} k_{21} + b_{12} k_{22} & \dots & c_n k_1 + a_{1n} k_{21} + b_{1n} k_{22} \end{pmatrix}$$

Из последнего выражения видно, что $A_4 = k_1 A_1 + k_{21} \omega_0 A_2 + k_{22} \omega_0 A_3$, где A_i обозначена i -я строка матрицы A , т.е. четвертая строка является линейной комбинацией первых трех строк. Это означает, что ранг матрицы A не больше трех. Таким образом, вместо прямоугольной системы с линейно зависимыми строками (13) имеем прямоугольную систему с матрицей

$$A = \begin{pmatrix} c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \end{pmatrix},$$

относительно которой можно сказать, что чаще всего эта матрица имеет ранг 3 (основной случай). При некоторых сочетаниях параметров может оказаться, что $\text{rank } A < 3$ (особый случай). В основном случае при $n > 3$ имеем прямоугольную систему $A\lambda = 0$ с бесчисленным множеством решений. При этом $n-3$ компонентам назначаются произвольные значения, в том числе ненулевые, а оставшиеся три компоненты, соответствующие выбранному базису, определяются из квадратной системы. Таким образом, вектор λ в данном случае может быть ненулевым, т.е. условие линейной независимости (12) не выполняется, что и требовалось доказать. В случае же $n = 3$ имеем квадратную систему с неособенной (в основном случае) матрицей и нулевой правой частью, решением которой является $\lambda = 0$. В этом случае нелинейная система (11) линейно независима и ее разрешимость уже зависит от совместности уравнений и существования решений в допустимой области $\vartheta_1 \geq 0, \vartheta_3 > \vartheta_2 > \vartheta_1, \vartheta_3 \leq t_f$.

Повторяя приведенные рассуждения для случая $K > 1$, можно показать, что при количестве переключений, равном количеству фурье-коэффициентов, всегда возможна замена управления $\xi(t)$ эквивалентным по конечному состоянию релейным управлением.

С учетом сказанного, для решения уравнений (11) нужно выбрать любые три из них. Выберем для определенности систему из первых трех уравнений и найдем ее решение. С учетом обозначений (14) имеем:

$$\begin{aligned} c_i(\vartheta_2 - \vartheta_1) - \frac{a_{i1}}{\omega_0}(\cos(\omega_0 \vartheta_2) - \cos(\omega_0 \vartheta_1)) + \frac{b_{i1}}{\omega_0}(\sin(\omega_0 \vartheta_2) - \sin(\omega_0 \vartheta_1)) + \\ + c_i(t_f - \vartheta_3) - \frac{a_{i1}}{\omega_0}(\cos(\omega_0 t_f) - \cos(\omega_0 \vartheta_3)) + \frac{b_{i1}}{\omega_0}(\sin(\omega_0 t_f) - \sin(\omega_0 \vartheta_3)) = \\ = c_i k_1 + a_{i1} k_{21} + b_{i1} k_{22}, \quad i=1,2,3. \end{aligned}$$

Введем переменные

$$\begin{aligned} y_1 = \vartheta_2 - \vartheta_1, \quad y_2 = \cos(\omega_0 \vartheta_2) - \cos(\omega_0 \vartheta_1) + \cos(\omega_0 t_f) - \cos(\omega_0 \vartheta_3), \\ y_3 = \sin(\omega_0 \vartheta_2) - \sin(\omega_0 \vartheta_1) + \sin(\omega_0 t_f) - \sin(\omega_0 \vartheta_3). \end{aligned} \quad (15)$$

и найдем решение линейной системы

$$c_i y_1 - \frac{a_{i1}}{\omega_0} y_2 + \frac{b_{i1}}{\omega_0} y_3 = c_i k_1 + a_{i1} k_{21} + b_{i1} k_{22}, \quad i=1,2,3.$$

Указанное решение имеет вид:

$$y_1 = k_1, y_2 = -\omega_0 k_{21}, y_3 = \omega_0 k_{22} \quad (16)$$

Подставляя (16) в (15), получаем систему трех трансцендентных уравнений относительно искоемых моментов переключений:

$$\begin{aligned} k_1 = \vartheta_2 - \vartheta_1, \\ -\omega_0 k_{21} = \cos(\omega_0 \vartheta_2) - \cos(\omega_0 \vartheta_1) + \cos(\omega_0 t_f) - \cos(\omega_0 \vartheta_3), \\ \omega_0 k_{22} = \sin(\omega_0 \vartheta_2) - \sin(\omega_0 \vartheta_1) + \sin(\omega_0 t_f) - \sin(\omega_0 \vartheta_3). \end{aligned} \quad (17)$$

Сравнивая полученный результат для случая двучленного ряда Фурье с (1), т.е. со случаем полинома с двумя членами, видим, что расчеты указанных моментов усложнились за счет необходимости численного решения уравнений вида (17). В то же время сохранилось свойство независимости моментов переключений от параметров системы, представленных коэффициентами c_i, a_{i1}, b_{i1} .

Общий случай тригонометрического ряда Фурье ничем принципиально не отличается от рассмотренного случая, усложнятся только выражение типа (11) и система уравнений типа (13). Легко обобщаются результаты также и на случай векторного управления. Для линейных систем это очевидно в силу суперпозиции по отношению к управляющим воздействиям. Что же касается нелинейных систем, то здесь также имеет место указанная суперпозиция ввиду независимости моментов переключений от параметров системы. Это видно из формулы Алексеева (4), где зависящая от состояния управляемой системы переходная матрица используется при выводе уравнений (15) как функция времени с представлением вида (15), а сами моменты от параметров системы не зависят.

Заключение. В работе описаны теоретические основы вычисления моментов переключения релейного управления нелинейными системами, получаемых путем аппроксимации функций h_i , отрезками тригонометрического ряда Фурье. Теоретические выкладки произведены для случая скалярного управления, однако результаты могут быть обобщены и на случай векторного управления.

Задача нахождения релейного управления для различных нелинейных объектов имеет перспективы применения в различных технических, экономических и других приложениях, поскольку физическая реализация таких управлений проще и зачастую экономически выгоднее, чем реализация непрерывных управляющих сигналов.

Библиографический список использованной литературы

1. Байздренко Е.А. Построение эквивалентных релейных управлений многомерными линейными нестационарными системами / Е.А.Байздренко, Е.А. Шушляпин // Вестник СевНТУ. Сер. Автоматизация процессов и управление: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2012. – №125. – С.49-54.
2. Байздренко Е.А. Построение эквивалентных релейных управлений для нелинейных систем / Е.А.Байздренко, Е.А.Шушляпин // Системні дослідження та інформаційні технології. – УНК «ИПСА» НТУУ «КПІ». – К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПІ», 2013. – №1/2013. – С.126-134.
3. Алексеев В.М. Об одной оценке возмущений обыкновенных дифференциальных уравнений / В.М. Алексеев // Вестн. Москов. ун-та. Сер.1.Математика, механика. – 1961. – №2. – С.28 – 36.
4. Шушляпин Е.А. Приближенные аналитические решения систем нелинейных дифференциальных уравнений на основе рядов Фурье / Е.А. Шушляпин, А.Е. Шушляпина (Безуглая) // Вестник СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2005. – Вып. 67. – С.22-28.

Baizdrenko K.A., Bezuglaya A.E., Shushlyapin E.A. Formation of equivalent relay control for non-linear systems using Fourier approximation of transient functions

The article is devoted to the problem of determination of switching moments for limited relay controls in non-linear systems, which provide achievement of system positions in close proximity to conditions, achievable under influence of limited in the same limits arbitrary-shaped controls.

Keywords: relay control, equivalent control, substitution of control.

Байздренко К.О., Безугла А.Е., Шушляпин Е.А. Построение эквивалентных релейных управлений для нелинейных систем на основе фурье-аппроксимации переходных функций

Робота присвячена завданню визначення моментів перемикання обмежених релейних управлінь для нелінійних систем, що забезпечують досягнення станів системи, близьких до станів, що отримуються під впливом обмежених в тих же межах управлінь довільної форми.

Ключові слова: релейне управління, еквівалентне управління, заміна управління

УДК 004.56

А.В. Скатков, проф., д-р техн. наук

А.А. Брюховецкий доц., канд. техн. наук

Е.Н. Машенко доц., канд. техн. наук

Ю.П. Николаева

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Россия, 299053

E-mail: kvт.sevntu@gmail.com

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТРОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ АТАК⁷

Рассматривается задача по разработке системного обеспечения программно-аппаратного комплекса исследовательского стенда, которая может быть решена только на основе системного исследования и анализа задачи оценки мощности статистических критериев идентификации вирусных атак. Представлены результаты экспериментальных исследований оценки эффективности разработанного комплекса.

Ключевые слова: обнаружение вторжений, критериальные детекторы атак, информационная безопасность.

Развитие информационных технологий на базе телекоммуникационных сетей (ТКС) приводит к повышению эффективности промышленного производства и многих инфраструктур в энергетической, транспортной, социальной сферах [1]. ТКС, как одна из основных подсистем инфраструктур, должна обеспечивать высокую реактивность, достоверность и своевременность передачи информации между функциональными подсистемами инфраструктуры. Отказ или нарушение работы ТКС может привести к дезорганизации функционирования всей инфраструктуры и, следовательно, опасности возникновения критических ситуаций, которые могут иметь катастрофические последствия. Несмотря на интенсивное развитие компьютерных систем и информационных технологий защиты, ТКС продолжают быть уязвимыми для внешних и внутренних несанкционированных вторжений. Основной угрозой безопасности ТКС являются акты несанкционированного перехвата каналов обмена информацией и управления. Несанкционированный перехват каналов может быть осуществлен в результате нарушения прав доступа субъектов к объектам ТКС.

Актуальность, научная обоснованность и перспективность построения систем обнаружения вторжений обусловлена растущей сложностью и масштабами компьютерных систем и сетей, что в свою очередь приводит к необходимости разработки и созданию новых подходов в решении проблемы обеспечения информационной безопасности.

В статье решается задача оценки системных характеристик ТКС, подвергшихся воздействию вторжений на основе выбора параметров эффективного критериального детектора атак (КДА), которая, в свою очередь, сводится к исследованию мощности статистических критериев [2]. Исследование мощности непараметрических критериев является аналитически неразрешимым. Возникает необходимость разработки и построения информационной технологии специализированного программно-аппаратного комплекса (стенда). Используя данный стенд, представляется возможным исследовать вероятности допущения ошибок первого и второго рода (α и β). На основе полученных

⁷ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-47-01514).