УДК 517.977

АЛГОРИТМЫ БЫСТРОГО ОЦЕНИВАНИЯ ВЕКТОРА ВЫСОКОЙ РАЗМЕРНОСТИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

А.Я. Андриенко, Е.И. Тропова

Рассмотрена задача планирования программного управления подвижным объектом в условиях дефицита и априорной неопределенности времени, выделяемого на это планирование. Предложены алгоритмы быстрого оценивания векторов параметров высокой размерности.

Ключевые слова: вектор возмущений высокой размерности, алгоритм быстрого оценивания, дефицит времени оценивания.

ВВЕДЕНИЕ

В статье излагаются результаты развития метода оценивания векторов возмущений высокой размерности [1], разработанного в обеспечение анализа результатов летных испытаний бортовых систем управления. Необходимость такого развития связывается с созданием автоматизированных систем оперативного планирования полета объектов авиационной и ракетной техники [2]. Становится актуальной задача быстрого оценивания вектора параметров высокой размерности, принципы и алгоритмы решения которой представлены в § 2 и 3 статьи.

1. ЗАДАЧА БЫСТРОГО ОЦЕНИВАНИЯ ВЕКТОРА ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Специфику требований, предъявляемых к представляемому алгоритму оценивания, поясним на содержательном примере автоматизированной прокладки маршрута полета, выполняемой в ряде перспективных систем управления типа бортовой системы управления полетом самолета тактической авиации, наземной системы подготовки полетных заданий для вылета авиасоединения и пр.

Прокладка маршрута x^* — это выбор трассы, профиля и временного графика полета самолета от аэродрома к цели, проводимый по скалярному критерию J, учитывающему вероятности поражения самолета средствами ПВО, потери пространственной ориентировки и столкновения с наземными объектами. Для расчета критерия J используются специальные математические модели (модель ПВО в виде зависимости интенсивности поражения самолета от фазовых координат относительного положения самолета и средств ПВО; модель навигационного риска в виде функциональной зависимости вероятности потери самолетом пространственной ориентировки от информативности навигационного поля; модель риска столкновения с поверхностью Земли, связывающая вероятность гибели самолета с высотой полета и рельефом местности), позволяющие каждому возможному маршруту x ставить в соответствие численное значение критерия J:

$$J = \Psi(x), \quad x \in X, \qquad (1)$$

где X — множество всех возможных маршрутов полета, прокладываемых по имеющейся в системе информации.

Процессу прокладки маршрута предшествует этап сбора и введения в ПЭВМ оперативно-разведывательной, картографической, метеорологической и другой информации, касающейся параметров упомянутых моделей, а также этап автоматизированного формирования множества $\{X^k\}$ магистральных маршрутов X^k, $k = 1, 2, ..., K$, полета, в окрестностях Ω^k, $k = 1, 2, ..., K$, которых лежит искомый маршрут. (Размеры объединения $\Omega = \cup\Omega^k$ заведомо меньше размеров множества X.)

Маршруты $x \in \Omega^k$, $k = 1,2, ..., K$, подлежат параметризации: $x = x(\mathbf{V})$, где $\mathbf{V}$ — N-мерный вектор параметров, характеризующий координаты точек поворота маршрута и коэффициенты полиномиальных аппроксимаций траекторий и временного графика полета на участках между точками поворота.

В дальнейшем полагаем, что границы $\mathbf{B}^k = (B^{k(1)}, B^{k(2)}, ..., B^{k(N)})$ окрестностей Ω^k, $k = 1, 2, ..., K$, магистральных маршрутов $X^k = X^k(\mathbf{V}^k)$, где $\mathbf{V}^k = (V^{k(1)}, V^{k(2)}, ..., V^{k(N)})$, представимы в виде $B^{k(n)} = V^{k(n)} \pm \Delta^{(n)}$, $n = 1, 2, ..., N$, где $\Delta^{(n)}$ — заданные числа, характеризующие размеры окрестности Ω^k.

Тогда выбор маршрута x^* сводится к решению задач оценивания параметров $\mathbf{V}$ оптимального маршрута в окрестностях Ω^k из условия

$$\hat{\mathbf{V}}^k = \arg\min_{\mathbf{V} \in \Omega^k} \Psi[x(\mathbf{V})] = \arg\min_{\mathbf{V} \in \Omega^k} \psi(\mathbf{V}) \qquad (2)$$

с последующим определением наилучшей (по критерию (1)) из оценок $\hat{\mathbf{V}}^k$, $k = 1, 2, ..., K$.

Задача (2) значительно труднее рассмотренной в работе [1] по двум причинам.

Прежде всего, критерий оптимальности ψ в задаче (2) по природе зависимости безопасности полета $R = 1 - \psi(\mathbf{V})$ от маршрута представляет собой очень сложную многоэкстремальную функцию вектора параметров $\mathbf{V}$.

Далее, располагаемое для решения задачи (2) время априори не определено: для прокладки маршрута одной и той же системе может быть выделено от минут до нескольких часов (а наземной системе подготовки полетных заданий — и до нескольких суток) в зависимости от складывающейся оперативной обстановки.

2. ПРИНЦИПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Целесообразно так развить корреляционный метод [1], чтобы он позволял формировать оценки вектора высокой размерности в условиях многоэкстремальности задач типа (2) и в условиях дефицита времени, выделяемого на решение задачи, при априори неизвестной степени его дефицитности.

Такое развитие может быть получено на основе использования двух идей.

1. Решение многоэкстремальной задачи (2) определим как предел $\hat{\mathbf{V}}^k = \lim \hat{\mathbf{V}}^k_q$, $q \to \infty$, последовательности решений задач (индекс k в дальнейшем опускается):

$$\hat{\mathbf{V}}_q = \hat{\mathbf{V}}_{q-1} + \Delta\hat{\mathbf{V}}_q,$$

$$\Delta\hat{\mathbf{V}}_q = \arg\min_{\Delta\mathbf{V}_q} M\{\psi(\hat{\mathbf{V}}_{q-1} + \Delta\mathbf{V}_q + \mathbf{v}_q)\},$$

$$q = 1, 2, ..., \qquad (3)$$

где $\mathbf{v}_q$ — N-мерный случайный вектор с независимыми между собой компонентами, среднеквадратические значения которых линейно связаны с компонентами вектора $\Delta\hat{\mathbf{V}}_{q-1}$ так, что $|\mathbf{v}_q| \to 0$ при $q \to \infty$.

Критерии оптимальности в задачах (3) значительно глаже функции $\psi(\mathbf{V})$ и могут быть аппроксимированы унимодальными зависимостями (по аргументам $\Delta\mathbf{V}_q$) с тем, чтобы для решения задач (3) можно было использовать итерационным образом метод [1]. Но это, естественно, можно сделать лишь в случаях достаточно большого времени, располагаемого для решения всей оптимизационной задачи.

2. Процесс решения задачи организуем таким образом, чтобы при прерывании его в произвольный момент времени можно было представить некоторую промежуточную оценку вектора (с большей, естественно, погрешностью, чем ошибка завершенного решения задачи).

Эта промежуточная оценка должна быть в некотором смысле (см. § 3) наилучшей из всех оценок, которые можно было бы сформировать к текущему моменту времени решения задачи.

3. АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Основные пояснения принципов построения и действия разработанных алгоритмов оценивания вектора $\mathbf{V}$ высокой размерности проведем применительно к условиям задачи управления по критерию безопасности (алгоритм 1) с последующими уточнениями при приложении к задаче прогнозирования конечного состояния терминальной системы (алгоритм 2).

Алгоритм 1. При действии алгоритма реализуется итерационный процесс (3) оценивания вектора $\mathbf{V}$.

В начале q-го цикла работы алгоритма (*на шаге 1*) считаются известными значения предшествующих оценок $\hat{\mathbf{V}}_{q-1}$ и $\Delta\hat{\mathbf{V}}_{q-1}$ при $q > 1$, а также априорные значения $\hat{\mathbf{V}}_0 = \mathbf{V}^k$ вектора параметров магистрального маршрута и числа $\Delta^{(n)}$, $n = 1, 2, ..., N$, характеризующие размеры окрестности магистрального маршрута; на любом шаге итерационного процесса может поступить внешняя команда — запрос $\chi = 1$ на выдачу оценки $\hat{\mathbf{V}}$ вектора $\mathbf{V}$.

В каждом из последующих шагов итерационного цикла формируется s-е ($s = \upsilon - 1$, υ — номер шага) значение $\mathbf{v}_{qs} = (v_{qs}^{(1)}, v_{qs}^{(2)}, ..., v_{qs}^{(N)})$ вектора $\mathbf{v}_q$ и вычисляется соответствующее значение критерия $\psi(\hat{\mathbf{V}}_{q-1} + \mathbf{v}_{qs})$. Если бы заранее было известно, что сигнал χ поступит не ранее $(3N + 1)$-го шага q-го цикла итерации, то для определения оценки $\hat{\mathbf{V}}_q$ можно было бы непосредственно применить метод [3], предусматривающий формирование ортогональных векторов $\mathbf{v}_{qs}$, $s = 1, 2, ..., N$, на основе матрицы Адамара A размера $N \times N$. Набор $\{v_{qs}\}$ полученных при этом N векторов $\mathbf{v}_{qs}$ предельно равномерно заполняет задаваемую в окрестности $\hat{\mathbf{V}}_{q-1}$ область Ω_q возможных значений вектора $\mathbf{v}_q$. Поясним это обстоятельство несколько детальнее.

Считается, что область Ω_q определяется заданием среднеквадратических значений $\sigma_q^{(n)}$ составляющих $v_q^{(n)}$, $n = 1, 2, ..., N$, вектора $\mathbf{v}_q$ (см. шаг 2) и условием некоррелированности этих составляющих. Набор векторов $\mathbf{v}_{qs}$, $s = 1, 2, ..., N$, однозначно определяется матрицей Z чисел (индекс q здесь опускается), каждая s-я строка которой составлена из нормированных и безразмерных составляющих $z_{sn} = v_{qs}^{(n)}/\sigma_q^{(n)}$ вектора $\mathbf{v}_{qs}$. Равномерность заполнения области Ω_q векторами $\mathbf{v}_{qs}$ характеризуется разбросом расстояний $r_{s_1s_2}$ между вектор-строками и расстояний $\rho_{n_1n_2}$ между вектор-столбцами матрицы Z, где

$$r_{s_1s_2} = \sum_{n=1}^{N}(z_{s_1n} - z_{s_2n})^2, \quad \rho_{n_1n_2} = \sum_{s=1}^{S}(z_{sn_1} - z_{sn_2})^2$$

(в общем случае $S \leqslant N$; s_1, s_1, n_1, n_2 — произвольные номера строк и столбцов).

В методе [3] принимается $Z = A$, и тогда в силу ортогональности матрицы A по строкам и столбцам все расстояния $r_{s_1s_2}$ между любыми вектор-строками и $\rho_{n_1n_2}$ между любыми вектор-столбцами одинаковы, т. е. сформированные N векторов $\mathbf{v}_{qs}$ распределены в N-мерной области Ω_q предельно равномерно. Поэтому в случае, если сигнал χ поступит несколько раньше $(N - 1)$-го шага q-й итерации, то в качестве оценки вектора $\mathbf{V}$ на шаге υ правомерно будет принимать тот элемент ряда $\mathbf{V}_{q-1}$, $\mathbf{V}_{q-1} + \mathbf{v}_{q1}$, $\mathbf{V}_{q-1} + \mathbf{v}_{q2}$, ..., $\mathbf{V}_{q-1} + \mathbf{v}_{q(\upsilon-1)}$, который доставляет минимум функции $\psi(\cdot)$.

Если же сигнал χ поступает на одном из начальных шагов (шаге υ) q-й итерации, то реализуется лишь относительно небольшой фрагмент набора $\{\mathbf{v}_{qs}\}$, составленный из векторов $\mathbf{v}_{qs}$, $s = 1, 2, ..., S$, где $S = \upsilon - 1$. Эти векторы в общем случае весьма неравномерно распределены в области Ω_{q-1}, о чем свидетельствует разброс расстояний $\rho_{n_1n_2}$ между вектор-столбцами верхнего блока (размера $S \times N$) матрицы A.

Поэтому при формировании матрицы Z целесообразно учесть дополнительное требование, направленное на повышение равномерности распределения начального фрагмента (длиной $S = \upsilon - 1$) набора векторов $\{\mathbf{v}_{qs}\}$ и формализуемое условием

$$\min_{n_1n_2}\left\{\sum_{s=1}^{S}(z_{sn_1} - z_{sn_2})^2\right\} \to \max,$$

которое при $Z = A$, $|z_{sn}| = 1$ эквивалентно условию

$$\min_{n_1n_2}\left\{\sum_{s=1}^{S}\left|z_{sn_1} - z_{sn_2}\right|\right\} \to \max. \qquad (4)$$

Рассматривая z_{1n}, z_{2n}, ..., z_{Sn} как S-разрядный набор из -1 и $+1$, воспользуемся принятым в теории кодов понятием расстояния между двумя наборами, определяемого как число разрядов, в которых эти наборы различаются. Тогда условие (4) аналогично требованиям, предъявляемым к расстоянию между сообщениями в оптимальных кодах. Математический аппарат преобразования матриц A для выполнения этих требований представлен в работе [4].

При назначении в условии (4) числа S, когда время поступления сигнала χ априори не известно, следует исходить из стремления обеспечить равномерность распределения $\mathbf{v}_q$ на возможно более ранних этапах работы алгоритма, т. е. определять S как минимальное число, при котором задача (4) имеет решение. В представляемой далее формализации алгоритма, как и в работе [5], принимается $S = [\sqrt{N}]^*$, где $[\cdot]^*$ — целая часть числа.

Шаг 1 q-го цикла.

1. В качестве наилучшей на шаге принимается оценка $\hat{\mathbf{V}}_{q0} = \hat{\mathbf{V}}_{q-1}$ и вычисляется соответствующее ей значение критерия $J_{q0} = \psi(\hat{\mathbf{V}}_{q0})$.

2. Если $\chi = 1$, то $\hat{\mathbf{V}} = \hat{\mathbf{V}}_{q0}$, конец; если $\chi = 0$, то переход к следующему шагу.

Шаг 2 q-го цикла.

1. Для $q = 1$ устанавливается $\sigma_q^{(n)} = \Delta^{(n)}/\sqrt{3}$; для $q > 1$

$$\sigma_q^{(n)} = |\Delta\hat{V}_{q-1}^{(n)}|, \quad n = 1, 2, ..., N^*.$$

2. Формируется возмущение v_{q1} с координатами

$$v_{q1}^{(n)} = \sigma_q^{(n)} \vartheta_{1d}\lambda_{1g}, \quad n = 1, 2, ..., N,$$

где $d = n + 1 + S[n/S]^*$, $g = [n/S]^* + 1$; ϑ_{td} и λ_{tg} — элементы образуемых в соответствии с работой [4] матриц Адамара Θ и Λ.

3. Вычисляется значение критерия $J_{q1} = \psi(\hat{\mathbf{V}}_{q1})$, где $\hat{\mathbf{V}}_{q1} = \hat{\mathbf{V}}_{q-1} + \mathbf{v}_{q1}$, и устанавливаются начальные значения кумулятивных сумм

$$\psi_{q1}^{(n)} = J_{q1} v_{q1}^{(n)}, \quad n = 1, 2, ..., N.$$

4. Определяется наилучшая на шаге оценка

$$\hat{\mathbf{V}}_{q1} := \begin{cases} \hat{\mathbf{V}}_{q0}, \text{ если } J_{q0} \le J_{q1}, \\ \hat{\mathbf{V}}_{q1}, \text{ если } J_{q0} > J_{q1} \end{cases}$$

и соответствующее ей значение критерия

$$J_{q1} := \begin{cases} J_{q0}, \text{ если } J_{q0} \le J_{q1}, \\ J_{q1}, \text{ если } J_{q0} > J_{q1}. \end{cases}$$

5. Если $\chi = 1$, то $\hat{\mathbf{V}} = \hat{\mathbf{V}}_{q1}$, конец;
если $\chi = 0$, то переход к следующему шагу.

Замечание 1. Величина $\sigma_1^{(n)}$, $n = 1, 2, ..., N$ в операции 1 шага 2 назначается в предположении равномерности априорного распределения вероятностей величин $v_1^{(n)}$ в интервале $(-\Delta^{(n)}, +\Delta^{(n)})$. ♦

Шаг υ ($\upsilon = 3,4, ..., 3N + 1$) *q-го цикла.*

1. Формируется возмущение v_{qs} ($s = \upsilon - 1$) с координатами:

а) при $\upsilon = 3,4, ..., N + 1$

$$v_{qs}^{(n)} = \sigma_{qs}^{(n)} \vartheta_{td}\lambda_{tg}\lambda_{pg},$$

где $t = s - S[(s - 1)/S]^*$, $p = [(s - 1)/S]^* + 1$; значения d и g указаны в шаге 2;

б) при $\upsilon = N + 2, N + 3, ..., 2N + 1$

$$v_{qs}^{(n)} = \begin{cases} \sigma_q^{(n)}, \text{ если } s-(N+1) = n, \\ 0, \text{ если } s-(N+1) \ne n; \end{cases}$$

в) при $\upsilon = 2N + 2, 2N + 3, ..., 3N + 1$

$$v_{qs}^{(n)} = \begin{cases} -\sigma_q^{(n)}, \text{ если } s-(2N+1) = n, \\ 0, \text{ если } s-(2N+1) \ne n. \end{cases}$$

2. Вычисляется значение критерия $J_{qs} = \psi(\hat{\mathbf{V}}_{qs})$, $\hat{\mathbf{V}}_{qs} = \hat{\mathbf{V}}_{q-1} + \mathbf{v}_{qs}$:

а) при $\upsilon = 3, 4, ..., N + 1$ вычисляются значения кумулятивных сумм

$$\psi_{qs}^{(n)} = \psi_{q(s-1)}^{(n)} = J_{qs} v_{qs}^{(n)}, \quad n = 1,2, ..., N;$$

б) при $\upsilon = N + 2, N + 3, ..., 2N + 1$ формируется для $n = s - (N + 1)$ величина $l^{(n)} = J_{qs}$ ($s = \upsilon - 1$);

в) при $\upsilon = 2N + 2, 2N + 3, ..., 3N + 1$ формируется для $n = s - (2N + 1)$ величина $m^{(n)} = J_{qs}$ ($s = \upsilon - 1$).

3. Определяется наилучшая на шаге оценка

$$\hat{\mathbf{V}}_{q1} := \begin{cases} \hat{\mathbf{V}}_{q(s-1)}, \text{ если } J_{q(s-1)} \le J_{qs}, \\ \hat{\mathbf{V}}_{qs}, \text{ если } J_{q(s-1)} > J_{qs} \end{cases}$$

и соответствующее ей значение критерия

$$J_{qs} := \begin{cases} J_{q(s-1)}, \text{ если } J_{q(s-1)} \le J_{qs}, \\ J_{qs}, \text{ если } J_{q(s-1)} > J_{qs}. \end{cases}$$

4. Если $\chi = 1$, то $\hat{\mathbf{V}} = \hat{\mathbf{V}}_{qs}$, конец;
если $\chi = 0$, $q > 1$, $\upsilon = N + 1$, то переход к шагу $3N + 1$,
в других случаях — переход к следующему шагу.

Замечание 2. Как следует из условий операции 4 шага υ, выполнение шагов $N + 2, N + 3, ..., 3N + 1$ и формирование величин $l^{(n)}$ и $m^{(n)}$ производятся только в первом цикле итераций (при $q = 1$); в остальных циклах число шагов не превышает $N + 2$.

Шаг $3N + 2$ *q-го цикла.*

1. Определяется наилучшая в цикле оценка $\hat{\mathbf{V}}_q$ с координатами $\hat{V}_q^{(n)} = \hat{V}_{q-1}^{(n)} + \Delta\hat{V}_q^{(n)}$, $n = 1, 2, N$, где

$$\Delta\hat{V}_q^{(n)} = \frac{\psi_{qN}^{(n)}}{N(2J_{q0} - l^{(n)} - m^{(n)} - \beta)}, \quad n = 1, 2, N;$$

здесь параметр β априори выбирается, как и в работе [3], из условия, чтобы оценки вектора $\mathbf{V}$ не выходили за пределы области Ω^k.

2. Если $\chi = 1$, то $\hat{\mathbf{V}} = \hat{\mathbf{V}}_q$, конец;
если $\chi = 0$, то переход к $(q + 1)$-му циклу итерации. ■

Здесь изложен алгоритм решения только одной из однотипных задач (индекс k в данном разделе опущен), составляющих общую задачу прокладки маршрута по критерию безопасности R. Порядок объединения алгоритмов параллельного решения K задач в единый очевиден и не требует пояснений.

Представленный алгоритм реализует, вообще говоря, процедуру приближенного решения поставленной задачи: для сходимости последовательности (3) к глобальному экстремуму (2) необходимо выполнение довольно жестких условий, накладываемых на коэффициенты связи вероятностных характеристик вектора $\mathbf{v}_q$ с вектором $\Delta\mathbf{V}_q$. Эти условия в статье не рассматриваются. Данный же вариант алгоритма в практических приложениях обеспечивает поиск всего лишь локального экстремума задачи, но вблизи глобального экстремума сглаженного исходного критерия.

Область возможных применений изложенного подхода заведомо шире класса задач управления по критерию безопасности R. В частности, при терминальном управлении некоторыми технологическими процессами в химической и фармакологической отраслях промышленности интервалы времени между моментами i проведения коррекций процесса оказываются меньшими времени, потребного для формирования оптимальных управляющих команд. Применительно к таким случаям алгоритм модифицируется следующим образом.

Алгоритм 2. Прежде всего, номер цикла итерации здесь жестко привязывается к номеру интервала квантования дискретной терминальной системы: $q = i$ (соответствующим образом должно быть перестроено условие перехода от цикла к циклу).

Далее, для терминальных систем априори известно число S_i шагов, выполняемых в цикле итерации, т. е. размещаемых в интервале между дискретными моментами времени i и i +1 (поэтому условие (4) здесь должно соблюдаться для числа S_i, а не для минимально возможного числа $S = [\sqrt{N}]^*$).

Кроме того, задачи терминального управления в исходной постановке чаще всего оказываются статистическими, и поэтому здесь с увеличением номера итерации среднеквадратическое значение $\sigma_q^{(n)}$ возмущений $v_q^{(n)}$, n = 1, 2, ..., N, должно приближаться не к нулю, а к условному среднеквадратическому значению ошибки оптимального оценивания координаты $V^{(n)}$ вектора **V**.

Соответствующие уточнения в алгоритме очевидны.

И наконец, в зависимости от размерности решаемых задач алгоритм перестраивается посредством формирования матриц Θ и Λ из множества возможных матриц Адамара. ▪

Пример. Ограничимся представлением примера матриц Θ и Λ, сформированных в соответствии с работой [4], для использования при оптимизации N-мерного вектора параметров маршрута полета применительно к случаю N = 64.

Матрица Θ

$$\begin{matrix}
+1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\
+1 & +1 & -1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\
+1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 \\
+1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 \\
+1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & +1 & -1 \\
+1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & +1 \\
+1 & -1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 \\
+1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1
\end{matrix}$$

Матрица Λ

$$\begin{matrix}
+1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\
+1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\
+1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\
+1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\
+1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
+1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\
+1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\
+1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1
\end{matrix}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена процедура оценивания вектора высокой размерности, объединяющая ранее разработанный корреляционный метод поиска глобального экстремума в пространстве возмущений с методом формирования максимально различимых между собой вариантов вектора возмущений. При остром дефиците времени решения задачи предложенная процедура приводит к алгоритму выбора наилучшего из просмотренных вариантов оцениваемого вектора, а при увеличении располагаемого времени решения она трансформируется в алгоритм корреляционного поиска наилучшего из всех возможных вариантов оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андриенко А.Я., Тропова Е.И., Чадаев А.И.* Методы анализа результатов летных испытаний бортовых систем управления // Автоматика и телемеханика. — 2010. — № 5. — С. 155—165 .
2. *Maroon G.N., Duongh N.G., Maschec T.J.* Tactical flight management — total mission capability // Proc. IEEE Nat. Aerosp. and Electron Cong., NAECON, 1984. — Dayton, Ohio. N.-Y., 1984. — P. 496—502.
3. *Андриенко А.Я.* Метод оценивания вектора возмущений в задаче прогнозирования конечного состояния терминальной системы управления // Автоматика и телемеханика. — 1996. — № 3. — С. 71—82.
4. *Левенштейн В.И.* Применение матриц Адамара к одной задаче кодирования // Проблемы кибернетики. — 1961. — Вып. 5. — С. 22—29.
5. *Бортовые* терминальные системы управления / Б.Н. Петров и др. — М.: Машиностроение, 1983. — 200 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Б.В. Павловым.

Андриенко Анатолий Яковлевич — д-р техн. наук, зав. лабораторией,

Тропова Елена Ивановна — науч. сотрудник,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎ (495) 334-88-71, ✉ vlaguc@ipu.rssi.ru.