Структура его такова, что обеспечивает замену файлов рабочих баз и exe-файлов пакета прикладных программ ввода и обработки данных без перекомпиляции главной программы. Это позволяет пополнять базы данных с помощью файлов, переданных по сети Internet.

Методическое обеспечение системы представлено следующими документами:

– "Положение о порядке проверки технического состояния и работоспособности морских аварийных радиобуев, работающих на частоте 406,025 МГц (АРБ-406) Международной спутниковой системы КОСПАС-САРСАТ";

– "Автоматизированная система управления процессами обработки данных от АРБ-406. Руководство оператора".

В настоящее время идет подготовка к внедрению первой очереди разработанной системы. В ходе предполагаемых работ в крупных портах Украины будут созданы локальные центры по обслуживанию и сопровождению АРБ, построенные на основе разработанной системы в виде "Автоматизированного рабочего места оператора по обслуживанию АРБ-406", которое уже сертифицировано Морским Регистром судоходства.

Литература: 1. *Краснодубец Л.А., Новикова Ю.Л.* Информационное обеспечение автоматизированной системы контроля состояния морских аварийных радиобуев "КОСПАС"// Сб. науч. тр. / Севастоп. гос. техн. ун-т. 1996. Вып.1. С. 121-124.

Поступила в редколлегию 22.07.98

Рецензент: д-р техн. наук Гайский В.А.

Краснодубец Леонид Андреевич, канд. техн. наук, доцент департамента технической кибернетики Севастопольского государственного технического университета. Адрес: 335000, Украина, Севастополь, ул. Ленина, 40, кв. 16, тел. 23-50-14, 52-09-42 (д).

УДК 519.6

УЛУЧШЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

ГРИЦЮК В. И.

Представлены алгоритмы для оценки переменного во времени параметрического вектора, которые в определенных случаях включают коррекцию полученных значений оценки. Необходимые поправки вводятся таким образом, чтобы сохранялись первоначальные свойства сходимости алгоритма оценки. Вычислительное воплощение алгоритмов коррекции основывается на численно устойчивых алгоритмах факторизации и ортогонализации.

Исследуем проблему включения априорных данных процесса относительно области пребывания переменного во времени вектора параметров или некоторых его элементов в алгоритм оценки методом наименьших квадратов (МНК). Улучшенные подобным образом алгоритмы оценок применяются в робастном адаптивном управлении [1,2].

Априорное знание о процессе, что переменный во времени параметрический вектор θ_k при любых k находится в допустимой области Ω, может быть доступным и для адаптивного регулятора, если оно учитывается во время оценки параметров.

Под процессом оценки параметров подразумевается собственная оценка переменных во времени параметров с помощью подходящего для этого алгоритма [3] плюс необходимая в определенных случаях коррекция полученных значений оценки. Для сохранения глобальной сходимости первоначального алгоритма оценки методом НК можно свести определение поправки к решению задачи минимизации с учетом дополнительных условий.

В основе решения лежит следующая взаимосвязь, известная из теории выпуклых множеств. Между $\vartheta_0 \notin \Gamma$ ($\Gamma \subset R^m$ -выпуклое замкнутое множество в **m**-мерном евклидовом пространстве R^m; $\vartheta_1 \in \Gamma$ — точка с минимальным расстоянием от ϑ_0) и каждым $\vartheta \in \Gamma$ существует соотношение

$$\left(\vartheta - \vartheta_1^\Gamma\right)^T (\vartheta - \vartheta_1^\Gamma) \prec \left(\vartheta - \vartheta_0\right)^T (\vartheta - \vartheta_0). \quad (1)$$

Связь между квадратом использованной в (1) евклидовой и использованной в соотношении

$$(\theta_k - \hat{\theta}_k^\Omega)^T P_k^{-1} (\theta_k - \hat{\theta}_k^\Omega) \le (\theta_k - \hat{\theta}_k)^T P_k^{-1} (\theta_k - \hat{\theta}_k), \quad (2)$$

являющемся достаточным условием сходимости, эллиптической векторной нормой ($\hat{\theta}_k^\Omega \in \Omega$) осуществляется через линейное отображение R^m на себя. Предполагается выпуклость Ω:

$$\vartheta = P_k^{-1/2}\theta, \quad P_k^{1/2} P_k^{T/2} = P_k = P_k^T \succ 0, \quad (3)$$

причем $P_k^{1/2}$ представляет не обязательно симметричный корень из $P_k \in R^{m,m}$. Теперь можно определить граничную точку $\hat{\vartheta}_k^\Gamma$ с минимальным расстоянием от $\hat{\vartheta}_k$ и с помощью обратного преобразования получить искомое $\hat{\theta}_k^\Omega$ со свойством (2). Данная идея в этой связи впервые была рассмотрена в [1]. Она используется ниже, когда Ω описывает полиэдральную область

$$\Omega = \left\{\theta \in R^m : \ a_j^T \theta \ge b_j, j = 1,...n\right\}, \quad (4)$$

P_k имеется в UDU^T разложении и для алгоритмов коррекции в целях увеличения точности применяются развиваемые устойчивые алгоритмы факторизации и ортогонализации.

Применение обратного к (3) отображения $\theta = P_k^{1/2}\vartheta$ на (4) дает

$$\Gamma = \left\{\vartheta \in R^m : \ a_j^T P_k^{1/2} \vartheta \ge b_j, \ j = 1,...n\right\}. \quad (5)$$

Экстремальная точка $\hat{\vartheta}_k^\Gamma$ минимизирует расстояние $\left\|\vartheta^\Gamma - \hat{\vartheta}_k\right\|$, причем действующие в точке $\hat{\vartheta}_k^\Gamma$

ограничения сами неизвестны. Решение этой проблемы состоит в следующем: исходя из выбранной подходящим образом граничной точки ϑ_0^Γ и множества индексов $\hat{I}_0 = I(\vartheta_0^\Gamma)$ в протекающем на границе Γ процессе поиска

$$\vartheta_i^T = \vartheta_{i-1}^T + \alpha_i \rho_i^*, \tag{6}$$

улучшать поэтапно множество индексов $\hat{I}_0$ таким образом, чтобы оно после конечного числа шагов перешло в искомое множество индексов, действующих в экстремальной точке $\hat{\vartheta}_k^\Gamma$ ограничений, чтобы вычислить само $\hat{\vartheta}_k^\Gamma$. Этот образ действий называется методом активных ограничений (active set method). Изменение множества индексов $\hat{I}_{i-1}$ ограничивается вычеркиванием или добавлением одного индекса. Оно получается во время расчета α_i или может быть выведено из чисел λ_j, определяемых из условия

$$g(\vartheta_i^\Gamma) = \frac{\partial f(\vartheta)}{\partial \vartheta}\bigg|_{\vartheta=\vartheta_i^\Gamma} = \sum_{j\in \hat{I}_{i-1}} P_k^{T/2} a_j \lambda_j. \tag{7}$$

Исследуем вектор направления ρ_i^* и собранные в векторе $\lambda_i \in R^r$ числа λ_j при минимизации функции, эквивалентной в отношении минимума $f(\vartheta) = \frac{1}{2}\left\|\vartheta - \hat{\vartheta}_k\right\|^2$ $(\vartheta = P_k^{-1/2}\theta,\ \theta \in \Omega)$ в методе, где ρ_i^* принадлежит ядру H_i^T ($H_i^T = A_i^T P_k^{1/2}$), столбцы матрицы A_i линейно независимы. Рангом r $(1 \le r \le m)$ матрицы A_i одновременно дается число активных ограничений.

Для увеличения точности предлагается метод ортогонального разложения, основанный на быстрых преобразованиях Гивенса без квадратных корней. Здесь в случае преобразования матрицы H_i используем соотношение

$$G_i D_k^{1/2} U_k^T A_i = \underline{\underline{R_1}} = \left(\frac{D_1^{1/2} R_1}{0}\right). \tag{8}$$

Тогда

$$H_i = G_i^T \left(\frac{D_1^{1/2} R_1}{0}\right) = \left(Q_1 \mid Q_2\right)\left(\frac{D_1^{1/2} R_1}{0}\right);$$

$$Q_1 \in R^{m,r},\ Q_2 \in R^{m,m-r},\ \underline{\underline{R_1}} \in R^{r,r}. \tag{9}$$

Числа λ_j при известном ϑ_i^* можно определить из условия

$$\underline{D}_1^{1/2}\,\underline{R}_1 \lambda_i = Q_1^T g(\vartheta_i^*). \tag{10}$$

В методе, в котором исследуется ортогональная проекция $\hat{\vartheta}_k$ на ядро H^T, симметричная положительно определенная матрица разлагается с помощью модифицированного метода Гивенса без квадратных корней. В этом случае для преобразования произвольной матрицы C_1 в матрицу $\tilde{C}_1 = GC_1 = D_1^{1/2} C_2$ для элементов матрицы с $b_{j,i} \ne 0$ используем уравнение $l_{M-j}^2 = l_{M-j-1}^2 + d_j b_{j,M}^2$, элементы α_i и $\tilde{\alpha}_i$ матрицы C_2 для j строки вычисляются по формулам

$$\alpha_i = (b_{j,i} l_{M-j-1}^2 + d_j b_{j,M} b_{j,i}) / l_{M-j}^2; \tag{11}$$

$$\tilde{\alpha}_i = b_{j,i} - b_{j,M} b_{N,i}, \tag{12}$$

где $$l_1^2 = b_{N,M}^2 d_N + b_{N-1,M}^2 d_{N-1} \tag{13}$$

для $N-1$ строки вычисляется через элементы $C_1 = D^{1/2} B$. Для $2 \times M$ матрицы

$$\tilde{\alpha}_i = b_{1,i} b_{2,M} - b_{1,M} b_{2,i}. \tag{14}$$

После вычислении N строк для последнего столбца преобразованная диагональная матрица представляется как

$$D_1 = \begin{bmatrix} l_{m-2}^2 d_1 / l_{m-1}^2 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & d_j l_{m-j-1} / l_{m-j}^2 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots\ d_m d_{m-1} / l_1^2 & & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & l_{m-1}^2 \end{bmatrix}. \tag{15}$$

Точка минимума θ_i^* определяется при известном λ_i:

$$\theta_i^* = \hat{\theta}_k + U_k D_k U_k^T A_i \lambda_i. \tag{16}$$

Для вычисления λ_i используем соотношение

$$G_i^T \left[D_k^{1/2} U_k^T A_i\right] = \left(\frac{0}{\tilde{D}_i^{1/2} \tilde{R}_i^T}\right), \quad \tilde{D}_i, \tilde{R}_i \in R^{r,r}.$$
$$\lambda_i = \tilde{R}_i^{-T} \tilde{D}_i^{-1} \tilde{R}_i^{-1} (b_i - A_i^T \hat{\theta}_k). \tag{17}$$

Полученные алгоритмы имеют оптимальное время счета, повышенную точность и устойчивость.

Литература: 1. *Middleton R. H., Goodwin G. C., Hill D. J., Mayne D. Q.* Design issues in adaptive control // IEEE Transactions on Automatic Control.1988. V.33, N.1. P. 50-58. 2. Goodwin *G. C., Hill D. J., Palaniswami M.* A perspective on convergence of adaptive control algorithms. // Automatica. 1984. V. 20, N. 5. P. 519 - 532. 3. *Грицюк В. И.* Рекуррентная факторизованная идентификация динамических объектов // Прогр. и аннот. докл. Международной школы. Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами. 1992. 10 с.

Поступила в редколлегию 11.03.98

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Тильчин О.Т.

Грицюк Вера Ильинична, канд. техн. наук, докторант ХТУРЭ. Научные интересы: стохастические системы управления. Хобби: музыка, литература. Адрес: 310726, Украина, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-06.