УДК 519.714.2
ББК 32.965.5

ИДЕНТИФИКАЦИЯ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С РЕДКИМИ ОШИБКАМИ ИЗМЕРЕНИЯ

Гусев С.С.[1]
(*ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва*)

Рассматривается алгоритм идентификации динамического объекта с априорными ограничениями объекта управления. В статье исследуется работа специального алгоритма идентификации, учитывающего имеющуюся информацию о параметрах объекта управления. Алгоритм требует использования большого объема вычислительных ресурсов. Однако в наше время такие вычислительные мощности доступны большинству пользователей. Исследуется работа алгоритма при наличии помехи при измерении выхода. Анализируется связь точности идентификации и величины ошибки измерения.

Ключевые слова: идентификация, ограничения, динамический объект, оценки параметров, редкие ошибки.

1. Введение

Качество идентификации объекта управления в значительной степени определяет и качество управления сложным объектом. Большую роль при этом играет учет априорной информации о структуре и параметрах объекта [6].

---

[1] *Сергей Сергеевич Гусев, соискатель (gs-serg@mail.ru).*

Актуальность работы, посвященной разработке и исследованию алгоритмов идентификации объектов управления, обусловлена тем, что в современных системах управления используется модель объекта управления, а точность модели в большой степени определяет точность и эффективность всей системы управления. Вопрос идентификации динамических объектов управления является актуальным еще и потому, что зачастую проектировщики обладают малой априорной информацией об объекте исследования [1], вследствие чего возникает необходимость определения оценок параметров объекта управления по имеющейся информации об объекте. При этом представляется, что информация об объекте содержит ошибки, которые могут быть как систематическими, частыми, редкими и другого вида. В данном конкретном случае в работе приводятся редкие ошибки измерения.

В настоящее время известны алгоритмы, использующие априорную информацию для идентификации класса линейных объектов [2], отличающихся разным видом помех. В данном конкретном случае рассматривается объект управления с редкими ошибками измерения. Однако точность прогнозирования параметров выходной переменной объекта управления с редкими ошибками измерения с использованием известных алгоритмов недостаточна. Сказанное подтверждает актуальность совершенствования методов и алгоритмов идентификации объектов управления использованием исходных экспериментальных данных.

Наличие априорной информации [4] об объекте управления характеризует структуру его модели и ее параметры. Как хорошо известно [5], в зависимости от априорной информации об объекте управления задачи идентификации разделяют на задачи в узком и широком смысле.

Задача идентификации в узком смысле состоит в оценивании параметров и состояния системы по результатам наблюдений над входными и выходными переменными, полученными в условиях функционирования объекта управления. При этом часто известна структура системы и задан класс моделей, к которому данный объект управления относится. Как хорошо известно, в этом случае априорная информация об объекте управления с редкими ошибками измерения должна быть достаточно большой.

При рассмотрении задачи идентификации в широком смысле априорная информация об объекте либо отсутствует, либо слишком мала. Поэтому приходиться решать предварительно дополнительные задачи. Как хорошо известно, к таким задачам могут относиться выбор структуры системы и задание класса моделей, оценивание линейности объекта управления и действующих переменных, оценивание степени и формы влияния входных переменных на выходные и др.

На практике неизвестный объект редко рассматривается как «черный ящик». В большинстве случаев имеется априорная информация о свойствах объекта, которая следует из физических, технических, технологических и других условий. Эта информация существенно сужает область поисков неизвестных параметров объекта управления.

Если используется какая-либо известная процедура идентификации в результате которой по экспериментальным данным о входах и выходе объекта получены оценки его параметров, то можно проверить соответствие оценок априорным ограничениям объекта управления. То есть проверка производится после идентификации.

В статье исследуется работа специального алгоритма идентификации, учитывающего определенную информацию о параметрах. Исследуется работа алгоритма при наличии редких помех при измерении выхода. Анализируется связь точности идентификации и величины ошибки измерения.

2. Постановка задачи

Требуется разработать процедуру определения по экспериментальным данным оценок параметров динамического объекта типа (1), учитывая при этом информацию соответствия модели объекту.

Уравнение динамического объекта имеет следующий вид:

(1) $$y(t) = \sum_{i=1}^{a} h_i x(t-i) + \sum_{i=1}^{b} h_{a+i} y(t-i),$$

где $y(t)$ – скалярный выход объекта в момент времени t, $x(t)$ - скалярный вход объекта в момент времени t, h_i - i-ый неизвестный параметр объекта, a - глубина памяти по входу, b - глубина памяти по выходу.

Уравнению (1) соответствует схема на рис.1.

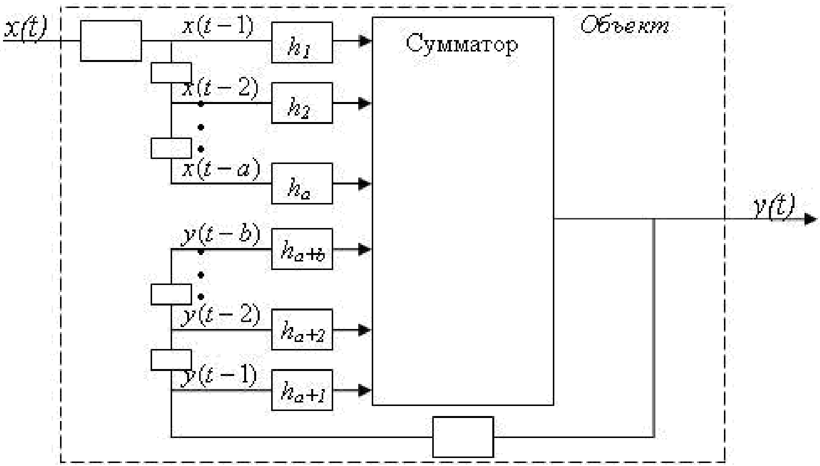

Рис. 1. Динамический объект с одной входной переменной $x(t)$ и выходной переменной $y(t)$

Модель объекта будем искать в виде:

(2) $$y^*(t) = \sum_{i=1}^{a} k_i x(t-i) + \sum_{i=1}^{b} k_{a+i} y(t-i),$$

где $y^*(t)$ - оценка выхода объекта, k_i - оценки неизвестных параметров h_i,

$i=(1,2 \ldots n)$,

$n=a+b$.

Обозначим:

$X(t)=\|x(t\text{-}1)\ x(t\text{-}2)\ \ldots\ x(t\text{-}a+1)\ x(t\text{-}a)\|$ – вектор-строка входных переменных размерности a,
$Y(t)=\|y(t\text{-}1)\ y(t\text{-}2)\ \ldots\ y(t\text{-}b+1)\ y(t\text{-}b)\|$ – вектор-строка выходных переменных размерности b,
$H=\|h(1)\ h(2)\ \ldots\ h(a\text{-}1)\ h(a)\ h(a+1)\ \ldots\ h(a+b\text{-}1)\ h(n)\|$ – вектор-строка неизвестных параметров объекта размерности n,
$K=\|k(1)\ k(2)\ \ldots\ k(a\text{-}1)\ k(a)\ k(a+1)\ \ldots\ k(a+b\text{-}1)\ k(n)\|$ – вектор-строка оценок неизвестных параметров объекта размерности n.
Введем вектор-строку $Z(t)$ размерности n.
$Z(t)=\|x(t\text{-}1)\ x(t\text{-}2)\ \ldots\ x(t\text{-}a)\ y(t\text{-}1)\ y(t\text{-}2)\ \ldots\ y(t\text{-}b)\|$.

В новых обозначениях уравнения объекта (1) и модели (2) примут вид

$$y(t)=HZ^T(t),$$

$$y^*(t)=KZ^T(t).$$

Возможно и другое представление объекта (1) и модели (2).

Обозначим:
$X(t)=\|x(t\text{-}1)\ x(t\text{-}2)\ \ldots\ x(t\text{-}a+1)\ x(t\text{-}a)\|$ – вектор-строка входных переменных размерности a,
$Y(t)=\|y(t\text{-}1)\ y(t\text{-}2)\ \ldots\ y(t\text{-}b+1)\ y(t\text{-}b)\|$ – вектор-строка выходных переменных размерности b,
$H_1=\|h(1)\ h(2)\ \ldots\ h(a)\|$ – вектор-строка неизвестных параметров объекта размерности a,
$H_2=\|h(a+1)\ h(a+2)\ \ldots\ h(n)\|$ – вектор-строка неизвестных параметров объекта размерности b,
$K_1=\|k(1)\ k(2)\ \ldots\ k(a)\|$ - оценки параметров объекта при входных переменных $X(t)$,
$K_2=\|k(a+1)\ k(a+2)\ \ldots\ k(n)\|$ - оценки параметров объекта при выходных переменных $Y(t)$.

Тогда уравнения объекта (1) и модели (2) примут вид

$$y(t)=X(t)H_1^T+Y(t)H_2^T,$$

$$y^*(t)=X(t)K_1^T+Y(t)K_2^T,$$

Даны экспериментальные данные в виде таблицы 1.

Таблица 1. Исходные данные

t	*x*	*y*

1	$x(1)$	$y(1)$
2	$x(2)$	$y(2)$
…	…	…
i	$x(i)$	$y(i)$
…	…	…
s	$x(s)$	$y(s)$

По экспериментальным данным, приведенным в таблице 1, известной структуре объекта (1) и априорной информации о принадлежности параметров объекта к области G, необходимо получить оценки K параметров объекта.

Известно, что все измерения входа $x(t)$ производятся без ошибок, а среди некоторых измерений выхода $y(t)$ присутствуют ошибки, но где они располагаются – неизвестно.

3. Алгоритм идентификации

Для реализации алгоритма идентификации динамического объекта управления необходимо будет преобразовать данные, приведенные в таблице 1, к виду, в котором выход $y(t)$ зависел бы только от переменных в этой же строке, как это показано в таблице 2.

В таблице 2 приняты обозначения:

$x_{ij}=x(t\text{-}j)$; $t=1,2,\dots,s$; $i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,a$;

$y_{im}=y(t\text{-}m)$; $t=1,2,\dots,s$; $i=1,2,\dots,n$; $m=1,2,\dots,b$.

А в строке заголовков:

$x_j=x(t\text{-}j)$; $t=1,2,\dots,s$; $j=1,2,\dots,a$;

$y_m=y(t\text{-}m)$; $t=1,2,\dots,s$; $m=1,2,\dots,b$.

Таблица 2. Исходные данные, преобразованные для идентификации

n	x_1	x_2	...	x_a	y_1	y_2	...	y_b	$y(t)$
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}	y_1
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}	y_2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
i	x_{i1}	x_{i2}	...	x_{in}	y_{i1}	y_{i2}	...	y_{in}	y_i

…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
s	x_{s1}	x_{s2}	…	x_{sn}	y_{s1}	y_{s2}	…	y_{sn}	y_s

Таблице 2 соответствует матрица

$$A = \begin{Vmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} & y_1 \\ 2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} & y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ i & x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} & y_{i1} & y_{i2} & \dots & y_{in} & y_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s & x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sn} & y_{s-n} & y_{s2} & \dots & y_{sn} & y_s \end{Vmatrix},$$

Введем в рассмотрение матрицу A_0, отличающуюся от матрицы A отсутствием первого столбца.

$$(3)\quad A_0 = \begin{Vmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} & y_1 \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} & y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} & y_{i1} & y_{i2} & \dots & y_{in} & y_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sn} & y_{s1} & y_{s2} & \dots & y_{sn} & y_s \end{Vmatrix}.$$

Алгоритм идентификации состоит в следующем. Из матрицы исходных данных (3) выбираются блоки из произвольных n строк (по размерности объекта). Предполагается, что определители всех блоков не равны нулю. Для каждого блока составляется система уравнений. Ниже приведен первый из таких блоков:

$$k_1x_{11}+k_2x_{12}+\ldots+k_ax_{1n}+k_{a+1}y_{11}+k_{a+2}y_{12}+\ldots+k_ny_{1n}=y_1$$
$$k_1x_{21}+k_2x_{22}+\ldots+k_ax_{2n}+k_{a+1}y_{21}+k_{a+2}y_{22}+\ldots+k_ny_{2n}=y_2$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$
$$(4)\quad k_1x_{i1}+k_2x_{i2}+\ldots+k_ax_{in}+k_{a+1}y_{i1}+k_{a+2}y_{i2}+\ldots+k_ny_{in}=y_i$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$
$$k_1x_{n1}+k_2x_{n2}+\ldots+k_ax_{nn}+k_{a+1}y_{n1}+k_{a+2}y_{n2}+\ldots+k_ny_{nn}=y_n$$

По этому блоку данных строится система нормальных уравнений

$$X^T(t)X(t)K_1^T + X^T(t)Y(t-i)K_2^T = X^T(t)Y(t)$$

и вычисляются МНК [3] оценки K параметров объекта (1).

Из матрицы (3) можно получить C_s^n таких n-мерных блоков, для каждого из которых строится свой вектор оценок параметров объекта (1).

Таблица 3. Результаты идентификации по всем возможным n-мерным блокам

№	Набор из любых n строк				Оценки параметров							
	n_1	n_2	…	n_n	k_1	k_2	…	k_a	k_{a+1}	k_{a+2}	…	k_n
1	a_{11}	a_{12}	…	a_{1n}	k_{11}	k_{12}	…	k_{1a}	$k_{1(a+1)}$	$k_{1(a+2)}$	…	k_{1n}
2	a_{21}	a_{22}	…	a_{2n}	k_{21}	k_{22}	…	k_{2a}	$k_{2(a+1)}$	$k_{2(a+2)}$	…	k_{2n}
...	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
i	a_{i1}	a_{i2}	…	a_{in}	k_{i1}	k_{i2}	…	k_{ia}	$k_{i(a+1)}$	$k_{i(a+2)}$	…	k_{in}
...	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
L	a_{L1}	a_{L2}	…	a_{Ln}	k_{L1}	k_{L2}	…	k_{La}	$k_{L(a+1)}$	$k_{L(a+2)}$	…	k_{Ln}

Таблице 3 соответствует матрица B, содержащая C_s^n строк и $2n$ столбцов и имеющая вид

$$(5)\quad B = \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1a} & k_{1(a+1)} & k_{1(a+2)} & \dots & k_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2a} & k_{2(a+1)} & k_{2(a+2)} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{L1} & a_{L2} & \dots & a_{Ln} & k_{L1} & k_{L2} & \dots & k_{La} & k_{L(a+1)} & k_{L(a+2)} & \dots & k_{Ln} \end{Vmatrix}$$

где $L = C_s^n$.

В каждой строке матрицы B в первых n позициях перечислены номера строк a_{ij} матрицы A (i – номер строки матрицы B, j – номер строки матрицы A), использованные для вычисления n оценок k_{ij} таблицы 2, вычисленных по этим строкам и расположенных в (4) на последних n позициях. Априорное условие (3) учитывается путем вычеркивания из (4) всех строк, в которых оценки k не удовлетворяют условию

$k \in G$,

где

$k_i = \| k_{i1}\ k_{i2} \ldots k_{in} \|$, $i=(1,2 \ldots L)$.

В результате после вычеркивания N строк из матрицы B получим матрицу

$$B_0 = \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} & k_{11} & k_{12} & \ldots & k_{1a} & k_{1(a+1)} & k_{1(a+2)} & \ldots & k_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} & k_{21} & k_{22} & \ldots & k_{2a} & k_{2(a+1)} & k_{2(a+2)} & \ldots & k_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{N1} & a_{N2} & \ldots & a_{Nn} & k_{N1} & k_{N2} & \ldots & k_{Na} & k_{N(a+1)} & k_{N(a+2)} & \ldots & k_{Nn} \end{Vmatrix}$$

$k_i \in G$,

где $N \leq L$.

Введем вектор частости w, размерности s, имеющий вид

$w = \| w(1)\ w(2) \ldots w(s) \|$,

где $w(j)$ - частота использования номера j-ой строки матрицы A в матрице B_0 (напомним, в матрице B_0 элементы a_{ij} - номера строк матрицы A).

Введем новую матрицу F, отличающуюся от A тем, что в нее добавлен вектор-столбец w

$$F = \begin{Vmatrix} w(1) & 1 & x_{11} & x_{12} & \ldots & x_{1n} & y_{11} & y_{12} & \ldots & y_{1n} & y_1 \\ w(2) & 2 & x_{21} & x_{22} & \ldots & x_{2n} & y_{21} & y_{22} & \ldots & y_{2n} & y_2 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ w(i) & i & x_{i1} & x_{i2} & \ldots & x_{in} & y_{i1} & y_{i2} & \ldots & y_{in} & y_i \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ w(s) & s & x_{s1} & x_{s2} & \ldots & x_{sn} & y_{s1} & y_{s2} & \ldots & y_{sn} & y_s \end{Vmatrix}.$$

Последний шаг алгоритма состоит в том, что строки матрицы F сортируются по первому столбцу так, что значения w возрастали снизу вверх. Оператор, реализующий описанный алгоритм, обозначим через Ψ. Полученную таким образом матрицу, учитывающую априорные условия $k_i \in G$, обозначим через F_0. Это можно будет записать так:

$F_0 = \Psi\{A\}$, $k_i \in G$.

Некоторые свойства оператора Ψ, позволяющие существенно увеличить точность идентификации заключаются в том, что отличительной особенностью приведенного выше алгоритма является наличие дополнительного вектора частости *w*, по которому сортируются строки, представляя новую матрицу *F*, которая отличается от матрицы *A* тем, что в нее добавлен столбец, включающий вектор частости *w*. Строки матрицы *F* сортируются по первому столбцу так, чтобы значения $w(j)$ возрастали снизу вверх.

4. Условие возможности точного определения параметров объекта управления

Строки матрицы исходных данных независимы в том смысле, что все C_s^n определителей линейно-независимых блоков $n\times n$ не равны нулю.

Рассмотренный алгоритм идентификации при соблюдении некоторых условий дает возможность по экспериментальным данным (3) точно определить неизвестные параметры *h* объекта управления (1), а именно, как показано в таблице 4.

Тогда имеет место следующая теорема.

Теорема. Если в блоке исходных данных все входные переменные измеряются без ошибок и только *m* выходных переменных измеряются с ошибками, то параметры объекта (1) можно определить точно, если выполняется неравенство

$$s\text{-}n\text{-}mb>2.$$

Доказательство. В наихудшем случае все *m* ошибок будут распределены по разным строкам матрицы исходных данных (3) и будет выполняться условие $s>mb$. Оставшиеся, по крайней мере, $(n+2)$ строк не будут содержать ошибок. Следовательно, построенные по этим строкам оценки будут точными. В каких именно строках не было ошибок заранее не известно. Но матрица (5) будет содержать

$$v = C_{n+2}^n$$

строк, в которых вектора оценок k будут совпадать. Совпадающие оценки и будут точными параметрами объекта.

Таблица 4. Блок исходных данных с распределенными по разным строкам ошибками

№	*Входные переменные*				*Выходные переменные*				
n	x_1	x_2	…	x_a	y_1	y_2	…	y_b	$y(t)$
1	x_{11}	x_{12}	…	x_{1n}	y_{11}	y_{12}	…	y_{1n}	y_1
2	x_{21}	x_{22}	…	x_{2n}	y_{21}	y_{22}	…	y_{2n}	y_2
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
i	x_{i1}	x_{i2}	…	x_{in}	y_{i1}	y_{i2}	…	y_{in}	y_i
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
$i+b$	$x_{(i+b)1}$	$x_{(i+b)2}$	…	$x_{(i+b)n}$	$y_{(i+b)1}$	$y_{(i+b)2}$	…	$y_{(i+b)n}$	$y_{(i+b)}$
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
j	x_{j1}	x_{j2}	…	x_{jn}	y_{j1}	y_{j2}	…	y_{jn}	y_j
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
$j+b$	$x_{(j+b)1}$	$x_{(j+b)2}$	…	$x_{(j+b)n}$	$y_{(j+b)1}$	$y_{(j+b)2}$	…	$y_{(j+b)n}$	$y_{(j+b)}$
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
l	x_{l1}	x_{l2}	…	x_{ln}	y_{l1}	y_{l2}	…	y_{ln}	y_l
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
$l+b$	$x_{(l+b)1}$	$x_{(l+b)2}$	…	$x_{(l+b)n}$	$y_{(l+b)1}$	$y_{(l+b)2}$	…	$y_{(l+b)n}$	$y_{(l+b)}$
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
s	x_{s1}	x_{s2}	…	x_{sn}	y_{s1}	y_{s2}	…	y_{sn}	y_s

5. Алгоритмы идентификации класса динамических объектов управления с редкими ошибками

5.1. ПРИМЕР АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ КЛАССА ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ С РЕДКИМИ ОШИБКАМИ ИЗМЕРЕНИЯ

Примером исследуемого алгоритма идентификации для класса динамических объектов управления с редкими ошибками измерения может быть использован алгоритм идентификации динамического объекта работы Чадеева–Илюшина, приведенный в работе [7].

В работе [7] рассматривается алгоритм идентификации, учитывающий априорную информацию о параметрах. Исходные экспериментальные данные из пространства входов-выходов преобразуются в пространство оценок параметров. В пространстве параметров выделяется множество оценок, удовлетворяющих априорным ограничениям. На этом множестве по вероятностному критерию строятся оценки параметров. Приводится пример, иллюстрирующий эффективность предлагаемой процедуры.

5.2. СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМА ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С РЕДКИМИ ОШИБКАМИ ИЗМЕРЕНИЯ С ПРИВЕДЕННЫМ АЛГОРИТМОМ ДЛЯ ДАННОГО КЛАССА ОБЪЕКТОВ

Отличительной особенностью выбранного для сравнения алгоритма Чадеева–Илюшина с алгоритмом динамического объекта с редкими ошибками измерения является то, что алгоритмы схожи по своей структуре и математическому описанию, за исключением отсутствия вектора частости w (частоте упоминания строк) в разработанном алгоритме Чадеева–Илюшина по сравнению с алгоритмом динамического объекта с редкими ошибками измерения. Вектор-столбец частости w в алгоритме динамического объекта с редкими ошибками измерения идентификации позволяет структурировать матрицу с исходными данными по частоте упоминания строк, что позволяет отсеивать нижние строки матрицы, которые являются малоинформативными, тем самым сокращая число строк в матрице, количество всевозможных переборов из оставшихся строк в усеченной матрице и, соответственно, сокращает время перебора «хороших» строк. Этой положительной особенностью не обладают другие алгоритмы идентификации динамических объектов. Можно сказать, что алгоритм идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения является своего рода продолжением развития разработанного алгоритма Чадеева–Илюшина. Поэтому излагать математические итерации алгоритма Чадеева–Илюшина, подобные тем, которые приведены в статье для алгоритма идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения, нет смысла, так как результаты расчетов будут отличаться незначительно для обоих алгоритмов, представленных в [7] и [6].

Использование алгоритма идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения на практике показывает, что автор настоящей статьи, разработавший алгоритм идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения, внес существенные изменения в возможности точного определения идентификации параметров объекта, в том числе и частость w – частоту упоминания строк в блоке преобразованных исходных данных, которая позволяет существенно увеличить точность расчета совпадения оценок, которые и будут точными параметрами объекта.

Эти небольшие изменения в алгоритме идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения, во-первых, отличают его от других алгоритмов, а во-вторых, позволяют получать точные параметры объекта управления. Это позволяет существенно повысить быстродействие точного определения параметров объекта управления, что подтверждается доказательством теоремы об условии возможности точного определения параметров объекта управления.

Научную новизну и практическую ценность настоящей работы, обусловленные сравнительным результатом обоих алгоритмов, определяет:

– введение вектора частости *w*, позволяющего существенно увеличить точность идентификации объекта управления с редкими ошибками измерения;

– разработка алгоритма идентификации при соблюдении некоторых условий, которая дает возможность по экспериментальным данным точно определить неизвестные параметры объекта управления;

– практическое применение алгоритма идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения на примере доказательства условия возможности точного определения параметров объекта управления;

– математическая простота использования математического аппарата на практике применительно к сложным объектам управления.

5.3. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследований уже существующих алгоритмов идентификации для класса динамических объектов управления с алгоритмом идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения показывают, что разработанный алгоритм идентификации для класса динамических объектов с редкими ошибками измерения показывает лучшие результаты в возможности точного определения параметров объекта управления для данного класса объектов. Алгоритм идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения подходит для решения задач, связанных с классом динамических объектов управления с редкими ошибками измерения.

6. Заключение

В работе рассмотрен алгоритм идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения. Показано, что при использовании алгоритма идентификации динамического объекта с редкими ошибками измерения возможно точное определение неизвестных параметров динамического объекта при условиях, которые найдены в докладе. Исследуется работа алгоритма идентификации при наличии помехи при измерении выхода. При этом рассмотренный алгоритм идентификации при соблюдении некоторых условий дает возможность по экспериментальным данным точно определить неизвестные параметры h объекта исследования, как показано в таблице 4 при приведении доказательства теоремы о редких ошибках измерения – возможности точного определения параметров объекта управления. Также в работе анализируется связь точности идентификации и величины ошибки измерения. Доказано, что совпадающие оценки и будут точными параметрами объекта при условии возможности точного определения параметров объекта управления.

Литература

1. КЕНДАЛЛ М.Дж., СТЬЮАРД А. *Статистические выводы и связи*. – М.: Изд-во Наука, 1973. – 896 с.
2. КРАМЕР Г. *Математические методы статистики*. – М.: Изд-во 2, стерео., 1975. – 648 с.
3. ЛИННИК Ю.В. *Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений*. – М.: Изд-во Физматгиз, 1962. – 349 с.
4. РАЙБМАН Н.С., ЧАДЕЕВ В.М. *Построение моделей процессов производства*. – М., «Энергия», 1975. – 376 с.
5. САМАРСКИЙ А.А., МИХАЙЛОВ А.П. *Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры.* – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с.
6. ЧАДЕЕВ В.М., ГУСЕВ С.С. *Построение динамической модели для прогноза критического теплового потока по экспериментальным данным* // Автоматизация в промышленности. – 2010. – №8. – С. 3–6.
7. ЧАДЕЕВ В.М., ИЛЮШИН В.Б. *Алгоритм идентификации динамических объектов с учетом априорной информации о параметрах* // Автоматика и телемеханика. – 2006. – №7. – С. 133–143.

IDENTIFICATION WITH RESTRICTIONS. THE DETERMINATION OF ESTIMATES OF PARAMETERS OF DYNAMIC OBJECT WITH RARE MEASUREMENT ERRORS

Sergey Gusev, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, per-graduated (*gs-serg@mail.ru*).

Abstract: The algorithm of identification of dynamic object with a priori limitations of the control object. The article is devoted to the work of the special identification algorithm that takes into account the available information about the parameters of the control object. The algorithm requires a large amount of computing resources. However, in our time, such computing power available to most users. Explores the work of the algorithm when interference in the measurement of output. Analyzes the relationship identification accuracy and amount of measurement error.

Keywords: identification, limitations, dynamic object, parameter estimation, rare mistakes.

Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором…

Поступила в редакцию ...заполняется редактором…
Опубликована ...заполняется редактором…