

ОБЗОР МЕТОДОВ РОБАСТНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

Робасттык башкарууну чечүүчү усулдары каралган.

Рассматриваются некоторые методы решения робастного управления.

Robust management solving methods are analyzed.

Задачи создания управления и обработки данных, свойства которых мало изменялись бы при небольших отклонениях их параметров от расчетных, возникали уже в начале развития теории автоматического управления. Для оценки этого свойства было использовано понятие функции чувствительности, введенное в теории усилителей с отрицательной обратной связью /1/. Особенно остро вопрос о чувствительности систем управления возник после развития и оформления теории оптимальных систем. Существует много методов в теории оптимального управления: принцип максимума, динамическое программирование, разнообразные оптимальные методы обработки данных (оценивания параметров, идентификация, фильтрация, сглаживание, упреждение и т.п.), которые, казалось, решали все основные задачи. Однако их применение часто не оправдывало возлагаемых на них надежд. Многие методы оказались неработоспособными. Оптимальные алгоритмы оценивания параметров типа метода максимального правдоподобия оказывались сильно чувствительными к малым отклонениям принятых предположений от действительных. Методы оценивания параметров, свободные от этого недостатка, Бокс назвал робастными, т.е. грубыми, крепкими и малочувствительными. Теория таких робастных оценок (малочувствительных к отклонениям) берет свое начало в работах Хубера. Они нашли применение в методах идентификации объектов в условиях неопределенности и методах адаптивного управления /2/. Сейчас термин робастность приобретает более широкий смысл. Он характеризует сохранение тех или иных свойств не единственной системы, а множества систем, определенных тем или иным способом. Важность такого подхода неоднократно отмечалась в литературе по теории управления. Теория робастной устойчивости используется и при синтезе робастных систем управления интервальными объектами, соответствующими некоторому множеству объектов. Интервальный объект можно рассматривать как объект в условиях ограниченной неопределенности. Развитие и обобщение теории робастной устойчивости позволяет обеспечить определенное качество систем управления: степень устойчивости и степень колебательности.

Очень важен ответ на вопрос: повлечет ли за собой требование робастности коренное изменение вида алгоритма преобразования. Часто ответ неоднозначен, многое зависит от того, удачно ли выбрана форма алгоритма.

Поясним сказанное простейшим примером. Пусть $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – выходные сигналы приборов, параллельно измеряющие одну и ту же величину.

Традиционно осреднение величин

$$z_1 = \frac{1}{N} \sum x_i.$$

Робастным является алгоритм выборочной медианы

$$z_2 = med(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Приведена примерная фасетная классификация самих алгоритмов преобразования на рис.1.

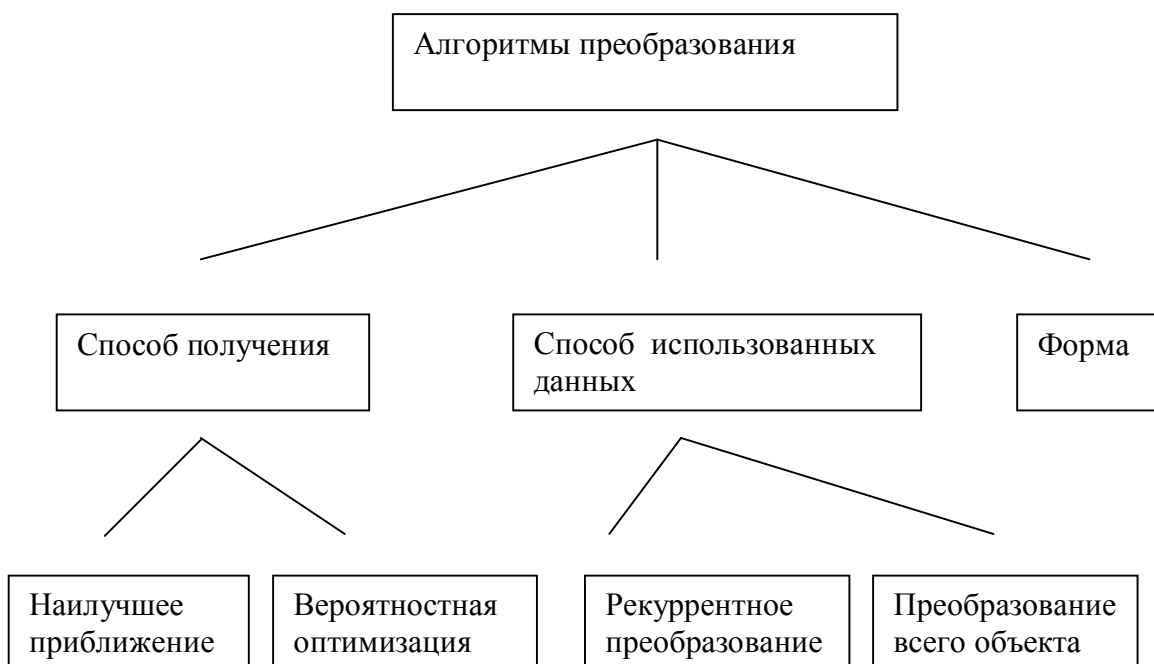
Для определения выборочной медианы нужно из величины x_i построить вариационный ряд, т.е. переставить в порядке возрастания и выделить средний член ряда. Определенные таким образом вычислительные процедуры не имеют ничего общего между собой. Однако если алгоритмы задаются в вариационной форме

$$\sum_t \psi(z - x_i) = \min,$$

то оба алгоритма получаются как частные случаи. При $\psi(y) = y^2$ имеет метод наименьших квадратов, который приводит к осреднению, при $\psi(y) = |y|$ имеет метод наименьших модулей, который приводит к выборочной возможности полученной медианы. Рассматриваются возможности получения робастных преобразований путем выбора функции ψ . Условие минимума приводится к уравнению

$$\sum_t \varphi'(z - x_i) = 0,$$

где $\varphi = \psi'$. Структурная схема аналогичного устройства, выходной сигнал которого воспроизводит решения этого уравнения, изображена на рис 2.



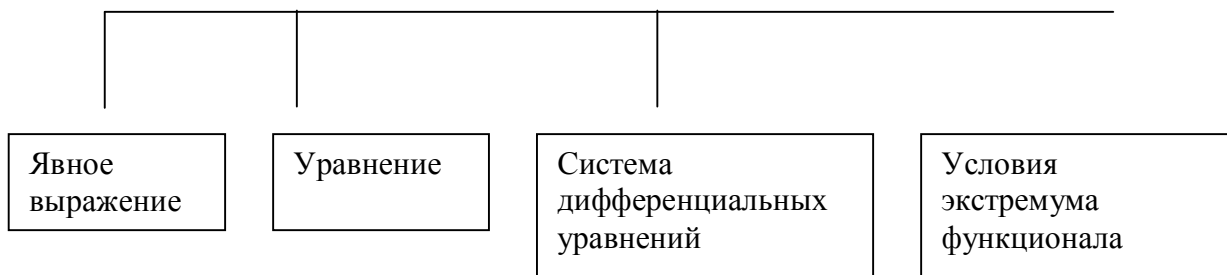


Рис 1. Классификация алгоритмов преобразования

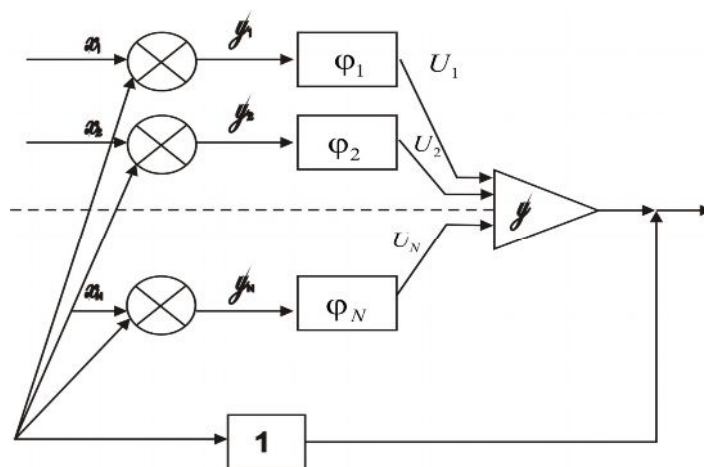


Рис. 2. Схема мажоритарного элемента

Блок Ψ представляет собой усилитель с большим коэффициентом усиления. Если функции φ – линейные (соответствуют квадратичной функции ψ), то осуществляется осреднение, если релейные (соответствуют модульной функции ψ), то осуществляется выбор медианы. По схеме рис. 2 можно преобразовать параллельно поступающие значения сигналов (например, от нескольких параллельно работающих приборов) или последовательно поступающие дискретные значения одного сигнала (в этом случае на входы подаются сигналы с регистра сдвига).

Во всех перечисленных случаях необходимо иметь или запоминать все значения. Использование рекуррентной формы позволяет преобразовать увеличивающееся число данных, причем число данных, которые нужно запоминать, не растет. Операция осреднения записывается в рекуррентной форме:

$$z(N) = z(N-1) + \frac{1}{N} [x(N) - z(N-1)]$$

При увеличении N каждый следующий результат вычисляется по предыдущему с учетом вновь поступающего значения величины x . Однако, хотя формально это возможно, преобразование оказывается нереализуемым.

Из приведенного примера видно, какими средствами в зависимости от формы задания алгоритма преобразования может обеспечить робастность. Эти примеры широко используются и при решении других, в том числе гораздо более сложных задач.

1. При задании алгоритмов в виде вычислительных процедур используются операции сравнения (друг с другом и с пороговыми значениями), возможно, с последующим упорядочением и не редко с отбрасыванием части данных. Таков обычный способ получения M -оценок. Построение экономных вычислительных процедур при большом числе данных является важной задачей.

2. При задании алгоритма в виде условия экстремума, где критерий свойства робастности определяется подходящим выбором формы этого критерия. Вычислительная процедура поиска экстремума численным методом в значительной мере определяет практическую реализуемость, возможность решения задач в натуральном времени. Для квадратичного и модульного критериев часто задача является одноэкстремальной, при других и при значительной нелинейности задачи часто являются многоэкстремальными, и необходим поиск глобального экстремума.

3. Если алгоритм задается структурной схемой, то свойство робастности получается при введении нелинейных элементов с характеристиками специально подобранного вида в определенные точки схемы /3-4/. Эти характеристики обычно нечетные, они имеют такой вид на рис 3.

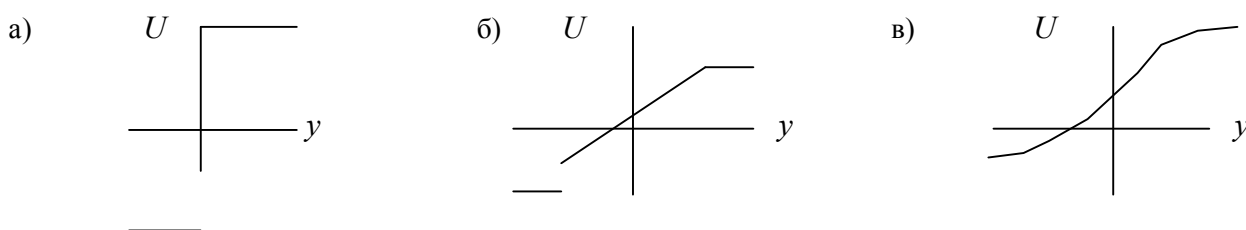


Рис 3. Нелинейные характеристики

Для них типично уменьшение наклона (крутизны) вплоть до нуля. Эти нелинейные элементы включаются в цепи рассогласования, смысл их введения в том, что они «срезают» выбросы высокого уровня.

Вывод. В предлагаемом обзоре освещены основные фундаментальные идеи нахождения правильных алгоритмов решений в теории робастной обработки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боде Г. Теория цепей и проектировании усилителей с обратной связью.– М.: ИЛ, 1948.
2. Цыпкин Я.З. Основные теории автоматических систем. – М.: Наука, 1977.
3. Никитин А.В., Шишлаков В.Ф. Параметрический синтез нелинейных систем автоматического управления. – СПб., 2003.
4. Крытова А.К. Робастные методы статистического анализа навигационной информации. – М., 1985.