

УДК 621.317.08

ЗАДАЧА ИДЕНТИФИКАЦИИ ИССЛЕДУЕМОГО СИГНАЛА В СРЕДСТВАХ ИЗМЕРЕНИЯ С УПРАВЛЯЕМОЙ ТОЧНОСТЬЮ

Никонова Г.В.*ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет», Омск, e-mail: ngvlad@mail.ru*

Описан способ построения измерительных устройств, которые способны адаптироваться к конкретному классу измерительных задач по параметру «точность», или быть управляемыми по этому параметру в ходе сложившейся измерительной ситуации. Средство измерения рассматривается как система, работающая в условиях неопределенности. В измерительных комплексах интегрированных в высокопроизводительную информационно-вычислительную среду посредством сети, в соответствии с объектом измерений и воздействий, выбирают аппаратуру, в которой есть возможность управлять режимами измерений и характеристиками. В средствах измерения с управляемой точностью с применением систем автоматического управления решается, в первую очередь, задача идентификации исследуемого сигнала. Идентификация является одним из методов построения математических моделей измерительных сигналов. Исследование показывает, что в алгоритме идентификации целесообразно акцентировать внимание на процессе получения последовательно уточняемых оценок (рекуррентное оценивание).

Ключевые слова: идентификация, измерение, моделирование, рекуррентный метод, вектор состояния, система автоматического управления

PROBLEM OF IDENTIFICATION OF THE SIGNAL UNDER STUDY IN MEASUREMENT TOOLS WITH CONTROLLED PRECISION

Nikonova G.V.*Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: ngvlad@mail.ru*

Describes a method for the construction of measuring devices that are able to adapt to a particular class of measuring tasks in the parameter «precision», or be controlled by this parameter during the current measurement situations. Means of measuring system is considered as a work-yuschaya under uncertainty. In measurement systems are integrated into vysokoproizvoditivy information and computing environment via a network, in accordance with the measurement object-tions and impacts, choose the equipment in which it is possible to control the measurement modes and features. In measuring means with precision controlled using the automatic control system is solved in the first place, the task of identifying the test signal. Identification is a method of constructing mathematical models of the measurement signals. The study shows that the identification algorithm is advisable to focus on the process of obtaining consistently refines the estimates (Recursive Estimation).

Keywords: identification, measurement, modeling, recursive method, the state vector, automatic control system

Для диагностирования и поддержания работоспособности сложных мультиструктурных систем необходимо проводить измерение многих параметров, для чего используются комплексы измерительных приборов. Из-за различной значимости измерительной информации по множеству измеряемых параметров к средствам измерения предъявляются разные требования по точности. С этих позиций в [4] показано, с ростом точности возрастает объем работы по поднастройке по закону гиперболического характера.

Цель исследования

Необходимо решить проблему построения средств электрических измерений, когда измерительные приборы интегрируются в высокопроизводительную информационно-вычислительную среду посредством сети (в том числе Internet), что определяет эффективность развития конкретной области. На основе содержимого баз данных такой среды, в соответствии с объектом измерений и воздействий выбирают аппаратуру,

в которой есть возможность управлять режимами измерений, воздействий и её характеристиками [9]. Это положение значимо для современных тенденций развития методологии измерений, где следует отметить важность средств измерений с управляемой точностью для областей науки и техники, сложных в исследовании и реализации.

Поставлена задача разработки методов, способов построения измерительных устройств, которые способны адаптироваться к конкретному классу измерительных задач по параметру «точность», или быть управляемыми по этому параметру в ходе сложившейся измерительной ситуации.

Также необходимо учесть современное направление в проектировании как средств измерения, так и другой аппаратуры, где важна точность получения измерительной информации и её обработки – это устройства со встроенными микропроцессорными средствами [7]. Можно сказать, что в этом случае проектирование сводится к виртуальному средству измерений, структура которого komponуется микропроцессором

из имеющегося набора аппаратных и программных модулей [2, 5]. Для такого виртуального прибора важно как знание точности текущей виртуальной конфигурации, так и наличие возможности управления точно.

Материалы и методы исследования

Для целей исследования рассмотрены задачи синтеза оптимальных систем. Здесь известна структура средства измерения и нужно найти оптимальное значение его внутренних параметров, следовательно, и настраиваемой точности, для получения экстремального значения этого показателя качества. Также рассмотрены задачи синтеза, когда требуется создать структуру средства измерения, управляемого по параметру «точность» и чтобы она была оптимальной по этому показателю качества.

Проведен аналитический обзор систем автоматического управления, систем автоматизированного управления, измерителей следящего типа и функциональных узлов технических, в том числе измерительных, средств, параметры которых являются управляемыми извне.

Широкий класс измеряемых физических величин, их характеристики, которые изменяются в широких пределах заранее непредвиденным образом, приводят к тому, что средство измерения должно адаптироваться к классу измеряемых величин и к метрологическим требованиям для схемы измерений в реальных условиях [10]. Поэтому средство измерения можно рассматривать как систему, работающую в условиях неопределенности (неполноты априорной информации о характеристиках процесса измерения).

Из содержания поставленных задач следует, что в средствах измерения с управляемой точностью применимы системы автоматического управления (САУ) и решается, в первую очередь, задача идентификации исследуемого сигнала. А затем уж производится управляющее воздействие на средство измерения с управляемой точностью с целью привести параметры его внутренних узлов к значениям, обеспечивающим точность измерения, не превышающую требуемую для класса поставленных задач.

Для достижения этой цели следует остановиться на самонастраивающихся системах, имеющих в своей структуре устройство оценки входного сигнала. В качестве объекта управления здесь выступает измерительная цепь прибора.

Тогда, САУ в средстве измерения с управляемой точностью должна определять (идентифицировать) характеристики входного сигнала.

В плане объекта управления для САУ выступает измерительная цепь прибора, и в качестве задач управления будут характеристики измерительной цепи соответствующие той модели, которая принята для конкретного измерительного элемента.

Результаты исследования и их обсуждение

Идентификация является одним из методов построения математических моделей объектов и сигналов внешних воздействий. Идентификация объектов управления – это построение математической модели объек-

та по реализациям его входных и выходных сигналов.

В частном случае при идентификации определяют коэффициенты известного дифференциального уравнения и аппроксимации статических характеристик объекта по данным эксперимента.

Наиболее совершенным средством математического описания сложного объекта являются экспериментально-статистические методы, которые основаны на обработке экспериментального материала, полученного в реальных условиях.

Существует ряд методов идентификации [1], основанных на том, что известно дифференциальное уравнение объекта и необходимо определить неизвестные коэффициенты. Использование этих методов при идентификации сложных объектов, имеющих обратные связи, требует большого объема вычислений. Точность полученного при этом математического описания объекта может оказаться недостаточной из-за неполного знания некоторых факторов, неучёта возмущений и помех, действующих на объект в процессе эксперимента.

Для повышения точности идентификации используют компенсационные методы с применением моделей-аналогов идентифицируемого объекта. Сущность этих методов состоит в том, что входное воздействие подается на идентифицируемый объект и его модель.

Структура модели объекта с настраиваемыми параметрами подобна структуре реального объекта. Выходной сигнал объекта сравнивается с сигналом выхода модели объекта, и в соответствии с принятым критерием отклонения осуществляется настройка параметров модели. Автоматическая настройка производится из условия минимума критерия отклонения. Такая модель является адаптивной. Эта модель должна иметь устройства самонастройки в виде вычислителя критерия ошибки (ВКО) и вычислителя параметров (ВП). Недостаточность информации об объекте компенсируется в результате настройки параметров модели объекта.

Идентификация и синтез управления могут представлять собой две самостоятельные и независимые задачи в рамках принципа разделения.

Но также задача идентификации может иметь и самостоятельное значение, например, при контроле и испытаниях динамических объектов. Примером может служить определение физических констант по ре-

зультатам измерений [2]. В этом случае интересуются точностью самих оценок параметров.

Среди задач идентификации наименее традиционной является идентификация данных наблюдений (измерений) [2]. Эта задача важна в связи с созданием различного рода автоматизированных систем контроля и управления техническими средствами. Во всех этих задачах с помощью обзорной измерительной системы осуществляется наблюдение за множеством динамических объектов. Задача идентификации данных наблюдений состоит в установлении однозначного соответствия между измерениями, входящими в состав каждого наблюдения, и объектами контролируемой совокупности.

Алгоритмы традиционных математических методов обработки данных (метода максимального правдоподобия, байесовского метода, метода наименьших квадратов) [2, 6] обычно предусматривают накопление и совместную обработку всей информации, заключенной в выборке измерений, что может приводить к чрезмерно высоким требованиям к ЭВМ.

Но в ряде случаев результаты измерений поступают на обработку последовательно во времени. В связи с этим считают целесообразным вычислять оценку \hat{x} вектора определяемых параметров x по имеющейся в данный момент информации, последовательно уточняя оценку по мере поступления данных наблюдения. Если в отдельные моменты $t_1, t_2, \dots, t_k, t_{k+1}, \dots, t_{N-1}, t_N$ дискретного времени поступают результаты измерения, образующие последовательность векторов $z_1, z_2, \dots, z_k, z_{k+1}, \dots, z_{N-1}, z_N$, то, обозначив через $z^{(k)} = (z_1, \dots, z_k)$ вектор, включающий результаты всех измерений, поступившие до момента времени t_{k+1} , записывают оценку вектора определяемых параметров в виде:

$$\hat{x}_k = \varphi(z^{(k)}). \quad (1)$$

В момент времени t_{k+1} имеется информация, составляющая вектор результатов измерений $z^{(k+1)} = (z^{(k)}, z_{k+1})$, по которому может быть получена оценка $\hat{x}_{k+1} = \varphi(z^{(k+1)})$. В некоторых случаях оказывается возможным заменить алгоритм совместной обработки результатов измерений алгоритмом вида

$$\hat{x}_{k+1} = \varphi(\hat{x}_k, z_{k+1}). \quad (2)$$

В правую часть последнего выражения входит не весь вектор $z^{(k+1)}$, а лишь результаты измерений, поступивших в последний момент времени t_{k+1} , – что же касается полученных ранее результатов измерений, то их влияние учитывается оценкой \hat{x}_k . Подобного рода процесс получения последовательно уточняемых оценок называется рекуррентным оцениванием (фильтрацией).

При использовании рекуррентных алгоритмов обработки может быть значительно уменьшена временная задержка τ между моментом времени t_{k+1} поступления измерений z_{k+1} и моментом получения соответствующей оценки \hat{x}_{k+1} . Это позволяет повысить точность получаемой в данный момент t оценки \hat{x} , так как для ее определения могут быть использованы все измерения, соответствующие моментам времени $t_{k+1} \leq t - \tau$. Уменьшение τ позволяет увеличить объем используемой информации и уменьшить интервал экстраполяции, что приводит к повышению точности получаемых результатов. Это важно, когда оценка используется при управлении поведением быстро изменяющейся системы.

Использование рекуррентного принципа построения процессов обработки на ЭВМ данных наблюдения за динамическими объектами целесообразно в случаях, когда необходимо оперативное получение результатов обработки, то есть в системах, обрабатывающих информацию в режиме реального времени.

Размерность оцениваемого вектора состояния является главным фактором, определяющим требования к микропроцессорным устройствам, осуществляющим обработку измерительной информации (особенно в реальном времени) [3, 6]. Количество вычислений при реализации на ЭВМ рекуррентных фильтров пропорционально кубу размерности задачи.

Поэтому в этой области исследований значительное внимание уделяется разного рода способам снижения размерности вектора состояния.

Основные подходы к построению фильтров пониженной размерности – это метод «расщепленного» фильтра и метод сжатия данных [8]. Проблема состоит в том, что отсутствуют конкретные рекомендации относительно декомпозиции соответствующих матриц. Поэтому для выделения из всех возможных того субоптимального фильтра, который обеспечивает удовлетворительные

характеристики, прибегают к эмпирическим соображениям.

Другой подход к снижению размерности задачи фильтрации использует так называемое «сжатие данных». Это обусловлено тем, что при высокой размерности задачи фильтрации значительно усложняется вычисление оптимальных параметров фильтра, который необходимо вычислять перед обработкой каждого очередного измерения. Из-за этого некоторые из измерений приходится отбрасывать, что сопровождается потерями информации. Поэтому предварительно производится обработка измерений типа сжатия данных, целью которой является уменьшение указанных потерь информации. При этом коэффициент усиления фильтра вычисляется как кусочно-постоянная функция, т. е. вычисляется реже, чем обновляются измерения.

Таким образом, здесь применяется двухуровневая схема фильтрации. На первом уровне реализуется фильтр, который обрабатывает все измерения, но оценивает лишь часть полного вектора состояния. Данные работы этого фильтра используются на втором уровне фильтром полной размерности, однако реже, чем поступают измерения. Данный метод является субоптимальным.

Фактически можно заключить, что в этих условиях существенной оказывается декомпозиция задачи оценивания вектора состояния, т. е. сведение ее к задачам меньшей размерности.

Нужно также отметить подход, используемый при решении задачи множественной идентификации [6] – решение выполняется в два этапа. На первом этапе выполняется идентификация изменений, т.е. установление принадлежности полученных измерений наблюдаемым объектам. При этом в качестве измерения, принадлежащего конкретному объекту, обычно выбирают ближайшее в некотором смысле к данному объекту. На втором этапе идентифицированные таким образом измерения используются для идентификации соответствующих объектов одним из методов оценивания.

Применение такой процедуры обработки позволяет получить приемлемые результаты лишь в том случае, когда погрешности измерений небольшие, а расстояния между объектами в пространстве измерений достаточно велики. В противном случае идентификация оказывается неудовлетворительной. Это происходит, во-первых, потому, что идентификация измерений по принципу «ближайшего соседа» в таких ус-

ловиях оказывается далека от оптимальной. Во-вторых, методы однообъектной идентификации состояний не учитывают при вычислении оценок того, что обрабатываемые измерения могут в некоторые моменты времени принадлежать посторонним объектам.

Полное и адекватное описание задачи множественной идентификации требует рассмотрения всего множества вариантов соответствия (гипотез идентификации) полученных измерений наблюдаемым объектам. Если контроль ведется за совокупностью из M ($M = 2, 3, \dots$) объектов и получено k наблюдений $z(1), z(2), \dots, z(k)$, каждое из которых содержит M измерений состояния контролируемых объектов $z(i) = \{z_1(i), z_2(i), \dots, z_M(i)\}$, $i = \overline{1, k}$, то число анализируемых гипотез идентификации измерений равно $(M!)^k$. Оптимальное решение задачи приводит к необходимости оценки достоверности всех возможных гипотез, что требует экспоненциально растущих (при увеличении числа наблюдений k) ресурсов времени вычислений и памяти.

Заключение

Таким образом, из оценки данного материала следует, что решение задачи определения состояния наблюдаемых объектов находится в рекуррентном по наблюдениям виде. При этом предполагается, что поведение объектов является марковским, а функции начальных и переходных плотностей вероятностей состояния объектов и плотностей вероятностей ошибок измерений имеют произвольный вид. При получении очередного наблюдения рекуррентно формируется дерево гипотез, каждая, из которых определяет происхождение измерений всех полученных к текущему моменту наблюдений. Апостериорная плотность вероятности вектора переменных состояния объектов представляется в виде взвешенной суммы апостериорных плотностей, рекуррентно вычисляемых при условии справедливости фиксированных гипотез идентификации измерений.

Также можно заключить, что синтез алгоритмов субоптимальной идентификации с ограниченными требованиями к вычислительным ресурсам получают из оптимального путем ограничения числа рассматриваемых гипотез идентификации измерений. Используются такие методы ограничения числа гипотез, как отбрасывание маловероятных, слияние гипотез с одинаковым бли-

жайшим прошлым, слияние близких, предварительная идентификация измерений [6].

Можно сделать вывод, что рассмотренные задачи множественной идентификации измерений ведется параллельно с задачей множественной идентификации состояний: рекуррентные алгоритмы решения обеих задач основаны на использовании практически одних и тех же статистик. В качестве критерия оптимальности алгоритмов идентификации измерений применяется максимум апостериорной вероятности гипотезы идентификации. Также рассматривается применение методов линейного целочисленного программирования для организации направленного перебора при определении наиболее вероятной гипотезы идентификации измерений.

Обоснован подход к преодолению параметрической неопределенности входного сигнала. Получены данные исследования модели компенсационного метода с применением моделей-аналогов идентифицируемого объекта. Предложенная самонастраивающаяся система не требует полной информации обо всех данных сигнала и автоматически настраивается, обеспечивая заданный критерий качества. Недостаточность информации об объекте компенсируется в результате настройки параметров модели объекта. В алгоритме идентификации реализуется процесс получения последова-

тельно уточняемых оценок (рекуррентное оценивание).

Список литературы

1. Куропаткин В.П. Оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1980. – 287 с.
2. Малютин Ю.М., Экало А.В. Применение ЭВМ для решения задач идентификации объектов. – Л.: Изд. Ленингр. ун-та, 1988. – 326 с.
3. Никонов А.В., Никонова Г.В. Формирование сверхширокополосных сигналов с управляемой формой // Научное приборостроение. – С-Пб, 2013, том 23, № 3, с. 105–113.
4. Пищухин А.М., Тарасов В.Н., Шалкин А.В. Обеспечение требуемой точности комплекса измерительных приборов // Изв. ВУЗов. Приборостроение (Т. 46). – № 10. – С. 30–33.
5. Цветков Э.И. Процессорные измерительные средства. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 438.
6. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. – М.: Наука, 1984. – 394.
7. А.с. 1182450А СССР. МКИ G 01 R 35/00. Устройство для калибровки уровней ВЧ и СВЧ сигналов / А.В. Никонов, Г.В. Никонова. – № 3733094/24-21; Заявл. 18.04.84; Опубл. 30.09.85, Бюл. № 36.
8. Zhilin N.S., Maistrenko V.A., Nikonov A.V., Nikonova G.V., Saifutdinov, C.R. Phase Interactions in the Measurement Assurance of Nanoelectronic Objects // Electronic Instrument Engineering, 2006. APEIE '06. 8th International Conference on Actual Problems of. - Publication Year: 2006, Page(s): 273. DOI: 10.1109/APEIE.2006.4292493.
9. Nikonov A.V., Nikonova G.V. A frequency converter with controllable characteristics // Measurement Techniques. 2008. V. 51. № 1. P. 74-81. DOI: 10.1007/s11018-008-0014-1.
10. Nikonova, G.V. Measuring Devices with Sensibility Adjustment / Electronic Instrument Engineering, 2006. APEIE '06. 8th International Conference on Actual Problems of. – Publication Year: 2006, Page(s): 273. DOI: 10.1109/APEIE.2006.4292494.