

О ЗАДАЧЕ КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

КОСИНОВ Р.П.,
ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО С.Ю.

Введены понятия прямой и косвенной идентификации. Дана характеристика компараторной идентификации как разновидности косвенной. Рассмотрено применение компараторной идентификации для формального описания психологических и психофизических процессов и явлений.

Одной из важных задач бионики интеллекта является разработка методов компараторной идентификации конечномерных процессов оценивания. К ним относятся одномерные и многомерные количественные оценки многомерных объектов, линейные процессы оценивания, нелинейные процессы оценивания, которые можно свести к линейным подходящим выбором нелинейных шкал для входных сигналов, методы идентификации метрики многомерного пространства оценок (изучение метрики пространства оценок необходимо для экономного кодирования оценок) и многие другие вопросы. В данной работе рассматриваются теоретические аспекты компараторной идентификации, наиболее применимой для изучения процессов оценивания.

Любая автоматизированная система управления характеризуется существенным участием человека в ее функционировании [1, 2]. Иными словами, она представляет собой человеко-машинную систему. Эффективность и экономность машинной части АСУ существенно зависит от того, насколько полно и точно учитываются реакции человека при ее проектировании и настройке [3, 4]. Например, в АСУ городским хозяйством надо учитывать характер движения кадров с одних предприятий на другие. Если в АСУ участвует диспетчер или оператор, контролирующий процессы, наблюдаемые на экране телевизора или дисплея, то при проектировании системы необходимо обеспечить качество изображения, соответствующее возможностям зрения оператора. Действия людей, включенных в АСУ, во многих случаях определяются их оценками наблюдаемых процессов [5, 6]. Например, переход человека с одного места работы на другое определяется одномерной числовой оценкой условий работы, характеризуемых вектором некоторого многомерного арифметического пространства (зарплата, длительность отпуска, удаленность места работы от места жительства). Свет, излучаемый различными точками телевизионного изображения, характеризуется многомерным вектором (спектром). Он оценивается человеком либо яркостью (при монохромном изображении), являющейся одномерной числовой оценкой, либо цветом, который представляет собой трехмерную числовую оценку. Изучение оценок важно не только для автоматизированных систем управления, но и для многих других целей. Например,

невозможно построить эффективную экспертную систему диагностики заболеваний без предварительного изучения процессов оценивания состояния больного специалистами-медиками.

Идентификацией объекта называется определение характеристик этого объекта на базе его опытного исследования. Идентификация является наиболее трудоемкой и ответственной операцией при анализе объектов [7, 8]. Разработка методов идентификации – одна из важнейших проблем современной теории управления [9, 10]. Особо важное значение имеет задача идентификации объектов, которые можно свести к классу линейных объектов. Последние, как известно, наиболее распространены в природе и технике. К настоящему времени теория идентификации превратилась в обширное по содержанию и богатое по методам учение [5], тем не менее многие актуальные проблемы ждут в ней еще своего решения. В частности, актуальна задача расширения класса объектов, поддающихся эффективной идентификации.

Классическая задача идентификации состоит в том, чтобы по входным x и выходным y сигналам объекта определить закон $y=F(x)$ преобразования сигналов этим объектом. Такая идентификация называется прямой, поскольку она осуществляется при непосредственном доступе к выходным сигналам объекта. Вместе с тем, в ряде случаев возникает необходимость в косвенной идентификации объекта, когда у исследователя нет прямого доступа к его выходному сигналу. Оценки человеком тех или иных ситуаций субъективны, их невозможно непосредственно измерить никакими физическими приборами. Поэтому классические методы прямой идентификации для изучения процессов оценивания неприменимы. В данном случае эффективны для применения только методы косвенной идентификации. Наиболее удобен из них метод компараторной идентификации. В простейшем варианте компараторная идентификация имеет дело с системой $t=E(x, y)$, преобразующей сигналы x и y произвольной природы в двоичный сигнал t (рис. 1, а). Система E содержит в своем составе (рис. 1, б) два идентичных объекта F , осу-

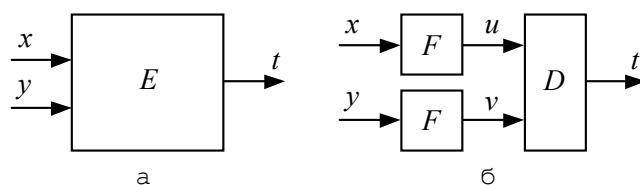


Рис. 1. Схема компараторной идентификации

ществляющих преобразование сигналов $u=F(x)$ и $v=F(y)$. Содержательно сигналы x и y интерпретируются как некоторые ситуации, наблюдаемые человеком, а сигналы u и v – как субъективные оценки человеком ситуаций x и y .

Целью идентификации является математическое описание функции F , отображающей множество ситуаций в множество оценок. Содержательно функция F интерпретируется как процесс оценивания ситуаций человеком. Особенностью изучаемой системы E является то, что выходные сигналы u и v объекта F , будучи промежуточными

сигналами системы E , недоступны для внешнего наблюдения. Они анализируются компаратором, в роли которого используется нуль-орган $t=D(u, v)$, устанавливающий, равны или нет сигналы u и v . Если они равны, то нуль-орган вырабатывает сигнал $t=1$, если не равны, то сигнал $t=0$. Имеется в виду, что сигнал t доступен для внешнего наблюдения. Содержательно нуль-орган D интерпретируется как операция сравнения оценок u и v , выполняемая сознанием человека, а сигнал t – как объективно регистрируемый сигнал, который формируется человеком, оценивающим ситуацию. Цель компараторной идентификации заключается в том, чтобы по результатам измерений значения сигнала t , формируемого системой E в ответ на пару входных сигналов x и y , математически описать объект F . Несмотря на отсутствие прямого доступа к выходным сигналам u и v объекта F и, казалось бы, малую информативность сигнала t , сведений об объекте идентификации F , получаемых этим способом, достаточно, для его полного описания.

Хотя теория компараторной идентификации представляет собой вполне самостоятельную область знания, однако она имеет много точек соприкосновения с теорией прямой идентификации. Наиболее полно теория прямой идентификации разработана для линейных объектов, описываемых отображением вида:

$$y(t) = \int_a^b x(\tau) K(\tau, t) d\tau. \quad (1)$$

Отображение (1) ставит в соответствие входному сигналу $x(t)$ объекта его выходной сигнал $y(t)$. Предполагается, что $x(\tau)$ и $y(t)$ – функции вещественных аргументов с вещественными значениями. Аргументы τ и t этих функций определены на интервале $[a, b]$, где a и b – фиксированные числа. Под знаком интеграла в выражении (1) стоит функция Грина $K(\tau, t)$, которая выступает в роли числовой характеристики линейного объекта. В теории идентификации объектов, описываемых зависимостью (1), формулируют следующие две основные задачи: 1) задачу структурной идентификации, заключающуюся в отыскании системы свойств объекта, которая определяла бы вид отображения (1); 2) задачу параметрической идентификации, состоящую в определении функции K , характеризующей конкретное преобразование (1).

Для решения задачи структурной идентификации обычно используют свойства аддитивности

$$F(x_1(\tau) + x_2(\tau)) = F(x_1(\tau)) + F(x_2(\tau)) \quad (2)$$

и однородности

$$F(\alpha x(t)) = \alpha F(x(t)) \quad (3)$$

объекта. Символом F обозначено произвольное отображение сигнала $x(\tau)$ в сигнал $y(t)$. Отображение (1) удовлетворяет свойству аддитивности при любом выборе функций $x_1(\tau)$, $x_2(\tau)$ и свойству однородности при любом выборе функции $x(\tau)$ и вещественного числа α .

В трудах по идентификации иногда упоминается еще свойство непрерывности объекта. Стандартный способ введения непрерывности отображения F сигнала $x(\tau)$ в сигнал $y(t)$ состоит в следующем. Предполагается, что совокупность всевозможных входных сигналов $x(\tau)$ объекта об-

разует вещественное гильбертово пространство $L_2[a, b]$, выходные сигналы $y(t)$ принадлежат тому же пространству. Для каждой функции $x(\tau)$ из $L_2[a, b]$ вводится ее норма по формуле

$$\|x\| = \sqrt{\int_a^b x^2(\tau) d\tau}. \quad (4)$$

По этой же формуле вычисляется норма и для функций $y(t)$. Далее определяется сходимость по норме, а именно принимается, что x_n сходится к x , если $\|x_n - x\|$ сходится к нулю. Сходимость числовой последовательности c_n к нулю означает, что для любого вещественного числа $\varepsilon > 0$ найдется такой номер N , что при всех $n > N$ будет выполняться неравенство $|c_n| < \varepsilon$. Отображение F называется непрерывным относительно функции $x(\tau)$, если из сходимости x_n к x следует сходимость $y_n = F(x_n)$ к $y = F(x)$. Отображение называется непрерывным, если оно непрерывно относительно всех функций, принадлежащих пространству $L_2[a, b]$. Согласно теореме об общем виде линейного оператора любое аддитивное и непрерывное отображение из пространства $L_2[a, b]$ в то же пространство имеет вид (1). Вместе с тем, известно, что аддитивность и однородность задают класс отображений более широкий, чем множество всех отображений (1).

Из учения о параметрической идентификации объектов, описываемых отображением (1), упомянем методы импульсного и ступенчатого возмущения. Метод импульсного возмущения состоит в том, что на вход объекта в некоторый момент времени $t=\theta$ подается достаточно узкий импульс, диаграмма которого охватывает единичную площадь. Формально импульс описывается функцией Дирака $\delta(t-\theta)$. Реакция объекта $y_\theta(t) = F(\delta(t-\theta))$ совпадает с функцией Грина

$$K(\tau, t) = y_\tau(t). \quad (5)$$

Метод ступенчатого возмущения заключается в том, что на вход объекта в некоторый момент времени $t=\theta$ подается единичный скачок

$$J(\tau-\theta) = \begin{cases} 0, & \text{если } \tau < \theta, \\ 1, & \text{если } \tau \geq \theta. \end{cases} \quad (6)$$

Пусть $y_\theta(t) = F(J(\tau-\theta))$ – реакция объекта на единичный скачок. Тогда функция Грина для отображения (1) может быть вычислена по формуле:

$$K(\tau, t) = \frac{\partial y_\tau(t)}{\partial t}. \quad (7)$$

При численных расчетах прибегают к квантованию интервала $[a, b]$, на котором заданы сигналы $x(\tau)$ и $y(t)$. Обычно используют равномерный шаг квантования. Число квантов на интервале может быть различным для входного и выходного сигналов. Пусть m – число квантов для входного сигнала, n – для выходного. Схема квантования входного сигнала показана на рис. 2. Шаг квантования равен $T = (b-a)/m$. Символами $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_m$ обозначены площади под кривой $x(t)$ на интервалах $[a, t_1], [t_1, t_2], \dots, [t_{i-1}, t_i], \dots, [t_{m-1}, b]$, где $t_i = a + iT$. Функция $x(\tau)$ после квантования превращается в решетчатую функцию $x(i)$, значения которой $x_i = x(i)$ равны $x_i = S_i/T$. Они теперь зависят от номера i , который изменяется в пределах от 1 до m . Аналогично квантуется выходной сигнал $y(t)$. После квантования он превращается в решетчатую функцию $y(j)$, зависящую от номера j , который изменяется в пределах от 1 до n .

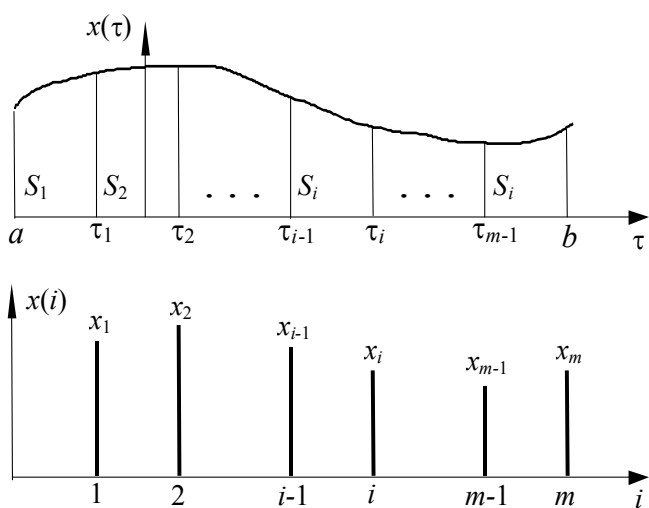


Рис. 2. Схема квантования

После квантования входной сигнал объекта можно рассматривать как m -мерный вектор $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, а его выходной сигнал – как n -мерный вектор $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$. Функция Грина отображения (1), реализуемого объектом, превращается в матрицу $K = \|k_{ij}\|$ размера $m \times n$. Само же отображение (1) превращается в линейный оператор, отображающий m -мерное вещественное пространство в n -мерное вещественное векторное пространство и описываемый равенством

$$y = x * k. \quad (8)$$

Операция, обозначенная звездочкой, есть умножение вектора на матрицу.

Таким образом, можно сказать, что метод компараторной идентификации по своей описательной силе не уступает классическим методам прямой идентификации объекта. Как отмечалось выше,

метод компараторной идентификации применим и наиболее удобен в том случае, когда оценки невозможно измерить никакими физическими приборами, как в случае с субъективными оценками человека.

Литература: 1. Автоматика и управление в технических системах / Отв. ред.: С.В. Емельянов, В.С. Михалевич. – К.: Вища школа. – 1990. – 325 с. 2. Акофф А., Эмери Ф. О целеустремленных системах. – М.: Сов. радио. – 1974. – 274 с. 3. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. – М.: Наука, 1981. – 384 с. 4. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. – М.: Наука. – 1977. – 255 с. 5. Ли Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление. – М.: Наука. – 1966. – 176 с. 6. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: ИЛ. – 1970. – 520 с. 7. Айвазян С.А., Бежаева З.И., Староверов О.А. Классификация многомерных наблюдений. – М.: Статистика. – 1974. – 240 с. 8. Болч Б., Хуань К.Дж. Многомерные статистические методы для экономики. – М.: Статистика. – 1979. – 318 с. 9. Классификация целей управления и синтез структуры универсальной системы управления / И.В. Кузьмин, Э.Г. Петров, В.В. Евсеев, В.Т. Мирошниченко. – В кн.: Методы и средства исследования сложных систем контроля и управления. – К.: Наукова думка. – 1973. – С. 33–41. 10. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир. – 1973. – 344 с.

Поступила в редколлегию 12.11.97

Косинов Роман Петрович, аспирант кафедры ПО ЭВМ ХТУРЭ. Увлечения: музыка. Адрес: 310726, Украина, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 49-93-56, 40-94-46.

Шабанов-Кушнаренко Сергей Юрьевич, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник кафедры ПО ЭВМ ХТУРЭ. Увлечения: настольный теннис. Адрес: 310726, Украина, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-94-46.

УДК 007.681.518.2+519.711

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗ ЗНАНИЙ И ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

ШОСТАК В.Ф., КИШИК М.В., ШОСТАК О.В

Предлагается использовать динамические экспертные системы для моделирования интеллектуальных систем управления сложными объектами в условиях влияния окружающей среды. Реализация изложенной методики, помимо изучения свойств исследуемой системы, позволяет обнаружить возможные неполноту и противоречивость информации, хранящейся в базе знаний динамической экспертной системы.

Научно-технический прогресс обусловил появление особого класса таких сложных (крупномасштабных) объектов управления, как, например, атомные электростанции, энергоснабжающие системы, робототехнические комплексы и др.

Характерной особенностью систем является качественное изменение состояния объектов и окружающей среды, в силу которых возникает необходимость существенно изменять технологию решения функциональных задач управления в процессе работы системы. Решение задач управления в этих условиях связано с использованием значительных объемов необходимой информации, которая должна обновляться в процессе функционирования системы. Наличие достаточной информации в большой мере определяет качество решения функциональных задач и, в конечном итоге, эффективность системы в целом.

В связи с этим для решения задач управления такими объектами целесообразно использовать базы знаний (БЗ) и экспертные системы, функционирующие в реальном масштабе времени.

Экспертные системы, используемые для решения задач управления в реальном времени, получили название динамических экспертных систем (ДЭС) [1]. В дальнейшем системы управления указанными выше объектами, в контуре которых функционирует ДЭС, будем называть интеллектуальными системами управления (ИСУ).

Характерным отличием процесса функционирования ДЭС в контуре обратной связи системы управления является то, что запросы к ДЭС фор-