Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 http://naukovedenie.ru/

Том 7, №6 (2015) http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-6

URL статьи: http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN615.pdf

DOI: 10.15862/41TVN615 (http://dx.doi.org/10.15862/41TVN615)

УДК 519.234

Чжан Екатерина Анатольевна
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»
Россия, Красноярск[1]
Аспирант
Ассистент
E-mail: ekach@list.ru

О компьютерном исследовании Н-моделей для дискретно-непрерывных процессов

[1] 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26Б

Аннотация. Для многих отраслей промышленности, например, строительная индустрия, нефтехимия, производство электрорадиоизделий, доминирует непрерывная технология производства. Однако измерения показателей процесса осуществляется через различные промежутки времени, причем для разных переменных дискретность контроля может отличаться. Это связано с тем, что одни переменные могут быть измерены электрическим способом, значения других можно получить лишь с помощью химического или физического анализа, следовательно, их дискретность контроля больше в несколько раз. Таким образом, такого рода процессы можно рассматривать как дискретно-непрерывные процессы с запаздыванием. В статье рассматривается задача идентификации многомерных дискретно-непрерывных процессов со стохастической зависимостью компонент вектора входа. Необходимо отметить тот факт, что исследователю априорно неизвестно о наличии зависимости между входными переменными. Такие процессы будем называть «трубчатыми» или Н-процессами. При идентификации Н-процессов общепринятые модели не дают удовлетворительный результат. Вследствие зависимости между входными переменными процесс протекает не во всей регламентированной области пространства входных и выходных переменных, а лишь в некоторой подобласти. Это факт необходимо учитывать при идентификации «трубчатых» процессов. Для такого рода процессов предлагается дополнить общепринятые параметрические модели индикаторной функцией. Индикаторная функция основана на методе локальных аппроксимаций. Модель «трубчатого» процесса, содержащая индикаторную функцию, будем называть Н-моделью.

Ключевые слова: дискретно-непрерывный процесс; Н-модель; «трубчатый» процесс; непараметрическая идентификация; параметрическая идентификация; индикаторная функция; выборка наблюдений.

Работа опубликована при поддержке Красноярского краевого фонда науки.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Чжан Е.А. О компьютерном исследовании Н-моделей для дискретно-непрерывных процессов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN615.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/41TVN615

Статья опубликована 25.11.2015.

Введение. При построении моделей стохастических процессов большое значение имеет уровень априорной информации об объекте. В случае, когда уровень априорной информации достаточно велик (определена или хорошо угадана структура объекта, большой объем исходной выборки измерений), то естественно применять хорошо развитые методы теории параметрической идентификации [1, 2]. Однако на практике часто возникает ситуация, когда структура объекта нам неизвестна из-за недостатка априорной информации. В этом случае целесообразно использовать непараметрические методы идентификации [3]. Кроме того, если между входными переменными процесса существует стохастическая зависимость, то общепринятые модели [1, 2] не являются адекватными для такого рода процессов. В этом случае целесообразно использовать рассматриваемые ниже Н-модели [4].

Постановка задачи. Рассмотрим процесс, входные переменные которого стохастически связаны (рис. 1).

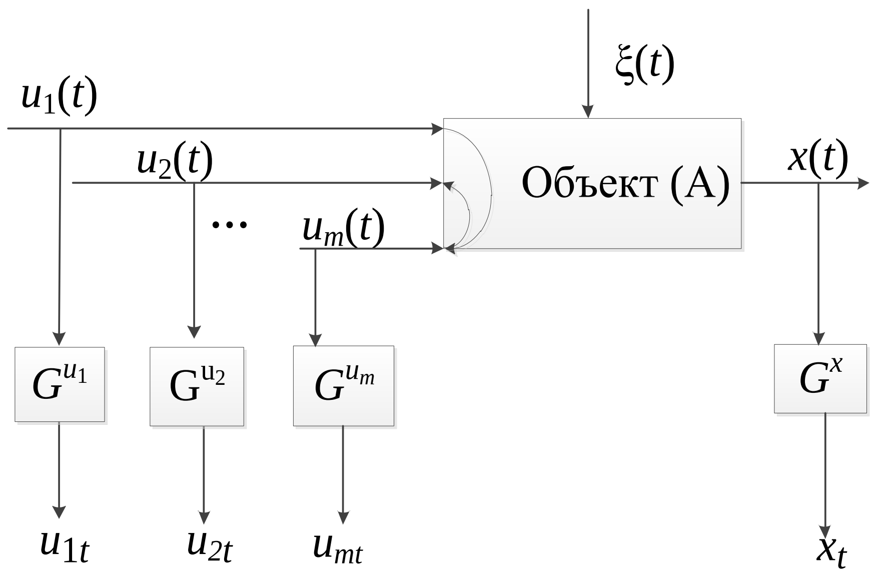

***Рисунок 1. Схема** многомерного «трубчатого» объекта*

На рис. 1 приняты обозначения: А – неизвестный оператор объекта, $x(t) \in \Omega(x) \subset R^1$ – выходная переменная процесса, $u(t) = u_1(t), u_2(t), ..., u_m(t)$, $u(t) \in \Omega(u) \subset R^m$ – векторное входное воздействие, $\xi(t)$ – векторное случайное воздействие, (t) – непрерывное время, $G^{u_i}, i = \overline{1, m}$, G^x – каналы связи, соответствующие различным переменным, включающие в себя средства контроля. В каналах измерения входных и выходных переменных действуют случайные помехи с нулевыми математическими ожиданиями и ограниченными дисперсиями.

Необходимо восстановить зависимость между входными и выходными переменными процесса [5]. Особенность «трубчатых» процессов состоит в том, что не только выходные переменные зависят от выходных воздействий, но и между входными переменными существует стохастическая зависимость. На рис. 1 стрелками показана взаимосвязь компонент вектора входа.

Поясним это на примере. Рассмотрим объект, имеющий две входные переменные u_1, u_2 и одну выходную x, значения входных и выходных переменных принадлежат интервалу возможных значений [0;1]. Как уже говорилось выше, данный диапазон всегда известен из регламента, ТУ и т.д. Пусть имеется выборка объемом 100 измерений, т.е. $\{u_{1i}, u_{2i}, x_i, i = \overline{1,100}\}$. Если переменные u_1 и u_2 независимы, то график среза по переменным

u_1 и u_2 будет иметь следующий вид (рис. 1), где по оси абсцисс откладываем значение переменной u_2, а по оси ординат – значение переменной u_1 для каждой точки из выборки.

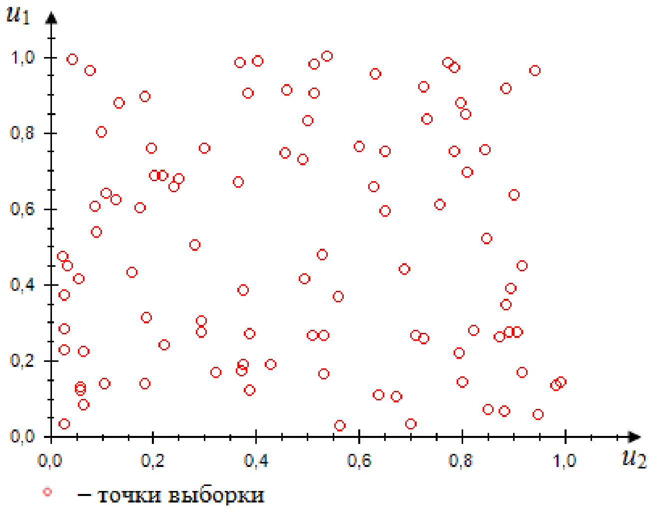

Рисунок 2. *Срез по входным переменным в случае их независимости*

В данном случае входные переменные могут принимать любое значение из интервала возможных значений $[0;1]$. Одному значению u_1 может соответствовать любое значение u_2 из интервала $[0;1]$, при этом значения одной входной переменной никак не влияют на значения другой. Процесс существует во всем интервале возможных значений входных переменных.

Иная картина будет, если мы имеем дело с «трубчатым» объектом. В этом случае входные переменные связаны некой стохастической зависимостью

$$u_1 = f(u_2) + \psi, \tag{1}$$

где ψ – случайная величина, нормально распределенная с нулевым математическим ожиданием и ограниченной дисперсией. Причем о наличии этой зависимости, её структуре исследователю никогда неизвестно.

Срез по входным переменным u_1, u_2 в случае их стохастической зависимости показан на рис. 3.

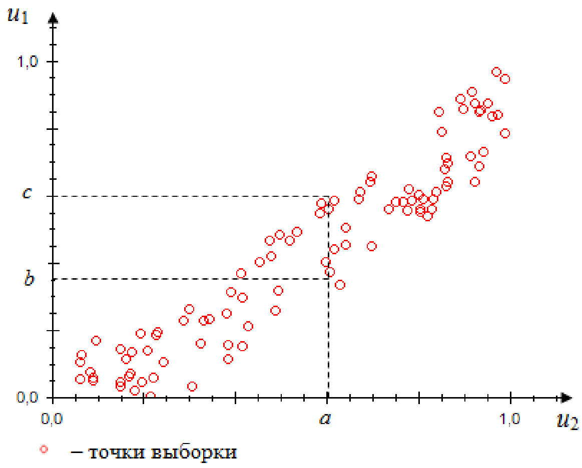

Рисунок 3. *Срез по входным переменным в случае их стохастической зависимости*

В данном случае, процесс протекает не во всем интервале, а лишь в некоторой его подобласти. Значения переменных связаны стохастической зависимостью, поэтому если $u_1 = a$ (рис. 3), то переменная u_2 не может принимать произвольное значение, ее значение должно принадлежать интервалу $u_2 \in [b;c]$, где $[b;c] \subset [0;1]$. При идентификации Н-процессов необходимо принимать во внимание, что процесс протекает не во всей регламентированной области.

Особенности идентификации «трубчатых» процессов. Как уже отмечалось ранее, на практике достаточно часто встречаются процессы, имеющие стохастическую зависимость компонент вектора входных переменных. Будем говорить, что объекты, обладающие подобной особенностью, имеют «трубчатую» структуру [4].

Рассмотрим в качестве примера процесса с «трубчатой» структурой объект, представленный на рис. 2.

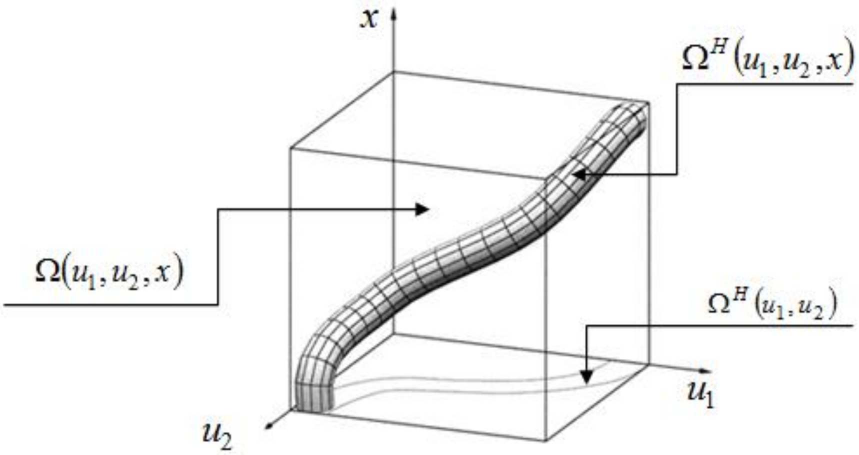

Рисунок 4. *Объект с «трубчатой структурой»*

Как видно из рисунка, область протекания процесса $\Omega(u,x) \in R^3$ представляет собой, без нарушения общности, единичный гиперкуб, где $u \in R^2$, $x \in R^1$. Однако если исследуемый процесс имеет «трубчатую» структуру, то область его протекания ограничивается не всем объемом гиперкуба $\Omega(u,x)$, а его подобластью $\Omega^H(u,x) \in \Omega(u,x)$, которая нам никогда не известна. Поскольку подобласть $\Omega^H(u,x)$ никогда не известна, то и вид самой «трубчатой» структуры нам не известен. При этом заметим, что объем гиперкуба, как это видно из вышеприведенного рисунка, может значительно превышать объем «трубки».

Перейдем к моделированию процессов «трубчатой» структуры. Параметрический подход при решении задачи идентификации многомерных безынерционных объектов предполагает наличие некоторой параметризованной модели, представляющей собою поверхность в пространстве «входных-выходных» переменных.

В том случае, когда компоненты вектора входных переменных статистически зависимы, т.е. мы имеем дело с «трубчатой» структурой объекта, необходимо ввести индикаторную функцию $I(u)$. Вышеприведенная параметрическая модель при этом должна быть скорректирована следующим образом:

$$\hat{x}(t) = I_s(u)\sum_{l=1}^{N}\alpha_l \varphi_l(u), \tag{2}$$

где в качестве оценки индикатора $I_s(u)$ можно принять следующее приближение:

$$I_s(u) = \operatorname{sgn} \sum_{i=1}^{s} \prod_{j=1}^{m} \Phi\left(c_s^{-1}\left(u^j - u_i^j\right)\right), \tag{3}$$

где параметр размытости ядра c_s и колоколообразная функция $\Phi\left(c_s^{-1}\left(u^j - u_i^j\right)\right)$, $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, s}$ удовлетворяют некоторым условиям сходимости.

Таким образом, модель «трубчатого» процесса (Н-модель) отличается от общепринятых моделей наличием индикатора.

Логика построения такого индикатора состоит в том, что при произвольно заданном значении текущей переменной $u = u'$ индикатор $I_s(u)$ примет значение единицы, если u' принадлежит «трубчатой» структуре, определяемой имеющейся выборкой $\left\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\right\}$, если же u' приняло значение за пределами «трубки», то индикатор равен нулю.

Оценку индикатора (4) можно модифицировать следующим образом:

$$I_s^{'}(u) = \operatorname{sgn} \sum_{i=1}^{s} \Phi\left(c_s^{-1}\left(\hat{x}_s(u) - x_i\right)\right) \prod_{j=1}^{m} \Phi\left(c_s^{-1}\left(u^j - u_i^j\right)\right), \tag{4}$$

где $\hat{x}_s(u)$ – прогноз выхода объекта можно получить с помощью непараметрической оценки функции регрессии Надарая-Ватсона [6, 7]. Непараметрическую оценку Надарая-Ватсона можно использовать не только для получения прогноза выходной переменной [8], но и в целях получения значения оценки индикаторной функции (4). Оценка индикатора (4) обладает робастными свойствами [6].

Заметим, что если процесс описывается поверхностью в пространстве $\Omega(u, x)$, то можно использовать общепринятые параметрические модели. Если же процесс имеет трубчатую структуру в этом пространстве, то необходимо использовать Н-модель (2) [9]. В этом случае, при получении оценок параметров модели (2) необходимо учитывать наличие индикаторной функции. Тогда рекуррентные оценки параметров α, например, методом стохастических аппроксимаций [10], будет иметь следующий вид:

$$\alpha_s^l = \alpha_{s-1}^l + \gamma_s^l \left(x_s - I_s(u_s) \sum_{l=1}^{N} \alpha_{s-1}^l \varphi_l(u_s) \right) I_s(u_s) \varphi_l(u_s), \; l = \overline{1, N}. \tag{5}$$

В данном случае при рекуррентном подсчете оценок учитываем наличие индикаторной функции.

Заключение. В статье рассмотрен новый класс процессов, особенностью которых является стохастическая зависимость между компонентами вектора входных переменных. Такие процессы называются «трубчатыми» или Н-процессами. При моделировании и идентификации такого рода процессов необходимо учитывать тот факт, что процесс протекает не во всей регламентированной области, а лишь в некоторой ее подобласти. Вследствие того, что в многомерном случае априорно неизвестно, между какими переменными существует стохастическая зависимость, вид данной подобласти также остается неизвестным. Общепринятая параметрическая модель должна быть скорректирована с помощью индикаторной функции. Предложены модификации индикаторной функции.

Выражаю благодарность научному руководителю А.В. Медведеву.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975, 683 с.
2. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. М.: Наука, 1984, 320 с.
3. Медведев А.В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск: Наука, 1983, 174 с.
4. Медведев А.В. Анализ данных в задаче идентификации // Компьютерный анализ данных моделирования. Минск: БГУ, 1995. Т. 2. С. 201-206.
5. Корнеева А.А. Исследование непараметрических моделей процессов трубчатого типа / А.А. Корнеева, Н.А. Сергеева, Е.А. Чжан // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – Вып. 5 (45). – 2012. – С. 44-49.
6. Надарая Э.А. Непараметрические оценки плотности вероятности и кривой регрессии. Тбилиси: изд-во Тбил. ун-т, 1983, 194 с.
7. Korneeva A.A. About data analysis in non-parametric identification problem / A.A. Korneeva, N.A. Sergeeva, E.A. Chzhan // Proceedings of the international workshop Applied methods of statistical analysis, Novosibirsk. – 2013. – P. 116-123.
8. Gasser T. Kernel estimation of regression function / T. Gasser, H.G. Muller // Lect. Notes Math. – 1979. – V.757. – P. 23-68.
9. Корнеева А.А., Сергеева Н.А., Чжан Е.А.О непараметрическом анализе данных в задаче идентификации // Вестн. Том. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. №1 (22).
10. Медведев А.В. Основы теории адаптивных систем. – Красноярск: изд-во Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та, 2015, 525 с.

Рецензент: Статья рецензирована членами редколлегии журнала.

Chzhan Ekaterina Anatolevna
Siberian Federal University
Russia, Krasnoyarsk
E-mail: ekach@list.ru

About the computer research of H-models for discrete-continuous processes

Abstract. For many industries, such as the construction industry, petrochemical industry, manufacture electronic components continuous production technology is dominated. However, measurement of the process is carried out at different intervals, and control discrete of different variables may differ. This is due to the fact that some variables can be measured electrically, other values can only be obtained via chemical or physical analysis. Thus, such processes can be viewed as a discrete-continuous processes with lag. The article discusses the problem of identification of multidimensional discrete-continuous processes with stochastic dependence of the components of the input vector. It should be noted that the researcher is not known a priori of a relationship between the input variables. Such processes will be called "tubular" or H-processes. Using universally accepted parametric models to identify H-processes do not give a satisfactory result. Because of the relationship between the input variables H-processes do not run in the entire regulated region of space of the input and output variables but only in some subregions. If the process in this space has a “tubular” structure, it is necessary to add the indicator function to the parametric model. The indicator is based on the function of the local approximation method. Parametric model of "tubular" process containing the indicator function would be called the H-model.

Keywords: discrete-continuous process; H-model; “tubular” process; nonparametric identification; parametric identification; indicator function; sample of observations.

REFERENCES

1. Eykkhoff P. Osnovy identifikatsii sistem upravleniya. M.: Mir, 1975, 683 s.
2. Tsypkin Ya.Z. Osnovy informatsionnoy teorii identifikatsii. M.: Nauka, 1984, 320 s.
3. Medvedev A.V. Neparametricheskie sistemy adaptatsii. Novosibirsk: Nauka, 1983, 174 s.
4. Medvedev A.V. Analiz dannykh v zadache identifikatsii // Komp'yuternyy analiz dannykh modelirovaniya. Minsk: BGU, 1995. T. 2. S. 201-206.
5. Korneeva A.A. Issledovanie neparametricheskikh modeley protsessov trubchatogo tipa / A.A. Korneeva, N.A. Sergeeva, E.A. Chzhan // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva. – Vyp. 5 (45). – 2012. – S. 44-49.
6. Nadaraya E.A. Neparametricheskie otsenki plotnosti veroyatnosti i krivoy regressii. Tbilisi: izd-vo Tbil. un-t, 1983, 194 s.
7. Korneeva A.A. About data analysis in non-parametric identification problem / A.A. Korneeva, N.A. Sergeeva, E.A. Chzhan // Proceedings of the international workshop Applied methods of statistical analysis, Novosibirsk. – 2013. – P. 116-123.
8. Gasser T. Kernel estimation of regression function / T. Gasser, H.G. Muller // Lect. Notes Math. – 1979. – V.757. – P. 23-68.
9. Korneeva A.A., Sergeeva N.A., Chzhan E.A.O neparametricheskom analize dannykh v zadache identifikatsii // Vestn. Tom. gos. un-ta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika. 2013. №1 (22).
10. Medvedev A.V. Osnovy teorii adaptivnykh sistem. – Krasnoyarsk: izd-vo Sib. gos. aerokosmich. un-ta, 2015, 525 s.