
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.032.26 + 338.27

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕТИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ КОННЕКТИВИСТСКИХ МОДЕЛЕЙ*

Аль-Катабери Айман, аспирант, Волгоградский государственный технический университет, 400131, Россия, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: aiman.qataberi@gmail.com.

Камаев Валерий Анатольевич, доктор технических наук, Волгоградский государственный технический университет, 400131, Россия, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: cad@vstu.ru.

Щербаков Максим Владимирович, кандидат технических наук, Волгоградский государственный технический университет, 400131, Россия, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: maxim.shcherbakov@gmail.com.

В статье рассматривается решение проблемы прогнозирования социально-экономических показателей сети муниципальных образований на примере рождаемости в одном из районов Волгоградской области. Указываются особенности предметной области на основе анализа паспортов муниципальных образований за 2007–2009 гг. Каждый паспорт состоит из 29 тематических секций. Предлагается методика прогнозирования показателей, основанная на построении сети объектов, и синтеза на основе сети гибридных прогнозных моделей. Для каждого показателя формируются две модели. Одна модель отражает зависимость значений прогнозируемого измерения (показателя) от других показателей в рамках одного узла, другая – зависимость значения прогнозируемого показателя от однотипных показателей в других узлах. В качестве моделей прогнозирования используются эволюционные коннективистские модели Касабова на основе нейронной сети. Структура эволюционной нейронной сети формируется в процессе обучения вместе с подстройкой весов. Такой подход отличается способностью адаптироваться к изменению структуры или режимов функционирования исследуемой системы и ее окружения. Приведены результаты прогнозирования рождаемости в 4-х муниципальных образованиях Дубовского района Волгоградской области. Средняя ошибка прогноза для гибридной модели составила 2,88 %. Приведены выводы по развитию предложенной методики.

Ключевые слова: социально-экономические показатели, прогнозирование, эволюционные коннективистские системы, гибридные модели.

FORECASTING METHOD OF MUNICIPAL UNITS' SOCIO-ECONOMIC INDICATORS BASED ON EVOLUTIONAL CONNECTIONISTS MODELS

Al-Qataberi Aiman, Post-graduate student, Volgograd State Technical University, 28 Lenin avenue, Volgograd, 400131, Russia, e-mail: aiman.qataberi@gmail.com.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 10-07-97008-р_поволжье_а).

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Kamaev Valery A., Dr.Sc. in Techology, Volgograd State Technical University, 28 Lenin avenue, Volgograd, 400131, Russia, e-mail: cad@vstu.ru.

Shcherbakov Maxim V., Cand. in Technics, Volgograd State Technical University, 28 Lenin avenue, Volgograd, 400131, Russia, e-mail: maxim.shcherbakov@gmail.com.

The article considers the problem of socio-economic indicators forecasting in domain of the municipalities network in the Volgograd region. The birth-rate has been chosen as an indicator in case study. The information cards contain 29 sections of data on municipal units in the period 2007–2009. The peculiarities of the domain are listed. A method for forecasting of indicators is suggested and it is based on hybrid forecasting models. For each indicator 2 models are created. The first model is generated for forecasting variables of one dimension in the considered node as a dependant variable out of dimensions in the same node. The second one is for definition of dependences between considered dimension and dimensions in other nodes but of the same type. The forecasting models are based on Kasabov's neural networks evolving connectionists models. The structure of neural networks evolving connectionists models is formed during the learning process with adjustable weights. This approach is able to adapt to changes in the structure or functioning of the system and its environment. The results of birth rate forecasting in 4 municipalities of Dubovsky district in the Volgograd region are shown. The average forecast error for the hybrid model was 2,88 %. Conclusions about further research are presented in the article.

Key words: *socio-economic indicators, forecasting, evolutionary connectionist systems, hybrid models.*

Проблема прогнозирования социально-экономических показателей является актуальной для формирования управленческих решений. В частности задача разработки стратегии развития муниципальных образований (МО) тесно связана с задачей прогнозирования и планирования. В последнее время отмечается повышенный интерес к данной проблематике и предлагаются различные подходы к решению задач моделирования социально-экономического развития [1, 4]. Однако они тесно связаны с рассматриваемым объектом их спецификами, степенью участия эксперта в процессе прогнозирования, полнотой и непротиворечивостью данных. Отметим ряд ключевых особенностей предметной области, формирующих требования к разработке специфичной методики прогнозирования [2, 5]. Во-первых, рассматривается сеть объектов прогнозирования, имеющих одинаковый набор параметров, в данном исследовании это сеть муниципальных образований. Во-вторых, для сбора первичной информации разработаны и используются паспорта муниципальных образований. Ниже приведены краткие характеристики имеющейся информации. Каждый паспорт представляет собой файл формата xls и слабо структурирован. Данные разделены на 29 тематических секций и общее количество параметров – 707. В-третьих, имеются значительные пропуски в данных, а по некоторым показателям они достигают 100 %. Кроме этого, данные фиксировались по итогам календарного года, что затрудняет осуществление анализа динамики изменения ситуации. И последнее: социально-экономические показатели значительно коррелируют между собой, и такую взаимосвязь можно использовать для улучшения качества прогнозирования.

В статье предложена методика прогнозирования социально-экономических показателей сети муниципальных образований, учитывающая указанные специфики. Методика основана на технологиях интеллектуального анализа данных CRISP-DM, KDD [6, 7]. В качестве модели прогнозирования используются эволюционные коннективистские модели Касабова [8].

МЕТОДИКА

Предлагаемая методика включает в себя следующие основные шаги.

Шаг 1. Определить множество объектов $\{N_1, N_2, N_3, \dots, N_n\}$, входящих в сеть и задать n узлов сети. Таким образом, каждый узел соответствует муниципальному образованию. Отметим, что один из таких узлов может быть центральным, что соответствует районному центру или городу.

Шаг 2. Для каждого i -го узла N_i , где $i = 1, \dots, n$ определить d вершин из множества измерений (атрибутов) $\{D_1^i, D_2^i, D_3^i, \dots, D_d^i\}$. При этом считаем, что множество измерений $\{D_j^i\}_{j=1}^d$ для каждого узла одно и то же, а индекс i обозначает узел, к которому относится атрибут. Положим, что каждая вершина имеет свой *тип* P , выбранный из множества типов $\{P_1, P_2, P_3, \dots, P_p\}$, где p – число типов. Следовательно, j -й атрибут i -го узла типа k будем обозначать как $D_j^i[P_k]$. Множество значений атрибутов вершины будем называть мерами. Так меру j -го атрибута i -го узла типа k в момент времени t будем обозначать как $M[D_j^i[P_k]]$ или $y(i, j, k, t)$.

Шаг 3. Для каждого узла задать связи *первого уровня* $\{R_r^1\}_{r=1}^{R1}$, определяющие зависимости значений (мер) вершины $D_a^i[P_b]$ от значений мер других вершин заданного i -го узла, т.е. $R_r^1(N_i): \{M[D_j^i[P_k]]\} \rightarrow M[D_a^i[P_b]]$, где меры заданной вершины $M[D_a^i[P_b]]$ определяются посредством множества мер вершин $j=1, \dots, d$ типов $k=1, \dots, p$, при этом $j \neq a$ и $k \neq b$. Считаем, что для каждого узла в соответствии с множеством связей $\{R_r^1(N_i)\}_{r=1}^{R1}$ существует множество функций $\varphi_{i,a,b}$, определяющих зависимости

$$\hat{y}(i, a, b, t) = \varphi_{i,a,b}(\{y(i, j, k, t-1)\}, \mathbf{w}_{i,a,b}^1), \quad (1)$$

где $\hat{y}(i, a, b, t)$ – прогнозное значение измерения, $j = 1, \dots, d$, $k = 1, \dots, p$ и $a = i, b = 1, \dots, d$ и $c = 1, \dots, p$ и $c \neq k$, а $\mathbf{w}_{i,a,b}^1$ – настраиваемые параметры функции.

Шаг 4. Для каждой a -ой вершины b -го узла сети задать связи *второго уровня* $\{R_s^2\}_{s=1}^{R2}$, определяющие зависимости значений (мер) вершины $D_j^i[P_b]$ типа c от значений мер вершин такого же типа других узлов, т.е. $R_s^2(N_i): \{M[D_j^i[P_c]]\} \rightarrow M[D_b^a[P_c]]$, а следовательно, можно считать, что существует множество функций $\psi_{a,b,c}$, определяющих зависимости в соответствии с $\{R_s^2\}_{s=1}^{R2}$:

$$\hat{y}(a, b, c, t) = \psi_{a,b,c}(\{y(i, j, c, t-1)\}, \mathbf{w}_{a,b,c}^2), \quad (2)$$

где $i = 1, \dots, n$, $a = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, d$, $b = 1, \dots, d$, $c = 1, \dots, p$, при этом $a \neq i$, $b \neq j$, а $\mathbf{w}_{a,b,c}^2$ – настраиваемые параметры функции.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Шаг 5. Задать функцию качества для каждой группы моделей из множества на основе средней невязки между наблюдаемым значением и прогнозным

$$J_1(\mathbf{w}_{i,j,k}^1, \mathbf{w}_{i,j,k}^2) = \frac{1}{(n+d+p)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^p |y(i,j,k,t) - \hat{y}(i,j,k,t)|. \quad (3)$$

Шаг 6. Сформировать и настроить модели вида (1), (2) посредством применения алгоритма настройки и нахождения таких переменных $\tilde{\mathbf{w}}_{i,j,k}^1, \tilde{\mathbf{w}}_{i,j,k}^2$, при котором функция (3) стремилась бы к минимуму. Для вычисления результата можно использовать среднее арифметическое результатов моделей.

На основании [3, 7], эволюционная коннективистская система примет вид:

$$ECS = \langle UN, REA, ELY, F, PR, J \rangle, \quad (4)$$

где UN – множество элементов, REA – множество связей, сформированных в процессе изменения структуры сети, ELY – множество слоев (входной, эволюционный, выходной), F – множество функций преобразования информации элементами UN , PR – процедура настройки значений связей REA для минимизации функционала J . Процедура настройки PR основана на адаптации к новым обучающим примерам, либо посредством изменения значения веса связей между нейронами скрытого и эволюционного слоев, либо путем добавления новых нейронов в эволюционный слой [3].

ПРИМЕНЕНИЕ

Данная методика была апробирована при решении задачи прогнозирования социально-экономического показателя, характеризующего рождаемость в МО Волгоградской области за 2007–2009 гг. В качестве сети объектов выбран Дубовский район со следующими сельскими поселениями (выборочно): $N = \{\text{Горнобалыклейское, Горноводяновское, Горнопролейское, г. Дубовка}\}$. В качестве измерений $D = \{\text{численность населения трудоспособного возраста, пришло (чел.), убыло (чел.), среднемесячные денежные доходы на душу населения, число зарегистрированных преступлений, число больниц, число случаев заболеваний алкоголизмом, количество предприятий, доходы местного бюджета, расходы бюджета на ЖКХ, расходы бюджета на образование, расходы бюджета на здравоохранение, расходы бюджета на социальную политику, число родившихся}\}$. В соответствии с методикой были сформированы 2 эволюционные модели. Результаты прогнозирования представлены в таблице.

Таблица

Результаты прогнозирования $D = \{\text{число родившихся (чел.)}\}$

МО	Прогнозные значения		Фактическое значение	Средняя симметричная относительная ошибка, %
	Модель 1	Модель 2		
Горнобалыклейское	21	21	20	2,44
Горноводяновское	5	5	5	0,00
Горнопролейское	23	23	23	0,00
г. Дубовка	172	171	170	0,44

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика прогнозирования социально-экономических показателей муниципальных образований позволяет учитывать зависимости между измерениями в одном узле, а также в рамках сети с муниципальным центром. Это позволяет отследить тренд развития муниципальных образований в рамках структуры «районный центр – муниципальные образования» и моделировать различные стратегии развития.

Методика апробирована на примере сельских и городских поселений Дубовского района и анализа демографической ситуации в районе. Средняя ошибка прогноза составила 2,88 %. Предлагается усилить методику кусочно-непрерывными моделями на базе подхода Такаги-Сугено, что позволит более точно прогнозировать параметры в условиях выхода прогнозных значений из области их определения в обучающей выборке.

Список литературы

1. Архипова Н. И. Сценарный анализ региональных социально-экономических систем / Н. И. Архипова, Д. А. Кононов, В. В. Кульбп // Проблемы регионального и муниципального управления : докл. III Междунар. конф. (21 мая 2001 г.). – М. : РГГУ, 2001. – С. 57–63.
2. Камаев В. А. Анализ социально-экономического развития муниципальных образований на примере Волгоградской области с использованием моделей data mining / Камаев В. А., М. В. Щербаков, А. С. Аль-Катабери // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. – Волгоград, 2010. – Т. 6, № 8. – С. 103–106. – (Сер. «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»).
3. Камаев В. А. Применение коннективистских систем для прогнозирования потребления электроэнергии в торговых центрах / В. А. Камаев, М. В. Щербаков, Д. П. Панченко, Н. Л. Щербакова, А. Бребельс // Управление большими системами. – М. : ИПУ РАН, 2010. – Вып. 31. – С. 92–109.
4. Кацко И. А. Этапы построения математических моделей для управления в социально-экономических системах / И. А. Кацко // Экономический вестник Ростовского государственного университета. – 2008. – Т. 1, № 1.
5. Щербаков М. В. Концепция информационной системы муниципальных образований и инвестиционных площадок / М. В. Щербаков, В. А. Камаев, А. С. Аль-Катабери // Электронная культура. Преодоление информационного неравенства : мат-лы Междунар. конф. (2–5 июня 2008 г.). – Астрахань, 2008. – С. 127–130.
6. Щербаков М. В. Методика выявления потенциала энергосбережения на основе интеллектуального анализа данных / М. В. Щербаков, Т. А. Яновский, А. Бребельс, Н. Л. Щербакова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2011. – № 2. – С. 51–55.
7. Frawley W. J. Knowledge discovery in databases: an overview / W. J. Frawley, G. Patetsky-Shapiro, C. J. Mathews. – Cambridge : AAAI/MIT Press, 1991.
8. Kasabov N. Evolving connectionists systems. The Knowledge Engineering Approach / N. Kasabov // Originally published in the Series: Perspectives in Neural Computing. – 2nd ed. – XXII. – 451 p.

References

1. Arhipova N. I. Scenarnyj analiz regional'nyh social'no-jekonomicheskikh sistem / N. I. Arhipova, D. A. Kononov, V. V. Kul'bp // Problemy regional'nogo i municipal'nogo upravlenija : dokl. III Mezhdunar. konf. (21 maja 2001 g.). – M. : RGGU, 2001. – S. 57–63.
2. Kamaev V. A. Analiz social'no-jekonomicheskogo razvitiya municipal'nyh obrazovanij na primere Volgogradskoj oblasti s ispol'zovaniem modelej data mining / V. A. Kamaev, M. V. Shcherbakov, A. S. Al'-Qataberi // Izvestia VolgGTU : mezhvuz. sb. nauch. st.– Volgograd, 2010. – T. 6, № 8. – S. 103–106. – (Ser. "Aktual'nye problemy upravlenija, vychislitel'noj tehniki i informatiki v tehniceskikh sistemah").
3. Kamaev V. A. Primenenie konnektivistskikh sistem dlja prognozirovanija potreblenija jelektrojenergii v torgovyh centrah / V. A. Kamaev, M. V. Shcherbakov, D. P. Panchenko, N. L. Werbakova, A. Brebel's // Upravlenie bol'shimi sistemami. – M. : IPU RAN, 2010. – Vyp. 31. – S. 92–109.
4. Kacko I. A. Jetapy postroenija matematicheskikh modelej dlja upravlenija v social'no-jekonomicheskikh sistemah / I. A. Kacko // Jekonomicheskij vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2008. – T. 1, № 1.
5. Shcherbakov M. V. Konceptija informacionnoj sistemy municipal'nyh obrazovanij i investicionnyh plowadok / V. A. Kamaev, M. V. Werbakov, A. S. Al'-Kataberi // Jelektronnaja kul'tura. Preodolenie informacionnogo neravenstva : mat-ly Mezhdunar. konf. (2–5 ijunya 2008 g.). – Astrahan', 2008. – S. 127–130.
6. Shcherbakov M. V. Metodika vyjavlenija potenciala jenergosberezhenija na osnove intellektual'nogo analiza dannyh / M. V. Shcherbakov, T. A. Janovskij, A. Brebels, N. L. Shcherbakova // Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii. – 2011. – № 2. – S. 51–55.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

7. Frawley W. J. Knowledge discovery in databases: an overview / W. J. Frawley, G. Patetsky-Shapiro, C. J. Mathews. – Cambridge : AAAI/MIT Press, 1991.

8. Kasabov N. Evolving connectionists systems. The Knowledge Engineering Approach / N. Kasabov // Originally published in the Series: Perspectives in Neural Computing. – 2nd ed. – XXII. – 451 s.

УДК 621.375.132

МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВЕТВЛЕННОЙ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

Марченко Алексей Лукич, кандидат технических наук, «МАТИ» – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского, 121552, Россия, Москва, Оршанская, 3, e-mail: marchenkoal@mail.ru.

Разветвленные магнитные цепи с постоянными магнитодвижущими силами и с воздушными зазорами в магнитопроводе являются нелинейными. При расчете магнитных потоков (магнитных индукций) в зазорах магнитные цепи заменяют эквивалентной электрической цепью, причем принимается, что магнитодвижущая сила аналогична электродвижущей силе, магнитное сопротивление участка магнитопровода – резистивному нелинейному сопротивлению с вольт-амперной характеристикой, аналогичной вебер-амперной характеристике соответствующего участка магнитопровода, магнитное сопротивление воздушного зазора – сопротивлению линейного резистора, магнитный поток – электрическому току. В результате получается нелинейная электрическая цепь, которую нужно рассчитывать графическим или каким-либо другим способом.

В статье рассмотрена программа для вычисления магнитных потоков в воздушных зазорах разветвленной магнитной цепи, используемая в вузовском учебном процессе при изучении электротехники. При расчете магнитных потоков использована аналитическая аппроксимация кривых намагничивания четырех марок стали, а при решении системы нелинейных уравнений – численный метод Ньютона. Моделирование магнитной цепи выполнено в среде Borland C++ Builder 6.0.

Ключевые слова: модель магнитной цепи, магнитные потоки в воздушных зазорах, численный метод Ньютона, матрица Якоби.

MODEL ANALYSIS OF MAGNETIC CIRCUIT

Marchenko Alexey L., Cand. in Technics, Moscow State Aviation Technological University, 3 Orshanskaya str., Moscow, 121552, Russia, e-mail: marchenkoal@mail.ru.

The branched magnetic circuits with constant magnetic-driving forces and with air gaps wide in fram are nonlinear. At calculation of magnetic flux (magnetic inductions) in branched magnetic circuits are replaced with an equivalent electric circuit, and it is accepted that magnetic-driving force is similar to an electromotive power, magnetic resistance of a site fram – to resistive nonlinear resistance similar to volt-ampere the characteristic similar veber-ampere to the characteristic of the corresponding site fram, magnetic resistance of an air gap wide – to resistance of the linear resistor, a magnetic flux – to an electric current. The nonlinear electric circuit which needs to be calculated graphic or otherwise as a result turns out.

In the article the program for calculation of magnetic flux in air gaps wide of the branched magnetic circuit used in high school teaching while studying electrical engineering is considered.