УДК 004.9

О.Г. Берестнева, В.А. Вороводенко

Процедура принятия решений на основе анализа визуальных образов

Рассмотрены вопросы визуализации многомерных нечетких рядов. Дана методика анализа образов основы нечеткого ряда. Показано, что самой жесткой конструкцией нечеткого ряда является компонента ряда с наибольшим значением функции принадлежности. Построенный в соответствии с предлагаемой методикой ряд визуальных образов отражает тенденцию развития нечеткого временного ряда. Применение методов визуализации нечетких временных рядов способствует выявлению качественных связей при рассмотрении динамических слабоструктурированных систем (в том числе социальных и экономических). Предложенный подход позволяет на качественном уровне решать задачи группирования, структурирования и прогнозирования в таких системах.

Ключевые слова: нечеткий временной ряд, слабоструктурированные системы, принятие решений, визуализация многомерных данных

Основной особенностью систем принятия решений является усиливающаяся математизация таких систем. Причиной привлечения математических методов является возможность использования однозначных процедур, которые могут выполняться на компьютерах. При этом большинство из решаемых на компьютере задач носит явный алгоритмический характер, требует существования решения и корректных вычислительных методов. Классическое решение единственно и достоверно за конечное время с помощью методов поиска.

Рассмотрение методов принятия решений в социальных и экономических системах говорит о том, что во многих случаях эти обстоятельства не могут быть выполнены. Существование решения можно доказать только в отдельных случаях, при переходе от практической постановки задачи к ее математическому аналогу приходится игнорировать множество влияющих на решение факторов, анализ практической постановки задачи приводит к выводам о возможности существования множества «решений». В таких случаях лицо, принимающее решение, оказывается в обстоятельствах, когда выбор решения превращается в процесс выбора среди множества альтернатив, часто основанных на противоречивых условиях. Следует учитывать, что в социальных и экономических системах действует множество факторов, которые изменяются во времени. Отслеживание состояния таких систем связано с проблемой временных рядов (ВР). Эти ряды обладают высокой степенью неопределенности и требуют для своей обработки применения методов. Такие методы не обеспечивают высокую точность результата. В этом случае можно указать на нейросетевые и нечеткие модели, а также на модели искусственного интеллекта.

Моделирование поведения социальных и экономических систем основано на модели нечеткого динамического процесса, получившей название нечеткого временного ряда (НВР). Многомерность НВР – это свойство, которое обеспечивает комплексность представления информации при сохранении независимости между фиксируемыми показателями.

В данной работе рассматривается самый простой случай, когда многомерный нечеткий временной ряд (МНВР) представлен показателями, которые поддаются измерению и выражаются вещественными числами:

$$\mathbf{W} = \{V(t_1), V(t_2), ..., V(t_i), ..., V(t_k)\}. \qquad (1)$$

Здесь $\mathbf{W}$ – МНВР, конечный набор векторов показателей; $t_1, t_2, ..., t_i, ..., t_k$ – моменты времени, когда $V(t_i)$ наблюдается и регистрируется:

$$V(t_i) = \{q_1(t_i), q_2(t_i), ..., q_n(t_i)\} \qquad (2)$$

Вектор показателей измеряется и регистрируется в момент t_i.

Нечеткость скрыта в показателях $q_j(t_i)$.

Анализ МНВР затруднен тем, что получение полных количественных данных не представляется возможным или не является достаточным.

Постановка задачи. Для известного МНВР требуется построить визуальный образ, позволяющий ЛПР проводить необходимые манипуляции и анализ МНВР.

Как следует из (1) и (2), многомерный нечеткий временной ряд **W** легче всего представить в виде электронной таблицы или списка списков. В этом случае $V(t_i)$ – вектор-строка, состоящая из различных показателей, измеряемых и регистрируемых в момент t_i :

$$V(t_i)=\{q_1(t_i),q_2(t_i),...,q_n(t_i)\}=\{q_{i_1},q_{i_2},...,q_{i_n}\}, \quad (3)$$

где $q_{i_n}\in R$; $V(t_i)$ можно считать точкой пространства R_n для момента t_i.

Из (1) следует, что МНВР представляет последовательность точек R_n.

$$\mathbf{W}=\{V(t_1),V(t_2),...,V(t_i),...,V(t_k)\}=\{V_1,V_2,...,V_i,...,V_k\}.$$

Это конечная последовательность, и ее можно считать отрезком МНВР.

Введем в рассмотрение множество ортонормированных на [0,1] полиномов:

$$P=\{P_0(\tau),P_1(\tau),...,P_{n-1}(\tau)\}^T=colomn\{P_0(\tau),...,P_{n-1}(\tau)\}. \quad (4)$$

Основной особенностью этих полиномов будем считать то обстоятельство, что их можно изобразить в виде графиков функций от аргумента $\tau\in[0, 1]$.

Тогда каждой строке $V(t_i)$ можно поставить в соответствие функцию $F_i(\tau)=(V(t_i),P)=\sum q_{i,k}P_k(\tau)$.

Последовательности **W** поставим в соответствие последовательность $\{F_i(\tau)\}_{i=1}^{i=k}$.

В этой формуле переменная τ называется параметром композиции, так как способствует переходу от вектора $V(t_i)$ к функции $F_i(\tau)$ и тем самым порождает визуальный образ $F_i(\tau)$ вектора $V(t_i)$. Последний можно наблюдать только как набор значений в электронной таблице, а функцию $F_i(\tau)$ можно представить в виде графика (рис. 1).

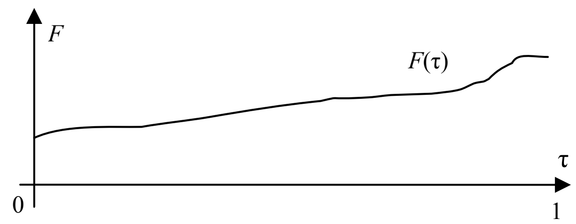

Рис. 1. Графическое отображение функции $F(\tau)$

Визуализация нечетких временных рядов. Визуальные свойства ортонормированных полиномов наиболее сильно проявляются на отрезке [0,1], и по этой причине он служит основой для представления образов $F_i(\tau)$ и прообразов $V(t_i)$ [1, 2]. Возникает два пространства: пространство оригиналов $V(t_i)$ и пространство изображений-образов. Два эти пространства связаны между собой условием изометричности. Действительно, эвклидова норма в пространстве оригиналов R_n

$$\|V(t_i)\|_{R_n}=\sqrt[2]{\sum_{k=1}^{n}q_{ik}^2},$$

а норма функции $F_i(\tau)$ в пространстве изображений $L_n(\tau)$ может быть вычислена по формуле

$$\|F_i(\tau)\|_{L_n}=\left\|\sum_{k=1}^{n}q_{ik}P_{k-1}(\tau)\right\|_{L_n}=(\int_0^1(\sum(q_{ik}P_{k-1}(\tau))^2d\tau))^{\frac{1}{2}}=(\sum_{k=1}^{n}q_{ik}^2)^2. \quad (5)$$

Последнее равенство достигается ввиду свойств ортонормирования полиномов $P(\tau)$. Таким образом, выполняется равенство $\|V(t_i)\|_{R_n}=\|F_i(\tau)\|_{L_n}$, из которого и следует изометричность двух пространств.

Через функцию нормы можно определить функцию метрики r

$$r(A(\tau),B(\tau))=\|A(\tau)-B(\tau)\|$$

и наблюдать различия между двумя функциями – образами А(τ) и В(τ).

Создавшееся соответствие $A(t_i)\to A(\tau)$ и $B(t_j)\to B(\tau)$ позволяет наблюдать разницу между образами на экране компьютера.

При этом происходит включение аналитических способностей ЛПР в схему исследования образов, а значит, и оригиналов. Зрительная система человека является наиболее быстрой системой анализа изображений и позволяет делать выводы о свойствах наборов оригиналов. Таким образом, происходит разделение функций между ЛПР и компьютером. На компьютере происходит рутинная обработка электронной таблицы и подготовка образов, а ЛПР производит более тонкую, аналитическую обработку данных.

Если трактовать $A(t_i)$ и $B(t_j)$ как две точки многомерного пространства, то отрезок AB можно представить как

$$AB = (1-\lambda)A(t_i) + \lambda B(t_j), \lambda \in [0,1].$$

Параметр λ называется секвенциальным параметром, т.е. параметром, отвечающим за последовательность образов.

На основе трех переменных (параметра композиции τ; переменной для значения образов F; секвенциального параметра λ) можно сформировать визуальное пространство $\{\tau, F(\tau, \lambda), \lambda\}$, которое используется для представления МНВР.

В качестве параметра λ можно использовать функцию метрики r. В таком случае получается наглядная картина представления МНВР на экране компьютера.

Секвенциальный параметр λ может играть роль времени t. Заметим, что сделан переход от последовательности оригиналов к последовательности визуальных образов, у которых сохранены все информационные признаки нечеткости. Они сохранены в электронной таблице оригиналов и никак не скажутся на диаграмме образов.

С практической точки зрения все оригиналы принадлежат некоторому универсуму, при этом каждый показатель ассоциируется с некоторым свойством и это свойство может порождать нечеткий предикат, который можно характеризовать значением истинности. Принято считать, что нечеткий предикат может принимать континуум значений истинности [0,1]. Причем, как всегда, число 0 соответствует понятию «ноль», а число 1 – понятию «истина». Чем в большей степени показатель соответствует рассматриваемому свойству, тем более близко к 1 должно быть значение истинности нечеткого предиката [3].

Функции принадлежности можно использовать как параметры, которые определяют секвенциальный параметр λ. Следовательно, визуальные образы $F_i(\tau)$ будут упорядочены в соответствии со значениями функций принадлежности. Для всех образов $F_i(\tau)$ фиксируется одна функция принадлежности с разными значениями для каждого из образов в соответствии с данными.

Визуализация позволяет исследовать вопрос о влиянии конкретной функции принадлежности на порядок следования образов и их взаимное расположение. Эту информацию можно получить в виде списков, однако визуальная картина охватывает весь ансамбль образов и позволяет выделить в нем наиболее «выдающиеся» образы. Положение этих образов будет группироваться ближе к концам отрезка секвенциальности, а весь ансамбль образов можно будет характеризовать точками сгущения образов. Вид функции принадлежности будет влиять на последовательность образов, по этой причине функцию принадлежности можно задавать экспертным путем, ориентируясь на такие свойства, которые могут быть измерены в некоторой известной количественной шкале. Ввиду того, что НВР не требует точного задания функций принадлежности, иногда достаточно зафиксировать наиболее характерные значения [4].

Визуальное группирование данных позволяет ЛПР представить структуру НВР и, главное, грубо определить тенденцию развития этого ряда. Однако при формировании визуальных образов надо учитывать, что показатель $q_k(t)$ представлен как список нечетких величин. Это означает, что

$$q_k(t) = \{\{q_{k1}(t), \mu_{k1}(t)\}, \{q_{k2}(t), \mu_{k2}(t)\}, \ldots, \{q_{kj}(t), \mu_{kj}(t)\}\},$$

здесь $q_{kj}(t)$ – значение показателя, для которого определено значение функции принадлежности, которая ставит в соответствие некоторое действительное число из интервала [0,1]. Таким образом, показатель $q_k(t)$ представлен нечетким множеством.

Очевидно, что при таком обилии значений визуализация, т.е. переход от оригиналов к образам, представляет собой проблему. Для решения этой задачи можно предложит в несколько подходов, один из которых состоит в следующем: из данных, которые представлены НВР **W**, выделяется наиболее достоверный НВР. Этого можно достичь, если от **W** перейти к $\mathbf{W}_0$, который имеет в качестве $q_k(t)$ не множество, а одно нечеткое значение, но это значение является $q^0{}_k(t)$ – самым достоверным, а значит, имеет максимальное значение функции принадлежности в множестве $q_k(t)$. Таким образом,

$$q_k^0(t) = \max_{\mu_{ki}} \{q_{ki}, \mu_{ki}\}.$$

Следовательно,

$$W_0 = \left\{V^0(t_1), V^0(t_2), \ldots, V^0(t_k)\right\},$$

$$V^0 = \left\{q_1^0(t_i), q_2^0(t_i), \ldots, q_{ki}^0(t_i)\right\}.$$

Нечеткий ВР $\mathbf{W}_0$ называется нулевым базовым временным рядом, и для него можно построить $\left\{F_i^0(\tau)\right\}_{i=1}^{i=k}$ на основе принципов, данных выше. На этой основе мы будем иметь визуальный образ для $\mathbf{W}_0$, который обозначим F_0. Рассмотрение образа F_0 говорит о том, что это нечеткий образ и его свойства являются следствием свойств $\mathbf{W}_0$. С другой стороны, возможна и обратная связь, т.е. по свойствам F_0 можно судить о свойствах $\mathbf{W}_0$.

При достаточно последовательном развитии ВР, его изменения не являются большими и получаемый образ F_0 обладает свойствами $\mathbf{W}_0$ Можно считать $\mathbf{W}_0$ жестким «каркасом» **W,** и, соответственно, F_0 будет более устойчивой конструкцией, чем F. При визуализации это будет проявляться в том, что при изменении **W** нулевой базовый временной ряд $\mathbf{W}_0$ не будет меняться, если изменения **W** не будут касаться компонент $\mathbf{W}_0$. Это обстоятельство будет проявляться и на образе F_0.

Если компоненты $\mathbf{W}_0$ исключить из **W**, то можно получить $\mathbf{W}_1$ – первый базовый временной ряд и поставить ему в соответствие $\left\{F_i^1(i)\right\} = F_1$. Образ F_1 будет менее устойчив к изменениям **W** и будет показывать более вариабельную картину. При анализе изображения F_1 можно установить более широкие границы изменения образов $\left\{F_i^1(\tau)\right\}$. Ввиду линейности преобразования (5) сохраняется аддитивный характер переходов $F_0, F_1, \ldots, F_{n-1}$.

Заключение. На основе визуализации возможно решение ряда задач, для которых затем необходимо обнаружить аналагическую форму постановки. Это такие задачи как сегментация, кластеризация, прогнозирование. Пользователями этих задач будут прежде всего различные ЛПР, для которых будет облегчен процесс формирования результатов, которые могут носить различную форму. Прежде всего, это числовые результаты, для которых возникает лингвистическое сопровождение, отображающее качественные аспекты различных предметных областей.

Специально заметим, что изложенный подход не связан с существовавшей математической моделью системы для которой ведется визуальный анализ НВР. Отсюда невысокая точность прогнозирования, недостаточность критериев качества нечеткого описания, что ведет к ограничению нечеткого моделирования ВР. Это обстоятельство определяет новый подход к анализу ВР, которые характеризуются высокой степенью неопределенности. Это актуально при рассмотрении динамики слабоструктурированных систем, когда идентификация класса модели невозможна, и поэтому получение высокоточных моделей затруднительно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ, проект №12-06-12057в.

Литература

1. Берестнева О.Г. Визуализация экспериментальных многомерных данных на основе обобщенных графических образов / О.Г. Берестнева, В.А. Воловоденко, К.А. Шаропин [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. Сер.: Информационные технологии и системы управления. – 2011. – №. 1. – С. 363– 369. – Режим доступа: http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/75.

2. Volovodenko V.A. Visual interpretation of quantitative characteristics of biosystems / V.A. Volovodenko, O.G. Berestneva, K.A. Sharopin // Fundamental medicine: from scalpel toward genome, proteome and lipidome: proceedings of I international conference, Kazan, April 25-29, 2011. – Казань: Изд-во КГУ, 2011. – С. 126–129.

3. Нечеткие множества / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 32 с.

4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

Берестнева Ольга Григорьевна
Д-р техн. наук, профессор, чл.-кор. МАИ, профессор каф. прикладной математики НИ ТПУ
Тел.: (382-2) 42-61-00
Эл. почта: ogb6@yandex.ru

Волоководенко Виталий Алексеевич
Канд. техн. наук, доцент каф. оптимизации систем управления НИ ТПУ
Тел.: (382-2) 42-04-59
Эл. почта: volcowvav@tpu.ru

Berestneva O.G., Volovodenko V.A.
Visualization of decision-making processes

The problems of visualization of multidimensional fuzzy ranks are considered. The methodology of analysis of images basis of fuzzy number is given. It is shown that the most rigid structure of a fuzzy number is the number of components with the highest value of membership function. Built in accordance with the proposed method a series of visual images reflect the tendency of the fuzzy time series. Application of fuzzy time series visualization facilitates the identification of high-quality bonds in the consideration of dynamical semi-system (including social and economic). The proposed approach allows for a qualitative level to solve the problem of grouping, structuring and forecasting in such systems.
Keywords: Fuzzy time series, semistructured systems, decision-making, visualizationof multidimensional data.