

УДК: 004.032.26:519.174.2



А.В. Шкловец, Н.Г. Аксак
Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ТОЧКАМИ НА КУСОЧНО-ГЛАДКИХ КАРТАХ КОХОНЕНА

В работе предложен метод для вычисления расстояний между данными, визуализированными с помощью кусочно-гладких карт Кохонена. Использование полученных соотношений для определения расстояний позволяет определять расстояния между точками многомерных данных с большей точностью и уменьшить ошибку визуализации структуры данных.

ТРИАНГУЛЯЦИЯ ДЕЛОНЕ, КАРТЫ КОХОНЕНА, ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СПЛАЙН ПОВЕРХНОСТЬ, ОСТОВНОЙ ЛЕС

Введение

Как правило, данные, полученные в результате измерений какой-либо системы или процесса, описываются большим числом параметров. Для выбора метода анализа этих данных путем наглядного представления структуры данных или представления результатов анализа необходимо решить задачу визуализации многомерных данных. В [1] предложен метод визуализации многомерных данных с помощью карт Кохонена. Этот метод обладает рядом недостатков, устранение многих из которых предложено в работах [2-6]. В [7-9] предложены методы построения кусочно-гладких карт Кохонена путем аппроксимации кусочно-линейных карт Кохонена параметрическими сплайнами для решения проблемы отображения некоторых данных в одну точку или на грань карты, в результате чего возникали ошибки визуализации многомерных данных. Построение диаграмм Хиптона [2] на основе кусочно-гладких карт Кохонена требует введения новой метрики, учитывающей искажение карты, что позволяет точнее отображать структуру данных и находить расстояние между точками данных с меньшими ошибками, а также повышает точность визуализации данных.

1. Постановка задачи

Пусть для визуализации n -мерных данных $X = \{X^1, \dots, X^N\}$, $X^c \in R^n$, $c = \overline{1, N}$ имеются кусочно-линейные карты Кохонена, состоящие из l ($l \ll N$) выходных нейронов с матрицами

$$\rho_{\text{РК}}(\hat{X}^i, \hat{X}^j) = \begin{cases} ([\hat{X}^i] + 1 - \hat{X}^i) \rho(W^{[\hat{X}^i]}, W^{[\hat{X}^i] + 1}) + \sum_{k=[\hat{X}^i] + 1}^{[\hat{X}^j] - 1} \rho(W^k, W^{k+1}) + (\hat{X}^j - [\hat{X}^j]) \rho(W^{[\hat{X}^j]}, W^{[\hat{X}^j] + 1}), & \text{при } [\hat{X}^i] \neq [\hat{X}^j], \\ (\hat{X}^j - \hat{X}^i) \rho(W^{[\hat{X}^i]}, W^{[\hat{X}^i] + 1}), & \text{при } [\hat{X}^i] = [\hat{X}^j], \end{cases} \quad (1)$$

где $\rho(\bullet, \bullet)$ – евклидово расстояние в n -мерном пространстве, $[\bullet]$ – целая часть числа.

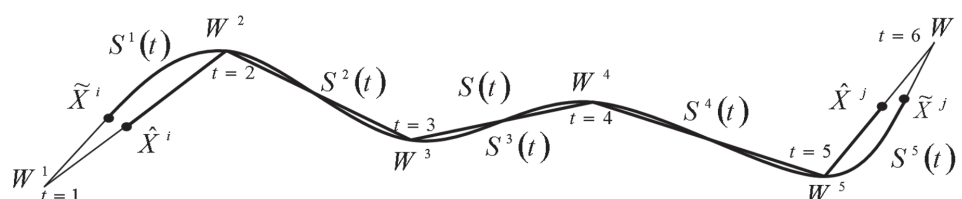


Рис. 1. Кратчайшая линия и Риманово расстояние на линейной карте

весовых коэффициентов W^i , $i = \overline{1, l}$, которые были аппроксимированы параметрическим сплайном $S(t)$ в одномерном случае, и параметрической сплайн поверхностью $S(t_1, t_2)$ в двумерном случае, где t, t_1, t_2 – параметры сплайна. В результате отображения многомерных данных X на кусочно-линейную карту Кохонена и на кусочно-гладкую карту Кохонена были построены множества \hat{X} и \tilde{X} , являющиеся визуализацией множества X . Множества \hat{X} и \tilde{X} принадлежат m -мерному пространству действительных чисел Θ^m ($m = \overline{1, 2}$).

Для увеличения точности отображения структуры данных на карте требуется определить расстояния между точками на кусочно-гладкой и кусочно-линейной картах Кохонена с учетом их искажений в n -мерном пространстве.

2. Одномерная карта Кохонена

Кратчайшее расстояние $\rho_{\text{РК}}(\hat{X}^i, \hat{X}^j)$ (1) между двумя точками \hat{X}^i и \hat{X}^j ($\hat{X}^i \leq \hat{X}^j$) на карте для дискретного и непрерывного отображений определяется как расстояние между этими точками по поверхности карты (рис. 1).

Для одномерной кусочно-гладкой карты Кохонена, представленной в виде параметрического сплайна $S(t)$, Риманово расстояние $\rho_{\text{РС}}(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j)$ между двумя точками \tilde{X}^i и \tilde{X}^j ($\tilde{X}^i < \tilde{X}^j$) на сплайне определяется как длина сплайна между этими точками по формуле (2):

$$\rho_{\mathfrak{R}S}(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j) = \begin{cases} \int_{\tilde{X}^i}^{[\tilde{X}^i]+1} \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dS_p^{[\tilde{X}^i]}(t)}{dt} \right)^2} dt + \sum_{k=[\tilde{X}^i]+1}^{[\tilde{X}^j]-1} \int_k^{k+1} \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dS_p^k(t)}{dt} \right)^2} dt + \int_{[\tilde{X}^j]}^{\tilde{X}^j} \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dS_p^{[\tilde{X}^j]}(t)}{dt} \right)^2} dt, & \text{при } [\tilde{X}^i] \neq [\tilde{X}^j], \\ \int_{\tilde{X}^i}^{\tilde{X}^j} \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dS_p^{[\tilde{X}^i]}(t)}{dt} \right)^2} dt, & \text{при } [\tilde{X}^i] = [\tilde{X}^j], \end{cases} \quad (2)$$

Для кусочно-линейной карты и параме трического сплайна $S(t)$ и пар точек \hat{X}^i, \hat{X}^j и \tilde{X}^i, \tilde{X}^j , приведенных на рис. 1, формулы (1) и (2) представятся в виде:

$$\rho_{\mathfrak{R}}(\hat{X}^i, \hat{X}^j) = \left(2 - \hat{X}^i\right) \rho(W^1, W^2) + \sum_{k=2}^5 \rho(W^k, W^{k+1}) + \left(\hat{X}^j - 5\right) \rho(W^5, W^6), \quad (3)$$

$$\rho_{\mathfrak{R}S}(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j) = \int_{\tilde{X}^i}^2 \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dS_p^2(t)}{dt} \right)^2} dt + \sum_{k=2}^5 \int_k^{k+1} \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dS_p^k(t)}{dt} \right)^2} dt + \int_5^{\tilde{X}^j} \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dS_p^5(t)}{dt} \right)^2} dt, \quad (4)$$

3. Двумерная карта Кохонена

Рассмотрим кусочно-плоскую карту Кохонена

$$Z(t_1, t_2) = \bigcup_{k=1}^M Z^k(t_1, t_2), \quad (5)$$

где

$$Z^k(t_1, t_2) = W^{T_1^k} + t_1 \left(W^{T_2^k} - W^{T_1^k} \right) + t_2 \left(W^{T_3^k} - W^{T_1^k} \right) \quad (6)$$

на триангуляции $T = \{T^1, \dots, T^M\}$, в которой треугольник $T^k = \{T_1^k, T_2^k, T_3^k\}$ состоит из номеров нейронов $T_q^k \in \{1, \dots, l\}$, $q = 1, 3$, $k = 1, M$, M – количество треугольников.

Для нахождения расстояния между точками \hat{X}^i и \hat{X}^j с учетом растяжения карты необходимо найти кратчайшую ломаную на кусочной-плоской

поверхности $Z(t_1, t_2)$, соединяющую заданные точки. Расстояние между точками определяется как длина построенной ломаной. Решение рассматриваемой вариационной задачи очень трудоемко [11].

На рис. 2 представлено плоское изображение карты. Проведем прямую $\tilde{L}(\tau) = (t_1(\tau), t_2(\tau))$ между точками \hat{X}^i и \hat{X}^j в пространстве R^2 , где $\tilde{L}(0) = \hat{X}^i$ и $\tilde{L}(1) = \hat{X}^j$.

Пусть прямая $\tilde{L}(\tau)$ проходит через b треугольников $\{T^{k_1}, T^{k_2}, \dots, T^{k_b}\} \subset T$. Тогда существует $(b-1)$ точка τ^r , $r = 1, b-1$ пересечения прямой $\tilde{L}(\tau)$ с ребрами треугольников T^{k_r} и $T^{k_{r+1}}$. Построим ломаную $L(\tau)$, приближенную к кратчайшей между точками \hat{X}^i и \hat{X}^j так, чтобы её концами были точки \hat{X}^i и \hat{X}^j , и она терпела излом в точках $Z^{k_r}(t_1(\tau^r), t_2(\tau^r))$. Тогда её длина определяется соотношением (7):

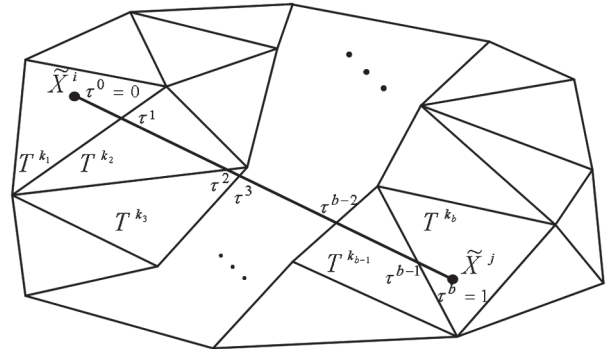


Рис 2. Ломаная, приближенная к кратчайшей для оценки расстояния между точками \hat{X}^i и \hat{X}^j

Формула (7) для вычисления расстояния не является метрикой, так как для неё не выполняется неравенство треугольника, однако она является хорошим приближением длины кратчайшей ломанной между точками \hat{X}^i и \hat{X}^j на поверхности карты $Z(t_1, t_2)$.

$$\rho_{\mathfrak{R}}(\hat{X}^i, \hat{X}^j) = \begin{cases} \rho\left(Z\left(\hat{X}^i\right), Z^{k_1}\left(t_1\left(\tau^1\right), t_2\left(\tau^1\right)\right)\right) + \sum_{r=2}^{b-1} \rho\left(Z^{k_{r-1}}\left(t_1\left(\tau^{r-1}\right), t_2\left(\tau^{r-1}\right)\right), Z^{k_r}\left(t_1\left(\tau^r\right), t_2\left(\tau^r\right)\right)\right) + \\ + \rho\left(Z^{k_{b-1}}\left(t_1\left(\tau^{b-1}\right), t_2\left(\tau^{b-1}\right)\right), Z\left(\hat{X}^j\right)\right) & \text{при } b > 0, \\ \rho\left(Z\left(\hat{X}^i\right), Z\left(\hat{X}^j\right)\right) & \text{при } b = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Рассмотрим кусочно-гладкую карту Кохонена, представленную сплайн поверхностью $S(t_1, t_2)$. Для нахождения Риманова расстояния [12] между точками \tilde{X}^i и \tilde{X}^j с учетом растяжения сплайн поверхности необходимо построить геодезическую линию на $S(t_1, t_2)$, соединяющую точки \tilde{X}^i

и \tilde{X}^j . То есть, необходимо найти такую кривую $L(\tau) = (t_1(\tau), t_2(\tau)) \in S(t_1, t_2)$, $L(\tau^0) \in \tilde{X}^i$, $L(\tau^1) \in \tilde{X}^j$, которая является решением задачи (8)-(10)

$$\int_{\tau^0}^{\tau^1} U\left(\tau, t_1(\tau), t_2(\tau), \frac{dt_1}{d\tau}, \frac{dt_2}{d\tau}\right) d\tau \rightarrow \min, \quad (8)$$

где

$$U\left(\tau, t_1(\tau), t_2(\tau), \frac{dt_1}{d\tau}, \frac{dt_2}{d\tau}\right) = \sqrt{E(t_1(\tau), t_2(\tau)) \frac{d^2 t_1(\tau)}{d\tau^2} + 2F(t_1(\tau), t_2(\tau)) \frac{dt_1(\tau)}{d\tau} \frac{dt_2(\tau)}{d\tau} + G(t_1(\tau), t_2(\tau)) \frac{d^2 t_2(\tau)}{d\tau^2}}, \quad (9)$$

$$\begin{cases} E(t_1, t_2) = \bigcup_{k=1}^M E^k(t_1, t_2); \\ F(t_1, t_2) = \bigcup_{k=1}^M F^k(t_1, t_2); \\ G(t_1, t_2) = \bigcup_{k=1}^M G^k(t_1, t_2); \end{cases} \quad \begin{cases} E^k(t_1, t_2) = R_1^k(t_1, t_2) \cdot R_1^k(t_1, t_2); \\ F^k(t_1, t_2) = R_1^k(t_1, t_2) \cdot R_2^k(t_1, t_2); \\ G^k(t_1, t_2) = R_2^k(t_1, t_2) \cdot R_2^k(t_1, t_2); \end{cases} \quad \begin{cases} R_1^k(t_1, t_2) = \left(\frac{\partial S_1^k(t_1, t_2)}{\partial t_1}, \dots, \frac{\partial S_n^k(t_1, t_2)}{\partial t_1} \right); \\ R_2^k(t_1, t_2) = \left(\frac{\partial S_1^k(t_1, t_2)}{\partial t_2}, \dots, \frac{\partial S_n^k(t_1, t_2)}{\partial t_2} \right); \end{cases} \quad (10)$$

(••) - скалярное произведение векторов. Тогда расстояние между точками \tilde{X}^i и \tilde{X}^j определяется значением минимума целевой функции в задаче (8). Первая квадратичная форма (9) определяет метрический тензор на $S(t_1, t_2)$.

Решение вариационной задачи (8) эквивалентно решению системы (11)

$$\begin{cases} \frac{d}{d\tau} \left(\frac{\partial U}{\partial t_1'}(\tau) \right) - \frac{\partial U}{\partial t_1} = 0, \\ \frac{d}{d\tau} \left(\frac{\partial U}{\partial t_2'}(\tau) \right) - \frac{\partial U}{\partial t_2} = 0, \end{cases}$$

где $\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial t_1'}(\tau) = \frac{\partial U(\tau, t_1(\tau), t_2(\tau), \xi_1, \xi_2)}{\partial \xi_1} \Big|_{\left\{ \xi_1 = \frac{dt_1}{d\tau}, \xi_2 = \frac{dt_2}{d\tau} \right\}} \\ \frac{\partial U}{\partial t_2'}(\tau) = \frac{\partial U(\tau, t_1(\tau), t_2(\tau), \xi_1, \xi_2)}{\partial \xi_2} \Big|_{\left\{ \xi_1 = \frac{dt_1}{d\tau}, \xi_2 = \frac{dt_2}{d\tau} \right\}} \end{cases} \quad (11)$

Система дифференциальных уравнений второго порядка Эйлера-Лагранджа (11) аналитически не может быть решена. Проблема численного решения заключается в том, что коэффициенты системы – суть кусочно-гладкие функции, которые на каждой подобласти T^k описываются многочленом третьего порядка, и неизвестно, по каким областям T^k будет проходить геодезическая кривая.

Как и в случае кусочно-гладкой карты, построим прямую $\tilde{L}(\tau) = (t_1(\tau), t_2(\tau))$, проходящую через b подобластей $\{T^{k_1}, T^{k_2}, \dots, T^{k_b}\} \subset T$ и имеющую $(b-1)$ точку τ^r , $r = \overline{1, b-1}$ пересечения прямой $\tilde{L}(\tau)$ с границами подобластей T^{k_r} и $T^{k_{r+1}}$.

Построим кусочно-гладкую кривую $L(\tau) = \bigcup_{k=1}^M L^k(\tau)$ на поверхности $S(t_1, t_2)$ в простран-

стве R^n , приближенную к геодезической, соединяющей точки \tilde{X}^i и \tilde{X}^j так, чтобы её концами были точки \tilde{X}^i и \tilde{X}^j , и на каждой подобласти T^{k_r} она описывалась соотношением

$$L^r(\tau) = S^{k_r}(\tilde{L}(\tau)), \quad r = \overline{1, b}, \quad (12)$$

$$\tau \in \begin{cases} [0, \tau^1], & \text{при } r = 1 \\ [\tau^{r-1}, \tau^r], & \text{при } r = \overline{2, b-1} \\ [\tau^{b-1}, 1], & \text{при } r = b-1 \end{cases} \quad (13)$$

Тогда её длина определяется соотношением (14):

$$\rho_{\text{экс}}(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j) = \begin{cases} \int_0^{\tau^1} \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dL_p^1(\tau)}{d\tau} \right)^2} d\tau + \\ + \sum_{k=2}^{b-1} \int_{\tau^{k-1}}^{\tau^k} \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dL_p^k(\tau)}{d\tau} \right)^2} d\tau + \\ + \int_{\tau^{b-1}}^1 \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dL_p^b(\tau)}{d\tau} \right)^2} d\tau, \quad \text{при } b > 0, \\ \int_0^1 \sqrt{\sum_{p=1}^n \left(\frac{dL_p^1(\tau)}{d\tau} \right)^2} d\tau, \quad \text{при } b = 0, \end{cases} \quad (14)$$

где $(L_1^k(\tau), \dots, L_n^k(\tau)) = L^k(\tau)$.

Формула (14) для вычисления расстояния не является метрикой, так как для неё не выполняется условие неравенства треугольника, однако она является хорошим приближением Римановой метрики.

4. Численные эксперименты

Для определения качества визуализации данных картами Кохонена предлагается использовать следующие критерии:

1. Критерий ошибки визуализации данных в евклидовой метрике (оценка изменения в структуре данных после отображения на карту)

$$K_v = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left(\frac{\rho(X^i, X^j)}{V} - \frac{\rho(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j)}{\tilde{V}} \right)^2}, \quad (15)$$

где

$$V = \max_{\substack{i=1, N-1 \\ j=i+1, N}} \rho(X^i, X^j), \quad \tilde{V} = \max_{\substack{i=1, N-1 \\ j=i+1, N}} \rho(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j) \quad (16)$$

2. Критерий ошибки визуализации данных в Римановой метрике

$$K_{v_{\text{РМ}}} = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left(\frac{\rho_{\text{РМ}}(X^i, X^j)}{V} - \frac{\rho_{\text{РМ}}(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j)}{\tilde{V}} \right)^2}, \quad (17)$$

где

$$V = \max_{\substack{i=1, N-1 \\ j=i+1, N}} \rho_{\text{РМ}}(X^i, X^j), \quad \tilde{V} = \max_{\substack{i=1, N-1 \\ j=i+1, N}} \rho_{\text{РМ}}(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j), \quad (18)$$

для кусочно-линейной или кусочно-плоской карт Кохонена и

$$K_{v_{\text{РМ}}} = \sqrt{\frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left(\frac{\rho_{\text{РМ}}(X^i, X^j)}{V} - \frac{\rho_{\text{РМ}}(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j)}{\tilde{V}} \right)^2}, \quad (19)$$

где

$$V = \max_{\substack{i=1, N-1 \\ j=i+1, N}} \rho_{\text{РМ}}(X^i, X^j), \quad \tilde{V} = \max_{\substack{i=1, N-1 \\ j=i+1, N}} \rho_{\text{РМ}}(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j) \quad (20)$$

для кусочно-гладких карт Кохонена.

Численные эксперименты проводились для базы данных рынка полимеров компаний из стран СНГ. Визуализация компаний проводилась на основе прямоугольной карты Кохонена размером 9Ч9. Компании характеризовались следующими показателями: страна, вид полимера, прирост с начала года в тоннах и процентах, прирост за последний месяц в тоннах и процентах, доля в импорте с начала года и с начала месяца в процентах, импорт с начала года и за последний месяц в тоннах.

Результаты сравнительного анализа методов визуализации данных по предложенным критериям приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что использование предложенного метода вычисления расстояния с учетом искажения карты Кохонена значительно уменьшает

ошибку визуализации многомерных данных по сравнению с евклидовой метрикой. При использовании кусочно-гладких карт Кохонена ошибка несколько больше, чем при кусочно-линейных картах, что вызвано не всегда желательным изгибом сплайна.

Выводы

Для улучшения отображения структуры данных при их визуализации с помощью кусочно-плоских и кусочно-гладких карт Кохонена в работе впервые предложены соотношения для приближенного вычисления римановой метрики на карте данных. Проведенные эксперименты показали, что предложенные соотношения позволяют значительно уменьшить ошибку визуализации многомерных данных.

Список литературы: 1. Kohonen T. Self-Organizing Maps. Springer: Berlin-Heidelberg, 1997. 2. Зиновьев, А.Ю. Визуализация многомерных данных [Текст] / А. Ю. Зиновьев. – Красноярск: Изд-во КГТУ, 2000. – 168 с. 3. В. Back, K. Sere, H. Vanharanta. Analyzing Financial Performance with Self-Organized Maps. // Proc. of International joint conference on Neural NetWorks. Washington, DC, 1998. 4. K.Kiviluoto, P. Bergius. two-level self-organizing-map's for analysis of financial statement. // Proc. Of international joint conference on Neural NetWorks. Washington, DC, 1998. 5. M. Chang, H. Yu, J. Heh. Evolutionary Self-Organizing map // proc. of international joint conference on Neural NetWorks. Washington, DC, 1998. 6. M.-C.Su, T.-K.Liu, H.-T. Chang. An efficient initialization scheme for the self-organizing feature map algorithm. // Proc. Of International Joint Conference on Neural NetWorks. Washington, DC, 1999. 7. Аксак, Н.Г. Метод аппроксимации карт Кохонена кубическим параметрическим сплайном [Текст] / Н. Г. Аксак, А. В. Шкловец // Системи управління навігації та зв'язку. – 2010. – 2(14). – с. 70-74. 8. Шкловец, А.В. Метод аппроксимации сплайнами минимальной длины линейных карт Кохонена для визуализации многомерных данных [Текст] / А. В. Шкловец, Н. Г. Аксак // XIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2011»: Сб. науч. трудов. В 3 частях. Ч.1. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 280 с. 9. Шкловец, А.В. Аппроксимация двумерных карт Кохонена кубическими сплайн поверхностями [Текст] / А.В. Шкловец, Н.Г. Аксак // сб. науч. тр. – Евпатория: МОИСУ, 2010. – 225 с. 10. Шкловец, А.В. Метод аппроксимации сплайн поверхностями кусочно-плоских карт Кохонена для визуализации многомерных данных [Текст] / А. В. Шкловец, Н. Г. Аксак // XIII всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2012»: Сб. науч.

Таблица 1

Сравнительный анализ методов визуализации многомерных данных

Критерий	Одномерная карта Кохонена		Двумерная карта Кохонена	
	Кусочно-линейная	Кусочно-гладкая	Кусочно-плоская	Кусочно-гладкая
K_v	0,2705	0,2324	0,2940	0,2580
$K_{v_{\text{РМ}}}$	0,1295	0,1302	0,0756	0,0779

трудоу. В 3 частях. Ч.1. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 280 с.
11. Люстерник, Л.А. Кратчайшие линии: Вариационные задачи [Текст] / Л. А. Люстерник. – М.: Гостехиздат, 1955. – 104 с.
12. Эльсгольц, Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление [Текст] / Л. Э. Эльсгольц. – М.: Наука, 1969. – 367 с.

Поступила в редколлегию 16.01.2012

УДК 004.032.26:519.174.2

Вимір відстаней між точками на кусочно-гладкій карті Кохонена / А.В. Шкловець, Н.Г. Аксак // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2012. – № 1 (78). – С. 63-67.

В роботі запропоновано метод для обчислення відстаней між даними, що були візуалізовані за допомогою кусочно-гладких карт Кохонена. Використання отриманих співвідношень для виміру відстаней дозволяє

визначати відстані між точками багатовимірних даних з великою точністю та зменшити похибку візуалізації структури даних.

Табл 1. Іл. 2. Бібліогр.: 12. найм.

UDK 004.032.26:519.174.2

Distance determination between points on the piecewise-smooth Kohonen maps. / A.V. Shklovets, N.G. Axak // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. – 2012. – № 1 (78). – P. 63-67.

A method to calculate the distances between the data visualized using a piecewise-smooth Kohonen maps was suggested. Using the obtained relations for the determination of distances allows determining the distance between the points of multidimensional data with greater accuracy and reducing error rendering data structures.

Tab. 1. Fig.2. Ref.: 12 Items