ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ В РАДІОЕЛЕКТРОНІЦІ

УДК 004.383.1/.3 (043.5)

МЕТОД ДИСКРЕТИЗАЦИИ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ПОНИЖАЮЩИХ РАЗМЕРНОСТЬ НЕРАСШИРЯЮЩИХ КОМПАКТНЫХ РАВНОМЕРНО НЕПРЕРЫВНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ

Федоров Е. Е., доктор технических наук, доцент
Донецкая академия автомобильного транспорта, Донецк, Украина

METHOD OF ANALOGUE SIGNAL SAMPLING ON THE BASIS OF LOWERING DIMENSION NON-EXPANSIVE COMPACT UNIFORMLY CONTINUOUS MAPPING

Fedorov E., Doc. Of Sci (Technics), associate professor
Donetsk Academy of Automobile Transport, Donetsk, Ukraine

Введение

В настоящее время широкое распространение получают компьютерные системы классификации объектов и диагностики их состояния. Важную роль для этих систем играет проблема построения эффективных методов, которые обеспечивают высокую вероятность, адекватность и скорость дискретизации аналогового сигнала.

В работах, связанных с цифровой обработкой сигнала, теоретические положения функционального анализа не применяются к дискретизации аналоговых сигналов [1-6]. Таким образом, возникает необходимость в разработке методов, использующих подходы функционального анализа для дискретизации аналогового сигнала.

Целью работы является создание метода дискретизации аналогового сигнала на основе понижающих размерность нерасширяющих равномерно непрерывных отображений, действующих в компактных метрических пространствах.

Для решения поставленной задачи в статье осуществляется:

– построение множеств непрерывных ограниченных функций;

– построение понижающих размерность и непрерывных отображений, для множеств непрерывных ограниченных функций;

– построение компактных польских пространств;

– построение понижающих размерность, нерасширяющих, компактных и равномерно непрерывных отображений, действующих в компактных польских пространствах;

– построение модели дискретизации.

Построение множеств непрерывных ограниченных функций

В аппаратной компоненте компьютерной системы информация, полученная от датчиков, преобразуется в аналоговый сигнал, который необходимо квантовать по времени и уровню перед обработкой и идентификацией [6, 7]. Считаем, что аналоговый сигнал, записанный в течение одной секунды, поступает на вход аналого-цифрового преобразователя в виде непрерывной функции $f=\{f(t)\,|\,t\in[0,1]\}$. Также считаем, что запись сигнала происходит в условиях, когда отношение сигнал/шум лежит в определенном диапазоне, поэтому значения функции $f(t)$ ограничены некоторым числом M. Пусть $\Phi(T)=\{f\},\ f=\{(t,\ f(t))\,|\,t\in T\}$ — множество непрерывных ограниченных функций, заданных на отрезке $T=[0,1]$ и представляющих собой аналоговые сигналы. Осуществим дискретизацию множества $T=[0,1]$ полного метрического пространства (l_1^1,ρ). Введем конечную ε-сеть N_ε множества $T=[0,1]$ в виде

$$\forall\varepsilon=\frac{1}{m}>0,m\in\mathbb{N}\ \exists\mathrm{N}_\varepsilon:\mathrm{N}_\varepsilon=\{t_n\}\subset T,\ t_n=n*\varepsilon,\ n\in\overline{0,m}.$$

Каждая конечная ε-сеть N_ε удовлетворяет условию

$$\forall\widehat{t}\in T\ \exists\breve{t}\in\mathrm{N}_\varepsilon\subset T:\rho(\widehat{t},\breve{t})=|\widehat{t}-\breve{t}|<\varepsilon.$$

Таким образом, ε является шагом дискретизации по времени в секундах и может быть сколь угодно малой, мощность ε-сети $|\mathrm{N}_\varepsilon|$ соответствует частоте дискретизации в герцах. В силу конечности любая ε-сеть N_ε является дискретным множеством. Тогда $\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)=\{f_\varepsilon\},\ f_\varepsilon=\{(n,\ f(t_n))\,|\,t_n\in\mathrm{N}_\varepsilon\}$ — множество непрерывных ограниченных функций, заданных на конечном дискретном множестве N_ε и представляющих собой дискретизированные по времени сигналы. Пусть $U=\{u_r\,|\,r\in\mathbb{N}\},u_r=\{(m,u_r(m))\,|\,m\in\{0,\ldots,2^r-1\}\}$ — множество конечных линейных комбинаций функций-индикаторов пространства ограниченных S-измеримых скалярных функций $B(X,\mathrm{S})$,

$$u_r(x)=\sum_{k=1}^{r}\chi_k(x)2^{k-1},\ \chi_k(x)=\begin{cases}1, & x\in A_k\\ 0, & x\notin A_k\end{cases}.$$

где r — количество разрядов (бит) для одного значения сигнала, A_k — множество целых чисел, у которых в k-м разряде стоит 1, $A_k\subset\mathbb{Z}$.

Дискретизация по уровню представлена в виде

$$\forall f_\varepsilon\in\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)\ \forall n\in\overline{1,|\mathrm{N}_\varepsilon|}\ \exists u_r\in U:$$

$$m^*=\arg\inf_{m\in\{0,\ldots,2^r-1\}}|f_\varepsilon(n)-u_r(m)|\to\widetilde{f}_{\varepsilon r}(n)=u_r(m^*).$$

Для повышения точности дискретизации используется цифровой нерекурсивный фильтр.

$$f_{\varepsilon r}(n) = \sum_{k=1}^{M} a_k \tilde{f}_{\varepsilon r}(n-k),\ n \in \overline{1,|\mathrm{N}_{\varepsilon}|}.$$

где a_k — коэффициенты фильтра, M — порядок фильтра.

Тогда $\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon}) = \{f_{\varepsilon r}\},\ f_{\varepsilon r} = \{(n, f_{\varepsilon r}(n)) \mid n \in \overline{1,|\mathrm{N}_{\varepsilon}|}\}$ — конечное дискретное множество непрерывных ограниченных функций, заданных на конечном дискретном множестве N_{ε} и представляющих собой дискретизированные по уровню сигналы, $|\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon})| = |\mathrm{N}_{\varepsilon}|^{2^r}$.

Построение понижающих размерность непрерывных отображений для множеств непрерывных ограниченных функций

Для дискретизации аналоговых сигналов, осуществим построение понижающих размерность непрерывных отображений. Непрерывное сюръективное отображение $g_{\varepsilon} : \Phi(T) \to \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$ понижает размерность, поскольку бесконечномерное пространство $\Phi(T)$, $\dim \Phi(T) = \infty$, отображается в конечномерное пространство $\Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$, $\dim \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon}) = |\mathrm{N}_{\varepsilon}| < \aleph_0$. Это отображение соответствует функции дискретизации сигнала по времени. Непрерывное сюръективное отображение $h_r : \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon}) \to \Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$ понижает размерность, поскольку конечномерное пространство $\Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$, $\dim \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon}) = |\mathrm{N}_{\varepsilon}| < \aleph_0$, отображается в нульмерное пространство $\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$, $\dim \Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon}) = 0$. Это отображение соответствует функции дискретизации сигнала по уровню.

Построение компактных польских пространств

На основе введенных множеств непрерывных ограниченных функций, строятся компактные польские пространства аналоговых сигналов и дискретизированных по времени и уровню сигналов. В силу того, что множество $T = [0,1]$ является подпространством пространства (l_1^1, ρ), оно является полным метрическим пространством (T, ρ) с метрикой $\rho(\hat{t}, \breve{t})$ такой, что

$$\forall \hat{t}, \breve{t} \in T \ \ \rho(\hat{t}, \breve{t}) = |\hat{t} - \breve{t}|.$$

В силу замкнутости и ограниченности множества $T = [0,1]$ пространство (T, ρ) является компактным. В силу компактности множества $T = [0,1]$ пространство (T, ρ) является сепарабельным. Поскольку пространство (T, ρ) компактно, сепарабельно, полно и метризуемо, то оно является компактным польским пространством. В силу того, что множества $\Phi(T)$ является подпространством пространства $(C(T), \rho)$, оно также является полным метрическим пространством аналоговых сигналов $(\Phi(T),\rho)$ с метрикой $\rho(\widehat{f},\breve{f})$ такой, что

$$\forall \widehat{f},\breve{f}\in\Phi(T)\;\;\rho(\widehat{f},\breve{f})=\sup_{t\in T}|\,\widehat{f}(t)-\breve{f}(t)\,|.$$

Множество $\Phi(T)$ является компактом поскольку:

– все функции множества $\Phi(T)$ равномерно ограничены в силу принятых допущений, т.е.

$$\forall f\in\Phi(T)\;\;\exists M\;:\;\sup_{t\in T}|\,f(t)\,|<M\,.$$

– равностепенная непрерывность функций множества $\Phi(T)$

$$\forall \widehat{t},\breve{t}\in T\;\;\forall f\in\Phi(T)\;\;\forall\varepsilon>0\;\;\exists\delta>0\;:\;|\,\widehat{t}-\breve{t}\,|<\delta\rightarrow|\,f(\widehat{t})-f(\breve{t})\,|<\varepsilon.$$

В силу компактности множества $\Phi(T)$ пространство $(\Phi(T),\rho)$ является компактным. В силу компактности множества $\Phi(T)$ пространство $(\Phi(T),\rho)$ является сепарабельным. Поскольку пространство $(\Phi(T),\rho)$ компактно, сепарабельно, полно и метризуемо, то оно является компактным польским пространством. В силу того, что множества $\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)$ является подпространством пространства (l_∞^n,ρ), оно является полным метрическим пространством $(\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon),\rho)$ с метрикой $\rho(\widehat{f}_\varepsilon,\breve{f}_\varepsilon)$ такой, что

$$\forall \widehat{f}_\varepsilon,\breve{f}_\varepsilon\in\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)\;\;\rho(\widehat{f}_\varepsilon,\breve{f}_\varepsilon)=\sup_{n\in\overline{1,|\mathrm{N}_\varepsilon|}}|\,\widehat{f}_\varepsilon(n)-\breve{f}_\varepsilon(n)\,|.$$

Множество $\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)$ является компактом поскольку:

– все функции множества $\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)$ равномерно ограничены в силу принятых допущений, т.е.

$$\forall f_\varepsilon\in\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)\;\;\exists M\;:\;\sup_{n\in\overline{1,|\mathrm{N}_\varepsilon|}}|\,f_\varepsilon(n)\,|<M\,.$$

– равностепенная непрерывность функций множества $\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)$

$$\forall \widehat{n},\breve{n}\in\mathrm{N}_\varepsilon\;\;\forall f_\varepsilon\in\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)\;\;\forall\sigma>0\;\;\exists\delta>0\;:.$$

$$|\,\widehat{n}-\breve{n}\,|<\delta\rightarrow|\,f_\varepsilon(\widehat{n})-f_\varepsilon(\breve{n})\,|<\sigma.$$

В силу компактности множества $\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)$ пространство $(\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon),\rho)$ является компактным. В силу компактности множества $\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)$ пространство $(\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon),\rho)$ является сепарабельным. Поскольку пространство $(\Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon),\rho)$ компактно, сепарабельно, полно и метризуемо, то оно является компактным польским пространством. В силу дискретности множество $\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_\varepsilon)$ является сепарабельным и полным метрическим пространством $(\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_\varepsilon),\rho)$ с дискретной метрикой $\rho(\widehat{f}_{\varepsilon r},\breve{f}_{\varepsilon r})$ такой, что

$$\forall \widehat{f}_{\varepsilon r}, \breve{f}_{\varepsilon r} \in \Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon})\ \rho(\widehat{f}_{\varepsilon r}, \breve{f}_{\varepsilon r}) \begin{cases} 1, & \sup\limits_{n\in\overline{1,|\mathrm{N}_{\varepsilon}|}} |\widehat{f}_{\varepsilon r}(n) - \breve{f}_{\varepsilon r}(n)| > 0 \\ 0, & \sup\limits_{n\in\overline{1,|\mathrm{N}_{\varepsilon}|}} |\widehat{f}_{\varepsilon r}(n) - \breve{f}_{\varepsilon r}(n)| = 0 \end{cases}.$$

Поскольку пространство $(\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon}),\rho)$ сепарабельно, полно и метризуемо, то оно является польским пространством. В силу конечности множества $\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$ пространство $(\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon}),\rho)$ является конечным и нульмерным, т.е. $\dim \Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon}) = 0$. В силу конечности множества $\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$ пространство $(\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon}),\rho)$ является компактным польским пространством.

Построение понижающих размерность нерасширяющих компактных равномерно непрерывных отображений, действующих в компактных польских пространствах

На основе непрерывных отображений для дискретизации сигналов строятся понижающие размерность нерасширяющие компактные равномерно непрерывные отображения. В силу компактности польского пространства $(\Phi(T),\rho)$ непрерывное отображение $g_{\varepsilon} : \Phi(T) \to \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$ является компактным. В силу непрерывности на компактном польском пространстве $(\Phi(T),\rho)$ непрерывное отображение $g_{\varepsilon} : \Phi(T) \to \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$ является равномерно непрерывным, т.е.

$$\forall \widehat{f}, \breve{f} \in \Phi(T)\ \forall \sigma > 0\ \exists \delta > 0 : \rho(\widehat{f}, \breve{f}) < \delta \to \rho(g_{\varepsilon}(\widehat{f}), g_{\varepsilon}(\breve{f})) < \sigma.$$

В силу того, что отображение $g_{\varepsilon} : \Phi(T) \to \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$, которое действует из компактного польского пространства $(\Phi(T),\rho)$ в компактное польское пространство $(\Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon}),\rho)$, удовлетворяет условию

$$\forall \widehat{f}, \breve{f} \in \Phi(T)\ \rho(\widehat{f}, \breve{f}) \geq \rho(g_{\varepsilon}(\widehat{f}), g_{\varepsilon}(\breve{f})).$$

Оно является полусжимающим (нерасширяющим) отображением.

В силу компактности польского пространства $(\Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon}),\rho)$ непрерывное отображение $h_r : \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon}) \to \Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$ является компактным. В силу непрерывности на компактном польском пространстве $(\Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon}),\rho)$ непрерывное отображение $h_r : \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon}) \to \Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$ является равномерно непрерывным, т.е.

$$\forall \widehat{f}_{\varepsilon}, \breve{f}_{\varepsilon} \in \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon})\, \forall \sigma > 0\, \exists \delta > 0 : \rho(\widehat{f}_{\varepsilon}, \breve{f}_{\varepsilon}) < \delta \to \rho(h_r(\widehat{f}_{\varepsilon}), h_r(\breve{f}_{\varepsilon})) < \sigma.$$

В силу того, что отображение $h_r : \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon}) \to \Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_{\varepsilon})$, которое действует из компактного польского пространства $(\Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon}),\rho)$ в компактное польское пространство $(\Phi_{\varepsilon e}(\mathrm{N}_{\varepsilon}),\rho)$, удовлетворяет условию

$$\forall \widehat{f}_{\varepsilon}, \breve{f}_{\varepsilon} \in \Phi_{\varepsilon}(\mathrm{N}_{\varepsilon})\ \rho(\widehat{f}_{\varepsilon}, \breve{f}_{\varepsilon}) \geq \rho(h_r(\widehat{f}_{\varepsilon}), h_r(\breve{f}_{\varepsilon})).$$

Оно является полусжимающим (нерасширяющим) отображением.

Построение модели дискретизации

Модель дискретизации представлена в виде функционала

$f_{\varepsilon r} = F(f, \varepsilon, r)$, представляющего собой композицию функций $f_{\varepsilon r} = h_r(g_\varepsilon(f))$. Для оценки эффективности созданной модели предложены следующие критерии:

1. Критерий скорости дискретизации, который для данного случая означает выбор таких типов ε, r понижающих размерность нерасширяющих равномерно непрерывных отображений $g_\varepsilon : \Phi(T) \to \Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)$ и $h_r : \Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon) \to \Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_\varepsilon)$, которые доставляют минимум времени дискретизации по модели (обеспечивают минимум $|\Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_\varepsilon)|$)

$$J = T \to \min_{\varepsilon, r}.$$

2. Критерий вероятности классификации, который для данного случая означает выбор таких типов ε, r понижающих размерность нерасширяющих равномерно непрерывных отображений $g_\varepsilon : \Phi(T) \to \Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)$ и $h_r : \Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon) \to \Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_\varepsilon)$, которые доставляют минимум полной вероятности ошибки дискретизации (отношения количества неправильно дискретизированных сигналов к их общему количеству)

$$J = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^{P} \rho(F(f_p, \varepsilon, r), \tilde{f}_p) \to \min_{\varepsilon, r}.$$

$$\rho(F(f_p, \varepsilon, r), \tilde{f}_p) = \begin{cases} 1, & d(F(f_p, \varepsilon, r), \tilde{f}_p) > 0 \\ 0, & d(F(f_p, \varepsilon, r), \tilde{f}_p) = 0 \end{cases}.$$

где f_p — тестовые входы, $\tilde{f}_p$ — тестовые выходы, P — количество тестовых реализаций, $\rho(\cdot,\cdot)$ — дискретная метрика, $d(\cdot,\cdot)$ — расстояние Манхеттена.

3. Критерий адекватности модели, который для данного случая означает выбор таких типов ε, r понижающих размерность нерасширяющих равномерно непрерывных отображений $g_\varepsilon : \Phi(T) \to \Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon)$ и $h_r : \Phi_\varepsilon(\mathrm{N}_\varepsilon) \to \Phi_{\varepsilon r}(\mathrm{N}_\varepsilon)$, которые доставляют минимум среднеквадратичной ошибки (разности выхода по модели и тестового выхода)

$$J = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^{p} (F(f_p, \varepsilon, r) - \tilde{f}_p)^T (F(f_p, \varepsilon, r) - \tilde{f}_p) \to \min_{\varepsilon, r}.$$

Выводы

1. Дискретизация аналоговых сигналов осуществляется посредством понижающих размерность нерасширяющих равномерно непрерывных отображений, действующих в компактных польских пространствах.

2. В отличие от большинства работ по цифровой обработке сигнала, в статье используются подходы функционального анализа, ориентированные на дискретизацию аналогового сигнала.

3. Дискретизация аналогового сигнала по времени осуществляется на основе ε-сети.

4. Дискретизация аналогового сигнала по уровню осуществляется на основе множества конечных линейных комбинаций функций-индикаторов.

5. Разработанный метод и модель дискретизации могут использоваться в различных аналого-цифровых преобразователях компьютерных систем.

Литература

1. Солонина А. И. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов / А. И. Солонина, Д. А. Улахович, Л. А. Яковлев. — СПб. : БХВ-Петербург, 2001. — 464 с.

2. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов / И. С. Гоноровский. — М. : Радио и связь, 1986. — 512 с.

3. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы / С. И. Баскаков. — М. : Высш. школа, 1983. — 536 с.

4. Шрюфер Е. Обробка сигналів. Цифрова обробка дискретизованих сигналів / Е. Шрюфер. — К. : Либідь, 1992. — 320 с.

5. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов / С. Малла. — М. : Мир, 2005. — 671 с.

6. Рабинер Л. Р. Цифровая обработка речевых сигналов / Л. Р. Рабинер, Р. В. Шафер. — М. : Радио и связь, 1981. — 495 с.

7. Федоров Е. Е. Методы интеллектуальной диагностики / Е. Е. Федоров. — Донецк: изд-во «Ноулидж», 2010. — 303 с.

8. Федоров Е. Е. Метод обработки сигнала на основе нерасширяющих равномерно непрерывных отображений / Е. Е. Федоров // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». — 2012. — №49. — С. 42—51.

References

1. Solonina A. I. Algoritmy i protsessory tsifrovoi obrabotki signalov / A. I. Solonina, D. A. Ulakhovich, L.A. Yakovlev. – SPb.: BKHV-Peterburh, 2001. – 464 s.

2. Honorovskii I.S. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly: Uchebnik dlia vuzov / I.S. Honorovskii. – M.: Radio i sviaz, 1986. – 512 s.

3. Baskakov S. I. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly / S. I. Baskakov. – M.: Vyssh. shkola, 1983. – 536 s.

4. Shriufer E. Obrobka sygnaliv. Tsyfrova obrobka dyskretyzovanykh sygnaliv / E. Shriufer. – K.: Lybid, 1992. – 320 s.

5. Malla S. Veivlety v obrabotke signalov / S. Malla. – M.: Mir, 2005. – 671 s.

6. Rabiner L. R. Tsifrovaia obraborka rechevykh signalov / L. R. Rabiner, R.V. Shafer. – M.: Radio i sviaz, 1981. – 495 s.

7. Fedorov E. E. Metody intellektualnoi diagnostiki / E. E. Fedorov. – Donetsk: izd-vo «Noulidzh», 2010. – 303 s.

8. Fedorov E. E. Metod obrabotki signala na osnove nerasshiriaiushchikh ravnomerno nepreryvnykh otobrazhenii / E. E. Fedorov // Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu Ukrainy «KPI». – 2012. – №49. – S. 42-51.

Федоров Є. Є. ***Метод дискретизації аналогового сигналу на основі понижуючих розмірність нерозширювальних компактних рівномірно безперервних відображень.*** *У статті розробляється метод перетворення аналогового сигналу на основі понижуючих розмірність нерозширювальних компактних рівномірно безперервних відображень, що діють у компактних польських просторах, що забезпечує побудову ефективної моделі дискретизації зразків сигналів. Пропонований метод призначений для ком-*

п'ютерної системи ідентифікації технічних і біологічних об'єктів і контролю їхнього стану.

Ключові слова: *обробка сигналу, модель дискретизації, компактні рівномірно безперервні відображення, компактні польські простори, дискретні безлічі, ідентифікація й контроль стану динамічних об'єктів.*

Федоров Е. Е. ***Метод дискретизации аналогового сигнала на основе понижающих размерность нерасширяющих компактных равномерно непрерывных отображений.*** *В статье разрабатывается метод преобразования аналогового сигнала на основе понижающих размерность нерасширяющих компактных равномерно непрерывных отображений, действующих в компактных польских пространствах, который обеспечивает построение эффективной модели дискретизации образцов сигналов. Предлагаемый метод предназначен для компьютерной системы идентификации технических и биологических объектов и контроля их состояния.*

Ключевые слова: *обработка сигнала, модель дискретизации, компактные равномерно непрерывные отображения, компактные польские пространства, дискретные множества, идентификация и контроль состояния динамических объектов.*

Fedorov E. ***Method of analogue signal sampling on the basis of lowering dimension non-expansive compact uniformly continuous mapping.*** *The work purpose is creation of the method for analogue signal digitization on the basis of lowering dimension non-expansive compact uniformly continuous mapping operating in compact metric spaces for computer systems of classification of dynamic objects and diagnostics of their condition.*

Construction of sets of the continuous bounded functions; construction of continuous mapping lowering dimension for sets of the continuous bounded functions; construction compact Polish (separable full metric) spaces; construction of lowering dimension non-expansive compact uniformly continuous mapping operating in compact Polish spaces; construction of model of digitization are carried out to solve this task.

Criterion of digitization speed (based on a minimum of digitization time on model), criterion of classification probability (based on a minimum of full probability of a digitization error) and criterion of model adequacy (based on a minimum of a root-mean-square error) are offered to estimate the efficiency of the created model.

The approaches for the functional analysis focused on analogue signal digitization are used in the article unlike the majority of works on digital signal processing.

The analogue signal digitization on time is carried out on a basis of ε-networks. The analogue signal digitization on level is carried out based on set of final linear combinations of functions-indicators and to increase the digitization accuracy of the digital not recursive filter.

The developed method and digitization model can be used in various analogue-digital converters of computer systems for the general and a special purpose.

Keywords: *signal processing, sampling model, compact uniformly continuous mapping, compact Polish spaces, discrete sets, identification and the control of dynamic objects condition.*