6. Astapov A. N., Boran-Keshishyan A. L., Kondratev S. I. application of GNSS integrity control algorithms for solving marine navigation problems-Bulletin of the state Maritime University. Admiral F. F. Ushakov. 2015. No. 3 (12). Pp. 9-12.
7. Astrein V.V., Kondrat'ev S.I., Boran-Keshish'yan A.L. adacha samoorganizacii grupp sudov dlya preduprezhdeniya stolknovenij / Ekspluataciya morskogo transporta. 2016. № 1 (78). S. 32-38.
8. Kondrat'ev S.I. Sintez programmnyh traektorij metodom dinamicheskogo programmirovaniya /Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2003. № S6. S. 41-4

УДК 518.81
DOI: 10.34046/aumsuomt94/13

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ НАБЛЮДЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Е.Л. Бородин, кандидат техничеескых наук, доцент
С.И. Биденко, доктор технических наук, профессор
С.Г. Черный, кандидат технических наук, доцент
Д.А. Елизаров, кандидат технических наук, доцент,
В.М. Шестаков, соискатель

Статья посвящена проблемам разработки моделей и методов оперативного распознавания графических (оптических) образов. Решается задача оптимизации процессов идентификации визуальных оптических образов по данным систем наблюдения необитаемых подводных аппаратов. Описан алгоритм компенсации информационных потоков (отклонений) с учетом данных стабилизации координат точки корреляционного максимума. Сформулированы условия инвариантности алгоритма идентификации относительно возмущений в пространстве объектов геоситуации. Приведен алгоритм управления формированием эталонного изображения (образа). Определены ограничения метода и условия инвариантности алгоритма идентификации относительно возмущений в пространстве исследуемых объектов.
Ключевые слова: оптимальная компенсаторная идентификация, оптические образы, геоситуация, пространство объектов

The article is devoted to the problems of development of models and methods of operational identification of optical objects. The task is solved with regard to optimization of identification process of visual optical objects on the bases of the system of observation of desert underwater apparatus. Algorithm of compensation of informative deflection with regard to the data of stabilization of coordinate position of the correlated maximum has been described.
Conditions of algorithm identification invariance as to indignation in the field of objects of geo situation have been formulated. Algorithm of forming control of Standard objects has been given here. Limitations of method and condition of algorithm invariance of identification with regard to indignation in the field of investigated objects have been defined.
Key words: optimal compensatory identification, optical objects, geo situation, space of objects.

Актуальность и проблемы исследований

Формирование информационной технологии идентификации оптических образов требует определения понятий о сцене, изображении сцены и объекте в изображении сцены для построения алгоритма и программы, реализующих процесс идентификации. Предлагаемый в работе подход к формированию информационной технологии идентификации оптических образов предусматривает построение подпрограмм выделения объектов в изображении сцены, построения эталонных изображений и сравнения объекта с эталоном. Задачи распознавания объектов необитаемых подводных аппаратов требуют новых подходов и решений.

Цель исследований определялась оптимизацией идентификации оптических образов в задачах распознавания объектов необитаемых подводных аппаратов.

Методы исследований устанавливались оптимизационными методами идентификации в задачах распознавания объектов необитаемых подводных аппаратов.

Результаты исследований.

Для входного алфавита D объектов d_i, порождающих множество образов Ω, рассматриваем случай известных вероятностей p_i появления на входе системы образов ω_i [1,4]. Учитывая, что в реальной ситуации образ ω_i формирует в пространстве входных координат X входной сигнал системы $f_i(\mathbf{x})$ считаем заданным алфавит F^* эталонных сигналов $f_i^*(\mathbf{x})$. Учитывая, что при переходе от множества D, где в силу свойств объектов определена своя норма и мера, к множеству образов Ω необходимо определить правила измерения величины элемента и расстояния между элементами множества.

При определении нормы $\|\omega\|$ целесообразно рассматривать только Ω, что не сужает задачу. В этом случае, согласно (2), норма образа $\|\omega_i\| = p_i$ и метрика определится как взаимная информация между эталоном и образом $d(\omega^*,\omega)=I_{\omega^*/\omega}$.Таким образом, задача формализуется как простая задача: для образа $\omega_k \in \Omega$ найти эталон $\omega^*_i \in \Omega^*$

$$\begin{aligned} &\omega^*_i \quad \to \quad \inf I_{\omega_k/\omega_i} \\ &\omega^*_i \in \Omega^* \\ &\omega_k \in \Omega \end{aligned} \qquad (1$$

В реальности же приходится иметь дело с сигналами образов, а здесь все гораздо сложнее. Для порождаемого объектами D пространства сигналов F при всем разнообразии подходов можно выбрав метрику $\rho=\rho(\mathbf{a}, u)$ поставив задачу формирования управляющей последовательности u доставляющей минимум функционала цели.

$$J(u) \to \inf; \qquad u \in U. \qquad (2)$$

Корректность задачи в общем случае нарушена. Действительно, если условие

$$J_* = \inf J(u) > -\infty; \qquad U_* \neq \varnothing \qquad (3)$$

выполняется в любой разумно поставленной задаче, то условие сходимости любой минимизирующей последовательности $\{u_k\}$ к множеству U_* собственно и является проблемой. В общем случае задача не является корректной по Тихонову, так как вопрос о виде и существовании минимизирующей последовательности $\{u_k\}$ решается в каждом случае индивидуально.

Собственно, проблема заключается в том, что образу ω_i в общем случае соответствует не одна функция $f_i(\mathbf{x})$, а множество функций $F_{\omega i}(\boldsymbol{x})$, что связано с различием условий предъявления, изменчивостью и помехах в пространстве объекта. Следовательно, избежать регуляризации задачи в общем случае не представляется возможным. Следуя [1,4,9] введем стабилизатор $\Omega(u)$, где существует множество допустимых управлений U и $\boldsymbol{u} \in U$. Собственно мы перешли к задаче

$$\{\mathbf{u}_k\}^* \to \inf J(\mathbf{u}). \qquad (4)$$

Учитывая, что мы имеем дело с сигналами на $\boldsymbol{x}$, воздействие стабилизирующей функции определяется как $\boldsymbol{x}=\boldsymbol{x}(\Omega(\boldsymbol{u}))$, тогда

$$\begin{aligned} &\{\mathbf{u}_k\}^* \to \inf J(f(\mathbf{x}), f^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))), \\ &k = 1,2,\ldots,n < \infty \quad . \end{aligned} \qquad (5)$$

Стабилизатор $\Omega(\boldsymbol{u}) \subset \Omega$ введен в эталон, что позволяет не выдвигать дополнительных требований к сигналу объекта. Тогда вид функционала и тип оптимума J не определяет задачу выбора метрики. Действительно достаточно учесть, что сигналы объектов воспринимаются одним и тем же устройством мы в праве в общем случае считать, что существует последовательность управлений $\{\boldsymbol{u}_k\}^*_{ij}$ преобразующих любой эталон f^*_iв любой сигнал f_j данного класса. Следует учитывать, что для неотрицательных управлений затраты на управление

$$\begin{aligned} &\bar{\mathbf{u}}(f_i, f_j) = \sum_{k=1}^{n} \mathbf{u}_k \to extr fJ\,(f_i(\mathbf{x}), f_j^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))), \\ &k = 1,2,\ldots,n < \infty \quad , \end{aligned} \qquad (6)$$

будут существенно отличаться. Так для полностью совпадающих сигналов

$$\bar{\mathbf{u}}(f_i, f_i) = 0, \qquad (7)$$

так как все точки совпадают. Затраты на управления регулятора отвечают аксиоме симметрии

$$\bar{\mathbf{u}}(f_i, f_j) = \bar{\mathbf{u}}(f_j, f_i), \qquad (8)$$

И аксиоме треугольника

$$\bar{\mathbf{u}}(f_i, f_j) \le \bar{\mathbf{u}}(f_i, f_k) + \bar{\mathbf{u}}(f_k, f_j), \qquad (9)$$

следовательно затраты на управление стабилизатора $\Omega(\boldsymbol{u})$ отвечают требованиям метрики в пространстве сигналов.

В таком случае для множества эталонов и сигнала существуют последовательности

$$\begin{aligned} &\bar{\mathbf{u}}_1^*(f(\mathbf{x}), f^*{}_1(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \to extrJ(f(\mathbf{x}), f^*{}_1(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))), \\ &\bar{\mathbf{u}}_2^*(f(\mathbf{x}), f^*{}_2(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \to extrJ(f(\mathbf{x}), f^*{}_2(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))), \\ &\quad \cdot \;\; \cdot \;\; \cdot \\ &\bar{\mathbf{u}}_n^*(f(\mathbf{x}), f^*{}_n(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \to extrJ(f(\mathbf{x}), f^*{}_n(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))). \end{aligned} \qquad (10)$$

Причем, естественно, минимальные затраты управления определяют наиболее близкие функции в пространстве сигналов и наиболее близкие образы в пространстве образов.

$$\inf \bar{\mathbf{u}}(f_i, f_j) \leftrightarrow \inf I_{\omega_i/\omega_j}, \qquad (11)$$

Таким образом, задача идентификации принимает вид поиска эталона, требующего минимальных затрат на управление, чем обеспечивается минимальная взаимная информация, а, следовательно, максимальная близость образа и эталона.

$$\left.\begin{aligned} &\bar{\mathbf{u}}_1^*(f(\mathbf{x}), f_1^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \to extrJ(f(\mathbf{x}), f_1^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \\ &\bar{\mathbf{u}}_2^*(f(\mathbf{x}), f_2^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \to extrJ(f(\mathbf{x}), f_2^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \\ &\qquad \cdot \;\; \cdot \;\; \cdot \\ &\bar{\mathbf{u}}_n^*(f(\mathbf{x}), f_n^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \to extrJ(f(\mathbf{x}), f_n^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \end{aligned}\right\} \to \inf \bar{\mathbf{u}}_j^*(f(\mathbf{x}), f_j^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k)) \to \inf I_{\omega/\omega_j^*}.$$

Так как выбор функционала J теперь диктуется только соображениями удобства, рассмотрим в качестве J первые члены регрессии образа и эталона.

$$J = \rho(f(\mathbf{x}), f^*{}_i(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k)))). \quad (12)$$

Для временного сигнала, исходя из метода допустимых преобразований [3], учтём управления эталоном как задачу выполнения необходимых условий оптимума максимизации взаимной корреляции R

$$J_i = R(f(t), f_i^*(t,u)) \quad (13)$$

Учитывая, в данном случае управление эталоном сводится к методу допустимых преобразований, предполагая соответствие эталона и объекта, введем ограничение $\omega \sim \omega^*$, данное ограничение ведет к тривиальному совмещению сигналов $f(t)=f^*_i(t)$. С другой стороны, учитывая, что в случае выполнения ограничения, взаимная условная информация стремится к минимуму [2-5, 9], можем рассматривать задачу как задачу с ограничением типа равенства

$$\begin{aligned} &\omega_i^*, u^* \to \inf I_{\omega/\omega^*} \\ &R(f(t), f^*{}_i(t,u)) = 1. \end{aligned} \quad (14)$$

В силу регуляризации при идентичности образа эталону задача выпукла, а функция Лагранжа в данной задаче имеет вид

$$L(\omega^*, u, \lambda) = I_{\omega/\omega^*} - \lambda(R(f(t), f^*{}_i(t,u)) - 1). \quad (15)$$

Множитель Лагранжа в данной задаче определяет чувствительность взаимной информации к нормированной взаимной корреляционной функции сигналов объекта и эталона

$$\lambda(u) = \frac{\partial I_{\omega/\omega_i^*}}{\partial R(f(t), f_i^*(t,u))} \quad (16)$$

Поскольку множитель Лагранжа естественно связан с управлением, двойственной переменной является управление эталоном. Исходя из условий Куна-Таккера, получаем прямую и двойственную задачи в виде [5-9]:

$$\begin{aligned} &\omega^* \underset{u=u^*}{\to} \inf L(\omega, u, \lambda); \\ &u^* \underset{\omega=\omega^*}{\to} \sup L(\omega, u, \lambda). \end{aligned} \quad (17)$$

Учитывая структуру функции Гамильтона в данной задаче можно записать

$$\begin{aligned} &\omega^* \underset{u=u^*}{\to} \inf I(\omega, \omega^*(u^*)) = 0, \\ &u^* \underset{\omega=\omega^*}{\to} \sup R(\omega, \omega^*(u)) = 1. \end{aligned} \quad (18)$$

Или учитывая достаточные условия получаем простые условия оптимальности управления

$$\begin{aligned} &\omega^* \underset{u=u^*}{\to} \inf I(\omega, \omega^*(u^*)) = 0; \\ &u^* \underset{\omega=\omega^*}{\to} \sup(f - f^*(\omega, \omega(u)) = 0; \\ &f - f^*(\omega, \omega(0)) < 0. \end{aligned} \quad (19)$$

При этом двойственное условие указывает на монотонность приближения из области $f<f^*$, что важно при реализации системы. Двойственная задача порождает совмещение изображений, а прямая задача связана с информационным подходом к задаче идентификации [5, 9-12]. При использовании информационного подхода рассматривается поток информации из внешней среды I_ω и поток информации от генератора эталонов I_{ω^*}, а в качестве меры их близости использована взаимная информация I_{ω/ω^*}, что и определяет метод как метод компенсации информационных потоков. Одним из существенных достоинств данного метода является простота оценки работоспособности системы базирующейся на принципе компенсации – система работоспособна на алфавите Ω при любых возмущениях, если ее генератор эталонов может воспроизвести любой образ из Ω.

С другой стороны, выполнение условия предполагает оптимальную по критерию J систему управления компенсацией сигнала входного образа сигналом порождаемого гипотезой (рис. 1).

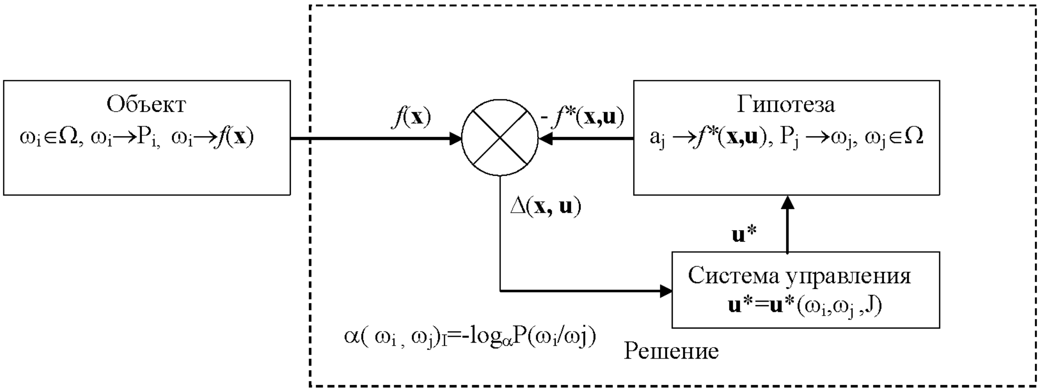

Рисунок 1 - Использование оптимальной компенсационной системы

Реакцию системы рассматриваем как управления **u** и как реакцию на наличие условной взаимной информации между гипотезой системы и входным образом, и в простейшем случае можем предположить

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_0 + \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial I_{j/i}} \Delta I_{j/i} + \ldots + \mathbf{r}; \qquad (20)$$

Предполагая линейность и стационарность

$$\frac{\partial u_k}{\partial I_{j/i}} = \gamma_k, \qquad \gamma_k = const, \qquad k = \overline{1,m} \qquad (21)$$

Тогда

$$I(a_j / a_i) = \frac{1}{\gamma_k} u_k, \qquad k = \overline{1,m} \qquad (22)$$

Учитывая получаем возможность связать затраты управления с метрикой в информационном пространстве

$$\log_\alpha P(a_j / a_i) = \frac{1}{\gamma_k} u_k, \qquad k = \overline{1,m} \qquad (23)$$

Условие отсутствия взаимной условной информации можно свести к наблюдаемому условию **u=0.**

Задача идентификации оптических образов требует компенсации ошибок, вызванных контролируемыми возмущениями. С другой стороны, неконтролируемые возмущения так же вызывают ошибки, которые могут быть устранены введением обратной связи по отклонению. Рассмотрим идентифицирующую процедуру, процедуру коррекции по возмущению и введём ассоциативную память

$$I_{y\,i} \longrightarrow I_{\omega^* i} \qquad (24)$$

и процедуру нормализации изображения

$$I_{\omega/\omega^* i} \longrightarrow I_{\omega\, i} \qquad (25)$$

В этом случае структура системы идентификации в информационном пространстве принимает вид, приведенный на рис. 2.

Нормализация изображения требует уверенности в допустимости преобразований в пространстве сигналов, что далеко не всегда выполнимо.

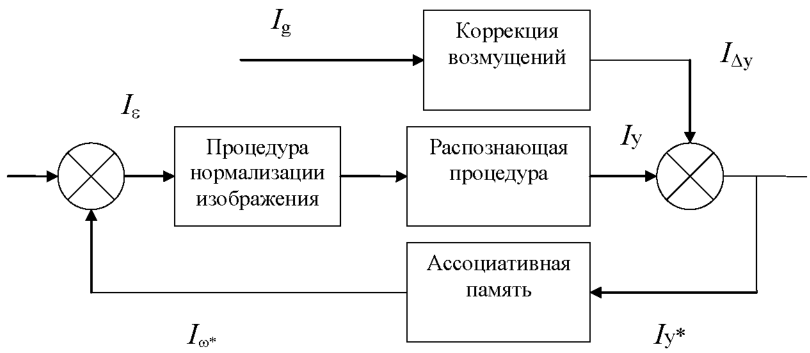

Рисунок 2 - Структура системы идентификации с нормализацией изображения информационном пространстве

Введя процедуру управления эталоном, получаем структуру с коррекцией эталона (рис. 3). При нормализации эталона позволяет использовать синтез эталона и предполагает знание допустимых возмущений объекта, что естественно при построении эталона.

Следовательно, структуры рис. 2 и рис 3 определены как реализация прямой задачи и принципиально допускают построение инвариантной к возмущениям системы идентификации в оптическом диапазоне.

Однако необходимо учесть, что принципиально I_ω не может равняться нулю, если в контуре обратной связи нет накопления информации, что требует рассмотреть модели с минимизацией накопленной, средней – ожидаемой информации.

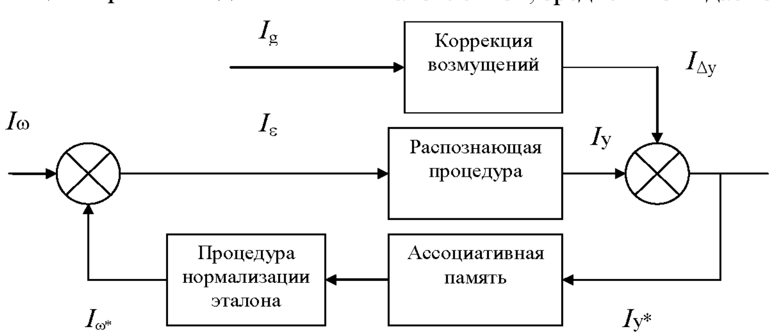

Рисунок 3 - Структура системы идентификации с нормализацией эталона в информационном пространстве

Рассмотренные в работе вопросы оптимизации идентификации оптических образов в задачах распознавания объектов необитаемых подводных аппаратов позволяют сделать следующее **заключение:** критерий минимума взаимной информации между объектом в сцене и эталоном двойственен критерию минимума затрат управления эталоном. Таким образом, одной из наиболее сложных задач, решаемых при обеспечении устойчивости информационной технологии идентификации оптических образов к возмущениям в пространстве объектов, является задача построения алгоритма генерации эталонных изображений.

Литература

1. Дмитриев А.И., Журавлев Ю.И., Кренделев Ф.П. О математических принципах классификации предметов или явлений // Дискретный анализ - Новосибирск: ИМ СО АН СССР, Вып. 7. 1966. – С. 3-17.
2. Донской В.И. Алгоритмы обучения, основанные на построении решающих деревьев // ЖВМиМФ.– 1982.– № 4.– С. 963-974.
3. Мерков А.Б. Основные методы, применяемые для распознавания рукописного текста. Лаборатория распознавания образов МЦНМО.2004. Гл.4/ http://fornit2005 .narod.ru/papers/methods.ps
4. Арлазаров В.Л, Славин О.А. Алгоритмы распознавания и технологии ввода текстов в ЭВМ //Информационные технологии и вычислительные системы.– 1996. –1.– С. 48-54.
5. Винцюк Т.К. Распознавание устной речи методами динамического программирования // Кибернетика.– 1968. – № 1.– С. 81-88.
6. S. Furui. Perspectives of Speech Processing Technologies // “SPECOM’98” International Workshop Proceedings. St.-Petersburg. –St.-Petersburg, 1998. Pp. 1-6.
7. J.C. Anigbogu and A. Belaid, Hidden Markov Models in Text Recognition, HIJPRAI. Vol.9. pp. 925-958,1995
8. Шлезингер М.И. Двумерное обобщение контекстно-свободных языков и грамматик // Методы и средства информатики речи. Киев: Ин-т кибернетики НАН Украины.– 1991.– С. 36-47.
9. Андреев Ю.В., Дмитриев А.С. Динамический хаос и нейронные сети в задачах классификации и распознавания // Нейрокомпьютеры и их применение: сб. докл. 5 Всерос. конф..– 1999. – С.438-441.
10. Терехов С.А. Нейросетевые непараметрические методы анализа экспериментальных данных // ВНИИТФ,– 1998. - 18 с.
11. Zhilenkov, A., Nyrkov, A., Chernyi, S., Sokolov, S. Simulation of in-sensor processes in the sensor - Object system type when scanning the elements of underwater communication lines with a probe beam // International Review on Modelling and Simulations, 2017. 10 (5), pp. 363-370.
12. Sokolov, S., Zhilenkov, A., Nyrkov, A., Chernyi, S. The use robotics for underwater research complex objects // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017. 556, pp. 421-427.

REFERENCES

1. Dmitriev A.I., ZHuravlev YU.I., Krendelev F.P. O matematicheskih principah klassifikacii predmetov ili yavlenij // Diskretnyj analiz -Novosibirsk: IM SO AN SSSR Vyp. 7. 1966. S. 3-17.
2. Donskoj V.I. Algoritmy obucheniya, osnovannye na postroenii reshayushchih derev'ev // ZHVMiMF. 1982. № 4. S. 963-974.
3. Merkov A.B. Osnovnye metody, primenyaemye dlya raspoznavaniya rukopisnogo teksta. Laboratoriya raspoznavaniya obrazov MCNMO.2004. Gl.4/ http://fornit2005.narod.ru/papers/methods.ps
4. Arlazarov B.L, Slavin O.A. Algoritmy raspoznavaniya i tekhnologii vvoda tekstov v EVM //Informacionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy. 1996. 1.C. 48-54.
5. Vincyuk T.K. Raspoznavanie ustnoj rechi metodami dinamicheskogo programmirovaniya // Kibernetika.1968. № 1. S. 81-88.
6. S. Furui. Perspectives of Speech Processing Technologies // “SPECOM’98” International Workshop Proceedings. St.-Petersburg. –St.-Petersburg, 1998. Pp. 1-6.
7. J.C. Anigbogu and A. Belaid, Hidden Markov Models in Text Recognition, HIJPRAI. Vol.9. pp. 925-958,1995
8. SHlezinger M.I. Dvumernoe obobshchenie kontekstno-svobodnyh yazykov i grammatik // Metody i sredstva informatiki rechi. Kiev: In-t kibernetiki NAN Ukrainy, 1991. S. 36-47.
9. Andreev YU.V., Dmitriev A.S. Dinamicheskij haos i nejronnye seti v zadachah klassifikacii i raspoznavaniya // Nejrokomp'yutery i ih primenenie: cb.dokl. 5 Vseros. konf., 1999. M. S.438-441.
10. Terekhov S.A. Nejrosetevye neparametricheskie metody analiza eksperimental'nyh dannyh // VNIITF, 1998. - 18 s.
11. Zhilenkov, A., Nyrkov, A., Chernyi, S., Sokolov, S. Simulation of in-sensor processes in the sensor - Object system type when scanning the elements of underwater communication lines with a probe beam // International Review on Modelling and Simulations, 2017. 10 (5), pp. 363-370.
12. Sokolov, S., Zhilenkov, A., Nyrkov, A., Chernyi, S. The use robotics for underwater research complex objects // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017. 556, pp. 421-427.