

УДК 519.684.6

ОБНАРУЖЕНИЕ СИНХРОСИГНАЛА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

С.А. Архипов^{a,b}, Г.Ю. Пуеров^{a,b}, Е.И. Сергеева^b

^a Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

^b АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация

Адрес для переписки: sergej1705@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 23.05.17, принята к печати 19.07.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-890-895

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Архипов С.А., Пуеров Г.Ю., Сергеева Е.И. Обнаружение синхросигнала гидроакустической связи с помощью энергетического алгоритма // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 5. С. 890–895. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-890-895

Аннотация

Предметом исследования в данной работе является возможность работы алгоритма энергетического обнаружения синхросигнала гидроакустической связи и его программная реализация в многопроцессорной системе обработки гидроакустических сигналов. Результатом работы данного алгоритма является обнаружение синхросигнала гидроакустической связи и определение его пространственного канала для дальнейшей реализации сеанса связи.

Метод. Сущность предлагаемого решения состоит в сравнении энергии сигнала в заданной полосе частот связи с энергией сигнала вне заданной полосы частот. Синхросигнал излучается в гидроакустической связи перед передачей информационного блока сигналов. Он позволяет определить частотный диапазон работы модема и пространственный канал, к которому должен быть подключен модем, а также вычислить коэффициент доплеровского искажения. Выбранный энергетический алгоритм обнаружения сигнала гидроакустической связи не требователен к вычислительным ресурсам, ограниченным в условиях работы системы в реальном времени. **Основные результаты.** Алгоритм программно реализован для отечественного сигнального процессора «Комдив 128 РИО». Для проверки функционирования разработанного программного обеспечения обнаружения синхросигнала реализован программный имитатор, позволяющий формировать сигнал гидроакустической связи на входе приемных элементов. Тестирование с помощью разработанного имитатора показало возможность обнаружения синхросигнала.

Практическая значимость. Программная реализация данного алгоритма внедрена в программное обеспечение многопроцессорной системы обработки гидроакустических сигналов в реальном времени.

Ключевые слова

обработка гидроакустических сигналов, гидроакустическая связь, сигнальный процессор, системы реального времени, программный имитатор гидроакустических сигналов

DETECTION OF HYDRO-ACOUSTIC COMMUNICATION SIGNAL BY ENERGY ALGORITHM IN LOW FREQUENCY PASSIVE MODE

S.A. Arkhipov^{a,b}, G.Y. Puerov^{a,b}, E.I. Sergeeva^b

^a ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

^b SC «Concern «Oceanpribor», Saint Petersburg, 197376, Russian Federation

Corresponding author: sergej1705@gmail.com

Article info

Received 23.05.17, accepted 19.07.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-890-895

Article in Russian

For citation: Arkhipov S.A., Puerov G.Y., Sergeeva E.I. Detection of hydro-acoustic communication signal by energy algorithm in low frequency passive mode. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 5, pp. 890–895 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-890-895

Abstract

Subject of Research. The paper deals with the possibility of the algorithm execution for the purpose of energy detection of hydro-acoustic communication synchronization signal and its software implementation in a multiprocessor system for processing of hydro-acoustic signals. The result of this algorithm is the detection of hydro-acoustic communication synchronization signal and the definition of its spatial channel for the further implementation of communication session.

Method. The essence of the proposed solution lies in comparing the signal energy in a given frequency band with the signal

energy outside the specified frequency band. The synchronization signal is emitted in the mode of hydro-acoustic communication before transmission of data block of signals. It gives the possibility to define the modem frequency range and the spatial channel to be connected to the modem, and calculate the ratio of Doppler distortion. The chosen energy algorithm for detection of hydro-acoustic communication signal is not critical to computational resources that are limited in real-time systems. **Main Results.** The algorithm is implemented for "KOMDIV 128 RIO" signal processor. To test the functionality of the developed software for detection of timing signal, a software simulator was created enabling the generation of hydro-acoustic communication signal at the input of the receiving elements. Testing with the simulator showed the possibility of synchronization signal detection. **Practical Relevance.** The considered algorithm of hydro-acoustic communication signal detection is implemented in the software of a multiprocessor system for processing of hydro-acoustic signals.

Keywords

hydro-acoustic signal processing, hydro-acoustic communication, digital signal processor (DSP), real-time systems, hydro-acoustic signal software simulator

Введение

Гидроакустика используется для различных задач. С помощью гидроакустики осуществляется обнаружение подводных объектов [1], передача информации [2] и многое другое. Системы гидроакустической связи на текущий момент занимают важное место в составе гидроакустического комплекса (ГАК) [3, 4]. Обнаружение сигналов связи – сложная аппаратно-программная задача. Подробнее проблемы обнаружения сигналов связи рассматриваются в литературе [5–9]. Задача обнаружения гидроакустического сигнала связи в реальном времени требует существенных вычислительных мощностей. В современных ГАК большая часть обработки сигналов производится на многопроцессорных системах [10]. Современные системы обработки сигналов описываются в работе [11]. В настоящей работе рассматриваются многопроцессорные системы на базе отечественного специализированного многофункционального процессора «Комдив 128 РИО» [12] (далее К128). Процессор К128 имеет архитектуру SIMD, обеспечивающую параллелизм на уровне обработки данных. В состав процессора входит контроллер и арифметический сопроцессор CP2, имеющий в своем составе четыре вычислительные секции. Каждая вычислительная секция CP2 имеет память для хранения данных. Контроллер рассылает на все вычислительные секции команду, и она выполняется с данными, находящимися в памяти вычислительных секций, т.е. вычисления в четырех секциях производятся параллельно. Такая архитектура процессора обеспечивает эффективность множественных вычислительных операций. Основные множественные функции реализованы в библиотеке цифровой обработки сигналов (БЦОС) [13]. Использование БЦОС при разработке программного обеспечения для К128 позволяет значительно ускорить работу программ.

Энергетический алгоритм обнаружения синхросигнала

Рассмотрим алгоритм энергетического обнаружения сигнала гидроакустической связи. Алгоритм предназначен для обнаружения синхросигнала. Синхросигнал излучается в режиме гидроакустической связи перед передачей информационного блока сигналов. Он позволяет определить коэффициент доплеровского искажения, а также частотный диапазон, в котором должен работать модем, и пространственный канал, к которому должен быть подключен модем [14]. На вход алгоритма поступает накопленный по времени массив энергий спектров по выходу всех сформированных пространственных каналов $|S(K, Q)|^2$ размером $K \times Q$ элементов, где K – количество частотных каналов, Q – количество пространственных каналов. Далее формируются два канала обнаружения.

В канале 1 диапазон частотных точек с k_n^1 по k_b^1 разделяется на m^1 поддиапазонов M^1 по $a^1 = \frac{(k_b^1 - k_n^1)}{m^1}$ частотных точек в каждом, где k_n^1 (обозначена на рис. 1 красной линией слева) – нижняя граница анализируемого диапазона, k_b^1 (обозначена на рис. 1 красной линией справа) – верхняя граница анализируемого диапазона, $K \geq k_b^1 \geq k_n^1$.

В канале 2 диапазон частотных точек с k_n^2 по k_b^2 разделяется на m^2 поддиапазонов M^2 по $a^2 = \frac{(k_b^2 - k_n^2)}{m^2}$ частотных точек в каждом, где k_n^2 (обозначена на рис. 1 синей линией слева) – нижняя граница анализируемого диапазона, k_b^2 (обозначена на рис. 1 синей линией справа) – верхняя граница анализируемого диапазона, $K \geq k_b^2 \geq k_n^2$.

Для каждого канала $j = 1, 2$ в частотном поддиапазоне выполняем формирование суммарного сигнала по следующей формуле:

$$\overline{|S_i^j(q)|^2} = \frac{\sum_{k=k_n^j+(i-1)a^j}^{k_n^j+ia^j} |S(k,q)|^2}{a^j + 1},$$

где $i=1, \dots, m^j$, $q=0, \dots, Q-1$.

Среди всех поддиапазонов M^j , $j=1,2$, есть m_1^j таких поддиапазонов M_1^j , в которые попадает полоса сигнала связи и m_0^j поддиапазонов M_0^j вне полосы сигнала связи.

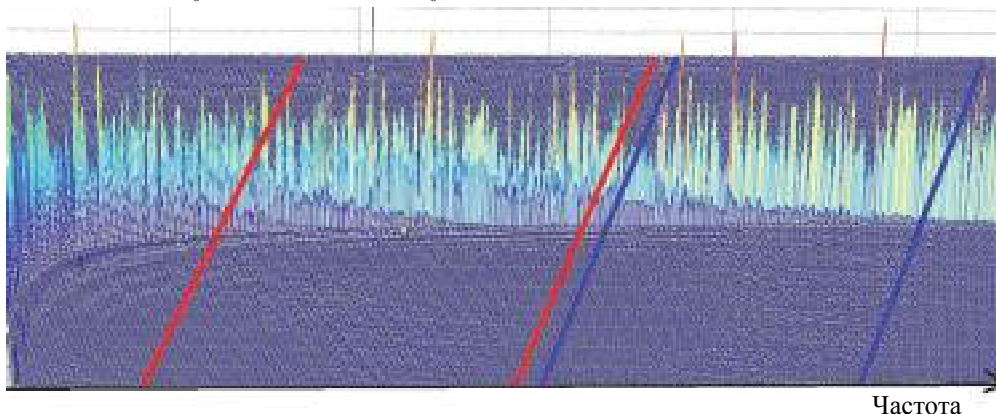


Рис. 1. Массив энергий спектров

Для каждого канала $j=1,2$ выполняется суммирование отсчетов суммарных сигналов всех поддиапазонов вне полосы сигнала связи:

$$\overline{|A_1^j(q)|^2} = \frac{\sum_{i \in M_0^j} \overline{|S_i^j(q)|^2}}{m_0^j}.$$

Аналогично выполняется суммирование в полосе сигнала связи:

$$\overline{|A_2^j(q)|^2} = \frac{\sum_{i \in M_1^j} \overline{|S_i^j(q)|^2}}{m_1^j}.$$

В каждом канале $j=1,2$ для всех направлений q выполняется сравнение суммы отсчетов в полосе сигнала связи $\overline{|A_2^j(q)|^2}$ с суммой отсчетов вне полосы сигнала связи $\overline{|A_1^j(q)|^2}$:

$$\overline{|A_2^j(q)|^2} \geq \overline{|A_1^j(q)|^2} \delta^j, \quad (1)$$

где δ^j – величина превышения уровня сигнала связи в полосе сигнала связи над уровнем сигнала связи вне полосы сигнала связи для определенного канала.

При выполнении неравенства (1) для каждого канала $j=1,2$ из суммарных сигналов в полосе сигнала связи выбираются минимальное S_{\min}^j и максимальное S_{\max}^j значения.

Для всех направлений q для каждого канала $j=1,2$ выполняется сравнение минимального и максимального уровней по формуле:

$$\frac{S_{\min}^j}{S_{\max}^j} \geq \omega, \quad (2)$$

где ω – величина порогового обнаружения.

Для каждого канала $j=1,2$ при выполнении условий (1) и (2) выдается признак обнаружения сигнала связи и номер пространственного канала q_{\max} с максимальным значением, амплитуды $\overline{|A_2^j(q_{\max})|^2}$ из всех значений $\overline{|A_2^j(q)|^2}$, для которых выполнены неравенства (1) и (2).

Оценка характеристик алгоритма

Для формирования суммарных сигналов требуется $m^1 Q$ операций для первого канала и $m^2 Q$ операций для второго канала, далее необходимо просуммировать отсчеты суммарных сигналов вне полосы сигнала связи, на что потребуется $4Q$ и $2Q$ операций. После этого необходимо провести суммирование отсчетов суммарных сигналов в полосе сигнала связи, для чего необходимо выполнить $4Q$ и $2Q$ операций для первого и второго канала соответственно. Далее для проведения проверки неравенства (1), тре-

буется Q и Q операций. Нахождение минимальных S_{\min} и максимальных S_{\max} значений, а также их сравнение, если неравенство (1) было выполнено на всех направлениях q , требует выполнения $4Q$ и $4Q$ операций. Поиск $|A_2(q_{\max})|^2 - \log(Q)$ для первого канала, $\log(Q)$ – для второго канала. Суммарное время работы составляет $O(m^1Q + m^2Q + 4Q + 2Q + Q + Q + 4Q + 4Q + \log(Q) + \log(Q))$, после упрощения $O(m^1Q + m^2Q + 16Q + 2\log(Q))$. В худшем случае, если $m^1 = m^2 = K$, то $O(KQ + KQ + Q + \log(Q))$, тогда затрачиваемое время будет равно $O(KQ)$.

Для размещения входного массива сигналов требуется порядка KQ байт (Б). Для хранения массивов S необходимо порядка $8Q$ Б и $6Q$ Б для первого и второго канала соответственно, что даст $14Q$ Б. Для хранения A_1 и A_2 потребуется порядка $4Q$ Б. На хранение максимума и минимума необходимо 2 Б для первого канала и 2 Б для второго канала, тогда суммарные затраты составляют $O(KQ + 8Q + 6Q + 2Q + 2Q + 2 + 2)$. После упрощения получаем $O(KQ)$.

Полученные оценки характеристик алгоритма (вычислительная сложность алгоритма и затраты памяти для работы алгоритма) подтверждают нетребовательность алгоритма энергетического обнаружения синхросигнала к вычислительным ресурсам в системах реального времени.

Оптимизация программной реализации

Для оптимизации программной реализации данного алгоритма для процессора K128 необходимо использовать БЦОС для подсчета сумм $|S(q)|^2$, что позволит сократить время вычисления. При вычислении $|S(q)|^2$ для $|A_2(q)|^2$ целесообразно сразу вычислять S_{\min} и S_{\max} , а также проводить проверку условия (2), что позволит сэкономить память (будет храниться лишь одно число вместо четырех). Так как все вычисления на пространственных каналах независимы, то задача может быть разбита на Q параллельных задач, что позволит сократить время выполнения за счет использования нескольких процессоров.

$|S(q)|^2$ вычисляется для различных поддиапазонов, а элементы канала принадлежат разным поддиапазонам, тогда $|S(q)|^2$ можно вычислять параллельно.

Имитация сигнала

Тестирование и отладка разработанного программного обеспечения на начальных этапах обычно производится с помощью программного имитатора, который позволяет формировать сигнальные последовательности приемных каналов линейной антенны [15]. Для проверки функционирования энергетического алгоритма обнаружения необходимо, чтобы в составе сигнальных последовательностей содержался синхросигнал.

В составе данного программного имитатора был разработан дополнительный модуль формирования синхросигнала. Этот модуль позволяет включить в сигнальные последовательности на входе приемных каналов антенны синхросигнал с заданными параметрами.

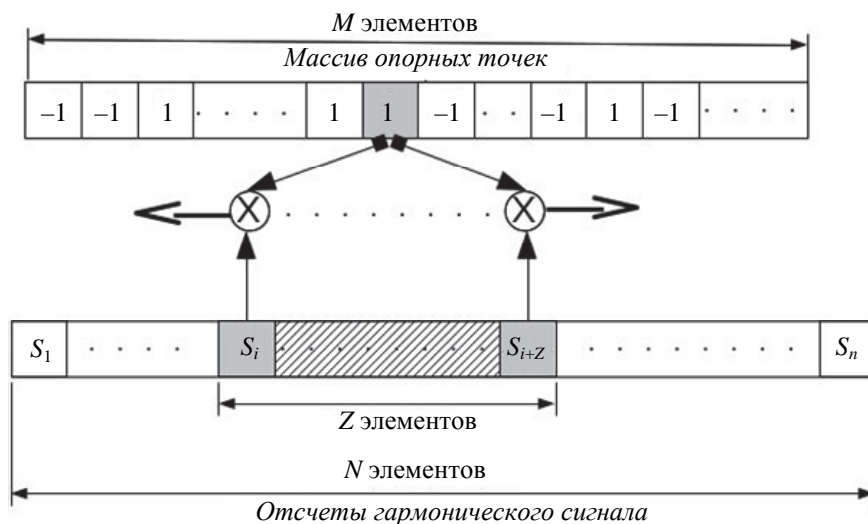


Рис. 2. Схема модуля формирования синхросигнала

Кратко рассмотрим особенности формирования синхросигнала. Схема формирования синхросигнала показана на рис. 2. В модуле формирования синхросигнала выполняется умножение отсчетов некоторого гармонического сигнала на заданные «опорные точки», которые представляют собой числа 1 и -1 . Как показано на схеме, массив отсчетов гармонического сигнала длины N делится на несколько частей по Z элементов. Целое число $Z = \left\lfloor \frac{f_d}{f_i} \right\rfloor$ будем называть коэффициентом прореживания, где f_d – частота дискретизации сигнальных последовательностей на выходе имитатора; f_i – заданная частота гармонического сигнала. Каждый элемент из текущей части массива умножается на один и тот же элемент массива «опорных точек» (размер массива «опорных точек» M , причем $M \neq N$). Затем переходим к следующей части массива гармонического сигнала и умножаем на следующий элемент массива опорных точек.

Если отношение $\frac{f_d}{f_i}$ не является целым числом, то выполняется сложение остатков от округления. Когда сумма остатков становится равна 1, размер следующей части массива отсчетов гармонического сигнала будет равен $Z = \left\lfloor \frac{f_d}{f_i} \right\rfloor$.

Заключение

Рассмотренный алгоритм обнаружения синхросигнала гидроакустической связи реализован на сигнальном процессоре К128. В настоящее время алгоритм внедрен и оптимизирован в составе штатного программного обеспечения ряда гидроакустических средств, где показал хорошее соотношение времени выполнения к затрачиваемым ресурсам. Опыт по имитации сигнала можно применять при тестировании и отладке других алгоритмов обнаружения синхросигнала.

Литература

1. Николаев М. Найти невидимку: системы обнаружения субмарин // Популярная механика. 2009. №7.
2. Вершинин А.С. Сравнительный анализ гидроакустических модемов // Молодой ученый. 2015. №12. С. 156–161.
3. Рыжиков А.В., Барсуков Ю.В. Системы и средства обработки сигналов в гидроакустике. СПб.: СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2007.
4. Корякин Ю.А., Смирнов С.А., Яковлев Г.В. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. СПб.: Наука, 2004. 410 с.
5. Непогодин Д.С. Разработка гидроакустического сигнала систем подводной навигации // Сборник трудов конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб., 2012. С. 293–299.
6. Пенин П.И. Системы передачи цифровой информации. М.: Сов. Радио, 1976. 368 с.
7. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. М.: Сов. Радио, 1975. 344 с.
8. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи. М.: Эко-Трендз, 2005. 392 с.
9. Сотников А.А. Первичная обработка гидроакустических сигналов на основе итеративного моделирования помехосигнальной обстановки: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2007. 221 с.
10. Люттик В.И. О перспективных направлениях в цифровой обработке сигналов на многопроцессорных вычислительных системах // Известия ЮФУ. Технические науки. 1995. №1. С. 29–31.
11. Лисс А.Р., Рыжиков А.В. Системы обработки сигналов в гидроакустических станциях и комплексах // Гидроакустика. 2016. № 27(3). С. 38–47.
12. Микросхема интегральная 1890ВМ7Я. Указания по применению, ЮКСУ.431281.104Д4, М., НИИСИ РАН, 2014.
13. Программа Библиотека цифровой обработки сигналов (БЦОС). Справочник по функциям с интерфейсом ср2m программы БЦОС. ЮКСУ.90973-01 90 01, М. НИИСИ, 2014.
14. Кранц В.З., Сечин В.В. Обнаружение синхросигнала в системе гидроакустической связи // Труды конф. Гидроакустическая связь и гидроакустические средства

References

1. Nikolaev M. Find invisibility: submarine detection systems. *Populyarnaya Mekhanika*, 2009, no. 7. (In Russian)
2. Vershinin A.S. Comparative analysis of hydroacoustic modems. *Molodoi Uchenyi*, 2015, no. 12, pp. 156–161. (In Russian)
3. Ryzhikov A.V., Barsukov Yu.V. *Systems and Devices of Signal Processing in Hydroacoustics*. St. Petersburg, SPbGETU LETI Publ., 2007. (In Russian)
4. Koryakin Yu.A., Smirnov S.A., Yakovlev G.V. *Ship-Based Hydroacoustic Technique: State and Actual Problems*. St. Petersburg, Nauka Publ., 2007, 410 p. (In Russian)
5. Nepogodin D.S. Development of a hydroacoustic signal for underwater navigation systems. *Proc. Conf. on Navigation and Control*. St. Petersburg, 2012, pp. 293–299. (In Russian)
6. Penin P.I. *Digital Information Transmission Systems*. Moscow, Sovetskoe Radio Publ., 1976, 368 p. (In Russian)
7. Van Trees H. *Detection, Estimation, and Modulation Theory*. New York, John Wiley and Sons, 1968.
8. Volkov L.N., Nemirovskii M.S., Shinakov Yu.S. *Digital Radio Communication Systems*. Moscow, Eko-Trendz Publ., 2005, 392 p. (in Russian)
9. Sotnikov A.A. *Primary Processing of Sonar Signals Based on Iterative Modeling of Noise and Signal Conditions*. Dis. PhD Eng. Sci. Novosibirsk, 2007, 221 p. (in Russian)
10. Lyutik V.I. On perspective directions in digital signal processing on multiprocessor computer systems. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie Nauki*, 1995, no. 1, pp. 29–31. (in Russian)
11. Liss A.R., Ryzhikov A.V. Signal processing systems in hydroacoustic stations and complexes. *Gidroakustika*, 2016, no. 27, pp. 38–47. (in Russian)
12. *Integrated Chip 1890VM7Ya. Manual*. YuKSU.431281.104D4. Moscow, NIISI RAS, 2014.
13. *Digital Signal Processing Library. Function Reference with cp2m Interface*. YuKSU.90973-01 90 01. Moscow, NIISI, 2014. (in Russian)
14. Krants V.Z., Sechin V.V. Detection of the sync-signal in the hydroacoustic system. *Proc. Conf. on Hydroacoustic Communication and Hydroacoustic Facilities of Emergency Rescue*. Volgograd, 2003, pp. 64–77. (in Russian)

- аварийно-спасательного назначения. Волгоград, 2003. С. 64–77.
15. Сергеева Е.И., Ложкин Д.В., Пуеров Г.Ю. Многофункциональный программный имитатор сигналов гибкой протяженной буксируемой антенны // Труды III конференции Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики. СПб., 2013. С. 193–197.
15. Sergeeva E.I., Lozhkin D.V., Puerov G.Yu. Multifunctional software signals simulator of a flexible extended towed antenna. *Proc. 3rd Conf. on Applied Technologies of Hydroacoustics and Hydrophysics*. St. Petersburg, 2013, pp. 193–197. (in Russian)

Авторы

Архипов Сергей Александрович – студент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация; инженер-программист, АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация, sergej1705@gmail.com

Пуеров Георгий Юрьевич – доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация; ведущий научный сотрудник, АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация puerov@gmail.com

Сергеева Елена Игоревна – ведущий инженер-программист, АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация, Srgv.lena@gmail.com

Authors

Sergey A. Arkhipov – student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; software developer, SC «Concern «Oceanpribor», Saint Petersburg, 197376, Russian Federation, sergej1705@gmail.com

Georgiy Yu. Puerov – Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; Senior scientific researcher, SC «Concern «Oceanpribor», Saint Petersburg, 197376, Russian Federation, puerov@gmail.com

Elena I. Sergeeva – leading software developer, SC «Concern «Oceanpribor», Saint Petersburg, 197376, Russian Federation, Srgv.lena@gmail.com