УДК 681.3+681.5:007

*Н. В. АЛИПОВ, д-р техн. наук, И. Н. АЛИПОВ, канд. техн. наук,*
*М. И. ХИЛЬ, канд. техн. наук, Л. Н. РЕБЕЗЮК, канд. техн. наук*

# ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ПОИСКА ТОЧКИ С ХАРАКТЕРНЫМ ПРИЗНАКОМ, ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ К СИММЕТРИЧНЫМ НЕРЕГУЛЯРНЫМ ВИРТУАЛЬНЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМ

Поиск в нашей жизни занимает одно из важнейших мест, а тема «Поиск» исключительно широка и сложна [1, 2]. В исследовании рассматривается проблема помехоустойчивого одномерного поиска точки с характерным признаком, исходным интервалом неопределенности для которой является интервал $(0,1)$, характерным признаком – ее координата [1, 3]. Решение этой проблемы важно потому, что процесс поиска на отрезке $[0,1]$ точки с характерным признаком аналогичен процессам аналого-цифрового преобразования, поиска данных, поиска неисправного элемента, к нему сводится ряд задач помехоустойчивого преобразования информации, защиты информации, избыточных представлений десятичных чисел и теории вопросников [1, 3, 4]. Структура алгоритмов помехоустойчивого поиска точки с характерным признаком определяется датчиками виртуальных последовательностей [5].

К настоящему моменту разработаны алгоритмы поиска точки с характерным признаком, помехоустойчивые к регулярным последовательностям [6] либо к нерегулярным последовательностям, у которых случайной величиной является длительность выброса [7]. Известны также последовательные алгоритмы [8], помехоустойчивые к несимметричным нерегулярным последовательностям, у которых интервал времени между соседними выбросами последовательности является случайной величиной.

Целью исследования является разработка последовательных алгоритмов, помехоустойчивых к симметричным нерегулярным виртуальным последовательностям, для которых интервал времени между соседними выбросами последовательности является случайной величиной.

Заметим [4], что эти последовательности описываются такими параметрами: амплитудой выброса $(a)$, длительностью выброса $(\ell)$ и интервалом времени между соседними выбросами $(h)$. Они бывают несимметричными (однополярными) и симметричным (двуполярными) [4]. В работе рассматриваются двуполярные виртуальные последовательности, у которых только параметр $h$ является случайной величиной. Алгоритм поиска характеризуется количеством шагов $i$ (длиной поиска) и точек $(k)$, в которых одновременно выполняется эксперимент на $j$-м шаге алгоритма $(j \le i)$ [4]. Для последовательных алгоритмов поиска характерно то, что $k=1$. Формулировка задачи синтеза помехоустойчивых алгоритмов поиска приведена в работе [4]. Решение этой задачи направлено на то, чтобы синтезировать правила формирования новых интервалов неопределенности и стратегий поиска (правил размещения точки эксперимента во вновь выделенном интервале неопределенности).

В дальнейшем будем полагать, что $h \in [h_1, h_2]$; $\ell, a = const$; $k=1$; виртуальная последовательность – двуполярная, посредством которой точка с характерным признаком $x$ смещается в направлении $0 \to 1$ и в направлении $1 \to 0$; $h_1$ – минимальное значение параметра $h$; $h_2$ – максимальное значение параметра $h$; $h$ – целое положительное число; $x \in [0,1]$.

Первоначально сформулируем правила выделения нового интервала неопределенности на первом шаге алгоритма, а затем на любом другом его шаге. Пусть некоторым образом выбрана точка первого эксперимента в исходном интервале неопределенности $(0,1)$. Тогда по итогам выполнения этого шага алгоритма может быть сформирован один из исходов:

$$\text{а) } x(t_1) < x_1^1; \quad \text{б) } x(t_1) > x_1^1, \tag{1}$$

где $x(t_1)$ – аддитивная смесь координаты точки $x$ и $\xi(t_1)$; $\xi(t_1)$ – значение амплитуды виртуальной последовательности:

$$\xi(t_1)=\begin{cases}0, \textit{виртуальная последовательность на первом шаге не проявилась};\\ a \;\; \textit{в противном случае}.\end{cases}$$

Для указанных исходов на основании принципа «пересечения» [4] устанавливаем:

$$x\in[0,x_1^{1,2}), \quad x\in[x_1^{1,1},1), \tag{2}$$

где $x_1^{1,1}=\begin{cases}x_1^1-a\delta, & (x_1^1-a\delta)>0;\\ 0 & \textit{в противном случае};\end{cases}$ $\quad x_1^{1,2}=\begin{cases}x_1^1+a\delta, & (x_1^1+a\delta)\le 1;\\ 1 & \textit{в противном случае};\end{cases}$

$\delta$ – дискретность квантования исходного интервала неопределенности.

Пусть $\ell>1$ и на первом шаге алгоритма был сформирован исход типа а), а на втором шаге алгоритма выбрана точка $x_1^2$ второго эксперимента, для которой $x_1^1\in(0,x_1^1)$. Тогда по итогам выполнения второго шага алгоритма может быть сформирован один из исходов типа а) либо – типа б). В этом случае на основании принципа «пересечения» соответственно устанавливаем:

$$x\in[0,x_1^{2,2}), \quad x\in[x_1^{2,1},x^{1,2}), \tag{3}$$

где $x_1^{2,2}=\begin{cases}x_1^2+a\delta, & (x_1^2+a\delta)<x_1^{1,2};\\ x_1^{1,2} & \textit{в противном случае};\end{cases}$ $\quad x_1^{2,1}=\begin{cases}x_1^2-a\delta, & (x_1^2-a\delta)>0;\\ 0 & \textit{в противном случае}.\end{cases}$

Если же на первом шаге алгоритма был сформирован исход типа б), а на втором шаге алгоритма выбрана точка эксперимента $x_1^2\in[x_1^1,1)$, то по итогам выполнения второго шага алгоритма также может сформироваться один из исходов типа а) либо – типа б).

В этом случае на основании принципа «пересечения» соответственно устанавливаем:

$$x\in[x_1^{1,1},x_1^{2,2}), \quad x\in[x_1^{2,1},1), \tag{4}$$

где $x_1^{2,2}=\begin{cases}x_1^2+a\delta, & (x_1^2+a\delta)<1;\\ 1 & \textit{в противном случае};\end{cases}$ $\quad x_1^{2,1}=\begin{cases}x_1^2-a\delta, & (x_1^2-a\delta)<x_1^{1,1};\\ x_1^{1,1} & \textit{в противном случае}.\end{cases}$

Пусть по описанной выше схеме выполняются последующие эксперименты: третий, четвертый, ..., $(j-1)$-й и на $(j-1)$-м шаге алгоритма сформирован новый полуоткрытый интервал неопределенности относительно точки с характерным признаком $x\in[x_1^{j_1,1},x_1^{j_2,2})$.

При выполнении $j$-го шага алгоритма может сформироваться один из исходов а) или б), для которых соответственно выделяются новые полуоткрытые интервалы неопределенности:

$$x\in[x_1^{j_1,1},x_1^{j,2}), \quad x\in[x_1^{j,1},x_1^{j_2,2}), \tag{5}$$

где $x_1^{j,2}=\begin{cases}x_1^j+a\delta, & (x_1^j+a\delta)\le x_1^{j_2,2};\\ x_1^{j_2,2} & \textit{в противном случае};\end{cases}$ $\quad x_1^{j,1}=\begin{cases}x_1^j-a\delta, & (x_1^j-a\delta)>x_1^{j_1,1};\\ x_1^{j_1,1} & \textit{в противном случае}.\end{cases}$

При продолжении поиска для исхода а) может возникнуть такая ситуация, для которой характерно следующее: на $(j+1)$, $(j+2)$,..., $(j+z-1)$-м шагах алгоритма формировался исход типа б), а по итогам выполнения $(j+z)$-го шага $(z \ge \ell)$ может появиться один из исходов а) или б). Для них формируются такие полуоткрытые интервалы неопределенности:

$$x \in [x_1^{(j+z-1),1}, x_1^{(j+z),2}), \quad x \in [x_1^{(j+z),1}, x_1^{(j+z-1),2}), \tag{6}$$

где $x_1^{(j+z),2} = \begin{cases} x_1^{j+z} + a\delta, & (x_1^{j+z} + a\delta) < x_1^j; \\ x_1^j & \textit{в противном случае;} \end{cases}$ $x_1^{(j+z),1} = \begin{cases} x_1^{j+z} - a\delta, & (x_1^{j+z} - a\delta) > x_1^{(j+z-1),1}; \\ x_1^{(j+z-1),1} & \textit{в противном случае.} \end{cases}$

Аналогично при продолжении поиска для исхода б) может возникнуть ситуация, когда на $(j+1)$, $(j+2)$,…, $(j+z-1)$-м шагах алгоритма формировался исход типа а), а на $(j+z)$-м шаге алгоритма $(z \ge \ell)$ появляется один из исходов а) или б). Для этих исходов в этом случае формируют такие полуоткрытые интервалы неопределенности:

$$x \in [x_1^{(j+z-1),1}, x_1^{(j+z),2}), \quad x \in [x_1^{(j+z),1}, x_1^{(j+z-1),2}), \tag{7}$$

где $x_1^{(j+z),2} = \begin{cases} x_1^{j+z} + a\delta, & (x_1^{j+z} + a\delta) < x_1^{(j+z-1),2}; \\ x_1^{(j+z-1),2} & \textit{в противном случае;} \end{cases}$ $x_1^{(j+z),1} = \begin{cases} x_1^{j+z} - a\delta, & (x_1^{j+z} - a\delta) > x_1^j; \\ x_1^j & \textit{в противном случае.} \end{cases}$

При организации поиска точки с характерным признаком может возникнуть и такая ситуация: на $j$-м шаге алгоритма сформировался исход типа а), на последующих $(j+1)$, $(j+2)$,…, $(j+z-1)$-м шагах алгоритма формировался исход типа б), а на $(j+z)$-м шаге алгоритма $(z \ge \ell)$ была использована пессимистическая стратегия

$$x_1^{j+z} = x_1^j. \tag{8}$$

В результате применения такой стратегии может сформироваться один из исходов а) или б). Для исхода а) характерно то, что результаты экспериментов, разнесенных во времени на $\ell$ шагов алгоритма, совпадают. Это означает, что на $j$-м шаге алгоритма виртуальная последовательность не проявлялась. На этом основании устанавливаем:

$$x \in [x_1^{j,1}, x_1^j) \tag{9}$$

и продолжаем процесс поиска в выделенном на $(j+z-1)$-м шаге алгоритма интервале неопределенности.

Для исхода б) возникшее противоречие свидетельствует о действии виртуальной последовательности на $[j \div (j+z-1)]$-х шагах алгоритма либо на последующих $[(j+z) \div (j+z+\ell-1)]$-х шагах. Для этого исхода формируем такой интервал неопределенности:

$$x \in [x_1^j, x_1^{j,2}). \tag{10}$$

В этой неопределенности, которая будет продолжаться на последующих $(\ell-1)$-х шагах, размещаем на этих шагах точки экспериментов в полуоткрытом интервале неопределенности (10) согласно стратегии классического алгоритма поиска. Затем на $(j+z+\ell)$-м шаге алгоритма повторяем эксперимент:

$$x_1^{j+z+\ell} = x_1^j. \tag{11}$$

При этом если возникает исход типа а), то возникшее противоречие свидетельствует о том, что виртуальная последовательность проявилась на $[(j+z)\div(j+z+\ell-1)]$-х шагах алгоритма, смещая точку с характерным признаком вправо (виртуальная последовательность первоначально проявилась выбросом положительной полярности). На этом основании выделяем относительно точки $x$ такой полуоткрытый интервал неопределенности:

$$x\in[x_1^{j,1},x_1^{j}) \tag{12}$$

и в интервале, выделенном на $(j+z-1)$-м шаге, организуем процесс поиска.

Поскольку проявление виртуальной последовательности обнаружено, то на полуоткрытом интервале неопределенности, выделенном на $(j+z-1)$-м шаге алгоритма, применяем комбинированный алгоритм поиска: на последующих $(h_1-1)$-х шагах применяем классический алгоритм поиска; затем пропускаем $(h_2-h_1+\ell)$ шагов алгоритма; потом снова на последующих $h_1$-х шагах алгоритма используем классический алгоритм поиска и так до конца поиска. Посредством такой стратегии поиска этот полуоткрытый интервал неопределенности разобьем за оставшиеся шаги алгоритма на $\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-\ell,1)$ равных частей. Для этой функции справедливо соотношение

$$\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-\ell,1)=2^{h_1-1}\cdot 2^{h_1\left]\frac{i-j-z-\ell-h_1+1}{h_2+\ell}\right[}\cdot 2^{\alpha}, \tag{13}$$

где

$$\alpha=\begin{cases}0, (i-j-\ell-z-h_1+1)-(\ell+h_2)\left]\dfrac{i-j-\ell-z-h_1+1}{\ell+h_2}\right[\le(\ell+h_2-h_1);\\ (i-j-\ell-z-h_1+1)-(\ell+h_2)\left]\dfrac{i-j-z-\ell-h_1+1}{\ell+h_2}\right[-(\ell+h_2-h_1),\ \textit{если 1);}\end{cases}$$

$$\textit{1)}(i-j-\ell-z-h_1+1)-(\ell+h_2)\left]\frac{i-j-z-\ell-h_1+1}{\ell+h_2}\right[>(\ell+h_2-h_1).$$

Если же при выполнении эксперимента (11) возникает исход типа б), то это будет свидетельством того, что виртуальная последовательность имела место на $[j\div(j+z-1)]$-х шагах алгоритма, смещая точку с характерным признаком влево (проявился выброс отрицательной полярности). Поскольку последние $(\ell-1)$ шаги алгоритма выполнялись по стратегии классического алгоритма, то интервал неопределенности (10) за эти шаги будет разбит на $2^{\ell-1}$ равные части. Затем на выделенном на $(j+z+\ell-1)$-м шаге алгоритма в полуоткрытом интервале неопределенности применяется комбинированный алгоритм поиска.

Как нетрудно заметить, для обнаружения виртуальной последовательности было использовано $(z-\ell+1)$ шагов паузы между двумя соседними выбросами. Затем после обнаружения противоречия в полуоткрытом интервале (10) было совершено $(\ell-1)$ шагов алгоритма; для окончательного принятия решения о действии виртуальной последовательности был еще выполнен эксперимент (11). Поэтому общее количество использованных шагов алгоритма, расположенных в интервале между двумя соседними выбросами, составит:

$$N=(z-\ell+1)+\ell=z+1.$$

Количество неиспользованных шагов, расположенных между двумя соседними выбросами последовательности, определяется соотношением

$$N_1 = (h_1 - z - 1).$$

Поэтому комбинированный алгоритм поиска на последующих $(h_1 - z - 1)$ шагах использует стратегию классического алгоритма; затем пропускает $(h_2 - h_1 + \ell)$ шагов алгоритма; потом на последующих $h_1$ шагах алгоритма использует снова стратегию классического алгоритма поиска и так до конца поиска.

Посредством такой комбинации алгоритмов полуоткрытый интервал неопределенности (10) разобьем на $\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-1,1)$ равных частей. Для этой функции справедливо соотношение:

$$\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-1,1) = 2^{\ell-1} \cdot 2^{h_1-z-1} \cdot 2^{h_1 \left]\frac{i-j-\ell-h_1+1}{h_2+\ell}\right[} \cdot 2^{\alpha_1}, \tag{14}$$

где

$$\alpha_1 = \begin{cases} 0, (i-j-\ell-h_1+1)-(\ell+h_2)\left]\dfrac{i-j-\ell-h_1+1}{\ell+h_2}\right[ \le (\ell+h_2-h_1); \\ (i-j-\ell-h_1+1)-(\ell+h_2)\left]\dfrac{i-j-\ell-h_1+1}{\ell+h_2}\right[ -(\ell+h_2-h_1), \textit{ если 2)}; \end{cases}$$

$$\textit{2)}\ (i-j-\ell-h_1+1)-(\ell+h_2)\left]\frac{i-j-\ell-h_1+1}{\ell+h_2}\right[ > (\ell+h_2-h_1).$$

Из анализа выражения (14) следует истинность неравенства

$$h_1 \ge (z+1), \quad (z-\ell+1) < h_1.$$

В процесс поиска возможна и такая ситуация: на $j$-м шаге алгоритма был сформирован исход типа б), на последующих $(j+1)$, $(j+2),\ldots,$ $(j+z-1)$ шагах формировался исход типа а), а на $(j+z)$-м шаге $(z \ge \ell)$ была использована пессимистическая стратегия (8). По итогам ее выполнения может быть сформирован исход типа а) либо – типа б).

Для исхода б) характерно то, что результаты экспериментов, разнесенных во времени на $\ell$ шагов алгоритма, совпали. На этом основании устанавливаем

$$x \in [x_1^j, x_1^{j,2}) \tag{15}$$

и продолжаем процесс поиска в выделенном на $(j+z-1)$-м шаге алгоритма интервале неопределенности.

Для исхода а) возникшее противоречие свидетельствует о проявлении виртуальной последовательности на $[j \div (j+z-1)]$-х шагах алгоритма либо на последующих $[(j+z) \div (j+z+\ell-1)]$-х шагах. Для этого исхода формируют следующий интервал неопределенности:

$$x \in [x_1^{j,1}, x_1^j). \tag{16}$$

В этой неопределенности на последующих шагах алгоритма, как было уже показано, размещаем точки экспериментов на последующих $(\ell-1)$ шагах алгоритма в полуоткрытом интервале неопределенности (16) согласно стратегии классического алгоритма поиска. Затем на $(j+z+\ell)$-м шаге применяем пессимистическую стратегию (11). При этом если возникает исход типа б), то возникшее противоречие свидетельствует о том, что виртуальная последовательность проявилась на $[(j+z) \div (j+z+\ell-1)]$-х шагах алгоритма, смещая точку с характерным признаком влево. На этом основании выделяем относительно точки $x$ такой полуоткрытый интервал неопределенности:

$$x \in [x_1^j, x_1^{j,2}), \tag{17}$$

– и в интервале неопределенности, выделенном на $(j+z-1)$-м шаге, организуем процесс поиска, применяя для этих целей ранее описанный комбинированный алгоритм: на последующих $(h_1 - 1)$ шагах применяем классический алгоритм поиска; затем пропускаем $(h_2 - h_1 + \ell)$ шагов алгоритма; потом снова на последующих $h_1$ шагах алгоритма используем классический алгоритм поиска и так до конца поиска.

Как было показано, такой алгоритм позволяет разбить полуоткрытый интервал неопределенности, выделенный на $(j+z-1)$-м шаге алгоритма, разбить на $\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-\ell,1)$ равных частей. Для этой функции справедливо соотношение (13).

Если же при выполнении эксперимента (11) возникает исход типа а), то это будет свидетельствовать о проявлении виртуальной последовательности на $[j \div (j+z_1-1)]$-х шагах алгоритма, смещая точку с характерным признаком вправо (проявился выброс положительной полярности).

Поскольку последние $(\ell-1)$-е шаги алгоритма выполнялись по схеме классического алгоритма, то полуоткрытый интервал неопределенности (16) за эти шаги будет разбит на $2^{\ell-1}$ равные части. На последующих шагах алгоритма в выделенном на $(j+z+\ell-1)$-м шаге алгоритма применяется уже описанный ранее комбинированный алгоритм, который позволит полуоткрытый интервал неопределенности (16) разбить на $\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-\ell,1)$ равных частей. Для данной функции справедливо соотношение (14).

Как известно [1, 2], для решения задачи синтеза помехоустойчивых алгоритмов поиска точки с характерным признаком необходимо разработать правила формирования нового интервала неопределенности (это мы уже проделали) и стратегию поиска (правила распределения точек экспериментов во вновь сформированном интервале неопределенности).

Для последовательных алгоритмов поиска применяют две стратегии [2]: оптимистическую и пессимистическую.

Оптимистическую стратегию всегда применяют на первом шаге алгоритма

$$x_1^1 \in (0,1). \tag{18}$$

Ее применяют и в таком случае, когда на $j$-м шаге, к примеру, был сформирован интервал неопределенности

$$[x_1^{j,1}, x_1^{j,2}], \quad x(t) \gtrless x_1^j,$$

а при выполнении $(j+z)$-го шага алгоритма имеет место неравенство

$$z < \ell. \tag{19}$$

Для всех других вариантов, когда истинно соотношение

$$z \geq \ell, \tag{20}$$

применяют оптимистическую либо пессимистическую стратегию.

Выбор стратегии осуществляют на основании соотношения (14). Как следует из этого выражения, функция $\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-1,1)$ определяет количество равных частей, на которое могут быть разбиты интервалы $(x_1^{j,1},x_1^j)$, $(x_1^j,x_1^{j,2})$.

Поскольку на последнем шаге алгоритма исходный интервал неопределенности (0,1) разбивается на $\varphi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i,1)$ частей, каждая из которых имеет длину $\delta$, то на основании соотношения (14) можно установить длину полуоткрытого интервала неопределенности, который может быть проквантован с той же дискретностью $\delta$.

Следовательно, если на $(j+z)$-м шаге алгоритма будет применена пессимистическая стратегия, то в случае проявления виртуальной последовательности на $[j\div(j+z-1)]$-х шагах алгоритма с дискретностью $\delta$ могут быть проквантованы только те интервалы неопределенности, для которых выполняется неравенство

$$\ell([a,b])\le\delta\cdot\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-1,1), \tag{21}$$

где $\ell([a,b])$ – длина полуоткрытого интервала $[a,b]$.

Если же на $z$-м шаге применяется оптимистическая, а на $(z+1)$-м шаге – пессимистическая стратегия и при этом возникает исход, противоположный исходу, образованному на $j$-м шаге алгоритма, то в случае проявления виртуальной последовательности на $[j\div(j+z-1)]$-х шагах алгоритма с дискретностью $\delta$ могут быть проквантованы те интервалы неопределенности, для которых справедливо соотношение:

$$\ell([a_1,b_1])\le\delta\cdot\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z,1). \tag{22}$$

Неравенства (21), (22) позволяют утверждать, что оптимистическая стратегия на $(j+z)$-м шаге алгоритма $(z\ge\ell)$ применяется тогда, когда истинными являются соотношения:
на $j$-м шаге алгоритма был сформирован исход типа б)

$$\begin{gathered}\ell([x_1^{j,1},x_1^1))\le\delta\cdot\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-1,1);\\ \ell([x_1^{j,1},x_1^1))\le\delta\cdot\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-2,1);\\ h_1\ge(z+1),\ h_1\ge(z+2),\end{gathered} \tag{23}$$

на $j$-м шаге алгоритма был сформирован исход типа а)

$$\begin{gathered}\ell([x_1^j,x_1^{j,2}))\le\delta\cdot\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-1,1);\\ \ell([x_1^j,x_1^{j,2}))\le\delta\cdot\psi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(i-j-z-2,1);\\ h_1\ge(z+1),\ h_1\ge(z+2).\end{gathered} \tag{24}$$

Пессимистическая стратегия применяется, как нетрудно заметить, в том случае, когда не выполняется четвертое либо третье, либо второе неравенства соотношений (23), (24).

Пессимистическая стратегия всегда используется на последующих $(2\ell+1)$-м шагах алгоритма. При этом точки эксперимента выбираются таким образом, чтобы разбить выделенный интервал неопределенности на две равные части. На этом основании записываем очевидные соотношения:

$$\varphi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(1,1)=\varphi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(2,1)=\ldots=\varphi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(2\ell,1)=1;$$

$$\varphi_2^{h_1,h_2,\ell,a}(2\ell+1,1)=2\,. \tag{25}$$

Построение таких алгоритмов осуществляют методом индукции. Первый алгоритм строят для $i=(2\ell+1)$, используя только пессимистическую стратегию. Для других значений параметра алгоритма $i$ используя такую схему [2]:

1.Построить $(i-1)$-шаговый помехоустойчивый алгоритм поиска точки с характерным признаком. Расположить точку первого эксперимента в исходном интервале. Переменной $j$ присвоить значение, равное единице.

2.Сформировать возможный исход. Если все исходы сформированы, то перейти на п.7, иначе – п.3.

3.Используя одно из соотношений (2) – (7), (9), (10), (12), (15) – (17), выделить новый полуоткрытый интервал неопределенности.

4.Положить $j=j+1$ и, если $j\le i$, то на основании (17), (23) – (25) выбрать точку следующего эксперимента (оптимистическую либо пессимистическую стратегию) и перейти на п.5, иначе – п.6.

5.Сформировать возможный исход на $j$-м шаге алгоритма. Если все исходы проанализированы, то перейти на п.6, иначе – на п.3.

6.Положить $j=j-1$. Если $j=1$, то перейти на п.2, иначе перейти на п.5.

7.Местоположения для всех исходов определены (алгоритм построен).

В процессе поиска точки с характерным признаком возможна такая ситуация, когда один и тот же интервал неопределенности в зависимости от исхода разбивается на различное количество частей. Поступают в таких ситуациях следующим образом.

Пусть $\ell=1$, $k=1$, $h_1=3$, $h_2=4$, параметр виртуальной последовательности «$a$» превосходит длину исходного интервала неопределенности и на первом шаге алгоритма некоторым образом выбрана точка первого эксперимента. Тогда независимо от исхода, сформированного на первом шаге алгоритма, на втором принимаем пессимистическую стратегию $(x_1^2=x_1^1)$.

Если исход, сформированный на втором шаге алгоритма, подтверждает исход первого шага, то устанавливаем, что для исхода а) полуоткрытые интервалы $[0,x_1^1)$, $[x_1^1,1)$ будут соответственно разбиты на $\varphi_2^{3,4,1,a}(i-2,1)$ равных частей.

Если исход, сформированный на втором шаге алгоритма, не подтверждает исход первого шага, то на третьем шаге применяем снова пессимистическую стратегию $(x_1^3=x_1^1)$.

Если исход, сформированный на третьем шаге, подтверждает исход второго шага, то в этом случае на полуоткрытых интервалах неопределенности $[0,x_1^1)$, $[x_1^1,1)$ действует комбинированный алгоритм поиска, который разобьет указанные интервалы неопределенности на $\psi_2^{3,4,1,a}(i-j-z-1,1)$ равных частей (см. соотношение (14)).

Исходя из минимаксного критерия, устанавливаем, что полуоткрытые интервалы $[0,x_1^1)$, $[x_1^1,1)$ будут в зависимости от исходов разбиты на $N_2$ равных частей:

$$N_2=\min\left\{\varphi_2^{3,4,1,a}(i-2,1),\psi_2^{3,4,1,a}(i-j-z-1,1)=\psi_2^{3,4,1,a}(i-2,1)\right\}, \tag{26}$$

где $j=1$; $z=1$.

Приведенные соотношения для формирования нового интервала неопределенности относительно точки с характерным признаком, соотношения, устанавливающие закономерность распределения точек $j$-го эксперимента во вновь выделенном интервале неопределенности и схема построения помехоустойчивого алгоритма позволяют синтезировать последовательный помехоустойчивый алгоритм поиска для любых параметров виртуальной последовательности и параметров алгоритма и тем самым определить функционирование конечного автомата с псевдослучайными переходами системы защиты информации.

**Список литературы**: 1. *Алипов Н.В.* Помехоустойчивый поиск точки с характерным признаком и кодирование информации // Радиоэлектроника и информатика. 2000. №. 4. С. 82 – 86. 2. *Альведе Р., Вагенер И.* Задачи поиска. М.: Мир, 1982. 365 с. 3. *Алипов Н.В.* Дискретные автоматы с псевдослучайными переходами и подстановочные методы защиты информации на их основе // Радиоэлектроника и информатика. 2001. № 4. С. 95 – 98. 4. *Алипов Н.В.* Синтез оптимальных полихотомичных вопросников для угадывания числа с ложными ответами // Проблемы бионики. Вып. 38. 1987. С. 108 – 117. 5. *Алипов Н.В., Алипов И.Н., Ребезюк Л.Н. и др.* Датчики виртуальных помех, используемые для организации функционирования дискретных автоматов в системах защиты информации // Радиотехника. 1999. Вып. 111. С. 33 – 39. 6. *Алипов Н. В., Ребезюк Л.Н., Охапкин А.А.* Защита информации в дискретном канале на основе устойчивых к периодическим помехам алгоритмов поиска точки с характерным признаком // АСУ и приборы автоматики. 1999. Вып.109. С. 108 – 115. 7. *Алипов Н.В., Ребезюк Л.Н.и др.* Методы защиты информации в дискретном канале на основе помехоустойчивых к несимметричным нерегулярным виртуальным помехам алгоритмов поиска точки с характерным признаком // Радиоэлектроника и информатика. 2000. №. 2. С. 104 – 111. 8. *Алипов Н.В., Алипов И.Н., Ребезюк Л.Н.* Последовательные алгоритмы поиска точки с характерным признаком, помехоустойчивые к несимметричным нерегулярным виртуальным последовательностям // Радиоэлектроника и информатика. 2003. № 2.

*Харьковский национальный*
*университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 28.04.2003*