

Раздел IV. Контроль и управление в технических системах

УДК 621.396.664

А.П. Самойленко, А.И. Панычев, С.А. Панычев

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БОРТОВОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСА

Наиболее существенными недостатками традиционных алгоритмов централизованного сбора и обработки сигналов контролируемых параметров в системах автоматического контроля являются: цикличность работы управляющего вычислительного комплекса не зависит от текущих значений сигналов; априорная синхронизируемая последовательность коммутаций на входных портах устройств сопряжения с контролируемым объектом не зависит от текущих значений сигналов; принятие решений по результатам контроля осуществляется только после полного цикла коммутации; существует избыточная информация, не являющаяся необходимой на определенном отрезке времени; на обработку и регистрацию избыточной информации затрачиваются время и ресурсы. Избыточность приводит к «старению» информации, ее потерям, к инерционности в принятии решений по управлению. Попытки синтеза систем автоматического контроля на основе аппарата бесконечной логики носят частный характер, требуют применения элементов многозначной логики, что приводит к значительным аппаратным затратам и трудностям при проектировании и реализации. Кроме того, такие алгоритмы не решают проблему информационной избыточности и надежности процесса контроля работоспособности бортового радиоэлектронного комплекса. В статье предложен метод синтеза структуры системы автоматического контроля бортового радиоэлектронного комплекса на основе операторов порядковой логики. Показано, что непрерывно-логическая функция может быть реализована с помощью n -разрядных пороговых и депороговых операторов, преобразования двоичных кодов. Подтверждена возможность реализации логически непрерывных функций с помощью управляемых логических определителей в базе двоичной логики. Разработан способ реализации гибридных непрерывно-логических систем автоматического контроля на базе релейных логически-ориентированных процессоров. Предложенный метод может быть использован для проектирования эффективных систем автоматического контроля работоспособности бортовых радиоэлектронных комплексов, контроля работоспособности функционирования телекоммуникационных систем и сетей, контроля аналоговых терминалов бортового оборудования и в других приложениях.

Автоматический контроль; бортовое оборудование; порядковая логика; релейные процессоры.

A.P. Samoilenko, A.I. Panychev, S.A. Panychev

SYNTHESIS OF AUTOMATIC CONTROL OF SERVICEABILITY OF ONBOARD RADIO-ELECTRONIC COMPLEXES

The most significant drawbacks of the traditional algorithms of centralized collection and processing of the signals monitored parameters in systems of automatic control are: the cyclical nature of the work control computer complex does not depend on the current values of the signals; a priori synchronizing the sequence of switching of the input ports of interfaces with controlled

object does not depend on the current values of the signals; a decision making the evaluation of results is carried out only after a complete switching cycle; there is superfluous information that is not needed in a particular time period; processing and recording superfluous information consumes time and resources. Data redundancy leads to «aging» of information, its loss, the inertia in decision making for management. Attempts of automatic control systems synthesis on the basis of the infinite logic are personal in nature, require the application of many-valued logic elements, which leads to a significant hardware cost and difficulties in design and implementation. In addition, such algorithms do not solve the problem of information redundancy and process reliability monitor the health of onboard radio electronic complex. In the article the method of synthesis of automatic control system structure of onboard radio-electronic complex on the basis of sequential logic operators is proposed. It is shown that continuous logical function can be implemented using n -bit threshold and deborahowen operators, conversion, binary codes. The possibility of implementing a logically continuous functions with managed logical determinants in the basis of binary logic is confirmed. A method is developed for the implementation of the hybrid continuous-logic systems of automatic control on the basis of the relator-based, logically-oriented processors. The proposed method can be used to design effective systems for the automatic control of onboard electronic systems serviceability, operation control of telecommunication systems and networks functioning, control terminals of the analog avionics and other applications.

Automatic control; avionics; ordinal logic; relator-based processors.

Введение. Известные алгоритмы централизованного сбора и обработки сигналов контролируемых параметров в системах автоматического контроля (САК) бортовых радиоэлектронных комплексов (БРЭК) характеризуются рядом факторов, не позволяющими считать их оптимальными. Наиболее существенные недостатки следующие: цикличность работы управляющего вычислительного комплекса (УВК) и априорная синхронизируемая последовательность коммутаций на входных портах устройств сопряжения с контролируемым объектом (УСО) не зависят от текущих значений сигналов; принятие решений по результатам контроля осуществляется только после полного цикла коммутации. При этом не вся информация является одинаково ценной, существует избыточная информация, не являющаяся необходимой на определенном отрезке времени, хотя на ее обработку и регистрацию затрачиваются время и ресурсы УВК. Вследствие этого возрастает стоимость аппаратуры; увеличиваются издержки, связанные с её эксплуатацией; иногда существенно задерживается выдача необходимой управляющей информации.

В [1] показано, что около 70 % команд затрачивается на процессы, напрямую не связанные с функционированием САК БРЭК: распределение избыточной информации в УВК; организацию доступа к информационным массивам; поиск элементов информации в массивах; другие операции информационного обслуживания. По некоторым данным [2] около 90 % расходов на сбор и обработку измерительной информации в САК приходится на избыточные данные.

Указанные виды избыточности приводят к «старению» информации, ее потерям, к инерционности в принятии решений по управлению. В то же время для исключения потерь информации об изменениях контролируемых параметров необходимо, чтобы программа-диспетчер обеспечивала высокую частоту повторов циклов контроля УВК. Увеличение частоты повторения циклов приема информации, в свою очередь, требует повышения скорости выполнения операций коммутации, преобразования и передачи сигналов по каналам связи. Выполнение этих операций с повышенными скоростями вызывает искажение сигналов и приводит к дополнительным погрешностям. Отмеченные негативные особенности архитектуры систем контроля данного поколения УВМ существенно снижают эффективность САК БРЭК.

Известны попытки синтеза САК БРЭК на основе аппарата бесконечной логики (БЛ) [3–30]. Однако они носят частный характер, требуют применения элементов многозначной логики, что приводит к значительным аппаратным затратам и

трудностям при проектировании и реализации САК, и не решают проблему информационной избыточности и надежности процесса контроля работоспособности бортового радиоэлектронного комплекса.

Синтез релейторной структуры с одноуровневым (двухуровневым эквивалентным) допусковым контролем. С целью устранения указанных недостатков разработана методика порядково-логического синтеза адаптивных САК, обеспечивающих исключение информационной избыточности при обслуживании контролируемых параметров $x_i(t)$, $i = \overline{1, n}$.

Пусть каждый из аналоговых контролируемых однородных параметров $X = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ имеет определённую область значений $X_{\text{ДОП}} = (x_i^B, x_i^H)$, задаваемую ограничительной зоной в виде допусковых уровней верхней и нижней границ.

Таким образом, каждый контролируемый параметр задаётся текущим значением $x_i(t)$ с допусковыми значениями верхнего x_i^B и нижнего x_i^H уровней:

$$x_i^B \geq x_i(t) \geq x_i^H.$$

Объект контроля может быть описан матрицей состояния

$$|X, X_{\text{ДОП}}| = \begin{vmatrix} x_1 & x_1^B & x_1^H \\ x_2 & x_2^B & x_2^H \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n & x_n^B & x_n^H \end{vmatrix}. \tag{1}$$

Предполагая автомат контроля «чёрным ящиком», отобразим его входы матрицей (1), а выходы – в виде ряда последовательности упорядоченных значений контролируемых параметров:

$$x_1^{(1)} \geq x_2^{(2)} \geq \dots \geq x_i^{(r)} \geq \dots \geq x_n^{(n)}. \tag{2}$$

Конкретный порядково-ранжированный ряд соответствует определённому алгоритму задачи, выполняемой интегральной вычислительной системой (ИВС), и состоянию элементов контролируемого тракта.

Возможное число разрядов в (2) определяется оценкой сложности вычисления порядкового логического определителя (ЛО) [4–8] для случая одноуровневой и двухуровневой САК БРЭК.

Применив пороговый оператор

$$П(x_i, x_i^B, x_i^H) = \begin{cases} \beta_i^1 & \text{при } x_i^H < x_i < x_i^B \\ \beta_i^2 & \text{при } x_i^H \geq x_i < x_i^B \\ \beta_i^3 & \text{при } x_i^H < x_i \geq x_i^B \end{cases}; i = \overline{1, n} \tag{3}$$

к каждой строке матрицы (1), получим матрицу состояний объекта контроля

$$П(X, X^B, X^H) = \begin{vmatrix} П(x_1, x_1^B, x_1^H) \\ П(x_2, x_2^B, x_2^H) \\ \dots \\ П(x_n, x_n^B, x_n^H) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \beta_1^1 & \beta_1^2 & \beta_1^3 \\ \beta_2^1 & \beta_2^2 & \beta_2^3 \\ \dots & \dots & \dots \\ \beta_n^1 & \beta_n^2 & \beta_n^3 \end{vmatrix}.$$

В общем случае возможны два варианта:

1) выходные значения i -го параметра $x_i(t)$ равнозначны расположены за допусковыми верхним и нижним уровнями;

2) задана периодичность уровней: $P_i(X^B, X^H) \in \{X^B \geq X^H \text{ или } X^B \leq X^H\}$.

С помощью порогового оператора (3) состояние i -го параметра отображается трехмерным кодовым вектором $\beta_i = (\beta_i^1, \beta_i^2, \beta_i^3)$ с одной единичной координатой, положение которой в кодовом векторе β_i индицирует характер порядкового соотношения между текущим значением i -го параметра $x_i(t)$ и его допусковыми уровнями.

В случае, когда выходные значения параметра $x_i(t)$ равнозначны расположены за допусковыми верхним и нижним уровнями для каждого i -го ($i = \overline{1, n}$) канала, определим дизъюнктивный индикатор выхода параметра за допусковые уровни

$$Z_i = \bigvee_{j=1}^3 \beta_i^j = \max\{\beta_i^1, \beta_i^2, \beta_i^3\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, 3},$$

которые и образуют кодовый вектор состояния

$$Z_i^j = \begin{cases} \max\{\beta_1^1, \beta_1^2, \beta_1^3\} \\ \max\{\beta_2^1, \beta_2^2, \beta_2^3\} \\ \dots\dots\dots \\ \max\{\beta_n^1, \beta_n^2, \beta_n^3\} \end{cases} \cdot \quad (4)$$

Число ненулевых координат этого вектора определяет количество параметров, значение которых в текущий момент находятся за пределами допустимых уровней.

Вектор Z_i^j отображается неупорядоченной квазиматрицей-столбцом, которая может быть представлена посредством логического оператора $A_n^{(r)}$ в виде ряда упорядоченных последовательностей:

$$Z_i^1, Z_j^2, \dots, Z_l^m, \dots, Z_n^{(k)}, \quad i = \overline{1, n}, \quad r = \overline{1, k}.$$

Логический оператор $A_n^{(r)}$ может быть раскрыт с помощью реляторной функции F_{RP} , аргументами которой являются координаты вектора состояния Z , вектора управляющих сигналов U , вектора сигналов задания направления приоритетной обработки S , значения которых определяются алгоритмом задачи, проходящей через ИВС:

$$A_n^{(r)}(Z) = F_{RP}(Z, U, S) = (Z_i^1, Z_j^2, \dots, Z_l^m, \dots, Z_n^{(k)}) \equiv Z'.$$

Синтез реляторной структуры, реализующей алгоритм (4) раскрытия логического определителя $A_n^{(r)}$, изложен в [31]. Упорядоченный кодовый вектор Z' имеет только одну ненулевую координату независимо от числа ненулевых координат вектора Z . Значения вектора X из (2) пронумеруем в произвольном, но фиксированном порядке и обозначим их $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_S)$ соответственно. Значение функции $f(\lambda)$ в области, определяемой ситуацией λ_j , обозначим $f(\lambda_j)$. Очевидно, что $f(\lambda_j)$ совпадает с одной из переменных x_1, x_2, \dots, x_n . Индекс этой

переменной обозначим $ind f(\lambda_j)$, $j = \overline{1, S}$; $S = n!$. Поставим в соответствие каждой ситуации λ_j t -мерный вектор $Z' = (Z'_1, Z'_2, \dots, Z'_t)$ с единственной ненулевой координатой, номер которой равен $ind f(\lambda_j)$, т.е. если $ind f(\lambda_j) = x_i$, то $Z' = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$.

Тогда для любой ситуации λ_j выполняется равенство $D_x(Z') = f(\lambda_j)$, т.е. $f(x) = D_x(Z')$.

Координаты вектора Z' меняются в зависимости от ситуации (2). Эту ситуацию можно отобразить двоичной матрицей G , строки которой соответствуют ситуации, а столбцы – координатам вектора Z' :

$$G = \begin{matrix} & Z'_1 & Z'_2 & \dots & Z'_t \\ \lambda_1 & \left| \begin{matrix} Z'_{11} & Z'_{12} & \dots & Z'_{1t} \end{matrix} \right. \\ \lambda_2 & \left| \begin{matrix} Z'_{21} & Z'_{22} & \dots & Z'_{2t} \end{matrix} \right. \\ \dots & \left| \begin{matrix} \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix} \right. \\ \lambda_S & \left| \begin{matrix} Z'_{S1} & Z'_{S2} & \dots & Z'_{St} \end{matrix} \right. \end{matrix}, \text{ где } Z'_j = \begin{matrix} \left| \begin{matrix} Z'_{1j} \\ Z'_{2j} \\ \dots \\ Z'_{Sj} \end{matrix} \right| \\ j = \overline{1, t} \end{matrix}, \lambda_i = \begin{matrix} \left| \begin{matrix} Z'_{i1}, Z'_{i2}, \dots, Z'_{im} \end{matrix} \right| \\ i = \overline{1, S} \end{matrix}. \quad (5)$$

Матрица G однозначно определяет функцию $f(\lambda_j)$. Как было показано [32, 33], пороговый оператор $\Pi(x)$ сопоставляет непрерывно меняющимся переменным (параметрам) m -мерный вектор β :

$$\Pi(x) \equiv \beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m) = \overline{\beta}, \quad m = \frac{N(N-1)}{2}$$

Эту зависимость можно отобразить двоичной матрицей B , строки которой соответствуют ситуации, а столбцы – координатам вектора β :

$$B = \begin{matrix} & \beta_1 & \beta_2 & \dots & \beta_m \\ \lambda_1 & \left| \begin{matrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \dots & \beta_{1m} \end{matrix} \right. \\ \lambda_2 & \left| \begin{matrix} \beta_{21} & \beta_{22} & \dots & \beta_{2m} \end{matrix} \right. \\ \dots & \left| \begin{matrix} \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix} \right. \\ \lambda_S & \left| \begin{matrix} \beta_{S1} & \beta_{S2} & \dots & \beta_{Sm} \end{matrix} \right. \end{matrix}, \beta_j = \begin{matrix} \left| \begin{matrix} \beta_{1j} \\ \beta_{2j} \\ \dots \\ \beta_{Sj} \end{matrix} \right| \\ j = \overline{1, m} \end{matrix}, \lambda_i = \begin{matrix} \left| \begin{matrix} \beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{im} \end{matrix} \right| \\ i = \overline{1, S} \end{matrix}.$$

Рассмотрим столбцы β_j , $j = \overline{1, m}$ матрицы B как независимые булевы переменные, а строки λ_i , $i = \overline{1, S}$ – как различные наборы этих переменных. Каждый столбец Z'_j , $j = \overline{1, t}$ матрицы G определяет булеву функцию переменных $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$, которая по наборам $\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{im}$ принимает значение Z'_i , $i = \overline{1, S}$; при $S < 2^m$ на наборах значений переменных $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$, не вошедших в матрицу B , функция считается равной нулю. Представив по табличному заданию булеву функцию в ДНФ для всех j , получим выражение переменных Z'_1, Z'_2, \dots, Z'_t через $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$: $Z'_j = \varphi_j(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$, $j = \overline{1, t}$, или в векторной форме $Z' = \varphi(\beta)$.

Учитывая, что

$$f(x) = D_x(Z'), \quad \Pi(x) = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m) = B, \quad (6)$$

получим

$$f(x) = D_x(\varphi_1(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m), \dots, \varphi_t(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)) = D_x(\varphi(\Pi(x))), \quad (7)$$

т.е. любую функцию непрерывно-логическую функцию БЛ $f(x)$ $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ можно реализовать посредством последовательного применения порогового $\Pi(x)$ и депорогового $D_x(Z')$ операторов и преобразования двоичных векторов.

Итак, на основании (6) и (7) в момент контроля $t_j \in T_k = k\Delta t$, $j = \overline{1, t}$, $t \leq n$, где t – число ненулевых координат вектора Z' , Δt – временной отрезок преобразований $\Pi(x)$ и $D_x(Z')$ с помощью депороговых операторов $D_x(Z'_j)$ формируется максимальный элемент ранжированного ряда (2):

$$x_j^{(1)}(t_k) = \max_{i=\overline{1, n}} \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{vmatrix} = \max_{j=\overline{1, n}} \begin{vmatrix} D_{x_1}(Z'_1) \\ D_{x_2}(Z'_2) \\ \dots \\ D_{x_n}(Z'_n) \end{vmatrix}, \quad j = \overline{1, t}.$$

Таким образом, с помощью поканального ($i = \overline{1, n}$) применения депорогового оператора в момент t_k и элементарной операции раскрытия ЛО $A_n^{(r)}$ выделяется экстремальный (максимальный) контролируемый параметр $x_j^{(1)}(t_k)$, поскольку кодовый вектор $Z' = (Z'_1, Z'_2, \dots, Z'_n)$ имеет только один ненулевой элемент:

$$x_j(t_k) = \max_{i=\overline{1, n}} \{x_1(t_k), x_2(t_k), \dots, x_n(t_k)\}.$$

Координаты искомого $x_j(t_k)$ параметра определяются ненулевой координатой вектора Z' или единичным элементом матрицы G (5) как

$$\text{ind } f(\lambda_i) = \text{ind } x_j(t_k) = \text{adr } x_j(t_k).$$

Для удобства представления и преобразования $\text{adr } x_j(t_k)$ может быть

представлен двоичным вектором размерностью $m \geq \log_2 n$ с помощью функции кодопреобразования F_{CD} вектора Z' в двоичный вектор:

$$\alpha_i = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) = F_{CD}(Z'); \quad \alpha_i \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, m}.$$

Текущее значение $x_j(t_k)$ j -го параметра может быть представлено двоичным вектором посредством оператора аналого-цифрового преобразования

$$\gamma = F_{АЦП}(x_j(t_k)) \equiv]x_j(t_k)[; \quad \gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n), \quad j = \overline{1, M},$$

где M – число уровней квантования диапазона изменений $n \geq \log_2(M)$.

По окончании преобразований $\Pi(x_j, x_j^B, x_j^H)$, $D_{x_j}(Z'_{t_j})$, $]x_j(t_j)[$ в момент времени $t_j + \Delta t$ производят операцию исключения $x_j(t_j)$ из дальнейшего

преобразования САК $x_i(t) \& x(t_j + \Delta t) = 0$, предварительно сформировав первый (максимальный) элемент упорядоченного ряда (2) $x_j^{(1)}$.

В реляторной структуре производится операция редактирования кодового вектора Z'

$$Z_i = Z \oplus (Z_{tj} \& X_R), \text{ где } X_R = 1$$

путем исключения ненулевой j -й координаты вектора $Z' = (Z_1, Z_2, \dots, Z_j = 0, \dots, Z_n)$ с последующим формированием следующей.

Далее алгоритм формирования и преобразования элементов ряда (2) $x_j^{(1)} \geq x_i^{(2)} \geq \dots \geq x_k^{(r)} \geq \dots \geq x_p^{(n)}$, $x_i^{(2)}, \dots, x_k^{(r)}, \dots, x_p^{(n)}$ аналогичен.

Пример реляторной структуры САК БРЭК с одноуровневым (двухуровневым эквивалентом) допусковым контролем представлен на рис. 1.

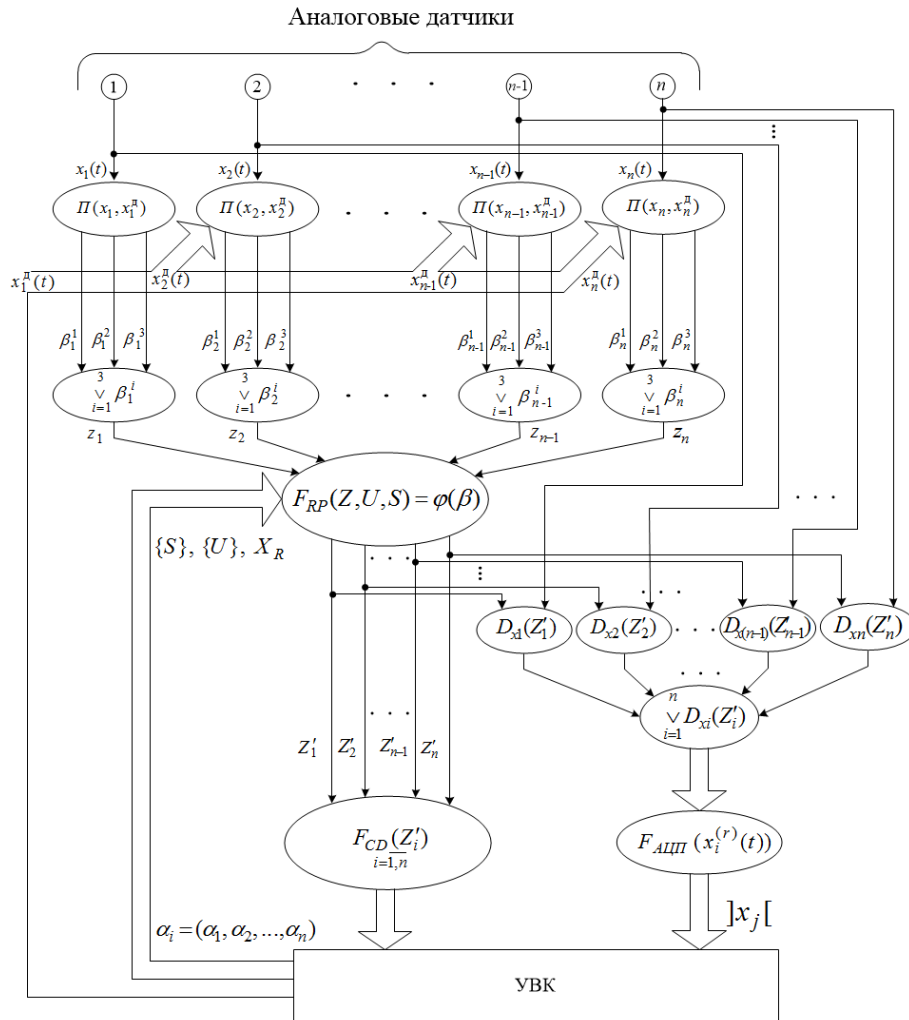


Рис. 1. Реляторная структура САК БРЭК с одноуровневым (двухуровневым) допусковым контролем

Выводы. Таким образом, в отличие от централизованной структуры [5] в предложенной САК БРЭА сравнение параметров с допусковыми уровнями происходит децентрализованно в аналоговой форме вне процессора посредством пороговых операторов $P(x, x^B, x^H)$. Реляторная процессорная система формирует упорядоченное прерывание и ввод в УВК-информации только от датчиков, сигналы которых превысили установленные уровни.

Применение в САК БРЭА таких алгоритмов, обеспечивающих децентрализованную и безызбыточную обработку информации, позволит уменьшить потоки информации через процессор УВК, сократить дополнительные погрешности от квантования, разгрузить процессор УВК от выполнения операций по обслуживанию информационных потоков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марчук Г.И. Адаптивные АСУ производством. – М.: Статистика, 1981. – 125 с.
2. Авосев Б.Я., Антонюк Е.М. и др. Адаптивные телеизмерительные системы. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 248 с.
3. Гильборо Е.П., Челпанов И.Б. Обработка сигналов на уровне упорядоченного выбора. – М.: Сов. радио, 1975. – 344 с.
4. Левин В.И. Структурно-логические методы исследования сложных систем с применением ЭВМ. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
5. Самойленко А.П., Усенко О.А. Способ централизованного контроля п объектов. Патент РФ № 2198418, 7G 05 B2 3/02. Бюл. № 4, 2003.
6. Самойленко А.П., Rogozov Ю.И., Усенко О.А. Разборка адаптивной системы статистической диагностики по фактическому состоянию неравновесных объектов управления // Приборы и системы управления. Управление, контроль, диагностика. – 2003. – № 4. – С. 55-64.
7. Самойленко А.П., Rogozov Ю.И., Усенко О.А. Программный анализатор стохастических моделей для систем контроля и диагностики состояния технологических объектов // Свидетельство Госпатента РФ об официал. регистр. программы для ЭВМ № 200 26 10727 от 17.05.02 г.
8. Самойленко А.П., Rogozov Ю.И., Усенко О.А. Стратегия контроля неравновесных объектов: монография. – 110 с. Деп. ВИНТИ №793-В-2004.
9. Самойленко А.П. Надежность автоматизированных систем сбора, обработки информации и управления. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 122 с.
10. Согомонян Е.С., Пархоменко П.П. Основы технической диагностики. – М.: Энергоиздат, 1981. – 319 с.
11. Согомонян Е.С., Слабаков Е.В. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. – М.: Радио и связь, 1989. – 207 с.
12. Канур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. – 604 с.
13. Czajkowski D.R., Strobel D.S., Li E. Radiation hardened high performance image processing system for new responsive space missions // Proceeding of the AIAA SPACE 2009 Conference & Exposition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, USA, 2009.
14. Longden L. The Designing a Single Board Computers for Space Using the Most Advanced Processor and Mitigation Technologies // Proceedings of the European Space Components Conference/ European Space Agency. – Toulouse, France, 2002. – P. 313-316.
15. Czajkowski D.R., Strobel D.S. Li E. Radiation Hardened , High Performance Image Processing System for New Responsive Space Missions // Proceedings of the AIAA SPACE 2009 Conference & Explosion. American Institute of Aeronautics and Astronautics. – USA, 2009. – P. 153-160.
16. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. – М.: Мир, 1984. – 380 с.
17. Hahn M., Elsner G. Advanced Integrated Control and Data Systems for Constellation Satellites // MAPLD International Conference. NASA Office of Logic Design, Washington. – USA, 2002. – P. 217-225.

18. *Borgelt C.* Prototype-based Classification and Clustering Habilitation Thesis. – Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2009. – 350 p.
19. *Russel Stuart J., Norvig Peter* Artificial Intelligence: A Modern Approach (3rd Ed.). – New Jersey: Publishing House «Prentice Hall», 2010. – 1152 p.
20. *Shelton C., Koopman P., Nace W.* A Framework for Scalable Analysis and Design of System-Wide Graceful Degradation in Distributed Embedded Systems // Eighth IEEE International Workshop on Object-Oriented Real-Time Dependable Systems (WORDS 2003): Guadelajare (Mexico), Jan. 2003. – Guadelajare, 2003. – P. 8.
21. *Brockwell P.J., Davis R.A.* Introduction to Time Series and Forecasting Springer Text in Statistics. – N.Y.: Springer-Verlag, 2002. – 350 p.
22. *Friendman J.H.* Stochastic Gradient Boosting // Comput. Statist. Data Anal. – 2002. – Vol. 38. – P. 367-378.
23. *Русанов В.Н., Сильянов Н.В., Киселёв А.Ю., Пряничников С.В.* Самодиагностируемая резервированная бортовая вычислительная система // Авиакосмическое приборостроение. – 2014. – № 2.
24. *Кисель Н.Н., Грищенко С.Г., Дерачиц Д.С.* Исследование низкопрофильных конформных микрополосковых антенн // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 3 (164). – С. 240-248.
25. *Кисель Н.Н., Грищенко С.Г., Кардос Д.А.* Оптимизация параметров комбинированной микрополосковой антенны // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 25-31.
26. *Грищенко С.Г., Кисель Н.Н., Ваганова А.А.* Численный анализ многослойной модели земной поверхности // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 11 (148). – С. 105-116.
27. *Grishchenko S.G., Kisel N.N.* Research of the Underlying Surface Model // 25th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2015). 6-12 September. Sevastopol, Crimea. – 2015. – Vol. 1. – P. 1126-1127.
28. *Гузик В.Ф., Самойленко А.П., Панычев С.А.* Комплексный критерий оценки качества функционирования телекоммуникационной сети // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 11 (160). – С. 171-180.
29. *Самойленко А.П., Панычев А.И., Панычев С.А.* Метод оценки надежности комплекса радиоэлектронного оборудования летательного аппарата // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 3 (164). – С. 102-110.
30. *Гузик В.Ф., Самойленко А.П., Панычев А.И., Панычев С.А.* Оценка надежности радиоэлектронного оборудования навигационного комплекса // Сборник научных статей. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – С. 16-23.
31. *Самойленко А.П., Котеленко С.А.* Алгоритмы синтеза релейторных структур для рангово-порядковой обработки информации // Синтез алгоритмов сложных систем. – 1992. – Вып. 8. – С. 122-127.
32. *Каган Б.М., Воителев А.И., Лукьянов Л.М.* Системы связи УВМ с объектами управления в АСУ ТП. – М.: Сов. радио, 1978. – 304 с.
33. *Шимбирев П.Н.* Реализация непрерывно-логических функций операторами гибридной логики // АиТ. – 1989. – № 5. – С. 126-133.

REFERENCES

1. *Marchuk G.I.* Adaptivnye ASU proizvodstvom [Adaptive ACS production]. Moscow: Statistika, 1981, 125 p.
2. *Avosev B.Ya., Antonyuk E.M. i dr.* Adaptivnye teleizmeritel'nye sistemy [Adaptive telemetric Central system]. Leningrad: Energoizdat, 1981, 248 p.
3. *Gil'boro E.P., Chelpanov I.B.* Obrabotka signalov na urovne uporyadochennogo vybora [Signal processing at the level of the ordered choice]. Moscow: Sov. radio, 1975, 344 p.
4. *Levin V.I.* Strukturno-logicheskie metody issledovaniya slozhnykh sistem s primeneniem EVM [Structural-logical methods of research of complex systems using computer]. Moscow: Nauka, 1987, 304 p.
5. *Samoylenko A.P., Usenko O.A.* Sposob tsentralizovannogo kontrolya n ob'ektov [Method of centralized control n features]. Patent RF № 2198418, 7G 05 V2 3/02. Byul. No. 4, 2003.

6. *Samoylenko A.P., Rogozov Yu.I., Usenko O.A.* Razborka adaptivnoy sistemy statisticheskoy diagnostiki po fakticheskomu sostoyaniyu neravnovesnykh ob"ektov upravleniya [Disassembly of the adaptive system by statistical diagnosis of the actual condition of non-equilibrium control objects], *Pribory i sistemy upravleniya. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Devices and control systems. Management, control, diagnostics], 2003, No. 4, pp. 55-64.
7. *Samoylenko A.P., Rogozov Yu.I., Usenko O.A.* Programmnyy analizator stokhasticheskikh modeley dlya sistem kontrolya i diagnostiki sostoyaniya tekhnologicheskikh ob"ektov [Software analyzer of stochastic models for systems of monitoring and diagnostics of technological objects], *Svidetel'stvo Gospatenta RF ob ofitsial. registr. programmy dlya EVM № 200 26 10727 ot 17.05.02 g* [A certificate from the patent office of the Russian Federation about the imprint. register. of the computer program No. 26 200 10727 from 17.05.02].
8. *Samoylenko A.P., Rogozov Yu.I., Usenko O.A.* Strategiya kontrolya neravnovesnykh ob"ektov: Monografiya [Control strategy non-equilibrium objects: Monograph], 110 p. Dep. VINITI №793-V-2004.
9. *Samoylenko A.P.* Nadezhnost' avtomatizirovannykh sistem sbora, obrabotki informatsii i upravleniya [The reliability of automated data collection, information processing and management]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2000, 122 p.
10. *Sogomonyan E.S., Parkhomenko P.P.* Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki [Basics of technical diagnostics.]. Moscow: Energoizdat, 1981, 319 p.
11. *Sogomonyan E.S., Slabakov E.V.* Samoproveryaemye ustroystva i otkazoustoychivye system [Samoupravlennie devices and fault-tolerant systems]. Moscow: Radio i svyaz', 1989, 207 p.
12. *Kapur K., Lamberson L.* Nadezhnost' i proektirovanie system [Reliability and system design]. Moscow: Mir, 1980, 604 p.
13. *Czajkowski D.R., Strobel D.S., Li E.* Radiation hardened high performance image processing system for new responsive space missions, *Proceeding of the AIAA SPACE 2009 Conference & Exposition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, USA, 2009.*
14. *Longden L.* The Designing a Single Board Computers for Space Using the Most Advanced Processor and Mitigation Technologies, *Proceedings of the European Space Components Conference/ European Space Agency.* Toulouse, France, 2002, pp. 313-316.
15. *Czajkowski D.R., Strobel D.S. Li E.* Radiation Hardened , High Performance Image Processing System for New Responsive Space Missions, *Proceedings of the AIAA SPACE 2009 Conference & Exposition. American Institute of Aeronautics and Astronautics. USA, 2009,* pp. 153-160.
16. *Dillon B., Singkh Ch.* Inzhenernye metody obespecheniya nadezhnosti system [Engineering methods for ensuring system reliability]. Moscow: Mir, 1984, 380 p.
17. *Hahn M., Elsner G.* Advanced Integrated Control and Data Systems for Constellation Satellites, *MAPLD International Conference. NASA Office of Logic Design, Washington. USA, 2002,* pp. 217-225.
18. *Borgelt C.* Prototype-based Classification and Clustering Habilitation Thesis. Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2009, 350 p.
19. *Russel Stuart J., Norvig Peter* Artificial Intelligence: A Modern Approach (3rd Ed.). New Jersey: Publishing House «Prentice Hall», 2010, 1152 p.
20. *Shelton C., Koopman P., Nace W.* A Framework for Scalable Analysis and Design of System-Wide Graceful Degradation in Distributed Embedded Systems, *Eighth IEEE International Workshop on Object-Oriented Real-Time Dependable Systems (WORDS 2003): Guadelajare (Mexico), Jan. 2003.* Guadelajare, 2003, p. 8.
21. *Brockwell P.J., Davis R.A.* Introduction to Time Series and Forecasting Springer Text in Statistics. N.Y.: Springer-Verlag, 2002, 350 p.
22. *Friendman J.H.* Stochastic Gradient Boosting, *Comput. Statist. Data Anal.*, 2002, Vol. 38, pp. 367-378.
23. *Rusanov V.N., Sil'yanov N.V., Kiselev A.Yu., Pryanichnikov S.V.* Samodiagnostiruemaya rezervirovannaya bortovaya vychislitel'naya sistema [Canadiannationa redundant on-Board computer system], *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrumentation], 2014, No. 2.
24. *Kisel' N.N., Grishchenko S.G., Derachits D.S.* Issledovanie nizkopofil'nykh konformnykh mikropoloskovykh antenn [Study conformal low-profile patch antenna], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 3 (164), pp. 240-248.

25. Kisel' N.N., Grishchenko S.G., Kardos D.A. Optimizatsiya parametrov kombinirovannoy mikropoloskovoy anteny [Optimisation dual-resonant patch antenna], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 11 (136), pp. 25-31.
26. Grishchenko S.G., Kisel' N.N., Vaganova A.A. Chislennyy analiz mnogosloynnoy modeli zemnoy poverkhnosti [Numerical analysis of earth surface multilayer model], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 11 (148), pp. 105-116.
27. Grishchenko S.G., Kisel' N.N. Research of the Underlying Surface Model, *25th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo '2015). 6-12 September. Sevastopol, Crimea, 2015, Vol. 1, pp. 1126-1127.*
28. Guzik V.F., Samoilenko A.P., Panychev S.A. Kompleksnyy kriteriy otsenki kachestva funktsionirovaniya telekommunikatsionnoy seti [Comprehensive assessment of the quality the functioning of the telecommunications network], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 11 (160), pp. 171-180.
29. Samoilenko A.P., Panychev A.I., Panychev S.A. Metod otsenki nadezhnosti kompleksa radioelektronnogo oborudovaniya letatel'nogo apparata [Method for assessing the reliability of complex electronic equipment aircraft], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 3 (164), pp. 102-110.
30. Guzik V.F., Samoilenko A.P., Panychev A.I., Panychev S.A. Otsenka nadezhnosti radioelektronnogo oborudovaniya navigatsionnogo kompleksa [Evaluation of reliability of radio-electronic equipment navigation system], *Sbornik nauchnykh statey* [Collection of scientific articles]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2015, pp. 16-23.
31. Samoilenko A.P., Kotelenko S.A. Algoritmy sinteza relyatornykh struktur dlya rangovoporyadkovoy obrabotki informatsii [The relator-based algorithms to design structures for rank-order processing of information], *Sintez algoritmov slozhnykh system* [the Synthesis of algorithms of complex systems], 1992, Issue 8, pp. 122-127.
32. Kagan B.M., Voitelev A.I., Luk'yanov L.M. Sistemy svyazi UVM s ob'ektami upravleniya v ASU TP [UVM communications systems with control objects in the process control system]. Moscow: Sov. radio, 1978, 304 p.
33. Shimbirev P.N. Realizatsiya nepreryvno-logicheskikh funktsiy operatorami gibridnoy logiki [Implementation of continuous logic functions by operators of hybrid logic], *AiT* [Avtomatika i Telemekhanika], 1989, No. 5, pp. 126-133.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

Самойленко Анатолий Петрович – Южный федеральный университет; e-mail: rts@tgn.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371637; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; доцент.

Панычев Андрей Иванович – e-mail: ruu2011@mail.ru; тел.: +78634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; к.т.н.; доцент.

Панычев Сергей Андреевич – e-mail: sergpanchv@yandex.ru; тел.: +79043462137; кафедра вычислительной техники; аспирант.

Samoilenko Anatoly Petrovich – Southern Federal University, e-mail: rts@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371637; the department of radio engineering and telecommunication systems; associate professor.

Panychev Andrey Ivanovich – e-mail: ruu2011@mail.ru; phone: +78634371733; the department of antennas and radio transmitters, candidate of technical sciences; associate professor.

Panychev Sergey Andreevich – e-mail: sergpanchv@yandex.ru; phone: +79043462137; department of computing; postgraduate student.