

УДК 681.335

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА ЛОГИЧЕСКОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Н.Н. Хрисанов

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Аннотация. Рассматривается принцип логического развертывания в измерительных системах, который предполагает реализацию некоторой стратегии поиска в процессе функционирования измерительной системы, обеспечивающей заданные параметры ее функционирования. Приведена операционная схема логического развертывания для случая произвольного числа развертывающих функций. Предложена математическая модель функционирования системы, приведен пример применения принципа логического развертывания для многоканального аналого-цифрового преобразователя.

Ключевые слова: измерительные системы, функция развертывания, аналого-цифровое преобразование, теория оптимального поиска.

В измерительных системах, как правило, используется принцип развертывающего преобразования компенсационного типа, который предусматривает сопоставление измеряемой величины $x(t)$ с развертывающей функцией $s(t)$.

Как указано в [1], элементарные развертывающие функции должны удовлетворять следующим требованиям: функция $s(t)$ должна быть циклической, монотонной на участках возрастания и убывания, непрерывной или кусочно-непрерывной, в каждом цикле должно быть не более одного максимума и одного минимума, а также промежуточных точек с производными, равными нулю; функция $s(t)$ должна быть определенной на всем протяжении или, по крайней мере, в ее рабочей области; функция $s(t)$ должна быть ограниченной сверху и снизу и принимать все возможные абсолютные значения параметра x от $x_{\max}$ до $x_{\min}$. Развертывающие функции, созданные с помощью ступенчатых функций, должны содержать конечное множество возможных значений.

Выполнение этих требований приводит к следующим недостаткам измерительных систем: необходимо последовательное формирование всех возможных значений развертывающей функции, что является основным фактором, снижающим быстродействие этих систем; не предусмотрена возможность одновременного применения нескольких развертывающих функций для преобразования одного или нескольких параметров; развертывающая функция должна быть монотонной на участках возрастания и убывания, не должна иметь в каждом цикле более одного максимума и одного минимума, что снижает функциональные возможности развертывающих систем; не учитываются вероятностные характеристики преобразуемого параметра с целью определения оптимальной формы развертывающей функции.

Хрисанов Николай Николаевич (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Вычислительная техника».

Указанные недостатки устраняются применением принципа логического развертывания, предусматривающего применение теории оптимального поиска для определения оптимальной формы и количества развертывающих функций.

Принцип логического развертывания предполагает реализацию некоторой стратегии поиска в процессе функционирования измерительной системы, обеспечивающей заданные параметры функционирования системы. Цель поиска определяется основным назначением измерительной системы. Например, при многоканальном аналого-цифровом преобразовании каждому входному сигналу необходимо найти соответствующее значение цифрового кода, при измерении необходимо за минимальное число шагов подобрать измеряемому параметру соответствующую меру, в системах автоматического контроля необходимо за минимальное время определить все параметры, вышедшие из зоны допуска, и т.д. Результатом решения задачи оптимального поиска при этом является определение оптимальной формы и количества развертывающих функций исходя из заданных вероятностных характеристик входных сигналов.

Пример логического развертывания измеряемой величины $x(t)$ в цифровой код $I_{1,2}(k)$ с применением двух развертывающих функций $s_1(k)$ и $s_2(k)$ приведен на рис. 1а.

В качестве окончательного результата в этой схеме развертывания используется значение $I_1(n)$, где n – количество тактов в одном преобразовании. Развертывающая система для этого случая приведена на рис. 1б, из которого следует, что применение нескольких развертывающих функций позволяет уменьшить число тактов преобразования.

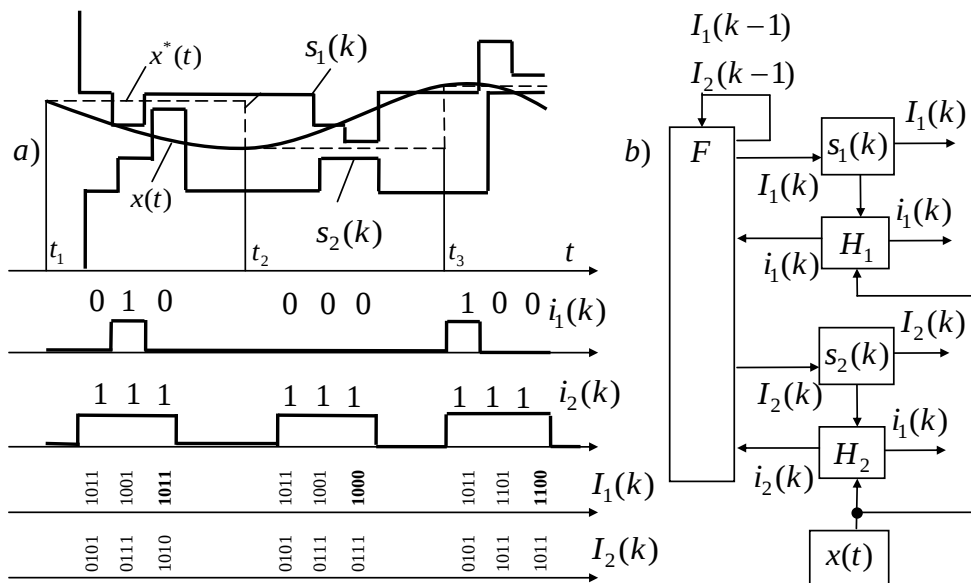


Рис. 1. Схема логического развертывания

Для случая произвольного числа развертывающих функций операционная схема имеет следующий вид:

$$\begin{array}{ccccc}
s_{1,\dots,n}(k) & \leftarrow & F[I_{1,\dots,n}(k-1), i_{1,\dots,n}(k)] & \rightarrow & I_1(k) \\
\downarrow & & & & \uparrow \\
x(t) & \rightarrow & H_{1,\dots,n} & \rightarrow & i_{1,\dots,n}(k)
\end{array}$$

Применение логического развертывания позволяет повысить быстродействие и расширить функциональные возможности информационно-измерительных систем [2], систем автоматического контроля [3], аналого-цифровых преобразователей [4].

Сформулируем задачу оптимизации работы измерительной системы с логическим развертыванием. Пусть задано множество $\Omega = \{1, \dots, N\}$ из N элементов. В процессе функционирования измерительной системы необходимо найти некоторое подмножество элементов, удовлетворяющих заданному условию. Множество возможных результатов поиска является областью поиска X . В измерительной системе с логическим развертыванием множество Ω – это возможные значения измеряемого параметра, перечень двоичных кодов, которые могут быть поставлены в соответствие преобразуемым в цифровой код аналоговым сигналам, контролируемые параметры в многоканальной системе контроля и т. п. Областью поиска X для АЦП является множество двоичных кодов, которые могут соответствовать входному аналоговому сигналу, для автоматической системы контроля это множество параметров, вышедших из допуска, и т. д.

Предполагается, что имеется возможность совместного анализа элементов из любого множества $A \subseteq \{1, \dots, N\}$. При этом возможны два результата в зависимости от того, есть во множестве A искомые элементы, обладающие необходимым свойством, или нет. Поиск производится с помощью свободных от ошибок тестов t , где t – некоторое отображение множества X в подходящее множество R . В случае, если обследуется элемент $i \in X$, тест t дает результат $t(i)$. Наоборот, если результатом теста t служит $r \in R$, то искомый объект должен находиться во множестве $t^{-1}(r)$. Совместное исследование элементов из $A \subseteq \{1, \dots, N\}$ соответствует тесту $t_A: P\{1, \dots, N\} \rightarrow \{0, 1\}$, для которого $t_A(B) = 1 \Leftrightarrow A \cap B \neq \emptyset$. Это означает, что множество A содержит искомые элементы тогда и только тогда, когда множество искомым элементов B имеет непустое пересечение со множеством A . Заметим, что при $|A| > 1$ и положительном исходе теста можно утверждать лишь о том, что множество A содержит элементы, обладающие искомым свойством, однако нельзя определить номера этих элементов.

Пусть множество Ω есть $\Omega = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_N\}$, где $r_i, i = \overline{1, N}$ – элементы множества Ω . Процесс поиска производится с помощью тестов, составляющих множество $T = \{t_i\}, i = \overline{1, m}$. Каждый тест определяется своим двоичным кодом:

$$t_i = \{\alpha_{ij}\}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n},$$

где n – мощность множества Ω ;

m – количество возможных тестов.

Пусть при применении теста t_i производится совместное обследование элементов множества Ω_i . Тогда $\alpha_{ij} = 1$, если при применении теста t_i j -тый эле-

мент множества Ω принадлежит множеству Ω_i , и $\alpha_{ij} = 0$ в противном случае, т. е.

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j \in \Omega_i, \\ 0, & \text{если } j \notin \Omega_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \end{cases}$$

Совокупность подмножеств Ω_i составляет семейство S . Множеству тестов $T = \{t_i\}$, $i = \overline{1, m}$ поставим в соответствие матрицу $\tau = \{\tau_{i,j}\}$, $i, j = \overline{1, m}$ затрат на их проведение, где $\tau_{i,j}$ – затраты на проведение теста t_i при условии, что перед ним был проведен тест t_j . Множеству всех измеряемых параметров Ω поставим в соответствие вектор-строку априорных вероятностей $Q = \{q_i\}$, $i = \overline{1, n}$, где q_i – априорная вероятность того, что i -тый элемент обладает искомым свойством.

Целью функционирования системы является определение состояния всех элементов множества Ω или определение подмножества элементов, обладающих определенным свойством. Поиск производится последовательным применением тестов матрицы T , причем выбор теста для применения на каждом следующем шаге зависит от исходов предшествующих тестов. Задача состоит в выборе некоторой совокупности тестов, достаточной для решения поставленной задачи поиска, и в определении условного порядка применения тестов этой совокупности так, чтобы обеспечить минимальное значение некоторого критерия.

Стратегию поиска удобно определить следующим образом:

$$\sigma(\Omega) = [t_i^0, \dots, t_v^0],$$

т. е. как условный порядок применения (в порядке их написания) тестов $t_i^0, \dots, t_v^0$, где каждый следующий тест применяется только при положительном исходе предыдущего. Верхний индекс в обозначении теста означает номер стратегии, в которую входит данный тест. При отрицательном исходе любого теста (например, t_i^0) процесс переходит на частичную стратегию $(\sigma(\Omega_i^0))$ определения состояния элементов в подмножестве (Ω_i^0) . Принцип записи частичных стратегий аналогичен.

Если определена некоторая стратегия $\sigma(\Omega)$, то определены и все частичные стратегии $\sigma(\Omega_i^j)$. Фактически частичные стратегии входят в состав $\sigma(\Omega)$, но не записываются из-за громоздкости такой записи. Таким образом, стратегия $\sigma(\Omega)$ определяет аналитическую форму записи программы поиска. Графически программу поиска можно представить дихотомическим деревом, вершины которого обозначают применяемые тесты, горизонтальные дуги – положительные исходы тестов, вертикальные – отрицательные исходы тестов.

Для математической постановки задачи оптимального поиска кроме задания исходного множества Ω , таблицы тестов необходимо определить модель самого процесса поиска, т. е. сформулировать предположение об области поиска, определить процедуру поиска, цели, правила прекращения поиска, критерий оптимальности и т. д. Например, для многоканального АЦП областью поиска является набор двоичных кодов, соответствующих входным аналоговым сигналам. Поиск прекращается после определения двоичных кодов для всех входных сигнала-

лов. В качестве критерия оптимальности может быть выбран минимум среднего времени преобразования многоканального АЦП.

Время преобразования для рассматриваемого АЦП является случайной величиной. Можно показать, что среднее время преобразования и для АЦП с одним ЦАП равно

$$C[\sigma(\Omega_i)] = \frac{1}{\tilde{Q}_i} \left\{ \tau_{j_i i} + \sum_{p=2}^{k-1} \left[\tau_{j_p j_{p-1}} \sum_{u=p}^k \tilde{Q}_u^i \right] + \sum_{p=1}^k C[\sigma(\Omega_{j_p}^i)] \tilde{Q}_{j_p}^i \right\},$$

где $\tilde{Q}_i$ – вероятность i -го выходного кода;

τ_{ij} – время установления напряжения на выходе ЦАП при подаче на его вход j -го кода, если перед ним был i -й код.

Для АЦП с v ЦАП среднее время преобразования равно

$$C[\sigma(\Omega_i^r)] = \frac{1}{\tilde{Q}_i} \left\{ \sum_{l=1, v+1, 2v+1, \dots}^{k-1} \left[\tau_{l, l+v-1}^{\max} \sum_{u=l}^k \tilde{Q}_u^i \right] + \sum_{l=1}^k \tilde{Q}_l^i C[\sigma(\Omega_l^i)] \right\},$$

где $\tau_{l, l+v-1}^{\max} = \max(\tau_{l, l}, \tau_{l+1, l}, \dots, \tau_{l+v-1, l+v})$.

В ряде случаев, если неизвестны вероятности выходных кодов Q , целесообразно использовать минимаксный критерий:

$$R[\sigma(\Omega_i)] = \min \left\{ \max_{1 \leq j \leq k-1} \left[\tau_{i1} + \sum_{l=2}^j \tau_{l-1, l} + R[\sigma(\Omega_j)] \right], \right. \\ \left. \left[\tau_{i1} + \sum_{l=2}^{k-1} \tau_{l-1, l} + R[\sigma(\Omega_k)] \right] \right\}.$$

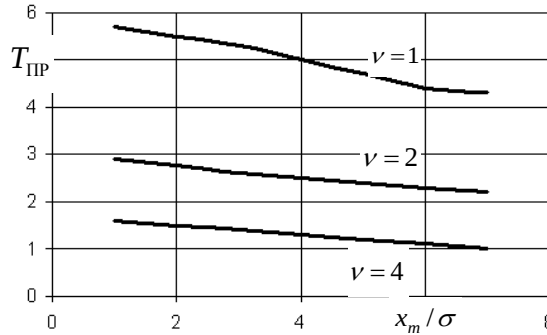


Рис. 2. Зависимость среднего времени преобразования от с.к.о. входного сигнала

Предположим, что входной сигнал x изменяется в пределах $[0, x_m]$, закон распределения входного сигнала – нормальный, математическое ожидание равно $m_x = x_m / 2$, среднеквадратичное отклонение σ . Зависимость среднего времени преобразования для 8-разрядного АЦП от отношения x_m / σ для различных значений v – количества ЦАП приведена на рис. 2. Величина среднего времени преобразования на графике нормирована к величине максимального значения одного такта преобразования, в качестве которого принято время, необходимое

для установления напряжения на выходе ЦАП при изменении от нуля до уровня, соответствующего середине диапазона.

Из рис. 2 следует, что применение нескольких развертывающих функций (т. е. большего количества ЦАП), учет вероятностных характеристик входного сигнала и динамических параметров ЦАП позволяют значительно повысить быстродействие АЦП последовательного приближения. Отметим, что для обычного 8-разрядного АЦП $T_{\text{пп}} = 8$.

Применение принципа логического развертывания в системах контроля параметров позволяет уменьшить время обнаружения аварийного состояния объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернов В.Г. Устройства ввода-вывода аналоговой информации для цифровых систем сбора и обработки данных. – М.: Машиностроение, 1988. – 184 с.
2. А.с. 1322352, МКИ G08 С 19/28. Информационно-измерительная система / Н.Н. Хрисанов. Опубл. 15.06.1986. Бюл. № 22.
3. А.с. 1238040, МКИ G05 В 23/02. Устройство для централизованного контроля параметров / Н.Н. Хрисанов. Опубл. 15.06.1986. Бюл. № 22.
4. Пат. 2183381 России МКИЗ H03М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / Н.Н. Хрисанов (Россия); № 2001108023/09; заявлено 26.03.2001; Опубл. 10.06.2002. Бюл. № 16.

Статья поступила в редакцию 14 января 2018 г.

REALIZATION OF THE PRINCIPLE OF LOGICAL DEPLOYMENT IN MEASUREMENT SYSTEMS

N.N. Hrisanov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Abstract. The paper considers the principle of logical deployment in measuring systems, which involves the implementation of a search strategy in the process of the functioning of a measuring system that provides specified parameters of its functioning. The operational scheme of logical deploying is given for the case of an arbitrary number of deploying functions. A mathematical model of the system functioning is offered, an example of application of the principle of logical deployment for a multichannel analog-to-digital converter is given.

Keywords: measuring systems, deployment function, analog-to-digital conversion, optimal search theory.