

УДК 007.3

Назаренко Н. А., Падерно П. И.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Оценка логической сложности и стереотипности циклических структур в алгоритмах деятельности оператора

Проведен анализ оценки алгоритмов деятельности операторов в процессе проектирования человеко-машинных систем. Представлен новый подход к оценке коэффициентов стереотипности и логической сложности алгоритмов деятельности, имеющих в своей структуре циклы (повтор ряда операций). Показаны основные типовые функциональные структуры и соответствующие расчетные формулы для вычисления длин (размеров) и коэффициентов стереотипности и логической сложности отдельных фрагментов с циклической структурой. Предлагаемый подход, являясь инструментом разработчика человеко-машинной системы, в значительной степени упрощает его расчетную деятельность, позволяет производить оценку основных характеристик алгоритмов деятельности оператора поэтапно. Кроме того, предлагаемое, в рамках подхода представление зависимостей облегчает понимание получаемых промежуточных и окончательных оценок. Подход положен в основу проектируемого информационного модуля поддержки деятельности разработчика при решении задач, связанных с оценкой алгоритмов деятельности операторов разрабатываемых сложных человеко-машинных систем и комплексов различного назначения.

Алгоритм деятельности, логическая сложность, стереотипность, циклические структуры, оператор, качество алгоритмов деятельности, человеко-машинные системы

Сложившаяся практика проектирования различных человеко-машинных информационных систем и комплексов, а также требования нормативных документов [1], [2] предполагают на ранних этапах проектирования проведение оценки показателей стереотипности и логической сложности алгоритмов деятельности (АД) операторов. Оценка должна выполняться разработчиком, возможно с привлечением контрагентов. При этом сам разработчик может не обладать необходимыми знаниями и умениями для проведения такой оценки, а в ряде случаев окажется неспособен достаточно адекватно описать (в некотором формальном представлении) алгоритмы выполнения оператором комплекса поставленных задач. Предложенные в [3] и используемые в [1], [2] соотношения относятся только к последовательно выполняемым операциям и к тому же нечетко описывают используемую методику оценки нормированных коэффициентов стереотипности и логической сложности. При анализе реальных АД, выполняемых операторами, в [4], [5] показано, что в АД зачастую имеются операции контроля, проверки правильности выполнения от-

дельных фрагментов и др., т. е. реальные АД имеют вложенные циклы. Таким образом, возникает необходимость получения и предоставления разработчикам необходимых аналитических выражений для оценки нормированных показателей логической сложности и стереотипности АД, включающих различные циклы.

Оценка алгоритмов деятельности. Современное состояние. Основной особенностью оценки показателей логической сложности и стереотипности АД на этапе проектирования является необходимость проведения таких оценок на основании описания АД, которое составляется на основе руководств (инструкций) для оператора и зачастую не отражает реальной специфики его деятельности. Проблема недостаточно адекватного описания АД возникает, кроме того, и при использовании новых технических средств и информационных технологий, для которых ранее не исследовались особенности и стереотипы деятельности оператора. Кроме того, результаты оценки нормированных показателей очень сильно зависят от уровня квалификации специалиста, выполняющего данную оценку.

Соотношения, предложенные в [3] для оценки нормированных коэффициентов стереотипности и логической сложности были включены в нормативно-техническую документацию [1], [2] практически без пояснений, и с тех пор не развивались и не анализировались, хотя и нашли весьма успешное применение как для обучения студентов [6], [7], так и при решении конкретных достаточно простых задач исследования и разработки [8], [9].

Необходимо заметить, что из трех основных первоначальных методов, связанных с описанием и оценкой АД на ранних этапах проектирования: операционно-психологического метода Г. М. Заракского [10], структурно-алгоритмического метода Г. В. Суходольского [11] и обобщенного структурного метода А. И. Губинского и В. Г. Евграфова [4], развился только третий. Это развитие реализовалось в следующих направлениях: функционально-структурная теория [5]; использование аппарата теории нечетких множеств [12]; введение векторов различных ошибок [13], [14]; изменение характеристик выполняемых операций в зависимости от времени [15]–[18].

Использование обобщенного структурного метода и его описанных модификаций и продолжений показало, что метод достаточно удобен и не требует специфических знаний при его реализации. Все вышесказанное предопределило целесообразность использования основных подходов обобщенного структурного метода при оценке нормативных коэффициентов стереотипности и логической сложности АД со сложной структурой.

Кроме того в [19], [20] был реализован подход и получены расчетные зависимости значительно упрощающие оценку этих коэффициентов проектировщиком, которые были апробированы в конкретных работах.

Предлагаемый далее подход является комплексированием этого подхода и обобщенного структурного метода.

Структуры алгоритмов деятельности. Изменение структуры алгоритма, появление циклов, выполнение контроля безошибочности работы оператора с необходимым повтором ряда операций, влекут за собой необходимость получения аналитических выражений для различных типовых фрагментов алгоритмов деятельности операторов.

В [4], [5] используются понятия типовых функциональных единиц (ТФЕ) и типовых функциональных структур (ТФС), наиболее часто встречающиеся в алгоритмах деятельности операторов.

При этом ТФЕ также состоят из элементарных действий и логических операций [19], [20]. При необходимости ТФЕ могут, в свою очередь, быть интерпретированы как некоторые структуры.

Получение расчетных зависимостей. Используемые соотношения. По аналогии с [19], [20] будем использовать следующие положения и соотношения:

При объединении нескольких выполняемых последовательно структур $Q = \bigcup_{i=1}^n R_i$ с соответствующими нормированными коэффициентами стереотипности s_i , $i = 1, 2, \dots, n$ и логической сложности l_i , $i = 1, 2, \dots, n$ и числом операций m_i , $i = 1, 2, \dots, n$ для результирующей структуры Q значения нормированных коэффициентов стереотипности и логической сложности могут быть вычислены по следующим формулам

$$S_Q = \frac{\sum_{i=1}^n m_i s_i}{M_Q}, \quad L_Q = \frac{\sum_{i=1}^n m_i l_i}{M_Q},$$

где $M_Q = \sum_{i=1}^n m_i$.

Полученный результат можно описать в виде следующего соотношения

$$\bigcup_{i=1}^n R_i(s_i, l_i, m_i) = Q(L_Q, S_Q, M_Q).$$

Необходимо заметить, что, в терминах обобщенного структурного метода, это есть не то иное как характеристики стереотипности и логической сложности наиболее простой типовой функциональной структуры (ТФС 1) «Последовательно выполняемые рабочие операции» [4], [5].

Замечание. Если каждая из структур $R_i(s_i, l_i, m_i)$ имеет одинаковую стереотипность $s_1 = s_2 = \dots = s_i = \dots = s_n = s$ и логическую сложность $l_1 = l_2 = \dots = l_i = \dots = l_n = l$, то стереотипность и логическая сложность результирующей структуры $R_i(s_i, l_i, m_i)$ принимают достаточно простой вид:

$$S_Q = s, \quad L_Q = l, \quad M_Q = \sum_{i=1}^n m_i.$$

Будем полагать, что возможно также и умножение длины некоторой структуры на число повторов при многократном повторении.

1. Проведем анализ ТФС «Рабочая операция и операция контроля без ограничений на число повторов». Данная ТФС используется в описании АД в тех случаях, когда после выполнения некоторой рабочей операции (решения конкретной задачи) осуществляется контроль правильности ее выполнения, в зависимости от результатов которого операция либо выполняется повторно, либо *считается* выполненной правильно. Составляющие данной ТФС в соответствии с [3]–[5] могут быть агрегированы с целью получения укрупненной (рабочей) операции. Детализированное и укрупненное представление ТФС «Рабочая операция и операция контроля без ограничений на число повторов» приведены на рис. 1.

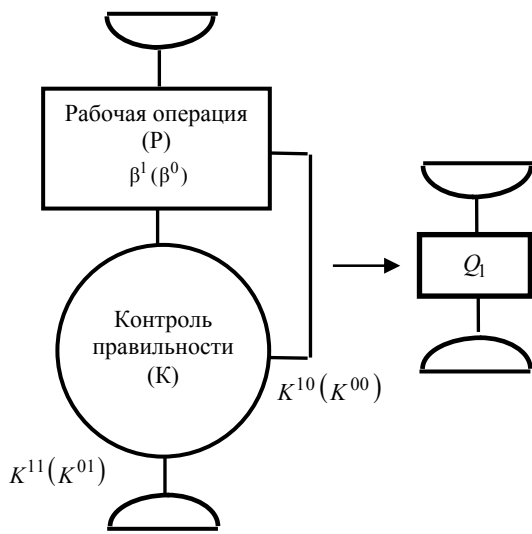


Рис. 1

Используем следующие обозначения вероятностных характеристик рассматриваемой ТФС:

– $\beta^1(\beta^0)$ – вероятность безошибочного (ошибочного) выполнения рабочей операции;

– $K^{11}(K^{10})$ – условная вероятность того, что проверяемая операция при фактически правильном выполнении будет признана правильной (неправильной), причем $K^{11} + K^{10} = 1$.

– $K^{00}(K^{01})$ – условная вероятность того, что проверяемая операция при фактически неправильном выполнении будет признана неправильной (правильной), причем $K^{00} + K^{01} = 1$.

Приведенные вероятности могут зависеть от времени, в частности от количества повторов рабочей и контрольной операций [16]–[18]. Если же данные вероятности постоянны, то для оценки среднего числа повторов (циклов) в [4], [5] получена формула $M = 1/(\beta^1 K^{11} + \beta^0 K^{01})$, которую

удобно использовать в дальнейших расчетах при вычислении среднего числа повторов операций, а также нормированных коэффициентов стереотипности и логической сложности представленной на рис. 1 ТФС.

В [19], [20] показано, что как рабочая операция P, так и контрольная операция K могут быть представлены в виде некоторых структур с соответствующими показателями числа операций, нормированных коэффициентов стереотипности и логической сложности $R_P(s_P, l_P, m_P)$, $R_K(s_K, l_K, m_K)$ и вероятностными характеристиками.

В этом случае, если вероятности не меняются, то используя для оценки среднего числа повторов приведенную выше формулу, можно получить оценки нормированных коэффициентов стереотипности, логической сложности и числа операций для укрупненной структуры Q_1 , приведенной на рис. 1:

$$s_{Q_1} = \frac{s_P m_P + s_K m_K}{m_P + m_K},$$

$$l_{Q_1} = \frac{l_P m_P + l_K m_K}{m_P + m_K},$$

$$m_{Q_1} = \frac{m_P + m_K}{1 - (\beta^1 K^{10} + \beta^0 K^{00})} = \frac{m_P + m_K}{\beta^1 K^{11} + \beta^0 K^{01}}.$$

Замечание. Формулы (1) позволяют оценивать средневзвешенные значения, являющиеся нормированными коэффициентами стереотипности и логической сложности, при этом они справедливы и для нецелых значений числа повторов (m_Q).

2. Проведем анализ ТФС «Рабочая операция с контролем функционирования, доработкой и повторением рабочей операции без ограничений на число повторов». Данная ТФС предполагает, что после выполнения некоторой рабочей операции P_1 реализуется контроль правильности ее выполнения K, в зависимости от результатов которого операция либо *считается* выполненной правильно, либо вносятся необходимые исправления P_2 , после чего операция выполняется повторно. Операция повторяется до тех пор, пока контроль не даст подтверждение, что она выполнена правильно. Число повторов не ограничено.

В соответствии с [4], [5] и др. данная ТФС также может быть представлена в виде укрупненной рабочей операции. Детализированное и укрупненное представление ТФС «Рабочая операция с контролем функционирования, доработкой и повторением рабочей операции без ограничений на число повторов» приведены на рис. 2.

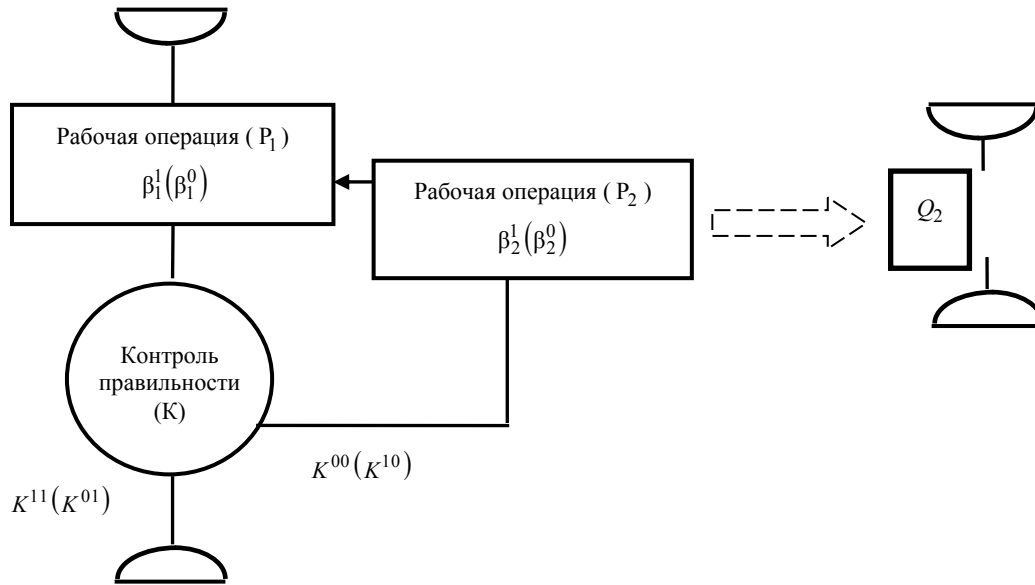


Рис. 2

В самой простой интерпретации можно полагать, что выполнение операции P_1 и контроля K однократно реализуется всегда, а если контроль K признал операцию P_1 выполненной неправильно, то реализуется выполнение операций P_2 , P_1 и K .

Полагая, что для этих операций известны их нормированные коэффициенты стереотипности и логической сложности, а также их длины $R_1(s_1, l_1, m_1)$, $R_K(s_K, l_K, m_K)$, $R_2(s_2, l_2, m_2)$, можно найти значения аналогичных параметров укрупненной структуры Q_2 :

$$m_{Q_2} = m_1 + m_K + (m_1 + m_K + m_2) \times \frac{\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}}{\beta_1^1 \beta_2^1 K^{11} + (1 - \beta_1^1 \beta_2^1) K^{01}},$$

$$s_{Q_2} = [s_1 m_1 + s_K m_K + (s_1 m_1 + s_K m_K + s_2 m_2) \times \frac{\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}}{\beta_1^1 \beta_2^1 K^{11} + (1 - \beta_1^1 \beta_2^1) K^{01}}] / m_{Q_2},$$

$$l_{Q_2} = [l_1 m_1 + l_K m_K + (l_1 m_1 + l_K m_K + l_2 m_2) \times \frac{\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}}{\beta_1^1 \beta_2^1 K^{11} + (1 - \beta_1^1 \beta_2^1) K^{01}}] / m_{Q_2}.$$

Заметим, что, как и в предыдущем случае, значение m_{Q_2} может быть нецелым, что не влияет на правильность результата.

3. Проведем анализ ТФС «Рабочая операция с контролем функционирования, исправлениями и последующими контролями без ограничений на количество циклов». Данная ТФС предполагает, что после выполнения некоторой рабочей опера-

ции P_1 выполняется контроль правильности ее выполнения K , на основании результатов которого операция либо считается выполненной правильно, либо вносятся необходимые исправления P_2 , после чего контроль проводится повторно. Операция P_2 повторяется до тех пор, пока контроль не даст подтверждение, что она выполнена правильно. Число повторов не ограничено.

В соответствии с [4], [5] данная ТФС также может быть представлена в виде укрупненной рабочей операции. Детализированное и укрупненное представление ТФС «Рабочая операция с контролем функционирования, исправлениями и последующим контролем без ограничений на количество циклов» приведены на рис. 3.

Очевидно, что выполнение операции P_1 и контроля K реализуется всегда, если же контроль K признал операцию P_1 выполненной неправильно, то реализуется (возможно, неоднократно) выполнение операций P_2 и K .

Как и ранее, полагая, что для всех операций известны их коэффициенты стереотипности и логической сложности, а также их длины $R_1(s_1, l_1, m_1)$, $R_K(s_K, l_K, m_K)$, $R_2(s_2, l_2, m_2)$, можно найти значения аналогичных параметров укрупненной структуры Q_3 :

$$m_{Q_3} = m_1 + m_K + (m_K + m_2) \frac{\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}}{\beta_2^1 K^{11} + \beta_2^0 K^{01}};$$

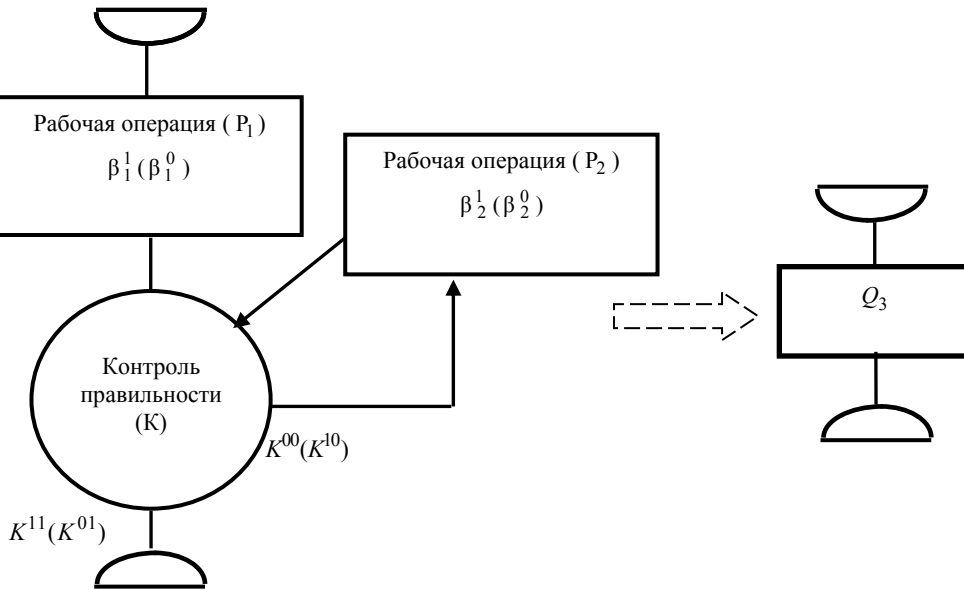


Рис. 3

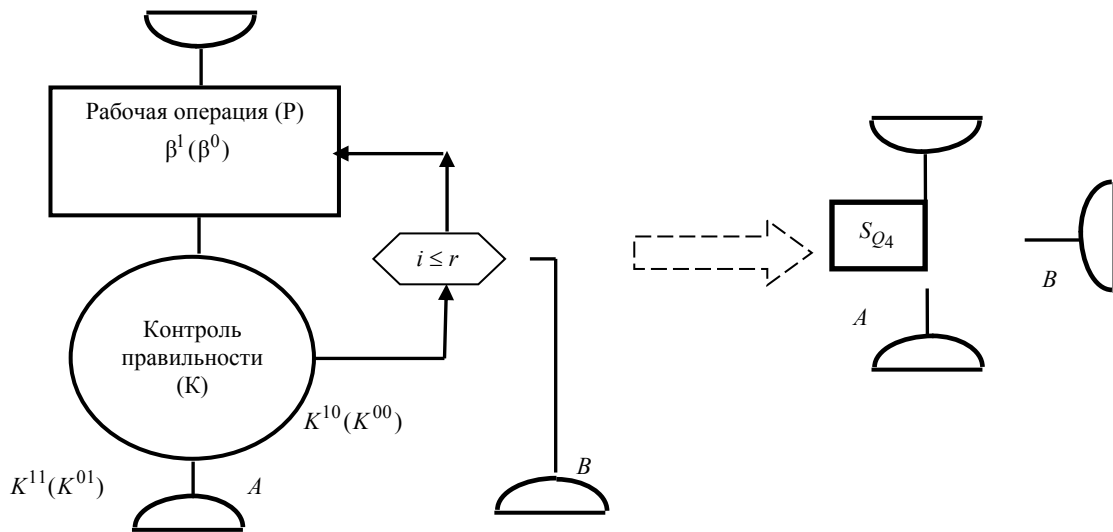


Рис. 4

$$s_{Q_3} = [(s_1 m_1 + s_K m_K) + (s_K m_K + s_2 m_2) \times \frac{\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}}{\beta_2^1 K^{11} + \beta_2^0 K^{01}}] / m_{Q_3};$$

$$l_{Q_3} = [(l_1 m_1 + l_K m_K) + (l_K m_K + l_2 m_2) \times \frac{\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}}{\beta_2^1 K^{11} + \beta_2^0 K^{01}}] / m_{Q_3}.$$

Аналогично случаям 1 и 2 значение m_{Q_3} также может быть нецелым числом.

4. ТФС «Рабочая операция с контролем функционирования с ограничением на количество циклов». Вид детализированной и укрупненной структур приведен на рис. 4.

Вначале выполняется рабочая операция, а затем проводится контроль правильности ее вы-

полнения. Если контроль показывает, что операция выполнена неправильно, то она выполняется повторно. Операция повторяется до тех пор, пока контроль не подтвердит, что она выполнена правильно, или пока число повторов не станет предельно допустимым.

Укрупненная структура в соответствии с [4], [5] – рабочая операция с двумя выходами: A и B . При оценке стереотипности и логической сложности полагаем, что вероятности правильного и ошибочного выполнения операций постоянны.

Необходимо заметить, что выход A на рис. 4 означает, что решение задачи было признано правильным на основе результатов последней контрольной операции, но не означает, что данное решение действительно было правильным. Выход B ни разу не был признанной решенной правильно задачей и, следовательно, оператор обязан пе-

рейти к выполнению запасного (резервного) варианта действий.

Будем полагать, что, как и в случае 1, известны все необходимые для оценок характеристики рабочей P и контрольной K операций, т. е. нормированные коэффициенты стереотипности и логической сложности $R_P(s_P, l_P, m_P)$, $R_K(s_K, l_K, m_K)$ и вероятностные характеристики.

Принимая во внимание тот факт [4], [5], что среднее число циклов в данном случае равно

$$n_{Q_4} = \frac{1-(r+1)(\beta^1 K^{10} + \beta^0 K^{00})^r + r(\beta^1 K^{10} + \beta^0 K^{00})^{r+1}}{1-(\beta^1 K^{10} + \beta^0 K^{00})} = \frac{1-(r+1)(\beta^1 K^{10} + \beta^0 K^{00})^r + r(\beta^1 K^{10} + \beta^0 K^{00})^{r+1}}{\beta^1 K^{11} + \beta^0 K^{01}},$$

выведем выражения для оценки коэффициентов стереотипности и логической сложности, а также длины укрупненной структуры Q_4 :

$$m_{Q_4} = (m_P + m_K)n_{Q_4}, \quad s_{Q_4} = \frac{s_P m_P + s_K m_K}{m_P + m_K},$$

$$l_{Q_4} = \frac{l_P m_P + l_K m_K}{m_P + m_K}.$$

Полученные выражения можно использовать для оценки коэффициентов стереотипности и логической сложности отдельных типовых фрагментов общего алгоритма деятельности.

5. ТФС «Рабочая операция с контролем функционирования, доработкой и повторением рабочей операции с ограничением на количество циклов» [4], [5]. Вид детализированной и укрупненной структур приведен на рис. 5.

Вначале выполняется рабочая операция P_1 , результат которой затем подвергается проверке правильности выполнения K . Если контроль показывает, что операция выполнена неправильно, то вносятся необходимые исправления (производится доработка) P_2 , а затем операция P_1 выполняется повторно. Повторение проводится до тех пор, пока контроль не подтвердит, что операция выполнена правильно, или пока число повторов не превысит заданного предельно допустимого значения.

В соответствии с [4], [5] данная типовая структура в результате укрупнения может быть представлена в виде рабочей операции с двумя исходами. При оценке стереотипности и логической сложности будем полагать, что вероятности правильного и ошибочного выполнения всех элементарных операций постоянны.

Вновь следует отметить, что выход A означает, что решение задачи было признано правильным по результатам последней контрольной операции, но не означает, что это решение действительно является правильным. Выход B означает, что за отведенное число попыток задача не была решена правильно (т. е. решение задачи ни разу не было признано правильным) и, следовательно, оператор обязан перейти к выполнению запасного (резервного) варианта действий.

Полагая, что для обеих рабочих и контрольной операции, входящих в ТФС, известны их нормированные коэффициенты стереотипности и логической сложности, а также их длины $R_1(s_1, l_1, m_1)$, $R_K(s_K, l_K, m_K)$, $R_2(s_2, l_2, m_2)$, можно найти

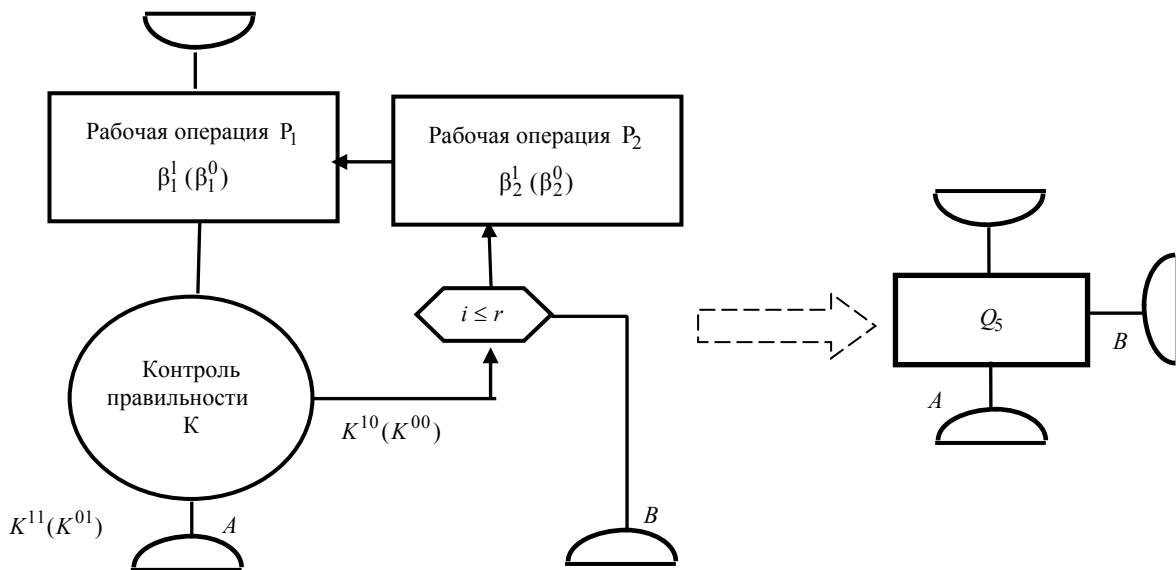


Рис. 5

значения аналогичных параметров укрупненной структуры Q_5 .

В данном случае среднее число циклов, без учета первого прохода, равно

$$n_{Q_5} = \left\{ 1 - r \left[\beta_1^1 \beta_2^1 K^{10} + (1 - \beta_1^1 \beta_2^1) K^{00} \right]^{r-1} + (r-1) \left[\beta_1^1 \beta_2^1 K^{10} + (1 - \beta_1^1 \beta_2^1) K^{00} \right]^r \right\} / \left\{ \beta_1^1 \beta_2^1 K^{11} + (1 - \beta_1^1 \beta_2^1) K^{01} \right\}.$$

Тогда для укрупненной структуры Q_5 получаем

$$m_{Q_5} = m_1 + m_K + (m_1 + m_K + m_2) \times (\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}) n_{Q_5},$$

$$s_{Q_5} = \left[(s_1 m_1 + s_K m_K) + (s_1 m_1 + s_K m_K + s_2 m_2) \times (\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}) n_{Q_5} \right] / m_{Q_5};$$

$$l_{Q_5} = \left[(l_1 m_1 + l_K m_K) + (l_1 m_1 + l_K m_K + l_2 m_2) \times (\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}) n_{Q_5} \right] / m_{Q_5}.$$

6. ТФС «Рабочая операция с контролем функционирования, доработкой и последующим контролем с ограничением на количество циклов» [4], [5]. Вид детализированной и укрупненной структур приведен на рис. 6.

Выполняется рабочая операция P_1 и проводится контроль правильности ее выполнения K . Если контроль показывает, что операция выполнена неправильно, то вносятся необходимые исправления P_2 и операция контроля повторяется снова. Операция исправления P_2 (доработки) повторяется

до тех пор, пока контрольная операция не признает, что операция доработки (исправления) выполнена правильно, или пока число повторов не превысит заданного предельного значения.

В соответствии с [4], [5] данная типовая структура может быть укрупнена и представлена в виде рабочей операции с двумя исходами. При оценке стереотипности и логической сложности будем полагать, что вероятности правильного и ошибочного выполнения обеих рабочих операций и операции контроля постоянны.

Выход A означает, что решение задачи было признано правильным по результатам последней контрольной операции, но не означает, что это решение действительно правильное. Выход B означает, что за отведенное число попыток задача не была решена правильно, и, следовательно, оператор обязан перейти к выполнению запасного (резервного) варианта действий.

Полагая, что для обеих рабочих и контрольной операции известны все требуемые для их корректного описания характеристики, выведем выражения для оценки коэффициентов стереотипности и логической сложности, а также длины укрупненной структуры Q_6 . В данном случае среднее число циклов без учета первого прохода равно

$$n_{Q_6} = \left[1 - r (\beta_2^1 K^{10} + \beta_2^0 K^{00})^{r-1} + (r-1) (\beta_2^1 K^{10} + \beta_2^0 K^{00})^r \right] / \beta_2^1 K^{11} + \beta_2^0 K^{01}.$$

Тогда для укрупненной структуры Q_6 получаем:

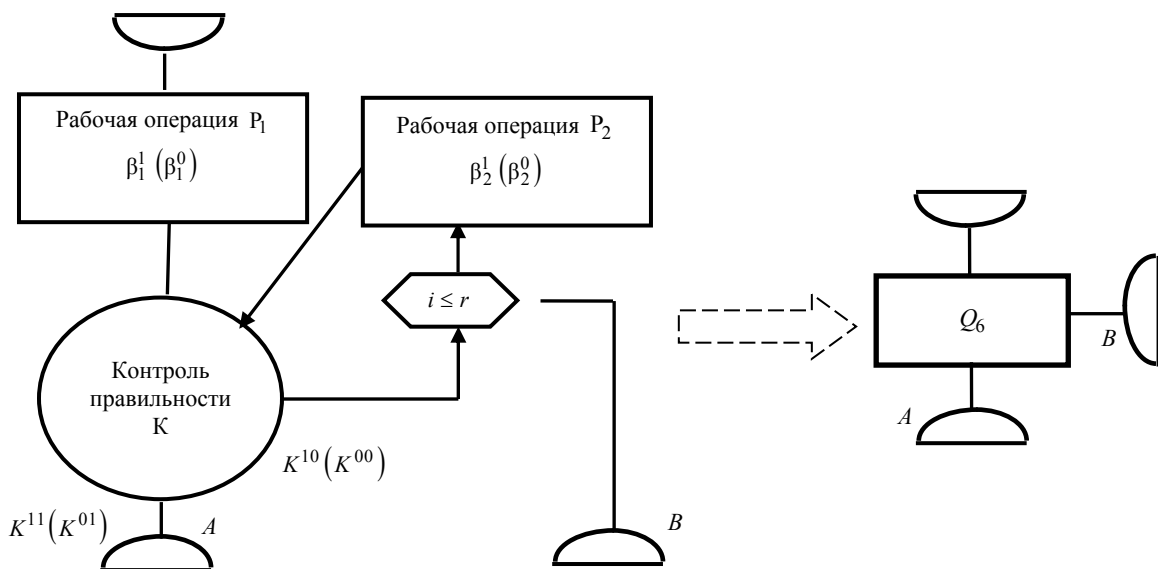


Рис. 6

$$m_{Q_6} = m_1 + m_K + (m_K + m_2) \times \\ \times (\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}) n_{Q_6}, \\ s_{Q_6} = [(s_1 m_1 + s_K m_K) + (s_K m_K + s_2 m_2) \times \\ \times (\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}) n_{Q_6}] / m_{Q_6}; \\ l_{Q_6} = [(l_1 n_1 + l_K n_K) + (l_K n_K + l_2 n_2) \times \\ \times (\beta_1^1 K^{10} + \beta_1^0 K^{00}) n_{Q_6}] / m_{Q_6}.$$

Замечания.

1. В настоящей статье рассмотрены лишь некоторые ТФС, но выражения для оценки значений коэффициентов стереотипности и логической сложности могут быть выведены и для не приведенных в данной статье ТФС.

2. При отсутствии точных значений вероятностных характеристик для отдельных блоков, входящих в состав рассмотренных ТФС, можно

считать целесообразным использование интервальных или нечетких оценок, например полученных в результате опроса экспертов.

Полученный комплекс формульных зависимостей для вычисления длин (размеров) и коэффициентов стереотипности и логической сложности отдельных фрагментов с циклической структурой является основой для метода поэтапной оценки основных характеристик алгоритмов деятельности оператора, позволяющего производить изменения в отдельных фрагментах, а также пересчет соответствующих оценок без пересчета остальных частей алгоритма. Благодаря этому может быть существенно уменьшен объем требуемых вычислений, а разработчики (проектировщики) получают реальную возможность моделировать различные виды фрагментов алгоритмов деятельности без лишних сложностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ РВ 29.04.002–84. Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Алгоритм и структура деятельности оператора. Общие эргономические требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 8 с.

2. ГОСТ В 29.08.002–2005. Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Показатели качества деятельности операторов образцов вооружения и военной техники статистические. Номенклатура. Методы определения. М.: Стандартиформ, 2006. 16 с.

3. Военная инженерная психология / Б. Ф. Ломов, А. А. Васильев, В. О. Офицеров, В. Ф. Рубахин. М.: Воениздат, 1970. 401 с.

4. Губинский А. И., Евграфов В. Г. Эргономическое проектирование судовых систем управления. Л.: Судостроение, 1977. 224 с.

5. Информационно-управляющие человеко-машинные системы. Исследование, проектирование, испытания // под общ. ред. А. И. Губинского, В. Г. Евграфова. М.: Машиностроение, 1993. 512 с.

6. Падерно П. И., Попечителей Е. П. Надежность и эргономика биотехнических систем // под общ. ред. Е. П. Попечителя. СПб.: Элмор, 2007. 264 с.

7. Краснова А. И., Назаренко Н. А., Падерно П. И. Человеческий фактор в информационных системах: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. 80 с.

8. Дмитриев М. С. Оценка сложности алгоритма деятельности операторов транспортно-технологических машин // Междунар. науч.-иссл. журн. 2016. Вып. № 12 (54), ч. 3. С. 83–87.

9. Овсянников В. Е., Васильев В. И. Оценка параметров алгоритмов работы операторов технологиче-

ского оборудования в условиях неопределенности исходных данных // Вестн. Кузбасского гос. техн. ун-та. Машиностроение. 2014. № 2. С. 56–57.

10. Зараковский Г. М. Психофизиологический анализ трудовой деятельности (логико-вероятностный подход при изучении труда управляющего типа). М.: Наука, 1966. 114 с.

11. Суходольский Г. В. Структурно-алгоритмический анализ и синтез деятельности / ЛГУ. Л., 1976. 120 с.

12. Ротштейн А. П. Выбор условий деятельности человека на основе нечеткой перфектности // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2018. № 6. С. 109–121.

13. Падерно П. И., Смирнов А. В. Оценка безошибочности выполнения алгоритма дискретной деятельности при различных видах ошибок // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. № 3. С. 13–18.

14. Падерно П. И., Павлухин И. С., Смирнов А. В. Развитие функционально-структурной теории для оценки качества деятельности операторов эргатических систем // Мехатроника, автоматика, управление. М. 2012. № 5 (134). С. 31–35.

15. Падерно П. И. Алгоритмы деятельности – описание и оценка // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2015. № 3. С. 37–40.

16. Краснова А. И., Балхарет А. А., Падерно П. И. Модель оценки времени выполнения задачи // Информационно-управляющие системы ГУАП. 2009. № 4. С. 72–74.

17. Балхарет А. А., Падерно П. И. Автоматизация оценки напряженности деятельности оператора // Биотехносфера. 2009. № 2/2. С. 53–56.

18. Балхарет А. А., Падерно П. И. Оценка времени выполнения задачи при изменении напряженности деятельности оператора // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. № 5. С. 19–23.

19. Burkov E. A., Paderno P. I., Sopina O. P. Analysis and combination of activity algorithms evaluation methods // 2018 Third Intern. Conf. on Human Factors in

Complex Technical Systems and Environments (ERGO) and Environments (ERGO). SPb., 2018. P. 111–114.

20. Назаренко Н. А., Падерно П. И., Сатторов Ф. Э. Способ оценки логической сложности и стереотипности алгоритмов деятельности операторов // Науч.-техн. вестн. информ. технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19, № 4. С. 740–746.

N. A. Nazarenko, P. I. Paderno
Saint Petersburg Electrotechnical University

EVALUATION OF LOGIC COMPLEXITY AND STEREOTYPITY OF CYCLIC STRUCTURES IN OPERATOR ACTIVITY ALGORITHMS

The analysis of the evaluation of the algorithms of the operators in the process of designing man-machine systems. A new approach to assessing the coefficients of stereotype and logical complexity of activity algorithms having cycles (repeating a series of operations) is presented. The basic typical functional structures and corresponding calculation formulas for calculating the lengths (sizes) and stereotypicity coefficients and the logical complexity of individual fragments with a cyclic structure are shown. The proposed approach, being a tool for developing a human-machine system, greatly simplifies its computational activities, and makes it possible to evaluate the main characteristics of the algorithms of operator activity in stages. In addition, the representation of dependencies proposed within the framework of the approach facilitates understanding of the obtained intermediate and final estimates. The approach is the basis of the designed information module for supporting the activities of the developer in solving problems related to the evaluation of the algorithms of the operators of developed complex man-machine systems and complexes for various purposes.

Activity algorithm, logical complexity, stereotype, cyclic structures, operator, quality of activity algorithms, human-machine systems

УДК 004.514.62

М. Г. Пантелеев, А. Ф. Салимов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Анализ алгоритмов навигации интеллектуального агента в виртуальном футболе

Проводится анализ различных методов решения навигационной задачи интеллектуальным агентом в среде виртуального футбола Robosoccer на основе зашумленных данных, поступающих от визуального сенсора. Рассмотрены две группы методов вычисления абсолютных координат объектов на основе сенсорных данных о флагах и линиях: тригонометрические методы и методы, основанные на использовании фильтра Калмана и фильтра частиц. Кратко описано инструментальное программное средство, разработанное для проведения экспериментальных исследований и позволяющее произвольно варьировать условия решения навигационной задачи. Представлены экспериментальные результаты сравнительного анализа быстродействия и точности алгоритмов, реализующих различные методы. Полученные результаты позволяют агенту решать навигационную задачу с использованием алгоритмов произвольного времени, размещая время решения на качество (точность) результата. С учетом полученных результатов определены направления дальнейших исследований по реализации оценки тактической обстановки в виртуальном футболе.

Интеллектуальный агент, многоагентная система, виртуальный футбол, RoboCup Soccer, навигационная задача, алгоритмы произвольного времени, фильтр Калмана, фильтр частиц

Создание интеллектуальных агентов (ИА) и основанных на них многоагентных систем (МАС) является в настоящее время магистральным

направлением развития искусственного интеллекта [1], [2]. Под ИА понимаются автономные системы, воспринимающие окружающую среду и
