Структура фрагментов однозначно представляющих автомат

И.С. Грунский

Исследуется структура фрагмента, позволяющего однозначно распознать автомат из класса всех автоматов, у которых каждый вход-выходной сигнал из заранее заданного множества порождается не более чем одним состоянием. Найдены критерии однозначного распознавания.

Проблема представления (идентификации) автоматов их фрагментами является важной как в теории автоматов (построение контрольных и распознающих экспериментов [1]), так и в технической диагностике дискретных устройств [2] и программных систем [3]. Теория представления автоматов фрагментами изложена в [4]. Одной из центральных задач этой теории является задача определения условий, при которых фрагмент представляет заданный автомат с заданной точностью относительно заданного класса автоматов. В [4] приведены критерии (необходимые и достаточные условия) представления для различного типа автоматов, различных конечных классов и различной точности.

В настоящее время интенсивно начала развиваться теория экспериментов относительно бесконечных классов автоматов, заданных финитными средствами (формальной спецификацией [3] , недетерминированным автоматом [5] и т.п.).

В данной работе исследуется структура представлений автомата относительно возможно бесконечного класса автоматов, в каждом из которых каждый вход-выходной сигнал из заранее заданного множества порождается не более чем одним состоянием [6]. Такие сигналы называются маркерами, а такие автоматы — маркированными. Маркеры с точки зрения книги [4] являются идентификаторами состояний. Они присутствуют в реальных автоматах в виде оповещающих или служебных управляющих сигналов.

Найдены критерии, при которых фрагмент является представлением автомата относительно класса маркированных автоматов (теоремы 2–4) и относительно дополнения до этого класса (теорема 1). В следствиях к теоремам предложены условия существования контрольных экспериментов.

В дальнейшем под автоматом понимается, если не оговорено противное, конечный детерминированный инициальный автомат Мили. Все автоматы имеют один и тот же входной X и выходной Y алфавиты. Если автомат частичен, то полагаем, что области определения его функции переходов и функции выходов совпадают. Пусть r — мощность алфавита $Y, r \geq 1$.

Пусть $A = (A, X, Y, \delta, \lambda, a_0)$ — некоторый автомат, у которого A — множество состояний мощности n; a_0 — начальное состояние; δ, λ — функции переходов и выходов. Пусть $p = x_1...x_k$ — входное слово. Через $\delta(a, p)$ обозначим состояние, в которое переходит автомат из состояния a под действием этого слова, а через $\lambda(a, p)$ — соответствующее выходное слово длины k. Пусть $\lambda(a, p) = q = y_1...y_k$. Пара (p, q) называется вход-выходным словом, порожденным состоянием a. Она отождествляется со словом $w = (x_1, y_1)...(x_k, y_k)$ в алфавите $U = X \times Y$. Равенство $aw = b$ означает, что $b = \delta(a, p)$ и $\lambda(a, p) = q$. Множество всех вход-выходных слов, порожденных состоянием a обозначим λ_a и λ_A при $a = a_0$. Автомату A поставим в соответствие множество $\Phi_A = \bigcup\limits_{a \in A} \lambda_a$ всех вход-выходных слов, порожденных этим автоматом.

Автомат A называется инициально связным, если для всех его состояний a найдется $w \in \lambda_A$, для которого $a_0 w = a$. В дальнейшем, если не оговорено противное, рассматриваются инициально связные автоматы. Состояние a и b называются эквивалентными, что обозначим $(a, b) \in \varepsilon$, если $\lambda_a = \lambda_b$. Через A/ε обозначим автомат, полученный из A отождествлением всех эквивалентных состояний. Автомат A, для которого $A = A/\varepsilon$, называется приведенным.

Через $\mathcal{A}(U)$ обозначим класс всех всюду определенных приведенных автоматов.

Неопределяемые понятия теории автоматов общеприняты и их можно найти, например, в [1,4]. При необходимости функции параметры и поведение автомата снабжаются нижним индексом — его именем.

Введем понятие представления автомата фрагментами. Пусть $Q = (Q, X, Y, \Delta, \Lambda, q_0)$ — некоторый автомат. Автомат Q назовем фрагментом автомата A, если существует гомоморфизм автомата Q в A, т.е. такое отображение $\varphi : Q \to A$, что $\varphi(q_0) = a_0$ и $\varphi(\Delta(q, x)) = \delta(\varphi(q), x)$, $\Lambda(q, x) = \lambda(\varphi(q), x)$ для всех q и x из области определения функции Δ.

Зафиксируем произвольно автомат-эталон $A \in \mathcal{A}(U)$ и подкласс $\mathcal{A} \subseteq \mathcal{A}(U)$. Автомат Q назовем представлением эталона относительно этого подкласса, если одновременно выполняются условия: 1. Q является фрагментом эталона; 2. если Q является фрагментом автомата $B \in \mathcal{A}$, то $\lambda_A = \lambda_B$. Из определения вытекает, что эталон A является представлением самого себя относительно любого подкласса $\mathcal{A}$ и поэтому представления всегда существуют.

Рассмотрим условия, при которых автомат Q является представлением A относительно подкласса $\mathcal{A}$. Если в $\mathcal{A}$ нет автоматов, отличных от A, т.е. если $\mathcal{A}$ пуст или состоит из одного A, то любой фрагмент эталона является представлением. Поэтому в дальнейшем полагаем, что в $\mathcal{A}$ существует автомат $B \neq A$. Тогда $r \geq 2$, поскольку при $r = 1$ класс $\mathcal{A}(U)$ состоит из одного автомата.

Пусть B — некоторый автомат и b некоторое его состояние. Автомат C, образованный всеми состояниями $c = bw, w \in \lambda_B$, называется подавтоматом, порожденным состоянием b. Класс $\mathcal{A}$ назовем замкнутым, если для всех $B \in \mathcal{A}(U)$ как только некоторый его подавтомат входит в $\mathcal{A}$, то и $B \in \mathcal{A}$. Легко видеть, что для $r \geq 2$ непустой замкнутый класс бесконечен.

Теорема 1. *Автомат Q является представлением эталона $A \in \mathcal{A}(U)$ относительно замкнутого подкласса $\mathcal{A}$ тогда и только тогда, когда $Q/\varepsilon = A$.*

Доказательство. Если $Q/\varepsilon = A$, то очевидно Q — фрагмент эталона. Пусть Q — фрагмент некоторого $B \in \mathcal{A}$. В силу приведенности автомата B Q/ε тоже его фрагмент. В силу инициальной связности $A = B$ и, тем самым, Q — представление.

Пусть теперь $Q/\varepsilon \neq A$ и Q — представление эталона относительно $\mathcal{A}$. Тогда Q — фрагмент эталона и, следовательно, частичный автомат. Пусть $C \in \mathcal{A}$. Доопределим автомат Q с помощью C, полагая $\Delta(q, x) = c_0$ для всех пар (q, x), не входящих в область определения функции Δ. Функцию выходов Λ доопределяем произвольно. Получим всюду определенный автомат D. Пусть $H \in \mathcal{A}$ и $H \neq C$. Точно также доопределяем автомат Q с помощью H и получаем автомат G. Так как $H \neq C$, то $\lambda_C(c_0, p) \neq \lambda_H(h_0, p)$ для некоторого входного слова p. Пусть $\Delta(q, x)$ неопределено в Q и $\Delta(q_0, p') = b$. Очевидно $\lambda_D(d_0, p'xp) \neq \lambda_G(g_0, p'xp)$. Поэтому $D/\varepsilon \neq G/\varepsilon$. Автомат Q является фрагментом автоматов D/ε и G/ε и оба эти автомата входят в $\mathcal{A}$. Следовательно, Q не представление, что противоречит предположению. Теорема 1 доказана.

Контрольным экспериментом для эталона A относительно $\mathcal{A}$ называется конечное подмножество $W \subseteq \lambda_A$, для которого $W \subseteq \lambda_B$, где $B \in \mathcal{A}$, влечет $\lambda_A = \lambda_B$. Любому конечному множеству $W \subseteq \lambda_A$ очевидным образом взаимно однозначно соответствует автомат Q, граф которого является деревом, $\lambda_Q = W$. Ясно, что если W — контрольный эксперимент, то Q — представление. Поэтому, контрольный эксперимент считаем частным видом представлений. Из сказанного и теоремы 1 вытекает

Следствие 1. *Не существует контрольных экспериментов для любого* $A \in \mathcal{A}(U)$ *относительно любого замкнутого* $\mathcal{A} \subseteq \mathcal{A}(U)$.

Поскольку $\mathcal{A}(U)$ замкнут, то для него выполняются теорема 1 и следствие 1.

Рассмотрим классы автоматов, введенные в [6]. Зафиксируем множество $M \subseteq U$. Через $\mathcal{A}(U, M)$ обозначим класс всех тех автоматов из $A(U)$, для которых каждое вход-выходное слово $u \in M$ порождается не более чем одним состоянием. Элементы $u \in M$ называем маркерами. Состояние a автомата $A \in \mathcal{A}(U, M)$, порождающее некоторый маркер, назовем отмеченным (маркированным). Пусть $\overline{\mathcal{A}}(U, M) = \mathcal{A}(U) - \mathcal{A}(U, M)$. Автомат принадлежит дополнению $\overline{\mathcal{A}}(U, M)$, если в нем существуют два неэквивалентных состояния, порождающие один и тот же маркер. Поэтому непустое дополнение является замкнутым классом и теорема 1 дает критерий, при котором фрагмент Q является представлением для $A \in \mathcal{A}(U)$ и $\mathcal{A} = \overline{\mathcal{A}}(U, M)$. Следствие 1 показывает, что в этом случае контрольные эксперименты не существуют.

Рассмотрим случай, когда $\mathcal{A} = \mathcal{A}(U, M)$. Для всех M класс $\mathcal{A}$ не пуст и при пустом M совпадает с $\mathcal{A}(U)$. В [6] найдены критерии бесконечности, конечности и одноэлементности класса $\mathcal{A}$. Пусть $A \in \mathcal{A}(U, M)$.

Пусть Q — некоторый, возможно частичный, автомат. Через $[Q]$ обозначим автомат, полученный из Q, отождествлением всех состояний, порождающих один и тот же маркер и дальнейшей детерминизацией: если $qu = q_1$ и $qu = q_2$ для некоторого u, то отождествляем состояния q_1 и q_2. При этом может быть два случая. Если Q — фрагмент некоторого автомата $C \in \mathcal{A}(U, M)$, то $[Q]$ — детерминированный автомат и фрагмент автомата C. В противном случае, $B = [Q]$ — недетерминированный, т.е. для некоторого его состояния b и входа x найдутся такие состояния b_1, b_2 и выходы $y_1, y_2, y_1 \neq y_2$, что $b(x, y_1) = b_1 \neq b(x, y_2) = b_2$. Автомат $[Q]$ назовем замыканием Q по маркерам.

Через Mx обозначим подмножество всех тех маркеров u, для которых $u = (x, y), y \in Y$, а через r_x — мощность этого подмножества. Рассмотрим случай $A \in \mathcal{A}(U, M)$.

Рассмотрим некоторый фрагмент Q эталона. Состояния q и h этого фрагмента называются совместимыми, если для любого входного слова p как только $\lambda_Q(q, p)$ и $\lambda_Q(h, p)$ определены, то они равны. Пусть σ — отношение совместимости состояний фрагмента. Известно, что гомоморфизм φ фрагмента Q в автомат из $\mathcal{A}(U)$ порождает на состояниях фрагмента конгруентность $\eta \subseteq \sigma$ по правилу: $(q, h) \in \eta$, если $\varphi(q) = \varphi(h)$, и наоборот всякая конгруентность на состояниях фрагмента порождает гомоморфизм его в некоторый автомат из $\mathcal{A}(U)$. Пусть $\operatorname{rank} \eta$ — число классов эквивалентности конгруентности η.

Теорема 2. *Пусть $n < r$ или $r_x < r$ для всех x. Автомат Q является представлением эталона $A \in \mathcal{A}(U, M)$ относительно $\mathcal{A}(U, M)$ тогда и только тогда, когда $[Q]/\varepsilon = A$.*

Доказательство. Если последнее равенство выполняется, то Q — фрагмент эталона. Если Q — фрагмент некоторого автомата $B \in \mathcal{A}$, то A — фрагмент этого автомата и $A = B$. Поэтому Q — представление.

Пусть $B = [Q], B/\varepsilon \neq A$ и Q — представление эталона относительно $\mathcal{A}$. Тогда B — фрагмент эталона и частичный автомат. Доопределим его полагая $\delta_B(b, x) = b$ для всех (b, x), не входящих в область определения. Пусть $n < r$. Тогда для каждого фиксированного x и любого b, для которого $\lambda_B(b, x)$ не определено, можно выбрать свой особый $y_b \in Y$ и положить $\lambda_B(b, x) = y_b$ так, чтобы (x, y_b) порождалось только этим состоянием. Полученный всюду определенный автомат обозначим C. Рассмотрим автомат $D = C/\varepsilon$. Если $D \neq A$, то, учитывая, что B — фрагмент D, получаем, что B, а,значит, и Q не представление. Если $D = A$, то зафиксируем пару (b, x), для которой $\lambda_B(b, x)$ не определено. По построению состояние b в автомате C не имеет эквивалентных. Тогда в автомате D дугу $(d, (x, y_b), h)$ заменяем дугой $(d, (x, y), h)$, где $(x, y) \notin \Phi_A$. В силу $n < r$ такая пара (x, y) существует. Полученный автомат обозначим H. По построению B — фрагмент автомата H/ε. Этот автомат отличен от A, входит в $\mathcal{A}$ и, следовательно, B не может быть представлением. Поэтому и Q не представление.

Пусть теперь $r_x < r$ для всех x и $n = r \geq 2$. Покажем, что в автомате B существуют такие состояния b_1, b_2 и входной символ x', что $\lambda_B(b_1, x') \neq \lambda_B(b_2, x')$. Если эти состояния и вход x' не существуют, то что все состояния автомата B являются совместимыми, σ является конгруенцией и B/σ имеет одно состояние. Если B/σ частичен, то доопределяем его полагая $b(x, y) = b$, где b — единственное его состояние, $(x, y) \notin M$ и (b, x) не входит в область определения функций этого автомата. Получаем, что доопределенный в случае необходимости автомат B/σ отличен от A, входит в $\mathcal{A}(U, M)$ и, поэтому, B не может быть представлением. Поэтому вышеуказанные состояния в B существуют.

Доопределим автомат B двумя способами. Сначала, если $\delta_B(b, x)$ не определено, то полагаем $b(x, y) = b_1$, где $(x, y) \notin M$. В силу неравенства $r_x < r$ такая пара существует. Полученный автомат обозначим C. Затем, если $\delta_B(b, x)$ не определено, то полагаем $b(x, y) = b_2$, где $(x, y) \notin M$. Полученный автомат обозначим D. Если $\delta_B(b_0, p) = b$ и $\delta_B(b, x)$ не определено, то по построению $\lambda_C(b_0, pxx') \neq \lambda_D(b_0, pxx')$. Поэтому $C \neq D, C/\varepsilon$ и D/ε входят в $\mathcal{A}(U, M)$ и B — фрагмент этих автоматов. Поэтому B — не представление. Теорема 2 доказана.

Рассмотрим случай, когда условие теоремы 2 не выполняется, т.е. $n \geq r$ и $r_x = r$ для некоторого x. Тогда у любого автомата из $\mathcal{A}(U, M)$ имеется не более чем r состояний, этот класс конечен и $n = r$. Пусть $\Phi_Q^1 = \Phi_Q \cap U$.

Теорема 3. *Пусть $r = n$ и $r_x = r$ для некоторого x. Автомат Q является представлением эталона A относительно $\mathcal{A}(U, M)$ тогда и только тогда, когда одновременно выполняются условия:*
1. Q — фрагмент эталона,
2. $\Phi_Q^1 = \Phi_A^1$,
3. на состояниях фрагмента $[Q]$ существует конгруентность $\eta \subseteq \sigma$ с $\operatorname{rank} \eta = n$.

Доказательство. Пусть для фрагмента Q выполняются условия 1–3. Пусть Q — фрагмент некоторого автомата $B \in \mathcal{A}(U, M)$. Так как $r_x = r$ для некоторого x, то $n_B \leq r$. Условие 2 влечет равенство $n_B = n_0$. Поскольку $B \in \mathcal{A}(U, M)$, то $[Q]$ тоже фрагмент B. Из условия 3 вытекает, что $A = B$. Следовательно, Q — представление.

Пусть Q — представление эталона относительно $\mathcal{A}(U, M)$. Покажем, что выполняются условия 1–3. Поскольку Q представление, то 1 выполняется. Пусть 2 не выполняется. В силу условия 1 $\Phi_Q^1 \subset \Phi_A$ и существует $u \in \Phi_A - \Phi_Q$. Пусть $au = b$. По предположению $n = r \geq 2$. Преобразуем эталон полагая $au = d$, где $d \neq b$. В силу леммы 3.2.14 из [4] получаем автомат B не равный эталону, $B/\varepsilon \in \mathcal{A}(U, M)$, $B/\varepsilon \neq A$ и, значит, Q — не представление. Следовательно, условие 2 выполняется.

Пусть теперь не выполняется условие 3 и, кроме конгруентности η, порожденной гомоморфизмом фрагмента Q в эталон, существует другая конгруентность γ, причем $\operatorname{rank} \eta = \operatorname{rank} \gamma = n$. Так как $\gamma \neq n$, то $[Q]/\eta = A \neq B = [Q]/\gamma$. Если B всюду определен, то B/ε входит в $\mathcal{A}(U, M)$, отличен от A и, следовательно, Q — не представление.

Пусть автомат B частичен. По условию 2 и определению B $\Phi_A^1 \subseteq \Phi_B^1$. Поскольку $n = r = r_x$ для некоторого x, то $n_B = n$. Пусть $\delta_B(b, x)$ не определено для некоторого x. В силу последнего включения, эталон может порождать не более $n-1$ пар вида (x, y), где $y \in Y$. Следовательно, существует $(x, y) \in U - \Phi_A^1$. Полагаем $b(x, y) = b$. Таким способом автомат B можно преобразовать во всюду определенный автомат C. Фрагмент $[Q]$ инициально связен, поэтому инициально связны автоматы B и C. В автомате Q каждый маркер из M порождается не более чем одним состоянием. Так как $n_B = r$, то автомат B преобразовать в C можно таким образом, что в C каждый маркер порождается не более чем одним состоянием. По построению $\Phi_A \neq \Phi_C$. Следовательно, автомат C/ε, отличен от эталона, входит в $\mathcal{A}(U, M)$. Поэтому Q — не представление, что противоречит предположению. Отсюда вытекает, что 3 выполняется.

Теорема доказана.

Теоремы 2 и 3 вместе дают критерий, при котором фрагмент Q является представлением эталона $A \in \mathcal{A}(U, M)$ относительно $\mathcal{A}(U, M)$.

Следствие 2.[6] *Контрольный эксперимент для $A \in \mathcal{A}(U, M)$ относительно $\mathcal{A}(U, M)$ существует тогда и только тогда, когда в каждом цикле графа эталона имеется отмеченное состояние.*

Доказательство. Пусть в каждом цикле эталона имеется отмеченное состояние. Рассмотрим множество W всех слов из λ_A длины $2n$ и соответствующий ему древовидный автомат Q с $\lambda_Q = W$. В Q каждое состояние q либо является висячим, либо $\delta_Q(q, x)$ определено для всех x. Пусть q висячее и $q_0 w = q$. Тогда найдутся такие слова w_1, w_2, что $w = w_1, w_2$, состояние $a = a_0 w_1$ эталона отмечено, слово w_2 не пусто и его длина не превосходит n. Кроме того $a_0 w_3 = a$ для некоторого слова w_3 длины не большей $n - 1$. Состояние $q_0 w_3$ и $q_0 w_1$ порождают один и тот же маркер, $\delta_Q(q_0 w_3, p)$ определено для всех входных слов p длины $n + 1$. Поэтому в Q состояние $q_0 w_3$ и q отождествляются и состояние, соответствующее состоянию q висячим не является. Поэтому автомат $[Q]$ всюду определен и $[Q]/\varepsilon = A$. В силу теорем 2 и 3 фрагмент Q является представлением.

Пусть теперь в эталоне имеется цикл, не содержащий отмеченных состояний, т.е. $a_0 w_1 = a$ и $a w_2 = a$, для некоторых w_1 и непустого w_2, а для всех начальных отрезков w слова w_2 состояние aw не отмечено. Следовательно, для всех x $r_x < r$, т.е. выполняется условие теоремы 2. Зафиксируем произвольно натуральное $k \leq 1$ и пусть $l = d_1 + k d_2$, где d_i — длина слова w_i для $i = 1, 2$. Рассмотрим множество W_k всех слов из λ_A длины l и соответствующий ему фрагмент Q. Из сказанного выше следует, что в замыкании $B = [Q]$ состояние $b = b_0 w_1 w_2^k$ является висячим. Поэтому автомат $[Q]/\varepsilon$ имеет висячее состояние и не равен эталону. Тогда, в силу теоремы 2, фрагмент Q не является представлением. Следовательно, для всех $k \geq 1$ множество W_k контрольным экспериментом не является. Поэтому контрольных экспериментов не существует. Следствие доказано.

Рассмотрим случай, когда $A \in \overline{\mathcal{A}}(U, M)$ и $\mathcal{A} = \overline{\mathcal{A}}(U, M)$.

Теорема 4. *Фрагмент Q является представлением эталона относительно $\mathcal{A}$ тогда и только тогда, когда Q — фрагмент эталона и выполняется хоть одно из условий:*
1. $[Q]$ — является недетерминированным автоматом;
2. $r_x = r$ и замыкание недоопределено по x для некоторого x и для всех конгруенций η на состояниях замыкания $\operatorname{rank} \eta > r$.

Доказательство. Пусть Q — фрагмент эталона и выполняется условие 1. Из определения замыкания по маркерам следует, что если $[Q]$ недетерминировано, то в Q существуют состояния q_1, q_2, порождающие один и тот же маркер, и входное слово p, для которого $\lambda_Q(q_1, p) \neq \lambda_Q(q_2, p)$. Следовательно, эти состояния несовместимы и для любого гомоморфизма φ фрагмента Q в автомат $B \in \mathcal{A}(U)$ состояния $\varphi(q_1), \varphi(q_2)$ порождают один и тот же маркер и не эквивалентны. Поэтому $B \in \overline{\mathcal{A}}(U, M)$ и Q — представление.

Пусть выполняется условие 2. Предположим, что Q — не представление, т.е. Q — фрагмент некоторого автомата $B \in \mathcal{A}(U, M)$, отличного от эталона. Тогда существует гомоморфизм ψ этого фрагмента в B. По условию 2 для некоторого входа x $r_x = r$ и $[Q]$ недоопределен по x. Тогда $n_B = r$ и для соответствующей гомоморфизму ψ конгруенции η $\operatorname{rank} \eta = r$, что противоречит условию 2. Из противоречия следует, что Q представление.

Пусть теперь Q — представление. Ясно, что Q — фрагмент эталона. Покажем, что выполняется хоть одно из условий 1, 2. Предположим противное, что оба этих условия не выполняются. Тогда замыкание $B = [Q]$ является детерминированным автоматом. Если B всюду определен, то $B/\varepsilon \in \mathcal{A}(U, M)$ и Q не представление. Пусть B частичен и $\delta_B(b, x)$ не определено. Если $r_x < r$, то существует $(x, y) \notin M$. Полагаем $b(x, y) = b$. Таким образом доопределим B и получаем всюду определенный автомат C, для которого $C/\varepsilon \in \mathcal{A}(U, M)$. Тогда Q не представление. Если же существует конгруентность η, для которой $\operatorname{rank} \eta \leq R$, то автомат $C = B/\eta$ имеет не более r состояний. Поэтому, если C недоопределен по x, то для каждого его состояния c можно выбрать свою особую пару (x, y) и положить $c(x, y) = c$. Получим всюду определенный автомат D, для которого $D/\varepsilon \in \mathcal{A}(U, M)$ и B — фрагмент D/ε. Поэтому Q не представление, что противоречит предположению. Теорема 4 доказана.

Теоремы 4–2 дают критерий, при котором фрагмент является представлением эталона $A \in \mathcal{A}(U)$ относительно $\mathcal{A}(U, M)$.

Из теоремы 4 следует, что для $A \in \mathcal{A}(U, M)$ относительно $\mathcal{A}(U, M)$ контрольный эксперимент всегда существует. Действительно, так как $A \in \overline{\mathcal{A}}\ (U, M)$, то в нем существуют состояния a_1, a_2, порождающие один и тот же маркер u и $\lambda(a_1, p) = q_1 \neq q_2 = \lambda(a_2, p)$. Пусть $a_1 = a_0 w_1$ и $a_2 = a_0 w_2$. Тогда легко видеть, что 4 слова $\{w_1 u, w_1(p, q_1), w_2 u, w_2(p, q_2)\}$ являются контрольным экспериментом.

Список литературы

[1] В.Б. Кудрявцев, С.В. Алешин, А.С. Подколзин. Введение в теорию автоматов — М.: Наука 1985. — 320 с

[2] Основы технической диагностики /Под ред. П.П. Пархоменко — М.: Энергия 1976. — 464 с

[3] Протоколы информационно-вычислительных сетей: Справочник /Под ред. И.А. Мизина, А.П. Кулешова — М.: Радио и связь 1990. — 504 с

[4] И.С. Грунский, В.А. Козловский, Г.Г. Пономаренко. Представления конечных автоматов фрагментами поведения — Киев:Наукова думка 1990.–232с

[5] Б.Д. Лукьянов. О различающих и контрольных экспериментах с недетерминированными автоматами //Кибернетика и системный анализ. (1995) с.69–76

[6] Грунский И.С., Максименко И.И. Об экспериментах с автоматами при отсутуствии верхней оценки числа состояний //Доповіді НАН України. (1996) с.31–35