

УДК 681.32

Динамические автоматы и их приложение для анализа сложных пространственных сцен

Левин В. И.

Актуальность. В архитектурном проектировании, при построении робототехнических систем, в военном деле и ряде других областей большое значение имеет задача анализа взаимоотношения объектов пространственных сцен (изображений). При этом важное значение имеет выбор подходящей модели для такого анализа, которая позволяет быстро выполнять необходимые вычисления. **Цель статьи** заключается в разработке автоматически-логической модели анализа пространственных сцен и соответствующих логических методов выполнения необходимых вычислений, которые отличаются от известных моделей и методов использованием конструктивных автоматной модели и логических методов вычислений. **Метод.** Для достижения поставленной цели предложено заменить традиционные численные методы анализа пространственных сцен новым методом, в котором моделью анализа является динамический конечный автомат, входные процессы которого моделируют отдельные объекты сцены, а выходные процессы – взаимоотношения этих объектов. **Новизна** работы состоит в построении адекватной автоматной модели анализа пространственных сцен, позволяющей свести этот анализ к вычислению выходных процессов автомата-модели по его входным процессам. **Результат.** В статье детально разработаны автоматически-логическая модель анализа пространственных сцен и методы ее исследования, которые позволяют вводить новые показатели взаимоотношения объектов сцен и вычислять их значения логическими методами.

Ключевые слова: непрерывная логика, динамический автомат, пространственная сцена, изображение, анализ сцены.

Введение

В работе [1] изложен математический аппарат непрерывной логики и описаны простые случаи его применения, связанные с информатикой: геометрическое моделирование, принятие приближенных решений, оптимизация и др. Имеется также много других задач из области информатики, которые эффективно решаются с помощью аппарата непрерывной логики (НЛ) или его обобщений [1]. Например, когда объект исследования сложный (высокоразмерный), весьма эффективным оказывается применение обобщающего НЛ аппарата логических определителей. Необходимо отметить, что при исследовании сложных объектов «наивное» моделирование [1] в терминах НЛ не применимо и нужно искать специальные, более мощные модели для получения адекватного непрерывно-логического описания объекта. Одной из наилучших моделей такого рода является конечный динамический автомат [2–4].

В настоящей статье речь идет о проблеме анализа изображений (пространственных сцен), которая может быть эффективно решена именно благода-

Библиографическая ссылка на статью:

Левин В. И. Динамические автоматы и их приложение для анализа сложных пространственных сцен // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 3. С. 135-143. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-03/07-Levin.pdf>

Reference for citation:

Levin V. I. Dynamic Automata and Analysis of Complex Spatial Scenes. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 3, pp. 135-143. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-03/07-Levin.pdf> (in Russian).

ря использованию автоматной модели. Суть этой проблемы состоит в том, чтобы по имеющемуся изображению в виде совокупности визуальных объектов в пространстве данной размерности формальным путем выяснить характеристики взаиморасположения объектов, по которым можно было бы анализировать указанное изображение для более полного его понимания.

Ранее автор уже рассматривал вопросы анализа изображений на основе автоматных моделей в работе [5]. Настоящая работа продолжает цикл исследований автора в данном направлении. От ранее опубликованной работы автора [5] она отличается усовершенствованием математической модели и расчетных формул.

Моделирование пространственных сцен на основе динамических автоматов

Рассмотрим произвольное N -мерное евклидово пространство E^N , заполненное N -мерными объектами, с общим числом объектов n . Объекты считаются пересекающимися, т. е. заполнение любым объектом любой области $E_i^N \in E^N$ не мешает нахождению в E_i^N другого объекта. Положение каждого объекта в пространстве E^N полностью определено. Очевидно, что изображение P , получающееся в результате взаимодействия всех имеющихся объектов пространства E^N , можно представить в виде объединения изображений

$$P = P_0 \cup P_1 \cup \dots \cup P_n, \quad (1)$$

где $P_k (k = \overline{0, n})$ – изображение пересечений k различных объектов, включающее изображения $P(i_1, i_2, \dots, i_k)$ всех возможных конкретных комбинаций (i_1, i_2, \dots, i_k) k пересекающихся объектов, т. е.

$$P_k = \bigcup_{i_1 < i_2 < \dots < i_k} P_k(i_1, i_2, \dots, i_k), k = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где P_0 – изображение в некоторой области E_0^N пространства E^N , не содержащее ни одного объекта; P_1 – изображение в другой области E_1^N пространства E^N , в которой имеются только одиночные, не пересекающиеся с другими объекты; P_2 – изображение в третьей области E_2^N пространства E^N , в которой имеются только попарно пересекающиеся объекты, и P_n – изображение в области E_n^N пространства E^N , содержащей только пересечение всех n объектов.

Ясно, что

$$E^N = E_0^N \cup E_1^N \cup \dots \cup E_n^N; E_i^N \cap E_j^N = \emptyset, i \neq j. \quad (3)$$

В свою очередь,

$$E_k^N = \bigcup_{i_1 < i_2 < \dots < i_k} E_k^N(i_1, i_2, \dots, i_k), E_k^N(I) \cap E_k^N(J) = \emptyset, I \neq J, \quad (4)$$

где $E_k^N(J)$ – область пространства E^N , в которой имеется пересечение только конкретного набора k объектов $J = (i_1, \dots, i_k)$.

Задача 1 состоит в том, чтобы найти области E_k^N , соответствующие изображениям P_k в виде пересечений любого фиксированного числа k неконкретизированных объектов ($k = \overline{0, n}$). Задача 2 состоит в том, чтобы найти области $E_k^N(J)$, соответствующие изображениям $P_k(J)$ в виде пересечений $J = (i_1, \dots, i_k)$ любого числа k конкретных объектов i_1, \dots, i_k ($k = \overline{1, n}$). Задача 2 является более детализированной, из ее решения всегда можно получить решение задачи 1, используя формулу (4). Задачи 1, 2 назовем *задачами анализа изображения P* .

Сформулированные задачи для пространств E^N различной размерности N можно интерпретировать следующим образом.

1. Пространство E^1 , т.е. прямая. Для него объектами являются заданные на прямой интервалы, причем допустимо пересечение интервалов по 2, по 3 и т.д. вплоть до n (n – общее число интервалов). Требуется найти участки прямой E_k^1 , где пересекается ровно k любых интервалов, $k = \overline{0, n}$ (задача 1), либо найти участки прямой $E_k^1(i_1, \dots, i_k)$, на которых пересекается ровно k конкретных интервалов i_1, \dots, i_k , $k = \overline{1, n}$ (задача 2).

2. Пространство E^2 , т.е. плоскость. Для этого пространства объектами являются заданные на плоскости прямоугольники, стороны которых параллельны осям координат, при этом допустимо пересечение прямоугольников по 2, по 3, ..., по n (n – общее число прямоугольников). Выбор в качестве взаимодействующих объектов на плоскости именно прямоугольников, очевидно, не ограничивает общности рассмотрения, так как любую плоскую фигуру можно представить с любой степенью точности с помощью вписанных в нее «плотно упакованных» прямоугольников. Требуется найти области на плоскости E_k^2 , в которых пересекаются ровно k любых прямоугольников, $k = \overline{0, n}$ (задача 1), либо найти области на плоскости $E_k^2(i_1, \dots, i_k)$, в которых пересекаются k конкретных прямоугольников i_1, \dots, i_k , $k = \overline{1, n}$ (задача 2).

3. Пространство E^3 , т.е. трехмерное пространство. Здесь объектами являются заданные в нем прямые параллелепипеды со сторонами, параллельными осям координат. Допустимо пересечение этих параллелепипедов по 2, по 3, ..., по n (n – общее число параллелепипедов). Выбор в качестве объектов в трехмерном пространстве прямых параллелепипедов не ограничивает общности, поскольку любой трехмерный объект можно представить с любой степенью точности посредством вписанных в него «плотно упакованных» прямых параллелепипедов. Требуется в пространстве E^3 найти области E_k^3 , в которых пересекается ровно k параллелепипедов, безразлично каких, $k = \overline{0, n}$ (задача 1), либо найти области $E_k^3(i_1, \dots, i_k)$ в E^3 , где пересекается k конкретных параллелепипедов i_1, \dots, i_k , $k = \overline{1, n}$ (задача 2).

Будем рассматривать общий случай задач 1, 2 анализа изображения P в пространстве E^N произвольной размерности N . Согласно (1), произвольное

изображение P складывается из изображений пересечения P_k ($k = \overline{0, n}$) ровно k любых различных объектов, и области E_k^N существования пересечений P_k для различных k , согласно (3) не пересекаются. В соответствии с этим введем систему двоичных функций $f_k(x)$, $k = \overline{0, n}$, в пространстве E^N :

$$f_k(x) = \begin{cases} 1, x \in E_k^N; \\ 0, x \notin E_k^N. \end{cases} \quad (5)$$

Как видно из (5), произвольная k -я функция $f_k(x)$ принимает значение 1 в области E_k^N , где существует пересечение P_k , и значение 0 в других областях, где это пересечение отсутствует. Поэтому функцию $f_k(x)$ естественно назвать k -й обыкновенной спектральной функцией изображения $P(1)$, а совокупность всех таких функций $f(x) = \{f_0(x), \dots, f_n(x)\}$ – обыкновенным спектром указанного изображения. Аналогично, согласно (2), произвольное пересечение P_k складывается из пересечений $P_k(i_1, \dots, i_k)$ ровно k различных, конкретно определенных объектов i_1, \dots, i_k , причем области $E_k^N(i_1, \dots, i_k)$ пересечений $P_k(i_1, \dots, i_k)$ для различных комбинаций объектов (i_1, \dots, i_k) , согласно формуле (4), не пересекаются. В соответствии с этим введем систему двоичных функций $G(x|i_1, \dots, i_k)$, $k = \overline{1, n}$, $i \leq i_1 < \dots < i_k \leq n$, в пространстве E^N , определяемых в виде

$$G(x|i_1, \dots, i_k) = \begin{cases} 1, x \in E_k^N(i_1, \dots, i_k); \\ 0, x \notin E_k^N(i_1, \dots, i_k). \end{cases} \quad (6)$$

Из (6) видим, что произвольная k -я функция $G(x|i_1, \dots, i_k)$ равна 1 в области $E_k^N(i_1, \dots, i_k)$, где существует пересечение $P_k(i_1, \dots, i_k)$, и равна 0 в областях, где это пересечение отсутствует. В соответствии с этим данную функцию назовем k -й маркированной спектральной функцией изображения P . Совокупность всех таких функций для всевозможных комбинаций объектов по 1, по 2, ... по n назовем маркированным спектром изображения P и обозначим $G(x)$. Таким образом, в отличие от обыкновенного спектра, отдельные спектральные функции которого выделяют лишь области пространства с изображением пересечения того или иного числа объектов (безотносительно к составу пересекающихся объектов), в маркированном спектре отдельные спектральные функции выделяют области пространства, где изображено пересечение конкретных комбинаций объектов. Однако и те, и другие обладают свойством индикации областей со всеми возможными типовыми фрагментами заданного изображения. Это подсказывает идею решения задач 1 и 2 анализа изображения, рассматриваемую ниже.

Так как все объекты в пространстве E^N есть N -мерные прямые параллелепипеды в E^N со сторонами, параллельными N осям координат, то пересечение любого числа k объектов ($k = \overline{1, n}$) тоже является N -мерным прямым параллелепипедом в E^N со сторонами, параллельными N осям координат. Поэтому любое либо неконкретизированное P_k , либо конкретизированное $P_k(i_1, \dots, i_k)$ по

составу, пересечение k объектов можно спроектировать на все оси координат x_1, \dots, x_N :

$$P_k \Rightarrow [P_k(x_1), P_k(x_2), \dots, P_k(x_N)], k = \overline{1, n}; \quad (7)$$

$$P_k(i_1, \dots, i_k) \Rightarrow [P_k(x_1 | i_1, \dots, i_k), P_k(x_2 | i_1, \dots, i_k), \dots, P_k(x_N | i_1, \dots, i_k)], k = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где $P_k(x_i)$ – проекция пересечения объектов P_k на ось x_i , а $P_k(x_i | i_1, \dots, i_k)$ – проекция пересечения объектов $P_k(i_1, \dots, i_k)$ на ту же ось. Различие между этими проекциями то же, что и в исходных пересечениях: в проекции $P_k(x_i)$ указывается только число k объектов в исходном пересечении, а в $P_k(x_i | i_1, \dots, i_k)$ дается еще конкретный перечень (i_1, \dots, i_k) объектов в пересечении. Любое пересечение P_k , согласно (2), состоит в общем случае из C_n^k разнесенных в пространстве пересечений $P_k(i_1, \dots, i_k)$ конкретных объектов (i_1, \dots, i_k) , $(k = \overline{1, n})$. Именно поэтому проекция пересечения P_k на любую ось также состоит в общем случае из C_n^k разнесенных вдоль этой оси проекций на нее пересечений $P_k(i_1, \dots, i_k)$ (которые тоже делимы):

$$P_k(x_r) = \bigcup_{i_1 < i_2 < \dots < i_k} P_k(x_r | i_1, \dots, i_k), k = \overline{1, n}, r = \overline{1, N}.$$

В этом второе различие между проекциями (7) и (8). Сходство между ними в следующем: есть однозначное соответствие любого пересечения объектов $P_k(i_1, \dots, i_k)$ и его проекций и однозначное соответствие любого пересечения объектов P_k и проекций при отсутствии однозначного обратного соответствия. Однако в случае $N=1$ (т.е. в одномерном пространстве) имеется взаимнооднозначное соответствие между пересечениями объектов и их проекциями на единственную в этом случае ось.

Введенные проекции пересечений N -мерных объектов, как обыкновенные проекции $P_k(x_r)$, так и маркированные проекции $P_k(x_r | i_1, \dots, i_k)$ – являются уже одномерными объектами, с которыми значительно проще работать. Для них общие N -мерные спектральные функции – обыкновенные (5) и маркированные (6) – переходят в соответствующие спектральные функции от одной переменной:

$$f_k(x_r) = \begin{cases} 1, & x_r \in E_{rk}^1, k = \overline{0, n}, r = \overline{1, N}; \\ 0, & x_r \notin E_{rk}^1, \end{cases} \quad (9)$$

$$G_k(x_r | i_1, \dots, i_k) = \begin{cases} 1, & x_r \in E_{rk}^1(i_1, \dots, i_k), k = \overline{1, n}, r = \overline{1, N}. \\ 0, & x_r \notin E_{rk}^1(i_1, \dots, i_k), \end{cases} \quad (10)$$

Согласно (9), k -я функция $f_k(x_r)$ принимает значение 1 в той части E_{rk}^1 оси x_r , где существует проекция $P_k(x_r)$ пересечения P_k , и значение 0 в тех частях, где эта проекция отсутствует. Поэтому функцию $f_k(x_r)$ можно назвать k -й обыкновенной 1-мерной спектральной функцией проекции $P_k(x_r)$ пересечения P_k на ось x_r . Аналогично, по (10), k -я функция $G_k(x_r | i_1, \dots, i_k)$ равна 1 в той части $E_{rk}^1(i_1, \dots, i_k)$ оси x_r , где есть проекция $P_k(x_r | i_1, \dots, i_k)$ пересечения $P_k(i_1, \dots, i_k)$, и рав-

на 0 в других частях, где эта проекция отсутствует. Поэтому $G_k(x_r | i_1, \dots, i_k)$ можно назвать k -й одномерной маркированной спектральной функцией проекций $P_k(x_r | i_1, \dots, i_k)$ пересечения $P_k(i_1, \dots, i_k)$ на ось x_r .

Совокупность всех функций $f_k(x_r), k = \overline{0, n}$ будем называть обыкновенным одномерным спектром изображения $P(1)$ вдоль оси x_r пространства $(r = \overline{1, N})$. Аналогично совокупность всех функций $G_k(x_r | i_1, \dots, i_k), k = \overline{1, n}$ назовем маркированным одномерным спектром изображения $P(1)$ вдоль оси x_r N -мерного пространства $(r = \overline{1, N})$.

Введенные одномерные спектры обладают свойством индикации участков соответствующих осей N -мерного пространства, на которых имеется проекция рассматриваемого пересечения объектов в данном пространстве. Из этого хорошо видно, что задачи 1 и 2 анализа изображения в N -мерном пространстве целесообразно пытаться решить путем их сведения либо к анализу одномерных спектров проекций этого изображения на все N осей этого пространства, либо просто к вычислению одномерных спектров вдоль параллельных прямых, пересекающих изображение.

Реализацию идеи, высказанной в предыдущем пункте, начнем с задач анализа изображений в одномерном пространстве, т. е. на прямой. Задача 1 при этом состоит в следующем. На оси x задано изображение P в виде совокупности n одномерных объектов – замкнутых интервалов $[a_i, b_i], i = \overline{1, n}$. Данная ситуация изображена на рис. 1. Эти интервалы могут взаимодействовать между собой, образуя различные пересечения. В результате изображение P распадается, согласно (1) на изображения: P_0 в области E_0^1 на оси x , не содержащей ни одного интервала; P_1 в области E_1^1 , содержащей только любые одиночные, не пересекающиеся с иными интервалы; P_2 в области E_2^1 , содержащей только попарно пересекающиеся интервалы, P_n в области E_n^1 , которая содержит только пересечение всех n интервалов. Задача заключается в нахождении областей $E_k^1, k = \overline{0, n}$, на оси x , содержащих изображения $P_k, k = \overline{0, n}$, в виде пересечения любого фиксированного числа k неконкретизированных (т. е. любых) интервалов.

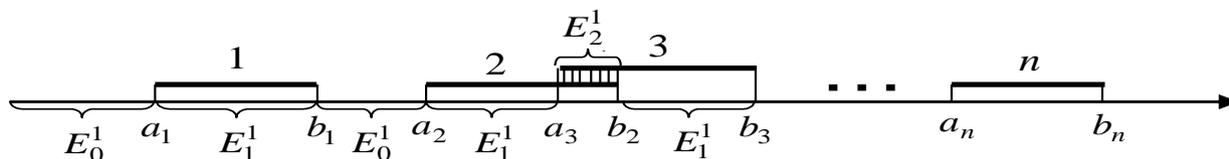


Рис. 1. Одномерное изображение

Будем интерпретировать точки оси x как моменты времени. Тогда задаче 1 с заданной системой пересекающихся интервалов можно поставить в соответствие математическую модель в виде конечного автомата без памяти (рис. 2)

с n двоичными входами $x_1, \dots, x_n, x_i \in \{0,1\}$, на которые подаются единичные импульсы $1(a_i, b_i)$ (по одному на каждый вход), существующие во временных интервалах (a_i, b_i) , соответствующих заданным интервалам ($i = \overline{1, n}$).

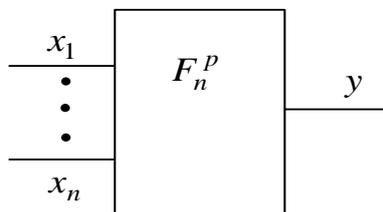


Рис. 2. Автоматная модель изображения

Этот динамический автомат имеет один двоичный выход $y, y \in \{0,1\}$, на котором реализуется фундаментальная симметрическая булева функция F_n^p индекса p ($p = \overline{0, n}$) n входных переменных x_1, \dots, x_n . Таким образом, выходная переменная автомата выражается через его входные переменные в виде

$$y^p = F_n^p(x_1, \dots, x_n); y, x_i \in \{0,1\}. \quad (11)$$

Как известно [4], фундаментальная симметрическая булева функция $F_n^p = 1$ лишь тогда, когда p любых ее аргументов равны 1, и $F_n^p = 0$ в остальных случаях. Таким образом, выходная переменная автомата-модели $y = 1$ только тогда, когда p любых его входных переменных x_i равны 1. Это означает, что на выходе этого автомата единичные импульсы вырабатываются в тех временных интервалах, в которых на его входах пересекается (действует одновременно) p входных единичных импульсов. Таким образом, по определениям (5), (9), автомат-модель (рис. 2) с реализуемой булевой функцией F_n^p вырабатывает на выходе обыкновенную одномерную спектральную функцию $f_p(x)$ переменной x , отмечающую своими единичными значениями области оси x , где пересекается p из n заданных интервалов $[a_i, b_i], i = \overline{1, n}$. Варьируя значение индекса p функции F_n^p автомата-модели от 0 до n , получим обыкновенный одномерный спектр $f(x) = \{f_0(x), f_1(x), \dots, f_n(x)\}$, составляющие которого есть функции, отмечающие области оси x , в которых пересекается любое возможное число p ($p = \overline{0, n}$) заданных интервалов $[a_i, b_i]$. Это и есть решение задачи 1 анализа изображения в 1-мерном пространстве.

Решение задачи 2 анализа изображения в одномерном пространстве отличается от изложенного выбором функции автомата-модели в виде

$$y = \Phi_n^k(x_1, \dots, x_n) = (x_{i_1}, \dots, x_{i_k})(\overline{x_{i_{k+1}} \vee \dots \vee x_{i_n}}), x_i, y \in \{0,1\}. \quad (12)$$

Итак, решение задач 1 и 2 анализа изображений (пространственных сцен) в двух- и трехмерном пространствах с помощью метода сечений сводится к решению этих задач в одномерном пространстве.

Заключение

В настоящей статье на основе разработанных ранее математического аппарата непрерывной логики [1] и логической теории динамических конечных автоматов [2–4] решена задача построения автоматной модели для анализа сложных пространственных сцен (изображений) любой размерности. От более ранней работы автора [5] представленная модель отличается усовершенствованными расчетными формулами, что облегчит практическое приложение разработанных ранее методов. Эта модель дает возможность выполнять практические расчеты, связанные с анализом реальных пространственных сцен, возникающих в технике. С математической точки зрения предложенная модель интересна тем, что ее структурной реализацией оказывается некоторый динамический автомат, входные процессы которого моделируют отдельные объекты сцены, а выходные процессы – взаимоотношения этих объектов. Таким образом, анализ пространственной сцены, т. е. определение взаимоотношения объектов сцены, сводится к вычислению выходных процессов автомата-модели сцены по его входным процессам. Последнее выполняется хорошо известными методами динамической теории автоматов.

Литература

1. Левин В. И. Непрерывная логика и ее применение // Информационные технологии. 1997. № 1. С. 17-22.
2. Левин В. И. Введение в динамическую теорию конечных автоматов. – Рига: Зинатне, 1975. – 376 с.
3. Левин В. И. Динамика логических устройств и систем. – М.: Энергия, 1980. – 224 с.
4. Левин В. И. Теория динамических автоматов. – Пенза: Пензенский государственный технический университет, 1995. – 408 с.
5. Левин В. И. Теория автоматов в задачах анализа сложных изображений // Наука и образование. 2005. № 2. – URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/49995.html> (дата обращения: 25.12.2017).

References

1. Levin V. I. *Nepreryvnaya logika i ee primenenie* [Continuous Logic and Its Application]. *Informacionnye tehnologii*, 1997, no. 1, pp. 17-22 (in Russian).
2. Levin V. I. *Vvedenie v dinamicheskuyu teoriyu konechnyh avtomatov* [Introduction to Dynamical Theory of Finite Automata]. Riga, Zinatne, 1975. 376 p. (in Russian).
3. Levin V. I. *Dinamika logicheskikh ustroystv i system* [Dynamics of Logical Devices and Systems]. Moscow, Energiya, 1980. 224 p. (in Russian).
4. Levin V. I. *Teoriya dinamicheskikh avtomatov* [Theory of Dynamical Automata]. Penza, Penza State Technological University, 1995. 408 p. (in Russian).

5. Levin V. I. Teoriia avtomatov v zadachakh analiza slozhnykh izobrazhenii [Automata theory in problems of analysis of complex images]. *Science and Education*, 2005, no. 2. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/49995.html> (accessed 25 December 2017) (in Russian).

Статья поступила 26 декабря 2017 г.

Информация об авторе

Левин Виталий Ильич – доктор технических наук, профессор, PhD, Full Professor. Заслуженный деятель науки РФ. Пензенский государственный технологический университет. Область научных интересов: логика; математическое моделирование в технике, экономике, социологии, истории; принятие решений; оптимизация; теория автоматов; теория надежности; распознавание; история науки; проблемы образования. E-mail: vilevin@mail.ru
Адрес: 440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11.

Dynamic Automata and Analysis of Complex Spatial Scenes

V. I. Levin

Relevance. In architectural design, in the construction of robotic systems, in military affairs and in a number of other areas, the problem of analyzing the relationship between objects of spatial scenes (images) is of great importance. It is important to choose an appropriate model for such an analysis, which allows you to quickly perform the necessary calculations. **The purpose** of the article is to develop an automata-logical model for the analysis of spatial scenes and the corresponding logical methods for performing the necessary computations that differ from known models and methods using constructive automata models and logical computational methods. **Method.** To achieve this goal, it was suggested to replace the traditional numerical methods for the analysis of spatial scenes by a new method in which the analysis model is a dynamic finite automaton whose input processes model individual objects of the scene, and the output processes are the relationships of these objects. **The novelty** of the work consists in constructing an adequate automata model for the analysis of spatial scenes, which makes it possible to reduce this analysis to the calculation of the output processes of the automata-model by its input processes. **Result.** The article elaborates the automata-logical model for the analysis of spatial scenes and the methods of its investigation, which allow us to introduce new indicators of the relationship between objects of scenes and to calculate their values by logical methods.

Keywords: continuous logic, dynamic automaton, spatial scene, image, scene analysis.

Information about Author

Vitaly Ilich Levin – Doctor of Technical Sciences, Full Professor. Honoured Scientist of Russia. Penza State Technological University. Field of Research: logic; mathematical modeling in technics, economics, sociology, history; decision making, optimization, recognition, automata theory, reliability theory, history of science, problems of education. E-mail: vilevin@mail.ru

Address: Russia, 440039, Penza, pr. Baydukova / Gagarin st., 1a/11.