

УДК 519.713.5, 528.854.4

Клеточно-локальный алгоритм выделения и оценки изменений на бинарных изображениях

Короткин А. А., Максимов А. А.

*Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова
150000, Россия, г. Ярославль, ул. Советская, 14
Северный банк ОАО «Сбербанк России»
150003, Россия, г. Ярославль, ул. Советская, 34*

e-mail: alakor@yandex.ru, alexmaksimoff@yandex.ru

получена 19 июля 2014

Ключевые слова: сравнение изображений, клеточный автомат, диффузия

Рассматривается задача выделения изменений и оценки степени этих изменений на динамически меняющемся во времени бинарном изображении некоторой сцены. Выделение изменений происходит за счет анализа двух кадров, полученных в моменты времени t' и $t'' > t'$ соответственно. В работе вводится числовая характеристика степени изменений областей, основанная на коэффициенте сходства Жаккара. Для ее вычисления предлагается архитектура двумерного клеточного автомата с диффузионным взаимодействием клеток. Доказана сходимости конфигураций клеточного автомата к стационарной конфигурации, которая определяет искомую характеристику для каждой области меняющегося изображения. Результат можно представить в виде полутонового изображения, что в значительной мере облегчает визуальный анализ динамики изменений. Предложенный подход может быть использован для выделения и количественной оценки изменений в случае, когда число градаций яркости изображений больше двух.

Введение

Одной из важных задач анализа динамически меняющегося изображения является задача выделения и количественной оценки изменений на двух кадрах K' и K'' , полученных экспонированием в одинаковых условиях некоторого участка пространства в моменты t' и $t'' > t'$ соответственно. За время $t'' - t'$ на рассматриваемом участке пространства по тем или иным причинам могут произойти изменения, которые приводят к различию между кадрами. Задачи подобного типа возникают в фотограмметрии при дистанционном зондировании Земли [1], в автоматизированных охранных системах и в ряде других приложений.

Рассмотрим задачу выделения изменений и оценки степени этих изменений в бинарном случае, когда каждый кадр интерпретируется как совокупность связанных

компонент черного цвета на белом фоне. Отметим, что здесь возникают определенные трудности с формализацией этой задачи, поскольку она связана с психологией человеческого зрения. В работе приводится алгоритм, который позволяет количественно оценить изменения отдельных областей динамически меняющегося изображения. При этом область изображения будет иметь в общем случае свою оценку степени изменения.

Предлагаемый алгоритм использует локальную однородную процедуру, итеративно и синхронно применяемую к каждому пикселю изображения. Адекватной моделью такого рода параллельных вычислений является двумерный клеточный автомат (КА). Поскольку многие задачи обработки изображений являются локально «клеточными» по своей природе, КА широко используются при их решении [2–4]. Ниже приводится описание КА для рассматриваемой задачи.

Особенностью предлагаемого КА является диффузионное взаимодействие между соседними клетками. Обычно КА с диффузионной динамикой используются в задачах моделирования физических процессов (см., например, [5, 8]). Что касается обработки изображений, диффузия применяется к задачам фильтрации [6, 7]. Идея использовать диффузионный процесс для решения задачи выделения изменившихся областей была предложена в работе [9], где описывалась аналоговая клеточная нейронная сеть со специальным типом взаимодействия элементарных процессоров. Существенный недостаток этой модели заключался в том, что внешнее воздействие на сеть осуществлялось изменением топологии сети — включением или выключением синаптических связей в зависимости от структуры связных компонент обрабатываемых кадров. Динамика сети описывалась системой обыкновенных дифференциальных уравнений и представляла собой диффузию потенциалов нейронных элементов. Моделирование этой системы конечно-разностной схемой не проводилось. В настоящей работе использование клеточно-автоматной парадигмы позволило избежать указанных недостатков.

Перейдем к формализации задачи выделения и оценки изменений на бинарном изображении.

1. Оценка изменений на бинарных изображениях

Рассмотрим задачу количественной оценки изменений на динамически меняющемся изображении в следующей постановке. Пусть K', K'' — пара черно-белых изображений (кадров), полученных экспонированием некоторого участка пространства в моменты t' и t'' . Далее через $K'(i, j), K''(i, j) \in \{0, 1\}$ будем обозначать функции яркости этих кадров, определенные на растровой прямоугольной решетке $\Omega = \{(i, j)\}$, $i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}$. Будем считать, что значение 0 соответствует белому пикселю, а 1 — черному. Изображение на каждом кадре будем рассматривать как совокупность связных компонент черного цвета на белом фоне.

Обычно для поиска и оценки изменений определяют функцию разности сравниваемых изображений $L(i, j) = |K'(i, j) - K''(i, j)|$. Единичные значения функции $L(i, j)$ будут соответствовать изменившимся пикселям. Функция $L(i, j)$ позволяет получить интегральные характеристики и оценить степень изменения всего кадра. Такой подход не дает возможности оценить *относительную степень* изменения *отдельных* областей изображения, которые могут существенно различаться.

На практике для визуального анализа динамически меняющегося изображения требуется классификация областей кадра K'' по степени их отличия от предыдущего состояния на кадре K' . Если понимать под областью изображения отдельную связную компоненту, то здесь возникает следующая проблема: для оценки степени их изменения необходимо установить соответствие между компонентами кадра K' и компонентами (возможно изменившимися) кадра K'' . При этом дополнительную трудность создают возможность исчезновения старых компонент, появления новых компонент, слияния компонент, их дробления и всевозможные комбинации вышеперечисленных изменений.

Ниже предлагается достаточно естественный подход, который позволяет количественно оценить изменения отдельных областей динамически меняющегося изображения без учета соответствия между компонентами двух кадров. При этом каждая область изображения будет иметь в общем случае свою оценку изменения.

Рассмотрим формальное изображение

$$K_{\cup} = K' \cup K'',$$

где теоретико-множественная операция объединения понимается в терминах функции яркости как $K_{\cup}(i, j) = K'(i, j) \vee K''(i, j)$, $(i, j) \in \Omega$. Бинарное изображение K_{\cup} , как и кадры K' и K'' , будем рассматривать как множество компонент связности черного цвета: $K_{\cup} = \{C_1, \dots, C_m\}$.

Пусть, как и выше, $L(i, j) = |K'(i, j) - K''(i, j)|$. Обозначим через L_1 множество пикселей кадра K'' , изменившихся относительно кадра K' :

$$L_1 = \{(i, j) \in \Omega : L(i, j) = 1\}.$$

Справедливо следующее утверждение: для любого пикселя $(i, j) \in L_1$ существует компонента связности C_r из K_{\cup} такая, что $(i, j) \in C_r$.

На рис. 1, где поясняются введенные определения, все четырнадцать изменившихся пикселей отмечены единицами на соответствующих компонентах объединения кадров.

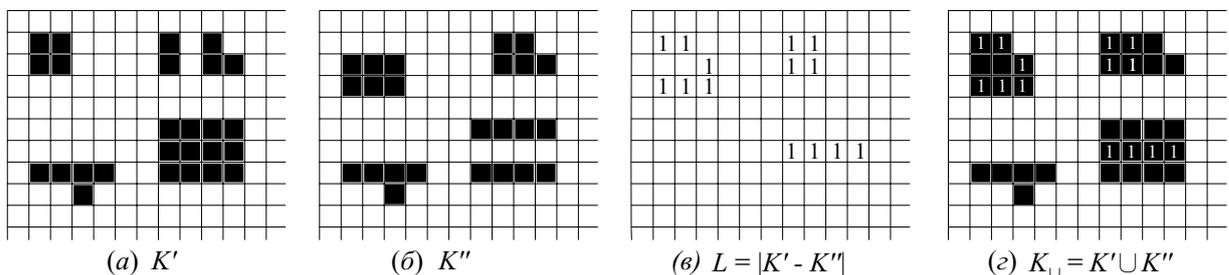


Рис. 1. Пример кадров K' , K'' , K_{\cup} и функции L

Далее через $|A|$ будем обозначать число пикселей в множестве $A \subset \Omega$. Пусть $C_r \in K_{\cup}$ — компонента связности на объединении кадров. Определим величину $\delta(C_r)$ следующим образом:

$$\delta(C_r) = \frac{|C_r \cap L_1|}{|C_r|}. \quad (1)$$

Равенство $\delta(C_r) = 0$ означает, что компоненты кадров K' и K'' , объединение которых образовало компоненту C_r на изображении K_\cup , совпадают, т. е. в соответствующей области изменений не произошло. Если же $\delta(C_r) = 1$, то это означает, что либо на кадре K' была компонента, совпадающая с C_r , и на кадре K'' она исчезла, либо наоборот — на кадре K'' появилась новая компонента, совпадающая с C_r .

Промежуточное значение $0 < \delta(C_r) < 1$ характеризует относительное число изменившихся пикселей в компонентах, образовавших C_r . В определенном смысле введенный коэффициент является дополнением до 1 меры сходства Жаккара, часто широко используемого при решении задач кластеризации данных.

Окончательным результатом сравнения кадров K' и K'' будем считать матрицу относительных изменений $\Delta = (\delta_{ij})$, $(i, j) \in \Omega$, где

$$\delta_{ij} = \begin{cases} \delta(C_r), & \text{если } (i, j) \in C_r \cap L_1, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Для визуального анализа результата можно представить матрицу Δ как полутонное изображение. При этом чем больше значение δ_{ij} , тем темнее цвет соответствующего пикселя. Пиксели белого цвета соответствуют значениям $\delta_{ij} = 0$. На рис. 2 приведен пример, иллюстрирующий предложенный подход.

Матрица Δ позволяет при необходимости визуализировать только существенные изменения на кадрах K' и K'' за счет исключения областей изменившихся пикселей, для которых $\delta_{ij} \leq \delta_0$, где δ_0 — заданное пороговое значение.

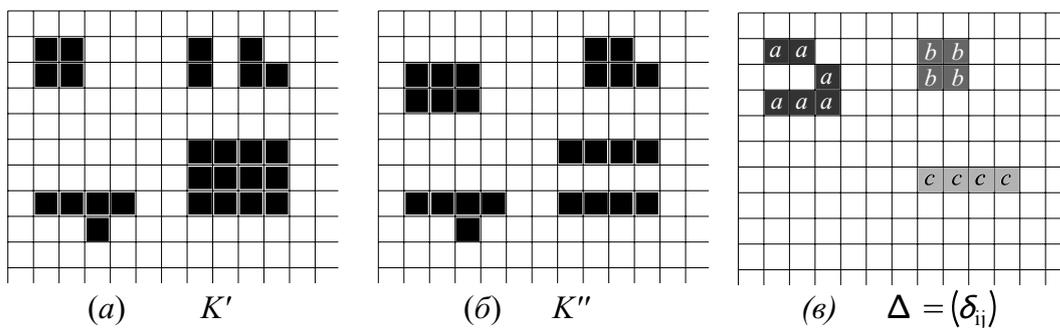


Рис. 2. Результат сравнения K' и K'' . Интенсивности затемнения выделенных клеток матрицы Δ пропорциональны величинам $a = 3/4$, $b = 4/7$, $c = 1/3$

Перейдем к вопросу вычисления матрицы Δ .

2. Двумерный клеточный автомат вычисления матрицы относительных изменений Δ

Двумерный клеточный автомат (КА) состоит из регулярной прямоугольной решетки $G = \{(i, j)\}$, $i = 1, \dots, M$, $j = 1, \dots, N$, клеток, каждая из которых может находиться только в одном из множества \mathcal{P} возможных состояний. Состояние $x_{ij}(t)$ каждой клетки $(i, j) \in G$ в момент времени t определяется предыдущими состояниями соседних клеток из окружающей окрестности $\mathcal{N}(i, j) \subset G$ и обновляется

синхронно в дискретные моменты времени в соответствии с некоторым правилом перехода \mathbf{f} :

$$x_{ij}(t+1) = \mathbf{f}(x_{ij}(t), \{x_{kl}(t)\}_{(k,l) \in \mathcal{N}(i,j)}), \quad t = 0, 1, 2, \dots$$

Далее под конфигурацией КА будем понимать матрицу $X(t) = [x_{ij}(t)]$.

Для решения задачи оценки изменений на бинарных изображениях определим двумерный КА на решетке $G = \Omega$. Множество состояний рассматриваемого КА представляет собой единичный отрезок, дополненный специальным значением: $\mathcal{P} = [0, 1] \cup \{-1\}$.¹ В качестве окрестности $\mathcal{N}(i, j)$ клетки (i, j) будем рассматривать окрестность Мура, которая состоит из восьми клеток, смежных с клеткой (i, j) : $(i + m, j + n)$, $m, n = -1, 0, +1$, $(m, n) \neq (0, 0)$.

Опишем функцию переходов КА. В начальный момент времени $t = 0$ все клетки автомата находятся в состоянии -1 :

$$x_{ij}(0) = -1. \quad (2)$$

Начиная с шага $t = 1$ динамика КА происходит в соответствии с уравнением

$$x_{ij}(t+1) = \mathbf{f}(x_{ij}(t), x_{\mathcal{N}(i,j)}(t), K'(i, j), K''(i, j)), \quad (3)$$

где $x_{\mathcal{N}(i,j)}(t) = \{x_{u,v}(t)\}$, $(u, v) \in \mathcal{N}(i, j)$, а функция перехода

$$\mathbf{f} = \begin{cases} 1, & \text{если } |K'(i, j) - K''(i, j)| = 1, \quad x_{ij}(t) = -1; & (a) \\ 0, & \text{если } K''(i, j) = 1, \quad x_{ij}(t) = -1, \quad \exists (u, v) \in \mathcal{N}(i, j) : x_{uv}(t) \geq 0; & (b) \\ x_{ij}(t) + \gamma \cdot \sum_{(u,v) \in \mathcal{N}(i,j), x_{uv}(t) \geq 0} [x_{uv}(t) - x_{ij}(t)], & \text{если } x_{ij}(t) \geq 0, & (c) \end{cases} \quad (4)$$

где параметр $\gamma > 0$.

Отметим, что функция перехода использует не только состояния клеток окрестности $\mathcal{N}(i, j)$, но и значения яркости пикселей (i, j) обрабатываемых кадров, которые играют роль т.н. «псевдососедей» [5]. Предлагаемая схема взаимодействия элементов КА приводится на рис. 3.

Поясним динамику конфигурации клеточного автомата, определяемую правилом (4). Начальное состояние всех клеток автомата одинаково и равно -1 (правило (2)). При $t = 1$ автомат реагирует на изменившиеся пиксели (i, j) (для которых $|K'(i, j) - K''(i, j)| = 1$), меняя состояние соответствующих клеток $x_{ij}(t)$ на 1 в силу соотношения (4а). При $t = 2$ каждая клетка (i, j) с $x_{ij}(t) = -1$ меняет свое состояние на 0, если соответствующий пиксель на кадре K'' – черный, и в окрестности $\mathcal{N}(i, j)$ есть клетка (u, v) такая, что $x_{uv}(t) \geq 0$ (правило (4б)).

Пусть $C_r \in K_{\cup}$ – компонента изображения K_{\cup} , которая содержит хотя бы один изменившийся пиксель. Очевидно, что начиная с некоторого момента t_0 все ячейки

¹Вообще говоря, в классическом определении КА множество возможных состояний \mathcal{P} предполагается конечным. В последнее время для описания сложной динамики и хаоса в распределенных системах различной природы активно используются КА с континуальным множеством \mathcal{P} . Такие автоматы часто называют решеткой связанных отображений (coupled map lattices – CML) [11].

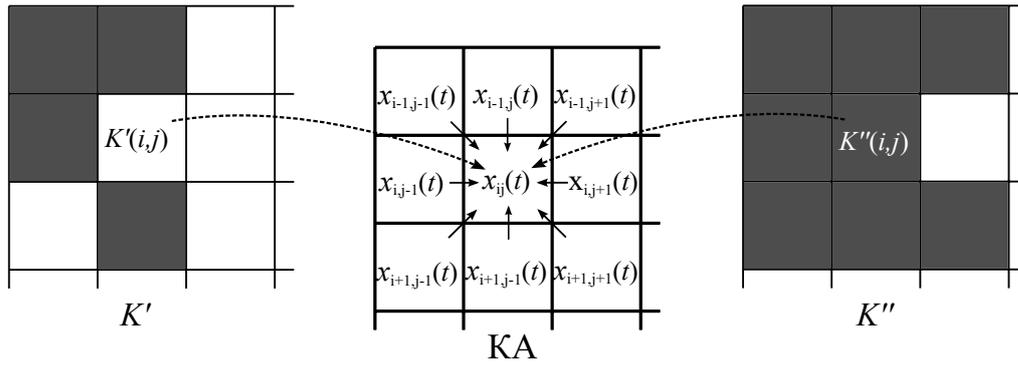


Рис. 3. Схема взаимодействия элементов КА

КА, соответствующие пикселям этой компоненты, перейдут в состояние $x_{ij}(t) \geq 0$, после чего начнут эволюционировать по правилу (4с). Правило (4с) при определенном значении параметра $\gamma > 0$ является конечно-разностным уравнением диффузии. Единичные состояния ячеек, соответствующих изменившимся пикселям (правило (4а)) начнут «размываться» по компоненте C_r , не выходя за ее границы. Ниже исследуется динамика КА, начиная с момента t_0 .

Предварительно отметим, что, начиная с первого шага, выполняется условие сохранения суммы неотрицательных состояний всех клеток компоненты C_r :

$$\sum_{(i,j) \in C_r: x_{ij}(t) \geq 0} x_{ij}(t) = \sum_{(i,j) \in C_r: x_{ij}(1) \geq 0} x_{ij}(1) = R, \quad (5)$$

где R — число изменившихся пикселей компоненты C_r .

Равенство (5) легко доказывается, если просуммировать разностное уравнение (4с) по всем клеткам $(i, j) \in C_r$ и учесть, что

$$\sum_{(i,j) \in C_r: x_{ij}(t) \geq 0} \sum_{(u,v) \in \mathcal{N}(i,j): x_{uv}(t) \geq 0} (x_{uv}(t) - x_{ij}(t)) = 0.$$

Рассмотрим связное множество $S \subset G$ клеток автомата с неотрицательными значениями $x_{ij} \geq 0$, соответствующих компоненте $C_r \in K_{\cup}$. Для удобства пронумеруем произвольным образом все клетки множества S индексами $i = 1, 2, \dots, n$. Пусть $A = [a_{ij}]$ — матрица смежности графа связности множества S : $a_{ij} = 1$, если клетки i и j — соседние и $a_{ij} = 0$ в противном случае. На рис. 4 приведен пример графа связности. Отметим, что максимальная степень вершин этого графа не превосходит 8, поскольку в КА используется структура связей, определяемая окрестностью Мура. Вектор состояний клеток $x_S(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ описывает конфигурацию компоненты S в момент времени t . Запишем динамику (3с) конфигурации $x_S(t)$ множества S в матричном виде

$$x_S(t+1) = D_{\gamma} x_S(t), \quad t = t_0, t_0 + 1, \dots, \quad (6)$$

где

$$D_{\gamma} = \begin{pmatrix} 1 - r_1\gamma & a_{12}\gamma & \dots & a_{1n}\gamma \\ a_{21}\gamma & 1 - r_2\gamma & \dots & a_{2n}\gamma \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}\gamma & a_{n2}\gamma & \dots & 1 - r_n\gamma \end{pmatrix}, \quad r_i = \sum_{j \neq i} a_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

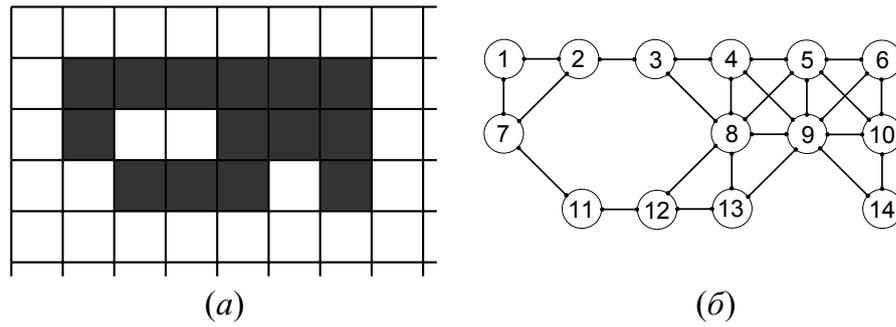


Рис. 4. Пример связной компоненты и ее графа

а t_0 , как и ранее, означает момент времени, начиная с которого состояния всех клеток множества S приняли неотрицательное значение.

Решение $x_S(t)$ линейной системы конечно-разностных уравнений (6) можно записать в виде

$$x_S(t) = D_\gamma^t x_S(t_0).$$

Если существует предельная матрица $D_\gamma^* = \lim_{t \rightarrow \infty} D_\gamma^t$, то предельная конфигурация $x_S^* = \lim_{t \rightarrow \infty} x_S(t) = D_\gamma^* x_S(t_0)$.

Определим ограничения на параметр диффузии γ , при которых существует ненулевой предел степеней матрицы D_γ . Для этого заметим, что при выполнении неравенств

$$0 < 1 - r_i \gamma < 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

симметрическая матрица D_γ является дважды стохастической, поскольку все элементы каждой строки (столбца) неотрицательны, а сумма их равна 1. Поскольку величины $r_i \leq 8$ выбор параметра $\gamma < 1/8$ гарантирует выполнение неравенств (7).

Пусть далее $\gamma \in (0, 1/8)$. Соответствующая матрице D_γ марковская цепь является регулярной, поскольку, во-первых, граф переходов цепи сильно связан и, во-вторых, диагональные элементы $1 - r_i \gamma$ матрицы D_γ положительны. Для регулярных марковских цепей с дважды стохастической матрицей переходов справедливо следующее утверждение [12]:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} D_\gamma^t = D_\gamma^* = \left(\frac{1}{n} \right).$$

Определим теперь предельное состояние x_S^* клеток автомата, соответствующих множеству ячеек S

$$x_S^* = \lim_{t \rightarrow \infty} x_S(t) = D_\gamma^* x_S(t_0) = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} x_i(t_0), \dots, \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} x_i(t_0) \right) = \left(\frac{R}{n}, \dots, \frac{R}{n} \right),$$

где R , как и ранее, означает число изменившихся пикселей компоненты. Последнее равенство следует из (5). Каждая клетка $x_{ij}^* \in S$ предельной конфигурации находится в состоянии

$$x_{ij}^* = \frac{R}{n} = \frac{|C_r \cap L_1|}{|C_r|} = \delta(C_r).$$

Таким образом, предельная конфигурация КА $X^* = [x_{ij}^*]$ позволяет получить требуемую матрицу изменений $\Delta = (\delta_{ij})$ по правилу

$$\delta_{ij} = \begin{cases} x_{ij}^*, & \text{если } x_{ij}^* \geq 0 \text{ и } |K'_{ij} - K''_{ij}| = 1; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

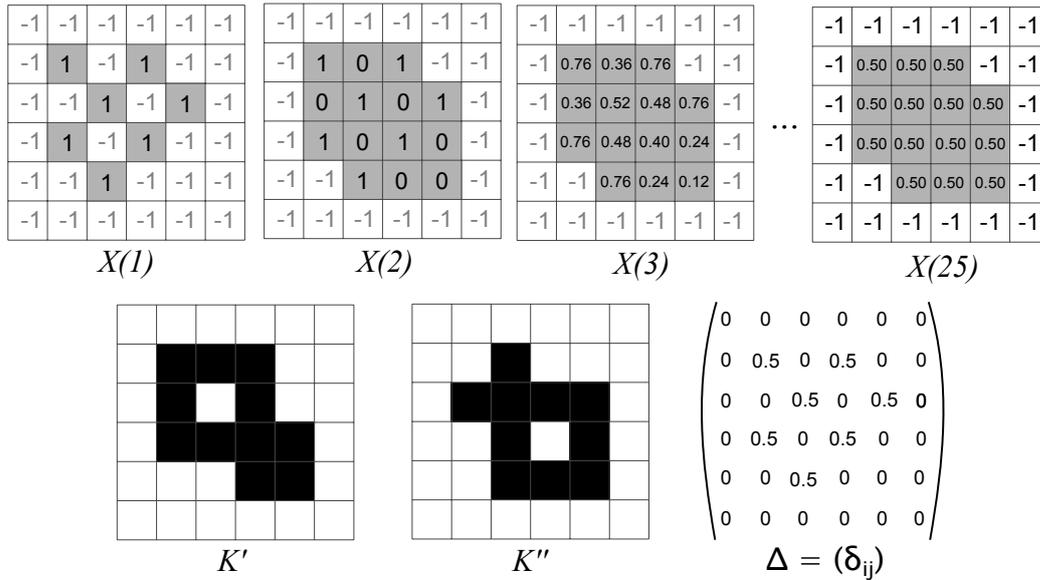


Рис. 5. Пример обработки изменившейся компоненты ($\gamma = 0.124$)

На рис. 5 приведены два кадра с одной изменившейся компонентой, искомая матрица изменений и последовательность $X(t)$ конфигураций КА при $t = 1, 2, 3, 25$ и параметре диффузии $\gamma = 0.124$. На 25-й итерации конфигурация КА находится практически в стационарном состоянии, т.к. значения всех клеток, соответствующих изменившейся компоненте, отличаются от предельного значения не более чем на 0.005.

3. Выделение и оценка изменений на полутоновых изображениях

Для случая полутоновых изображений обрабатываемые кадры K' и K'' задаются функциями яркости $K'(i, j), K''(i, j) \in \{0, 1, \dots, q - 1\}$, где $q > 2$ — число градаций яркости. Отметим, что в бинарном случае формализация и решение поставленной задачи основывалось на интерпретации каждого кадра как совокупности связанных компонент черного цвета на белом фоне. Для полутоновых изображений понятие компонент связности теряется, в связи с чем возникают трудности в оценке изменений между кадрами.

Опишем схематично возможный подход к решению этой задачи. Каждое полутоновое изображение K раскладывается в набор бинарных изображений $B_m = [b_m(i, j)]$,

$m \in \{0, 1, \dots, q - 1\}$ по следующему правилу:

$$b_m(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } K(i, j) \geq m; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Далее, каждое бинарное изображение из набора одного кадра сравнивается уже описанным выше клеточно-локальным алгоритмом с соответствующим ему бинарным изображением из набора другого кадра. В результате формируется набор матриц изменений $\Delta_m = [\delta_m(i, j)]$, $m = 0, 1, \dots, q - 1$.

Полученный набор Δ_m можно преобразовать в итоговую матрицу $\Lambda = [\lambda(i, j)]$ по следующему правилу:

$$\lambda(i, j) = \begin{cases} \delta_m(i, j), & \text{если } \delta_m(i, j) > 0, \nexists \delta_{m_0}(i, j) > 0 : m_0 > m; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Подробное описание и анализ этого алгоритма предполагается изложить в дальнейшем.

Заключение

В работе вводится числовая характеристика изменений отдельных областей на бинарных изображениях K' и K'' . Для ее вычисления разработана архитектура двумерного клеточного автомата с диффузионной динамикой. Доказана сходимости конфигураций КА к стационарной, которая и определяет искомую характеристику для каждой области меняющегося изображения. Результат можно представить в виде полутонового изображения, что в значительной мере облегчает визуальный анализ динамики изменений. Предложенный подход может быть использован для выделения существенных изменений в случае, когда число градаций яркости изображений больше двух.

Список литературы

1. *Кашкин В.Б., Сухинин А.И.* Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. М.: Логос, 2001. [*Kashkin V.B., Sukhinin A.I.* Distancionnoe zondirovanie Zemli iz kosmosa. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij. M.: Logos, 2001 (in Russian)].
2. *Preston K.J., Duff M.J.B., Leviardi S., Norgren P.E., Toriwaki J.* Basics on cellular logic with some applications in medical image processing // *Proceedings IEEE*. May 1979. Vol. 67, No. 5. P. 826–857.
3. *Preston K., Duff M.* Modern Cellular Automata. Theory and Applications. Plenum Press, 1984.
4. *Rosin Paul L.* Training Cellular Automata for Image Processing // *Image Analysis. Lecture Notes in Computer Science*. 2005. Vol. 3540. P. 195–204.
5. *Тоффоли Т., Марголюс Н.* Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991. (In English: *Toffoli T., Margolus N.* Cellular Automata Machines. Cambridge: MIT Press, 1987).

6. *Weickert J.* Theoretical foundations of anisotropic diffusion in image processing. ESMI Series, Teubner Verlag, Stuttgart, 1998.
7. *Борисенко Г.В., Денисов А.М.* Нелинейный источник в диффузионных методах фильтрации изображений // Журнал выч. мат. и мат. физ. 2007. Том 47. №10. С. 1701–1705. (English transl.: *Borisenko G.V., Denisov A. M.* Nonlinear source in diffusion filtering methods for image processing // Computational Mathematics and Mathematical Physics. October 2007. Vol. 47. Issue 10. P. 1631–1635).
8. *Бандман О.Л.* Клеточно-автоматные модели пространственной динамики // Системная информатика. Новосибирск: СО РАН. 2006. Вып. 10. С. 59–113. [*Bandman O.L.* Kletochno-avtomatnye modeli prostranstvennoj dinamiki // Sistemnaya informatika Novosibirsk: SO RAN. 2006. V. 10. P. 59–113 (in Russian)].
9. *Короткин А.А., Майоров В.В.* Нейронная сеть с диффузионным взаимодействием элементов для селекции изменений динамического изображения // Журнал выч. мат. и мат. физ. 2000. Т. 40, №2. С. 300–306. (English transl.: *Korotkin A.A., Majorov V.V.* A neural network with diffusive interaction between elements for selecting changes in a dynamic image // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2000. 40:2. P. 287–292.)
10. *Марманис Х., Бабенко Д.* Алгоритмы интеллектуального Интернета. Передовые методики сбора, анализа и обработки данных: Пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2011. (In English: *Marmanis H., Babenko D.* Algorithms of the Intelligent Web. Manning Publications Co. May, 2009).
11. *Kaneko K.* Theory and Application of Coupled Map Lattices. John Wiley&Sons Ltd, 1993.
12. *Феллер В.* Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М.: Мир, 1964. Т. 1. (In English: *Feller W.* An introduction to probability theory and its applications. 2d ed. New York: Wiley, 1957. Vol. 1.)

Cellular-local Algorithm for Localizing and Estimating Changes in Binary Images

Korotkin A. A., Maksimov A. A.

*P.G. Demidov Yaroslavl State University,
Sovetskaya str., 14, Yaroslavl, 150000, Russia Sberbank of Russia,
Sovetskaya str., 34, Yaroslavl, 150003, Russia*

Keywords: image comparison, cellular automaton, diffusion

In this paper we consider the problem of detection of changes and estimation of the degree of these changes in a dynamically changing binary image. The authors introduce the numerical characteristic degree of change areas in dynamically changing binary images, based on the Jaccard similarity coefficient. To calculate this characteristic the authors developed an original architecture of a two-dimensional cellular automaton with the diffusion dynamics. We establish that cellular automaton configurations converge to a stationary configuration. The stationary configuration of a cellular automaton defines the desired characteristics for each area in dynamically changing binary images. The result can be presented as a grayscale image, that greatly facilitates the visual analysis of the dynamics of changes in dynamically changing binary images. The suggested approach can be used to detect and numerically estimate changes in the case when a number of brightness gradation comprises more than two values.

Сведения об авторах:

Короткин Алексей Абрамович,

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,
канд. техн. наук, доцент

Максимов Александр Андреевич,

Северный банк ОАО «Сбербанк России»,
ведущий инженер