

МОДЕЛИРОВАНИЕ АППЛИКАТИВНЫХ ИСКАЖЕНИЙ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ПРОЗРАЧНОСТИ И СЛУЧАЙНОЙ ФОРМОЙ

*Калинин П.В., аспирант Воронежского государственного университета, e-mail: kalinin_pv@sc.vsu.ru;
Сирота А.А., д.т.н., профессор Воронежского государственного университета, e-mail: sir@cs.vsu.ru*

Ключевые слова: обработка изображений, аппликативные искажения, моделирование, случайная форма, область закрытия.

Введение

К числу основных задач, решаемых [1, 2, 3] в системах компьютерного зрения, относятся [0,0,0]: задачи сегментации изображений на компоненты, представляющие различные объекты сцены; задачи повышения визуального качества изображений; задачи объединения множества изображений одной и той же сцены в одно панорамное изображение; задачи получения 3D реконструкций на основе множества снимков одного и того же объекта с разных ракурсов; задачи классификации и распознавания объектов на изображениях.

Эффективному решению вышеописанных задач препятствует то, что изображения, формируемые в различных информационных системах, подвергаются воздействию помех, что затрудняет не только их восприятие человеком, но и обработку (контурный анализ, распознавание объектов) в автоматическом режиме. Как правило, возникающие на изображениях помехи носят аддитивный и импульсный характер. Импульсные помехи являются частным случаем аппликативных помех, действие которых проявляется в затенении (замещении) отдельных участков полезного изображения фрагментами со случайной амплитудой, текстурой, формой. Аппликативные помехи (АП) связаны с появлением различного рода неоднородностей, локальных областей аномальных значений, областей закрытия и пораженных участков.

Модели аппликативных помех могут использоваться как при разработке алгоритмов, направленных на их устранение, так и при решении других задач, например, задачи сегментации облаков на изображениях [4]. При моделировании аппликативных помех важны следующие характеристики: площадь генерируемых закрытий, форма помех (изотропная, анизотропная), нерегулярность и связность формы, прозрачность помехи. Недостатками одних алгоритмов [5, 6] является отсутствие возможности определить степень прозрачности закрытия, заранее задать его площадь, а также ограниченность возможностей по моделированию формы. Другие алгоритмы моделирования аппликативных помех, например [7], позволяют заранее определять площадь локальных закрытий, однако для больших значений площадей они генерируют локальные закрытия, близкие по форме к эллипсу или кругу, то есть не позволяют получать помехи с достаточно случайной формой. В существующей литературе в недостаточной степени рассматривался вопрос генера-

Разработана обобщенная модель аппликативных помех на изображениях в виде локальных областей закрытия с различной степенью прозрачности и случайной формой. Рассмотрены различные варианты реализации алгоритмов моделирования аппликативных помех с возможностью управления параметрами интенсивности, связности, прозрачности и степени нерегулярности формы.

ции полупрозрачных аппликативных помех. С целью решения описанных задач в данной работе рассматривается обобщенная модель генерации аппликативных помех, позволяющая создавать локальные закрытия произвольной площади и случайной формы с одновременным достижением эффекта полупрозрачности.

Обобщенная модель генерации аппликативных помех случайной формы с различной степенью прозрачности

Аппликативное искажение характеризуется воздействием в отдельных областях исходного изображения и приводит к «замещению» ее элементов неинформативными фрагментами другой природы. В качестве исходной модели наблюдаемого изображения в присутствии АП будем рассматривать его представление как реализации случайного поля, заданного на квадратной дискретной сетке:

$$f(x, y) = (1 - \eta(x, y)) [s(x, y) + v(x, y)] + \eta(x, y) w(x, y), \quad x, y = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где $s(x, y)$ – исходное случайное поле; $\eta(x, y)$ – бинарное случайное поле, определяющее расположение локальных областей закрытия с любыми параметрами периодичности, площади и формы ($\eta(x, y) \in \{0, 1\}$); $v(x, y)$ – случайное поле аддитивного шума ($M\{v(x, y)\} = 0$, $M\{v(x, y)v(x', y')\} = R_v(x - x', y - y')$); $w(x, y)$ – случайное поле, характеризующее значение яркостных характеристик элементов областей закрытия (аппликативной помехи). Конкретное определение АП предполагает задание модели размещения и формы областей закрытия, а также статистические характеристики $w(x, y)$. Поле $w(x, y)$ может быть выбрано произвольным (например, как гауссовское случайное поле), поэтому в дальнейшем мы сосредоточим внимание на процедуре генерации поля $\eta(x, y)$.

Будем рассматривать реализацию АП как совокупность локальных областей закрытия (ЛОЗ) – пятен некоторой формы и текстуры, замещающих фрагменты изображения и уничтожающих полезную информацию. При генерации каждой реализации АП предлагается выде-

лить два этапа: этап генерации так называемых *порождающих точек* – условных центров ЛОЗ, и этап генерации формы и текстуры АП в пределах каждой ЛОЗ.

Процесс появления *порождающих точек* будем описывать пуассоновским потоком ЛОЗ с заданной интенсивностью Λ . В соответствии с этим, количество таких точек в области изображения площадью V подчиняется распределению

$$P(S) = \frac{(\Lambda V)^S}{S!} \exp(-\Lambda V), \quad V = (N\Delta x) \times (N\Delta y),$$

$$x, y = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где $\Delta x, \Delta y$ – дискреты задания координатной сетки. При этом вероятность появления порождающей точки в каждом элементе изображения определяется как

$$P_\Lambda \cong \Lambda \Delta x \Delta y + O(\Delta x \Delta y),$$

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0, \Delta y \rightarrow 0} \frac{O(\Delta x \Delta y)}{\Delta x \Delta y} = 0. \quad (3)$$

Физический смысл подобной модели очевиден: порождающие точки равновероятно распределены в области изображения; при этом параметр Λ позволяет управлять количеством таких точек и соответствующих им ЛОЗ.

Далее для каждой порождающей точки введем случайную целочисленную величину n , значения которой определяют площади ЛОЗ, образующихся в окрестности порождающих точек. При задании n может использоваться любой закон распределения, например в [7, 8] предлагается использовать пуассоновский закон распределения с заданной интенсивностью λ . При этом с учетом присутствия порождающей точки

$$P(n) = \frac{\lambda^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda}, \quad n \geq 1,$$

$$E[n] = \sum_{n=1}^{\infty} n \frac{\lambda^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda} = \lambda + 1 = \frac{S}{\Delta x \Delta y}, \quad (4)$$

где S – имеет смысл средней площади ЛОЗ. С учетом этого результирующий процесс образования АП может рассматриваться как маркированный, или сложный пуассоновский процесс, где с каждой точкой простого потока связана случайная величина, определяющая площадь локальной области закрытия.

Теперь подробно рассмотрим предлагаемый обобщенный алгоритм генерации формы аппликативной помехи для каждой полученной порождающей точки. Алгоритм применяется для генерации формы каждого ЛОЗ *отдельно*, то есть помеха представляется как суперпозиция независимо сгенерированных локальных закрытий. Алгоритм базируется на последовательном наращивании искаженной области вокруг каждого центра локального закрытия путем выбора новых искаженных пикселей, граничащих с уже искаженными. В стандартном режиме генерации АП [7, 8], в соответствии с моделью (1), для каждого пикселя вводятся состояния: искажен – не искажен (1 или 0). Для того чтобы получить более сложные формы ЛОЗ, обладающие свойством полупрозрачности, относительные значения которой варьируются в интервале $[0, 1]$, данный подход необходимо

расширить за счет усложнения структуры модели. Предполагается, что генерация формы помехи производится на бесконечной квадратной решетке. Каждому узлу соответствует его значение прозрачности $\hat{I}(i, j) \in [0, 1]$, на основе которого формируется поле $\eta(x, y)$.

В процессе генерации иметь дело со значениями прозрачности напрямую не всегда удобно, в частности, из-за того, что значения меньше 0 и больше 1 не допускаются. Решить данную проблему можно введя дополнительную величину $I(i, j) \in R$, однозначно связанную с $\hat{I}(i, j)$ некоторым отображением M . Например, в роли $I(i, j)$ может выступать концентрация вещества физической среды, закрывающей изображение в данном узле решетки. Так, для случая закрытия изображений облачными образованиями, значения I могут определяться значениями высоты (толщины) облака по каждой конкретной координате. Можно предположить следующее: если в некоторой точке сконцентрировано значительное количество вещества, то данная ситуация должна повышать ожидаемую концентрацию вещества и для близлежащих точек. Для учета указанных факторов $I(i, j)$ определяется как случайная величина с условным распределением $I(i, j) \sim p_I(x | I, i, j)$, отражающим зависимость значений прозрачности АП в данной точке от окружающих точек.

В процессе наращивания области закрытия в итеративном режиме на каждом шаге производится выбор следующего узла для искажения. При этом вероятность выбора считается ненулевой для еще неискаженных узлов, которые попадают в некоторую маску расширения U (рис. 1). Маска используется следующим образом. Своим центром (черный цвет) она помещается на уже искаженный пиксель. Все неискаженные пиксели, попадающие в зону расширения маски (серый цвет), становятся кандидатами на искажение. Применение данной маски ко всем искаженным пикселям позволяет получить координаты всех потенциальных кандидатов на искажение на данном шаге итерации.

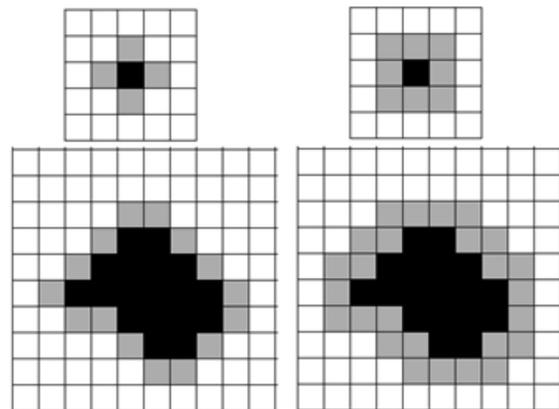
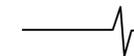


Рис. 1. Примеры маски расширения U (вверху) и результаты ее применения к искаженным пикселям на некотором этапе итерации (внизу): слева - маска U_4 , справа - маска U_9

Простейший способ определения следующего искажаемого узла состоит в случайном выборе одного из узлов множества потенциальных кандидатов, считая их равновероятными. Но, так как данный подход является



ограниченным и ведет к снижению степени нерегулярности формы ЛОЗ, логичнее воспользоваться другим подходом. Каждому элементу множества кандидатов на искажение ставится в соответствие обновляемая на каждом шаге величина $p_{distortion}(i, j)$, определяющая вероятность его выбора. Значения данного распределения могут пересчитываться на основе значений поля I , однако наибольшая гибкость достигается, если отделить значения, влияющие на прозрачность, от значений, влияющих на форму. С этой целью вводится поле D , определенное в узлах решетки и содержащее всю информацию, требуемую для пересчета $p_{distortion}(i, j | D)$.

Одним из простейших способов задания D является следующий подход. Можно положить, что каждый искаженный элемент решетки генерирует вокруг себя направленное или ненаправленное искажающее воздействие, увеличивающее вероятности искажения окружающих его элементов. Тогда, для каждого узла $D(i, j)$ может включать как одно значение, характеризующее силу ненаправленного искажающего воздействия, так и несколько, характеризующих силу и направление искажающего воздействия. Далее в конкретных алгоритмах, приведенных в работе, используется одно значение, т.е. D является скалярным. Значения $D(i, j)$ определяются на вероятностной основе: $D(i, j) \sim p_D(x | D, I(i, j), i, j)$. Данная запись отражает то, что сила искажающего воздействия узла может зависеть только от значения концентрации «вещества» $I(i, j)$ в данной точке. Зависимость от остальных значений I в других точках не учитывается. При этом сила и направление искажающего воздействия в данном узле могут зависеть от соответствующих величин в соседних узлах, для чего вводится зависимость от значений поля D остальных узлов. Координаты (i, j) в приведенных условных распределениях можно использовать не только для индексации позиции узлов, но и для моделирования неоднородности введенных случайных полей.

С учетом приведенных обоснований, общий алгоритм генерации формы локальных закрытий относительно порождающей точки (в соответствии с разработанной моделью) приведен на блок-схеме рис. 2. Данный алгоритм позволяет одновременно моделировать прозрачность, форму, а также зависимость между формой и прозрачностью аппликативной помехи.

В общем случае, уже сгенерированные значения I, D для искаженных узлов могут меняться в процессе последующего выполнения алгоритма. Однако это вносит дополнительные сложности и увеличивает объем вычислений за счет необходимости пересчета значений уже искаженных пикселей на каждом шаге алгоритма. Поэтому в предлагаемой модели данные изменения игнорируются и значения I, D считаются неизменными от шага к шагу.

Для инициализации алгоритма необходимо выбрать порождающую точку – условный центр помехи с координатами (i, j) , относительно которой будет произ-

водиться генерация формы локального закрытия, начальные распределения $I(i, j) \sim p_I^0(x | i, j)$ и $D(i, j) \sim p_D^0(x | I(i, j), i, j)$ для центра помехи, а также условие останова, например, значение максимального количества искаженных пикселей (площадь ЛОЗ).

По завершении работы алгоритма возможно выполнение различной постобработки, например: сглаживание, масштабирование, повороты, с тем чтобы достичь желаемых статистических характеристик.

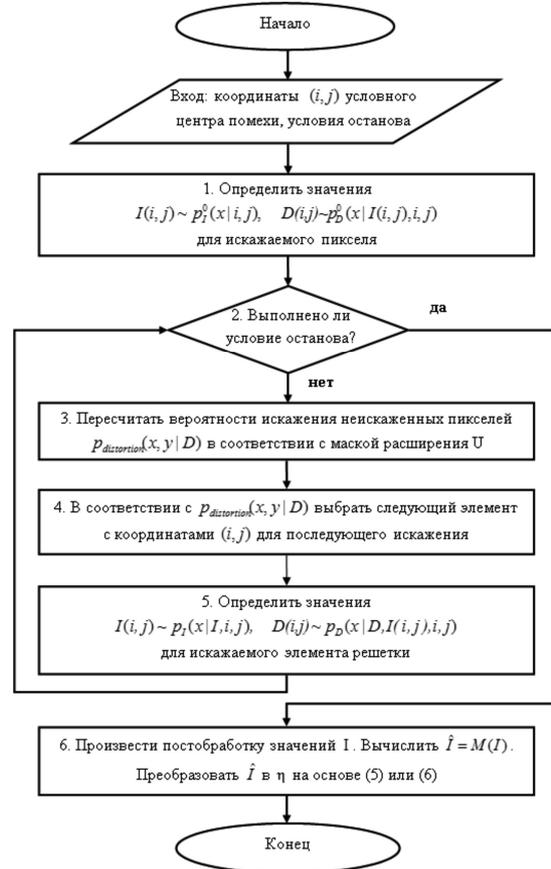


Рис. 2. Блок-схема обобщенного алгоритма генерации аппликативных помех на изображениях

Значения $\eta(i, j)$ на основе значений прозрачности $\hat{I}(i, j)$ можно определить двумя различными способами. Согласно первому способу, значение вероятности искажения устанавливается либо 0, либо 1, на основе сравнения $\hat{I}(i, j)$ со значением равномерно распределенной случайной величины, принимающей значения в интервале $[0, 1]$:

$$\eta(i, j) = \begin{cases} 1, & p(\eta(i, j) = 1) = \hat{I}(i, j); \\ 0, & p(\eta(i, j) = 0) = 1 - \hat{I}(i, j) \end{cases} \quad (5)$$

В данном случае помеха полностью замещает значения искаженных пикселей. Согласно второму способу, помеха просто смешивается с изображением:

$$\eta(i, j) = \hat{I}(i, j). \quad (6)$$

Второй способ является стандартным подходом в компьютерной графике и широко используется в различных средах (например, в VisualStudio) для моделирова-

ния прозрачности. Как правило, он реализуется путем добавления четвертого канала (к основным трем каналам) – канала альфа-значений.

Следует отметить, что второй способ не совсем точно соответствует классическому определению аппликативной помехи, однако применение данного понятия оправдывается тем, что он является предельным случаем первого способа при уменьшении размера ячеек дискретной решетки. При этом интенсивности изображения и помехи начинают сливаться, и достигается эффект, характерный для первого способа моделирования искажения. Иллюстрацией этого могут служить приведенные далее иллюстративные примеры. Приближая и удаляя изображения, можно видеть, что при достаточной степени удаленности, различные способы дают примерно одинаковый эффект.

Частные алгоритмы генерации аппликативных помех с различной степенью прозрачности

В [7] был предложен алгоритм формирования изотропных пятен случайной формы, площадь которых подчиняется заданному распределению. На первом шаге для порождающей точки ЛОЗ искажается один ближайший к ее центру пиксель. Далее, на каждом шаге искажается один примыкающий к ранее полученному образованию пиксель, который выбирается равновероятно среди всех точек, образующих границу этого образования. Указанный процесс продолжается до достижения заданного значения площади ЛОЗ.

Даная модель может быть получена как частный случай предлагаемого обобщенного алгоритма, если положить: $p_I^0(x|i, j) = p_I(x|I, i, j) = \delta(x-1)$, где $\delta(x)$ – дельта функция Дирака. Вероятность $p_{distortion}(i, j|D)$ можно считать одинаковой для всех неискаженных пикселей, соседствующих (в соответствии с маской расширения U) с уже искаженными пикселями:

$$p_{distortion}(i, j|D) = \frac{1}{N^{(t)}}, \quad (7)$$

где $N^{(t)}$ – количество элементов-кандидатов на искажение на шаге t . Поле $D(i, j)$ полагается скалярным, а его значения определяют, искажен или нет заданный пиксель. Остальные параметры игнорируются. Пример генерации помех, в соответствии с данным алгоритмом, приведен на рис. 3а.

Рассмотрим различные комбинации параметров данного частного алгоритма. Маску расширения будем считать фиксированной и положим ее равной U_4 (рис. 1, слева). В исходном варианте алгоритма не выполняется никакой постобработки. Введем дополнительную постобработку, заключающуюся в сглаживании получаемого поля I гауссовым фильтром. Это позволяет добиться эффекта прозрачности на краях искажения. Пример сглаживания помехи при размере окна фильтра 15x15 и дисперсии гауссова фильтра, равного 1.5, приведен на рис. 3б. Заметим, что значение 1 соответствует полной непрозрачности, 0 – полной прозрачности. Соответственно, чем ярче пиксель, тем ниже степень его прозрачности.

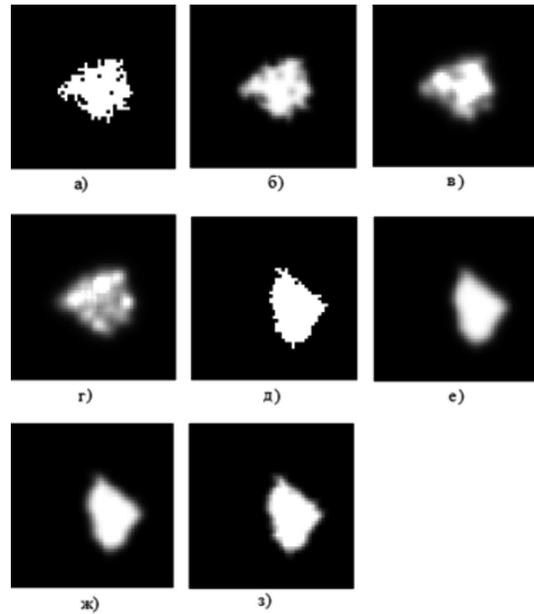


Рис. 3. Примеры генерируемых локальных областей закрытия (площадь – 250 пикселей)

До текущего момента считалось, что $p_I(x|I, i, j)$ дает ненулевую вероятность только значению 1. Попробуем усложнить данное распределение.

Пусть $p_I^0(x|i, j) = p_I(x|I, i, j) = \lambda e^{-\lambda \cdot x}$. Положим $\lambda = 1$. В данном случае значения $I(i, j)$ больше не принадлежат интервалу $[0, 1]$. Поэтому, после выполнения сглаживания гауссовым фильтром, все значения, превышающие 1, положим равными 1. Результат генерации показан на рис. 3в.

Пример другого варианта выбора параметра, заключающийся в генерации значений на основе смеси экспоненциально распределенной и модуля гауссовой случайной величин, приведен на рис. 3г, где $\alpha = 0.5$, $\lambda = 1$, $\sigma = 1$, $\mu = 0$:

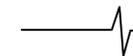
$$I(i, j) = \alpha \cdot \xi_1 + (1 - \alpha) \cdot |\xi_2|, \quad (8)$$

где

$$\xi_1 \sim \lambda e^{-\lambda \xi_1}, \xi_1 \geq 0, \quad \xi_2 \sim \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\xi_2 - \mu)^2}{2\sigma^2}}.$$

Отметим, что в вышеописанных примерах поле D использовалось только для обозначения координат искаженных пикселей. Следствием этого упрощения является то, что при больших значениях площади закрытие принимает форму круга или эллипса, в соответствии с заданными параметрами. Для моделирования реальных помех это не всегда желательно, так как известно, что их форма обычно нерегулярна. В то же время, при генерации по данным алгоритмам форму помех с небольшой площадью можно считать случайной. В совокупности с тем, что форма помехи должна быть связанной, наличие изолированных искаженных пикселей не допускается. Задача получения нерегулярной формы для больших площадей закрытия достаточно сложна.

Для получения помех случайной формы с большей площадью, в соответствии с приведенным обобщенным



алгоритмом, будем использовать следующий подход. Как и ранее, условием останова будем считать накопленную площадь искажения. Степень анизотропии локальных закрытий определяется конкретной процедурой определения поля D (в данном случае скалярного) и выбора следующего искажаемого пикселя

$$p_{distortion}(i, j | D).$$

$$p_I^0(x) = p_I(x | I, i, j) = \delta(x - 1), \quad (9)$$

$$p_D^0(x | I(i, j), i, j) = p_D(x | D, I(i, j), i, j) = p_D(x).$$

Будем использовать маску расширения U_4 . Конкретные значения распределения $p_D(x)$ и алгоритм определения $p_{distortion}(i, j | D)$ определяют итоговую форму помехи. При проведении экспериментов удачным оказался следующий вариант: вместо явного задания распределения $p_D(x)$ использовалась генерация значения x на основе следующего выражения:

$$x = \lambda^n, p(\lambda) = \alpha \exp(-\alpha\lambda), \quad (10)$$

где $M\{\lambda\} = \alpha^{-1}$. Данная случайная величина подчиняется распределению

$$p(x) = \frac{\alpha}{n} x^{n-1} \exp(-\alpha^n \sqrt{x}), \quad (11)$$

с математическим ожиданием

$$M\{x\} = \alpha^{-n} \Gamma(1 + n), \quad (12)$$

где $\Gamma(x)$ – гамма функция. Достаточно хорошие результаты при моделировании формы помехи были получены при $n = 8, \alpha = 2$.

Вероятность $p_{distortion}(i, j | D)$ будем определять по следующему алгоритму. Пусть C – массив координат уже искаженных пикселей. Для каждого пикселя с координатами (i, j) , являющегося соседним к искаженным пикселям, в соответствии с маской U_4 определим фактор, пропорциональный вероятности его выбора на следующем шаге, вычисляемый по формуле

$$F(i, j | D) = \sum_{(x,y) \in C} D(i, j) \cdot e^{-\beta \sqrt{(x-i)^2 + (y-j)^2}}. \quad (13)$$

После нормализации данного фактора получается искомое распределение $p_{distortion}(i, j | D)$, позволяющее выбрать следующий искажаемый пиксель. В ходе экспериментов было установлено, что достаточно высокая степень нерегулярности для ранее выбранных параметров достигается при $\beta = 1.5$.

Примеры генерации формы помехи в соответствии с данным алгоритмом без сглаживания и с различными параметрами сглаживания (дисперсия гауссова фильтра равна 1.5, размер окна 15x15, 5x5, 3x3 соответственно) показаны на рис. 3д, е, ж, з. Как видно из рисунков, при использовании данного подхода наблюдается более высокая реалистичность помехи, чем при использовании подхода из [7]. Отметим, что данный подход позволяет

получать достаточно случайную форму ЛОЗ с большим количеством пикселей (более 10 000). Однако, при необходимости получения формы локального закрытия, содержащего значительно большее количество пикселей, наиболее логичным подходом будет использование 6-го шага алгоритма – генерации помехи относительно небольшой площади и последующее ее масштабирование до желаемых размеров. Дополнительные примеры закрытий, сформированных по данному алгоритму и выбранных случайным образом, с площадью искажения 2500 пикселей, приведены на рис. 4. Результаты применения различных параметров прозрачности и сглаживания помехи на тестовом изображении приведены на рис. 5, 6. Интенсивность значений помехи на данных рисунках полагалась равной 127.

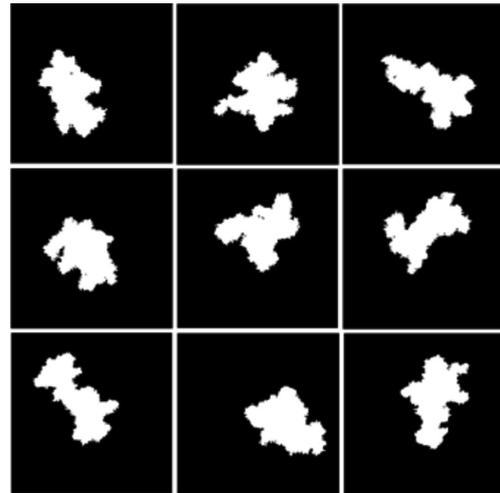


Рис. 4. Примеры генерации помех со случайной формой. Размер пятна – 2500 пикселей

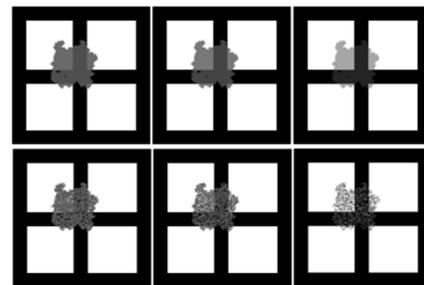


Рис. 5. Примеры генерируемых локальных областей закрытия без размытия с различными параметрами прозрачности – 10%, 20%, 50% (слева направо): сверху – прозрачность на основе формулы (6), внизу – на основе формулы (5)

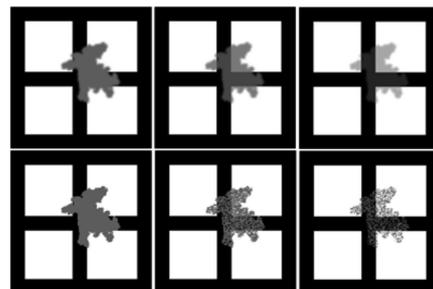


Рис. 6. Примеры генерируемых локальных областей закрытия с различными параметрами прозрачности – 0%, 20%, 50% (слева направо): сверху – прозрачность на основе формулы (6) (с размытием), внизу – на основе формулы (5) (без размытия)

Заключение

Предложенный подход позволяет достаточно эффективно моделировать полупрозрачные случайные аппликативные помехи. По сравнению с существующими методами он дает конкретные алгоритмы, генерирующие закрытия с произвольной случайной формой и площадью. Приведенные алгоритмы моделирования закрытий с различной степенью прозрачности позволяют эффективно достигать визуально правдоподобного результата.

Литература

1. Методы компьютерной обработки изображений/под ред. В. А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2011. – 832p.
4. Ветров А.А., Кузнецов А.Е. Сегментация облачных объектов на панхроматических изображениях земной поверхности // Цифровая обработка сигналов. – 2011. – №3.
5. Robidoux N., Stelldinger P., Cupitt J. Simple random generation of smooth connected irregular shapes for cognitive studies // C3S2E '11 Proceedings of The Fourth

International C* Conference on Computer Science and Software Engineering. – 2011. – P. 17-24.

6. Auer T., Held M. Heuristics for the Generation of Random Polygons // Proceedings of the 8th Canadian Conference on Computational Geometry. – 1996. - P.38-43.

7. Сирота А.А., Попов В.Г. Статистические и нейросетевые алгоритмы восстановления цифровых изображений в условиях аппликативных искажений // Вестник ВГУ. Сер. Системный анализ и информационные технологии. - 2006. - №1. – С. 54-62.

8. Алгазинов Э.К., Сирота А.А. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем. М.: Диалог-МИФИ, 2009. – 416 с.

MODELING OF APPLICATIVE NOISE WITH RANDOM SHAPE AND VARIOUS DEGREES OF OPACITY

Kalinin P.V., Sirota A.A.

A new generalized model of applicative noise on images represented as a set of local occlusions with various degrees of opacity and random shapes is proposed. Different implementations of applicative noise modeling algorithms that allow to control intensity, connectivity, opacity, and irregularity of shapes of occlusions are considered.



SAMSUNG ELECTRONICS ПРИГЛАШАЕТ НА РАБОТУ ПРОГРАММИСТОВ, МАТЕМАТИКОВ, ИНЖЕНЕРОВ

Samsung Electronics Co., Ltd. – мировой лидер в разработке цифрового, телекоммуникационного и полупроводникового оборудования – приглашает на работу разработчиков, программистов и инженеров в исследовательские центры компании в Республике Корея (Южная Корея).

Особый интерес представляют специалисты следующих направлений:

- **Разработка программного обеспечения, информационная безопасность, криптография** (C/C++, Linux, Embedded Linux, Android, Java, RTOS, UI, RTOS, Security)
- **Разработка мобильных устройств, мультимедийных систем, цифровая обработка сигналов** (Smartphone, Messaging, Multimedia, Streaming, RIL, DSP)
- **Разработка систем цифрового телевидения** (Digital TV, Set-Top Box, FPGA, Verilog HDL, SoC, 3D Display, Metamaterials)
- **Разработка антенных устройств, радиоэлектронных систем, устройств для телекоммуникации и сетевых технологий** (Antenna Design, ASIC Design, Integrated Circuits, FPGA, HW / SW Co-Design, System LSI, TCP / IP Protocol, VoIP, OFDM-MIMO)

Требования к кандидатам:

- Образование: высшее / ученая степень кандидата технических / физико-математических наук в области программирования, кибернетики, прикладной математики, телекоммуникаций, радиоэлектроники, полупроводниковой физики, наук о материалах, химии;
- Опыт работы: научная / исследовательская работа / прикладные разработки (**по одному из вышеперечисленных направлений**) НЕ МЕНЕЕ 3~5 ЛЕТ;
- Английский язык: хорошее владение английским языком (устным и письменным).

Дополнительная информация: <http://JOB.samsung.ru>

Электронная почта: JobFair@samsung.com