

07;12

О возможности распределенной ассоциативной записи информации методом взаимоналожения изображений

© А.А. Кальнин, А.С. Носов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, 197376 Санкт-Петербург, Россия

(Поступило в Редакцию 7 апреля 1997 г.)

Изложен принцип распределенной ассоциативной записи оптических изображений путем регистрации на фоточувствительной среде суммарного сигнала от множества взаимоналоженных изображений с их случайным пространственным смещением. Метод, сохраняя основные качества, свойственные голографическому, не требует использования источников когерентного или монохроматического излучения. Приведены результаты экспериментальной апробации метода.

Принцип метода

Предлагаемый принцип распределенной ассоциативной записи информации является в известной мере синтезом оптических [1] и нейросетевых [2–4] способов реализации ассоциативной памяти. В краткой формулировке он может быть представлен как метод детектирования самоподобия изображений путем их многократных случайных взаимоналожений и селекции "ярких всплесков" — ассоциатов разных частей полного изображения. Записанная таким образом на носителе информации система ассоциатов, каждый из которых содержит информацию от многих частей изображения, является его условным кодовым представлением (плюрограмма).

Рис. 1 поясняет запись и восстановление целого изображения по его части. Изображение *I*, например, в виде светящегося символа *A* с помощью пластины с множеством случайно расположенных отверстий малого диаметра *2* многократно воспроизводится на плоскости фоточувствительного материала *3*. Случайные взаимона-

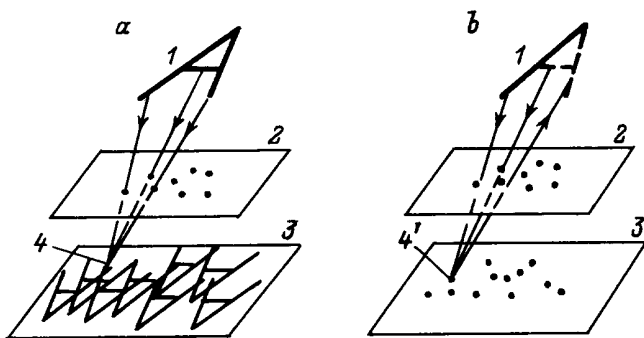


Рис. 1. Схема, поясняющая принцип кодовой записи изображений методом плюрографии. *a* — размножение изображений символа *A* (*1*) с помощью множества отверстий в непрозрачной пластине (*2*) и их взаимоналожение на фоточувствительном материале (*3*) с образованием "всплесков" облученности (*4, 4'*), *b* — облученность единичного рефлекса — ассоциата от светящихся частей символа — создает при обратном ходе лучей засветку в отсутствующей части изображения.

ложения изображений, возникающие в этой своеобразной обскуре-камере, создают сложное поле облученности, в котором имеются участки с относительно большой интенсивностью облучения. Свойство фоточувствительного материала (в общем случае регистрирующей среды) таково, что в нем после экспонирования остаются следы (рефлексы) только в местах, где уровень экспозиции оказывается выше заданного порогового значения [4]. Иными словами, на носителе информации возникают следы лишь в местах ярких взаимоналожений. В случае использования контрастного (т.е. с пороговым свойством) позитивного фоточувствительного материала запись символа *A* появляется в виде множества отдельных белых пятен различной конфигурации на черном фоне.

Ассоциативное восстановление полного изображения по его части поясняет рис. 1, *b*. При демонстрации части изображения происходит, как и при записи, наложение изображений части демонстрируемого символа *A* на плюрограмму *3*. При этом с определенной вероятностью оказываются облученными светлые элементы, которые возникли вследствие наложения частей изображения *I*, предъявляемой и отсутствующей (штриховая линия). Тогда возникает наложение условных изображений — облученных светлых элементов плюрограммы теперь уже в плоскости исходного частичного символа *A*. При этом вследствие отбора ярких ассоциатов на стадии записи и с учетом обратимости хода лучей вероятность ярких взаимоналожений в пределах контура исходного изображения оказывается повышенной. Осуществляя вторичный отбор ярких всплесков облученности, вновь, например, используя высококонтрастный фоточувствительный материал, возможно поэлементное восстановление отсутствующей части (частей) изображения.

Элементы теоретического описания

Ограничимся здесь для простоты рассмотрением записи и восстановления одномерных изображений, которые характеризуются зависимостью яркости свечения полосы постоянной ширины *b* от координаты *B(x)*, например набор светящихся полос различной длины (рис. 2, *a*).

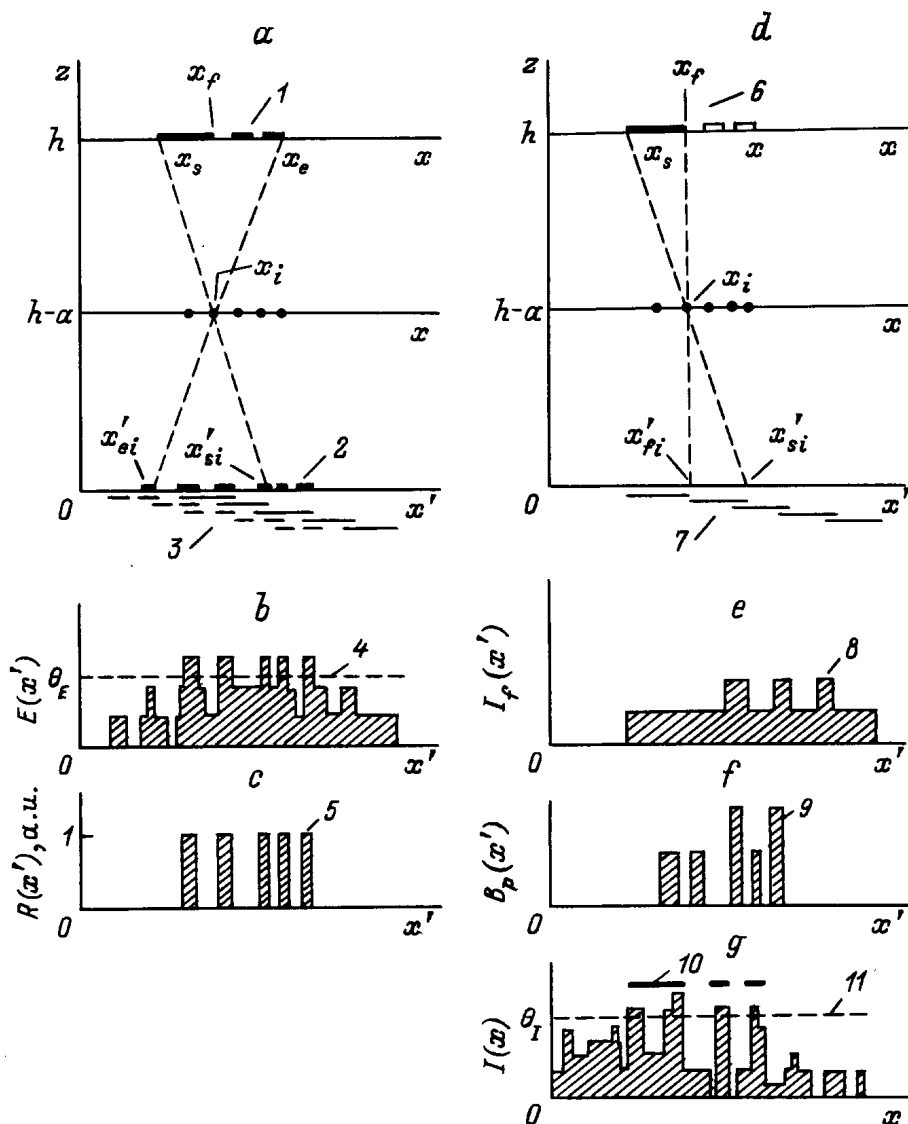


Рис. 2. Графическая иллюстрация распределенной записи одномерного изображения (а-с) и его ассоциативного восстановления (d-g). 1 — изображение, 2 — элементы плюрограммы, 3 — взаимоналожения перевернутых изображений, 4 — порог записи, 5 — кодовая запись изображения (плюрограмма), 6 — часть демонстрируемого изображения, 7 — взаимоналожения частичных перевернутых изображений, 8 — облученность плюрограммы, 9 — яркость свечения рефлексов плюрограммы, 10 — исходное изображение, 11 — порог восстановления.

Положим, что пластина с отверстиями находится на расстоянии a от изображения, а фоточувствительный слой удален от изображения на расстояние h . В этом случае с помощью отверстия в пластине с координатой x_i (i — номер отверстия) на фоточувствительном носителе информации образуется перевернутое изображение оригинала $B(x)$ с преобразованием координат, которое дается соотношением

$$x' = x + \frac{h}{a}(x_i - x), \quad (1)$$

где x и x' — координата элемента изображения-оригинала и соответствующей этому элементу координата на фоточувствительном носителе информации.

Если полное число отверстий в пластине n , то возникает наложение n перевернутых изображений. Интенсивность падающего на носитель излучения $I(x')$ определяется диаграммой направленности излучения светящихся элементов изображения, диаметром отверстия d и дистанцией от изображения до носителя. Полагая, что 1) угол формирования элементов изображения α через любое i -отверстие мал, 2) диаметр отверстий d много больше длины волны излучения λ в полосе длин волн $\Delta\lambda$ и 3) угловое распределение интенсивности излуче-

¹ Существует оптимальный диаметр отверстия в камере-обскуре для получения максимального разрешения изображения, равный $0.95\sqrt{(h-a)\lambda}$.

ния дается законом косинуса, можно считать, что интенсивность падающего на фоточувствительный материал излучения через одно отверстие будет пропорциональна яркости излучения $B(x)$

$$I(x') = \xi \cdot B(x), \quad (2)$$

где ξ — коэффициент пропорциональности.

В этом случае координатная зависимость интенсивности падающего на фоточувствительный материал излучения будет обусловлена взаимоналожением n изображений:

$$I(x') = \xi \sum_{i=1}^n B[x_i - (x' - x_i)/(h/a - 1)]. \quad (3)$$

Если фоточувствительный носитель информации обладает накопительным свойством, то дозой накопительно является уровень экспонирования $E(x', t)$

$$E(x', t) = I(x') \cdot t, \quad (4)$$

где t — время экспонирования.

Как было отмечено ранее, на носителе информации должны оставаться лишь следы от ярких сигнальных взаимоналожений, что требует введения порогового уровня экспонирования θ_E (рис. 2, *b*). Положим для определенности, что след на носителе информации означает появление области с повышенным коэффициентом отражения $R(x')$ падающего излучения $I(x')$, тогда запись изображения на носителе с учетом накопительно-порогового свойства может быть представлена следующим образом:

$$R(x') = \varkappa[E(x') - \theta_E], \quad \text{если } E(x') - \theta_E \geq 0; \quad (5)$$

$$R(x') = 0, \quad \text{если } E(x') - \theta_E < 0. \quad (6)$$

Здесь \varkappa — коэффициент, зависящий от свойств фоточувствительного материала. Выражения (5), (6) являются собой кодовую запись изображения-оригинала $B(x)$, т.е. плурограмму (рис. 2, *c*).

Восстановление полного изображения по его части происходит вследствие облучения части рефлексов плурограммы, которые образовались наложением излучений от предъявляемой и отсутствующей частей изображения-оригинала. Предъявляемой частью изображения может быть и выборка многих фрагментов изображения. Здесь же мы ограничим координаты светимости изображения-оригинала промежутком $[x_s, x_f]$; $x_s, x_f \in [x_e; x_e]$, где x_s и x_e — границы полного изображения (рис. 2, *d*). В этом случае предъявления частичного изображения — облученность элементов плурограммы $I_f(x')$ дается выражением (3), однако при этом координаты светимости изображения-оригинала $B(x)$ ограничены протяженностью фрагмента изображения, т.е. $x \in [x_s; x_f]$. Облученность рефлексов (рис. 2, *e*) создает рельеф распределения яркости на носителе информации $B_p(x')$

$$B_p(x') = \beta I_f(x') R(x'), \quad (7)$$

где β — коэффициент пропорциональности.

Возникающее условное изображение $B_p(x')$ (рис. 2, *f*) вновь трансформируется в виде n взаимоналожений уже теперь в плоскости изображения-оригинала

$$I(x) = \xi' \sum_{i=1}^n B_p \left[x + \frac{h}{a}(x_i - x) \right], \quad (8)$$

где ξ' — коэффициент пропорциональности, связывающий яркость элемента на плурограмме в координате x' с интенсивностью излучения попадающего через единичное отверстие в плоскость изображения-оригинала в координате x .

Повторный сигнальный отбор возможен как по интенсивности принимаемого излучения $I(x)$, так и по уровню экспонирования $E(x) = I(x)t$. Принимая первое (рис. 2, *g*), можно записать восстановленную часть изображения $I_r(x)$ в виде

$$I_r(x) = I(x) - \theta_I, \quad \text{если } I(x) \geq \theta_I; \quad (9)$$

$$I_r(x) = 0 \quad \text{если } I(x) < \theta_I. \quad (10)$$

Отбор ярких взаимоналожений изображений, обусловленный заданным порогом на стадии записи, означает приток в область формируемого рефлекса излучения от многих светящихся частей изображения-оригинала. С учетом обратимости хода лучей при воспроизведении через те отверстия, через которые был сформирован рефлекс, появляется большая вероятность взаимоналожений излучений от рефлексов записи в пределах областей светимости изображения-оригинала, чем вне этих областей на стадии восстановления изображения. Вторичный отбор по интенсивности, осуществляемый на этой стадии, выявляет преимущество вероятностей.

Заметим, что пластина с отверстиями — не единственный способ создания взаимоналожения изображений. Более того, нет необходимости производить наложение неискаженных пропорциональных изображений.

Экспериментальное подтверждение возможности восстановления изображения по плурограмме

В ходе исследования были проведены эксперименты по записи и восстановлению изображений предложенным методом. Для этого с помощью источника излучения и световой маски формировался светящийся символ S в виде набора светящихся точек (рис. 3, *a*). Пластина со случайно расположенными отверстиями диаметром 0,2 мм имела формат 2×2 см и плотностью 60 см² и располагалась посередине между изображением и фоточувствительным материалом. Дистанция от изображения до фоточувствительного материала $h = 24$ см. Накопительно-пороговое свойство регистрирующей среды реализовывалось применением особоконтрастного фоточувствительного материала с обращением негатив-позитив. На рис. 3, *b* представлена запись изображения символа S методом плурографии.

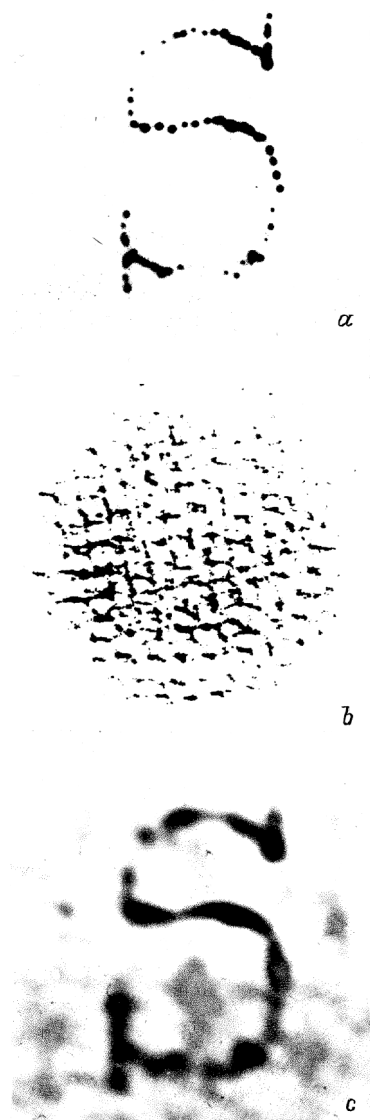


Рис. 3. Результат экспериментальной апробации записи и восстановления изображения методом плюрографии. *a* — светящийся символ, *b* — его кодовая запись, *c* — результат восстановления изображения.

Главная трудность, возникшая в экспериментах по ассоциативному восстановлению отсутствующей части изображения, — это значительный паразитный фон, возникающий вследствие отражения света от “черных” областей плюрограммы. Поэтому мы здесь ограничимся демонстрацией восстановления полного изображения-оригинала, используя не отраженный, а проходящий свет через плюрограмму, изготовленную на фотопленке с рассеивающей свет прокладкой. Результат восстановления изображения с помощью его условного кодового представления (плюрограммы), полученный с помощью особоконтрастной фотобумаги, приведен на рис. 3, *c*.

В опытах было также возможно визуальное наблюдение восстановленного изображения на матовом стекле,

расположенном на той же дистанции от плюрограммы, что и оригинал при записи. При этом изображение с приемлемой четкостью можно было наблюдать при перекрытии части плюрограммы, что свидетельствует о распределении записи.

Как видно из рис. 3, *c*, восстановление изображения происходит на фоне случайных всплесков облученности. Безусловно, более резкий порог фоторегистрирующей системы способен снизить этот нежелательный фон. Другой возможностью является использование приемных систем с аттрактивными свойствами.

Данный вариант регистрации сигналов дополняет предложенные ранее методы: структурной рефлексии [5,6] и адаптивной дифракционной решетки [7].

В заключение отметим, что требуется детальное исследование ограничений, свойственных данному методу для того, чтобы оценить его техническое значение. В первую очередь необходимы учет дифракционных явлений и нахождение оптимальных значений порогов записи и воспроизведения, обеспечивающих наилучшее качество восстановленного изображения. В любом случае сама возможность распределенной ассоциативной записи без применения источников когерентного излучения представляет методический интерес.

Авторы выражают глубокую признательность А.Н. Пихтину за обсуждение работы и высказанные ценные замечания, И.А. Митюревой за конструктивные дискуссии, во многом побудившими данное исследование. Большую помощь в проведении исследования оказала М.А. Колток, за что авторы ей также весьма благодарны.

Список литературы

- [1] Новые физические принципы оптической обработки информации. Сб. ст. / Под ред. С.А. Ахманова, М.А. Воронцова. М.: Наука, 1990. 400 с.
- [2] Фролов А.А., Муравьев И.П. Нейронные модели ассоциативной памяти. М.: Наука, 1987. 160 с.
- [3] Kohonen T. Self-Organization and Associative Memory. Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer-Verlag, 1984. 255 p.
- [4] Бочкарева Т.Г., Митюрева И.А. // Изв. СПбГЭТУ, 1993, № 435. С. 83–90.
- [5] Кальнин А.А. // Микроэлектроника и полупроводниковые приборы / Под ред. А.А. Васенкова, Я.А. Федотова. М.: Радио и связь. 1989. № 10. С. 95–110.
- [6] Драчев А.Е., Кальнин А.А., Лучинин В.В. // ЖТФ. 1993. Т. 63. Вып. 2. С. 12–133.
- [7] Кальнин А.А., Шаббах Г. // ЖТФ. 1993. Т. 63. Вып. 2. С. 134–142.