

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЭС МАТРИЦ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО АЛЬБЕДО ОБЪЕКТОВ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Л. Ю. Леонова, В. Н. Селиванов

Воронежский государственный университет

В данной работе оценивается возможность определения альbedo неоднородных участков поверхности, используя матричные фотоприемники, основанные на переносе заряда. При решении задачи устанавливается экспериментальное соответствие между значениями отраженных потоков радиации от исследуемых объектов и яркости их цифровых изображений. Анализируются различные методы сегментации, позволяющие выделять объекты с перепадами яркости.

ВВЕДЕНИЕ

При изучении особенностей формирования лучистого теплообмена техногенных объектов со сложной отражающей структурой и разработке новых методов исследования интегральных параметров лучистого теплообмена таких объектов большинство интегральных методов исследования отражательной способности различных поверхностей, применяемых в актинометрии, не обеспечивают решения многих геолиттехнических задач определения истинных коэффициентов отражения и излучения различных покрытий и композиционных элементов в естественных условиях.

Мерой отражательной способности деятельного слоя по отношению к радиации служит альbedo A . Для достаточно большой, однородной площадки:

$$A = R/Q,$$

$$Q = S_{\text{пр}} + S_{\text{р}},$$

где R — интенсивность отраженной радиации, Q — суммарная падающая радиация, $S_{\text{пр}}$ — прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность, $S_{\text{р}}$ — рассеянная радиация.

Для измерения альbedo применяется альбедометр, работающий по принципу интегрального шарового фотометра. В частности, альbedo земной поверхности измеряют походным альбедометром, который представляет собой два соединенных пиранометра. Приемная поверхность одного из них повернута к земле и воспринимает рассеянный свет, второго — к небу и регистрирует падающее излучение. Используют

и один пиранометр, приемная поверхность которого поворачивается то вверх, то вниз.

Интенсивность прямой солнечной радиации измеряется на нормальную к лучу поверхность пиргелиометрами, биметаллическими актинометрами, термоэлектрическими актинометрами. При актинометрических наблюдениях чаще всего определяют поверхностную плотность потока лучистой энергии, или поток на единицу поверхности. Если S — это часть лучистой энергии Солнца, поступающая к Земле в виде параллельных лучей от видимого диска Солнца, то вертикальная составляющая прямой солнечной радиации вычисляется из показаний актинометра S по формуле:

$$S_{\text{пр}} = S \cdot \sin h,$$

где h — высота Солнца.

Рассеянная радиация $S_{\text{р}}$ представляет собой ту часть солнечной радиации, которая после рассеивания атмосферой и отражения от облачных частиц поступает на горизонтальную поверхность. В состав $S_{\text{р}}$ входит также радиация, отраженная различными предметами, расположенными выше точки наблюдения (здания, горы, деревья и т.п.). Рассеянная радиация измеряется пиранометром, который в случае диска Солнца, незакрытого облаками, затеняется экраном от прямой солнечной радиации.

При определенных приближениях Солнце является источником, довольно хорошо подчиняющимся закону Ламберта, то есть яркость его диффузно рассеянной радиации одинакова во всех направлениях. Тогда R неограниченного отражателя зависит от яркости отражения единицы поверхности D и определяется выражением:

$$R = 2\pi B \int_0^{1/2\pi} \cos i \cdot \sin i \cdot di = \pi D,$$

а его альbedo:

$$A = \pi D / Q,$$

где $\sin i = \frac{r}{\sqrt{h^2 + r^2}}$, $\cos i = \frac{h}{\sqrt{h^2 + r^2}}$. Для радиуса r неограниченного отражателя $\lim r \rightarrow \infty$ [1].

Описанная методика дает правильный результат только в том случае, если поверхность под альбедометром однородна на большом протяжении. Поскольку участок с одним и тем же альбедо обычно ограничен, в результате измерения получается результат, до некоторой степени усредненный как для исследуемого участка, так и для окружающего фона. В частности, если истинное альбедо участка A_1 , для фона A_2 , то измеренное альбедометром альбедо окажется равным:

$$A_c = A_1 \frac{r^2}{h^2 + r^2} + A_2 \frac{h^2}{h^2 + r^2},$$

где h — высота альбедометра над исследуемой поверхностью, r — радиус исследуемой поверхности.

Отсюда истинное альбедо исследуемой поверхности:

$$A_1 = A_c + (A_c - A_2) \frac{h^2}{r^2}.$$

Однако альбедометр не применим для оценки локальных величин альбедо неоднородных (неорганизованных) участков поверхности, поэтому необходима разработка специальных методов определения альбедо локальных образцов и фрагментов различной геометрической формы. Причем точность проводимых измерений должна соответствовать точности прибора или характеру решаемой задачи.

Кроме того, предлагаемые теоретические и методические аспекты, решаемые при определении альбедо плоских круглых локальных участков на монотонном фоне, для определения альбедо объектов жилищного и промышленного строительства, машиностроения приводят к дополнительным неконтролируемым погрешностям [2—4]. Поэтому требуется разработка специальных методов, исходя из конкретных рассматриваемых задач.

1. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЗС ФОТОПРИЕМНИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЕЕ В ЦИФРОВОМ ВИДЕ

Среди широкого многообразия известных в настоящее время устройств, построенных на различных физических принципах, своей перспективностью выделяется класс полупроводниковых устройств восприятия оптической информации. Использование возможностей полупроводниковой техники и ряда явлений и эффектов физики полупроводников позволило создать устройства восприятия оптической информации, функциональные возможности которых близки, а во многих случаях превосходят возможности аналоговых приборов вакуумной техники. По своим весовым, габаритным и энергетическим характеристикам полупроводниковые устройства восприятия оптической информации превосходят все существующие аналоги. Применение указанных устройств в системах контроля и управления приводит к существенному повышению их надежности и экономичности.

Открытие явления переноса заряда позволило осуществить микроэлектронные структуры, совмещающие в себе как фоточувствительные свойства, так и эффективные средства сканирования. На этой основе были созданы матричные фотоприемники, отличающиеся высокими плотностью упаковки, однородностью преобразования изображения и высокой чувствительностью [5].

В настоящее время такие многоэлементные фотоприемники не только заняли соответствующее место в области запоминающих устройств, но и нашли широкое применение для фотоэлектрического преобразования сигналов изображения и в системах обработки сигналов. Это особенно важно при решении проблем автоматизации и компьютеризации измерительного процесса.

Приборы с переносом заряда (ППЗ) включают интегральные цепочки МОП-транзисторных структур и приборы с зарядовой связью (ПЗС). В первом случае говорят о комплементарных металл—оксид—полупроводник системах (КМОП-устройства), во втором случае — о ПЗС-линейках и ПЗС-матрицах. Фотоконденсоры и фотодиоды, являясь светочувствитель-

ными элементами, осуществляют преобразование интенсивности света, падающего на каждый элемент в пропорциональную величину электрического заряда. Это происходит в результате разделения генерируемых фотонами электронно-дырочных пар и накопления (интегрирования) этих зарядов в течение определенного промежутка времени в каждом элементе. В итоге величина накопленного заряда пропорциональна интенсивности падающего света и времени интегрирования. Различие между двумя типами сенсоров заключается в том, как считается накопленный заряд.

В области «видения» применение ПЗС обеспечило существенное улучшение рабочих характеристик фотоэлектрических преобразователей сигналов изображения. Организация таких приборов по принципу зарядовой связи обеспечивает возможность считывания массива электрических сигналов, соответствующих сцене изображения с минимальным геометрическим и временным шумом. Применение ПЗС существенно улучшило состояния дел в области приемников изображения видимого диапазона, работающих в режиме накопления. Еще на ранних стадиях развития ПЗС-технологии стала очевидной целесообразность использования ПЗС в сложных инфракрасных системах. В них приборы с зарядовой связью могут обеспечивать выполнение ряда функций, таких, как детектирование, считывания и мультиплексирование сигнала, а также ее обработку в режиме временной задержки и интегрирования (ВЗИ). В сканирующих ИК-системах осуществление режима ВЗИ — одна из основных функций, выполняемых ПЗС. В таких системах сцена изображения механически сдвигается вдоль матрицы фоточувствительных элементов. При использовании ПЗС-строк для сдвига выходных сигналов отдельных детекторов (в форме зарядовых пакетов) вдоль матрицы с той же скоростью, с какой механическая система сканирования сдвигает изображение, достигается увеличение отношения сигнал/шум на множитель, равный квадратному корню из числа чувствительных элементов в направлении сканирования. На системном уровне увеличение отношения сигнал/шум означает улучшение рабочих характеристик системы.

Поскольку в ПЗС сдвигаются зарядовые пакеты, последовательность которых представляет собой дискретизированный аналоговый

сигнал, с помощью ПЗС можно осуществить определенные способы обработки аналоговых и цифровых сигналов, в том числе задержку, мультиплексирование и демultipлексирование, трансверсальную и рекурсивную фильтрацию, временную задержку и интегрирование, аналоговую и цифровую память, цифровую логику.

Следовательно, ПЗС фотоприемники позволяют представить пространственное распределение интенсивности света на выходе оптической системы в виде эквивалентного электрического сигнала для его кодирования и ввода в компьютер с целью последующей обработки информации.

Применение ПЗС матриц позволяет представить регистрируемые изображения в виде набора дискретных квантованных величин с заданными значениями яркости, то есть:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mj} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix},$$

где номер элемента i, j определяет соответствующий элемент изображения, а значение a_{ij} определяет яркость этого элемента. При этом m и n задают размеры данного цифрового изображения. Яркость может принимать определенные квантованные значения в зависимости от типа изображения.

В системах с цифровым кодированием число уровней квантования светлоты L обычно выбирают равным двоичному числу [6]:

$$J = L = 2^b,$$

где b — число двоичных разрядов (бит), отведенных для кодирования отсчетов. Когда $b = 1$, говорят о бинарном изображении (два уровня: черное — 0, белое — 1). Обычно черно-белое изображение кодируется 8-битным образом, то есть значения яркости меняются в диапазоне от 0 до 255, что соответствует $2^8 = 256$ градациям яркости. Здесь 0 — черный цвет, а 255 — белый.

Признаками изображений являются его простейшие отличительные характеристики или свойства. Естественные признаки (светлота (яркость), текстура различных областей

изображения, форма контуров объектов) устанавливаются визуальным анализом изображения, искусственные признаки изображения (гистограммы распределения яркости, спектры пространственных частот) получаются в результате специальной обработки или измерений [6].

Резкие изменения яркости, координат цвета или параметров, характеризующих текстуру, являются важными простейшими признаками, поскольку определяют очертания изображенных объектов.

Обнаружение яркостного перепада необходимо при анализе объектов произвольной формы в изображении, когда их надо отличить от подложки или друг от друга. Для выделения структурных элементов в изображении, то есть разбиения изображений по сходству свойств (яркости — для одноцветных изображений, цветовым координатам — для цветного изображения и т.д.) применяют процедуры, реализующие сегментационные методы [6].

2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЛЬБЕДО

Пусть R_k — значения интегральных потоков радиации от однородных стандартных поверхностей различной отражательной способности, измеренные альбедометром, а B_k — интегральная яркость дискретного изображения данных поверхностей:

$$B_k = \sum_{i,j} a_{ij},$$

где i, j — номера регистрируемых элементов ПЗС матрицы.

Измерение интегральной яркости объектов в сегментированных цифровых изображениях (с поправкой на величину расстояния от измеряемой поверхности до детектора излучения и радиус исследуемой поверхности), применяя функцию преобразования $R_k(B_k)$, позволяет оценивать значения отраженных потоков радиации.

Для решения подобных задач используются методы, изложенные в [6, 7], а именно:

1. Пороговое ограничение по яркости:

1. Фиксированный пороговый детектор.

2. Операции порогового обнаружения из гистограмм:

а) метод изоданных;

б) метод симметрии подложки;

в) треугольный метод (алгоритм Зака).

II. Линейные методы контрастирования:

1. Метод дискретного дифференцирования.

2. Градиентный фильтр Превитта.

3. Применение масок оператора Лапласа.

4. Метод весовых функций гауссовой формы.

III. Нелинейные методы контрастирования:

1. Детекторы Робертса.

2. Логарифмический метод Уоллиса.

3. Применение оператора Собела.

4. PLUS-фильтр.

Разработка алгоритмов обработки изображений на основе перечисленных методов требует порогового ограничения по яркости, которая реализуется при помощи операции сравнения с выбранным пороговым значением. Подобная операция позволяет определить положение элементов изображения с ярко выраженными перепадами.

Если $G(j, k)$ — исходное цифровое изображение, представленное массивом чисел, $T(j, k)$ — пороговое значение яркости, $E(j, k)$ — новое изображение (контурный препарат), то для светлого объекта на темной поверхности в 8-битном изображении используется следующий алгоритм:

$$E(j, k) = \begin{cases} G(j, k), & \text{если } G(j, k) \geq T(j, k) \text{ — фон} \\ 0, & \text{если } G(j, k) < T(j, k) \text{ — объект} \end{cases}$$

Наоборот, для темного объекта и светлого фона:

$$E(j, k) = \begin{cases} G(j, k), & \text{если } G(j, k) < T(j, k) \text{ — объект} \\ 255, & \text{если } G(j, k) \geq T(j, k) \text{ — фон} \end{cases}$$

В высококонтрастных изображениях обычно используется среднее значение яркости. Однако на практике встречаются определенные трудности, например, когда наблюдаемое изображение подвержено воздействию шума, и причем, как на объекте, так и на фоне допускается некоторый разброс значений яркости. Другая часто встречающаяся трудность состоит в том, что фон может быть неоднородным. Кроме того, в некоторых случаях нужно учитывать способы получения изображений, например, использование дополнительных оптических устройств, параметр когерентности света, которым облучается при этом образец и т.п.

В настоящее время разработаны нелинейные методы контрастирования перепадов, принципиально отличающиеся от методов порогового ограничения яркости тем, что определяют только элементы изображения, принадлежащие краю выделяемых объектов [6, 7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе проведен обзор современных методов регистрации интегрального потока оптического излучения и формирующих выходные эффекты в виде оптических изображений. Проанализирована целесообразность применения матричных ПЗС структур для регистрации альbedo объектов сложной геометрической формы с неравномерной структурой отражающей поверхности и выведения информации в цифровом виде. Отмечается, что особенностью обработки изображений для измерения альbedo является регистрация перепадов яркости. Показано, что, не смотря на большое количество предлагаемых методов для обработки цифровых изображений, нет универсальных методов сегментации, которые одинаково ус-

пешно бы применялись для любого изображения, и выбор той или иной методики зависит от конкретно рассматриваемой задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ландсберг Г.С.* Оптика. — М.: Физматлит, 2003. — 848 с.
2. *Андреанов В.Н.* Основы радиационного и сложного теплообмена. — М.: Энергия, 1972. — 464 с.
3. *Селиванов С.Н.* Анализ современных состояний методов и средств диагностики и контроля параметров лучистого теплообмена в коротковолновом диапазоне электромагнитных излучений. — СПб.: МФИН, 1998. — 80 с.
4. *Селиванов С.Н.* Монофокальные методы исследований интегрального альbedo отражателей со сложной оптической и геометрической структурой. — СПб.: Гуманистика, 1998. — 71 с.
5. *Пресс Ф.П.* Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. — М.: Радио и связь, 1991. — 264 с.
6. *Прэнтл У.* Цифровая обработка изображений. Ч. 2. — М.: Мир, 1982. — 480 с.
7. *Jahne B.* Digital Image Processing: concepts, algorithms, and scientific applications. — Third Ed. Springer-Verlag, 1995. — 383 p.