

УДК 004.932.2

Идентификация объектов звездного неба на изображении

*Литвинова И. О., студент
кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»,
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Орлова А. А. ассистент
кафедры «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»,
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
orlova.anastasia@list.ru*

1. Постановка задачи

В рамках бакалаврской работы «Идентификация объектов звездного неба на изображении» одним из первых этапов является подготовка изображения. Существует множество факторов при съемке неба, которые могут повлиять на качество изображения. Главный из них - нечеткость, который может сильно повлиять на результаты анализа фотографии, необходимо устранить до начала работы. В данной статье рассматриваются различные методы улучшения резкости: оператор Собеля, Приветта, Робертса.

Целью данной работы является создание комплекса методов по решению задачи идентификации звездных объектов на изображении. Существующие пути решения этой проблемы отличаются малой эффективностью, ненадежностью и имеют вероятность некорректного распознавания объектов. Настоящая работа предназначена решить эти проблемы и выбрать самый эффективный путь решения задачи.

Перед любителями астрономии и профессионалами часто встает задача идентификация звезд, наблюдаемых на небе. Результаты идентификации можно использовать для сбора данных в различных исследованиях, ориентации на суше и в море, в учебных целях.

Из всего вышеперечисленного возникает необходимость в инструменте, позволяющим четко и быстро решить поставленную задачу. Удобнее всего использовать для идентификации фотографии звездных объектов.

Для решения поставленной задачи первоначально нужно провести анализ изображения и создать список объектов разной степени яркости. Идентификация звезд

будет происходить по сопоставлению самых ярких объектов на небе и их расположения относительно друг к другу с данными каталога.

2. Улучшение резкости изображения

При различных обстоятельствах съемки фотографии могут получиться неяркими и нечеткими. Для решения данной проблемы необходимо увеличить резкость изображения.

Рассмотрим наиболее известный алгоритм повышения резкости изображений на основе субполосного дифференцирования [2].

Повышение резкости происходит за счет выявления и выделения мелких деталей и границ (в нашем случае, звезд) на изображении. Представим изображение в виде значений $f(x_i, y_k)$ двумерной яркости $f(x, y)$ в отдельных равноудаленных точках (x_i, y_k) , $i = 1, 2 \dots N1$, $k = 1, 2 \dots N2$ (при условии, что регистрация значений яркости изображения осуществлена в эквидистантных отсчетах). Выделение контуров может быть достигнуто на основе операции дифференцирования в пространственной области изображения.

Основные методы численного дифференцирования, наиболее часто применяемые для реальных расчетов по выделению контуров изображений, используют следующие операторы дифференцирования:

- Оператор Робертса

Для выделения границ используют диагонально смежные (перекрестные) пиксели.

$$f_{ik}^{XY} = |f_{i,k} - f_{i+1,k+1}| + |f_{i,k+1} - f_{i+1,k}|,$$

где $i = 1, 2 \dots N1 - 1$, $k = 1, 2 \dots N2 - 1$.

- Оператор Приветта

Для аппроксимаций производной двумерной функции используются следующие выражения:

$$G_x^k = (f_{i+1,k-1} + f_{i+1,k} + f_{i+1,k+1}) - (f_{i-1,k-1} + f_{i-1,k} + f_{i-1,k+1}),$$

$$G_y^i = (f_{i-1,k+1} + f_{i,k+1} + f_{i+1,k+1}) - (f_{i-1,k-1} + f_{i,k-1} + f_{i+1,k-1}),$$

где $i = 1, 2 \dots N1 - 1$, $k = 1, 2 \dots N2 - 1$.

- Оператор Собеля

Собель ввел весовые коэффициенты в выражения оператора Приветта (см. выше) и предложил для вычисления производных вдоль координатных осей следующие соотношения:

$$G_x^k = (f_{i+1,k-1} + 2 f_{i+1,k} + f_{i+1,k+1}) - (f_{i-1,k-1} + 2 f_{i-1,k} + f_{i-1,k+1}),$$

$$G_y^i = (f_{i-1,k+1} + 2 f_{i,k+1} + f_{i+1,k+1}) - (f_{i-1,k-1} + 2 f_{i,k-1} + f_{i+1,k-1}),$$

где $i = 1, 2 \dots N1 - 1$, $k = 1, 2 \dots N2 - 1$.

Весовые коэффициенты позволяют избежать сглаживания, придавая больший вес средним точкам окрестности.

Основными недостатками этих операторов являются разрывность функций, их реализующих, и неинвариантность к преобразованию вращения.

3. Гладкие функции

Для решения поставленной задачи более подходит использование гладких функций. Среди них необходимо рассмотреть дифференциально-сглаживающие операторы, поскольку именно с их помощью можно подчеркивать перепады яркости на изображении. Существует множество таких операторов: Лоренца, Гаусса, Моффата и Баттерворта [1].

Распределение звездных объектов по степени яркости можно проводить по двум основным профилям:

профиль Лоренца –

$$k_i = \frac{C_i}{(1 + A_i r_i)^\alpha},$$

и профиль Моффата -

$$k_i = \frac{C_i}{1 + A_i r_i^\alpha},$$

здесь: $r_i = v_i^2 + (1 + B_j) \times u_i^2 + E v_i u_i$,

$$i = 0..N, v_0 = x_j - x_0, u_0 = y_j - y_0,$$

$$v_i = x_j - x_0 - \rho_i \sin \theta_i, \text{ для } i \neq 0,$$

$$u_i = y_j - y_0 - \rho_i \cos \theta_i,$$

и наконец,

$$I(x_j, y_j) = D + \sum_{i=0}^N k_i,$$

где $I(x_j, y_j)$ - яркость пиксела с координатами x_j, y_j ,

j – номер пиксела, принадлежащего апертуре;

i – номер звезды в сложном изображении, т. е. когда изображения нескольких звезд накладываются друг на друга, иными словами сливаются;

N – число звезд в сложном изображении, для одиночных изображений $N=0$;

x_0, y_0 – координаты звезды с нулевым индексом;

ρ_i – расстояние между нулевой и i -той звездой в пикселах,

θ_i – угол между осью Y и направлением отрезка между нулевой и i -той звездой;

A, B, C, D, E – определяемые при измерениях параметры. Параметры имеют следующий смысл:

A – задает размер изображения;

B – вытянутость изображения по оси Y ;

C – яркость изображения в центре;

D – свободный член;

E – вытянутость изображения в произвольном направлении.

Процесс измерений заключается в определении параметров - $A_i, B_i, C_i, D, E, x_0, y_0, \alpha, \rho_i, \theta_i$. Для этого используется следующий итерационный процесс. Первоначально находятся приближенные значения параметров для профиля Лоренца:

$$A = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \left(\frac{C}{I(x_j, y_j)} - 1 \right) \frac{1}{R_j^\alpha},$$

для профиля Мофата:

$$A = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \left(\left[\frac{C}{I(x_j, y_j)} \right]^{1/\alpha} - 1 \right) \frac{1}{R_j},$$

где K – число используемых пикселей,

$$R_j = (x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2,$$

$$B = 0,$$

$$C = \max_j \{I(x_j, y_j)\},$$

$$D = 0,$$

$$E = 0.$$

Далее с помощью метода наименьших квадратов (МНК) решается система условных уравнений для поправок параметров на каждом шаге итерации. Итерации делаются до тех пор, пока поправки к параметрам не становятся меньше некоторого заданного порога. Число итераций ограничено. Если данное ограничение превышает, то звезда считается неизмеримой.

Главные выходные параметры этого алгоритма - x_i , y_i , индекс i – номер звезды в конфигурации из сливающихся изображений.

Очевидно, что для поставленной задачи лучше использовать профили Моффата и Лоренца.

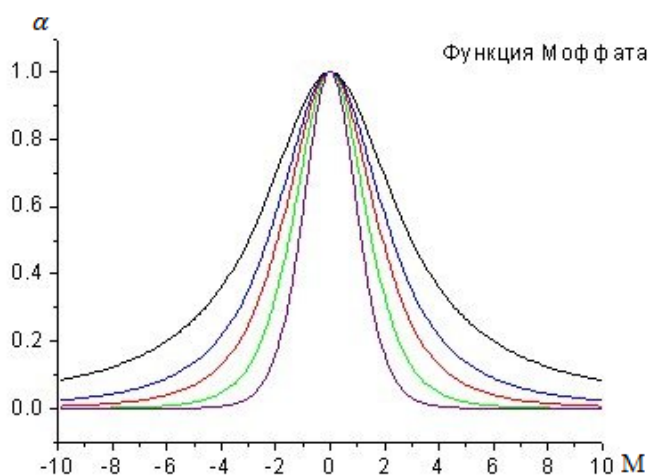


Рис. 1. График функции Моффата

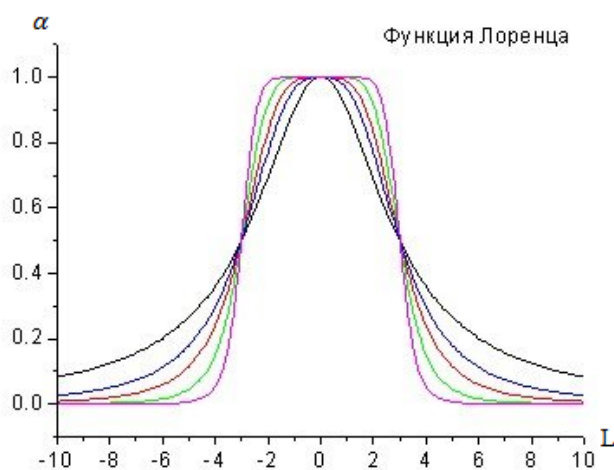


Рис. 2. График функции Лоренца

На рисунках 1 и 2 изображены функции при фиксированной ширине ФРТ (функция рассеивания точки) и различных степенях. Как легко заметить, функция Моффата при увеличении степени становится уже, а функция Лоренца имеет плоскую вершину, что затрудняет определение центра звезды. Профиль Моффата оказывается ближе к звездному профилю и предпочтительней для решения нашей задачи.

4. Идентификация звезд

После обработки изображения выбранным выше методом, получается список координат звезд, распределенных по степени яркости. Для идентификации выделенных звезд, надо определить список звезд, расположенных на звездном небе в момент съемки. Данная задача не требует больших усилий, так как место и дата съемки известны из метаданных фотографии или задаются вручную. Список объектов строится на основе данных электронных каталогов звездного неба

Далее необходимо выбрать самые яркие звезды на фотографии, определить их расположение относительно друг друга, и сравнить полученные данные, со списком звезд, находящихся на небе в момент съемки. Самый известный способ определения звезд – связка опорный звезды с соседними [3]. В качестве опорной звезды выбирается самая яркая звезда, далее выбираются 15 ближайших соседей и устанавливаются связи между ними (рис. 3).

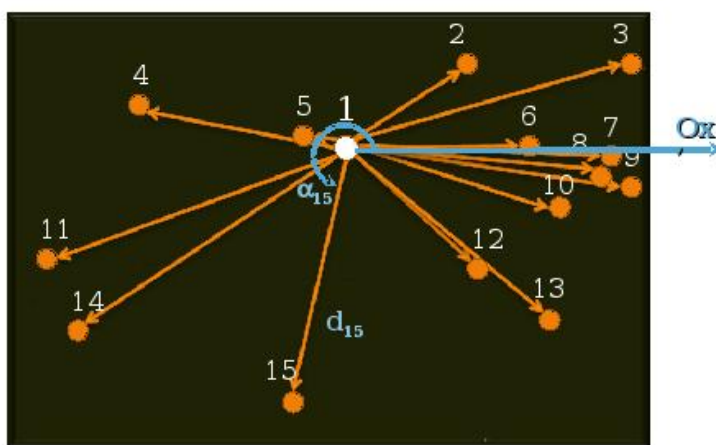


Рис. 3. Изображение участка неба с выбранной опорной звездой и ее соседями:
 1 – опорная звезда, 2-15 – ее соседи, d – расстояние от опорной звезды в пикселях,
 α – угол наклона прямой, проходящей от опорной звезды к данной, относительно
 прямой, параллельной оси OX (в радианах)

После определение всех связей между звездами (d , α) становится возможным сравнить полученные данные со звездной базы и идентифицировать объект. Определение остальных звезд на изображении происходит относительно опорной звезды.

Существует так же метод идентификации, основанный на исследовании расположения относительно друг друга 3 самых ярких звезд. Однако данный метод имеет большую погрешность и лучше использовать связку опорная звезда-соседи.

Вывод

Было выявлено, что для повышения эффективности перед анализом изображения необходимо улучшить резкость фотографии. После проведенного анализа существующих методов, было подсчитано что, лучшим для поставленной задачи оказалось использование гладких функций, а конкретно - профиля Моффата. Для идентификации был выбран метод «связка опорная звезда – соседи». Таким образом, после анализа существующих алгоритмов и их модификации был найден эффективный путь решения задачи идентификации звезд на изображении.

Список литературы

1. Разин И.В. О моделях дифференциальных операторов для подчеркивания и локализации перепадов яркости изображения // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2009. № 10. С. 77-82.
2. Жиликов Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. О повышении резкости изображений на основе субполосного // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2013. № 1-1. С. 182-188.
3. Пивторацкая С.В., Персев И.В. Высокоточная система ориентации на основе идентификации звезд по изображениям // XXXIV Академические научные чтения по космонавтике: тез. докл. М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2010. С. 126-128.
4. Аванесов Г.А., Зиман Я.Л., Красиков В.А., Снеткова Н.И., Собчук В.Г., Форщ А.А. Алгоритмы определения ориентации космического аппарата по бортовым астроизмерениям // Известия ВУЗов. Приборостроение. 2003. Т. 46, № 4, 2002. С. 31-37.