

ISSN 1607–2855

Том 2 • № 1 • 2001 С. 21 – 24

УДК 523.24, 523.503

Проблема ідентифікації зірок у кадрі при цифровій обробці телевізійних спостережень метеорів

П.М. Козак

Астрономічна обсерваторія Київського національного університету

Аналізується проблема ідентифікації зірок порівняння при цифровій обробці телевізійних спостережень метеорів. Розглядається класичний спосіб побудови ідеальної проекції небесної сфери на фокальну площину і на його основі пропонується метод ототожнення зір, які взяті із зоряних каталогів, що представлені у цифровому вигляді. Також, для автоматизації процесу ідентифікації, розглядається апроксимація вимірних координат стандартними астрометричними функціями. Експериментально досліджується точність кожного методу.

ПРОБЛЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗВЕЗД В КАДРЕ ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТЕОРОВ, Козак П.М. – Анализируется проблема идентификации звезд сравнения при цифровой обработке телевизионных наблюдений метеоров. Рассматривается классический способ построения идеальной проекции небесной сферы на фокальную плоскость и на его основании предлагается метод отождествления звезд, взятых из звездных каталогов, представленных в цифровом виде. Также, для автоматизации процесса идентификации, рассматривается аппроксимация измеренных координат стандартными астрометрическими функциями. Экспериментально исследуется точность каждого метода.

STARS IDENTIFICATION PROBLEM AT DIGITAL PROCESSING OF TV OBSERVATIONS OF METEORS IS ANALYZED, by Kozak P.M. – Reference stars identification problem at digital processing of TV observations of meteors is analyzed. The classic method of plot of the celestial sphere ideal projection onto the focal area is considered. The method of identification of reference stars taken from star catalogues presented in digital form on the ground of this manner is offered. Also the measured coordinates approximation by standard astrometrical functions for the automation aims are discussed. The accuracy of each method is investigated experimentally.

1. ВСТУП

Спостереження метеорів за допомогою телевізійної техніки дозволяє реєструвати досить слабкі метеори при високій часовій роздільній здатності (0.02–0.04 сек). Використання цифрових засобів обробки результатів таких спостережень дозволяє значно скоротити час обробки. Відомо, що кінематична та фотометрична обробка метеорних зображень проводиться за допомогою зірок порівняння, які знаходяться поруч з метеором в оцифрованому кадрі. Тому однією з проблем даному напрямку, яка потребує свого вирішення, залишається проблема ідентифікації зірок порівняння у кадрі з використанням зоряних каталогів, представлених у цифровому вигляді. Існує досить багато розроблених програм, що використовуються для вирішення цих задач. Однак більшість з них розроблена під конкретне обладнання, наприклад ПЗЗ, або є досить універсальними, але в той же час досить складними у використанні. Крім того, телевізійна установка створює значні дисторсійні спотворення, обумовлені не стільки ширококутними об'єктивами, що використовуються при спостереженнях метеорів, скільки електромагнітним фокусуванням у телевізійній передаючій трубці. Усі ці фактори мають бути по можливості враховані при розробці відповідного програмного забезпечення.

У даній роботі пропонується досить простий метод ідентифікації зір, що базується на побудові поряд з оригінальним кадром зображення неба якомога точнішого і ближчого до нього штучного кадр-карти, що бере дані з деякого зоряного каталогу. Такий кадр досить легко побудувати, наприклад, на основі ідеальної проекції небесної сфери на площину. Основною задачею при цьому є якомога точніше

наближення координат одних і тих же зір у площині дисплея (у фотографічній практиці – вимірні координати). Після того, як ця мета досягнута, ідентифікацію можна провести як під візуальним контролем, виділяючи одні і ті ж зорі паралельно на обох кадрах, або автоматично. В останньому випадку програма перебирає усі зорі в штучному кадрі-карті в тому діапазоні зоряних величин, які ще чітко видно в оригінальному кадрі. При цьому в оригінальному кадрі відбувається пошук зорі в деякому околі точки з координатами x, y , що відповідають штучно побудованому каталожному об'єкту. У наших дослідженнях координати відповідної зорі в околі вказаної точки шукались за максимальним значенням координати z , що відповідає максимальній інтенсивності. Така схема побудована на тому факті, що максимум зображення зорі в оцифрованому кадрі займає лише один піксель. Некоректні ототожнення, зобумовлені саме цією причиною, можуть виникати лише при ідентифікації найслабших зір, висота зображення яких порівняна з висотою флуктуацій фону [3].

2. ОПИС МЕТОДУ

Оскільки основною складовою при ідентифікації зір у кадрі описаним вище методом є побудова якомога точнішого зображення аналогічного каталожного кадру-карти на основі схеми ідеальної проекції, розглянемо цей процес детальніше. Необхідними параметрами, крім екваторіальних координат зір α, δ , що беруться з каталогу, є наближені екваторіальні координати оптичного центру оригінального кадру A, D , які в першому наближенні можна задати з точністю до десятка градусів (при діагоналі кадру 28 градусів). Далі за відомими формулами [2] знаходимо ідеальні координати кожної зорі з каталогу:

$$\xi = F_x \frac{\cos \delta \sin(\alpha - A)}{\sin \delta \sin D + \cos \delta \cos D \cos(\alpha - A)}$$

$$\eta = F_y \frac{\sin \delta \cos D - \cos \delta \sin D \cos(\alpha - A)}{\sin \delta \sin D + \cos \delta \cos D \cos(\alpha - A)}$$

де прийняті позначення $F_x = Fm_x, F_y = Fm_y$. F – фокусна відстань, виражена в пікселях, що визначається емпірично, m_x та m_y – масштабні множники вздовж осей, введені через те, що процес оцифровки не завжди зберігає пропорції оригінального зображення. Оскільки вісь x у ідеальній системі координат направлена в бік зростання прямого схилення, тобто система є лівосторонньою, перейдемо до більш звичної правосторонньої системи наступним чином:

$$x_0 = -\xi$$

$$y_0 = \eta$$

Введемо далі кут φ та повернемо отриману систему координат до приблизно однакової орієнтації з оригінальним кадром згідно наступним елементарним формулам:

$$x_\varphi = x_0 \cos \varphi + y_0 \sin \varphi$$

$$y_\varphi = -x_0 \sin \varphi + y_0 \cos \varphi$$

а також перенесемо початок системи координат з центру кадру (припускалося, що оптичний та геометричний центри кадру співпадають) до загальноприйнятої системи координат:

$$x = x_{OC} + x_\varphi$$

$$y = y_{OC} + y_\varphi,$$

де x_{OC} і y_{OC} – координати геометричного центру кадру. Поступово варіюючи параметри A, D, F_x, F_y та φ можна досягти такого співпадання, коли два кадри виглядають візуально майже ідентично – рис.1 – можна починати процес ототожнення.

Ототожнення методом паралельного виділення тих самих зірок в обох кадрах – справа досить кропітка. Для автоматизації цього процесу можна скористатися апроксимацією. Ототожнивши декілька зірок (бажано якомога більше), що приблизно рівномірно розміщені по полю кадру, розв'яжемо отриману систему методом найменших квадратів.

Найкраще для цього використати відомі формули з астрометрії, що виражають ідеальні координати через вимірні. Оскільки ідеальна прямокутна система координат та система вимірних координат є еквівалентними, ми скористаємося вищезгаданими формулами для оберненого зв'язку, тобто виразимо

вимірні координати через ідеальні. Використаємо поліноміальні апроксимації та проєктивну формулу Дейча при довільно вибраному оптичному центрі [1], яка є також інваріантною відносно перестановки ідеальних та вимірних координат. Серед поліномів виберемо лінійний, або метод шести постійних, який в нашому випадку запишеться у вигляді

$$x = a_0 + a_1\xi + a_2\eta$$

$$y = b_0 + b_1\xi + b_2\eta,$$

вкорочений квадратичний поліном, або метод десяти постійних

$$x = a_0 + a_1\xi + a_2\eta + a_3\xi\eta + a_4\xi^2$$

$$y = b_0 + b_1\xi + b_2\eta + b_3\xi\eta + b_4\eta^2,$$

та повний квадратичний поліном (метод 12 постійних)

$$x = a_0 + a_1\xi + a_2\eta + a_3\xi\eta + a_4\xi^2 + a_5\eta^2$$

$$y = b_0 + b_1\xi + b_2\eta + b_3\xi\eta + b_4\xi^2 + b_5\eta^2.$$

Формула Дейча, або 8 постійних, запишеться у вигляді

$$x = \frac{a_0 + a_1\xi + a_2\eta}{1 + c_1\xi + c_2\eta} \quad y = \frac{b_0 + b_1\xi + b_2\eta}{1 + c_1\xi + c_2\eta}.$$

Очевидно, що точність ідентифікації буде залежати не лише від обраного методу, а й від радіусу вибраної зони ототожнення, а також від місця розташування зорі – у центрі кадру чи на краю, де велика дисторсія. Окрім цього вирішальний вплив буде мати геометричне місце розташування базисних зір, що вибиралися для визначення постійних апроксимації.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА

Для того, щоб перевірити, наскільки коректно працює кожен з вище згаданих методів – як метод ототожнення всіх зір візуально, так і апроксимативні методи – проведемо дослідження на кількох кадрах, отриманих з телевізійною трубкою типу ізокон та об'єктивом "Юпітер-3" ($F = 50$ мм, $D:F = 1:1.5$), що використовується при спостереженнях метеорів. Для оцифровки було використано стандартний захоплювач кадру, що проводить оцифровку у форматі $352 \times 288 \times 256$. Спочатку було проведено ототожнення зір візуально при різних радіусах зони пошуку каталожного аналога в оригінальному кадрі – рис.2а, потім послідовно усіма методами при оптимальному радіусі зони пошуку. Результати приведені на рис.2б-2ф. По осі ординат відкладено частоту коректного ототожнення, виражену в процентах, яку в даному випадку можна інтерпретувати як імовірність коректної ідентифікації. Числа на гістограмі відповідають загальній кількості зірок в даному діапазоні зоряних величин, які попали у вибірку для перевірки методів.

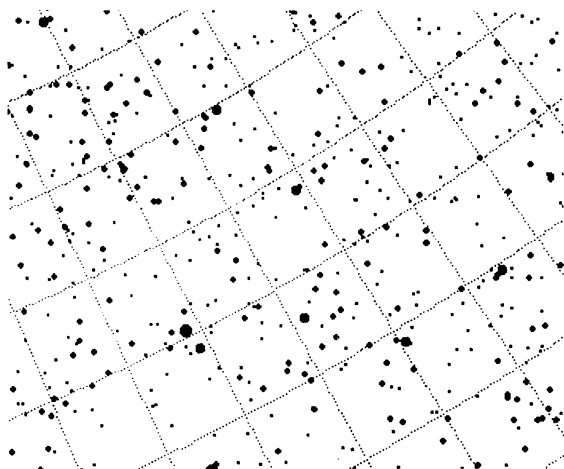
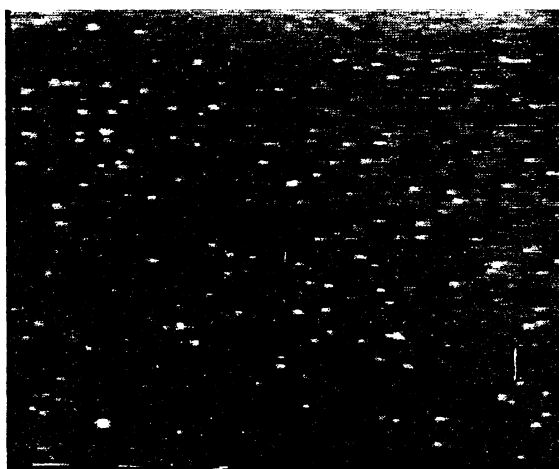


Рис.1 Оригінальний оцифрований телевізійний кадр (зліва) та побудований методом ідеальної проєкції, на основі каталожних даних зір, штучний кадр-карта (справа).

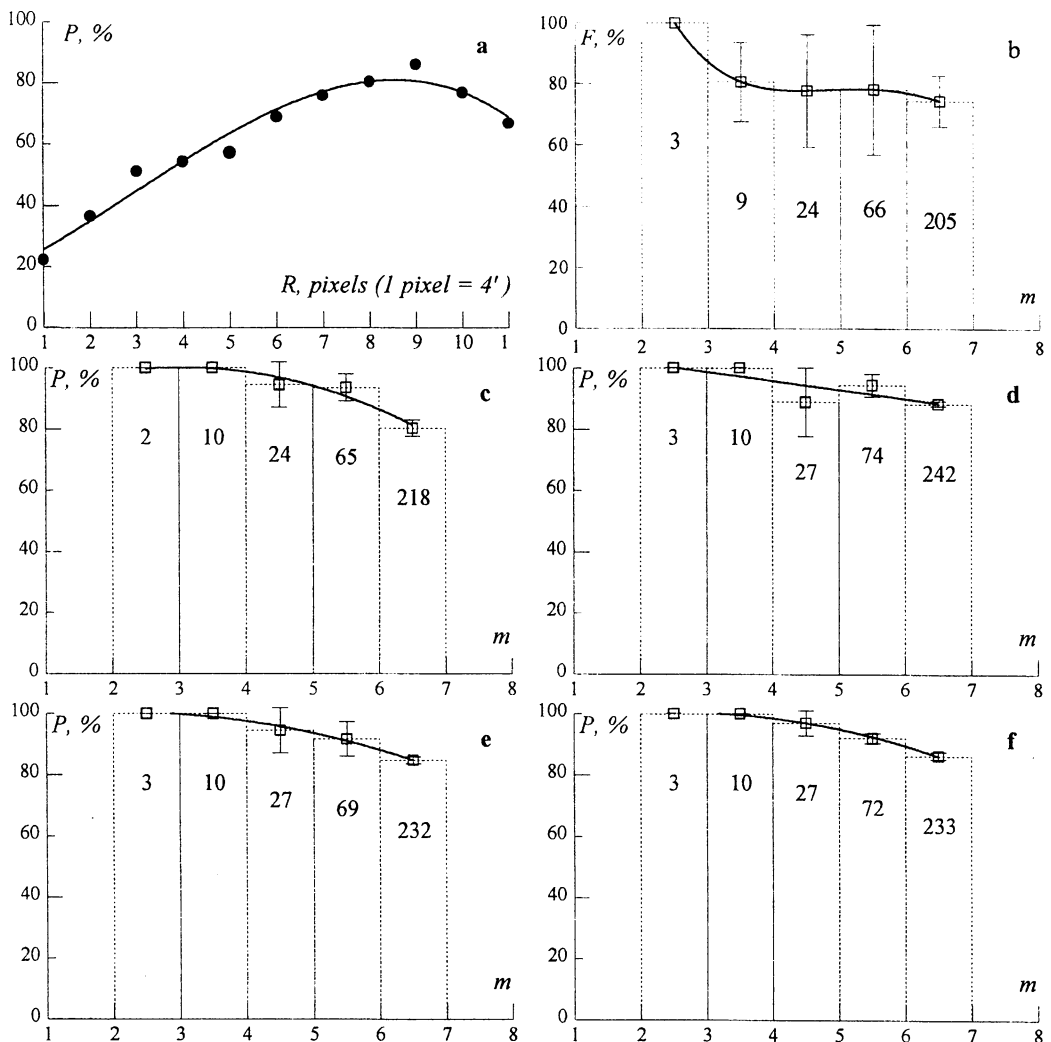


Рис.2. Ймовірність коректної ідентифікації зір в залежності від радіуса пошуку (a) і від різних методів: b – візуальний метод ідеальної проекції, c, d, e, f – методи 6, 8, 10, 12 постійних відповідно.

4. ВИСНОВКИ

Описаний метод ідентифікації зірок в оцифрованому кадрі досить швидкий і простий у використанні. Наявність зоряних каталогів у цифровому вигляді в даний час не становить проблеми. Використання апроксимаційних функцій на основі методу найменших квадратів ще більше спрощує поставлену задачу. Серед описаних вище методів найбільш привабливими виглядають методи 8 та 12 постійних, особливо перший з них, оскільки теоретично потребує меншої мінімальної кількості зірок.

Однак, як видно з рисунків, для зір 5–7 зоряної величини та слабкіших жоден з вказаних методів не дає стовідсоткової ймовірності коректної ідентифікації. Оптимальним засобом для усунення цієї проблеми є паралельний візуальний контроль з подальшим підтвердженням або відміною дії ототожнення автоматичної програми.

1. Дейч А.Н. К вопросу о редукции фотографических положений при произвольном оптическом центре. – Астрон.ж. – 1965. – XLII, 5. – С.1114–1116.
2. Киселев А.А. Векторная интерпретация основных методов фотографической астрометрии. – Астрон. ж. – 1965. – XLII, 2. – С.452–463.
3. Козак П.Н. О внутренней точности цифровой фотометрии метеоров по телевизионным наблюдениям. – Кинематика и физика небесных тел. – 1998. – 14, № 6. – С.553–563.

Надійшла до редакції 3.10.2001