

УДК 523.68:521.95:520.82

П. Н. Козак

Астрономическая обсерватория Национального университета имени Тараса Шевченко
04053 Киев-53, ул. Обсерваторная, 3

Анализ методов и точность определения экваториальных координат при цифровой обработке телевизионных наблюдений метеоров

Проведен анализ некоторых широко употребляемых в астрометрии редуцированных моделей определения экваториальных координат объекта при обработке оцифрованных телевизионных изображений метеоров. Из анализа обрабатываемого материала получены распределения погрешностей вычислений, а также исследованы причины, вызывающие отклонения более двух угловых размеров пикселя. Установлено, что применение функций, аппроксимирующих контуры изображений звезд, повышает точность определяемых положений метеоров примерно на одну минуту дуги. Сделано заключение о целесообразности использования модели шести постоянных для обработки телевизионных кадров с изображением метеоров. Минимально возможная погрешность определения экваториальных координат метеоров при размере пикселя 4' составляет 1.5—3.5'.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВАТОРІАЛЬНИХ КООРДИНАТ ПРИ ЦИФРОВІЙ ОБРОБЦІ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕТЕОРІВ, Козак П. М. — Проведено аналіз деяких широко вживаних в астрометрії редуційних моделей визначення екваторіальних координат об'єкта при обробці оцифрованих телевізійних зображень метеорів. Із аналізу опрацьованого матеріалу отримано розподіл похибок обчислень, а також досліджено причини, які викликають відхилення більше двох куткових розмірів пікселя. Встановлено, що застосування функцій, які апроксимують контури зображень зірок, підвищує точність обчислюваних положень метеорів приблизно на одну мінуту дуги. Зроблений висновок про доцільність використання моделі шести змінних для обробки телевізійних кадрів із зображеннями метеорів. Мінімумально можлива похибка визначення екваторіальних координат метеорів при розмірі пікселя 4' складає приблизно 1.5—3.5'.

ANALYSIS OF THE METHODS AND PRECISION OF DETERMINATION OF THE EQUATORIAL COORDINATES IN DIGITAL REDUCING OF TV OBSERVATIONS OF METEORS, by Kozak P. M. — We analysed some widely used in astrometry reduction models for the determination of object

equatorial coordinates in digital reducing of TV observations of meteors. The analysis of the reduced material enabled us to derive the distribution of calculation errors and to investigate sources of deviations exceeding two angle sizes of a pixel. We found that using star shape fits increases the precision of the derived positions of the meteors by about 1'. We concluded that the six constants method is efficient for reducing the TV images of the meteors. The minimal error of the determination of the equatorial coordinates of the meteors is about 1.5'—3.5' when the pixel size is equal to 4'.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, астрометрическая обработка результатов базисных оптических наблюдений метеоров заключается в измерении координат звезд сравнения и точек на следе метеора с последующим вычислением их экваториальных координат. На основании полученных положений определяются параметры траектории метеороида и элементы его гелиоцентрической орбиты. При обработке результатов фотографических наблюдений, где изображение метеора представляет собой непрерывный след, для получения экваториальных координат точки на следе, как правило, используются две опорные звезды [3, 7]. При этом звезды выбираются по разные стороны от следа метеора, а затем измеряются их координаты и координаты точки пересечения соединяющей их прямой с метеорным следом. Такой подход имеет как преимущества, так и недостатки. К недостаткам относится малое число измеряемых точек на следе метеора, так как оно ограничивается количеством звезд вдоль метеорного следа. Этот недостаток компенсируется возможностью провести достаточно точные измерения координат с помощью высокоточных координатно-измерительных приборов.

При цифровой обработке телевизионных наблюдений количество измеряемых точек на изображении следа метеора можно значительно увеличить, повышая, таким образом, точность вычисления кинематических параметров метеороида, в первую очередь радианта. Ограничителем количества измеряемых точек в данном случае являются возможности оцифровывающего устройства, определяющего угловой размер пикселя. При использовании объектива «Юпитер-3» ($F = 50$ мм, $D:F = 1:1.5$), наиболее часто применяемого при телевизионных наблюдениях метеоров, и при использовании оцифровывающего устройства, обеспечивающего размеры изображения $352 \times 288 \times 256$, угловой размер пикселя составляет около $4'$. Для определения экваториальных координат точек на следе метеора можно применить ряд способов фотографической астрометрии, использующих различные редуцированные модели. Следует отметить, что задача определения координат астрономических объектов, наблюдаемых при помощи телевизионной техники в сочетании с той или иной оптикой, неоднократно рассматривалась ранее [5, 12]. В некоторых случаях при обработке снимков для исключения дисторсионных искажений, обусловленных электромагнитной фокусировкой телевизионной системы, применялся метод тест-сетки, проецируемой во время съемки на плоскость фотокатода с помощью специальной оптической системы [13]. При этом исследовалось смещение объектов относительно узлов решетки. Задача определения координат объектов, полученных телевизионной системой с широкоугольным объективом, рассматривалась в работе [6], согласно которой точность получения координат объекта в треугольнике опорных звезд размером около 8° составила $3—5'$. Отмечалось также, что аппроксимация зависимости идеальных координат от измеренных линейным полиномом является в большинстве случаев достаточной.

На оцифрованных телевизионных кадрах измеряются точки изображения головы метеора на ряде последовательных кадров для определения скорости метеора (5—20 точек), точки вдоль всего метеорного следа в суммарном кадре для более точного определения радианта и параметров траектории метеора (50—250 точек), и необходимое количество звезд сравнения, предварительно отождествленных каким-либо способом, например [11], по каталогу экваториальных координат звезд. В качестве измеренных координат можно принять либо грубые координаты пикселей, соответствующих максимальной интенсивности объекта (в силу применения широкоугольных объективов изображения звезд имеют узкий остроконечный вид [10], а точность измерения прямоугольных координат в этом случае составляет 0.5 размера пикселя), либо уточненные координаты, полученные путем аппроксимации контура звезды и разреза изображения метеора некоторой функцией, как это обычно делается в практике обработки ПЗС-изображений. Для достижения максимальной точности определяемых экваториальных координат точек изображения метеора в оцифрованном кадре, полученном с широкоугольным объективом и искаженным довольно сильными дисторсиями электромагнитной фокусировки телевизионной передающей трубки, требуется произвести детальный анализ всей схемы решения поставленной задачи. Учитывая специфику обработки наблюдений метеоров (например, расположение изображения метеора на произвольном расстоянии от оптического центра) основной задачей настоящего исследования является обсуждение факторов и параметров, которые определяют точность вычислений и которые в процессе обработки можно изменять: редуцированная модель, количество отождествленных опорных звезд в окрестности точки изображения метеора и занимаемая ими геометрическая зона, симметрия выборки звезд относительно измеряемой точки на следе метеора. Принимая во внимание также возможность автоматизации процесса цифровой обработки, будут сформулированы некоторые критерии выбора указанных параметров. Достижение указанных целей осуществляется путем моделирования задачи, где в качестве исследуемого объекта принимаются звезды с известными координатами в реальных телевизионных кадрах.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СХЕМА И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Наиболее часто в качестве редуцированной модели для связи измеренных и идеальных координат используют полиномиальную аппроксимацию. При этом для определения набора коэффициентов применяются статистические меры соответствия, использующие F - или t -критерии. Однако применение таких критериев связано со значительным увеличением количества вычислений с одной стороны и, как было показано в работе [1], не обеспечивают надежных результатов [2]. Поэтому для сокращения вычислений воспользуемся полиномиальными редуцированными моделями с несколькими наборами коэффициентов [9], а именно: линейным полиномом (шесть постоянных), усеченным квадратичным полиномом (10 постоянных), полным квадратичным полиномом (12 постоянных), а также нелинейной редуцированной моделью — проективным методом Дейча [4] при произвольном оптическом центре (восемь постоянных). Систему условных уравнений запишем в виде [1, 9]:

$$Y = X\beta + \varepsilon, \quad (1)$$

где Y — матрица-столбец идеальных координат опорных звезд, X — регрессионная матрица, состоящая из измеренных координат звезд, β —

матрица-столбец искомых коэффициентов и ε — матрица-столбец невязок. Идеальные координаты опорных звезд вычисляются по их экваториальным координатам и приближенным экваториальным координатам оптического центра кадра [8]. Для оценки дисперсии вычисленных по (1) идеальных координат исследуемого объекта воспользуемся следующим выражением [1]:

$$\sigma_M^2 = \hat{\sigma}^2(\mathbf{X}_M^T(\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}_M + 1), \quad (2)$$

где $\hat{\sigma}^2 = \varepsilon^T\varepsilon/(N - P)$, \mathbf{X}_M — регрессионная матрица-столбец, состоящая из измеренных координат исследуемого объекта, N — количество опорных звезд, P — количество регрессоров в данной модели.

Вычисление экваториальных координат точек на следе метеора можно осуществлять двумя путями. Первый путь состоит в том, чтобы вычислить общие для всего кадра коэффициенты редуцированной модели, используя в качестве опорных звезд все корректно отождествленные звезды в данном кадре, а затем с полученным набором коэффициентов рассчитать координаты всех точек вдоль изображения метеора. Несмотря на преимущество быстроты вычислений, при таком подходе необходимая точность вычислений не обеспечивается.

Второй подход заключается в выборе некоторой группы необходимого количества опорных звезд вокруг каждой точки на изображении метеора. Временные затраты, необходимые для построения новой выборки опорных звезд для каждой точки, компенсируются возможностью существенно поднять точность вычислений. Кроме того, при таком подходе имеется возможность варьировать параметры выборки опорных звезд, выбирая по каким-либо критериям наиболее точный вариант, либо усредняя результаты вычислений экваториальных координат точки на изображении метеора, полученные по различным выборкам в ее окрестности. При цифровой обработке в автоматическом режиме наиболее целесообразно изменять круговую зону радиуса R вокруг исследуемого объекта от некоторого минимального до максимального значения. Вычисления проводятся по N опорным звездам, находящимся внутри круговой геометрической зоны, если выборка звезд соответствует всем необходимым критериям. Параметрами выборки опорных звезд, которые при этом можно изменять или контролировать и использовать в качестве критериальных, будем считать уже упомянутые величины R и N , а также некоторый коэффициент асимметрии K_{as} , характеризующий асимметрию взаимного размещения вычисляемой точки на изображении метеора (объекта) и опорных звезд. Его можно ввести следующим образом. Выберем некоторый сектор с вершиной, совпадающей с объектом и углом раствора 180° . Поворачивая сектор с некоторым угловым шагом вокруг объекта, можно отслеживать количество опорных звезд текущей выборки в данном секторе и, таким образом, определять асимметрию выборки. Коэффициент асимметрии K_{as} определим как количество пустых секторов при пошаговом вращении сектора на 360° . Очевидно, что при выбранном растворе сектора $K_{as} = 0$, если объект находится внутри выборки опорных звезд, $K_{as} = 1$, если объект находится на границе выборки, и далее K_{as} будет увеличиваться по мере удаления объекта от области опорных звезд. Оптимальный набор значений рассмотренных параметров, характеризующих выборку опорных звезд, зависит в общем от качества телевизионного кадра.

Для того чтобы определить оптимальные значения упомянутых параметров выборки опорных звезд для каждой редуцированной модели и использовать их в дальнейшем в качестве показателей точности, проведем модель-

ные расчеты для реальных кадров, используя в качестве искомого объекта звезды с известными координатами.

Выбор зоны распределения опорных звезд. Известно, что ошибка измерений идеальных координат пропорциональна размеру геометрической зоны с опорными звездами. Перед тем как перейти к моделированию реальных измерений, определим оптимальные размеры геометрической зоны опорных звезд вокруг измеряемого объекта и их количество для обработки реального телевизионного кадра. Чтобы избежать влияния других факторов на точность результатов, вычисления проведем для центральной области кадра. Выберем в качестве исследуемого объекта звезду в центре кадра с известными координатами. Сначала была выбрана зона радиусом 70 пкл ($\approx 4.6^\circ$) и выполнены вычисления со всеми редуцированными моделями с различным количеством звезд в выборке с контролем их равномерного расположения по всей зоне. Аналогичные вычисления выполнены для большей в два раза области (140 пкл $\approx 9.2^\circ$).

Разности $O-C$ координат, полученных по измерениям и вычисленным по каталожным координатам, для разных моделей редукиции и выборок опорных звезд приведены на рис. 1. Средние значения и погрешности вычислялись по измерениям пяти кадров. Как видно, для различных моделей редукиции зависимость точности вычислений от количества звезд в выборке и от размера площади с опорными звездами не одинакова. Также точность вычисления идеальных координат точки на изображении метеора

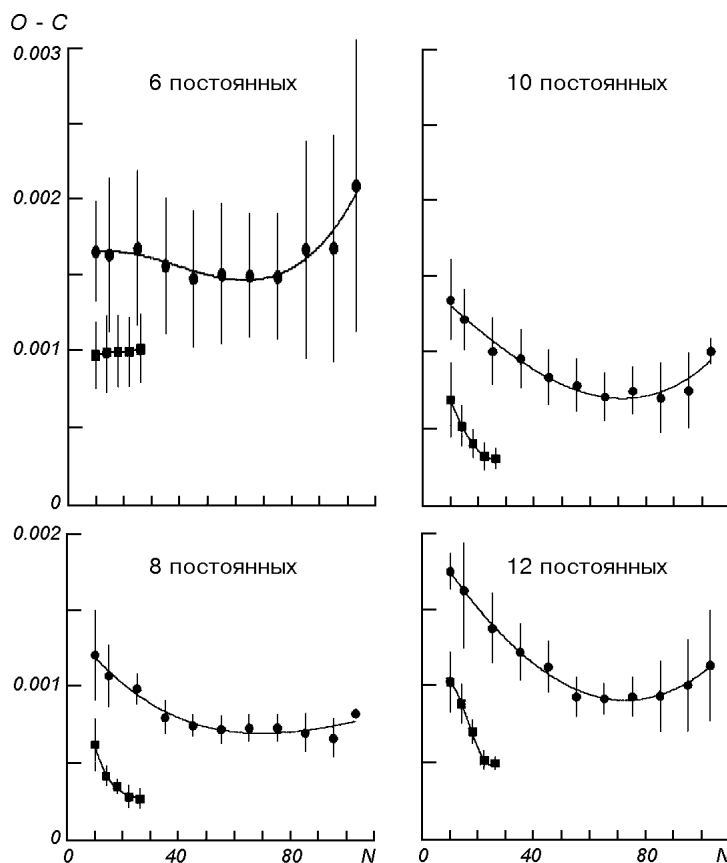


Рис. 1. Зависимость среднего значения «вычисленные минус каталожные» идеальных координат от количества опорных звезд N в выборке при их равномерном распределении: точки — для зоны 140 пкл; квадратики — для зоны 70 пкл

очень сильно зависит от размера геометрической зоны опорных звезд. Сравнивая величину отклонения для различных зон, приходим к выводу, что для упомянутого выше объектива целесообразно пользоваться размером зоны опорных звезд не более 70—80 пкл. Следует также отметить, что модели с 6 и 12 постоянными в идеализированных условиях дают худшую точность чем модели с 8 и 10 постоянными. Поэтому исключим из дальнейшего рассмотрения метод 10 постоянных, но линейный метод оставим, так как на практике возможны ситуации, когда требуется произвести расчет с минимальным количеством отождествленных звезд, например на краю кадра, для чего линейный метод является наиболее подходящим.

Исследование точности определения координат метеора по большой выборке. Предыдущее моделирование базировалось на идеализированной ситуации, когда метеор пролетает через центр кадра, а опорные звезды расположены равномерно вокруг него. На практике такая ситуация встречается крайне редко. Для моделирования более реалистичных ситуаций проведем вычисление экваториальных координат звезд как неизвестных объектов по всей области кадра, для различных пяти кадров с приблизительно одинаковым склонением. Общее количество обработанных объектов составило около 650. В качестве критерия точности использовалась разность $O - C$ экваториальных координат тестовых звезд. Изменение размера зоны опорных звезд вокруг объекта производилось от 10 до 100 пкл с шагом 5 пкл. Количество опорных звезд в геометрической зоне варьировалось от 3—5 до 40—50 в зависимости от плотности отождествленных звезд в данном месте кадра. Результаты моделирования с использованием линейного полинома представлены в виде распределения плотности вероятности величины $O - C$ на рис. 2 (заштриховано).

Распределения для редуционных моделей 8 и 10 постоянных имеют аналогичный вид. Преимущество в точности этих моделей по сравнению с линейной моделью в реальных ситуациях, в отличие от идеализированных условий рис. 1, не проявляется, что может свидетельствовать об их большей чувствительности к вариациям параметров выборки опорных звезд. Среднее значение $O - C$ на рис. 2 составляет примерно $6'$ (заштриховано), в основном за счет хвоста распределения, соответствующего грубым ошибкам, что несколько больше размера пикселя $4'$ и не может считаться приемлемым при обработке телевизионных наблюдений. Поэтому целесообразно выяснить причины получения больших разностей $O - C$ (более $8'$, полагая пока меньшие оценки приемлемыми), что в дальнейшем позволит их

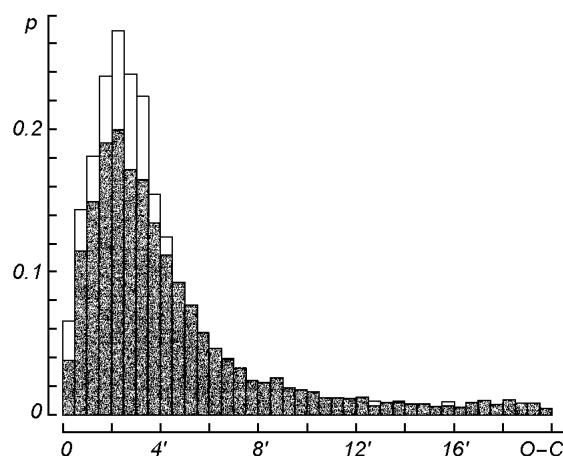


Рис. 2. Распределение оценок $O - C$ экваториальных координат по редуционной модели шести постоянных: заштрихованные столбики — при переборе всех выборок опорных звезд в диапазоне $R = 10 \dots 100$ пкл; незаштрихованные столбики — для выборок с оптимальными параметрами (см. ниже)

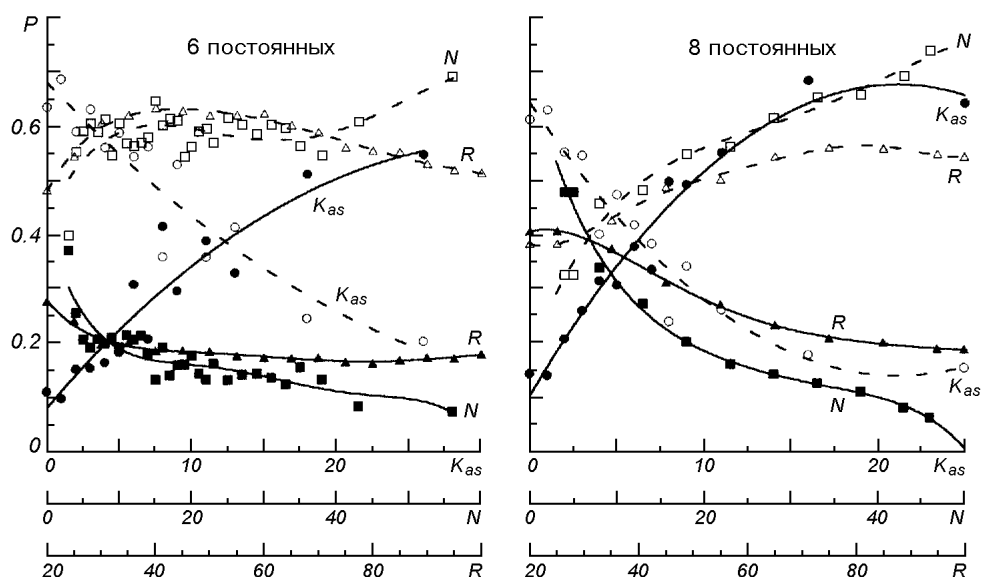


Рис. 3. Зависимости вероятностей $P(O - C \leq 4')$ — штриховые кривые и $P(O - C > 8')$ — сплошные кривые от параметров выборки опорных звезд

избежать. Кроме того, следует найти возможности повышения точности в остальной части распределения.

Исключение больших погрешностей. Из рис. 2 видно, что для модели шести постоянных вероятность получить погрешность, превышающую $8'$, составляет примерно 18 %, в то время как соответствующие вероятности для погрешностей менее $4'$ и $4-8'$ составляют примерно 58 % и 24 %. Рассматривая и далее в качестве критериев точности вычислений экваториальных координат вероятности $p(O - C \leq P_s)$ и $p(O - C \geq 2P_s)$, где $P_s = 4'$ — угловой размер пикселя, произведем селекцию выборки на рис. 2 по параметрам K_{as} , R и N . Вычислив упомянутые вероятности для полученных подвыборок по всем рассмотренным параметрам, получим зависимость, представленную на рис. 3 для моделей шести и восьми постоянных. Зависимость для модели 10 постоянных мало отличается от редуccionной модели восьми постоянных. Как видно, зависимость точности вычислений экваториальных координат от количества звезд в выборке для редуccionной модели шести постоянных значительно слабее, чем в других моделях. Зависимость от коэффициента асимметрии является определяющей для всех моделей. Отличительной чертой является более высокая точность при $K_{as} = 1$, чем при $K_{as} = 0$, т. е. когда объект находится на краю выборки опорных звезд. Данный факт согласуется с результатами теоретического моделирования, проведенного в работе [9].

Детально анализируя кривые на рис. 3, можно эмпирически установить граничные значения для параметров, характеризующих выборку опорных звезд и обеспечивающих наименьшую погрешность при вычислениях в телевизионном кадре. После введения для каждой редуccionной модели набора оптимальных значений K_{as} , R и N и выполнения расчета экваториальных координат всех тестовых объектов с соответствующими ограничениями на выборку опорных звезд получим результаты, представленные в таблице. Соответствующее распределение плотности вероятности для $O - C$

Сравнение вероятностей $P(O - C \leq 4')$, $P(O - C > 8')$, средних значений $\langle O - C \rangle$ для произвольных выборок опорных звезд и выборок с оптимально подобранными параметрами K_{as} , R , N

Модель	Все выборки опорных звезд для $R = 10 \dots 100$			Выборки опорных звезд с оптимальными параметрами K_{as}					
	$p(O - C \leq 4')$, %	$p(O - C > 8')$, %	$\langle O - C \rangle$	K_{as}	R	N	$p(O - C \leq 4')$, %	$p(O - C > 8')$, %	$\langle O - C \rangle$
6	58.2	17.9	5.98	≤ 1	≤ 65	≥ 5	71.8	7.1	3.74
8	52.2	24.8	13.31	≤ 1	≤ 60	≥ 35	71.6	8.0	3.98
10	55.2	20.7	8.76	≤ 1	≥ 65	≥ 21	67.1	9.9	4.33

модели шести постоянных приведено на рис. 2 (незаштрихованные столбики). Как видно, после подбора оптимальных параметров выборки опорных звезд средняя точность определения экваториальных координат точки на изображении метеора в телевизионном кадре примерно одинаковая для всех рассмотренных редукционных моделей и составляет 3—4'. Наиболее вероятные значения $O - C$ (мода распределения) несколько меньше и составляют 1.5—2.5'. Ограничения на минимальный радиус зоны опорных звезд для моделей 8 и 10 постоянных объясняется, по-видимому, недостаточным количеством звезд в такого размера зонах как следствие малой плотности отождествленных звезд в телевизионном кадре с рассмотренным объективом, которая составляет 1—1.5 звезды на квадратный градус.

Таким образом, введя ограничение на минимальное (или максимальное) количество опорных звезд и отбрасывая варианты с размещением объекта вне выборки опорных звезд, долю грубых ошибок при автоматической обработке можно свести к 7—8 %. Как показали более детальные исследования, около 7 % грубых ошибок являются следствием неравномерного распределения отождествленных звезд во всем телевизионном кадре вследствие различной чувствительности фотокатода по полю, которое особенно проявляется при плохих условиях наблюдений. Контролируя визуально процесс астрометрической обработки изображения метеора, количество грубых погрешностей можно уменьшить до 1—2 %.

О повышении точности измеренных координат опорных звезд и объекта. На всем этапе предыдущего моделирования использовались грубые измеренные координаты всех объектов с точностью ± 0.5 пкл. Для уточнения можно использовать трехмерные аппроксимации контуров изображений звезд и двумерные аппроксимации разрезов изображений метеора функциями типа гауссианы, лоренцианы или смешанных. Поскольку контуры изображений звезд при телевизионных наблюдениях имеют весьма острый и несимметричный вид [10] и очень малые размеры (например, 6×2 пкл), ожидать большого повышения точности не следует. Более того, учитывая, что погрешности, обусловленные неточностью измерения координат

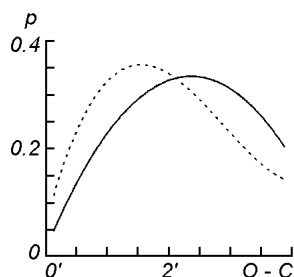


Рис. 4. Распределение плотности вероятности $O - C$ на интервале 0—4': сплошная кривая — с использованием грубых (± 0.5 пкл) измеренных координат объекта, пунктирная кривая — с использованием аппроксимации контуров изображений звезд гауссианой

нат, не являются самыми большими, то для того, чтобы обнаружить возможное повышение точности после аппроксимации, следует сравнивать левые, наиболее свободные от других погрешностей части распределения на рис. 2. Используя для теста аппроксимацию гауссианой, получены результаты, представленные на рис. 4. Как видно, указанная аппроксимация сдвигает моду распределения с $2.5'$ до $1.5'$, т. е. уменьшает погрешность определяемых координат метеора на одну минуту дуги.

Проверка адекватности оценок погрешности экваториальных координат метеора. Результаты тестовых расчетов на основании большой выборки можно также использовать для проверки адекватности описания погрешности вычисления идеальных координат формулой (2). Предполагая, что погрешность распределена по нормальному закону, выбранная нами в качестве среднего квадратичного отклонения оценка (2) должна подчиняться следующим условиям, свойственным нормальному распределению: $p(|O - C| \leq \sigma) = 0.683$; $p(|O - C| \leq 2\sigma) = 0.955$; $p(|O - C| \leq 3\sigma) = 0.997$. Из выборки тестовых измерений получены значения 0.716, 0.915, 0.963, т. е. оценка (2) вполне адекватно описывает погрешности обработки телевизионных метеоров.

ВЫВОДЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Основываясь на проведенных выше исследованиях, можно рекомендовать такую процедуру астрометрической обработки телевизионных изображений метеоров. Для каждой определяемой точки на следе метеора необходимо вычислять экваториальные координаты по ряду выборок опорных звезд в окрестности данной точки. Для текущей выборки вычисления целесообразно проводить только в том случае, если параметры K_{as} , R и N , характеризующие выборку опорных звезд, соответствуют эмпирически полученным для телевизионного кадра с данным объективом и для данной редуцированной модели критериям. Если для данной точки на следе метеора получено несколько удовлетворяющих критериям выборок и, соответственно, имеется ряд значений экваториальных координат, то выбор из них можно осуществить несколькими способами: руководствуясь рис. 1, выбрать вычисленные экваториальные координаты метеора, соответствующие минимальной геометрической зоне R ; принять координаты, соответствующие выборке с максимальной плотностью звезд на квадратный градус; принять координаты, соответствующие минимальной оценке (2); принять усредненные координаты.

Если нет выборки звезд, удовлетворяющей необходимым критериям в окрестности данной точки на следе метеора, точка отбрасывается. Параметры траектории метеора, соответствующие отброшенной точке (дальность, высота над уровнем моря), вычисляются позже путем их интерполяции для точек вдоль следа метеора или экстраполяции — для точек в начале и конце метеорного следа, что имеет место на краю кадра.

В качестве редуцированных моделей можно рекомендовать модели 6, 8 и 10 постоянных, которые после расчета по оптимальным выборкам опорных звезд обеспечивают приблизительно одинаковое среднее значение $O - C$ порядка $3-4'$. Учитывая, что согласно таблице модели 8 и 10 постоянных требуют наложения более жестких условий на выборку опорных звезд по сравнению с моделью шести постоянных для обеспечения той же точности и требуют большего времени для расчетов, целесообразно использовать при обработке телевизионных наблюдений метеоров редуцированную модель шести постоянных. Этот вывод уточняет результаты работы [14], полученные на основании значительно меньшей статистики.

Вероятность получить $O - C$ экваториальных координат точки на следе метеора меньше углового размера пикселя составляет примерно 72 %, а больше двух размеров (в нашей интерпретации грубые измерения) около 7 %. Если сопровождать вычисления визуальным контролем, количество грубых вычислений можно свести к 1–2 %. Остаточные несколько процентов грубых измерений можно потом исключить методами статистического анализа.

Аппроксимация контуров изображений звезд сравнения и метеора функциями типа гауссианы повышает точность вычисления экваториальных координат метеора примерно на 1'.

Автор искренне благодарен В. Г. Кручиненко, В. Н. Ивченко и Д. П. Думе за советы и критические замечания.

1. *Валеев С. Г.* Регрессионное моделирование при обработке наблюдений. — М.: Наука, 1991.—272 с.
2. *Даутов И. А., Жуков Г. В., Рахимов Л. И. и др.* Определение точных положений слабых звезд по наблюдениям на широкоугольном астрографе Цейс 400/2000 // Тр. Казан. гор. Астрон. обсерватории.—1983.—№ 48.—С. 114—128.
3. *Дейч А. Н.* Определение фотографического положения объекта по двум и по трем опорным звездам // Астрон. журн.—1948.—25, вып. 1.—С. 44—58.
4. *Дейч А. Н.* К вопросу о редукции фотографических положений при произвольном оптическом центре // Астрон. журн.—1965.—42, вып. 5.—С. 1114—1116.
5. *Демченко Б. И., Диденко А. В., Матягин В. С. и др.* // Автоматизация наблюдений подвижных космических объектов. — Казахская ССР: Наука, 1990.—158 с.
6. *Ивченко В. Н., Лазоренко П. Ф., Милиневский Г. П.* Телевизионные наблюдения с широкоугольными объективами // Проблемы космич. физики.— 1979.—Вып. 14.—С. 16—23.
7. *Киселев А. А.* Интерполяционный метод определения положений небесного объекта на фотографии // Астрон. журн.—1959.—36, вып. 2.— С. 348—360.
8. *Киселев А. А.* Векторная интерпретация основных методов фотографической астрометрии // Астрон. журн.—1965.—42, вып. 2.—С. 452—463.
9. *Киселев А. А.* Теоретические основания фотографической астрометрии. — М.: Наука, 1989.—260 с.
10. *Козак П. Н.* О внутренней точности цифровой фотометрии метеоров по телевизионным наблюдениям // Кинематика и физика небес. тел.—1998.—14, № 6.—С. 553—563.
11. *Козак П. М.* Проблема ідентифікації зірок у кадрі при цифровій обробці телевізійних спостережень метеорів // Вісник Астрон. школи.—2001.—2, № 1.—С. 21—24.
12. *Лазоренко П. Ф., Миняйло Н. Ф., Милиневский Г. П. и др.* Опыт телевизионных наблюдений на меридианном аксиальном круге // Кинематика и физика небес. тел.—1989.—5, № 4.—С. 16—19.
13. *Мелкумов В. С.* Анализ некоторых методов телевизионной астрономии в задаче определения экваториальных координат астрономических объектов // Автоматизация астрономических наблюдений. — Алма-Ата: Наука, 1981.—С. 57—63.
14. *Kozak P. M., Rozhilo A. A., Taranukha Y. G.* Some features of digital kinematic and photometrical processing of faint TV meteors // Proc. Meteoroids 2001 Conf., Swedish institute of space physics, Kiruna, Sweden, 6—10 August 2001. — Kiruna, 2001.—P. 337—342. — (ESA SP-495, November 2001).

Поступила в редакцию 05.04.02