



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 107 895** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК⁶ **G 01 C 1/00**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 4521847/28, 23.10.1989

(46) Дата публикации: 27.03.1998

(56) Ссылки: Закатов П.С. Курс высшей геодезии. - М.: Недра, 1976, с. 445.

(71) Заявитель:
Центральный научно-исследовательский институт "Электроприбор"

(72) Изобретатель: Пешехонов В.Г.,
Васильев В.А., Зиненко В.М., Коган Л.Б., Савик В.Ф., Янушкевич В.Е.

(73) Патентообладатель:
Центральный научно-исследовательский институт "Электроприбор"

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ КООРДИНАТ АСТРОЛЯБИЕЙ

(57) Реферат:

Способ определения астрономических координат, включающий регистрацию моментов времени наблюдения изображения звезды, при этом наблюдения выполняют при отклонении расчетного зенитного расстояния Z_{pi} звезды от эталонного $Z_{э}$, не превышающем половины угла поля зрения, измеряют в поле зрения временное угловое отстояние двух изображений звезды ΔU_i на фиксированные моменты времени, выполняют указанные операции для четырех и более звезд при

разных азимутах A_i и определяют астрономические координаты как суммы исходных координат φ_0, λ_0 и поправок к ним $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$, причем последние определяются из решения системы уравнений

$$\Delta\varphi \cos A_i + \Delta\lambda \cos\varphi_0 \sin A_i + \Delta Z + m \left(\frac{\Delta U_i}{Z} \right) = Z_{pi} - Z_{э},$$

где $i \geq 4$; $m, \Delta Z$ - соответственно входящие в число неизвестных масштаб изображения и систематическая ошибка.

RU 2 107 895 C 1

RU 2 107 895 C 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 107 895** ⁽¹³⁾ **C1**
 (51) Int. Cl.⁶ **G 01 C 1/00**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 4521847/28, 23.10.1989

(46) Date of publication: 27.03.1998

(71) Applicant:
 Tsentral'nyj nauchno-issledovatel'skij
 institut "Ehlektropribor"

(72) Inventor: Peshekhonov V.G.,
 Vasil'ev V.A., Zinenko V.M., Kogan L.B., Savik
 V.F., Janushkevich V.E.

(73) Proprietor:
 Tsentral'nyj nauchno-issledovatel'skij
 institut "Ehlektropribor"

(54) **METHOD FOR DETERMINATION OF ASTRONOMIC COORDINATES BY ASTROLABE**

(57) Abstract:

FIELD: astronomy. SUBSTANCE: method includes recording of time moments of star image observation which is performed at deviation of rated star zenith distance Z_{pi} from standard Z_r not exceeding half angle of field of vision. Time angular distance of two images of star ΔY_i is measured in field of vision at recorded moments of time. Operations are carried out for four and more

stars at different azimuths A_i , and astronomic coordinates are determined as sums of initial coordinates φ_0 , λ_0 and corrections $\Delta\varphi$ and $\Delta\lambda$, to them. Corrections are determined by solution of system of equations $\Delta\varphi \cos A_i + \Delta\lambda \cos \varphi_0 \sin A_i + \Delta Z + m(\Delta Y_i / 2) = Z_{pi} - Z_r$, where $i \geq 4$; m , ΔZ - are image scale and systematic error, respectively, included in unknown quantities. EFFECT: higher results of measurement.

RU 2 107 895 C1

RU 2 107 895 C1

Изобретение относится к астрономогеодезическим измерениям и может быть использовано для определения уклонений отвесной линии, уточнения параметров вращения Земли и для решения других геодезических задач, опирающихся на знание астрономических координат.

Под астрономическими координатами φ , λ обычно понимают координаты места, полученные по измерениям углов между направлениями на опорные небесные светила и направлением силы тяжести в данном месте. Если независимо и более точно определены "геодезические координаты" на поверхности относимости, например, с помощью спутниковой навигационной системы, что эквивалентно измерению углов на светила относительно нормали к поверхности относимости, то простое сравнение астрономических и геодезических координат позволяет определить обе составляющие уклонения отвесной линии в данном месте Земли. Если уклонения определены, а время измерений и астрономические координаты места (их начальные истинные значения) известны, то измерение астрономических координат астроблэбии позволяет определять положение земной оси и неравномерность ее вращения.

Помимо научного значения возможность определения уклонений отвесной линии по астрономическим координатам имеет большое прикладное значение для навигации и баллистики, т.е. для решения оборонных задач.

Аналогами предлагаемого способа являются метод Сомнера определения астрономических координат по изменению высот двух светил (Курс кораблеводства. М.: ГУНИО МО СССР, 1965, т. 5), методы Цингера и Певцова определения широты и времени астроблэбии (Закатов П. С. Курс высшей геодезии. - М.: Недра, 1976, с.445). Ближайшим прототипом является способ равных высот А.В. Мазаева, тоже использующий астроблэбию (там же).

В прототипе измерения выполняются на строго фиксированной высоте - фиксируются моменты времени совпадения двух изображений звезды в астроблэбии, причем минимум для трех звезд.

Недостатки такого способа заключаются, во-первых, в низком темпе измерений - необходимости ждать момента совпадения изображений, во-вторых, в практической непригодности способа для высоких широт, где пересечения изображений звезды и фиксированного призмой альмукантарата (фиксированной высоты) может и вовсе не происходить, либо зафиксировать этот момент лишь грубо ввиду перемещений звезд под малыми углами к альмукантарату.

Чтобы существенно повысить темп измерений, а следовательно, повысить и точность определения координат за счет использования большого числа звезд за отведенное время, и чтобы одновременно достигнуть второй цели - обеспечить возможность определения астрономических координат астроблэбии в высоких широтах, т.е. чтобы избежать обоих недостатков прототипа, предлагается не ждать момента совпадения двух изображений одной и той же звезды в астроблэбии, а измерить угловое

отстояние этих изображений ΔY_i (i - номер звезды) в поле зрения астроблэбии и одновременно фиксировать момент времени t_i этого измерений. В распоряжении авторов имеется прецизионная телевизионная аппаратура собственной разработки, позволяющая с помощью эталонной маски автоматически измерять в поле зрения до $0,5^\circ$ отстояние изображений двух точечных объектов с погрешностью около 1 угловой секунды. Среднение значений ΔY_i на интервале 5-10 с позволяет еще более снизить указанное значение погрешности. Однако измерения в поле зрения, даже идеально точные, неизбежно сопряжены с ошибками из-за нелинейности самого поля зрения, а также из-за нелинейности телевизионного раstra между опорными точками эталонной маски. При малом угле поля зрения - до $0,5-1^\circ$ - можно аппроксимировать с ошибкой менее 0,1 угловой секунды эти нелинейности членом первого порядка, т.е. считать неизвестным заранее или медленно изменяющимся от суток к суткам (а для телевизионной системы - от включения к включению) масштаб измерений m в поле зрения. Таким образом, помимо искомым координат φ , λ и обычно определяемой систематической ошибки астроблэбии ΔZ предлагается дополнительно на основе избыточных измерений определять (учитывать) неизвестный масштаб m . Оба предложения - измерение взаимного отстояния двух изображений звезды в поле зрения астроблэбии с фиксацией моментов измерений и учет в качестве дополнительного неизвестного масштаба поля зрения - требует новых формул для вычисления астрономических координат. В частности, измерения должны выполняться не менее чем по четырем звездам на существенно разных азимутах, так как в отличие от прототипа неизвестных величин уже не 3, а 4: φ , λ , ΔZ , m . Приведены новые формулы. Будем считать, что измерения отстояний ΔY_i для i -ой звезды выполнены в момент времени t_i , на который известно расчетное значение зенитного расстояния Z_{pi} :

$$Z_{pi} = \arctg[(1 - C^2)^{1/2} C^{-1}] \quad (1)$$

$$C = \cos Z_{pi} = \sin \varphi_0 \sin \delta_i + \cos \varphi_0 \cos \delta_i \times \cos(\alpha_{rpi} - \alpha_i - \lambda_0), \quad (2)$$

где

φ_0 , λ_0 - исходные априорные (подлежащие уточнению) значения астрономических координат - широты и долготы;

δ_i , α_i - склонение и прямое восхождение соответственно для i -ой звезды (берутся из астрономического ежегодника);

S_{rpi} - гринвичское звездное время i -ой звезды на момент t_i определяется по известным формулам (Астрономический ежегодник СССР. - Л.: Наука, 1982 (или другие годы), с.667-670; Меес Ж. Астрономические формулы для калькуляторов. - М.: Мир, 1988, с. 37-39).

Уравнения для поправок астрономических координат $\Delta \varphi$, $\Delta \lambda$ получаются варьированием уравнения (2) с использованием формул параллактического треугольника, и имеют вид $\Delta \varphi \cos A_1 + \Delta \lambda \cos \varphi_0 \sin A_1 + \delta Z_i = 0$, (3)

где
 A_i - азимут звезды на момент t_i (вычисляется по известным формулам параллактического треугольника);

δZ_i - складывается (с учетом знаков) из поправки эталона (систематическая ошибка астролябии) ΔZ , поправки за масштаб и измеренного отстояния $m \Delta Y_i/2$ и разности $Z_{pi}-Z_э$ между расчетным и эталонным (определяемым призмой астролябии) зенитным расстоянием:

$$\delta Z_i = \Delta Z + m \frac{\Delta Y_i}{Z} - (Z_{pi} - Z_э). \quad (4)$$

Здесь ΔY_i измеряется в растровых единицах, масштаб которых подлежит определению.

Подставляя формулу (4) в (3), получим окончательное уравнение для поправок астрономических координат

$$\Delta \varphi \cos A_i + \Delta \lambda \cos \varphi_0 \sin A_i + \Delta Z + \frac{m \Delta Y_i}{Z} = Z_{pi} - Z_э, \quad (5)$$

где 4 неизвестных $\Delta \varphi$, $\Delta \lambda$, ΔZ , m определяются по 4-м и более уравнениям (звездам) решением системы линейных уравнений (5) при $i \geq 4$ способом наименьших квадратов. Вычислению подлежат лишь $\Delta \varphi$, $\Delta \lambda$.

Далее астрономические координаты получают как $\varphi = \varphi_0 + \Delta \varphi$, $\lambda = \lambda_0 + \Delta \lambda$.

Последовательность действия при реализации способа следующая.

В отличие от прототипа выбирают звезду, расчетное значение зенитного расстояния Z_{pi} на момент t_i отличается от эталонного $Z_э$ менее чем на величину половины угла поля зрения. Далее, как и в прототипе, наводят астролябию на выбранную звезду и наблюдают двойное изображение звезды в поле зрения с помощью телевизионной системы, угловое отстояние ΔY_i двух изображений звезды и фиксируют момент времени этого измерения. Повторяют с целью осреднения эти измерения по данной звезде и осредняют их, отнеся к среднему моменту времени измерений. Операция осреднения не является принципиальной, и в формулу изобретения не включена. Далее повторяют указанные операции для четырех и более звезд на разных азимутах. Далее, сравнивая расчетные зенитные расстояния Z_{pi} на момент измерений (вычисляются по исходным значениям φ_0 , λ_0 координат) по формулам (1), (2) и эталонное зенитное расстояние астролябии $Z_э$ и вводя в уравнение члены - систематическую

ошибку ΔZ и масштаб m , вычисляют искомые астрономические координаты как суммы исходных значений координат и поправок к ним $\Delta \varphi$, $\Delta \lambda$, которые вычисляют путем решения системы уравнений (5) по методу наименьших квадратов.

Эффективность предложенного способа определяется тем, что по статистике распределения звезд в поле зрения 30 угловых минут для заданного эталонного значения $Z_э$ по всему альмукантарату для любого момента времени разбросано в среднем 9 звезд от 6-й звездной величины и ярче, из которых выбирается одна (Аллен К. У. Астрономические величины.- М.: Мир, 1977, с.348). Поэтому темп измерений определяется практически только скоростью перенаведения со звезды на звезду. В прототипе же надо было ожидать момента прохождения каждой звезды через эталонный альмукантарат, что в высоких широтах практически вообще неосуществимо. Практическая проверка предложенного способа показывает, что для решения задачи определения астрономических координат по четырем звездам данным способом требует всего 4-8 мин в любых широтах. Для обеспечения предельной точности целесообразно использовать 30-60 звезд в течение всего 1 ч работы.

Формула изобретения:

Способ определения астрономических координат, включающий регистрацию моментов времени наблюдения изображения звезды, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерений и расширения функциональных возможностей, наблюдения выполняют при отклонении расчетного зенитного расстояния Z_{pi} звезды от эталонного $Z_э$, не превышающем половины угла поля зрения, измеряют в поле зрения временное угловое отстояние двух изображений звезды ΔY_i на фиксированные моменты времени, выполняют указанные операции для четырех и более звезд при разных азимутах A_i и определяют астрономические координаты как суммы исходных координат φ_0 , λ_0 и поправок к ним $\Delta \varphi$ и $\Delta \lambda$, причем последние определяются из решения системы уравнений

$$\Delta \varphi \cos A_i + \Delta \lambda \cos \varphi_0 \sin A_i + \Delta Z + m \frac{\Delta Y_i}{Z} = Z_{pi} - Z_э,$$

где $i \geq 4$, m , ΔZ - соответственно входящие в число неизвестных масштаб изображения и систематическая ошибка.