

АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ОБЛАЧНЫХ ПРОСВЕТОВ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ АСТРООПТИЧЕСКОГО ПРИБОРА

© 2014 г. С. Е. Здор, канд. техн. наук; В. И. Колинко, канд. техн. наук; Н. Г. Яцкевич

Красногорский завод им. С.А. Зверева, г. Красногорск, Московская обл.

E-mail: kolinko@zenit-kmz.ru

Приведены признаки, пригодные для регистрации облачных просветов в автоматическом режиме в ночное и сумеречное время. Описан принцип работы астрооптического прибора, оценивающего оптическую прозрачность атмосферы по поглощенному звездному излучению. Рассмотрена детальность регистрации пространственно-временных параметров и прозрачности облачных просветов, исследована зависимость этой детальности от условий регистрации и технических характеристик регистрирующих астрономических приборов.

Ключевые слова: регистрация облачных просветов, оптическая прозрачность атмосферы, прозрачность и пространственно-временные характеристики облачных просветов.

Коды OCIS: 350.1260

Поступила в редакцию 26.09.2013

Введение

Практическое освоение космоса требует оперативного, детального и достоверного мониторинга околоземного космического пространства. Система мониторинга включает оптические, радиолокационные и квантово-оптические средства. Причем на прибор, осуществляющий мониторинг в оптическом диапазоне длин волн, ложится основная нагрузка, особенно в части поиска и отслеживания высокоорбитальных космических объектов. Наземные оптические приборы, обладая целым рядом несомненных достоинств, имеют и весьма уязвимое свойство. Все они являются заложниками погодных условий. Наличие облачности резко усложняет задачу мониторинга. Небо из состояния "ясно" переходит в состояния "полужасно" или "пасмурно", причем это случается довольно часто. Работа устройства в условиях частичной облачности является скорее правилом, чем исключением. Обсуждению этой проблемы посвящены работы [1–3].

В "полуясные" ночи работа обеспечивается оператором, который визуально оценивает состояние облачности, выбирает участки в зоне действия, свободные от облачности (облачные просветы), и строит работу прибора с учетом

прозрачности, размеров, конфигурации, расположения и динамики этих просветов. Современной тенденцией является перевод работы астрооптических средств в полуясные ночи на автоматический режим [4]. Очевидно, что и регистрация облачных просветов также должна быть автоматической.

Признаки, пригодные для регистрации облачных просветов

Знание прозрачности, расположения, конфигурации и динамики облачных просветов – это то же самое, что знание оптической прозрачности ночных облаков, их расположения и динамики. Непосредственно сами ночные облака могут быть зарегистрированы наземными оптическими приборами за счет собственного излучения, отраженного естественного или искусственного излучения, поглощенного звездного излучения.

Спектр собственного излучения облаков близок к спектру водяного пара и является длинноволновым. Регистрация такого излучения оптическими приборами представляет собой непростую задачу и в астрономической практике не применяется. Более перспективной является регистрация отраженного облаками излучения.

Именно такое излучение используется в метеорологии. Типичным представителем подобных приборов, использующих "метеорологическую" регистрацию, является телевизионная система "ВСЕ НЕБО", предназначенная для контроля в реальном времени ночной облачности во всей небесной полусфере [5]. Информация об облаках, зарегистрированная камерой ПЗС, с наложенной сеткой, конфигурациями созвездий и положениями основных звезд из каталога FK5 выводится на экран дисплея. Обновление изображения может осуществляться со скоростью от нескольких кадров в секунду до десятков минут. Оценку ночной облачности проводит оператор визуально с учетом своего знания и опыта.

В работе [6] описан датчик ночной облачности, способный формировать данные об участках ночного неба, свободных от облачности, без участия оператора. Датчик представляет собой астрономический прибор, построенный на базе широкопольного оптического тракта, низкоуровневой камеры ПЗС, аппаратуры управления и соответствующего программного обеспечения. Принцип работы датчика основан на оценке степени поглощения атмосферой звездного излучения. Такая оценка осуществляется за счет сравнения блеска звезд на изображениях, получаемых на выходе камеры ПЗС, с блеском звезд на изображениях, формируемых для наблюдаемого участка по данным звездного каталога. Схематично процесс регистрации облачного просвета представлен на рис. 1. Важным этапом регистрации является автоматическое отождествление зарегистрированных и каталожных звезд. Как правило,

в качестве признаков отождествления выбираются угловые координаты сравниваемой звездной пары. При этом вероятности пропуска звезды или ложного опознавания остаются в приемлемых пределах. Но они могут быть уменьшены, если в процедуру идентификации ввести дополнительный признак, например, угловые межзвездные расстояния [7]. В этом случае к сравниваемым звездным парам добавляются сравниваемые звездные узоры.

Фактически автоматическая регистрация облачных просветов сводится к вычислению коэффициента прозрачности атмосферы в заданных направлениях зоны действия в заданные моменты времени. Совокупность этих коэффициентов, полученных без участия оператора, содержится в компьютере и характеризует оцениваемую облачную обстановку. На базе этой обстановки и ее динамики в автоматическом режиме планируется и выполняется вся последующая работа астрооптического прибора. При необходимости облачная обстановка может быть выведена на экран дисплея (рис. 1д).

Оптическая прозрачность, пространственные и временные характеристики облачных просветов

Фактически диапазон, в котором меняется коэффициент прозрачности атмосферы τ_{atm} , может быть представлен неравенством $0,92 \geq \tau_{atm} \geq 0$. Ослабление света в земной атмосфере зависит от длины волны оптического излучения и высоты установки прибора над уровнем моря. В частности, значение 0,92 соответствует

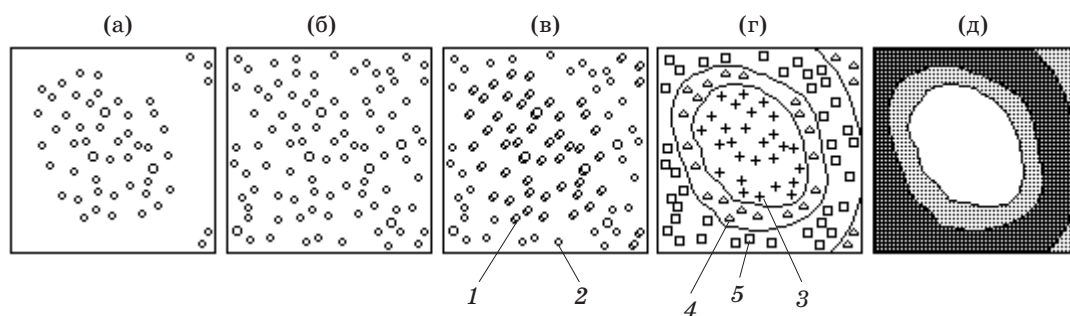


Рис. 1. Автоматическая регистрация облачного просвета. Звездный сюжет, зарегистрированный на выходе камеры ПЗС (а), б – звездный сюжет, сформированный по данным звездного каталога, в – результаты отождествления звезд (1 – отождествившиеся звезды, 2 – неотождествившиеся звезды), г – результаты вычисления коэффициента прозрачности атмосферы τ_{atm} (3 – прозрачность высокая, 4 – прозрачность низкая, 5 – прозрачность отсутствует), д – облачный просвет.

желтым лучам в зените на вершине горы Мауна Кеа (Гавайские острова) [8]. На практике этот диапазон меньше и считается, что прозрачность хорошая, если $\tau_{\text{atm}} \geq 0,7$, прозрачность отсутствует, если $\tau_{\text{atm}} < 0,001$.

Погрешность $\delta\tau_{\text{atm}}$, с которой вычисляется прозрачность атмосферы, зависит от погрешности δm_{reg} , с которой оценивается блеск зарегистрированной прибором звезды, и погрешности δm_{cat} , с которой блеск звезды указан в каталоге. Так как точность звездных каталогов достаточно высокая (у звезд яркостью менее 9^m погрешность не превышает $0^m,013$), то основной вклад в $\delta\tau_{\text{atm}}$ вносит погрешность астрономического прибора. Как правило, такая погрешность составляет десятые доли звездной величины.

Рассмотрим на конкретном примере влияние этих погрешностей на погрешность вычисления τ_{atm} . Предположим, что спектральная характеристика прибора и фотометрическая система каталога весьма близки и при этом прибор имеет $\delta m_{\text{reg}} = 0^m,1$. В идеальном случае при $\tau_{\text{atm}} = 0,1$ и при блеске каталожной звезды 5^m (за атмосферой) блеск зарегистрированной через атмосферу звезды должен составить $7^m,5$. Но реально зарегистрированный блеск из-за погрешностей составит $7^m,4$ или $7^m,6$. После вычислений получим значения $\tau_{\text{atm}} = 0,1096$ или $\tau_{\text{atm}} = 0,0912$, т.е. в любом случае погрешность $\delta\tau_{\text{atm}}$ уложится в 10%, что можно считать удовлетворительным результатом. Но и эта погрешность может быть снижена за счет оптимизации характеристик аппаратуры и режимов ее работы.

Количество устанавливаемых градаций прозрачности определяется конкретной задачей, условиями регистрации и используемым прибором и может быть задано произвольно. На приведенном рисунке процесс регистрации облачного просвета показан весьма условно и предполагается, что полученные значения коэффициента пропускания атмосферы разделены на три градации: первая – $\tau_{\text{atm}} \geq 0,7$, вторая – $0,7 > \tau_{\text{atm}} \geq 0,001$, третья – $\tau_{\text{atm}} < 0,001$.

Пространственные и временные характеристики облачных просветов могут быть заданы четырьмя показателями: пространственной детальностью (пространственной дискретностью) ΔS , временной детальностью (временной дискретностью) ΔT , погрешностью привязки пространственных дискретов к небесной сфере δs и погрешностью привязки временных дискретов к единому времени δt .

При формулировке требований к ΔS следует принимать во внимание несколько факторов. Как правило, зона действия астрооптического прибора представляет собой верхнюю полусферу, ограниченную снизу углом места, который может составлять от 0 до нескольких угл. град. При таких углах максимальные размеры зоны достигают 6,2832 ср (20628 кв. угл. град). Однако в условиях облачности пригоризонтные участки зоны действия становятся практически бесперспективными, так как при уменьшении угла места из-за существенного увеличения воздушной массы на линии визирования "облачная закрытость" участков резко возрастает, вследствие чего рабочие размеры зоны действия сокращаются. По-видимому, в качестве предельного угла места, на котором еще целесообразна работа астрооптического прибора при наличии частичной облачности, может быть выбран угол в 30° . В этом случае размеры зоны составят 3,1416 ср (10314 кв. угл. град).

Так как одна зарегистрированная звезда, идентифицированная с каталожной звездой, обеспечивает единичное вычисление коэффициента прозрачности, то детальность ΔS фактически определится максимальным количеством потенциально регистрируемых звезд в пределах установленной зоны действия. А это количество определяется, с одной стороны, проникающей способностью прибора m_{perm} , а с другой стороны – плотностью распределения звезд в заданном направлении зоны действия. Плотность описывается зависимостью $N(m, l, b)$, где m – блеск звезды, l, b – долгота и широта заданного направления в галактической системе координат.

На рис. 2 пространственная детальность ΔS представлена как функция проникающей способности прибора m_{perm} и плотности распределения звезд, которая, в свою очередь, представлена как функция галактической широты b . При этом предполагается, что звездная плотность усреднена по галактической долготе l . Из рис. 2 следует очевидный факт: чем меньше регистрируемых звезд, тем хуже пространственная детальность ΔS и с тем большей погрешностью устанавливается форма, размеры и положение облачных просветов.

Требования к временной детальности регистрации просветов ΔT определяются теми задачами, которые прибор решает в данный сеанс работы, и зависят от динамики ночной облачности. Потребная временная детальность может

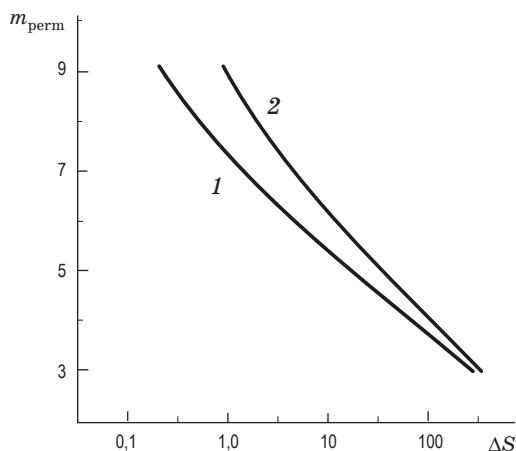


Рис. 2. Пространственная детальность регистрации облачных просветов. 1 – участок зоны действия вблизи галактического экватора, 2 – участок зоны действия вблизи галактического полюса. Проницающая способность прибора m_{perm} выражена в звездных величинах, детальность ΔS – в кв. угл. град.

составлять от единиц и десятков секунд (например, при работе астрооптического прибора в некоторой экстремальной ситуации) до десятков и сотен минут при медленном изменении облачной обстановки (в метеорологии известен случай, когда облако "простояло" на одном месте около трех суток).

В части погрешности привязки пространственного и временного дискретов к небесной сфере δs и к единому времени δt отметим следующее. При использовании относительного метода измерения (система координат задается опорными каталожными звездами) современные астрономические приборы обеспечивают привязку заданного направления с погрешностью 1" и менее. При абсолютном методе измерения (система координат задается конструкцией прибора) может быть обеспечена погрешность в несколько десятков угл. с.

* * * * *

При оценке положения облачных просветов на небесной сфере такую точность δs можно считать достаточной, а в некоторых случаях и избыточной. Это же относится и к точности привязки временного дискрета к единому времени. Так как имеющаяся в составе астрооптического прибора система единого времени обеспечивает временную привязку регистрируемых событий с ошибкой 10^{-3} с и менее, то и это значение δt также может считаться заведомо достаточным.

Заключение

В работе рассмотрена проблема аппаратной регистрации облачных просветов в ночное и сумеречное время. По результатам рассмотрения сделаны следующие выводы.

Предложенные в работе методика и техническое решение обеспечивают регистрацию облачных просветов и их пространственно-временную привязку в полностью автоматическом режиме. Они базируются на измерении поглощенного облаками звездного излучения и не требуют естественной или искусственной подсветки ночной облачности. Такая регистрация надежно работает как в те часы и те ночи, когда фоны минимальны, так и в часы и ночи, когда фоны вообще отсутствуют. В частности, это касается полуночи (отсутствует сумеречная подсветка) и периода новолуния (отсутствует лунная подсветка) – именно эти ночи и часы являются наиболее благоприятными для работы астрооптических приборов.

Следует также отметить, что предложенное техническое решение реализуется достаточно отработанными конструктивными, аппаратными и программными средствами и не требует для своего воплощения каких-либо дополнительных технических или технологических наработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щеглов П.В. Проблемы оптической астрономии. М.: Наука, 1980. 272 с.
2. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Задде Г.О. Оптическая погода. Новосибирск: Наука, 1990. 194 с.
3. Корниенко А.А., Мальцев Г.Н., Подрезов С.В. Вероятностные характеристики применения комплексов оптических информационных и измерительных систем в условиях облачности // Оптический журнал. 2000. Т. 67. № 7. С. 63–69.

4. *Бельский А.Б., Здор С.Е., Колинко В.И., Яцкевич Н.Г.* Астрооптический мониторинг космического пространства в условиях облачности // *Оптический журнал*. 2010. Т. 77. № 9. С. 45–48.
5. *Комаров В.В., Фоменко А.Ф., Шергин В.С.* ТВ-система “ВСЕ НЕБО” для мониторинга ночной облачности // *Прикладная физика*. 2007. № 5. С. 130–133.
6. *Здор С.Е., Колинко В.И.* Датчик ночной облачности // Патент России № 2436133. 2011.
7. *Баженова Л.Б.* Оптимизация качества алгоритма распознавания звезд // *Информационно-измерительные системы управления* / Под ред. Короткова С.В., Мясникова В.А., Пивоварова В.Т. Л.: ВНИИэлектромаш, 1976. С. 70–78.
8. *Мартынов Д.Я.* Курс практической астрофизики. М.: Наука, 1977. 544 с.