

АНАЛИЗ КРИВЫХ БЛЕСКА ДЛЯ ПОИСКА ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД ТИПА АЛГОЛЯ***Аннотация**

В статье описан подход к решению задачи поиска звёзд типа Алголя – затменных двойных звёзд, имеющих характерную форму кривой блеска с превалирующим блеском в максимуме и парой минимумов в периоде, соответствующих фазам затмения одного компонента другим. Задача решается над спецификациями концептуальной схемы, соединяющей описание предметных областей фотометрических измерений и переменных звёзд в астрономии. Источником данных являются множественные наблюдения переменных звёзд, достаточные для того, чтобы строить модели кривых их блеска. Временные ряды данных наблюдений блеска звёзд анализируются с целью обнаружения периодов переменности, выделения локальных минимумов блеска внутри периода, построения кривых блеска, параметризации фаз постоянного блеска в максимуме и фаз минимумов. По набору критериев, основанному на закономерностях, характерных для кривых блеска Алголей, производится отбор кандидатов в звёзды этого типа. Затронуты вопросы масштабируемости вычисления посредством распараллеливания на уровне отдельных алгоритмов и на уровне данных об одном астрономическом объекте с расчётом на перспективные источники данных большого объёма, в частности, широкоугольных обзорных телескопов или систем телескопов.

Ключевые слова

Алголь; переменная звезда; затменная звезда; кривая блеска; анализ данных.

Skvortsov N.A., Titov V.Yu.

Federal Research Center Computer Science and Control of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

LIGHT CURVE ANALYSIS FOR SEARCHING FOR VARIABLE ALGOL STARS**Abstract**

The paper describes an approach to search for Algol type binary stars - eclipsing stars with specific shape of light curves including brightness mainly in maximum and a couple of minima in the period related to phases of eclipse of components by one another. The problem is solved in terms of conceptual specifications, which combine domain knowledge of photometric measurements and variable stars in astronomy. Data sources providing multiple observations of variable stars sufficient to build models of their light curves are required for analysis. Time series of star brightness observations are analyzed to detect variability periods, to locate areas of minima within the period, to model light curves, and to estimate parameters of maximum and minimum brightness phases. A set of criteria based on patterns specific for light curves of Algol type stars are used to select candidates to stars of this type. Issues of scalability have been discussed for perspective data sources like wide-angle telescopes or telescope systems. This includes parallel computation at the level of different algorithms and distribution of data related to different astronomical objects for localized analysis.

Keywords

Algol; variable star; eclipsing star, light curve; data analysis.

1. Введение

Алголь (β Per) – одна из самых близких к Земле затменных переменных двойных звезд. Благодаря ей

* Труды II Международной научной конференции «Конвергентные когнитивно-информационные технологии» (Convergent'2017), Москва, 24-26 ноября, 2017

Proceedings of the II International scientific conference "Convergent cognitive information technologies" (Convergent'2017), Moscow, Russia, November 24-26, 2017

название Алголь привязано к целому классу подобных звёзд. В настоящее время известно около 4000 астрономических объектов, уверенно отнесенных к типу Алголей. Алголи по своей физической природе представляют собой затменный тип переменности блеска. На луче зрения от Земли к двойной звезде один компонент проходит впереди другого, а затем позади него. При затмении одного из компонентов другим меняется и интенсивность интегрального блеска. Компоненты двойных звезд типа Алголя обычно имеют форму, близкую к сфере, и их собственные размеры малы по сравнению с размерами их взаимных орбит, так что большинство времени они не перекрывают наблюдателю друг друга.

Для кривых блеска звёзд данного типа характерны постоянный период, продолжительные фазы максимума блеска, обеспечиваемые временем, когда компоненты пары не затмевают друг друга, и два минимума обычно отличающейся интенсивности: главный и вторичный, связанные с затмением одного либо другого компонента пары. На рисунке 1 приведена кривая блеска Алголя, отражающая зависимость звёздной величины от фазы обращения компонентов.

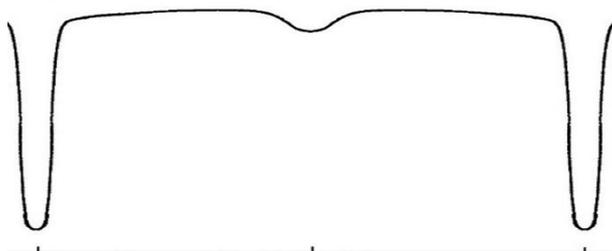


Рис. 1. Период кривой блеска Алголя (β Per)

Не все кривые блеска Алголей имеют столь очевидную структуру. В частности, смежным с типом Алголя является тип переменных звёзд, подобных β Луг. Это тесные двойные звёзды, у которых расстояние между компонентами невелико относительно размеров самих компонентов, так что компоненты имеют сильно вытянутую форму. Кривые блеска таких переменных звёзд не имеют длительных фаз интегрального блеска в максимуме. Помимо этого, принадлежность астрономического объекта к типу Алголя не исключает одновременную принадлежность его к другим типам переменности. Например, звезда типа Алголя GK Dra является также пульсирующей переменной типа δ Sct. Соответственно, кривая блеска, отражающая затменный тип переменности, совмещается периодическими пульсациями. Смешивание эффектов разных явлений при наблюдении может существенно влиять на форму кривых блеска.

Исследование Алголей имеет давнюю историю [1], но не становится менее актуальным. Обнаружение новых кандидатов в Алголи может быть важным для исследования распределений значений параметров звездных систем, таких как эксцентриситет орбит, развития теорий звёздной эволюции, изучения эффектов перетекания вещества в тесных системах звёзд и других исследований в астрофизике. Сегодня продолжают накапливаться базы данных об обнаруженных Алголях [2], собираются подробные данные временных рядов наблюдений известных затменных звёзд [3]. Проводится классификация переменных звёзд, среди которых присутствуют затменные типа Алголя [4].

Подход к анализу временных рядов фотометрических наблюдений для выявления периодически повторяемых закономерностей в блеске звёзд является наиболее распространённым для обнаружения объектов, подобных заданному. Например, алгоритмическая часть проекта Kepler при поиске планет в данных наблюдения пользуется сходными подходами с представленными в настоящем исследовании. Множество публикаций [5] об обнаружении тех или иных объектов сегодня имеют источником автоматический анализ рядов наблюдений. При этом количество данных, пригодных для таких подходов, со временем увеличивается, и их качество растёт.

Для обнаружения Алголей можно использовать все непрерывные обзоры неба с отождествлением объектов. Для авторов поиск Алголей является одной из задач, решаемых на основе концептуального моделирования предметной области фотометрии и смежных областей. В данной статье для поиска звёзд типа Алголя используется анализ множественных наблюдений блеска звёзд в динамике для выявления кривых блеска, имеющих структуру, присущую звёздам такого типа. В разделе 2 обозначены источники данных для решения данной задачи. Раздел 3 посвящён описанию метода выявления Алголей среди данных блеска звёзд. В разделе 4 описана концептуальная схема для реализации данного подхода. Реализация решения задачи описана в разделе 5, определяющем поток работ и используемые принципы реализации.

2. Источники данных

Для решения задачи поиска переменных звёзд типа Алголя проводится сбор данных множественных наблюдений блеска звёзд с астрометрическими данными и точным указанием эпох наблюдений.

В качестве источников исходных данных используются ряды данных каталогов ASAS [6]. Потенциально могут использоваться каталоги AAVSO [7], WISE [8], Catalina Sky Survey [9], Kepler [10], Galex [11]. Большинство перспективных обзоров будут являться, в основном, непрерывными потоковыми, фиксирующими астрономические объекты с определённой периодичностью.

Данные для каждого отдельного астрономического объекта представляют собой блеск в звёздных величинах в зависимости от даты в юлианском представлении. Диаграммы наблюдений звёздной величины объектов в зависимости от эпохи наблюдения или от фазы для периодических изменений блеска, называют кривыми блеска. При наличии наблюдений в нескольких фильтрах для поиска Алголей используется любой из них. Важно, чтобы одновременно использовались данные только в одном диапазоне излучения. Идентификация ряда наблюдений одного и того же астрономического объекта среди обзора множества объектов требует применения методов отождествления по астрометрическим параметрам.

Задача решается над общей концептуальной схемой при помощи построения потока работ, реализующего алгоритм определения принадлежности объекта к типу Алголя. При этом структуры данных оригинальных каталогов фотометрических наблюдений отображаются в концептуальную схему предметной области фотометрии, и данные обзоров и каталогов трансформируются к структуре, задаваемой концептуальной схемой. Анализ данных для обнаружения Алголей производится только в терминах концептуальной схемы. Это обеспечивает решение проблемы неоднородности данных различных каталогов, а также позволит решать задачу поиска Алголей в новых доступных и перспективных источниках данных, не меняя реализаций алгоритмов.

3. Подход к поиску Алголей

С точки зрения наблюдения к переменным звёздам типа Алголя относятся астрономические объекты, которые обладают следующими признаками:

- обнаруживается период переменности, для Алголей он может быть практически любым (известны Алголи с периодом в 0,2 суток и с периодом порядка 5000 суток);
- есть отчётливый главный минимум на кривой блеска, который описывает острый угол ($< 15^\circ$) между средней точкой минимума и точками начала понижения и окончания повышения блеска в главном минимуме;
- соотношение главного и вторичного минимума может меняться в широких пределах, вторичный минимум может не наблюдаться или быть в пределах ошибки измерений;
- более 85% периода по времени звезда проводит в максимуме блеска;
- вышеизложенные особенности одинаково могут быть найдены в любом диапазоне.

Алголи, у которых устойчивое «дно» в минимумах, могут быть сложны для распознавания, поэтому в представленной версии алгоритма поиска Алголей было решено их опустить, оставив эту задачу для разработки на специально подготовленной выборке. В настоящем исследовании выбираются объекты, не имеющие чётко выраженного «дна» в минимуме, то есть, закончив снижаться, звёздная величина начинает увеличиваться.

Определение принадлежности звезды к переменным типа Алголя (обозначения Al* или EA) предусматривает последовательность действий над данными рядов фотометрических наблюдений в одном выбранном диапазоне:

Производится идентификация данных об определённых астрономических объектах;

Обнаруживается переменность объекта;

Определяется период переменности объекта;

В соответствии с найденным периодом строится кривая блеска объекта;

Вычисляются параметры кривой блеска, по которым будет оцениваться возможность принадлежности звезды к типу Алголя;

По набору критериев распознаются объекты типа Алголя.

Идентификация данных, принадлежащих ряду наблюдений о рассматриваемом объекте производится с помощью запросов по идентификаторам, присутствующим в каталогах, или по координатам объекта с точностью, определяемой позиционной точностью каталога. Результатом процесса идентификации становится ряд наблюдений звёздной величины объекта с указанием эпох (дат) наблюдения и сведений о полосе пропускания (диапазоне излучения) для каждого отдельного объекта.

В случае, если ряд имеющихся наблюдений объекта достаточно велик, определяется период (P) переменности данного объекта. Для этого применяется метод Лафлера-Кинмана [12], основанный на оценке пробных периодов в интервале возможных значений периода P . Для них вычисляются и сортируются фазы наблюдений, а затем рассматривается разброс звёздных величин, соответствующих упорядоченным фазам. Периодом признаётся значение, для которого разброс минимален.

После вычисления периода переменности звезды работа с данными ряда наблюдений продолжается

не по эпохам, а по их фазе. Для вычисления фазы наблюдения по периоду используется формула:

$$\varphi = (t - t_0) \% P,$$

где φ – фаза, t – эпоха наблюдения, t_0 – эпоха минимума, принятого за начало периода, P – период.

Работа над вычислением параметров кривой блеска в рамках найденного периода переменности начинается с вычисления среднего значения звёздной величины (mag_1) по всем наблюдениям объекта, а также доверительного интервала по критерию хи-квадрат. Внутри доверительного интервала должно быть не менее 85% значений звёздной величины. Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем выделить в кривой блеска звезды участки устойчивого максимума и зоны главного и вторичного минимумов.

Для выделения главного минимума первым делом необходимо найти наблюдение с минимальным значением звёздной величины (min_1). Необходимо отметить, что точки с минимальными значениями блеска могут оказаться сильно отличными по блеску от других точек в данной окрестности фазы периода. В этом случае их нужно считать артефактами или ошибочными точками и не брать их в расчёт. Для оценки на артефакт текущей точки min_1 проверяются звёздные величины ближайших точек слева и справа от min_1 по фазам. Если они не входят в доверительный интервал, рассчитанный для mag_1 , то проверяемая точка отбрасывается из ряда, и поиск точки min_1 проводится заново.

После нахождения минимальной точки необходимо выделить все точки главного минимума. Для этого в интервал главного минимума добавляются ряды точек влево и вправо от min_1 , пока они не входят в доверительный интервал. Как только находятся точки внутри доверительного интервала, ими ограничиваются фазы начала и конца главного минимума.

Из оставшегося массива точек вне интервала фаз главного минимума необходимо найти минимальное значение звёздной величины во вторичном минимуме (min_2) и интервал вторичного минимума. Для этого используются методы, аналогичные тем, которые использовались выше для анализа главного минимума.

После выделения главного и вторичного минимумов приступаем к моделированию кривой блеска. Пересчитывается доверительный интервал без учёта точек, входящих в обнаруженные главный и вторичный минимумы. Проводится вычисление полинома кривой блеска методом наименьших квадратов по всем точкам, исключая найденные артефакты.

Затем малыми шагами в определённых долях от периода (например, $P/1000$) производится проход по фазам с целью установить уточнённые фазы границ локальных минимумов, исходя из фаз выхода рассчитанной кривой блеска за уточнённый доверительный интервал. Вычисляются значения максимума; глубины минимумов, фазы и продолжительности минимумов. Если обнаружены один или два локальных минимума, и их ширина в сумме занимает не больше 15% периода переменности, то такие переменные звёзды можно отнести к кандидатам в Алголи.

Вообще говоря, если один и тот же подход применяется к рядам наблюдений объекта в разных диапазонах, то в любом из них он должен дать тот же результат, иначе в принадлежности объекта к переменным типа Алголя возникает сомнение.

4. Определение концептуальной схемы предметной области для поиска Алголей

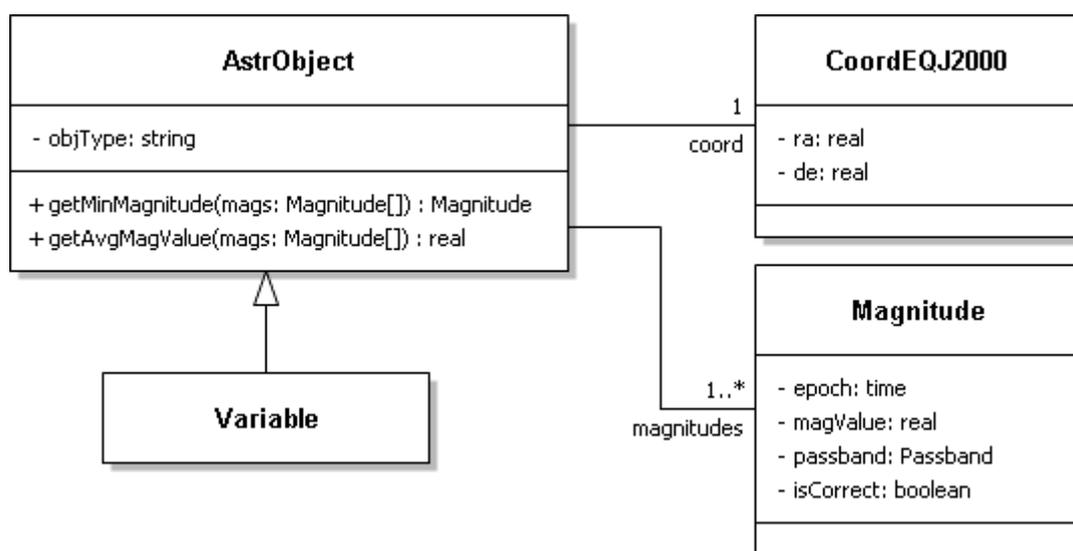


Рис. 2. Концептуальная схема фотометрических наблюдений

В качестве концептуальной схемы для решения задачи использованы наработки схемы предметной

области фотометрических наблюдений астрономических объектов. На рисунке 2 на языке диаграмм UML показана часть концептуальной схемы для общего представления данных фотометрии. Она содержит определения абстрактных типов данных (выраженные как классы UML), которые используются в задаче поиска звёзд типа Алголя. Такая спецификация может быть реализована различными способами: на языках программирования, в виде базы данных с анализом данных посредством запросов, в виде виртуального предметного посредника над реальными источниками данных.

В данном фрагменте концептуальной схемы предметной области фотометрии тип `AstrObject` описывает произвольные наблюдения астрономических объектов. С этим типом связаны данные о типе наблюдаемого объекта (`objType`), координатах объекта (`coord`) и звёздной величине (`magnitudes`). В типе `AstrObject` определены методы, реализации которых будут использоваться при решении задачи:

- функция `getMinMagnitude` возвращает объект `Magnitude` с минимальным `magValue` из ряда наблюдений `mags`;
- функция `getAvgMagValue` возвращает среднее значение из `magValue` в множестве `mags`.

Для спецификации координат, приведённых к эпохе 2000 года, используется тип `CoordEQJ2000`, а тип `Magnitude` описывает звёздную величину в заданную эпоху и в заданном диапазоне излучения.

Помимо этого, в концептуальной схеме присутствует тип переменных объектов `Variable`. Определения других типов, косвенно используемых при решении задачи, в данной спецификации не приведены. В частности, это тип `Passband`, определяющий фотометрические пропускные полосы, связанные с диапазонами излучения, тип `StellarObject` (подтип типа `AstrObject`), определяющий звёздные объекты Галактики, тип `Binary`, специфицирующий общие свойства всех двойных и кратных звёзд (подтип `StellarObject`).

Следующий фрагмент концептуальной схемы посвящён переменным звёздам и их кривым блеска в фотометрических наблюдениях.

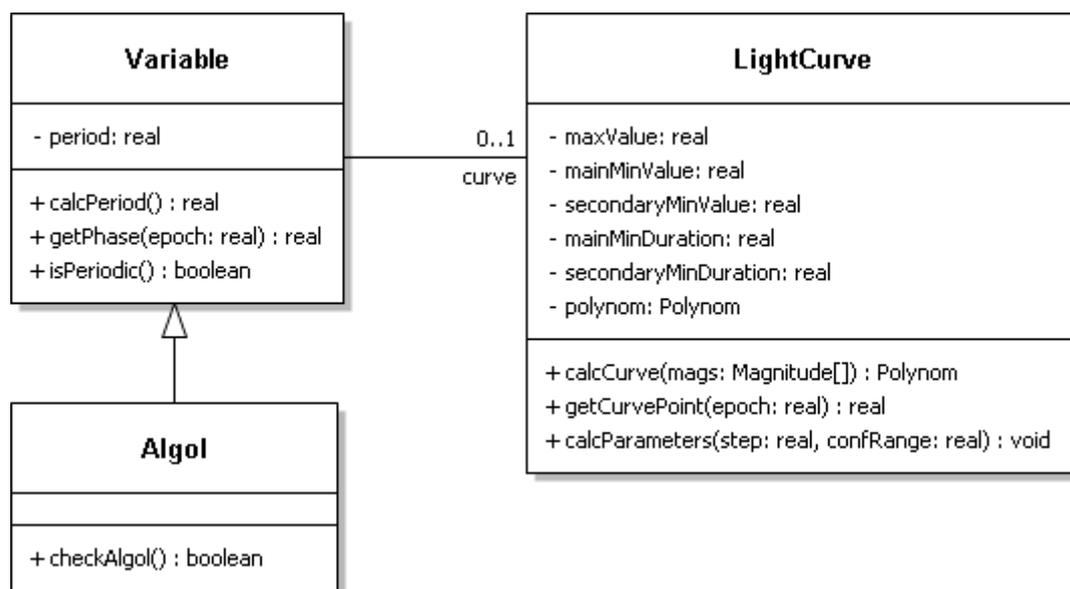


Рис. 3. Концептуальная схема наблюдений переменных звёзд

Тип `Variable` определяется для работы с переменными объектами. Они могут обнаруживать периодическое изменение блеска, а также закономерности кривой блеска по фазам внутри периода. С этим связано определение атрибута `period`, хранящего значение периода и ассоциации `curve`, а также определение набора методов:

- функция `calcPeriod` вычисляет период по всем наблюдениям `magnitudes`, а также фиксирует значение периода в атрибуте `period`;
- функция `getPhase` возвращает значение фазы по эпохе наблюдения `epoch`, используя известный период в атрибуте `period`;
- функция `isPeriodic` возвращает значение `true`, если атрибут `period` определён (например, в зависимости от реализации, отличен от нуля).

Тип `LightCurve` определяет параметры кривой блеска и методы для работы с ними. В нём определены атрибуты:

- блеска в максимуме (`maxValue`);
- фазы главного (`mainMinValue`) и вторичного (`secondaryMinValue`) минимумов;

- продолжительности главного `mainMinDuration` и вторичного (`secondaryMinDuration`) минимумов
- атрибут `polynom` представляет параметры полинома, моделирующего кривую блеска, представление полинома может варьироваться в зависимости от реализации спецификаций.

Набор методов типа `LightCurve` включает в себя средства оценки параметров кривой блеска и её моделирования:

- функция `calcCurve` вычисляет полином кривой блеска по массиву наблюдений методом наименьших квадратов;
- функция `getCurvePiont` возвращает значение блеска по эпохе в полиноме кривой блеска;
- функция `calcParameters` проходит полином кривой блеска по эпохам с малым шагом `step` и вычисляет эпохи начала и конца всех минимумов с учётом доверительного интервала `confRange`, заполняет атрибуты максимума `maxValue`; фазы `mainMinValue`, `secondaryMinValue` и продолжительности `mainMinDuration`, `secondaryMinDuration` главного и вторичного минимумов.

Тип `Algol` астрономических объектов типа Алголя, являющихся двойными (или кратными) звёздами и одновременно переменными объектами, определяется как подтип типов `Variable` и `Binary`. Метод `checkAlgol` в этом типе при известном периоде проверяет по минимумам рассчитанной кривой блеска их количество (один или два) и суммарную ширину (не больше 15% от периода), по этим критериям возвращает ответ, является ли объект звездой типа Алголя.

В концептуальной схеме также определяются независимые функции, не являющиеся методами каких-либо типов:

- `calcConfRange` вычисляет доверительный интервал по критерию хи-квадрат из значений `magValue` в множестве наблюдений `mags` с допуском `threshold` (в интервале должно быть 85% наблюдений)
- `calcConfRange (Magnitude[] mags, real threshold): real`;
- `checkMinimum` проверяет минимум `mag` по двум наблюдениям, соседним по эпохе (слева и справа), они должны выходить за доверительный интервал, если сам минимум выходит за доверительный интервал
- `checkMinimum (Magnitude mag, Magnitude[] mags, real confRange): Boolean`;
- `getMinRange` находит фазы начала и конца для минимума `mag` из множества наблюдений `mags` с учётом доверительного интервала `confRange` (рассматривает точки слева и справа от `mag`, пока они выходят за доверительный интервал)
- `getMinRange (Magnitude mag, Magnitude[] mags, real confRange, Magnitude minStartPoint): Magnitude`.

5. Реализация решения задачи поиска Алголей

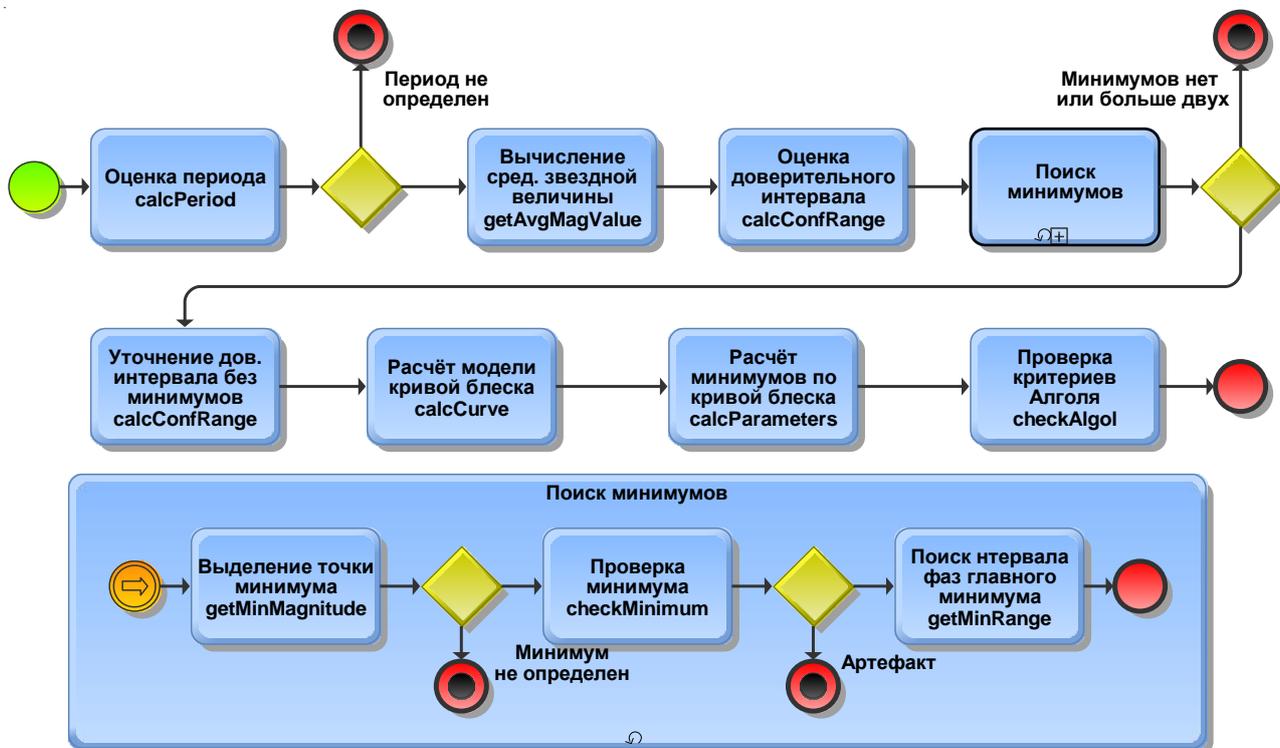


Рис. 4. Поток работ решения задачи

Решение задачи обнаружения переменных звёзд типа Алголя выражается в терминах определённой

концептуальной схемы предметной области. Для описания процесса решения задачи используется спецификация потока работ, использующего вызовы функций и методов концептуальной схемы. Этот поток работ выполняется для каждого объекта типа Variable и связанного с ним через супертип AstrObject ряда наблюдений в виде объектов типа Magnitude в определённой полосе пропускания и с известным временем наблюдения, и имеет результатом набор объектов типа Algol с параметрами, которые отвечают спецификации требований к выбираемым кандидатам в звёзды типа Алголя. Спецификация потока работ на графическом языке BPMN показана на рисунке 4.

В данной спецификации потока работ ряд наблюдений объекта начинается с анализа на предмет обнаружения периода переменности вызовом метода calcPeriod, реализующего метод Лафлера или подобный ему. Затем оценивается среднее значение звёздной величины (метод getAvgMagValue) и доверительный интервал (метод calcConfRange) для оценки разброса значений и дальнейшего обнаружения выпадов из него в сторону минимума блеска. Затем в периоде переменности в цикле выделяются зоны минимумов, начиная с имеющего наибольшее отклонение. Для этого используются вызовы функций:

- getMinMagnitude, выделяющей нижайшую точку минимума;
- checkMinimum, проверяющей точку на артефакт;
- getMinRange, производящей поиск отрезка фаз минимума до возвращения в доверительный интервал слева и справа от нижайшей точки.

Для поиска Алголей нас интересуют только случаи, когда найден один или два минимума. В противном случае дальнейший анализ объекта не проводится. Если же необходимое количество минимумов определено, то повторным вызовом функции calcConfRange уточняется доверительный интервал звёздной величины в максимуме, то есть за исключением отрезков фаз минимумов. Затем проводится моделирование кривой блеска (метод calcCurve) и выделение минимумов (метод calcParameters типа LightCurve) в этой модели с учётом уточнённого доверительного интервала. Наконец, вызов метода checkAlgol проверяет набор критериев для отнесения объекта к кандидатам в звёзды типа Алголя.

Представленный алгоритм тестируется на выборках рядов переменных звёзд и Алголей. Необходимо оценить правильность выделения периодов переменности звёзд и минимумов, так как при близких минимумах или при малых второстепенных минимумах существует опасность ошибки как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения периода в два раза. Алгоритм предполагается использовать для применения к данным обзорам с выделенными рядами наблюдений переменных звёзд, которые могут иметь большой объём. Обеспечение распределённой работы алгоритма возможно на нескольких уровнях:

- на этапе идентификации астрономических объектов на различных узлах формируются ряды наблюдений объектов в определённом секторе координат небесной сферы;
- при определении периодов возможно распараллеливание реализации метода Лафлера-Кинмана в рамках многопроцессорного узла;
- задача определения принадлежности астрономического объекта к типу Алголя решается на узлах хранения данных об этих объектах.

6. Заключение

Определён алгоритм поиска переменных затменных звёзд типа Алголя посредством анализа рядов наблюдений блеска звёзд и вычисления кривых блеска. Для этого описана концептуальная схема предметной области для решения задачи, включая сигнатуры методов и функций. Разработана спецификация потока работ, решающего задачу в терминах концептуальной схемы предметной области. Применение реализации алгоритмов поиска звёзд типа Алголя над данными обзорам возможно при отображении структур обзорам в структуры концептуальной схемы и трансформации данных в соответствии с таким отображением. Решаемая в статье задача принадлежит к классу задач, которые решаются в терминах концептуальных спецификаций предметной области фотометрических наблюдений в астрономии и смежных с ней областях.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 16-07-01162, 16-07-01028).

Литература

1. A.H. Batten. Two centuries of study of Algol systems. // International Astronomical Union Colloquium. – Cambridge University Press, 1989. – Vol. 107. – P. 1-8. – <https://doi.org/10.1017/S0252921100087625>
2. E. Budding, et al. Catalogue of Algol type binary stars. // Astronomy & Astrophysics. – 2004. – Vol. 417, Iss. 1. – P. 263-268. – <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20034135>.
3. Y.G. Yang; J.-Y. Wei, H.-L. Li. Photometric properties for selected Algol-type binaries. VI. The newly discovered oEA star FR Orionis. // The Astronomical Journal. – 2014. – Vol. 147, Iss. 2. – P. 35-42. – <http://dx.doi.org/10.1088/0004-6256/147/2/35>

4. D.I. Hoffman, T. E. Harrison, B. J. McNamara. Automated variable star classification using the northern sky variability survey. // The Astronomical Journal. – 2009. – Vol. 138, Iss. 2. – P. 466-477. – <http://dx.doi.org/10.1088/0004-6256/138/2/466>.
5. The Astronomer's Telegram. – <http://www.astronomerstelegam.org/>
6. All Sky Automated Survey (ASAS). – <http://www.astrouw.edu.pl/asas/?page=download>
7. AAVSO Photometric All-Sky Survey. – <http://www.aavso.org/aavso-photometric-all-sky-survey-data-release-1>
8. Wide-field Infrared Survey Explorer. – https://www.nasa.gov/mission_pages/WISE/main/index.html
9. Catalina Sky Survey. – <https://catalina.lpl.arizona.edu/>
10. Kepler Data Search & Retrieval. http://archive.stsci.edu/kepler/data_search/search.php
11. GALEX. <http://galex.stsci.edu/GR6/>
12. И.Л. Андронов. Вычисление периода переменности звезды. // Небосвод. – 2013. – №7. – С. 13-18.

References

1. A.H. Batten. Two centuries of study of Algol systems. // International Astronomical Union Colloquium. – Cambridge University Press, 1989. – Vol. 107. – P. 1-8. – <https://doi.org/10.1017/S0252921100087625>
2. E. Budding, et al. Catalogue of Algol type binary stars. // Astronomy & Astrophysics. – 2004. – Vol. 417, Iss. 1. – P. 263-268. – <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20034135>.
3. Y.G. Yang; J.-Y. Wei, H.-L. Li. Photometric properties for selected Algol-type binaries. VI. The newly discovered oEA star FR Orionis. // The Astronomical Journal. – 2014. – Vol. 147, Iss. 2. – P. 35-42. – <http://dx.doi.org/10.1088/0004-6256/147/2/35>
4. D.I. Hoffman, T. E. Harrison, B. J. McNamara. Automated variable star classification using the northern sky variability survey. // The Astronomical Journal. – 2009. – Vol. 138, Iss. 2. – P. 466-477. – <http://dx.doi.org/10.1088/0004-6256/138/2/466>.
5. The Astronomer's Telegram. – <http://www.astronomerstelegam.org/>
6. All Sky Automated Survey (ASAS). – <http://www.astrouw.edu.pl/asas/?page=download>
7. AAVSO Photometric All-Sky Survey. – <http://www.aavso.org/aavso-photometric-all-sky-survey-data-release-1>
8. Wide-field Infrared Survey Explorer. – https://www.nasa.gov/mission_pages/WISE/main/index.html
9. Catalina Sky Survey. – <https://catalina.lpl.arizona.edu/>
10. Kepler Data Search & Retrieval. http://archive.stsci.edu/kepler/data_search/search.php
11. GALEX. <http://galex.stsci.edu/GR6/>
12. И.Л. Андронов. Вычисление периода переменности звезды. // Nebosvod. – 2013. – №7. – С. 13-18.

Об авторах:

Скворцов Николай Алексеевич, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, nskv@mail.ru

Титов Василий Юрьевич, программист, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, din33accyvye@mail.ru

Note on the authors:

Skvortsov Nikolay A., researcher, Federal Research Center Computer Science and Control of the Russian Academy of Sciences, nskv@mail.ru

Titov Vasiliy Yu., programmer, Federal Research Center Computer Science and Control of the Russian Academy of Sciences, din33accyvye@mail.ru