

LinOccult

Плеханов А.С. (andyplekhanov@gmail.com)

10 февраля 2021 г.

1. Введение

Наблюдения покрытий звезд астероидами позволяет внести существенный вклад в развитие современной астрономии. Наблюдения подобных событий профессиональными астрономами и астрономами-любителями дают уникальную информацию, которую невозможно получить другими существующими способами. **LinOccult** - программа для расчета предсказаний покрытий звезд астероидами. Программа позволяет получить время и географические координаты тени астероида и отобразить их в наглядном виде или сохранить в виде таблицы.

2. Лицензия

LinOccult распространяется под лицензией GNU Open Source и поставляется "as is" - то есть "как есть" без каких-либо прямых или косвенных гарантий с моей стороны. Лицензия GNU Open Source позволяет Вам копировать, использовать и изменять программу при соблюдении следующих условий:

- Вы не должны менять авторство **LinOccult**, то есть убирать мое имя из Copyright.
- Если Вы используете **LinOccult** или его часть в своих программах, Вы должны выпускать их (свои программы) также под лицензией GNU Open Source.
- Вы используете **LinOccult** на свой страх и риск. То есть я не отвечаю за критические ошибки в **LinOccult** и за их последствия.

Если Вы согласны на эти условия - читайте дальше.

3. Философия и история создания LinOccult

Программа **LinOccult** создана мной в свободное от основной работы и домашних дел время. Разработка этого проекта началась в конце 2003 года, когда я заинтересовался алгоритмами использующимися в небесной механике. В мире уже существовали подобные программы, в частности

WinOccult. Однако к моему удивлению обнаружилось, что исходные тексты этих программ недоступны для изучения. Поскольку я являюсь сторонником концепции распространения научных программ в виде исходного кода, я решил для **LinOccult** выбрать лицензию GNU Open Source с тем, чтобы все интересующиеся алгоритмами небесной механики могли начинать изучать их с работающей программы а не с чистого листа. Так как наиболее подходящей средой для разработки научных программ является UNIX, я решил создавать **LinOccult** в этой операционной среде.

Конечно, тезис о том, что я начинал с чистого листа не совсем верен. Огромную помощь мне оказала прекрасная книга "Астрономия на персональном компьютере" [1] несмотря на чудовищное количество опечаток в русском переводе. Кроме того, я пользовался GNU Open Source кодом для чтения эфемерид больших планет, взятом с сайта www.projectpluto.com, а также кодом для работы с kdtree, взятом с сайта www2.imm.dtu.dk/~jab. Как нетрудно будет заметить далее, **LinOccult** выводит результаты своей работы в различные форматы, совместимые со многими прекрасными Open Source продуктами которые используются для хранения, обработки и отображения полученной информации.

К середине 2004 года все необходимые для работы **LinOccult** требования были реализованы, и программу стало не стыдно представить мировой общественности, что и было сделано на конференции ESOP XXIII в Парижской обсерватории [2]. На тот момент программа умела рассчитывать полосы покрытия звезд астероидами и использовать уточненные значения элементов орбит астероидов, взятых с сайта Стива Престона¹ и Яна Манека². При расчете орбиты астероида положения больших планет читались из файла эфемерид DE405. Вывод результатов осуществлялся как в текстовом формате так и в формате программы **PovRay** для последующего создания 3D картинки с полосой покрытия. Поскольку программа позволяла рассчитывать орбиты астероидов с эксцентриситетом близким к 1, мне удалось получить несколько интересных предсказаний покрытий транснептуновых объектов. Недостатком **LinOccult** на тот момент являлось то, что программа работала достаточно долго и не могла рассчитывать обстоятельства покрытий в заданной точке. Т.к проект продолжал развиваться как Open Source, я принял решение разместить созданный код на своем сайте www.newtech.ru/~andyp, <http://andyplekhanov.narod.ru> и на сайте <http://linoccult.sourceforge.net>.

За последующий год было реализовано множество новых возможностей. В частности был использован алгоритм kdtree для быстрого поиска звезд в заданной области небесной сферы. Это значительно ускорило работу программы и позволило отказаться от индексирования звездного каталога. Кроме того, я реализовал хранение вычисляемой орбиты астероида в виде полинома Чебышёва. Это еще более ускорило поиск покрытий на больших промежутках времени. Кроме того я реализовал сохранение результатов расчета во внутренней базе данных и вывод результатов расчета в базу данных MySQL³. Благодаря этому появилась возможность рассчитывать обстоятельства покрытий в заданной точке и проводить интересный анализ покрытий в мире с использованием MySQL базы данных. В конце 2004

¹<http://www.asteroidoccultation.com>

²<http://mpocc.astro.cz/updates>

³MySQL является зарегистрированным товарным знаком MySQL AB

года я сделал опцию вывода обстоятельств покрытий в заданных в специальном файле различных наблюдательных точках с индивидуальными параметрами. Вывод осуществлялся в виде текстового, html и L^AT_EX форматов. Кроме того **LinOccult** стал поддерживать специальный файл со списком уточненных орбит, что существенно повысило точность предсказаний покрытий. Это позволило создать рассылку предсказаний покрытий многим наблюдателям во всем мире. О всех вышеперечисленных улучшениях я сделал доклад на конференции ESOP XXIV в Хельсинки. [3]

В 2008 году была выпущена версия **LinOccult** 2.0.0. В этой версии код программы был модифицирован для соответствия C++ стандартам, выделены две библиотеки, а также улучшены некоторые процедуры.

В 2013 году я мигрировал **LinOccult** на 64 битную платформу и сделал некоторые изменения в исходном коде.

4. Требования к аппаратному и программному обеспечению

Программа **LinOccult** разработана для использования в среде UNIX⁴ (в частности Linux) и портирована на Windows⁵. Портирование было сделано моим другом Женей Малаховым.

LinOccult может функционировать на компьютере с не очень большим объемом оперативной памяти, однако дальнейшее повествование относится к компьютеру с 512 мегабайтами оперативной памяти. Если количество оперативной памяти на вашем компьютере меньше указанной величины, смотрите раздел "Что делать если в моем компьютере мало оперативной памяти ?"

Также необходимо выделить примерно 200 мегабайт свободного места на диске под следующие файлы:

- Gaia14.bin - звездный каталог
- astorb.dat - элементы орбит астероидов
- unxp2000.405 - эфемериды планет

5. Необязательное дополнительное программное обеспечение, используемое в LinOccult

Для вывода картинок и представления результата в pdf формате, а также для сохранения результатов во внешней базе данных **LinOccult** использует следующие программы:

- PovRay (<http://www.povray.org>)
- EarthView (<http://earthview.sourceforge.net>)
- TeTeX
- MySQL (<http://www.mysql.com>)

⁴UNIX является зарегистрированным товарным знаком The Open Group

⁵Windows является зарегистрированным товарным знаком Microsoft Corporation

6. Пользователям Windows

Для пользователей Windows не знакомых с философией UNIX функционирование **LinOccult** может показаться на первый взгляд несколько необычным, поскольку **LinOccult** - это консольное приложение, работающее без графического интерфейса пользователя. Однако в среде UNIX это обычное явление, имеющее множество достоинств. Например, если Вам необходимо несколько раз запустить **LinOccult** для расчета, а затем для вывода результатов, можно сделать один командный файл и запускать его на ночь. При этом нет необходимости вскакивать ночью, чтобы нажать кнопки в меню для переключения режимов. Кроме того, вся управляющая информация содержится в конфигурационных файлах (это обычные текстовые файлы) и нет необходимости искать нужный параметр в глубинах выпадающих меню.

7. Где взять файлы, необходимые для работы LinOccult

Для работы **LinOccult** требуются следующие файлы:

- Gaia14.bin - звездный каталог в формате программы **WinOccult**. Если у вас есть **WinOccult**, возьмите его оттуда. Если нет, то с сайта <http://www.lunar-occultations.com/iota/occult4.htm>
- astorb.dat - элементы орбит астероидов. Этот каталог надо брать отсюда:
<ftp://ftp.lowell.edu/pub/elgb/astorb.dat.gz>
ВНИМАНИЕ ! Схожий по названию файл в **WinOccult** не подойдет - у него другой формат.
- unxr*.405 - эфемериды планет. В зависимости от того, для какого периода Вы проводите расчет может потребоваться соответствующий файл эфемерид больших планет из Лаборатории Реактивного Движения. Эти файлы можно взять отсюда:
<ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/export/unix>
Если ваши расчеты будут с 2000 по 2050 годы, можно обойтись одним файлом unxr2000.405.

8. Установка программы

- UNIX(Linux) Возьмите файл `LinOccult_x.x.x.tar.gz` с моего сайта:
<http://andyplekhanov.narod.ru/occult/occult.htm> где x.x.x - номер версии.
 - Распакуйте его в любой директории: `tar zxvf LinOccult_x.x.x.tar.gz`
 - Скачайте вышеуказанные файлы `Gaia14.bin`, `astorb.dat`, `unxr2000.405` и установите их в любом каталоге.
 - Перейдите в каталог `Examples` и найдите файл `linoccult.config`

- Задайте правильные пути к соответствующим файлам в `linoccult.config`
- Windows Возьмите файл `LinOccult_x.x.x.zip` с моего сайта:
<http://andyplekhanov.narod.ru/occult/occult.htm>
 - Распакуйте его в любой директории
 - Скачайте вышеназванные файлы `Gaia14.bin`, `astorb.dat`, `unxp2000.405` и установите их в любом каталоге.
 - Откройте файл `linoccult.config` и задайте правильные пути к соответствующим файлам

9. Конфигурационные файлы

Как уже было сказано выше, конфигурационные файлы играют важную роль в задании режима работы **LinOccult**. Эти текстовые файлы содержат список параметров. Для того, чтобы лучше понять как происходит передача управляющей информации, рассмотрим что из себя представляют эти параметры и как они задаются.

Параметры в конфигурационном файле могут быть одним из трех типов:

- Целым числом (`int`).
- Числом с плавающей точкой (`double`).
- Строкой (`string`).

Каждый параметр в конфигурационном файле занимает одну строку и имеет вид:

Тип Имя Значение

Установка знака `#` в первой позиции строки делает данную строку комментарием.

Например:

```
int AsteroidNumber 723
double OrbitE 0.05925106
string AstOrbFilePath /home/andyp/MyAstroData/astorb.dat
```

Эти параметры задаются в трех местах:

- В самой программе (значение по умолчанию)
- В файле `linoccult.config`
- В файле проекта

Файл `linoccult.config` должен быть в текущей директории откуда запускается **LinOccult**. Файл проекта - это конфигурационный файл с параметрами для конкретного запуска **LinOccult**. Таких файлов проектов может быть сколько угодно, но при запуске **LinOccult** используется один. Для запуска программы необходимо в консоли набрать команду:

`linoccult <имя_файла_проекта>`

Файл `имя_файла_проекта` содержит параметры для данного конкретного расчета и обычно имеет расширение `.config`

Значение каждого конкретного параметра, которое будет использоваться **LinOccult** получается по следующей схеме:

- 1) Берется значение по умолчанию в самой программе **LinOccult**.
- 2) Просматривается файл `linoccult.config` на наличие этого параметра. Если он там присутствует, значение параметра заменяется значением из файла `linoccult.config`.
- 3) Просматривается файл проекта, заданный в командной строке на наличие этого параметра. Если он там присутствует, значение параметра заменяется значением из файла проекта.

Таким образом достигается гибкая схема задания информации для работы программы. **LinOccult** имеет большое количество параметров. Большинство параметров заданы в самой программе по умолчанию и обычно их значение не меняется пользователем. Общие для всех проектов параметры целесообразно задавать в файле `linoccult.config` чтобы их не задавать в каждом файле проекта, например путь к файлу `astorb.dat`:

```
string AstOrbFilePath /home/andyp/MyAstroData/astorb.dat
```

Хотя если Вам при конкретном запуске **LinOccult** требуется другой файл `astorb.dat` (например на предыдущую дату), можно в файле проекта задать путь к этому файлу и проводить расчет с другим файлом `astorb.dat`. То есть параметр может присутствовать одновременно и в файле `linoccult.config` и в файле проекта. В этом случае значение берется из файла проекта.

10. Запуск LinOccult

- UNIX:

- 1) Запустите консоль
- 2) Перейдите в директорию `LinOccult_x.x.x/Examples`:
`cd LinOccult_x.x.x/Examples`
- 3) Запустите **LinOccult**:
`../linoccult Example1.config`

- Windows:

- 1) Запустите консоль - в Start выберите "запустить запустите командный процессор например cmd или воспользуйтесь чем-нибудь типа WinCommander
- 2) Перейдите в директорию `LinOccult_x.x.x`
`cd C:\LinOccult_x.x.x`

3) Запустите **LinOccult**: `linoccult Example1.config`

LinOccult выводит результаты работы на консоль. Если Вы хотите получить их в файле, перенаправьте вывод в файл:

```
linoccult Example1.config > Example1.txt
```

или воспользуйтесь программой `tee` (в UNIX):

```
linoccult Example1.config | tee Example1.txt
```

11. Использование LinOccult

К этому моменту Вы должны были правильно настроить пути в файле `linoccult.config` и попробовать запустить **LinOccult** с одним примером. Сейчас мы попробуем использовать **LinOccult** для расчетов.

- Пример №1.

Допустим Вам необходимо рассчитать полосу покрытия для астероида 1315 Bronislaw 11 марта 2005 года. Для этого необходимо создать файл проекта `Example1.config`

```
# First example - calculate path for asteroid 1315 Bronislaw
int StartDay 11
int StartMonth 3
int StartYear 2005
int AsteroidNumber 1315
```

Первая строка - это комментарий Далее задается день, месяц и год покрытия Последняя строка - это номер астероида.

Запускаем **LinOccult**:

```
linoccult Example1.config
```

- Пример №2.

Если необходимо сделать расчет для некоторого периода времени надо определить с какой даты по какую производить расчет:

```
# Second example - calculate occultations for asteroid 983 Gunila
int StartDay 26
int StartMonth 6
int StartYear 2005
int EndDay 13
int EndMonth 7
int EndYear 2005
int AsteroidNumber 983
```

- Пример №3.

Расчет полос покрытий в предыдущих примерах происходил с наибольшей точностью и соответственно был наиболее медленный. Такой режим не подходит для поиска покрытий на большом промежутке времени. Поэтому заменим последнюю строку в предыдущем примере:

```
int AsteroidNumber 983
```

на две другие:

```
int StartAsteroidNumber 983
int EndAsteroidNumber 983
```

```
# Fast search for occultations
int StartDay 26
int StartMonth 6
int StartYear 2005
int EndDay 13
int EndMonth 7
int EndYear 2005
int StartAsteroidNumber 983
int EndAsteroidNumber 983
```

- Пример №4.

Параметры StartAsteroidNumber и EndAsteroidNumber позволяют задавать диапазон астероидов для которых производится расчет покрытий:

```
# Fast search for occultations
int StartDay 1
int StartMonth 1
int StartYear 2006
int EndDay 31
int EndMonth 1
int EndYear 2006
int StartAsteroidNumber 1
int EndAsteroidNumber 10
```

- Пример №5.

Однако это не единственный способ выбрать астероиды для расчета. Можно задать минимальное и максимальное значения большой полуоси орбиты, а также минимальный и максимальный значения диаметра астероида.

```
int StartDay 1
int StartMonth 1
int StartYear 2006
int EndDay 31
int EndMonth 1
int EndYear 2006
double MinA 3.0
double MaxA 4.0
double MinDiameter 20.0
double MaxDiameter 25.0
```


Как нетрудно заметить, в этом примере не задан диапазон номеров астероидов. В этом случае будут выбраны все астероиды из файла `astorb.dat`, которые удовлетворяют данным критериям. В начале расчета **LinOccult** выведет количество таких астероидов.

- Пример №6.

LinOccult выводит результаты с интервалом 1 минута по умолчанию. Если Вам необходимо задать другой шаг вывода результатов, необходимо задать параметр `ScanStep`. Шаг вывода будет равен $86400/\text{ScanStep}$ в секундах.

```
int StartDay 11
int StartMonth 3
int StartYear 2005
int AsteroidNumber 1315
int ScanStep 14400
```

- Пример №7.

Вывод полосы покрытия ограничен теми точками, где высота Солнца не превышает 0 градусов. Это можно изменить с помощью параметра `SunElev`.

```
int StartDay 26
int StartMonth 6
int StartYear 2005
int StartAsteroidNumber 983
int EndAsteroidNumber 983
double SunElev 20
```

В этом примере **LinOccult** выводит все точки, высота Солнца в которых не превышает 20 градусов.

- Пример №8.

Часто необходимо делать расчет только для звезд, яркость которых не превосходит некоторой звездной величины. Это можно сделать с помощью параметра `MaxMv`.

```
int StartDay 1
int StartMonth 1
int StartYear 2005
int EndDay 31
int EndMonth 12
int EndYear 2005
int StartAsteroidNumber 983
int EndAsteroidNumber 983
double MaxMv 10.0
```

В этом примере **LinOccult** делает расчет только для звезд, звездная величина которых не превышает 10.0^m .

- Пример №9.

При поиске покрытий звезд транснептуными объектами бывает необходимо знать полосу покрытия, даже если она проходит за пределами Земли. Это можно сделать с помощью параметров IfExtraRadius и ExtraRadius.

```
int StartDay 1
int StartMonth 1
int StartYear 2006
int EndDay 31
int EndMonth 1
int EndYear 2006
double MinA 30.0
double MinDiameter 200.0
int IfExtraRadius 1
double ExtraRadius 5.0
```

- Пример №10.

Если Вы знаете элементы орбиты астероида, Вы можете задать их в конфигурационном файле. Уточненные элементы орбиты можно взять с сайта Стива Престона или Яна Манека, причем это могут быть элементы орбиты для любого покрытия данным астероидом, а не только те, которые рассчитаны для данного события. Элементы орбиты представляют из себя 7 значений. Для того, чтобы эти элементы заменили элементы из файла astorb.dat, необходимо задать номер астероида в параметре IfOneAsteroid а затем добавить следующие 7 параметров:

```
int IfOneAsteroid 3028
# Mean anomaly
double OrbitM 268.1498521874252
# Arg. of pericenter
double OrbitW 12.0328241475572
# Long. of node
double OrbitO 189.8183951669222
# Inclination
double OrbitI 9.5071891791671
# Eccentricity
double OrbitE 0.024687685580059
# Semimajor axis
double OrbitA 3.01926921249583
double ObservationEpoch 53743.280
int StartDay 8
int StartMonth 1
int StartYear 2006
int AsteroidNumber 3028
```

- Пример №11.

В предыдущем примере использовались уточненные элементы для одного астероида. В случае расчета для большого числа астероидов,

уточненные значения орбит могут храниться в специальном файле, формат которого приведен ниже. Для задания пути к этому файлу используется параметр `UpdatesFilePath`. Еще один параметр `UpdatesExpirePeriod` используется для указания того, насколько старые уточнения будут использоваться при расчете.

```
int StartDay 8
int StartMonth 1
int StartYear 2006
int AsteroidNumber 3028
string UpdatesFilePath ./UpdateExample.txt
```

- Пример №12.

При точных расчетах полосы покрытия используются уточнения не только элементов орбиты астероида, но и уточнения положения звезды. Это можно сделать с помощью параметра `IfOneStar`, в котором надо задать номер звезды в каталоге. После этого необходимо добавить остальные значения для данной звезды.

```
int StartDay 19
int StartMonth 11
int StartYear 2005
int AsteroidNumber 1994
int IfOneStar 1218008681
int RA_Hour 2
int RA_Min 28
double RA_Sec 4.8329723
double pmRA 0
int Dec_Deg 19
int Dec_Min 59
double Dec_Sec 47.266972
double pmDec 0
int OneStarCatalog 128
double OneStarMv 9.28
double OneStarParallax 0.0365
```

- Пример №13.

Вывод результатов происходит в обычном текстовом режиме. Если необходимо вывести результаты в другом формате, необходимо использовать параметр `OutputType`. Например можно вывести результаты для создания 3D картинки с помощью программы **PovRay**.

```
int StartDay 11
int StartMonth 3
int StartYear 2005
int AsteroidNumber 1315
int OutputType 1
```

- Пример №14.

Для того, чтобы выводить обстоятельства покрытий в заданных точках наблюдения, необходимо сохранить результаты расчета во внутренней базе данных. Для этого надо добавить параметр `OutputEventsFilePath` в котором указать путь к файлу, в котором будет создана эта база данных.

```
int StartDay 1
int StartMonth 1
int StartYear 2006
int EndDay 31
int EndMonth 1
int EndYear 2006
int StartAsteroidNumber 1
int EndAsteroidNumber 10
string OutputEventsFilePath ./EventsExample.bin
```

- Пример №15.

Для вывода обстоятельств покрытий в заданных точках, необходимо создать файл с перечнем этих точек в формате который будет показан ниже. Для каждой наблюдательной точки можно задать свои значения для максимальной звездной величины, минимальной длительности покрытия, минимального падения блеска, минимальной вероятности события и так далее. Путь к файлу с описанием точек наблюдения задается параметром `SitesFilePath`. Поскольку при выводе обстоятельств покрытий в заданных точках расчет не производится, необходимо также указать параметр `CalculationMode` равным 0. Также необходимо указать базу данных с результатами расчета путем задания параметра `InputEventsFilePath`.

```
int StartDay 1
int StartMonth 1
int StartYear 2006
int EndDay 31
int EndMonth 1
int EndYear 2006
string SitesFilePath SitesExample.txt
string InputEventsFilePath ./EventsExample.bin
int CalculationMode 0
```

LinOccult создаст три файла с обстоятельствами покрытий.

- Пример №16 (Только UNIX).

Одной из опций в **LinOccult** является вывод информации в базу данных MySQL. Для этого необходимо задать параметр `IfMySQL` и, при необходимости, `StartSQLNumber`. При этом Вы должны запустить MySQL.

```
int StartDay 1
int StartMonth 1
```

```
int StartYear 2006
int EndDay 31
int EndMonth 1
int EndYear 2006
int StartAsteroidNumber 1
int EndAsteroidNumber 10
int IfMySQL 1
```

12. Формат выводимой LinOccult информации

Разберем формат выводимой **LinOccult** информации. В начале своей работы **LinOccult** выводит информацию о текущей версии и Copyright. Затем выводится информация о параметрах, которые будут использованы в расчетах и из какого файла эти параметры были получены. Далее для каждого найденного события выводится информация о покрываемой звезде - каталог и номер, визуальная звездная величина M_v , координаты звезды, диаметр покрывающего астероида (Diameter), его яркость (Brightness), падение блеска (Delta), среднеквадратичная неопределенность одна σ (Uncertainty) выраженная в угловых секундах и километрах. Далее приводятся данные об обстоятельствах этого события - расстояние от звезды до Солнца (Sun dist) и Луны (Moon dist) в градусах а также фаза Луны (Moon phase) в процентах.

Далее, для каждой точки с шагом, заданным параметром ScanStep, выводится дата и время события в данной точке в UTC, долгота данной точки, широта данной точки, высота звезды над горизонтом, высота Солнца и длительность события в секундах.

13. Дополнительные настройки LinOccult

Как уже говорилось выше, в своей работе **LinOccult** использует файл уточнений, файл с описанием точек наблюдения а также MySQL. Разберем формат этих файлов и их настройку.

13.1. Файл уточнений

Файл уточнений используется для хранения уточненных элементов орбит астероидов. Уточненные элементы необходимы поскольку элементы орбиты в файле astorb.dat не всегда обладают достаточной точностью. Такие уточнения можно взять с сайта Стива Престона (<http://www.asteroidoccultation.com>) и Яна Манека (<http://mpocc.astro.cz/updates>). Эти элементы необходимо поместить в специальный текстовый файл, путь на который должен быть указан в параметре UpdatesFilePath. Кроме того можно изменить значение параметра UpdatesExpirePeriod который задает количество дней, в течение которых значения из этого файла будут иметь приоритет по отношению к данным из astorb.dat. При старте **LinOccult** читает файл astorb.dat и файл уточнений, если он существует. При этом для каждого астероида проверяется, существует ли уточнения для него в файле уточнений. Если такие уточнения существуют, из них выбирается самое свежее и его дата сравнивается с датой элементов из файла astorb.dat. Если дата в файле уточнений

более свежая чем в `astorb.dat` минус `UpdatesExpirePeriod`, для астероида выбираются элементы из файла уточнений.

Теперь о формате файла уточнений. Это текстовый файл в котором одна строка соответствует одному уточнению. Установка знака `#` в первой позиции строки делает данную строку комментарием. Формат строки одного уточнения следующий:

- 1) Номер астероида
- 2) Эпоха наблюдения
- 3) Средняя аномалия в градусах
- 4) Аргумент перигелия в градусах
- 5) Долгота восходящего узла в градусах
- 6) Наклонение орбиты в градусах
- 7) Эксцентриситет
- 8) Величина большой полуоси орбиты в астрономических единицах
- 9) Три параметра эллипса неопределенности

В качестве примера смотрите файл `UpdateExample.txt`.

13.2. Файл с описанием точек наблюдения

Для описания точек наблюдения для которых вычисляются обстоятельства покрытий, существует специальный текстовый файл путь на который указывается в параметре `SitesFilePath`. Одна строка соответствует одной точке наблюдения. Установка знака `#` в первой позиции строки делает данную строку комментарием. Для каждой точки наблюдения выбираются только те события, которые удовлетворяют условиям заданным в данной точке. Формат строки следующий:

- 1) Имя наблюдательной точки. Это имя используется как имена файлов с соответствующими расширениями.
- 2) Адрес электронной почты наблюдателя
- 3) Целое число - тип выходных файлов
- 4) Целое число - тип сортировки событий
- 5) Долгота точки - может быть представлена в десятичном формате в градусах или в формате градусы-минуты-секунды
- 6) Широта точки - может быть представлена в десятичном формате в градусах или в формате градусы-минуты-секунды
- 7) Радиус области вокруг наблюдательной точки в километрах. Используется для выбора тех полос, которые пересекаются с этой областью
- 8) Максимальная звездная величина для выбираемых событий

- 9) Минимальная продолжительность покрытия
- 10) Максимальная высота Солнца во время покрытия
- 11) Минимальное падение блеска звезды
- 12) Минимальная вероятность события в этой точке
- 13) Минимальная вероятность события в центре полосы
- 14) Минимальная высота звезды во время покрытия

Тип выходных файлов и тип сортировки событий требуют дополнительного объяснения.

Тип выходных файлов - это целое число, которое формируется по правилу "или" а проще "+".

- Значение 1 соответствует текстовому файлу с обстоятельствами покрытий,
- Значение 2 соответствует файлу в формате L^AT_EX,
- Значение 4 соответствует файлу в формате HTML.

Соответственно, имена файлов будут:

Имя_наблюдательной_точки.txt
Имя_наблюдательной_точки.ltx
Имя_наблюдательной_точки.htm

Можно выводить результаты в разных форматах, например значение 3 соответствует файлам в текстовом и L^AT_EX форматах (3=1+2). Для того, чтобы из L^AT_EX получить pdf формат необходимо запустить программу **pdflatex**:

```
pdflatex <имя_точки.ltx>
```

Тип сортировки событий - это также целое число, которое формируется по тому же правилу, что и тип выходных файлов.

- Значение 1 соответствует сортировке по времени
- Значение 2 соответствует сортировке по номеру астероида
- Значение 4 соответствует сортировке по падению блеска
- Значение 8 соответствует сортировке расстоянию до ближайшей точке в центре полосы
- Значение 16 соответствует сортировке по длительности покрытия
- Значение 32 соответствует сортировке по вероятности покрытия в наблюдательной точке
- Значение 64 соответствует сортировке по вероятности покрытия в центре полосы

- Значение 128 соответствует сортировке по звездной величине покрываемой звезды
- Значение 256 соответствует сортировке по неопределенности

Соответственно, можно получать несколько таблиц отсортированных по-разному, если задать например число 6 (будут выведены две таблицы отсортированные по номеру астероида и падению блеска).

В качестве примера смотрите файл SitesExample.txt.

13.3. Настройка MySQL

LinOccult может выводить результаты расчета непосредственно в базу данных MySQL (только UNIX версия). Это бывает полезно при статистическом анализе событий, а также при поиске интересных и необычных событий во всем мире. Для того, чтобы вывести результаты в базу данных MySQL, необходимо настроить MySQL на Вашем компьютере как указано в соответствующих руководствах.

Затем Вам необходимо создать пользователя "linoccult" с паролем "linoccult" и создать базу данных occult. В этой базе данных необходимо создать следующую таблицу:

```
CREATE TABLE Events (
  EVENT_ID          int UNSIGNED NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  ASTEROID_ID       int UNSIGNED NOT NULL,
  ASTEROID_NAME     varchar(18),
  ASTEROID_DIAMETER float,
  EPHEMERIS_UNCERTAINTY float,
  STAR_NUMBER       int UNSIGNED NOT NULL,
  STAR_MV           float NOT NULL,
  BEGIN_OCC_TIME    datetime,
  END_OCC_TIME      datetime,
  EARTH_FLAG        tinyint,
  MAX_DURATION      float,
  STAR_RA           float NOT NULL,
  STAR_DEC          float NOT NULL,
  MOON_PHASE        float,
  SUN_DIST          float,
  MOON_DIST         float,
  BRIGHTNESS        float,
  BRIGHT_DELTA     float,
  UNCERTAINTY       float,
  PRIMARY KEY( EVENT_ID ),
  INDEX( BEGIN_OCC_TIME )
);
```

Перед запуском **LinOccult** необходимо убедиться, что демон MySQL запущен и работает и добавить в конфигурационный файл параметр IfMySQL равный 1. Поскольку в одну и ту-же базу данных MySQL можно записывать много раз, необходимо позаботиться о параметре EVENT_ID поскольку он

должен быть уникальным, а **LinOccult** не отслеживает этого. Используйте параметр `StartSQLNumber` перед запуском для того, чтобы не возникло пересечения значений `EVENT_ID`.

После того, как база данных MySQL будет заполнена, можно проводить ее анализ с помощью стандартных средств работы с SQL базами данных.

14. Режимы работы LinOccult

Можно выделить несколько основных режимов работы **LinOccult**. Первый из них - это точный расчет полосы покрытия звезды астероидом. Этот режим включается установкой параметра

```
int AsteroidNumber Номер_астероида
```

Следует сказать, что номер астероида - это на самом деле номер строки в файле `astorb.dat`, так что заданием этого номера можно проводить расчет для нумерованных астероидов.

В этом режиме можно использовать уточненные элементы орбиты астероида с сайта Стива Престона (<http://www.asteroidoccultation.com>) и Яна Манека (<http://mpoccz.astro.cz/updates>). Для этого необходимо задать параметр

```
int IfOneAsteroid Номер_астероида
```

и уточненные элементы орбиты в соответствующих параметрах. Необходимо чтобы номер астероида в параметрах `AsteroidNumber` и `IfOneAsteroid` совпадал. Также можно задать путь к файлу уточнений с элементами для данного астероида

```
string UpdatesFilePath Путь_к_файлу
```

Если у Вас есть более точные чем в звездном каталоге координаты звезды, можно задать параметр

```
int IfOneStar Номер_звезды
```

с параметрами, задающими данные об этой звезде.

Обычно этот режим используют в случае, если номер покрывающего астероида и дата покрытия известны. Данный режим наиболее точный, но требует больших вычислительных ресурсов.

Второй режим использования **LinOccult** - поиск покрытий. Для этого режима целесообразно установить параметры

```
int StartAsteroidNumber Номер  
int EndAsteroidNumber Номер
```

или параметры на ограничение диаметра обрабатываемых астероидов и/или их орбит. В этом режиме также можно использовать файл с уточненными элементами орбит астероидов.

В этом режиме можно указать файл внутренней базы данных для сохранения результатов расчета и использования их в дальнейшем с помощью

параметра `OutputEventsFilePath`. Также возможно указать уже существующую базу данных с помощью параметра `InputEventsFilePath`. В этом случае **LinOccult** считывает из существующей базы данных те события, которые попадают в рассчитываемый интервал времени, рассчитывает новые события и сохраняет все эти события в новой базе данных.

Внимание ! В этом режиме параметр `AsteroidNumber` не должен присутствовать.

Третий режим использования **LinOccult** - вывод обстоятельств покрытий в наблюдательных точках. Этот режим включается при установке параметра

```
int CalculationMode 0
```

Соответственно должен быть задан путь к файлу, содержащему описание наблюдательных точек и файлу внутренней базы данных с результатами расчетов во втором режиме.

Также можно указать интервал времени для которого будут выводиться обстоятельства покрытий с помощью параметров начала и конца рассчитываемого периода.

15. Список параметров

Ниже перечислены все параметры которые используются в **LinOccult**.

- **AstOrbFilePath** Этот параметр типа **string** задает путь к файлу `astorb.dat`.
- **StarCatalogFilePath** Этот параметр типа **string** задает путь к файлу `Gaia14.bin`.
- **JPLEphemFilePath** Этот параметр типа **string** задает путь к файлу `unxp2000.405`.
- **StartYear** Этот параметр типа **int** задает год начала периода расчета.
- **StartMonth** Этот параметр типа **int** задает месяц начала периода расчета.
- **StartDay** Этот параметр типа **int** задает день начала периода расчета.
- **EndYear** Этот параметр типа **int** задает год конца периода расчета.
- **EndMonth** Этот параметр типа **int** задает месяц конца периода расчета.
- **EndDay** Этот параметр типа **int** задает день конца периода расчета. Если не заданы параметры **EndYear**, **EndMonth** и **EndDay**, то они принимаются равными **StartYear**, **StartMonth** и **StartDay** и расчет производится для 1 дня.

- **AsteroidNumber** Этот параметр типа **int** задает номер астероида (точнее номер строки в файле astorb.dat чтобы можно было рассчитывать покрытия ненумерованными астероидами). Если задан этот параметр, будет проводиться наиболее точный расчет, который требует значительных вычислительных ресурсов.
- **IfOneStar** Этот параметр типа **int** задает расчет для одной звезды, характеристики которой заданы следующими параметрами. По умолчанию значение **IfOneStar** равно 0. При расчете для одной звезды этот параметр необходимо установить равным номеру звезды из соответствующего каталога.
- **RA_Hour** Этот параметр типа **int** задает часы прямого восхождения звезды. Используется если задан параметр **IfOneStar**.
- **RA_Min** Этот параметр типа **int** задает минуты прямого восхождения звезды. Используется если задан параметр **IfOneStar**.
- **RA_Sec** Этот параметр типа **double** задает секунды и доли секунды прямого восхождения звезды. Используется если задан параметр **IfOneStar**.
- **Dec_Deg** Этот параметр типа **int** задает градусы склонения звезды. Используется если задан параметр **IfOneStar**.
- **Dec_Min** Этот параметр типа **int** задает минуты склонения звезды. Используется если задан параметр **IfOneStar**.
- **Dec_Sec** Этот параметр типа **double** задает секунды и доли секунды склонения звезды. Используется если задан параметр **IfOneStar**.
- **pmRA** Этот параметр типа **double** задает собственное движение звезды в arcsec/год по прямому восхождению. Используется если задан параметр **IfOneStar**. По умолчанию значение **pmRA** равно 0.
- **pmDec** Этот параметр типа **double** задает собственное движение звезды в arcsec/год по склонению. Используется если задан параметр **IfOneStar**. По умолчанию значение **pmDec** равно 0.
- **OneStarCatalog** Этот параметр типа **int** задает тип звездного каталога. 2 - HIP 130 - UCAC2 128 - TYC. Используется если задан параметр **IfOneStar**.
- **OneStarMv** Этот параметр типа **double** задает видимую звездную величину. Используется если задан параметр **IfOneStar**.
- **OneStarParallax** Этот параметр типа **double** задает значение параллакса в arcsec/год. По умолчанию значение **OneStarParallax** равно 0.
- **ScanStep** Этот параметр типа **int** задает шаг вывода результатов. Шаг вывода будет равен $86400/\text{ScanStep}$ в секундах. По умолчанию **ScanStep** равен 1440, то есть шаг вывода - одна минута.

- **IfExtraRadius** Этот параметр типа **int** определяет, будут ли выводиться результаты за пределами Земли. По умолчанию значение этого параметра равно 0. Для вывода результатов за пределами Земли необходимо установить этот параметр равным 1. В настоящее время этот параметр используется только если установлен AsteroidNumber параметр.
- **ExtraRadius** Этот параметр типа **double** задает расстояние равное количеству радиусов Земли, для которого будут выводиться результаты расчета. По умолчанию значение **ExtraRadius** равно 3. Используется если задан параметр **IfExtraRadius**.
- **ET_UT** Этот параметр типа **double** задает разницу между эфемеридным и обычным временем.
- **MinA** Этот параметр типа **double** задает минимальное значение большой полуоси орбиты астероидов в астрономических единицах для которых будет производиться расчет.
- **MaxA** Этот параметр типа **double** задает максимальное значение большой полуоси орбиты астероидов в астрономических единицах для которых будет производиться расчет.
- **MinDiameter** Этот параметр типа **double** задает минимальное значение диаметра астероидов в километрах для которых будет производиться расчет.
- **MaxDiameter** Этот параметр типа **double** задает максимальное значение диаметра астероидов в километрах для которых будет производиться расчет.
- **IfOneAsteroid** Этот параметр типа **int** определяет номер астероида для которого задана орбита, определенная в следующих параметрах. По умолчанию значение **IfOneAsteroid** равно 0.
- **ObservationEpoch** Этот параметр типа **double** задает эпоху наблюдений в модифицированных юлианских днях. Используется если задан параметр **IfOneAsteroid**.
- **OrbitM** Этот параметр типа **double** задает среднюю аномалию в градусах. Используется если задан параметр **IfOneAsteroid**.
- **OrbitW** Этот параметр типа **double** задает аргумент перигелия в градусах. Используется если задан параметр **IfOneAsteroid**.
- **OrbitO** Этот параметр типа **double** задает долготу восходящего узла в градусах. Используется если задан параметр **IfOneAsteroid**.
- **OrbitI** Этот параметр типа **double** задает наклонение орбиты в градусах. Используется если задан параметр **IfOneAsteroid**.
- **OrbitE** Этот параметр типа **double** задает эксцентриситет. Используется если задан параметр **IfOneAsteroid**.

- **OrbitA** Этот параметр типа **double** задает величину большой полуоси орбиты в астрономических единицах. Используется если задан параметр **IfOneAsteroid**.
- **OutputType** Этот параметр типа **int** задает вид выводимой информации. При значении 0 информация о полосе покрытия выводится в стандартном текстовом формате. При значении 1 информация о полосе покрытия выводится в формате, пригодном для создания 3D картинок программой **PovRay**. При значении 2 информация о полосе покрытия выводится в полях, разделенных запятой, удобном для ввода в другие программы, например, в электронные таблицы.
- **InputEventsFilePath** Этот параметр типа **string** задает путь к файлу внутренней базы данных для ввода информации.
- **OutputEventsFilePath** Этот параметр типа **string** задает путь к файлу внутренней базы данных для вывода информации.
- **SitesFilePath** Этот параметр типа **string** задает путь к файлу содержащему список точек наблюдения.
- **CalculationMode** Этот параметр типа **int** задает режим работы **LinOccult**. При значении 1 (значение по умолчанию) производится расчет покрытий. При значении 0 производится вывод результатов для наблюдательных точек, содержащихся в файле, определяемым параметром **SitesFilePath**.
- **IfMySQL** Этот параметр типа **int** определяет, необходим ли дополнительный вывод информации в базу данных MySQL. Значение по умолчанию - 0 (вывод не нужен). Для вывода информации необходимо установить этот параметр в 1.
- **StartSQLNumber** Этот параметр типа **int** определяет начальное значение записи в MySQL базе данных. Значение по умолчанию 1. Используется если задан параметр **IfMySQL**.
- **SunElev** Этот параметр типа **double** задает максимальное значение высоты Солнца, при которой будет осуществляться вывод точек в полосу покрытия. Значение по умолчанию 0.
- **MaxMv** Этот параметр типа **double** задает максимальное значение звездной величины звезд для которых будет производиться расчет.
- **UpdatesFilePath** Этот параметр типа **string** задает путь к файлу содержащему уточненные значения элементов орбит астероидов.
- **UpdatesExpirePeriod** Этот параметр типа **int** задает период в днях, который определяет, из какого источника будут читаться элементы орбит астероидов - из **astorb.dat** или из файла, содержащего уточненные значения элементов орбит астероидов, определяемому параметром **UpdatesFilePath**. Значение по умолчанию 730 дней.
- **StartAsteroidNumber** Этот параметр типа **int** задает первый астероид для расчета астероидов в диапазоне. Значение по умолчанию 1.

- **EndAsteroidNumber** Этот параметр типа **int** задает последний астероид для расчета астероидов в диапазоне. Если задан этот параметр и параметр **StartAsteroidNumber**, производится быстрый расчет с аппроксимацией орбиты астероида полиномами Чебышева.

16. Алгоритм работы программы

Здесь я хочу немного рассказать о том, как работает **LinOccult**. Программа **LinOccult** в начале своей работы считывает конфигурационный файл `linoccult.config` и конфигурационный файл проекта, заданный в командной строке, определяет из них параметры, в частности пути к файлу `astorb.dat`, звездному каталогу и эфемеридам планет.

Затем, в зависимости от заданных параметров создает список астероидов, для которых будет производиться расчет и отрезок времени, для расчета.

LinOccult также считывает звездный каталог и создает `kdtree` индекс для быстрого поиска звезд в заданной части небесной сферы.

Расчет производится путем численного интегрирования координат астероида с использованием возмущений планет, положения которых считываются из файла `DE405`.

В режиме поиска покрытий **LinOccult** орбита астероида аппроксимируется полиномами Чебышева и определяется участок неба который астероид пройдет за сутки. После этого ищутся все звезды на этом участке, для каждой из которых ищется покрытие.

Если покрытие найдено, оно выводится в консоль и при необходимости сохраняется во внутренней базе данных и базе данных MySQL.

17. Список изменений

Изменения в версии `LinOccult_1.0.0beta`:

- 1) Производительность программы увеличилась в 5 - 10 раз за счет использования алгоритма `kdtree` в процедуре поиска звезд в каталоге
- 2) Добавлен вывод результатов в базу данных MySQL
- 3) Результаты расчета сохраняются во внутренней базе данных
- 4) Разработан и реализован новый текстовый и pdf формат представления результатов.
- 5) Добавлена поддержка списка точек наблюдений, для которых выдается список покрытий. Для каждой точки наблюдения можно задавать ограничения на параметры выводимых событий, такие как минимальная длительность покрытия, максимальная звездная величина покрываемой звезды, минимальное значение вероятности покрытия и т.д.
- 6) Исправлено несколько ошибок в программе
- 7) Добавлены новые конфигурационные параметры

Изменения в версии LinOccult_1.1.0:

- 1) Обработка файла с уточненными значениями элементов орбит астероидов. Добавлен параметр `UpdatesExpirePeriod`.
- 2) Добавлен вывод в HTML формат.
- 3) Обработка астероидов в заданном диапазоне. Добавлены параметры `StartAsteroidNumber`, `EndAsteroidNumber`.
- 4) Добавлено ограничение на обработку звезд со звездной величиной не более заданного значения. Параметр `MaxMv`.
- 5) Добавлена обработка параллакса.
- 6) Добавлено чтение координат и блеска звезды из конфигурационного файла. Параметры `OneStarCatalog`, `OneStarMv`, `OneStarParallax`.
- 7) Скорректирован расчет яркости астероида.

Изменения в версии LinOccult_1.1.1:

- 1) Новый формат `astorb.dat` с 6 цифрами для номера астероида.

Изменения в версии LinOccult_2.0.0:

- 1) Все библиотеки и само приложение переделаны под "чистый" C++ с использованием `namespace`, потоков и STL.
- 2) Убран устаревший код.
- 3) В математическую библиотеку вынесена работа с векторами и матрицами, интегрирование и полиномы Чебышева.
- 4) Изменена структура библиотеки ввода-вывода из/в различные астрономические форматы.
- 5) Добавлены новые форматы - для использования в **OrbSearch**.
- 6) Выделены две новые библиотеки: для работы с различными астрономическими базами данных **APSAstroData** и астрономическими алгоритмами **APSAstroAlg**.
- 7) Исправлены некоторые мелкие ошибки.
- 8) Подпрограмма предварительного расчета покрытий теперь использует ту же процедуру, что и подпрограмма точного расчета покрытий.

Изменения в версии LinOccult_2.1.0:

- 1) Добавлены make файлы (Andrew Moore).
- 2) Устранены проблемы с компиляцией в Ubuntu 8.10.
- 3) Добавлен выходной формат для **OccultWatcher**.
- 4) Исправлено несколько ошибок.

Изменения в версии LinOccult_2.1.1:

- 1) Исправлена ошибка в выходном формате для **OccultWatcher**.
- 2) Добавлена неопределенность положения звезды в неопределенность положения астероида.

Изменения в версии LinOccult_2.2.0:

- 1) Миграция на 64 битную платформу.
- 2) Некоторые изменения в исходном коде для большего соответствия современным компиляторам.
- 3) В kdtree float заменен на double.

Изменения в версии LinOccult_2.3.0:

- 1) В качестве звездного каталога теперь используется каталог Gaia.
- 2) Процедура вычисления координат звезды была улучшена.

Изменения в версии LinOccult_2.4.0:

- 1) В качестве звездного каталога теперь используется EDR3 каталог Gaia.

18. Технические детали

LinOccult написан на C++ и представляет из себя собственно программу и несколько библиотек классов, которые можно повторно использовать в других проектах:

- APSLib - библиотека классов для создания приложений. Содержит классы для работы с параметрами, файлами а также ряд полезных процедур.
- APSMathLib - библиотека классов, содержащая векторную и матричную арифметику, работу с полиномами Чебышёва и другие математические процедуры.
- APSAstroIO - библиотека классов, содержащая процедуры ввода/вывода из/в различные форматы астрономических баз данных, например файл astorb.dat.
- APSAstroData - библиотека классов, содержащая процедуры для работы с различными астрономическими базами данных
- APSAstroAlg - библиотека классов, содержащая процедуры для работы с астрономическими алгоритмами

19. ToDo

Хотя все основные возможности для расчета и поиска покрытий в **LinOccult** уже существуют, я намерен и в дальнейшем развивать и поддерживать **LinOccult**.

Список литературы

- [1] Оливер Монтенбрук, Томас Пфлегер "Астрономия на персональном компьютере" Санкт-Петербург 2002
- [2] *LINOCCULT - APPLICATION FOR CALCULATING STAR OCCULTATIONS BY MINOR PLANETS* ESOP 2004 SCIENTIFIC PROGRAM. Observatoire de Paris, Paris 27-29 August, 2004
<http://calys.obspm.fr/ESOP2004/sessions.html>
- [3] *LinOccult - Overview of New Features* 24th European Symposium on Occultation Projects, Helsinki 26-31 August, 2005
http://www.ursa.fi/ursa/jaostot/pikkuplan/tapahtumat/ESOP2005/lecture_11.html

Содержание

1. Введение	1
2. Лицензия	1
3. Философия и история создания LinOccult	1
4. Требования к аппаратному и программному обеспечению	3
5. Необязательное дополнительное программное обеспечение, используемое в LinOccult	3
6. Пользователям Windows	4
7. Где взять файлы, необходимые для работы LinOccult	4
8. Установка программы	4
9. Конфигурационные файлы	5
10. Запуск LinOccult	6
11. Использование LinOccult	7
12. Формат выводимой LinOccult информации	13
13. Дополнительные настройки LinOccult	13
13.1. Файл уточнений	13
13.2. Файл с описанием точек наблюдения	14
13.3. Настройка MySQL	16
14. Режимы работы LinOccult	17
15. Список параметров	18
16. Алгоритм работы программы	22
17. Список изменений	22

18.Технические детали	24
19.ToDo	24