СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..................................................................................................3

§1 Классификация тесных двойных систем.............................................

§2 Алгоритм ZET.........................................................................................

§3 Применение метода ZET……………………………………………..

 ВЫВОДЫ.......................................................................................................

 ПРИЛОЖЕНИЕ.............................................................................................

 ЛИТЕРАТУРА...............................................................................................

 ВВЕДЕНИЕ.

Изучение фотометрических и абсолютных элементов тесных двойных систем, находящихся на разных стадиях эволюции, представляет большой интерес с точки зрения статистического исследования этих систем, изучения строения Галактики, а также теории происхождения и эволюции одиночных и двойных звезд. Одной из важных характеристик тесных двойных систем является отношение масс мене массивной компоненты к более массивной q=m2/m1 . Отношение масс позволяет уточнить эволюционный тип звезды, определить форму внутренней критической поверхности (т.н. полости Роша), а также положение первой точки Лагранжа. Для контактных систем, исследуемых в данной работе, у которых обе компоненты близки друг к другу и практически наполняют пределы полости Роша, отношение масс q, кроме всего прочего, определяет конфигурацию всей системы (зависящую от большой полуоси A, отношения масс q, угла наклона i).

Однако, отношение масс q известны точно для очень малого числа систем, имеющих данные спектроскопических наблюдений. Фотометрические же данные, полученные, как правило, с помощью метода синтеза кривых блеска, не являются надежными, так как этот метод позволяет получить точное решение лишь для симметричных кривых блеска. Так, например, у контактных систем, исследуемых в данной работе, вследствие близости компонент друг к другу, кривые блеска сильно искажены газовыми потоками, пятнами и околозвездными газовыми оболочками.

 Для статистических исследований представляет значительный интерес хотя бы приближенная оценка относительных и абсолютных параметров тех затменных систем, для которых элементы спектроскопической орбиты неизвестны и прямое вычисление их абсолютных характеристик не представляется возможным.

М.А. Свечников и Э.Ф. Кузнецова в [2] для такой приближенной оценки использовали статистические соотношения (масса - радиус, масса - спектр, масса - светимость и др.) для компонент различных типов, а также ряд других статистических зависимостей. Из-за того, что использованные для определения элементов статистические зависимости носят приближенный характер, следует ожидать, что для многих систем найденные в [2] приближенные элементы окажутся неточными и даже ошибочными. Это обусловливает необходимость теоретических подходов к оценке параметров затменных переменных звезд. В изученной статье [1] отношение масс компонент q и спектральный класс главной компоненты Sp1 для звезд типа W UMa определяется с помощью статистического метода ZET, разработанного в Международной лаборатории интеллектуальных систем (Новосибирск) Н.Г. Загоруйко. Метод ZET применялся для восстановления глубины вторичных минимумов звездных систем типа РГП (ошибка прогноза составила 5-8%), спектров звезд этого типа, спектров класса главной компоненты контактных систем типа KW и отношения масс. Точность восстановления доходила до 10% и только для q этот результат был завышен. Была составлена таблица, в которую включены q, полученные разными авторами, для некоторых отдельных систем значения q имеют очень большие расхождения. Поэтому цель данной работы улучшить качества восстановления q методом ZET.

 §1. Классификация тесных двойных систем.

 В 1967-69 гг. М.А.Свечниковым была разработана классификация тесных двойных систем, сочетающая достоинства классификации Копала(1955), учитывающей геометрические свойства этих систем (размеры компонент по отношению к размерам соответствующих внутренних критических поверхностей (ВКП) Роша) и классификации Крата(1944, 1962 гг.), основанной на физических характеристиках компонентов, входящих в данную систему. Эта классификация удобна при статистических исследованиях тесных двойных звезд, и, будучи проведена по геометрическим и физическим характеристикам компонентов затменных систем (отношению размеров компонентов к размерам соответствующих ВКП, спектральным классам и классам светимости компонентов), оказывается в то же время связанной с эволюционными стадиями затменных систем, определяемыми их возрастом, начальными массами компонентов и начальными параметрами орбиты системы.

 Как было показано в работе М.А.Свечникова (1969), подавляющее большинство изученных затменных переменных звезд (т.е. тех систем, для которых определены фотометрические и спектроскопические элементы) принадлежит к одному из следующих основных типов:

1. Разделенные системы главной последовательности (РГП), где оба компонента системы являются звездами главной последовательности, не заполняющими соответствующие ВКП, обычно не приближающиеся к ним ближе по размерам чем ¾

2. Полу разделенные системы (ПР), где более массивный компонент является звездой главной последовательности, обычно далекой от своего предела Роша, а менее массивный спутник является субгигантом, обладающим избытком светимости и радиуса и близким по размерам к соответствующей ВКП.

3. Разделенные системы с субгигантом (РС), у которых, в отличии от ПР-систем, спутник-субгигант, несмотря на большой избыток радиуса, не заполняет свою ВКП, а имеет размеры, значительно меньшие, чем последняя.

4. "Контактные" системы, в которых компоненты близки по своим размерам к соответствующим ВКП (хотя и не обязательно в точности их заполняют). Эти системы подразделяются на два разных подтипа:

а) Контактные системы типа W UMa (KW), имеющие, в большинстве случаев, спектры главных компонентов более поздние, чем F0. Главные (более массивные) компоненты у этих систем не уклоняются значительно от зависимостей масса-светимость и масса-радиус для звезд главной последовательности в то время, как спутники обладают значительным избытком светимости (подобно субгигантам в ПР и РС-системах), но не обладают избытком радиуса (вследствие чего они располагаются на диаграмме спектр-светимость левее главной начальной последовательности, примерно параллельно ей);

б) Контактные системы ранних спектральных классов (КР) (F0 и более ранние), где оба компонента, близкие по размерам к своим ВКП, тем не менее, в большинстве случаев не уклоняются значительно от зависимостей масса-светимость и масса-радиус для звезд главной последовательности.

5. Системы, имеющие хотя бы один компонент, являющийся либо сверхгигантом, либо гигантом позднего спектрального класса (С-Г). Такие системы сравнительно многочисленны среди изученных затменных переменных вследствие их высокой светимости и необычных физических характеристик, но в действительности они, по-видимому, должны составлять лишь небольшую долю от общего числа тесных двойных систем.

6. Системы, у которых, по крайней мере, один компонент лежит ниже главной последовательности и является горячим субкарликом или белым карликом (С-К). Сюда же были отнесены и системы, один из компонентов, которых является нейтронной звездой или "черной дырой", а также системы с WR-компонентами.

 Подобная классификация была выполнена ранее М.А.Свечниковым (1969) для 197 затменных систем с известными абсолютными элементами. Она могла быть более или менее уверенно проведена также для затменных переменных с известными фотометрическими элементами, у которых можно каким-либо образом оценить и отношение масс компонентов q=m2/m1 и тем самым определить относительные размеры соответствующих ВКП. Так, из примерно 500 затменных систем с известными фотометрическими элементами, имеющихся в карточном каталоге М.А.Свечникова, надежную классификацию можно было провести для 367 систем. В остальных случаях при отнесении системы к тому или иному типу имеется некоторая степень неуверенности, обычно из-за отсутствия или ненадежности имеющихся данных о величине q.

 §2 Алгоритм ZET.

 Алгоритм ZET предназначен для прогнозирования и редактирования (проверки) значений в таблицах "объект-свойство". В таких таблицах строки соответствуют рассматриваемым объектам, а столбцы есть значения характеристик, описывающих эти объекты. Таким образом, на пересечение строки с номером "i" и столбца с номером "j", будет находиться значение j-ой характеристики для i-го объекта. Клетку таблицы, расположенную на пересечение i-ой строки и j-го столбца, обозначим символом Aij. Пусть значения Aij неизвестно. Можно достаточно уверенно предсказать это значение, если использовать имеющиеся в таблице закономерности. В реальных таблицах многие столбцы связаны друг с другом. Есть в таблицах и строки, похожие друг на друга по значениям своих характеристик. В алгоритме ZET выявляются такие связи, и на их основе выполняется предсказание искомого значения. Предсказание осуществляется на основе принципа локальной линейности. Это одна из основных идей, позволившая построить эффективный метод и получать хорошие результаты. Она заключается в том, что предсказание выполняется не на всей информации, имеющейся в таблице, а только на той ее части, которая наиболее тесно связана со строкой и столбцом, в которых этот пробел находится. Другими словами, в алгоритме ZET, в отличии от многих других алгоритмов заполнение пробелов, реализуется "локальный" подход к предсказанию каждого пропущенного значения. Для вычисления этого значения строится своя "предсказывающая подматрица", содержащая только имеющую отношение к делу информацию. В подматрицу отбираются в порядке убывания сходства строки, т.е. строки, самые похожие на строку, содержащую интересующий нас пробел, а затем для выбранных строк отбираются также в порядке убывания сходства столбцы "самые похожие" на столбец, содержащий этот пробел.

*1 . . . k j . . . n*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *1**:**i**l**:**m* |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | Фaik | Aaij |  |  |
|  |  | Aalk | Aalj |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

 Предсказание элемента Aij по k-му столбцу Aij(k) делается на основание гипотезы о линейной зависимости между столбцами, при этом сначала вычисляются коэффициенты линейной регрессии Вjk и Сjk ,и по ним находится элемент Aij(k):

 Aij(k)=Bjk\*Aik+Cjk.

После того, как будут сделаны предсказания Аij(k) по всем р столбцам, не имеющим пропуска в i-ой строке, вычисляется средневзвешенная величина элемента:

 Aij(стб)=(Aij(k)\*Qkj)/(Qkj)

 Вклад каждого столбца (строки) в результат предсказания зависит от их "компетентности" Q, являющейся функцией двух аргументов: "близости" между j-м и k-м столбцами (i-ой и l-ой строками) и "взаимной заполненность" этих столбцов (строк). "Близость" представляет собой степенную функцию модуля коэффициента линейной корреляции (Rkj)а (или (Ril)а). "Взаимная заполненность" k-го и j-го столбцов (Lkj) равна числу непустых пар элементов этих столбцов Alk и Alj для всех l от 1 до m. Отсюда:

 Qil=(Ril)a\*Lil

 Qkj=(Rkj)a\*Lkj .

 Выбор показателя степени а осуществляется следующим образом, при каждом из последовательных значений а (из некоторого заданного диапазона amin<a<amax) выполняется предсказание всех известных элементов k-го столбца матрицы A(i,j). При каждом a вычисляется расхождение между фактическими и предсказанными значениями. Для предсказания Aij выбирается то из значений a, при котором была получена лучшая средняя точность dj предсказания этих известных значений. Легко увидеть, что, чем больше (Rkj)a, тем с большим весом будут учитываться сведения от самых "похожих" столбцов и тем сильнее будут подавляться подсказки от менее "похожих".

 Аналогичная процедура построения формулы и оценки точности вычисления всех элементов i-ой строки выполняется для проверки возможности предсказания Aij как элемента строки.

 Aij(стр)=(\*Qil)/()

Данные в матрице A(i,j) предварительно нормированы так, чтобы элементы каждого столбца изменялись в пределах от 0 до 1. После получения оценок предсказания по строкам и столбцам сравнивается точность, с которой удалось предсказать известные элементы i-ой строки di и j-го столбца dj. Окончательно для предсказания выбирается либо Aij(стб), либо Aij(стр), в зависимости от того, где точность d оказалась выше. Эта точность рассматривается в качестве ожидаемой ошибки предсказания Aij.

 Итак, в алгоритме ZET можно выделить основные этапы:

1. Проводится нормировка столбцов таблицы исходных данных по дисперсиям.

2. Выбирается пробел Aij, находящийся на пересечение i-ой строки и j-го столбца.

3. При определение сходства столбцов производится их предварительная нормировка к интервалу [0,1], и для строк и для столбцов степень сходства определяется на основе евклидова расстояния

 rев=[]1/2 ,

 где Xj, Yj - соответственно значения j-го свойства объектов X и Y. Использование такой меры сходства и обуславливает применимость алгоритма к таблицам данных, представленных в сильных шкалах, для которых операции, использованные в формуле, являются допустимыми преобразованиями. По расстоянию rев выбирается заданное число объектов-аналогов, а для них- свойств-аналогов.

4. В матрице, состоящей из отобранных строк, столбцы нормируются к интервалу [0,1] и выбирается заданное количество столбцов, наиболее сильно связанных с j-м.

5. По исходной таблице формируется "предсказывающая" подматрица, составленная из элементов, находящихся на пересечении i-ой и ближайшей к ней строк с j-м и ближайших к нему столбцами.

6. Столбцы полученной подматрицы нормируются к интервалу [0,1].

7. Из уравнений линейной регрессии для k-го элемента Aij вычисляются "подсказки" Aij от строк и (или) столбцов "предсказывающей" подматрицы.

8. Находится коэффициент а, определяющий степень учета взаимного сходства столбцов (строк) подматрицы при вычислении итогового значения прогнозируемого элемента Aij.

9. Процедура 2-8 повторяется для каждого пробела.

10. Значения, вычисленные в режимах заполнения в зависимости от входных условий, заносятся в таблицу сразу же после вычисления каждого из них или только после окончания прогнозирования значений для всех пробелов таблицы.

11. Пункты 1-10 повторяются. Количество повторений задается во входных условиях.

 Когда сформирована группа объектов-аналогов и найдены в этой группе наиболее информативные свойства для интересующего нас объекта, т.е. сформирована "предсказывающая" подматрица, алгоритм переходит к этапу построения формулы для прогнозирования.

 Иначе говоря, алгоритм ZET можно разбить на две части:

1. Выбор из исходной таблицы наиболее связанной с интересующим нас объектом Aij информации-построения "предсказывающей" подматрицы.

2. Определения параметров формулы для возможно лучшего предсказания значения рассматриваемого элемента Aij с одновременной оценкой ожидаемой точности прогноза.

 В алгоритме ZET, как было отмечено выше, предусмотрен "персональный" подход к прогнозированию каждого интересующего нас элемента таблицы. Для каждого элемента Aij подбирается своя предсказывающая подматрица, в которой содержатся только строки, наиболее похожие на i-ую и столбцы, наиболее связанные с j-м и по этой "персональной" информации подбирается персональная формула для прогнозирования элемента Aij. Для того, чтобы при определении сходства объектов (строк) "вклад" каждого показателя (свойства) не зависел от единиц измерения и был сопоставим с вкладами других показателей, производится нормировка каждого столбца относительно его дисперсии. Если есть необходимость учесть неравнозначность вкладов свойств в меру сходства, т.е. если из каких-либо соображений известны значимости, "веса" свойств, то их можно учесть, умножив отнормированные данные на эти веса.

 Если пробелов в данных много, вряд ли можно надеяться заполнить их все сразу с хорошей точностью. Поэтому организуется многоступенчатая процедура заполнения. Она состоит в том, чтобы на первом этапе заполнить при минимальном размере подматриц наиболее надежные элементы, т.е. те, которые удается предсказать с заданной точностью. Затем поставить эти значения в таблицу и, уже считая их известными, вновь обратиться к программе с теми же условиями на требуемую точность и размер подматриц. Добавленная в таблицу информация может дать возможность предсказать еще ряд значений.

 Процесс повторяется при одних и тех же условиях до тех пор, пока не прекратится предсказание новых элементов. Тогда можно повторять цикл заполнения.

 § 3 Применение метода ZET для восстановления физических параметров контактных систем.

Для того, чтобы правильно спрогнозировать неизвестные элементы, необходимо решить ряд существенных вопросов:

1. Какие характеристики звезд могут быть наиболее информативны с точки зрения предсказания отношения масс q;

2. Можно ли ожидать достаточно хороших результатов;

3. Если да, то как организовать решение, чтобы заполнить больше пробелов с приемлемой точностью;

4. Можно ли доподлинно проверить "качество" вычисленных значений.

 Для решения первой проблемы - отбора наиболее информативных для предсказания q характеристик звезд было выполнено редактирование всех известных значений первого столбца, содержащего отношение масс q контрольной таблицы размерностью 15х14, куда вошли 15 систем типа W UMa и 14 их параметров из [3] (известных абсолютно точно), на предсказывающих подматрицах 6х6, 5х5, 4х4. Объектами в данной таблице были контактные системы типа W UMa, а в качестве свойств были взяты следующие параметры: отношение масс компонент q, спектральный класс главной компоненты Sp1, масса главной компоненты m1, абсолютная болометрическая величина более массивной компоненты M1bol, большая полуось орбиты в долях радиуса Солнца A, угол наклона орбиты i, период затменной системы P, средний радиус главной компоненты в долях большой полуоси орбиты r1, средний радиус второстепенной компоненты в долях большой полуоси орбиты r2, относительный блеск более массивной компоненты L1, отношение поверхностных яркостей более массивной компоненты к менее массивной J1/J2, радиус главной компоненты в долях радиуса Солнца R1, радиус второстепенной компоненты в долях радиуса Солнца R2, абсолютная болометрическая величина менее массивной компоненты M2bol.

 По результатам редактирования была составлена таблица, где показано участие отдельных параметров в предсказании отношения масс компонентов q. Из таблицы видно, что параметры P, r1, L1, J1/J2, R1 и M2bol плохо (т.е. редко) участвуют в предсказании и вклад их достаточно мал, поэтому их можно отбросить. Так как параметры r2 и R2 связаны с q эмпирическими формулами: r~rкрит(q) и lg(m)=-0.153+1.56\*lg(R), то их также представляется целесообразным отбросить. Таким образом, остается таблица 15х6, в которую входят 15 объектов и 6 параметров: q, Sp1, M1bol, m1, A, i. На этой таблице было выполнено редактирование первого столбца, содержащего отношение масс q и второго столбца, содержащего спектральные классы главных компонент Sp1. Получены средние ошибки редактирования соответственно d=13.555% и d=6.6791%. Поскольку средние ошибки редактирования малы, то можно сделать вывод, что отобранные параметры позволяют с достаточно высокой степенью точности восстановить неизвестные значения q.

 Далее, из [2] были взяты 295 систем типа KW, для которых выписаны указанные выше 6 параметров, и составлена рабочая таблица 295х6 , где на месте предсказываемых элементов стоят пробелы. В качестве известных значений q были взяты значения из [3 - 16]. Всего получилось 72 известных значения q, опираясь на которые программа будет предсказывать остальные значения.

 Для оценки целесообразности применения метода ZET при прогнозировании недостающих значений q на рабочей таблице 295х6 было выполнено редактирование 1-го столбца при предсказывающей подматрице 5х5. Средняя ошибка редактирования d=11.837%. Таким образом, осталось 70 известных значений q при 225 неизвестных. Как видно из результатов редактирования значения q могут быть восстановлены по имеющимся в таблице данным с достаточно высокой степенью точности.

 Для дополнительной проверки эффективности метода было проведено сравнение 72 известных значений отношений масс со значениями, вычисленными методом ZET. В процессе вычисления использовался режим редактирования, так как предполагалось, что наблюденные данные 72 звезд получены с достаточной степенью надежности. Было выполнено редактирование 72 известных элементов на предсказывающих подматрицах 4х4, 5х5, 6х6 и составлена промежуточная таблица полученных ZET-методом q и соответствующих ошибок редактирования. Получив данные редактирования, мы перешли непосредственно к предсказанию неизвестных значений q. Предсказание велось при границах изменения от 4 до 6 ближайших строк и столбцов при формирования предсказывающих подматриц, т. е. для каждого предсказываемого значения программа перебирает все варианты предсказывающих подматриц от 4 до 6 (4х4, 4х5, и т.д. до 6х6) и выбирает значение с наименьшей ожидаемой ошибкой прогнозирования. Было установлено, что режим ZM1 занижает ошибку предсказания примерно в два раза. Для этого мы сравнили прогнозируемую и фактическую ошибки (~8% и ~18% соответственно). Аналогично установили, что режим ZM3 несколько завышает ошибку предсказания (~20% и ~22%). В режиме ZM3 ожидаемое отклонение (min, при различных a, средняя величина отклонения предсказанного значения от истинного всех элементов строки (столбца), связанных с прогнозируемым элементом) не является реальной ошибкой предсказания, исходя из этого мы предложили свой метод определения ошибки, разделив ожидаемое отклонение на предсказанное значение и умножив на 100%. Как показало редактирование, режим ZM1 производит более точное предсказание, чем режим ZM3 (хотя значения предсказаний довольно близки: фактическая ошибка в ZM1 ~17%, в ZM3 ~20%), поэтому предсказание велось параллельно в режимах ZM1 и ZM3 для контроля над ошибкой.

Получили следующие результаты прогнозирования: из 225 восстановленных систем типа W UMa 218 получены с ошибкой ~5%, 7~10%. По сравнению с данными наблюдения реальная ошибка превышает полученную методом в 3 раза. Следовательно, метод занижает ошибку прогноза. Часть полученных значений q приблизительно совпадает, а для некоторых имеются существенные отличия. Это связано: 1) с недостатком наблюдательных данных; 2) с ненадежностью исходных данных; 3) с неполнотой выборки; 4) с некорректностью подсчета ошибки данным методом.

 ЛИТЕРАТУРА:

 1. Svirskaya E.M., Shmelev A.Yu. “Astronomical and astrophysical transactions”

2. Свечников М.А., Кузнецова Э.Ф. “Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд”, Свердловск, Изд-во Уральского Университета, 1990.

3. Свечников М.А. ”Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей

 тесных двойных звезд”, Иркутск, Изд-во Иркутского Университета , 1986

.

1. Загоруйко Н.Г. “Эмпирическое предсказание”, Новосибирск , Изд-во Наука, 1979.

 Загоруйко Н.Г., Елкина В.Н., Лбов Г.С., “Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей”, Новосибирск, Изд-во Наука, 1985.