

МГУ им. М. В. Ломоносова
Физический факультет
Кафедра астрофизики и звёздной астрономии
Кафедра экспериментальной астрономии

Методическое пособие к задаче специального астрономического практикума для студентов 3 курса физического факультета МГУ, обучающихся по программе «МС Астрономия» (специальность 03.05.01 «Астрономия»)

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯННОГО ЗВЁЗДНОГО СКОПЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ
ВИРТУАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ**

Е.В. Глушкова

МОСКВА, 2023

Цель работы

Под Виртуальной Обсерваторией (ВО) подразумевается большой архив наблюдательных данных и программное обеспечение, которое осуществляет доступ и работу с этим архивом. Существует несколько больших сегментов ВО, но зачастую ВО создаётся в конкретном институте для облегчения доступа к большим массивам данных. Страсбургский центр астрономических данных (CDS) также можно считать виртуальной обсерваторией, так как помимо огромного количества каталогов он предоставляет удобные инструменты для визуализации и работы с большими объемами данных, например, программу *Aladin* (<http://aladin.u-strasbg.fr/>). В настоящей работе предлагается использовать программу *TOPCAT* (Tool for OPERations on Catalogues And Tables, Taylor 2005), в которую встроен сервис *CDS - Vizier*, позволяющий зачислять данные из большинства известных каталогов для избранной площадки неба. Пакет *TOPCAT* свободно распространяется в виде jar-файла, обладает удобным графическим интерфейсом, строит графики зависимостей между двумя выбранными столбцами загруженного каталога/таблицы. На графике также можно вручную выбрать множество объектов, отвечающих какому-то критерию, и записать в таблицу дополнительный столбец, в котором указывается принадлежность объекта к выбранному множеству.

В ходе выполнения задачи даются практические навыки работы с *ВО+TOPCAT* на примере исследования старого рассеянного звёздного скопления *NGC 2682 (M 67)* с помощью двух обзоров: *2MASS Point Source* и *Gaia DR2*. Из *2MASS PSC* извлекаются значения звёздных величин *J* и *H*, а из *Gaia DR2* - абсолютные собственные движения (*pmRA*, *pmDE*).

Теоретическое введение

Рассеянные звёздные скопления (РЗС) концентрируются к галактической плоскости, поэтому наблюдаются на довольно плотном звёздном фоне. При изучении РЗС зачастую требуется выделить члены скопления, а уже потом проводить исследование, например, определять физические параметры скопления: расстояние, возраст, избыток цвета. Отделить члены скопления от звёзд фона можно, используя различные критерии членства: фотометрический (членами скопления считаются звёзды, лежащие на основных последовательностях на диаграмме Герцшпрунга-Рассела (ГР)), кинематический (члены скопления обладают общим движением в пространстве, что отражается в близости их собственных движений и лучевых скоростей), статистический (позволяет оценить количество звёзд в каждом интервале звёздных величин из сравнения с распределением звёзд фона по величинам в площадке рядом с РЗС).

В ходе выполнения задачи построим ГР-диаграмму, выделим на ней наиболее яркие члены скопления, лежащие на главной последовательности и/или на ветви красных гигантов, так как для них точнее определяются собственные движения. Затем построим распределение звёзд на векторной диаграмме (т.е. на плоскости собственных движений), отметим члены, выделенные согласно фотометрическому критерию, и уже к ним применим кинематический критерий. По членам скопления найдём среднее собственное движение M67.

Ход работы

1. Скачайте программу *topcat-full.jar* и запустите её в соответствии с описанием из раздела *Downloads* на страничке: <http://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/>. Программа запускается с помощью виртуальной машины Java и не требует установки.
2. Откройте вкладку *VO* (Виртуальная Обсерватория) и запустите *VizieR Catalogue Service* (Рис.1).

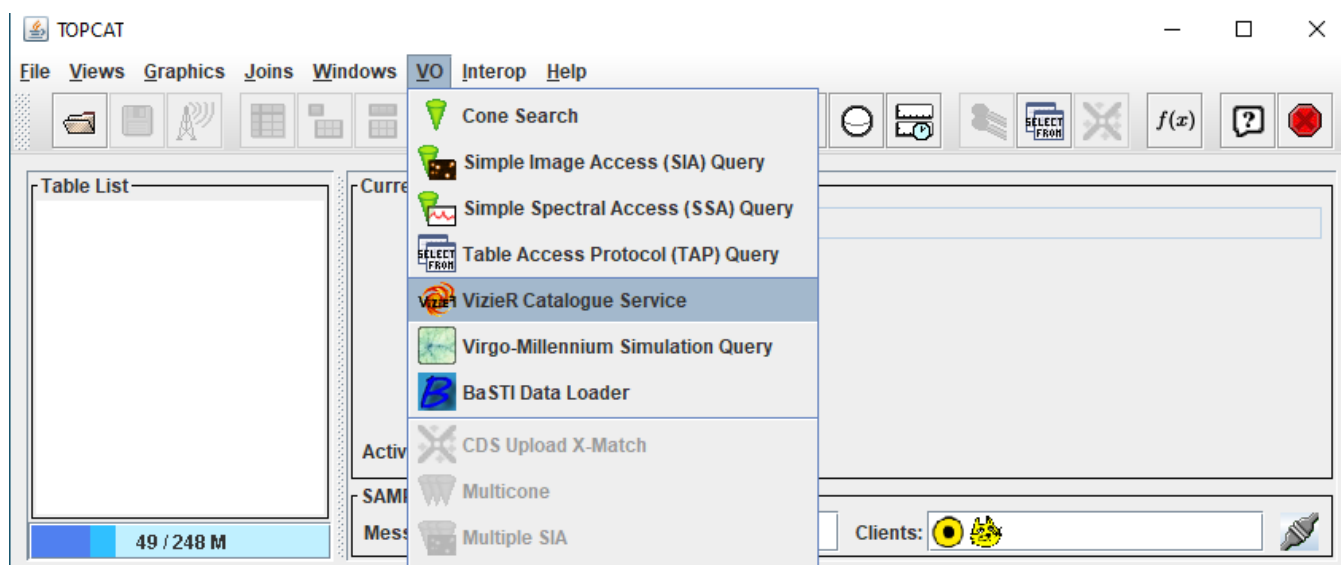


Рис. 1 – Запуск VizieR в TOPCAT.

3. В открывшейся вкладке выберите раздел *Cone Selection* (обычно стоит по умолчанию), задайте либо *Object Name* (M67) и нажмите *Resolve*, либо сразу координаты объекта (Рис.2). Радиус задайте равным $10'$ (*arcmin* – угловых минут, не градусов). В качестве каталога возьмите обзор *2MASS PSC*, который надо искать по ключевому слову *2MASS*, и нажмите *OK* или кликните два раза на название каталога. В *TOPCAT* загрузится файл *ll_246_out*, который можно переименовать в *M67_2mass*, задав новое имя в строке *Label*.

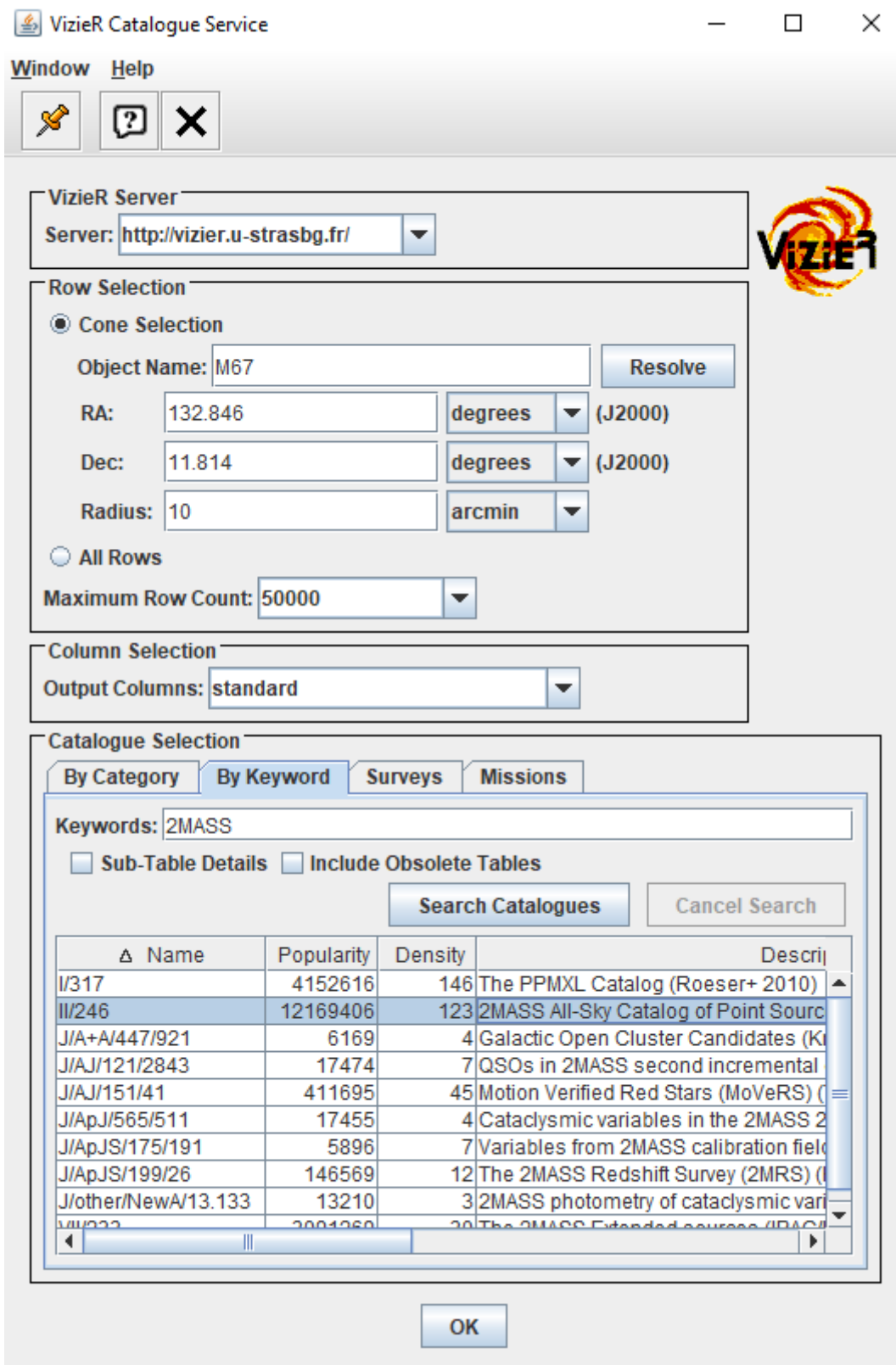


Рис. 2 – Задание объекта и выбор каталога.

Посмотреть структуру полученной таблицы можно, нажав кнопку «*Display table cell data*» (четвертую слева вверху) в основном окне программы.

- Откройте "*Plane plotting window*" (вверху слева 10-ое окошко) и постройте (для тренировки) диаграмму (J , $J-H$), не забыв правильно сориентировать ось

ординат (Рис.3). Ось абсцисс задается в виде арифметического выражения ($Jmag-Hmag$).

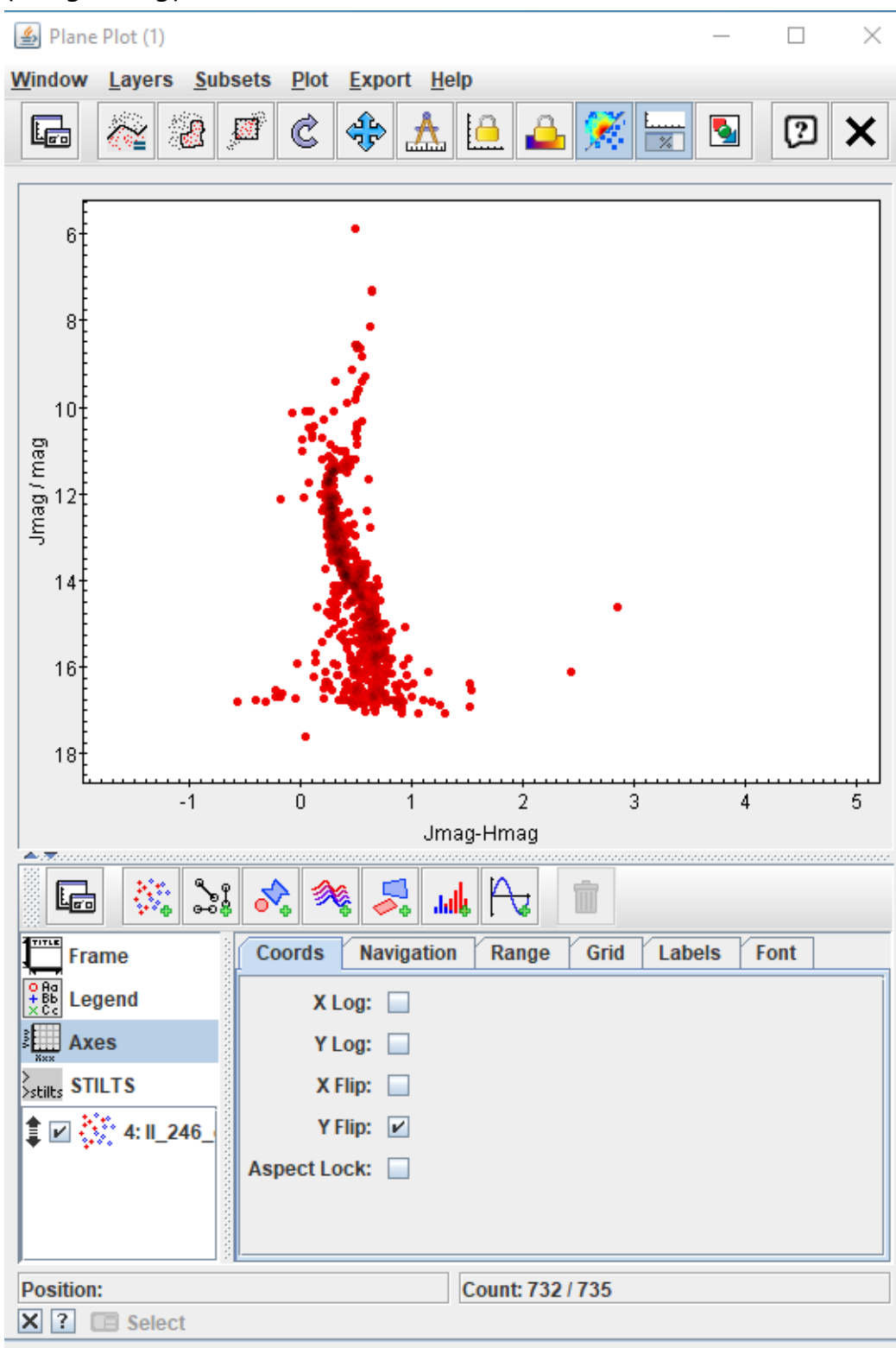


Рис. 1 – Построение диаграммы «цвет-величина».

5. Загрузите в TOPCAT второй каталог – Gaia DR2. В списке таблиц выберите файл I_345_gaia2, который можно переименовать в M67_gaia2.
6. С помощью окошка "Create new table by matching rows in two existing tables" создайте новую таблицу, которая будет содержать общие для двух каталогов

объекты (Рис. 3а). Радиус кроссидентификации задайте 1" ($Max\ Error=1.0\ arcsec$).

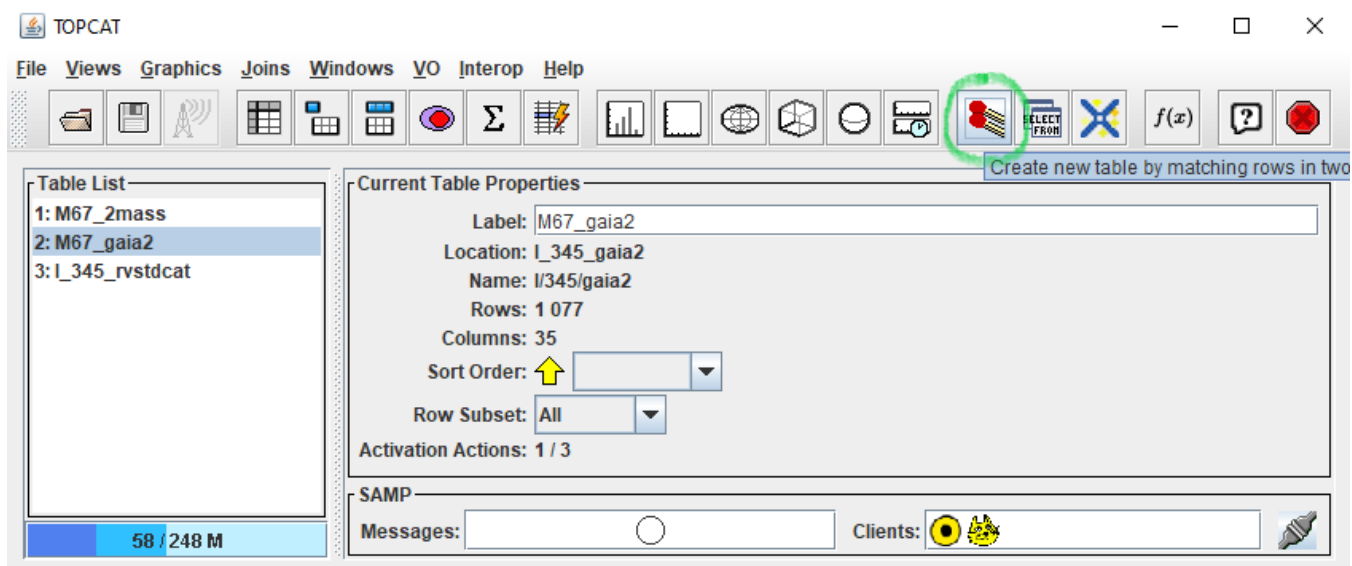


Рис. 3а – Создание новой таблицы из пересечения двух старых.

7. Используя новую таблицу $match(1,2)$ постройте диаграмму ($J, J-H$) и выделите на ней вручную с помощью окошка "Subsets" подмножество ярких звёзд, расположенных в верхней части ГП вблизи точки поворота, на ветви субгигантов и красных гигантов, для которых собственные движения определяются точнее всего и которые предположительно принадлежат скоплению (Рис. 4а,б). Обозначьте это подмножество "br".
8. Постройте диаграмму собственных движений по таблице $match(1,2)$ (Рис. 5), отложив по осям $pmRA$ и $pmDE$. Затем нажмите на нижней панели кнопку *Subsets* и добавьте группу *br*.
9. Среди ярких звёзд подгруппы *br* выделите вручную звёзды центрального сгущения, изменив масштаб и отключив *Subset All* (Рис. 6). Это звёзды с близкими собственными движениями. Обозначьте это подмножество *m* (members).
10. Теперь с помощью окошка Σ (*Row statistics*) в TOPCAT найдите средние значения собственных движений для выделенного подмножества *m*. Среднее собственное движение скопления М67 равно: $pmRA = -10.97 \pm 0.07\ mas/yr$, $pmDE = -2.97 \pm 0.05\ mas/yr$. Конечно, это лишь приблизительная оценка собственного движения скопления: для более точного определения этой величины необходимо аппроксимировать гауссианой распределение собственных движений по каждой из координат.

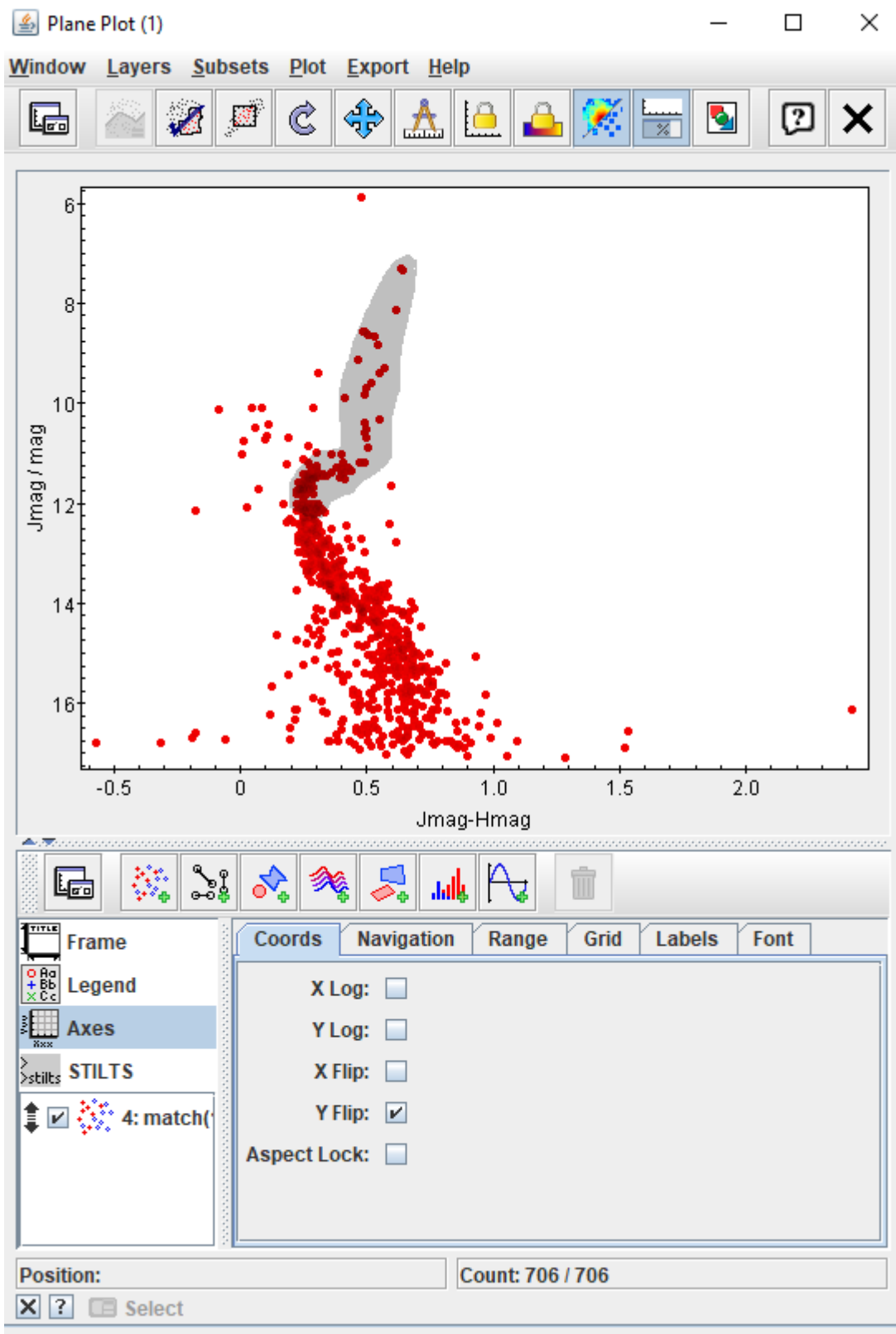


Рис 4а. – На первом этапе выделения ярких членов скопления нажимаем клавишу Subsets и очерчиваем верхнюю часть ГП, ветвь субгигантов, ветвь красных гигантов.

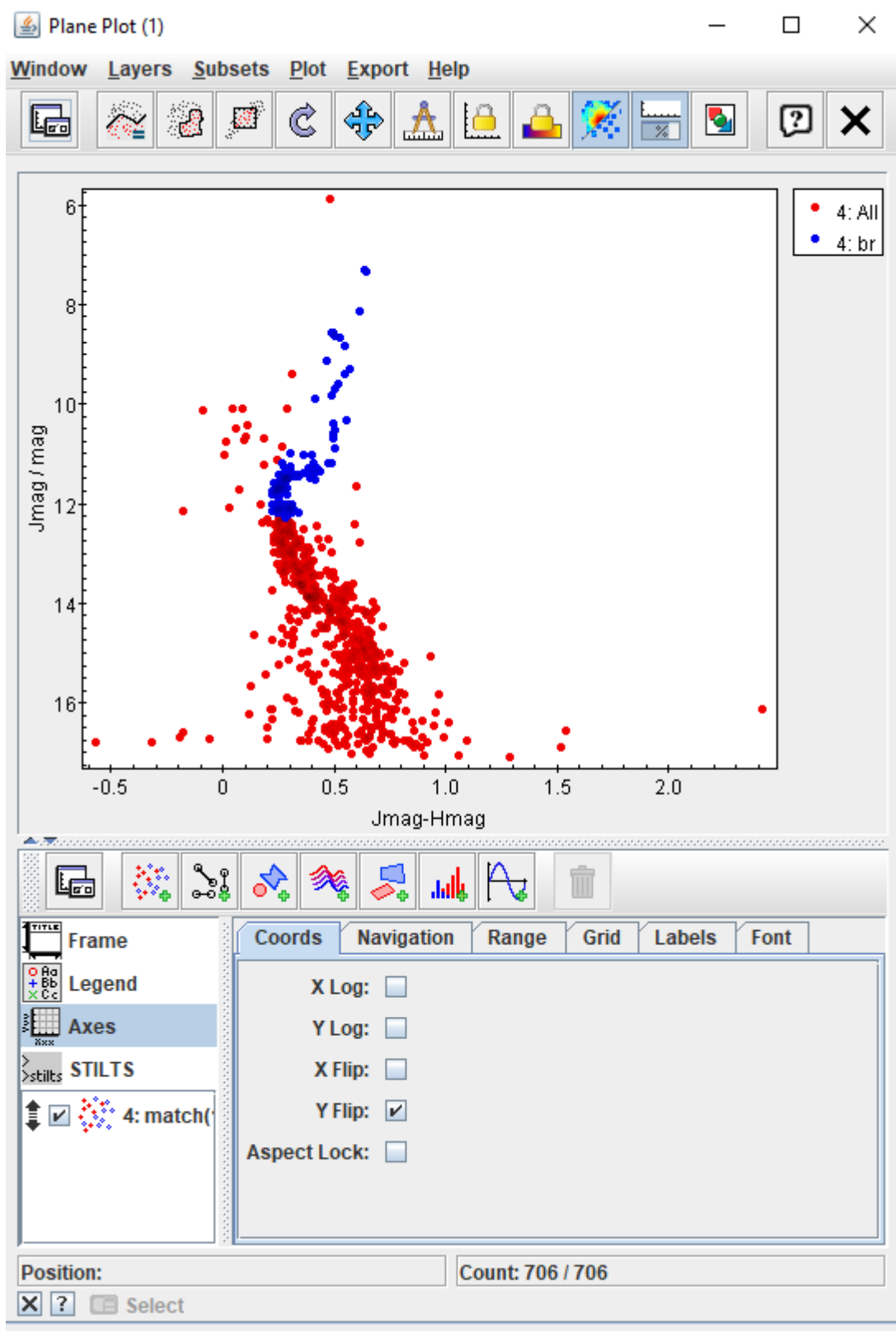


Рис 46. – На втором этапе выделения ярких членов скопления нажимаем ещё раз клавишу Subsets и обозначаем выделенное подмножество звезд *br*.

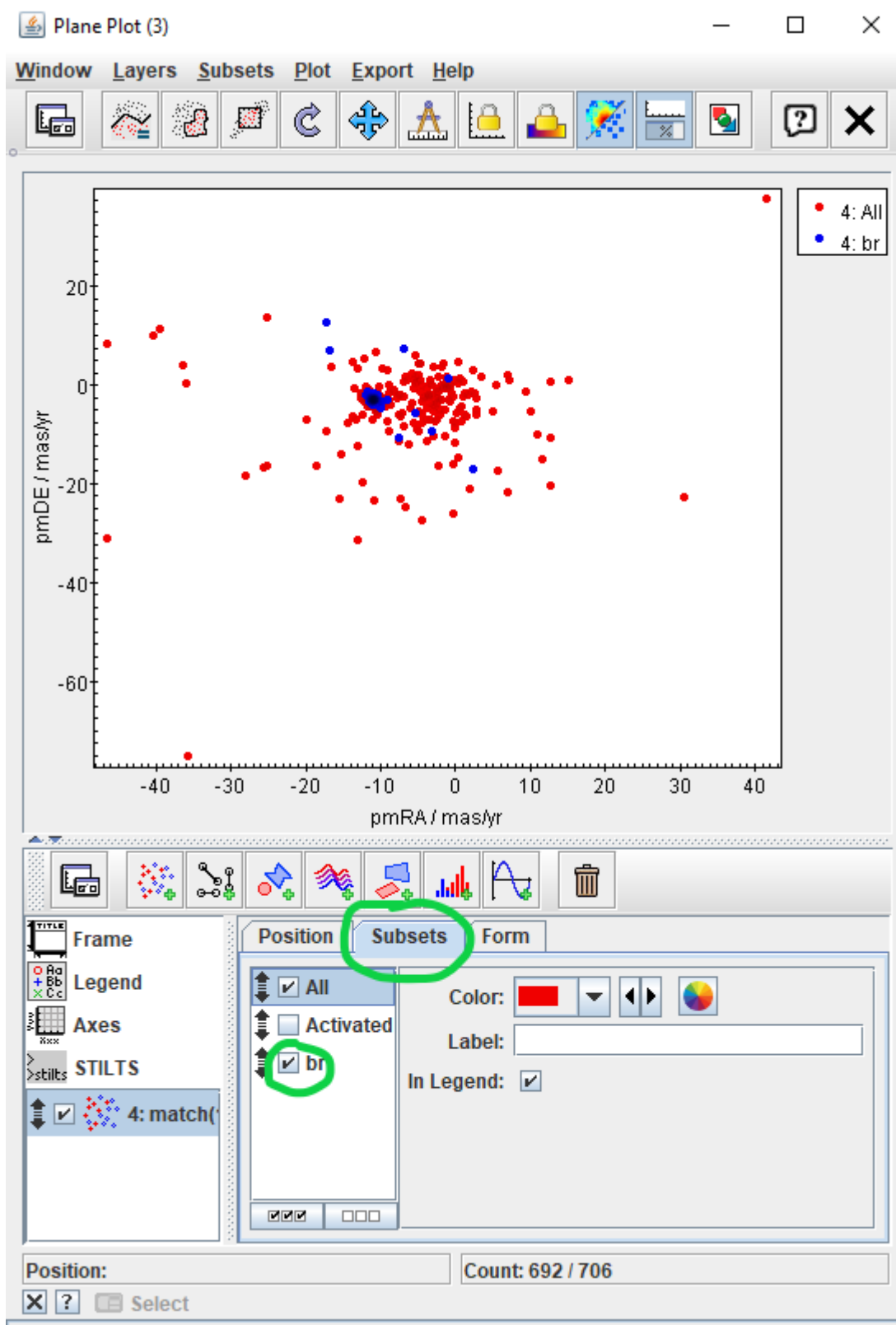


Рис 5. – Построение диаграммы собственных движений.

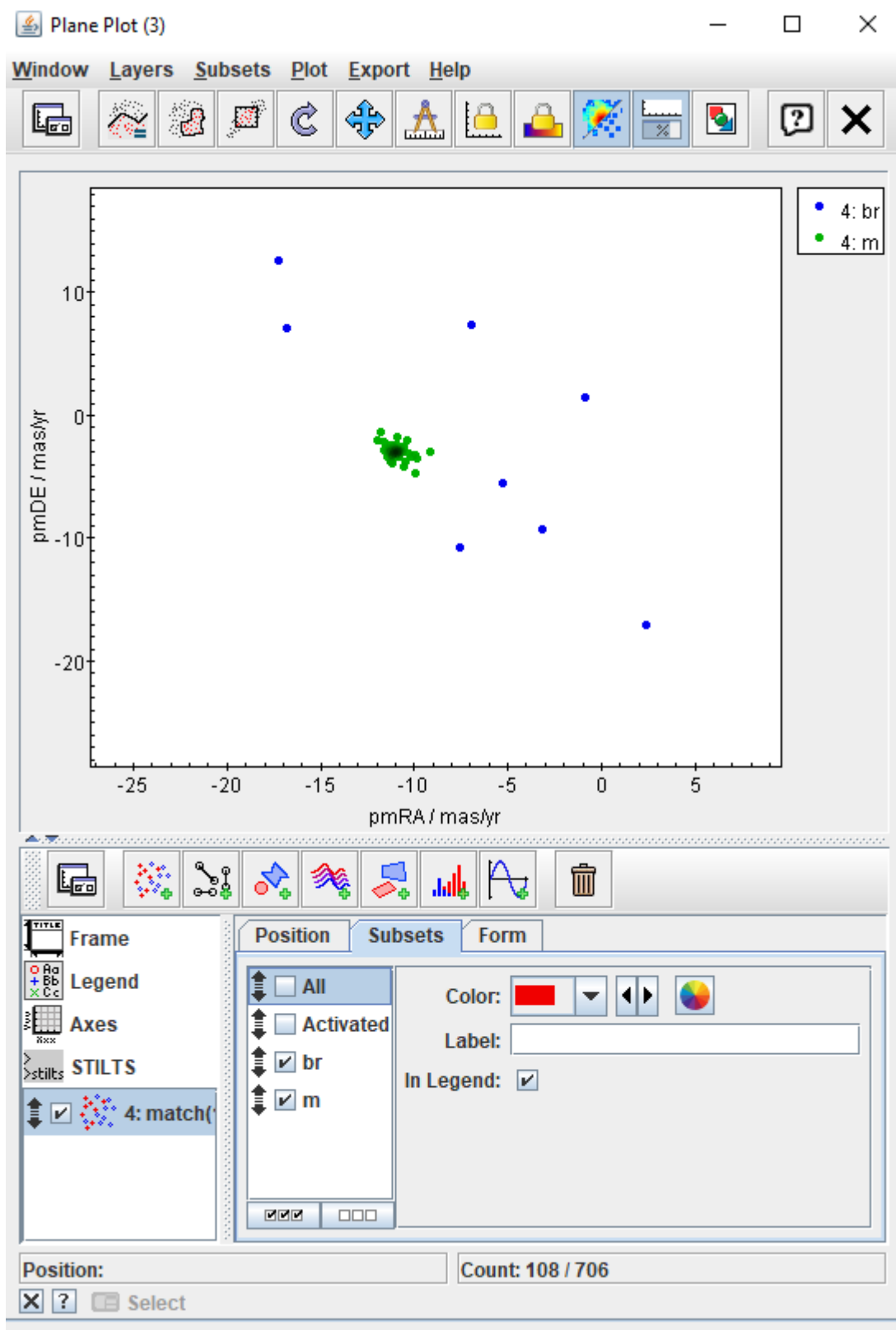


Рис. 6 – Выделение ярких членов скопления (*m*), для которых выполняются и фотометрический, и кинематический критерии членства.

11. Ознакомьтесь с ещё одной полезной опцией программы TOPCAT. Проверьте положение звезды, которая лежит вне основных последовательностей скопления на ГР диаграмме, на плоскости (*pmRA*, *pmDE*). Отметьте её мышкой

и вы сразу увидите, где она расположена на диаграмме ($pmRA$, $pmDE$) (Рис. 7). Понятно, что эта звезда не принадлежит к скоплению ни согласно фотометрическому критерию, ни кинематическому.

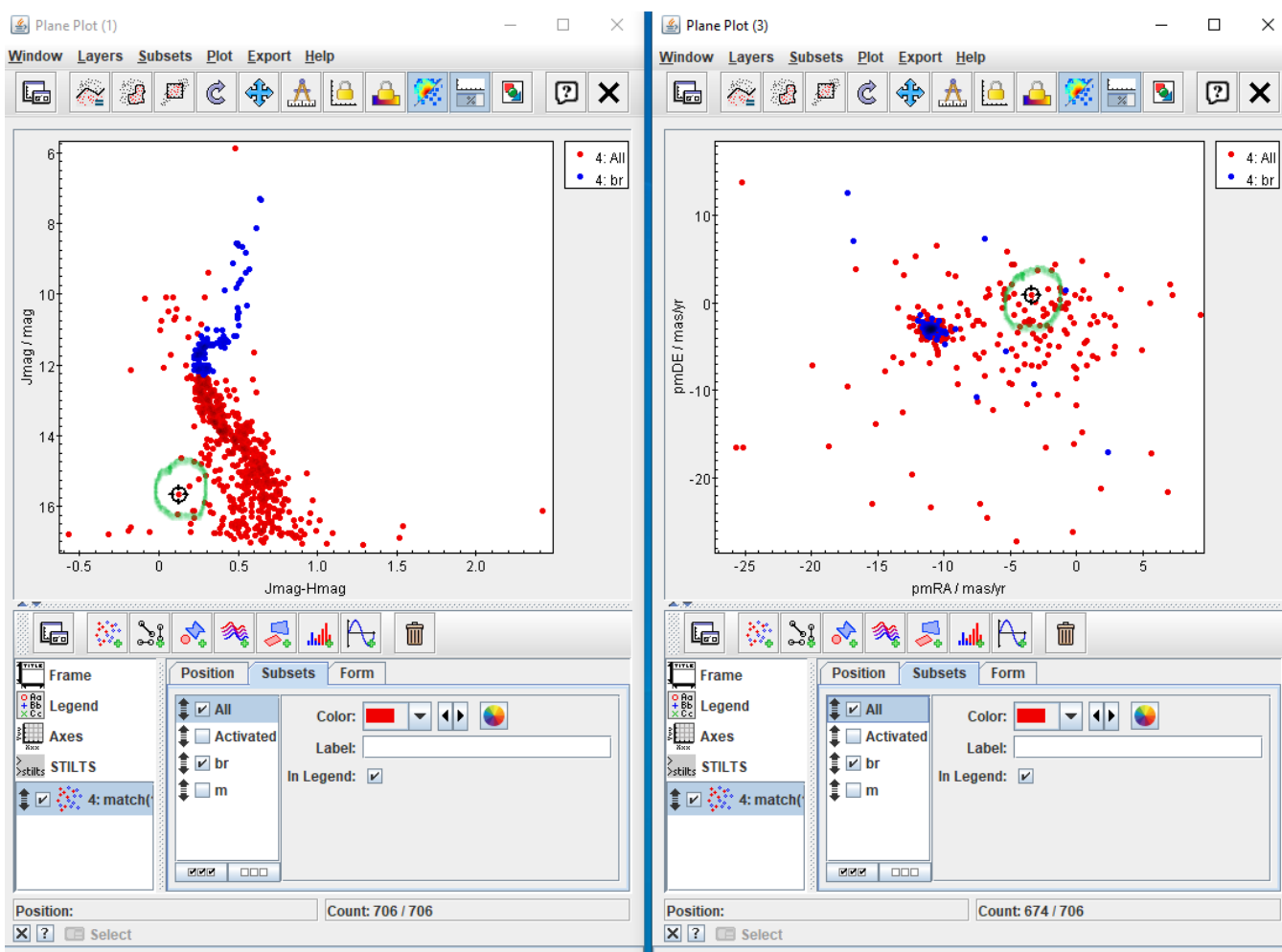


Рис. 7 – Определение положения звезды одновременно на двух диаграммах.

Примечание. При выполнении задачи не забывайте, что у молодых РЗС на ГР-диаграмме не наблюдается ветви субгигантов, как у старого рассеянного скопления М67 или у шаровых скоплений, а, возможно, имеется только "кламп" - сгущение звёзд у основания ветви красных гигантов. Поэтому исследование следует проводить по звёздам ГП и звёздам "клампа".

Рекомендуемая литература

1. Taylor M.B. 2005, ASPC, 347, 29