

Поиск вращающихся радиотранзиентов в трехгодичных данных

Китаева М.А.¹, Тюльбашев С.А.¹, Первухин Д.В.², Тюльбашева Г.Э.³, Брылякова Е.А.¹, Черносов А.В.⁴, Овчинников И.Л.⁵

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева, Пуштинская радиоастрономическая обсерватория, Пушино, Россия

² ООО Импакт Электроникс, Москва, Россия

³ Институт математических проблем биологии, Пушино, Россия

⁴ Московский государственный психолого-педагогический университет, Москва, Россия

⁵ Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского Государственного Университета, Москва, Россия



Проведен поиск вращающихся радиотранзиентов (RRAT) на частоте 111 МГц в ежедневных наблюдениях, проводимых на радиотелескопе Большая Синфазная Антенна (БСА) на склонениях $-9^\circ < \delta < +42^\circ$. Обнаружено 20 новых RRAT на мерах дисперсии (DM) от 2.5 до 72.6 пс/см³. Для трех RRAT получены оценки периода. Два из найденных источников (J0408+28, J0440+35) находятся на расстояниях 134 и 136 пс от Земли и являются одними из самых близких из всех известных пульсаров.

Введение

Вращающиеся радиотранзиенты (RRAT) были открыты в 2006 г. как диспергированные импульсы. RRAT излучают импульсы не регулярно и между двумя регистрируемыми импульсами могут проходить часы (1). Для поиска RRAT необходимо, чтобы отношение сигнала (высоты импульса) к шуму (среднеквадратичное отклонение в шумовой дорожке) было больше 6-7: $S/N = A/\sigma_n > 6-7$. Помимо этого, из-за случайного появления импульсов RRAT и не предсказуемого времени ожидания для их поиска нужны длительные наблюдения каждой точки на небе. На сегодняшний день в каталогах можно найти несколько сотен RRAT, но общепринятого мнения о природе RRAT пока нет.

Основная цель настоящей работы - поиск новых RRAT на трехлетнем интервале наблюдений на радиотелескопе БСА ФИАН. Накопление в каждой точке на небе составило примерно 65 часов.

Наблюдения и обработка

Радиотелескоп БСА – это полномощностная антенная решетка, состоящая из 16384 диполей. На базе антенного поля, имеющего размеры приблизительно 200*400м, создано несколько радиотелескопов. В данном проекте использовался радиотелескоп БСА3, имеющий 128 стационарных лучей. Лучи располагаются в плоскости меридиана. Они перекрываются по уровню 0.405 и покрывают склонения $-9^\circ < \delta < +55^\circ$. Размер диаграммы направленности составляет $0.5^\circ * 1^\circ$. Прохождение источника через меридиан происходит один раз в день и занимает примерно 3.5 временной минуты по половинной мощности. Мгновенная площадь обзора около 50 кв.град. Наблюдения проводятся круглосуточно на центральной частоте 110.25 МГц, в полосе 2.5 МГц. Полоса разделена на 32 частотных канала шириной 78 кГц. Время опроса точки равно 12.5 мс.

В обычном поиске RRAT есть несколько стандартных шагов: вычитание базовой линии, перебор разных DM, оценка среднеквадратичных отклонений шума, поиск импульсов, имеющих S/N больше заданного. В ходе поиска исходные данные нарезаются на кусочки, в каждом из которых проверяется наличие импульса. Для получения результата в настоящей работе мы обработали данные за период август 2014 — декабрь 2017, полученные на склонениях $-9^\circ < \delta < +42^\circ$, и проверили $\sim 10^{12}$ нарезанных кусочков сырых данных. Поиск проводился для транзиентов с $DM < 100$ пс/см³. Программа обработки выделила $4.5 * 10^6$ RRAT кандидатов. Чтобы уменьшить количество пропускаемых помех, мы сделали дополнительную фильтрацию кандидатов с помощью рекуррентной нейронной сети (RNN) с использованием LSTM слоев (2). В результате осталось $\sim 10^6$ RRAT кандидатов. Подавляющая часть оставшихся кандидатов — это импульсы известных пульсаров, наблюдаемые в основных, боковых и задних лепестках LPA3. Мы исключили из поиска направления, в которых видны импульсы от известных пульсаров. Такие импульсы составляют примерно 98% от всех оставшихся для проверки. Таким образом, визуально проверялись примерно $10^6 * 0.02 = 20\,000$ импульсов. Анализ показал, что в основном они также принадлежат известным пульсарам, наблюдавшимся в боковых и задних лепестках БСА3, либо являются помехами.

Обсуждение результатов и заключение

После первоначального отсеивания для дальнейшего исследования было отобрано 105 кандидатов, у которых на трехлетнем интервале регистрировалось от 1 до более десяти импульсов. 20 источников оказались новыми RRAT. Динамические спектры и профили импульсов этих RRAT не имеют особенностей и размещены на нашем сайте (<https://bsa-analytics.prao.ru/transients/rrat/>). На Рис.1 показаны динамические спектры наиболее сильных RRAT кандидатов. На некоторых динамических спектрах отчетливо видны светлые полосы. Их появление связано со способом представления динамических спектров. Самые слабые сигналы на спектрах рисуются белым цветом, самые сильные черным цветом. Там, где на динамических спектрах видны светлые полосы, сигналы, образующие линию дисперсионной задержки, были самыми сильными.

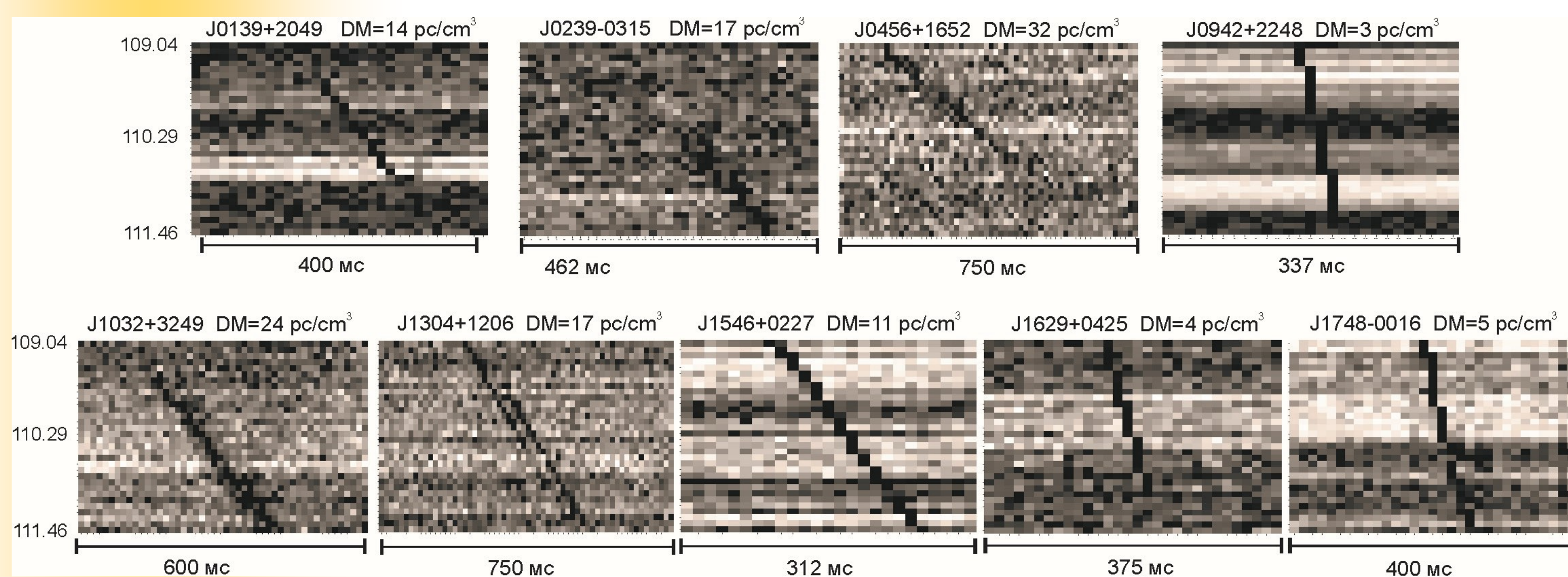


Рис. 1. Динамические спектры некоторых RRAT кандидатов, у которых детектировано 1-2 импульса на интервале 9 лет.

При проверке 105 кандидатов во вращающиеся радиотранзиенты, обнаруженных в ежедневных наблюдениях, продолжавшихся 3 года, открыты 20 новых RRAT. 13 RRAT кандидатов оказались известными пульсарам, наблюдаемыми в боковых и задних лепестках БСА3. 17 источников очень похожи на обычные RRAT, но у них детектировано всего 1-2 импульса в ежедневных наблюдениях, продолжающихся 9 лет. 21 источник не прошел визуальную проверку, и их природа неизвестна, и 34 кандидата оказались связаны с помехами.

У части обнаруженных RRAT на интервале времени, эквивалентном непрерывным наблюдениям больше пятидесяти, а возможно, и больше ста часов, обнаружен всего один импульс. Если эти RRAT принадлежат выборке пульсаров с нуллингами, то доля нуллинговой части может достигать 99.9999%.

Расстояния до 4 открытых RRAT (J0408+28; J0440+35; J0630+23; J1749-01) составляют меньше 200 пс, что говорит о расположении источников в ближайших окрестностях Солнца. RRAT J0440+35, обнаруженный на $DM=2.6$ пс/см³, является ближайшим к Солнцу из всех найденных до сегодняшнего дня вращающихся радиотранзиентов.

Благодарности

Исследование проведено при поддержке гранта Российского Научного Фонда (РНФ) № 22-12-00236 (<https://rscf.ru/project/22-12-00236/>).

Список литературы:

- McLaughlin, M. A., Lyne, A. G., Lorimer, D. R., et al. 2006, Nature, 439, 817
- Hochreiter, S. & Schmidhuber, J. 1997, Long short-term memory

Контакты: Китаева Марина — marina@praо.ru;
Тюльбашев Сергей — serg@praо.ru