

Сравнение результатов обработки геодезических РСДБ-наблюдений корреляторами RASFX и DiFX

© В. О. Кен, А. Е. Мельников

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В работе представлены результаты сравнения групповых задержек, полученных на корреляторах RASFX и DiFX. Для сравнения задержек использовано одинаковое программное обеспечение (ПО) постпроцессорной обработки PIMA с целью исключения влияния вариативности реализации математических алгоритмов постпроцессорной обработки.

Разработан конвертер данных для коррелятора RASFX, который позволяет использовать ПО PIMA для постпроцессорной обработки РСДБ-данных вместо оригинального ПО WOPS. Обработан ряд часовых РСДБ-наблюдений, проведенных на радиотелескопах РТ-13 и РТ-32 РСДБ-комплекса «Квазар-КВО». Результаты совпадают в пределах точности измерения групповых задержек.

Ключевые слова: РСДБ, коррелятор, RASFX, DiFX, PIMA, групповая задержка.

<https://doi.org/10.32876/ApplAstron.49.37-42>

Введение

Для обработки широкополосных сигналов радиоинтерферометра сети малых антенн в ИПА РАН с 2015 г. используются два коррелятора: программный коррелятор РАН (RASFX) [1] и программный коррелятор DiFX [2]. Программа постпроцессорной обработки (ППО) WOPS коррелятора RASFX разработана в ИПА РАН и является его составной частью. Коррелятор DiFX не обладает подобной интегрированной системой, и для постпроцессорной обработки пользователь применяет доступное ему ПО, в ИПА РАН используется ПО PIMA [3]. Вычисленные корреляторами групповые задержки имеют различия, обусловленные не только разными алгоритмами обработки входных РСДБ-данных и эфемеридным обеспечением, но и различными ППО [4]. С целью устранить влияние различий ППО на итоговый результат была выбрана единая ППО для обоих корреляторов с применением ПО PIMA.

РСДБ-наблюдения

Для сравнения были выбраны наблюдения, проводившиеся на радиотелескопах РТ-13 и РТ-32 РСДБ-сети «Квазар-КВО» на базе «Бадары»-«Зеленчукская» с целью определения всемирного времени. Наблюдения на РТ-13 проводились в период 7–26 сентября 2018 г. по 5 часовых сеансов в сутки в S/X диапазонах с шириной полосы регистрации 512 МГц в следующем режиме:

- один частотный канал в обеих круговых поляризациях в S-диапазоне;
- два частотных канала в правой круговой поляризации в X-диапазоне;

- двухбитовое квантование регистрируемых данных;
- 60–70 наблюдений источников в сеансе;
- суммарный поток данных 8 Гбит/с от станции в момент регистрации.

Наблюдения на РТ-32 проводились в период 16 августа–2 сентября 2018 г. по 1 часовому сеансу в сутки с шириной полосы регистрации одного частотно-го канала 8 МГц в следующем режиме:

- 6 частотных каналов в правой круговой поляризации в S-диапазоне;
- 10 частотных каналов в правой круговой поляризации в X-диапазоне;
- однобитовое квантование регистрируемых данных;
- 20–25 наблюдений источников в сеансе;
- суммарный поток данных 256 Мбит/с от станции в момент регистрации.

Обработка данных

Процессорная обработка данных проведена на программных корреляторах RASFX и DiFX, установленных на блейд-серверном кластере ИПА РАН. ППО выполнена программой *WOPS* и ПО *PIMA*.

ПО *WOPS* входит в состав коррелятора RASFX и служит для ППО данных в формате Baseline. Результатом ППО являются вычисленные групповые задержки и частоты интерференции, их формальные ошибки, отношение сигнал/шум для каждого наблюдения.

Выходными данными коррелятора DiFX являются файлы формата SWIN, которые могут быть преобразованы в формат FITS-IDI с помощью входящей в состав DiFX утилиты *difx2fits*. Пакет программного обеспечения *PIMA* ориентирован на пакетную обработку-РСУБ экспериментов для астрономии и геодезии. *PIMA* позволяет обрабатывать данные от любого коррелятора, который генерирует выходные файлы, соответствующие спецификациям формата FITS-IDI. С помощью пакета *PIMA* можно выполнять калибровки температуры системы, усиления антенны, фазовую калибровку и калибровку полосы пропускания, а также вычислять геометрическую задержку и частоту интерференции когерентно усредненных отсчетов кросскорреляционной функции.

Поскольку *PIMA* работает с файлами формата FITS-IDI, авторами разработаны утилиты *base2swin* и *rasfx2difx*, а также использованы программы *difx2fits* и *CreateNGS*. Как следует из рис. 1, первым шагом является преобразование кросс-спектров из Baseline в SWIN, используя *base2swin*. Утилита *rasfx2difx* использует модели RASFX и подставляет их в файлы DiFX. После этого утилитой *difx2fits* формируются файлы формата FITS-IDI. Поскольку *PIMA* вычисляет полные задержки и частоты интерференции, отличающиеся от моделей RASFX, то авторы использовали поправку к предвычисленной по эфемеридной модели задержки (так называемую задержку в корреляционном окне). Групповая задержка рассчитывалась с использованием входящей в состав RASFX программы *CreateNGS*.

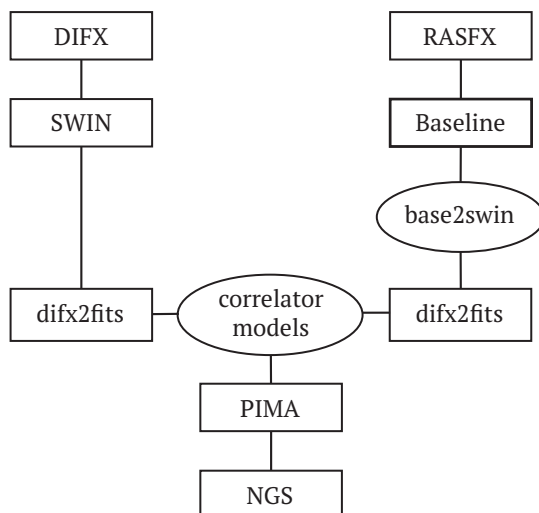


Рис. 1. Алгоритм обработки

Результаты

При использовании разработанного ПО получены задержки для 18 часовых сеансов с РТ-32 и 97 часовых сеансов – с РТ-13. Для рядов задержек полиномами высоких степеней вычислены и учтены систематические сдвиги для нейтрализации эффектов, возникающих в результате применения корреляторами разных эфемеридных моделей, произведена фильтрация выбросов по $\pm 3\sigma$. На рис. 2 и рис. 3 представлены получившиеся остаточные разности групповых задержек по данным РТ-32 и РТ-13 соответственно. Оценены среднеквадратические отклонения (СКО) для различных вариантов обработки (см. табл. 1). Для РТ-13 вычислены разности задержек и их СКО по четырем комбинациям широкополосных частотных каналов по 512 МГц каждый, в то время как для РТ-32 производился синтез частотной полосы из узкополосных частотных каналов по 8 МГц каждый.

Для оценки степени совпадения результатов, полученных на двух корреляторах, вычислены отношения модулей разностей задержек к соответствующим формальным ошибкам по всем обработанным сеансам. Доли наблюдений, совпадающих в пределах точности измерения групповых задержек, составляют 90.3 % и 95.5 % для РТ-13 и РТ-32 соответственно.

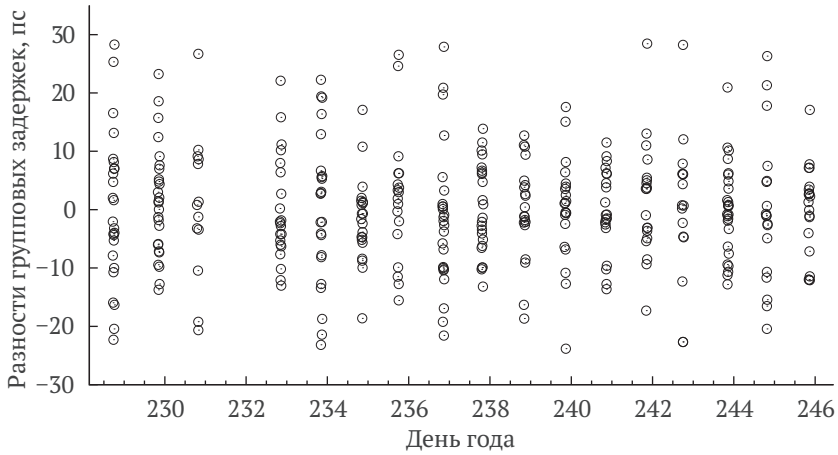


Рис. 2. Разности групповых задержек, вычисленных ПО *PIMA* по данным обработки корреляторами RASFX и DiFX часовых сеансов наблюдений на PT-32, СКО разности задержек 10 пс

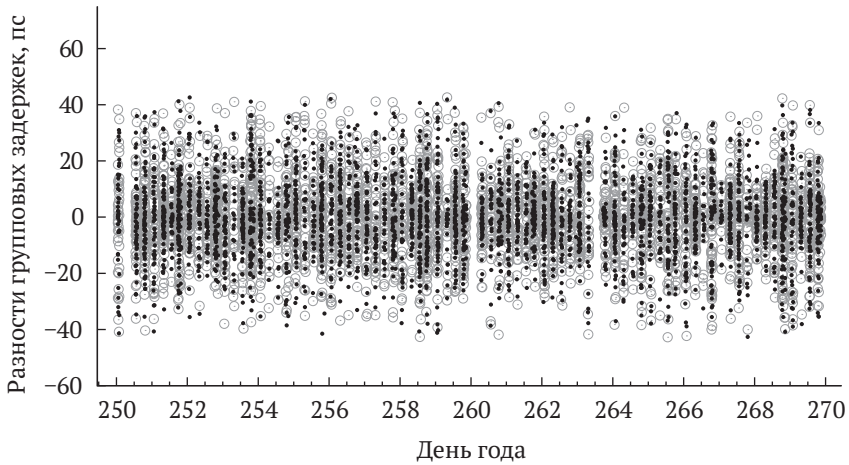


Рис. 3. Разности групповых задержек, вычисленных по данным корреляционной обработки часовых наблюдений на PT-13: разности задержек, вычисленных в ПО *PIMA* по данным обработки корреляторами DiFX и RASFX обозначены серыми кружками, СКО разности задержек 14.3 пс; черными точками обозначены разности задержек, вычисленных в ПО *PIMA* по данным обработки коррелятора DiFX и ППО в *WOPS* — по данным обработки коррелятора RASFX, СКО разности задержек 14.1 пс

Значения СКО для различных вариантов обработки данных:

σ_p – СКО разности задержек DIFX(PIMA) и RASFX(PIMA),

σ_w – СКО разности задержек DIFX(PIMA) и RASFX(WOPS)

	σ_p , пс	σ_w , пс
РТ-32, X RCP (10 каналов), S RCP (6 каналов)	10.0	
РТ-13, X RCP (8591.6 МГц), S RCP (2675.9 МГц)	14.3	14.1
РТ-13, X RCP (8591.6 МГц), S LCP (2675.9 МГц)	14.3	14.1
РТ-13, X RCP (9103.6 МГц), S RCP (2675.9 МГц)	15.4	14.5
РТ-13, X RCP (9103.6 МГц), S LCP (2675.9 МГц)	15.3	14.4

Заключение

Разработано ПО, позволяющее проводить постпроцессорную обработку данных с коррелятора RASFX в ПО PIMA. Анализ 97 сеансов с РТ-13 и 17 сеансов с РТ-32 показал, что СКО остаточных разностей задержек от разных корреляторов и ППО не превышает 15.4 пс и 10 пс для РТ-13 и РТ-32 соответственно. Не менее 90.3 % для РТ-13 и 95.5 % для РТ-32 вычисленных значений геометрических задержек совпадают в пределах их формальных ошибок, что позволяет сделать вывод о согласованности результатов процессорной обработки двух корреляторов.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП/УНУ «Радиоинтерферометрический комплекс «Квазар-КВО» и ЦКП «Суперкомпьютерный центр «Высокопроизводительные вычисления в радиоастрономии и космической геодезии».

Литература

1. *Surkis I. F., Zimovsky V. F., Ken V. O., Kurdubova Y. L., Mishin V. Y., Mishina N. A., Shantyr V. A.* A radio interferometric correlator based on graphics-processing units // *Instruments and Experimental Techniques*. — Pleiades Publishing Ltd, 2018. — Vol. 61, no. 6. — P. 772–779.
2. *Deller A. T., Brisken W. F., Phillips C. J., Morgan J., Alef W., Cappallo R., Middelberg E., Romney J., Rottmann H., Tingay S. J., Wayth R.* DiFX-2: A more flexible, efficient, robust, and powerful software correlator // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. — IOP Publishing, 2011. — Vol. 123, no. 901. — P. 275–287.
3. *Petrov L., Kovalev Y. Y., Fomalont E. B., Gordon D.* The very long baseline array galactic plane survey – VGaPS // *The Astronomical Journal*. — IOP Publishing, 2011. — Vol. 142, no. 2. — P. 35.
4. *Ken V., Melnikov A.* RASFX and DiFX: The comparison of geodetic VLBI processing results // *Proceedings of Science*. — 2019. — Pos (EVN2018) 138. — P. 1–3.

The Comparison of RASFX and DiFX Geodetic VLBI Processing Results

V. O. Ken, A. E. Melnikov

We found that the differences of the UT1-UTC measures from RASFX and DiFX correlators are mainly due to the different realisation of mathematical computations of the post-processing algorithms. Therefore it is necessary to use common software to compare calculated group delays from different correlators. In this work we present the comparison of group delays from RASFX correlator to the group delays obtained from DiFX correlator output using *PIMA* software. The data converter was developed which allowed us to use *PIMA* for post-processing the RASFX data instead of native software. A series of intensive sessions with 13-m and 32-m radio telescopes were processed using this new routine. The obtained results are in a good agreement within mean accuracy of group delay.

Keywords: VLBI, correlator, DiFX, RASFX, PIMA, group delay.