

Экспериментальное исследование стабильности цифрового преобразователя потоков данных для радиотелескопов

© С. А. Гренков, Л. В. Федотов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Разработанный в ИПА РАН цифровой преобразователь обеспечивает выделение узкополосных каналов непосредственно на радиотелескопе, оснащенный широкополосной системой преобразования сигналов, и значительно сокращает поток данных от радиотелескопа на коррелятор.

Экспериментально исследована стабильность задержки сигнала в цифровом преобразователе. Приведены схема и описание эксперимента. Показано, что задержка сигнала в цифровом преобразователе не меняется за время сеанса наблюдений и не влияет на точность радиоинтерферометрических измерений.

Ключевые слова: радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами, цифровая обработка сигналов, задержка сигнала, стабильность.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.50.31-35>

Введение

Цифровой преобразователь потоков данных разработан в ИПА РАН для того, чтобы обеспечить совместную работу радиотелескопов с широкополосными и узкополосными каналами при РСДБ-наблюдениях и сократить скорость информационного потока при широкополосной регистрации данных [1]. Он реализован на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) и обеспечивает в каждом из трех каналов выделение полосы шириной 512 МГц по 16 узкополосных (8 или 16 МГц) сигналов и формирование из них цифровых потоков в формате VDIF или VSI-H для передачи на систему регистрации. Экспериментальные исследования этого преобразователя на радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО» подтвердили эффективность использования аппаратного выделения узкополосных каналов из цифрового потока данных непосредственно на радиотелескопе [2]. Однако оставался открытым вопрос о стабильности аппаратурной задержки сигнала в указанном цифровом преобразователе. Возможные изменения этой задержки от скана к скану могут привести к случайному смещению регистрируемых данных по шкале времени и соответствующему росту погрешности измерения геометрической задержки при РСДБ-наблюдениях. Для исследования стабильности цифрового преобразователя был проведен эксперимент на радиотелескопе РТ-13 в обсерватории «Светлое», результаты которого представлены в данной статье.

Методика исследования

Суть методики эксперимента состоит в измерении задержки сигнала в исследуемом цифровом преобразователе на каждом скане РСДБ-наблюдений. Для этого вычислялась взаимная корреляция между цифровыми сигналами до и после цифрового преобразователя. Так как сигнал до преобразователя — широкополосный, а после — узкополосный, то перед вычислением корреляции первый сигнал подвергался цифровой обработке. То есть с помощью специальной компьютерной программы методами полифазной фильтрации и цифрового гетеродинирования каждый заданный настройками участок спектра широкополосного сигнала переносился в область видеочастот.

На радиотелескопе одновременно регистрировался принятый широкополосный сигнал и выделенные из него с помощью цифрового преобразователя узкополосные сигналы, которые синхронизировались с помощью одной и той же штатной системы частотно-временной синхронизации радиотелескопа [3]. Так же, как и при обычных РСДБ-наблюдениях, шумовой сигнал с выхода радиоастрономического приемного устройства подавался на штатную широкополосную систему преобразования сигналов (ШСПС) [4], с выходов которой цифровые потоки регистрировались в системе буферизации и передачи данных [5]. Те же самые цифровые потоки, но уже прошедшие через исследуемый цифровой преобразователь с выделением узкополосных сигналов, регистрировались еще раз. Затем обе полученные записи обрабатывались на компьютере в среде Octave. Запись узкополосных сигналов, полученная с выхода исследуемого цифрового преобразователя, несет информацию о задержке в нем сигнала. Чтобы измерить эту задержку из зарегистрированного на выходе ШСПС широкополосного сигнала, с помощью компьютерной обработки выделялись узкополосные сигналы на тех же частотах, что и в исследуемом цифровом преобразователе. После этого для каждой пары узкополосных сигналов, один из которых получен с помощью цифрового преобразователя, а другой — путем компьютерной обработки широкополосного сигнала, вычислялась кросскорреляционная функция. Временное положение пика этой функции определяется задержкой сигнала в исследуемом цифровом преобразователе и выражается в числе периодов тактовой частоты оцифровки сигнала в ШСПС (1024 МГц). При достаточно большом (несколько сотен) отношении пикового значения кросскорреляционной функции к уровню боковых лепестков погрешность определения временного положения пика не превышает одного периода частоты оцифровки сигнала, то есть приблизительно 1 нс. Таким образом, вычисляя указанную кросскорреляционную функцию на каждом скане, можно отследить возможные изменения задержки сигнала в цифровом преобразователе и тем самым исследовать его стабильность.

Описание эксперимента

Для проведения эксперимента преобразователь потоков данных был установлен в обсерватории «Светлое» (рис. 1), где также были задействованы штатные системы радиотелескопа РТ-13: система частотно-временной синхронизации, ШСПС и система передачи и буферизации данных (СПБД) [3, 4, 5].

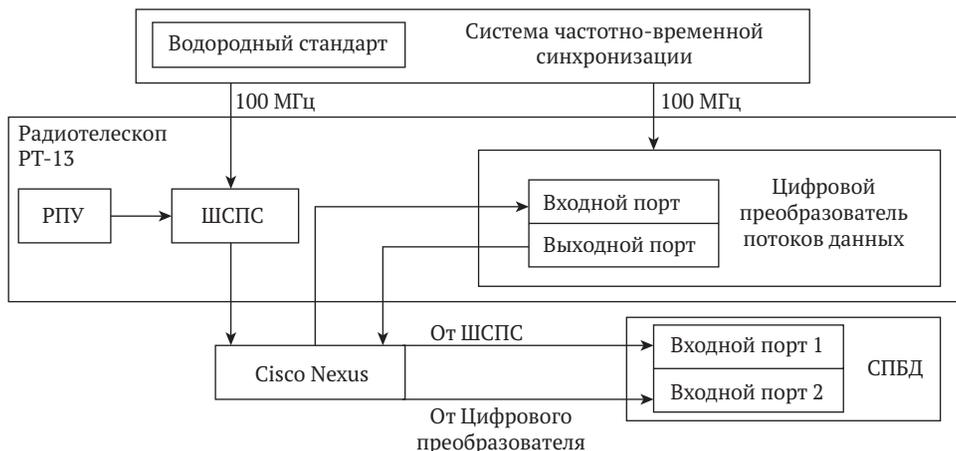


Рис. 1. Схема включения Цифрового преобразователя потоков данных в обсерватории «Светлое»

В ходе эксперимента шумовой сигнал в полосе частот шириной 512 МГц с выхода радиоастрономического приемного устройства подавался на ШСПС. Цифровой поток 2-битовых данных в формате VDIF с выхода ШСПС по волоконно-оптической линии поступал на высокоскоростной коммутатор Cisco Nexus в аппаратном помещении обсерватории «Светлое», отсюда — в СПБД и одновременно на цифровой преобразователь потоков данных. Там после выделения в полосе 512 МГц шестнадцати произвольно расставленных частотных каналов шириной 16 МГц снова формировался поток данных в формате VDIF, который через другие порты коммутатора тоже передавался на СПБД. Таким образом, один и тот же сигнал одновременно регистрировался как непосредственно с ШСПС, так и с выделением узкополосных каналов цифровым преобразователем. Синхронизация потоков данных производилась сигналами опорной частоты 100 МГц от одной и той же системы частотно-временной синхронизации радиотелескопа. Запись производилась в течение 10 мин, что практически не повлияло на плановую работу обсерватории. Данные с СПБД были переданы в ИПА РАН и обработаны на компьютере. Для исследования аппаратной задержки из зарегистрированного сигнала шириной 512 МГц на компьютере снова выделялись узкополосные каналы, настроенные на такие же частоты (78.91 МГц, 190.91 МГц, 329.91 МГц, 378.91 МГц и 449.91 МГц) внутри полосы 512 МГц, что и в цифровом преобразователе потоков данных. Затем на каждом скане были вычислены кросскорреляционные функции между сигналами в одноименных каналах, выделенных преобразователем потоков данных и выделенных на компьютере, для всех 16 узкополосных каналов (для упрощения эксперимента на одну и ту же частоту настраивались 2, 3 или 4 узкополосных канала).

Пример результатов определения аппаратной задержки сигнала в цифровом преобразователе потоков данных, полученных при обработке записей сигналов в каналах, настроенных на частоту 78.91 МГц, приведен в таблице. Для других частот настройки получены аналогичные результаты: измеренные значения аппаратной задержки сигнала (936 тактов) совпадают, а отличие

лишь в отношении сигнал/шум для разных каналов, что объясняется неидеальностью частотных характеристик в широкой полосе 512 МГц. Отличия от единицы коэффициентов взаимной корреляции между каналами, выделенными аппаратным и программным способом, и их разброс от 0.78 до 0.86 вызваны 2-битовым квантованием сигналов и ограничениями при использовании стандартных процедур в программной среде Octave, что, однако, не влияет на результат определения аппаратурной задержки.

Т а б л и ц а

Результаты эксперимента для каналов на частоте 78.91 МГц

Номер скана	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент корреляции	0.86	0.79	0.84	0.83	0.79	0.84	0.78	0.86	0.82	0.80
Отношение сигнал/шум	436	535	437	560	535	530	535	561	535	532
Задержка в преобразователе потоков, такт	936	936	936	936	936	936	936	936	936	936

Из-за всех возможных погрешностей цифровой обработки сигналов, связанных, в частности, с ограничением разрядности кодов, отношение сигнал/шум на выходе исследуемого цифрового преобразователя не может сократиться более чем на 0.5 %, причем эти потери остаются постоянными от скана к скану. Поэтому разброс (приблизительно 25 %) от скана к скану в значениях отношения сигнал/шум в кросскорреляционной функции между сигналами до и после указанного преобразователя, по всей вероятности, вызван нестабильностью уровня шумового сигнала на выходе радиоастрономического приемного устройства, что подтверждается результатами контроля уровня сигнала во время сеанса наблюдений. Однако указанный разброс никоим образом не влияет на результаты определения задержки сигнала в преобразователе потоков данных и его стабильность.

Заключение

Исследования показали, что метод оценки аппаратурной задержки сигнала в цифровом преобразователе потоков данных путем вычисления взаимной корреляции между одними и теми же сигналами, выделенными аппаратным и программным способом, может быть использован для контроля стабильности работы указанного преобразователя потоков. Экспериментально установлено, что по крайней мере в течение 10 сканов подряд ошибок в работе цифрового преобразователя потоков данных не наблюдается. Аппаратурная задержка сигнала в таком преобразователе составляет 936 тактов частоты оцифровки выделяемых узкополосных сигналов и не меняется в течение 10 сканов. Это свидетельствует о высокой стабильности работы цифрового преобразователя

потоков данных на ПЛИС (аппаратурная задержка сигнала в нем стабильна в пределах ± 0.5 нс) и позволяет использовать его без ухудшения стабильности корреляционных откликов при РСДБ-наблюдениях.

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

Л и т е р а т у р а

1. Гренков С. А., Кольцов Н. Е. Преобразователь потоков данных для радиотелескопа с цифровой системой регистрации широкополосных сигналов // Приборы и техника эксперимента. — М.: Наука, 2018. — Вып. 4. — С. 11–19.

2. Гренков С. А., Федотов Л. В., Мельников А. Е. Совместные РСДБ-наблюдения на РТ-32 и РТ-13 с широкополосной и узкополосной регистрацией сигналов // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2018. — Вып. 47. — С. 101–105.

3. Вытнов А. В., Иванов Д. В., Жуков Е. Т., Смоленцев С. Г., Яковлев В. А. Система частотно-временной синхронизации комплекса «Квazar КВО» // История науки и техники М.: Научтехлитиздат, 2013. — № 3. — С. 70–76.

4. Кольцов Н. Е., Маршалов Д. А., Носов Е. В., Федотов Л. В. Цифровая система преобразования широкополосных сигналов для астрономических радиоинтерферометров // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. — СПб.: СПбГЭТУ, 2014. — Вып. 1. — С. 34–40.

5. Безруков И. А., Сальников А. И., Яковлев В. А., Вылегжанин А. В. Система буферизации и передачи данных РСДБ-наблюдений на радиоинтерферометре с малыми антеннами // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2013. — Вып. 27. — С. 369–374.

Stability of Digital Data Stream Converters for Radio Telescopes: an Experimental Study

S. A. Grenkov, L. V. Fedotov

A digital data stream converter makes it possible to allocate narrow-band signals in a radio telescope with the wideband data acquisition system. It reduces data streams from the radio telescope to the correlator considerably.

Stability of the signal delay in the digital converter is investigated experimentally. The scheme and the description of the experiment are presented. It is shown that the delay in the digital converter does not vary during one session of observations. The delay in this converter does not affect the accuracy of the VLBI measurements.

Keywords: VLBI, digital signals processing, signal delay, stability.