

УДК 52-58

ФОРМАТ ДАННЫХ И МОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРА “РАДИОАСТРОН”

© 2015 г. В. В. Андреев

Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва
andre@asc.rssi.ru

Поступила в редакцию 16.12.2013 г.

Для передачи радиоастрономических и вспомогательных данных от космического радиотелескопа к наземной станции слежения (и затем – к коррелятору) через радиолинию необходимо применить специальный формат данных, процедуры кодирования и декодирования. Здесь детально рассматривается такой формат, разработанный и успешно реализованный в наземно-космическом радиоинтерферометре “РадиоАстрон”. Цель работы – представить характеристики, необходимые для астрономов-наблюдателей, для проектировщиков станций слежения и для рабочей группы управления и планирования, а также для проведения тестов на совместимость космического радиотелескопа и станций слежения.

DOI: 10.7868/S0023420615030012

ВВЕДЕНИЕ

Выходные данные космического радиотелескопа (КРТ) передаются на станцию слежения двумя потоками одновременно по радиолинии в Q -диапазоне (15 ГГц), используя специальный формат данных и QPSK (двойную относительную фазовую манипуляцию – ДОФМ) модуляцию передатчика. Перед модуляцией оба отформатированных и “упакованных” потока данных дополнительно дифференциально кодируются с целью разделения потоков по фазе. Каждый поток разбит на кадры и содержит радиоастрономические данные, полученные после клиппирования и 1-битного квантования (по знаку сигнала). В начале каждого кадра вводится заголовок, содержащий синхрокод и технические параметры КРТ и служебного модуля. Скорость передаваемых потоков равна 2×72 или 2×18 Мбит/с в зависимости от ширины видео полосы и числа полос, используемых одновременно, т.е. от выбранной моды наблюдений. Указанные операции в КРТ выполняет прибор Форматор. Летные модели Форматора изготовлены в НИИЯФ МГУ и СКБ ИРЭ (Фрязино). Станция слежения (СС) принимает, демодулирует и удаляет дифференциальное кодирование в сигналах от КРТ. Затем потоки на СС “распаковываются”, т.е. выделяются заголовки кадров, а астрономические данные преобразуются в несколько параллельных потоков, совместимых с данными наземных радиотелескопов (ЗРТ.) Рис. 1 иллюстрирует эти процедуры. Во время летных испытаний работала лишь СС в Пушино, позже была введена в строй СС в США (Green Bank).

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ МОДЫ

“РадиоАстрон” может выделить для наблюдений 2 или 4 видеосигнала с шириной полосы 4 или 16 МГц и 1-битным квантованием (по знаку сигнала). Два входных сигнала поступают или от двух разных приемников КРТ, но с единственной поляризацией, или от одного приемника, но с обеими круговыми поляризациями. Рис. 2 показывает взаимное положение рабочих частот КРТ и спектров, которые могут обрабатываться для каждой поляризации. Тут же отмечены звездочкой линии дейтерия D, гидроксила OH, формальдегида H_2CO и воды H_2O для выбора узкополосных наблюдений.

Мода обозначается четырьмя знаками: используемые частоты 2-го гетеродина для видео конверторов ($F_1...F_4$ для двух сигналов ПЧ); ширина одной (боковой) видео полосы, МГц; полная используемая полоса, МГц; скорость передачи бинарных данных на Землю, Мбит/с. Например, мода $F_2F_2 - 16-32-72$ означает: $F_2 = 508$ МГц для обоих каналов, видео полоса – 16 МГц, полная полоса – $16 \times 2 = 32$ МГц, скорость передачи – $(32 \times 2) \times (9/8) = 72$ Мбит/с для обоих каналов одновременно.

Предусмотрен выбор из 9 комбинаций 2-х гетеродинов: $F_2 F_2, F_3 F_3$ для видео полос 16 МГц (см. табл. 1), а также $F_1 F_2, F_2 F_3, F_3 F_4$ и любая пара одинаковых гетеродинов для полос 4 МГц (см. табл. 2). В период летных испытаний КРСДБ “РадиоАстрон” использовалась для простоты лишь часть режимов, в основном с видео полосой 16 МГц. В дальнейших наблюдениях также успеш-

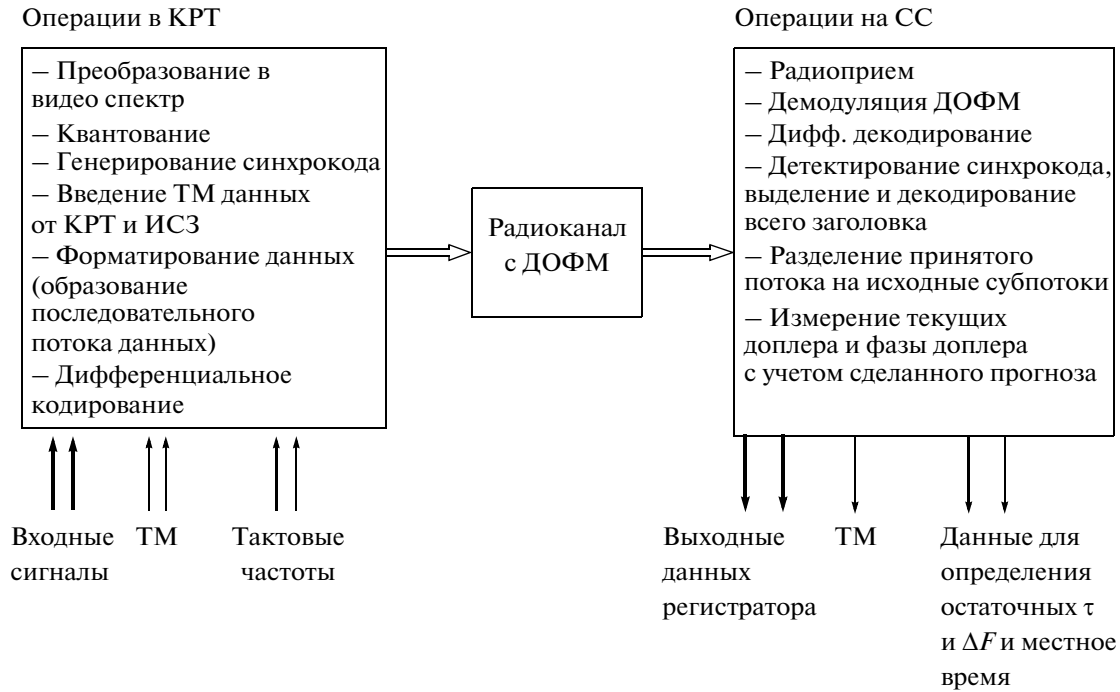


Рис. 1. Основные операции для формирования, передачи и выделения данных от КРТ.

но реализовывались режимы с видеополосой 16МГц.

ФОРМАТ ДАННЫХ КРТ

Благодаря применению QPSK модуляции передатчика на 15 ГГц поток данных 1 и поток данных 2 могут передаваться одновременно. При этом порядок соединений приборов в КРТ (начиная от антенных поляризаторов L и R) следующий:

L —1-ый канал приемника—1-ый канал формата—вход I модулятора QPSK;

R —2-ой канал приемника—2-ой канал формата—вход Q модулятора QPSK.

На рис. 3 показана структура кадров и их заголовков для обоих уплотненных потоков.

Каждый кадр в потоках содержит 20000 Байтов: 30 Байт — заголовок и 19970 Байт — радиоастрономические данные. Каждый кадр пронумерован от 1 до 400 (номер размещается в заголовке); 400 кадров занимают по времени 1 или 4 с в зависимости от выбранной моды наблюдений (от скорости передачи данных). Для отличия потоков 1 и 2 положение синхрокодов в заголовках сдвинуто на 8 бит. Каждый Байт в кадрах содержит 9 бит; 9-ый — паритетный бит (лишь в синхрокоде Байт всегда содержит четное число бит “1”). Эта мера уменьшает число ошибочных Байт (за счет шумов радиоканала) и позволяет избежать сбоев или, что наиболее опасно, образования ложных синхрокодов.

Структура астрономических данных. Расположение бит в Байтах зависит от упаковки Байтов. При наблюдении источников с широким спектром могут быть использованы обе боковые видео полосы — нижняя (НБП) и верхняя (ВБП) в каждом канале. При этом упаковка Байтов имеет вид:

“Астрономический” Байт

Бит 1 Бит 2 Бит 3 Бит 4 Бит 5 Бит 6 Бит 7 Бит 8 Бит 9
ВБП НБП ВБП НБП ВБП НБП ВБП НБП Паритет

Эта особенность должна приниматься во внимание перед корреляцией с данными ЗРТ, чтобы использовать идентичные видео полосы. Когда наблюдается источник с узким спектром (например, 4МГц в ВБП), другой выход конвертера

Таблица 1

ДИАПАЗОН	ВОЗМОЖНАЯ МОДА
327 МГц	$F_4 - 4-8-18,$ $F_3 F_3 - 16-32-72$
1665 МГц	$F_2 F_2 - 16-32-72$
4830 МГц	$F_3 F_3 - 16-32-72$
22235 МГц	$F_1 F_2 - 4-16-18$ $F_2 F_3 - 4-16-18$ $F_3 F_4 - 4-16-18$ $F_1 F_1 - 4-16-18$

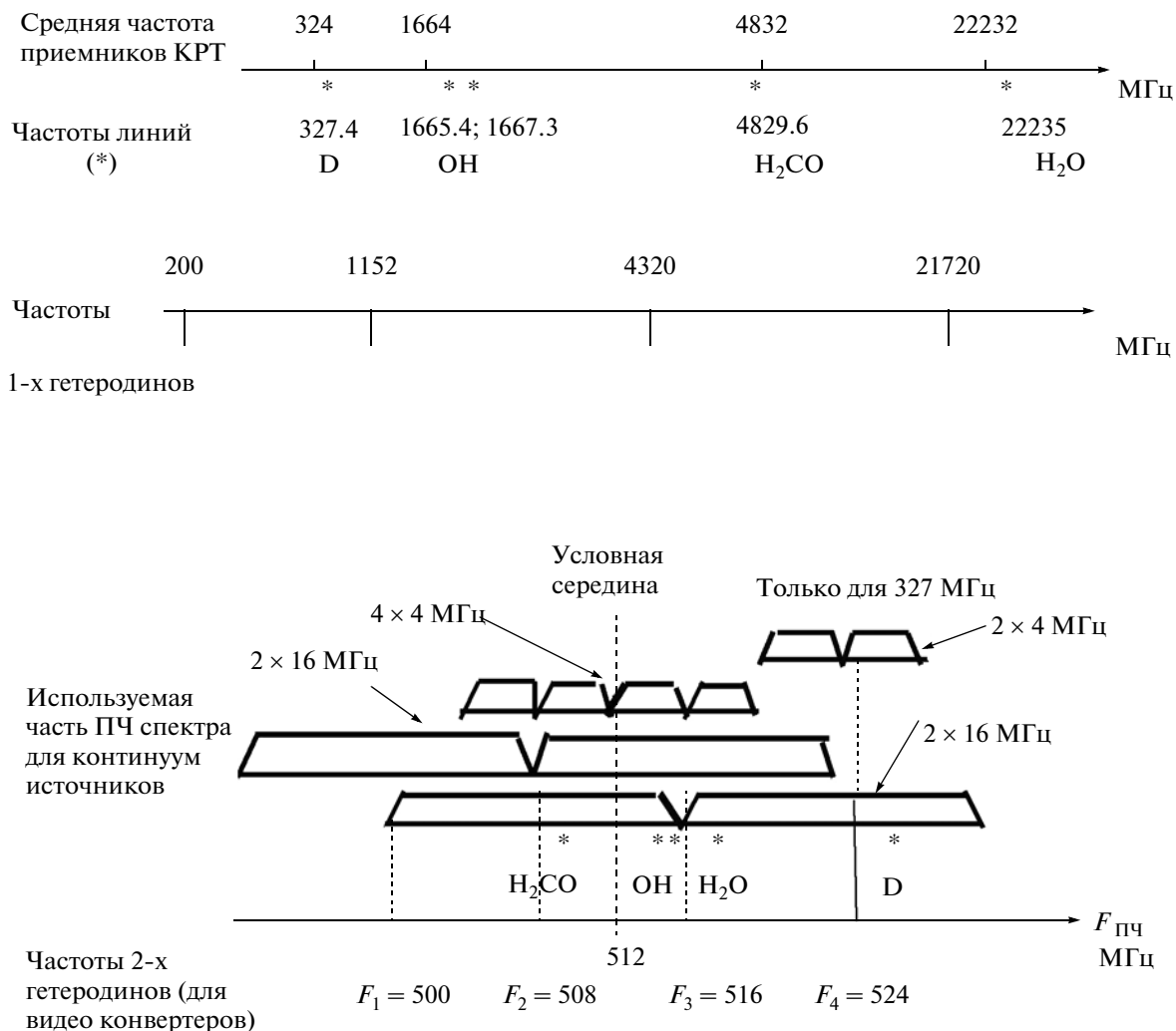


Рис. 2. Относительное положение рабочих диапазонов и полос КРТ.

(НБП) будет заполнен бесполезными данными (шумом приемника). Для проверки КРТ и СС без наблюдений источника существует 2 тестовых режима: Тест-1, когда Форматор непрерывно повторяет синхрокод без заголовка, и Тест-2, когда генерируется бинарная последовательность 01010101... вместо астрономических данных. Правило дифференциального кодирования потоков перед модуляцией передатчика показано в табл. 3.

Детальный состав заголовка.

Байты 1–10 содержат техническую телеметрию от ТМ системы ИСЗ.

Байты 11–12 содержат данные об уровне выходной мощности (8-бит АЦП) видеоканалов 1 и 2, включая шумовую калибровку с периодом 2 кадра (четный–нечетный).

Байт 13 – резервный (000000001).

Байт 14 – показывает режим приемника.

Байт 15 – показывает режим Форматора.

Байты 16–22 для потока 1 и 17–23 для потока 2 – помехоустойчивый синхрокод, представляющий псевдошумовую 63-битную последовательность с четным числом единиц в Байтах:

111011001 111000001 000011000 101001111
010001110 010010110.

Таблица 2

ДИАПАЗОН	ВОЗМОЖНАЯ МОДА
327 МГц	$F_4 - 4-8-18, F_3 - 16-32-72$
1665 МГц	$F_3 - 4-8-18$
4830 МГц	$F_2 - 4-8-18$
22235 МГц	$F_1 - 16-32-72$ Выбираются $F_2 - 16-32-72$ в зависимости от $F_3 - 16-32-72$ предсказанной скорости $F_4 - 16-32-72$ источника (до 1500 км/с)

Таблица 3

Текущие биты потоков 1 и 2	00	01	10	11
	00	01	10	11
00	00	01	10	11
01	01	11	00	10
10	10	00	11	01
11	11	10	01	00

Байт 23 в потоке 1 и Байт 16 в потоке 2 – резервные.

Байт 24 – как Байт 14.

Байт 25 – режимы приемника и Форматора.

Байты 26–27 – номер кадра (1–400) в 9-битном бинарном коде.

Байты 28–30 – резервные в обоих потоках.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для наблюдений небесных источников с разной шириной спектров и в разных диапазонах составлены рекомендуемые моды наблюдений. Необходимость передачи данных от КРТ на Землю заставляет преобразовывать принятые КРТ дан-

ные в форму, совместимую с возможностями радиолинии связи КРТ-СС. В “РадиоАстроне” для этого выбран специальный формат. Все это требует восстановить на СС вид данных от КРТ и обеспечить их совместимость при корреляции с данными от ЗРТ. Передача в научном потоке данных части технической информации исключает потерю наиболее важной служебной телеметрии во время научных сеансов. Знание мод наблюдений и формата данных КРТ после декодирования на СС позволяют “пользователям” этого радиоинтерферометра обеспечить идентичность с форматом данных от ЗРТ.

Проект “РадиоАстрон” осуществляется Астрономическим центром Физического института им. П.Н. Лебедева РАН и НПО им. С.А. Лавочкина по контракту с Российским космическим агентством совместно со многими научно-техническими организациями в России и других странах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Andreyanov V.V.* Compatibility problems of Radioastron, VSOP, VLBI and VLBA // *Frontiers of VLBI*. Tokyo: Universal Academy Press, Inc. 1991. P. 163–167 / Ed. by Hirobayashi H., Inoue M., Kobayashi H.
2. *Андреянов В.В.* Radio Telescope in the Sky // *Science in the Russia*. 1993. № 3–4. P. 8–13.
3. *Kardashev N.S.* Radioastron – a radio Telescope Much Greater than the Earth // *Experimental Astronomy*. 1997. V. 7. P. 329–343.
4. *Andreyanov V.V.* Strategy and scenario for Radioastron space VLBI observations // *Experimental Astronomy*. 1999. V. 9. P. 103–117.
6. *Andreyanov V.V., Borisov A.A., Knorin I.A.* Radioastron data format & observation modes // *Preprint FIAN*. 1997. № 55.

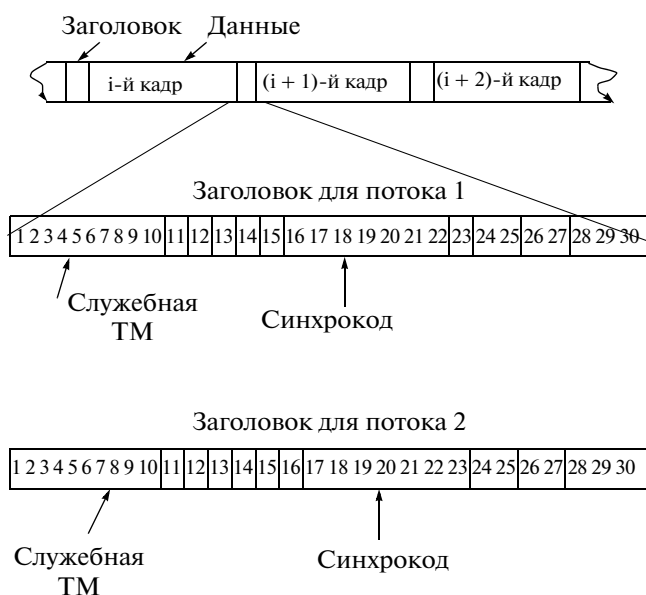


Рис. 3. Структура кадра и его заголовка.