

Система сбора и обработки данных высокочастотных гравитационных волн

Голяк Илья Семенович

МГТУ им. Н.Э. Баумана

iliyagol@mail.ru

Назолин Андрей Леонидович

МГТУ им. Н.Э. Баумана

nazolin72@mail.ru

Морозов Андрей Николаевич

МГТУ им. Н.Э. Баумана

amor@bmstu.ru

Рассмотрены вопросы создания макета системы синхронизации и сбора данных с двух лазерных интерференционных гравитационных антенн (на основе резонатора Фабри — Перо), работающих в широком диапазоне частот регистрации гравитационных волн от 100 Гц до не менее 5 МГц. Приведены и описаны глобальная и локальная схема считывания и синхронизации на основе высокоскоростной платы аналого-цифрового преобразователя и стандарта частоты.

Ключевые слова: гравитационные волны, система сбора данных, система синхронизации, интерферометр Фабри — Перо

Регистрация гравитационных волн является одной из важнейших проблем современности, представляющее несомненный интерес, как с фундаментальной точки зрения, так и для дальнейших многочисленных приложений [1–7]. Космологические теории предсказывают существование реликтовых гравитационных волн, которые могут быть обнаружены гравиволновыми детекторами в диапазоне частот $10^5 \dots 10^{10}$ Гц [6–10]. Подтверждением обнаружения гравитационно-волновых возмущений является их одновременная регистрация несколькими независимыми детекторами, синхронизированные с большой точностью между собой.

В настоящей работе рассматриваются вопросы создания макета системы сбора данных с двух лазерных интерференционных гравитационных антенн [11] (на основе резонатора Фабри — Перо) наземного и космического базирования, работающих в широком диапазоне частот регистрации гравитационных волн от 100 Гц до не менее 5 МГц [3].

Распределенная система сбора данных должна в реальном времени вести синхронную оцифровку сигналов двух антенн (частота дискретизации не более 20 МГц, разрядность аналого-цифрового преобразователя (АЦП) не менее 12 бит) с передачей данных на удаленный компьютер для кросс-корреляционной обработки сигналов двух антенн с целью выявления синхронных событий в сигналах двух детекторов гравитационных волн. Рассматривается вариант реализации разрабатываемой системы с использования плат сбора данных ADlink PCIe-9834P. Плата имеет 4 независимых канала АЦП 16 бит. В ней реализована аппаратная синхронизации отсчетов внутреннего кварцевого генератора 80 МГц по сигналу референтной эталонной частоты 10 МГц, например, с сервера времени типа Метроном-microSync или стандарта частоты типа FS740.

Объем математической обработки данных с двух гравитационных антенн напрямую зависит от погрешности синхронизации взятия отсчетов. Чем погрешность синхронизации больше, тем большее число значений кросс-корреляционной функции

требуется рассчитать. В идеале при оцифровке сигналов антенн от одного источника тактовой частоты погрешность синхронизации равна нулю и достаточно рассчитать одно значение кросс-корреляции – коэффициент корреляции Пирсона.

В случае удаленного расположения антенн погрешность синхронизации взятия отсчетов отлична от нуля и зависит от точности синхронизации и временной стабильности сигналов тактовой частоты 80 МГц плат PCIe-9834P, которая в свою очередь зависит от точности синхронизации сигналов 1 PPS (1 Гц) и 10 МГц с мировым временем UTC, их временной стабильности. Расчеты показывают, что на интервалах времени до 21 минуты Метроном-microSync HR 1xx и стандарт частоты FS740 обеспечивают идентичную погрешность синхронизации взятия отсчетов с использованием плат сбора данных PCIe-9834P.

Функциональная схема системы сбора данных двух гравитационных антенн с использованием плат PCIe-9834P и стандарта частоты FS740 представлен на рис. 1. Система сбора данных работает следующим образом. Компьютер обработки данных (PC обработки данных) по сети Ethernet заблаговременно передает компьютерам сбора данных PC1 и PC2 информацию, содержащую:

- время начала одновременной регистрации сигналов двух гравитационных антенн (например, UTC 10:55:01 октябрь 9, 2022);
- число секунд измерения (передачи) данных (например, 100).

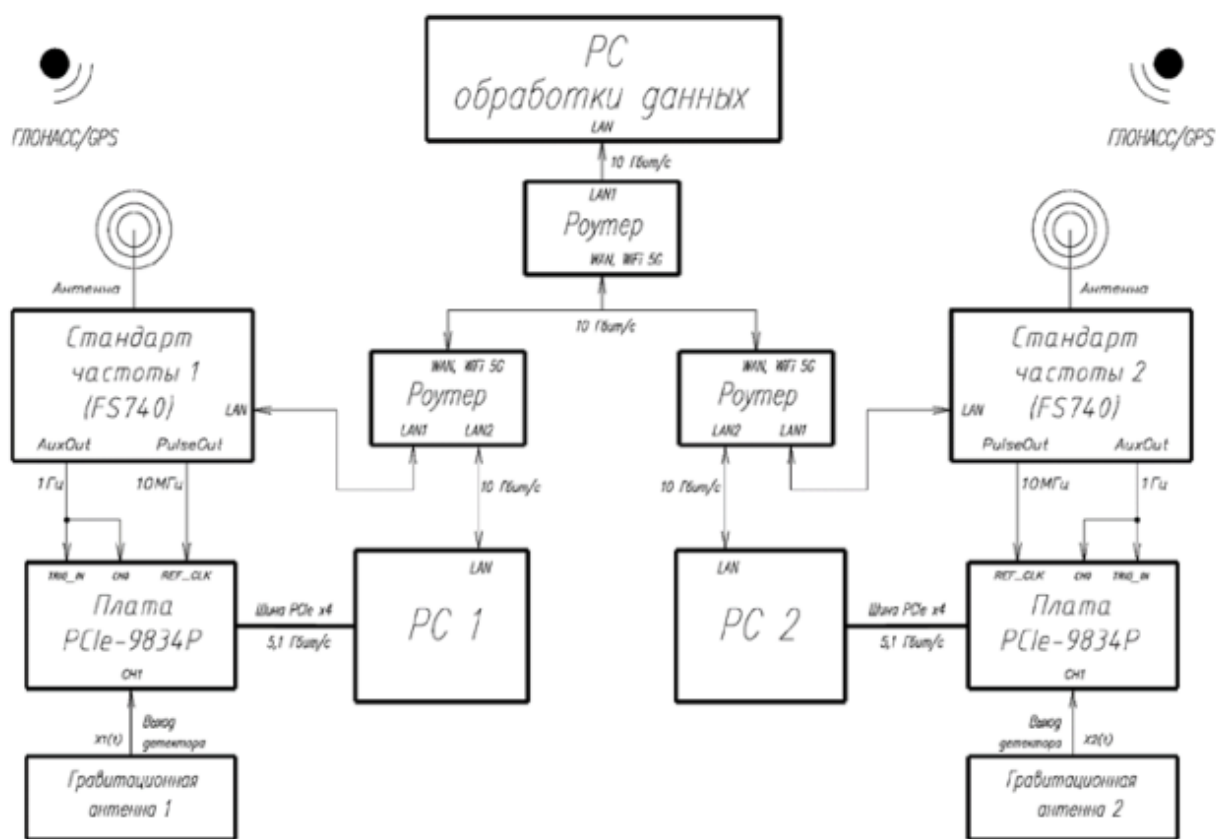


Рис. 1. Функциональная схема глобальной системы сбора данных гравитационных антенн с использованием плат PCIe-9834P и стандарта частоты FS740

Системное время компьютеров PC1 и PC2 должно быть предварительно синхронизировано с мировым временем UTC по сигналу ГЛОНАСС/GPS через спутники с использованием, например стандарта частоты FS740. На аналоговые входы CH0 и

CH1 платы PCIe-9834P подается аналоговый сигнал гравитационной антенны и сигнал 1 PPS (1 Гц) соответственно.

В назначенное время специализированное программное обеспечение PC1 и PC2 подает сигнал 1 PPS (1 Гц) стандарта частоты FS740 на вход TRIG_IN плат PCIe-9834P. По фронту сигнала 1 PPS (1 Гц) запускается АЦП сигналов, поступающих на входы CH1 и CH2, с частотой дискретизации 80 МГц. Оцифровка сигнала 1 PPS ведется для контроля числа оцифрованных значений сигнала CH1 на интервалах времени 1 с и формирования посекундных меток данных (рис. 2).

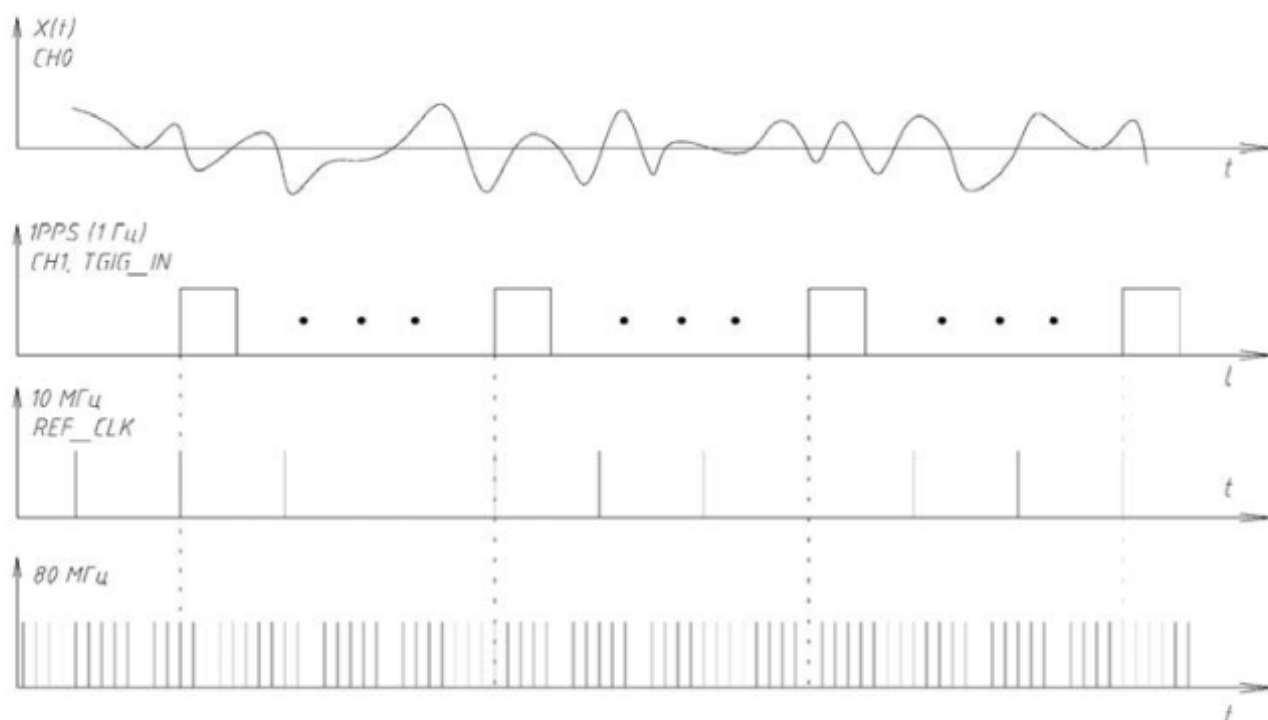


Рис. 2. Временные диаграммы сигналов платы сбора данных PCIe-9834P

В режиме непрерывной потоковой передачи данных оцифрованные значения сигналов антенн передаются в ОЗУ компьютеров PC1 и PC2, где осуществляется формирование секундных меток данных и их последующая передача по каналу Ethernet в оперативную память компьютера обработки данных PC. В оперативной памяти компьютера PC работает программа, осуществляющая непрерывный прием и математическую обработку данных с компьютеров сбора данных PC1 и PC2 в реальном масштабе времени. При максимальной частоте дискретизации сигналов 80 МГц ежесекундно с двух компьютеров сбора данных PC1 и PC2 по сети Ethernet в компьютер PC должны поступать $(2 \text{ антенны} \times 2 \text{ байта} \times 80 \cdot 10^6) = 320 \text{ Мбайт}$ оцифрованных данных. То есть нагрузка на сеть Ethernet составит 2,56 Гбит/с. Следовательно, сеть должна поддерживать скорость приема-передачи данных не менее 10 Гбит/с. При этом вычислительная мощность компьютера PC должна быть достаточной не только для приема, но и одновременного расчета не менее 8 значений функции кросс-корреляции в реальном масштабе времени. В случае недостаточной вычислительной мощности PC проблема решается распараллеливанием числа компьютеров обработки данных.

Современные WAN сети поддерживают до 1 Гбит/с. С внедрением технология 5G пропускную способность достигнет 10 Гбит/с и станет возможным практическая реализация разрабатываемой системы сбора данных с удаленным размещением гравитационных антенн.

В настоящее время система сбора данных может быть протестирована в локальной сети. Функциональная схема реализации такой системы представлена на рис. 3. Здесь для организации локальной сети с пропускной способностью 10 Гбит/с на каждом из компьютеров PC, PC1 и PC2 должен быть Ethernet порт 10 Гбит/с, например, сетевая плата TP-Link TX401 (интерфейс PCI-E x4, скорость 10 Гбит/с, 1 разъем RJ-45). Связь компьютеров в локальной сети может осуществляться как по витой паре cat.6, так и по оптоволоконному кабелю через коммутатор, например QNAP QSW-1208-8C.

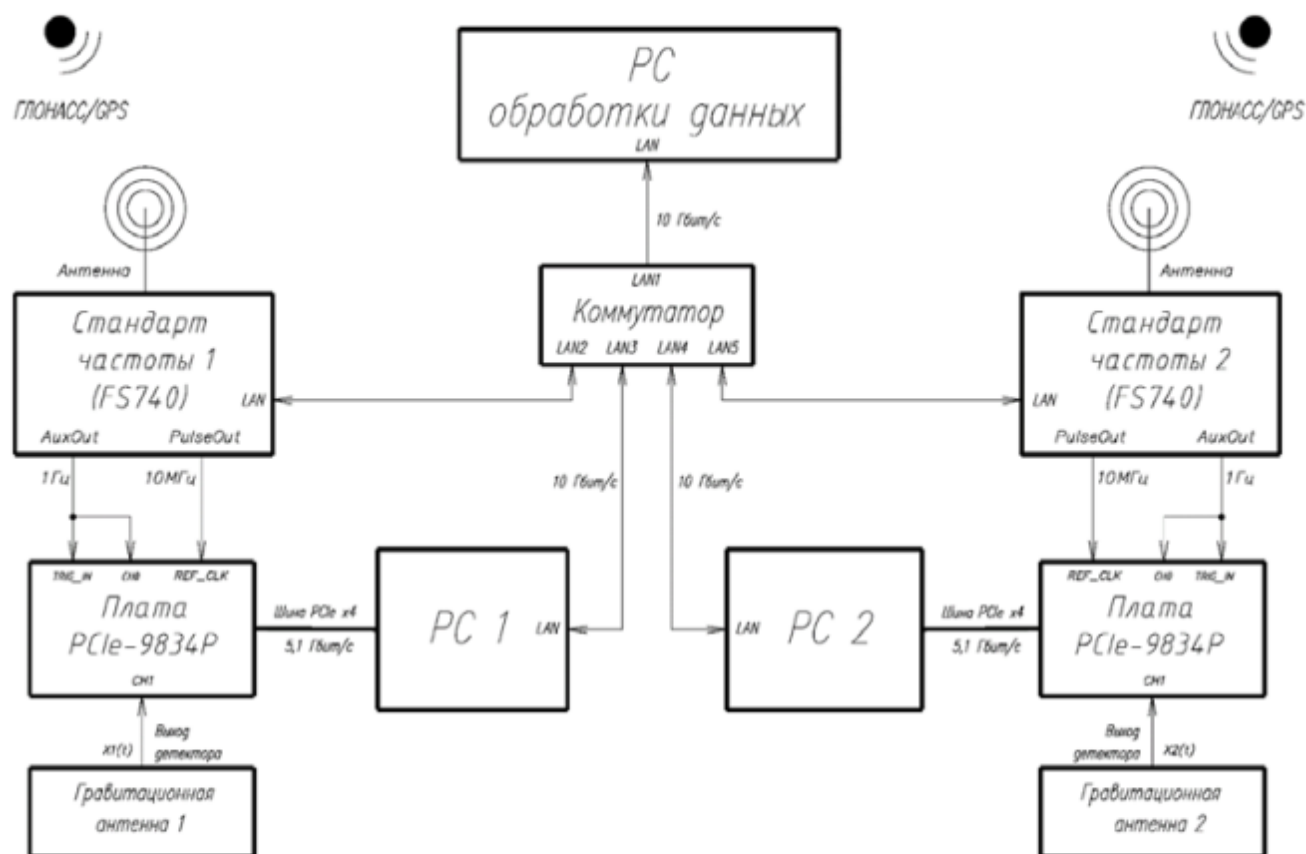


Рис. 3. Функциональная схема локальной системы сбора данных гравитационных антенн с использованием плат PCIe-9834P и стандарта частоты FS740

Программно-аппаратная реализация локальной системы сбора данных (см. рис. 3) позволит отработать технологию регистрации и обработки данных двух гравитационных антенн в лабораторных условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 19-29-11015мк.

Литература

- [1] Maggiore M. Gravitational wave experiments and early universe cosmology. Phys Rept, 2000, vol. 331, art. 283. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(99\)00102-7](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(99)00102-7)
- [2] Sahni V., Sami M., Souradeep T. Relic gravity waves from brane world inflation. Phys Rev. D, 2002, vol. 65, art. 023518. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.65.023518>
- [3] Морозов А.Н., Назолин А.Л. Динамические системы с флуктуирующим временем. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001, 200 с.
- [4] Амальди Э., Пицелла Г. Поиск гравитационных волн. Астрофизика, кванты и теория относительности. Москва, Мир, 1982, с. 241–396.