

УДК 629.78:351.814.3

Евчик В. Е., Ушаков Д. В., Спиридонов А. А., Баранова В. С., Саечников В. А.

СТАНЦИИ ПРИЕМА ТЕЛЕМЕТРИИ С ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДЛЯ ЭКСПРЕСС АНАЛИЗА ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАНО- И ПИКО- СПУТНИКОВ

Белорусский Государственный Университет, Минск, Беларусь

На данный момент на орбите Земли находится ~1190 действующих спутников, включая аппараты класса CubeSat [1]. Орбитальные параметры большинства из активных нано- и пико-спутников каталогизированы в общедоступных базах данных, что позволяет наземным станциям, находящимся в различных точках мира, принимать телеметрическую информацию. Обычно для новых спутников орбитальные параметры в общих базах данных появляются с задержкой в несколько дней, а некоторых случаях недель [2]. Одной из основных проблем, вызывающие эти задержки является сложности в быстром обнаружении и измерении орбитальных параметров спутников на орбите Земли.

Существующие станции приема для нано- и пико- спутников имеют аппаратные ограничения не позволяющие проводить анализ орбитальных параметров, либо слишком дорогие для воспроизведения в большом количестве для создания сети [3, 4]. Целью исследования являлось разработка прототипа наземной станции приема телеметрии и экспресс анализа орбитальных параметров нано- и пико- спутников с использованием точных временных меток и возможностями сети наземных станций. Задачами исследования являлись изучение методов обнаружения, измерения орбитальных параметров и способов временной синхронизации оборудования станций с последующим созданием прототипа.

Разработаны функциональные блок схемы для аппаратной и программной части станции приема телеметрии. Функциональная схема аппаратной части делится на 3 блока: блок приема (GNSS приёмник и часть станции, находящаяся на мачте антенны, позволяющие захватывать сигнал пролетающего нано- или пико- спутника и изменяющие характеристики антенной системы (поляризация антенны, углы поворота и тд.)); блок управления (аппаратная часть, управляющая отдельными приборами блока приёма такие как контроллеры поворотного устройства, переключатели поляризации, а так же дополнительные фильтры и усилители, стоящие на выходе с антенно-фидерного устройства); блок обработки сигнала (аппаратная часть устройств, предназначенных для оцифровки, декодирования и анализа параметров полученного сигнала в совокупности с аппаратной частью устройств точного выставления меток времени с использованием GNSS приёмника).

Программное обеспечение такой станции включает все необходимое для приема и обработки сигнала программное обеспечение, с важным критерием, что оно находится в свободном доступе для последующего лёгкого развёртывания сети из нескольких подобных станций. Программное обеспечение включает в себя: программу прогнозирования, вычисляющую с помощью входных орбитальных параметров местоположения спутника в необходимый момент времени или же в реальном времени для осуществления дальнейшего контроля параметров блока приема; программное обеспечение, необходимое для управления элементами аппаратной части, частоты приема, углов поворота и пр.; программное обеспечение для обработки принятого сигнала и выставления точных меток времени принятых пакетов телеметрии с использованием GNSS сигналов; базу данных для хранения данных и каталогизации принятых спутников.

На рисунках 1а,б продемонстрирован прототип станции приема и измерения орбитальных параметров нано- и пико- спутников. Данная станция позволяет принимать сигналы низкоорбитальных нано- и пико- спутников на радиолучительских частотах в диапазоне от 430МГц до 440МГц. Отличительной чертой для разработанной станции стало устройство обработки сигнала, включённое в блок обработки, показанный на рисунке 2, и собственная база

данных для хранения данных и каталогизации спутников. Устройство обработки сигнала, кроме основного сигнала с антенной установки, получает дополнительные данные с GNSS приёмника временной синхронизации. Дополнительные данные позволяют постоянно, с периодичностью в 1 секунду, подстраивать встроенные часы реального времени устройства с точностью до 150нс для последующего выставления точных меток времени принятого сигнала для его обработки и вычисления орбитальных параметров принятого спутника [5].



а – аппаратная часть блоков управления и обработки

б – аппаратная часть, включённая в блок приема

Рисунок 1 – Прототип станции приема и измерения орбитальных параметров нано- и пико- спутников

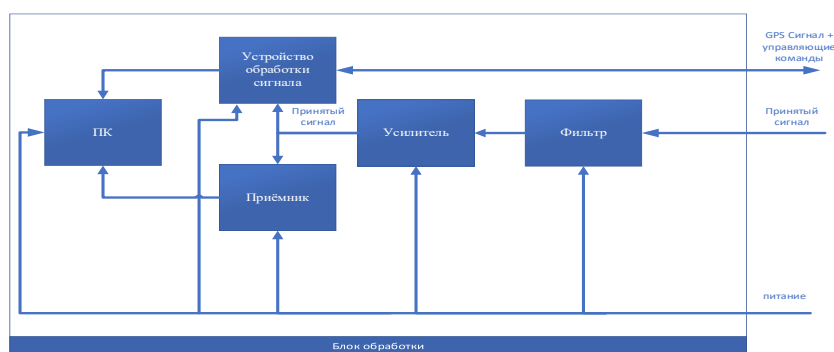


Рисунок 2 – Функциональная схема блока обработки

Результатами проведённой работы стал рабочий прототип станции приема и экспресс анализа орбитальных параметров нано- и пико- спутников с узкой диаграммой направленности антенной установки и высоким отношением сигнал/шум с дополнительной фильтрацией по принимаемым частотам и GNSS приёмником синхронизации для точных временных меток. Успешно проведены тесты приема сигнала с низкоорбитальных университетских нано- и пико- спутников на частоте приема 430-440МГц. Принятые данные и измеренные параметры сигнала накапливаются в собственной базе данных для последующей обработки и качественной оценки работы алгоритмов измерения орбитальных параметров нано- и пико- спутников.

Список литературы

1. Kulu E. "Nanosatellite Launch Forecasts - Track Record and Latest Prediction" 36th Annual Small Satellite Conference, Utah State University, Logan, UT, 2022, 17p.
2. Pavel K., Puričar P., and Kovářová K. "Study of the Two-Line Element Accuracy by 1U CubeSat with a GPS Receiver" Sensors 22, no. 8: 2902. <https://doi.org/10.3390/s22082902>
3. Shkelzen Cakaj, "Ground Station Design and Analysis for LEO Satellites: Analytical, Experimental and Simulation Approach" The IEEE, Inc, 2023, 240p. ISBN: 9781119899280
4. Evchik, V. E. Spiridonov, A. A. Ushakov, D. V. "Development of Engineering Models of Nanosatellites for Student Training", Devices and Methods of Measurements (E-Journal), 2022, p 172-179. <http://doi.org/10.21122/2220-9506-2022-13-3-172-179>
5. Spiridonov A., Saetchnikov V., Ushakov D. "Small Satellite Orbit Determination Methods Based on the Doppler Measurements by Belarusian State University Ground Station". IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems, vol. 2, no. 2, pp. 59-66, June 2021 <http://doi.org/10.1109/JMASS.2020.3047456>