



УДК 681.518.3

© *И. Н. Бурдинский, Ф. В. Безручко, А. С. Миронов, 2010*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ OEM GPS-МОДУЛЕЙ В СИСТЕМАХ ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Бурдинский И. Н. – канд. тех. наук, доц. кафедры «Вычислительная техника», тел. (4212) 22-43-56, e-mail: igor_burdinsky@mail.ru; *Безручко Ф. В.* – асп. кафедры «Вычислительная техника», e-mail: FBezruchko@mail.khstu.ru; *Миронов А. С.* – ст. преп. кафедры «Вычислительная техника», e-mail: AMironov@mail.khstu.ru (ТОГУ)

В работе представлен обзор основных параметров популярных встраиваемых модулей GPS-приемников. На базе модели Lassen iQ экспериментально исследованы возможности коммерческих GPS-приемников для применения в информационно-измерительных и управляющих системах в качестве источников временной синхронизации. Выявлены особенности функционирования модулей, увеличивающие инструментальную ошибку системы синхронизации.

In this paper we give an overview of widespread commercial GPS-receivers. We studied the capabilities of the embedded GPS modules for the usage as a temporal synchronization unit in an informational /control system. A Lassen iQ GPS-module was used as a testing platform. The peculiarities of GPS-receivers which increase instrumental error are explored.

Ключевые слова: GPS, PPS, синхронизация.

Системы GPS-тайминга и временной синхронизации приобретают все более широкое распространение в системах управления и контроля разнесенными объектами. Так как часы GPS-приемника с высокой точностью синхронизированы с часами спутников GPS после первого местоопределения, при этом шкала времени системы GPS соотнесена со шкалой универсального координированного времени (UTC – *Universal Time, Coordinated*), то GPS-приемник можно использовать как источник высокоточной синхронизационной информации в любой точке Земли. Это простое и недорогое решение позволяет синхронизировать процессы измерений и поддерживать единое время в пространственно разнесенных системах, например, в системах позиционирования [1].

Встраиваемые GPS-модули – это устройства, содержащие навигационный процессор с портами ввода / вывода для управления, диагностики, выдачи навигационной и временной информации по стандартным протоколам, таким как NMEA. Эти модули предназначены для установки в качестве дочерних плат на основные платы устройств и рассчитаны на использование внешнего питания и непосредственное соединение с портами ведущего контроллера без дополнительного преобразования RS232-TTL. Одним из отличий дорогих специализированных GPS-систем временной синхронизации является режим *предопределенного времени*, позволяющий получать временную информацию при наличии только одного видимого космического аппарата [2].

В данной работе исследование проводилось с целью определения возможности применения коммерческих (ОЕМ) модулей GPS-приемников в условиях ограниченной группировки навигационных спутников для относительной синхронизации оборудования информационно-измерительных и управляющих систем и оценки точности такого метода синхронизации.

В табл. 1 приведены параметры точности формирования сигнала PPS (*Pulse Per Second*) относительно секунды UTC (δ_{PPS}) и массогабаритные показатели для наиболее популярных OEM GPS-модулей различных производителей, взятые из технических паспортов.

Таблица 1
Параметры встраиваемых OEM GPS-модулей

Тип	Производитель	Число каналов	δ_{PPS} (нс)	Габариты (мм); масса (г)
Lassen iQ	Trimble [3]	12	50	26.00×26.00×6.00; 6.5
A1029	Тусо [4]	12	90	22.0×28.0×3.2; 2.0
МНП-М5(7)	ОАО ИПЗ [5]	24	100	31.0×40.0×4.0; 7.0
A12/B12	Thales [6]	12	250	40.0×61.0×15.0; 45.4
Jupiter 21	Navman [7]	12	300	40.6×71.1×11.5; 25.0
M12	Motorola [8]	12	500	40.0×60.0×10.0; 25.0
GPS-15H(L)	Garmin [9]	12	1000	35.56×45.85×8.31; 15.0
ET-332	Globalsat [10]	20	1000	35.0×40.5×10.0; -



В эксперименте применялись коммерческие модули GPS-приемников Lassen iQ с компактными внешними антеннами от того же производителя (рис. 1 и 2).

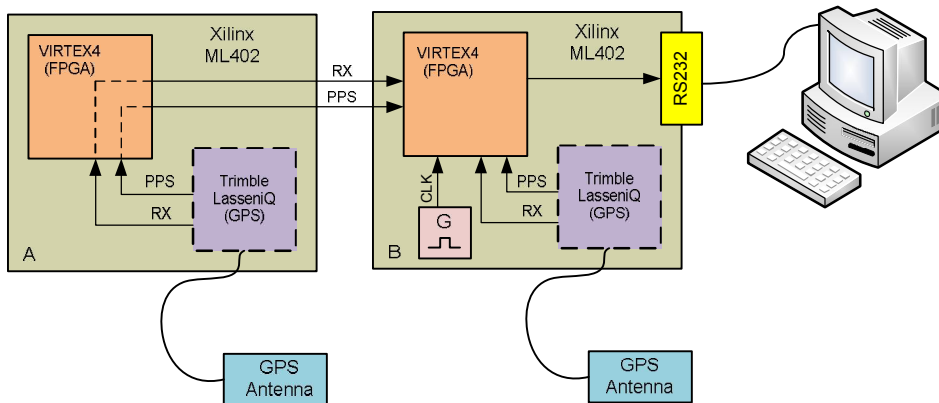


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

GPS-приемники, установленные на мезонинных платах, были подключены к отладочным стандам ML-402 компании Xilinx, основными элементами которых являются программируемая матрица FPGA Virtex4 XC4VSX35 и стандартный кварцевый генератор Epson SG-531 с частотой 100 МГц.

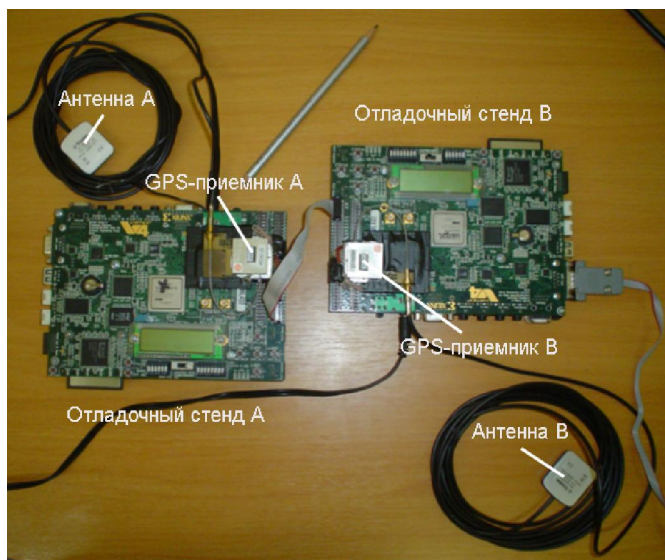


Рис. 2. Внешний вид экспериментальной установки

На стенде «А» сигнальные линии RX и PPS GPS-модуля посредством внутренней логики матрицы FPGA скоммутированы на штыревые разъемы. При помощи гибкого шлейфа эти линии подключены к аналогичным штыревым разъемам стенда «В» и, далее, к выводам матрицы FPGA, на которую по сигнальным линиям RX и PPS поступает информация со второго GPS-модуля. На матрице FPGA реализован счетчик числа тактов рабочей частоты матрицы CLK_{FPGA} , которыми заполняется интервал времени между приходом фронтов сигналов PPS с обоих GPS-модулей. По линиям RX на эту же матрицу поступает информация о состоянии приемников сигналов GPS – текущие координаты, время UTC, количество регистрируемых спутников группировки GPS. Все эти данные подвергаются предварительной обработке, и по интерфейсу RS232 передаются для регистрации и последующей статистической обработки на персональный компьютер.

Временем рассинхронизации Δt будем называть разницу прихода фронтов сигналов PPS с первого и второго GPS-приемников (рис. 3). Генератор Epson SG-531 согласно техническому паспорту [11] обеспечивает точность формирования опорной частоты 100×10^{-6} . Опорная частота с этого генератора может быть умножена блоком DCM микросхемы Virtex4 до 500 МГц [12]. Задержка распространения сигнала PPS между выводами микросхемы матрицы FPGA (4.38 нс) регламентируется заводом-изготовителем и компенсируется схмотехническими средствами. Таким образом, максимальная абсолютная ошибка определения времени Δt не будет превышать 5 нс.

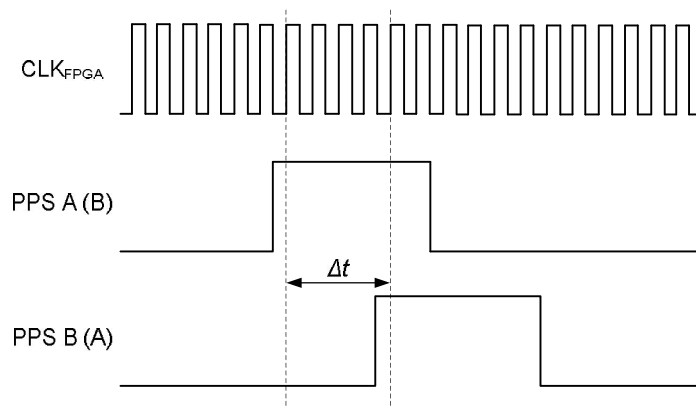


Рис. 3. Принцип измерения времени рассинхронизации

В ходе эксперимента GPS-приемниками регистрировались различные комбинации спутников. Из этих комбинаций для последующей обработки были выбраны лишь те, для которых суммарное число зафиксированных импульсов сигналов PPS (число опытов n) было не меньше некоторого расчетного значения. Минимальное число опытов n для каждой комбинации спутников рассчитывалось на основе теоремы Муавра-Лапласа, которая позволяет



оценить близость частоты событий p и вероятности P в схеме Бернулли [13]. Если число успешных испытаний обозначить как k , а общее число испытаний n , тогда доверительную вероятность Q , т.е. вероятность того, что частота событий $p = \frac{k}{n}$ отклонится от вероятности P не более чем на значение доверительного интервала ε , можно оценить по формуле:

$$Q\left(\left|\frac{k}{n} - P\right| \leq \varepsilon\right) = Q\left(-\varepsilon\sqrt{\frac{n}{pq}} \leq \frac{k - np}{\sqrt{npq}} \leq \varepsilon\sqrt{\frac{n}{pq}}\right) \approx \\ \approx F\left(\varepsilon\sqrt{\frac{n}{pq}}\right) - F\left(-\varepsilon\sqrt{\frac{n}{pq}}\right) = 2F\left(\varepsilon\sqrt{\frac{n}{pq}}\right),$$

где $q = 1 - p$, $F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – функция Лапласа.

Успехом в испытании было принято попадание значения Δt в заявленный интервал ± 50 нс. Для доверительной вероятности $Q = 0.9$, частоты $p = 0.5$ (наихудший случай в данном способе оценки требуемого количества опытов) и доверительного интервала $\varepsilon = 0.05$, число опытов $n_{min} \approx 270$.

Общее время сбора данных для анализа, когда оба GPS-приемника выдавали навигационные данные, составило порядка четырех часов (более 14000 измерений). Если на приемнике стенда «А» фиксировалось j спутников, а на приемнике стенда «В» – k , тогда, при условии, что $i \leq k$, регистрировалась комбинация $\{j, k\}$, в противном случае, регистрировалась комбинация $\{k, j\}$. Число опытов n для фиксированных комбинаций спутников колебалось в диапазоне от 11 (комбинация $\{7, 8\}$) до 2791 (комбинация $\{5, 5\}$).

С учетом введенных выше ограничений для выбранных комбинаций спутников была построена диаграмма распределения вероятности попадания в фиксированный интервал Δt (рис. 4).

На оси Δt отложены интервалы разницы прихода фронтов импульсов PPS. По другой горизонтальной оси представлены данные о количестве (комбинации) спутников, которые фиксировали GPS-приемники. Вертикальная ось отражает процентное соотношение числа попаданий в определенный интервал Δt от общего числа опытов с зафиксированным количеством спутников. Например, при спутниковой комбинации $\{6, 7\}$ примерно в 65 % всех случаев время рассинхронизации попало в интервал от 0 до 50 нс. Еще в 15 % случаев разница прихода импульсов PPS составила от 50 нс до 100 нс. Примерно по 5 % было зарегистрировано в интервалах от 100 нс до 150 нс и от 200 нс до 250 нс.

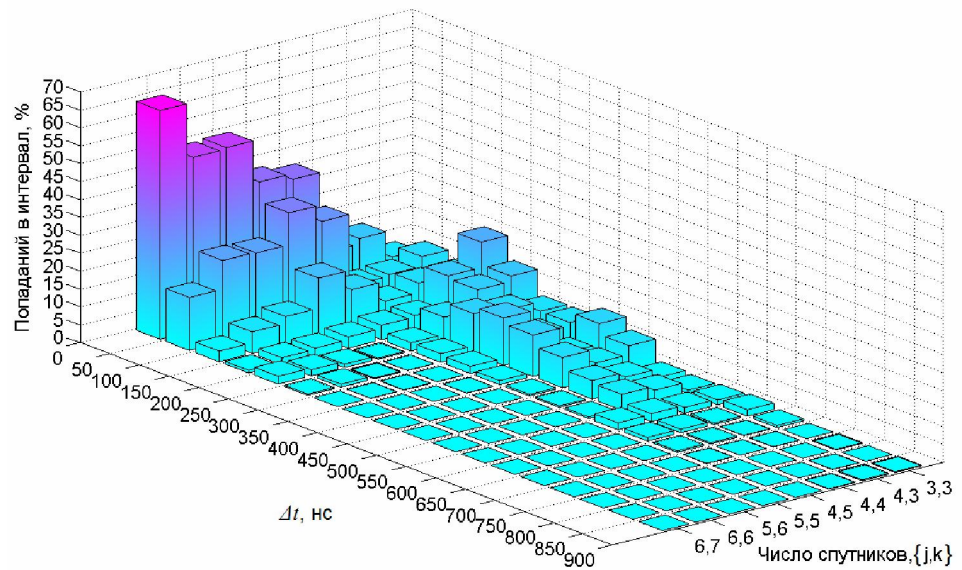


Рис. 4. Диаграмма распределения вероятности попадания различных комбинаций спутников в фиксированный интервал Δt

На рис. 5 изображен срез диаграммы для разницы прихода импульсов PPS, лежащей в диапазоне от 0 до 100 нс.

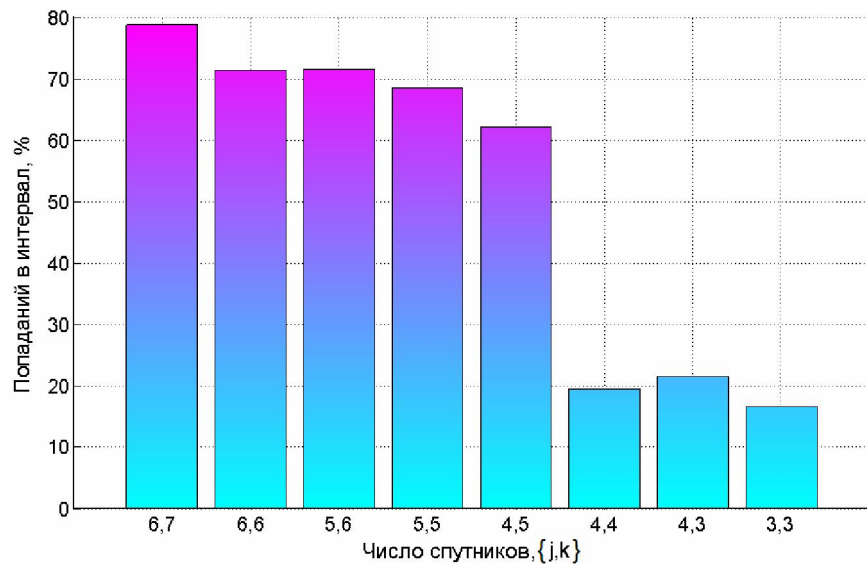


Рис. 5. Диаграмма распределения вероятности попадания различных комбинаций спутников в диапазон от 0 до 100 нс



В табл. 2 представлены вычисленные на основе данных эксперимента математическое ожидание $M(\Delta t)$, среднеквадратическое отклонение $\sigma(\Delta t)$ и максимальное значение Δt_{max} времени рассинхронизации для различных комбинаций спутников.

Таблица 2
Результаты статистической обработки данных эксперимента

Комбинация спутников	6,7	6,6	5,6	5,5	4,5	4,4	3,4	3,3
n	281	1932	2071	2791	1294	2722	1407	497
$M(\Delta t)$, нс	44	55	58	76	122	338	275	315
$\sigma(\Delta t)$, нс	10	11	10	10	30	43	44	46
Δt_{max} , нс	304	310	316	378	966	992	994	988

При анализе экспериментальных данных были обнаружены моменты времени, когда происходила рассинхронизация двух приемников, превышающая 2 мкс. Подобные провалы возникали лишь в пределах одного такта сигнала PPS – по приходу очередного импульса синхронность восстанавливалась в пределах фиксируемых средних значений. При обработке данных эти случаи не учитывались (отбрасывались), как выходящие за рамки условий стабильного приема устройствами GPS. Провалы синхронизации наблюдались при всех зафиксированных комбинациях спутников и составили величину порядка 0.6 % от общего числа опытов. Выявить какую-либо зависимость частоты таких событий от числа регистрируемых спутников модулями GPS-приемников не удалось.

Таким образом, при применении встраиваемых OEM модулей GPS-приемников для синхронизации разнесенных информационно-измерительных и управляющих систем, необходимо учитывать следующие рекомендации:

1. Предварительно следует оценить точность формирования сигнала PPS, исходя из условий приема при эксплуатации данных модулей и, если необходимо, фиксировать количество регистрируемых навигационных спутников;
2. Чтобы уменьшить инструментальную ошибку, связанную с выявленными провалами синхронизации, рекомендуется использовать фильтр резких возмущений в потоке импульсов PPS [14].

Исследования проводились при поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 гг.)» в рамках проекта № 2620ВШ. Полученные результаты были использованы при разработке системы синхронизации макетного образца приемопередающего оборудования информационно-измерительной системы подводного робота.



Библиографические ссылки

1. *Бурдинский И. Н.* Принципы функционирования и источники ошибок гидроакустических систем позиционирования // И. Н. Бурдинский. – Вестник ТОГУ, 2009. № 3.
2. *Адамович А.* Модули GPS. Принцип действия, классификация и технические возможности // А. Адамович. – Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2004. № 3.
3. *Lassen iQ GPS Module. System Designer Reference Manual* [Electronic resource]. // Trimble Navigation Limited, 2007.
4. *GPS Dead Reckoning Firmware A1029's & A1030-A* [Electronic resource] // Tyco Electronics Corp., 2006.
5. *Навигационный приемник ГЛОНАСС/GPS МНП-М5(7). Технические характеристики* [Electronic resource] // ОАО «Ижевский радиозавод», 2009.
6. *Thales A12 Receiver. User's Manual* [Electronic resource] // Thales Navigation Inc., 2005.
7. *GPS Receiver module Jupiter 21. Product specifications* [Electronic resource] // Navman LZ Ltd., 2005.
8. *Motorola Oncore GPS receiver. M12 Module* [Electronic resource] // Motorola Inc., 1999.
9. *Garmin GPS-15H & 15L Technical Specifications* [Electronic resource] // Garmin International Inc., 2006.
10. *Модуль GPS приемника Globalsat ET-332* [Electronic resource] // Globalsat Technology Corp., 2006.
11. *Crystal Oscillator SG-615 series, SG-531/SG-51 series* [Electronic resource] // Epson Toyocom, 2008.
12. *DS-302 Virtex-4 FPGA: DC and Switching Characteristics* [Electronic resource] // Xilinx Inc., 2009.
13. *Справочник по математике для научных работников и инженеров* / Г. Корн, Т. Корн. / пер. с англ. И. Г. Арамановича, А. М. Березмана, И. А. Вайнштейна и др. – под ред. И. Г. Арамановича. – М., 1970.
14. *Чулков И.* Устройство синхронизации астрономического телескопа от приемника GPS // И. Чулков, М. Бунтов. – Схемотехника, 2001. № 10.