



УДК 621.396

А. Г. Арзуманян, О. Ж. Севоян, О. А. Гомцян
Национальный политехнический университет Армении

Синхронная система обработки и передачи данных с привязкой к шкале единого мирового времени

Исследованы методы высокоскоростной обработки и передачи данных систем, работающих с большим количеством аналоговых и цифровых датчиков. Для обеспечения непрерывной синхронной работы системы в качестве тактового генератора использованы часы реального времени (real time clock – RTC). RTC калибруется с использованием сигнала GPS для привязки к единому мировому времени. В целях снижения потребляемой мощности включение датчиков происходит только в моменты опроса и управляется RTC.

Обработка и передача данных, синхронизация, часы реального времени, калибровка, программно-определяемая радиосистема, GPS, спутник

Цифровые системы сбора информации от различных источников, ее обработки и хранения, как правило, синхронизируются тактовым генератором, что обеспечивает длительную автоматизированную работу без вмешательства оператора. В подобных автоматизированных станциях в качестве задачика временной шкалы широко используют часы реального времени (real time clock – RTC) [1]. Однако в связи с конечной стабильностью частоты задачика автоматизированные станции после длительного периода работы теряют работоспособность из-за расхождения внутренней временной шкалы и единого мирового времени. Указанная проблема может быть решена периодической корректировкой состояния RTC по более высокостабильному источнику сигналов времени. Одним из них является система точного времени GPS/ГЛОНАСС [2]. Сигналы данной системы передаются в сообщениях спутников. Для калибровки RTC должен быть оснащен калибровочными регистрами, в которые заносится информация при каждом сеансе связи со спутниками.

Второй функцией, обеспечиваемой высокоточной привязкой систем обработки информации к шкале реального времени, является передача информации по сложным, в частности спутниковым каналам. Как известно, сеансы связи со спутниками проводятся в короткие промежутки времени (до 500 мс), в которых в относительно широкой полосе частот передается большой объем инфор-

мации. Описанная передача обеспечивается широкополосными передатчиками и сложными видами модуляции. При этом сигналы GPS/ГЛОНАСС можно использовать для калибровки времени в передающих устройствах, а применение ПЛИС дает возможность обеспечить обработку данных в реальном времени с помощью программных средств. Такая обработка позволяет перейти к реализации концепции программно-определяемых радиосистем (software defined radio – SDR), обеспечивающих построение гибких и перестраиваемых систем связи [3]. Поскольку спутники работают в разных частотных диапазонах и с разными типами модуляции, SDR-системы позволяют изменять функциональность приемопередатчиков заменой лишь программного обеспечения без изменений самого оборудования [4].

Наконец, высокоточная временная привязка позволяет сократить мощность, потребляемую системой приема и обработки информации от многочисленных разнотипных датчиков. В существующих системах датчики работают непрерывно, хотя опрашиваются центральным процессором последовательно. При этом принимающие устройства постоянно потребляют полную мощность, вне зависимости от того, идет ли опрос в данный момент времени или нет, в результате чего подобные системы требуют существенных энергетических затрат. Применение схемы, обеспечивающей включение каждого датчика только на

время опроса и отключение после его завершения, значительно уменьшает потребляемую мощность.

Цель работ, описанных в настоящей статье, – разработать и реализовать систему регистрации и хранения данных, получаемых от большого количества аналоговых и цифровых датчиков, с наименьшей потребляемой мощностью, а также передачу данных на спутники с высокоточной временной привязкой.

Системы регистрации данных. В системах регистрации данных в реальном времени и их хранения необходима высокоточная временная привязка к шкалам, задаваемым системами, работающими с атомными часами (системы GPS, ГЛОНАСС, GALILEO и т. д.). При этом системы получают возможность измерения данных и их регистрации для дальнейшего анализа или передачи в центр сбора данных. Среди подобных систем известны системы типа Data Logger [5], в которых центром сбора данных являются спутники. Поскольку сеансы связи со спутниками имеют малую продолжительность в фиксированные заранее моменты времени, одной из наиболее актуальных проблем является передача измеренных данных на спутники в указанные сеансы связи. Для этого может использоваться RTC с GPS и синхронизацией по времени, но из-за конечной стабильности временной шкалы RTC с течением времени эта синхронизация может быть нарушена [6]. Использование в целях синхронизации спутниковых систем навигации нерационально, поскольку они потребляют больше мощности, чем RTC, а также из-за возможных некорректных измерений, вызываемых сменой видимой спутниковой группировки.

Для ликвидации отмеченных недостатков в разрабатываемой системе предложено использовать RTC с периодической калибровкой по сигналам мирового времени, присутствующим в спутниковых сообщениях. Для этого RTC снабжен калибровочными регистрами, в которые заносятся опорные значения, полученные в результате калибровки. RTC синхронизируются раз в день по сигналам GPS/ГЛОНАСС и раз в месяц калибруются с помощью спутникового сигнала PPS (pulse per second), имеющего период 1 с [7].

Калибровка RTC с точностью до 1 мс является одной из функций, примененной в системе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) (рис. 1). Из рисунка видно, что ПЛИС получает сигналы даты и времени от GPS через COM-порт и после обработки данных передает настроечные данные на RTC по протоколу I2C. Для синхронизации RTC с GPS настроечные дан-



Рис. 1

ные записываются в RTC используя фронты сигнала PPS. Используется I2C с тактом 400 кГц, для чего рассчитывается задержка записи значений в регистры RTC, в результате чего запись начинается по фронту импульса PPS и заканчивается по фронту следующего импульса. Также, используя фронты PPS, можно рассчитать количество тактов RTC и записать калибровочное значение для фиксации расхождения временных шкал.

Расчет значения калибровки выполняется по формуле

$$N = \frac{(k/f)(F_{\Sigma}/N_{PPS}) - k}{2}, \quad (1)$$

где $k = 1\,000\,000$ ppm (pulse per million) – константа, задающая точность калибровки RTC; $f = 2^n$ Гц – частота тактового генератора ($n = 1, 2, \dots$); F_{Σ} – максимально возможное значение тактов калибровки, определяемое частотой задающего генератора системы и интервалом между последовательными калибровками; N_{PPS} – количество PPS-импульсов во время калибровки.

Рассчитанное по (1) значение показывает временное отклонение тактового сигнала RTC в количестве импульсов с периодом 1 мкс.

Управление включением датчиков для уменьшения потребляемой в системе мощности. В описываемой системе принимающие устройства имеют ряд входов для подключения датчиков разных видов. В аналогичных системах сбора данных эти датчики непрерывно опрашиваются центральным процессором, в результате чего система требует значительного расхода мощности (1...2 Вт). Применение управления включением приемных устройств с помощью RTC лишь в необходимые моменты времени с одновременной регистрацией измеряемых величин и с организацией обмена данными между всеми устройствами внутри системы по высокоскоростной общей шине передачи данных с прямым доступом к памяти (DMA) позволило уменьшить потребляемую мощность системы принимающих устройств на порядок [8]. Поскольку RTC системы калиброван с помощью сигнала PPS и его показания времени

и даты синхронизированы с мировой шкалой времени по сигналам GPS, тактовый сигнал RTC можно использовать для включения и выключения датчиков в заранее определенные моменты времени опроса данных.

Программное управление системой организовано с помощью центрального процессора – высокоскоростного процессора ARM (процессор с сокращенным набором команд – acorn reduced instruction set computing machine).

Структурная схема управления принимающими устройствами приведена на рис. 2. Принимающие устройства (блок "Датчики") через устройства приема и обработки имеют прямую связь с памятью и с процессором по общей шине и работают по запросу центрального процессора. Процессор определяет моменты регистрации данных, подсчитывая следующие с периодом 1 мс тактовые импульсы, поступающие от RTC. Вне этих моментов принимающие устройства находятся в "спящем" режиме и потребляют минимальную мощность.

Описанное программное управление позволило реализовать систему считывания и хранения данных датчиков с существенно сниженной (до 25 мВт) потребляемой мощностью.

SDR-система с использованием RTC для передачи измеряемых данных на спутники. Как известно [9], в SDR-системах обработка данных осуществляется быстродействующими процессорами под управлением разработанных внешними программными средствами и записанных в процессоры алгоритмов. Применение в качестве процессоров ПЛИС, логика работы кото-

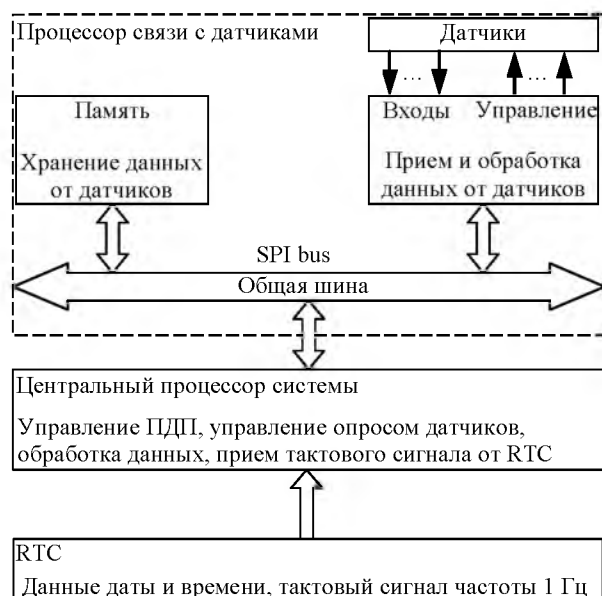


Рис. 2

рых задается посредством программирования, позволяет реализовать концепцию программно-определяемых радиосистем (SDR).

В состав описываемой системы обработки и передачи данных включен управляемый RTC SDR-передатчик для обеспечения передачи измеряемых данных на спутники во время заранее определенных сеансов связи малой продолжительности.

Задачей RTC при управлении передатчиком является его включение в установленные сеансы связи на основании данных мировой шкалы времени, зафиксированной в результате синхронизации по сигналам GPS.

Структурная схема разработанной системы с программно-управляемыми приемом данных и их передачей на спутник показана на рис. 3. Включение и отключение передатчика SDR-системы осуществляется сигналом управления передачей с выхода RTC. Время включения определяется программой после каждой передачи данных. После включения передающего блока ПЛИС считывает данные, полученные от датчиков с помощью принимающих устройств и хранящихся в устройстве памяти, осуществляет формирование, кодирование и модуляцию сигнала, после чего конфигурирует настроечные значения в регистрах ЦАП с преобразователем частоты и синтезатора частот для получения информационного и гетеродинного сигналов. Для интерполяции и фильтрации сигнала использована программа "FIR Compiler" [10], занесенная в ПЛИС. С помощью смесителя получается программно-определяемый СВЧ-сигнал, который после фильтрации и внешнего усиления передается на спутники [11].

При программном определении моментов включения передатчика учитываются задержки для формирования выходного сигнала (после интерполяции и фильтрации), для чего контрольное время в регистрах RTC устанавливается за 10 с до начала передачи, установленного синхронизацией по сигналам GPS.

Экспериментальные исследования разработанной системы показали, что отключение передающего блока во время нерабочего интервала времени с помощью RTC, использование ПЛИС для высокоскоростной обработки данных и настройки цифроаналогового преобразователя и синтезатора частот, а также программное управление опросом датчиков позволяют уменьшить потребляемую мощность передатчика в 2–3 раза и обеспечить передачу данных в ограниченные по времени сеансы связи.

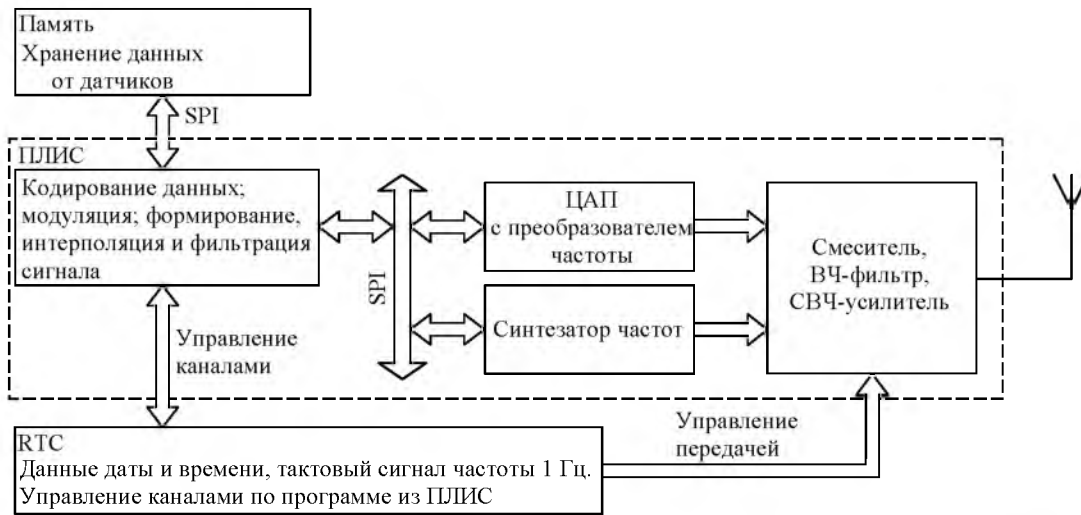


Рис. 3

Тестирование разработанной системы. Разработка предложенной системы с использованием RTC и SDR-передатчика реализована с помощью программных средств LabVIEW и C++. Проведено сравнение параметров разработанной системы с параметрами аналогичных доступных систем JDCP-770A (Корея) и ERM-AWS (Индия). Оборудование (рис. 4) [12] тестировалось в индийской лаборатории ISRO (Indian space research organization); данные передавались на спутник INSAT C3 [13].

Функции установки временных интервалов передачи данных на спутник, опроса принимающих устройств от ЦПУ, настройки регистров ЦАП с преобразователем частоты и синтезатора частот, калибровки RTC с помощью системы GPS, включения GPS для синхронизации системного времени (один раз в день), отслеживания контрольного сигнала передачи данных, обработки данных, формирования и модуляции, а также интерполяции и фильтрации сигнала реализованы устройством sbRIO-9606, в котором использован ПЛИС Spartan-6 LX45 [14] (1, рис. 4). ARM-процессор системы реализован на микросхеме ATSAM4SD32CA-AU 2, тактовый генератор и счетчик интервалов времени – на микросхеме M41T62Q6F 3. Система оснащена пятью приемниками ADUC7060BCPZ32 для организации 24 аналоговых входов 4 и приемником ATSAM3S1AA для организации восьми цифровых входов данных 5. Хранение данных обеспечивается четырьмя устройствами памяти 23LC1024-I/SN 6. Синхронизация по сигналам GPS выполняется устройством SIM68 7. Подсистема передачи данных включает высокочастотный цифроаналоговый преобразователь AD9957 8, синтезатор частот ADF4360-0BCPZ 9 для формирования сигнала гетеродина, смеситель MAMX-007238-CM25MH

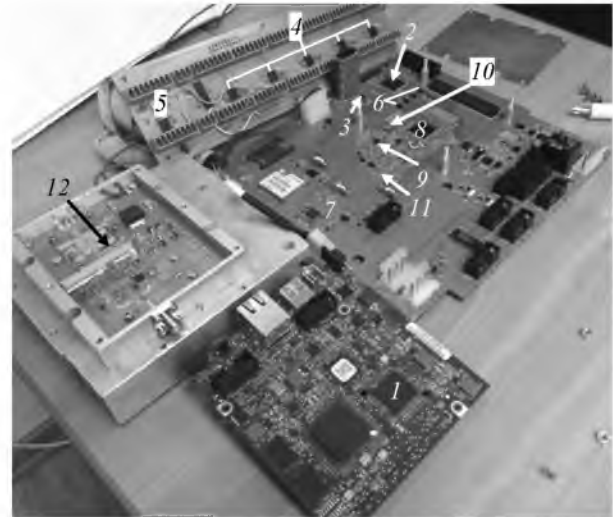


Рис. 4

10 – для переноса сигнала на частоту передачи, фильтр на поверхностных акустических волнах FAR-F6KY-2G6550-B4UN 11 – для фильтрации сигнала на высокой частоте и внешний усилитель на частоту 2.655 ГГц 12 – для усиления сигнала до 10 Вт.

В таблице приведены сравнительные данные потребляемой мощности, время обработки данных (полученных от датчиков), отклонение времени в день и типы возможных модуляций для передачи данных на спутники. Как видно из таблицы, предложенная система потребляет значительно меньшую мощность по сравнению с существующими системами, обрабатывает данные в 5 раз быстрее, системное время отклоняется до 100 мс в день, а обработка, кодирование и модуляция сигнала реализуются программным способом, что обеспечивает реконфигурацию системы при ориентации на работу с различными спутниками.

Предложенная система хранения данных в реальном времени со спутниковым передатчиком, основанная на использовании тактового генера-

Параметр	Устройство		
	Разработанная SDR-система	JDSP-770A	ERM-AWS
Потребляемая мощность, Вт	6	9	12
Время обработки данных	10 с	Более 1 мин	До 1 мин
Отклонение времени RTC в день, мс	До 100	До 500	Используется GPS
Тип модуляции	Программно-определяемый	Реализован для заданного спутника	

тора RTC для управления включением принимающих устройств от многочисленных датчиков и реализации программно-управляемой передающей части, а также с калибровкой временной шкалы по сигналам GPS обеспечивает стабильную работу и уменьшает потребляемую мощность системы в 2–3 раза по сравнению с существующими системами. Использование ПЛИС для высокоскоростной обработки данных, формирования модуляционного сигнала, а также настройки регистров высокочастотного ЦАП и синтезатора частот позволило реализовать передатчик на основе концепции SDR-систем, в кото-

ром реализована программная реконфигурация для работы с различными спутниками. Высокоскоростная обработка данных в ПЛИС, а также обеспечение высокоточного времени в системе с помощью RTC с синхронизированной системой GPS позволяют системе передавать данные на спутники в заранее установленные короткие промежутки времени. Разработанная система используется в автоматизированных метеостанциях Индии, а также может использоваться в других задачах, предусматривающих хранение данных, получаемых и обрабатываемых в реальном времени, и их беспроводную передачу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DP8573A Real Time Clock (RTC). National Semiconductor Corporation. Texas Instruments. SNAS561. URL: <http://pdf.radioaktiv.ru/ds/ti/snas561.pdf> (дата обращения 14.02.2016).
2. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Waskel E. GNSS – Global Navigation Satellite System. New York: Springer, 2008. 513 p.
3. Reconfigurable Software Defined Radio and Its Applications / Chi-Yuan Chen, Fan-Hsun Tseng, Kai-Di Chang et al. // Tamkang J. of Science and Engineering. 2010. Vol. 13, № 1. P. 29–38.
4. Calcutt D., Tetley L. Satellite communications: Principles & Applications. Burlington: Elsevier, 2004. 399 p.
5. Kumar A. V., Ratheesh M. P. Design and development of an Integrated Environmental Radiation Monitor – Automatic Weather Station (ERM-AWS) // BARC newsletter. 2014. May-June, № 338. P. 34–37.
6. Ramon M. C. Understanding Quartz Crystals and Oscillators. Boston: Artech House, 2014. 297 p.
7. Арзуманян А. Г. Регулирование тактового генератора в реальном времени (RTC) с помощью сигнала GPS в программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) // Вестн. НПУА: сб. науч. ст. / НПУА. Ереван, 2015. Ч. 1. С. 251–257.
8. Арзуманян А. Г. Обработка сигналов аналоговых и цифровых датчиков с помощью ARM процессора и с возможностью прямого доступа к памяти // Изв. Нац. Акад. наук Армении и Гос. инж. ун-та Армении. Сер. техн. наук. 2015. № 4. С. 472–480.
9. Maxfield Cl. FPGAs Instant Access. London: Elsevier, 2008. 216 p.
10. FPGA-based Implementation of signal processing systems / R. Woods, J. McAllister, G. Lightbody, Ying Yi. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2008. 382 p.
11. Арзуманян А. Г., Гомцян О. А., Севоян О. Ж. Реализация работы высокочастотного и цифро-аналогового преобразователей с помощью программируемой логической интегральной схемы // Вестн. НПУА "Информационные технологии, электроника, радиотехника". 2015. № 1. С. 106–113.
12. URL: <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-16505> (дата обращения 14.02.2016).
13. URL: <http://www.isro.gov.in> (дата обращения 14.02.2016).
14. URL: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/210003> (дата обращения 14.02.2016).

H. G. Arzumanyan, O. J. Sevoyan, H. A. Gomtsyan
National Polytechnic University of Armenia

Synchronous Data Processing and Transmission System with Reference to the World Time Scale

The methods of the high speed data processing and transmission systems, operating with large number of analog and digital sensors are investigated. Real time clock (RTC) device uses as system time generator for nonstop synchronous work. RTC is calibrated using the GPS signal for reference to the world time scale. In order to reduce the power consumption, the activation of the sensors occurs only at the survey and controlled by RTC.

Data processing and transmission, synchronization, real time clock, calibration, software defined radio, GPS, satellite

Статья поступила в редакцию 24 декабря 2015 г.