

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА INTEGRATED RADIOELECTRONIC DEVICES

УДК 681.2.087: 621.396.625.9

DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-4-362-370

Особенности сбора и обработки информации для исследования радиолокационных отражений от растительности

В.В. Зосимов, В.И. Сизов, А.Л. Переверзев, Ю.В. Савченко

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, Россия*

zosimov_vladislav@org.miet.ru

Для изучения явления отражения радиоволн от растительности необходимо проводить экспериментальные исследования на конкретных частотах работы системы сбора данных при изменении погодных условий в течение длительного времени. В работе рассмотрены вопросы проектирования автономного модуля сбора и обработки сигналов от многоканального радиолокационного приемника. Определены технические требования, структура модуля, принципы работы, используемая элементная база. Решены проблемы, связанные с обеспечением требуемого времени работы и применением автономного источника питания. Рассмотренный модуль сбора информации предназначен для многоканальной (до 8 каналов) долговременной записи аналоговых сигналов с частотой дискретизации до 200 Гц и разрядностью 24 бит в каждом канале. Модуль обеспечивает более 168 ч непрерывной записи данных на карту памяти объемом 32 ГБ при малом энергопотреблении при работе от батарей.

Ключевые слова: многоканальный цифровой регистратор сигналов; АЦП; цифровая обработка сигналов; измерения радиолокационных отражений от растительности

Благодарности: работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД-8949.2016.8).

Для цитирования: Зосимов В.В., Сизов В.И., Переверзев А.Л., Савченко Ю.В. Особенности сбора и обработки информации для исследования радиолокационных отражений от растительности // Изв. вузов. Электроника. – 2018. – Т. 23. – № 4. – С. 362–370. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-4-362-370

Special Aspects of Data Logging and Processing for Radar Vegetation Clutter Investigation

V.V. Zosimov, V.I. Sizov, A.L. Pereverzev, Yu.V. Savchenko

National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia

zosimov_vladislav@org.miet.ru

Abstract: For studying this phenomenon it is necessary to perform the long-term experimental tests at specific frequencies of the system operation in different weather conditions. The problems of designing a stand-alone module for collecting and processing signals in a multi-channel radar receiver have been examined. The technical requirements, the module structure, the operating principles and parts, used in order to obtain the 24-bits accuracy, the long battery life and small size have been discussed. The data logger considered is designed for the multi-channel (up to 8 channels) 24-bits analog-to-digital conversion of analogue signals with the sampling frequency up to 200 Hz in each channel and for writing the digitized data to an SD card (up to 32 GB) during 168 hours battery operation.

Keywords: multi-channel digital signal recorder; data logger; ADC; digital signal processing; experimental measurements of radar vegetation clutter; fading clutter

Acknowledgements: this research has been funded through the grant of the President of the Russian Federation aimed at Supporting young Russian researches holding the Doctor of Science degree.

For citation: Zosimov V.V., Sizov V.I., Pereverzev A.L., Savchenko Yu.V. Special aspects of data logging and processing for radar vegetation clutter investigation. *Proc. Univ. Electronics*, 2018, vol. 23, no. 4, pp. 362–370. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-4-362-370

Введение. Изучение отражения радиоволн от растительности – актуальная задача, имеющая приложение в связи [1, 2] и радиолокации [3, 4]. Цель настоящей работы – разработка автономного модуля сбора и первичной обработки данных, обеспечивающего обслуживаемую работу в течение длительного срока при минимальном энергопотреблении.

В радиолокации отражения от окружающей растительности приводят к появлению дополнительного шумового сигнала – клаттера, маскирующего отражения от полезных целей. На рис.1 представлены измеренные сигналы от цели в двухпозиционной радиолокационной системе, возникающие как интерференция прямого сигнала от передатчика к приемнику и отраженного целью сигнала с постоянно изменяющейся фазой (рис.1,а). При сильном ветре мощный сигнал клаттера от окружающей растительности накладывается на сигнал цели и маскирует его (рис.1,б).

В отличие от теплового шума системы и внешних интерференционных помех (промышленных и природных шумов), относительное влияние которых может быть уменьшено увеличением излучаемой мощности передатчика, уровень отражений от растительности растет пропорционально повышению выходной мощности передатчика. Качество полезного сигнала при этом не улучшается. Таким образом, отражения от растительности часто являются основным фактором, ограничивающим чувствительность наземных систем связи и радиолокации.

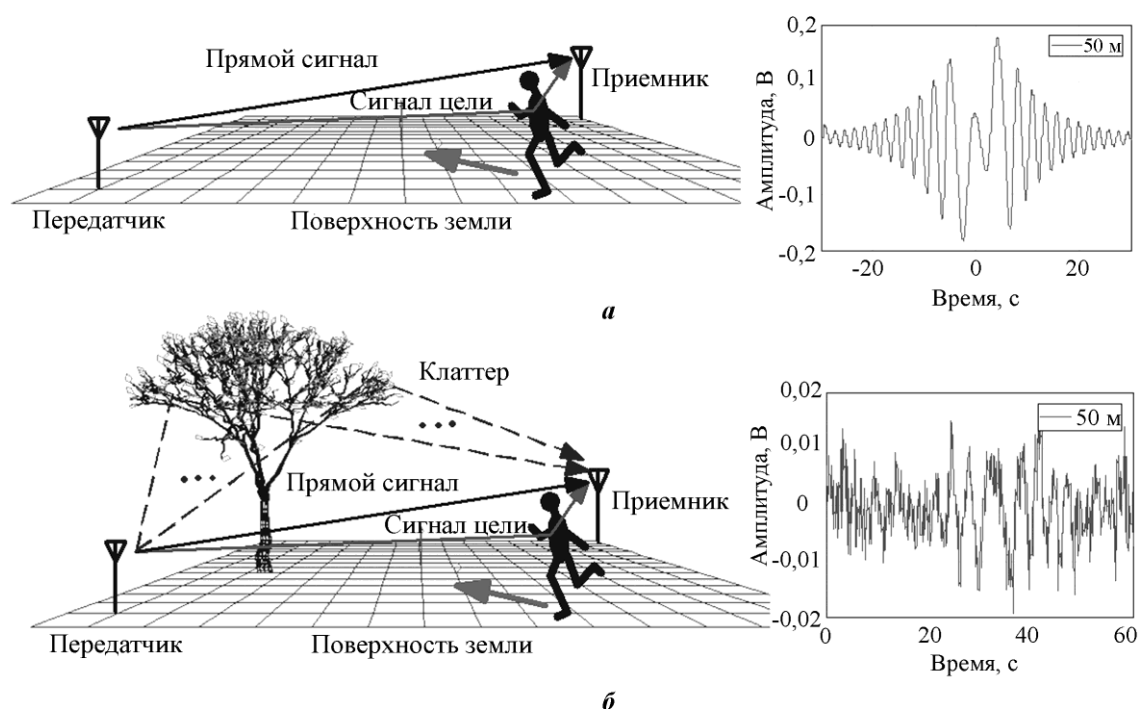


Рис. 1. Влияние переотражений от растительности на систему двухпозиционной радиолокации:

a – в отсутствие клаттера; *б* – при сильном ветре и большой мощности клаттера

Fig.1. Influence of reflections from vegetation on ground-based bistatic radar system:

a – in the absence of clutter; *b* – with the strong clutter power

Экспериментальные исследования радиолокационных отражений от растительности. Экспериментальные измерения характеристик клаттера в различных диапазонах длин волн и в окружении растительности разных типов (плотный или разреженный, хвойный или лиственный лес, кусты, высокая трава и т.п.) с целью набора статистики сигналов и оценки мощности клаттера в различных условиях – важная практическая задача в современной радиолокации, решению которой посвящено множество работ. Большинство измерений проведено на уже существующем радиолокационном оборудовании в определенных диапазонах частот – от сотен мегагерц до десятков и сотен гигагерц при дальностях обзора до десятков и сотен километров [5]. В последние годы возрос интерес к использованию более низких частот УКВ-диапазона (30–300 МГц) для построения наземных двухпозиционных радиолокационных датчиков и сетей на их основе [6]. Принципиальными особенностями таких датчиков являются их размещение практически на земле и отсутствие пространственной избирательности (направленности) антенных систем. В результате подобные системы наиболее подвержены влиянию клаттера, собирая со всех сторон паразитные отражения от близко расположенной растительности. Опубликованных результатов экспериментов на этих частотах практически нет. В Национальном исследовательском университете «МИЭТ» ведется разработка малогабаритного специализированного радиолокатора для экспериментального исследования характеристик клаттера в КВ- и УКВ-диапазонах одновременно на нескольких частотах для длительной работы в полевых условиях. На рис.2 показана общая структура системы, имеющей несколько передатчиков и многоканальной приемник.

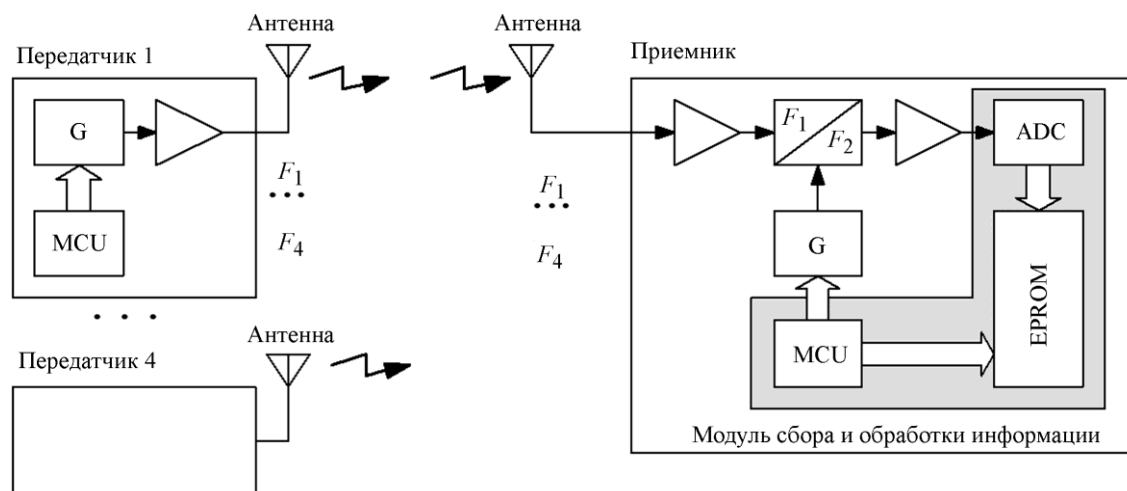


Рис.2. Структура оборудования для многопозиционного измерения
Fig.2. Block diagram of equipment for multi-position measurement

Радиолокационное оборудование позволяет измерять характеристики сигналов клаттера одновременно на восьми различных частотах в УКВ-диапазоне (ориентировочно от 60 до 600 МГц) с использованием в качестве передатчиков двух четырехканальных или четырех двухканальных передающих блока. Это дает возможность оценить характеристики клаттера не только в зависимости от несущей частоты, но и геометрии расположения датчиков при измерениях.

Динамический диапазон и спектральные характеристики клаттера. Ожидаемый динамический диапазон сигналов клаттера определяет требуемую разрядность (разрешающую способность) системы сбора данных, а полоса частот – максимальную частоту дискретизации. На рис.3 представлены измеренные характеристики мощности клаттера по отношению к мощности прямого сигнала утечки в зависимости от скорости ветра и частоты излучения [2]. Из рисунка видно, что в многоканальной системе, работающей на различных несущих частотах в широком диапазоне (от 64 до 434 МГц), динамический диапазон сигналов может превышать 70 дБ. Таким образом, чтобы проводить достаточно точные измерения спектральных компонент сигнала клаттера, как линейная часть приемника, так и цифроаналоговое преобразование сигналов должны обеспечивать существенно больший динамический диапазон (порядка 90–100 дБ), соответствующий разрядности АЦП не менее 16–18 бит. На рис.4 приведены измеренные зависимости спектра мощности клаттера [3].

Ширина спектра мощности клаттера практически не меняется при изменении несущей частоты РЛС и силе (скорости) ветра и составляет не более 1 Гц по уровню –10 дБ от максимума [3]. Узкая полоса частот сигнала клаттера определяет невысокие требования к частоте дискретизации сигнала в АЦП, которая может составлять от единиц до нескольких десятков герц на канал преобразования. Для получения статистически значимых результатов при измерениях клаттера необходимо проводить измерения в течение многих часов непрерывно в районах, где по возможности отсутствует человеческая деятельность и, следовательно, нет стационарного энергоснабжения. Поэтому одним из основных требований к аппаратуре является длительное время работы от батарейного питания и мобильность.

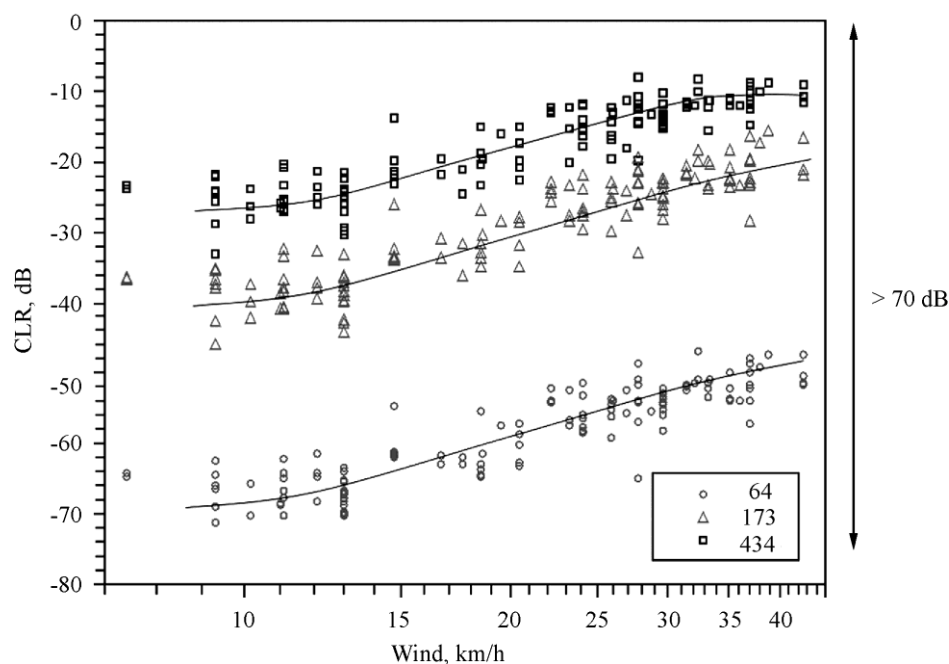


Рис.3. Динамический диапазон сигналов клаттера [2]

Fig.3. Dynamic range of clutter signals [2]

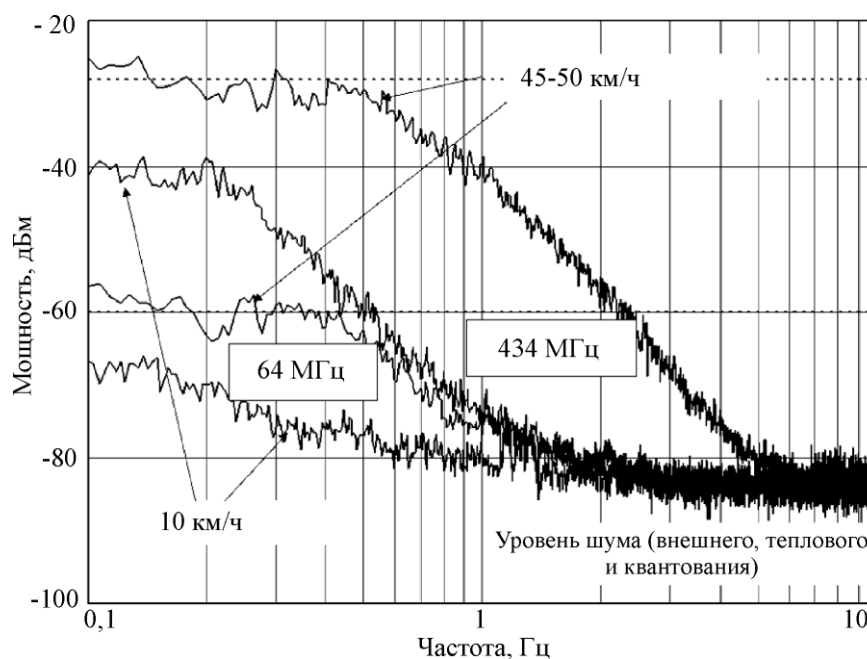


Рис.4. Спектральные свойства клаттера [3]

Fig.4. Spectral properties of clutter [3]

Ориентировочный расчет объема файла данных для восьми каналов при частоте дискретизации 100 Гц и разрядности 24 бит в каждом канале в течение семи суток наблюдений дает объем файла данных порядка 1,4 Гб. В настоящее время обеспечить одновременно такую информационную емкость, низкое энергопотребление и малые габариты можно только с помощью использования микросхем флэш-памяти.

Модуль сбора и обработки информации. На основе перечисленных требований, а также с учетом необходимости обеспечения автономности и мобильности определены основные компоненты модуля сбора: аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) ADS1248IPW; микроконтроллер STM32L152RDT6; SD-карта памяти объемом от 4 до 32 ГБ. Структурная схема предлагаемого устройства представлена на рис.5.

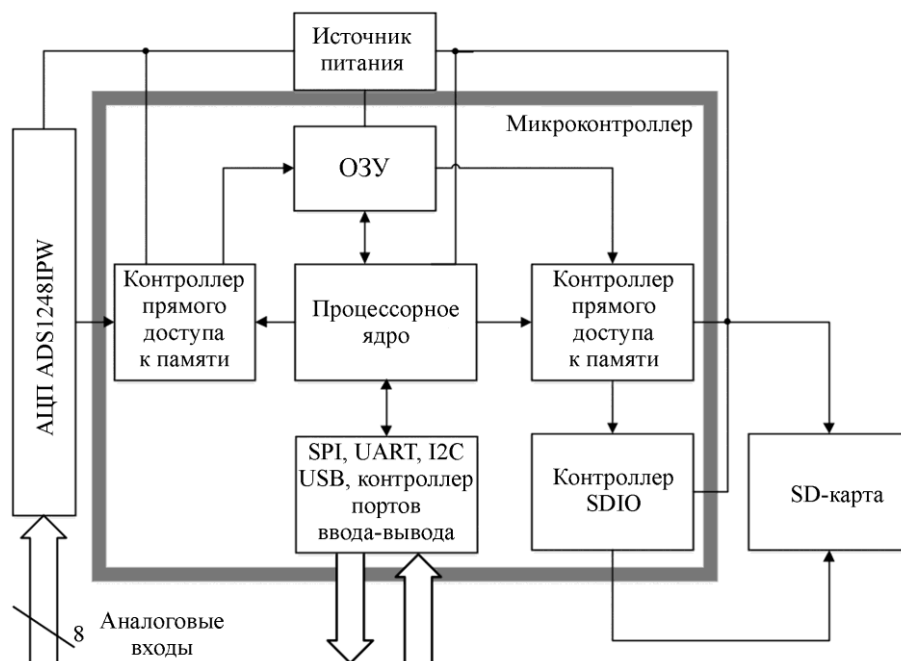


Рис.5. Структурная схема автономного модуля сбора и обработки сигналов
Fig.5. Block diagram of a standalone collection module

Выбранный АЦП ADS1248IPW обеспечивает динамический диапазон преобразования более 100 дБ при частоте дискретизации до 2 кГц в восьми каналах с разделением по времени. Управление режимами работы осуществляется с помощью команд по SPI интерфейсу. Дополнительной и удобной функцией данного АЦП является наличие встроенного цифрового фильтра, обеспечивающего автоматическое ограничение диапазона входных частот при изменении частоты дискретизации во избежание наложения спектров при преобразовании, а также возможность программной установки коэффициента усиления в каждом канале отдельно. Микроконтроллер содержит в себе все остальные устройства, необходимые для обеспечения работы модуля: микропроцессор, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), контроллеры прямого доступа к памяти, SPI, SDIO и контроллер прерываний. Режимы энергосбережения микроконтроллера позволяют отключать микропроцессорное ядро и периферию во время работы модуля.

Для обеспечения непрерывности записи сигналов в ОЗУ выделены два буфера, один из которых используется для записи данных, полученных от АЦП. Одновременно данные из второго буфера записываются на SD-карту памяти. Микропроцессор включается в начальный момент времени и при переключении буферов, для работы с которыми используются контроллеры прямого доступа к памяти, что позволяет минимизировать энергопотребление и разгрузить микропроцессорное ядро. На рис.6 представлена диаграмма работы буферов, соответствующая описанному алгоритму,

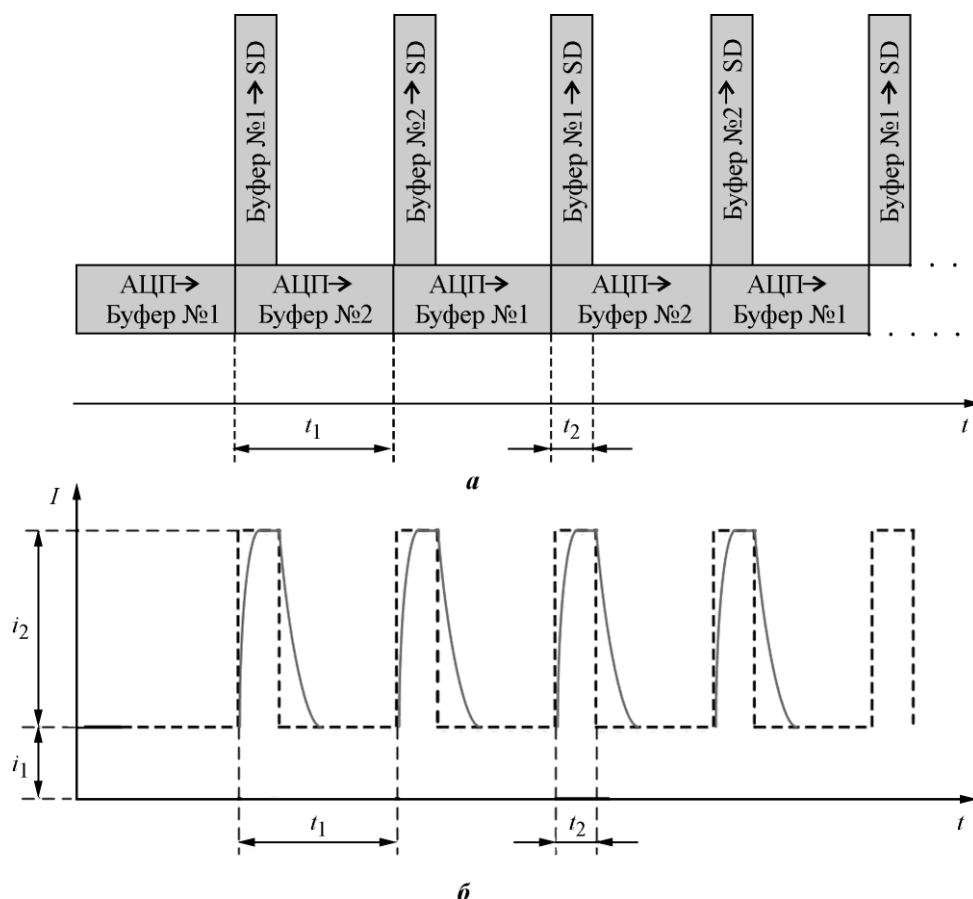


Рис. 6. Диаграммы работы буферов (а) и тока потребления (б)
 Fig.6. Diagrams of functioning buffers (a) and current consumption (b)

а также диаграмма тока потребления, где $t_1 = 106$ мс, $t_2 = 0,5$ мс. Значение тока i_2 взято из документации на карту памяти и периферию микроконтроллера (в рассматриваемом случае $i_2 \sim 15$ мА). Значение i_1 состоит из токов потребления АЦП и взаимодействующей с ним части периферии микроконтроллера и составляет около 4 мА. На основе данной информации проведена ориентировочная оценка требуемой емкости источника питания (700 мА·ч) для работы в течение недели при напряжении питания $3,7\text{--}5$ В.

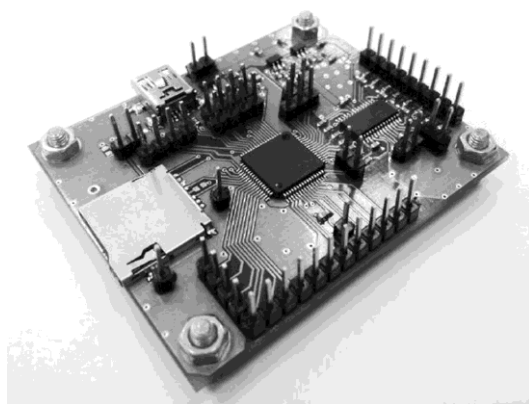


Рис. 7. Внешний вид модуля
 Fig.7. View of the module board

На рис.7 приведена фотография изготовленного модуля. Модуль имеет гнездо для установки SD-карты памяти и стандартный порт USB, позволяющий программировать функции модуля и считывать информацию с карты или использовать модуль как внешний АЦП при подключении к персональному компьютеру. Развитая система разъемов аналогового и цифрового ввода-вывода позволяет использовать микропроцессор модуля для управления приемопередатчиком (установки несущих частот, переключения каналов) экспериментального радиолокационного оборудования.

Заключение. Рассмотренный модуль сбора данных обеспечивает запись восьми сигналов с частотой дискретизации до 2 кГц и разрядностью преобразования 24 бит на SD-карту памяти объемом до 32 ГБ. Подобный модуль может найти применение в областях, где требуется длительная многоканальная регистрация сигналов с низкой частотой дискретизации и широким динамическим диапазоном при батарейном питании, например в промышленных и экологических датчиках температуры, влажности, давления, газоанализаторах, датчиках сейсмических колебаний, в системах телеметрии и контроля различного оборудования.

Результаты экспериментальных измерений отражений от растительности получены при совместной работе Национального исследовательского университета «МИЭТ» и Университета Бирмингема (Великобритания).

Литература

1. Near Ground channel measurements over line-of-site and forested paths / **G.G. Joshi, C.B. Dietrich, C.R. Anderson et al.** // IEE Proc. Antennas and Propagation. – 2005. – Vol. 152 (6). – P. 589–596.
2. **Sizov V., Gashinova M., Zakaria N., Cherniakov M.** VHF communication channel characterizations over complex wooded propagation paths with applications to ground wireless sensor networks // IET Microwaves, Antennas & Propagation. – 2013. – Vol. 7 (3). – P. 166–174.
3. **Sizov V., Cheng Hu, Antoniou M., Cherniakov M.** Vegetation clutter spectral properties in VHF/UHF bistatic doppler radar // Proc. of The 2008 IEEE Radar Conference (May 26–30, 2008). – Rome, Italy, 2008. – P. 1–6.
4. Phenomenology of Doppler forward scatter radar for surface targets observation / **M. Gashinova, L. Daniel, V. Sizov et al.** // IET Microwaves, Antennas & Propagation. – 2013. – Vol.7 (4). – P. 422–432.
5. **Billingsley J.B.** Low-angle radar land clutter. Measurements and empirical models. – William Andrew Publishing, 2002. – 703 p.
6. **Сизов В.И., Гуреев А.В.** Концепция и состояние исследований сети наземных радиолокационных датчиков малой дальности: Сб. докл. междунар. конф. «Микроэлектроника-2015» (Крым, Алушта, 2015). – 2015. – С. 615–626.

Поступила 07.09.2017. г.; принята к публикации 24.04.2018 г.

Зосимов Владислав Вадимович – аспирант Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), zosimov_vladislav@org.miet.ru

Сизов Владимир Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), vladimirsizov@mail.ru

Переверзев Алексей Леонидович – доктор технических наук, доцент, директор Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), pal@olvs.miee.ru

Савченко Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), sas@olvs.miee.ru

References

1. Joshi G.G., Dietrich C.B., Anderson C.R. et al. Near Ground channel measurements over line-of-site and forested paths. *IEEE Proceeding Antennas and Propagation*, 2005, vol. 152, (6). pp. 589–596.
2. Sizov V., Gashinova M., Zakaria N., Cherniakov M. VHF communication channel characterizations over complex wooded propagation paths with applications to ground wireless sensor networks. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 2013, vol. 7, (3), pp. 166–174.
3. Sizov V., Cheng Hu, Antoniou M., Cherniakov M. Vegetation clutter spectral properties in VHF/UHF bistatic doppler radar. *Proc. of the 2008 IEEE Radar Conference*. Rome, Italy, 2008, pp. 1–6.
4. Gashinova, M., Daniel, L., Sizov, V., Hoare, E., Cherniakov, M. Phenomenology of Doppler forward scatter radar for surface targets observation. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 2013, vol.7, (4), pp. 422–432.
5. Billingsley J.B. *Low-angle radar land clutter. Measurements and Empirical Models*. William Andrew Publishing, 2002. 703 p.
6. Sizov V.I., Gureev A.V. The concept and state of the research of a ground-based short-range radar sensors network. *The collection of reports of the international conference «Microelectronics-2015»*, Crimea, Alushta, 2015, p. 615–626. (In Russian).

Submitted 07.09.2017; Accepted 24.04.2018.

Information about the authors:

Vladislav V. Zosimov – PhD student of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (124498, Russia, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), zosimov_vladislav@org.miet.ru

Vladimir I. Sizov – Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Fellow of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (124498, Russia, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), vladimirsizov@mail.ru

Aleksey L. Pereverzev – Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (124498, Russia, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), pal@olvs.miee.ru

Yurij V. Savchenko – Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (124498, Russia, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), sas@olvs.miee.ru