

УДК 621.373.4:621.396.67

Кирильчук В.Б., Кижлай И.Н.

### **Система мониторинга и охраны объектов на основе пассивных RFID сенсорных устройств УВЧ диапазона.**

Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники

Технология радиочастотной идентификации (RFID-Radio Frequency Identification) УВЧ диапазона (860 - 960 МГц), изначально разработанная для широкомасштабного отслеживания ресурсов, в настоящее время рассматривается как основа построения быстро развертываемых, дешевых, беспроводных сенсорных сетей (БСС) для мониторинга состояния окружающей среды и объектов (ОСиО) [1]. Сфера использования БСС на основе УВЧ RFID обширна и включает не только гражданские (например, экология, промышленность, сельское хозяйство, здравоохранение, медицина, интеллектуальный дом и офис и др.), но и военные приложения (например, С4ISR, охранный мониторинг складов боеприпасов, сбор данных и оценка боевого ущерба непосредственно до или после атак и т. п.) [2].

Для снижения затрат на развертывание крупномасштабных БСС необходимо использовать малогабаритные недорогие сенсорные узлы (СУ) со сверхмалым энергопотреблением, которые в рамках аппаратных ограничений и компромисса между эффективностью антенны и потребляемой мощностью могут быть реализованы на основе пассивных или полупассивных RFID сенсорных транспондеров (СТ) УВЧ диапазона. Каждый СУ позволяет измерять один или несколько параметров ОСиО (температура, влажность, давление, динамические пространственные параметры объектов и др.) и передавать их на одну или большее количество базовых станций (БС) в соответствии с протоколом EPCglobal Class-1 Gen-2 (ISO/IEC 18000-63 тип C). В настоящее время для СТ УВЧ диапазона, разработаны и серийно выпускаются такие микроэлектронные продукты, как SL900A (AMS) [3], ROCKY100 (Farsens) [4], EM4325 (EM Microelectronic) [5] и WM72016-6 (Cypress Semiconductor) [6]. Все они оснащены последовательным интерфейсом данных SPI и могут взаимодействовать с интеллектуальными цифровыми (микропроцессорными) системами с дополнительными преобразователями различных физических величин.

В простейшей конфигурации пассивная УВЧ RFID БСС (рис.1) состоит из БС или считывателя и  $N$  беспроводных СУ. При использовании в БСС стационарных СУ они размещаются в заданном объеме пространства (сенсорном поле) с привязкой к конкретной координатной сетке, например декартовой ( $x_N, y_N, z_N$ ), с помощью уникального идентификационного кода. Управление работой УВЧ RFID БСС, осуществляется при помощи персонального компьютера (РС), оснащенного специализированным программным обеспечением (ПО).

Передатчик считывателя (Тх) генерирует мощное колебание несущей частоты (КНЧ), которое через дуплексер (D) излучается антенной считывателя в направлении СУ. В качестве дуплексера в моностатических считывателях

обычно используются ферритовые циркуляторы, направленные ответвители мощности или квадратурные гибридные мосты.

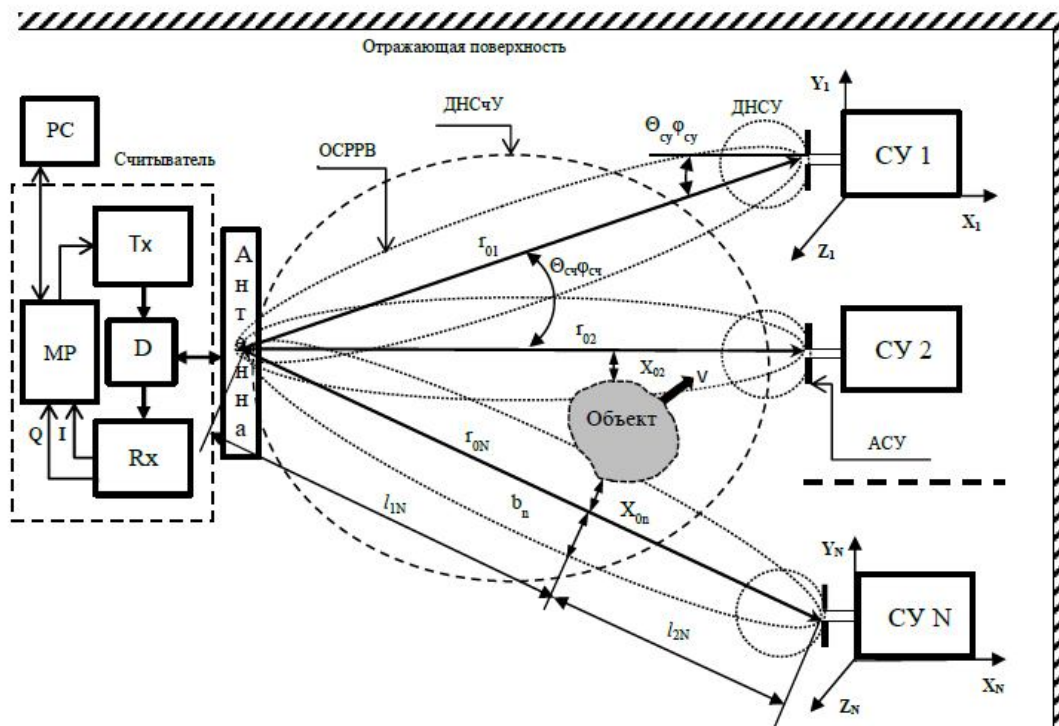


Рисунок 1. Упрощенная конфигурация БСС на основе технологии УВЧ RFID

Антенны считывающего устройства (обычно направленные) характеризуются диаграммой направленности (ДНСЧУ), т. е. облучают только определенный объем, так называемую зону считывания (ЗС). Если СУ находится в пределах ЗС, мощность КНЧ, излучаемая антенной считывателем, активирует СУ, и они готовы к приему команд, формируемых в микропроцессоре (МР).

Двухсторонний канал связи между считывателем и СТ является асимметричным, так как его параметры зависят от направления устанавливаемой связи с СУ. В «прямом канале», от считывателя к СТ (после его активации), осуществляется передача, предварительно кодированных команд управления и данных посредством амплитудной манипуляции КНЧ. В «обратном канале», от СТ к считывателю, по командам управления считывателя осуществляется передача предварительно кодированных данных, хранящихся в банках электронной памяти СТ, посредством модуляции обратного рассеяния (МОР). Оцифрованная информация от датчиков через SPI загружается в расширенную область банка памяти пользователя и затем с помощью стандартных или специальных команд протокола EPCglobal Class-1 Gen-2 передается в считывающее устройство. МОР осуществляется за счет изменения отражательных (рассеивающих) свойств антенны сенсорного узла (АСУ). Отражающие (рассеивающие) свойства антенны зависят не только от ее электродинамических характеристик (в частности, сопротивления излучения), но ее нагрузки. Изменение состояния импеданса нагрузки АСУ, обуславливает модуляцию рассеянного поля в соответствии с законом изменения импеданса нагрузки.

МОР СТ может рассматриваться как комбинированная амплитудно-фазовая модуляция, с неизвестной начальной фазой и амплитудой сигнала. По-

этому в приемном тракте считывателя (Rx) для оптимального выделения информации осуществляется векторный анализ рассеянного СТ сигнала. В приемниках RFID считывателей векторный анализ обычно производится с помощью квадратурной обработки принятого сигнала, и технически реализуется с использованием квадратурных гомодинных демодуляторов.

Взаимодействие считывателя с RFID СТ осуществляется через среду электромагнитной связи (СЭМС), которая в общем случае содержит отражающие поверхности (ОП), местные предметы (МП) и активные помехи (электромагнитные излучения других радиосредств). Наличие в СЭМС ОП и МП обуславливает формирование в ней достаточно сложной пространственно-поляризационной структуры электромагнитного поля. Наибольшее влияние на работу прямой и обратной радиолиний связи оказывают объекты, расположенные в пределах области существенной при распространении радиоволн (ОСРРВ). ОСРРВ имеет форму эллипсоида вращения с фокусами расположенными в фазовых центрах антенн считывателя и СТ. Размер ОСРРВ обычно ограничен несколькими (5...7) пространственными зонами Френеля. Радиус зоны Френеля с порядковым номером  $n$  зависит от расстояния  $r_{0N} = l_{1N} + l_{2N}$  между антеннами считывателя и текущего СУ с номером  $N$  (рис.1):

$$b_{nN} \approx \sqrt{\frac{nl_{1N}l_{2N}^2}{l_{1N}+l_{2N}}} \quad (1)$$

где  $\lambda$  - длина волны рабочего канала считывателя;  $l_{1N}$  - расстояния от антенны считывателя до объекта и  $l_{2N}$  - от объекта до соответствующей АСУ с порядковым номером  $N$ .

Наличие в пределах ОСРРВ движущегося объекта со скоростью  $V$  обуславливает дифракционные изменения амплитуды и фазы поля (связанные с частичным перекрытием зон Френеля), как в прямой, так и обратной радиолиний связи. Эти амплитудно-фазовые флуктуации сигнала могут быть зарегистрированы на выходах демодуляторов приемника считывателя в основной полосе частот в виде изменяющихся в моменты времени  $t_n = X_{0n}/V$  квадратурных составляющих рассеянных транспондерами сигналов:

$$\begin{aligned} \vec{U}_N(t_n) &= U_{IN}(t_n) + jU_{QN}(t_n) = |\dot{U}_N(t_n)| e^{j\psi_N(t_n)} = \\ &= \dot{K}_N \dot{A}_N \dot{P}_N \dot{L}_N \dot{R}_N \dot{D}_N(t_n) \dot{M}_N + \dot{n}(t) \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\dot{K}_N, \dot{A}_N, \dot{P}_N, \dot{L}_N$  - комплексные коэффициенты передачи, учитывающие усилительные и преобразовательные свойства приемопередающих трактов считывателя и СУ с учетом диссипативных потерь в антенно-фидерных трактах ( $\dot{K}_N$ ), направленные и фазовые свойства антенн ( $\dot{A}_N = \dot{G}_N(\theta_{сч}, \varphi_{сч}) \dot{G}_N(\theta_{су}, \varphi_{су})$ ), поляризационное ( $\dot{P}_N$ ) и импедансное ( $\dot{L}_N$ ) согласования антенн. Влияние шумов и помех на выходе I/Q демодуляторов учитывается с помощью комплексного напряжения  $\dot{n}(t)$ .

Функция  $\dot{R}_N = (\lambda/4\pi r_{0N})^2 e^{-j2kr_{0N}}$  - учитывает затухание амплитуды и фазовую задержку сигнала в двухсторонней линии связи, в предположении

распространения радиоволн в свободном пространстве ( $k = 2\pi/\lambda$  - волновое число). Дифракционный множитель для двухсторонней линии связи  $D_N(t_n) = |F_N(t_n)|^2 e^{-j2\phi_N(t_n)}$  учитывает амплитудно-фазовые изменения напряженности поля при наличии на трассе связи движущегося объекта ( $F_N(t_n) = E_N(t_n)/E_{0N}$ ,  $E_{0N}$  - напряженность поля в отсутствие объекта). Параметр  $M_N = |\dot{\Gamma}_{0N} - \dot{\Gamma}_{1N}| e^{j(\varphi_{\Gamma_{0N}} - \varphi_{\Gamma_{1N}})}$  - комплексный коэффициент МОР антенны СТ с номером  $N$  в режиме передачи бинарных данных с частотой BLF, который зависит от статических значений коэффициентов отражения  $\dot{\Gamma}_{(1,0)N}$  в АФТ СТ ( $\dot{\Gamma}_{(1,0)N} = \frac{\dot{Z}_{ЧМN}^{1,0} - \dot{Z}_{АМN}^*}{\dot{Z}_{ЧМN}^{1,0} + \dot{Z}_{АМN}}$ , где  $\dot{Z}_{АМN} = R_{АМN} + jX_{АМN}$  и  $\dot{Z}_{ЧМN}^{1,0} = R_{АМN}^{1,0} + jX_{ЧМN}^{1,0}$  входные импедансы антенн СТ и интегральных схем СУ в режиме бинарной модуляции цифровым потоком данных).

Алгоритм функционирования системы обнаружения движения состоит из трех этапов: калибровки, измерений и вычислений, принятия решения. На первом этапе (момент времени  $t_0$ ) в МР считывателя производится регистрация и запоминание оцифрованных значений напряжений синфазного  $[U_{IN}(t_0)]$  и квадратурного  $[U_{QN}(t_0)]$  каналов в виде калибровочных матриц. На втором этапе измеряются и сохраняются текущие значения параметров  $[U_{IN}(t_n)]$  и  $[U_{QN}(t_n)]$  через фиксированные интервалы времени  $\Delta t$ , так что  $t_n = t_0 + n\Delta t$ . Далее вычисляются дифференциальные параметры состояния канала, как разность матричных значений калибровки и текущих измерений. На третьем этапе осуществляется сравнение дифференциальных параметров с заданными пороговыми значениями каналов  $I_N$  и  $Q_N$ , и в случае их превышения, принимается решение об обнаружении движения в сенсорном поле БСС. При использовании специализированного ПО, предлагаемая система способна не только обнаружить факт движения, но частично локализовать положение объекта в сенсорном поле меток, а также определить его векторные характеристики (направление, скорость, ускорение и т.п.). Для исключительно охранных приложений в качестве СТ можно использовать обычные радиочастотные метки.

### Список литературы

1. K. Sohraby, D. Minoli, T. Znati «Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications», Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007, 328 p.
2. A. Sample and J.R. Smith. The wireless identification and sensing platform. In J.R. Smith, editor, Wirelessly powered sensor networks and computational RFID), New York, 2013. Springer SBM.
3. <https://ams.com/SL900A>.
4. <http://www.farsens.com/en/products/rocky100/>.
5. <https://www.emmicroelectronic.com/product/epc-and-uhf-ics/em4325>
6. <https://www.cypress.com/file/120726/download>.

## Реферат

Рассмотрена конфигурация беспроводной сенсорной сети (WSN) на основе пассивных сенсорных RFID транспондеров УВЧ диапазона, кратко описан алгоритм ее работы для решения задачи обнаружения движения объектов в охранной зоне.

## Summary

The configuration of a wireless sensor network (WSN) based on passive sensor RFID transponders of the UHF range is considered, the algorithm of its operation for solving the problem of detecting the movement of objects in the security zone is briefly described.