

3. Jena, Jagadish & Misra, Sameer & Tripathi, Kailash. (2019). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and its role in Agriculture.

4. Abdollahi, Sara & Ostad-Ali-Askari, Kaveh & Eslamian, Saeid & Singh, Vijay. (2018). Predicting Fire Hazard Areas Using Vegetation Indexes, Case Study Forests of Golestan Province, Iran. Journal of Geography. 1. 10.24294/jgc.v1i2.451.

5. GIS-Lab: Атмосферная коррекция по методу DOS [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <https://gis-lab.info/qa/atcorr-dos.html>. – Дата доступа: 04.10.2020.

УДК 630\*57

**А.М. Заяц, Т.И. Игнатьева**

Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет им. С.М. Кирова

## **МОДЕЛЬ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Аннотация.** В статье представлен материал, описывающий последовательность разработки математической модели беспроводной сенсорной сети системы мониторинга лесных территорий. В модели сенсорный узел и сеть в целом, представлены как система массового обслуживания.

**A.M. Zayats, T.I. Ignatieva**

St. Petersburg state  
forest engineering University named after S. M. Kirov

## **Model of the wireless sensor network of the forest territory monitoring system**

**Abstract:** the article presents a material describing the sequence of development of a mathematical model of a wireless sensor network for monitoring forest territories. In the model, the sensor node and the network as a whole are represented as a Queuing system.

Задачи оценки влияния различных факторов на лесные экосистемы всегда актуальны, и они решались и решаются различными способами и средствами систем мониторинга лесных территорий.

Умный дом, умный город, интернет вещей, а почему не умный лес, в котором, современные распределенные инфокоммуникационные системы и технологии адаптированы под нужды лесного хозяйства. Эффективность распределенности может быть обеспечена за счет совершенствования и развития внешней среды, обеспечивающей сбор информации о состоянии лесных территорий. Одним из наиболее востребованных направлений развития инфокоммуникационных систем и технологий в этом направлении являются беспроводные сенсорные сети (БСС) – распределенные самоорганизующиеся системы, устойчивые к отказу отдельных ее элементов.

Труднодоступность и удаленность лесных участков от источников электроэнергии и стационарных центров обработки данных, отсутствие физических сетевых коммуникаций делают технологии БСС хорошо приспособленными для мониторинга лесных экосистем [1,2].

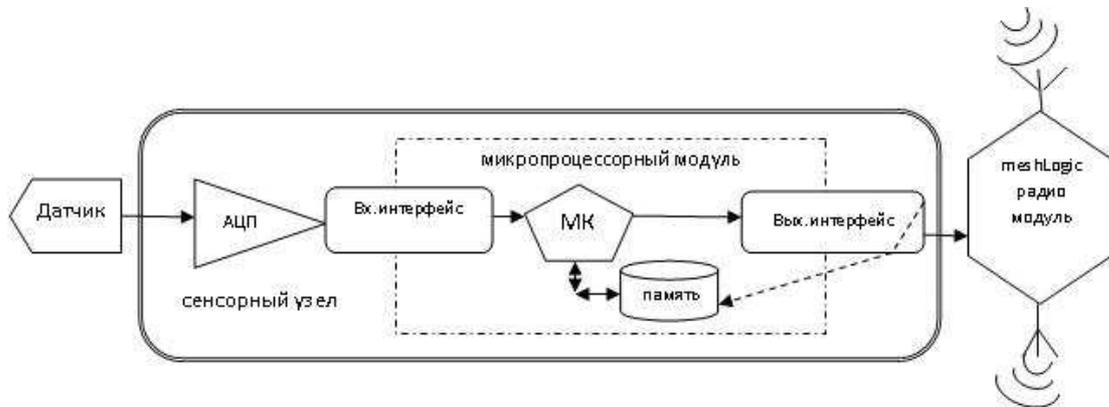
Однако широкое использование быстро развивающихся технологий беспроводных сенсорных сетей для решения большого круга прикладных лесохозяйственных задач сдерживается малым количеством реальных проектов направленных на их использование в лесной отрасли.

Такое положение обусловлено отсутствием исследований в этом направлении, основу которых составляет моделирование, как самих сетей, так и процессов их функционирования в различных условиях.

Моделирование позволяет проводить исследование сетей без их реального развертывания, определять возможности их применения для решения конкретных задач при мониторинге лесных территорий [3,4].

Сенсорные сети производят измерение, фиксацию и обработку параметров физических сред и объектов, и передачу их для анализа и выработки управляющих воздействий.

Схема узла беспроводной сенсорной сети со связями между его компонентами представлена на рис. 1. Сенсорный датчик зондирует окружающее его пространство и собирает данные обычно в виде аналоговых сигналов.



*Пакеты на шлюз*

**Рис. 1 - Схема сенсорного узла со связями между его компонентами**

Сенсоры являются посредниками между физическими процессами, происходящими на лесной территории и представлением этих процессов в виде показаний датчиков. Аналоговый сигнал измерений с датчика, через АЦП и блок интерфейса поступает на программируемый микропроцессорный модуль.

В микропроцессоре производится первичная обработка сигналов с датчиков. Полученный цифровой код после обработки в виде пакета записывается в память микроконтроллера и временно хранится до его отправки в радиоэфир.

Сформированные пакеты, передаются каждым сенсорным узлом на шлюзы либо непосредственно, либо через другие сенсорные узлы, если связанность узлов не обеспечивает их прямую передачу. В последнем случае пакеты принимаются любым свободным для приема узлом-ретранслятором, расположенным в зоне связности передающего сенсорного узла, принятый пакет временно хранится в памяти перед передачей его на шлюз. Для организации радиointерфейса между узлами сенсорной сети используются приемопередатчики (трансиверы).

При моделировании процессов функционирования сенсорного узла выделим следующие независимые этапы их работы:

- измерение и фиксация параметров окружающей среды, прием и преобразование измеренных параметров, проведение предварительной обработки в микропроцессоре и формирование пакета данных;
- передача на шлюз пакета данных собственных узлов;

– прием пакета данных измеренных параметров от других узлов сети с последующей передачей их на шлюз.

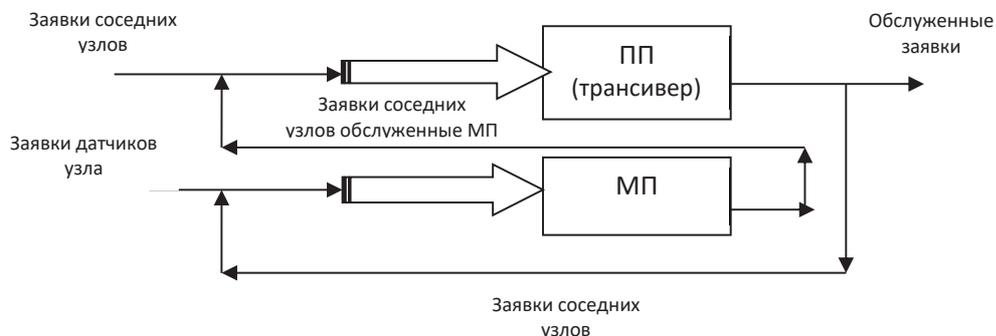
Такое представление и независимость этапов позволяют использовать для исследования процесса функционирования сенсорных узлов, хорошо апробированные модели систем массового обслуживания (СМО).

Сенсорный узел будем рассматривать как систему массового обслуживания, в которой формируются заявки на обслуживание пакетов следующих типов:

- заявки от датчика узла поступающие через АЦП – входной интерфейс на обслуживание в микропроцессор;
- заявки, поступающие от других узлов сети для ретрансляции;
- поток заявок, прошедших обслуживание в микропроцессоре узла;
- выходной поток заявок с узла.

На рис. 2. показаны траектории движения заявок на обслуживание и выходной поток обслуженных заявок.

Возможны очереди заявок на входах обслуживающих приборов (МП и ПП).



**Рис. 2 - Модельное представление узла БСС**

Если предположить, что на вход обслуживающих приборов (МП и ПП) поступает пуассоновский поток заявок, а длительность обслуживания имеет экспоненциальное распределение, то основные показатели системы могут быть легко получены по известным формулам [5].

Для формального описания процесса функционирования беспроводной сенсорной сети ее можно представить многофазной, многоканальной системой массового обслуживания, процесс обслуживания заявок в такой системе позволит адекватно описать все

процедуры функционирования сети и получить для анализа численные значения ее основных параметров.

Важно заметить, что прием измеренных параметров окружающей среды в виде пакетов от соседних узлов и передача пакетов данных, обработанных в микропроцессоре, производится одними и теми же устройствами приемо-передатчиками узла. Так как прием и передача производится одними и теми же устройствами – приемопередатчиками сенсорных узлов, то в произвольный момент времени эти устройства могут быть заняты либо приемом, либо передачей.

Под обслуживанием заявок понимается процесс параллельно-последовательной их обработки на этапах, описанных выше.

Состояния процесса обслуживания заявок в СМО будем различать по количеству обслуживающих приборов (приемники, микроконтроллеры, передатчики узлов), одновременно занятых обслуживанием и по номеру этапа, на котором находится каждая обслуживаемая заявка (под этапами будем понимать нахождение заявки на соответствующем обслуживающем приборе).

Тогда каждому состоянию  $e_\xi$  процесса из множества  $E = \{e_\xi\}_{\xi=1}^E$  можно поставить в соответствие вектор занятости  $\omega_\xi = (\omega_{1\xi}, \omega_{2\xi}, \omega_{3\xi}, \dots, \omega_{g\xi})$ , каждый компонент  $\omega_{g\xi}$  которого является случайной целочисленной величиной, определяющей количество приборов, одновременно занятых обслуживанием заявок, а индекс  $g$  соответствует этапу, на котором она обслуживается. Компоненты вектора занятости  $\omega_\xi$  однозначно определяют количество занятых приборов на  $g$  – ом этапе (приемо-передатчики и микропроцессоры узла), а также суммарное количество заявок  $\Xi_\xi$ , обслуживаемых в  $e_\xi$  - ом состоянии

$$\Xi_\xi = \sum_{g=1}^G \omega_{g\xi}, \quad \forall \xi = 1, E. \quad (1)$$

Процесс обслуживания заявок в СМО можно представить как блуждание точки по узлам  $E$  – мерной решетки, пространственные координаты состояний которой задаются компонентами соответствующих векторов  $\omega_\xi$ .

Конфигурация пространственной решетки определяется тем, что для любого состояния  $\omega_\xi$  должно выполняться следующее условие: количество приемников и передатчиков, одновременно занятых обработкой данных, не должно превышать общего числа узлов БСС

$$\sum_{\substack{g=1 \\ g \neq g^*}}^G \omega_{g\zeta} \leq N, \quad \forall \zeta = 1, E \quad (2)$$

где  $g^*$  - номер этапа, на котором ведут обработку процессоры микроконтроллеров сенсорных узлов.

Это условие вытекает из того, что приемо-передатчик узла может вести как прием, так передачу данных, но в произвольный момент времени  $t$  он может находиться либо в состоянии приема, либо передачи, одновременно эти два процесса в узлах в момент времени  $t$  существовать не могут.

Такой процесс эволюционирует в соответствии с очередностью поступления заявок и параллельно-последовательным их обслуживанием соответствующими приборами на разных этапах. Если рассматривать процесс только в моменты смены состояний (окончание обслуживания на  $g$  – ом этапе), то функционирование узла описывается конечной цепью Маркова с матрицей переходных вероятностей  $P_{ij}$  и матрицей функции распределения  $F_{ij}\eta_{ij}(t)$ , ( $t \geq 0, i, j \in [1, E]$ ) длительности пребывания процесса в состоянии  $i$  при условии, что следующий переход будет в состоянии  $j$  [5].

Для Марковской цепи справедливо то, что, если в  $i$  – ом состоянии процесс находится случайное время  $t_i$ , имеющее показательное распределение с параметром  $H_i$ , равным сумме интенсивностей переходов  $\eta_{ij}$  во все соседние состояния, то функция распределения безусловного времени пребывания процесса в  $i$  – ом состоянии определяется следующим образом:

$$F_i(t) = 1 - \exp\{-H_i t\}, \quad t \geq 0, \quad (3)$$

а среднее время пребывания в  $i$  – ом состоянии  $m_i = \frac{1}{H_i}$  (4).

При известных интенсивностях переходов  $\eta_{ij}$  вероятности перехода за один шаг определяются из выражения

$$P_{ij} = \eta_{ij} m_i \quad (5)$$

Решение задачи исследования многоканальных, многофазных систем массового обслуживания, особенно с использованием алгоритма перебора - числа обслуживающих приборов на каждом этапе обработки, приводит к необходимости вывода уравнений, описывающих СМО в общем виде. Для чего необходимо получить совокупность соотношений,

которые позволят построить алгоритм для решения уравнений при заданном числе этапов (фаз)  $G$  и варьируемом числе  $N$  узлов БСС.

Поставленную задачу можно решить в следующей последовательности:

1. Получить выражение для определения количества  $E$  состояний исследуемого процесса.
2. Разработать порядок нумерации в модели.
3. Вывести выражения, связывающие пространственные координаты состояний с их номерами.
4. Разработать методику оценки показателей эффективности функционирования БСС.
5. Разработать алгоритм для определения стационарных вероятностей пребывания процесса в произвольном состоянии и получения численных значений показателей эффективности функционирования БСС.

Используя представленную методику можно определить и оценить показатели эффективности функционирования, как узла, так и БСС в целом, например, пропускную способность сети и отдельных ее компонент, суммарное время занятости отдельных подсистем и другие параметры.

#### **Список использованных источников**

1. Заяц А.М., Логачев А.А. Информационная система мониторинга лесов и лесных пожаров с использованием беспроводных сенсорных сетей. //Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 216. - с. 241-254.
2. Заяц А.М., Хабаров С.П. Организация доступа к беспроводным АД НОС сетям информационных систем мониторинга лесных территорий из среды Windows 10. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – СПб, 2018, Вып. 223. - с. 285-299.
3. Заяц А.М., Логачев А.А. Математические модели для поддержки принятия решений по предупреждению лесных пожаров при ограниченном объеме исходных данных. //Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59. № 5. С. 342-347.
4. Заяц А.М., Игнатьева Т.И. Математическая модель функционирования беспроводной сенсорной сети. //Сборник научных

трудов «Информационные системы и технологии: теория и практика» - СПб.: СПбГЛТУ, 2019. №10. – с.3-10.

5. Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: Наука, 1987.

УДК 712.25(476-25):528

**М.Л. Романова, А.Р. Понтус,  
С.В. Зенькович, М.М. Максимов**

Институт экспериментальной  
ботаники Национальной Академии наук Беларуси

## **СОСТОЯНИЕ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ МИНСКА ПО ДАНЫМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И НАЗЕМНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ**

Сейчас в растительном покрове урбанизированных территорий происходят, в основном, сложные и неоднозначные изменения. Сложность заключается в многофакторности и скорости прохождения процессов. Поэтому использование аэрокосмических методов исследования на урбанизированных территориях позволяет зафиксировать, учесть и оценить эти изменения, и способствовать качественному распределению объектов растительного мира для комфортного проживания. Для этой цели в пяти экологических зонах Минска были выбраны наземные тестовые полигоны (ТП) они являются точками сборки наземных и спутниковых данных о состоянии зеленых насаждений, что необходимо для решения задач их последующей автоматической инвентаризации и классификации.

Для исследований использовались снимки спутников БКА и Sentinel-2. Критерием отбора снимков являлась минимальная облачность (без дымки и облаков) и достаточный для оценки зеленых насаждений период активной вегетации. Из имеющихся материалов, были выбраны наиболее