

32. Паронджанов В. Д. Алгоритмы и жизнеритмы на языке ДРАКОН. Разработка алгоритмов. Безошибочные алгоритмы. М.: ДМК-пресс, 2019.

33. Сердюкова Е. Ф. Признаки управляющего воздействия в информационных материалах экстремистского толка, распространяемых в сети Интернет

// Intern. innovation research: сб. ст. XI междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2017. С. 164–166.

34. Шейнов В. П. Психотехнологии влияния. М.: АСТ: Мн.: Харвест, 2005.

P. A. Kurta

*The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications*

## INTERACTION OF THE USER WITH THE INFORMATION SYSTEM. PART 1. SCHEME OF INTERACTION AND CLASSIFICATION OF DISADVANTAGES

*Devoted to the issues of user interaction with the information system. The task is to identify, classify and systematize the disadvantages of interactions. A generalized scheme of the user's work with the system when solving a certain problem is described. Three criteria of interaction disadvantages are introduced, using the philosophical categories Form vs Content and Redundancy vs Insufficiency, as well as High-Medium and Low-level being in implementation, the combination of which gives 12 classes. The following components of the effectiveness of interaction are determined: potency, as the quality of solving a problem; operativeness, as the speed of such a decision; resource efficiency, as the preservation of the resources spent on the solution by the user. A review of scientific works devoted to the disadvantages of the interfaces of various human-oriented systems is made, which makes it possible to single out the Top-20 from them. For each, a negative impact on the final effectiveness of interaction is indicated. The classification of disadvantages, the decrease in each of them of the efficiency components, as well as the average decrease, are synthesized into a single matrix form. A direction for further research is set, which will be covered in the next article of the cycle.*

**Information system, interface, interaction scheme, classification of disadvantages, efficiency**

УДК 681.3, 621.937:004.942

Ю. Т. Лячек, М. С. А. Мутанна, С. С. С. Нассер

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

М. М. А. Мутанна

*Санкт-Петербургский государственный университет*

## Плотность распределения базовых станций LoRa в глобальной сети LPWAN в «умном городе»

*Рассматриваются две основные проблемы, связанные с одной из наиболее распространенных и недавно используемых сетей IoT, а именно глобальных сетей с низким энергопотреблением (LPWAN). Первая проблема относится к энергетическим ограничениям с проектированием, проблема большого трафика возникает из-за огромного количества развернутых устройств. В работе представлены два основных алгоритма кластеризации, разработанных для LPWAN на основе LoRa: статический учитывает распределение базовых станций и шлюзов по сети таким образом, чтобы достичь наилучшего покрытия и максимальной надежности системы, а динамический – кластеризацию распределенных устройств, относящихся к каждой базовой станции, для достижения более высокой эффективности использования энергии и задержки. Оба алгоритма в основном рассматриваются для плотных сетей IoT на основе LoRa (например, сетей «умного города»). Предлагаемые алгоритмы базируются на двух общих методах кластеризации: FOREL и K-means. Предложенные алгоритмы реализованы для оценки производительности плотных сетей IoT различной интенсивности.*

**Интернет вещей, плотные сети, LPWAN, LoRa, шлюз, кластеризация, энергия**

Технологии интернета вещей с каждым днем все шире внедряются в нашу жизнь. Все больше

компаний и людей понимают, что эти технологии могут помочь им в самых разных областях – от

экономии энергоресурсов в сфере ЖКХ до агропромышленного сектора.

Одним из вариантов внедрения технологий интернета вещей на практике являются технологии LPWAN (low power wide area network – глобальная сеть с низким энергопотреблением [1], которые позволяют создать сеть в случаях, когда требуется обеспечить сбор малого объема данных с небольших удаленных устройств. Эти устройства должны обладать возможностью долговременной работы от встроенного источника питания, и для них должны быть не критичны высокая скорость передачи данных и постоянная сетевая доступность. Одна из самых популярных на сегодняшний день технологий LPWAN – это LoRa (long range, длинный спектр) [2]. Ее отличительная черта – удачное сочетание технологических возможностей и цены конечных устройств и базовых станций.

Для LoRa на стадии проектирования критично определение мест установки и количества базовых станций для выбранного сектора [3], на котором планируется разворачивание сегмента сети, обеспечивающего уверенный прием в любой точке данного сектора. Так как LoRa – это радиотехнология, то сигнал естественным образом затухает на пути своего распространения в силу разных причин – расстояния между базовой станцией и конечным устройством, наличия препятствий между ними, взаимовлияния с другими сигналами, передаваемыми на той же частоте и т. д.

Не менее важен и расчет емкости шлюза, обеспечивающего связь конечных устройств и базовой станции, а также определение факторов, которые влияют на этот параметр. Этот вопрос традиционно рассматривается для каждой технологии, реализуемой на практике, и LoRa не исключение.

Представляемая работа ставит перед собой цель ответить на эти важные вопросы, для чего рассмотрены различные модели затухания, которые учитывают множество разных факторов. Сделан расчет времени передачи пакетов в сети LoRa и расчет радиуса действия шлюза для условий плотной городской застройки с использованием рекомендаций ITU-RP.1238-5. Рассмотрены и смоделированы различные методы кластеризации шлюзов сети для заданной области, а также выполнен расчет интенсивности поступления пакетов. На основании полученных данных будет проведен анализ и сделаны соответствующие выводы.

**Расчет времени передачи пакетов в сети LoRa.** Для расчета времени передачи и определения емкости LoRa-сети необходимо знать несущую частоту, полосу пропускания частот, интенсивность передачи пакетов от устройства к шлюзу, размер передаваемого пакета, преамбулы и другие параметры сети

Для примера рассмотрим сеть LoRa, работающую на частоте 868 МГц, с полосой пропускания (bandwidth)  $bw = 125$  кГц. Предполагается, что узлы передают пакет размером 8 байт полезной нагрузки и преамбулу (заголовок) 6 байт. Количество символов в блоке данных физического уровня SymbNb определяется следующим образом [4]:

$$\text{SymbNb} = 8 + \text{ceil}\left(\frac{8\text{PL} - 4\text{SF} + 28 + 16\text{CRC} - 20\text{H}}{4(\text{SF} - 2\text{DE})}\right)(\text{CR} + 4), \quad (1)$$

где  $\text{ceil}$  – операция округления до ближайшего большего целого числа;  $\text{PL} = 12 + \text{FRM}$  – количество байт полезных данных в блоке физического уровня,  $\text{FRM}$  – количество байт полезных данных на уровне приложения;  $\text{SF}$  – коэффициент расширения спектра;  $\text{CRC} = 1$ , когда передача поля CRC включена, и  $\text{CRC} = 0$ , когда она выключена;  $\text{H} = 0$ , когда передача заголовка включена, и  $\text{H} = 1$ , когда заголовок отсутствует;  $\text{DE} = 1$ , когда оптимизация для низких скоростей передачи включена, и  $\text{DE} = 0$ , когда выключена;  $\text{CR} = 4/5, 4/6, 4/7$  или  $4/8$  – кодовая скорость.

Длительность передачи одного символа  $T_{\text{sym}}$  определяется следующей формулой:

$$T_{\text{sym}} = \frac{2^{\text{SF}}}{bw}. \quad (2)$$

Время передачи преамбулы (заголовка)  $T_{\text{заг}}$  определяется по формуле

$$T_{\text{заг}} = (n_{\text{заг}} + 4.25) T_{\text{sym}}, \quad (3)$$

где  $n_{\text{заг}}$  – количество символов преамбулы для пакета с модуляцией LoRa, а время передачи блока данных физического уровня

$$T_{\text{дан}} = \text{SymbNb} T_{\text{sym}}. \quad (4)$$

Таким образом, суммируя длительность передачи преамбулы и блока данных физического уровня, можно получить длительность передачи одного пакета [4]:

$$T_{\Sigma} = T_{\text{заг}} + T_{\text{дан}}. \quad (5)$$

С помощью выражений (1)–(5) рассчитаем время передачи пакета от конечного узла на шлюз и время передачи подтверждающего пакета от шлюза к конечному узлу при различных значениях коэффициента расширения спектра SF.

Расчетное время передачи  $T_{\Sigma}$  при значениях:  $bw = 125$  кГц, длина заголовка  $n_{\text{загол}} = 6$  байт, FRM = 8 байт, CRC = 1, DE = 0 и CR = 1, одного пакета  $TUL_{\text{pack}}$  от узла к шлюзу (значение PL = 20) и подтверждающего пакета  $TDL_{\text{pack}}$  от шлюза к узлу (значение PL = 12) приведено в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

SF	$T_{\text{sym}}$ , мс	SymNb, количество	$T_{\text{заг}}$ , мс	$T_{\text{дан}}$ , мс	$TUL_{\text{pack}}$ , мс
6	0.51	48	5.25	24.48	29.73
7	1.02	43	10.50	43.86	54.36
8	2.05	38	20.99	77.90	98.89
9	4.10	33	41.98	135.30	177.28
10	8.19	33	83.97	270.27	354.24
11	16.38	28	167.94	458.64	626.58
12	32.77	28	335.87	917.56	1253.43

Таблица 2

SF	$T_{\text{sym}}$ , мс	SymNb, количество	$T_{\text{заг}}$ , мс	$T_{\text{дан}}$ , мс	$TUL_{\text{pack}}$ , мс
6	0.51	28	5.25	14.28	19.53
7	1.02	28	10.50	28.56	39.06
8	2.05	23	20.99	47.15	68.14
9	4.10	23	41.98	94.30	136.28
10	8.19	18	83.97	147.42	231.39
11	16.38	18	167.94	294.84	462.78
12	32.77	18	335.87	589.86	925.73

**Определение радиуса действия шлюза LoRa.**

В LoRa модуляция расширения спектра достигается генерированием линейной частотной модуляции (ЛЧМ), которая непрерывно меняется по частоте. Основное преимущество этого метода состоит в том, что синхронизация и сдвиги частоты между передатчиком и приемником эквивалентны. Это уменьшает сложность конструкции приемника. Ширина полосы частот этой ЛЧМ эквивалентна спектральной ширине полосы сигнала. Битовая скорость модуляции LoRa ( $R_b$ ) может быть рассчитана по формуле

$$R_b = SF \frac{1}{2^{SF/bw}},$$

где SF – коэффициент расширения спектра (от 6 до 12); bw – полоса пропускания канала, Гц.

Скорость передачи символов  $R_s$  рассчитывается следующим образом:

$$R_s = \frac{1}{T_{\text{sym}}} = \frac{bw}{2^{SF}} \text{ симв./с,}$$

а скорость передачи чипа  $R_c$  может быть определена с помощью выражения

$$R_c = R_s \cdot 2^{SF} \text{ чип/с.}$$

LoRa модуляции также включает в себя переменную схему коррекции ошибок, что повышает надежность передачи сигнала за счет его избыточности. Таким образом, минимальная скорость передачи данных сигнала  $R_b$  может быть определена по следующей формуле:

$$R_b = SF \frac{4/(4 + CR)}{2^{SF/bw}},$$

где CR – кодовая скорость, которая может быть установлена на 4/5, 4/6, 4/7 или 4/8.

Другим важным параметром является чувствительность приемника, указывающая самый низкий уровень мощности принимаемого сигнала LoRa, который приемник может обнаружить и демодулировать. На основании руководства дизайнера LoRaSemTech чувствительность приемника LoRaWAN можно рассчитать по формуле

$$S = -174 + 10 \log bw + NF + SNR, \text{ дБм,}$$

где S – чувствительность приемника; NF – коэффициент шума приемника; SNR – отношение сигнал/шум для принимаемого сигнала.

В табл. 3 указаны номинальная скорость передачи и чувствительность приемника для полосы пропускания 125 кГц Semtech SX1276. Значения  $R_b$  и SF рассчитаны на основе приведенных уравнений.

Таблица 3

Полоса пропускания, кГц	Фактор распространения SF	Скорость передачи $R_b$ , бит/с	Чувствительность приемника, дБм
125	6	9375	-118
125	7	5469	-123
125	8	3125	-126
125	9	1758	-129
125	10	977	-132
125	11	537	-134
125	12	293	-137

Для значений табл. 3 максимальная дальность связи LoRaWAN составляет около 10 км. Однако в представленном выражении не учитываются помехи и препятствия на пути распространения сигнала. В городских условиях, где существует плотная застройка, можно применить модель затухания ITU-RP.1238-5 для помещений [5]:

$$A(d) = 20 \log(f) + N \log(d) + Lf(n) - 28, \quad (6)$$

где  $d$  – расстояние, м;  $N = 33$  – дистанционный коэффициент потерь мощности;  $f$  – центральная частота сигнала, МГц;  $Lf(n) = 24$  – коэффициент потерь за счет прохождения сигнала через препятствие, дБ.

В таком случае мощность сигнала на входе приемника будет определяться как

$$P_{\text{вх}}(d) = P_{\text{вых}} - A(d), \quad (7)$$

где  $P_{\text{вых}}$  – мощность сигнала на выходе передатчика, дБм;  $A(d)$  – затухание сигнала от расстояния согласно (6).

На рис. 1 можно увидеть, что при мощности сигнала 137 дБм сигнал достигает расстояния примерно 800 м.

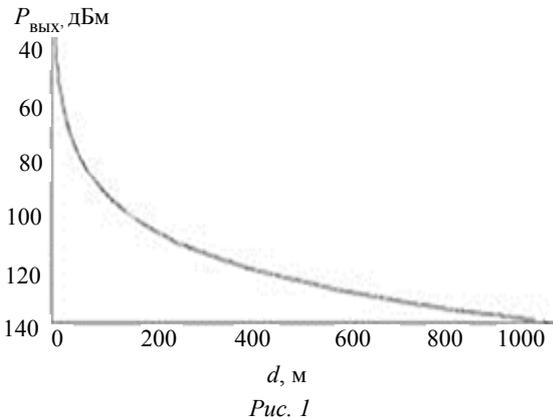


Рис. 1

В табл. 4 показана зависимость различных параметров от коэффициента расширения спектра SF.

Используя данные из табл. 4, на основе (7) можно построить график зависимости скорости передачи данных от расстояния (рис. 2).

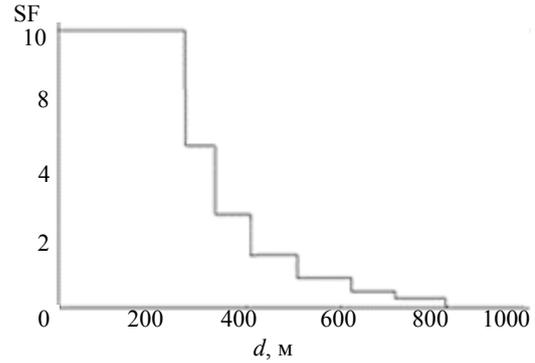


Рис. 2

### Кластеризация узлов вокруг шлюза LoRa.

Рассмотрим сеть из 20 тыс. узлов в поле со сторонами 10 км. Все узлы распределены случайным образом по равномерному закону распределения. Максимальный радиус действия шлюза равен 824 м (табл. 4). Для определения точек размещения шлюзов используем метод кластеризации FOREL [6].

Данный метод решает задачу минимизации суммарного расстояния между центрами масс кластеров и элементами этих кластеров

$$\{x_i, y_i\} = \arg \min_{x_i, y_i} \sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^{n_j} d(C_j, e_{j,r}), \quad i = 1 \dots k, \quad (8)$$

где  $(C_j, e_{j,r})$  – расстояние между центром масс  $j$ -го кластера  $C_j$  и  $r$ -м элементом  $j$ -го кластера  $e_{j,r}$ .

Координаты центра масс  $j$ -го кластера

$$C_j = \{x_j, y_j\}, \quad x_j = \frac{1}{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} x_{j,r}, \quad y_j = \frac{1}{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} y_{j,r},$$

где  $n_j$  – количество элементов в  $j$ -м кластере;  $x_{j,r}, y_{j,r}$  – координаты  $r$ -го элемента  $j$ -го кластера.

При использовании данного алгоритма минимизируется (8), в результате чего определяются координаты центров масс кластеров, которые могут быть приняты как позиции для размещения шлюзов.

Таблица 4

Параметр	Фактор распространения, SF						
	6	7	8	9	10	11	12
Индикатор уровня принятого сигнала RSSI, дБм	-118	-123	-126	-129	-132	-134	-137
Скорость передачи, бит/с	9375	5469	3125	1758	977	537	293
Радиус действия шлюза, м	270	333	410	506	623	716	824

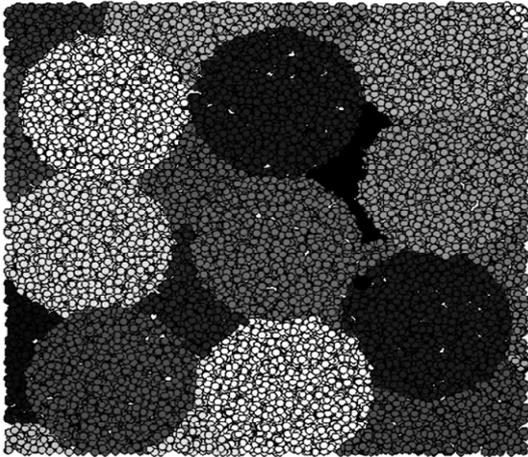


Рис. 3

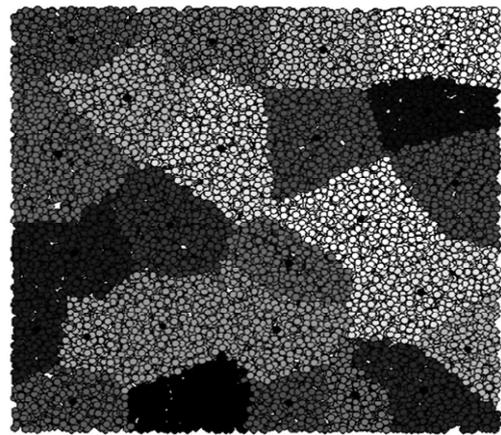


Рис. 4

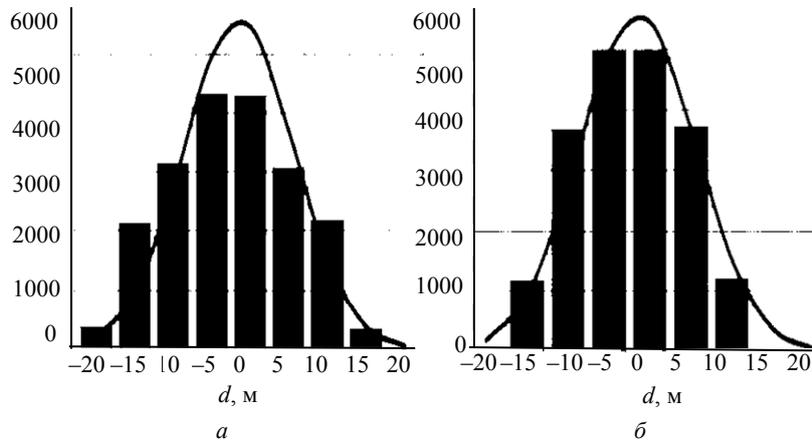


Рис. 5

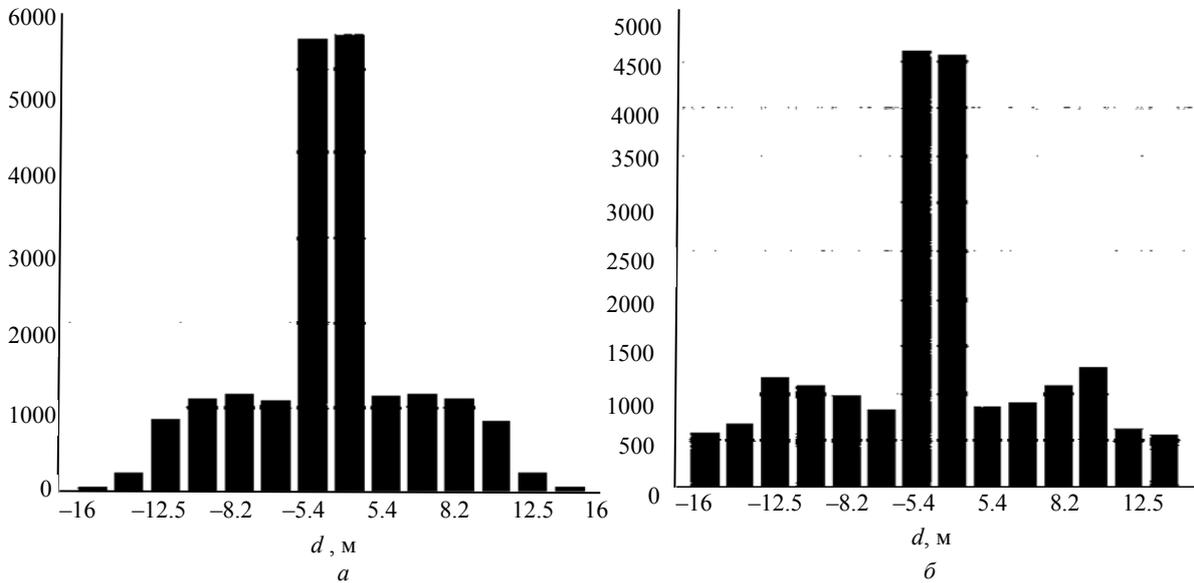


Рис. 6

В результате моделирования методом кластеризации FOREL получили сеть, состоящую из 25 кластеров (шлюзов). Результат такого моделирования проиллюстрирован на рис. 3.

Также была смоделирована кластеризация сети методом К-средних (K-means) [7]. Для 25 шлюзов данный метод разделил сеть на кластеры в виде, представленном на рис. 4.

На рис. 5 (а – для метода кластеризации К-средних, б – для метода кластеризации FOREL (формальный элемент) показано относительное распределение устройств IoT (интернет вещей) в рассмотренной сети LoRaWAN для обоих рассмотренных алгоритмов. Вертикальная ось, как и на рис. 4, представляет количество устройств IoT,

а горизонтальная указывает относительное расстояние между устройством IoT и центром кластера. Отрицательное значение относительного расстояния на рисунках говорит о том, что устройство расположено справа от центра кластера. Как видно на рис. 5, устройства IoT в основном распределены вокруг центра кластера для обоих методов кластеризации.

Таким образом, можно определить среднее количество узлов в каждой зоне SF в соответствии с табл. 4. На рис. 6 показано среднее количество узлов в каждой зоне SF для различных методов кластеризации: *a* – для метода К-средних кластеризации, *б* – для метода кластеризации FOREL.

**Расчет интенсивности поступления пакетов.** Пакеты с разных узлов поступают на шлюз случайно и образуют пуассоновский поток. В свою очередь, шлюз передает подтверждающий пакет. Неподтвержденные пакеты передаются повторно, также образуя пуассоновский поток. Так как в сети находится огромное количество узлов, существует вероятность, что несколько узлов одновременно могут передавать пакет. Вероятность того, что за время передачи одного пакета *t* в эфир поступает еще *k* пакетов от других узлов, определяется следующим образом:

$$P(k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!},$$

где  $\lambda$  – интенсивность поступления пакетов за время *t*.

Когда количество параллельно передаваемых пакетов в эфире  $k = 0$ , коллизия не возникает и пакет успешно передается шлюзу. В данном случае вероятность успешной передачи пакета определяется как

$$P_{\text{усп}} = e^{-2\lambda}.$$

Среднее количество успешно переданных пакетов в течение времени *t* с интенсивностью  $\lambda$  определяется (рис. 7, *a*) с помощью выражения

$$C_{\text{пак}} = \lambda P_{\text{усп}} = \lambda e^{-2\lambda}.$$

Зависимость вероятности потерь при возникновении коллизий от интенсивности  $\lambda$  поступления пакетов (рис. 7, *б*) определяется как

$$P_{\text{пот}}(\lambda) = 1 - e^{-2\lambda}.$$

Интенсивность поступления пакетов при вероятности потерь (из-за коллизий)  $P_{\text{пот}} = 0.02$  (2 %) составляет  $\lambda = 0.01$ .

**Расчет емкости шлюза.** Рассмотрим сеть LoRa, работающую на частоте 868 МГц с полосой пропускания 125 кГц. Количество радиочастотных каналов  $N_f$  равно 8. Предполагается, что узлы передают пакеты с 8 байт полезной нагрузки и преамбулой в 6 символов с интенсивностью передачи 2 пак./ч. Допустимая вероятность потери из-за коллизий  $P_{\text{пот}} = 2\%$ . Коллизия возникает только тогда, когда два узла и более одновременно передают свои пакеты с одинаковым коэффициентом расширения спектра SF.

Время передачи одного пакета

$$T_{\text{SF}} = T_{\text{SF-UL-пак}} + T_{\text{SF-DL-пак}}, \quad (9)$$

где  $T_{\text{SF-UL-пак}}$  – суммарное время передачи пакета от узла до шлюза;  $T_{\text{SF-DL-пак}}$  – время передачи подтверждающего пакета от шлюза к узлу.

Коэффициент расширения спектра определяется с помощью (9) при использовании данных табл. 1 и 2.

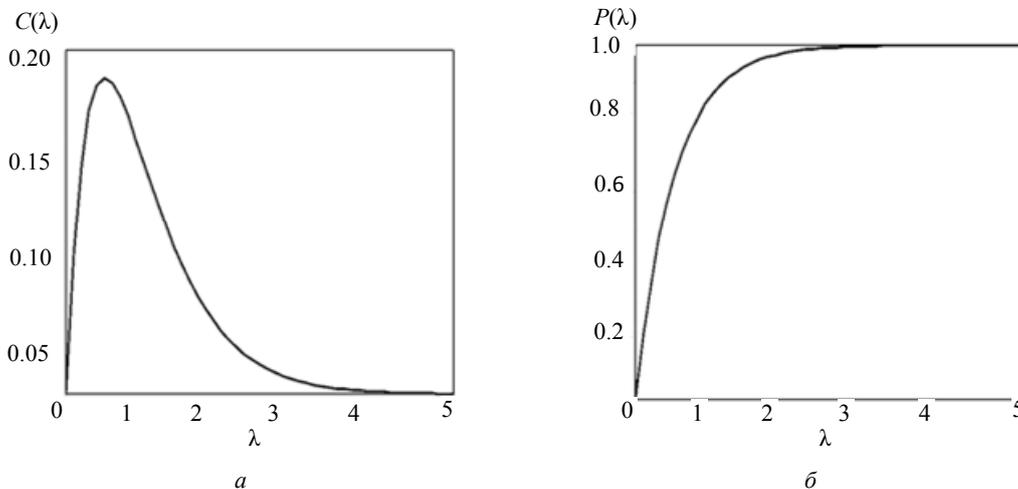


Рис. 7

Производительность шлюза LoRa GW, т. е. количество пакетов, которые обслуживает шлюз в сутки, определяется выражением

$$\text{Пропускная способность} = N_f \sum_{SF} P_{SF} \frac{N_{EN\text{пак}} \cdot 3600 \lambda 2\%}{T_{SF}}, \quad (10)$$

где  $N_{EN\text{пак}}$  – количество пакетов, передаваемых одним конечным узлом в сутки;  $\lambda = 0.01$  – интенсивность поступления пакетов при  $P_{\text{пот}} = 2\%$ ;  $P_{SF}$  – вероятность использования соответствующего SF;  $N_f$  – общее количество радиоканалов, развернутых сетью LoRaWAN.

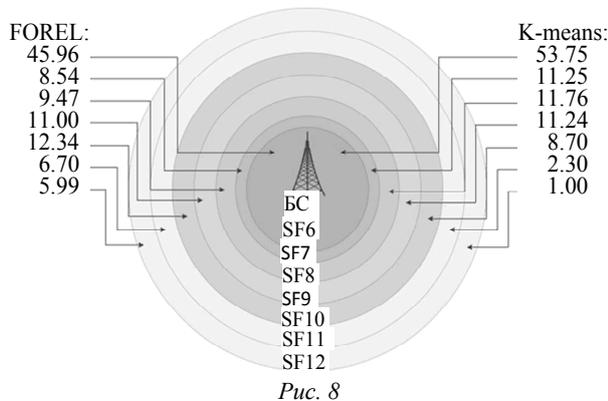


Рис. 8

Рассчитаем емкость шлюза LoRa для двух рассмотренных методов кластеризации, где поразному распределены узлы по площади зон радиопокрытия (BC – базовая станция).

На рис. 8 показана вероятность использования узлов в различных зонах SF при их распределении по методу FOREL, которая равна {45.96; 8.54; 9.47; 11; 12.34; 6.7; 5.99 %} а для метода К-средних она будет составлять {53.75; 11.25; 11.76; 11.24; 8.7; 2.3; 1.0 %}.

Используя (10) и данные табл. 1 и табл. 2, можно вычислить емкость шлюза LoRa для каж-

дого из методов кластеризации и, соответственно, количество конечных узлов на один шлюз. Результаты расчета емкости шлюза LoRa приведены в табл. 5.

Таблица 5

Метод кластеризации	$N_{EN\text{-пак}}$ в сутки	Интенсивность потока $\lambda$ при $P_{\text{пот}} = 2\%$	Кол-во пакетов в сутки	Кол-во устройств на один шлюз
FOREL	24	0.01	79223	3300
K-means	24	0.01	92292	3845

Для обслуживания 20 тыс. конечных узлов с рассмотренными характеристиками достаточно 5 или 6 шлюзов (при кластеризации методом K-means или FOREL соответственно), однако радиус действия шлюза не позволяет покрывать этим количеством шлюзов всю сеть.

**Выводы:**

1. Были проанализированы алгоритмы распределение шлюзов в сети LoRaWAN.
2. Показано, что пропускная способность шлюза зависит от множества факторов – полосы частот, передаваемого объема полезной нагрузки, количества символов в преамбуле, скорости кодирования, скорости передачи пакетов, вероятности ошибок, коллизий и т. д.

3. При анализе были использованы два общих метода – K-means и FOREL, которые смоделированы с помощью имитационной среды ns-3.

4. Результаты моделирования показали, что использование рассматриваемых алгоритмов обеспечивает лучший охват зоны базовыми станциями в сети LoRaWAN, в особенности для сверхплотных сетей.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Georgiou O., Raza U. Low power wide area network analysis: Can LoRa scale? // IEEE Wireless Communications Lett. 2017. Vol. 6. № 2. P. 162–165.
2. Seller O. B., Sornin N. Low power long range transmitter. US Patent 9,252,834, 2 February 2016.
3. Neumann P., Montavont J.; Noël T. Indoor deployment of low-power wide area networks (LPWAN): A LoRaWAN case study // Proc. of the 2016 IEEE 12<sup>th</sup> Intern. Conf. on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), New York, NY, USA, 2016. P. 1–8.

4. Semtech Corporation, AN1200.22 LoRa Modulation Basics. URL <http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf> (дата обращения 23.06.20).
5. ITU-R P.1238-5 Recommendations. Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radio communication systems and radio local area networks in the frequency range 900MHz to 100GHz. URL: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-3-200304-S!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-3-200304-S!!PDF-E.pdf) (дата обращения 02.07.20).

6. Kaufman L., Rousseeuw P. J. Finding groups in data: An introduction to cluster analysis. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2005.

7. Kim J.-O., Mueller C. W. Factor analysis: Statistical methods and practical issues. USA: Sage Publications, Newbury Park, Calif, 1978.

---

Yu. T. Lyachek, M. C. A. Muthanna, S. S. S. Nasser  
*Saint Petersburg Electrotechnical University*

M. M. A. Muthanna  
*St. Petersburg University «SPBU»*

## DENSITY AND DISTRIBUTION OF LORA BASIC STATIONS IN THE «SMART CITY»

*This work considers two main challenges associated with one of the most common and recent used IoT network, which is Low Power Wide Area Networks (LPWAN). The first challenge is the energy constraints associated with the design of and the problem of massive traffic results from the huge number of deployed devices. This work presents two main clustering algorithms developed for LoRa based LPWAN. One clustering algorithm considers the base stations and gateways distribution through the network in a way that achieves the best coverage and highest system reliability. This clustering algorithm is static. The second clustering algorithm considers clustering of distributed devices related to each base station to achieve higher energy and latency efficiency. This algorithm is dynamic. Both algorithms are mainly considered for dense LoRa based IoT networks (i. g. smart city networks). The proposed algorithms are based on the two common clustering methods; FOREL and K-means. The proposed algorithms are implemented, for dense IoT network with various intensities, for performance evaluation.*

**Internet of things, dense networks, LPWAN, LoRa, gateway, clustering, energy**

---

УДК 004.514

Е. С. Новикова, Я. А. Бекенева, М. П. Бестужев  
*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

## Методы визуального анализа для мониторинга данных от сенсорных сетей

*Исследуются подходы к визуальному анализу потоков разнородных данных в режиме реального времени, позволяющие формировать паттерны нормального поведения объекта и выявлять возможные отклонения в нем. В результате анализа определены основные модели визуализации, применяемые для мониторинга потоков данных и выявления аномалий в них, показаны их основные достоинства и ограничения; сформулированы основные требования к проектированию моделей визуализации, применяемых для графического представления разнородных данных в режиме реального времени. Предложен подход к построению аналитической панели мониторинга потоков данных на основе карт плотности, матричного представления и линейных диаграмм, показано ее применение на примере мониторинга данных от системы тепловентиляции и кондиционирования «умного» здания.*

**Мониторинг в реальном времени, визуализация потока данных, карты плотности, RadViz, матричная визуализация, линейные графики с временной шкалой**

Современные системы мониторинга часто состоят из большого количества разнородных устройств, генерирующих потоки данных о разных параметрах контролируемых процессов. Подобная организация систем мониторинга позволяет получить достаточно полное представление о ходе процессов, но при этом возрастает

сложность обработки и анализа разнородных данных. К основным задачам систем мониторинга относится обнаружение внештатных ситуаций, угрожающих действий или другого аномального поведения. Выявление аномалий является сложной аналитической задачей, которая обычно не может быть решена с помощью чисто