

Летающие сенсорные сети

А.Е.Кучерявый,
Зав. кафедрой сетей связи и
передачи данных

Летающие сенсорные сети

Новый класс сетей, базирующийся на использовании миниатюрных БПЛА (квадрокоптеры). Исследования начаты в 2014 году в лаборатории Интернета Вещей.

В качестве приложений летающих сенсорных сетей (ЛСС) могут рассматриваться мониторинг объектов в трехмерном пространстве, в том числе для жилых помещений, мониторинг сельскохозяйственных угодий, транспортных средств и т.д.

FANET

FANET – Flying Ad Hoc Networks

Летающие целевые сети

UAV – Unmanned Aerial Vehicle

Беспилотные летающие аппараты

Small UAV – малые беспилотные летающие аппараты (дроны, квадрокоптеры и т.д.)

Особенности FANET

1. Два сегмента сети: наземный и летающий.
2. Протоколы: MANET (?), USN (?), специальные.
3. Иерархическое построение в пространстве.
4. DTN (Delay Tolerant Networks).

Flying USN

Плотность летающих узлов сети может быть и 40 на площади 100 м^2 на 100 м^2 (T.Braun and all. A Comparative Analysis of Beaconless Opportunistic Routing Protocols for Video Dissemination over Flying Ad Hoc Networks. NEW2AN 2014, LNCS 8638. Springer).

Протоколы для FUSN (1)

AODV, RPL, ZigBee, 6LoWPAN.....

Beaconless протоколы:

XLinGO (Geographical-aware beaconless opportunistic protocol)

BLR (Beaconless Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks)

Протоколы для FUSN (2)

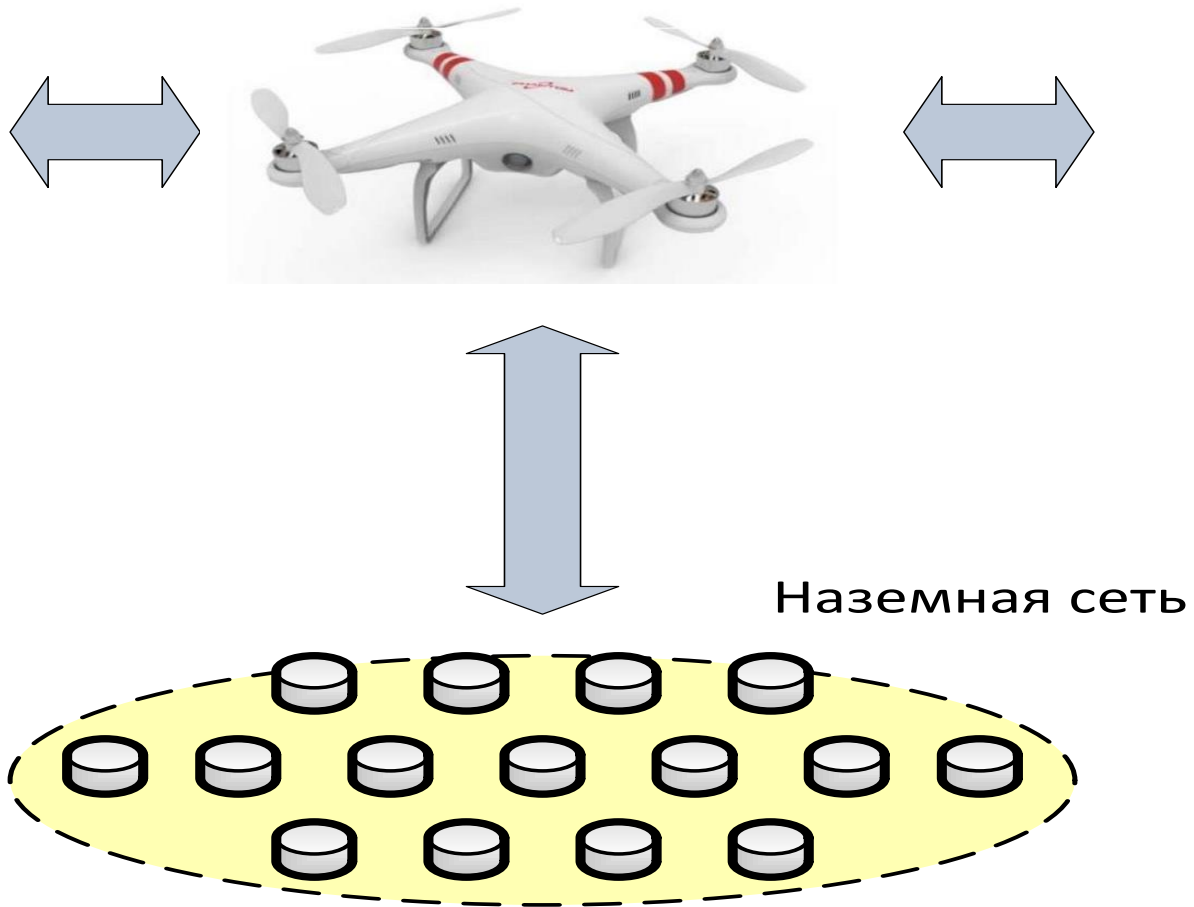
BOSS – Binary bit effective stream able protocol

MRR – Multipath routeless routing protocol

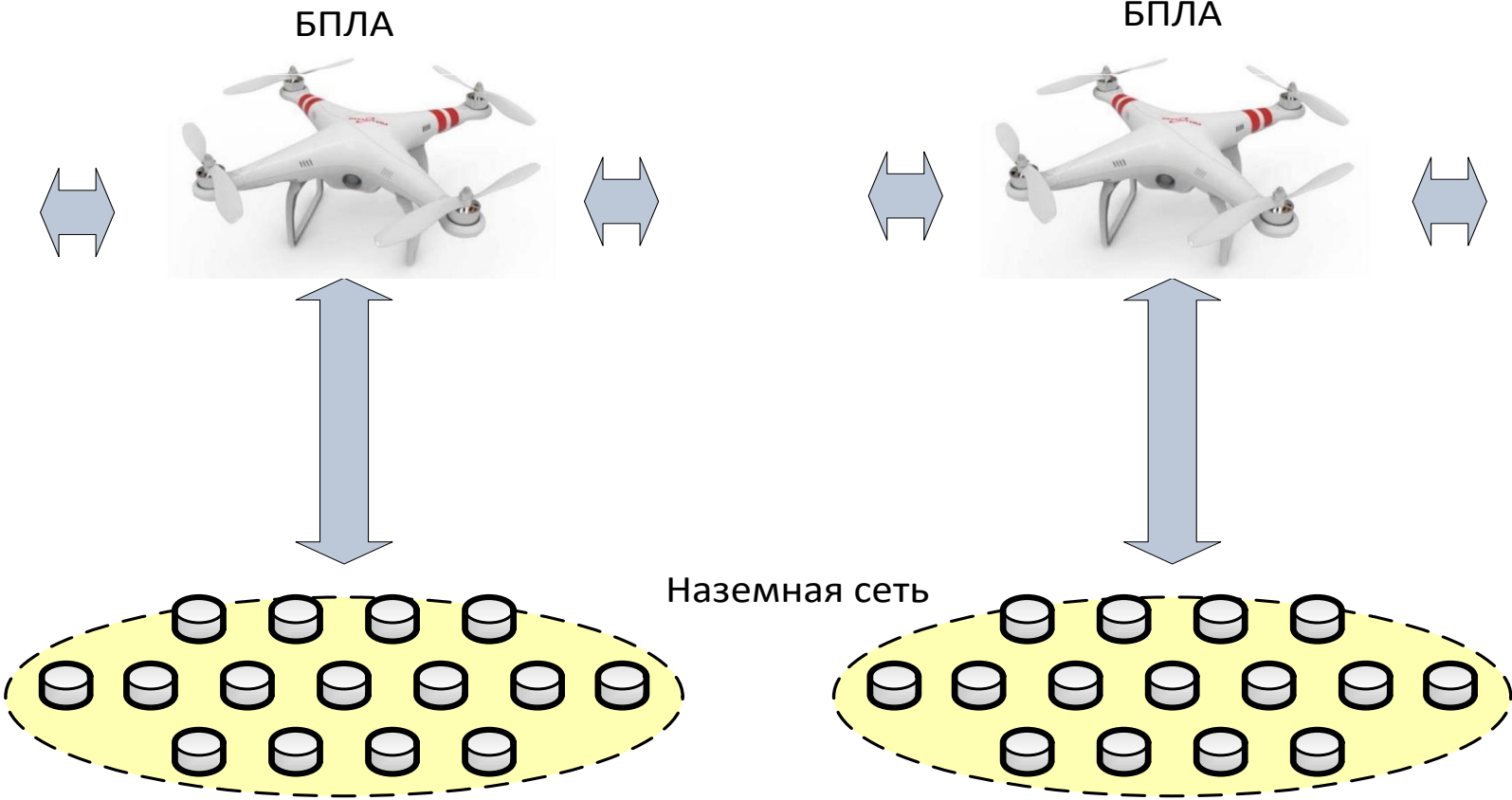
MEVI – Multi-hop and multi-path hierarchical routing protocol for efficient video transmission

ЛСС (1)

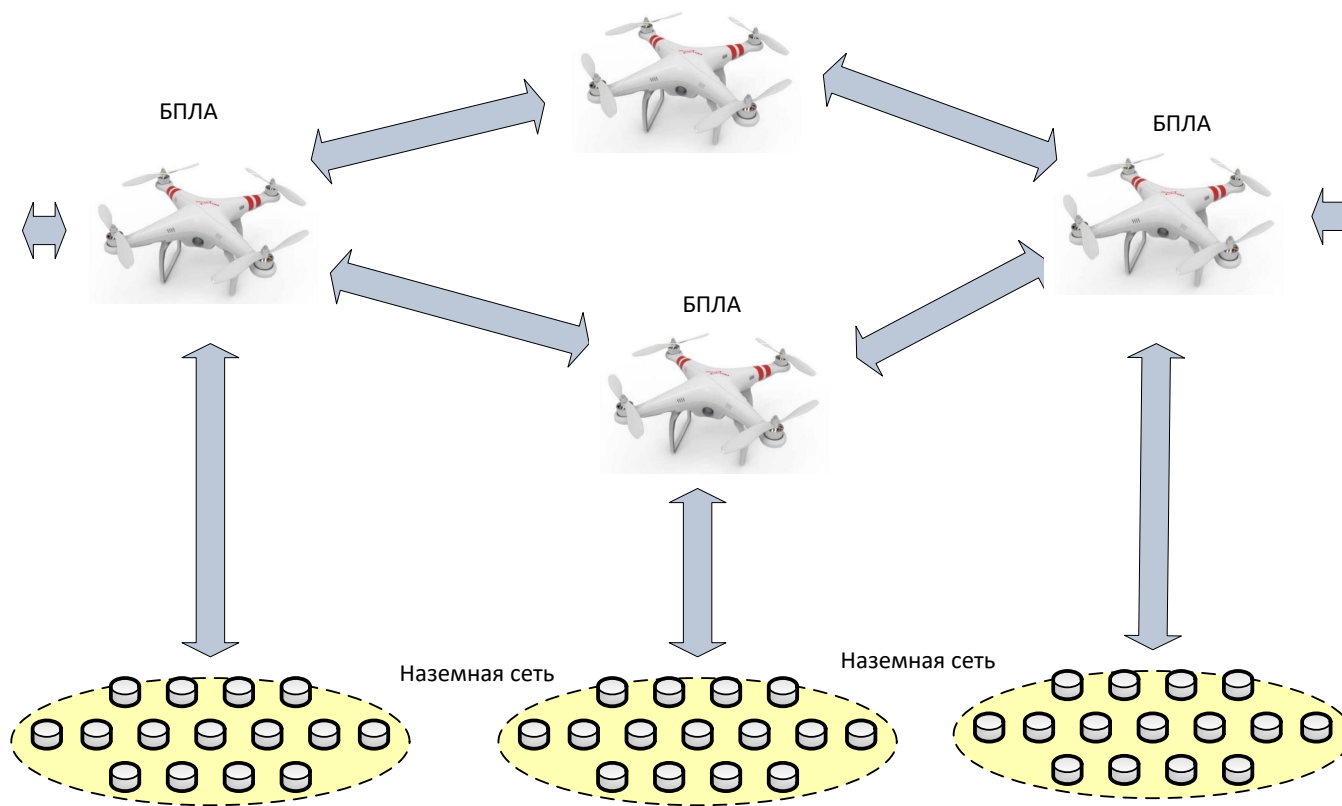
БПЛА



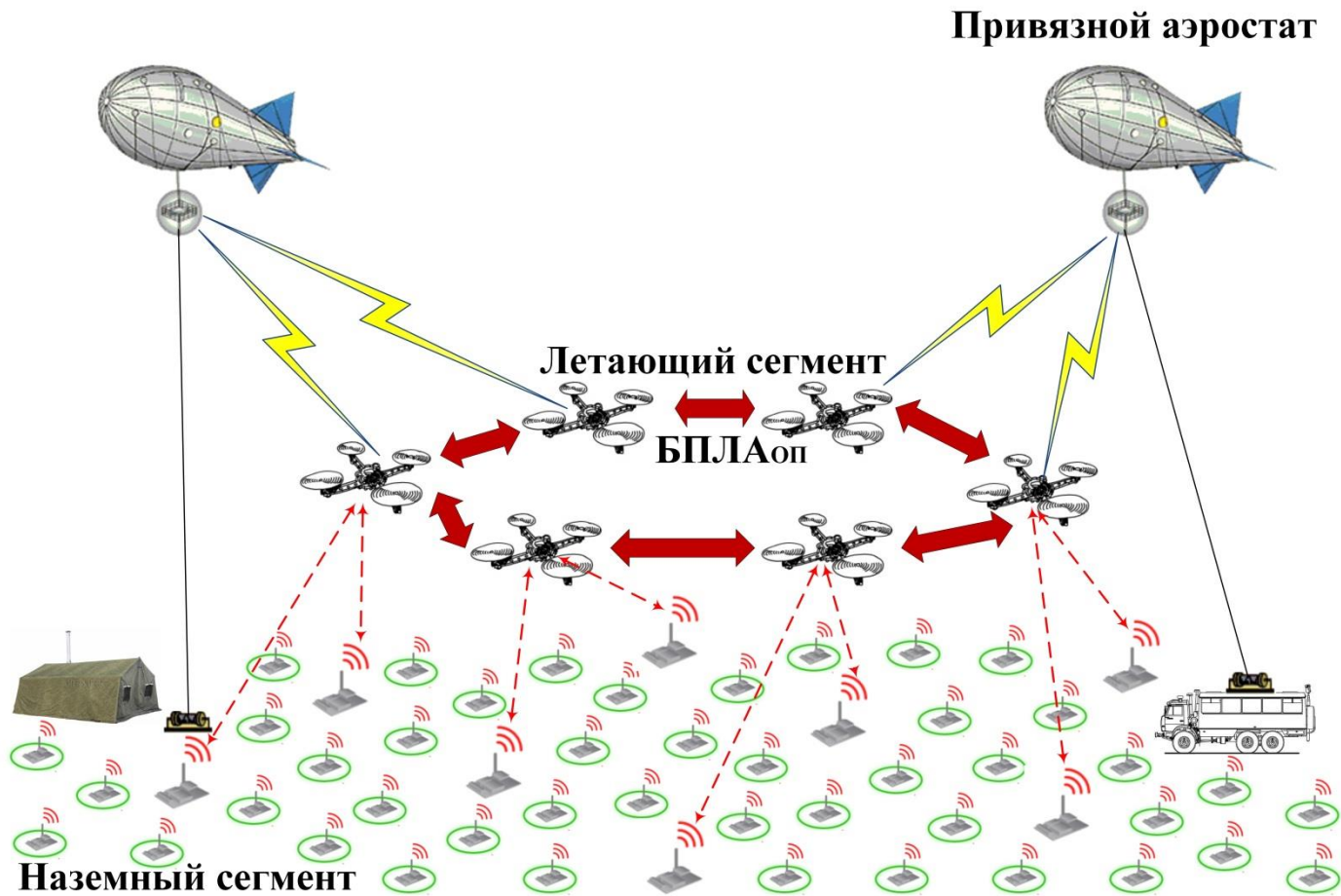
ЛСС (2)



ЛСС (3)



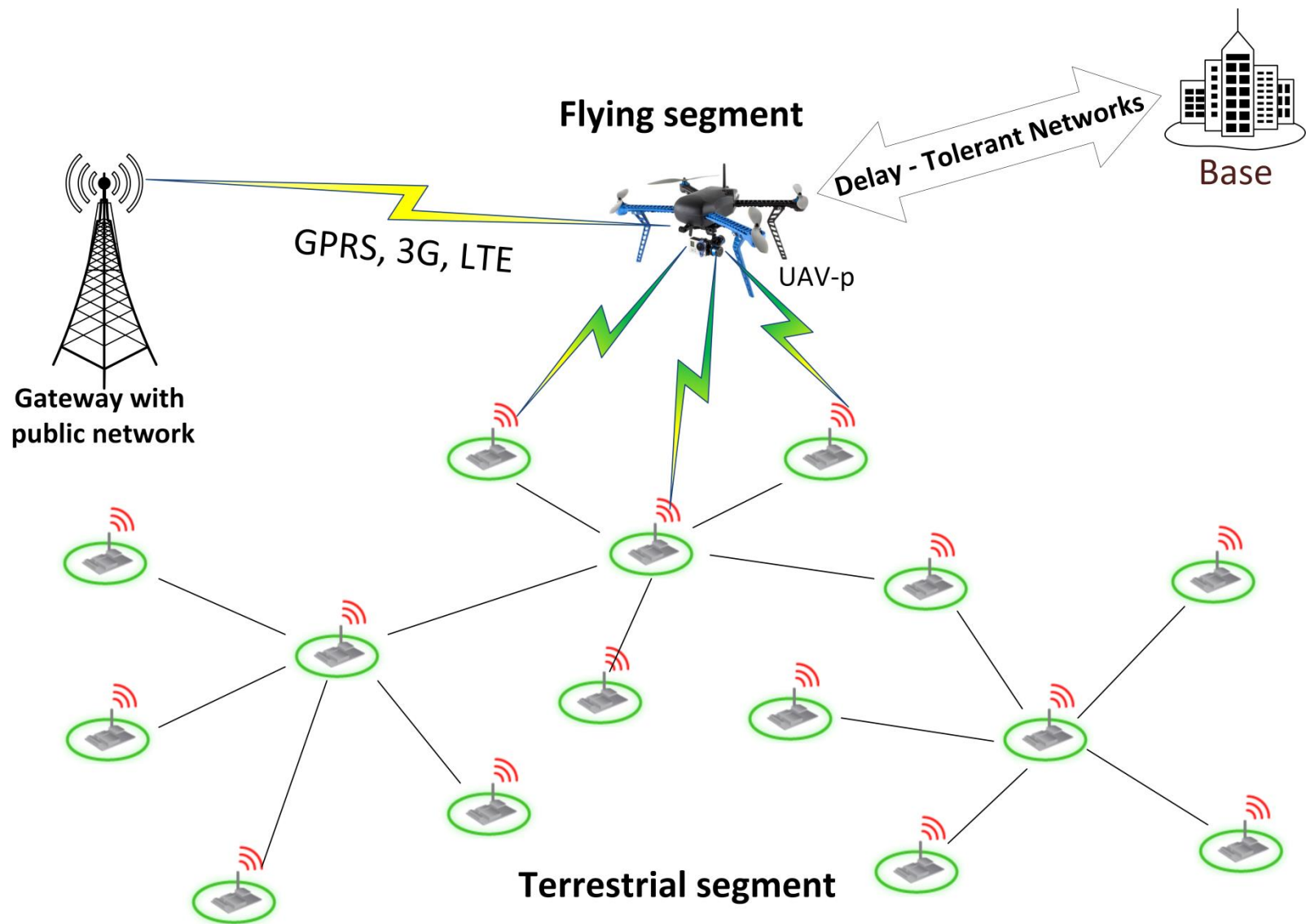
Иерархические ЛСС



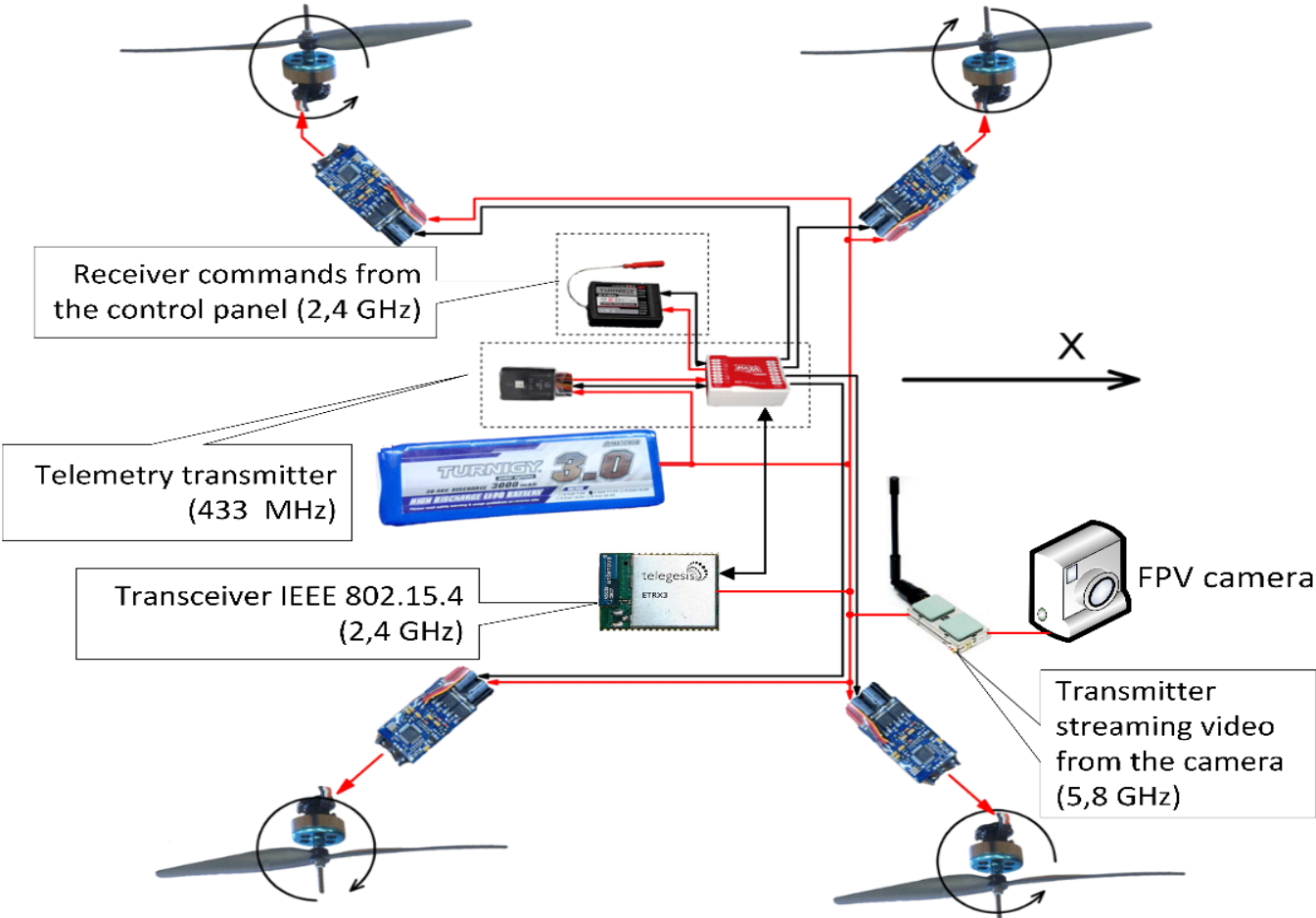
Полный жизненный цикл летающих сенсорных сетей

- Установка сенсорных узлов с БПЛА;
- Определение координат сенсорных узлов, построение карты сенсорного поля с помощью БПЛА;
- Сбор данных с сенсорного поля по оптимальным маршрутам;
- Доставка данных с сенсорного поля в ССОП;
- Подзарядка сенсорных узлов с БПЛА;
- Деинсталляция сенсорной сети.
- =====
- Безопасность ЛСС;
- Тестирование ЛСС.

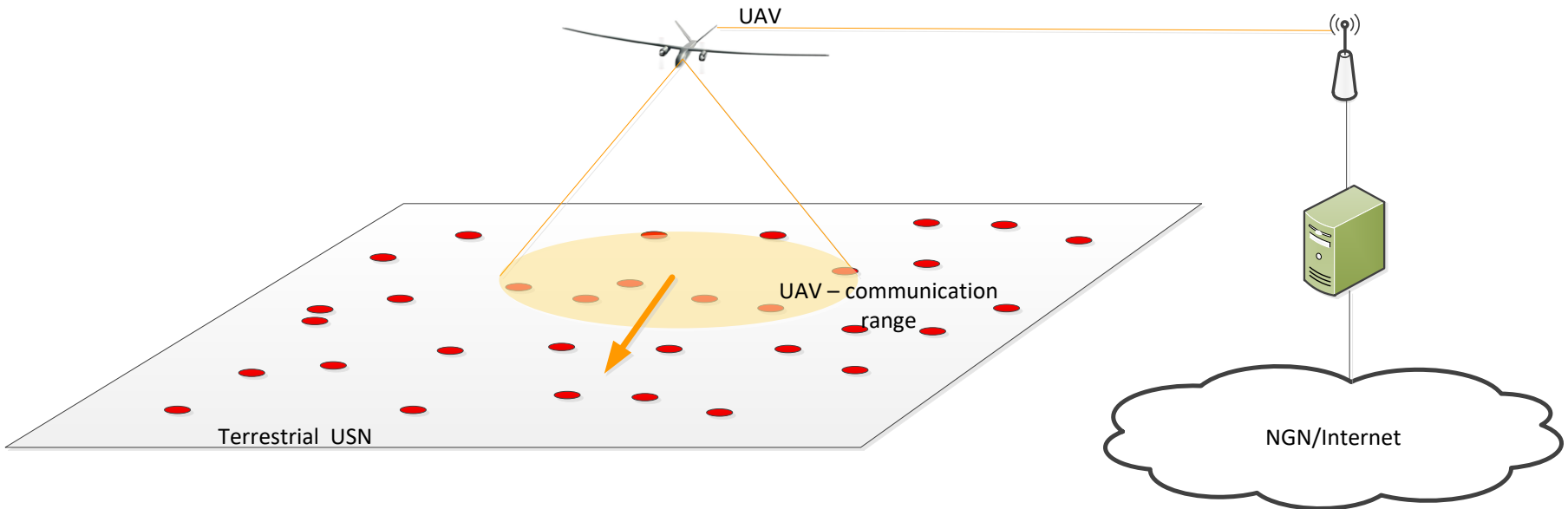
Доставка данных с сенсорного поля в ССОП



Структура квадрокоптера для FUSN



Процесс сбора данных



- Наземная сеть
- UAV – самолет, коптер, дрон
- Шлюз с сетью

Модель наземной сенсорной сети

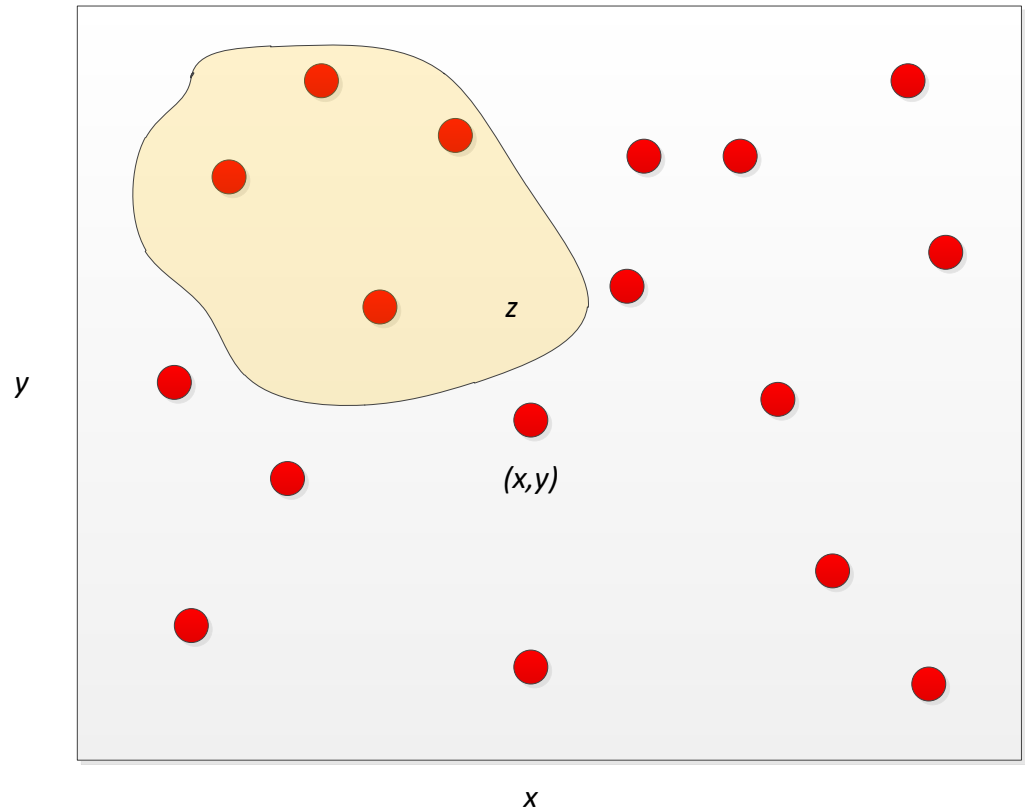
- (x,y) координаты сенсорных узлов, случайным образом размещенных на сенсорном поле
- Пуассоновское поле:

$$p_z = \frac{a^z}{z!} e^{-a}$$

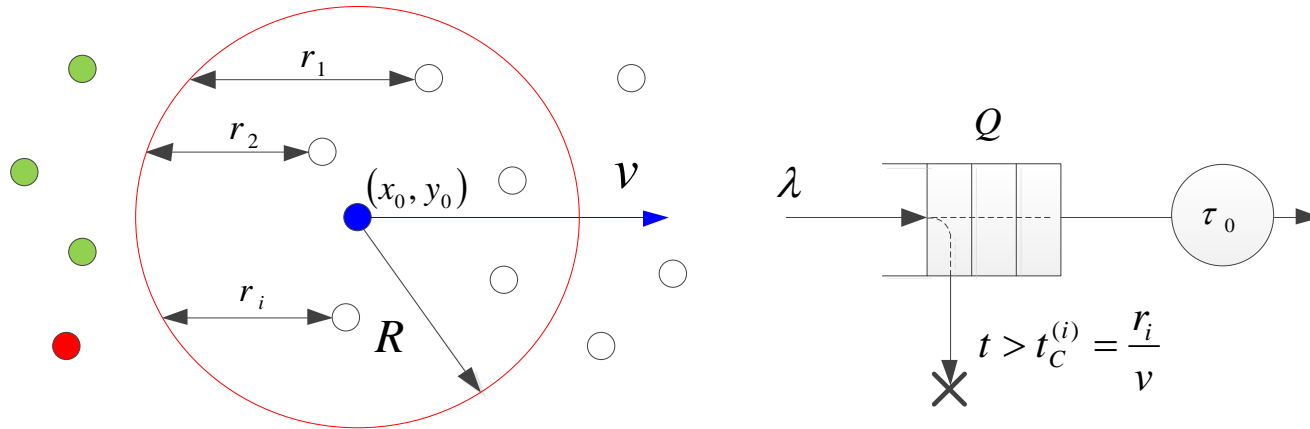
$$a = \rho \cdot S$$

ρ Плотность узлов на 1 m^2

S площадь m^2



Модель процесса сбора данных



$$p_z(t) = \frac{(\rho \cdot S(t))^z}{z!} e^{-\rho \cdot S(t)} \quad S(t) = 2R \cdot vt$$

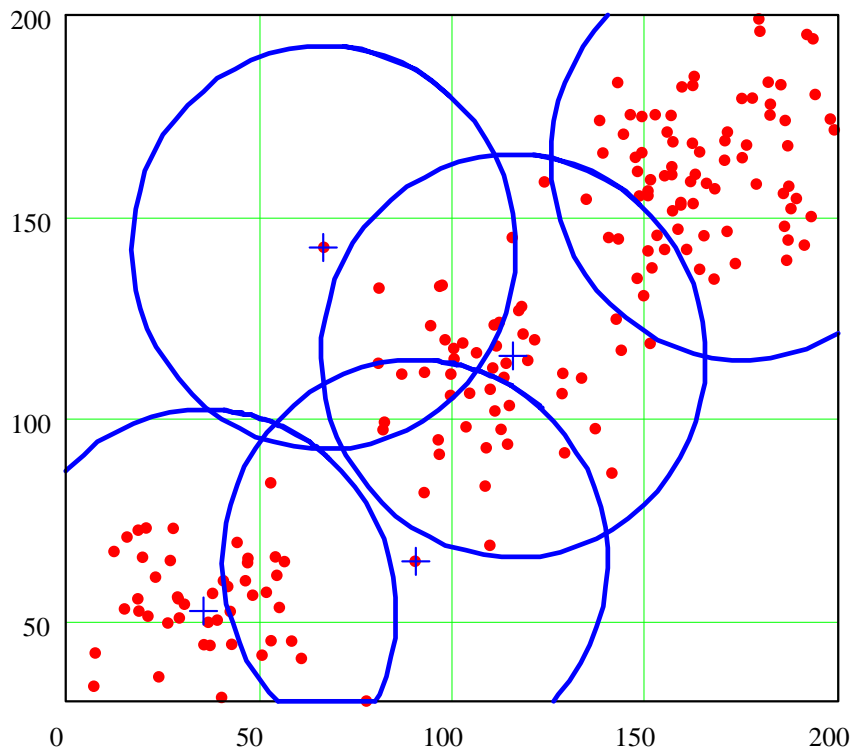
$$\gamma = \rho \cdot 2R \cdot v \quad \text{Интенсивность потока}$$

$$F(t) = P(T < t) \quad \text{Вероятность того, что хотя бы один узел попадет в интервал } T$$

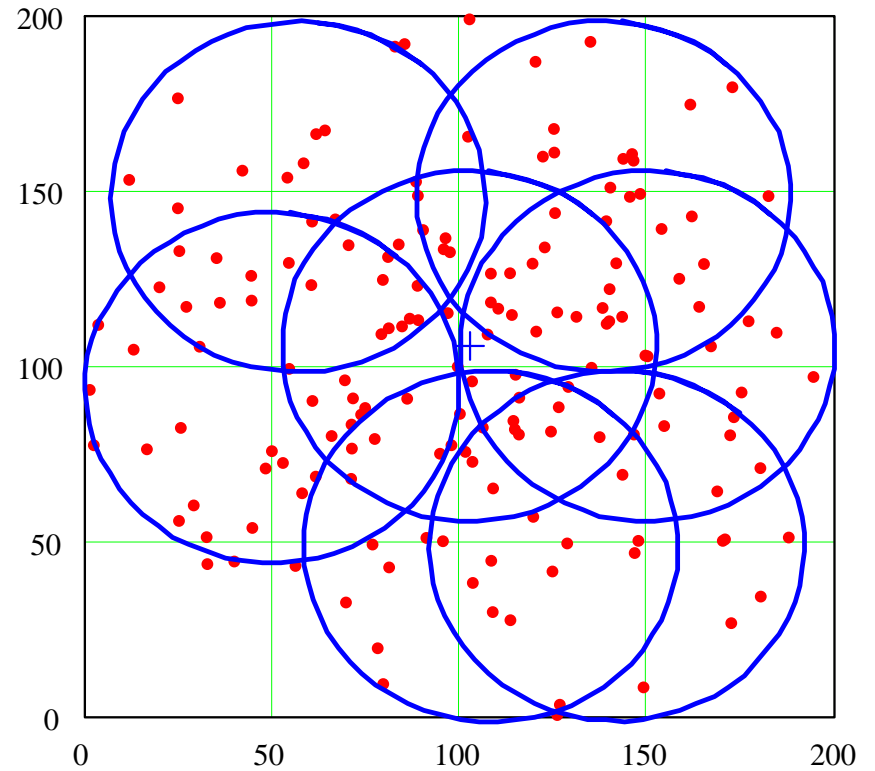
$$F(t) = 1 - e^{-\rho \cdot 2R \cdot vt} \quad \bar{a} = \frac{1}{\rho \cdot 2R \cdot v} \quad \text{Интервал между поступлениями}$$

Размещение сенсорных узлов

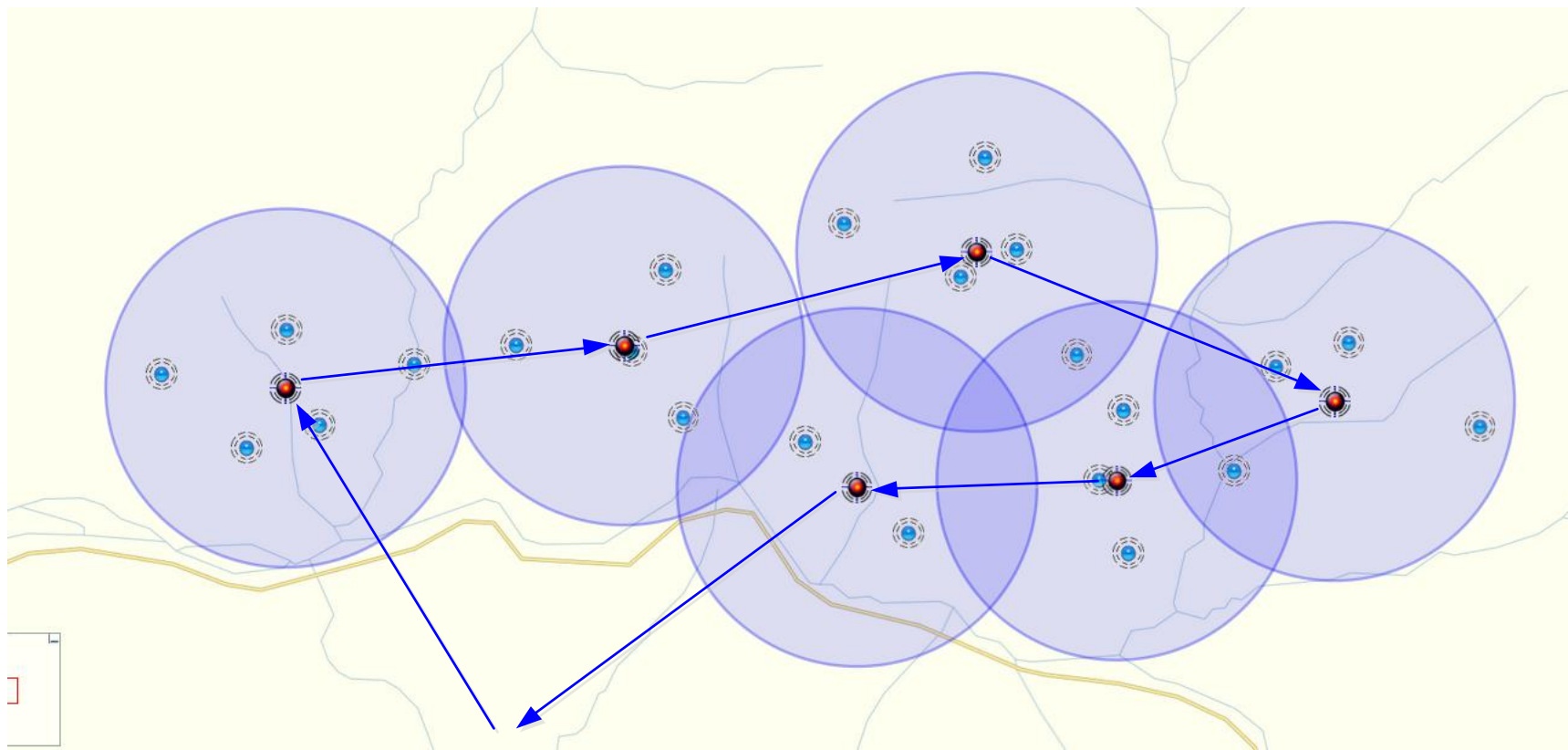
Вариант 1



Вариант 2



Маршрут облета



Оптимизация маршрута

$$M = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2$$

k - число кластеров

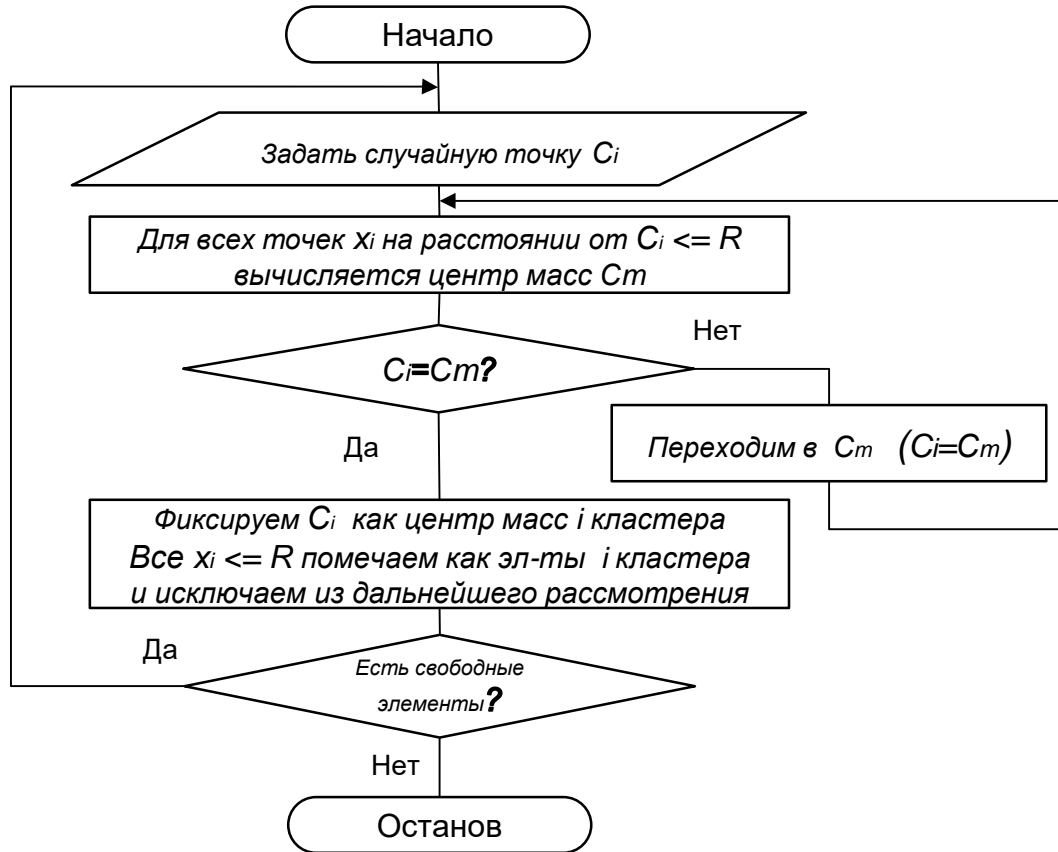
S - множество элементов i -го кластера

μ - координаты центра масс i -го кластера

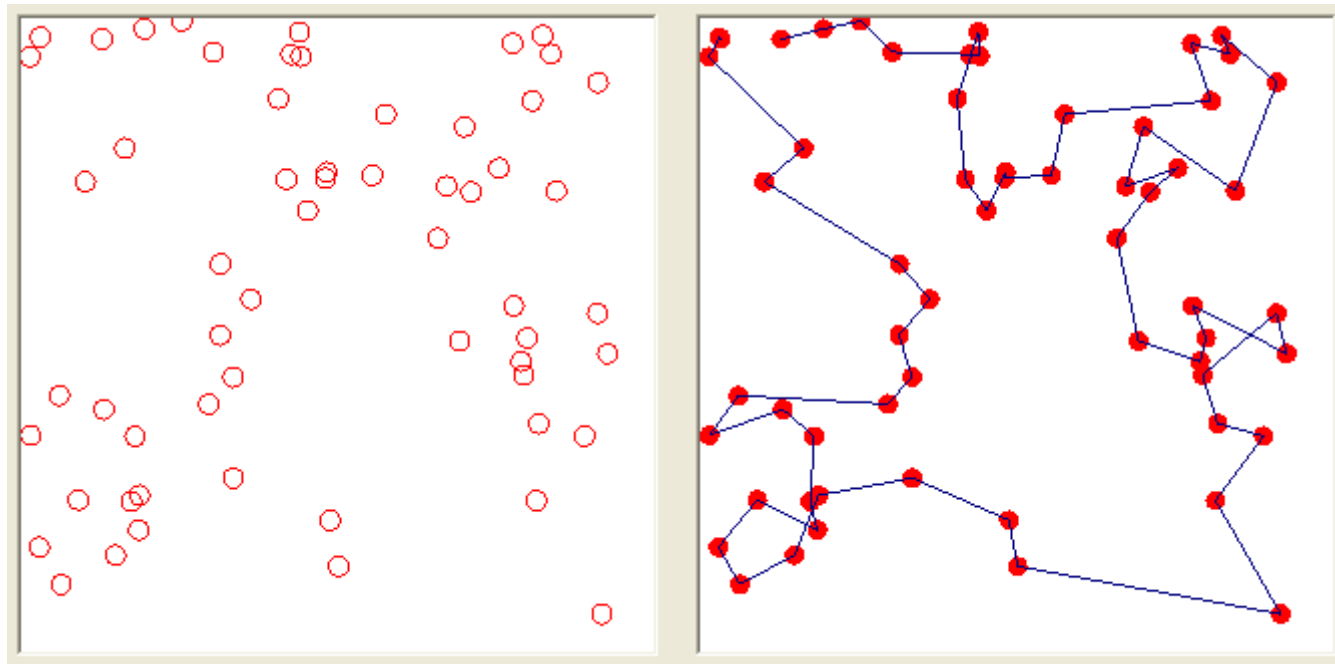
x - координаты центра масс j -го элемента кластера

Значение в скобках представляет собой эвклидово расстояние между элементом кластера и центром масс кластера

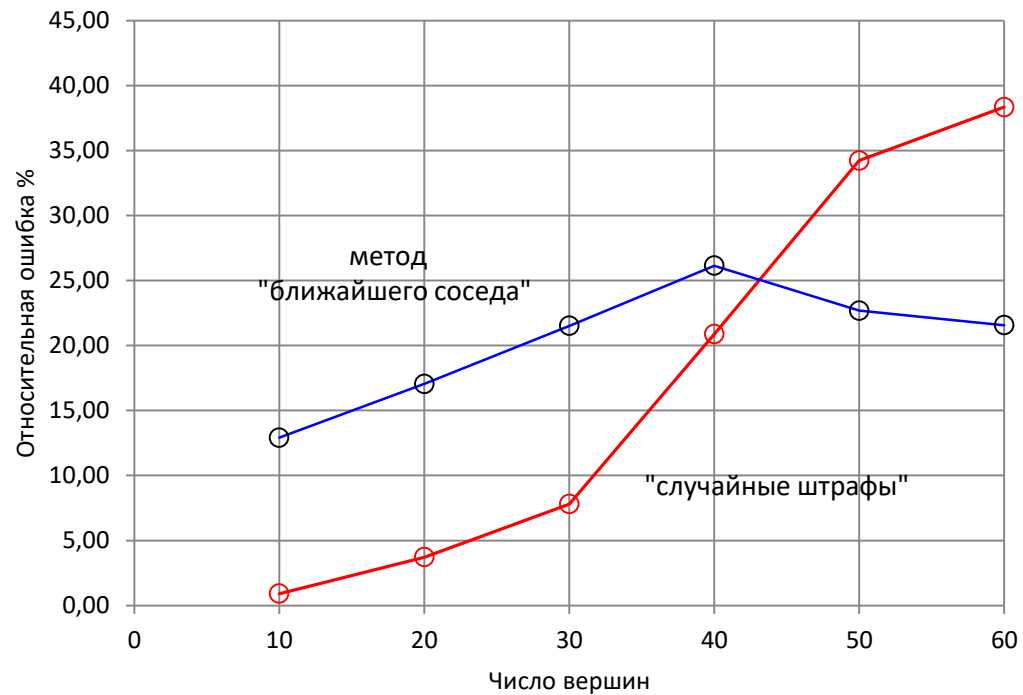
Алгоритм FOREL



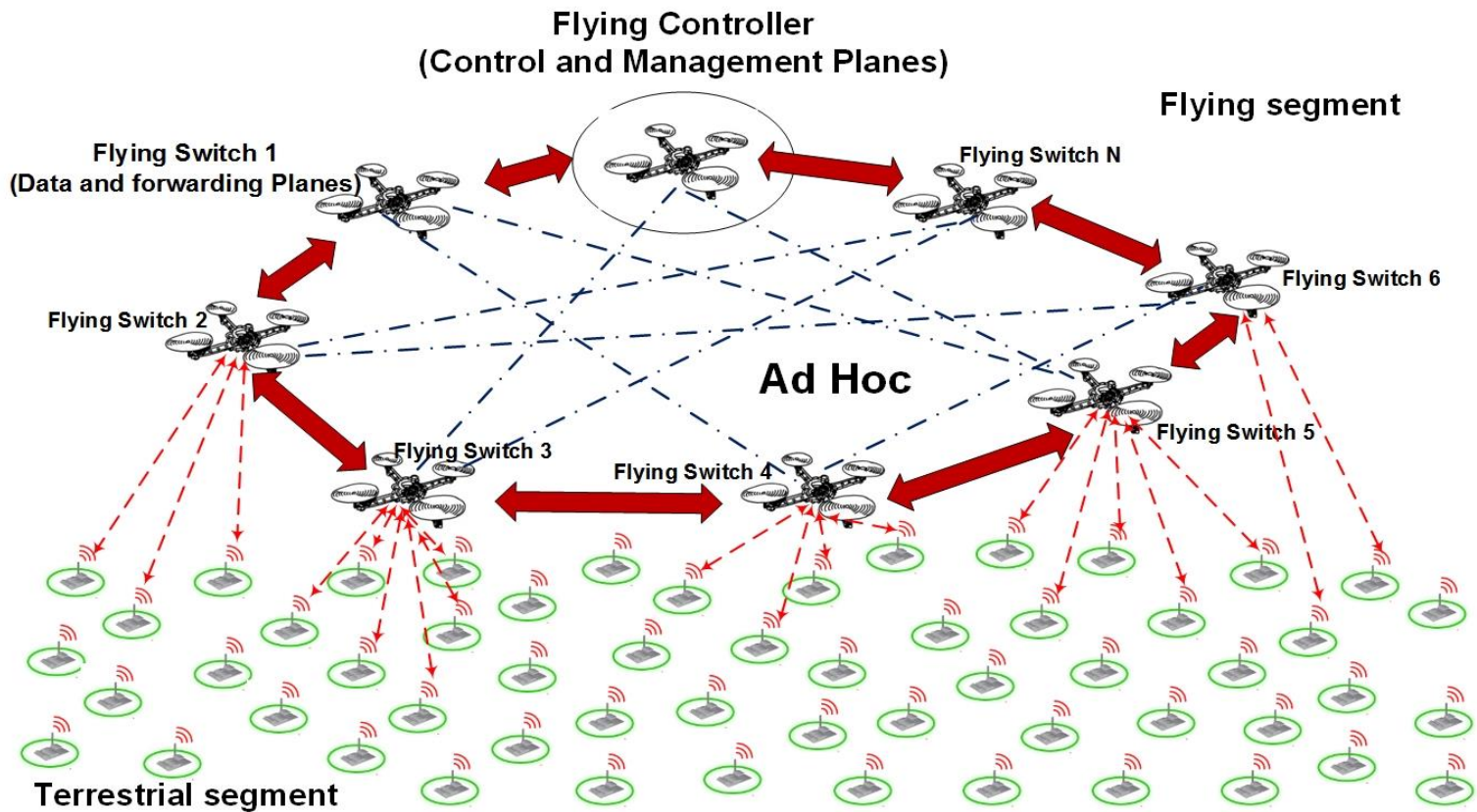
Пример гамильтоновой цепи



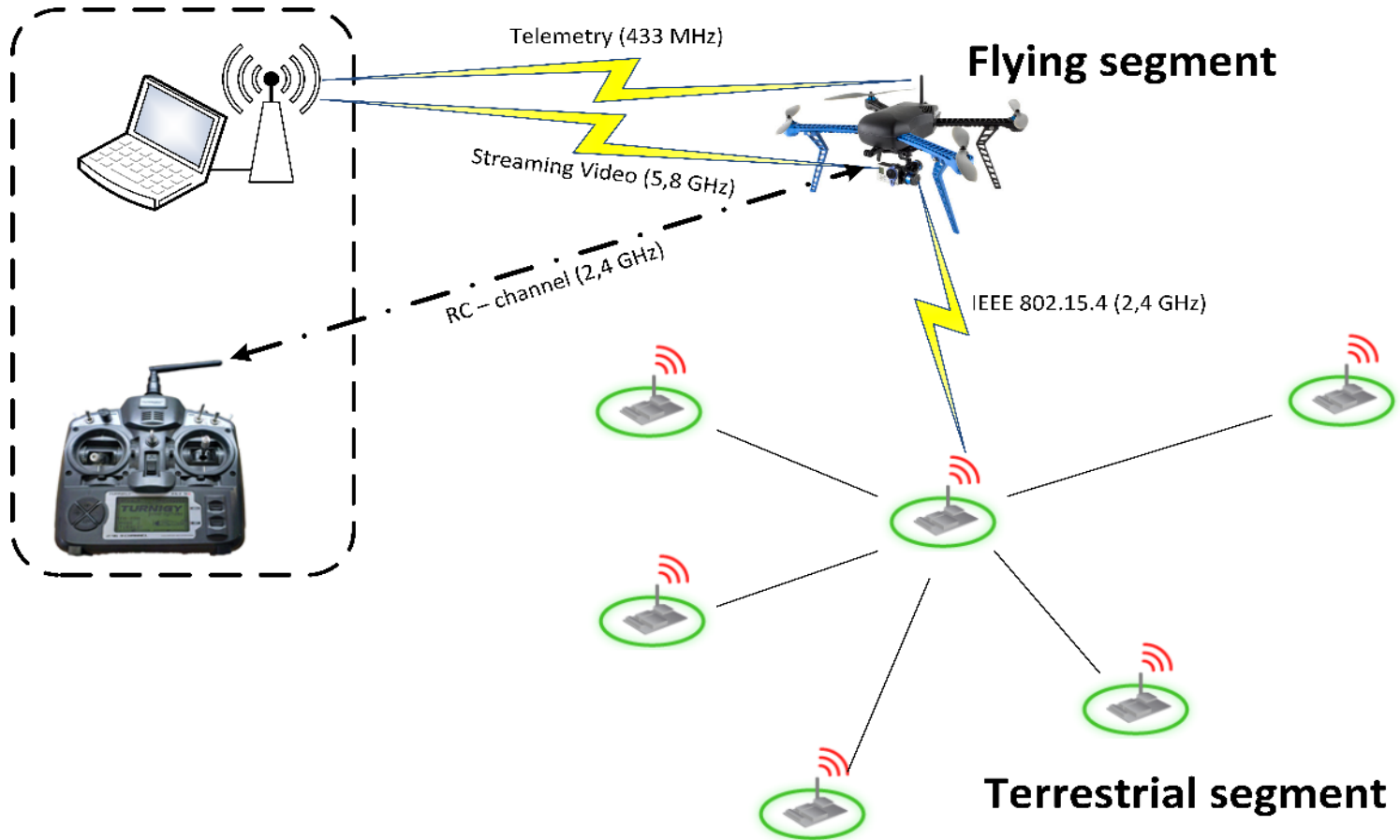
Методы решения задачи



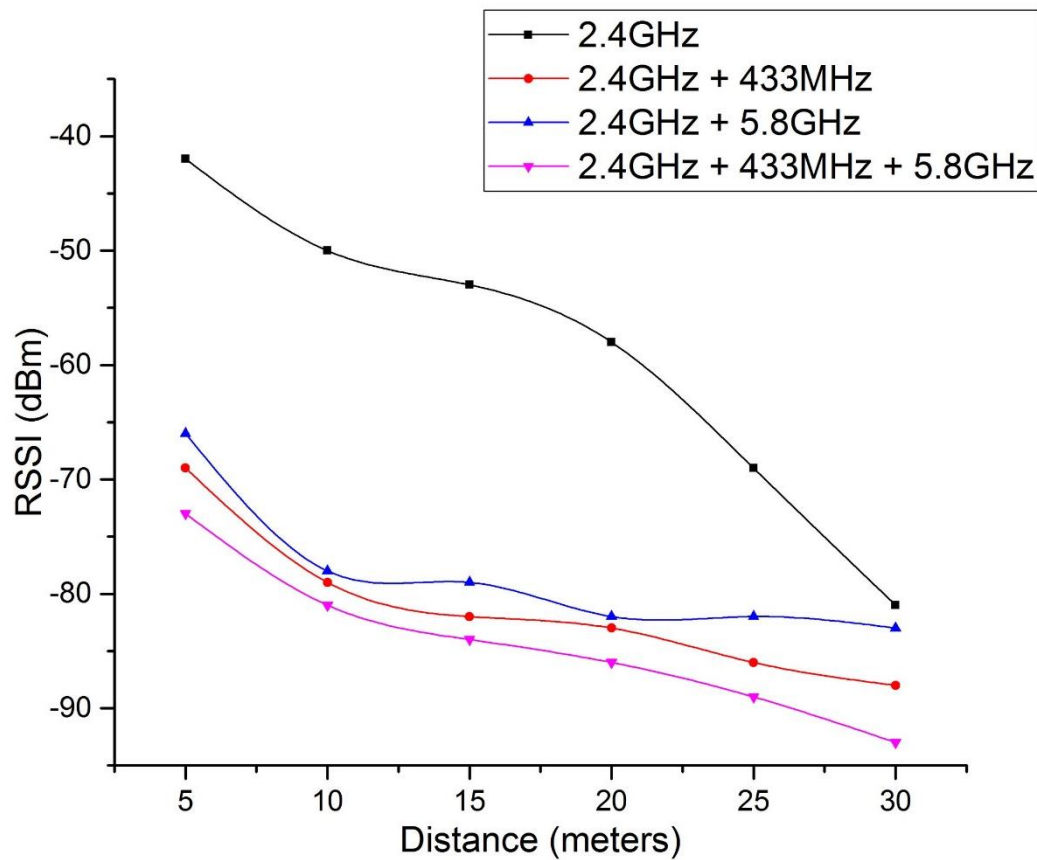
SDN для летающих сетей



Высота пролета

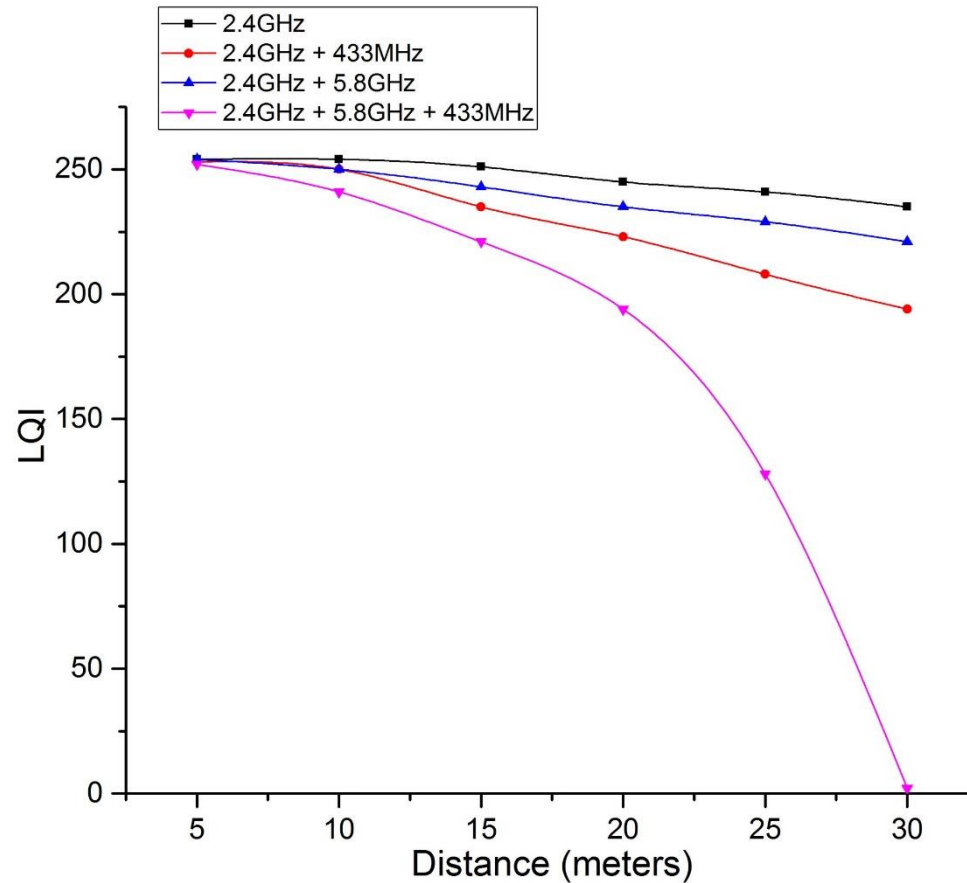


Зависимость мощности принимаемого сигнала от высоты

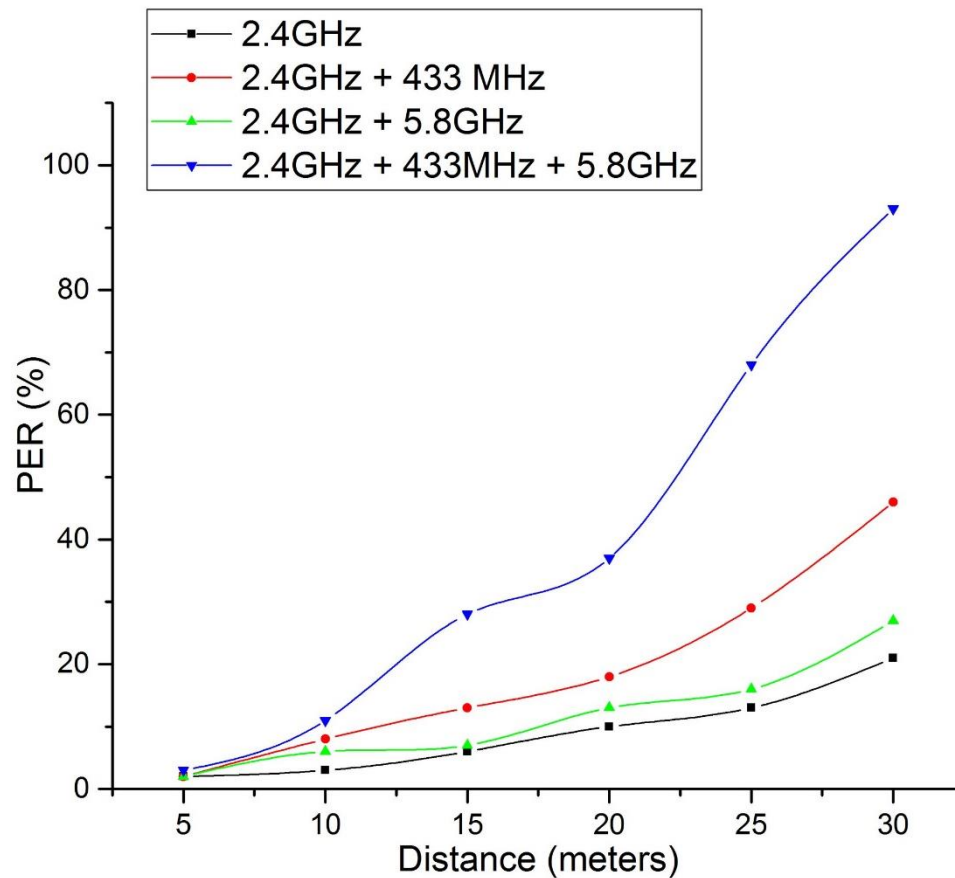


Зависимость показателя качества канала связи

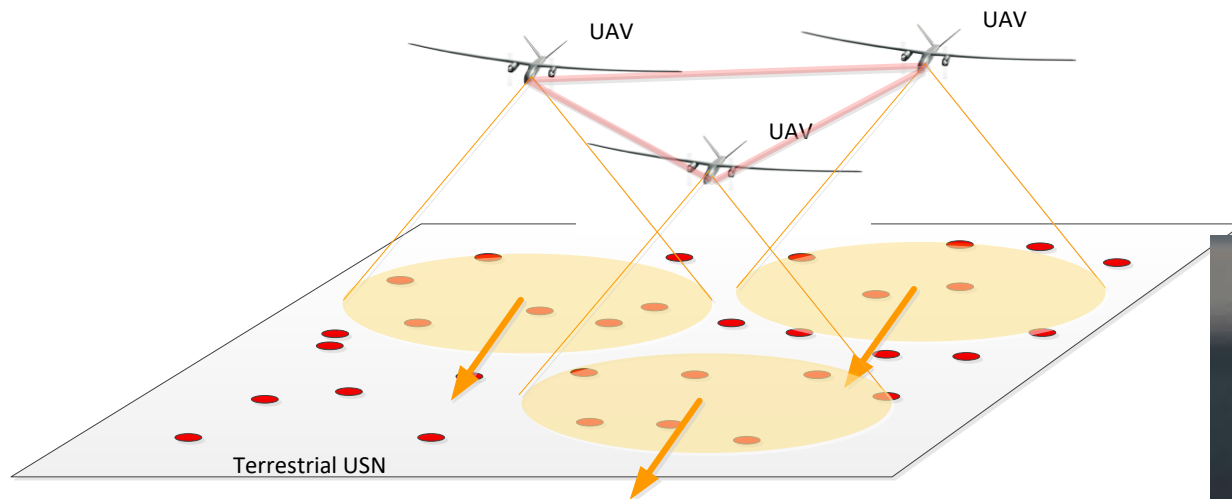
канала связи



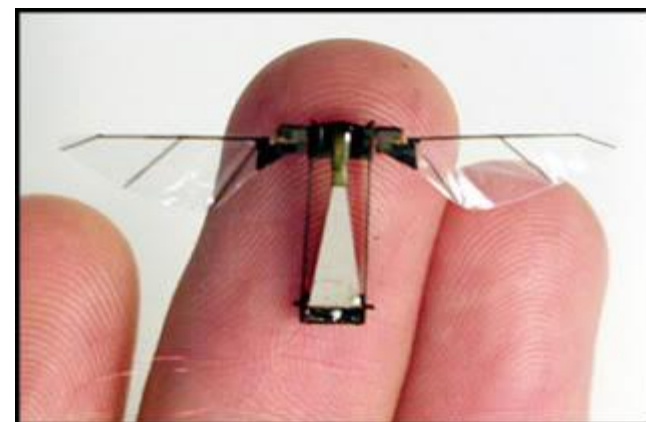
Доля ошибочно принятых пакетов в зависимости от высоты



Рой БПЛА



- Наземная сеть
- Группа БПЛА – самолеты или коптеры
- БПЛА-БПЛА взаимодействие

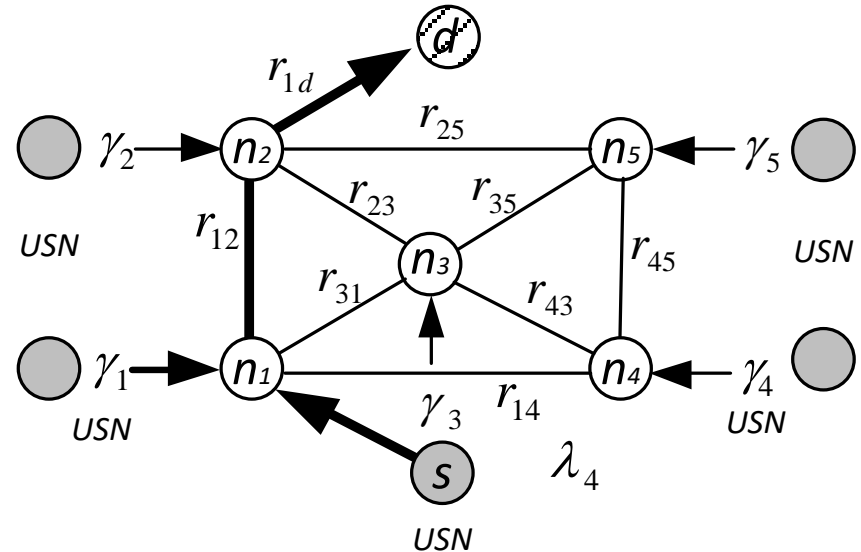


Сеть массового обслуживания

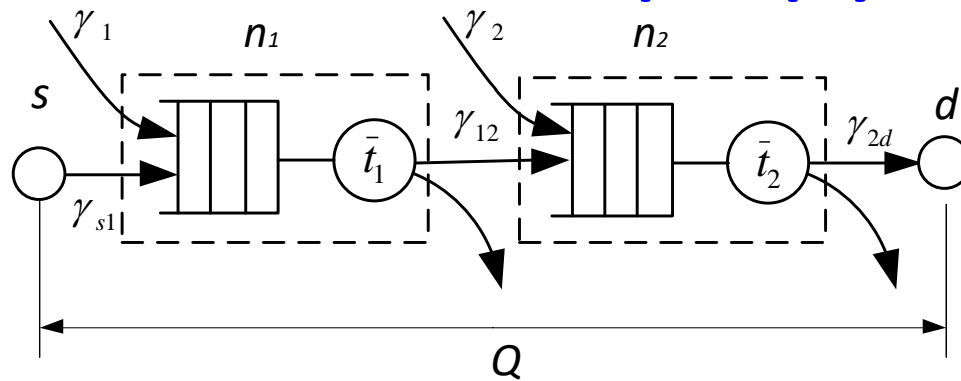
- Payload – a data from USN nodes
- Control data – data between UAVs, UAVs and operator

-Nodes of the network may be data sources or transit nodes

-The path for data delivery may consists of a number of flying nodes



Модель маршрута



- Quality of service: connectivity, data delivery delay
- The route model consists of data source node, destination node and a number of transit nodes
- Each node in the route, potentially, may have a data source and transit node role
- The structure of the route present a multi phase mass service system

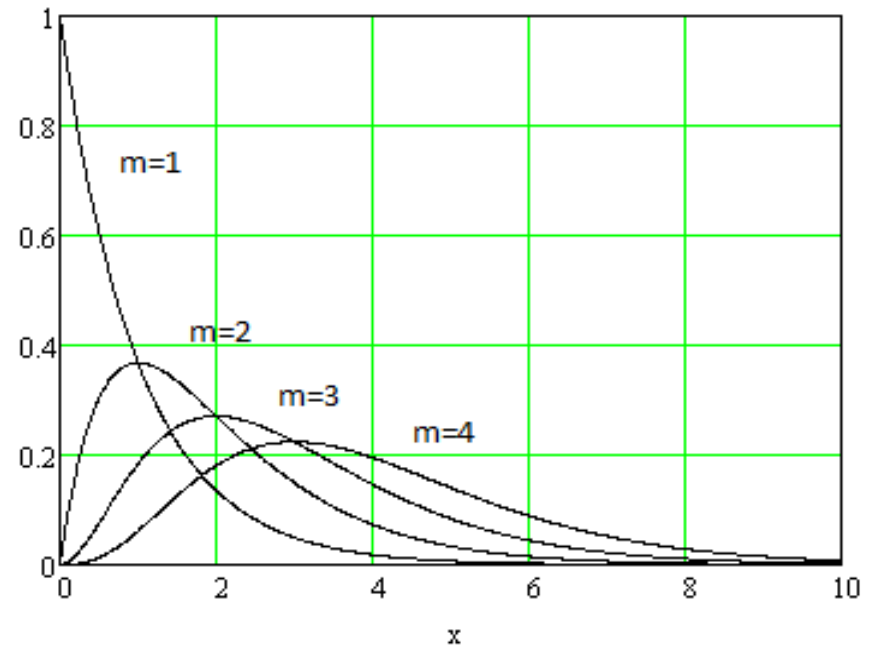
Задержка на маршруте

-The input traffic flow for each node may be considered as the Poissonian flow (Poissonian field of USN nodes)

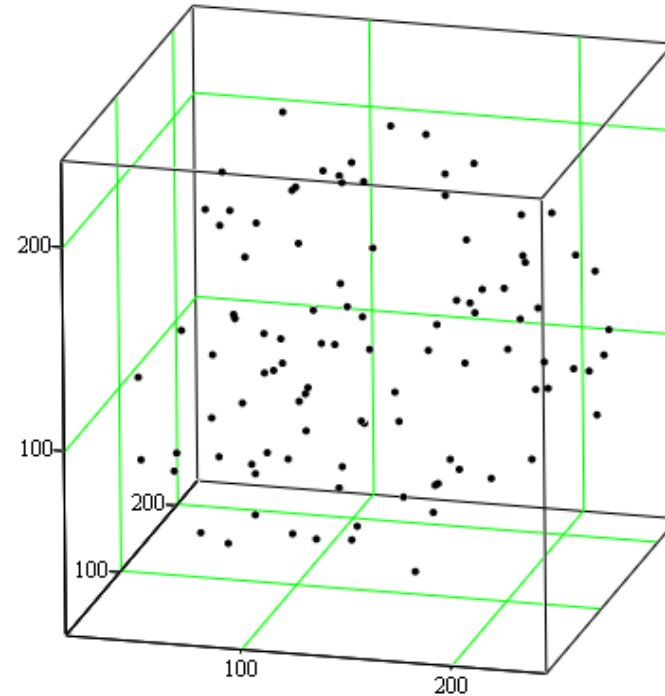
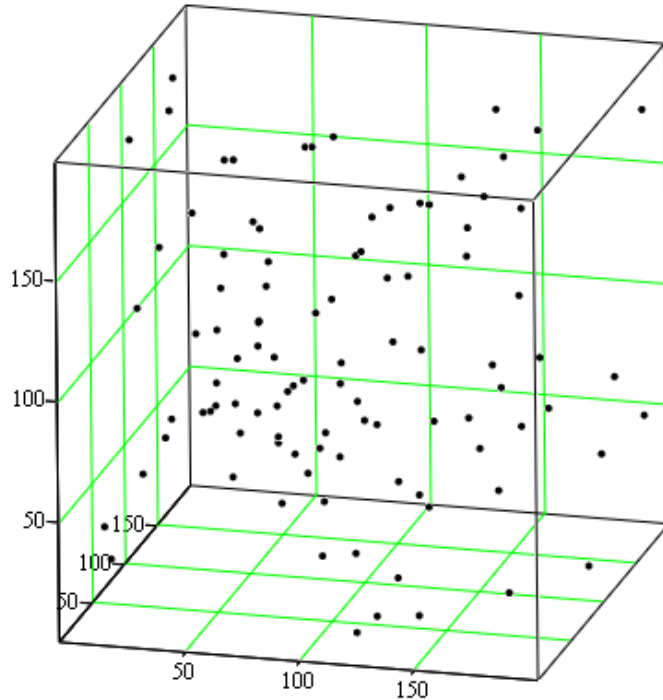
$$S(x, m) = \frac{m \cdot \mu \cdot (m \cdot \mu \cdot x)^{m-1}}{(m-1)!} e^{-m \cdot \mu \cdot x}$$

-Data processing time in each node may be a random (assume an exponential distributed time)

-The total delay on the route may be described by Erlangs- m distribution. Where the m is a number of hopes in the route.



Фигуры для летающей сети

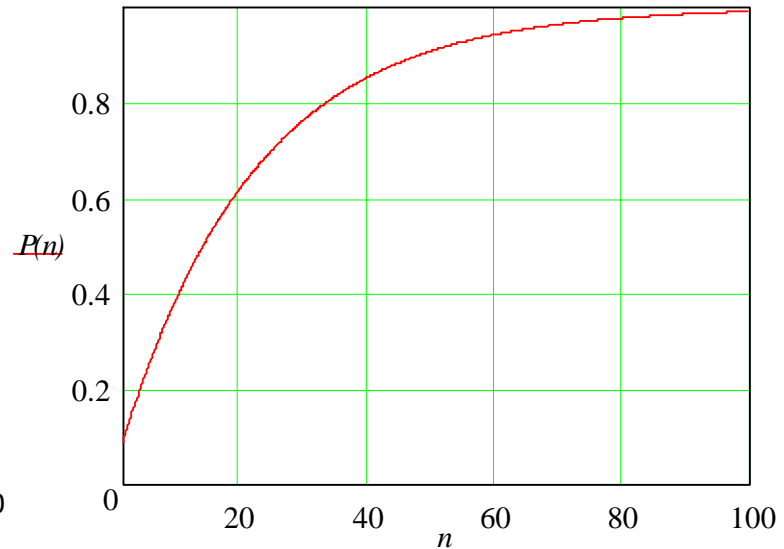
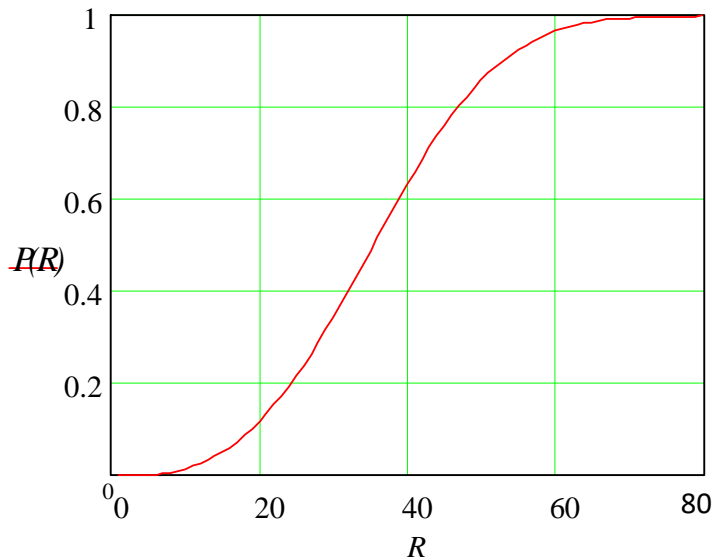


- UAVs behavior: each UAV seeks to save its position relatively other UAVs
- The flying network area may be bounded by a 3D geometric figure
- The distances between UAVs and paths lengths depends on the form of the figure and its size

СВЯЗНОСТЬ

- Connectivity of the network may be considered as a probability of at least one node is inside of the sphere with radius R (node connectivity range).
- Connectivity of the network may be described by using of Poisson distribution
- Connectivity depends on the communication range R and from the number of nodes (nodes density), a – expected number of nodes in the sphere.
- The left picture corresponds to the network with nodes density nodes by cubic meter (30 nodes in the cube 200x200x200 m), the range of a nodes connectivity varies up to 80 meters. The right picture corresponds to the network with the range of nodes connectivity R is equal to 40 meters, the number of nodes varies from 2 up to 100 in the constant volume cube.

$$P_{\leq R} = 1 - e^{-a} \quad a = V \cdot \rho \quad V = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3$$



Распределение расстояний между узлами (теоретическое)

- In the case of a unit cube the probability distribution function can be defined as follows

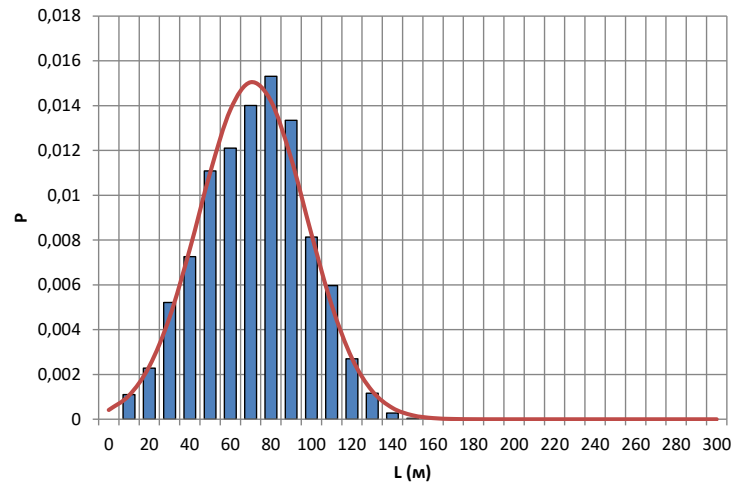
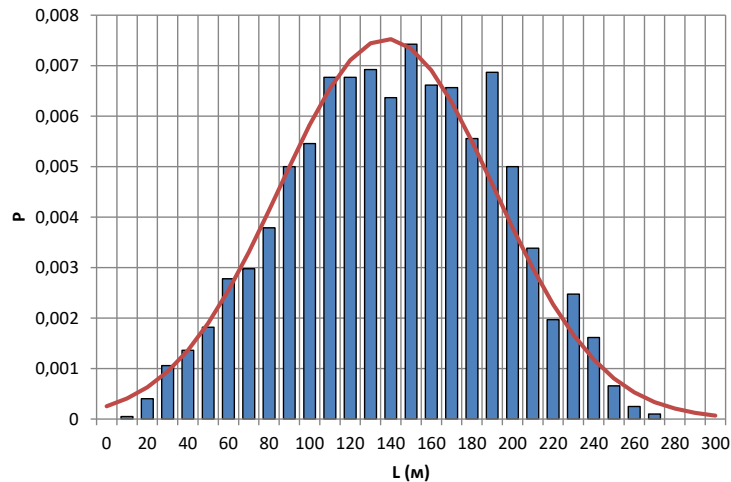
$$P(l) = \begin{cases} -l^2[(l-8)l^2 + \pi(6l-4)] & 0 \leq l \leq 1 \\ 2l \left[(l^2 - 8\sqrt{l^2-1} + 3)l^2 - 4\sqrt{l^2-1} + 12l^2 \sec^{-1} l + \pi(3-4l) - \frac{1}{2} \right] & 1 < l \leq \sqrt{2} \\ l \left[(1+l^2)(6\pi + 8\sqrt{l^2-2} - 5 - l^2) - 16l \csc^{-1}(\sqrt{2-2l^{-2}}) + \right. \\ \left. + 16l \tan^{-1}(l\sqrt{l^2-2}) - 24(l^2+1) \tan^{-1}(\sqrt{l^2-2}) \right] & \sqrt{2} < l \leq \sqrt{3} \end{cases}$$

- In the case of unit cube equation for the expected value of distance may be derived to the well-known form and its equal to the Robbins constant (approximately 0.66).

$$\Delta(3) = \frac{1}{105} \left[4 + 17\sqrt{2} - 6\sqrt{3} + 21\ln(1 + \sqrt{2}) + 42\ln(2 + \sqrt{3}) - 7\pi \right] \approx 0,66170\dots$$

Расстояние между узлами

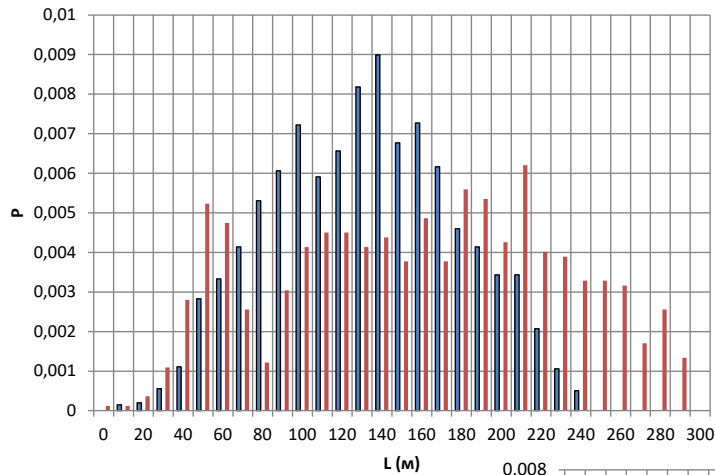
- The distance between network nodes bounded by cube 200x200x200 м and by cube 100x100x100 м
- The histograms can approximated by truncated normal distribution



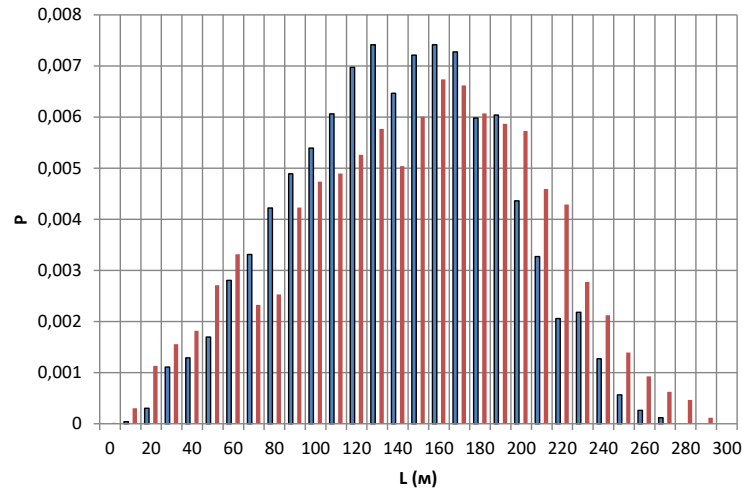
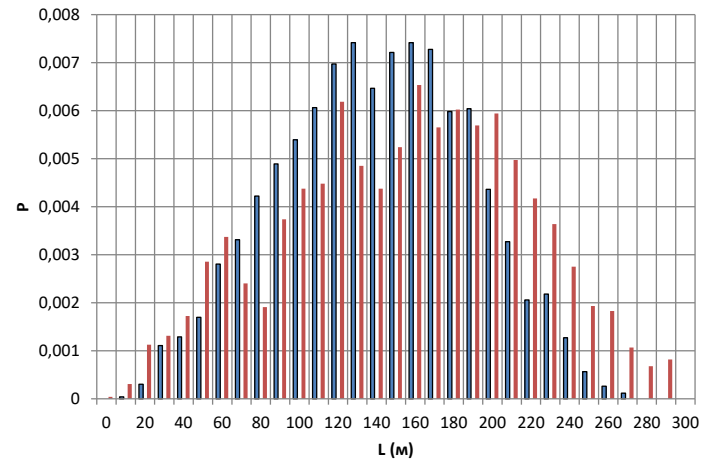
Распределение кратчайших путей

- Empirical distribution obtained by simulation results
(Cube bounded network)

20 nodes



50 nodes



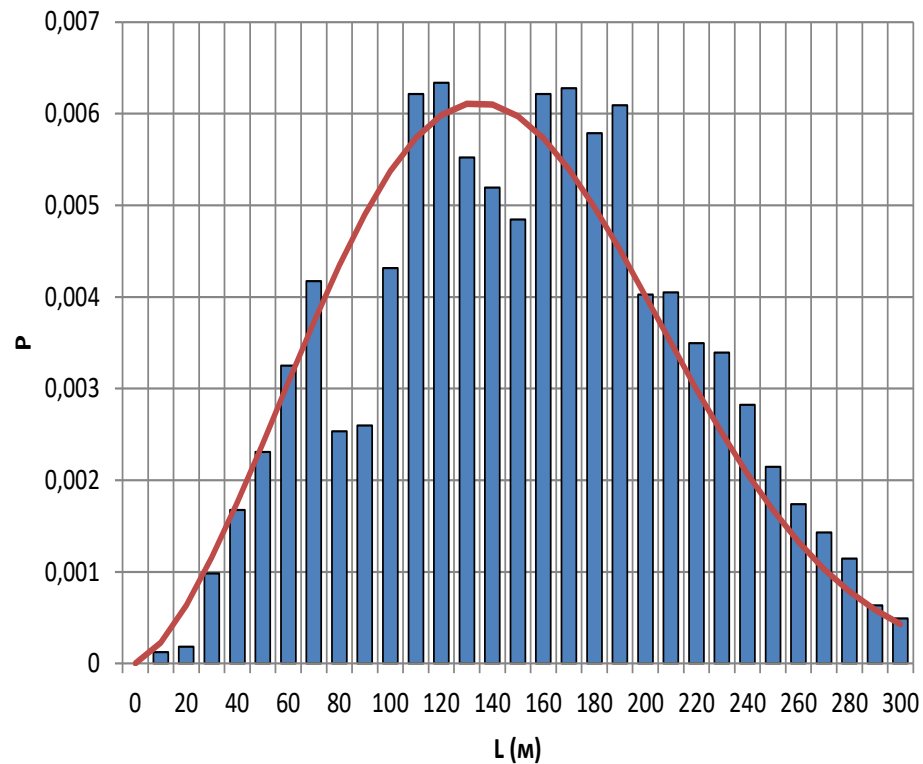
100 nodes

Распределение кратчайших путей

- The approximation of the results of modeling the closest was the Weibull-Gnedenko distribution with probability density defined as

$$f(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda} \right)^k}$$

- where k and λ are parameters of distribution.

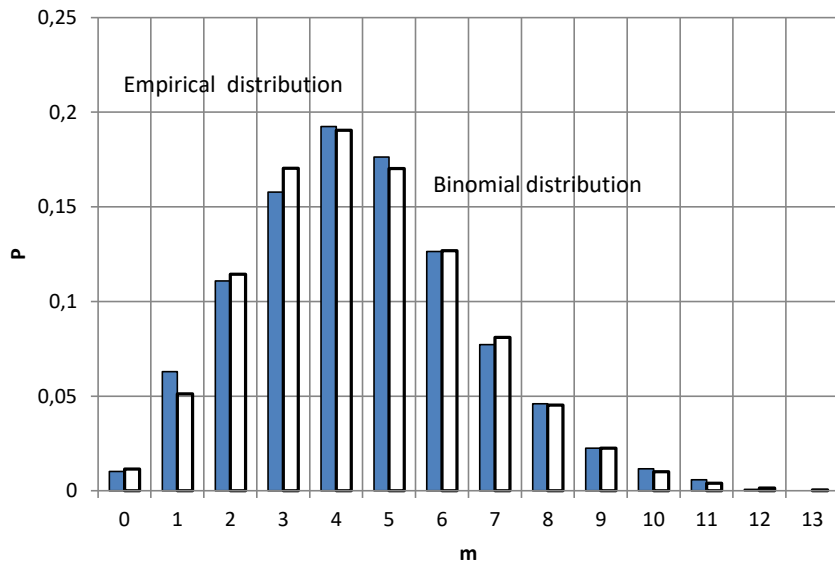


Распределение числа шагов

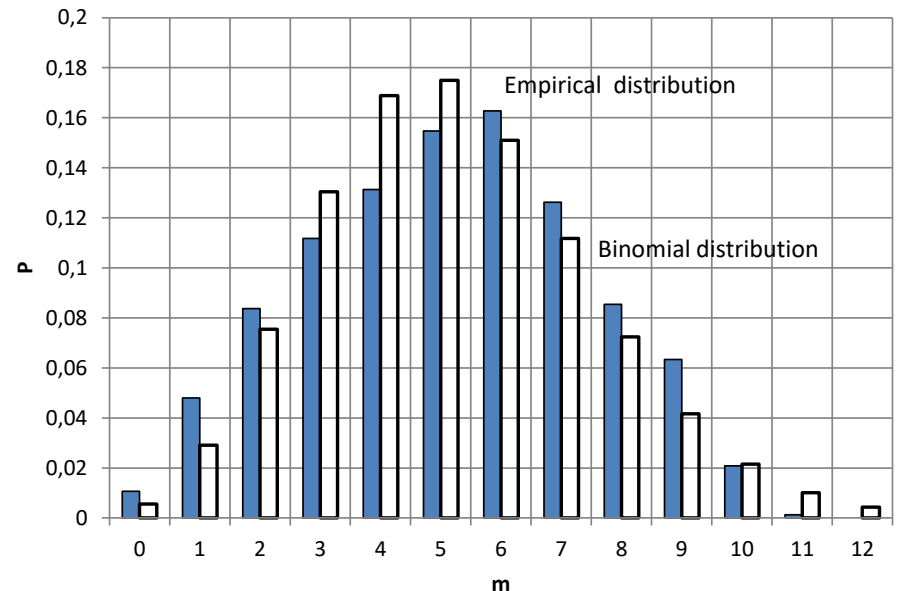
- Distribution of hops number obtained by simulation results
- The binomial distribution can be used

$$P_k = C_n^k p^k (1-p)^{n-k}$$

Cube bounded network



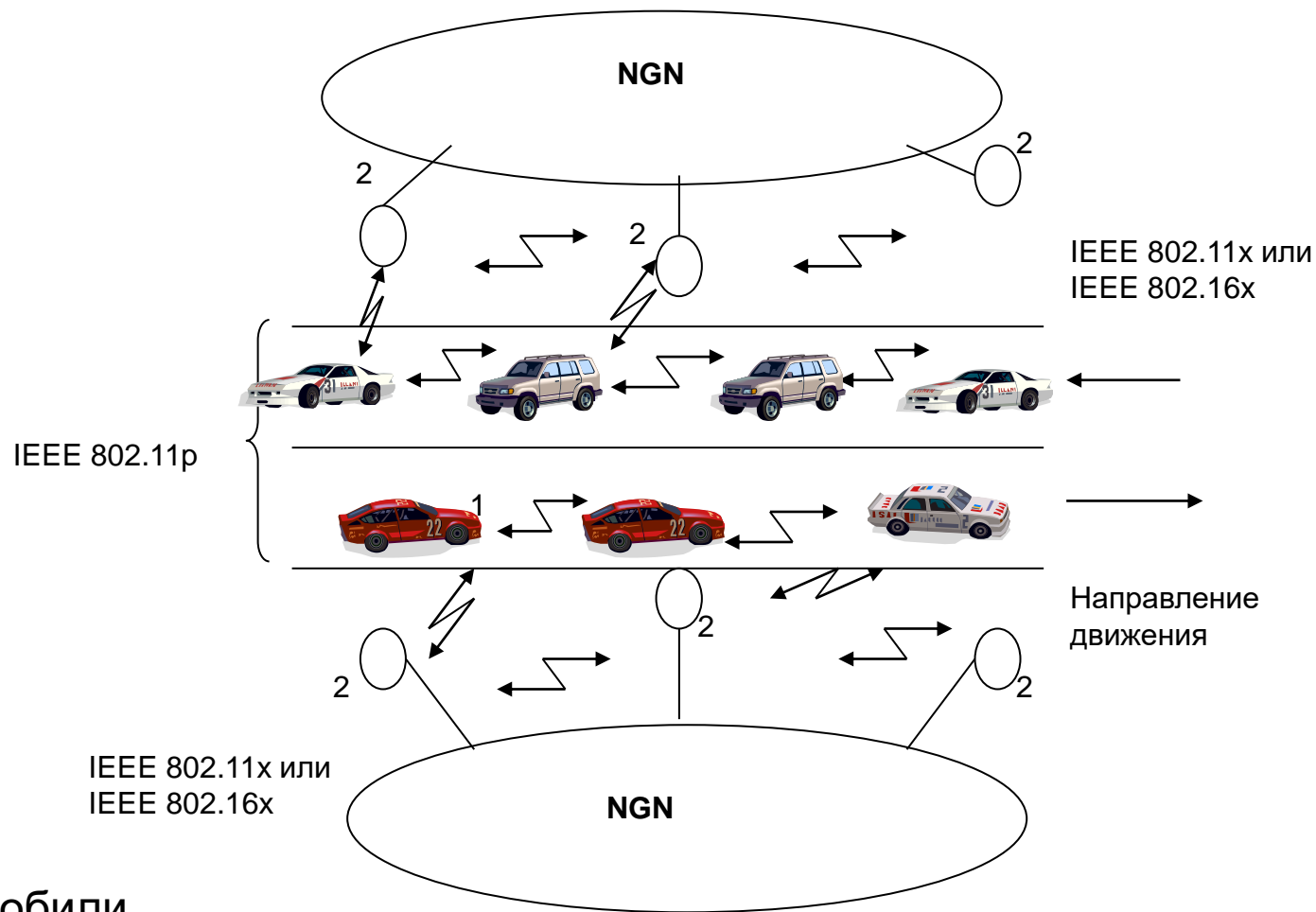
Sphere bounded network



ETSI 302 665

- Спутниковая сеть (GPS/GALILEO)
- Сотовые сети
- Придорожная инфраструктура
- Взаимодействие автомобиль-автомобиль по IEEE 802.11p
- DSRC (Dedicated Short-Range Communications)

Сеть VANET (Vehicular Ad Hoc Network)



1 – автомобили

2 – узлы придорожной сети

Приложения автомобильных сетей

1. Приложения, ориентированные на техобслуживание автомобилей:
 - удаленная диагностика,
 - перезагрузка данных и программного обеспечения автомобиля;
2. Приложения, ориентированные на дорожную безопасность:
 - помощь при авариях,
 - поддержка водителя в сложных дорожных ситуациях;
3. Приложения, ориентированные на пассажиров:
 - доступ в интернет,
 - аудиовизуальные услуги, в том числе IPTV;
4. Приложения, ориентированные на оптимизацию дорожного трафика:
 - помощь в навигации, например, рекомендации по объезду временных препятствий,
 - управление скоростью;
5. Приложения, ориентированные на автомобиль:
 - логистика,
 - парковка.

ETSI TS 102 636-3

Интеллектуальная Транспортная Система:

Ad Hoc + сеть доступа

Виды взаимодействий

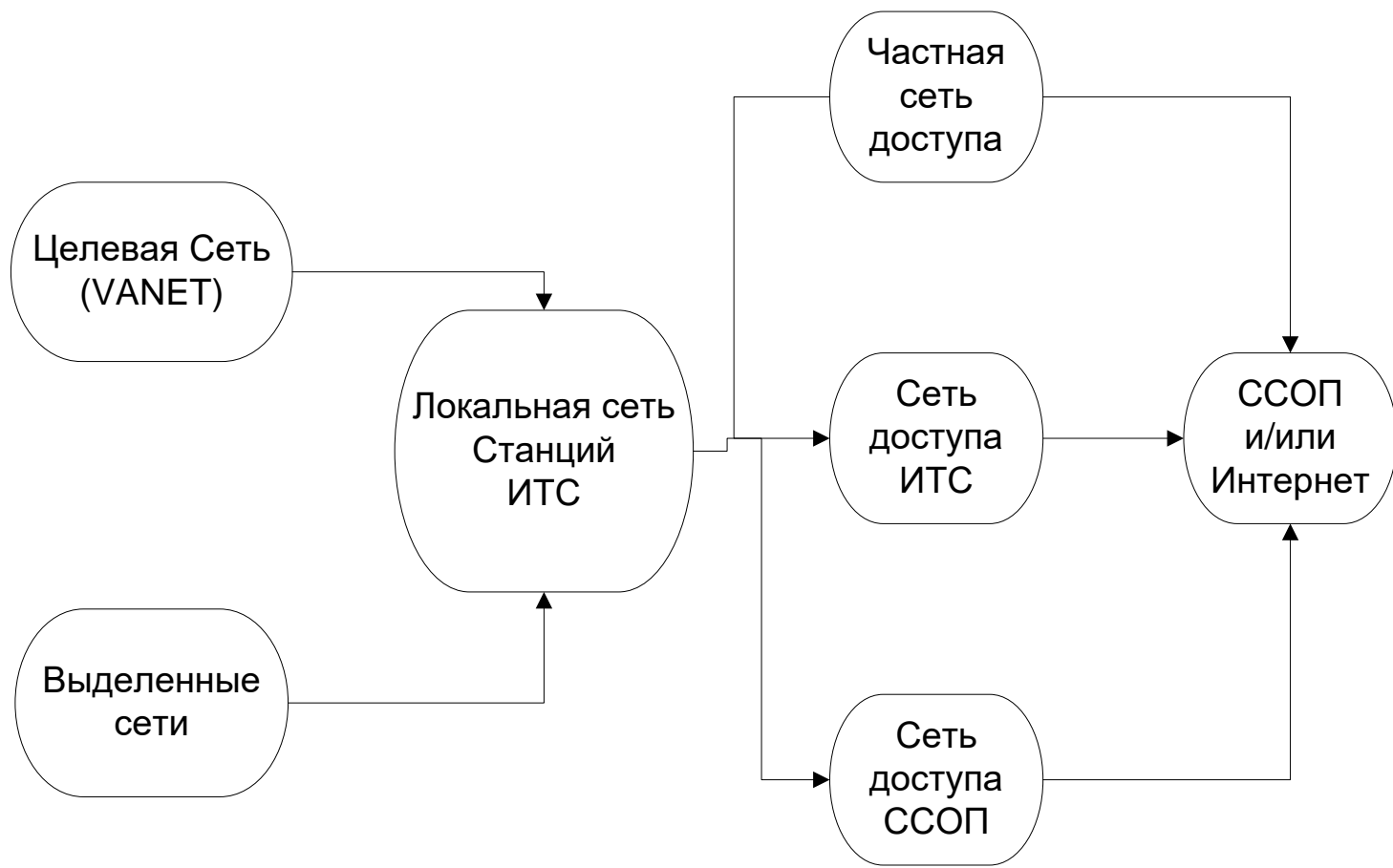
- V2V (Vehicular to Vehicular), транспортное средство – транспортное средство
- V2I (Vehicular to Infrastructure), транспортное средство – инфраструктура
- V2H (Vehicular to Home), транспортное средство – дом
- V2G (Vehicular to Grid), транспортное средство – вычислительные ресурсы

Рекомендация МСЭ-Т Y.2281.

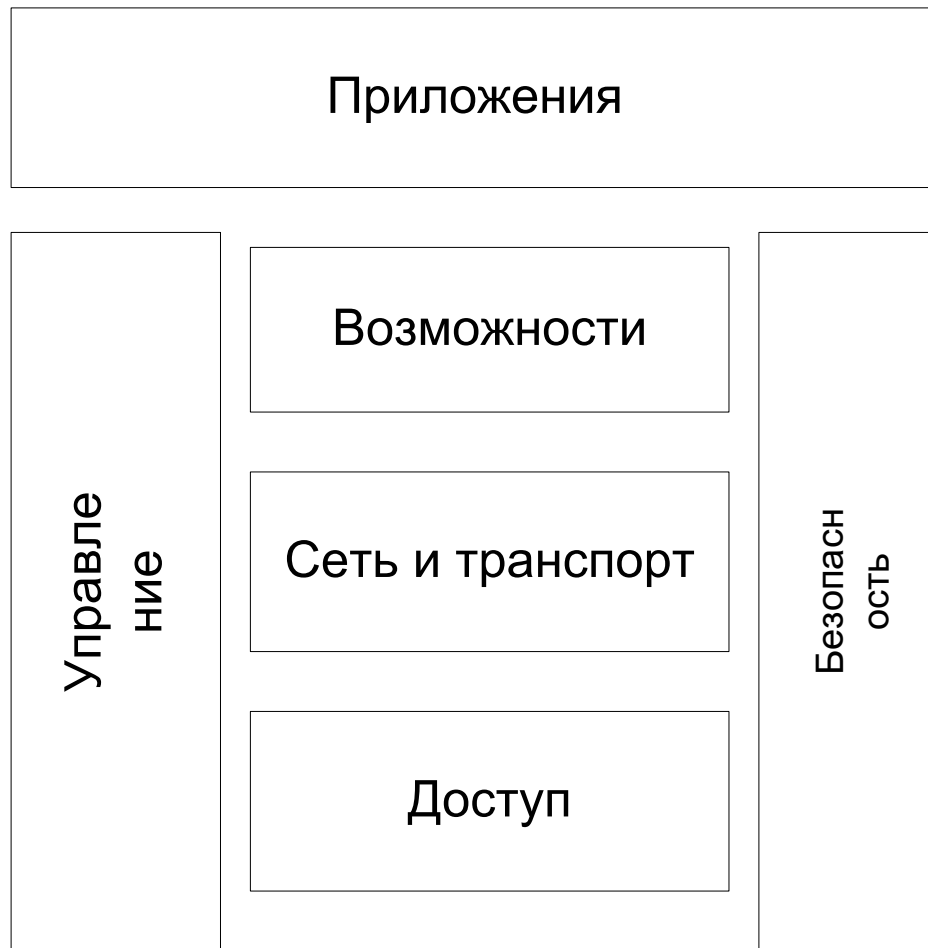
EN 302 665. Интеллектуальная транспортная система. Архитектура.

- целевые транспортные сети (VANET – Vehicular Ad Hoc Network),
- спутниковые системы позиционирования (ГЛОНАСС/GPS/GALILEO),
- сотовые сети связи различных стандартов,
- придорожная инфраструктура,
- системы взаимодействия и оплаты на основе протокола DSRC (Dedicated Short Range Communications),
- системы экстренного вызова в случае аварийных ситуаций e-call и ЭРА-ГЛОНАСС.

Функциональная архитектура ИТС



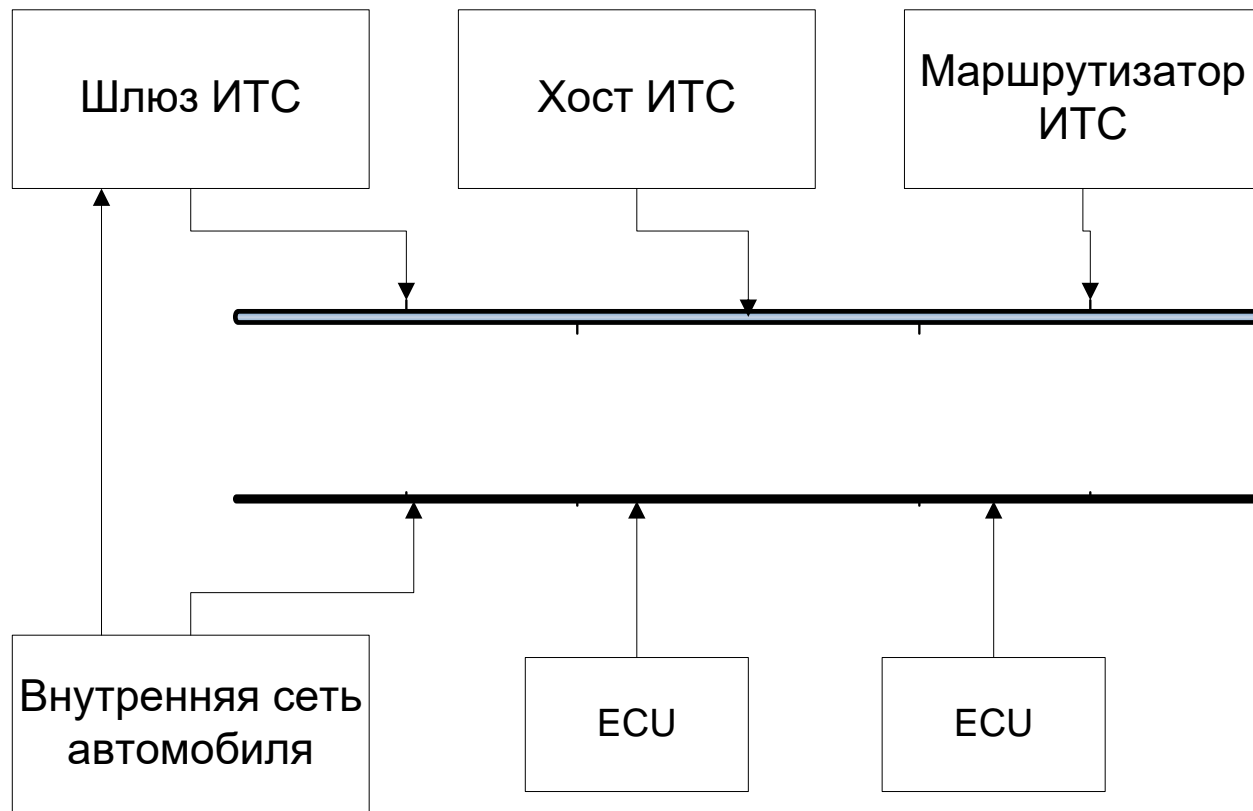
Функциональная архитектура станции ИТС.



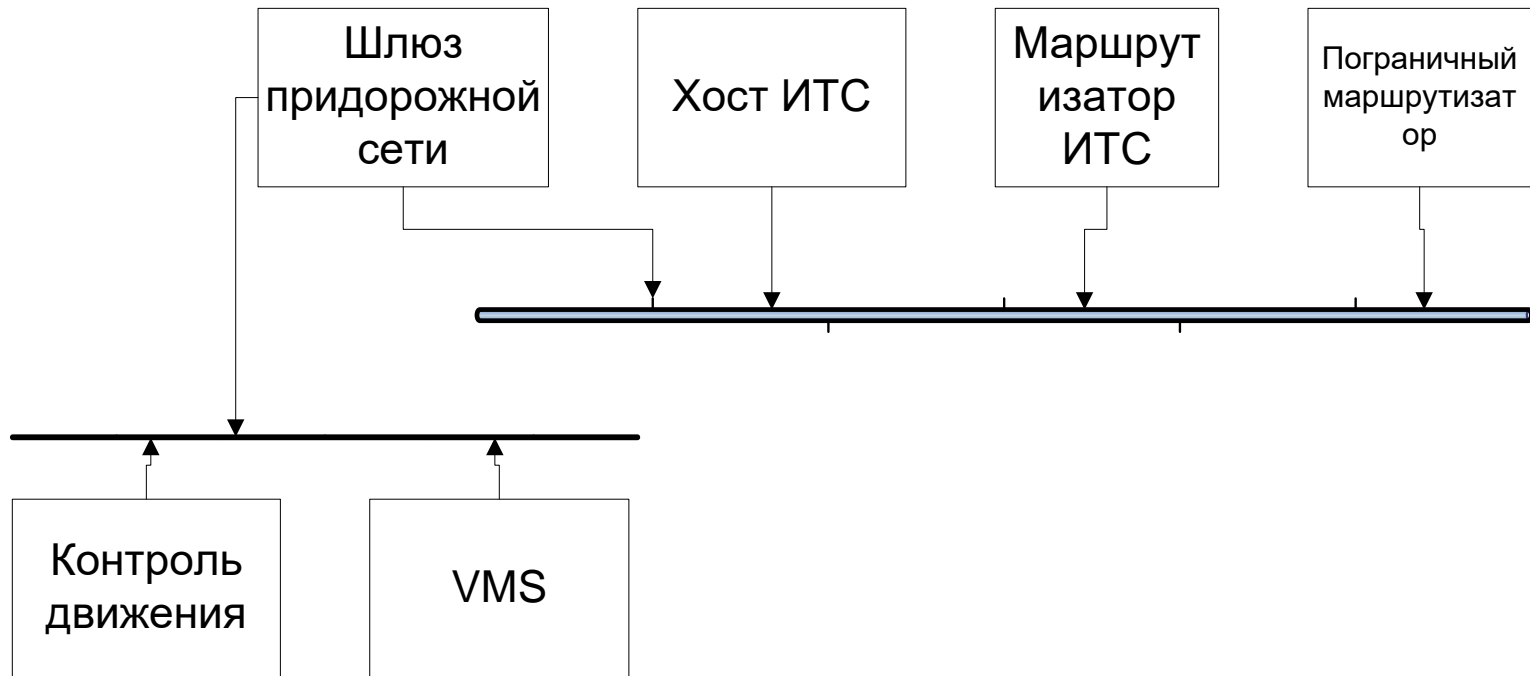
Подсистемы ИТС

- персональная,
- центральная,
- собственно автомобильная,
функционирующая и в движении, и на
парковке,
- придорожная.

Автомобильная подсистема ИТС



Придорожная подсистема ИТС



Виды взаимодействия в VANET, ETSI TS 102 636 (2)

- Европейский институт Стандартов в области телекоммуникаций в стандарте ETSI TS 102 636-2 рассматривает сценарии взаимодействия для трех случаев V2V, V2R и R2V. Сценарий V2R практически не отличается от сценария V2I MCЭ-Т, а сценарий R2V означает взаимодействие автомобиля с придорожной сетью по инициативе придорожной сети.

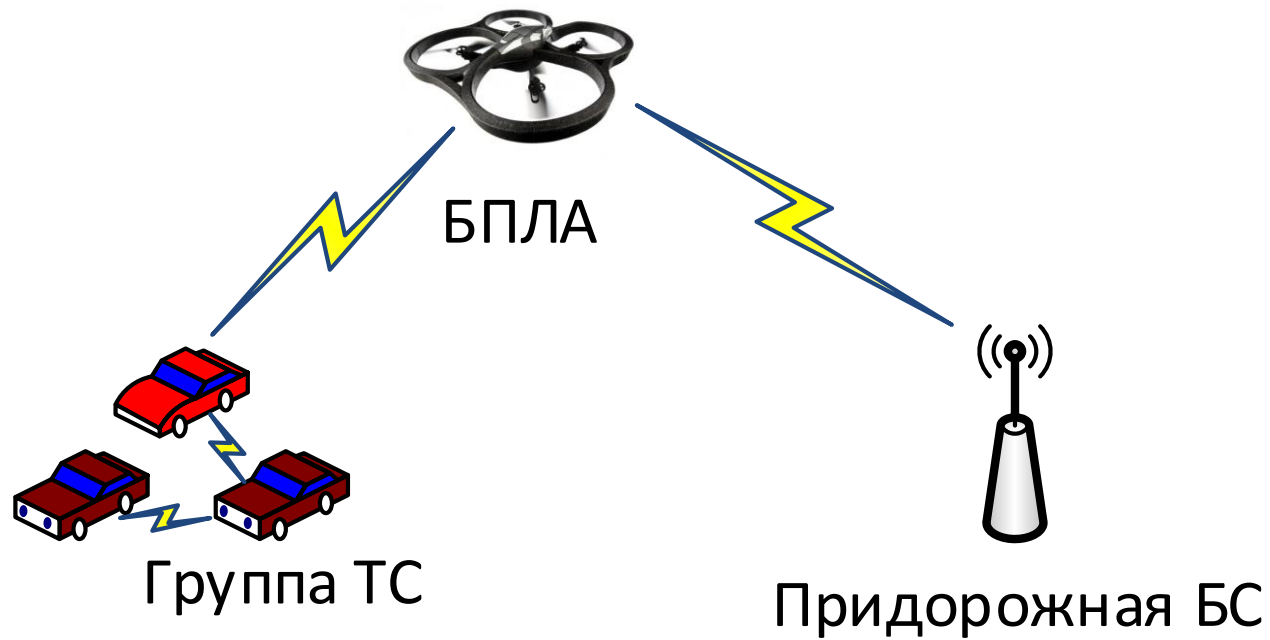
Сценарии взаимодействия, ETSI TS 102 636

- - точка – точка,
- - точка – многоточка,
- - геонаправленный,
- - геошироковещательный.

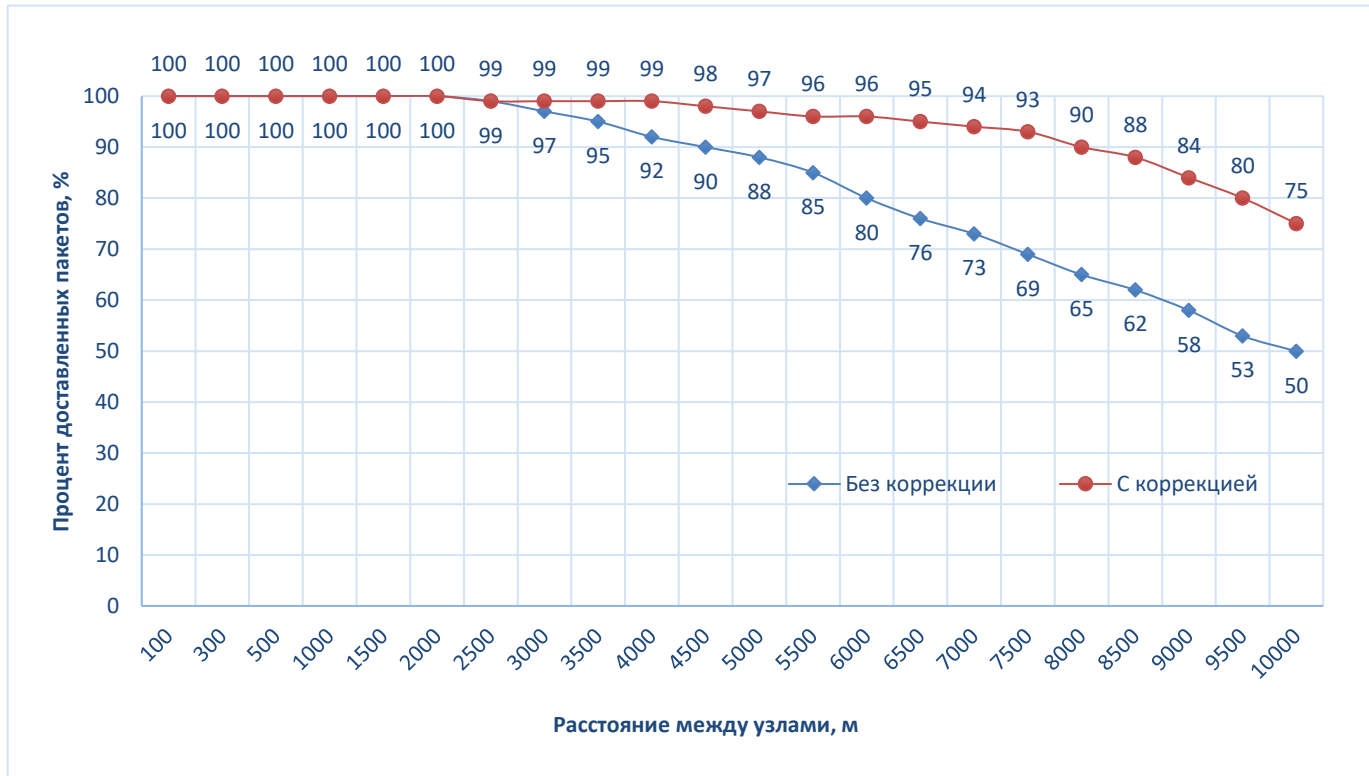
Сценарии взаимодействия (2)

Точка – точка означает осуществление связи от одной станции ИТС к вполне конкретной другой, тока – многоточка – от одной станции ИТС ко многим. Сценарии геонаправленный (GeoAnycast) и геошироковещательный (GeoBroadcast) основаны на использовании протокола GeoNetworking. Геонаправленный сценарий подразумевает передачу информации от одной ИТС станции к произвольной ИТС станции в пределах географической зоны обслуживания конкретной Интеллектуальной Транспортной системы. Геошироковещательный сценарий предполагает передачу информации от одной ИТС ко всем станциям ИТС в пределах географической зоны обслуживания конкретной Интеллектуальной Транспортной Системы.

Сети VANET

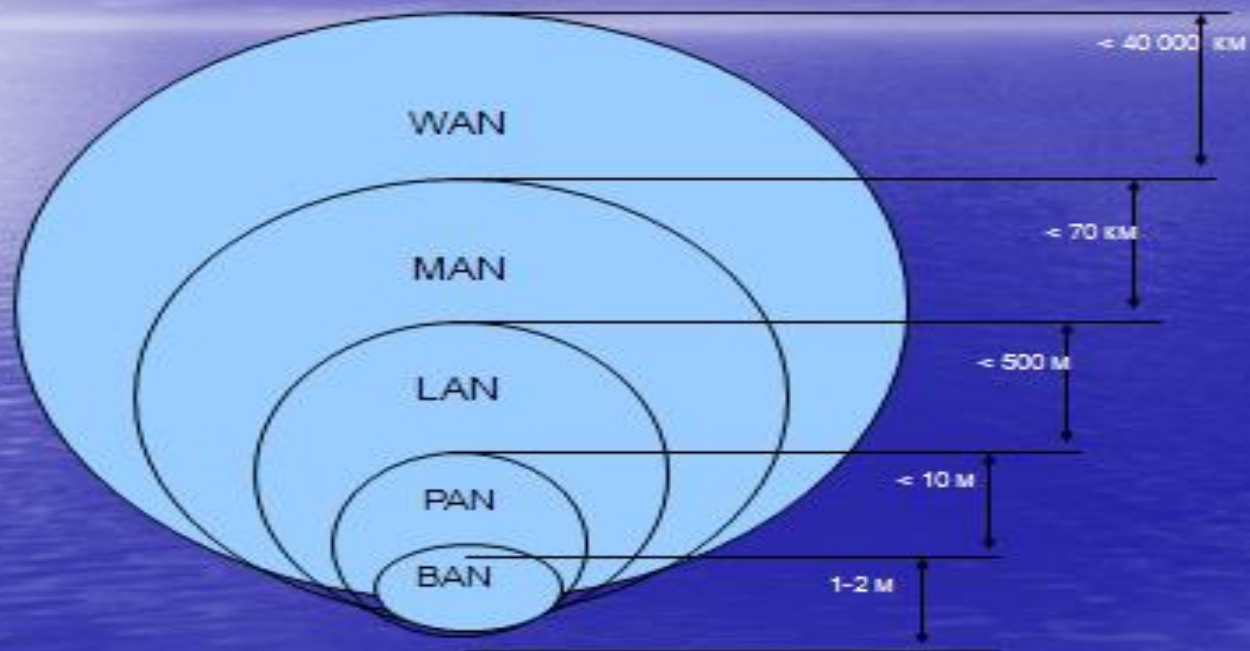


Эффективность БПЛА для VANET

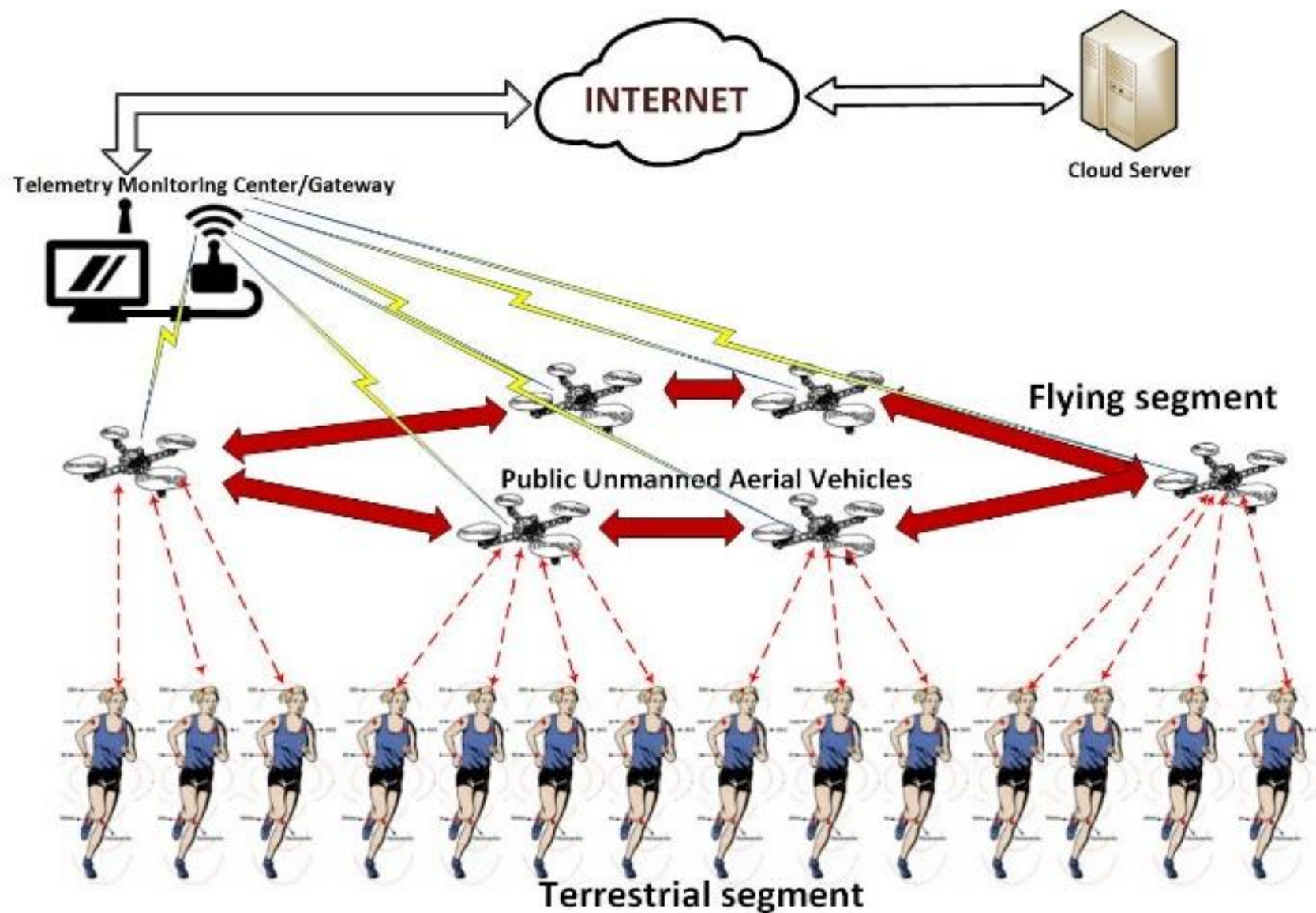


Стандарты IEEE

Беспроводный доступ



Сбор данных с нательных сетей с использованием ЛЛС



Доставка данных с сенсорного поля на базе LPWAN

