

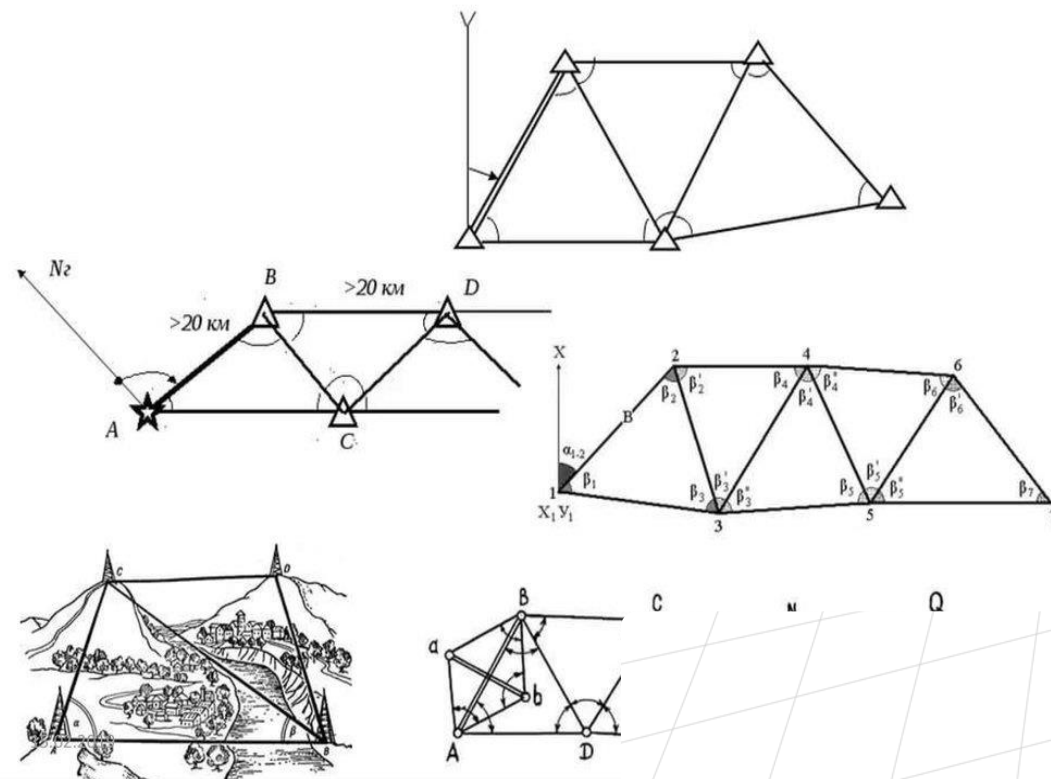
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ РЭС

Воронцов А. М.
«Омский научно-исследовательский институт приборостроение»
Омского государственного технического университета.
amvorontsov@st.omgtu.ru

ВВЕДЕНИЕ



В условиях угроз, связанных с отсутствием или искусственной подменой навигационных сигналов, возникает необходимость в разработке алгоритмов организацию сетей. Алгоритм обеспечивают радиообмена в системах с распределенными децентрализованными вычислительными модулями

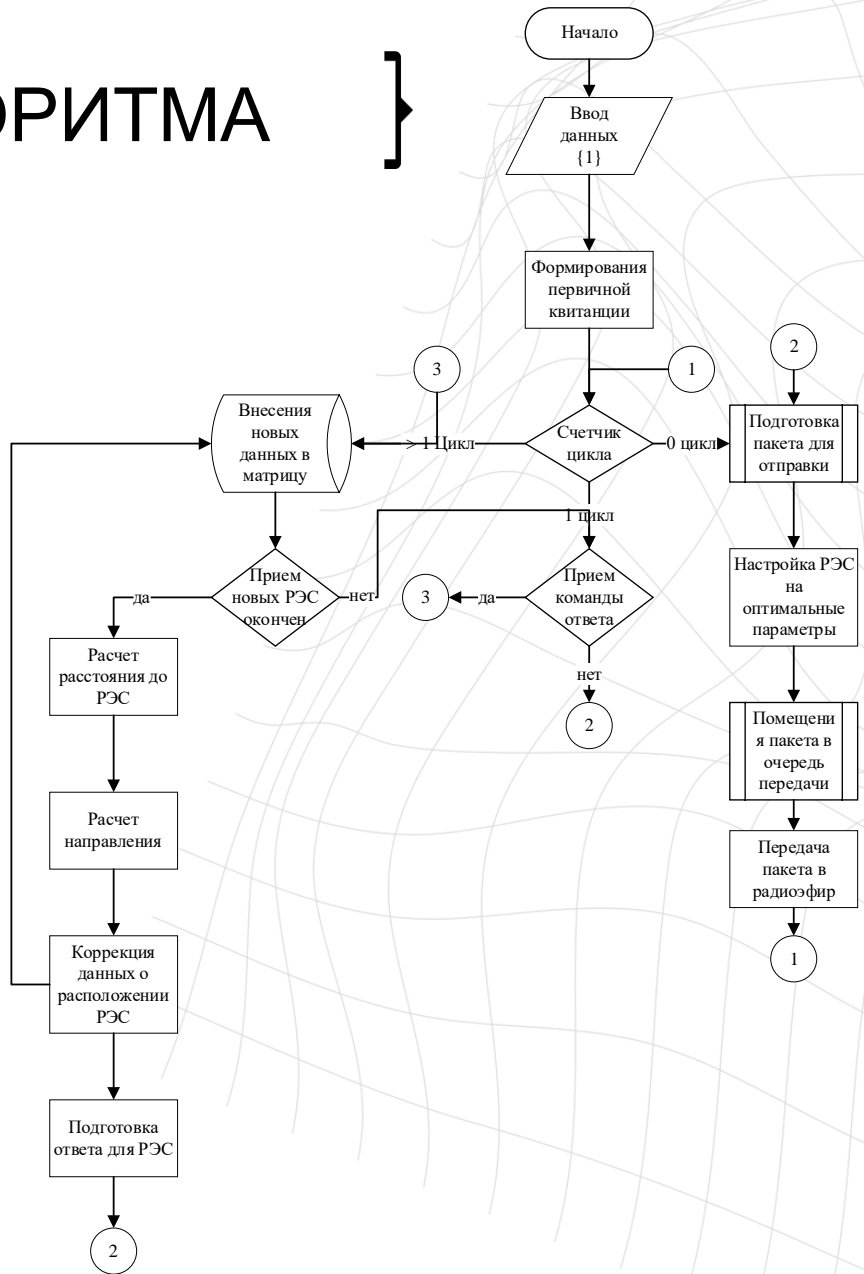


ОПИСАНИЯ АЛГОРИТМА

Алгоритм основан на опросе окружения с использованием радиоканала. Станция-инициатор производит общий вызов на минимальной мощности, что позволяет станциям-слушателям зафиксировать уровень полученного сигнала и записать его в свою матрицу. После этого станции-слушатели передают информацию о уровне сигнала обратно на станцию-инициатор.

В то же время станция-приемник продолжает слушать эфир, а станция-инициатор также отслеживает сигналы от других станций. После завершения обмена данными станция-инициатор отправляет сформированную матрицу обратно всем станциям-слушателям. В результате каждая станция получает информацию о расстоянии до других станций и угле их направления в относительной системе координат. Структурная схема представлена на рис. 1.

[ОПИСАНИЯ АЛГОРИТМА]

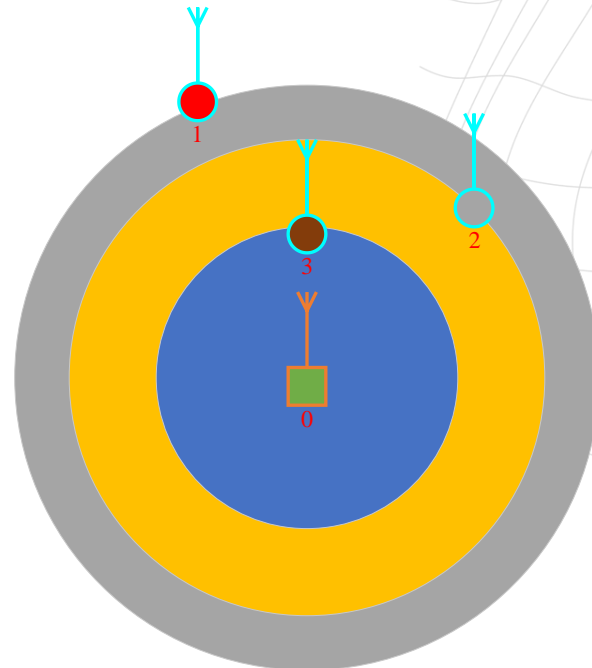


[ОПИСАНИЯ АЛГОРИТМА]



В результате работы данного алгоритма формируется поочередно матрица положений радиостанций, которая описывает угол на которую станция отклонена по результатам полученных ответов от станций, принявших сигнал и отправивших ответ.

На рисунке 2 показана очередь ответов от принявшей радиостанции:



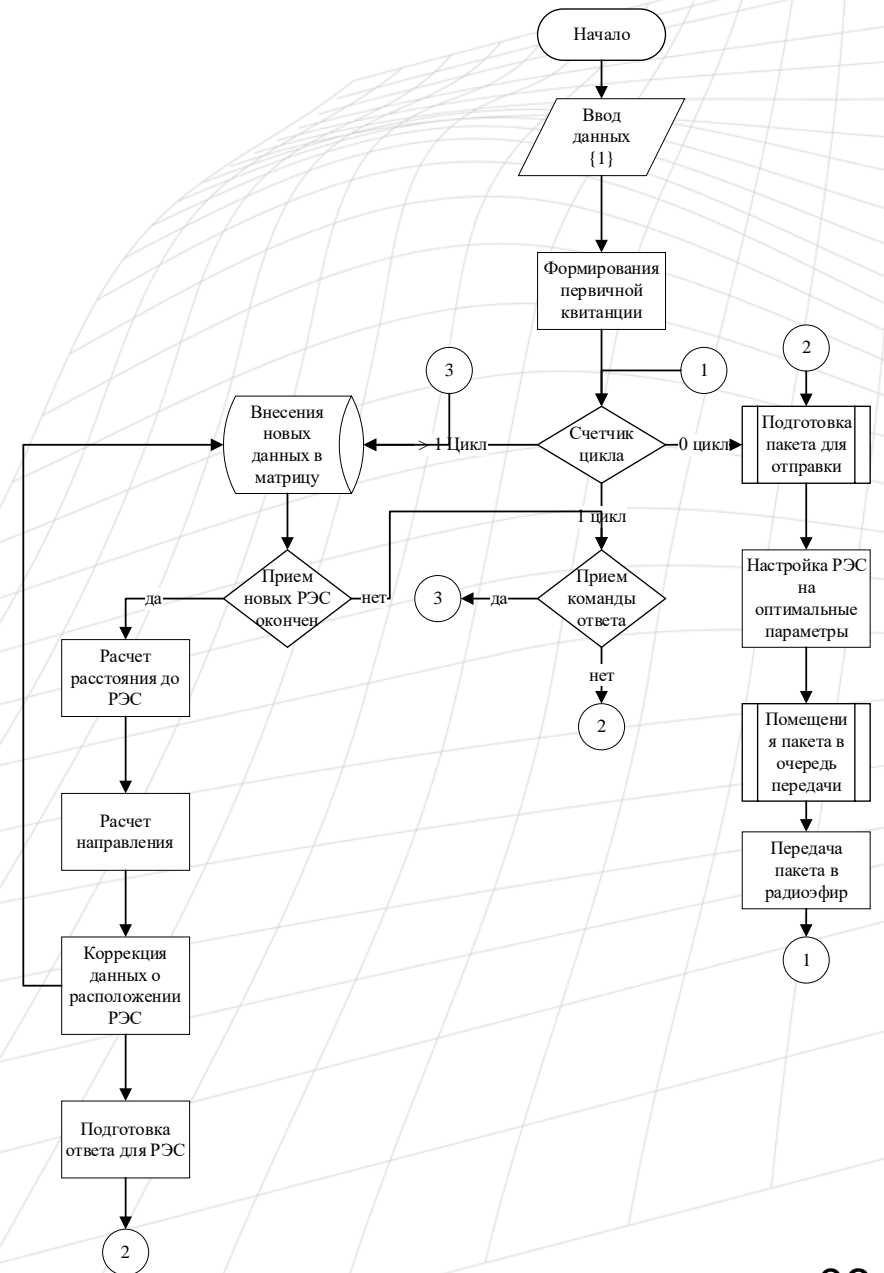
[ОПИСАНИЯ АЛГОРИТМА]

В случае, когда радиостанция подключается к уже сформировавшейся сети, очередность ответов определяется уровнем сигнала от минимальной радиостанции. Поочередный радиообмен в порядке увеличения уровня сигнала предоставляет достаточно информации от трех станций для определения относительного положения радиостанции:

– S_i — уровень сигнала от i -й радиостанции, где $i=1,2,3,\dots,n$. Тогда порядок обмена можно описать следующим образом:

– Уровень сигнала (1):

$$S_1 < S_2 < S_3 < \dots < S_n \quad (1)$$



[ОПИСАНИЯ АЛГОРИТМА]



- Порядок ответов (2):

$$R_i = f(S_i) \text{ для } i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

где R_i — ответ от i -й радиостанции, а $f(S_i)$ — функция, определяющая порядок ответа в зависимости от уровня сигнала.

- Определение относительного положения (3):

$$P = g(R_1, R_2, R_3) \quad (3)$$

где P — относительное положение радиостанции, а g — функция, которая вычисляет положение на основе полученных ответов.

Если сеть еще не сформирована, станция отправляет ответ до тех пор, пока не подключится к сети, и не получит ответ от еще одной станции.

В этом случае радиостанция продолжает отправлять запросы до тех пор, пока не получит ответ от другой станции.

[МАТРИЦА УРОВНЕЙ СИГНАЛОВ]



Для формирования матрицы уровней сигналов, полученных от различных станций, используется матрица. В которой есть N станций, каждая из которых фиксирует уровень сигнала от других станций. Размерность матрицы уровней сигналов S определяется $N \times N$, где:

- Элементы матрицы S представляют уровень сигнала, полученного станцией i от станции j

Безразмерная матрица приведена в формуле:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \dots & S_{1N} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \dots & S_{2N} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \dots & S_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N1} & S_{N2} & S_{N3} & \dots & S_{NN} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Где:

- S_{ij} — уровень сигнала, полученный станцией i от станции j .

[Расчет дальности]

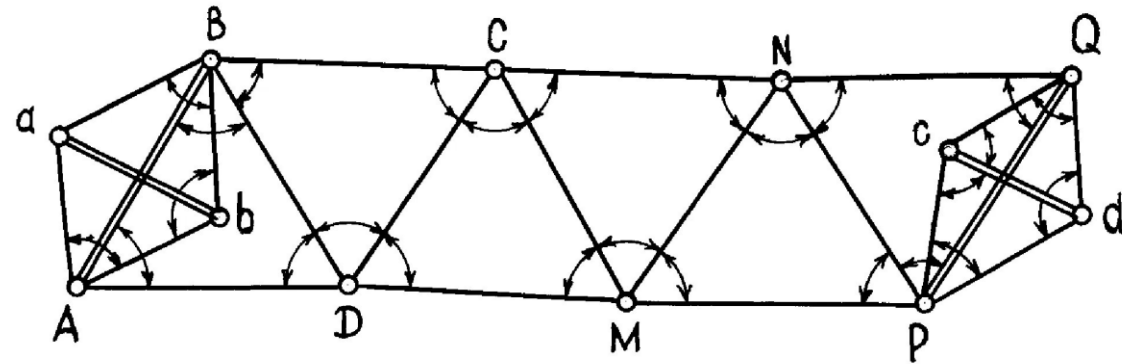


Для вычисления расстояний на основе уровней сигналов, за основу была взята формула, описывающая закон распространения радиоволн. Уровень сигнала в дБ можно выразить через расстояние с использованием следующей формулы [1]:

$$L = L_0 - 20 \log_{10}(d) - 20 \log_{10}(f) + K$$

где:

- L — уровень сигнала в дБ, полученный на приемной станции,
- L_0 — уровень сигнала на расстоянии 1 метра (в дБ),
- d — расстояние до передающей станции (в метрах),
- f — частота сигнала (в Гц),
- K — корректирующий коэффициент, учитывающий потери в среде.



[РАСЧЕТ ДАЛЬНОСТИ]



Для вычисления матрицы расстояний D размером $N \times N$, где каждый элемент D_{ij} представляет расстояние до станции j от станции i , мы была выведена следующую формулу:

$$D_{ij} = 10^{\frac{L_0 - S_{ij} + 20 \log_{10}(f) - K}{20}} \quad (6)$$

[РАСЧЕТ НАПРАВЛЕНИЯ НА СТАНЦИЮ (ТРИАНГУЛЯЦИЯ)]



Для расчета направления используется распространённое уравнение по 3 и более радиусам определения станции. Для N известных станций с координатами (x_i, y_i) и расстояниями до искомой станции D_i , уравнение для станции i (где $i=1, 2, \dots, N$) можно записать следующим образом [2]:

$$\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} = D_i \quad (7)$$

где (x, y) — координаты искомой станции. Это уравнение описывает окружность с центром в точке (x_i, y_i) и радиусом D_i . Для нахождения координат искомой станции необходимо решить систему уравнений, состоящую из N таких уравнений, в виде примера разобран случай для 3 радиостанций:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = D_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = D_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = D_3^2 \\ \vdots \\ (x - x_N)^2 + (y - y_N)^2 = D_N^2 \end{cases} \quad (8)$$

[РАСЧЕТ НАПРАВЛЕНИЯ НА СТАНЦИЮ (ТРИАНГУЛЯЦИЯ)]



После нахождения координат искомой станции (x, y) , можно определить направление к ней от каждой из известных станций. Направление можно выразить в виде угла θ относительно оси X :

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{y - y_i}{x - x_i}\right), \quad \text{для } i = 1, 2, \dots, N(9)$$

В матричном виде для радиостанций относительно центральной станции матрица углов будет выглядеть следующим образом:

$$\Theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \vdots \\ \theta_N \end{bmatrix} \quad (10)$$

[НАХОЖДЕНИЯ КООРДИНАТ СТАНЦИИ]



Для нахождения координат искомой станции (x, y) на основе расстояний до известных станций и углов, можно записать систему уравнений где , N известных станций с координатами (x_i, y_i) и расстояниями D_i до искомой станции, а также углами θ_i .

$$\begin{cases} x = x_N + D_N \cdot \cos(\theta_N) & (N) \\ y = y_N + D_N \cdot \sin(\theta_N) & (N) \end{cases} \quad (10)$$

В результате решения уравнений для всех радиостанций возможно определить их координаты.

Рассчитанные матрицы модели показана на рис. 4:

[НАХОЖДЕНИЯ КООРДИНАТ СТАНЦИИ]

Оценочная позиция для станции 1: [9.10735966e+18 2.42463202e+19]
Угол к целевой позиции от станции 1: 69.41290664058593 градусов
Оценочная позиция для станции 2: [-2.880e+18 2.736e+19]
Угол к целевой позиции от станции 2: 96.00900595749452 градусов
Оценочная позиция для станции 3: [6.22735966e+18 -5.99367983e+18]
Угол к целевой позиции от станции 3: -43.90457463229095 градусов

Таблица расстояний:

Идентификатор станции	Расстояния
0	1 {2: 42678705840.93418, 3: 75894663844.04117}
1	2 {1: 24000000000.00002, 3: 75894663844.04117}
2	3 {1: 24000000000.00002, 2: 42678705840.93418}

Таблица сигналов:

Идентификатор станции	Полученные сигналы
0	1 {2: 75, 3: 70}
1	2 {1: 80, 3: 70}
2	3 {1: 80, 2: 75}

Таблица углов и расстояний:

Станция	Станция связи	Угол (градусы)	Расстояние	Уровень сигнала	
0	1	2	69.412907	4.267871e+10	80
1	1	3	69.412907	7.589466e+10	80
2	2	1	96.009006	2.400000e+10	75
3	2	3	96.009006	7.589466e+10	75
4	3	1	-43.904575	2.400000e+10	70
5	3	2	-43.904575	4.267871e+10	70

Таблица координат:

Станция	Координата X	Координата Y
0	1	0
1	1	0
2	2	100
3	2	100
4	3	50
5	3	50

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ]



В статье рассмотрены алгоритмы организацию сетей, радиообмена в условиях отсутствия или подмены навигационных сигналов. Представлена математическое описание и результат работы моделирования опроса сети, с расчетам относительных положений станций находящихся в зоне действия сети.

[ЛИТЕРАТУРА]



1. [Электронный ресурс] // Pastebin : [сайт]. — URL: <https://pastebin.com/NtyaTtM4> (дата обращения: 20.01.2025).
2. Никольский, Б. А. Основы теории систем и комплексов радиоэлектронной борьбы [Электронный ресурс] : электрон, учеб. пособие /Б.А.Никольский; Минобрнауки России, Самар, гос. аэрокосм, ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон, текстовые и граф. дан. (1,81 Мбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
3. Липатников В.А., Парфилов В.А., Петренко М.И. Общая модель самоорганизующейся радиосвязи с мультиплексированием потоков // Международная научно-практическая конференция «Транспорт России: Проблемы и перспективы – 2022» (09–10 ноября 2022 г.). СПб.: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2022.
4. Дорохова А. А., Парамонов А. И. Исследование трафика и качества обслуживания в самоорганизующихся сетях на базе БПЛА // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016 Том 4 № 2 С. 12–25.