

17. Karyakin V.L. Algorithm for Implementing the Method of Increasing the Reliability of the Regional Digital TV Broadcasting Network. *2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, 2020, pp. 9166005. DOI:10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166005
18. Sushko I.V., Karyakin V.L. Diagnostics of Sustainability of SFN Networks – The First Step to Solving the Problem of High-Quality TV Broadcasting In Russia. *2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, 2019, pp. 8814053. DOI:10.1109/SYNCHROINFO.2019.8814053
19. Method of data channel quality assessment in IPTV system by BER coefficient in TV broadcasting mode and device for its implementation: patent 259594. Russian Federation. No. 2015113424 / V.L. Karyakin, D.V. Karyakin, L.A. Morozova; dec. 10.04.2015; publ. 27.08.2016, bul. no. 24. (In Russ.)
20. Karyakin, V.L. *Digital television: Textbook for Universities*, 3-e izd., pererabotannoe i dopolnennoe. Moscow: Solon-Press, 2020, 460 p. (In Russ.)
21. Karyakin, V.L. Regional digital TV broadcasting network of DVB-T2 standard with terrestrial communication channels. *Sistemy sinkhronizatsii, formirovaniya i obrabotki signalov*, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 42–45. (In Russ.)
22. Methods for subjective assessment of the quality of television images. Seriya BT. Radioveshchatel'naya sluzhba (televizionnaya). URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.500-14-201910-I!!PDF-R.pdf (accessed: 20.06.2023). (In Russ.)
23. Karyakin V.L., Karyakin D.V. Ways to solve the problem of ensuring reliability of uninterrupted TV broadcasting of regional networks. *Elektrosvyaz'*, 2019, no. 2, pp. 45–49. (In Russ.)
24. Karyakin V.L., Karyakin D.V. Distributed DVB-T2 Standard Broadcast Quality Monitoring System. *Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*, 2022, pp. 9744340. DOI:10.1109/IEEECONF53456.2022.9744340 (In Russ.)
25. Karyakin V.L. Client-server system for monitoring the quality of TV broadcasting in Russia. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2022, vol. 25, no. 3, pp. 36–42. (In Russ.)
26. Karjakin V.L. Trial broadcasting of SDR transmitter of DVB-T2 standard. Telegram kanal, 2023. URL: https://t.me/TV_VLK (accessed: 08.09.2023). (In Russ.)

Received 20.05.2023

УДК 004.75

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ РЕТРАНСЛЯТОРОВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ НА МЕСТНОСТИ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

*Старцев Д.Ю., Логинов И.В., Сосунов В.Г., Плыгунов О.В.
Академия федеральной службы охраны России, Орел, РФ
E-mail: loginov_iv@bk.ru*

При развертывании временных технических систем безопасности в интересах обеспечения общественной безопасности при проведении массовых мероприятий широко используют быстроразвертываемые датчики обнаружения опасных событий: наблюдения за транспортными потоками и посетителями, обнаружение возгораний, драк, агрессивного поведения, опасных оставленных предметов, беспилотных летательных аппаратов. Ряд важных ограничений, среди которых геометрические размеры зон установки детекторов и ретрансляторов, пропускные способности каналов передачи данных, наличие запретных зон и высокая скорость передачи данных от современных датчиков опасных событий показывает необходимость рационального размещения ретрансляторов. В рамках решения этой задачи предложен алгоритм расчета мест размещения ретрансляторов на местности с препятствиями. Итеративный алгоритм расчета мест размещения позволяет найти точки установки ретрансляторов для обеспечения передачи высокоскоростных потоков данных мониторинга.

Ключевые слова: ретранслятор, метод, положение, координаты, расстояние, система безопасности, радиосвязь, информационный поток, детектор

Введение

При проведении массовых мероприятий с большим количеством людей на различных объектах, слабо оборудованных, либо совсем не оборудованных стационарными техническими средствами обеспечения безопасности и соблюдения правопорядка (городские площади, парки, стадионы и др.), возникает необходимость в развертывании временных технических систем безопасности. Для этих целей широко используются быстроразвертываемые детекторы обнаружения опасных событий, позволяющие: осуществлять наблюдение за транспортными потоками и посетителями; обнаруживать возгорания, драки, агрессивное поведение, опасные предметы, оставленные без присмотра, изменения химического и радиационного фона, беспилотные летательные аппараты и др. Передача информации от таких датчиков в центр управления безопасностью осуществляется по радиоканалу, при этом скорость передачи данных от одного датчика может достигать 10-30 мбит/с. В связи с этим возникает необходимость обеспечения непрерывной надежной радиосвязи для гарантированного получения сигналов наблюдения и тревожных событий, что приводит к необходимости развертывания сети радиосвязи, включающей в свой состав значительное число ретрансляторов [1].

Наличие ряда важных ограничений, основными из которых являются: геометрические размеры зоны размещения детекторов; пропускные способности каналов связи; наличие запретных зон размещения и высокая скорость передачи данных от современных датчиков обуславливает необходимость рационального размещения ретрансляторов при развертывании временных технических систем безопасности. При этом, единого решения, которое бы учитывало, как характеристики датчиков, так и параметры системы передачи данных для условий высокой закрытости местности в настоящий момент не разработано, что показывает актуальность разработки численных методов размещения ретрансляторов систем безопасности на местности.

Формальная постановка задачи размещения ретрансляторов на местности

Исходными данными для решения задачи размещения ретрансляторов технической системы безопасности на местности выступает план временно развертываемой технической системы безопасности [2]. План системы на местности разрабатывается заранее. Указываются места

размещения высокоскоростных детекторов с точностью не менее 0,1 м. В общем случае известно следующее (пример – рисунок 1):

- множество строений (сооружений). Они представляют собой препятствия для распространения сигнала и запретные места для расстановки ретрансляторов передачи данных. Моделируются множеством многоугольников с характеристиками ослабления сигнала (определяется типом сооружения):

$$Z = \{z_j\}, z_j = \langle \{p_1, \dots, p_{j_i}, \dots, p_{I(z_j)}\}, \gamma \rangle,$$

где z_j – препятствие, p_{ji} – вершина многоугольника (препятствия), γ – коэффициент ослабления радиосигнала в препятствии;

- множество запретных зон размещения ретрансляторов, задаваемых многоугольниками: $ZD = \{zd_j\}$, $zd_j = \langle \{p_1, \dots, p_{j_i}, \dots, p_{I(zd_j)}\} \rangle$, где zd_j – j -я запретная зона, $p_i = \langle x_i, y_i \rangle$ – координаты вершины многоугольника запретной зоны, I – количество вершин многоугольника;

- множество высокоскоростных датчиков и их отображение на карте (плане): $D = \{d_j\}$, где d_j – высокоскоростной датчик: $d_j = \langle c_j, p_j \rangle$, характеризующийся c_j – потоком данных с датчика ($c_d \approx 2..10$ Мбит/с), и $p_j = \langle x_j, y_j \rangle$ – координатами места размещения датчика;

- множество доступных ретрансляторов: $Rs = \{rs_i\}$, где $rs_i = \langle P, D \rangle$, где P – мощность передатчика, D – характеристики диаграммы направленности антенны.

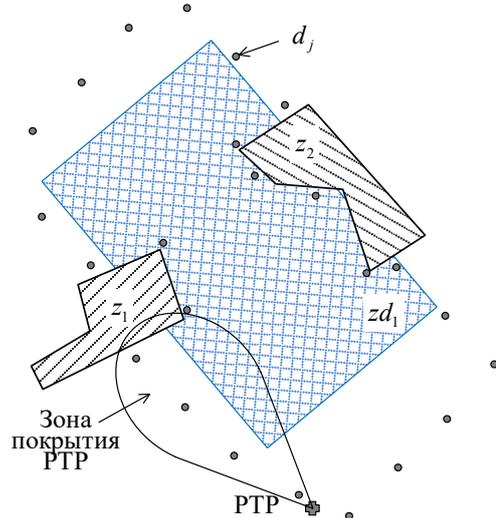


Рисунок 1. Пример исходных данных

Найти:

- подмножество установленных ретрансляторов $RsP \subseteq Rs$, где $rsP = \langle rs, p, Az \rangle$, Az – направление (азимут) ретранслятора, $p = \langle x_i, y_i \rangle$ – координаты ретранслятора.

При выполнении следующего ограничения на размещение ретрансляторов:

$\|RsP\| \rightarrow \min$ при ограничении:

$$C_{km}^R (RSSI = \min RSSI_{kjm}) \geq C_{km}^{ND},$$

где $C_{km}^R = C(RSSI)$ – максимальная пропускная способность k -го ретранслятора,

$$C_{ikm}^{ND} = \sum_{j=1}^{N_{ikm}^D} c_{ij}, d_{ij} \in D_{ikm} \text{ – суммарный поток пе-}$$

редачи данных от всех высокоскоростных датчиков, подключенных к k -му ретранслятору rsP_k (РТР).

Обзор подходов к решению задачи размещения объектов на местности

Общую постановку задачи на построение временно развертываемой системы безопасности и наблюдения и решение задачи оптимального размещения детекторов на местности рассматривали многие авторы: разработан алгоритм автоматизированного проектирования системы видеонаблюдения [3], эвристический алгоритм размещения, основанный на использовании диаграммы Вороного, покрывающий замкнутый многоугольник без дыр [4], эвристика замощения пространства геометрическими фигурами детектирования [2], в [5] решает задачу оптимизации размещения двумерных геометрических объектов на анизотропном материале с использованием методов математического программирования.

Известны исследования посвященные оптимизации размещения беспроводных терминалов [6–9]. В [6] рассматривается задача перепроектирования беспроводных сетей при изменении внешних условий на основе методов машинного обучения. В [10] рассмотрено размещение датчиков температуры. В [7] предлагаются основанные на UWB коммуникационные протоколы для расчета местоположения беспроводных сенсоров. Применяется метод, основанный на ортогональном переменном коэффициенте распространения и скачке времени, методе оценки максимального правдоподобия для вычисления расстояний до опорных сенсоров, учитывающий координаты подвижных сенсоров с использованием метода наименьших квадратов. В [8] предлагается новый алгоритм, позволяющий точно находить лучшие местоположения беспроводных датчиков при минимизации средней потребляемой энергии в сети. Оптимизация проводится по критериям стоимости и качества связи.

Задача размещения объектов на местности с ограничениями может быть представлена как за-

дача покрытия многоугольника с препятствиями некоторыми фигурами (для ретранслятора это область одного уровня сигнала с заданной гарантированной пропускной способностью). Указанного рода задачи нашли распространение в нескольких отраслях науки и техники: в астрономических исследованиях решается задача покрытия кругами плоскости; в системах видеонаблюдения решается задача покрытия треугольниками или секторами; в системах транспортного мониторинга рассматривается задача покрытия территории кругами областей действия RFID-считывателей; для химических исследований используется задача покрытия шарами заданной трехмерной области; при строительстве дорог используется покрытие плоскостей плитами различной геометрической формы; в системах виртуальной реальности решают задачи генерации карт вейпоинтов [11]. Общие классы решения задач данного вида включают [12]:

- задачи компоновки объектов в контейнеры (двух и трехмерные) [13]: элементов печатных плат, грузов, коробок, товаров [14; 15];

- задачи оптимального раскрытия материалов, решаемые в машиностроении, текстильной и авиастроительной промышленности, при этом заготовки могут быть произвольной формы;

- задачи распределения ограниченных ресурсов различных типов: память вычислительных машин, участки полей и лесов [16].

Все рассмотренные выше классы задач относятся к задачам оптимизационного геометрического моделирования, заключающегося в оптимизации размещения объектов произвольных измерений в заранее заданных областях [17–21]. При этом в известных решениях не показано использование покрытия области фигурами, имеющими вид диаграмм направленности антенн с учетом ограничения количества устройств и мест их размещения.

Модель ретранслятора

Во временно развертываемых системах безопасности используются сети связи, организованные на основе технологий Wi-Fi, WiMAX, 3G, 4G, 5G. В работе, независимо от общности рассматриваемых вопросов размещения ретрансляторов, дальнейшие рассуждения приведены для технологии Wi-Fi, которая позволяет обеспечить передачу данных со скоростью 1000 – 50 Мбит/с на расстояние до 100-300 м.

Технология IEEE 802.11 (Wi-Fi). Для построения беспроводных сетей, как правило, применяют беспроводные клиентские устройства (адаптеры), точки доступа, беспроводные маршрутизаторы, повторители, мосты и антенны.

Исходные данные для решения поставленной задачи целесообразно разделить на две группы – данные, позволяющие определить минимально необходимый уровень мощности сигнала на входе датчика для обеспечения радиосвязи, и план временно развертываемой технической системы безопасности.

С точки зрения расстановки ретрансляторов необходимо учитывать, что распространение радиоволн в сложных условиях связаны с явлениями многолучевости, обусловленной многократными отражениями радиоволн от стен и объектов, а также дифракцию на многочисленных острых краях предметов и рассеяние при столкновении радиоволн с препятствием соизмеримым с длиной волны. Данные эффекты обуславливают сложную структуру электромагнитного поля. Поэтому в каналах беспроводной связи возникают затухания сигналов двух типов – крупномасштабное и мелкомасштабное.

Крупномасштабное затухание показывает среднее ослабление мощности сигнала из-за распространения на расстояние, определяется наличием вдоль траектории распространения таких объектов как: строения, растительность, рекламные щиты, стены, двери, перекрытия зданий и т. д. Таким образом, потери на пути распространения радиосигнала при крупномасштабном затухании можно рассчитать, как функцию от расстояния. В этом случае мощность принимаемого сигнала уменьшается с расстоянием по степенному закону, а отклонения от среднего значения определяются логарифмически нормальным распределением [22].

Мелкомасштабное затухание обусловлено вариациями амплитуды и фазы сигнала, и проявляется как расширение сигнала во времени и нестационарное поведение частотного канала связи. В системах беспроводной связи параметры канала изменяются во времени, в том числе и из-за движения передатчика или приемника. Мелкомасштабное затухание называется релеевским, если прямая видимость между передатчиком и приемником отсутствует, а сигнал в точку приема приходит в результате многократных отражений от различных объектов. Огибающая такого сигнала моделируется релеевской функцией плотности вероятности. Преобладание прямой видимости при распространении сигнала позволяет описать огибающую мелкомасштабного затухания функцией плотности вероятности вида Райса. Этот вид затухания вносит значительный вклад в затухание в каналах мобильной связи из-за того, что распространение сигнала происходит на большие расстояния. В случае же распростране-

ния Wi-Fi сигнала на незначительных территориях этим видом затухания можно пренебречь, обеспечив на линии некоторый энергетический запас. Таким образом, при решении поставленной задачи представляет интерес не вычисление точной интенсивности (ослабления) сигнала, а некоторая его оценка, ввиду сложности учета деталей строений и, следовательно, всех особенностей мелкомасштабного затухания.

С учетом сказанного для определения величины крупномасштабного затухания воспользуемся известной формулой:

$$L = 20 \cdot X \cdot \lg\left(\frac{4\pi df}{c}\right),$$

где X – коэффициент ослабления, равный 1 для открытого пространства, d – расстояние до детектора, f – частота радиосигнала, c – скорость света.

При этом минимально необходимое значение уровня принимаемого сигнала датчика во многом определяется передающей и приемной антеннами.

Типовая диаграмма направленности наиболее распространенных антенн, используемых для передачи сигнала по радиоканалу, представлена на рисунке (рисунок 2).

Исходя из вышеизложенного, для решения поставленной задачи с учетом известных потерь (L), коэффициентов усиления передающей и приемной антенн (G_1, G_2) и мощности передачи точки доступа (P_1) можно определить минимально необходимый уровень мощности принимаемого сигнала ($RSSI$):

$$RSSI = P_1 \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot L.$$

При этом следует полагать, что потери в фидере для точки доступа будут незначительны, и их можно не учитывать, а в целях устойчивого функционирования радиолинии следует ввести запас уровня сигнала на входе приемника.

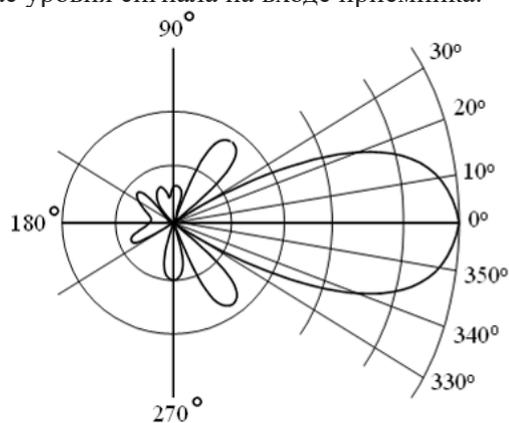


Рисунок 2. Типовая диаграмма направленности антенн

В общем случае пропускная способность радиоканала от датчика до ретранслятора определяется модуляцией и кодированием сигнала (рисунок 3) и зависит от наличия прямой видимости, мощности передаваемого сигнала, используемого диапазона частот, коэффициента усиления антенны и количества информационных потоков, а также от вида используемой модуляции. Значение пропускной способности ретранслятора может быть представлено в виде функции от уровня сигнала в точке наихудшего приема сигнала (определяется таблично в зависимости от технологии передачи данных:

$$C_{km}^R = C(RSSI).$$

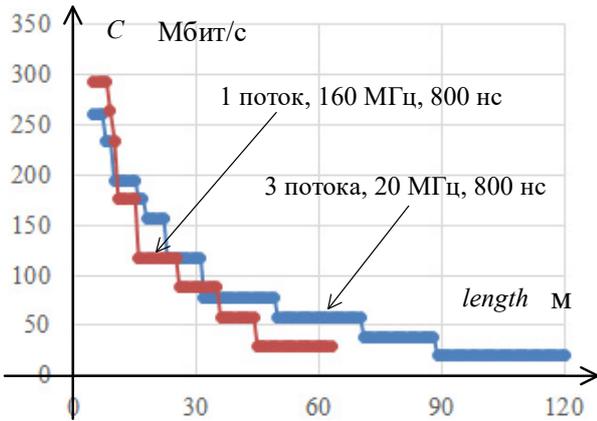


Рисунок 3. Пропускная способность от дальности до точки для Wi-Fi 802.11n/ac

В соответствии с рекомендацией МСЭ-R М.1851-1 примером диаграммы направленности может служить косинус-квадратная антенна со следующими характеристиками:

- относительная форма распределения поля:

$$f(\alpha) = \cos^2(\pi \cdot \alpha / 2);$$

- диаграмма направленности:

$$F(\mu) = \frac{\pi^2}{2\mu} \left[\frac{\sin \mu}{\pi^2 - \mu^2} \right],$$

где $\mu = \frac{\pi \cdot 83,2 \cdot \sin \theta}{\theta_3}$, θ_3 – ширина луча по уровню половинной мощности сигнала, θ – направление на рассматриваемую точку.

В качестве приемной антенны целесообразно использовать штыревую антенну, коэффициент усиления которой составляет порядка 2–3 дБ.

Алгоритм расчета мест размещения ретрансляторов

Алгоритм определения мест размещения ретрансляторов представлен на рисунке 3. На первом шаге определяется минимальное количество ре-

трансляторов с учетом совокупного потока данных от всех детекторов к k-му ретранслятору rsP_k :

$$C_{ikm}^D = \sum_{j=1}^{N_{ikm}^D} c_{ij}, c_{ij} \in D_{ikm},$$

При этом все множество детекторов разбивается на равные по размеру подмножества D_k таким образом, чтобы расстоянием между двумя наиболее удаленными детекторами для каждого подмножества было минимальным:

$$D = \bigcup_{k=1}^{N^R} D_k,$$

где D_k – k-е подмножество детекторов ND_i ,

$$\max_{D_k} \text{length}(d_i, d_j) \rightarrow \min,$$

$\text{length}(d_i, d_j)$ – смещенное на диаграмму направленности антенны евклидово расстояние между двумя детекторами:

$$\text{length}(d_i, d_j) = \frac{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}}{f(\alpha)}$$

Начальное количество ретрансляторов рассчитывается по формуле:

$$N_R = \lceil C_{ik}^D / C(RSSI(\max \text{length}(ND))) \rceil.$$

С использованием алгоритма (рисунок 4) формируется исходное (новое) размещение ретрансляторов: $Rs_{im} = \{rs_j\}_{im}$.

Для нового размещения ретрансляторов генерируется новое m-е разбиение подмножества детекторов D_k :

$$D_{im} = \bigcup_{k=1}^{N^R} D_{ikm}.$$

Рассчитывается пропускная способность ретранслятора $C_{km}^R = C(RSSI)$ на основе значения $RSSI(d_{ikm})$ всех детекторов, замкнутых на i-й ретранслятор.

По всем сравниваются значения необходимой и имеющейся пропускной способности и проверяется условие:

$$\forall rsP_i \in RsP_{im} : C_{ikm}^R > C_{ikm}^D. \quad (1)$$

При выполнении условия (1) работа алгоритма завершается, в противном случае генерируется новое размещение путем сдвига координат ретрансляторов против градиента (рисунок 6). При расчете новой пропускной способности сети передачи данных рассчитывается нехватка пропускной способности:

$$\Delta C = C_{km}^R - C_{km}^{ND},$$

которое сравнивается с потоком данных от одного детектора $\varepsilon_c = \bar{c}_{ij}$. При нехватке ресурса добавляется дополнительный ретранслятор и генерируется новое размещение.

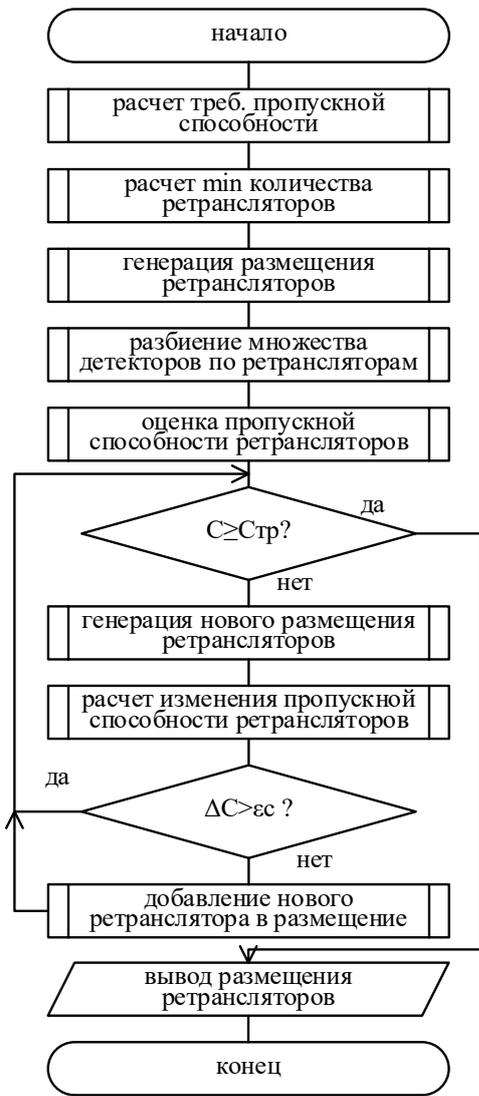


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма расчета мест размещения ретрансляторов

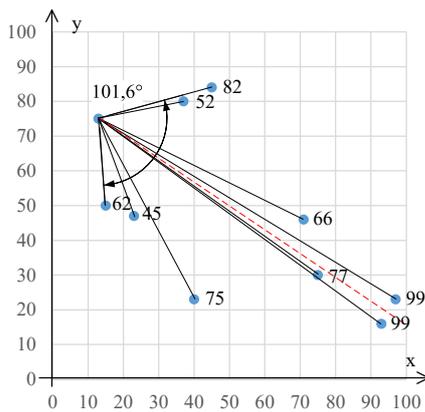


Рисунок 5. Иллюстрация расчета смещенного расстояния (n=10)

Пример нахождения смещенного на диаграмму направленности антенны евклидова расстояния между детекторами приведен на рисунке 5. Задано 10 детекторов, с одним из них совмеща-

ется ретранслятор, и рассчитывается значение функции $length(d_i, d_j)$ для всех детекторов.

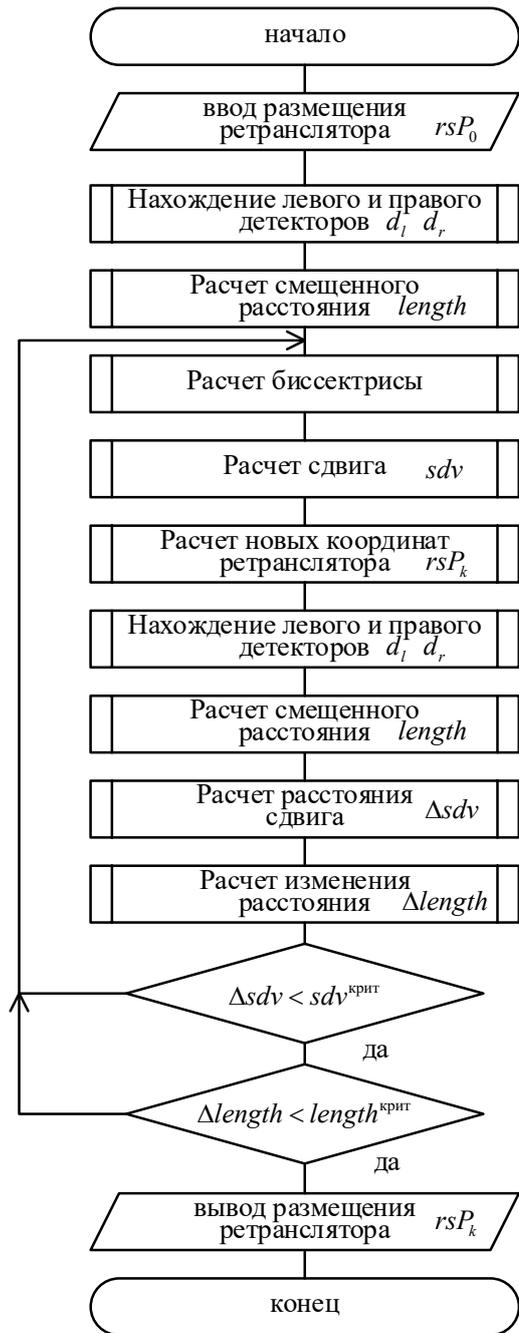


Рисунок 6. Итеративный алгоритм нахождения местоположения ретранслятора

Итеративный алгоритм нахождения рационального местоположения ретранслятора приведен на рисунке 6.

Исходные данные:

$rsP = \{x_0; y_0\}$ – точка местоположения ретранслятора;

$D_k = \bigcup_{j=1}^{|D_k|} d_j$ – множество детекторов, подсоединенных к ретранслятору.

Найти: $rsP_k = \{x_{0,k}; y_{0,k}\}$ – точку размещения ретранслятора, такую, что $\max_D length(rsP_k, d_j) \rightarrow \min$.

Основная идея алгоритма – использование градиентного метода оптимизации. Первоначальная величина сдвига равна 1/10 от евклидова расстояния до детектора. При возрастании текущего значения смещенного расстояния, величина сдвига уменьшается в два раза. При попадании в препятствие (запретную зону) – сдвиг выполняется по границе запретной зоны в сторону убывания смещенного расстояния.

Критерий останова: сдвиг меньше 0,1 м или изменение смещенного расстояния меньше 1 (определяются точностью позиционирования ретранслятора на местности).

Пример: исходное положение детекторов приведено на рисунке 5. Начальное расположение ретранслятора совпадает с детектором: $d = \{40; 23\}$. Итоговое расположение ретранслятора после 16 итераций: $d = \{13; -8\}$.

Вычислительная сложность и сходимость алгоритма: количество итераций основного алгоритма (рисунок 4) не превышает количества детекторов, количество итераций алгоритма размещения ретранслятора (рисунок 6) на практике составляло 30-70. Все расчеты имеют линейную сложность, соответственно, худший случай квадратично завит от числа детекторов.

Пример расчета мест размещения ретрансляторов

Для автоматизации подготовки данных по расстановке ретрансляторов разработано программное средство, позволяющее для заданных исходных данных (местоположения детекторов и интенсивности информационных потоков) рассчитывать местоположение ретрансляторов с учетом зон видимости.

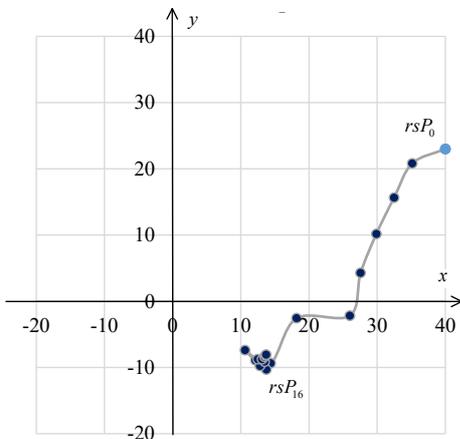


Рисунок 7. Иллюстрация итеративного изменения координат ретранслятора

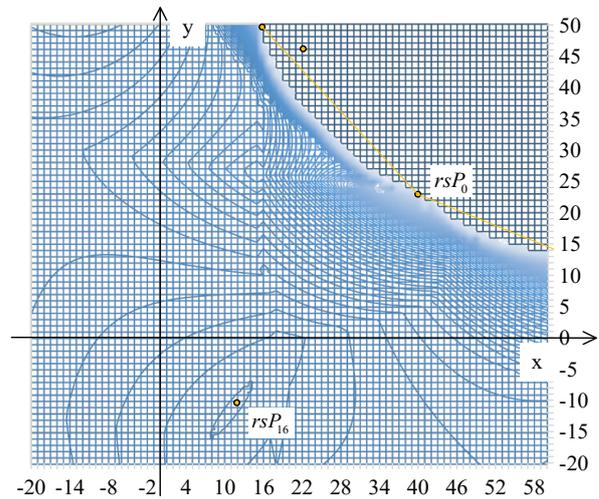


Рисунок 8. Значения целевой функции $\max_D length(rsP_k, d_j)$

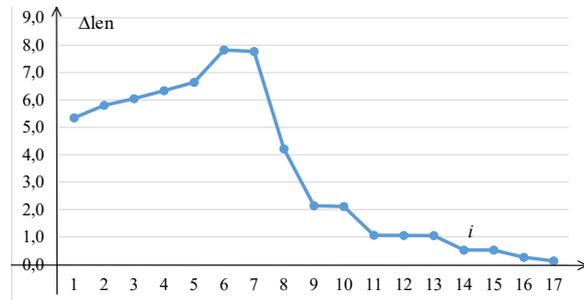


Рисунок 9. Изменение величины сдвига от итерации алгоритма

Вариант расчета местоположения ретрансляторов приведен на рисунке 11 и 12.

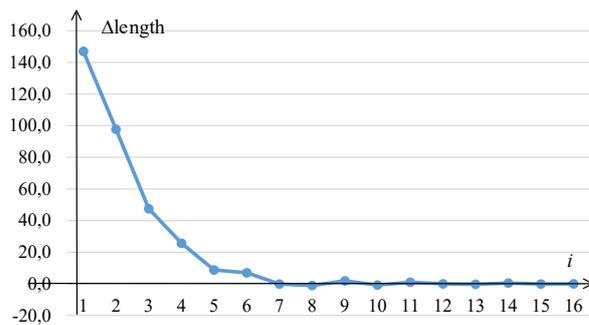


Рисунок 10. Изменение величины смещенного расстояния от итерации алгоритма

Вариант 2 расчета местоположения ретрансляторов приведен на рисунке 3 (режим 2).

Результаты выполненных с использованием алгоритма (рисунок 4) расчетов для различных исходных данных показали возможность нахождения минимального количества ретрансляторов и мест их установки для заданной конфигурации высокоскоростных датчиков.

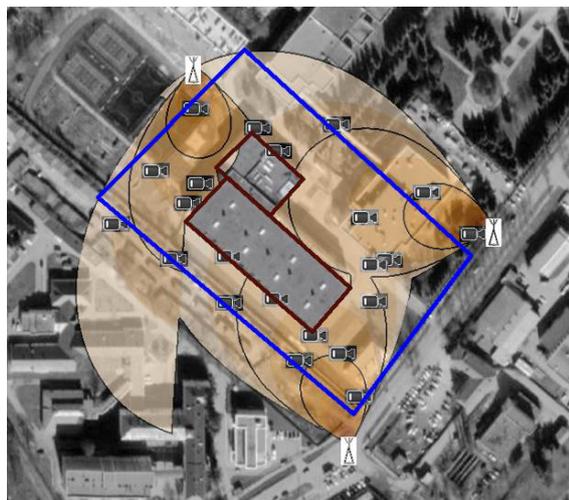


Рисунок 11. Пример размещения ретрансляторов (22 детектора, 3 ретранслятора)



Рисунок 12. Пример размещения ретрансляторов (17 детекторов, 5 ретрансляторов)

Заключение

В работе рассмотрена проблема обеспечения непрерывной надежной радиосвязи для получения сигналов наблюдения и тревожных событий во временно развертываемых системах безопасности. В рамках решения этой задачи предложен алгоритм расчета мест размещения ретрансляторов на местности с препятствиями. Итеративный алгоритм расчета мест размещения позволяет найти точки установки ретрансляторов для обеспечения передачи высокоскоростных потоков информации мониторинга.

Литература

1. Логинов И.В., Старцев Д.Ю., Саламатов С.К. Оптимальное размещение сети видеокамер с радиоканалом в быстровозводимых системах мониторинга и охраны объектов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 5–6 (155–156). С. 105–112.
2. Логинов И.В., Старцев Д.Ю. Алгоритм оптимального размещения беспроводных видеосенсоров в быстровозводимых системах мониторинга и охраны объектов // Информационные системы и технологии. 2021. № 5 (127). С. 39–49.
3. Лукоянов С.В., Белов С.В. Процедура рационального расположения камер видеонаблюдения в составе системы контроля и управления доступом // Вестник Архангельского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 2. С. 82–87.
4. Воронов А.А. Метод покрытия прямоугольниками объектов топологии микросхем, основанный на использовании обобщенной диаграммы Вороного // Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси. 2009. № 3. С. 367–375.
5. Петренко С.В. Оптимизация размещения двумерных геометрических объектов на анизотропном материале с использованием методов математического программирования: дис. ... канд. техн. Уфа, 2005. 115 С.
6. Machine Learning in Wireless Sensor Networks: Algorithms, Strategies, and Applications / M.A. Alsheikh [et.al.] // IEEE Communications Surveys and Tutorials. 2014. Vol. 16, no. 4. P. 1996–2018.
7. Di W.U., Lichun B.A. O., Renfa L.I. UWB-Based Localization in Wireless Sensor Networks // Communications, Network and System Sciences. 2009. no. 5. P. 407–421.
8. Ouchitachen H., Hair A., Idrissi N. Optimal Placement of Sensors in Mission-specific Mobile Sensor Networks // TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering. 2015. Vol. 16, no. 1. P. 191–199.
9. Reddy G.P., Gerardine M. Optimal node placement in wireless sensor networks // International Journal of Engineering Science and Technology. 2011. Vol. 3, no. 2. P. 1124–1129.
10. Gongsheng H., Pei Zh., Linfeng Zh. Optimal Location of Wireless Temperature Sensor Nodes in Large-scale Rooms // 13th international conference on indoor air quality and climate, indoor air. 2014. P. 895–902. DOI: 10.13140/RG.2.1.1897.2884.
11. Сафонов А.А., Панфилов А.Н. Применение алгоритмов геометрического покрытия для решения задачи размещения RFID-оборудо-

- вания // Вестник молодежной науки России. 2019. № 2. С. 39.
12. Забелин С.Л., Фроловский В.Д. Разработка и исследование моделей, методов и алгоритмов для синтеза и анализа решений задач геометрического покрытия // Вестник Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 2013. № 2. С. 42–53.
 13. Курейчик В.В., Глущенко А.Е. Многоуровневый подход для решения задачи трехмерной упаковки большой размерности // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2020. № 2 (212). С. 6–16.
 14. Валеева А.Ф., Тоцков И.Е. Решение задачи трехмерной упаковки // Комплексный анализ, дифференциальные уравнения, численные методы и приложения: материалы международной конференции. Уфа: ИМВЦ УНЦ РАН, 1996. С. 30–36.
 15. Верхотуров М.А., Верхотурова Г.Н. О задаче трехмерной упаковки объектов сложных геометрических форм // Роль геометрии в искусственном интеллекте и системах автоматизированного проектирования: материалы всероссийской научно-технической конференции. Улан-Удэ, 1996. С. 43–45.
 16. Гиль Н.И. Математическое моделирование нерегулярного размещения плоских геометрических объектов в системах автоматизации проектирования (теоретические основы, методы, приложения): автореф. ... дис. тех. наук. Минск, 1990. С. 32.
 17. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. Киев: Наукова думка, 1986. С. 286.
 18. Dyckhoff H. A typology of cutting and packing problems // European Journal of Operational Research. 1991. no. 44. P. 145–159.
 19. Gilmore P.C., Gomory R.E. A linear programming approach to the cutting stock problem // Operation Research. 1961. Vol. 9, no. 6. P. 849–859.
 20. Хасанов Р.И., Дямина Э.И. Математическое и программное обеспечение размещения ортогональных объектов в многоугольной области на базе матричной технологии // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2019. № 1 (20). С. 183–186.
 21. Sun Ya., Halgamuge S. Minimum-Cost Heterogeneous Node Placement in Wireless Sensor Networks // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 17847–17858. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2894117
 22. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд., исправленное. М.: Издательство Вильямс, 2007. 1104 с.

Получено 11.07.2023

Старцев Дмитрий Юрьевич, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации (ФГКБОУ ВО). 302015, Российская Федерация, г. Орел, ул. Приборостроительная, 35. Тел. +7 910 266-66-48. E-mail: starcev_d@mail.ru

Логинов Илья Валентинович, сотрудник ФГКБОУ ВО. 302015, Российская Федерация, г. Орел, ул. Приборостроительная, 35. Тел. +7 910 303-80-60. E-mail: loginov_iv@bk.ru

Сосунов Владимир Геннадьевич, сотрудник ФГКБОУ ВО. 302015, Российская Федерация, г. Орел, ул. Приборостроительная, 35. Тел. +7 903 880-48-09. E-mail: vlsosunov@mail.ru

Плыгун Олег Вячеславович, сотрудник ФГКБОУ ВО. 302015, Российская Федерация, г. Орел, ул. Приборостроительная, 35. Тел. +7 910 303-80-60.

NUMERICAL METHOD FOR CALCULATING THE LOCATIONS OF SAFETY SYSTEM REPEATERS ON TERRAIN WITH OBSTACLES

Startsev D.U., Loginov I.V., Sosunov V.G., Plygunov O.V.

Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, Oryol, Russian Federation

E-mail: loginov_iv@bk.ru

When deploying temporary technical security systems in the interests of ensuring public safety during mass events, quick-deployable sensors for detecting dangerous events are widely used: to monitor traffic flows and visitors, to detect fires, fights, aggressive behavior, dangerous abandoned objects and unmanned aerial vehicles. A number of important limitations, including geometric dimensions of the

detector and repeater installation areas, the capacity of data transmission channels, the presence of restricted areas and the high speed of data transmission from modern sensors of dangerous events, show the need for rational location of repeaters. An iterative algorithm used to estimate placement locations provides an opportunity to find repeater installation points in order to ensure the transmission of high-speed monitoring information flows.

Keywords: *repeater, method, location, coordinates, distance, security system, radio communication, information flow, detector*

DOI: 10.18469/ikt.2023.21.1.07

Startsev Dmitry Yuryevich, Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, 35, Priborostroitelnaya Street, Orel, 302015, Russian Federation; Employee. Tel. +7 910 266-66-48. E-mail: starcev_d@mail.ru

Loginov Ilya Valentinovich, Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, 35, Priborostroitelnaya Street, Orel, 302015, Russian Federation; Employee. Tel. +7 910 303-80-60. E-mail: loginov_iv@bk.ru

Sosunov Vladimir Gennadievich, Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, 35, Priborostroitelnaya Street, Orel, 302015, Russian Federation; Employee. Tel. +7 903 880-48-09. E-mail: vlsosunov@mail.ru

Plygunov Oleg Vyacheslavovich, Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, 35, Priborostroitelnaya Street, Orel, 302015, Russian Federation; Employee. Tel. +7 910 303-80-60.

References

1. Loginov I.V., Startsev D.Yu., Salamatov S.K. Optimal placement of video cameras with radio channel network in fast development facilities monitoring and physical protection systems. *Voprosy oboronnoj tehniki. Seriya 16: Tehnicheskie sredstva protivodejstvija terrorizmu*, 2021, no. 5–6 (155–156), pp. 105–112. (In Russ.)
2. Loginov I.V., Startsev D.Yu. Algorithm for optimal placement of wireless video sensors in fast development facilities monitoring and physical protection systems. *Informacionnye sistemy i tehnologii*, 2021, no. 5 (127), pp. 39–49. (In Russ.)
3. Lukoyanov S.V., Belov S.V. Procedure for the rational location of video surveillance cameras as part of the access control and management system. *Vestnik Astrahanskogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, 2012, no. 2, pp. 82–87. (In Russ.)
4. Voronov A.A. Method of covering objects of micro-circuit topology with straight angles based on the use of a generalized Voronoi diagram. *Ob"edinennyj institut problem informatiki NAN Belarusi*, 2009, no. 3, pp. 367–375. (In Russ.)
5. Petrenko S.V. Optimization of placement of two-dimensional geometric objects on anisotropic material using mathematical programming methods: diss. ... cand. tech. sciences. Ufa, 2005, 115 p. (In Russ.)
6. Alsheikh M.A. et al. Machine Learning in Wireless Sensor Networks: Algorithms, Strategies, and Applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2014, vol. 16, no. 4, pp. 1996–2018.
7. Wu D., Bao L., Li R. UWB-Based Localization in Wireless Sensor Networks. *Communications, Network and System Sciences*, 2009, no. 5, pp. 407–421.
8. Ouchitachen H., Hair A., Idrissi N. Optimal Placement of Sensors in Mission-specific Mobile Sensor Networks. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 2015, vol. 16, no. 1, pp. 191–199.
9. Reddy G.P., Gerardine M. Optimal node placement in wireless sensor networks. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 1124–1129.
10. Gongsheng H., Pei Zh., Linfeng Zh. Optimal Location of Wireless Temperature Sensor Nodes

- in Large-scale Rooms. 13th *International conference on indoor air quality and climate, indoor air*, 2014, pp. 895–902. DOI: 10.13140/RG.2.1.1897.2884
11. Safonov A.A., Panfilov A.N. Application of geometric coverage algorithms for solving the problem of RFID equipment placement. *Vestnik molodjozhnoj nauki Rossii*, 2019, no. 2, pp. 39. (In Russ.)
 12. Zabelin S.L., Frolovsky V.D. Development and research of models, methods and algorithms for synthesis and analysis of solutions to geometric coating problems. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta telekommunikacij informatiki*. Novosibirsk, 2013, no 2, pp. 42–53. (In Russ.)
 13. Kureychik V.V., Glushchenko A.E. Multilevel approach for high dimensional 3D packing problem. *Izvestiya YUzhnogo federal'nogo universiteta. Tehnicheskie nauki*, 2020, no. 2 (212), pp. 6–16. (In Russ.)
 14. Valeeva A.F., Totskov I.E. Solving the problem of three-dimensional packaging. *Kompleksnyj analiz, differencial'nye uravneniya, chislennye metody i prilozheniya: materialy mezhdunarodnoj konferencii: materialy vsrossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*. Ufa: IMVC UNC RAN, 1996, pp. 30–36. (In Russ.)
 15. Verkhoturov M.A., Verkhoturova G.N. On the problem of three-dimensional packaging of objects of complex geometric shapes. *Rol' geometrii v iskusstvennom intellekte i sistemah avtomatizirovannogo proektirovaniya: materialy vsrossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*. Ulan-Ude, 1996, pp. 43–45. (In Russ.)
 16. Gil N.I. Mathematical modeling of irregular placement of planar geometric objects in design automation systems (theoretical foundations, methods, applications): avtoref. diss. ... cand. tech. sciences. Minsk, 1990, 32 p. (In Russ.)
 17. Stoyan Yu.G., Yakovlev S.V. *Mathematical models and optimization methods of geometric design*. Kiev: Sciences Dumka, 1986. 286 p. (In Russ.)
 18. Dyckhoff H. A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 1991, no. 44, pp. 145–159.
 19. Gilmore P.C., Gomory R.E. A linear programming approach to the cutting stock problem. *Operation Research*, 1961, vol. 9, no. 6, pp. 849–859.
 20. Khasanov R.I., Dyaminova E.I. Mathematical and software support for the placement of orthogonal objects in a polygonal area based on matrix technology. *Molodezhnyj vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehničeskogo universiteta*, 2019, no. 1 (20), pp. 183–186. (In Russ.)
 21. Yahui S., Saman H. Minimum-Cost Heterogeneous Node Placement in Wireless Sensor Networks. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 14847–14858.
 22. Sklyar B. Digital Communication. *Theoretical foundations and practical application*. 2th Ed., revised. Moscow: Izd-vo Williams, 2007, 1104 p. (In Russ.)

Received 11.07.2023

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 004.896

МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Обухов С.А., Елагин В.С.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, РФ

E-mail: stasstas1155@yandex.ru

Технология 6G создаст интеллектуальную, высокомасштабируемую, динамичную и программируемую сеть беспроводной связи, способную обслуживать множество разнородных беспроводных устройств. Различные