

УДК 519.876.5

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ

И.В. Логинов, Д.Ю. Старцев (Орел)

Развитие технологий построения сенсорных сетей приводит к возможности развертывания на местности (на объектах, сооружениях) крупномасштабных сетей мониторинга и наблюдения, включающих тысячи датчиков различного назначения и принципов работы (локация, измерение температуры, давления, влажности, видеонаблюдение, местная связь, контроль присутствия и т.п.) [1, 2]. Например, предлагается использовать сенсорные сети для мониторинга окружающей среды, отслеживания транспорта, построения интеллектуальных зданий, организации охраны и наблюдения, мониторинга и отслеживания животных [3]. Такая возможность позволяет развертывать распределенные сети сбора данных и мониторинга, удаленного управления и контроля, распределенного диагностику и наблюдения за опасными факторами и условиями. Развертывание катастрофоустойчивых сетей позволяет обеспечить надежность функционирования при наличии опасных внешних воздействий за счет децентрализованного, либо смешанного режима работы, что позволяет использовать их для решения задач, связанных с обеспечением безопасности.

Каждый принцип работы датчика сбора данных и наблюдения накладывает ограничение на особенности его применения и соответственно размещения на местности (объектах). С другой стороны, отдельные виды датчиков генерируют высокие трафик (10-100 мбит/с и более) и тем самым предъявляют повышенные требования к организации сети передачи данных [4].

При организации временно развертываемых сетей наблюдения (при чрезвычайных ситуациях техногенного характера или, например, при борьбе с лесными пожарами) возникает задача оптимального покрытия площади объекта, имеющего различные препятствия (строения) и запретные зоны (места, где не могут быть размещены технические средства), зоной наблюдения датчиков, имеющими различные характеристики (дальность действия, вероятность обнаружения опасного события, скорость передачи информации, геометрические разделы сектора наблюдения), в условиях ограниченной пропускной способности канала связи. Известные алгоритмы организации беспроводных сетей мониторинга ориентированы на обеспечение стационарного развертывания, и в условиях мобильного развертывания на местности с препятствиями не обеспечивают необходимую площадь наблюдения для высокоскоростных средств. Все это обуславливает необходимость разработки численных методов размещения датчиков на местности, с учетом величины пропускной способности канала связи.

При построении систем физической защиты (СФЗ) объектов наиболее сложным и трудоемким является процесс размещения камер охранного наблюдения на местности, обеспечивающих полное покрытие охраняемой территории. Зачастую задача полного покрытия территории объекта камерами охранного наблюдения при их минимальном количестве усложняется наличием препятствий, которые либо не позволяют разместить камеру, либо будут перекрывать его зону обнаружения.

В настоящее время размещение камер охранного наблюдения осуществляется на основе опыта и интуиции сотрудников технических подразделений, занимающихся созданием СФЗ. Нередки случаи неправильного или не оптимального размещения камер.

Применение средств имитационного моделирования при построении СФЗ объектов позволит размещать на карте (схеме) объекта камеры охранного наблюдения, строить зоны их покрытия, рассчитывать необходимое количество камер для обеспечения безопасности объекта, что в свою очередь снизит время построения СФЗ, вероятность неполного покрытия объекта камерами или неоптимального их размещения.

Исходными данными для задачи размещения высокоскоростных датчиков технических средств охраны выступает план временно охраняемой местности (рисунок 1). План местности должен быть заранее построен на основе схемы, снимка или ортофотоплана с точностью указания координат не менее 0,1 м. На плане местности должны быть указаны зоны наблюдения, запретные зоны для размещения датчиков, препятствия, характеристики освещенности, влияющие на детектирование. Для каждой зоны наблюдения (обнаружения) устанавливают список типовых целей для обнаружения: транспортные средства, люди, предметы.

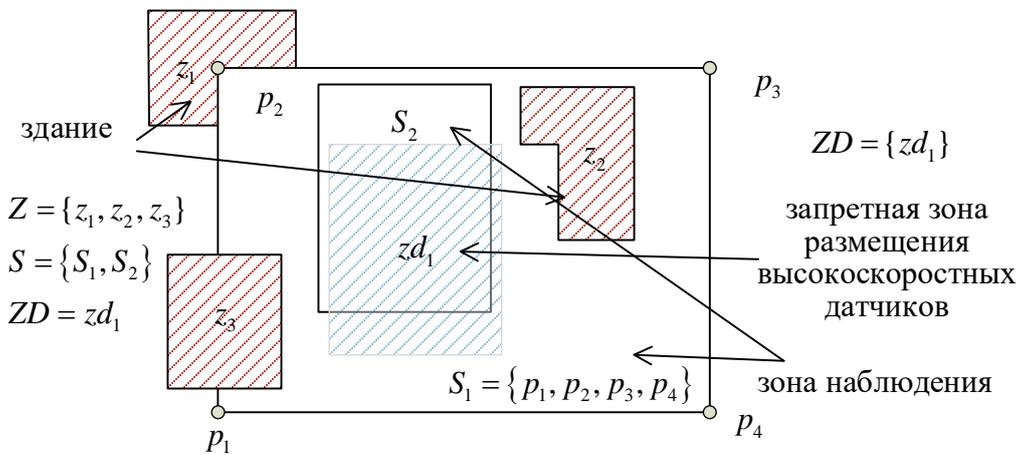


Рис. 1 – Исходные данные для задачи размещения датчиков на местности

Задача размещения высокоскоростных датчиков на местности состоит в нахождении подмножества высокоскоростных датчиков ND^* из множества доступных $ND^* \in ND$, и мест их размещения P_{ND^*} (включая азимуты диаграмм направленности), минимизирующих количество датчиков технических средств охраны N_D :

$$\langle ND^*, P_{ND^*} \rangle = \arg \min_{ND} (N_D(ND) + N_R(ND)), ND \subseteq NDT, \quad (1)$$

N_R – количество ретрансляторов (точек доступа беспроводной связи) $NR^* \in NR$; места размещения ретрансляторов P_{ND^*} ;

при выполнении требований полного покрытия зоны наблюдения и функционирования рубежей детектирования, опознавания и идентификации объектов:

$$S_{\text{набл,з\in\mathbb{Z}}} = \bigcup_i S_i^{\text{набл,з\in\mathbb{Z}}} \subseteq S^{\text{набл,з\in\mathbb{Z}}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} S_j^{\text{нд,з\in\mathbb{Z}}}(d_j), \quad (2)$$

$$L_{\text{детек,з\in\mathbb{Z}}} = \bigcup_i L_i^{\text{детек,з\in\mathbb{Z}}} \subseteq L^{\text{детек,з\in\mathbb{Z}}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} L_j^{\text{детек,з\in\mathbb{Z}}}(d_j), \quad (3)$$

$$L_{\text{опозн,з\in\mathbb{Z}}} = \bigcup_i L_i^{\text{опозн,з\in\mathbb{Z}}} \subseteq L^{\text{опозн,з\in\mathbb{Z}}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} L_j^{\text{опозн,з\in\mathbb{Z}}}(d_j), \quad (4)$$

$$L_{\text{идентиф,з\in\mathbb{Z}}} = \bigcup_i L_i^{\text{идентиф,з\in\mathbb{Z}}} \subseteq L^{\text{идентиф,з\in\mathbb{Z}}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} L_j^{\text{идентиф,з\in\mathbb{Z}}}(d_j), \quad (5)$$

и выполнении требований передачи высокоскоростных потоков данных по каналам беспроводной связи:

$$C_{km}^R(RSSI = \min RSSI_{kjm}) \geq C_{km}^{ND}, \quad (6)$$

$$\forall k, k = 1..N_R, \sum_{j=1}^{N_D} C_j(ND^*, rs = k) \leq C(rs_k) = C_{km}^R, \quad (7)$$

где $C(rs_k)$ – пропускная способность беспроводного k -го ретранслятора (точки доступа).

Результатом решения задачи размещения датчиков технических систем охраны являются список высокоскоростных датчиков с места расположения (привязанных к карте или схеме объекта), а также азимута диаграммы направленности:

$$\langle ND^*, P_{ND^*}, Az \rangle. \quad (8)$$

Для решения задачи размещения высокоскоростных датчиков мониторинга на местности при ограничении пропускной способности каналов связи предложен численный метод, заключающийся в выполнении последовательности операций:

1. генерация зоны сплошного покрытия и его наложение на зону наблюдения, выполняется на основе эвристики сплошного покрытия заданными фигурами: кругами, секторами, треугольниками;

2. перенос высокоскоростных датчиков из запретных зон и строений на их границы, выполняется методом кратчайшего перпендикуляра;

3. итеративная генерация нового размещения датчиков, минимизирующих величину непокрытых участков зоны наблюдения;

4. итеративная генерация нового размещения датчиков, обеспечивающую расстановку датчиков при ограничении на пропускную способность ретрансляторов.

В рамках итеративной генерации новых размещений ищется новое подмножество датчиков ND_i .

Переразмещение датчиков выполняется по диагонали слева направо, сверху вниз. Операция нахождения оптимального места (координат) размещения j -го датчика поясняется рисунком 2. Формируется зона покрытия (видимости) для всех датчиков (сверху и слева непокрытого участка) $j < J$ (рисунок 4, шаг 1):

$$S_{iJ} = \bigcup_{j=1}^J S_{ij}. \quad (9)$$

Рассчитывается совокупная зона наблюдения (2). Определяется потенциальная линия L_{iJ} размещения датчика (3) – наиболее удаленная точка установки датчика мониторинга от совокупной зоны наблюдения S_{iJ} . Осуществляется расчет величины площади перекрытия для i -го датчика $\Delta S_{iJ} = S_{iJ} \cap S_{ij}$ в зависимости от точки на потенциальной линии размещения L_{iJ} (вариант площади перекрытия представлен на графике на рисунке 2).

Определение того, что датчик попадает в запретную зону (строение или формального заданную зону, где невозможна установка датчика) реализуется с использованием алгоритма на рисунке 3. Смысл в том, что датчики наблюдения, попадающие в запретную зону, переносятся на ее границу в соответствии с методом минимального перпендикуляра.

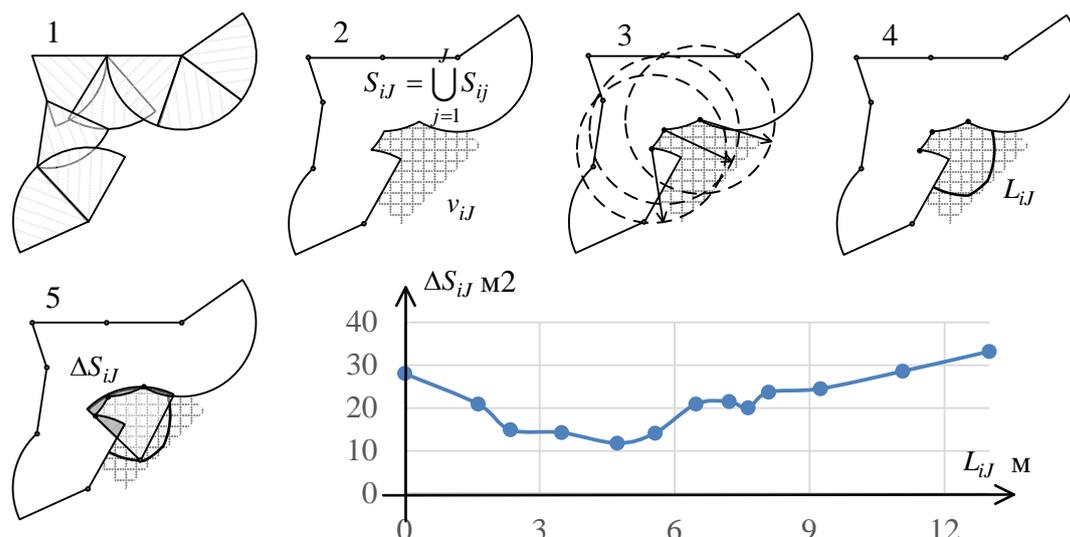


Рис. 2 – Схема нахождения нового размещения высокоскоростного датчика на местности

Алгоритм нахождения точки размещения датчика в запретной зоне реализуется следующим образом:

- 1) каждый многоугольник всех запретных зон разбивается на треугольники методов с использованием модифицированного жадного алгоритма для невыпуклых многоугольников;
- 2) для каждой точки размещения датчика проверяется ее нахождение внутри всех запрещенных треугольников.

Перенос точки установки датчика на границу запретной зоны – точка передвигается по минимальному перпендикуляру, азимут диаграммы направленности сохраняется без изменений.

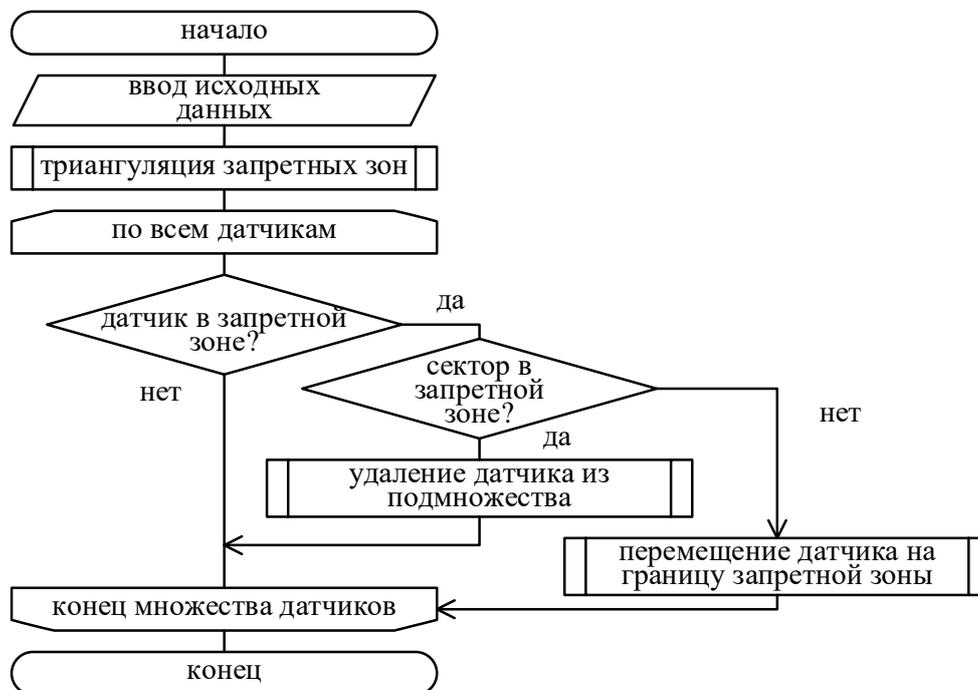


Рис. 3 – Алгоритм определения запретного места установки датчика

В рамках исследования для практической реализации алгоритма размещения высокоскоростных датчиков на местности разработано программное средство. Программное средство TriangleM по расчету мест размещения датчиков на местности в условиях высокого уровня закрытия препятствиями представляет собой приложение со следующими основными функциями: визуализации – создание проекта, подготовка исходных данных с построением схемы объекта (зон и рубежей наблюдения), расчетной – проведение расчета предположительных мест размещения высокоскоростных датчиков и ретрансляторов на основе установленных требований к зонам и рубежам наблюдения). Предполагаемое направление использования программного средства – это ее применение в интересах проектирования и анализа систем безопасности и жизнеобеспечения различных объектов (рисунки 4 и 5).



Рис. 4 – Пример построения схемы объекта в программном средстве TriangleM

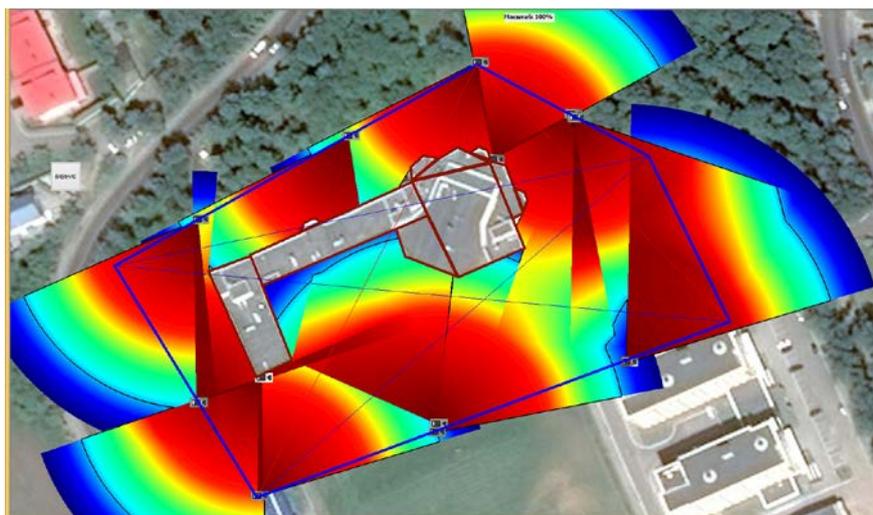


Рис. 5 – Пример построения схемы зоны покрытия и размещения датчиков в программном средстве TriangleM

Территория объекта представляет собой участок местности с расположенными на нем препятствиями (строениями). Основной объект представляет собой Г-образное строение. Определены границы объекта, в пределах которых должно обеспечиваться полное покрытие площади датчиками. Граница зоны действия датчика составляет 90 метров. Граница зоны идентификации объектов датчиком с вероятностью 95% составляет 45 метров. Сектор действия датчика составляет 72°.

Программа позволяет задать параметры датчиков (дальность действия, вероятность обнаружения, зону обнаружения при заданной вероятности), произвести размещение датчиков в пределах границы объекта. После чего возможно произвести перемещение датчиков, попавших в запретные зоны, в разрешенные места и провести переустановку датчиков до полного покрытия требуемой площади, при этом лишние датчики могут удаляться, а недостающие наоборот добавляться. После полного покрытия площади датчиками программное средство строит схему покрытия объекта с указанием количества и мест размещения датчиков.

В представленном примере площадь объекта полностью покрыта 11 датчиками, 4 из которых попали в запретную зону. Произведено смещение данных датчиков на границу запретной зоны по кратчайшему расстоянию и произведена перестановка остальных датчиков в пределах разрешенной зоны. В результате перестановки выяснилось, что данного количества недостаточно для полного покрытия требуемой площади, и произведено добавление дополнительного датчика.

Таким образом, в данной работе рассмотрены проблемы развертывания беспроводных быстровозводимых датчиков. Показана необходимость оптимизации мест размещения датчиков в условиях ограничения пропускной способности канала связи. Предложен численный метод расчета оптимального размещения датчиков на местности с учетом ограничений пропускной способности канала связи, отличающийся от существующих совместным применением эвристики на основе замощения территории объекта секторами и стохастической оптимизацией мест размещения ТСО на основе метода условного спуска, который позволяет численно решать задачу выбора подмножества высокоскоростных датчиков и мест их размещения. Описана реализация предложенного метода в программном средстве проектирования и построения систем безопасности и жизнеобеспечения объектов. Приведен пример расстановки датчиков на местности в программном средстве, реализующем приведенные в статье алгоритмы на примере сети беспроводных видеокамер.

Литература

1. **Муравьев К.А., Алябьев И.О., Синютина Д.С., Шушуев А.И.** Алгоритмическое проектирование беспроводных сенсорных сетей // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2020. Т. 2. С. 322-327.
2. **Старцев Д.Ю.** Основные задачи и типовые нарушители быстроразворачиваемых комплексов технических средств охраны для транспортной безопасности / Д.Ю. Старцев, С.В. Нехаев // Образование - наука - производство: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). 2022. С. 224-227.
3. **Когельман Л.Г.** Обзор применения беспроводных сенсорных сетей // Современные информационные технологии. 2020. № 31 (31). С. 65-75.
4. **Старцев Д.Ю.** Проблема увеличения интенсивности информационных потоков в системах физической безопасности / Д.Ю. Старцев, И. В. Логинов // Охрана, безопасность, связь – 2022: сборник статей. 2022.