

Использование ГИС при решении задачи определения рациональной топологии размещения извещателей охранной системы

GIS use at the solution of a problem of definition of rational topology of placement of Sensor security system

Ключевые слова: извещатель — sensor; охранная система — security system; рациональная топология — rational topology; задача о покрытии множества — a task about a set covering.

Предложен новый алгоритм решения задачи рациональной топологии размещения извещателей охранной системы на местности с использованием геоинформационной системы «Панорама» и математического моделирования зон обнаружения извещателей.

The new algorithm of the solution of a problem of rational topology of placement of Sensor security system on the district with use of geoinformation Panorama system and mathematical modeling of zones of detection of Sensor is offered.

ВВЕДЕНИЕ

При развертывании охранной системы на местности для охраны территории устанавливаются извещатели. Положение извещателей определяется необходимостью прикрытия всех подступов к охраняемой территории. При этом количество используемых извещателей должно быть минимизировано с экономической точки зрения. В этом заключается задача определения рациональной топологии размещения извещателей на местности. Сложность решения задачи заключается не только в использовании в охранных системах разнородных по физическому принципу действия извещателей, но и в учете неровностей рельефа местности, порождающего возникновение зон тени. Зоны тени образуются в пределах зоны обнаружения извещателя, но при нахождении нарушителя в зоне тени он останется необнаруженным. Под зоной обнаружения извещателя понимается часть пространства, в которой возможно обнаружение нарушителя данным извещателем. Нарушители,

МАРТЫНОВА / MARTYNOVA L.

Любовь Александровна

(martynowa999@bk.ru)

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
начальник лаборатории,
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Государственный научно-исследовательский институт
прикладных проблем»,
Санкт-Петербург

находящиеся в пределах прямой видимости, будут обнаружены. Факторы, исключая прямую видимость, порождают возникновение зон тени. В связи с этим при размещении извещателей на местности необходим учет рельефа местности.

Современные технологии создания картографии с матрицей высот, именуемые геоинформационными технологиями, или ГИС-технологиями, позволяют учесть рельеф местности до этапа размещения извещателей охранной системы на местности. Больше того, в настоящее время наблюдается тенденция автоматизации указанного процесса. Однако автоматизация, исключая человеческий фактор при выборе того или иного решения, требует комплексного учета всех факторов, оказывающих влияние на результат размещения извещателей. Настоящая работа направлена на разработку алгоритма решения задачи рациональной топологии с комплексным учетом факторов, включая формирование зон обнаружения извещателей и влияние рельефа на формирование зон видимости и зон тени.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основы эффективного функционирования охранной системы закладываются на этапах, предшествующих этапу функционирования, а именно — на этапах предпроектной подготовки и развертывания охранной системы. От того, насколько продуманно и правильно будет проработана топология размещения извещателей охранной

системы, насколько точно выполнено развертывание охранной системы, зависит эффективность функционирования охранной системы на этапе дальнейшей ее эксплуатации при охране объектов.

На этапе предпроектной подготовки одной из основных решаемых задач, является задача размещения извещателей охранной системы, представляющей собой территориально-распределенную систему извещателей и пунктов, на которые поступает информация от извещателей. При этом извещатели должны быть расположены так чтобы охранная система работала наиболее эффективно. Поскольку основной задачей охранной системы является обнаружение противника, то эффективность охранной системы определяется вероятностью обнаружения противника.

При размещении извещателей необходимо, чтобы все подступы на охраняемую территорию были закрыты. Это означает, что не должно быть непросматриваемых зон по периметру охраняемой территории, то есть периметр охраняемой территории должен быть полностью покрыт зонами обнаружения. Такая задача может быть формализована как задача об оптимальном покрытии множества [1,2], в которой в качестве множества рассматривается охраняемая территория.

Однако при решении задачи об оптимальном покрытии множества важно иметь точные сведения о размере зон обнаружения. На размер зоны обнаружения влияние оказывают следующие факторы:

- рельеф местности: косогоры, кочки, ямы, овраги;
- климатические условия: снег, дождь, туман;
- подстилающая поверхность (снежный покров, трава, кусты, деревья);
- собственные параметры извещателей (пороги обнаружения в соответствии с паспортными данными при нормальных условиях эксплуатации).

На этапе предпроектной подготовки без рекогносцировки на местности из перечисленных факторов, оказывающих влияние на размер зоны обнаружения извещателя, можно учесть лишь рельеф местности и использовать статистические результаты наблюдений метеоусловий.

Рельеф местности оказывает влияние на формирование зон видимости извещателей: из-за перепадов высот возможны возникновение зон тени. Для определения размера зоны обнаружения извещателей в ходе предпроектной проработки проводится анализ физико-географических условий в районе. В результате этого анализа выявляется ландшафт местности (равнина, пересеченная местность, залесенность, горы, грунты и т.д.) и определяются естественные преграды (реки,

озера, непроходимые болота, буреломы). Далее рассматривается транспортная сеть прикрываемого района (дороги, пешеходные тропинки, звериные тропы) с точки зрения выявления наиболее вероятных маршрутов движения противников как пешим порядком, так и с использованием транспортных средств.

Для учета рельефа при планировании размещения извещателей охранной системы целесообразно использовать геоинформационную картографическую систему, например, ГИС «Панорама», с указанием матрицы высот.

С помощью ГИС определяются перепады высот и тем самым определяются зоны тени: их положение и размеры. С учетом этих данных происходит формирование зон обнаружения каждого извещателя. Далее, имея информацию о дальностях зон обнаружения, можно переходить к решению задачи об оптимальной топологии размещения извещателя, трактуя ее как задачу об оптимальном покрытии множества. Для этого сначала необходимо сформировать, по крайней мере, один вариант топологии размещения извещателей.

Для решения задачи необходимо последовательно рассмотреть:

- формирование зон обнаружения;
- решение задачи об оптимальном покрытии;
- определение зон видимости;
- установка вспомогательных устройств;
- последовательность развертывания охранной системы.

РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Отличие предлагаемого решения от имеющихся заключается в разработке математических моделей зон обнаружения извещателей, учете рельефа местности путем использования электронных карт с матрицей высот, формировании законченных вариантов и с использованием оптимизации на множестве альтернатив определение оптимального варианта.

При размещении извещателей руководствуются тем, чтобы все подступы на охраняемую территорию были просматриваемы и перекрыты зонами обнаружения извещателя. Это означает, что периметр охраняемой территории должен быть полностью покрыт зонами обнаружения. Такая задача в настоящей работе формализована как задача об оптимальном покрытии множества [1,2], в которой в качестве множества рассматривается охраняемая территория.

При решении задачи об оптимальном покрытии множества важно иметь точные сведения о размере зон обнаружения.

При этом на практике возможны отклонения от заданных условий эксплуатации извещателей, и этот факт должен учитываться при размещении извещателей. Кроме того, необходимо учитывать возможные изменения положения зон обнаружения, например, при использовании телевизионной камеры, периодически сканирующей в различных направлениях область пространства [3,4]. В этом случае нарушитель может оказаться необнаруженным при нахождении в зоне обнаружения телевизионной камеры. Подобные варианты требуют особого анализа, разработки специальных моделей и рассмотрения различных сценариев их работы и поведения противника. В настоящей работе был отдельно рассмотрен вариант формирования зон обнаружения поворотных телевизионных видеокамер.

Для моделирования зон обнаружения использованы геометрические фигуры, представленные на рисунке 1: эллипс (рубежные извещатели), сектор (телевизионная камера), круг (сейсмические извещатели).

Для учета рельефа при планировании размещения извещателей охранной системы используется геоинформационная картографическая система (ГИС) «Панорама» с указанием матрицы высот. С помощью ГИС определяются перепады высот и тем самым определяются зоны тени: их положение и размеры. Расчет зон тени происходит с использованием специально разработанных алгоритмов. С учетом этих данных происходит формирование зон обнаружения каждого извещателя. Далее, имея информацию о дальностях зон обнаружения и их конфигурации, можно переходить к решению задачи о рациональной топологии размещения извещателей, трактуя ее как задачу об оптимальном покрытии множества.

КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Как уже отмечалось, извещатели должны располагаться таким образом, чтобы все подступы к охраняемой территории были просматриваемы. Иными словами, весь периметр охраняемой территории должен быть покрыт зонами обнаружения извещателей. В то же время покрытие одного и того же участка периметра несколькими зонами обнаружения извещателей экономически неоправданно и перегружено информацией, затрудняющей ее обработку (как автоматическую, так и визуальную). В связи со сказанным оптимальным является покрытие периметра охраняемой территории минимальным количеством извещателей при условии максимально полного покрытия всей протяженности периметра охраняемой территории. Оговоримся, что в данном случае периметр представляет собой полосу шириной 3-4 м.

В результате имеем так называемую задачу минимакса: при максимально возможном (не обязательно полном из-за ограничений по используемым извещателям) покрытии периметра охраняемой территории зонами обнаружения извещателей минимизируем площади участков, перекрываемых несколькими зонами обнаружения извещателей. Показатель оптимальности покрытия периметра охраняемой территории определяется как отношение площади непокрытых участков периметра к общей площади протяженности полосы периметра:

$$K_{pusto} = \frac{S_{krug} - S_{ellipse}}{S_{krug}}, \quad (1)$$

где $S_{ellipse}$ — длина части периметра охраняемой территории, попавшей в зону обнаружения хотя бы в одного извещателя;

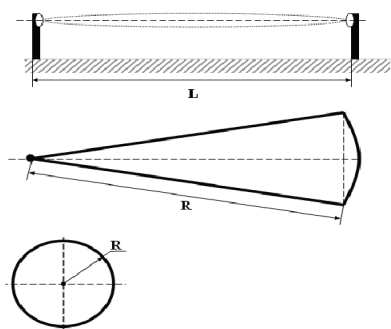


Рис. 1. Виды конфигурации зон обнаружения извещателей

S_{krug} — общая протяженность периметра охраняемой территории.

Определение степени перекрытия периметра несколькими зонами обнаружения извещателя осуществляется по формуле:

$$K_{непе} = \frac{S_{непе}}{S_{krug}}, \quad K_{непе} \rightarrow \min \quad (2)$$

где $S_{непе}$ — площадь частей полосы периметра, покрытых более чем одной зоной обнаружения извещателя.

Для поиска оптимального решения необходимо рассмотреть несколько вариантов топологии размещения извещателей и выбрать из них оптимальный. Поиск оптимальной топологии размещения извещателей заключается в выборе из всех вариантов с максимальным $K_{пусто}$ варианта с минимальным $K_{непе}$.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ПОКРЫТИИ МНОЖЕСТВА

Для решения задачи об оптимальном покрытии множества целесообразно использовать метод «точное решение». При этом решение задачи заключается в формировании вариантов размещения извещателей по периметру охраняемой территории. Зоны обнаружения должны покрывать полосу, расположенную по периметру охраняемой территории. Поскольку границы зон обнаружения не пригнаны друг к другу, то, вероятнее всего, появятся области

перекрытия зонами обнаружения. В связи с этим при определенном варианте размещения извещателей необходимо определить, с одной стороны, образующиеся непокрытые зонами обнаружения части периметра охраняемой территории, а с другой — оценить перекрываемые области зонами обнаружения нескольких извещателей.

РАСЧЕТ КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ

На рисунке 2 заштрихованной областью представлен фрагмент одного из решений нахождения площади пересечения окружности и эллипса. На рисунке 2 наглядно показано, что нахождение площадей пересечения кольца и эллипсов является трудоемким процессом, требующем многопланового анализа корней системы уравнений и взаимного положения окружности и эллипсов.

В ходе научного анализа выявлено, что наиболее подходящим способом определения площадей фигур, являющихся пересечением круга охраняемой территории и эллипсов зон обнаружения извещателей является численный метод, основанный на построении сетки. Метод сеток заключается в покрытии площади охраняемой территории сеткой с выбранным шагом и анализе положения каждого узла сетки. Узлы сетки могут находиться в пределах зоны обнаружения извещателей, могут находиться вне пределов зоны обнаружения извещателей, могут вместе с этим находиться в пределах охраняемой территории, могут находиться вне пределов охраняемой терри-

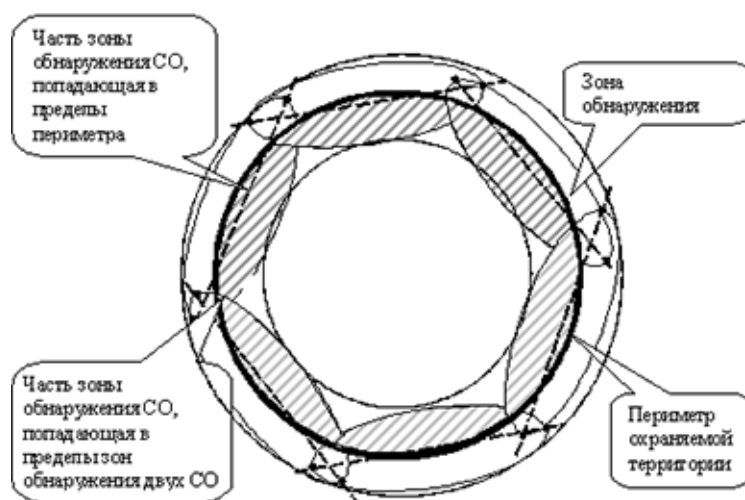


Рис. 2. Покрытие охраняемой территории зонами обнаружения извещателей

тории, так как площадь, охватываемая сеткой, имеет вид прямоугольника, а охраняемая территория в общем случае имеет произвольные границы.

Узлы сетки образуют расчетное поле в виде прямоугольника, покрывающего охраняемую территорию. Уравнения (1)-(2) адаптированы к использованию численного метода, и в результате расчетов, проведенных по формулам (1)-(2) определяется рациональный вариант топологии размещения извещателей по периметру охраняемой территории.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

Определение прямой видимости производилось с использованием волнового алгоритма [4].

Волновой алгоритм поиска в общей формулировке может быть описан следующим образом.

Пусть имеется некоторая двумерная растровая карта $Q(n, m)$ и два множества точек на этой карте: множество начальных точек пути Q_1 и множество конечных точек Q_2 . Необходимо найти кратчайший, т.е. состоящий из минимального числа шагов, путь, соединяющий одну из точек множества Q_1 с одной из точек множества Q_2 , если известно правило, позволяющее определить для заданной точки N_i множество точек, доступных за один шаг. В задаче расстановки извещателей в качестве доступных за один шаг будут выступать точки, находящиеся в области действия извещателя, установленного в точке N_i .

На предварительном этапе все точки, принадлежащие множеству Q_1 , помечаются как доступные на текущий момент (на нулевом шаге волны). Первый шаг алгоритма заключается в последовательном переборе всех точек, доступных на предыдущем (нулевом) шаге и вычислении для каждой из них множества точек, доступных за один шаг. Далее, путем объединения полученных множеств точек вычисляется область карты, доступная на текущем шаге; все точки, входящие в данную область, помечаются номером текущего шага.

Очередной k -ый шаг волнового алгоритма будет заключаться в выборе точек, помеченных как доступные на $k-1$ шаге, и в вычислении объединенной области точек, доступных на текущем шаге.

В качестве условия успешного завершения алгоритма будем принимать следующее: если после очередного k -го шага хотя бы одна из точек множества Q_2 была помечена как доступная на текущем шаге.

ВЫВОДЫ

В работе предложен алгоритм решения задачи рациональной топологии в условиях комплекс-

ного учета рельефа местности и его влияния на формирование зон тени.

Литература

1. Еремеев А.В., Заозерская Л.А., Колоколов А.А. Задача о покрытии множества: сложность, алгоритмы, экспериментальные исследования. Дис-кредитный анализ и исследование операций. Сер. 2. 2000. Т. 7, N 2. С.22-46
2. Томас Х. Кормен и др. Глава 16. Жадные алгоритмы // Алгоритмы: построение и анализ = INTRODUCTION TO ALGORITHMS. — 1-е изд. — М.: Московского центра непрерывного математического образования, 2001. — С. 889-892. — ISBN 5-900916-37-5
3. Гедзберг Ю.М. Охранное телевидение, М., Горячая линия – Телеком, 2005. — 312с.
4. Капустин Н.М. «Автоматизация конструкторского и технологического проектирования (САПР 6)», 1988, 192 с.