

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА ИНФОРМАТИЗАЦИИ

В статье на примере автоматической пожарной сигнализации (АПС) исследуется вопрос автоматизации проектирования средств сигнализации, без потери общности позволяющей обеспечить безопасность объекта информатизации.

Рассмотрим возможность использования программного комплекса при проектировании системы АПС объекта. Организация ЗАО «Амулет» за последние 3 года разработала более 300 проектов систем комплексной безопасности на объектах различной сложности*, включая подсистемы АПС.

При этом программа:

- на заданном плане объекта предлагает оптимальную схему расположения датчиков, на которой могут одновременно отображаться дополнительные устройства, необходимые для работы системы (например, соединительные кабели);
- осуществляет расчет стоимости устанавливаемого оборудования и затрат на производство пуско-наладочных работ.

Это позволяет уменьшить затраты на стадии проектирования, обеспечивая надлежащую эффективность и качество работ, за счет полного охвата контролем всех площадей объекта и минимизации количества сертифицированного оборудования, применяемого при установке.

Перейдем к более детальному описанию данного программного продукта. Начнем с математической модели, принятой в качестве основы для создания программы. Поскольку задача имеет практический характер, то прежде всего было решено произвести определение оптимального расположения датчиков для нескольких наиболее распространенных видов помещений: прямоугольная комната, Т- и П-образные коридоры. Эти три типа занимают примерно 90–95% от общего количества помещений, встречающихся при работе с реальными объектами.

Задача может быть решена в два этапа: нахождение оптимальных расположений датчиков в прямоугольной комнате и объединение прямоугольных объектов (комнат) в более сложные (коридоры и т. п.) с исключением возможного наложения зон действия датчиков.

При оценке эффективности работы пожарной сигнализации, построенной в рамках описанной модели, использована следующая функциональная зависимость:

$$F_{\text{ис}} = (f_{\text{кп}} + f_{\text{зд}} + f_{\text{пд}} + f_{\text{хв}} + f_{\text{зп}} - f_{\text{зо}} - f_{\text{вв}} - f_{\text{мг}} - f_{\text{на}} - f_{\text{пп}} - f_{\text{пз}}) * f_{\text{кр}}, \text{ где:}$$

$f_{\text{кп}}$ — влияние конфигурации помещения (размеры — площадь и высота, выступы и стенные ниши, наличие перегородок, наличие колонн, вид потолка — бетон, дерево, навесные и т. п., стены — прямые или криволинейные, выпуклые или вогнутые и др.);

$f_{\text{зд}}$ — зависимость эффективности от формы зоны обнаружения датчика;

$f_{\text{пд}}$ — принцип работы пожарного датчика (обнаружение возгорания по дымовому или температурному признаку);

$f_{\text{хв}}$ — характер возгорания (низкотемпературное, взрывное, с выделением дыма или без дыма и т. п.);

$f_{\text{зп}}$ — зоны действия установок пожаротушения;

$f_{\text{зо}}$ — зоны затенения от производственного оборудования (размещение высокого оборудования, изменяющее зону обнаружения ТСО);

$f_{\text{мг}}$ — характеристика материалов горения (материалы и реагенты, используемые в производстве; покрытие пола, стен и потолка — сгораемые или нет; при горении выделяет газы или нет);

* Разработанный программный комплекс полностью соответствует требованиям нормативных руководящих документов.



$f_{\text{вв}}$ — влияние воздушных потоков (вытяжная или приточная вентиляция, искажающая распространение дыма в помещении);

$f_{\text{на}}$ — влияние нагревательных приборов в помещении (инфракрасное излучение (маскирует пожар), влияние конвекционных потоков на распространение дыма);

$f_{\text{шт}}$ — производственные помехи в работе системы (тепловые и высокочастотные излучения оборудования создают помехи работе ТСО и линий связи);

$f_{\text{па}}$ — помехи, создаваемые злоумышленником (преднамеренная порча элементов системы или создание помех их работе);

$f_{\text{кр}}$ — кратность резервирования пожарной сигнализации (наличие дублирующих элементов в системе, резервирование другим типом ТСО например, датчики охранной системы как резервные для пожарной сигнализации).

Вернемся к описанию разработанного алгоритма.

Решение первого этапа задачи с математической точки зрения состоит в нахождении оптимального покрытия прямоугольного объекта концентрическими кругами заданного радиуса при следующих граничных условиях:

- максимальное расстояние между датчиками (центрами кругов);
- максимальное расстояние от датчика до стены (от центра круга до ближайшей границы прямоугольника);
- максимальная площадь, покрываемая одним датчиком (задает радиус полусферы, определяющей зону действия датчика; радиус концентрического круга, используемого при покрытии, определяется как радиус сечения этой полусферы плоскостью пола).

Все эти условия определены требованиями государственных норм пожарной безопасности.

Реализация решения поставленной проблемы возможна путем использования различных общеизвестных методов. Среди них можно выделить, например: 1) перебор всех возможных вариантов последовательной расстановки датчиков при учете первоначально заданных норм и расположения первых n датчиков; 2) метод эмпирического размещения некоторого количества датчиков с последующим выявлением вариантов расположений с избыточным и недостаточным процентом охвата контролируемых площадей. Однако применение подобных алгоритмов было отвергнуто, так как они не обеспечивали желаемой скорости проведения расчетов. Также был рассмотрен метод задания критериев, предусматривающих определение месторасположения каждого следующего датчика относительно координат предыдущих. Это могло бы в конечном итоге позволить выработать общую концепцию заполнения произвольных конфигураций пространств объектами с индивидуально заданными параметрами. Подобная постановка проблемы потребовала бы фундаментального подхода к разработке математической классификации возможных взаимных расположений объектов. По всей видимости, изучение этой проблемы будет следующим шагом в решении прикладных задач обеспечения комплексной безопасности объектов.

Оптимальное сочетание математических методов и вычислительной мощности машин на данном этапе может быть обеспечено использованием следующего алгоритма. Первым его шагом является определение оптимального расположения датчиков для достаточно больших объектов, обеспечивающего минимально возможное их количество при максимально экономичном способе стыковки зон действия датчиков.

В общем случае описать этот этап можно следующим образом. Пусть имеется некоторое множество типов датчиков $\Omega = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, и определено отображение $m(S_i)$, действующее из множества Ω в множество R^+ — положительную действительную полуось. $m(S_i)$ является аналогом меры, т. е. определяет некоторую стоимостную характеристику датчика. Тогда имеем задачу о поиске минимизации функционала:

$$\mu(\Psi) = \inf_{\substack{\Psi \subset \bigcup_{k=1}^n S_k * q_k \\ S_k \subset \Omega}} \sum_{k=1}^n q_k * m(S_k), \text{ где}$$



Ψ — некоторая область, в которой необходимо обеспечить защиту, q_k — количество датчиков типа S_k , использованных при покрытии Ψ . Под произведением $S_k * q_k$ подразумевается расположение q_k объектов типа S_k , которые в сумме по всем k образуют наименьшее возможное множество, в котором содержится область Ψ . Отметим, что, по сути, эта задача аналогична задаче по поиску минимального покрытия множества при нахождении его внешней меры.

В нашем случае имеется только один тип зоны, поэтому минимизируемый функционал принимает вид:

$$\mu(\Psi) = \inf_{\Psi \subset S * q} q * m(S), \text{ где}$$

S — круг (зона действия пожарного датчика).

При решении задачи было принято, что минимум этого функционала достигается в случае, когда датчики расположены в узлах гексагональной сетки (рис. 1). Их расположение может быть описано матрицей A_{ij} , элементами которой являются пары: $x_{ij} = j * \text{radius} * \sqrt{3}$, $y_{ij} = i * 1.5 * \text{radius}$, где radius — это радиус концентрической окружности (зоны действия датчика):

$$A_{ij} = \{(x_{ij}, y_{ij})\} = \{(j * \text{radius} * \sqrt{3}, y_{ij} = i * 1.5 * \text{radius})\}$$

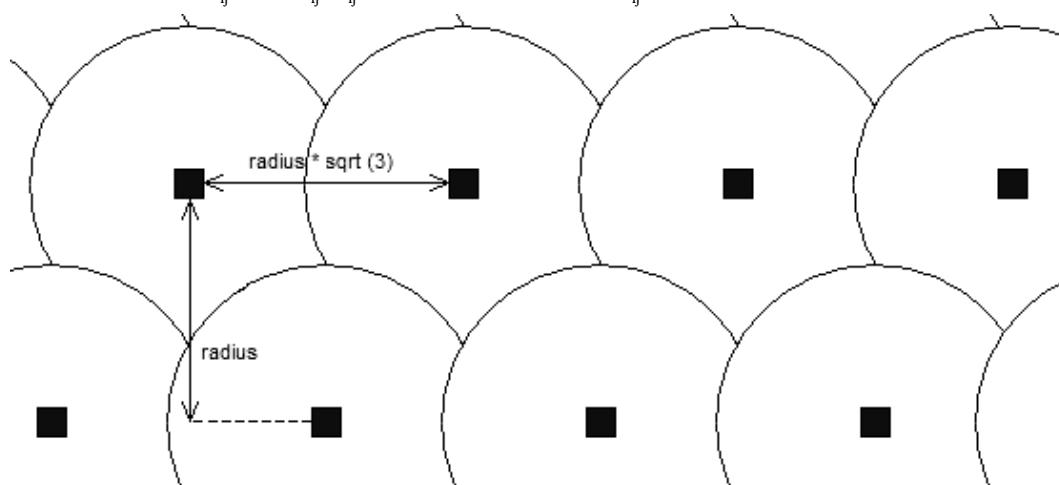


Рис. 1. Фрагмент бесконечной гексагональной сетки

Ориентация сетки в пространстве осуществляется по выбору наибольшей стороны прямоугольной комнаты. В приведенном на рисунке фрагменте сетка ориентирована для комнаты, у которой горизонтальная сторона больше, чем вертикальная. В противном случае сетка была бы повернута на 90 градусов.

Далее вычисляется наилучшее расположение датчиков в заданном помещении. Это является программным этапом. В нем предусмотрена возможность коррекции вычисленной базовой сетки. В случае возникновения ситуации, когда область действия некоторых датчиков существенно выходит за пределы рассматриваемого помещения, производится равномерная коррекция сетки с целью получения большего процента пересечений зон датчиков внутри помещения, что способствует обеспечению большей надежности.

Также возможно выполнение оптимизации соотношения количества датчиков в базовой сетке по вертикальной и горизонтальной осям, при этом добавление одного или нескольких вертикальных рядов в базовой сетке иногда позволяет отказаться от использования одного горизонтального ряда (или наоборот, увеличение количества горизонтальных рядов уменьшает количество вертикальных).

Проиллюстрируем это на примере. Возьмем 2 одинаковые комнаты размером 30 метров в длину и 50 метров в ширину. В одной будем использовать оптимизацию по числу рядов, а в другой — нет (рис. 2).



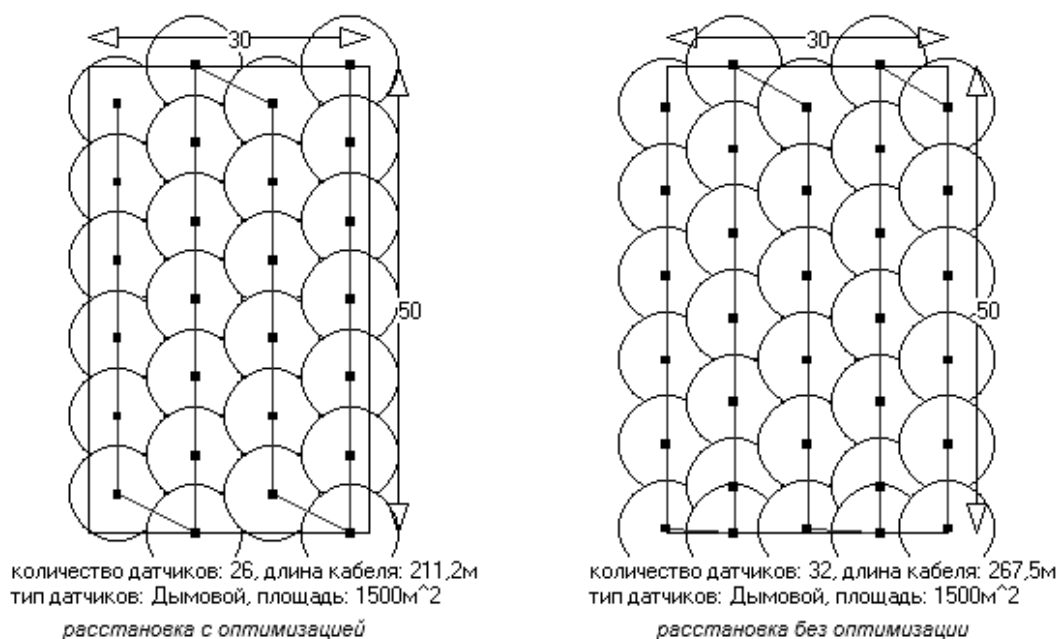


Рис. 2. Результат работы программы с оптимизацией по числу рядов и без нее

Как видно из приведенных схем, оптимизация в некоторых случаях позволяет существенно уменьшить число датчиков (в приведенном примере экономия составляет 18.7%). Отметим, что в данном случае изменение порядка постановки датчиков дает возможность экономии ряда даже без добавления дополнительных датчиков. В ином случае оптимизация бы продолжилась за счет добавления рядов, что несколько снизило бы процент экономии.

«Наилучшее расположение датчиков» означает не только оптимальность расположения для данного прямоугольного объекта. Это понятие несколько шире: расстановка должна минимизировать общее количество датчиков (во всех частях объекта). И поэтому следующим, вторым этапом решения поставленной задачи была разработка алгоритма стыковки различных частей помещения с минимизацией потерь пространства, защищенного датчиками.

Оформим изложенное выше более строго. Описанная задача может быть представлена как поиск:

$$\inf_{\Psi_i \cup \Psi_i = X} \sum_{i=1}^l \mu(\Psi_i), \text{ где}$$

X — множество, полученное объединением и пересечением некоторого количества различных видов областей Ψ_i .

Кардинальное отличие данной задачи от предыдущей заключается в том, что обеспечение минимума в каждой отдельной области Ψ_i не гарантирует достижения общего инфинума. Более того, возможны случаи, когда минимизация второго функционала достигается тогда, когда в большинстве областей он не достигается.

Решение эффективнее всего проводить программно при использовании метода варьирования различных параметров задачи. Его суть заключается в том, что при изменении размеров какой-либо части исследуемого объекта (виртуальном, конечно, реально помещение не изменяется) можно получить различные для всего помещения в целом базовые сетки датчиков.

Опишем, как это достигается на практике. Пусть $G(\dots, H, \dots)$ — это некоторая функция, которая создает матрицу сетки датчиков с учетом всех описанных выше видов оптимизации. В качестве результата функция возвращает число датчиков в сетке. «H» задает верхнюю (или нижнюю — это зависит от конкретного случая) границу сетки. Для получения наибольшей зоны покрытия происходит



последовательное расширение границы «Н» до тех пор, пока количество датчиков будет оставаться постоянным. Как только количество станет возрастать, процесс прекращается. Таким образом находится расположение, при котором достигается покрытие максимальной площади при фиксированном количестве датчиков. Приведем небольшую часть кода программы, в которой модельно описан этот процесс:

```
//Н – верхняя граница прямоугольного объекта
test1 = G(..., Н, ...); // в test1 содержится искомое количество датчиков
test2 = G(..., Н, ...); // в test2 содержится количество датчиков на текущей итерации
while (test1 == test2){
    Н = Н - 0.05; // поднятие верхней границы помещения
    test2 = G(..., Н, ...);
}
Н = Н + 0.05; // возврат к последней удачной итерации
test2 = G(..., Н, ...); // получение окончательной матрицы
```

Таким образом, если в П-образном коридоре зона действия датчиков в результате использования описанного выше метода превысит высоту соединительной верхней части и перекроет верхние датчики торцевых частей, то в них будет сэкономлено по одному горизонтальному ряду. Однако при этом возможно уменьшение зоны, где контроль датчиками дублируется.

Подчеркнем, что **оптимизация проходит в совокупности по двум критериям: минимизация общего количества датчиков (основной критерий) и уменьшение зон неэффективной работы датчиков (вторичный критерий).**

Таким образом, окончательно задача, описанная в данной статье, может быть сформулирована следующим образом как поиск:

$$\sup(Cr(\bigcap S_j) | \inf_{\Psi_i \cup \Psi_i = X} \sum_{i=1}^l \mu(\Psi_i)) \text{ , где}$$

$Cr(\bigcap S_j)$ – площадь, на которой контроль дублируется.

Приведенная формула означает поиск расположения, при котором достигается максимальное дублирование контроля датчиками территории одновременно с получением минимально возможного их количества при полном охвате защищаемого объекта.

Методы, использованные в данном проекте, позволяют в довольно сжатые сроки создавать решения для практических задач по определению оптимальных покрытий заданных поверхностей объектами произвольной формы. Подобный тип задач предполагает значительную область применения. Например, уже решенную задачу по расположению пожарных датчиков можно с некоторыми изменениями использовать для расстановки вышек сотовой связи с достижением оптимального покрытия заданных областей.

Следует учесть, что для задач с объектами новых типов потребуется заново строить математическую модель и описывать сетки элементов покрытия. В общем случае подобная задача является далеко не тривиальной. И поэтому логичным продолжением работы в данном направлении представляется постановка задачи, упомянутой выше, — выработка общего метода задания критериев и правил расстановки датчиков. Это позволит заложить основу процесса построения математической модели программно и, таким образом, обобщить изложенный в статье метод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамаев Е., Шкарина Л. Microsoft SQL Server 2000 для профессионалов. СПб.: Питер, 2001.
2. Пестриков В. М., Маслобоев А. Н. Delphi на примерах. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
3. Ильин В. А., Садовничий В. А., Сендов Бл. Х. Математический анализ. М. 2007.
4. Ильин В. А., Ким Г. Д. Линейная алгебра и аналитическая геометрия. М. 2002.

