

Разработка и исследование моделей, методов и алгоритмов для синтеза и анализа решений задач геометрического покрытия

С.Л. Забелин, В.Д. Фроловский

Задача геометрического покрытия относится к классу *NP*-трудных задач комбинаторной оптимизации и исследуется в рамках проблемы «раскрой и упаковки». Требуется расположить различные геометрические объекты на покрываемой поверхности таким образом, чтобы вся поверхность была покрыта с наименьшей площадью перекрытий объектов, а также использовать наименьшее количество объектов. В статье рассматриваются реализации алгоритмов первого подходящего, вероятностного, экстремального, муравьиного и генетического алгоритмов. Данные метаэвристические алгоритмы можно адаптировать для решения задач в различных системах: освещения, агротехнических, охранных, беспроводной связи, воздушного наблюдения. Алгоритмы помогут повысить эффективность систем и уменьшить затраты на их проектирование и реализацию.

Ключевые слова: задачи оптимизации геометрического покрытия, *NP*-трудные задачи, вероятностный алгоритм, экстремальный алгоритм, генетический алгоритм, муравьиный алгоритм, метаэвристические алгоритмы.

1. Введение

Одним из путей ускорения научно-технического прогресса является автоматизация конструкторских и технологических решений в САПР и АСТПП на базе широкого внедрения современных информационных технологий. При решении многих задач проектирования необходимо учитывать их геометрические особенности, что позволило выделить их в отдельный класс задач геометрического проектирования [1]. В качестве примеров можно назвать задачи рационального раскроя материалов, задачи автоматизированного проектирования генеральных планов промышленных предприятий, задачи проектирования цифровой аппаратуры, проектирования систем воздушного и космического наблюдения, систем безопасности, систем освещения, агротехнических систем и других. Задача геометрического покрытия относится к проблематике «раскрой и упаковки» (*Cutting and Packing, C&P*). В течение последних шестидесяти лет эта проблема привлекает внимание научных исследователей и производственников. Научное начало рациональному использованию материалов заложено работой Л.В. Канторовича, И.В. Залгаллера [2], которая была впервые опубликована в 1951 г. К фундаментальным работам этого направления относятся работы: И.В. Романовского [3], Э.А. Мухачевой [4], Ю.Г. Стояна [1]. В отличие от других задач этого класса, задачи покрытия мало изучены на сегодняшний день [5, 6, 7, 8]. Актуальность задачи геометрического покрытия обусловлена также её принадлежностью к классу *NP*-трудных задач, причём с дискретно-непрерывной структурой. Все точные методы, известные для решения подобных задач, имеют экспоненциальную вычислительную сложность. Поэтому возникает проблема

разработки приближённых и эвристических методов, позволяющих находить субоптимальные решения. Эффективным является использование метаэвристических методов [7 – 12]. В настоящее время развитие методов решения этого класса задач, включая задачи рационального использования материалов и, в общем случае, материальных, финансовых и других ресурсов, направлено, с одной стороны, на создание формального математического аппарата и выявление особенностей задач на основе единого подхода к их описанию, с другой стороны, – на разработку практических моделей и оптимизационных методов для решения соответствующих задач в конкретных технологических условиях.

Целью работы является разработка оптимизационных методов, алгоритмов, программ решения задач геометрического покрытия произвольной поверхности объектами любой формы и их применение к решению прикладных задач геометрического проектирования. Для решения поставленных задач предложены соответствующие методы, проведена адаптация и развитие метаэвристических алгоритмов для оптимального геометрического покрытия. Исследованы покрытия типовых поверхностей группами объектов, подобранных для решения близких по содержанию задач.

2. Постановка задачи

С содержательной точки зрения прикладные задачи геометрического покрытия очень наглядны и понятны. Например, для кровельных покрытий необходимо подобрать типоразмеры и количество кровельных материалов для полного покрытия поверхностей заданных размеров и форм с наиболее рациональным использованием материалов; для систем наблюдения и охранной сигнализации необходимо с учётом диаграмм направленности датчиков, дальности их действия, стоимости выбрать соответствующий комплект датчиков и схему их размещения, чтобы обеспечить контроль заданного помещения; для агротехнических систем полива необходимо решить задачи выбора и размещения оборудования для полива, от которого зависит организация трубопроводов.

Математическая постановка задачи требует введения формализованных понятий и определений. Всякий геометрический объект обладает вполне определённой пространственной формой, имеет заданные метрические характеристики и занимает некоторое положение в соответствующем пространстве R^n . Указанные характеристики задают так называемую геометрическую информацию об объекте. В понятие геометрической информации в данном случае включается: 1) совокупность пространственных форм $\{s\}$; 2) метрические характеристики $\{m\}$, определяющие размеры точечных множеств, имеющих формы из $\{s\}$; 3) параметры $\{p\}$, задающие местоположение точечных множеств в соответствующих пространствах. Представим геометрическую информацию в виде: $g = (\{s\}, \{m\}, \{p\})$ [7]. Например, метрической характеристикой точечного множества в пространстве R^2 , имеющего форму квадрата, является длина h стороны этого квадрата, а его положение определяется тремя параметрами: координатами x_1, y_1 полюса O_1 и углом θ_1 между осью абсцисс собственной системы координат $x'O_1y'$ и осью абсцисс системы координат xOy . В этом случае информация, индуцирующая данное точечное множество, примет вид: $g = (\{\text{квадрат}\}, \{h\}, \{x_1, y_1, \theta_1\})$.

Пусть в двумерном пространстве имеется покрываемая поверхность $S_0 = S_0(x_0, y_0, \theta_0)$ и покрывающие геометрические объекты $S_1 = S_1(x_1, y_1, \theta_1), \dots, S_m = S_m(x_m, y_m, \theta_m)$, где m – общее количество заданных объектов различной формы (прямоугольники, треугольники, окружности с заданными метрическими характеристиками и их теоретико-множественные комбинации). Требуется расположить геометрические объекты на покрываемой поверхности таким образом, чтобы вся поверхность была покрыта целиком, т.е. должно выполняться сле-

дующее условие: $S_0 \cap \left(\bigcup_{i=1}^n S_i \right) = S_0$, где n – общее количество использованных объектов

(в общем случае $n \neq m$, т.к. некоторые объекты могут быть использованы несколько раз, или не использованы совсем). Задан один из следующих критериев оптимизации:

– $K_1 = n \rightarrow \min$, где n – количество использованных геометрических объектов;

– $K_2 = \sum_{i=1}^n P_i \rightarrow \min$, где P_i – стоимость использования i -го объекта;

– $K_3 = \bigcap_{i=1}^n S_i + \left(\sum_{i=1}^n S_i - \bigcap_{i=1}^n S_i - S_0 \right) \rightarrow \min$, где $\bigcap_{i=1}^n S_i$ – площадь пересечений использованных

геометрических объектов, $\left(\sum_{i=1}^n S_i - \bigcap_{i=1}^n S_i - S_0 \right)$ – площадь частей геометрических объектов,

вышедших за края покрываемой поверхности. Кроме того, можно использовать комплексный критерий (аддитивный или мультипликативный). В рассматриваемом подходе принято, что все объекты имеют растровую структуру.

3. Модели, методы и алгоритмы

3.1. Метод наложения двумерных матриц

Исходная поверхность S_0 имеет ширину a и высоту b , вычисляемую по самой дальней точке. В алгоритме покрытия двумерными матрицами каждая покрываемая область представляется в виде матрицы, размерность которой увеличена справа и слева на размер самого большого покрывающего объекта. Данная матрица имеет размерность x на y , где x – количество столбцов, а y – количество строк. Эту область необходимо покрыть объектами из множества S , в котором описан каждый объект S_i , имеющий размеры c_i и d_i .

В двумерной матрице каждая ячейка представляет собой пиксель на плоскости $(O_x; O_y)$, который может принимать следующие значения: «0» – значение точки, которая не лежит в области S_0 ; «1» – значение точки (SkIp), которая лежит в области S_0 ; «2» – значение точки (Success), которая однократно покрыта объектом S_i и находится на поверхности S_0 ; « $a, b, c, \dots$ » – значение точки (Miss), которая покрыта определенное количество раз объектами S_i , но находится вне поверхности S_0 ; «3, 4, 5, $\dots$ » – значение точки (Overflow), которая покрыта определенное количество раз объектами S_i и находится на поверхности S_0 . Введены следующие обозначения: I – количество пропусков «SkIp» (точки со значением «1»); L – количество успехов «Success» (точки со значением «2»); M – количество промахов «Miss» (точки со значением « $a, b, c, \dots$ »); O – количество переполнений «Overflow» (точки со значением « $A, B, C, \dots$ »); Sum – количество точек всех используемых покрывающих объектов S_i .

Для определения эффективности покрытия введены дополнительно четыре растровых коэффициента:

$$K_L = \frac{L}{Sum}, K_M = \frac{M}{Sum}, K_O = \frac{O}{Sum}, K_I = \frac{I}{Sum}.$$

Коэффициент K_L – «Success» отражает эффективность покрытия поверхности S_0 ($0 < K_L \leq 1, K_L \rightarrow 1$). Коэффициент K_M – «Miss» показывает часть точек, которые выходят

за границы покрываемой поверхности ($K_M \rightarrow 0$). Коэффициент K_O – «Overflow» показывает часть точек, которые перекрываются разными объектами S_i внутри покрываемой поверхности ($K_O \rightarrow 0$). Коэффициент K_I – «SkIp» показывает часть точек покрываемой поверхности, которые были не покрыты объектами S_i ($K_I \rightarrow 0$).

3.2. Алгоритм первый подходящий

Первый подходящий алгоритм (first fit) предполагает простую укладку первого попавшего геометрического объекта на первую найденную пустую область на покрываемой поверхности. Покрытие происходит слева направо, сверху вниз. Он не гарантирует получения хорошего результата, но даёт возможность построения хорошего начального приближения.

В данном алгоритме используется случайный выбор объекта S_i из списка со случайным поворотом, поэтому каждый вариант покрытия отличается от всех остальных. Номер случайности генерируется в зависимости от частоты процессора и времени создания случайности. Зная номер случайности, соответствующий ему вариант покрытия всегда можно воспроизвести. Управляемых параметров для данного алгоритма нет.

3.3. Вероятностный алгоритм

В вероятностном алгоритме (probabilistic algorithm) каждому S_i объекту присваивается вероятность использования в зависимости от площади объекта. Затем объекты упорядочиваются по уменьшению вероятности использования. Далее покрытие происходит определённое количество раз по принципу алгоритма первый подходящий. В алгоритме используется доверительный коэффициент, начальное значение которого равно единице. Единственный управляемый коэффициент – это детализация доверительности. Он показывает количество шагов одинаковой величины, за которые доверительный коэффициент уменьшится до нуля, что определяет количество доверительных циклов.

3.4. Экстремальный алгоритм

Экстремальный алгоритм (extreme algorithm) работает только с одним решением, которое шаг за шагом улучшается. Основная стратегия метода в том, чтобы найти те компоненты решения, которые влияют на него наихудшим образом, и постепенно улучшать их, используя простое покрытие.

Применительно к задаче покрытия данный алгоритм будет работать следующим образом. Есть покрываемая поверхность S_0 . Для покрытия этой области применён алгоритм первый подходящий. Поверхность покрытия разбивается на две части и вычисляются их коэффициент эффективности покрытия. Принято, что объекты, попавшие на линию раздела, принадлежат части с меньшим коэффициентом. Все объекты, принадлежащие области поверхности с худшим коэффициентом, удаляются, и осуществляется покрытие всей поверхности с учётом оставшихся объектов. После полного повторного покрытия происходит расчёт коэффициента «Success». Если коэффициент новой области меньше либо равен коэффициенту предыдущей области, то происходит возврат к старому варианту покрытия, иначе сохраняется новый результат. И так до тех пор, пока идёт улучшение при заданной глубине рекурсии (количество попыток). Данный алгоритм даёт приемлемые результаты при небольшой глубине рекурсии и достаточно большом количестве выполнений.

3.5. Алгоритм муравьиных колоний

Муравьиный алгоритм (ant algorithm) основан на тех же принципах, по которым муравьи находят кратчайший путь между двумя точками. Муравей располагает набором из всех геометрических объектов $S_1, \dots, S_m$ и покрываемой поверхностью S_0 .

Рассмотрим реализацию муравьиного алгоритма для задачи геометрического покрытия. В предложенном исполнении алгоритма используются понятия «гордой» и «жадной» укладки. Сначала покрывающие объекты с одинаковой площадью объединяются в группы. Далее происходит сортировка получившихся групп по убыванию площади. При выполнении цикла каждой группе присваивается статус. Группа со статусом «жадной» укладки производит размещение объектов на покрываемой поверхности оптимальным способом. Оптимальный способ укладки – это размещение объектов путём полного прохождения каждым объектом каждой точки карты и выбора лучшего положения данного объекта на карте. Лучшее размещение объекта выбирается из двух условий: «жадность» и «эксклюзив». «Жадность» определяется количеством «1» под объектом с данным поворотом и на данной точке карты, а «эксклюзив» определяется суммой «1» для четырёх поворотов на данной точке карты. Лучшим положением является точка на карте с максимальной «жадностью». Если точек карты с максимальной «жадностью» несколько, то лучшим положением выбирается точка с минимальным «эксклюзивом». Если точек с максимальной «жадностью» и минимальным «эксклюзивом» несколько, то точка для расположения объекта выбирается случайным образом из полученных лучших вариантов. Данным условием достигается случайность алгоритма.

Группа со статусом «гордой» укладки производит размещение объектов на покрываемой поверхности оптимальным способом с дополнительным условием. Ограничением для данного размещения является условие, при котором отношение «жадности» в данной точке карты с данным поворотом к площади покрывающего объекта равно единице. Объект в данном виде укладки может быть расположен на карте только при соблюдении этого условия. Также как и в «жадной» укладке при получении нескольких точек с идеальной «жадностью», объект располагается в точке с минимальным «эксклюзивом». Если точек с идеальной «жадностью» и минимальным «эксклюзивом» несколько, то точка для расположения объекта выбирается случайным образом из полученных лучших вариантов.

Покрывание поверхности осуществляется группами объектов. Изначально все группы отмечаются статусом «гордой» укладки, а последняя группа с меньшей площадью получает статус «жадной» укладки. Размещение объектов осуществляется, начиная с последней группы с меньшей площадью. В алгоритме используется внешний цикл установки «жадной» укладки на группу, следующую в обратном направлении от конца списка групп. В цикле происходит расположения объектов групп со статусом «гордой» укладки и объектов последней группы со статусом «жадной» укладки. Затем осуществляется расчёт коэффициента эффективности покрытия и запоминание результата. Далее в каждом цикле установки статуса «жадной» укладки происходит сброс всех объектов, расположенных методом «жадной» укладки, и объектов из последней уложенной группы со статусом «гордой» укладки. После удаления этих объектов осуществляется установка статуса «жадной» укладки следующей группе и расположение объектов методом «жадной» укладки соответствующей группы с большей площадью, переходя к группе с меньшей площадью. Далее снова рассчитывается коэффициент эффективности и сравнивается с предыдущим результатом. Лучший вариант запоминается. После завершения цикла установки статуса «жадной» укладки в памяти остаётся лучший результат покрытия.

В генетическом и муравьином алгоритме используется укладка по двум видам карт: полная и неполная. Неполная карта состоит только из точек со значением «1», а полная карта содержит в себе точки с любым значением. Неполная карта существенно сокращает выполнение алгоритма, так как размер карты сокращается с каждым уложенным объектом, однако

даёт результат ниже, чем с использованием полной карты. Это происходит из-за того, что сокращается возможность выбора оптимального положения объекта из-за ограниченного количества вариантов размещения. Время выполнения алгоритма с полной картой значительно увеличивается, так как при каждом цикле используются все точки матрицы с любым значением, включая точки со значением «0», которые не принадлежат покрываемой поверхности. Однако данное увеличение сложности алгоритма даёт более высокий результат и в случаях высокой сложности покрываемой поверхности и разнообразных покрывающих объектов коэффициент эффективности может значительно увеличиваться.

3.6. Генетический алгоритм

Генетический алгоритм (genetic algorithm) – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомым параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию. Он состоит из нескольких этапов: формирование начальной популяции, селекция, выполнение операций скрещивания, мутация и формирование новой популяции. Эффективность алгоритма очень сильно зависит от параметров (размер начальной популяции, тип селекции, уровень мутации, уровень элитизма и другие), подбираемых опытным путём. Рассмотрим адаптацию генетического алгоритма к задаче оптимального геометрического покрытия.

В основе генетического алгоритма лежит идея развития учеников в классе. Каждый ученик символизирует одно покрытие поверхности. Создается класс определённого количества. Все ученики обладают начальными знаниями. Создание учеников выполняется с помощью алгоритма первый подходящий с уникальной случайностью. При первичной оценке знаний выявляется лучший всех успевающий ученик, с самым высоким коэффициентом «Success». Далее происходит обучение и развитие учеников в классе. Определяется материал, который ученики плохо знают, то есть объекты, которые имеют низкий локальный коэффициент, удаляются. Критерий оценки знаний, то есть величина низкого локального коэффициента является случайной, лежащей в пределах от самого низкого до самого высокого коэффициента. Удаление объектов с достаточно высоким локальным коэффициентом к возможному ухудшению покрытия, но и к появлению новых веток развития, что может привести к высокому результату.

Затем происходит составление программы обучения учеников, то есть повторная укладка объектов на пустые области жадным методом муравьиного алгоритма или вероятностным алгоритмом, что определяется случайно. После изучения опять осуществляется проверка знаний. У некоторых учеников результаты улучшаются, а у некоторых – ухудшаются. Если самый высокий результат в классе улучшается, то считается, что класс развивается в лучшую сторону, а если через определённое количество проверок знаний самый высокий результат не улучшается, то считается, что класс не развивается и обучения завершается.

Управляемыми коэффициентами в этом алгоритме является количество учеников и количество попыток, которые подбираются экспериментальным путём, исходя из улучшения результата при небольшом увеличении временных затрат.

4. Анализ эффективности алгоритмов. Численные эксперименты

Метаэвристические алгоритмы можно применять для решения различных задач геометрического покрытия. Для анализа эффективности алгоритмов рассмотрим пять видов покрываемых поверхностей размером 30 на 21 пиксель, показанных на рис. 1, и шесть видов покрывающих объектов, изображённых на рис. 2.



Рис. 1. Виды покрываемых поверхностей

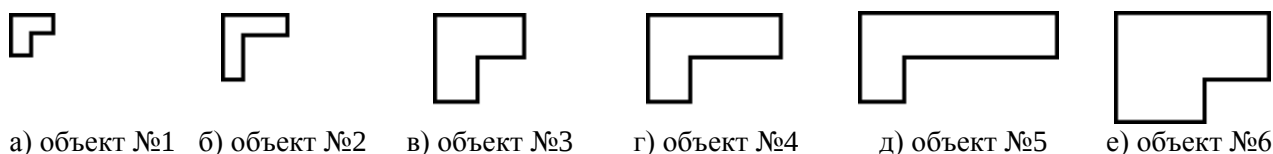


Рис. 2. Виды покрываемых поверхностей

В эксперименте применяются 24 группы покрывающих объектов. Используются квадратные, прямоугольные, г-образные, т-образные, круглые и составные объекты сложной формы. В табл. 1 приведены группы только с г-образными объектами.

Таблица 1. Коэффициенты покрытия «Success» пяти поверхностей пятью алгоритмами, используя разные г-образные объекты

Номера объектов	Алгоритм	Коэффициенты покрытия «Success», K_L				
		поверх- ность №1	поверх- ность №2	поверх- ность №3	поверх- ность №4	поверх- ность №5
3	Первый подходящий	0.7410256	0.7210884	0.452381	0.5833333	0.4969136
3	Вероятностный	0.85	0.7092199	0.4758772	0.6021506	0.5583333
3	Экстремальный	0.7307692	0.6895425	0.4770833	0.5833333	0.5408497
3	Муравьиный	0.671875	0.7210145	0.4776423	0.5364583	0.5083333
3	Генетический	0.9375	0.8809524	0.7291667	0.8024691	0.6723485
1,2	Первый подходящий	0.653944	0.655574	0.6319613	0.6311476	0.6081331
1,2	Вероятностный	0.7954866	0.7324723	0.7507003	0.6517857	0.6513944
1,2	Экстремальный	0.6654136	0.6740237	0.6691176	0.6657459	0.6424474
1,2	Муравьиный	0.7985815	0.8011696	0.6958904	0.7973856	0.6871036
1,2	Генетический	0.900149	0.8888889	0.8848485	0.9055944	0.8512586
2,3,4	Первый подходящий	0.5672646	0.5684831	0.4444444	0.4958506	0.4513788
2,3,4	Вероятностный	0.8982558	0.7944444	0.4645161	0.6235955	0.5177994
2,3,4	Экстремальный	0.5902004	0.5714286	0.484787	0.5815085	0.5037594
2,3,4	Муравьиный	0.674359	0.7127659	0.5774648	0.6542857	0.6283525
2,3,4	Генетический	0.9303704	0.9038076	0.7182045	0.825	0.6915709
1,2,3,4,5,6	Первый подходящий	0.532831	0.5400291	0.4137931	0.4710744	0.4098361
1,2,3,4,5,6	Вероятностный	0.9258699	0.627907	0.367387	0.4285714	0.4525862
1,2,3,4,5,6	Экстремальный	0.5666294	0.566474	0.4744681	0.543943	0.4460028
1,2,3,4,5,6	Муравьиный	0.7905028	0.8007663	0.5866984	0.5505319	0.671875
1,2,3,4,5,6	Генетический	0.8792342	0.8427184	0.7225	0.7603551	0.6612319

Результаты, отражённые в табл. 1 показывают, что стабильно высокие результаты показывает генетический алгоритм, так как он в себе содержит преимущества вероятностного и муравьиного алгоритма. В свою очередь, вероятностный алгоритм демонстрирует высокие результаты на более простых поверхностях (поверхности 1 и 2) с близкими по площади по-

крывающими объектами. Однако видно плохую работу муравьиного алгоритма с объектами одного типа. Это обуславливается принципом работы данного алгоритма. Он осуществляет объединение покрывающих объектов в группы с одинаковой площадью, поэтому при небольшом количестве объектов эффективность может значительно уменьшаться. На рис. 3 приведена диаграмма покрытия пяти поверхностей 6 видами г-образных объектов, а на рис. 4 изображён пример покрытия генетическим алгоритмом.

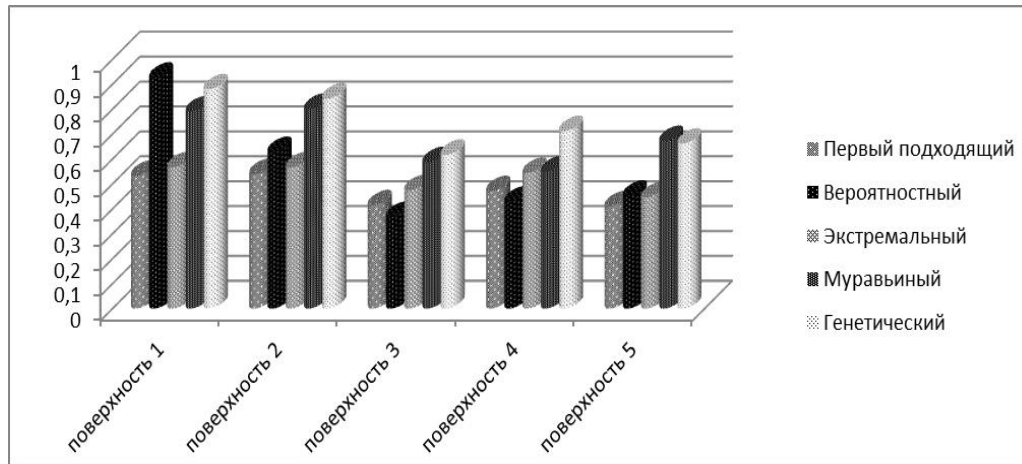


Рис. 3. Диаграмма покрытия пяти поверхностей 6 видами г-образных объектов

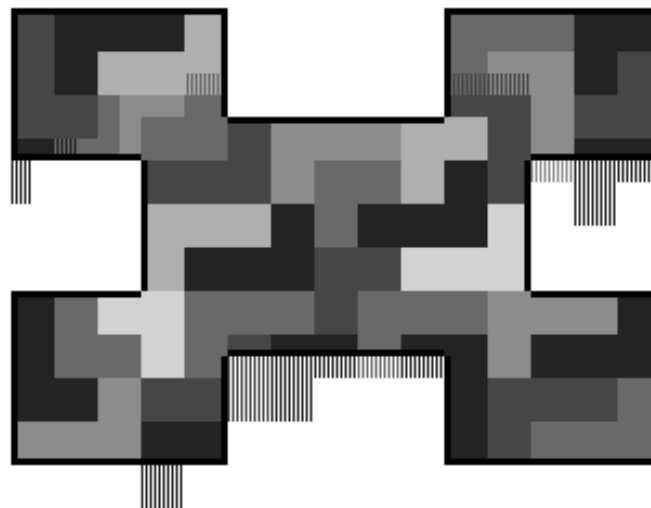


Рис. 4. Покрытие поверхности № 2 г-образными объектами № 2, 3, 4 генетическим алгоритмом

Коэффициент покрытия «Success» вероятностным алгоритмом поверхности № 2 г-образными объектами №2, 3, 4 равен 0,79. При тех же исходных условиях результаты первого подходящего, экстремального и муравьиного алгоритмов хуже на 0.22, 0.22 и 0.08 соответственно. Вероятностный метод получает высокие результаты за счет эффективного использования доверительного коэффициента при благоприятных начальных условиях: покрываемая поверхность с ровными прямоугольными краями, покрывающие объекты с разной плавно изменяющейся площадью. На рис. 4 видно, что выполнено минимальное количество пересечений «Overflow» и промахов «Miss». Покрывающие объекты подбираются в соответствии с размером данного места и располагаются наиболее оптимально для данного вида покрываемой поверхности. Генетический алгоритм вбирает в себя преимущества и муравьиного, и вероятностного алгоритмов, поэтому показывает более высокие результаты.

5. Проектирование системы охранной сигнализации

Системы охранной сигнализации сегодня широко распространены и применяются повсеместно. Построение такой системы начинается со стадии проектирования. От этого этапа зависит работоспособность и надёжность системы в целом. Как правило, проектировщик руководствуется техническим описанием используемого оборудования и своим опытом. Разработанная программа позволяет моделировать покрытие защищаемой области помещения разными видами датчиков контроля объёма.

Проведена значительная модификация муравьиного алгоритма, описанного в данной статье. Для моделирования расположения датчиков в системах охранной сигнализации введены дополнительные две значащие области, которые обозначаются цветами:

- 1) Коричневый (точки со значением «1») – область, которую необходимо защищать и где возможно крепить охранные датчики;
- 2) Чёрный (точки со значением «3») – область, которую необходимо защищать, но на ней нельзя крепить охранные датчики;
- 3) Красный (точки со значением «2») – область, которую не нужно защищать, но на ней можно крепить охранные датчики;
- 4) Белый (точки со значением «0») – область, которую не нужно защищать и нельзя крепить охранные датчики.

В алгоритм дополнительно введены формулы, основанные на значениях яркости (Brightness Value) и насыщенности (Saturation). Программа совместима как со старыми, так и с новыми поверхностями и покрываемыми объектами. Обозначение точки крепления на диаграмме направленности охранного датчика производится окрашиванием в коричневый цвет. Эти изменения в алгоритме проведены, чтобы адаптировать его для решения конкретной задачи, так как при решении абстрактных задач не учитываются источники диаграммы направленности покрываемого объекта, а также их особенности расположения на конкретной области.

В статье приводится пример и исследуются области охраняемых помещений (покрываемые поверхности), которые приведены на рис. 3. План помещения на этом рисунке предоставлен компанией ООО «Системы противопожарной безопасности».

Датчики контроля объёма для охранных систем имеют разные характеристики, их производят разные производители, цены которых тоже отличаются. Для анализа рассматривается оборудование Научно-внедренческого предприятия «Болид» и других производителей, чтобы получить диаграммы направленности различной формы. Выбрано 6 видов таких датчиков, основными параметрами которых является дальность действия лучей и угол (см. табл. 2).

Таблица 2. Характеристики датчиков объёма

№ п/п	Датчик	Дальность, м	Угол, град.
1	C2000-ИК исп. 02	12	90
2	C2000-ИК исп. 03	13	90
3	C2000-ИК исп. 04	10	90
4	C2000-ПИК	4.5	360
5	Астра-7	6	360
6	Рapid	15	90

Исследовано 8 групп объектов, состоящих из 2, 3, 4 и 6 разных датчиков (покрывающих объектов). Эти группы сформированы из шести видов датчиков в разных комбинациях. Различное группирование объектов позволяет получить разные покрытия и найти наиболее подходящий вариант для практического применения. Диаграммы направленности датчиков изображены согласно паспорту оборудования, учитывая особенности распространения лучей.

Визуализация результатов покрытия представлена на рисунке 5 и 6. Все поверхности и объекты нарисованы в масштабе 0.5 метра на 1 пиксель рисунка.

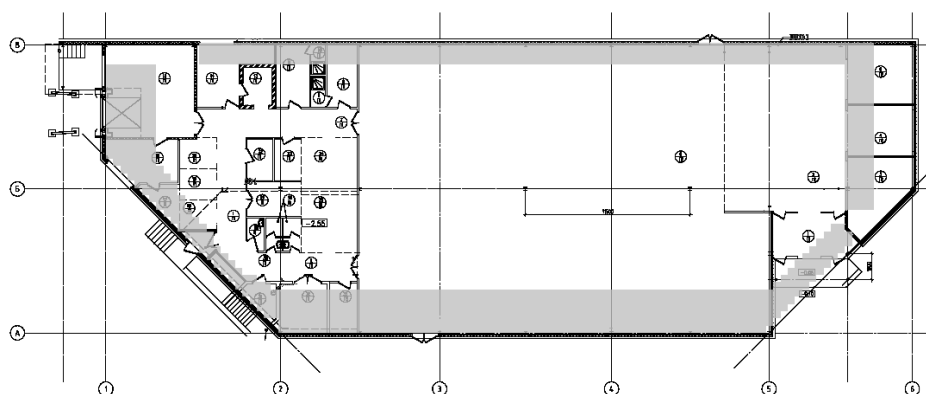


Рис. 5. План помещения

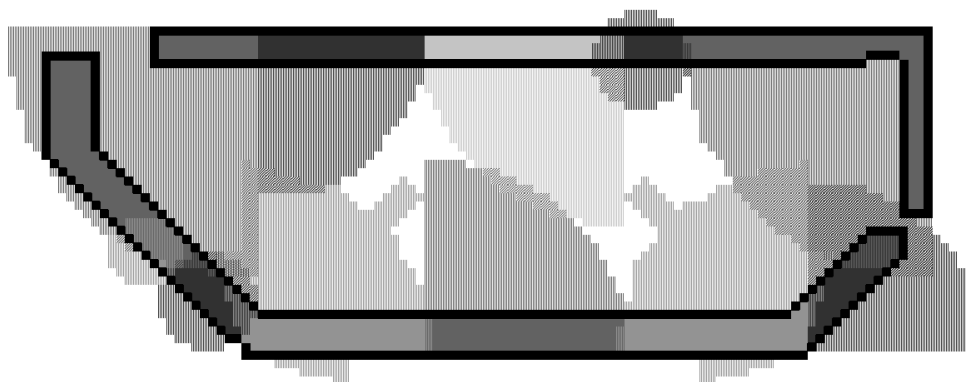


Рис. 6. Результат покрытия муравьиным алгоритмом помещения группой №8

Необходимо понимать, что результаты работы программы нельзя использовать без корректировки, потому что приведены общие планировки, где есть перегородки между помещениями, которые могут препятствовать распространению лучей датчика. Также нужно проводить корректировки по месту размещения датчика, так как выбранное программой место размещения может в действительности попадать на какие-либо архитектурные особенности помещения. Этого можно избежать при тщательном изучении помещения и точном отображении зон, в которых нельзя располагать датчики.

В табл. 3 приведены значения коэффициента успешного покрытия K_L и общее количество использованных датчиков n , от которого зависит стоимость системы. В данном примере лучшие результаты показывает алгоритм муравьиных колоний.

Таблица 3. Результаты работы муравьиного алгоритма по размещению датчиков объёма

Группа	Показатели эффективности покрытия	
	K_L	n
1 - датчики №1, 3	0.198463	12
2 - датчики №1, 2	0.1762439	12
3 - датчики №2, 6	0.1517033	10
4 - датчики №4, 5	0.2478448	29
5 - датчики №1, 2, 3	0.2232626	12
6 - датчики №1, 2, 6	0.1655675	10
7 - датчики №1, 2, 3, 6	0.1915609	10
8 - датчики №1, 2, 3, 4, 5, 6	0.2753488	11

Полученные результаты полного покрытия всех важных для охранной сигнализации зон показывают то, чего человеческий глаз даже опытного проектировщика может не заметить.

6. Заключение

Применение разработанных алгоритмов может существенно упростить решения задач проектирования систем охранной сигнализации, воздушного и космического наблюдения, агротехнических систем полива. Формируя различные группы объектов в зависимости от формы диаграммы направленности и стоимости оборудования, можно получать разные схемы покрытия. Из полученных результатов выбирается наиболее приемлемый исходя из индивидуальных особенностей системы и покрываемой поверхности. Для использования этих покрытий в проектировании нужна доработка, так как все особенности покрываемой поверхности и объектов учесть нельзя, однако это значительно упрощает ручную проработку и предохраняет от ошибки. Графическая визуализация результатов даёт наглядное представление о покрытии, а численное выражение параметров позволяет оценить и сравнить результаты.

Литература

1. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. Киев. Наукова думка. 1986. 268 с.
2. Канторович Л.В., Залгаллер В.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. СПб. Невский диалект. 2012. -304 с.
3. Романовский И.В. Алгоритмы решения экстремальных задач. М. Наука. 1977. -420 с.
4. Мухачева Э.А., Верхотуров М.А., Мартынов В.В. Модели и методы расчёта раскроя упаковки геометрических объектов. Уфа. УГАТУ. 1998. 216 с.
5. Мухачева Э.А., Валихметов Ю.И., Телицкий С.В., Хасанова Э.И. Проектирование размещения ортогональных объектов на полигонах с препятствиями. Информационные технологии. 2010. № 10. – С. 16-22.
6. Мухачева А. С. Простые эвристики для решения двумерной задачи максимального покрытия. // Принятие решений в условиях неопределённости. Межвузовский научный сборник. Вып.2. Ч.1. Уфа: УГАТУ. 2005. С.24-32.
7. Телицкий С.В., Филиппова А.С. Комплексный подход к решению задачи покрытия области заготовками неопределённых размеров. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2012. 2(145)/2012. – С. 61-67.
8. Филиппова А.С., Кузнецов В.Ю. Задачи о минимальном покрытии ортогональных многоугольников с запретными участками. Информационные технологии. 2008. №9 (145). 2008. С. 60-65.
9. Курейчик В.М., Гладков Л.А., Курейчик В.В. Генетические алгоритмы. М. ФИЗМАТЛИТ. 2006. -320 с.
10. Фроловский В.Д. Приближённые методы решения NP-трудных задач в системах автоматизации проектирования. Новосибирск. НГТУ. 2006. 100 с.
11. Фроловский В.Д. Оптимизация раскроя материалов на оборудовании с ЧПУ (модели, методы, алгоритмы). Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Germany. 2011. 124 с.
12. Dorigo, M. The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents / M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Coloni // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1996. №26. P. 29–41.

Статья поступила в редакцию 13.04.2013

Забелин Сергей Леонидович

аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86) тел. (383) 2-698-259, e-mail: zabelinsl@mail.ru.

Фроловский Владимир Дмитриевич

д.т.н., профессор кафедры автоматизированных систем управления Новосибирского государственного технического университета (630092, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, тел. (383) 346-11-00, e-mail: frolovsky@asu.cs.nstu.ru).

Development and models research, methods and algorithms for synthesis and problem solving analysis of the geometric coverage

S. Zabelin, V. Frolovsky

The problem of geometric coverage is referred to the class of NP-complex combinatorial optimization problems and is investigated in the framework of the problem of «cutting and packaging». It is required to arrange various geometric objects on the substrate so that the entire surface was covered with the smallest overlapping objects area and use the least number of objects. The article deals with the implementation of first-fit algorithms, probabilistic, extreme, ants and genetic algorithms. These metaheuristic algorithms can be adapted to solve problems in various systems: lighting, farming, security, wireless, air surveillance. The algorithms will help to increase system efficiency and reduce the cost of their design and implementation.

Keywords: optimization problem of geometric coverage, NP-completeness problems, probabilistic algorithm, extreme algorithm, genetic algorithm, ant algorithm, metaheuristic algorithms.