

Паттерн «цепочка действий» проиллюстрирован на рис. 7. Характеризуется как последовательное выполнение агентами действий, совершенных их лидирующими соседями. Например, если ведущий агент совершает поворот налево, то следующий за ним также совершает поворот налево. Наблюдается последовательное эхо реакций агентов, вслед за ведущим.

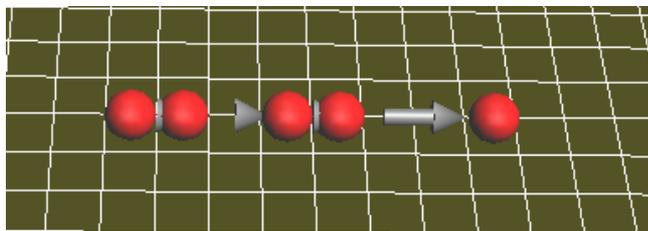


Рис. 6. Скоординированное передвижение

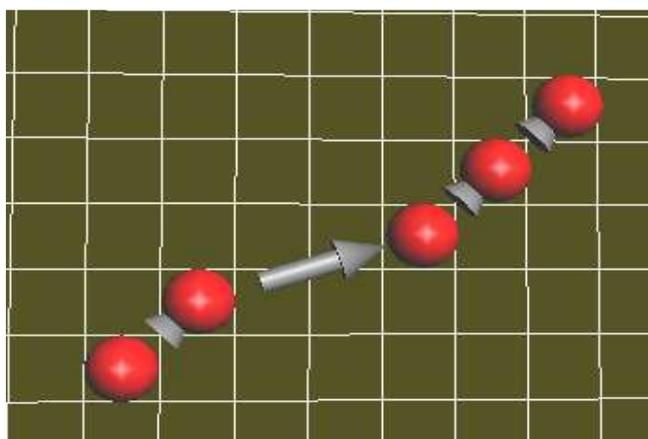


Рис. 7. Эхо реакций на действия главного агента

Большое количество параметров нейронных сетей и алгоритма обучения с подкреплением, с одной стороны, создает возможности для настройки модели под нужные результаты, а с другой стороны,

требуется много экспериментов для определения оптимальной конфигурации модели.

Заключение. Представленная модель описывает основу для коллективного поведения МАС на основе подкрепляющего обучения. Данный подход является универсальным и может быть использован для решения конкретных практических задач. Модификация данного подхода для коллективного поведения позволяет рассматривать группу агентов как единое существо и формировать подкрепление для всей группы на основании их действий. При использовании данного подхода мы наблюдали устойчивую тенденцию к самоорганизации группы агентов. В первую очередь, это связано с намерением достичь максимума функции подкрепления. При обучении использовались два метода QLearning и нейросетевой SARSA. Первый так и не смог достичь оптимального поведения. Второй показал отличные результаты и хорошие обобщающие способности для модели. Данная модель испытывалась в экспериментах и показала отличные результаты при моделировании движения группы агентов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Редько В.Г. Направление исследований адаптивное поведение. From animal to animat.
2. От моделей поведения к искусственному интеллекту. Серия «Науки об искусственном» (под ред. Редько В.Г.) - М.: УПСС, 2006.
3. Reinforcement Learning: An Introduction. Sutton R., Barto A. Cambridge: MIT Press, 1998. (<http://www.cs.ualberta.ca/~sutton/book/the-book.html>)
4. Кузьмин В. Использование нейронных сетей в алгоритме Q-Learning. – Рига: Институт транспорта и связи.
5. Кузьмин В. Исследование алгоритмов обучения с подкреплением в задачах управления автономным агентом. – Рига: Институт транспорта и связи.
6. A Platform for Implementation of Q-Learning Experiment. Reference. Franchesco de Comite.
7. Fundamentals of Multiagent Systems. Hose M. Vidal.

Материал поступил в редакцию 17.11.08

KABYSH A.S., GOLOVKO V.A. Agent collective behavior by using reinforcement learning

In this paper we meet some discussion about agent and multiagent systems and how can be reached collective behavior applying reinforcement learning paradigm to this systems. So question arises how it is possible to modify reinforcement learning for group of agents that try to do some collective work, in example collective movement. In this case we build some simple model including group of moving cooperating agents, cooperation means that the one agent use data from another agent when making a decision at every step. Modified reinforcement learning can be used for group of cooperating agents, and we can see some interesting pattern of collective behavior, like “leader”, “grouping” and “chain of actions”.

УДК 004.5;621.38

Шестаков Е.А., Воронов А.А.

ДЕКОМПОЗИЦИЯ МНОГОСВЯЗНОГО МНОГОУГОЛЬНИКА ВО МНОЖЕСТВО ОРТОГОНАЛЬНЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ

Введение. Задача декомпозиции многосвязного многоугольника во множество прямоугольников, объединение которых с заданной точностью совпадает с описанием исходного многоугольника [1-6], является весьма актуальной, так как имеет важные приложения при изготовлении фотошаблонов для производства микроселектронных устройств с помощью так называемых генераторов изображений. При этом число прямоугольников, входящих в искомое множество, должно быть минимальным или близким к минимальному. По полученному множеству прямоугольников формируется оптимальная входная последовательность, которая кодируется в соответствии с правилами

входного языка соответствующего генератора изображений.

Задачу декомпозиции многосвязного многоугольника в совокупность прямоугольников можно решать в два этапа. На первом этапе выполняется декомпозиция данного многоугольника в совокупность ортогональных многоугольников. Причем некоторые из этих многоугольников могут быть прямоугольниками. Под ортогональным многоугольником понимается многоугольник, все внутренние углы которого равны или 90° или 270° . На втором этапе для каждого ортогонального многоугольника, отличного от прямоугольника, выполняется декомпозиция во множество прямоугольников. Задача декомпо-

Шестаков Е.А., старший научный работник Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси.

Воронов А.А., аспирант Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси

Беларусь, ОИПИ НАН Беларуси, 220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6.

зиции ортогонального многоугольника во множество прямоугольников является гораздо более простой по сравнению с задачей декомпозиции произвольного многосвязного многоугольника во множество прямоугольников.

В настоящей работе предлагается описание эвристического метода декомпозиции произвольного многосвязного многоугольника в совокупность ортогональных многоугольников. Этот метод не гарантирует, что полученное подмножество ортогональных многоугольников является корректным, т.е. покрывает данный многосвязный многоугольник. Однако вероятность получения посредством этого метода некорректного покрытия очень мала. Выполнить проверку полученного покрытия на корректность можно посредством метода, описанного в работе [7]. Если покрытие не является корректным, то оно пополняется прямоугольниками так, чтобы новое покрытие стало корректным.

1. Основные определения, постановка задачи. Точки плоскости a и b , заданные соответственно координатами (x_a, y_a) и (x_b, y_b) в декартовой системе, где x и y – переменные, связанные соответственно с осью абсцисс OX и с осью ординат OY , совпадают, если $x_a = x_b$ и $y_a = y_b$. Если хотя бы одно из этих равенств не выполняется, то точки считаются различными. Отрезком ab называется пара различных точек a и b плоскости, соединенных прямой линией. Точки плоскости, находящиеся на этой прямой, принадлежат данному отрезку. Точки a и b отрезка ab называются *граничными*. Рассмотрим различные точки плоскости a, b, c, d, \dots, k, m . Соединим эти точки отрезками $ab, bc, cd, \dots, km, ma$. Получим замкнутую ломаную, которую обозначим через $L = abcd\dots km$. Точки a, b, c, d, \dots, k, m называются *вершинами* ломаной L , а отрезки $ab, bc, cd, \dots, km, ma$ – *сторонами* ломаной L . Две стороны ломаной L называются *соседними*, если одна из их граничных точек является общей. Общую граничную точку соседних сторон назовем *точкой соединения*.

Два отрезка пересекаются, если существует хотя бы одна точка плоскости, принадлежащая каждому из них. Если такая точка отсутствует, то отрезки не пересекаются.

Замкнутая ломаная L является *непересекающейся*, если любая точка, общая для двух ее сторон, является граничной, т.е. точкой соединения для этих и только для этих сторон. В дальнейшем непересекающуюся ломаную будем называть контуром.

Рассмотрим некоторый контур L . Этот контур делит плоскость на две части. Одна часть содержит точки плоскости, находящиеся внутри контура L и на его сторонах, другая – точки плоскости, находящиеся вне контура L . Под *многоугольником* M будем понимать часть плоскости, находящуюся внутри контура L и на ее сторонах.

Многосвязный многоугольник W представляется последовательностью контуров: L_1, L_2, \dots, L_g . В этой последовательности контур L_1 называется основным, а контуры L_2, \dots, L_g – контурами-разрезами. При этом контуры-разрезы находятся внутри основного контура, т.е. все точки, лежащие на их сторонах, являются внутренними точками основного контура. Многосвязный многоугольник задает точки плоскости, находящиеся на границах представляющих его контуров, а также точки плоскости, находящиеся внутри основного контура, но не внутри контуров-разрезов. Если в описании многосвязного многоугольника отсутствуют контуры-разрезы, то такой многоугольник называется односвязным или просто многоугольником.

Под ортогональным многоугольником будем понимать односвязный многоугольник, все внутренние углы которого равны 90° или 270° . Согласно этому определению, прямоугольник является ортогональным многоугольником.

Будем говорить, что ортогональный многоугольник принадлежит многосвязному многоугольнику, если любая точка плоскости, находящаяся внутри или на границе этого ортогонального многоугольника, находится внутри или на границе многосвязного многоугольника.

Ортогональный многоугольник называется *h -допустимым*, если длина любой из его сторон не меньше некоторой величины h , где h является положительным вещественным числом, не равным нулю.

Точка плоскости g , находящаяся внутри или на границе многосвязного многоугольника, называется *h -покрываемой*, если существует *h -допустимый* ортогональный многоугольник, принадлежащий данному многосвязному многоугольнику, такой, что точка g находится на границе или внутри данного многоугольника.

Заметим, что в многосвязном многоугольнике могут существовать точки, расположенные около острых внутренних углов, которые не являются *h -покрываемыми*. Так точка плоскости, находящаяся в вершине острого угла, не является *h -покрываемой* для любой величины h сколь малой она бы не была.

Под покрытием V многосвязного многоугольника W понимается совокупность *h -допустимых* ортогональных многоугольников, удовлетворяющих следующим условиям:

- всякий ортогональный многоугольник из данной совокупности принадлежит многосвязному многоугольнику W ,
- для всякой *h -покрываемой* точки g многосвязного многоугольника W найдется хотя бы один ортогональный многоугольник этой совокупности такой, что точка g находится на границе или внутри данного ортогонального многоугольника.

Если покрытие V многосвязного многоугольника W состоит из *h -допустимых* ортогональных многоугольников, то будем говорить, что покрытие V покрывает многосвязный многоугольник W с точностью h .

В настоящей работе рассматривается следующая задача.

Необходимо найти для многосвязного многоугольника W покрытие V , состоящее из минимального числа *h -допустимых* ортогональных многоугольников.

2. Метод покрытия. Под сторонами многосвязного многоугольника W понимаются стороны основного контура, а также стороны контуров-разрезов. Обозначим через $P(ab)$ прямую, проходящую через сторону ab многосвязного многоугольника. Будем говорить, что стороны ab и cd параллельны, если и только если параллельны прямые $P(ab)$ и $P(cd)$. Стороны ab и cd перпендикулярны, если и только если перпендикулярны прямые $P(ab)$ и $P(cd)$. Предлагаемый метод покрытия состоит из следующих этапов.

1) Множество всех сторон исходного многосвязного многоугольника разбиваются на простые классы. В одной простой класс, включаются стороны параллельные или перпендикулярные друг другу. Для каждого простого класса полученного разбиения вычисляется вес, равный сумме длин сторон, входящих в него. Простые классы разбиения упорядочиваются по убыванию весов. Стороны внутри каждого простого класса упорядочиваются по убыванию своих длин.

2) Для каждой вершины основного контура, а также контура-разреза определяется ее тип. Тип вершины определяется по внутреннему углу, образованному двумя сторонами контура, точка соединения которых является данной вершиной. Рассматриваются четыре типа вершин, которые помечаются числами от 0 до 3. Считается, что внутренний угол между двумя сторонами многоугольника, примыкающими к данной вершине, не может равняться нулю и 360° . Поэтому, если этот угол меньше 90° , то вершина относится к типу 3. Если внутренний угол между сторонами больше или равен 90° , но меньше 180° , то вершина многоугольника относится к типу 2. Если угол между сторонами больше или равен 180° , но меньше 270° , то вершина многоугольника относится к типу 0. Если угол между сторонами больше или равен 270° , но меньше 360° , то вершина многоугольника относится к типу 1.

Внутренние углы контуров-разрезов являются внешними для многосвязного многоугольника. Поэтому для контуров-разрезов необходимо провести корректировку типов вершин. Так, если тип вершины, вычисленный по внутреннему углу контура-разреза, равен 0, то тип этой вершины для внешнего угла будет равен 2. Соответственно этому тип, равный 1, преобразуется в – 3, тип, равный 2, преобразуется в – 0 и тип, равный 3, преобразуется в – 1.

Таким образом, всякая сторона многосвязного многоугольника характеризуется парой чисел, задающих тип вершин, на которые она опирается. По этому признаку все стороны многоугольника разбива-

ются на 16 классов типов: (3, 0), (3, 1), (3, 2), (3, 3), (2, 0), (2, 1), (2, 2), (2, 3), (1, 0), (1, 1), (1, 2), (1, 3), (0, 0), (0, 1), (0, 2), (0, 3).

3) Для каждой стороны многосвязного многоугольника определяется тип полуплоскости. Рассмотрим некоторую сторону ab многосвязного многоугольника. Прямая $P(ab)$ делит плоскость на две части: $P^+(ab)$, $P^-(ab)$. Координаты любой точки плоскости d , подставленные в уравнение прямой $P(ab)$, задают некоторое число $P(ab)(d)$. Если это число положительное или равно нулю, то точка d принадлежит полуплоскости $P^+(ab)$, иначе эта точка принадлежит полуплоскости $P^-(ab)$. Если точки многосвязного многоугольника, непосредственно примыкающие к стороне ab , но не лежащие на ней, находятся в полуплоскости $P^+(ab)$, то этой стороне присваивается тип полуплоскости, равный 1, иначе – 2.

4) Поиск покрытия многосвязного многоугольника осуществляется следующим образом. Последовательно просматриваются простые классы разбиения. В очередном выбранном простом классе последовательно просматриваются стороны многосвязного многоугольника, входящие в данный класс. Для очередной выбранной стороны определяется один из ее 16 типов, а также тип полуплоскости.

4.1) Если тип стороны a равен (2, 2), то строится ортогональный многоугольник, одна из сторон которого совпадает со стороной a . Искомый ортогональный многоугольник состоит из совокупности прямоугольников P_1, P_2, \dots, P_t . Прямоугольники этой совокупности строятся следующим образом.

Сторона a разбивается на t равных базовых отрезка, которые обозначим через a_1, a_2, \dots, a_t . Способ выбора числа базовых отрезка описан ниже. Каждый из прямоугольников P_i совокупности ($1 \leq i \leq t$) строится по базовому отрезку a_i . Для этого через граничные точки отрезка a_i проводятся прямые R_i, R_{i+1} , ортогональные к отрезку a_i . В пространстве многосвязного многоугольника, лежащем между прямыми R_i, R_{i+1} и стороной a в полуплоскости, тип которой приписан стороне a , ищется точка c_i , лежащая на границе многосвязного объекта и находящаяся на минимальном расстоянии от стороны a . Через эту точку проводится прямая Y_i , параллельная прямой $P(a)$. В этом случае вершины прямоугольника P_i находятся в точках пересечения прямых $R_i, R_{i+1}, Y_i, P(a)$.

Пример 1. На рисунке 1 представлен многосвязный многоугольник, состоящий из основного контура и одного контура разреза. По стороне a этого многоугольника, тип которой равен (2, 2), строится ортогональный многоугольник, состоящий из прямоугольников P_1, P_2, P_3, P_4 . Для получения этих прямоугольников сторона a разбивается на четыре отрезка a_1, a_2, a_3, a_4 . Прямоугольник P_1 строится по отрезку a_1 . Для этого находятся прямые R_1, R_2 , перпендикулярные прямой $P(a)$ и проходящие через концевые точки отрезка a_1 . В части плоскости, заданной многосвязным многоугольником и прямыми $R_1, R_2, R_7 = P(a)$, ищется точка c_1 , лежащая на границе многосвязного объекта и находящаяся на минимальном расстоянии от стороны a . Через эту точку проводится прямая R_6 , параллельная прямой $P(a)$. Точки, находящиеся на пересечении прямых R_1, R_2, R_6, R_7 , задают вершины прямоугольника P_1 . Прямоугольники P_2, P_3, P_4 строятся так же как и прямоугольник P_1 .

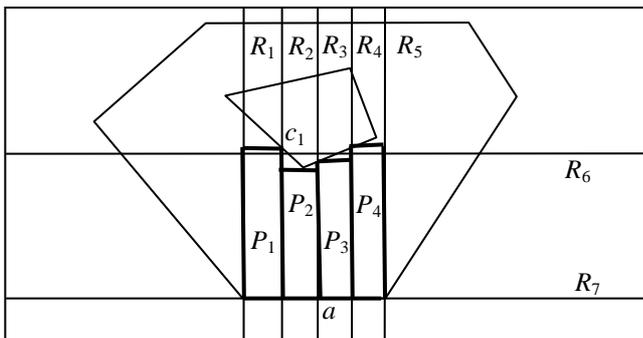


Рис. 1. Тип стороны a равен (2, 2)

4.2) Если тип стороны a равен или (2, 0), или (2, 1), или (0, 2), или (1, 2), то по этой стороне строится ортогональный многоугольник следующим образом.

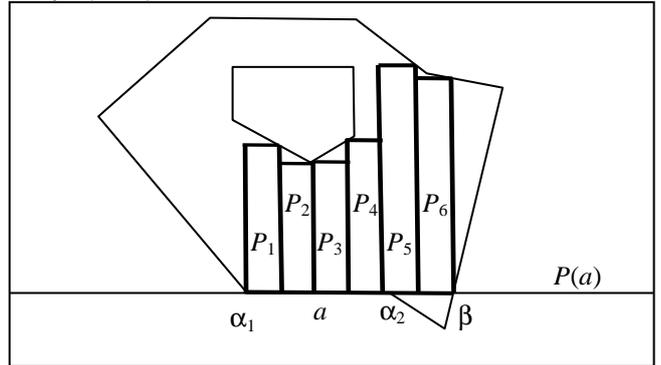


Рис. 2. Тип стороны a равен (2, 0)

Обозначим через α_1 граничную точку стороны a , тип которой равен 2. Через α_2 обозначим граничную точку стороны a , тип которой не равен 2. Находим точки пересечения сторон многосвязного многоугольника с прямой $P(a)$. Из найденных точек выбираем ту, расстояние от которой до граничной точки α_2 стороны a минимально и меньше расстояния от этой точки до граничной точки α_1 стороны a . Обозначим эту точку через β . В части плоскости, заданной многосвязным многоугольником, для отрезка $\alpha_1\beta$ строим ортогональный многоугольник, так как строится ортогональный многоугольник по стороне a для случая 4.1.

Пример 2. На рисунке 2 представлен многосвязный многоугольник, состоящий из основного контура и одного контура разреза. По стороне a этого многоугольника, тип которой равен (2, 0), построим ортогональный многоугольник. Граничные точки стороны a обозначены через α_1 и α_2 . Находим пересечение сторон многосвязного многоугольника с прямой $P(a)$. Такая точка единственна, и она удовлетворяет условиям выбора точки β . Обозначим эту точку через β . По отрезку $\alpha_1\beta$ строим ортогональный многоугольник, так как строится ортогональный многоугольник по стороне a для случая 4.1. Искомый ортогональный многоугольник состоит из прямоугольников: $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$.

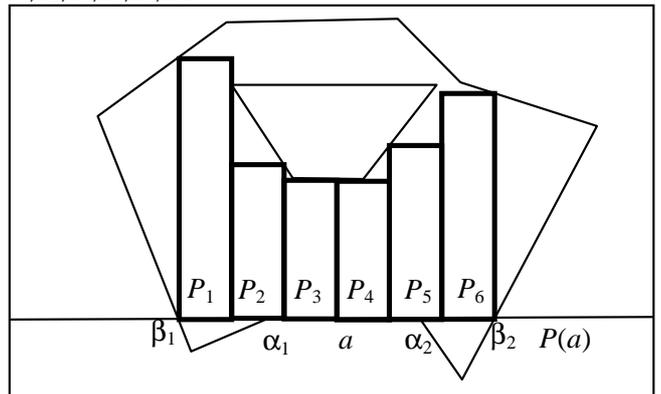


Рис. 3. Тип стороны a равен (0, 0)

4.3) Если тип стороны равен или (0, 0), или (0, 1), или (1, 0), или (1, 1), то прямоугольник искомого покрытия строится следующим образом.

Обозначим через α_1, α_2 граничные точки стороны a . Находим точки пересечения сторон многосвязного многоугольника с прямой $P(a)$. Из найденных точек для граничной точки α_1 выбираем ту, расстояние от которой до граничной точки α_1 стороны a минимально и меньше расстояния от этой точки до граничной точки α_2 . Обозначим эту точку через β_1 . Затем из найденных точек для граничной точки α_2 выбираем ту, расстояние от которой до граничной точки α_2 сто-

4.5) Тип стороны a равен одной из пар множества $\{(0, 3), (3, 0), (1, 3), (3, 1)\}$. Концевые точки стороны a обозначим через u, u_1 . Положим, что вершина u имеет тип, равный 3. Сторону многоугольника, соединяющуюся со стороной a в вершине u , обозначим через t . Проведем через концевую вершину u_1 прямую F_1 , перпендикулярную стороне a . В этом случае также возможны два варианта.

Вариант 1. Сторона t пересекается с прямой F_1 . Тогда прямоугольники, примыкающие к стороне a , строятся точно так же, как для случая 4.4, вариант 1. Находим точки пересечения сторон многосвязного многоугольника с прямой $P(a)$. Из найденных точек выбираем ту, расстояние от которой до граничной точки u_1 стороны a минимально и меньше расстояния от этой точки до граничной точки u стороны a . Обозначим эту точку через β . В части плоскости, заданной многосвязным многоугольником, для отрезка $u_1\beta$ строим ортогональный многоугольник, так как строится ортогональный многоугольник по стороне a для случая 4.1.

Пример 6. На рис. 6 отражен процесс формирования прямоугольников для стороны a , тип которой равен $(3, 0)$ и прямая F_1 пересекает сторону t . По стороне a находим прямоугольники S_1, S_2, S_3 , а по продолжению стороны a , представленной отрезком (u_1, β) , построим ортогональный многоугольник, состоящий из прямоугольников P_1, P_2, P_3 .

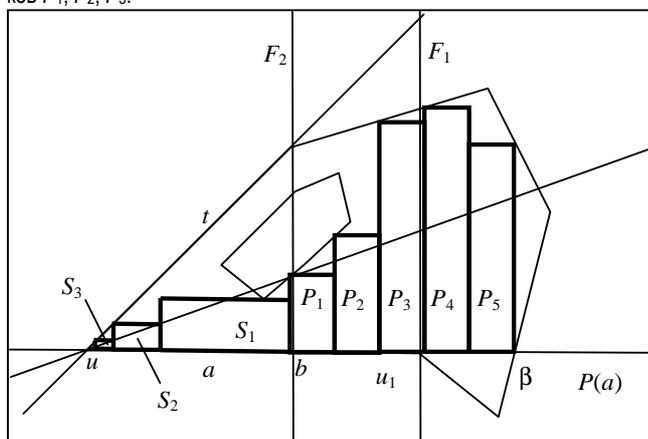


Рис. 7. Тип стороны a равен $(3, 0)$, прямая F_1 не пересекает сторону t

Вариант 2. Сторона многоугольника t не пересекается с прямой F_1 . Проводим прямую F_2 , перпендикулярную к стороне a и проходящую через граничную точку стороны t , не являющуюся точкой сочленения сторон a и t . Обозначим через b точку пересечения прямых $F_2, P(a)$. Прямоугольники, примыкающие к части стороны a (отрезок ub), строятся точно так же, как для случая 4.4, вариант 1. Находим точки пересечения сторон многосвязного многоугольника с прямой $P(a)$. Из найденных точек выбираем ту, расстояние от которой до граничной точки u_1 стороны a минимально и меньше расстояния от этой точки до граничной точки u стороны a . Обозначим эту точку через β . В части плоскости, заданной многосвязным многоугольником, для отрезка $u_1\beta$ строим ортогональный многоугольник, так как строится ортогональный многоугольник по стороне a для случая 4.1.

Пример 7. На рис. 7 отражен процесс формирования прямоугольников для стороны a , тип которой равен $(3, 0)$ и прямая F_1 не пересекает сторону t . По части стороны a , представленной отрезком (u, b) , находим прямоугольники S_1, S_2, S_3 , а по части этой стороны, представленной отрезком (b, β) , построим ортогональный многоугольник, состоящий из прямоугольников P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 .

4.6) Тип стороны равен $(3, 3)$. Обозначим эту сторону через a . Концевые точки стороны a обозначим через u, u_1 . Сторону многоугольника, соединяющуюся со стороной a в вершине u , обозначим через t_1 , а сторону многоугольника, соединяющуюся со стороной a в вершине u_1 , обозначим через t_2 . В этом случае также возможны два варианта.

Вариант 1. Стороны t_1, t_2 являются соседними, т. е. стороны t_1, t_2, a образуют треугольник. Обозначим через u_2 точку, в которой соединяются стороны t_1, t_2 . Через точку u_2 проведем прямую, перпендикулярную стороне a . Пусть эта прямая пересекается с этой стороной в точке b . Разобьем сторону a на два отрезка: $(u, b), (b, u_1)$. По полученным частям стороны a построим подмножества прямоугольников искомого покрытия так, как это сделано в варианте 1 случая 4.4). При этом в качестве исходной стороны многоугольника сначала рассматривается отрезок (u, b) , а затем – отрезок (b, u_1) .

Вариант 2. Стороны t_1, t_2 не являются соседними. Проводим прямые Z_1, Z_2 , перпендикулярные к стороне a и проходящие через концевые точки сторон t_1, t_2 соответственно, не являющиеся точками сочленения со стороной a . Обозначим соответственно через b_1, b_2 точки пересечения прямых Z_1 и Z_2 со стороной a . Разобьем сторону a на три отрезка: $(u, b_1), (b_1, b_2), (b_2, u_1)$. По частям $(u_1, b_1), (b_2, u)$ построим подмножества прямоугольников искомого покрытия так, как это сделано в варианте 1 случая 4.4. При этом в качестве исходной стороны многоугольника сначала рассматривается отрезок (u_1, b_1) , а затем – отрезок (b_2, u) . По отрезку (b_1, b_2) построим ортогональный многоугольник покрытия так, как это сделано в случае 4.1.

3. Способ выбора числа базовых отрезков. Выбор числа t базовых отрезков при построении ортогонального многоугольника выполняется на основе минимальной длины сторон исходного многосвязного многоугольника, а также заданного параметра δ , где δ – целое положительное число.

Предположим, что ортогональный многоугольник строится по отрезку ab . Пусть минимальная длина стороны рассматриваемого многоугольника равна ϵ . Обозначим через $|ab|$ длину стороны ab . В этом случае правило выбора формулируется следующим образом.

Если $|ab|/\epsilon > \delta$, то $t = \delta$. Если $\varphi = |ab|/\epsilon \leq \delta$, то $t = \lceil \varphi \rceil$, где квадратные скобки означают наименьшее целое число, большее числа φ .

Заключение. Предлагаемый эвристический метод декомпозиции произвольного многосвязного многоугольника в совокупность ортогональных многоугольников рассматривается как первый шаг решения задачи декомпозиции многосвязного многоугольника во множество прямоугольников. Выполнение этого шага дает возможность исключить появление непокрытых областей в исходном многосвязном многоугольнике. Предполагается, что поиск покрытий ортогональных многоугольников полученной совокупности будет выполняться с учетом уже найденных прямоугольников покрытия. Это даст возможность существенно уменьшить возможные пересечения прямоугольников в покрытии.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фейнберг В.З. Геометрические задачи машинной графики больших интегральных схем // М.: Радио и связь 1987.-178 с.
2. Hegedus A., Algorithms for covering polygons by rectangles, Computer Aided Design, vol. 14, no 5, 1982
3. Та. Asano, Те. Asano, and H. Imai. Partitioning a polygonal region into trapezoids. J. ACM, 33:290-312, 1986.
4. L. Ferrari, P. V. Sankar, and J. Sklansky. Minimal rectangular partitions of digitized blobs. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 28:58-71, 1984.
5. S. Nahar and S. Sahni. Fast algorithm for polygon decomposition. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 7:473-483, 1988.
6. T. Ohtsuki. Minimum dissection of rectilinear regions. In Proceedings of the 1982 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Rome, pages 1210-1213, 1982.
7. Бутов А.А., Шестаков Е.А. Анализ корректности покрытий многосвязных многоугольников (настоящий сборник).

Материал поступил в редакцию 20.09.08

SHESTAKOV E.A., VORONOV A.A. Decomposition of multiply connected polygon in a set of orthogonal polygons

Decomposition of multiply connected polygon in a set of orthogonal polygons is considered that can be applied to a problem of formation covering for layout objects. The purpose of the paper is a search covering which consists of the minimal number of orthogonal polygons for any multiply connected polygon. Decomposition of the multiply connected polygon in a set of orthogonal polygons is considered as the first step of the decision process for the main decomposition problem of multiply connected polygon in set of rectangles.

Object of research are multiply connected polygons, i. e. elements of layout patterns.

An heuristic method for decomposition of the multiply connected polygon in a set of the orthogonal polygons is proposed. This method enables to exclude an occurrence of uncovered areas in an initial multiply connected polygon and to reduce essentially possible crossings of rectangles in the covering.

УДК 681.4

Дудкин А.А.

АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТОПОЛОГИИ В ЗАДАЧЕ ОБРАТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

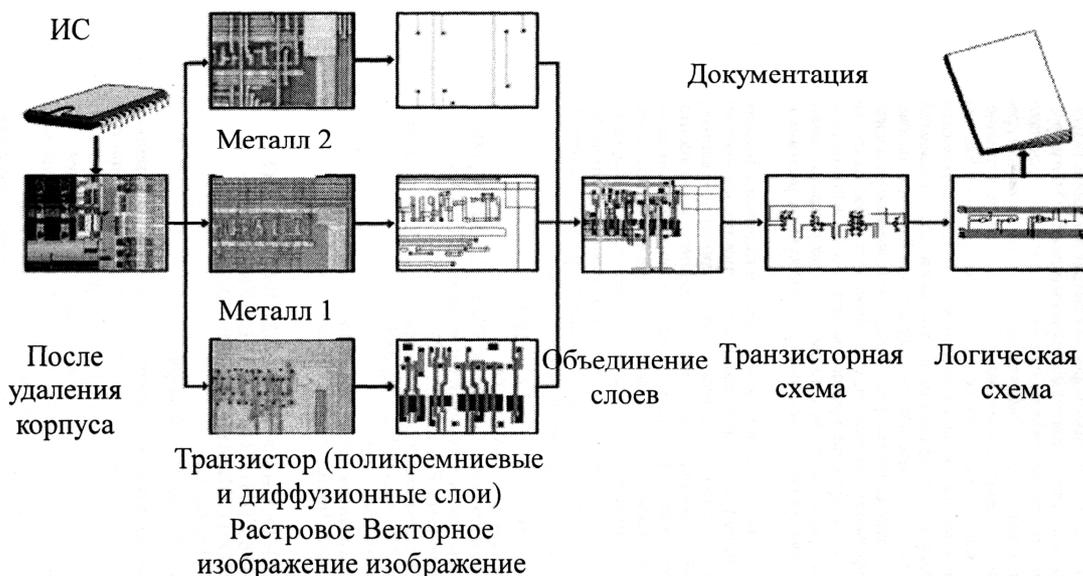


Рис. 1. Этапы восстановления схемы при обратном проектировании

Введение. Задача обратного проектирования интегральных схем (ИС) состоит в восстановлении топологии ИС по совокупности изображений ее топологических слоев для получения далее структурной, функциональной и принципиальной схем ИС с целью внесения функциональных изменений в ИС. Эти изменения могут быть основаны на различных критериях. Например, в качестве таких критериев могут выступать новые стандарты по тестируемости, потребляемой мощности, производительности или ограничения по площади ИС. Кроме того, восстановление топологии используется для анализа принципиальной схемы ИС, представляющей собой интеллектуальную собственность, с целью идентификации функциональных блоков ИС, а также с целью тестирования степени защищенности ИС от воспроизведения.

Процесс обратного проектирования [1] достаточно сложен и включает несколько технологических этапов (рис. 1): удаление корпуса ИС; сканирование топологического слоя; анализ изображения топологического слоя; удаление верхнего слоя; анализ изображения очередного топологического слоя и межслойных соединений; построение транзисторной и принципиальной схем. Из систем обратного проектирования следует указать OptEMInspector фирмы OptEM, CircuitMiner фирмы Semiconductor Insights и Design Analysis Workstation фирмы Chipsworks.

Отличительными особенностями задач обработки, анализа и идентификации изображений топологии ИС являются следующие. Во-первых, каждое изображение, представляющее собой информацию об одном слое, может содержать и информацию о смежных слоях изделия. Во-вторых, изображения характеризуются наличием мешающего фона, а также неопределенностью положения и ориен-

тации отдельных элементов, приводящими к большой избыточности. Когда ИС перемещается или движется оптическая система ввода, сдвиги неизбежны, так как имеются погрешности перемещения, которые при съемке микронных изделий становятся очень существенными. Механические системы могут сократить рассовмещение, но только в некоторых метрических и угловых пределах. В третьих, изображения, как правило, представляются совокупностью кадров с некоторым перекрытием соседних кадров. Если используется оптико-электронная система ввода с ПЗС-матрицей, то каждый кадр представляется в виде матрицы пикселей, а изображение в целом в виде матрицы кадров. Поэтому основной задачей при вводе изображения является определение оптимального совмещения (сшивки) соседних кадров в области перекрытия.

Сложность обработки обусловлена наличием нежелательных эффектов на изображениях, полученных с использованием ПЗС-матриц: яркие вертикальные полосы на месте ярких зон изображения небольшой площади, наличие «слепых» или «горячих» пикселей, неравномерность чувствительности по полю матрицы и т.д. Кроме того, трудно собрать изображения одинаковой интенсивности из-за неодинаковых характеристик источника света линзы камеры. Можно показать пример неравномерного освещения, например, медной фольги или чистой ПП перед производством. При наличии отличий в освещенности совмещаемых изображений, в том числе, в структуре теней, присутствуют отличия в яркостной структуре изображений. Оба рассмотренных типа отличий можно объединить в группу яркостных искажений изображений. Кроме того, имеют место геометрические искажения: отличия в масштабе, повороте, сдвиге,