

Автоматизированный расчет параметрического числа плоского контура по его электронному чертежу

В.А. Тюрина¹, М.М. Смычэк¹, С.А. Роменский¹, М.В. Лагунова¹

¹ Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ул. Ильинская, 65, Нижний Новгород, 603950, Россия

Аннотация

В статье описан алгоритм автоматического расчета параметрического числа плоского контура, созданного в электронном виде в векторном формате. Так как параметрическое число контура соответствует количеству размеров на чертеже, необходимых для его однозначного воспроизведения, то описываемый алгоритм может быть положен в основу процесса решения сложно формализуемой задачи автоматизированного нанесения размеров на чертеж. Данная задача актуальна в первую очередь для автоматизации задач проектирования, связанных с проблемой автоматического «чтения» чертежа, все еще далекой от ее окончательного разрешения. Кроме того, данный алгоритм может быть использован для расширения возможностей обучающих тренажеров, способствующих формированию геометро-графических компетенций при подготовке специалистов различных направлений подготовки.

В данной статье описывается процесс выделения непроектируемых фигур, составляющих плоский контур, и выявления геометрических условий между ними, позволяющих заменить параметры формы и положения на чертеже контура, чтобы оптимизировать количество наносимых на чертеж размеров.

Общий алгоритм решения поставленной задачи требует решения большого количества сопутствующих задач, многие из которых предполагают использование эвристического подхода. Поэтому тестирование разрабатываемого алгоритма представляет собой отдельную, многофакторную задачу, требующую большого количества итераций.

Ключевые слова

Непроектируемая фигура, составная фигура, параметрическое число фигуры, конструирование, геометрические условия, автоматизированное проектирование.

Automated Calculation of the Parametric Index of a Flat Contour According to Its Electronic Drawing

V.A. Tyurina¹, M.M. Smychek¹, S.A. Romensky¹, M.V. Lagunova¹

¹ Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, 60395, Russia

Abstract

The article describes an algorithm for automatic calculation of the parametric number of a flat contour created electronically in vector format. Since the parametric number of the contour corresponds to the number of dimensions in the drawing necessary for its unambiguous reproduction, the described algorithm can be used as the basis for the process of solving the difficultly formalized problem of automated drawing dimensions on the drawing. This task is relevant primarily for automating design tasks associated with the problem of automatic "reading" of the drawing, which is still far from its final solution. In addition, this algorithm can be used to

ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия

EMAIL: 55555_73@mail.ru (В.А. Тюрина); mariasmychek@gmail.com (М.М. Смычэк); romensky.serge@gmail.com (С.А. Роменский); mvlmn@mail.ru (М.В. Лагунова)

ORCID: 0000-0002-0234-9041 (В.А. Тюрина); 0000-0002-4657-1074 (М.М. Смычэк); 0000-0002-2528-1561 (С.А. Роменский)



© 2022 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

expand the capabilities of training simulators that contribute to the formation of geometric and graphic competencies in the training of specialists in various areas of training.

This article describes the process of selecting non-derivative figures that make up a flat contour, and identifying geometric conditions between them, allowing you to replace the shape and position parameters in the contour drawing in order to optimize the number of dimensions applied to the drawing.

The general algorithm for solving the problem posed requires solving a large number of related problems, many of which involve the use of a heuristic approach. Therefore, testing the developed algorithm is a separate, multifactorial task that requires a large number of iterations.

Keywords

Non-derivative figure, compound figure, parametric figure number, construction, geometric conditions, computer-aided design.

1. Введение

В связи с развитием и активным использованием ВМ (ТИМ) - концепции общей тенденцией в разработке цифровой модели объекта при решении профессиональных задач становится параметрический подход. Теория параметризации геометрических объектов, предложенная и разработанная акад. Н.Ф. Четверухиным, проф. В.С. Полозовым и проф. Н.Н. Рыжовым, лежит в основе геометрического моделирования и различных программных реализаций вне зависимости от предметной направленности [1], [2].

Параметрический анализ геометрической модели на любом этапе ее исследования является системной основой отображения геометрических объектов и отношений между ними как составляющих информационного языка решения задач графическими способами. Отличие параметрической модели состоит в том, что в ней предусмотрены топологические и геометрические взаимосвязи и ограничения между элементами, составляющими модель.

Для параметрического анализа в нашей задаче параметром будем считать независимую величину, позволяющую из множества объектов выделить элемент, либо подмножество элементов. Под параметризацией будем понимать процесс выбора и подсчета количества параметров, позволяющих однозначно выделить единственную геометрическую фигуру в пространстве [1]. Параметрическое число фигуры определяет минимально необходимое, но достаточное количество размеров на поле чертежа для однозначной интерпретации геометрии объекта, как в двумерном, так и в трехмерном пространстве измерений.

Объектами параметрического анализа выступают геометрические фигуры – примитивы, образующие иерархическую структуру. Исследуемую модель будем рассматривать как составную фигуру (СФ), состоящую из геометрических примитивов, имеющих определенные параметры. Такие геометрические примитивы будем называть «непроизводными фигурами» (НФ) и считать их неделимыми в данном классе рассматриваемых задач. НФ понимается нами как геометрический примитив, имеющий название, способ образования, свойства и параметры которого могут задаваться интерактивно. Например, НФ – окружность, т.е. замкнутая кривая на плоскости, состоящая из точек, равноудаленных от определенной точки. Плоский контур можно рассматривать как СФ, представленную набором нескольких НФ, например, окружностей, находящихся в отношениях касания и/или пересечения. Исследование набора и взаимного влияния параметров НФ на СФ проводится с целью достижения оптимального способа конструирования последней.

2. Постановка задачи. Описание базовых шагов алгоритма решения

Дан плоский замкнутый контур (см. рисунок 1). Он построен в графической программе и сохранен в формате dxf.

По условию поставленной задачи эта плоская составная фигура состоит из трех типов НФ: отрезков, дуг окружностей и целых окружностей. Допускается два типа линий: сплошные и штрихпунктирные. Система координат по умолчанию внешняя (external), то есть не связанная никакими геометрическими условиями с контуром. Формат dxf позволяет извлечь из файла

информацию о геометрии непрямых фигур, составляющих контур, а именно: параметры формы и положения примитивов относительно внешней системы координат.

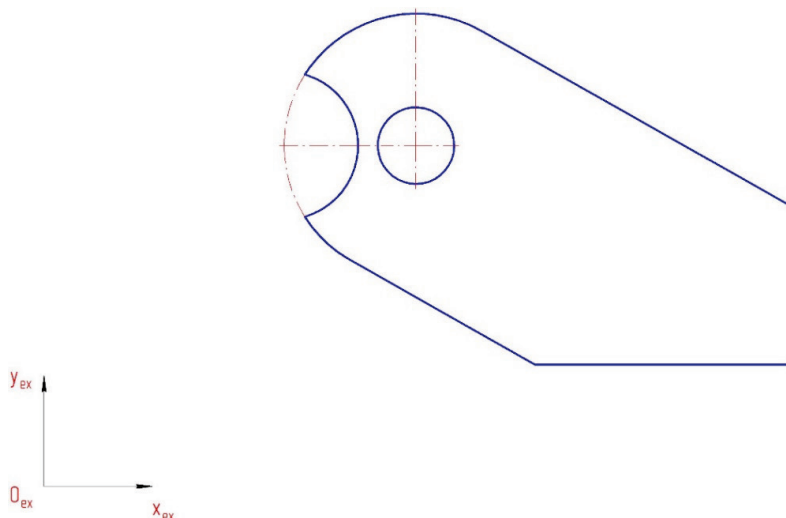


Рисунок 1 – Пример составного плоского контура (СФ)

2.1. Чтение геометро-графической информации из dxf

На первом этапе алгоритма формируется и начинает заполняться база данных геометро-графической информации, состоящая из пяти типов НФ:

1. Отрезки (segments, обозначение «s_i»).
2. Точки (points, обозначение «P_i»).
3. Линии (lines, обозначение «l_i»).
4. Дуги (arcs, обозначение «a_i»).
5. Окружности (circles, обозначение «c_i»).

Так как входной информацией являются три типа НФ, то при считывании информации из исходного файла происходит формирование двух дополнительных типов НФ, необходимых для выявления геометрических условий между базовыми элементами контура.

Порядок формирования базы следующий:

1. Множество отрезков $S = s_{ij} [P_i, P_j]$, где $i = \{1, N\}$, $j = \{1, N\}$. Каждый отрезок задан двумя точками, поэтому параллельно формированию этого множества начинается заполнение множества точек P.
2. Множество дуг $A = a_{kmn} [P_k, P_m, P_n]$, где $k = \{1, N\}$, $m = \{1, N\}$, $n = \{1, N\}$. Каждая дуга задана центром P_k , и двумя точками P_m и P_n , где $P_k P_m = P_k P_n = R$, где R - радиус окружности, частью которой является данная дуга. Из сказанного следует, что информация о дуге позволяет пополнять множество точек P и начать формирование множества окружностей C.
3. Множество окружностей $C = c_t [P_t, R]$, где $t = \{1, N\}$. Каждая окружность задана точкой центра P_t , что приводит к пополнению множества точек P, а R - радиус окружности. Каждой окружности присваивается атрибут «Уравнение окружности в виде $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2$, где $(x_0; y_0)$ — координаты центра окружности, R — радиус окружности».
4. Множество точек $P = P_k$, где $k = \{1, N\}$. Во время формирования этого множества происходит проверка на совпадающие точки (с учетом заранее заданной допустимой погрешности).
5. Множество линий $L = l_{ij} [P_i, P_j]$, где $i = \{1, N\}$, $j = \{1, N\}$. Каждые две несовпадающие точки определяют прямую линию, поэтому происходит также формирование множества прямых, с атрибутом «Уравнение прямой в общем виде $Ax + By + C = 0$, где A, B, C некоторые действительные числа».

При формировании базы данных очень важным является насыщение элементов атрибутами, позволяющими учесть все геометрические условия (ограничения) (ГУ) между базовыми

элементами для выявления параметрического числа составного контура. Далее приведен перечень ГУ, которые могут быть выявлены благодаря расшифровке информации, содержащейся в исходном файле данных (таблица 1). Каждому условию поставлена в соответствие некоторая «метка». Необходимо особо указать, что ГУ формируются для конструирования контура из базовых элементов с наименьшим параметрическим числом, а именно: из точек, прямых линий и окружностей. Отрезки и дуги выделяются на последней стадии конструирования контура.

Таблица 1 – Виды геометрических условий

№	ГУ	Метка
1	Инцидентность	01
2	Параллельность координатной оси внешней системы координат $O_{ex}x_{ex}$	02
3	Параллельность координатной оси внешней системы координат $O_{ex}y_{ex}$	03
4	Параллельность другой прямой	04
5	Перпендикулярность другой прямой	05
6	Коллинеарность отрезков прямых	06
7	Концентричность окружностей (не дуг)	07
8	Касание	08
9	Симметрия относительно прямой (осевая)	09
10	Равенство радиусов	10

Далее приведены таблицы 2-6, наглядно показывающие состав формируемой базы данных. Метка связана с элементом, с которым у описываемого элемента есть указанное геометрическое условие. Обычным шрифтом написаны условия, полученные при первичном анализе исходных данных, а подчеркнутым – после прохождения соответствующих алгоритмических процедур. Следует заметить, что формируемая на первом этапе алгоритма база данных, будет использоваться для формирования последовательности конструирования составного контура (с учетом неоднозначности данной процедуры и с возможностью выбора вариантов с помощью эвристик).

Таблица 2 – Атрибуты отрезков

Отрезки (Segments)	Начальные ГУ с другими НФ (при формировании базы данных)
s_1	01 P_1 , 01 P_2 , 01 $\underline{l_1}$
s_2	01 P_2 , 01 P_3 , 01 $\underline{l_2}$
s_3	01 P_1 , 01 P_4 , 01 $\underline{l_3}$
s_4	01 P_4 , 01 P_5 , 01 $\underline{l_4}$

Таблица 3 – Атрибуты дуг

Дуги (Arcs)	Начальные ГУ с другими НФ (при формировании базы данных)
$a_1 [P_6]$	01 P_3 , 01 P_8 , 01 $\underline{c_2}$
$a_2 [P_6]$	01 P_5 , 01 P_9 , 01 $\underline{c_2}$
$a_3 [P_7]$	01 P_8 , 01 P_9 , 01 $\underline{c_3}$
$a_4 [P_6]$	01 P_8 , 01 P_9 , 01 P_7 , 01 $\underline{c_2}$

Таблица 4 – Атрибуты окружностей

Окружности (Circle)	Начальные ГУ с другими НФ (при формировании базы данных)
$c_1 [P_6]$	$\underline{07 c_2}$
$c_2 [P_6]$	$\underline{07 c_1}$, 01 a_1 , 01 a_2 , 01 a_4
$c_3 [P_7]$	$\underline{01 a_3}$

Таблица 5 – Атрибуты точек

Точки (Points)	Начальные ГУ с другими НФ (при формировании базы данных)
P ₁	01 s ₁ , 01 s ₃ , 01 l ₁ , 01 l ₃
P ₂	01 s ₁ , 01 s ₂ , 01 l ₁ , 01 l ₂
P ₃	01 s ₂ , 01 a ₁ , 01 l ₂ , 01 c ₂
P ₄	01 s ₃ , 01 s ₄ , 01 l ₃ , 01 l ₄
P ₅	01 s ₄ , 01 a ₂ , 01 l ₄ , 01 c ₂
P ₆	01 l ₅ , 01 l ₆
P ₇	01 a ₄ , 01 l ₅ , 01 c ₂
P ₈	01 a ₁ , 01 a ₃ , 01 a ₄ , 01 c ₂ , 01 c ₃
P ₉	01 a ₂ , 01 a ₃ , 01 a ₄ , 01 c ₂ , 01 c ₃

Таблица 6 – Атрибуты линий

Линии (Lines)	Начальные ГУ с другими НФ (при формировании базы данных)
l ₁	01 P ₁ , 01 P ₂ , 01 s ₁ , 03, 04 l ₆ , 05 l ₃ , 05 l ₅
l ₂	01 P ₂ , 01 P ₃ , 01 s ₂ , 04 l ₄ , 08 c ₂
l ₃	01 P ₁ , 01 P ₄ , 01 s ₃ , 02, 04 l ₅ , 05 l ₁ , 05 l ₆
l ₄	01 P ₄ , 01 P ₅ , 01 s ₄ , 04 l ₂ , 08 c ₂
l ₅	01 P ₆ , 01 P ₇ , 02, 04 l ₃ , 05 l ₆ , 05 l ₁
l ₆	01 P ₆ , 03, 04 l ₁ , 05 l ₅ , 05 l ₃

2.2. Выявление геометрических условий для прямых

1. По имеющимся в базе данных координатам точек P₁ (x₁, y₁) и P₂ (x₂, y₂) составить каноническое уравнение прямой:

$$(x-x_1) / (x_2-x_1) = (y-y_1) / (y_2-y_1).$$

2. Привести каноническое уравнение прямой к общему виду: Ax + By + C = 0.

3. Выявить все условия инцидентности (метка 01). Это условие возможно для точек и отрезков.

4. Выявить ГУ, по отношению к внешней системе координат:

- если A = 0, то прямая параллельна O_{ex}X_{ex} (метка 02);
- если B = 0, то прямая параллельна O_{ex}Y_{ex} (метка 03);
- если C = 0, то прямая инцидентна точке O_{ex} начала координат.

5. Проверить ГУ параллельности с другими обработанными прямыми. Если A₁=A₂, B₁=B₂, то прямые параллельны (метка 04).

2.3. Выявление геометрических условий для окружностей

1. Составить уравнение окружности $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2$, где (x₀; y₀) — координаты центра окружности, R — радиус окружности.

2. Выявить все условия инцидентности (метка 01). Это условие возможно для точек и дуг.

3. Проверить ГУ касания с другими окружностями. Для этого сравнить длину отрезка между центрами окружностей с суммой их радиусов. Выявить есть ли действительная общая точка (она может быть и мнимая).

4. Проверить равенство радиусов (метка 10).

2.4. Выявление геометрических условий между окружностями и прямыми

1. Проверить ГУ принадлежности центра окружности или дуги имеющимся прямым путем подстановки координат центра в уравнение прямой (т.е. условие инцидентности, метка 01).
2. Если уравнение прямой $y = kx + b$, а уравнение окружности $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2$, то необходимо проверить выполнение условия касания: $(b + x_0 k - y_0)^2 / (1 + k^2) = R^2$ (метка 08).

2.5. Выявление геометрических условий симметрии точек

1. Найти на чертеже линии, имеющие стиль линий «осевая».
2. Для каждой пары точек:
 - Точки должны быть инцидентны прямой, перпендикулярной оси симметрии;
 - Расстояние от точек до оси симметрии должно быть равным (с учетом допустимой погрешности).
3. Если вышеописанные условия выполняются, то записать в ГУ условие симметрии точек (метка 09).
4. Если симметричные точки являются концами отрезков, то проверить соответствующие вторые концы отрезков. При симметрии и вторых точек отрезка добавить условие симметрии отрезков.
5. Если симметричные точки являются центрами окружностей, то проверить совпадение их радиусов (метка 10). При совпадении добавить условие симметрии окружностей (метка 09).

2.6. Выбор внутренней системы координат

Далее на основе анализа максимального количества ГУ для элементов из множеств точек P , линий L и окружностей C выбирается внутренняя прямоугольная декартова система координат (одна из точек – началом координат O_{int} , две перпендикулярные друг другу линии назначаются осями координат $O_{int}x_{int}$ и $O_{int}y_{int}$, см. рисунок 2). В некоторых случаях одна из осей может быть добавлена в качестве новой линии в множество L . Количество ГУ у назначенных элементов должно быть не менее трех [3], чтобы обеспечить возможность работать с параметрами формы составной фигуры.

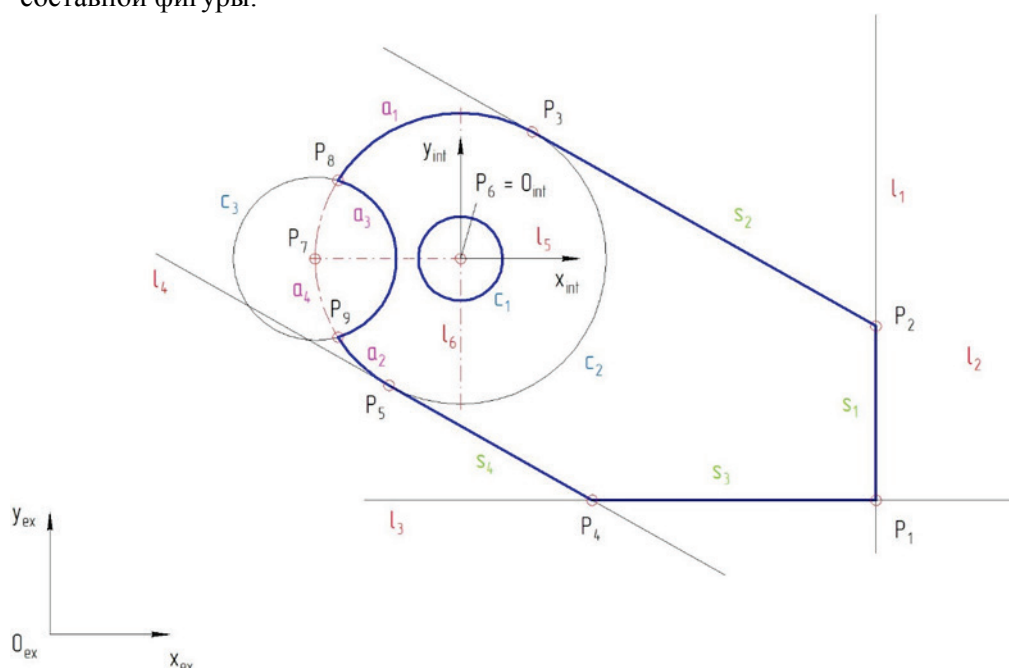


Рисунок 2 – Выявление всех типов НФ, выбор внутренней системы координат

2.7. Автоматическое формирование и заполнение таблицы параметров

Дальнейшая работа алгоритма заключается в обеспечении процесса конструирования составной фигуры из базовых элементов (точек, прямых и окружностей). Дуги и отрезки служат вспомогательными элементами при выявлении наиболее рациональной последовательности построения контура. Как уже отмечалось ранее, данная задача имеет множественные решения, приводящие в итоге к одному и тому же результату – расчету единственно возможного параметрического числа контура.

Ниже приведен пример сформированной таблицы 7 параметров, наглядно позволяющей увидеть последовательность конструирования контура с фиксацией ГУ, заменяющих параметры на чертеже и расчетом параметрического числа контура.

Таблица 7 – Расчет параметрического числа

Элемент	ПП	ПФ	ГУ	Сумма параметров	Количество независимых параметров (размеров на чертеже)
l_5	2	0	$\subset O_{int}X_{int}$	2	0
l_6	2	0	$\subset O_{int}Y_{int}$	2	0
$c_1[P_6]$	2	1	$P_6 = O_{int}$	2	1
$c_2[P_6]$	2	1	$P_6 = O_{int}$	2	1
$c_3[P_7]$	2	1	$\subset l_5, \subset c_2$	2	1
l_1	2	0	$\parallel l_6$	1	1
l_3	2	0	$\parallel l_5$	1	1
l_2	2	0	$\cap c_2$	1	1
l_4	2	0	$\cap c_2, \parallel l_2$	2	0
Параметрическое число контура					6

После выявления параметрического числа контура становится возможным нанесение оптимального числа размеров на чертеж. Типы наносимых размеров и композиционное решение зависят от назначения контура, специализации технологических процессов изготовления и пр., т.е. ложатся в основу технологических основ чертежа, что требует корректировки проектировщиком предлагаемого автоматического варианта размещения набора независимых параметров, количественно соответствующих расчетному единственно возможному параметрическому числу контура.

Автоматизация и тестирование разрабатываемого алгоритма представляет собой отдельную, многофакторную задачу, требующую большого количества итераций, планируется авторами работы как дальнейшее развитие поставленной общей задачи.

3. Заключение

Авторами предлагается алгоритм автоматического расчета параметрического числа плоского контура, созданного в электронном виде в векторном формате. Описываемый алгоритм может стать основой процесса решения сложноформализуемой задачи автоматизированного нанесения размеров на плоский чертеж, так как параметрическое число контура является так же необходимым и достаточным количеством размеров на чертеже.

Актуальность данной работы связана с проблемой «чтения» чертежа в автоматическом режиме при автоматизации задач проектирования. Так же, предлагаемый алгоритм может помочь расширить возможности обучающих комплексов по подготовке специалистов различных направлений по геометро-графическим дисциплинам.

В статье описан процесс автоматического формирования таблицы параметризации на примере конкретного контура. Этот процесс включает:

- выделение из плоского контура непрямых фигур;

- выявление геометрических условий между неприводными фигурами;
- устранение дублирования геометрических условий для точной оценки параметрического числа контура.
- оптимизацию процесса конструирования плоского контура

Общий алгоритм решения поставленной задачи требует решения большого количества сопутствующих задач, многие из которых предполагают использование эвристического подхода. Поэтому тестирование разрабатываемого алгоритма представляет собой отдельную, многофакторную задачу, требующую большого количества итераций.

4. Список источников

- [1] Полозов В.С. Начертательная геометрия (информационно-параметрический подход в инженерных графических задачах) : Учебное пособие. Н.Новгород : Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2000, 61 с.
- [2] Котов И.И., Алгоритмы машинной графики / И.И. Котов, В.С. Полозов, Л.В. Широкова. – М., «Машиностроение», 1977, 231 с.
- [3] Полозов В.С., Автоматизированное проектирование. Геометрические и графические задачи / В.С. Полозов, О.А. Будеков и др. - М. Машиностроение, 1983. 280 с.