

Прогнозирование восстановления трёхмерных фигур деталей на основе базы онтологий и двухмерных проекций в чертежно-графической документации*

Макаров Н.Л., Ротков С.И., Чепкасов В.Л., Тюрина В.А.

makarov.nl@outlook.com | rotkov@nngasu.ru | 55555_73@mail.ru | vladimir.chepkasov@outlook.com

Россия, Кафедра инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

В статье предлагается метод прогнозирования трёхмерной фигуры, которая может быть получена путём возможного сопоставления её с ортогональными проекциями на плоскости. Излагаемый метод основан на сегментировании исходного плоского чертежа некой трёхмерной фигуры и онтологических деревьях геометрических объектов. Сегментированные части изображения сопоставляются на основе онтологических деревьев и гипотез совместимости геометрических тел, на выходе получается множество возможных трёхмерных фигур. Множественность фигур объясняется тем, что рассматриваемый метод является прогностическим, поэтому в определённых случаях, когда имеет место вариативность сопоставления двухмерных фигур, нельзя с точностью выбрать один единственный вариант. Метод рассматривается на примере одного чертежа.

Ключевые слова: граф, графовые структуры, деревья, сегментация изображения, онтология геометрических фигур, древовидная структура, классификация геометрических объектов

Prediction method of recovery 3D shapes based on data's ontologies and 2D projections in drawing documentation*

N.L. Makarov, S.I. Rotkov, V.L. Chepkasov, V.A. Turina

Russia, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

The article is devoted to propose a method for predicting the 3D shapes, which can be obtained by comparing the potential of its orthogonal projections. The method is based on the segmentation of the original planar drawing of some 3D shape and ontological trees geometric objects. The segmented parts of the image are compared on the basis of ontological trees and hypotheses compatibility geometric bodies, the output is a set of possible recovered 3D shapes. The multiplicity of figures is explained by the fact that this method is predictive, so in certain cases where there is a variation of the 2D comparison figures, it is impossible to accurately select a single option. The method is considered by the example of the drawing.

Keywords: graph, graph structure, trees, image segmentation, the ontology of geometric shapes, tree-like structure, classification of geometric objects

1. Введение

Рассмотрим алгоритм сегментации изображения в решении задачи преобразования архива чертежной документации в электронный вид. Сегментированные части изображения чертежа организуются в дерево, где каждый чертёж, т.е. лист с изображением некоторой детали – это отдельное N-арное дерево. Корень такого дерева – это название чертежа, его номер или что-либо ещё, однозначно его характеризующее. Потомки, исходящие от корня, располагаются на определённом уровне и соответствуют определённому уровню детализации фигуры. В каждом узле также хранится сводная информация по фигуре, которую представляет этот узел. Сводная информация такая как: размер, тип линии и т.д.

Рассмотрим возможность использования результатов упомянутого выше алгоритма в задаче прогно-

зирования восстановления трёхмерной фигуры по её ортогональным проекциям на плоскости. Задача восстановления трёхмерной фигуры по имеющимся проекциям остаётся до конца не решённой. Предложенные алгоритмы восстановления трёхмерных фигур по ортогональным проекциям накладывают большие ограничения на исходные изображения [1]. Проблемой восстановления трёхмерной модели по её проекциям занимались очень многие исследователи [7][8][9][10], но, тем не менее, задача не решена в общем виде. Более того, имея «на входе» множество проекций некоторого трёхмерного объекта, в общем случае, возможна вариативность восстановления такого объекта. Поэтому, по мнению авторов статьи, необходимо использовать прогностическую модель восстановления, которая могла бы дать возможность не только сопоставить двумерные фигуры, но и предоставить возможность человеку выбрать результирующий объект, в случае вариативности восстановления.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 15-07-05110.
Работа опубликована по гранту РФФИ №16-07-20482.

2. Подготовка данных

Для начала, возьмём чертёж (Plot1), приведённый на рис. 1 и разложим его на сегменты.

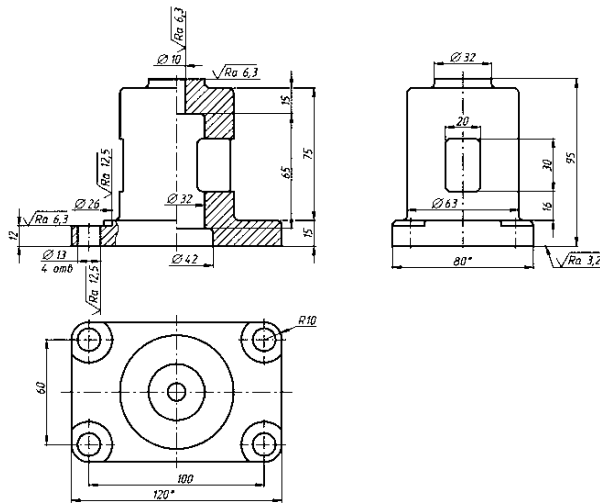


Рис. 1: Исходный чертёж Plot1.

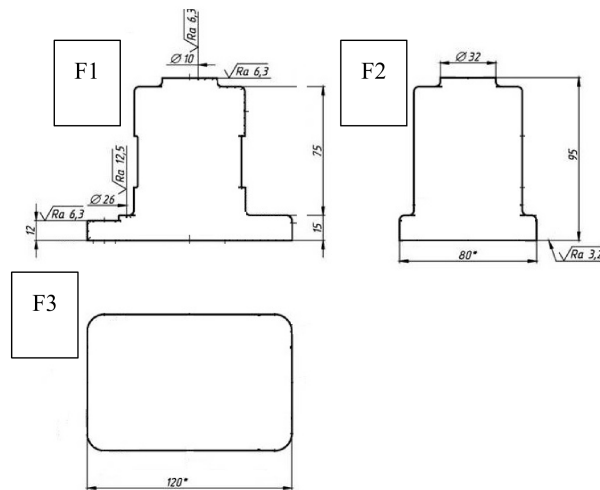


Рис. 2: детализации фигуры F1.

Полученные контуры организуем в дерево, где у каждого листа на уровне 1 будут также параметры относящиеся к контуру (см. рис.3).

После выделения первого уровня сегментации, процесс повторяется для каждого сегмента отдельно и для каждого выделенного объекта, в частности. Таким образом, формируется следующий уровень сегментации. На рис. 4 показано, как выделится второй уровень детализации исходного изображения, а на рис. 5 показан третий уровень детализации. Процесс повторяется до тех пор, пока выполняется условие сегментации. Условие сегментации может быть задано для нескольких параметров: 1) размер сегмента не превышает заданный порог; 2)

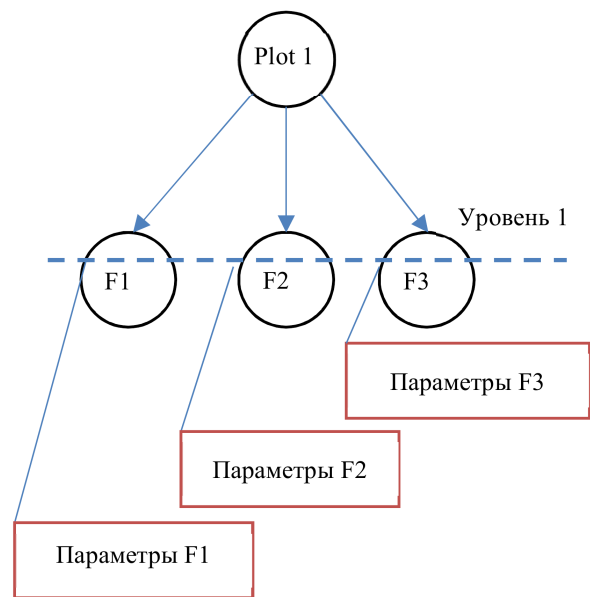


Рис. 3: дерево иерархии после первого уровня детализации.

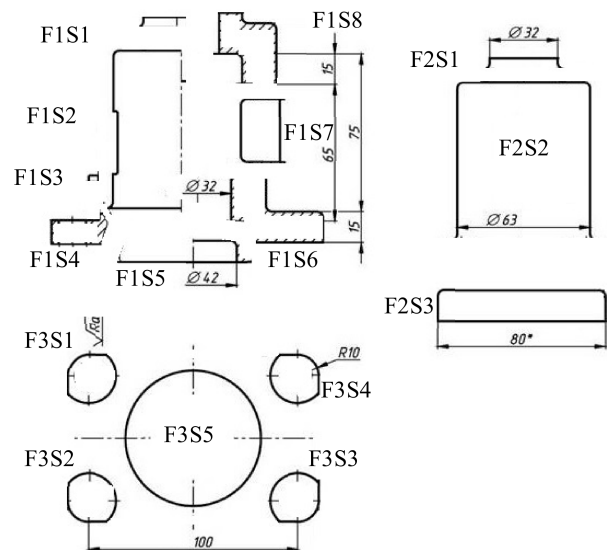


Рис. 4: уровень 2 детализации

отношение визуальной массы к размеру сегмента не превышает заданный порог.

Таким образом, после N итераций, мы получаем M деревьев, по количеству изначальных фигур на чертеже. Каждое дерево будет глубиной Di, при этом величина глубины будет определяться количеством вложенных фигур в родительский сегмент. Итоговый вид дерева представлен на рис. 6.

Отметим, что полученные сегменты, объединённые в деревья, детализируют друг друга сверху вниз так, что каждый нижележащий уровень детализирует вышележащий. Другими словами, все потомки одного узла являются его детализацией. Получив исходное представление чертежа в виде графа

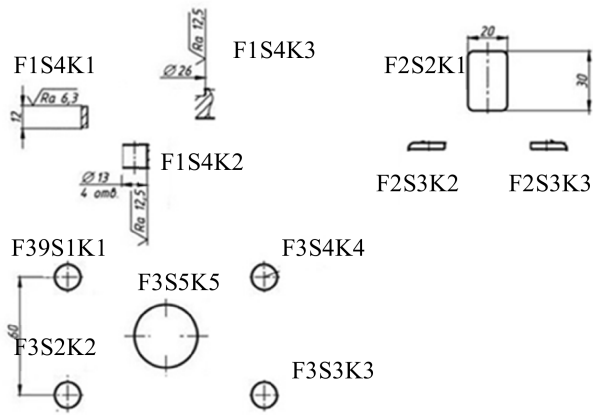


Рис. 5: уровень 3 детализации

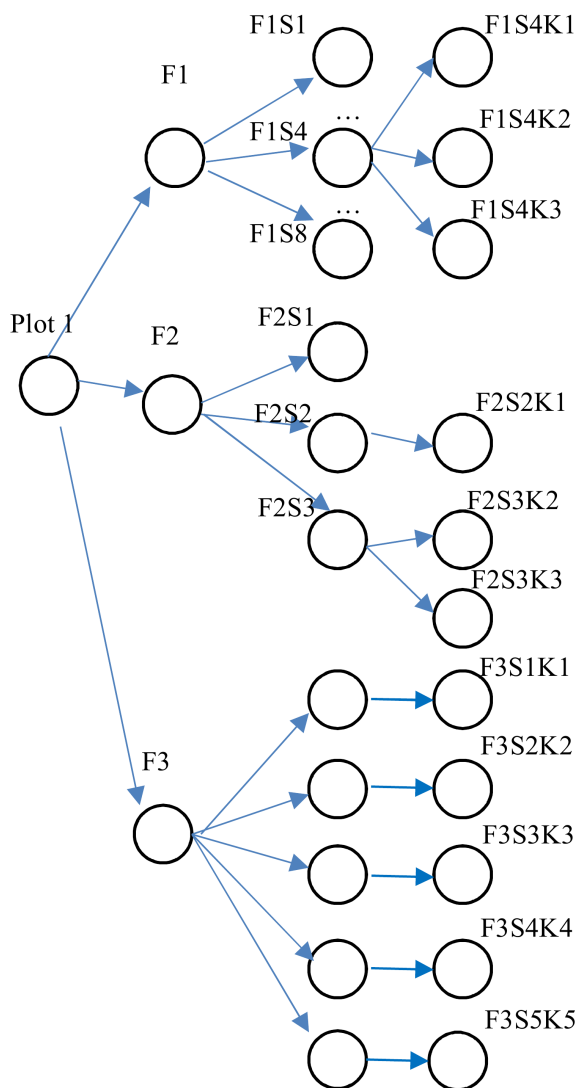


Рис. 6: итоговый вид дерева сегментации чертежа Plot 1.

сегментов с определенными свойствами и атрибутами, построим модель прогнозирования, которая

в ходе анализа графа прогнозирует вид объекта (детали) в пространстве, используя для этого онтологию геометрических фигур.

3. Онтология геометрических фигур

Ранее было отмечено, что у нас есть отсегментированное изображение чертежа, представленное с помощью дерева. Имея исходное представление чертежа необходимо сопоставить разные части видов одной трёхмерной фигуры между собой. Возникает закономерный вопрос, как это реализовать, не прибегая к решению с полным перебором всевозможных комбинаций. Прибегнем к помощи онтологической системы, составим онтологию геометрических фигур. Упрощённо, можно сказать, что онтология – это спецификация знаний об окружающем мире [6]. Мы составим онтологический лес, состоящий из деревьев, каждое из которых будет давать нам представление о том, как раскрывается та или иная геометрическая фигура. Поскольку в геометрии можно выделить разные характеристики фигур [2,3], то мы сразу оговоримся, что нас интересует знание о том, какие двухмерные фигуры получатся при ортогональной проекции некой трёхмерной фигуры. Обусловлено это тем, что, получив деревья сегментирования, нам необходимо иметь некую базу знаний, позволяющую представить полученные сегменты в виде возможных геометрических объектов. Заметим, что сегментированные части исходного чертежа являют собой плоские фигуры, в то время как база знаний должна нести в себе информацию о том, как плоские фигуры соотносятся с объёмными объектами. Для этого рассмотрим возможные варианты составления подобной базы знаний на основе деревьев. В целях выбора корневой системы подобных деревьев, рассмотрим фигуры, изучаемые планиметрией [3], а именно:

1. Точка;
2. Прямая;
3. Параллелограмм;
4. Трапеция;
5. Эллипс;
6. Треугольник;
7. Многоугольник.

В виду того, что получаемые сегменты носят характер неких плоских фигур, то нет необходимости рассматривать следующих кандидатов в корневую систему: точка, прямая. Также пока исключим многоугольник, но отметим, что он может быть использован в качестве корневой системы над другими фигурами. Для простоты рассматривать многоугольник не будем.

Рассмотрим возможные варианты трёхмерных фигур, которые могут быть представлены оставшимися «плоскими фигурами, полученными при проецировании объекта на одну из координатных плоско-

стей по направлению перпендикулярной ей координатной оси, например, на плоскость Oy по направлению оси Oz . Заметим, что нам достаточно построить только одно дерево, например, с точкой взгляда от Oz (под точкой взглядом будем понимать проецирование по направлению к какой-то оси, здесь ось Oz), а остальные виды легко выводятся из него, путём транспонирования дерева. Граф вида дерево [5] удобно использовать для представления онтологий в нашем случае.

На рис. 7б представлено дерево онтологий через ролевые диаграммы [6]. Поскольку, в статье приводится лишь пример, то представлены только простейшие фигуры планиметрии в корневой системе. Из них выходят некие возможные трёхмерные фигуры, которые в свою очередь могут быть представлены такими же простыми фигурами планиметрии. Остальные, с некоторым упрощением или уточнением, выводятся из них. Как и говорилось ранее, на рис. 7б показан только вид от Oz («вид сверху»), а в листьях располагаются точки зрения Ox и Oy («вид спереди» и «вид слева»), поэтому нам не составит труда, пере взвесить дерево, если потребуется рассматривать какую-либо фигуру с другой точки зрения.

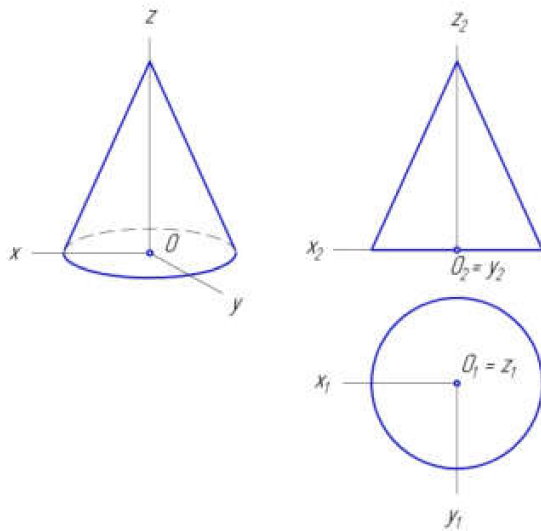
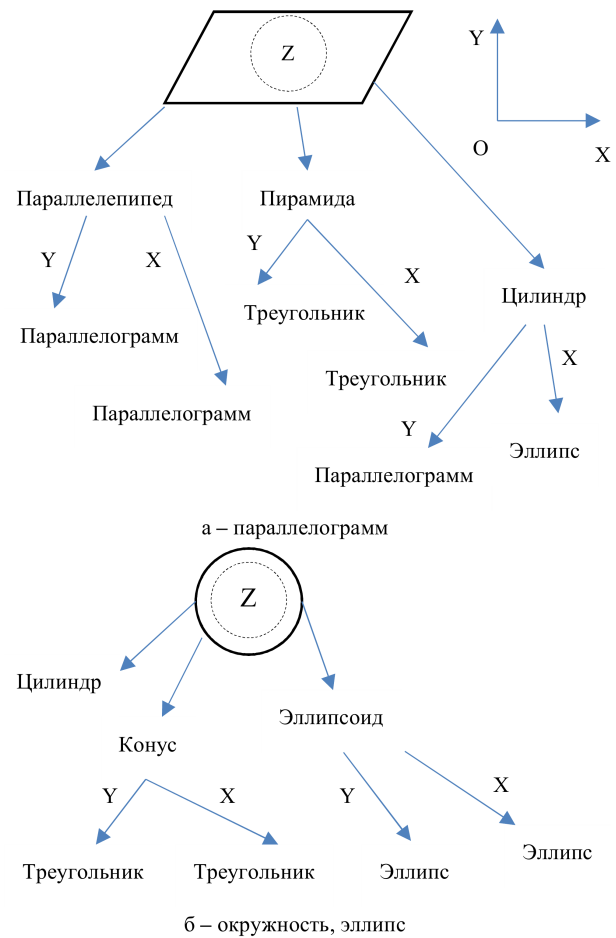


Рис. 7: Пример ортогональных проекций.

Теперь вернёмся к деревьям, полученным после сегментации исходного чертежа. Мы будем обходить дерево, уровень за уровнем. На каждом уровне, мы будем разбивать полученные фигуры на конечное множество простых фигур, путём выискивания по вертикали и горизонтали фигуры, пересечений линий. Полученные части плоских фигур мы сортируем по координатам x и y . Также классифицируем полученные части фигуры, у которых, например, скруглены углы. Такие фигуры мы будем классифицировать как параллелограмм



с определёнными характеристиками, такими как, скруглённые углы.

Теперь, наша задача составить деревья возможных трёхмерных фигур и их возможное расположение в пространстве. Для этого мы берём фигуры, полученные из разбивки одного из сегментов, классифицируем полученные простые фигуры и находим соответствующее дерево в онтологии фигур. Начнём фигуры с F1 и её разбивки на рис. 8. В узле F1 дерева Plot1, хранится информация о параметрах фигуры. Одна из них – это штрихпунктирная линия, идущая вдоль всей фигуры. Делаем предположение, что фигуру F1 необходимо вращать вокруг этой линии, используя её как ось вращения. Мы делаем это предположение, исходя из нашего опыта, соответственно, в процессе прогнозирования, человеческий опыт замещается некоторой экспертной системой, которая может принять решение подобно тому, как это делает человек. Поскольку части, на которые мы разбили фигуру F1, мы уже классифицировали, то не составит труда понять, какой трёхмерный объект вращения будет получен. Будем идти сверху вниз, начнём с фигуры разбиения F1B1 получаем цилиндр Cyl1. Обращаемся к дереву онтологий фигур. Находим возможные фигуры, в проекции на другие оси, это будут параллеле-

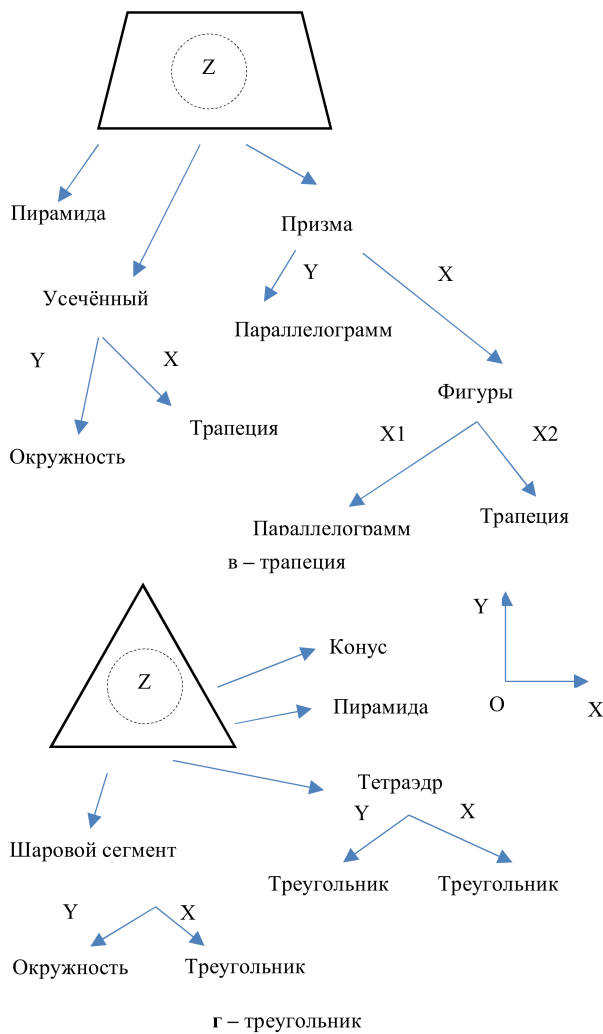


Рис. 8: Деревья онтологий фигур.

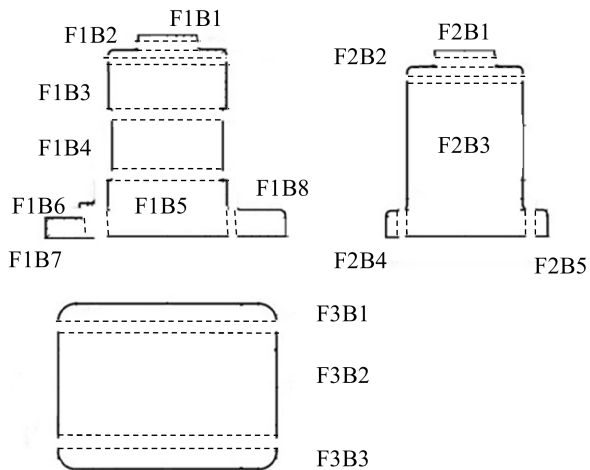


Рис. 9: Разбивка по линии пересечения и замыкание контура.

лограмм (прямоугольник, как частный случай параллелограмма) и эллипс (окружность, как част-

ный случай эллипса). Ищем в деревьях фигур F2 и F3 такие фигуры на каждом уровне, которые соответствуют по семантическому значению полученной фигуре в проекциях на других осях – параллелограмм на оси Oх и окружность на оси Oy.

Совершая обход дерева F3, находим, что окружность F3S5K5 соответствует возможной окружности, как проекции цилиндра Cy11. При дальнейшем обходе, становится ясно, что кандидатов для связи больше нет, поэтому делаем предложение, что F1B1 и F3S5K5 взаимосвязаны. Эта связь даёт нам ещё один очень важный вывод, что если мы смотрим на фигуру из дерева F1 из оси Oz и имеется связь с окружностью из F3, а мы оговорили выше, что окружность для цилиндра Cy11 – это проекция Oy, то мы можем утверждать, что фигура из дерева F2 – это вид фигуры F1 из оси Oy. Далее, рассмотрим вторую фигуру разбиения F1B2, повторяем тот же путь, строим фигуру вращения, находим её проекции в деревьях фигур. Поскольку одна из частей этой фигуры хорошо подошла к части из дерева F3, там и будем искать соответствие. Находим соответствие на 2 уровне дерева F3, окружность F3S5 подходит как проекция к F1B2. Аналогичная процедура для частей F1B3, F1B5.

Рассмотрим подробнее фигуру разбиения F1B4, первым делом строим тело вращения, получаем цилиндр. Вновь ищем в дереве F3 подходящую фигуру. Окружность с нужными параметрами найдена не будет, поскольку поиск не производится по фигурам, соответствие к которым уже было найдено в дереве. Также поиск и в дереве F2 не возымеет успеха. Делаем вывод – тело вращения нам не подходит, тогда сделаем тело выдавливания. Получаем параллелепипед, из дерева онтологии фигур находим проекции на оси. Ищем параллелограмм в дереве F3, не найдя там его – продолжаем поиск в дереве F2. Находим на 2 уровне, возможные фигуры F2S1, F2S2 и F2S3. При детальном рассмотрении они не подходят, поскольку её размер, указанный в параметрах узла F2S2, много больше (для F2S2), чем размер фигуры разбиения, находящегося выше или много меньше (для F2S3), чем сам F1B4, поэтому ни одна не подходит, ищем дальше. На 3 уровне находим фигуру F2S2K1 – параллелограмм. Она подходит нам как проекция F1B4. Заметим при этом, что, считая F2S2K1 проекцией F1B4, мы автоматически можем считать саму фигуру F2 как вид Oх.

Следующие 2 фигуры, которые будем рассматривать – F1B6 и F1B7, для них мы не найдём ни одной подходящей фигуры в деревьях F2 и F3. Поэтому их мы помечаем как фигуры без проекций.

Оставшиеся фигуры разбиения F1B5 и F1B8 находим аналогично вышеописанному алгоритму в F3S5 и F2S3 соответственно.

Повторяя все эти же шаги для оставшихся деревьев F2 и F3, для тех их частей, для которых ещё не найдены соответствия, мы находим возможные варианты их соотношения.

Теперь у нас есть видовые соотношения фигур F1, F2 и F3, а также их внутренних частей. На основании этого, мы можем попытаться воссоздать первоначальную трёхмерную фигуру, используя выявленные соотношения плоских фигур между собой и их возможные проекции на другие оси. При этом, ожидается, что при сборке разных частей трёхмерной фигуры, проекции не будут противоречить друг другу.

4. Заключение

Приведённый пример прогнозирования наглядно демонстрирует возможный подход для восстановления трёхмерной фигуры по её ортогональным проекциям на плоскости в чертёжно-графической документации. Безусловно, рассмотренный пример является простым, по сравнению с промышленными чертежами. Однако рассмотренные принципы возможно применить к любой чертёжно-графической документации и получить возможные трёхмерные фигуры, чьи ортогональные проекции были представлены на исходных изображениях.

Рассмотренный подход может быть улучшен и развит более полно, например, оптимизация дерева онтологий геометрических фигур и сопоставление разных видов изображений, авто дополнение дерева онтологий при нахождении новых изображений ортогональных проекций, знание о котором отсутствует в дереве и т.д.

Литература

- [1] Никаноров А.А. Алгоритмы восстановления 3D объектов по 2D проекциям // Современная техника и технологии. 2014. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2014/07/4177> (дата обращения: 12.11.2015);
- [2] Киселев А. П. Геометрия / Под ред. Н.А. Глаголева. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - ISBN 5-9221-0367-9.;
- [3] Ефимов Н.В. Краткий курс аналитической геометрии (10-е изд.). М.: Наука, 1967;
- [4] Ф. Харари Теория Графов / Под ред. Г.П. Гаврилова. — М.: Издательство «Мир», 1973 ;
- [5] Кузин С.Г. Унификация проектирования сложных программных комплексов. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. - ISBN: 978-3-659-18156-6;
- [6] Лапшин В.А. Онтологии в компьютерных системах. М.: Научный мир, 2010;
- [7] Ротков С.И. Разработка средств геометрического моделирования и компьютерной графики пространственных объектов для CALS-технологий. Дисс. докт. техн. наук, 05.01.01 - Инженерная геометрия и компьютерная графика, Нижний Новгород, ННГАСУ, 1999 г. 280 стр.;
- [8] Тюрина В.А. Разработка методов преобразований каркасной модели в задаче синтеза образа 3D-объекта по его проекциям. Дисс. канд.техн. наук, 05.01.01 - Инженерная геометрия и компьютерная графика, Нижний Новгород, ННГАСУ, 2003 г, 150 стр.;
- [9] Котов И.И., Полозов В.С., Широкова Л.В. Алгоритмы машинной графики. М., Машиностроение, 1977 г. 230 стр.;
- [10] Полозов В.С., Ротков С.И. и др. Автоматизация проектирования. Геометрические и графические задачи. М., Машиностроение, 1983 г. 280 стр.