

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИ ВЕКТОРИЗОВАННЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ

Рассматривается применение методов параметризации для получения "правильных" компьютерных моделей автоматически векторизованных чертежей. Исследуются возможности применения графических систем с встроенной параметризацией для решения указанной проблемы.

1. Состояние проблемы

В промышленности является актуальной проблема быстрого, точного и недорогого ввода технических чертежей в системы автоматизированного проектирования. Ручной ввод чертежей является не только медленным, но и дорогим процессом. Использование для этих целей сканеров позволяет быстро получать растровый формат изображений, однако необходимо иметь достаточно сложное программное обеспечение, чтобы преобразовать изображения в модели САПР достаточно высокого уровня.

Проблема автоматического преобразования сканированных инженерных чертежей в форматы CAD может быть разделена на следующие этапы:

- 1) векторизация изображения для получения векторного представления в терминах простейших графических примитивов;
- 2) распознавание векторной модели с целью получения описания чертежа в терминах универсальных элементов чертежа (графических примитивов);
- 3) редактирование векторизованного чертежа;
- 4) получение "правильной" компьютерной модели чертежа;
- 5) выделение двумерных объектов, имеющих в библиотеках CAD, с параметрами и отношениями;
- 6) формирование полной трехмерной модели со всеми семантическими атрибутами.

Идеальное решение проблемы интерпретации изображений состоит в полной автоматизации трудоемкого ввода и подготовки всей необходимой информации для решения соответствующих прикладных задач. Однако существующий уровень теории распознавания изображений не позволяет полностью автоматизировать этот процесс, т.е. обойтись без вмешательства человека. Поэтому основная цель, которая должна быть достигнута при разработке системы автоматизации ввода технических

чертежей, состоит в минимизации объема рутинного человеческого труда по кодированию (цифрованию) графической информации.

Существует много публикаций, посвященных решению этой проблемы, однако большинство из них ограничивается описанием средств, выполняющих векторизацию растровых изображений и позволяющих получать описание изображения в терминах простейших графических примитивов [1,2]. Одним из основных недостатков таких систем является то, что формируемый уровень описания чертежа является недостаточным для современных САПР, и объем дальнейших доработок по доведению описания чертежа до нужного уровня остается весьма существенным. Публикаций, посвященных системам, ориентированным на получение описания изображения чертежа достаточно высокого уровня, на сегодняшний день имеется немного [3].

Однако существующие программные средства векторизации чертежей имеют также и другой серьезный недостаток. Он заключается в том, что компьютерная модель чертежа, полученная после его сканирования и векторизации, как правило, не будет соответствовать размерам и другим связям (касание, параллельность, перпендикулярность, симметрия, коллинеарность и т.д.), имеющимся на исходном чертеже. Указанный недостаток существенно ограничивает возможности использования векторизованных чертежей в сквозном процессе автоматизированного проектирования.

Рассмотрим простой пример, изображенный на рис. 1.

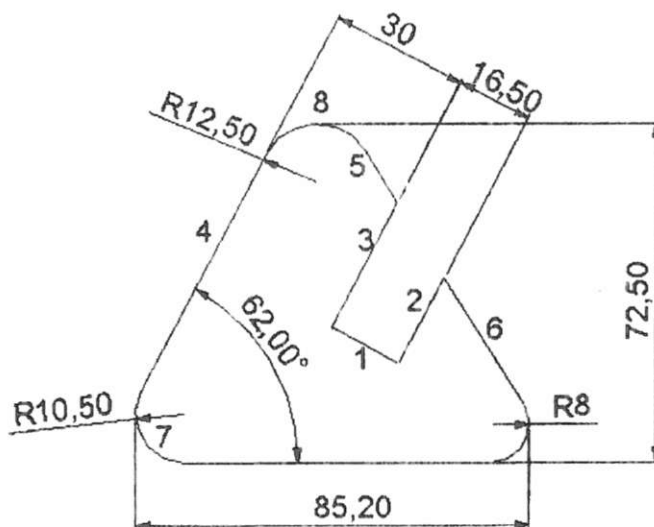


Рис. 1. Чертеж детали

После его сканирования и векторизации мы получим компьютерную модель чертежа, в которой координаты отрезков и дуг окружностей не будут соответствовать тем размерам, которые проставлены на чертеже.

Это связано с тем, что исходный чертеж чаще всего является не строго масштабным и может быть выполнен с погрешностями. Тем более это относится к размерам с десятками и сотыми долями миллиметров. Многие размеры на машиностроительных чертежах вообще не проставляются, а подразумеваются. Например, на рис.1. отрезки 1 и 3, 1 и 2 взаимно перпендикулярны, хотя это никак не оговорено на чертеже. Нет никакой гарантии, что после векторизации чертежа это условие будет выполнено. То же самое относится к параллельности отрезков 3 и 4, коллинеарности отрезков 5 и 6, а также к обеспечению условий касания отрезков и дуг окружностей.

Сказанное выше приводит к необходимости разработки специализированных средств для редактирования и параметризации чертежа.

В существующих CAD-системах, таких как SolidWorks, PRO/Engineer, GCAD, существуют средства параметризации. Однако параметризация автоматически векторизованных чертежей имеет ряд особенностей и не рассматривалась в литературе. В предложенной выше технологии два первых этапа являются автоматическими и были рассмотрены в наших работах [4,5], тогда как третий этап является интерактивным, и он рассматривается в данной статье. В ней рассматриваются вопросы редактирования и параметризации автоматически векторизованных чертежей, приводятся результаты выполненных экспериментов и даются соответствующие рекомендации.

2. Редактирование автоматически векторизованных чертежей

Можно выделить два основных способа редактирования векторизованного чертежа. В первом случае векторизованный чертеж погружается в графический редактор, что позволяет, например, удалить некорректные элементы чертежа, построить их вновь (примером является создание и редактирование чертежа в системе Autocad). Во втором случае предварительно векторизованный чертеж рассматривается как эскиз, который подвергается соответствующим корректировкам, затем на него наносятся все необходимые размеры и задаются отношения между его элементами, и только потом, в автоматическом режиме, строится "правильная" компьютерная модель объекта (примером является создание и редактирование чертежа в системе SolidWorks). Рассмотрим данные варианты более подробно.

Процесс ручного редактирования векторизованного чертежа средствами обычного графического редактора типа Autocad обычно заключается в том, чтобы, прежде всего, устранить искажения, возникшие в процессе сканирования и векторизации чертежа (особенно для мелких элементов). Проще всего это сделать, загрузив векторизованный чертеж в графический редактор. Это позволяет, например, удалить некорректные элементы чертежа, построить их вновь. Обычно это относится к

размерным группам, текстовым надписям, обозначениям шероховатости, отклонений формы и расположения поверхностей и т.д.

Однако дальнейшее редактирование чертежа средствами графической системы типа Autocad, как правило, является довольно трудоемким. Например, если на рис.1 автоматически распознать касание отрезка 4 с дугами 7 и 8, а затем отбросить ранее построенный отрезок 4 и вновь построить его касательно к дугам 7 и 8, то это приведет к изменению угла между отрезками 4 и 9. Если затем уточнить величину радиуса R12,5, не меняя координаты центра этой дуги, то это вновь приведет к изменению угла между отрезками 4 и 9, а также к необходимости вновь строить отрезок 4 касательно к дугам 7 и 8 и т.д.

Естественно, что чертеж может быть полностью отредактирован средствами графического редактора Autocad таким образом, чтобы его компьютерная модель соответствовала проставленным на чертеже размерам и связям между элементами. Однако по трудоемкости этот процесс почти равносителен созданию модели чертежа средствами Autocad'a с самого начала. Более того, системы типа Autocad принципиально не подходят для такого вида корректировок векторизованных чертежей. Это связано с тем, что если в Autocad'e мы хотим построить модель чертежа так, чтобы все координаты его элементов в точности соответствовали проставленным на чертеже размерам, то мы должны строить этот чертеж последовательно, элемент за элементом, каждый раз указывая соответствующие размеры для построения следующего элемента чертежа. Поэтому если мы векторизовали некоторый чертеж, то для получения его "правильной" компьютерной модели с помощью Autocad'a необходимо этот чертеж заново перестроить.

3. Редактирование автоматически векторизованных чертежей в графических системах с встроенной параметризацией

Существуют другие графические системы, в которых получение "правильной" компьютерной модели чертежа после его векторизации может быть осуществлено совершенно иначе. К ним относятся системы, поддерживающие технологию построения модели объекта по принципу "эскиз-модель". Это означает, что вначале строится эскиз детали или чертежа, затем на него наносятся все необходимые размеры и задаются отношения между его элементами (параллельности, перпендикулярности, касания и т.д.), и только потом, в автоматическом режиме, строится "правильная" компьютерная модель объекта. К указанным системам относятся, например, параметрические системы GCAD [6], SolidWorks, PRO/Engineer, DesignPost Drafting и ряд других. По отношению к таким системам векторизованный чертеж можно рассматривать как эскиз. Затем, подвергнув этот эскиз определенной корректировке и задав соответствующие отношения, следует выполнить заложенную в этих

системах специальную команду регенерации, или перестроения модели с целью получения компьютерной модели чертежа, соответствующей проставленным на эскизе размерам.

Частично отношения между элементами чертежа после его сканирования и векторизации могут быть распознаны автоматически, а остальные дополнительно введены в диалоговом режиме. Затем, если это необходимо, они могут быть отредактированы вручную (удалены, добавлены, откорректированы). После этого выполняется этап пересчета модели чертежа, в результате которого находятся "правильные" значения его геометрических параметров. Таким образом, проблема получения "правильной" компьютерной модели чертежа после его сканирования и векторизации может быть сведена к известной задаче параметризации моделей геометрических объектов.

По существу задача параметризации геометрических объектов ставится следующим образом. Существует некоторое множество геометрических элементов (точки, отрезки, окружности, обозначения шероховатостей и т.д.) и отношений между ними (параллельность, касание, симметрия, инцидентность, размеры и др.). Необходимо определить точные значения параметров геометрических элементов (координаты концов отрезков, радиусы окружностей и координаты их центров), удовлетворяющие заданным отношениям.

4. Особенности параметризации автоматически векторизованных чертежей

В настоящее время существуют несколько методов параметризации геометрических объектов. Некоторые из них рассмотрены в работах [6-8]. Существуют также графические системы, целиком построенные на идее параметризации. К ним относятся, например, графические системы GCAD[6] разработки Института технической кибернетики НАН РБ, PRO/Engineer фирмы Parametric Technology Corp.(США), DesignPost Drafting фирмы Computervision(США), SolidWorks одноименной фирмы(США) и некоторые другие. Однако модели машиностроительных чертежей, полученные в результате их сканирования и векторизации, обладают некоторыми специфическими особенностями, из-за которых не любые методы параметризации могут быть использованы для получения их "правильных" компьютерных моделей.

С точки зрения параметризации моделей чертежей главной особенностью сканируемых чертежей является неполнота присутствующей на них размерной информации. Это может происходить по разным причинам. Во-первых, размеров может просто не хватать. Во-вторых, например, на сборочных чертежах принято проставлять только некоторые размеры. В-третьих, на чертежах отдельных деталей, если они выполнены в виде нескольких проекций, сечений, разрезов, выносок, каждый из этих фрагментов в отдельности также окажется неполностью

образмеренным, и тогда для их однозначного определения следовало бы указывать сложные проекционные связи. В-четвертых, на чертежах всегда присутствуют вспомогательные линии (обозначения центров окружностей, осевые линии и др.), которые никогда не образмериваются.

При построении "правильной" компьютерной модели чертежа далеко не всегда неуказанные размеры могут быть приняты такими, какими они оказались после сканирования и векторизации, так как это может привести к противоречию с другими размерами и связями, присутствующими на чертеже.



Рис. 2. Чертеж, на котором изображение не соответствует размеру

Например, на рис.2 изображен прямоугольный треугольник с острым углом в 45° , однако на чертеже величина этого угла указана равной 50° . Если после векторизации и последующей параметризации принять левый угол равным 50° , то тогда нельзя принять в качестве координат концов правого отрезка те координаты, с которыми этот треугольник был сканирован.

Параметризаторы, встроенные в существующие графические системы, построены на разных принципах и накладывают определенные ограничения на их использование для параметризации автоматически векторизованных чертежей. В графической системе GCAD [6] реализован линейно-последовательный метод автоматического построения модели объекта. Он заключается в том, что система автоматически отыскивает цепочку последовательных построений элементов объекта. Для этого "как бы строится" неориентированный граф, вершинам которого соответствуют структурные элементы модели объекта (отрезки, окружности, точки), а дугам - существующие связи между ними (касание, параллельность, расстояние и т.д.). Затем данный граф ориентируется таким образом, чтобы в каждую вершину входило такое количество дуг, которое определяет достаточное количество связей для однозначного построения структурного элемента объекта, соответствующего вершине графа. Указанный метод имеет следующие ограничения:

- 1) он применим только тогда, когда объект может быть построен последовательно, по одному элементу;

2) объект должен быть полностью образмерен, за исключением тех ситуаций, которые не приводят к противоречиям, если в качестве недостающих параметров снять их непосредственно с чертежа.

На практике чертежи обычно выполняются так, что последовательность поодиначного построения элементов объекта почти всегда можно отыскать. Однако второе ограничение нарушается значительно чаще. Преимуществом указанного алгоритма является возможность простого обнаружения недостаточно или избыточно образмеренных элементов чертежа.

Что касается системы PRO/Engineer, то она также требует, чтобы перед регенерацией модели по заданным размерам и отношениям на модели объекта были нанесены все размеры. Правда, эта система допускает применение произвольных схем образмеривания объекта, в том числе и таких, для которых невозможно отыскать цепочки одиночно-последовательных построений модели.

Указанных недостатков лишена графическая система SolidWorks. Она не требует от исходной модели, чтобы она была полностью образмерена, и допускает произвольные схемы простановки размеров.

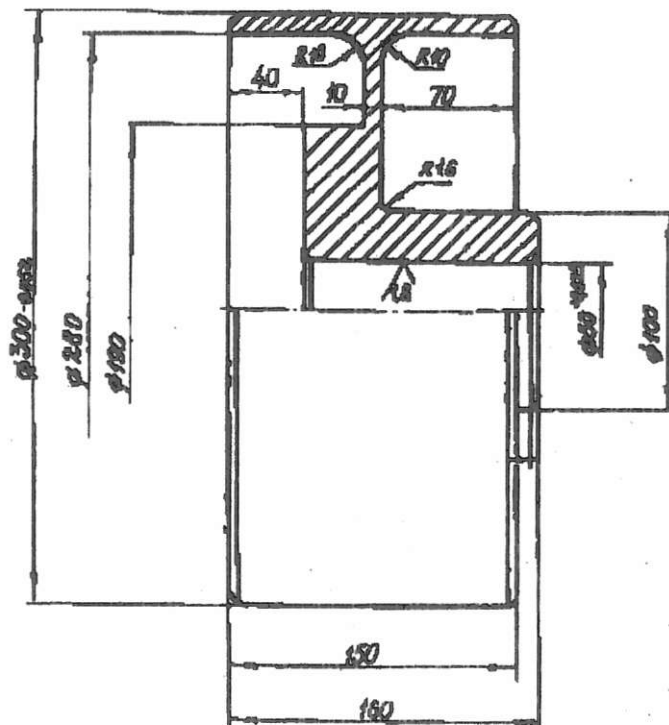


Рис. 3. Чертеж после его сканирования

5. Экспериментальные исследования по редактированию автоматически векторизованных чертежей в системах с встроенной параметризацией

Для проведения исследований по редактированию автоматически векторизованных чертежей с помощью графических систем с встроенной параметризацией были выбраны система автоматической векторизации и распознавания, разработанная в Институте технической кибернетики НАН Беларуси [4,5], и графическая система SolidWorks. Пример исходного чертежа после его сканирования приведен на рис.3.

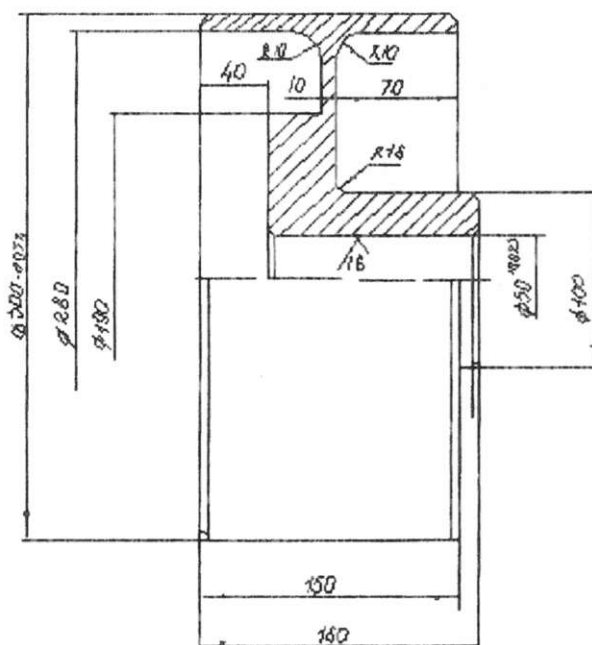


Рис.4. Результат автоматической векторизации чертежа

Результат автоматической векторизации чертежа показан на рис.4. После векторизации модель чертежа была преобразована в формат DXF, и в этом формате чертеж был передан в графическую систему SolidWorks. В системе SolidWorks вначале он был отредактирован с целью устранения искажений, полученных в результате сканирования и автоматической векторизации. Это редактирование заключалось в следующем:

- 1) удаление искаженных элементов и замена их на правильно построенные элементы;
- 2) удаление всех размерных групп и замена их на размеры, проставленные с помощью системы SolidWorks.

Последнее необходимо было сделать в связи с тем, что в системе SolidWorks размеры должны быть ассоциированы с теми элементами,

На следующем этапе средствами системы SolidWorks были установлены все отношения, присущие данному чертежу, например, были установлены горизонтальность и вертикальность соответствующих отрезков, касание отдельных элементов чертежа, инцидентности некоторых точек и отрезков прямых (последнее касалось изображений фасок на верхней и нижней половинах проекции).

Technical drawing of a mechanical part (Fig. 1.10) showing a cross-section with dimensions: 10, 70, 40, 150, 160, R10, R1.00, 1.6, 0.025, 0.052, 0.280, 0.190, 0.50, 1.00.

Рис. 5. Результат редактирования и параметризации чертежа

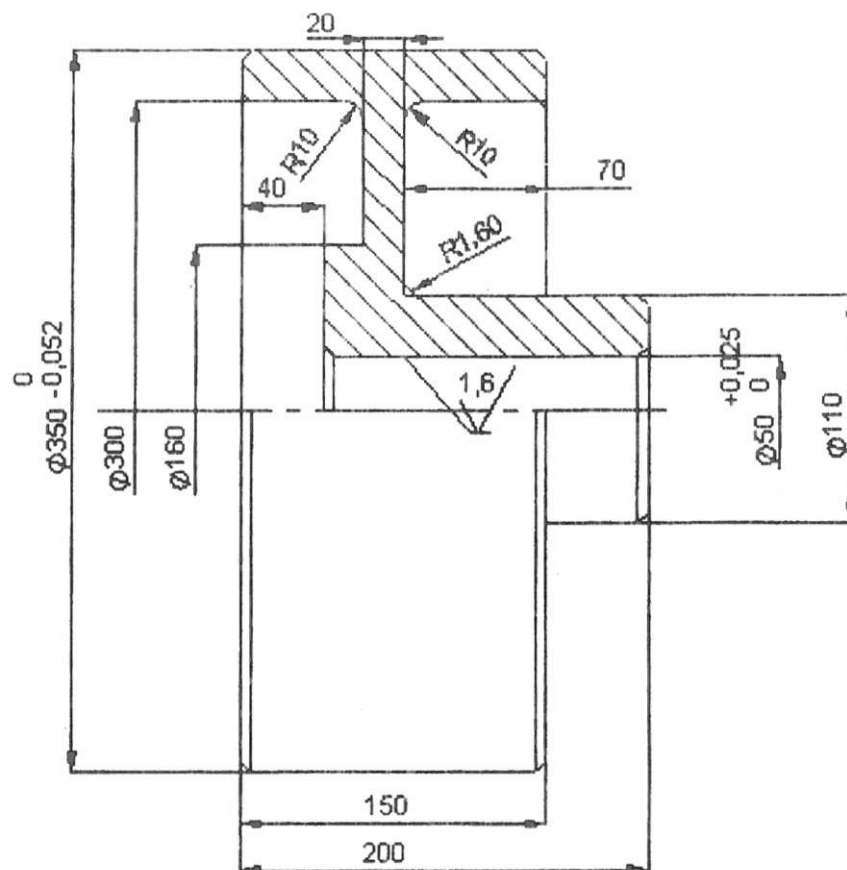


Рис. 6. Вариант чертежа после изменения значений его размерных параметров

На рис.6 приведен тот же чертеж, но с другими значениями размеров. Он был получен в системе SolidWorks после простой замены старых размеров на новые и автоматического пересчета модели.

Полученная таким образом компьютерная модель чертежа может быть применена не только для получения его твердой копии (для этого параметризацию чертежа можно было бы и не делать), но она может быть использована также на последующих этапах автоматизированного проектирования. В том числе одним из них может оказаться получение аналогичного чертежа, но с другими значениями размеров. При наличии "реляционной" модели чертежа (т.е. модели, содержащей множество структурных элементов чертежа и отношений между ними) этот вопрос решается простым пересчетом модели чертежа с новыми значениями размеров.

Выводы и заключение

Проведенные исследования показывают принципиальную возможность получения "правильной" компьютерной модели чертежа по результатам его предварительного сканирования и автоматической векторизации. Основой получения такой модели является использование методов параметризации геометрических объектов. При этом появляется также возможность одновременного получения параметризованного чертежа, что существенно расширяет сферу применения методов сканирования и векторизации чертежей.

Для решения поставленной задачи должны использоваться методы параметризации, позволяющие работать с неполностью образмеренными чертежами и с произвольными схемами простановки размеров на них.

Проведенные исследования показали также необходимость дальнейшего развития методов автоматической векторизации чертежей, поскольку после автоматической векторизации моделей чертежей часто имеются искажения, например:

- не всегда локализуются места расположения текстовых надписей, а иногда эти надписи просто аппроксимируются отрезками прямых;
- не всегда обеспечивается стыковка смежных линий;
- возможны искажения линий, особенно в мелких фрагментах чертежа;
- штриховые и штрих-пунктирные линии не распознаются, а представляются в виде цепочки отдельных коротких линий;
- то же самое относится к линиям, обозначающим разрезы и сечения;
- не всегда различаются контурные (сплошные основные) и тонкие линии;
- не всегда обеспечивается касание геометрических элементов в местах их плавного сопряжения.

Устранение указанных недостатков и развитие методов параметризации векторизованных чертежей позволит существенно расширить сферу применения технологии сканирования и векторизации чертежей.

Литература

1. Kasturi R., Bow S.T., El-Mastri W., Shah J., Gattiker J.R., Mokate U.B. A System for Interpretation of Line Drawings, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, vol.12, 978-992.
2. Vaxiviere P., Tombre K. Celesstin: CAD Conversion of Mechanical Drawings. IEEE Computer, 1992, vol.25, No.7, 46-54.
3. Tombre K. Graphics Recognition - General Context and Challenges. Pattern Recognition Letters, 1995, vol.16, No.9, 883-891.
4. Ablameyko S., Bereishik V. et al. System for Automatic Vectorization and Interpretation of Graphic Images. Pattern Recognition and Image Analysis, 1993, vol.3, No.1, 39-52.

5. Ablameyko S., Bereishik V., Frantskevich O., Mel'nik E., Khomenko M., and Paramonova N. Interpretation of Engineering Drawings: Techniques and Experimental Results, Pattern Recognition and Image Analysis, 1995, vol.5, No.3, 380-401.

6. Горелик А.Г. Графическая система, основанная на отношениях// Вести АНБ. Сер. физ.-матем. наук.- 1996.- N2.-С.105-111.

7. Roller D., Schoner F., Verroust A. Dimension-driven geometry in CAD: A Survey. Theory and Practice of Geometric Modelling. Hardcover, 1989, 509-523.

8. Горелик А.Г., Левин А.Г. Организация вычислительного процесса в системе геометрического моделирования, использующей реляционное представление объектов.- Минск, 1989. (Препринт/Ин-т техн. кибернетики АН БССР; N12).

*Институт технической
кибернетики НАН Беларуси*