УДК 658

Долгополик О.Д., Марьин Б.Н., Фролов Д.Н.
ОАО "Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное объединение им. Ю.А. Гагарина".
Россия, г. Комсомольск-на-Амуре

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ ГАБАРИТНЫХ РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ ДЕТАЛИ

Анотація

При впровадженні технологій автоматизації підготовки виробництва й оптимізації використання матеріалу на основі використання електронних моделей, створених у CAD системі Unigraphics, виникає задача визначення мінімальних габаритних розмірів деталі. Запропонована методика дозволяє визначити мінімальні габарити електронної моделі деталі на основі аналізу спрощеної фасетної моделі деталі і побудови на її основі опуклої оболонки по відомих алгоритмах для 3D випадку. З них був обраний один метод Грехема і зроблена його модернізація для 3D, що дозволила використовувати вже упорядковані точки фасетної моделі деталі.

Abstract

In the beginning of application technologies of computer-aided process planning of production and optimization of using materials on the base of applying Unigraphics CAD models a task arise about the determination of minimal overall dimensions of a part. Proposed method allows us to solve this task using analyze of a simplified facet model of a part and building it's convex hull by well-known algorithms for 3D case. Graham's method was selected and modified for 3D, which allows to use ordered points of a facet model.

При решении различных производственных задач, таких как компановка, сборка, нормирование материалов и.т.д, необходимо определять минимальные габаритные размеры детали или хотя бы минимальную высоту, что бы подобрать плиту для мехобработки, по её электронной модели. В современных системах САПР, как отечественного, так и зарубежного производства если эта задача и ставится, то реализуется частично [1]. Под габаритом детали в некотором направлении принято понимать растояние между двумя плоскостями перпендикулярными, заданному направлению и касающиеся тела с двух разных сторон (рис 1).

Таким образом, минимальный габарит детали это минимальное расстояние между касательными плоскостями для детали. Некоторые CAD системы, например Unigraphics, позволяют определить габаритные размеры детали в заданной системе координат. Эти габариты вычисляются в направлении осей заданной системы координат x, y, z. Чтобы найти минимальные габариты, необходимо либо эмпирически подобрать систему координат, что сейчас и делается на производстве, или по простой программе, методом перебора вычислить габариты по всем возможным направлениям с шагом по сфере в 2–5 градусов и выбрать минимальные. Время выполнения такой программы составляет минимум 15 минут для простой детали. Для ускорения времени вычисления можно использовать метод градиентного спуска, однако для деталей сложной формы с локальными экстремумами, реализация алгоритма усложняется, тем более что для реализации этой задачи вполне можно использовать упрощенную геометрическую модель. Так работа со сплайновыми функциями, используемыми в CAD системах требует больше вычислительных ресурсов, чем работа с плоскостями, поэтому для простоты и универсальности мы предлагаем использовать фасетную модель (ФМ) – упрощенное, с наперед заданной точностью, представление поверхности детали многогранником, где каждая грань – это плоский многоугольник. Во многих CAD системах, например Unigraphics [1], существует возможность построить фасетную модель, аппроксимирующую исходную, соединенными пирамидами, с заданной точностью максимального угла отклонения нормали поверхности к нормали плоскости фасета или максимального отклонения плоскости фассета от поверхности модели. Тем самым предложенный метод универсален и может использоваться во многих CAD системах.

Существует несколько подходов к решению данной задачи. Так в работе [2] Фримана и Шапира по определению прямоугольника минимальной площади охватывающего произвольную замкнутую кривую, кривая заменяется

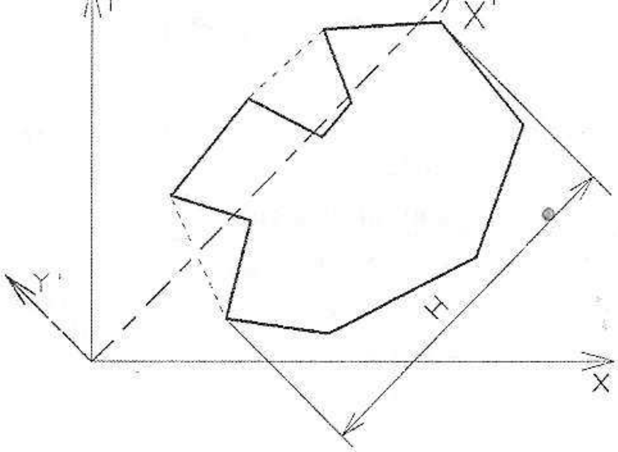

Рис. 1. Габарит детали H в направлении x'

апроксимирующим многоугольником и доказывается, минимальный охватывающий прямоугольник должен касаться одной из сторон и для его поиска требуется время пропорциональное квадрату числа сторон многоугольника. В работе [3] О'Рурка дан алгоритм нахождения минимального охватывающего прямоугольного параллелепипеда (коробки) для множества точек в трехмерном пространстве, но его метод требует уже $O(n^3)$, где n – число точек множества. Несколько иная задача решается в работе [4] Мартина и Стефенсона, а именно, можно ли разместить объект в прямоугольной коробке как для 2-х так и для 3-х мерного случая? Алгоритм представленный в статье Мартина и Стефенсона решает задачу, требует время пропорциональное квадрату числа граней. Авторы работы [4] предложили сначала вычислить охватывающий выпуклый многогранник (выпуклую оболочку), а уже затем искать минимальную охватывающую коробку. Они обосновывают этот подход несколькими причинами. Во-первых, в работе Туссэна [5] доказано, что если объект размещается в прямоугольной коробке, то и его выпуклая оболочка также должна поместиться в ней. Это является очевидным, если взять две любые точки многогранника, лежащие на границе, то прямая линия, соединяющая их должна лежать не только внутри выпуклой оболочки, но и внутри охватывающей коробки также, поскольку она также выпукла. Во-вторых, алгоритмы работы с выпуклыми оболочками проще и в-третьих, число точек выпуклой оболочки может быть значительно меньше, чем число точек исходного многогранника. Кроме, того на наш взгляд выпуклая оболочка объекта может быть использована и для решения многих других задач подготовки производства. Существует несколько алгоритмов нахождения выпуклых оболочек для 3-х мерного случая, которые в среднем требуют время пропорциональное $O(n*logn)$, где n – число точек.

Один из лучших алгоритмов вычисления выпуклой оболочки для 3-х мерного случая Quickhull предложен в работе [8] Барбера, Добкина и Хахдэнпэ. Суть алгоритма в том, что вначале из 4-х наиболее удаленных друг от друга точек строится тетраэдр. К которому затем рекурсивно добавляются внешние точки для данной i-й итерации внешней оболочки. При работе алголитма анализируются различные грани выпуклой оболочки и вычисляются наиболее удаленные точки от анализируемой плоскости, т.е. высота выпуклого многогранника в заданном направлении. Если выполнить небольшую модернизацию алгоритма Quickhull, чтобы находить высоту многогранника в анализируем текущем направлении и сравнивать её с ранее найденной минимальной высотой, то мы получим первое приближение к поиску направления минимальной высоты.

После нахождения выпуклой оболочки, мы принимаем найденное направление минимальной высоты многогранника за начальное и находим наиболее близкую к заданному направлению грань по направлению её нормали. Затем использую метод предложенный в статье [4], вращаем выпуклую оболочку переходя на соседние грани, но в отличии от их метода мы используем метод градиентного спуска для чего из всех соседних с текущей гранью, мы выбираем ту у которой угол с текущей наибольший, цикл повторяется до тех пор пока высота многогранника в направлении нормали текущей грани не будет больше, чем в направлении предыдущей. Таким образом, при том же порядке сложности алгоритма $O(pe)$, где p – число граней выпуклой оболочки, а e – число её точек, наш алгоритм обходит значительно меньшее число граней для нахождения минимальной высоты многогранника и значит работает быстрее. Остальные габариты минимальной коробки, находятся методом проецирования всех точек выпуклой оболочки на плоскость перпендикулярную направлению минимальной высоты и нахождения направления минимальной высоты полученного выпуклого многоугольника. Оставшиеся направления вычисляется векторным произведением двух найденных.

Предложенный метод неплох, но он не учитывает, того факта, что фасетная модель строится по электронной модели тела и грани фасетной модели уже упорядочены. Существует алгоритм Грэхема [6] построения выпуклой оболочки, для 2-х мерного случая, обхода упорядоченных точек многоугольника за время $O(n)$. Предлагается модернизация этого алгоритма для 3-х мерного случая. Также как и для двухмерного случая нужно выбрать начальное направление и найти наиболее удаленную точку P_0. В цикле обходим ребра графа фассетной модели в ширину [7] из этой точки. После спуска на один уровень вниз от точек предыдущего уровня, также анализируем выпуклость, но не для линий, а для граней фасетной модели (рис. 2). На рисунке показан пример обхода ребер фасетной модели тела из точки A. На четвертом уровне глубины обхода в точку E сойдутся два пути по ребру CE и DE, которые принадлежат одному фасету CDE.

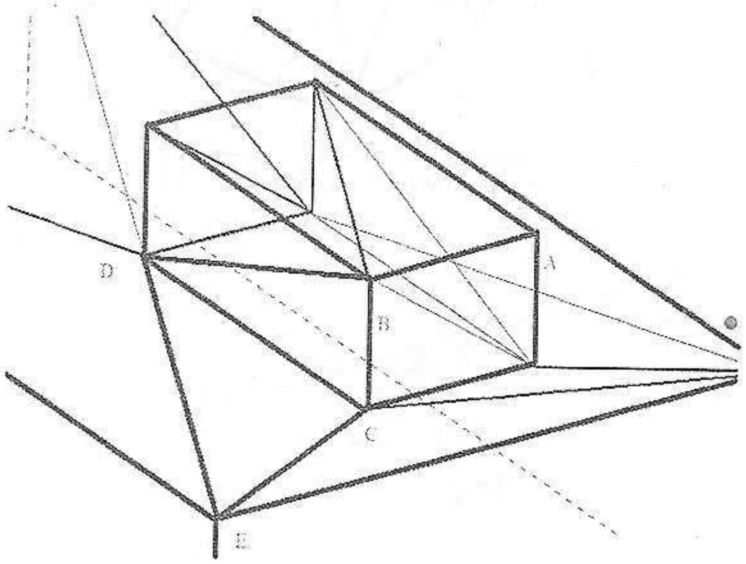

Рис. 2. Удаление вогнутых граней

Этот фасет по ребру CD касается фасета BCD и угол между этими фасетами меньше π.

Также как для 2-х мерного случая удаляем ребро CD и грани CDE и BCD, а вместо них вводим ребро BE и грани BCE и BDE. Аналогично проверяем все остальные грани фасетной модели у которых на текущем уровне обойдены все ребра и в случае соседства с гранью, также с обойденными ребрами и образующей угол меньше π, делаем соответствующие замены. Для вновь созданных граней проверяем вогнутость с соседними обойденными гранями и делаем соответствующую замену до тех пор пока со всеми соседями грани образуют выпуклое соединении. Вновь спускаемся вниз по ребрам фасетной модели на уровень вниз и повторяем процесс описанный выше. Так мы продолжаем пока все ребра не будут обойдены. Время обхода ребер фасетной модели для данного алгоритма O(n), где n - число точек фасетной модели.

После построения выпуклой оболочки ВО предложенным расширением метода Грэхема, ищем минимальные габариты выпуклой оболочки методом градиентного спуска как упоминалось выше (рис. 3), но уже за начальное направление принимаем направление нормали произвольной грани выпуклой оболочки, например грань ABCDE на рис 3. На рис. 4 показан пример детали и её выпуклой оболочки. Для удобства оболочка показана полупрозрачно.

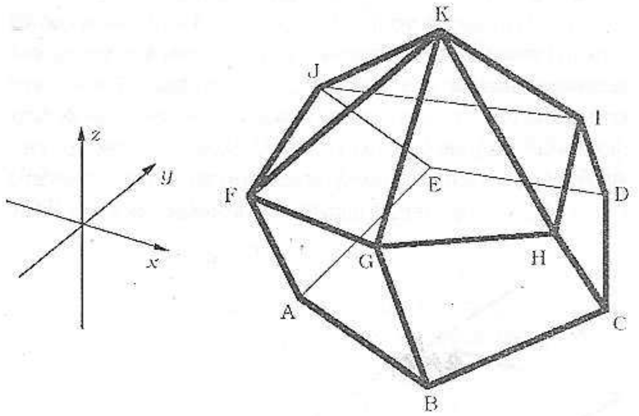

Рис. 3. Обход граней выпуклой оболочки

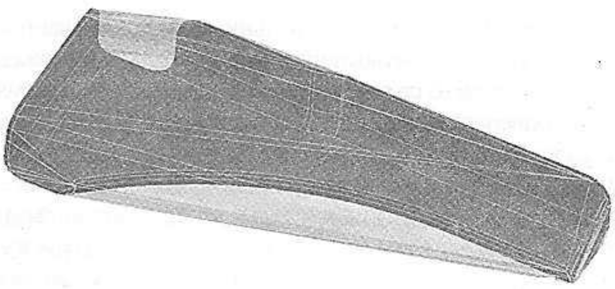

Рис. 4. Пример детали и ее выпуклой оболочки

В статье нами предложена методика определения минимальных габаритных размеров детали по фасетной модели (ФМ) тела (многограннику) такая, что вычисления осуществляется за "короткое" для пользователя время, несколько секунд на обычных современных компьютерах. Данная методика была опробована на процедуре нормирования материалов на этапе подготовки производства ОАО КнААПО, г. Комсомольск на Амуре.

Литература

1. *Руководство* пользователя по моделированию в системе Unigraphics NX2, UGS, 2004. 650 с.

2. *H.Freeman, R. Shapira.* Determining the Minimum-Area Encasing Rectangle for an Arbitrary Closed Curve. Comm. ACM, 18, (7), 409-413, 1975.

3. *J. O'Rourke.* Finding Minimal Enclosing Boxes Int. J. Computer and Information Science, 14(3) 183-199, 1985.

4. *R.R. Martin, P.C. Stephenson.* Containment Algorithms for Objects in Rectangular Boxes.

5. *G.T. Toussaint.* Solving Geometric Problems with the "Rotating Calipers". Proc. IEEE MELECON'83, Athens, Greece, 1983.

6. *F. P. Preparata, M.I. Shamos.* Computatinal Geometry. An introduction. Springer-Verlag New York Inc. 1985.

7. *Кнут Д.* Искусство программирования для ЭВМ. Т.3. Сортировка и поиск. М.: Мир, 1978.

8. *C.B. Barber, D.P. Dobkin, H. Huhdanpaa.* The Quickhull Algorithm for Convex Hulls.