

УДК 629.78

Андреев С.В., Шулепов А.И.

### СТОХАСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЯГКИХ ОБОЛОЧЕК

В конструкции космических аппаратов (КА) используются элементы, представляющие собой мягкие оболочки (МО). К таковым относятся надувные отсеки и целые КА, купола различных парашютов, аэродинамические тормозные устройства, поисково-спасательные контейнеры, баллоны плавучести, детали экранно-вакуумной изоляции, амортизирующие подушки и т. д.

Обычно изначально такие элементы находятся в сложенном состоянии. В рабочем положении они находятся в развёрнутом (раскрытом, надутом и т. п.) виде. К настоящему времени способы укладки МО получались исключительно опытным путём. Растущий интерес к применению трансформирующихся элементов на основе МО в составе КА заставляет искать методы компоновки МО, поскольку экспериментальная отработка оказывается весьма затруднительной.

Существующие методы решения задач размещения базируются на использовании методов оптимизации [1]. Как правило, компоновка КА получается в результате поиска экстремума некоей целевой функции плотного размещения. Таким путём возможно получить решения для блоков бортовой аппаратуры и элементов силовых конструкций КА. Менее удовлетворительные решения даёт такой подход при трассировке бортовых кабельных коммуникаций.

При всех своих достоинствах оптимизационный подход на практике показал свою несостоятельность в силу специфики современной организации проектно-конструкторских работ. При таком подходе не учитывается нечёткий характер размеров размещаемых блоков. Кроме того, построение ограничений целевой функции, зависящих от ряда трудно формализуемых факторов, и построение самой целевой функции приходится проводить индивидуально для каждой задачи, что крайне трудоёмко. Кроме того, традиционные модели, используемые в задачах размещения, мало подходят для МО.

Логично было бы отойти от попыток поиска функциональных зависимостей и попытаться алгоритмизировать наработанный экспериментальный опыт размещения МО. Одним из вариантов такого пути является использование нейронных сетей для

компоновки КА [2]. Но для успешной реализации данного подхода желательно иметь вариант размещения МО, полученный каким-то другим путём, чтобы иметь возможность оценить результат работы нейронной сети. Для этого предлагается использовать метод стохастического размещения МО.

Рассмотрим задачу размещения МО. Имеем зону размещения (ЗР), которая абстрагирует то пространство на КА, где должна размещаться МО в сложенном виде. В качестве требований к сложенному виду будем рассматривать необходимость сохранять определённое положение центра масс ЗР, а также возможность уместить МО в заданной ЗР. Кроме того, считаем, что оболочку можно изгибать с неким минимальным радиусом.

Для упрощения рассмотрим плоскую задачу, когда оболочка моделируется ломаной. Очевидно, что набор точек ломаной может интерпретироваться как набор опорных точек аппроксимационной кривой (например Безье), более адекватно представляющей МО. Минимальный радиус сгиба пересчитываем в допустимый угол между отрезками.

Предположим, что начало алгоритма укладки МО выглядит следующим образом:

- 1) Совмещаем центр масс (ЦМ) паходящейся в раскрытом положении МО с ЦМ ЗР.
- 2) Проверяем, какие части МО попали внутрь ЗР, а какие нет.
- 3) Сравниваем размеры областей, на которые разделилась ЗР, и размеры неуместившихся частей МО.
- 4) Сгибаем нсуместившуюся часть МО в месте пересечения с ЗР и проверяем положение ЦМ.

На примере этого фрагмента виден ряд вопросов, требующих отдельного решения. На первом шаге совмещены ЦМ. При этом подразумевается, что в результате МО каким-то нужным образом будет уложена. Но, как правило, в ЗР она попадает через довольно ограниченную область. Оболочка может быть так сложена, что поместить её в ЗР будет невозможно.

При размещении блоков аппаратуры в ЗР отсека КА определяют порядок размещения блоков в зависимости от габаритов и массы. В данном случае непонятно, какую точку МО надо совместить с ЦМ, чтобы получить наилучшую компоновку.

Рассмотрим шаги 2 и 3. Оболочка может обладать, например, симметрией. В результате возникнут равнозначные варианты дальнейших действий. Выбор того или

иного варианта алгоритмизируется крайне сложно.

На шаге 4 в ЗР уместается часть МО. В каких местах сгибать эту часть МО, строго говоря, тоже непонятно.

Стохастический подход позволяет решить часть вышеперечисленных вопросов и получить в итоге работоспособный алгоритм, дающий варианты решения задачи размещения пусть не оптимальные, но вполне пригодные для оценки других алгоритмов.

Возможно принять допущение, что МО при любом варианте укладки попадёт в ЗР. Считаем, что участки ломаной не могут деформироваться.

1) Назначается такое исходное положение МО в виде набора координат концов ломаной, когда последняя точка МО совпадает с ЦМ ЗР.

2) Затем просчитываются углы между отрезками ломаной.

3) Случайным образом сдвигаем первую (i-ю) точку, т. е. по сути поворачиваем отрезок ломаной случайным образом.

4) Сравниваем новое положение ЦМ МО и ЗР.

5) Проверяем, выходит ли МО за границы ЗР. Если «нет», то возможно закончить размещение.

6) Если «да», то возвращаемся к пункту 3.

Возможна остановка по критерию положения центров масс МО и ЗР.

Возвращаясь к трёхмерному варианту задачи, следует заметить, что плоскость сгиба будет генерироваться случайным образом и придётся допустить возможность сгибов оболочки в произвольных плоскостях.

#### **Библиографический список**

1. Гаврилов, В.Н. Автоматизированная компоновка приборных отсеков летательных аппаратов [Текст]/ В.Н. Гаврилов. – М.: Машиностроение, 1988. – 136 с.
2. Андреев, С.В. Некоторые представления мягких оболочек в системах автоматизированной компоновки [Текст]/ С.В. Андреев. // Сб. тез. докл. молодежной научно-технической конференции «XXI Гагаринские чтения». – Москва. – 1995. – Ч. 3. – с. 77.