

Объектно-ориентированный подход к 3D моделированию анатомических структур и идентификация трехмерных объектов

Валерий И. Хабаров, Денис В. Фроловский

Новосибирский Государственный Технический Университет

Новосибирск, Россия

Аннотация

В работе рассматривается оригинальный подход к моделированию анатомических структур. В качестве применения этого подхода описано решение задачи идентификации трехмерных объектов на примере лица человека.

Ключевые слова: *объектно-ориентированная модель, сеточная модель, деформационные преобразования, антропометрические ограничения.*

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разработано достаточно большое количество методов для трехмерного моделирования. Основное различие между ними определяется способами задания поверхностей: NURBS [2], NURMS[3], сплайновые [7], сеточные [6] и др. Ряд подходов используют расчленение поверхностей на составные части, которые либо более легко описываются [4], либо представляют из себя самостоятельные (в функциональном отношении) элементы [1].

Можно отметить два существенных недостатка этих подходов:

- 1) *узкий круг применения:* построив модель для головы человека, невозможно перенести ее на другие части тела, например руку или ногу;
- 2) *несвязанность модели с реальным объектом:* достаточно трудно реализовать функционирование модели в виртуальном мире, ее взаимодействие с другими виртуальными объектами.

2. ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ

Представленный здесь объектно-ориентированный подход устраняет эти недостатки. В его основе лежит рассмотрение трехмерной модели не просто как поверхности, вырванной из контекста и лишенной смысла, присущего моделируемому объекту, который она представляет, а как **объекта** виртуального мира, способного функционировать по всем законам, определенным для него «природой».

В этом подходе заложена композиция графической информации о трехмерной поверхности и

семантической информации [5] о моделируемом объекте. Семантика описывает как связь внешнего вида объекта (его графического представления) с его внутренним строением, так и условия его функционирования (реакция на внешние воздействия и собственное поведение при отсутствии внешних факторов), т. е. наделяет объект собственным «интеллектом».

Таким образом, у **объектно-ориентированной модели** (ООМ) можно выделить три уровня:

- 1) *внутренний:* содержит информацию о внутреннем строении объекта;
- 2) *функциональный:* обеспечивает связь первого и третьего уровней и задает правила, по которым моделируемый объект будет «жить»;
- 3) *внешний:* содержит графическую информацию, используемую для визуализации.

Иными словами, ООМ содержит в себе как данные, так и методы для работы с ними (инкапсуляция).

По существу, большинство разработанных до настоящего времени методов, представляют третий уровень ООМ. Остальные же два уровня существенно расширяют существующие модели и методы и обеспечивают возможность широкого применения объектно-ориентированной модели.

2.1 Применение объектно-ориентированного программирования

В качестве еще одного преимущества объектно-ориентированной модели можно назвать ее идейную близость к объектно-ориентированному программированию (ООП) [8], которое завоевывает в последнее время все большие сферы влияния.

ООП предлагает подход, который с успехом использует природные способности человеческого мышления к классификации и абстрагированию. Объекты и их свойства, наследование и иерархия – с этими понятиями человек ежесекундно сталкивается в своей повседневной жизни, они привычны и интуитивно понятны любому. ООП фактически представляет собой проектирование классов объектов. При этом программист всякий раз становится творцом особого мира, где эти

объекты возникают, разрушаются, меняют свое состояние и взаимодействуют друг с другом. И прежде всего ООП требует от нас рассматривать программу не как последовательность действий, а как особый мир, живущий своей жизнью.

Можно населить этот мир объектно-ориентированными моделями. Тогда мы получим виртуальный мир, который будет прообразом реального мира и все объекты в нем будут жить по заданным для них законам.

2.2 Трехуровневая модель головы человека

Построим модель головы человека в рамках описанной выше ООМ. Первый уровень модели, содержащий информацию о ее внутреннем строении – это череп, второй уровень – мышцы головы, хотя это несколько сужает определение второго уровня, но на данном этапе для моделирования головы без рассмотрения ее взаимодействия с окружающим миром, этого будет вполне достаточно. В качестве третьего уровня рассмотрим поверхность головы.

2.2.1 Череп

Обычно в краниологии череп восстанавливают по информации о горизонтальных сечениях. Согласно [10,11,12], наиболее информативные горизонтальные сечения строятся по 9 антропометрическим точкам:

- 1) Верхушечная (vertex, ve) – наиболее высокая точка головы при установлении ее в глазнично-ушной горизонтали.
- 2) Глабелла (glabella, gl), или надпереносье – точка пересечения продолжения медиальных отростков надбровных дуг со срединной линией головы. Пальцами прощупывается наиболее выступающая вперед точка.
- 3) Затылочная (opisthokranion, op) – наиболее выступающая назад точка затылка, лежащая на срединной линии.
- 4) Теменная (eugion, eu) – наиболее выступающая в сторону точка боковой стенки головы. Располагается над ухом в области теменной или височной кости.
- 5) Ушная (pogion, po) – центр уха.
- 6) Подносовая (subnasale, sn) – наиболее глубокая точка, лежащая в вершине угла, образуемого носовой перегородкой и фильтром верхней губы.
- 7) Ротовая (stomion, st) – точка смыкания верхней и нижней губы, лежащая на срединной сагиттальной линии.
- 8) Энтокантион (entocantion, en) – точка во внутреннем углу глаза, лежащая в месте смыкания верхнего и нижнего века.
- 9) Подбородочная (gnathion, gn) – самая нижняя точка, лежащая на крае подбородка по срединной линии.

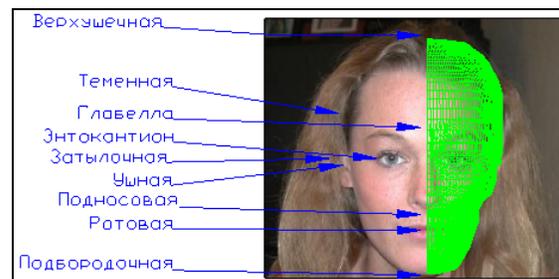


Рисунок 1: Основные антропометрические точки черепа.

Кроме того, для реалистичного построения черепа основных сечений недостаточно и необходимо построить дополнительные уровни (в литературе встречаются до 80 уровней), что в совокупности даст первый уровень модели.

2.2.2 Мышцы головы

Мышцы головы можно разделить на два типа: мимические и жевательные [13]. Большинство мимических мышц сосредоточено вокруг естественных отверстий в области лица. Начинаясь на поверхности кости или от подлежащих фасций, они оканчиваются в коже, поэтому при сокращении способны вызывать сложные движения кожи. Выразительные движения мышц лица (мимика) отражают внутреннее душевное состояние (радость, печаль, страх и т. д.) Мышцы лица участвуют также в членораздельной речи и акте жевания.

Жевательные мышцы действуют на височно-нижнечелюстной сустав и приводят в движение единственную подвижную кость лицевого черепа – нижнюю челюсть, обеспечивая механическое измельчение пищи – жевание (отсюда их название). Бесспорно участие жевательных мышц также в членораздельной речи и других функциях, связанных с движениями нижней челюсти.

Известно, что в каждой расовой группе строение головы имеет общие черты [11,12]. Но и в каждой расовой группе можно наблюдать так называемый тонкий и грубый типы строения лица. Слой жировой и мышечной клетчатки на лице распространяется не равномерным слоем. Линия профиля лица является чем-то более или менее стабильным, в то время, как толщина подкожного покрова достаточно сильно изменяется на горизонтальных сечениях. М. М. Герасимов выявил некоторые закономерности в толщинах мягких покровов лица среди разных возрастных и расовых групп людей [11,12]. Пользуясь этими данными можно с достаточно большой вероятностью определить возраст человека и его расовую принадлежность.

2.2.3 Поверхность головы

При моделировании поверхности головы основную сложность представляет только поверхность лица, т. к. остальная часть поверхности головы практически повторяет поверхность черепа (толщина мышечной прослойки в затылочной части относительно мала), поэтому в дальнейшем вместо термина поверхность головы будем употреблять «поверхность лица» или просто «лицо».

Итак, представим поверхность лица в виде композиции сеточных поверхностей составляющих его частей: лоб, брови, глаза, нос, щеки, рот и подбородок.



Рисунок 2: Разбиение лица на составные сеточные поверхности.

Изменяя координаты точек этих составляющих поверхностей или их взаимные расположения, можно придавать лицу различные выражения: улыбку, отвращение, подмигивание и др. [1] Но эти преобразования не могут быть произвольными, на них накладываются ограничения, обусловленные первым и вторым уровнями модели. Первый уровень – череп является «неподвижной точкой отсчета», только нижняя челюсть может совершать определенные движения. Третий же уровень – лицо, наоборот чрезвычайно подвижная «мимическая» часть, и вся функциональность этой мимики заложена во втором уровне нашей модели.

2.3 Деформации сеточной модели

Построенная модель головы может быть использована, например, для реалистичного моделирования виртуальных дикторов или для идентификации личности человека по имеющимся фотографиям или видеосъемке, что довольно часто требуется в криминалистике. Опираясь на заранее построенную базовую модель требуется лишь наложить ее на фотографии и определить местоположения антропометрических точек (эта операция может быть

выполнена как вручную, так и автоматически при использовании программы-векторизатора). Далее, опираясь на известные антропометрические соотношения в пропорциях лица, выполняется адаптация базовой модели под выделенные характеристические (антропометрические) точки с использованием метода градиентного спуска. Если информация, полученная из фото- или видеосъемки неполна, то ее также могут компенсировать антропометрические соотношения. В итоге может быть получена сеточная модель головы человека, изображенного на фотографиях.

Задача адаптации базовой модели формулируется как задача минимизации разности суммы длин отрезков сети базовой модели и модели, построенной по выделенным характеристическим точкам при системе антропометрических ограничений.

Для решения поставленной задачи воспользуемся методом штрафных функций с минимизацией целевой функции градиентным спуском.

Найдем вид минимизируемого функционала:

$$Q(\mathbf{x}, \mathbf{r}) \rightarrow \min.$$

Где $\mathbf{x} = (x_1, y_1, \dots, x_n, y_n)$ - вектор переменных (координаты узлов сетки), а \mathbf{r} - параметр итерационного процесса (вектор весовых коэффициентов).

Обозначим через $h_{ij}(\mathbf{x})=0$, ограничения-равенства. Найдем их вид:

$$\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} = len_{ij} \Rightarrow$$

$$(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 = len_{ij}^2.$$

$$\text{Тогда } h_{ij}(\mathbf{x}) = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 - len_{ij}^2 = 0,$$

где len_{ij} - расстояние между точками (x_i, y_i) ,

(x_j, y_j) - величина постоянная и определяется из антропометрических соотношений.

Из метода штрафных функций найдем вид функционала:

$$Q(\mathbf{x}, \mathbf{r}) = f(\mathbf{x}) + \sum_i r_i * \left(\sum_j H(h_{ij}(\mathbf{x})) \right).$$

Где

$$H(h_{ij}(\mathbf{x})) = h_{ij}(\mathbf{x}) =$$

$$(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 - len_{ij}^2 \text{-ограничения, а}$$

$$f(\mathbf{x}) = (S_p - \tilde{S}_p)^2 \text{ - целевая функция. Здесь } S_p \text{ -}$$

сумма длина отрезков сети базовой, а \tilde{S}_p - адаптированной модели.

Для нахождения минимума функционала $Q(\mathbf{x}, \mathbf{r})$ воспользуемся одной из самых эффективных модификаций метода сопряженных градиентов.

Алгоритм :

1. $\bar{\mathbf{x}}^0, \bar{\mathbf{S}}^0 = -\nabla f(\bar{\mathbf{x}}^0)$
2. С помощью одномерного поиска в направлении $\bar{\mathbf{S}}^k$ находится $\min f(\bar{\mathbf{x}}^k)$ и это определяет $\bar{\mathbf{x}}^{k+1}$.
3. вычисляется $f(\bar{\mathbf{x}}^{k+1}), \nabla f(\bar{\mathbf{x}}^{k+1})$.
4. $\bar{\mathbf{S}}^{k+1} = -\nabla f(\bar{\mathbf{x}}^{k+1}) + \bar{\mathbf{S}}^k * \frac{\|\nabla f(\bar{\mathbf{x}}^{k+1})\|^2}{\|\nabla f(\bar{\mathbf{x}}^k)\|^2}$.
5. Если не выполняется условие останова $\|\bar{\mathbf{S}}^k\| \leq \varepsilon$, то выполнять пункт 2.

3. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Рассмотренный подход программно реализован в графической системе AutoCAD R2000 на основе системы разработки приложений ObjectARX 2000, что позволяет эффективно работать с любыми примитивами AutoCAD'a, в том числе и с сеточными моделями.

Сначала пользователь вставляет в рабочий чертеж фотографии человека и накладывает на них базовую сеточную модель. Затем определяет местоположения характеристических точек. На следующем этапе решается оптимизационная задача – адаптация базовой модели, согласно выделенным точкам. Целевой функцией оптимизационной задачи является разности суммы длин отрезков сети базовой модели и модели, построенной по выделенным характеристическим точкам с учетом антропометрических ограничений.

На заключительном этапе программа сравнивает полученную трехмерную модель с моделями из базы данных, которые соответствуют определенным людям, и сообщает пользователю какому человеку соответствуют исходные фотографии, а также степень уверенности в этом событии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Peter Ratner. Face Animation. 1999. <http://www.highend3d.com/maya/tutorials/peter/emotion.3d>.
- [2] Peter Ratner. Face modeling (NURBS), 1999. <http://www.highend3d.com/maya/tutorials/peter/model1.3d>.
- [3] Джейсон Хейз. Моделирование головы с использованием NURMS. 1999. <http://ilimax.narod.ru/lesson4.htm>
- [4] Козлов Л. А. Подходы к моделированию лица человека // Сб. статей: антропологическая реконструкция. М.: академия наук СССР, 1991. С. 129 - 147.

- [5] Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта. М.: Мир, 1991. 568 с.
- [6] Моделирование головы в REAL 3D. <http://www.real3d.ru>
- [7] Моделирование лица с использованием Patch (лоскут). <http://render.ru/tutor/max/>
- [8] Рассохин Д. От Си к Си++. М.: Эдэль, 1993. 128 с.
- [9] Анатомия человека / под ред. Сапина М. Р. – М.: Медицина, 1996. 397 с.
- [10] Антропометрический атлас. / Состав. Ермакова С. В., Подставкаина Т. П., Строкина А. Н. - М.: ВНИИТЭ, 1977. 321 с.
- [11] Герасимов М. М. Восстановление лица по черепу. – М.: Издательство академии наук СССР, 1955. 586 с.
- [12] Герасимов М. М. Основы восстановления лица по черепу. – М.: Советская наука, 1949. 187 с.
- [13] Липченко В. Я., Самусев Р. П. Атлас нормальной анатомии человека. М.: Медицина, 1988. 320 с.

Авторы:

Валерий И. Хабаров, д.т.н., профессор,
Денис В. Фроловский, аспирант Новосибирского государственного технического университета.
Адрес: 630092, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
НГТУ, кафедра программных систем и баз данных.
e-mail: frolovsky@yandex.ru