

## Кошечка

Почти 40 лет назад, в 1968 году группа под руководством Николая Николаевича Константинова создает математическую модель движения животного (кошки). Машина БЭСМ-4, выполняя написанную программу решения обыкновенных дифференциальных уравнений, рисует мультфильм “Кошечка”, содержащий даже по современным меркам удивительную анимацию движений кошки, созданную компьютером. Мы публикуем введение из статьи “Программа, моделирующая механизм и рисующая мультфильм о нем”, Н. Н. Константинов, В. В. Минахин, В. Ю. Пономаренко, *Проблемы кибернетики*, 1974, выпуск 28, с. 193-209 (по материалам web-сайта [www.etudes.ru](http://www.etudes.ru)), а также фрагменты обсуждения этой работы из журнала “Компьютерра”: см. Л. Левкович-Маслюк, Прибытие “Кошечки”, а также его интервью с Н. Н. Константиновым “Знает ли кошка, что она не настоящая?”, №07 (627), 21 февраля 2006 г.

### 1. Введение к статье “Программа, моделирующая механизм и рисующая мультфильм о нем”

При моделировании механизма полезно иметь возможность получать изображения различных состояний механизма. При этом удобно использовать такой способ задания формы механизма, при котором информация о его положении в данном состоянии и информация о его устройстве были бы разделены. Это требование вполне естественно. В человеческом языке такое разделение имеет место. Скажем, слова “моя кошка” обозначают определенный предмет. При этом ничего не сказано о позе кошки. Можно сказать, что мы стремились к такому способу задания информации о форме предмета, чтобы все, что относится к понятию “кошка вообще”, было отделено от информации о положении и позе кошки в данный момент.

Практическим признаком того, что информация обладает указанным свойством, является то, что становится просто и удобно задавать машине законы движения механизма. В случае кошки информация о ее походке и траектории, т.е. сценарий ее движения, задается совершенно независимо от информации о форме. Нужно только, чтобы в описании формы присутствовали переменные, о которых говорится в описании движения. Требования, которые мы предъявляем к информационной системе, можно сформулировать так: это должна быть такая система задания информации о предмете, пользуясь которой легко писать программы, которые выдают мультфильм о предмете по самым разнообразным сценариям.

Наша работа задумана как пробный шаг в направлении создания программ, моделирующих механизмы, и не преследовала никаких целей, кроме опробования некоторой системы задания формы предмета с точки зрения вышеуказанных требований. Мы задаем программе строение тела кошки и законы ее движения и получаем мультфильм (некоторые кадры приводятся на рис. 1), на котором кошка делает несколько шагов, постепенно замедляясь, поворачивает голову и останавливается. Подбирая уравнения, определяющие походку, мы заботились только о внешнем благополучии, а не о том, чтобы описывать истинные физиологические механизмы управления. Но наша программа может быть полезна и для физиологов. Если мы имеем гипотезу о механизме походки, которую мы можем записать в виде дифференциальных уравнений (как правило, второго порядка) относительно переменных, участвующих в описании позы кошки, то мы можем с помощью нашей программы посмотреть, как эта гипотеза работает (о гипотезах см. [5,6,7])<sup>1</sup>. Принятая система задания информации удобна для механизмов, являющихся

---

<sup>1</sup>Здесь и далее имеется в виду библиография к указанной статье. — *Прим. ред.*

шарнирными системами, состоящими из твердых частей. С известным приближением такой системой является молекула. Программу, подобную нашей, можно применять для визуализации гипотез о строении и работе молекул при химических реакциях (см. [2,3]).

Интересно провести опыт использования программ, рисующих мультфильм, в качестве вспомогательной техники при создании художественных мультфильмов. Работу над одним монтажным куском длительностью от 10 до 30 сек можно представить себе так. Художник-математик должен записать действующих лиц этого куска в виде нашей или подобной информационной системы, а их движения в пределах этого куска — в виде дифференциальных уравнений. Затем машина печатает бумажную ленту — “папирфильм”. После этого художники рисуют по папирфильму мультфильм. Таким образом, по-прежнему зритель увидит руку художника. Смысл же всего этого в том, что моделирование движения сделано машиной - это как раз та часть работы, с которой человек справляется плохо (сошлемся на одного из мультипликаторов — [1]; для того чтобы нарисовать танец лягушки, он заснял танец настоящей балерины и, используя этот фильм как модель движения, рисовал по нему фильм о лягушке).

В качестве рисующего устройства использовалась широкая печать — АЦПУ-128. Градация яркости не применялась, и качество изображения сравнительно невысокое. Но большее и не требуется при нашей системе задания формы предметов — рисунки производят неприятное впечатление, если качество передачи формы на бумаге выше, чем качество информации о форме. Когда передача на бумаге приблизительная, воображение зрителя восполняет недостающие детали именно так, как нужно, и впечатление от рисунков получается приличное. Еще лучше выглядит фильм в движении, так как моделирование движения имеет более высокое качество, чем моделирование формы. Зритель получает много “хорошей” информации, и восполнение недостающего облегчается. Интересно, что многие зрители после просмотра фильма не помнили, что изображение было просто теневой проекцией. Изображения, приведенные на рис. 1, прежде чем попасть на страницы этой книги, прошли следующие стадии:

1. на папирфильме, выходящем из АЦПУ-128, проекция кошки остается белой, а весь остальной фон выбит некоторой буквой (бралась буква Ш как самая черная);
2. кадр фотографируется; на негативе — черная кошка и серый фон;
3. серый фон убирается вручную с целью придания этим рисункам более высокого качества как полиграфической продукции.

Работа выполнена на кафедре общих проблем управления механико-математического факультета Московского университета. Отладка программы и ее эксплуатация проводились в Вычислительном центре Московского государственного педагогического института им. В. И. Ленина.

Дальнейшее содержание:

1. Что такое брусок
2. Кошка как дерево или формула
3. Немного о некоторых технических деталях
4. Чтение дерева
5. Моделирование движения кошки
6. Координация движения различных лап

## 2. Из статьи “Прибытие кошечки”

...вполне возможно, что две базовые для анимационных технологий идеи были впервые реализованы именно в этом фильме, причем задолго до их появления в мейнстриме.

- *Представление трехмерной пространственной формы в виде иерархической структуры данных. Структура напоминала октодереву (octree), задающее любую пространственную форму так: в нулевом приближении это куб, содержащий наш объект, в первом приближении — совокупность кубиков половинного размера, содержащая объект, и так далее. “Кошечка” задавалась более экономичной, адаптивной иерархией “брусков” (усеченных пирамид), аппроксимирующих ее торс, ноги, усы и т.д.*
- *Задание траекторий движения тела при помощи дифференциальных уравнений.*

Первая из идей, при всей ее важности (Мэттью Уорд даже выделяет октодереву как отдельный этап в истории компьютерной графики, относя его к 1982 году — четырнадцать лет спустя после “Кошечки”), все-таки кажется мне принципиально более простой в придумывании и реализации, чем вторая. Легко представить, что в “фольклоре” подобные методы к тому времени уже существовали (другое дело, что авторы не были связаны с этим только возникшим тогда сообществом и сами изобретали все с нуля). А вот вторая идея значительно глубже концептуально и сложнее технически. Современные обзоры по моделированию движения человека для целей анимации (обзоров, посвященных специально кошкам или другим животным, я не нашел) относят первые работы такого типа — анимацию ходьбы на основе решения уравнений прямой или обратной кинематики и динамики — к началу или середине 80-х. В биомеханике, без всякой связи с компьютерной анимацией, первые попытки (двумерного!) моделирования движения человека на основе задач оптимизации, приводящих к дифференциальным уравнениям, делались в начале 1970-х<sup>2</sup>. Вполне возможно, что подобные исследования велись в момент создания “Кошечки” и в робототехнике. Рекорды и приоритеты дело тонкое, и я бы не хотел сейчас всерьез углубляться в эту тему. Но из литературы совершенно очевидно, что вплоть до начала 80-х основной технологией компьютерной анимации оставались те или иные формы интерполяции между кадрами, различные варианты морфинга и т.п. — вещи, принципиально более простые, чем реалистичное матмоделирование живого движения, примененное в “Кошечке”.

## 3. Из интервью “Знает ли кошка, что она не настоящая”

### Как проходила работа?

- Мы работали втроем, я и два моих соавтора, Володя Пономаренко и Виктор Минахин (кажется, они тогда еще были студентами мехмата МГУ). Идейную сторону в основном разработал я: как записать информацию о форме и как моделировать движение. Главная идея моделирования была очень проста и очень естественна для человека, который знает физику. Она состоит в том, что следует использовать дифференциальные уравнения второго порядка, — ведь животное управляет мышцами, то есть его система управления оперирует ускорениями.

### Уравнения вы заимствовали из работ по биомеханике?

- Нет, мы сами вывели нужные уравнения — это сделал Виктор Минахин. Сначала он пытался написать уравнения, наблюдая за движением кошки. Но кошка же непослушная, она не станет по команде медленно ходить перед вами снова и снова. Поэтому Минахин решил записывать свои собственные движения.

### То есть как?

- Очень просто — он ходил по комнате на четвереньках и замечал, какие мышцы когда включаются. Делал шаг, застывал — и думал, тщательно анализировал свою динамику. К

---

<sup>2</sup>Computer Animation of Human Walking: a Survey (1999), Franck Multon, Laure France, Marie-Paule Cani-Gascuel, Gilles Debunne, citeseer.ifi.unizh.ch/539332.html.

счастью, за миллионы лет, что люди ходят на двух ногах, они не забыли, как ходить на четвереньках. Уже потом, после окончания работы над фильмом, я некоторое время посещал семинар на мехмате МГУ, где глубоко исследовалась механика ходьбы. Над этим работали крупные ученые — семинаром руководил Дмитрий Охоцимский, очень активно изучал эти вопросы Сергей Фомин. Но нам для фильма было достаточно лишь внешнего правдоподобия. Мы его добились именно за счет использования дифференциальных уравнений при моделировании, хотя уравнения были, конечно, слишком грубыми для более сложных задач, например медицинских. Сейчас Минахин работает в Москве в Научном совете по проблемам кибернетики. Пономаренко увлекся буддизмом и постепенно ушел из “контактной области”, никто из моих знакомых не знает, где он и что с ним.

#### **Какова была техническая сторона создания фильма?**

- Разработка программы, включая математическую часть, заняла несколько месяцев. Каждый отладочный расчет проходил относительно быстро, за вечер. Между прочим, эта программа послужила своего рода тестом на корректность работы БЭСМ-4. Мы считали на разных экземплярах этой машины, в разных институтах, и оказалось, что некоторые машинные коды на них интерпретируются по-разному. В таких случаях мы просто переписывали куски программы и работали дальше.