

*Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь
Белостокская Политехника (Технический университет), Белосток, Польша
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕРАКТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Карпович С.Е., Скачко Д.Г., Голдын Л., Алехнович Г.Н.

The building of interactive program for the modeling of dynamic mechanical systems is considered. The modeling algorithm is proposed, it's built on the principles of segmented algorithms and step-by-step approximating calculation. The multimedia visualization program is presented.

Введение

Современные информационные технологии позволяют разрабатывать и эффективно применять различные средства обучения, моделирования и интерактивного исследования. Возможности персональных компьютеров и их программного обеспечения, существенно возросшие за последние несколько лет, дают возможность разрабатывать алгоритмы и программное обеспечение для всех областей техники, в том числе и для машиностроения.

Работа в этом направлении ведется в последние годы в учебно-научной лаборатории "Математическое моделирование технических систем и информационные технологии" (ММТСиИТ) БГУИР [1]. Анимация, интерактивность и средства мультимедиа, применяемые в наших разработках, позволили разработать программные средства – мультимедийные модули – для интерактивного исследования колебательных механических систем, пневматических элементов и систем и других технических объектов и систем [2...5].

Интерактивные мультимедийные модули разрабатываются как вполне законченные информационные страницы, содержащие запрограммированные математические алгоритмы физических законов или технических принципов. При этом алгоритм имитационного моделирования является сегментированным, то есть, каждый элемент, вводимый интерактивно на рабочее поле монитора, имеет алгоритмический интерфейс, согласованный с основным алгоритмом, описывающим объект визуализации. То же относится и к исключению элементов из рабочего поля. Исключенный элемент как сегмент алгоритма, не нарушает функциональность и достоверность расчета по основному алгоритму, обеспечивающему моделирование и визуализацию.

Мультимедийный модуль содержит графическую, интерактивную и описательную (текстовую) часть, которые обеспечивают возможность влиять на входные параметры и наблюдать за изменением выходных параметров в реальном времени, тем самым позволяя проводить интерактивное исследование и анализировать результаты.

В настоящей работе на основании разработанных компьютерных технологий решена задача интерактивного исследования динамических систем, для которых разработана программа интерактивной визуализации.

1. Постановка задачи

Рассмотрим задачу интерактивного исследования плоской колебательной системы, представляющей собой массу, подвешенную к нескольким пружинам. Такая колебательная система очень широко распространена в технике и может быть применена для моделирования механических систем, устройств и агрегатов.

Рассматривая массу как материальную точку и предполагая, что каждая пружина одним концом жестко связана с ней, а другим – с неподвижной опорой, получим систему, пример которой приведен на рис. 1.

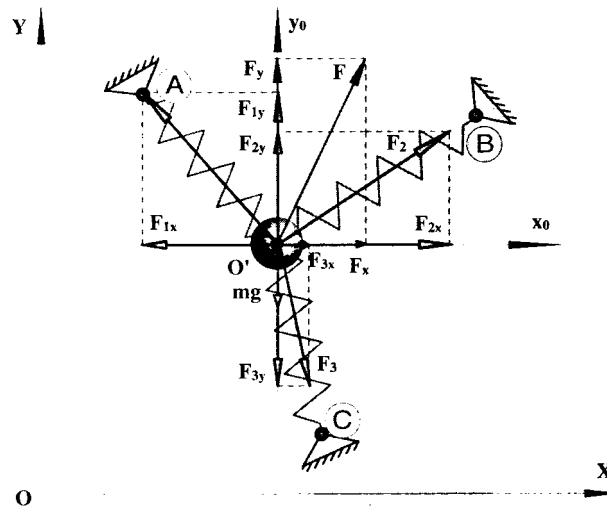


Рис. 1. Пример колебательной системы с 3 пружинами

Для удобства визуализации материальная точка на рис.1 изображена в виде шарика.

Чтобы описать динамику такой колебательной системы для случая нескольких пружин, на основании второго закона Ньютона запишем систему дифференциальных уравнений движения материальной точки [1]:

$$\begin{cases} m \frac{dV_x}{dt} = \sum X_i \\ m \frac{dV_y}{dt} = \sum Y_i \\ m \frac{dV_z}{dt} = \sum Z_i \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = \sum X_i \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = \sum Y_i \\ m \frac{d^2z}{dt^2} = \sum Z_i \end{cases} \quad (1)$$

К сожалению, система дифференциальных уравнений (1) является нелинейной, что требует для ее решения использования численных методов.

2. Аппроксимационная модель динамической системы

Предположим, что материальная точка за небольшой промежуток времени совершает прямолинейное движение, тогда систему (1) можно аппроксимировать короткими перемещениями за равные интервалы времени, и построить итерационный алгоритм расчета положения материальной точки. Для этого необходимо дискретно от точки к точке с учётом параметра времени аналитически анализировать условия движения и равновесия.

Алгоритм аппроксимации может быть следующим. Направление перемещения материальной точки определяется направлением равнодействующей силы. За время Δt , равное кванту времени, материальная точка перейдёт в другое положение, в котором необходимо опять рассчитывать равнодействующую и затем визуализировать новое перемещение.

Рассмотрим формирование законов ускорения, скорости и перемещения, обусловленное таким подходом к описанию движения материальной точки [8].

Предположим, что материальная точка с координатами (0;0) не находится в положении равновесия и её начальная скорость \vec{V}_0 равна нулю. Рассмотрим движение материальной точки в интервале времени $[t_i, t_{i+1}] = 0,2$ с. Разобьем рассматриваемый интервал времени на

четыре части (кадра) длительностью $\Delta t = 0,05$ с и аппроксимируем его, предположив, что движение материальной точки на протяжении каждого кадра равнопеременное с ускорением a_{cp} . Формулы для расчета параметров движения представлены в следующей таблице.

кадр	время (t)	ускорение (a)	скорость (V)	перемещение (S)
1	$t_0 = 0,00$	$a_1 = \frac{F_0}{m}$	$V_0 = 0$	$S_0 = 0$
2	$t_1 = 0,05$	$a_2 = \frac{F_1}{m}$	$V_1 = a_1 \Delta t$	$S_1 = V_1 \Delta t$
3	$t_2 = 0,10$	$a_3 = \frac{F_2}{m}$	$V_2 = V_1 + a_2 \Delta t$	$S_2 = S_1 + V_2 \Delta t$
4	$t_3 = 0,15$	$a_4 = \frac{F_3}{m}$	$V_3 = V_2 + a_3 \Delta t$	$S_3 = S_2 + V_3 \Delta t$
	$t_4 = 0,20$	$a_5 = \frac{F_4}{m}$	$V_4 = V_3 + a_4 \Delta t$	$S_4 = S_3 + V_4 \Delta t$

Использование на каждом шаге формул как для равномерного движения, так и для равноускоренного обусловлено необходимостью кадрирования, так как значение скорости изменяется в начале кадра и остаётся постоянной в течение всего кадра, равного $\Delta t = 0,05$ с.

Законы движения, рассчитанные в соответствии с формулами, показаны на рис. 2.

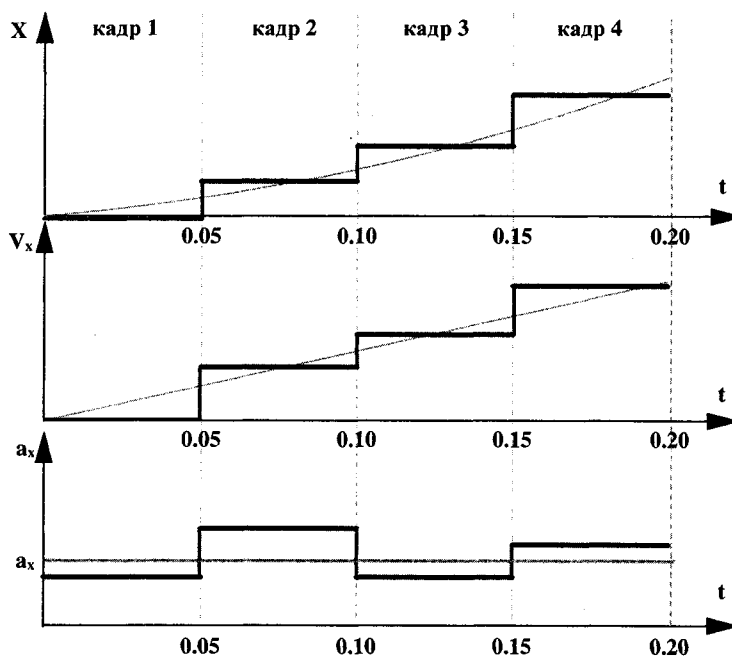


Рис. 2. Покадровое отображение движения материальной точки в интервале времени $[t_i, t_{i+1}] = 0,2$ с

3. Программа для интерактивного исследования

В соответствии с предложенным алгоритмом аппроксимации в лаборатории ММТСи-ИТ была разработана интерактивная мультимедийная программа "Динамика", вид окна которой представлен на рис. 3.

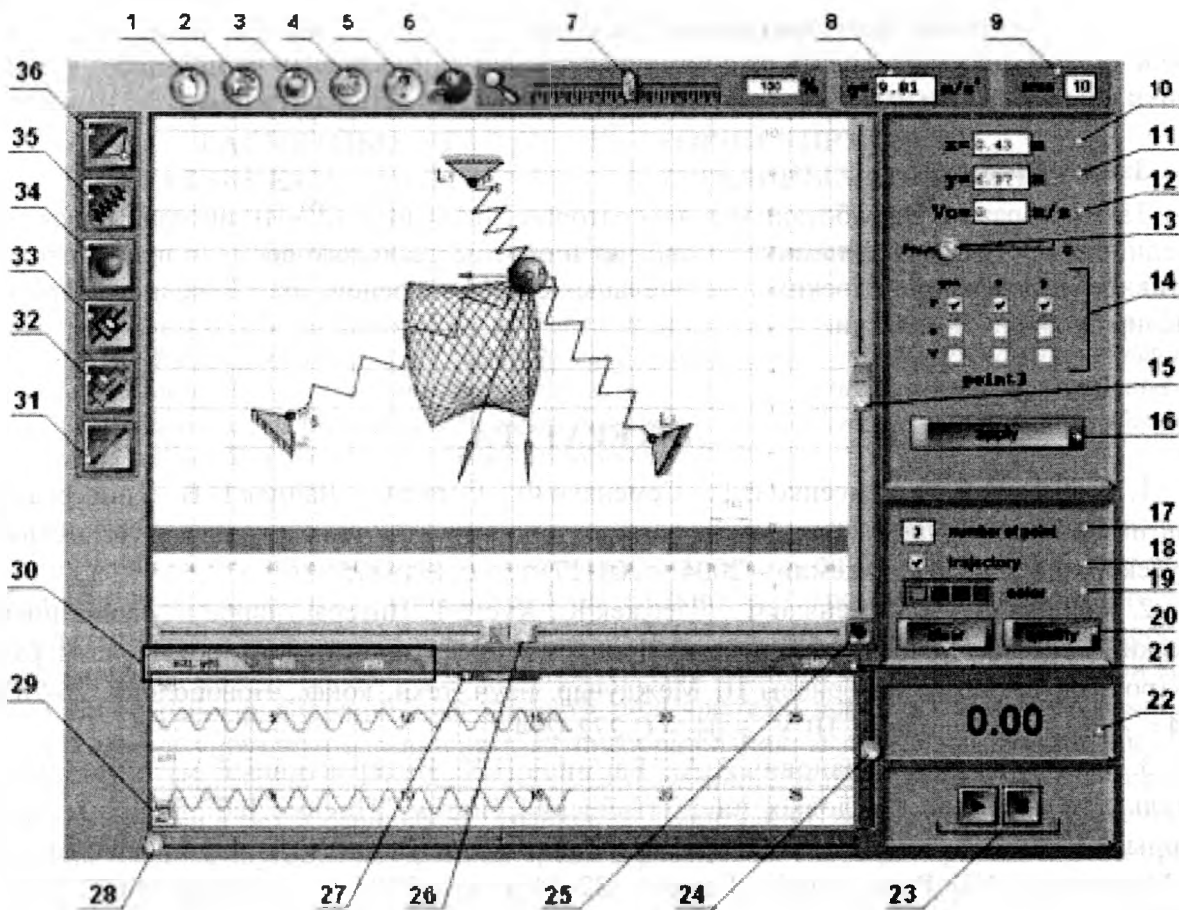


Рис. 3. Окно программы "Динамика" для интерактивного исследования динамических систем

Вначале пользователь производит сборку колебательной системы. Для этого с помощью кнопок 32...36 элементы добавляются на рабочее поле и соединяются между собой методом перетаскивания.

Начальные значения параметров каждого элемента задаются с помощью элементов 10...13. С помощью группы флажков 14 осуществляется настройка отображения векторов силы, скорости, ускорения и их проекций на оси координат. Также в программе можно изменять ускорение свободного падения с помощью элемента 8, что позволяет моделировать динамику системы даже в невесомости.

Элементы 17...20 предназначены для управления отображением траектории, причем пользователь может выбрать цвет для ее рисования. Программа позволяет получить траекторию перемещения материальной точки, изменить параметры системы (например, массу и коэффициенты упругости пружин) и построить новую траекторию, что позволяет на основе сравнения и анализа траекторий исследовать влияние параметров на динамику системы.

После запуска процесса моделирования с помощью группы элементов 23 программа "Динамика" в режиме реального времени рассчитывает положение материальной точки в соответствии с алгоритмом аппроксимации и визуализирует состояние системы. Интервалы моделирования при этом подобраны исходя из требования визуализации 25 кадров в секунду. Одновременно программа строит графики положения материальной точки в нижней части окна. Текущее время моделирования показывается в табло 22.

Управление отображением колебательной системы осуществляется с помощью элементов 7, 15, 26, а управление отображением графиков положения – с помощью элементов 24 и 28. Элемент 27 позволяет скрыть графики, если они не требуются для исследования.

Также программа позволяет сохранять конфигурацию динамической системы с помощью кнопки 3, восстанавливать ее с помощью кнопки 2, и выводить на принтер с помощью кнопки 4.

Заключение

Таким образом, разработанная в лаборатории ММТСиИТ БГУИР интерактивная мультимедийная программа "Динамика" позволяет в режиме реального времени проводить интерактивное исследование плоских колебательных систем на основе предложенного алгоритма моделирования их динамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович С.Е., Лысенко В.Г., Семеняко Ф., Сорко С., Дайняк И.В. Универсальная мультимедийная обучающая система для школ, техникумов и университетов // Известия Белорусской инженерной академии.– 2004. – №1(17)/1. – С.171–175.
2. Карпович С.Е., Семеняко Ф., Держек К., Хустё Т. Интерактивное изучение пневматических исполнительных элементов // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы III Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 26-28 мая 2004 г. – Т.2. – Новополоцк: ПГУ, 2004. – С.272–274.
3. Молодов Е.С., Агранович А.А., Бармина И.К. Интерактивный мультимедийный модуль для изучения цикловых пневматических систем "ПневмоЛаб" // Новые матем. методы и компьют. технологии в проектировании, производстве и научн. исследованиях: Материалы VII Респ. конф., Гомель, 22-24 марта 2004 г. – Гомель: ГГУ, 2004. – С.246–247.
4. Баев В.С., Литвинов Е.А., Скачко Д.Г. Мультимедийная интерактивная библиотека элементов по пневмоавтоматике // Новые матем. методы и компьют. технологии в проектировании, производстве и научн. исследованиях: Материалы VII Респ. конф., Гомель, 22-24 марта 2004 г. – Гомель: ГГУ, 2004. – С.233–234.
5. Дайняк И.В., Скачко Д.Г., Лобчук А.В., Литвинов Е.А., Баев В.С. Разработка интерактивных мультимедийных страниц для компьютерной обучающей системы // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы III Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 26-28 мая 2004 г. – Т.2. – Новополоцк: ПГУ, 2004. – С.286–289.
6. Dainiak I., Karpovich S., Ahranovich A. Multimedia Interactive Representation of Course "Mechanics" // Scientific Proceedings. – Vol.2. – Aachen: Shaker Verlag, 2004. – p.511-515.
7. Бухгольц Н.Н. Основы курса теоретической механики. – М.: Наука, 1967. – 319 с.
8. Скачко Д.Г. Интерактивная визуализация линейных динамических систем с постоянными параметрами // Известия Белорусской инженерной академии, 2004. – №1(17)/4. – С.239-246.