
Моделирование физики в компьютерных играх, приложениях виртуальной реальности и тренажерах

Андрей Морозов, СимЭкс

CS Клуб, май 2012

План

- О чем речь?
- История
- Современная наука
- Современное решение
- Проекты и люди
- Заключение

О чем речь?

- Компьютерные игры
- Кино



Рис. 1. Columbia Pictures, 2012

О чем речь? (2)

- Тренажеры
- Виртуальная реальность



Рис. 2. Transas, Шлюпбалка



Рис. 3. Dynamics, Вертолет

Объекты моделирования

- Твердые тела
- Ограничения
 - Шарниры
 - Связи
 - Пружины и демпферы
 - Моторы



Рис. 4. Weinstein

Объекты моделирования (2)

- Деформируемые тела
- Ткани
- Веревки
- Волосы



Рис. 5. Fedkiw

Объекты моделирования (3)

- Разрушаемые тела
- Жидкости и газы

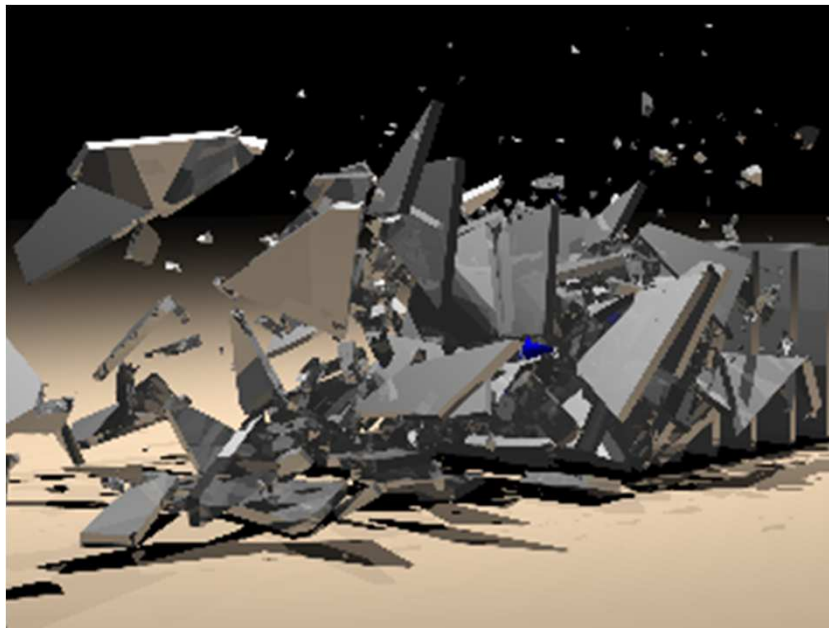


Рис. 6. Fedkiw

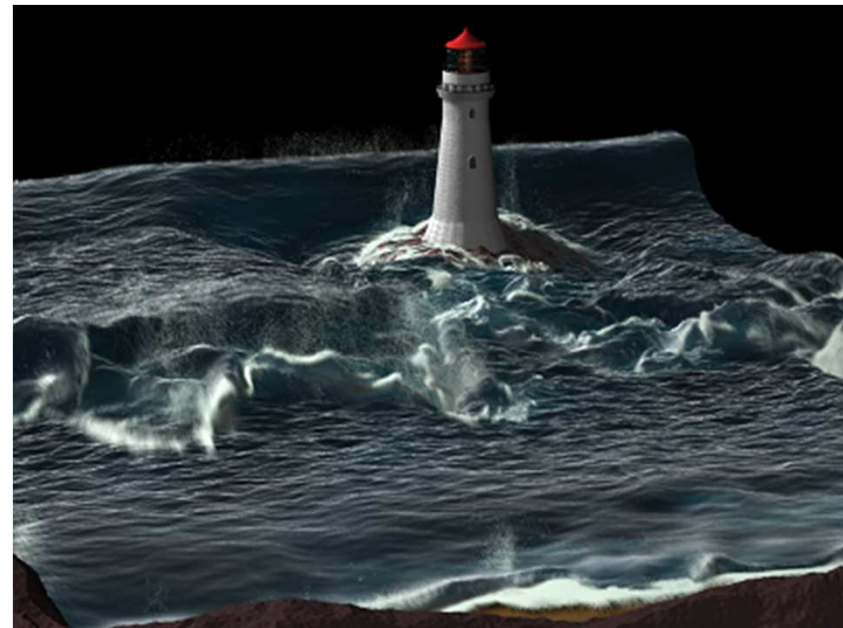


Рис. 7. Fedkiw

Исторические вехи

- Основы механики
 - Коперник, Галилей, Ньютон – 14-16 века
- Первые публикации
 - Верещагин – 1974
 - Featherstone – 1983
- Первое упоминание дисциплины
 - Alan Barr – 1987, “Topics in physically-based modelling”, SIGGRAPH

Основы механики. Ньютон

- 6 степеней свободы

- $X = (x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)^T$

- $V = \dot{X} = (v, \omega)^T$

- Масса и тензор инерции

- M

- I (Mirtich, 1996 – треангуляция, теорема Грина)

- 2-й закон Ньютона

- $$\begin{pmatrix} F_{ext} \\ T_{ext} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M & 0 \\ 0 & I \end{pmatrix} \dot{V} + \begin{pmatrix} 0 \\ \omega \times I \omega \end{pmatrix}$$

Основы механики. Трение

■ Трение Кулона

- $F = \mu N$

■ Виды трения

- Покоя

- Скольжения

- Качения

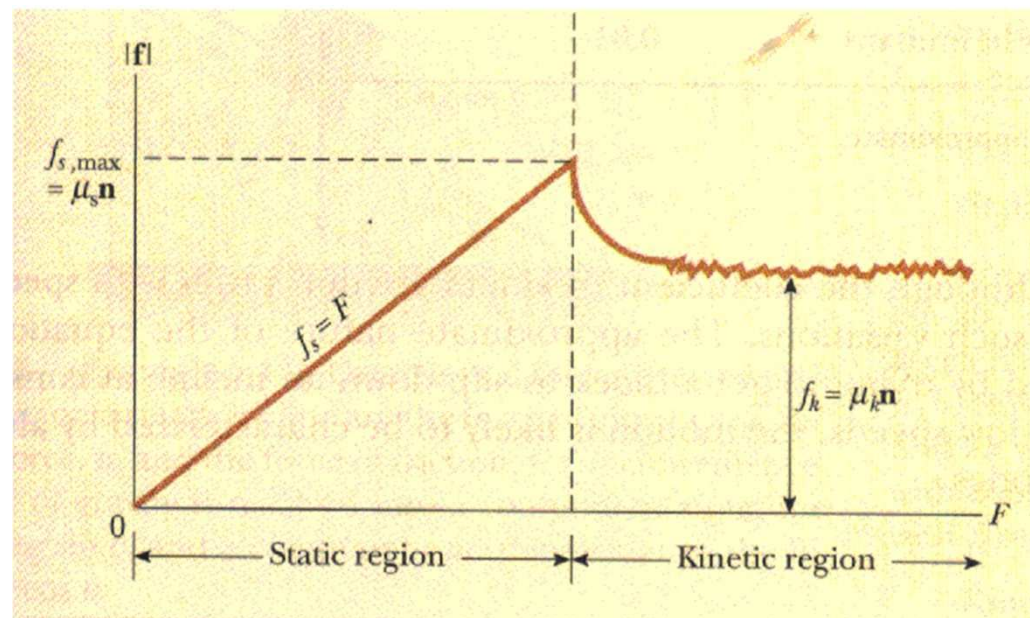


Рис. 8. Van den Bergen

Основы механики. Ударный КОНТАКТ

■ Модели контакта

- Ньютон ($v_n^+ = -\varepsilon v_n^-$)
- Пуассон (импульсы)
- Стронг (энергии)

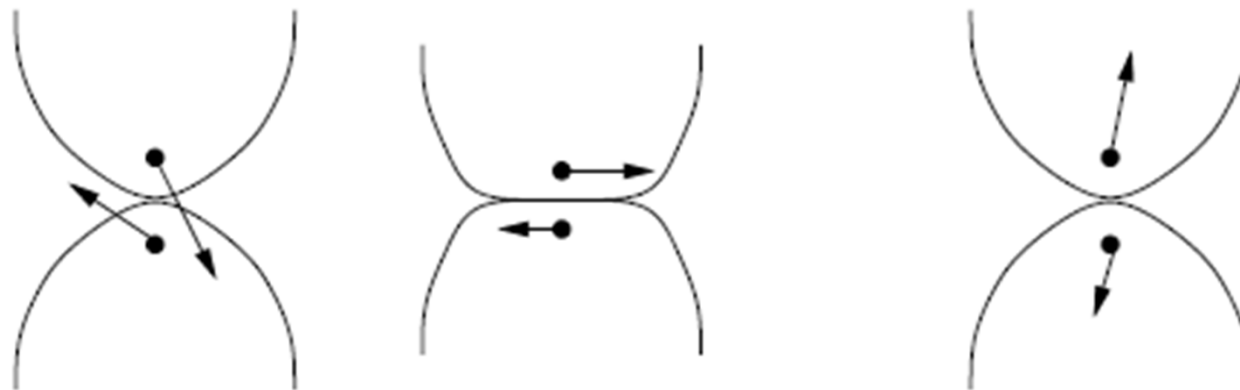


Рис. 9. Mirtich, Canny

Основы механики. Контакт

ПОКОЯ

- В пределах точности тела не двигаются

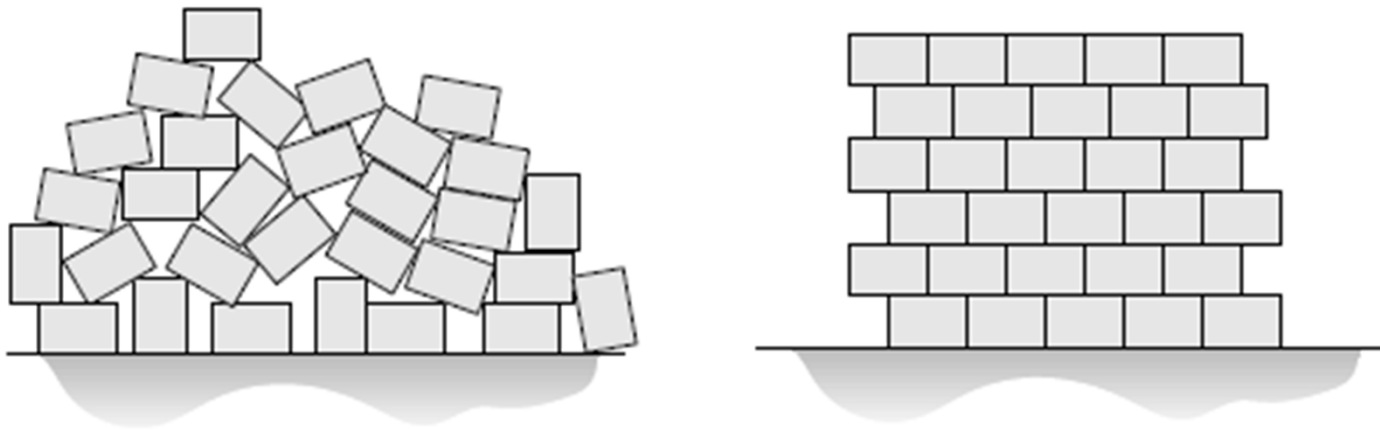


Рис. 10.
Erleben

Основы механики. Связи

- Идеальные связи

- Можно заменить силами реакции

- $F_c = J^T \lambda$

- Шарниры (Joint)

- $C(X, t) = 0, \dot{C}(X, t) = JV$

- $M\dot{V} = F_{ext} + F_c$

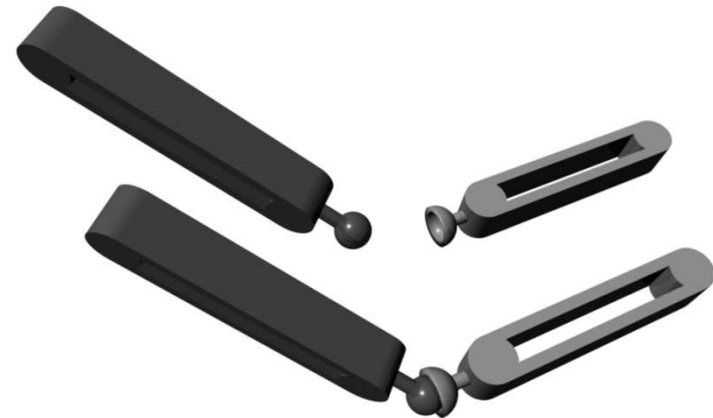


Рис. 11. Erleben

Основы механики. Пружины

- Пружина

- $F_s = -k\Delta x$

- Демпфер

- $F_d = -c\Delta\dot{x}$

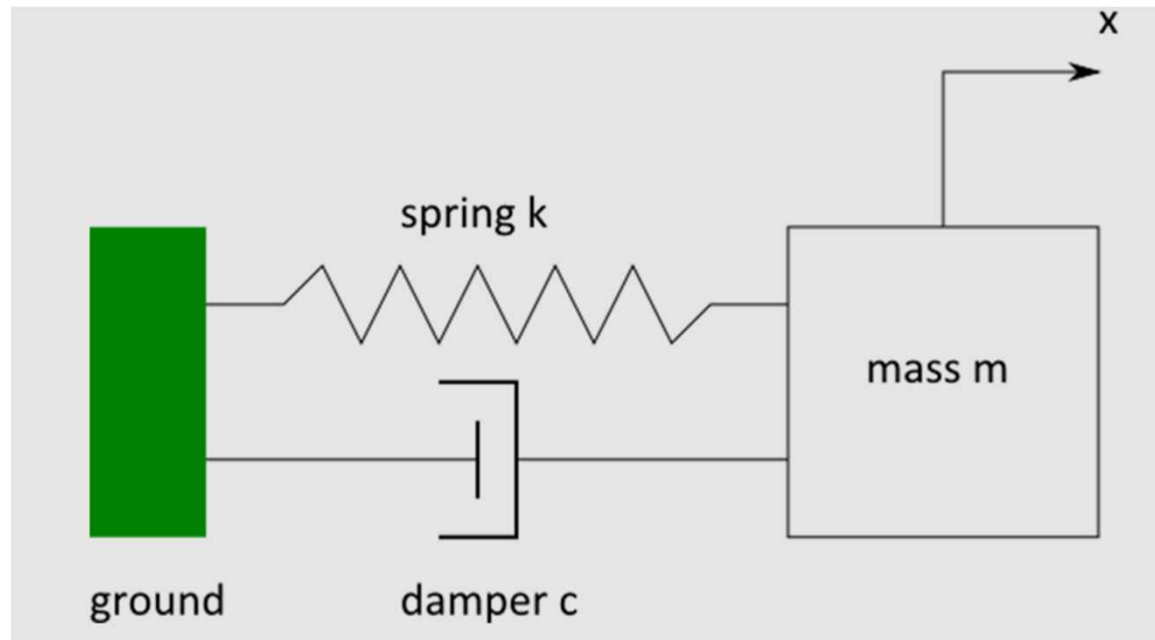
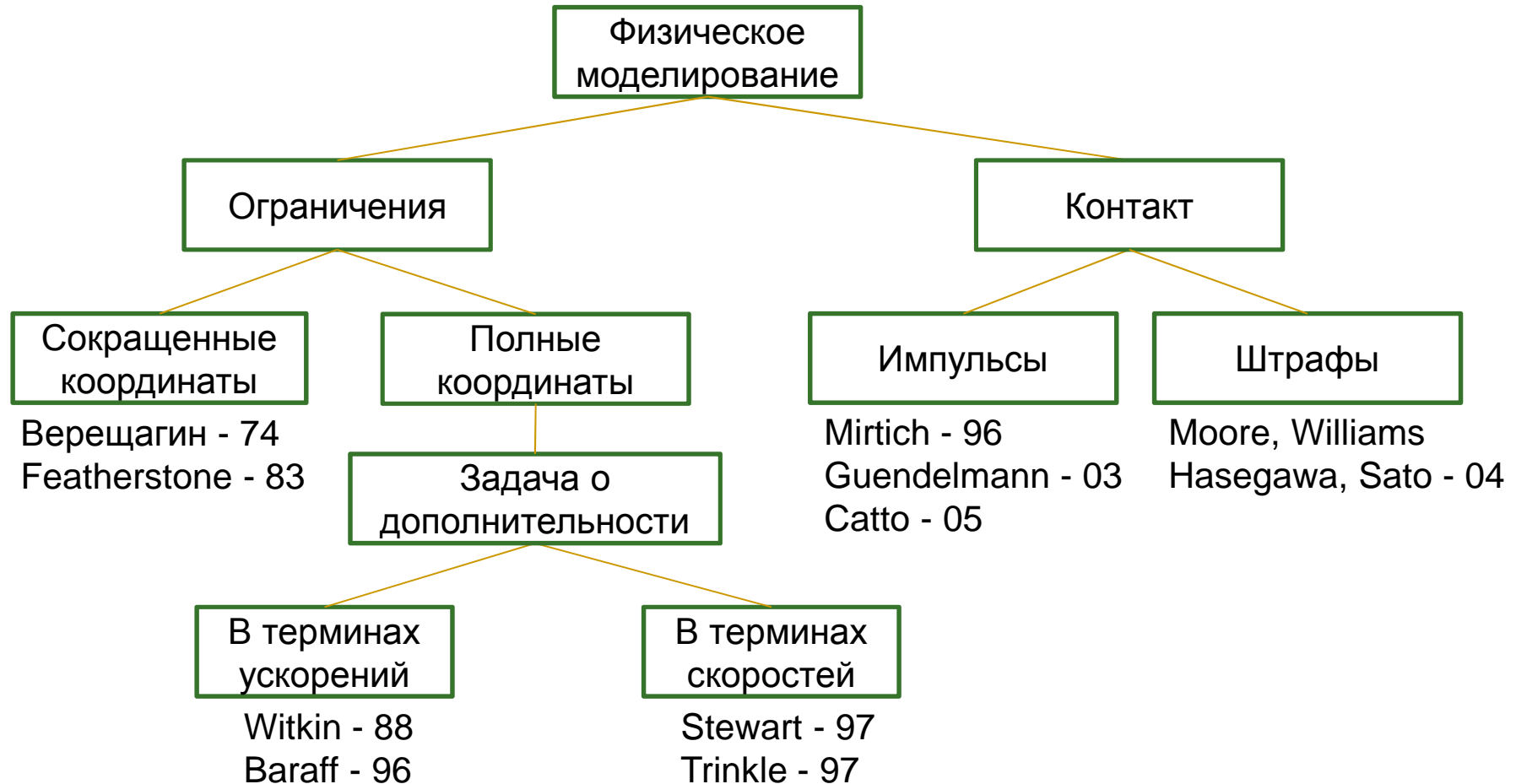
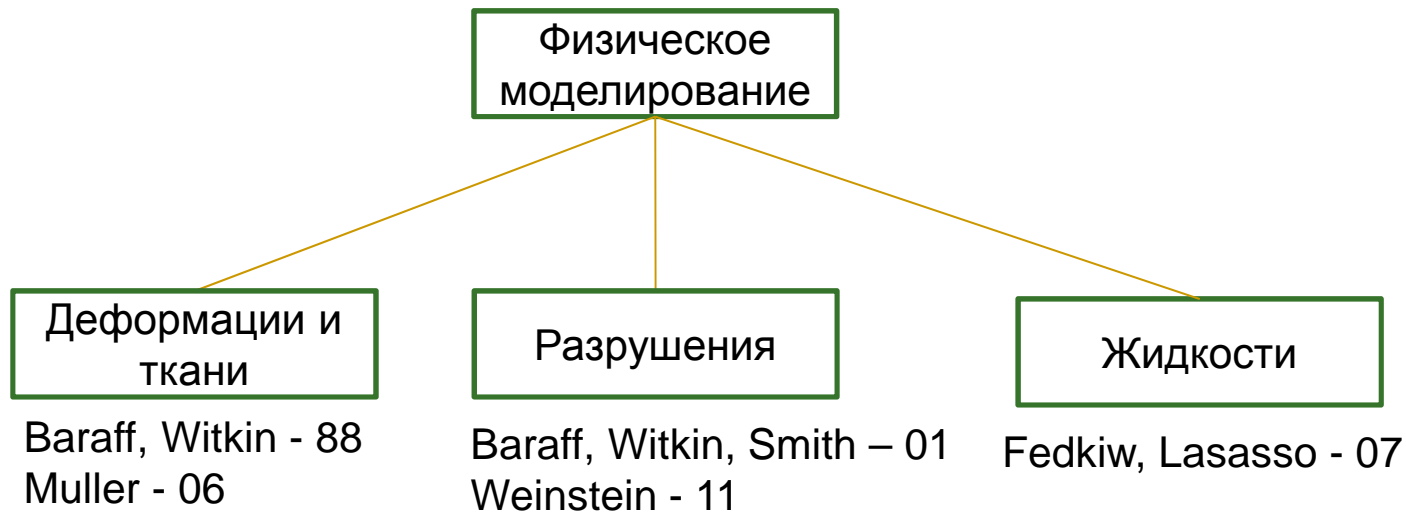


Рис. 12. Catto

Физическое моделирование. Алгоритмы



Физическое моделирование. Алгоритмы (2)



Физическое моделирование.

Численные методы

- Задача Коши – численное интегрирование
 - Эйлер
 - Верле (Verlet)
- Расчет шарниров – СЛАУ
 - LDL^T - разложение
 - Разложение Холецкого
- Расчет контактов – LCP
 - Проективный Гаусс-Зейдель

$O(n^2)$, n – число контактов

Определение столкновений.

Подходы

- Дискретный
 - На текущем шаге обсчета
- Непрерывный
 - Пуля через бумагу
 - Расчет времени столкновения (TOI)

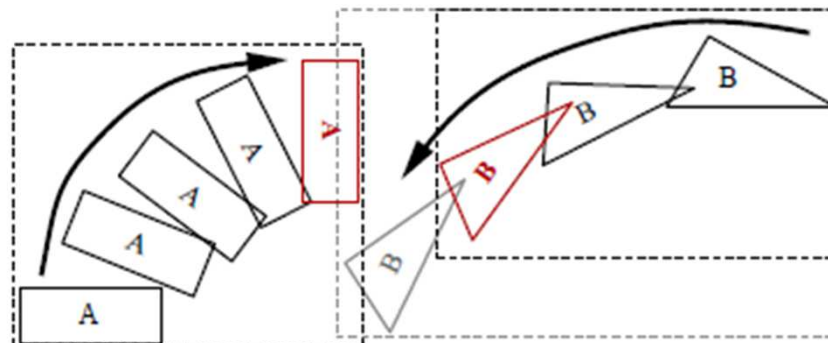


Рис. 13. Mirtich

Определение пересечений.

Примитивы

- Сфера
- Параллелепипед
- Капсула
- Цилиндр
- Конус
- Треугольник

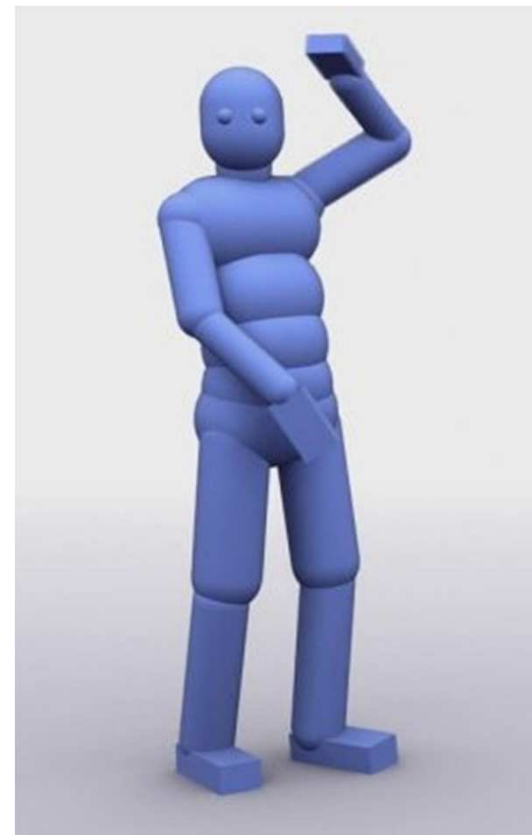


Рис. 14. Naturalmotion

Определение пересечений. Выпуклые геометрии

- GJK (Gilbert, Johnson, Keerthi - 88)
 - Разность Минковского
 - Симплексы
 - В среднем $O(n)$
- Lin-Canny
 - библиотека I-Collide
- V-Clip
- EPA (GJK-based)

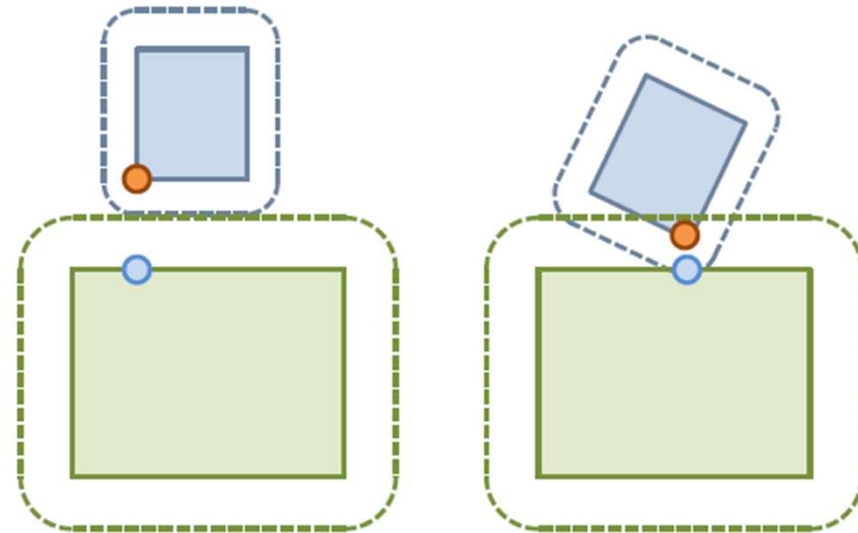


Рис. 15. Coumans

Определение пересечений. Выпуклые геометрии (2)

- SAT (Separation axis theorem)

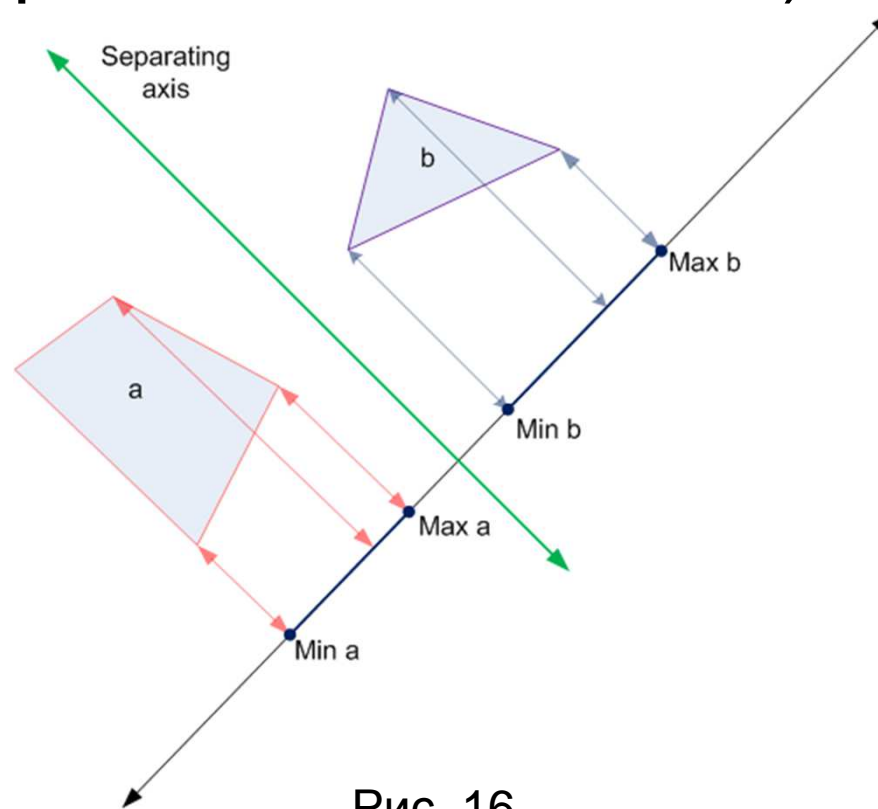


Рис. 16

Определение пересечений. НеВыпуклые геометрии

- Разложение на выпуклые

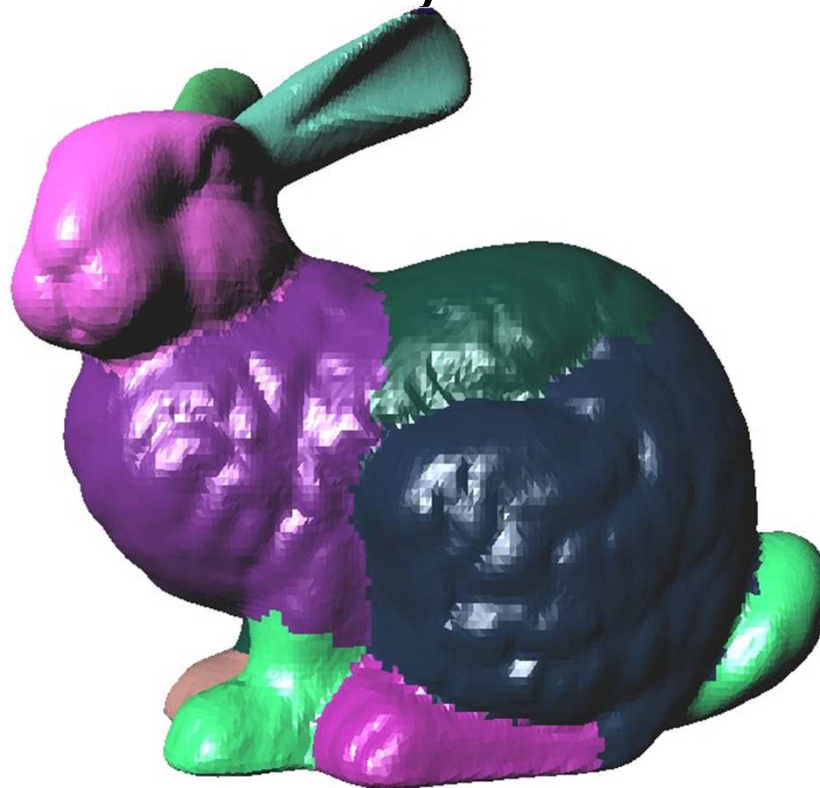


Рис. 18

Определение пересечений. Оптимизации

■ Сетки

- 2D
- 3D (воксельные)

■ Иерархии

- Quad/Oct деревья
- BVH

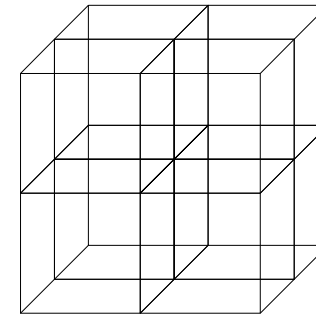


Рис. 19

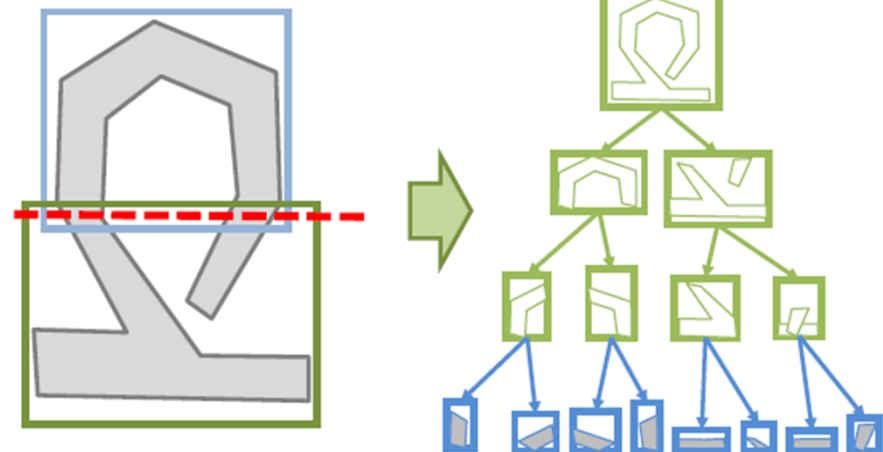


Рис. 20, Coumans

Современное решение. Столкновения

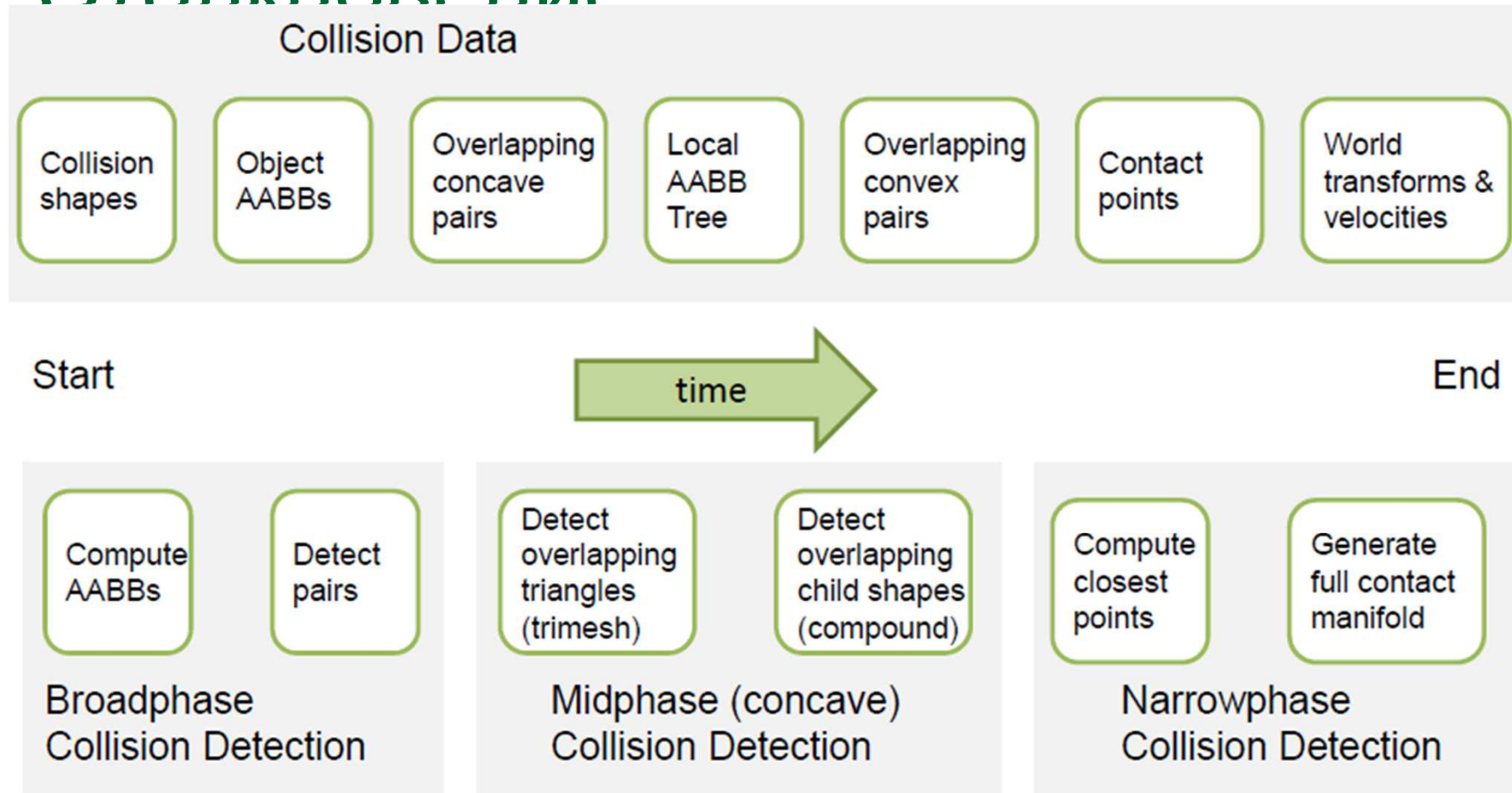


Рис. 21, Coumans

Современное решение.

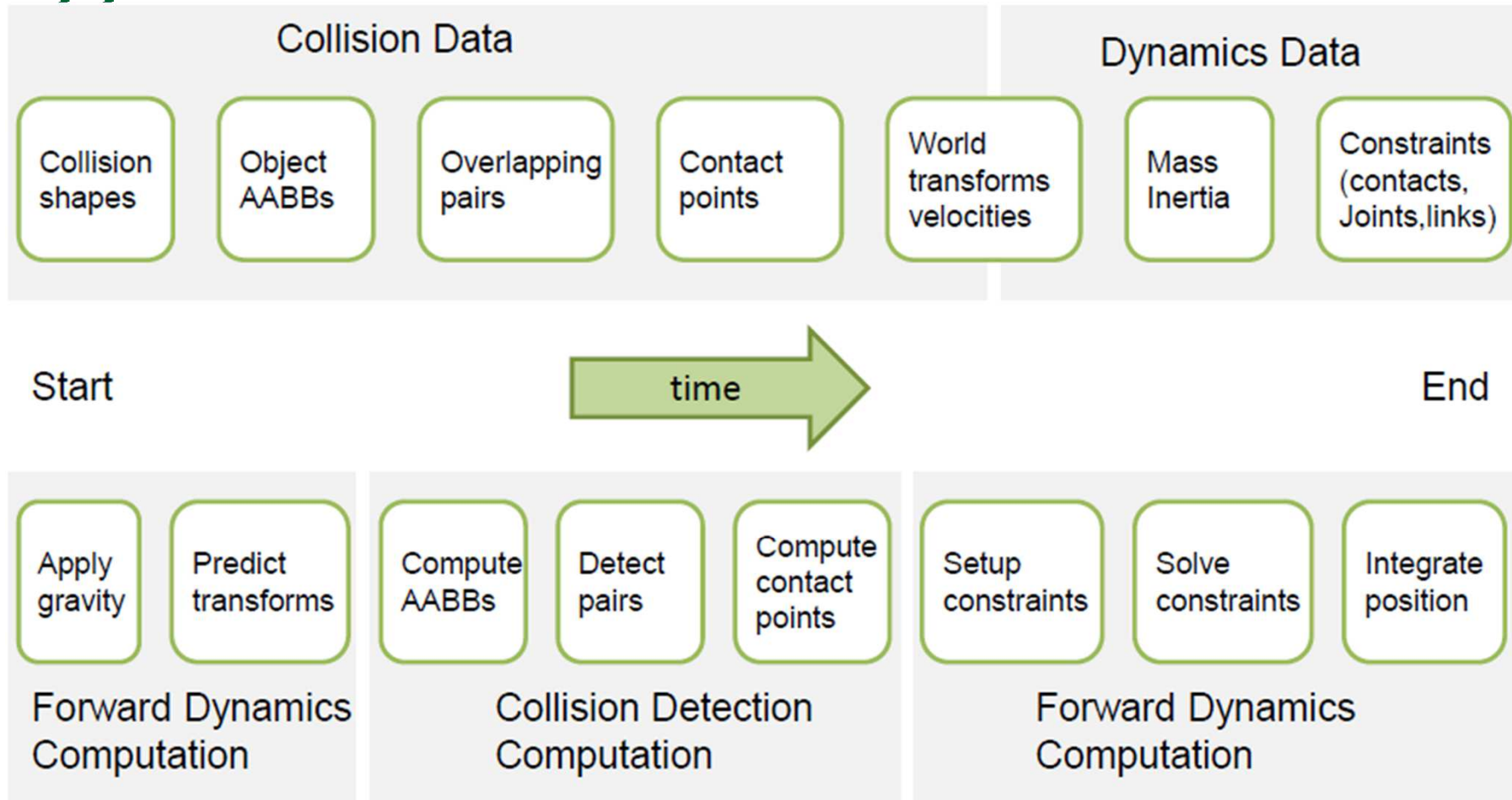


Рис. 22, Coumans

Современное решение.

Хитрости

■ Активация/деактивация

- $K_n = \frac{v^2}{2} + \frac{\omega^T I \omega}{2m}$

- $K_n < K_{n \min} \rightarrow$ деактивация

■ Стабилизация связей

- Баумгарте (Baumgarte, 1972)

- Пост стабилизация (Chin, 1995)

- Пре-стабилизация (Fedkiw, Weainstein, 2006)

■ Использование GPGPU

- CUDA/OpenCL

Физические движки

■ Платные

- ❑ Navos (Ipion)
- ❑ Ageia (Meqon - 99, Novodex - 02)
- ❑ Natural Motion

■ Бесплатные

- ❑ Tokamak
- ❑ ODE
- ❑ Bullet (“2012”, “Как приручить дракона”)

Персоны

- Roy Featherstone
- David Baraff
- Brian Vincent Mirtich
- Eran Guendelmann
- Erin Catto
- Kenny Erleben
- Ron Fedkiw
- Erwin Coumans

Напоследок, о птичках



Спасибо за внимание!!!

