A9: Particle Systems

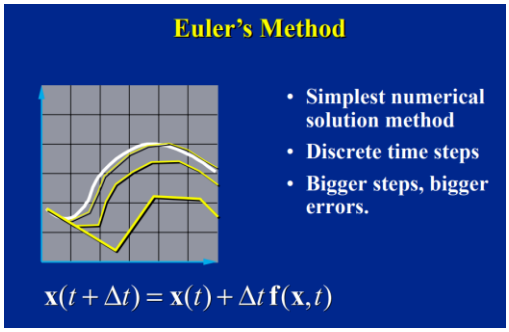
一、概述

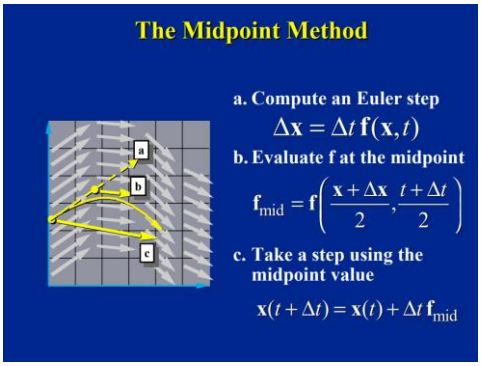
1.目标：

（1）实现多种力场对粒子的影响：
Gravity Forcefield，Radial ForceField, Constant ForceField, Vertical ForceField。
（2）实现两种粒子生成器的绘制：hose generator 和 ring generator。
（3）实现两种积分器：Euler integrator 和 Midpoint integrator。

2.知识点介绍：

1) 粒子系统动画的实现方法：
   A. 使用 OpenGL 的定时器，每隔一定时间间隔就调用该粒子系统的 integrator 中的 Update 函数。
   B. 在 Update 函数中根据 dt 和力场进行计算，更新已有粒子的位置和速度。同时调用 generator 的函数生成新粒子，调用 particlesSet 的函数去掉用完生命周期的粒子。
   C. 每个粒子的位置在随着时间而变化，也就形成了动画。
2) 两种 integrator：计算 x(t+dt)和 v(t+dt)的方式不同。





3) 不同力场下加速度的计算方法：

- Gravity Forcefield： a = gravity / mass;
- Radial ForceField： a=position*magnitude/ mass*（-1）
  径向力场，将粒子拉向原点，力的大小和到原点的距离成正比.
- Constant ForceField：a=force/ mass;
- Vertical ForceField：a= force(0,position.y()*magnitude,0) / mass *（-1）
  垂直力场，将粒子拉向 y 轴负方向

4) 通过 generator 确定产生新粒子的个数、位置、速度、生命周期：
   - 为了在整个仿真过程中，都保持粗略上一致的粒子数（desired_num_particles），每步应产生（dt * desired_num_particles / lifespan）个粒子。
   - 产生一个新粒子需要随机产生如下属性：position，velocity，mass，lifespan。每个属性都有其对应的随机参数。查找资料后，hose generator 有一种产生随

机粒子的公式如下：

$$mass = mass + random(-t,t), t = randomness$$

$$lifespan = lifespan + random(-t,t), t = randomness$$

$$\vec{i} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} * random(-t,t), \frac{\sqrt{2}}{2} * random'(-t,t), 0\right), t = randomness$$

$$\overrightarrow{position} = \overrightarrow{position} + \vec{i}$$

$$\overrightarrow{velocity} = \overrightarrow{velocity} + \vec{i}'$$

作业中提供的 random->next ()函数可以产生（0,1）之间的一个随机浮点数。

- 对于环形粒子生成器，可以考虑借助圆的参数方程，通过随机改变圆的半径和下一个点旋转的角度产生随机位置。为了保证每一圈比较均匀，还需要随着时间增加产生的粒子数，可以给原来得到新粒子数的公式上乘一个系数。

$$\begin{cases} x = r\sin t \\ y = r\cos t \end{cases}, \ t \in [0,2\pi]$$

二、实现细节

1. 积分器：

- Euler integrator

```
void EulerIntegrator::Update (Particle *p, ForceField *forcefield, float
current_time, float dt){
    color = Vec3f (1, 0, 0);
    Vec3f v = p->getVelocity ();
    Vec3f position = p->getPosition () + v * dt;//x(t+dt)=x(t)+v*dt
    p->setPosition (position);
    float mass = p->getMass ();
    Vec3f a = forcefield->getAcceleration (p->getPosition (), mass,
current_time);//a=F/m
    Vec3f velocity = v + a * dt;//v(t+dt)=v(t)+a*dt
    p->setVelocity (velocity);
    p->increaseAge (dt);
}
```

- Midpoint integrator

```
void MidpointIntegrator::Update (Particle *p, ForceField *forcefield, float
current_time, float dt){
    color = Vec3f (0, 1, 0);
    float mass = p->getMass ();
    Vec3f a = forcefield->getAcceleration (p->getPosition (), mass, current_time);
    Vec3f v = p->getVelocity ();
    Vec3f pm = p->getPosition () + v * (dt / 2);//xm=x(t)+v*dt/2
    Vec3f vm = v + a * (dt / 2);//vm=v(t)+a*dt/2
    Vec3f position = p->getPosition () + vm * dt;//x(t+dt)=x(t)+vm*dt
    p->setPosition (position);
    Vec3f velocity = v + forcefield->getAcceleration (pm, mass, current_time + dt /
2)*dt;// v(t+dt) = v(t)+ a(xm, t+dt/2) * dt
    p->setVelocity (velocity);
```

```
    p->increaseAge (dt);
}
```

2. 粒子生成器：

- HoseGenerator

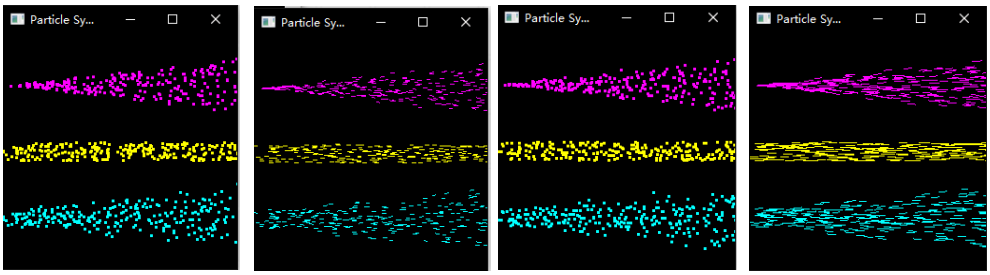
```
Particle* HoseGenerator::Generate (float current_time, int i){
    //软管生成器：
    //随机位置
    Vec3f position_random = position + Vec3f (MID_SQRT2 * (2 * random->next () - 1.0f) *  position_randomness, MID_SQRT2 * (2 * random->next () - 1.0f) * position_randomness, 0);
    //随机速度
    Vec3f velocity_random = velocity + Vec3f (MID_SQRT2 * (2 * random->next () - 1.0f) *  velocity_randomness, MID_SQRT2 * (2 * random->next () - 1.0f) * velocity_randomness, 0);
    //随机质量
    float mass_random = mass + (2 * random->next () - 1.0f) * mass_randomness;
    //随机生命值
    float lifespan_random = lifespan + (2 * random->next () - 1.0f) * lifespan_randomness;

    Particle* particles = new Particle (position_random, velocity_random, color, dead_color, mass_random, lifespan_random);
    return particles;
}
```

- RingGenerator

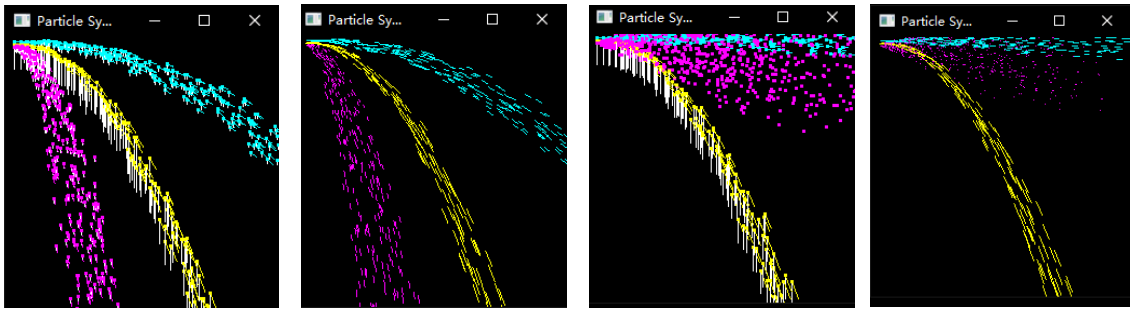
```
Particle* RingGenerator::Generate (float current_time, int i){
//环形生成器 ：
    float radius = 2.5f + (1.0f * random->next () - 0.5f);
    float theta = random->next () * 2.0f * M_PI;

    Vec3f position_random=Vec3f(radius*sinf(theta),0.0f,radius*cosf(theta));//位置
    Vec3f velocity_random = velocity + Vec3f (0.707f * (2 * random->next () - 1.0f) *  velocity_randomness, 0.707f * (2 * random->next () - 1.0f) *  velocity_randomness, 0.0f);//随机速度
    float mass_random=mass+(2 * random->next () - 1.0f) * mass_randomness;//随机质量
    float lifespan_random=lifespan+(2*random->next()-1.0f)*lifespan_randomness;
    Particle* particles = new Particle (position_random, velocity_random, color, dead_color, mass_random, lifespan_random);
    return particles;
}
```

三、结果展示

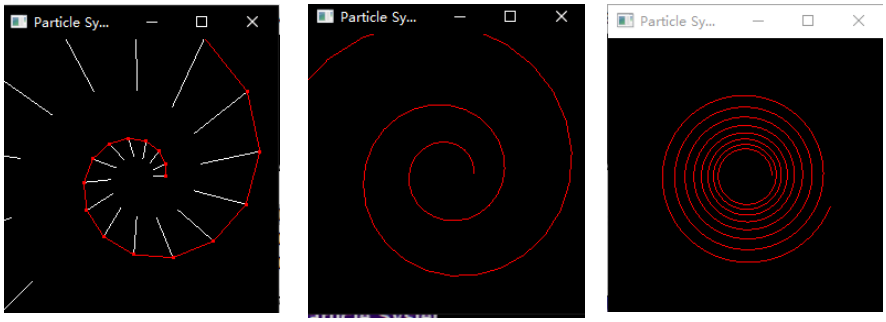
1.Hose generator 和 motion blur 测试：



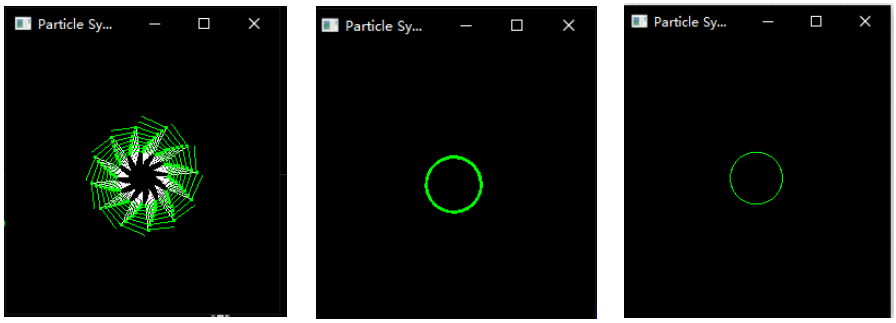
2. Hose generator 和力场测试：



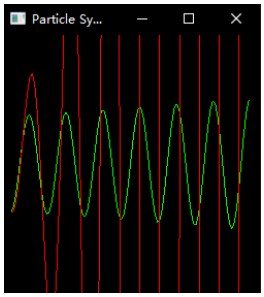
3.Ring generator 和 Euler integrator 方式测试：

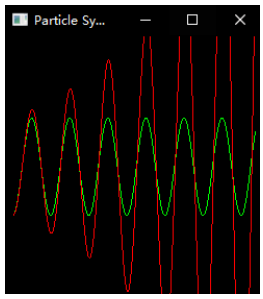


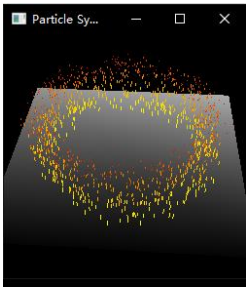
4. Ring generator 和 Midpoint integrator 方式测试：



5.以上两种 integrator 的其他测试:







四、心得体会

当根据时间来改变很多个质点的位置和速度之后，就可以形成粒子动画。而加上各种力场、各个属性的随机值，可以产生千变万化的效果!