

ข้อเสนอโครงการฉบับเต็ม (Proposal)

ชื่อโครงการ(ภาษาไทย) : การจำลองการเคลื่อนไหวนៃของ ของเหลวด้วย Particle

ชื่อโครงการ(ภาษาอังกฤษ) : Fluid Animating with Particle System

ประเภทการแข่งขัน : โปรแกรมเพื่องานการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผู้พัฒนา : นายวสันต์ อนุสรหิรัญการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.ภาวดี สมภักดี

ความเป็นมาและปัญหา

ในงานด้าน Computer Graphic ในปัจจุบันมักจะถูกใช้ในการ สร้างภาพยนตร์ อยู่เสมอ ไม่ว่าจะเป็นการสร้าง model ตัวละคร การใส่ effect ต่างๆ ที่ไม่สามารถสร้างขึ้นมาได้จริงๆ model หรือ effect เหล่านั้นในบางครั้งก็จะมีปฏิสัมพันธ์ กับวัตถุที่มีลักษณะเป็น ของเหลว อย่างเช่น คนกำลังว่ายน้ำ ก้อนหินที่ตกใส่น้ำ ในปัจจุบัน การจำลองการเคลื่อนไหวนៃของ ของเหลวนั้น มีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก เป็นการยากที่จะสร้างแบบจำลองโดยพึ่งแค่การคาดเดาของคนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากวัตถุมีลักษณะแตกต่างออกไปจาก model ที่สร้างกันทั่วไป อย่างเช่น การกระจายตัว การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง จึงมีความจำเป็น ที่จะสร้าง API ที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของ ของเหลวขึ้นมา โดยใช้ทฤษฎีทางฟิสิกส์ และ เทคนิคทางด้าน Computer Graphic มาช่วย จะทำให้การสร้างภาพยนตร์ ที่มีของเหลวเข้าไปเกี่ยวข้อง สามารถทำได้สะดวกขึ้น เหมือนจริงยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็น การอธิบาย ทฤษฎีทางฟิสิกส์ ได้เป็นอย่างดี

วัตถุประสงค์

1. ช่วยทำให้การสร้างภาพยนตร์ที่มีของเหลว เข้ามาเกี่ยวข้องทำได้สะดวกยิ่งขึ้น
2. การสร้างแบบจำลองจากทฤษฎีทางฟิสิกส์ ทำให้สามารถใช้ใน การจำลองการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้
3. ช่วยในการออกแบบ วัสดุหรือ ยานพาหนะ ที่ต้องมีปฏิสัมพันธ์กับของ เหลว

เหตุผล

ในการสร้างภาพยนตร์ การสร้าง model ที่มีลักษณะเป็นของเหลวจะทำได้ง่ายขึ้น ประหยัดเวลามากขึ้น ทำให้ภาพยนตร์ มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น และยังสามารถใช้สร้าง แบบจำลองเพื่อใช้ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ช่วยในการออกแบบวัสดุและ ยานพาหนะได้อีกด้วย

รายละเอียดของการพัฒนา

เทคนิค

ในการอธิบายการเคลื่อนไหวนៃของ ของเหลวในทางฟิสิกส์ จะใช้สมการ ที่ชื่อว่า Navier-Stokes Equations สมการนี้จะใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของของเหลวและก๊าซ ซึ่งโครงการนี้จะใช้สมการนี้เป็นหลักในการจำลอง model ของของเหลว และใช้เทคนิคทางด้าน Computer Graphic มาช่วยอย่างเช่น ในโครงการนี้ จะแทนของเหลวด้วย particle แล้วสร้างพื้นผิวที่หุ้ม particle อีกทีหนึ่ง

Navier-Stokes Equation

จาก กฎการอนุรักษ์ โมเมนตัมของ นิวตัน จะได้

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} + \frac{1}{\rho} \nabla p = \vec{g} + \nu \nabla^2 \vec{u}$$

เมื่อ \vec{u} คือความเร็วของ ของเหลว

ρ คือ ความหนาแน่น

p คือ แรงดัน

\vec{g} คือ แรงดึงดูด หรือ แรงที่มากระทำกับของเหลว แต่ในโครงการนี้เป็นการตออิสระจึงใช้เป็น แรงดึงดูดของโลก

ν คือความหนืดของ ของเหลว

และจะให้มวลของ ของเหลวในขณะที่เคลื่อนที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้ของเหลวมีคุณสมบัติ

Incompressibility จะได้สมการคือ

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0$$

ในการ solve สมการนี้ เราจะแบ่ง สมการออกเป็น ส่วนๆเพื่อการง่ายต่อ การ solve ดังนี้

advection term : $\frac{D\vec{u}}{Dt} = \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} = 0$

body forces term : $\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = \vec{g}$

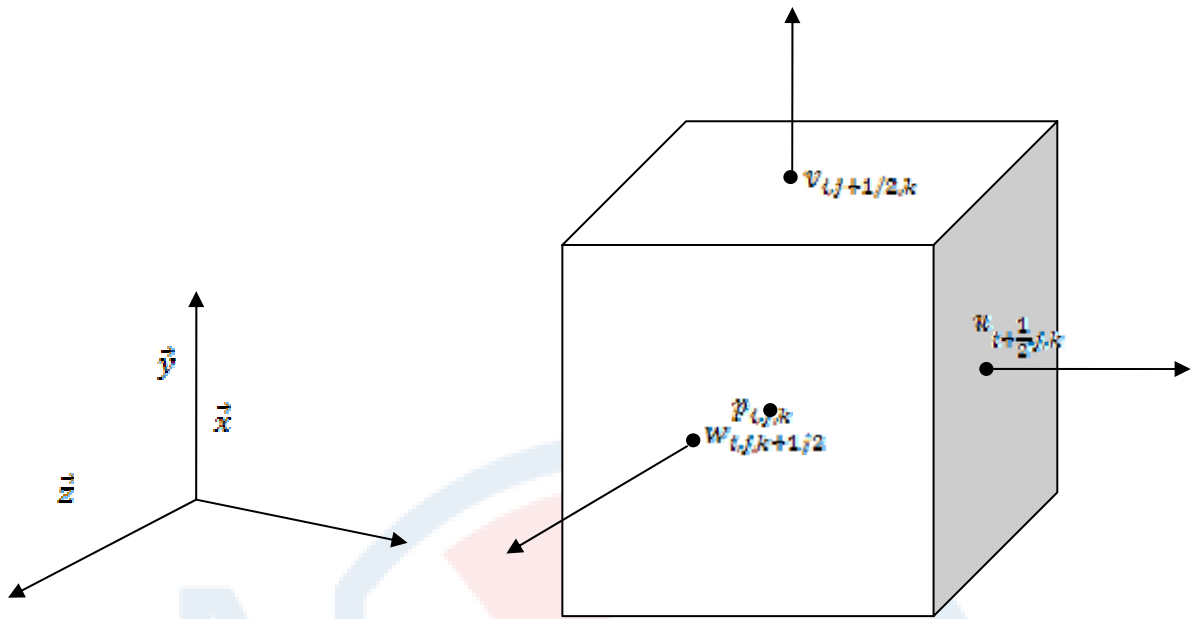
pressure/incompressibility term : $\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \nabla p = 0, \nabla \cdot \vec{u} = 0$

Time Step

ระยะห่างของเวลาในแต่ละ frame ในสมการนี้ ความเร็วจะเปลี่ยนไปเรื่อยๆการใช้ Δt น้อยๆจะสามารถหลีกเลี่ยงการเกิดความผิดพลาดของการคำนวณได้ หรืออาจจะใช้ Adaptive Stepsizes เพื่อหาค่าของ Δt ที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความผิดพลาดที่ยอมรับได้และทำให้การคำนวณค่าต่างๆ น้อยครั้ง ทำให้การสร้างภาพ animation ที่มีความยาวมากๆนั้นใช้เวลาน้อยลงในการ render

Grids

ในการเก็บข้อมูลของ ของเหลว จะใช้โครงสร้างแบบ Grids เพื่อให้สามารถเก็บค่าต่างๆของ ของเหลวในที่ต่างๆกันได้ นิยมใช้กันมากในด้านของการจำลองของ ของเหลวดังเช่นในงานวิจัยของ Stam and Foster/Metaxas ในปี 2001วิธีนี้ได้ถูกเริ่มโดย Harlow and Welch ซึ่งเรียกว่า Marker-and-Cell (MAC) ใน MAC Grids จะเก็บค่าต่างๆไว้ในที่ต่างๆกันเช่น ความเร็วแทนด้วย $\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}$ คือความเร็วตามแนวแกน x,y,z และจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนแล้วเก็บไว้ที่จุดกึ่งกลางในแต่ละด้านของ Grids และค่าแรงดัน p จะเก็บไว้ที่กลาง Grids และ cell ที่อยู่ติดกันจะใช้ด้านที่ติดกันร่วมกัน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 MAC Grids และตำแหน่งของค่าต่างๆบน MAC Grids

MAC Grids จะช่วยทำให้การควบคุมความเร็วความดัน และคุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวง่ายขึ้น และยังสามารถใช้ในการช่วยสร้าง surface ของของเหลวได้อีกด้วย การคำนวณความเร็วของ particle ที่อยู่ใน cell จะได้มาจากการทำ Linear Interpolation ของความเร็วที่อยู่บนด้านทั้ง 6 ของ cell Fluid Surface

การหา cell พื้นผิว ของของเหลว จาก MAC Grid จะแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ

- ถ้าไม่มี particle อยู่ใน cell เลข cell นั้นจะเป็น cell ว่าง(Air cell)
- ถ้ามี particle อย่างน้อย 1 particle อยู่ภายใน cell นั้นและอยู่ติดกับ Air cell ด้านใดด้านหนึ่ง cell นั้นจะเป็นพื้นผิวของของเหลว
- ถ้ามี particle อย่างน้อย 1 particle อยู่ภายใน cell นั้นและไม่อยู่ติดกับ Air cell ด้านใดด้านหนึ่ง cell นั้นจะเนื้อภายในของของเหลว

การสร้าง surface จะใช้ วิธีที่ชื่อ ว่า level set method เป็นการแสดงรูปแบบสมการในรูป implicit function ดังนี้

$$\phi_p(x) = \sqrt{(x_i - x_{pi})^2 + (x_j - x_{pj})^2 + (x_k - x_{pk})^2} - r = 0$$

x_p คือ ตำแหน่งของ particle

r คือรัศมีของ ของเหลวต่อ 1 particle

x คือตำแหน่งใดๆ ในระบบ 3D

จากสมการนี้ถ้า

- ถ้า $\phi = 0$ นั่นคือ x เป็นจุดบน surface
- ถ้า $\phi < 0$ นั่นคือ x เป็นจุดในเนื้อของ ของเหลว
- ถ้า $\phi > 0$ นั่นคือ x เป็นจุดด้านนอกของ ของเหลว

จากสมการนี้เราจะได้จุดบน surface มาแล้วจะต้องทำไปผ่านการ smooth อีกขั้นตอนหนึ่งเพื่อให้ surface ดูเรียบขึ้น

เครื่องมือและภาษาที่ใช้

1. ภาษา python
2. PyODE เป็น physics engine API
3. Lightflow Rendering Tools เป็น rendering API
4. PyOpenGL เป็น Graphic APIรายละเอียดของโปรแกรม

เป็น API ที่ใช้สร้าง model ของ ของเหลว โดยที่ผู้ใช้สามารถกำหนดลักษณะของของเหลวได้อย่างอิสระ และจะจำลองภาพเคลื่อนไหวของของเหลวเมื่อมีวัตถุมากระทำ

รายละเอียดของโปรแกรมที่จะพัฒนา

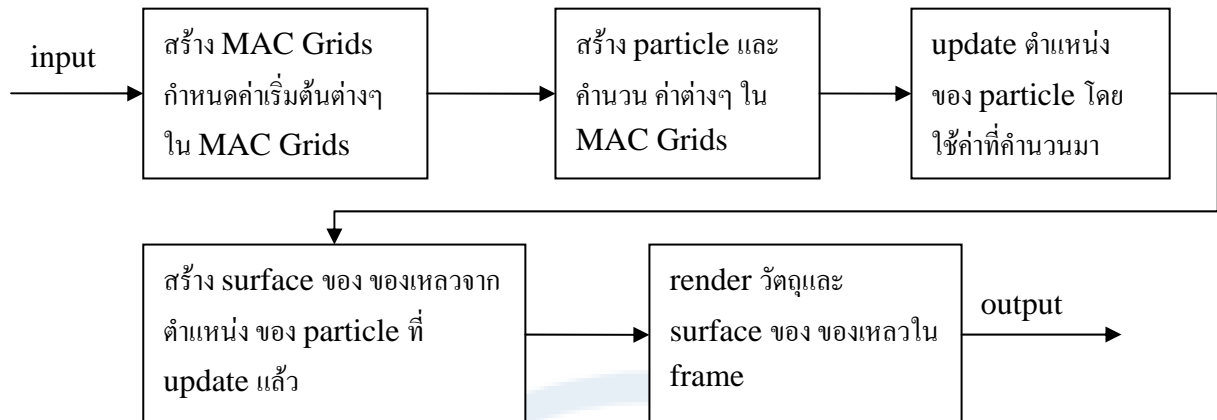
Input ของโปรแกรม

model ของวัตถุที่เป็น ของแข็ง เคลื่อน ที่ไม่ได้,ความเร็วเริ่มต้น,แรงดึงดูด,แรงดัน,ความหนาแน่น,ความหนืด

Output ของโปรแกรม

ภาพของ ของเหลวที่จำลองได้

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ต่อ 1 frame



ขอบเขตของโปรแกรม/ข้อจำกัด

1. ลักษณะของของเหลวที่กำหนดจะเป็นการตกลอิสระ และกำหนดความเร็วการเคลื่อนที่ได้ในช่วงแรกเท่านั้น
2. ของเหลวจะตกอย่างอิสระ ไปยังวัตถุที่รองรับ อย่างเช่น การเทน้ำใส่แก้ว
3. จะสร้างภาพจำลองการเคลื่อนไหวของของเหลวเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

- S. Osher and R. Fedkiw. Level Set Methods and Dynamic Implicit Surfaces. Springer-Verlag, 2002.
- Nick Foster and Ronald Fedkiw. Practical animation of liquids. In Proc. SIGGRAPH, pages 23–30,2001.
- Nick Foster and Dimitri Metaxas. Realistic Animation of Liquids Graphical Models and Image Processing 58, 471- 483 ,1996.
- Enright, D., Fedkiw, R., Ferziger, J., and Mitchell, I. A hybrid particle level set method for improved interface capturing. *J. Comp. Phys.*. To appear. 2002.
- Robert Bridson and Matthias Muller-Fischer. FLUID SIMULATION SIGGRAPH 2007 Course Notes.2007
- Enright, D., Fedkiw, R. and Stephen,M. Animation and Rendering of Complex Water Surfaces
- F. Harlow and J. Welch. Numerical Calculation of Time-Dependent Viscous Incompressible Flow of Fluid with Free Surface. *Phys. Fluids*, 8:2182–2189, 1965.