



جامعة دمشق
كلية الهندسة المعلوماتية
السنة الرابعة – ذكاء صناعي

/مشروع الحقائق الافتراضية/

محاكاة نفق هواء

التقرير النهائي

تقديم:

سامي أنس العمر

داني موسى الشماس

محمد تيسير شهاب

محمد أسامة حجازي

محمد علاء الميداني

بإشراف:

م. خالد اسماعيل

المقدمة

في هذا المشروع، هدفنا إلى محاكاة حركة الهواء في نفق الرياح اعتماداً على Grid Based Fluid Simulation. وذلك بتنفيذ محاكاة تدفق الهواء وفقاً لمعادلات Navier-stokes، ونقل العمليات الحسابية من وحدة المعالجة المركزية (CPU) إلى وحدة معالجة الرسومية (GPU) لتحقيق سرعة في العرض، والتعامل بشكل فعال مع العرض ثلاثي الأبعاد والصدم.

محاكاة تدفق الهواء باستخدام ال Grid

تمثيل تدفق الهواء

يتم تمثيل الهواء كمجموعة من الخلايا داخل ال Grid. تحتوي كل خلية على خصائص مثل:

- السرعة velocity: سرعة واتجاه تدفق الهواء داخل الخلية.
- الضغط pressure: القوة التي يمارسها الهواء داخل الخلية.
- الكثافة density: كتلة الهواء داخل الخلية، يعبر عنها كلون أو حبر إذا صح التعبير.

المعادلات الحاكمة

تخضع المحاكاة لمعادلات Navier-stokes، التي تصف كيفية تطور سرعة الهواء مع مرور الوقت. المبادئ الأساسية تشمل:

- حفظ الكتلة: كمية الهواء التي تدخل الخلية يجب أن تساوي الكمية التي تخرج منها.
- حفظ الزخم: يتأثر تغير زخم الهواء بتدرجات الضغط، القوى اللزجة، والقوى الخارجية.

الخوارزميات الرياضية

Diffusion

هي العملية التي تنتشر بها خصائص تدفق الهواء مع مرور الوقت. في محاكتنا:

- الغرض: محاكاة الانتشار الطبيعي لخصائص تدفق الهواء مثل السرعة والكثافة منعاً من الانتشار خارج المحيط.
- التأثير: يمكن أن يتسبب تطبيق Diffusion في اختلال شرط الاستمرارية، مما يؤدي إلى تناقضات في سلوك تدفق الهواء والتي تم تصحيحها في الخطوات اللاحقة.

Projection

يستخدم لتصحيح السرعة، وضمان أنه divergence-free (أي يحقق معادلة الاستمرارية):

- حساب ال Pressure Diversion: يتضمن حل معادلة خطية لتعديل حقل الضغط، باستخدام Jacobi iteration لحوالي 50 تكراراً (بالتجربة وجدنا أن هذا الرقم مناسب للمحاكاة). تضمن هذه الخطوة تعديل سرعة تدفق الهواء للحفاظ على عدم الانضغاطية.

Advection

يمثل نقل خصائص تدفق الهواء عبر الشبكة:

- التمثيل: يحاكي كيفية انتقال الهواء من خلية إلى أخرى. هذه الخطوة ضرورية لوصف تدفق الهواء بدقة وتحديث بعد عملية الـ Projection.

الانتقال من وحدة المعالجة المركزية CPU إلى وحدة معالجة الرسومات GPU

الدافع

يمكن أن يكون عرض محاكاة تدفق الهواء على الـ CPU بطيئاً بسبب الطبيعة التسلسلية للعمليات الحسابية:

- الأداء: يمكن للـ GPU تنفيذ العمليات الحسابية بالتوازي، مما يسرع المحاكاة بشكل كبير.
- المعالجة بالتوازي: باستخدام compute shaders و Graphics Pipelines، يمكننا الاستفادة من قدرة الـ GPU على التعامل مع العمليات المتعددة في نفس الوقت.

التعامل مع البيانات

لنقل البيانات ومعالجتها بشكل فعال باستخدام الـ GPU، يجب نقل البيانات ومعالجتها بشكل صحيح:

- **compute buffer : Data Structure** يستخدم لتخزين خصائص تدفق الهواء (السرعة، الضغط، الكثافة) التي يتم القراءة والكتابة عليها أثناء المحاكاة.
- **عملية العرض**: يتم عرض كل خلية في الشبكة بشكل مستقل بواسطة، ويتم تخزين الناتج في compute buffer يسمح هذا بالتصور الفعال لديناميات تدفق الهواء.

العرض ثنائي وثلاثي الأبعاد

2D Rendering

في العرض ثنائي الأبعاد، يتم تصور محاكاة تدفق الهواء على سطح مستوي:

- **تقنية العرض**: يتم استخدام quad (مثلاً، مستطيل بسيط) مع Material لها الـ Texture الذي يحتوي على كثافة الهواء والخصائص الأخرى.

3D Rendering

يتضمن تحويل المحاكاة إلى ثلاثية الأبعاد تعقيدات إضافية:

- تحديث الخوارزمية: يتم تطبيق نفس المبادئ المراحل المستخدمة في الخوارزمية ثنائية الأبعاد في ثلاثة أبعاد، مع مراعاة المحور الثالث.
- تقنية العرض: يتم تقسيم الـ 3D texture إلى شرائح slices، تساعد هذه الطريقة في تصور تدفق الهواء واقعياً 3D، مع تطبيق الشفافية transparency على المناطق ذات الكثافة المنخفضة (اعتماداً على threshold معينة) لتحسين وضوح العرض.

معالجة الصدم

تمثيل الـ 3D model في الـ Grid

لمحاكاة التصادمات، يجب تمثيل الأجسام الصلبة (النماذج ثلاثية الأبعاد) داخل شبكة تدفق الهواء:

- التجزئة **Voxelization**: The 3D model's geometry is converted into a voxel representation by scanning its triangles and mapping them to the nearest grid cells.

تعديل الخوارزمية

يتم تعديل خوارزمية المحاكاة لمراعاة وجود الأجسام الصلبة داخل نفق الرياح:

- معالجة الأجسام الصلبة: يتم تقديم compute buffer يحتوي على بيانات Boolean، يشير إلى ما إذا كانت كل خلية تحتوي على جزء من النموذج ثلاثي الأبعاد. يتم تعديل الخوارزمية لضبط خصائص تدفق الهواء بناءً على وجود هذه الأجسام الصلبة.
- تعديل السرعة والضغط: عند قراءة خصائص الخلية، تتحقق الخوارزمية مما إذا كانت الخلايا المجاورة جزءاً من جسم صلب. إذا كان الأمر كذلك، يتم تعيين السرعة على سرعة الجسم، ويتم تعديل الضغط لمطابقة الخلية المركزية (الحالية)

Free-slip Condition

يتطلب التعامل مع الحدود بين الهواء والأجسام الصلبة (النماذج ثلاثية الأبعاد) اعتبارات دقيقة:

- التعامل مع الحدود boundaries: يتم تحديد السرعة عند الحدود بناءً على سرعة الجسم والمكون العادي للهواء. يضمن هذا أن يحترم تدفق الهواء وجود الجسم الصلب مع الحفاظ على ديناميات تدفق واقعية.