الهندسة والتكنولوجيا
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 30 مايو 2025
doi: 10.3389/frym.2023.1166415-ar

الرياضيات والأفلام

Pat Hanrahan *
مختبر الرسوميات الحاسوبية، كلية الهندسة، جامعة ستانفورد، ستانفورد، كاليفورنيا، الولايات المتحدة

هل تساءلت يومًا عن سبب الشكل المحدد للأشياء التي تراها حولك؟ في جزء كبير من عملي في أبحاث الرسوميات الحاسوبية، أركز على الإجابة عن هذا السؤال، حتى يمكننا محاكاة أشياء من العالم الواقعي باستخدام أجهزة الكمبيوتر، وهذا مهم لصناعة الأفلام وألعاب الفيديو الجذابة بصريًا للجمهور. ومع ذلك، هناك عدة استخدامات أخرى للرسوميات الحاسوبية الواقعية، مثل التدريب وتصميم المنتجات والهندسة المعمارية وغيرها. في هذه المقالة، سأخبرك عن كيفية إنشاء صور واقعية للعالم باستخدام الكمبيوتر، وكيف أدى عملي إلى تحسين الطريقة التي نحاكي بها البشرة والشعر في الشخصيات الافتراضية. وسيعطيك هذا منظورًا جديدًا حول روعة وجمال المشاهد الطبيعية التي نصادفها في حياتنا اليومية وحول الصور والأفلام من إنشاء الكمبيوتر التي تحاكي هذه المشاهد الطبيعية.

المراجعون الصغار

HRDAYA
العمر: 9

MRS. MINOGUE'S CLASS AT KLONDIKE ELEMENTARY
العمر: 9–11

فاز البروفيسور Pat Hanrahan بجائزة تورينج في عام 2019، مشاركةً مع الدكتور إدوين كاتمول لمساهماتهما الأساسية في الرسوميات الحاسوبية ثلاثية الأبعاد وتأثير الصور المنشئة بواسطة الكمبيوتر في صناعة الأفلام والاستخدامات الأخرى.

العالم حولنا

ما الذي تراه عندما تنظر من نافذتك؟ أرى بعض أشجار البلوط وظللاً من الأوراق الجميلة. عندما يكون الجو مشمسًا، تبدو الأوراق وكأنها تتوهج بضوء رائع. ولأنني عملت لعدة سنوات في الرسوميات الحاسوبية، فإنني أنظر إلى البيئة المحيطة بي كل يوم بعقل فضولي ومراقب. عندما أرى منظرًا طبيعيًا جميلاً، ألاحظ اختلافات دقيقة في الإضاءة المنعكسة على عناصر الطبيعة، مثل تلك التي على أوراق الشجر خارج نافذتي، وأسأل نفسي: ما الذي يجعلها جذابة ورائعة بصريًا لهذه الدرجة؟ كيف تشتت أوراق الشجر ضوء الشمس الذي يصطدم بها قبل أن يصل إلى عيني؟ وما الطريقة الأفضل لمحاكاة كل هذا باستخدام الكمبيوتر بحيث تبدو الأوراق على شاشة الكمبيوتر الخاص بي رائعة أيضًا كحالها في الطبيعة؟

الرسوميات الحاسوبية (COMPUTER GRAPHICS)

إنشاء الصور الرقمية باستخدام أجهزة الكمبيوتر.

إذا فكرت في الأمر، فستجد أن كل شيء نراه في العالم، من الأشجار مرورًا بالناس ووصولاً إلى الملابس، يتكون من مواد وأشكال معقدة. ولوصف تكوين المشهد البصري، علينا توضيح كل الأشكال الهندسية التي تتكون منها عناصر ذلك المشهد، وكذلك المواد المصنوعة منها. في حالة البشر على سبيل المثال، نرى البشرة والوجه والشعر والملابس، وكل ذلك مكوّن من مواد ذات خصائص فريدة. تتعدد أنواع مصادر الضوء، فهناك الشمس وإضاءة النيون والضوء الكاشف على سبيل المثال، وكل مصدر ينشئ نمطًا فريدًا للإضاءة. وفي النهاية، يدرك المُشاهد المشهد الملاحظ (أو يتم تسجيله بالكاميرا) من نقطة معينة. عند إلقاء نظرة فاحصة على أي مشهد، نكتشف مجموعة ضخمة منوعة من العناصر التي تعمل معًا لإنشاء الصورة التي نراها في النهاية. عادةً ما نمر على الأشياء التي نراها يوميًا مرور الكرام، ولكن عندما يتعين إنشاء صورة واقعية للعالم باستخدام الكمبيوتر، نبدأ في تقدير مدى إثارة وتعقيد واقعنا البصري ومدى صعوبة تمثيله بشكل مقنع في الكمبيوتر.

محاكاة العالم باستخدام أجهزة الكمبيوتر

في بداية مسيرتي المهنية، عملت في بيكسار، وهو استوديو معروف جيدًا الآن بإنتاج الرسوم المتحركة. أراد الاستوديو جعل المؤثرات الخاصة في الأفلام أكثر إقناعًا من خلال الجمع بين المواد المنشئة بواسطة الكمبيوتر والصور الملتقطة من الحركة الحية. للقيام بذلك بسلاسة، يجب أن تكون الصور المنشئة بواسطة الكمبيوتر محاكية للواقع، بمعنى أنه لا يمكن تمييزها عن صور العالم الواقعي (الشكل 1). وتطلّب هذا إنشاء صور ثلاثية الأبعاد من أوصاف عناصر المشهد. وهذه هي أول مرحلة في العملية، واسمها العرض، وتعني محاكاة العالم باستخدام كمبيوتر (لمعرفة المزيد عن العرض، شاهد هذا الفيديو)

العرض (RENDERING)

عملية أخذ وصف لمشهد ثلاثي الأبعاد وتحويله إلى صورة كمبيوتر.

[1]. أدركنا في النهاية أنه يمكن استخدام العرض ليس فقط للمؤثرات الخاصة، بل لصناعة أفلام كاملة في الكمبيوتر فقط دون الحاجة إلى تصويرها على أرض الواقع. كنت منبهرًا بالتحدي المتمثل في إنشاء عالم افتراضي واقعي وما زلت أعمل منذ 30 إلى 40 عامًا على تحسين جودة العرض أكثر فأكثر.

شكل 1

شكل 1

الطريق إلى بوينت ريبس: تم إنتاج هذه الصورة في عام 1983 بواسطة Lucasfilm (والذي تحوّل لاحقًا إلى Pixar)، وهي مثال على صورة واقعية عالية الدقة تم إنشاؤها بواسطة الكمبيوتر. وكان هذا إنجازًا مهمًا في الطريق نحو إنشاء أفلام رقمية بواسطة الكمبيوتر (مصدر الصورة: http://www.calgran.net/upf/recursos/ima_dig/_2_/estampes/d3_1.html).

كيف يعمل العرض؟ في البداية، يوفر لنا الفنانون والمصممون ومتخصصو الرسوم المتحركة أوصافًا ثلاثية الأبعاد (في شكل رسومات أو نصوص) للعالم الذي نريد محاكاته. ويتم حفظ هذه الأوصاف في ملفات على الكمبيوتر. وعندما يتكون لدينا وصف كامل لمشهد معين، علينا إنشاء نموذج حاسوبي للمشهد لتحويل ملفات الأوصاف في النهاية إلى صور فعلية مثل ملفات JPEG التي قد تكون تعرفها. وأبسط طريقة لإنشاء نماذج الأشكال المعقدة من خلال الكمبيوتر هي استخدام المضلعات، مثل المثلثات والمربعات (الشكل 2). فنحن نقسّم كل الأشكال المعقدة في المشهد إلى مثلثات صغيرة للغاية، بما يصل عادةً إلى مليارات المضلعات في كل صورة. ثم يأتي دور أحد أكبر التحديات في العرض الواقعي، وهو محاكاة الإضاءة بشكل صحيح. وأبسط طريقة لإنشاء نموذج الضوء في عالم تتم محاكاته بالكمبيوتر هي افتراض أن أشعة الضوء تتحرك في خطوط مستقيمة. ولإنشاء نموذج صحيح للضوء، نستخدم تقنية اسمها تتبع الشعاع، وفيها نتبع مسارات أشعة الضوء التي تتم محاكاتها في مشهدنا الافتراضي لتحديد الشكل المطلوب لإضاءة هذه الصورة.

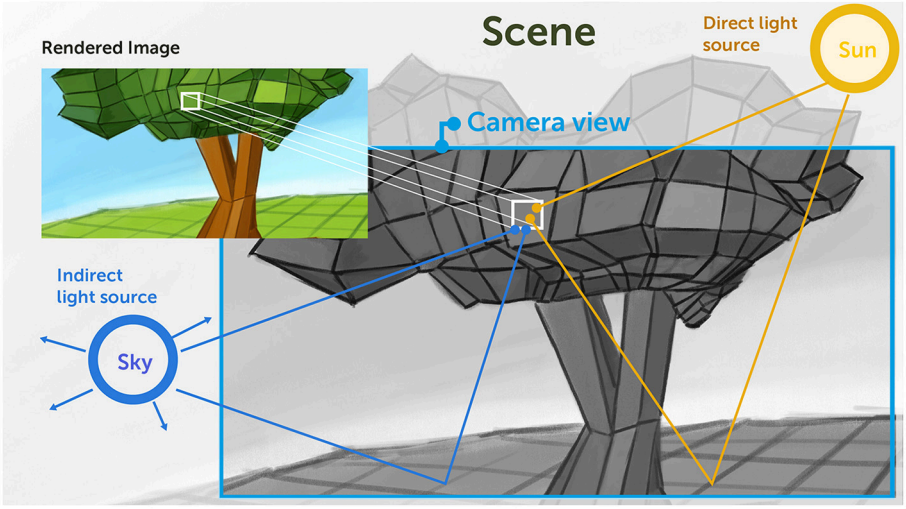
النموذج الحاسوبي (COMPUTER MODEL)

تمثيل بصري باستخدام الكمبيوتر لمواقف وعمليات من الحياة الواقعية.

تتبع الشعاع (RAY TRACING)

طريقة مستخدمة في العرض لتحديد إضاءة المشهد من خلال محاكاة سلوك الضوء.

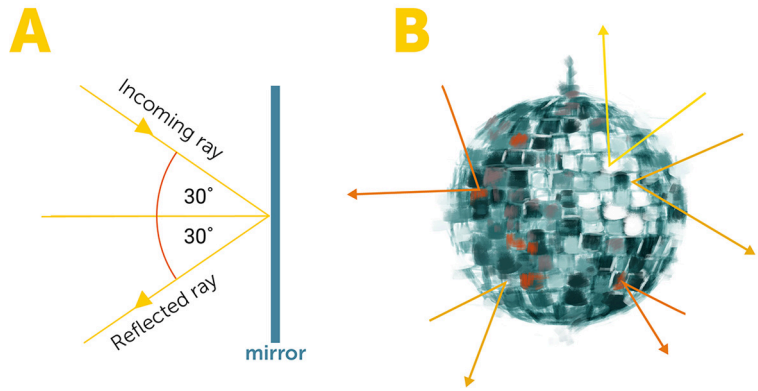
تنبعث أشعة ضوء من كل مصدر إضاءة مباشرة في المشهد، مثل الشمس أو المصباح الكهربائي. وتنتقل هذه الأشعة في الفضاء إلى أن تصطدم بسطح عنصر ما وتتشتت. وكل مادة تشتت الضوء بشكل مختلف حسب خصائص سطحها المحددة (على سبيل المثال اعتمادًا على مدى نعومتها وشفافيتها). وأغلب جهودنا كباحثين في



شكل 2

الرسوميات الحاسوبية تركز على محاكاة مدى الاختلاف بين المواد (مثل الحجر أو القماش أو البشرة) في تشتيت الضوء. ومع كل مادة، نريد في النهاية التوصل إلى دالة رياضية تصف كيفية تشتيت تلك المادة للضوء. ويُطلق على هذه الدالة الرياضية اسم دالة التشتت الخاصة بالمادة.

تشمل الطرق المستخدمة لإنشاء نموذج دالة التشتت لمادة ما تمثيل سطح المادة كما لو كان مكونًا من عدة مرايا صغيرة مختلفة الاتجاه (الشكل 3B). عندما تصطدم أشعة الضوء بمرآة مثالية، تنعكس بزاوية مساوية للزاوية التي اصطدمت بها بالمرآة (الشكل 3A). وإنشاء نموذج دالة التشتت لمادة ما كتوزيع عشوائي للمرايا على سطحها قد ينجح مع مواد معينة، ولكن الكثير من المواد الطبيعية تتطلب نماذج أكثر تطورًا. يمكننا تحديد دوال التشتت للمواد المعقدة من خلال قياسات مباشرة للضوء المشتت من تلك المواد. وللقيام بذلك، نسلط الضوء على المادة ونقيس الضوء المشتت منها في اتجاهات مختلفة. ويمكننا حفظ الانعكاس في جداول أو مصفوفات واستخدام هذه



شكل 3

شكل 2

محاكاة الضوء لجعل الصور واقعية: يتم تمثيل المشهد المعقد في الكمبيوتر بواسطة مجموعة من المضلعات الصغيرة (التي غالبًا ما يصل عددها إلى الملايين، بل والمليارات). ولتحديد سطوع ولون كل بكسل في الصورة المعروضة، نتتبع مسارات الأشعة المنبعثة من مصدر الضوء ونحاكي كيفية انعكاسها من الأسطح التي تصطدم بها. ونحن نراعي الإضاءة المباشرة حيث ينعكس الضوء مباشرةً على العين أو الكاميرا. ولكن المشكلة الأكثر تحديًا هي الإضاءة غير المباشرة، حيث يضيء الضوء الصادر من الشمس عناصر أخرى تشتت الضوء الذي يصل في النهاية إلى العين. ومثال على ذلك إضاءة السماء حيث ينعكس ضوء الشمس من السحب والغلاف الجوي، أو الإضاءة غير المباشرة من المصابيح المعلّقة على جدران المباني.

دالة التشتت (SCATTERING FUNCTION)

وصف رياضي لكيفية تشتيت مادة معينة للضوء الذي يصطدم بها.

شكل 3

إعداد نماذج المواد باستخدام المرايا: **(A)** في المرآة المثالية، تنعكس أشعة الضوء بحيث تكون زاوية اصطدام الأشعة بالمرآة مساوية لزاوية خروجها من المرآة. **(B)** تشمل الطرق البسيطة لتقريب دالة تشتت أي مادة إنشاء نموذج لسطحها كمجموعة من المرايا المثالية، وكل منها يشتت الضوء بطريقة محددة. وهذا ينجح مع بعض المواد، ولكن تحتاج غيرها إلى نموذج أكثر تعقيدًا.

المعلومات لإعداد نموذج هذه المادة المحددة في الكمبيوتر. ويمكننا أيضًا ضبط النماذج الفيزيائية لتلائم هذه القياسات.

كيف تبدو بشرتك بهذا الجمال؟

شملت التحديات الأكثر إثارة للاهتمام التي واجهتها إعداد نماذج واقعية للبشرة. في الأفلام الأولى التي استخدمت العرض، كانت البشرة تبدو غير صحية وغير طبيعية إلى حد كبير.

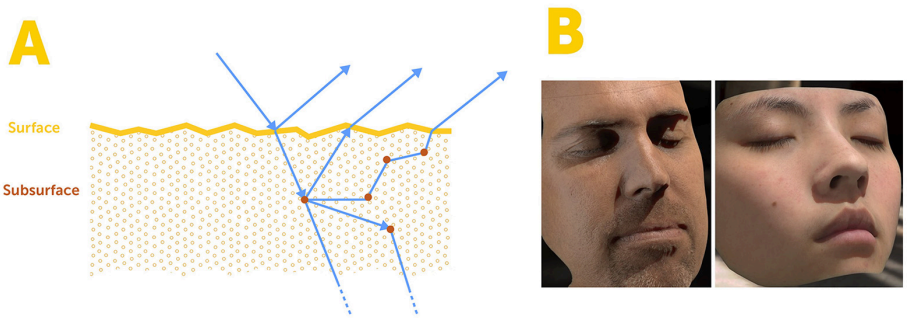
ولا عجب في ذلك، فقد تم إنشاء نماذجها في الأساس مثل البلاستيك. تتميز البشرة الصحية ببريق مميز يجعلها تبدو نابضة بالحيوية. لم تكن تتوفر كتب فيزيائية تشرح سبب شكل البشرة هذا، ولكن لحسن الحظ، وجدت مصدرين للمعلومات ساعداني في حل هذه المعضلة. كان المصدر الأول عبارة عن نماذج للأغلفة الجوية للكواكب (مثل الزهرة أو المريخ أو المشترى) تشرح السبب وراء الشكل الذي تبدو به الكواكب. غالبًا ما نجد الكواكب محاطة بتوهج مميز، مثل البشرة. شاهد على سبيل المثال صورة كوكب المشترى. اشتملت هذه النماذج للأغلفة الجوية للكوكب على نواة صلبة (الكوكب) تحيطها طبقة رقيقة من الغازات.

كان المصدر الثاني عبارة عن كتاب تاريخ في مكتبة جامعة برينستون يصف كيف رسم الرسام الشهير رامبرانت البشرة بحيث تبدو عالية الواقعية في لوحاته. كان يضع طبقات من الصبغات والزيوت فوق بعضها لمحاكاة البريق الحيوي للبشرة (لمعرفة المزيد حول كيفية رسم رامبرانت للبشرة، ألقِ نظرة هنا). لم يكن رامبرانت على دراية بتركيب البشرة، ولكن حدسه أرشده إلى حقيقة تكوّن البشرة من طبقات عديدة. في الصور التي تشرح تقنيته في الرسم، تظهر أشعة الضوء وهي تخترق طبقات البشرة وتنعكس في النهاية من الطبقة العلوية. باستخدام هذين المصدرين، طورت أول نموذج رياضي لدالة التشتت للبشرة [2]. اعتمد هذا النموذج على عملية اسمها الانعكاس تحت السطح، وفيها يخترق الضوء سطح البشرة ويصطدم بالطبقات الداخلية تحت سطح البشرة، ثم يتشتت ويخرج مرة أخرى (الشكل 4). أردت أن يكون نموذجي الأول أبسط ما يمكن ولذلك افترضت أن الضوء الداخل والذي تشتت تحت سطح البشرة يخرج من نفس النقطة التي دخل منها. قدّم هذا النموذج محاكاة جيدة إلى حد ما للبشرة، ولذلك اعتقدت أنه النهج الصائب.

الانعكاس تحت السطح (SUBSURFACE REFLECTION)

نوع من تشتت الضوء يدخل فيه الضوء إلى مادة من نقطة معينة ويتشتت تحت سطحها ويخرج من نقطة أخرى.

ولكن نموذجي البسيط جعل البشرة تبدو مليئة بالنتوءات ولذلك طورت في النهاية نموذجًا أكثر تعقيدًا للبشرة، وفيه يخرج الضوء من البشرة من نقطة مختلفة عن تلك التي دخل منها. وقد أضفى هذا بعض التعقيد على التفسير الرياضي للنموذج، ولكن الأمر كان يستحق العناء، فقد بدت البشرة ناعمة في النهاية. وكان السبب وراء ظهور البشرة في البداية بنتوءات أنه عندما تبدو منطقة صغيرة بجانب مضاء وآخر مظلم، فستظهر مثل النتوء.



شكل 4

شكل 4

الانعكاس تحت السطح: **(A)** تتكوّن البشرة من عدة طبقات. وعندما يصطدم الضوء بالبشرة، ينعكس بعض الضوء من سطح البشرة، بينما يخترق بعضه الطبقات تحت سطح البشرة. وهناك، يتشتت الضوء إلى اتجاهات مختلفة، ويخرج بعضه من أماكن مختلفة عن تلك التي دخل منها. تم دمج هذه الخاصية من خلال النموذج الرياضي الذي طورناه والذي وفّر محاكاة واقعية للبشرة في الكمبيوتر. **(B)** مثال على عرض واقعي للبشرة. منقول بتصرف من d'Eon et al. [3].

ولكن إذا كان الضوء الداخل من الجانب المضاء يتشتت داخل البشرة ويخرج من الجانب المظلم، فسيضاء هذا الجانب أيضًا. بمعنى آخر، ينشر الانعكاس تحت السطح الضوء بطريقة تجعل البشرة تبدو ناعمة.

مررت برحلة مثيرة للاهتمام أيضًا في محاولة إنشاء نموذج للشعر. في البداية، كان الشعر يبدو أيضًا غير واقعي في العرض. واتضح أن إعداد نماذج الشعر على هيئة أسطوانات ملونة شفافة هو النهج الناجح [4]. يتكون رأس الإنسان من 100,000 شعرة وفي الأفلام الحالية، تتم محاكاة كل شعرة على حدة باستخدام نموذج أسطواني. تختلف بالطبع أنواع الشعر، ولذلك هناك اختلاف بين نماذج شعر البشر وفراء الحيوانات على سبيل المثال. استغرقت العملية الكثير من الوقت ولكن أدرك مصممو الرسوميات الحاسوبية في النهاية كيفية إعداد نماذج لكل نوع من الشعر، والآن يبدو الشعر الذي تتم محاكاته جيدًا جدًا.

قوة الرياضيات في الرسوميات الحاسوبية

تتطلب محاكاة الضوء استخدام الرياضيات لأنه علينا إيجاد واستخدام دوال التشتت الصحيحة لتتبع الطريقة التي ينتقل بها الضوء في المشاهد الافتراضية. ولكن هناك استخدام مهم آخر للرياضيات في محاكاة الرسوميات الحاسوبية. في العالم الواقعي، يدخل عدد غير محدود من أشعة الضوء كل مشهد. ويصطدم كل شعاع بعناصر ويتشتت لعدد مرات لانهائي قبل أن يصل الضوء إلى المُشاهد. ولمحاكاة الضوء في المشهد الافتراضي بواقعية، علينا جمع كل المسارات التي ينتقل بها الضوء للوصول إلى نقطة معينة، لفهم كمية الضوء الموجودة في تلك النقطة. ولا يمكننا تنفيذ عملية الجمع هذه بطريقة تحليلية. لذا علينا أخذ عدد محدود من العينات التي تمثل بدقة كل الاحتمالات. لكن كيف يمكننا تحديد عدد العينات التي تعطينا أفضل تقدير للإضاءة؟ للقيام بذلك، نستخدم طريقة رياضية تم استخدامها في الأصل للتنبؤ بسلوك الجسيمات المرتدة عشوائيًا، واسمها محاكاة مونت كارلو [5].

محاكاة مونت كارلو (MONTE CARLO SIMULATION)

طريقة رياضية تستخدم العينات العشوائية لحساب نتائج حدث غير مؤكد. ويتم استخدامها في الرسوميات الحاسوبية لمحاكاة الإضاءة في المشاهد الرقمية.

واليوم في كل بكسل في صورة فيلم تمت محاكاتها، نجد حوالي 1000 شعاع ضوء يدخل ويرتد عشوائيًا. وهناك مليارات البكسلات في كل صورة، ولذلك علينا تتبع

عدد كبير للغاية من الأشعة لكل إطار في كل مشهد. ويتطلب ذلك الكثير من عمليات الحوسبة، كما أنه مكلف جدًا. ولذا يتم استخدام أسرع أجهزة الكمبيوتر في العالم لتنفيذ عمليات الحوسبة في الأفلام وألعاب الكمبيوتر المنشئة بواسطة الكمبيوتر. وفي الفيلم العادي، يلزم القيام بنحو 30 ساعة من الحوسبة على أسرع أجهزة الكمبيوتر لحوسبة صورة فيلم *واحدة*. معنى ذلك أن بعض الأفلام تحتاج إلى مليون ساعة من وقت الحوسبة. وهذا وقت طويل للغاية، ولكن كان ليطول كثيرًا لو لم نطور الأدوات الرياضية التي قللت بشكل كبير عدد عمليات الحوسبة اللازمة.

لذا في المرة التالية التي تطالع فيها مشهدًا من إنشاء الكمبيوتر في فيلم ما، آمل أن تقدّر كمية البحث وموارد الحوسبة المستهلكة فيه. يبدو عالمنا اليومي ساحرًا للغاية عند رؤيته من منظور علماء الكمبيوتر.

وأنا أدعوك إلى التعرف على جمال العالم من خلال الملاحظة الدقيقة مع التطلع بشغف إلى معرفة سبب ظهور الأشياء بالشكل الذي تبدو عليه.

شكر وتقدير

أود أن أشكر اور رافائيل على إجراء المقابلة التي استند إليها هذا المقال وعلى مشاركتي في تأليفه، وأشكر أيضًا أليكس بيرنشتاين على توفير الأشكال وسوزان ديباد على تحرير المقال.

مواد إضافية

1. Physically Based Rendering: From Theory To Implementation

2. Pat Hanrahan's homepage - Stanford

المراجع

1. Pharr, M., Jakob, W., and Humphreys, G. 2016. *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation*. Cambridge, MA: Morgan Kaufmann.
2. Hanrahan, P., and Krueger, W. 1993. "Reflection from layered surfaces due to subsurface scattering," in *Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques* (New York, NY). p. 165–74.
3. d'Eon, E., Luebke, D., and Enderton, E. 2007. "Efficient rendering of human skin," in *Proceedings of the 18th Eurographics Conference on Rendering Techniques* (Goslar). p. 147–57. doi: 10.5555/2383847.2383869
4. Marschner, S. R., Jensen, H. W., Cammarano, M., Worley, S., and Hanrahan, P. 2003. Light scattering from human hair fibers. *ACM Transact. Graph.* 22, 780–91.
5. Harrison, R. L. 2010. ''Introduction to monte carlo simulation,'' in *AIP Conference Proceedings, Vol. 1204* (Bratislava: American Institute of Physics). 17–21.

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 30 مايو 2025

المحرر: Jeremy L. Martin

مرشدو العلوم: Samuel Alperin و Srinivasa Ramanujam Kannan

الاقتباس: Hanrahan P (2025) الرياضيات والأفلام. Front. Young Minds.
doi: 10.3389/frym.2023.1166415-ar

مُترجَم ومقتبس من: Hanrahan P (2024) The Math Behind the Movies. Front. Young Minds 11:1166415. doi: 10.3389/frym.2023.1166415

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

حقوق الطبع والنشر © 2023 © 2025 Hanrahan. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

HRDAYA، العمر: 9
أحب قراءة الكتب، كما أهوى رصد الأخطاء الإملائية أو النحوية في المجلات منذ أن كنت بعمر الرابعة. ومادتي المفضلة هي اللغة الإنجليزية. تشمل هواياتي قراءة الكتب والرقص ولعب ألعاب الورق. وأنا شغوفة أيضًا بمعرفة المزيد حول بيئتي المحيطة، وأحب الجراء والطيور.

MRS. MINOGUE'S CLASS AT KLONDIKE ELEMENTARY، العمر: 9–11
تقع مدرستنا في ويست لافاييت، إنديانا، ونحن طلاب شغوفون بالدراسة ويملأنا الفضول والإبداع والمثابرة والعطف، كما أننا كعائلة من الباحثين.

المؤلفون

PAT HANRAHAN
باحث أمريكي في الرسوميات الحاسوبية وأستاذ جامعي في مختبر الرسوميات الحاسوبية في جامعة ستانفورد. حصل على درجة البكالوريوس في الهندسة النووية من جامعة ويسكونسن-ماديسون في عام 1977، ودرجة الدكتوراه في الفيزياء الحيوية في عام 1985. في الثمانينيات، كان يعمل في الأفلام المتحركة المنشئة بالكمبيوتر في استوديو بيكسار الذي يُعدّ من استوديوهات الرسوم المتحركة الرائدة في العالم، وشارك في إنتاج أفلام لاقت نجاحًا كبيرًا، ومنها

فيلم Toy Story (حكاية لعبة) عام 1995. وفي عام 1989، انضم إلى جامعة برينستون، وفي عام 1995 انتقل إلى جامعة ستانفورد حيث يعمل حاليًا. أما في عام 2003، فقد شارك في تأسيس Tableau Software، وهي شركة لبرامج تصوير البيانات تساعد الشركات في زيادة كفاءة عملية التشغيل. وقد فاز بعدة جوائز تقديرًا لمساهماته في مجال الرسوميات الحاسوبية، ومنها جائزة ستيفن أ. كونز للمساهمات الإبداعية المتميزة في مجال الرسوميات الحاسوبية (2003) وجائزتان من الأوسكار للإنجازات العلمية والتقنية (2004 و2014) وجائزة المهنة في أبحاث التمثيل المرئي (2006) وجائزة تورينج (2019). hanrahan@cs.stanford.edu*

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology