بيانات الحاسوب / المحاضرة الأولى (Introduction to CG)

المقدمة

أصبحت رسوم الحاسوب في العصر الحالي، جزءاً أساسياً من حياتنا اليومية، سواء في الألعاب الحاسوب، أو التصاميم الرسومية، أو الرسوم المتحركة، أو حتى في التطبيقات الطبية مثل التصوير بالرنين المغناطيسي.

تغطي هذه المحاضرة، المفاهيم الأساسية لهذا المجال، بدءاً من تاريخ نشوء رسوم الحاسوب، مروراً بالخوارزميات والتقنيات، وصولاً إلى التطبيقات العملية.

رسوم الحاسوب ليست مجرد رسم صور على شاشة، وإنما هي علم يجمع بين الرياضيات، الفيزياء، والبرمجة لإنتاج صور واقعية أو خيالية، على سبيل المثال، الرسوم المتحركة في الأفلام مثل فلم "أفاتار" أو "الأسد الملك" تستخدم تقنيات حاسوبية متقدمة لإنتاج مشاهد واقعية، كما أنها تستخدم في تصميم السيارات، حيث يمكن للمهندسين رؤية نموذج ثلاثي الأبعاد قبل صنع السيارة الحقيقة، وكذلك الأمر في تصميم الأبنية أو أعمال الديكور،،،

يعود تاريخ رسوم الحاسوب إلى ستينيات القرن الماضي، عندما طور إيفان ساذرلاند نظام Sketchpad في عام 1963، الذي كان أول برنامج تفاعلي للرسم على الحاسوب، ومنذ ذلك الحين، تطورت التقنيات مع ظهور معالجات الرسوم GPUs في التسعينيات، مما أدى إلى ثورة حقيقية في الألعاب والرسوم المتحركة.

الأساسيات في رسوم الحاسوب

يتم تمثيل الصور باستخدام وحدات أساسية تسمى البكسلات Pixels كل بكسل هو نقطة صغيرة على الشاشة تحمل قيمة لونية، على سبيل المثال، في شاشة بدقة 1920x 1080، هناك أكثر من مليوني بكسل.

هناك نوعان رئيسيان من الرسوم:

الرسوم النقطية Raster Graphics والرسوم الشعاعية Vector Graphics

تعتمد الرسوم النقطية على شبكة من البكسلات، كالصور الرقمية التي يتم معالجتها في برنامج الـ Photoshop بينما تعتمد الرسوم الشعاعية على معادلات رياضية لوصف الأشكال، مثل الخطوط والدوائر، وهذا النوع يستخدم في التصاميم التي تحتاج إلى تكبير دون فقدان الجودة، كما هو الأمر في برنامج الـ Illustrator .

بالنسبة لتمثيل الألوان فيتم استخدم نموذج Red, Green, Blue (RGB) لخلط الألوان الأساسية، حيث يتم تمثيل كل لون من المكونات الثلاث السابقة بقيمة من 0 إلى 255، على سبيل المثال، اللون الأحمر هو 255، 0، 0، هناك نموذج آخر CMYK وغالباً من يستخدم للطباعة، لكن RGB هو الأكثر شيوعاً بالنسبة لشاشات العرض.

أما بالنسبة للإحداثيات فيتم استخدام نظام الإحداثيات الكارتيزي، حيث يمثل X المحور الأفقي و Y المحور الرأسي أو العمودي وتكون النقطة 0,0 عادة في أعلى اليسار أو في أسفل اليسار حسب نظام العرض.

خوارزميات الرسم الأساسية

تعتبر خوارزميات الرسم من أهم الأمور المتعلقة برسوم الحاسوب، أهم هذه الخوارزميات:

1- خوارزمية رسم خط مستقيم: خوارزمية Bresenham، ترسم خطاً مستقيماً بين نقطتين x1, y1 و x2, y2، ولهذا الغرض تحسب الفرق dx = x2 − x1 ، dy = y2 − y1 ثم تبدأ من النقطة الأولى وتضيف خطوات بناءً على الخطأ المتراكم، تعتبر هذه الخوارزمية مناسبة للأجهزة ذات الموارد المحدودة.

2- خوارزمية رسم دائرة: خوارزمية Midpoint Circle Algorithm تبدأ من مركز الدائرة xc, yc وباستخدام نصف القطر r ، تقوم برسم نقاط في ثمانية أقسام متماثلة لتقليل الحسابات.

3- خوارزمية رسم المضلعات: خوارزمية Scanline Fill تقوم هذه الخوارزمية بمسح الشاشة أفقياً وملء البكسلات ضمن حدود المضلع.

الخوارزمية	الاستخدام	المزايا	العيوب
Bresenham Line	رسم الخطوط	سريعة، لا تحتاج عائمة	محدودة بالخطوط المستقيمة
Midpoint Circle	رسم الدوائر	كفاءة عالية في التماثل	تحتاج حسابات مربعة
Scanline Fill	ملء المضلعات	فعالة للمناطق الكبيرة	يزداد التعقيد في المضلعات المعقدة

التحويلات في رسوم الحاسوب

التحويلات هي عمليات رياضية لتغير موقع أو شكل الكائنات Objects.

التحويلات في الرسوم ثنائية الأبعاد هي: الإزاحة Translation ، التكبير/التصغير Scaling ، والدوران Rotation.

الإزاحة: $x' = x + tx$ ، $y' = y + ty$

التكبير: $x' = x * sx$ ، $y' = y * sy$

الدوران حول المحور: $x' = x * \cos\theta - y * \sin\theta$ ، $y' = x * \sin\theta + y * \cos\theta$

هذه التحويلات تمثل بمصفوفات، مما يسمح بتسلسلها (أي دمج عدة تحويلات معاً في عملية واحدة عن طريق ضرب المصفوفات الخاصة بها).

النمذجة ثلاثية الأبعاد

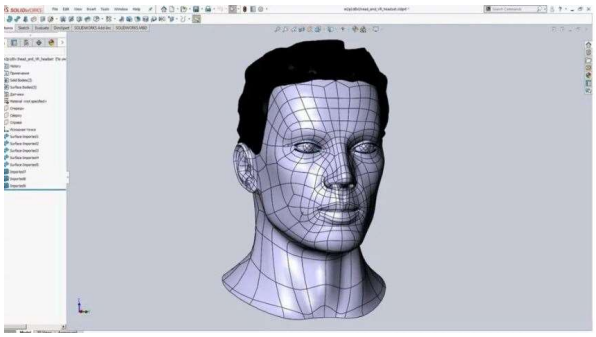
النمذجة ثلاثية الأبعاد 3D Modeling هي عملية إنشاء تمثيل رياضي لكائن ثلاثي الأبعاد باستخدام برمجيات متخصصة، لإنتاج صور واقعية في الألعاب، الأفلام، التصميم الصناعي، والتطبيقات الطبية.

بدأت النمذجة ثلاثية الأبعاد في الستينيات مع أنظمة مثل Sketchpad ، لكنها تطورت بشكل كبير مع انتشار الحواسيب الشخصية في التسعينيات.

لإنتاج الرسوم ثلاثية الأبعاد، نستخدم نماذج مثل: المضلعات Polygons أو المنحنيات Curves أو الـ Mesh الذي يتكون من رؤوس Vertices ، حواف Edges ، ووجوه Faces

ولعرض النموذج ثلاثي الأبعاد على شاشة ثنائية البعد نستخدم الإسقاط Projection ، مثل الإسقاط المنظوري Perspective Projection الذي يعطي شعوراً بالعمق.

أنواع النمذجة ثلاثية الأبعاد



1- النمذجة المضلعة: تعتمد على بناء النموذج من مضلعات مثل المثلثات أو المربعات، فيتم تقسيم السطح إلى شبكة من الرؤوس Vertices ، الحواف Edges ، والوجوه Faces ، وتستخدم هذه النمذجة في الألعاب لكفاءتها في الرسم السريع.

2- النمذجة المنحنية: وتستخدم لإنشاء أسطح ناعمة وهذا النوع مناسب للتصاميم الصناعية مثل السيارات، التي تحتاج إلى دقة عالية – دون تشوه – عند تكبير التصميم.

3- النمذجة بالتقسيم السطحي: تبدأ بنموذج بسيط ومن ثم تقسمه إلى أجزاء أصغر للحصول على سطح أكثر نعومة وتستخدم في الرسوم المتحركة.

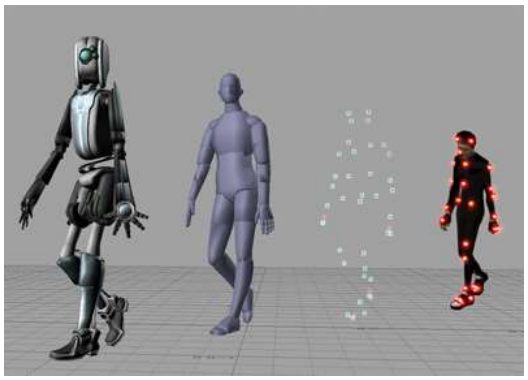
4- النمذجة الرقمية: وهي تشبه النحت التقليدي، يمكن تنفيذها من خلال برامج متخصصة مثل ZBrush .

5- النمذجة البارامترية: تعتمد على معادلات وبرامترات قابلة للتعديل، مثل برنامج الـ Autocad.

النوع	التطبيقات	المزايا	العيوب
النمذجة المضلعة	الألعاب	سريعة	سيئة إذا كانت المضلعات قليلة
النمذجة المنحنية	التصميم الصناعي	دقيقة وناعمة	معقدة في الحسابات
النمذجة بالتقسيم السطحي	الرسوم المتحركة	سهلة التحويل إلى ناعمة	تحتاج موارد حوسبة
النمذجة الرقمية	الفن الرقمي	مرنة، انطباع فني	غير دقيقة للتصاميم الهندسية
النمذجة البارامترية	التصاميم الهندسية	مرنة، ودقيقة	معقدة، وحجوم ملفاتها كبير

الأدوات:

التطبيق	الاستخدام
Blender	يدعم جميع التقنيات
Maya	الرسوم المتحركة والأفلام
3ds Max	التصميم المعماري والألعاب
ZBrush	النحت الرقمي
Autocad	التصميم الهندسي

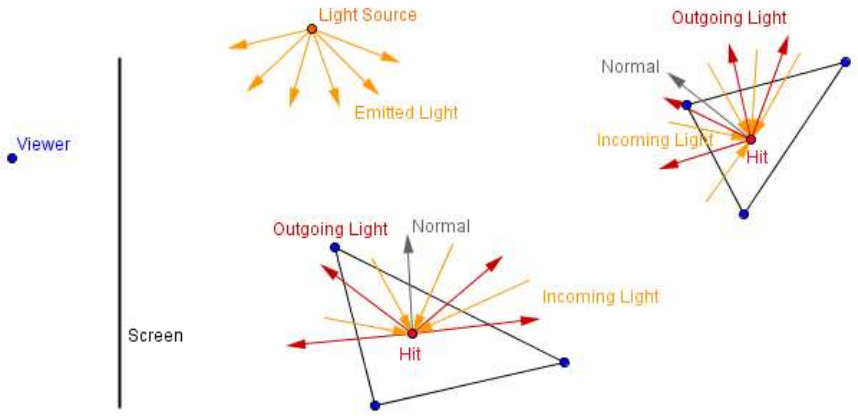


الإضاءة والتظليل Lighting & Shading

الإضاءة والتظليل هما عنصران أساسيان في رسوم الحاسوب ثلاثية الأبعاد، حيث يساهمان في جعل النماذج تبدو واقعية ومؤثرة، بدأت دراسة الإضاءة في السبعينيات مع نماذج مثل Phong, Lambertian ، وتطورت إلى تقنيات حديثة مثل Ray Tracing، وهذه النماذج هي جزء من عملية الـ Rendering، التي تقوم بحساب الإضاءة بعد النمذجة والتحويلات.

الإضاءة

تشير إلى كيفية تفاعل الضوء مع الأسطح.



التظليل

يحدد كيفية حساب وتوزيع الألوان والكثافة الضوئية عبر السطح.

أنواع الإضاءة في رسوم الحاسوب

تُقسم الإضاءة إلى أربعة أنواع رئيسية، بحسب طريقة تفاعل الضوء مع السطح:

1- الإضاءة المحيطية Ambient Lighting : تمثل الضوء غير المباشر الذي ينتشر في كل اتجاه، مثل الضوء المنعكس من الجدران في غرفة، لا تعتمد على اتجاه مصدر الضوء أو زاوية المشاهد.

وتُحسب من خلال العلاقة L * K ، حيث: L كثافة الإضاءة المحيطية و K معامل الانعكاس المحيطي، هذا النوع يمنع المناطق المظلمة من أن تكون سوداء تماماً.

2- الإضاءة المنتشرة Diffuse Lighting تعتمد على نموذج Lambertian ، حيث ينعكس الضوء بشكل متساوٍ في جميع الاتجاهات بغض النظر عن زاوية المشاهد.

ويحسب من خلال المعادلة L * K * cos θ ، حيث θ الزاوية بين متجه الضوء ومتجه السطح الطبيعي وهذا يعطي شعوراً بالعمق، كما في الأسطح غير اللامعة مثل الورق.

3- الإضاءة المرآتية Specular Lighting: تمثل الانعكاس اللامع، كما في المعادن أو الزجاج، وهذه تعتمد على زاوية المشاهد، وتُحسب من خلال العلاقة L * (K * cos α)^n ، حيث α الزاوية بين متجه الانعكاس ومتجه المشاهد، و n معامل يحدد شدة اللمعان.

4- الإضاءة الانبعاثية Emissive Lighting: الضوء المنبعث من الكائن نفسه، مثل مصباح أو شاشة.

النوع	الوصف	التأثير الرئيسي
الإضاءة المحيطية	ضوء غير مباشر	يملأ الظلال
الإضاءة المنتشرة	انعكاس متساوي	يعطي العمق
الإضاءة المرآتية	انعكاس لامع	يخلق لمعاناً
الإضاءة الانبعاثية	ضوء منبعث	يجعل الكائن مضيئاً

أبرز نماذج الإضاءة الرياضية هو نموذج Lambertian والذي يمثل الإضاءة المنتشرة ، بينما يجمع نموذج Phong بين الأنواع الثلاثة الأولى (المحيطية، المنتشرة، المرآتية).

طرق التظليل

يحدد التظليل كيفية تطبيق الإضاءة عبر السطح:

1- التظليل المسطح Flat يحسب الإضاءة مرة واحدة لكل مضلع، باستخدام متجه طبيعي واحد.
2- تظليل غورو Gouraud يحسب الإضاءة في الرؤوس Vertices ثم يمزج بينها عبر السطح.
3- تظليل فونغ Phong يمزج المتجهات الطبيعية عبر السطح، ثم يحسب الإضاءة لكل بكسل.

الطريقة	مستوى الحساب	المزايا	العيوب
التظليل المسطح	لكل مضلع	سريع جداً	غير ناعم
تظليل غورو	لكل رأس، ثم يمزج بينها	ناعم نسبياً	يفقد اللمعان
تظليل فونغ	لكل بكسل، بعد مزج المتجهات	واقعي جداً	مكلف حسابياً

الرسوم المتحركة

الرسوم المتحركة Animation : هي عملية إنشاء صور متحركة رقمية تعتمد على الحركة الوهمية للكائنات من خلال عرض الإطارات Frames تسلسلياً، هذه العملية تحول النماذج الثابتة إلى مشاهد متحركة.

بدأت الرسوم المتحركة الحاسوبية في السبعينيات مع أفلام تجريبية، ثم تطورت إلى صناعة ضخمة، حيث تم انتاج أول فيلم كرتون ثلاثي الأبعاد "Toy Story" في عام 1995.

في الوقت الحالي أصبح بإمكان الذكاء الاصطناعي توليد حركات أكثر واقعية، كما في الألعاب أو الأفلام.

أنواع الرسوم المتحركة

هناك أنواع عدة أنواع من الرسوم المتحركة، مقسمة حسب الأبعاد أو التقنيات:

1- الرسوم المتحركة ثنائية الأبعاد 2D Animation تعتمد على رسوم مسطحة، مثل أفلام الكرتون التقليدية، لكنها رقمية، فيتم رسم الإطارات Frame-by-Frame .

2- الرسوم المتحركة ثلاثية الأبعاد 3D Animation وهي الأكثر شيوعاً في الأفلام الحديثة، حيث يتم بناء نماذج ثلاثية الأبعاد وتحريكها باستخدام هياكل عظمية Rigging .

3- الرسوم المتحركة المبنية على الحركة Motion Graphics تجمع بين تصميم الجرافيك والحركة، مثل تحريك النصوص أو العناصر في الإعلانات.

4- الرسوم المتحركة المبنية على الفيزياء Physics-Based Animation تستخدم قوانين الفيزياء لمحاكاة الحركة، مثل سقوط كرة أو تدفق السوائل.

5- الرسوم المتحركة بالتقاط الحركة Motion Capture تسجل حركات ممثلين حقيقيين عبر حساسات وتطبقها على نماذج رقمية، كما في أفلام "Avatar" .

النوع	الوصف	المزايا	العيوب
2D Animation	رسوم مسطحة	سهلة ومنخفضة التكلفة	أقل واقعية
3D Animation	نماذج ثلاثية الأبعاد	واقعية عالية	تحتاج موارد حاسوبية
Motion Graphics	تحريك عناصر جرافيك	مثالية للإعلانات	محدودة في القصص المعقدة
Physics-Based	محاكاة فيزيائية	دقيقة علمياً	معقدة في الحسابات
Motion Capture	التقاط حركة حقيقية	حركات طبيعية	تحتاج معدات باهظة

خطوات إنشاء الرسوم المتحركة

1- التخطيط والقصة Storyboarding : وضع تسلسل لمشاهد القصة.

2- النمذجة : أي إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد.

3- الهيكلةRigging : إضافة هيكل عظمي للعناصر أو الكائنات.

4- التحريك: إنشاء Keyframes أو استخدام Motion Capture .

5- الإضاءة والتظليل: تطبيق الإضاءة لإضفاء الواقعية على المشهد.

6- Rendering : لانتاج الإطارات النهائية.

7- التعديل اللاحق Post-Production : إضافة الصوت والتأثيرات.

الأدوات والبرمجيات

Blender مجاني، يدعم الرسوم المتحركة الكاملة.

Autodesk Maya متخصص في الـ 3D، مستخدم في هوليوود.

Adobe After Effects يستخدم لتحريك الغرافيك.

Unity أو Unreal Engine للألعاب التفاعلية.

التطبيقات العملية لرسوم الحاسوب

الألعاب الأفلام، التصميم الهندسي، الطب (نماذج ثلاثية الأبعاد للأعضاء)، السينما، الواقع الافتراضي VR والواقع الافتراضي المعزز AR ، التعليم (إجراء محاكاة للدروس)، طباعة التصاميم.

التحديات و المستقبل

- الكفاءة في المصادر الحاسوبية: تتطلب عمليات الرسم المعقدة مثل الرسوم المتحركة ثلاثية الأبعاد والإضاءة الواقعية موارد حاسوبية هائلة، مما يؤدي إلى استهلاك طاقة عالي وتسخين الأجهزة، خاصة في التطبيقات المحمولة أو الأجهزة ذات القدرات المحدودة.

– تحقيق الواقعية العالية: وهذا يظل تحدياً كبيراً، إذ يتطلب محاكاة دقيقة للفيزياء الطبيعية مثل انعكاس الضوء والظلال، دون التضحية بالسرعة في الرسم الزمني الحقيقي، مما يجعل بعض التقنيات غير عملية في الألعاب أو الواقع الافتراضي.

– دمج الذكاء الاصطناعي يثير دمج الذكاء الاصطناعي مع الرسم تحديات تقنية وأخلاقية، مثل الحاجة إلى بيانات تدريب هائلة ، بالإضافة إلى المخاطر المتعلقة بحقوق الملكية الفكرية.

أما المستقبل، فيبدو مشرقاً مع ظهور تقنيات جديدة مثل الذكاء الاصطناعي والحوسبة الكمومية بحيث يمكن:

1– دمج الذكاء الاصطناعي مع تقنيات مثل تتبع الأشعة Ray Tracing ، الذي يسمح بإنتاج صور أكثر واقعية من خلال محاكاة مسار الضوء بدقة عالية، مدعوماً بالذكاء الاصطناعي لتسريع العمليات وتقليل الضوضاء في الصور.

2– إجراء تكامل أعمق مع الرؤية الحاسوبية Computer Vision .

فما المقصود بتتبع الأشعة والرؤية الحاسوبية؟

تتبع الأشعة Ray Tracing

هو تقنية متقدمة في رسوم الحاسوب تهدف إلى محاكاة سلوك الضوء الطبيعي في العالم الحقيقي بهدف إنتاج صور واقعية عالية الجودة.

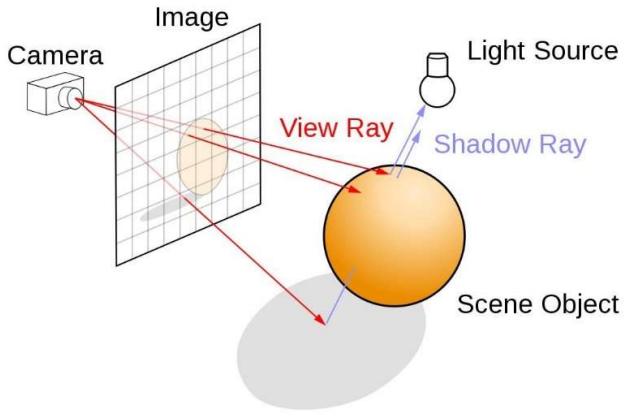
تعتمد هذه التقنية على تتبع مسار الأشعة الضوئية من الكاميرا أو المشاهد عبر المشهد، لإجراء محاكاة لتفاعلاتها مع الأسطح مثل (الانعكاس، الانتشار، والإنكسار).

بدأت فكرة تتبع الأشعة في الستينيات، لكنها مع تطور الأجهزة مثل بطاقات NVIDIA RTX في عام 2018 أصبحت عملية في الزمن الحقيقي، ومازالت هذه التقنية تتطور من خلال دمج الذكاء الاصطناعي.

كيفية عمل تتبع الأشعة

تعمل تتبع الأشعة من خلال إطلاق أشعة افتراضية من الكاميرا نحو المشهد عبر كل بكسل في الشاشة.

عند اصطدام الشعاع بكائن، يتم حساب تفاعله بناءً على خصائص السطح مثل اللون، الملمس، والانعكاس.
ثم يتم إطلاق أشعة ثانوية للظلال، الانعكاسات، أو الانتشار:



1- الشعاع الأساسي من الكاميرا إلى البكسل.
2- الشعاع الظليل للتحقق من الظلال من مصادر الضوء.
3- الشعاع المنعكس، للانعكاسات.
4- الشعاع المنكسر، للشفافية.
يتكرر هذا الأمر لتحقيق الواقعية.

أنواع تتبع الأشعة

- تتبع الأشعة التقليدي Ray Casting وهو الأبسط، ويركز على الرؤية دون انعكاسات معقدة.
- تتبع الأشعة المتكرر Recursive Ray Tracing يشمل الانعكاسات المتعددة.
- تتبع المسارات Path Tracing يرسل أشعة متعددة لكل بكسل لمحاكاة الإضاءة العامة.
- تتبع الأشعة المعزز بالذكاء الاصطناعي AI-Enhanced Ray Tracing يستخدم الذكاء الاصطناعي لتحسين الأداء.

النوع	الوصف	المزايا	العيوب
التقليدي	تتبع أساسي بدون انعكاسات	سريع	غير واقعي
المتكرر	انعكاسات متكررة	واقعي أكثر	مكلف حسابياً
المسارات	محاكاة إضاءة عالمية	واقعية عالية	ضوضاء وتباطؤ
المعزز	مدعوم بالذكاء الاصطناعي	أداء محسن وصور أنقى	يعتمد على أجهزة متخصصة

الرؤية الحاسوبية Computer Vision

هي فرع من فروع الذكاء الاصطناعي يركز على تمكين الحواسيب من فهم وتفسير المحتوى البصري مثل الصور والفيديوهات، لمحاكاة الرؤية البشرية.

يمثل التكامل بين رسوم الحاسوب والرؤية الحاسوبية نقلة نوعية، تساعد على إنشاء عوالم افتراضية أكثر واقعية من خلال تحليل البيانات البصرية ودمجها مع الرسوم المتولدة.

بدأت الرؤية الحاسوبية في الخمسينيات من القرن الماضي مع تجارب أولية في التعرف على الأشكال، وتطورت بشكل كبير مع انتشار الشبكات العصبية الالتفافية CNNs في العقد الماضي، لتصبح في في الوقت الحالي تقنية أساسية في صناعات متنوعة.

في عام 2025، أصبحت الرؤية الحاسوبية مدمجة مع الذكاء الاصطناعي التوليدي Generative AI لإنتاج صور وفيديوهات واقعية، مما يعزز من تطبيقاتها في الرسوم مثل الواقع المعزز AR والافتراضي VR .

أساسيات الرؤية الحاسوبية

تعتمد الرؤية الحاسوبية على خوارزميات التعلم الآلي لمعالجة البيانات البصرية. بخطوات أساسية تشمل:

- جمع البيانات: من خلال التقاط الصور باستخدام كاميرات أو أجهزة استشعار.
- المعالجة المسبقة: تصفية الضوضاء وتعديل الإضاءة.
- استخراج الميزات: التعرف على الحواف، الألوان، والأشكال باستخدام CNNs .
- التحليل: استخدام نماذج التصنيف الآلي للكشف عن الأجسام في الزمن الحقيقي.

أنواع الرؤية الحاسوبية

تشمل الأنواع الرئيسية:

1- الكشف عن الأجسام Object Detection تحديد وتصنيف الأجسام في الصور، يستخدم مثل هذا النوع في السيارات ذاتية القيادة.
2- تصنيف الصور Image Classification أي تصنيف الصورة بأكملها، مثل هذا النوع يستخدم في التعرف على الأمراض في الصور الطبية.

3- تقسيم الصور Image Segmentation إلى أجزاء للإستفادة من ذلك في التحليل الطبي أو الزراعي.

4- تقدير الوضعية: Pose Estimation تتبع حركات الجسم، ويستخدم في الألعاب.

5- الرؤية ثلاثية الأبعاد 3D Vision إعادة بناء المشاهد بشكل ثلاثي الأبعاد (الواقع الافتراضي).

النوع	الوصف	التطبيقات الرئيسية	التحديات
الكشف عن الأجسام	كشف وتصنيف الأجسام	السيارات ذاتية القيادة	الدقة في البيئات المعقدة
تصنيف الصور	تصنيف الصورة ككل	التشخيص الطبي، الزراعة	بحاجة لبيانات تدريب هائلة
تقسيم الصور	تقسيم الصورة إلى أجزاء	التحليل الطبي، التصنيع	التكلفة الحسابية
تقدير الوضعية	تتبع الوضعيات	الألعاب، التدريب الرياضي	الحساسية للإضاءة
الرؤية ثلاثية الأبعاد	إعادة بناء مشاهد ثلاثية	الواقع المعزز	التعقيد في الدمج مع الرسوم

تقنيات الرؤية الحاسوبية

- الشبكات العصبية الالتفافية CNNs وهي الأساس لمعظم المهام.
- محولات الرؤية Vision Transformers وتستخدم لمعالجة الصور الكبيرة.
- الحوسبة الحافية Edge Computing وتستخدم لمعالجة البيانات محلياً بهدف تقليل التأخير.
- الذكاء الاصطناعي متعدد الوسائط Multimodal AI وستخدم لدمج الرؤية مع النصوص أو الصوت.

التطبيقات العملية

- الرعاية الصحية: كشف الأورام في الصور الطبية بدقة عالية.
- السيارات الذاتية: الكشف عن العوائق والإشارات.
- الزراعة: مراقبة المحاصيل وكشف الأمراض.
- التصنيع: التحكم في الجودة وكشف العيوب.
- الألعاب والترفيه: دمج الواقع المعزز مع الألعاب.

التحديات

تحتاج الرؤية الحاسوبية إلى بيانات تدريب هائلة، تكلفتها الحسابية عالية خصوصاً في تطبيقات الزمن الحقيقي، بالإضافة إلى حساسيتها للإضاءة وزوايا الرؤية، وضرورة مراعاة الخصوصية.