صور ورسوم الحاسب ثلاثية الأبعاد (المجسمة)

3D Computer Graphics

مقدمة:

أصبحت رسوم الحاسب ثلاثية الأبعاد واحدة من أهم المجالات التى تتمتع بخصوصية وتميز واضحين بين علوم الحاسب. وهذا المجال يتضمن الدراسات والتقنيات والأساليب والبرمجيات التى تهتم بتُوليّدُ وبناء وتعديل ومعالجة وَ عْرضُ الأجسام والأشياء ثلاثية الأبعاد من خلال وسائط ثنائية الأبعاد (شاشة العرض). وبينما يكون البكسل pixel في الرسوم ثنائية الأبعاد لَه خصائص الموقع ، واللون، والسطوع، فإن البكسل فى رسم الحاسب ثلاثية الأبعاد بحاجة إلى أن يُضيفُ خاصيةَ العمق التي تشيرَ إلى موقع النّقطةُ على محور الوهمى Z عندما تتجْ معُ العديد من البكسلات ثلاثية الأبعاد، بحيث يحمل كل منها قيمةِ عمقه الخاصةِ، تكون النتيجة ظهور سطحُ ثلاثي الأبعاد، بل ويمكن أيضا أن يكون لهذا السطح الناشئ العديد من الخواص الإضافية مثل الظل والملمس.

ويسمى تَحويل معلوماتِ المجسمات ثلاثية الأبعاد إلى الخريطة النقطية التى تلزم لعرضها على الشاشة الإظهار Rendering وهذه واحدة من أعقد عمليات الحاسب وتَتطلّبُ ذاكر عالية وقدرة عالية على المعالجة. وفى هذه الحالة فإن مصطلح "ثلاثى الأبعاد (3D)" لا يشير إلى منظر يظهر من خلال عمل المخ على دمج مجموعة من المناظر المختلفة، وإنما هو صورة تظهر بشكل دقيق وواقعى لتمثل ظلال وأضواء ومناظير محسوبة بحسابات رياضية دقيقة من خلال الحاسب فهو باستخدام الرياضيات يستنتج كيف يمكن لأى جسم أن يظهر للرائى من أى زاوية من الزوايا فى ظل ظروف معينة من إضاءة والظلال المنعكسة والخامات والألوان.

وفى الماضيِ ، كانت رسوم الحاسب ثلاثية الأبعاد تتوفر فقط فى محطات العمل Graphic Workstations القويةِ، لكن معجّلات رسوم الحاسب ثلاثية الأبعاد 3D Accelerators موجودة الآن بداخل أى حاسب شخصي متوسطة لتكلفة. ويَحتوي معجّل الرسوم هذا ذاكرة ومعالج جرافيكى مُتَخَصّصَ Graphics microprocessor يمكنه أن يعالج العديد من عملياتَ الإظهار.

وتتطلب الخطوة الأولى فى عملية الإظهار من المستخدم أن يزود الحاسب بمعلومات ووصف مفصل لهذا المجسم الذى يريد عمله وهذا الوصف يمكن إدخاله للحاسب من خلال صور فوتوغرافية أو صور فيديو أو ان يرسم من الصفر باستخدام البرامج المختلفة مثل 3D MAX ويقوم الحاسب بحساب الرؤية المنظورية للمجسم من كل الزوايا باستخدام تلك المعلومات لخلق المنظور وتحويل تلك المعلومات إلى خطوط wire- frame أو مجسم شبكى وهذا المجسم الشبكى يمثل بدقة شديدة الحساب العلمى والرياضى لهذا الجسم .

الخطوة التالية يوجه فيها المصمم الحاسب لملأ الأسطح التى كونتها الأشكال الهندسية بالألوان والملامس والظلال التى تعطى الجسم شكلاً واقعياً .

وتستخدم لذلك الغرض تقنيات مستحدثة مثل تتبع أواقتفاء الشعاعِ Ray Tracing وهى تقنية تعنى بتتبع مسار الضوء من مصدره إلى أن يستقر على جسم ما، بما يتضمن أثر هذا الضوء على أية أجسام تعكس هذا الضوء على الجسم ويمكن لهذه التقنية أن تضفى ظلالا واقعية إلى الصورةِ المجسمة.

وبالإضافة إلى الملمس، تَدْعمُ رسومالحاسب ثلاثية الأبعاد أشياءَ متعددةً أيضا مثل تَفاعلُ هذه الأجسام مع بعضها البعض. كمثال، قَرُبَما يَخفي جسم صلب شيئا خلفه بشكل جزئي. وربما كان هذا الجسم الأمامى شفافا بعض الشىء فينتج عن تفاعل الجسمين ظهور طيف خفيف من الجسم الخلفى من خلال الجسم الأمامى.

وأخيراً يَزود المصمم الحاسب بمعلومات تفصيلية أخرى عن مصادر الضوء وزاويته ونوع الإضاءة ومن هذه المعلومات يحدد الحاسب الطريقة التى يسقط بها الضوء على كل سطح من أسطح المجسم أو على الإطار الشبكى التى تمثل المجسم الأصلى وبالتالى يمكن للحاسب أن يحسب الانعكاسات والظلال المناسبة وفق هذه الأضواء .

ويناقش هذا الفصل كل هذه الاعتبارات وأهم منها فإنه يجيب على تساؤلات عديدة لعل أهمها:

- كيف يخدع الحاسب العين ويوهمها أن الشاشة المسطحة لها عمق يمتد إلى عدة غرف بداخله؟
- وكيف يقنعك مصممو البرامج بما تراه على هذه الشاشة من أشخاص حقيقيين يتحركون على خلفية من مناظر طبيعية تنبض بالحياة؟

والصور المسطحة كالرسوم التوضيحية Illustrations والصور الفوتوغرافية Photos -Images والأفلام Movie Films يمكن أن تعالج على شاشة الحاسب بواحد من عدة تقنيات لخلق خداع البصر الذى يوهم بوجود العمق Depth Illusion. ومثل هذه التقنيات تجعل الأشياء فى هذه الصور تبدو وكأنها تبرز من سطح الورقة أو شاشة الحاسب او الفيلم. ورغم أن الاستخدام المعتاد لتلك الرسوم يكون فى عالم الترفيه Entertainment مثل المسرح والسينما والرسوم المتحركة إلا أنها تستخدم الآن بشكل فى غاية الأهمية فى الطب والتصميم الصناعى وبرامج التدريب على التقنيات الافتراضية.

إننا عندما نرى صورا على شاشة الحاسب فإننا نراها من خلال سطح له بعدين حقيقيين طول وعرض. ولكنك عندما

تنظر إلى فيلم مثل Toy story أو عندما تلعب لعبة من العاب الحاسب مثل Tomb Raider أو Doom فإنك تتعامل مع نافذة على عالم وهمى ثلاثى الأبعاد.

والشيء المثير فى هذه الصورة التى تراها هو أن العالم الذى تراه قد يكون هو العالم الحقيقى الذى تعيشه أو العالم الذى عاشه الآخرون فى الماضى أو حتى العالم الذى سنعيشه فى المستقبل. بل ويمكن أن نقول أنه عالم خاص يتواجد فقط فى ذهن الذين صمموا هذه الصور أو الألعاب أو الأفلام التى تراها. وكل هذه العوالم يمكن أن تراها على نفس الشاشة، بل ويمكن أن تندمج جميعا فى عالم خيالى واحد.

هنا سوف نتناول بعض الحيل التى تخدع الرائى وتوهمه بأن العالم الموجود خلف زجاج الشاشة هو عالم ثلاثى الأبعاد. وكيف نجح مصممو معدات الحاسب الجرافيكية فى تحقيق آمال مصممى البرامج بأن تتحرك الشخوص والمرئيات بسرعة تجعلك تعيش فى عالم حقيقى بل وتتفاعل معك وتستجيب لحركتك ورؤيتك وتصوراتك.

بين الصور ثنائية وثلاثية الأبعاد:

بعض الصور ثنائية الأبعاد ينبغى أن تظل كذلك عن قصد وبشكل متعمد. خذ مثلا العلامات الإرشادية الدولية التى ترشدك إلى مواقع الأبواب والأماكن العامة. هنا تصمم الرموز بحيث يمكننا أن نتعرف على ما فيها بوضوح وبدون لبس من الوهلة الأولى، خاصة تلك التى تراها على الطرق السريعة مثلا. لذلك فإن المصمم فى هذه الحالة يسعى لاستخدام الأشكال الأساسية البسيطة جدا. ويمكن كذلك إضافة بعض التعبيرات اللفظية المكتوبة التى تضيف للمعنى كأن توضح نوع الشخص الذى يستخدم هذا المكان وإن كان بالغا أو طفلا أو معوقا. لكن المعلومات الإضافية هنا تطيل من وقت التعرف على المعنى المقصود بالعلامة الإرشادية. وهذا هو الفرق بين الصور والرسوم ثنائية الأبعاد وثلاثية الأبعاد. إن الرسوم ثنائية الأبعاد تكون مفيدة جدا فى توصيل معلومات بسيطة وتبادل أفكار سريعة. أما الرسوم ثلاثية الأبعاد فإنها تعطى عمقا إضافيا اكثر تعقيدا ولكنها تحمل أيضا كما اكبر من المعلومات لتحقيق ذلك.

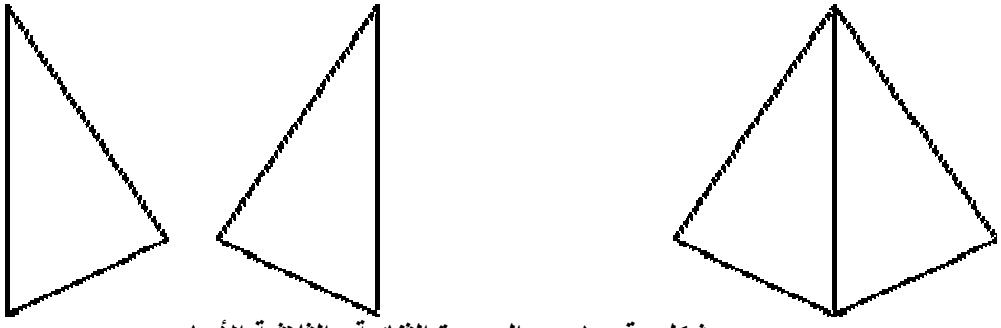
وقد يكون من غير المفيد أحيانا أن نجسم كل شيء وأن نجعل له عمقا. فإن لم تكن هناك حاجة حقيقية لوجود شيء ثلاثى الأبعاد يصبح الأمر عبئا على الرائى ويشغله أكثر مما يجب.

كيف نرى المجسمات:

رسوم الحاسب ثلاثية الأبعاد 3D Computer Graphics هى مجرد رسوم مسطحة تم إعدادها لإظهار الإيهام بالعمق. فالبشر يستقبلون العالم والأشياء بشكل ثلاثى الأبعاد متضمنا الطول والعرض والعمق. ورغم أن هذه الظاهرة تبدو بسيطة إلا أنها نتاج تفاعلات معقدة بين العين والمخ لم يتمكن العلماء حتى الآن من فهمها بشكل دقيق فعيوننا تبعد عن بعضها البعض بحوالى ٦سم مما ينتج عنه أن تستقبل كل عين منظراً مختلفا ويعمل المخ على صهر تلك المرئيات فى صورة واحدة ثلاثية الأبعاد وهذا النوع من الرؤية يسمى الرؤية الثنائية binocular vision أو الرؤية المجسمة stereoscopic

عيون البشر جميعا مبنية فسيولوجيا بحيث يمكنها استيعاب المناظر ثلاثية الأبعاد ورؤيتها مجسمة من خلال المسافة التى تفصل بين عينينا اليمنى واليسرى ومن خلال قدرة عقولنا على دمج المناظر المختلفة التى تراها العيون فى منظر واحد مجسم. وعلى الرغم من ذلك فإنه مازال هناك قدر من القصور فى ادراكنا المجسم واستيعابنا للأمور فى شكلها ثلاثى الأبعاد. دعنا أولا نرى كيف نوهم أنفسنا برؤية المجسمات حتى ولو كانت مجرد رموز.

انظر إلى المثلثين الموجودين بالجهة اليسرى من الصورة فى شكل ١. كل من هذين المثلثين الموجودين هنا له ثلاثة أضلاع وثلاثة زوايا. وهذا هو بالطبع كل ما يلزم لتمثيل مثلث. لكننا نرى الشكل الذى إلى اليمين هرما ثلاثى الأبعاد له أربعة أوجه مثلثة وقاعدة مربعة. ونلاحظ هنا أن كل ما تطلبه الأمر لتمثيل هذا الهرم هو خمسة أضلاع وست زوايا فحسب وهو ما يعادل تقريبا أقل قليلا من ضعف المعلومات اللازمة لتمثيل المثلث.



شكل رقم ١ بين الصورة الثنائية والثلاثية الأبعاد

لمئات من السنين عرف الفنانون عددا من الحيل والخدع التى تعمل عل خداع العين لكى ترى الرسوم ثنائية الأبعاد تبدو كما لو كانت نافذة على العالم الحقيقى ثلاثى الأبعاد. ويمكنك أن ترى نفس الشيء على الصور التى تدخلها الحاسب بالماسح الضوئى وتعرضها على الشاشة تماما كما يحدث مع الصور المرسومة أو المطبوعة فى كتاب مثلا. ومن بين هذه الحيل التى عرفت منذ مئات السنين لخداع العين وإيهامها:

- تظهر الأشياء أصغر كلما بعدت عن الرائى
- الأشياء القريبة من الكاميرا تبدو أوضح وأدق فى تفاصيلها.
- كلما كانت الأشياء بعيدة كلما بدت غير واضحة وغائمة ومشوشة Fuzzy
- تتشبع الألوان بالرمادى أكثر كلما بعدت عن عين الرائى.

أسباب القصور فى رؤية المجسمات:

لعلنا نتذكر الفترة التى انتشر فيها لعبة Rubik's cube فى أوائل الثمانينيات حيث ظهر بشكل واضح قصور واضح فى قدرة الناس جميعا على التعامل مع أو فهم كيفية معالجة الأجسام فى فراغ ثلاثى الأبعاد . ولكننا سنركز هنا على موضوع هذا الفصل وهو رسوم الحاسب ثلاثية الأبعاد المستخدمة فى التصميم. فواضح حتى الآن أنه من الصعب حتى على هؤلاء الذين تعودوا على العمل مع مساقط الرسم الهندسى والذين اعتادوا التعامل مع المرئيات ثلاثية الأبعاد كجزء من خبرتهم فى الرسم الهندسى أن يتخيلوا المجسم الذى يتعاملون معه مرئيا من أى نقطة غير معلومة فى الفراغ.

وهنا لابد أن يكون واضحا تماما أن هناك قصورا فى توظيف واستيعاب الرؤية المنظورية لدى المصممين يرجع إلى سببين رئيسيين:

_تقاليد المصممين : _ونعنى بتقاليد المصممين تلك الطريقة التى اعتاد المصممون أن يعرضوا أفكارهم من خلالها. لقد كانت التقاليد تفرض على المصمم استخدام مسقطين أو ثلاثة لتوضيح أو مجرد تمثيل أو عرض أفكارهم وتصميماتهم. واعتادوا فى هذا إهمال الصور المنظورية ثلاثية الأبعاد الدقيقة التى تمثل الواقع تقريبا كأداة تصميميه ولكنها كانت ترجأ لكى تستخدم فى عروض التصميم النهائية كنوع من الترف.

نزعات المستهلكين: _والمقصود هنا هو وجهة النظر المختلفة للإنسان العادى تجاه النماذج التى يصنعها الحاسب ومقارنتها بالنماذج المادية Physical model الحقيقية. فيعتقد المستهلك العادى أن نماذج الحاسب هى مجرد تمثيل مسطح وغير واقعى وغير قابل لإظهار الوظائف والاستخدامات المحتملة للمنتج.

واقعية الرسوم المجسمة:

ومع هذا فإننا عندما نتكلم عن الرسوم ثلاثية الأبعاد فى الحاسبات اليوم لا نتكلم عن رسوم ساكنة كالطبيعة الصامتة. وإنما نحن نتحدث عن صور متحركة حية. وإذا كان تحويل الصور من الشكل ثنائى الأبعاد إلى الشكل الثلاثى الأبعاد يتطلب قدرا من المعلومات الإضافية كما سبق أن أشرنا، فإن الخطوة الأكثر تقدما وهى تحويل الرسوم ثلاثية أبعاد إلى رسوم ثلاثية الأبعاد متحركة بشكل واقعى يتطلب قدرا اكبر بكثير جدا من المعلومات.

لقد اعتبرت النماذج المادية الملموسة دائما شىء سامى عالى القيمة غير قابل للزيف أو الخداع. على الرغم من أنها كانت تصنع غالبا بعد إتمام جزء كبير من العملية التصميمية وبعد أن قاربت هذه العملية على الانتهاء تقريبا. أما نماذج الحاسب فى المقابل وهى جزء أساسى من مراحل تطور التصميم فبعكس النماذج المادية يمكن اختراقها ورؤيتها من اكثر من موضع داخليا وخارجيا كما أنه من الممكن تعديلها بشكل فورى فى أى لحظة.

إن جزءا كبيرا من هذه المشكلة هو أن الحضارة قد أفسدتنا وأصبحنا مدللين إلى الدرجة التى تتطلب أن كل شىء نراه يجب أن يكون على أعلى درجة من الواقعية والدقة. ففى منتصف السبعينيات كانت لعبة مثل Pong تبهر الناس بحركة الكرة على الشاشة أما اليوم فإننا نقارن جودة الصورة فى الألعاب على شاشة الحاسب بجودة صور الأفلام السينمائية التى قد تنشأ عنها هذه الألعاب. بل ونرغب فى أن تكون نعومة التفاصيل ودقة الحركة فى صور الألعاب تماثل تماما دقة أفلام السينما أو الفيديو التى تصور ممثلين حقيقيين وهو ما يمثل تحديا لقدرات المصمم.

الاعتبارات الأساسية فى إنشاء الرسوم ثلاثية الأبعاد

بالنسبة للعديد منا، فإن تمثيل المنتجات التى نصممها والعديد من العاب الحاسب Computer Games والكثير من ماكينات الألعاب فى دور الملاهى تتعامل مع رسوم ثلاثية الأبعاد. وجميع هذه الأشياء التى صنعت من خلال رسوم مولدة بالحاسب ينبغى أن تصمم من خلال ثلاثة اعتبارات متتالية فى ترتيبها الزمنى وليس فى أهميتها. وهذه الاعتبارات لابد وأن تكون راسخة فى ذهن المصمم قبل الشروع فى إنتاج مجسماته، إذا أراد لها أن تتسم بالواقعية وأن تحاكى الطبيعة والحقيقة كأقرب ما يكون. كل واحد من هذه الاعتبارات الثلاث يحمل العديد من العوامل التفصيلية التى تتحكم فيه. وسيتم فيما بعد تناول جميع هذه العوامل ولكننا فى البداية سنحاول أن نتفهم الاعتبارات الثلاث فى مجملها ثم نخوض فيما بعد فى تفاصيلها، إذ لابد لمصمم الرسوم المجسمة أن يحدد قبل كل شىء:

- طبيعة وصفات وعناصر العالم الافتراضى ثلاثى الأبعاد.
- أى جزء من العالم الافتراضى سوف تربطى الشاشة
- كيف يتم توليف البكسلات لتظهر فى شكل صورة ثلاثية الأبعاد أقرب ما تكون للحقيقة وكيف سيبدو كل بكسل.

أولا : صفات وطبيعة العالم الافتراضى ثلاثى الأبعاد :

إن العالم الافتراضى ثلاثى الأبعاد ليس هو الصورة التى نعرفها لهذا العالم الذى نعيشه. خذ على سبيل المثال جزءا صغيرا جدا من العالم الحقيقى حولنا. سطح المكتب الذى تضع يدك عليه ويدك ذاتها. إن يدك لها نظمها الحيوية الخاصة التى تحدد لها كيف تتحرك وكيف تبدو. فتنحنى مفاصل الأصابع دائما فى اتجاه راحة اليد وليس بعيدا عنها.كما أنه إذا ما طرقت يدك سطح المكتب الذى أمامك فإن سطح المكتب لا يتبعثر ولا يطير منه الرزاز لأن سطح المكتب هذا جسم صلب. ولا يمكن ليدك العبور من خلاله. ويمكنك أن تثبت أن هذه الأشياء حقيقية بالنظر إليها من خلال أى صورة واحدة تلتقط لهذا المنظر. ولكن حتى لو التقطت فيلما كاملا وليس صورة واحدة، فمهما كان عدد الصور التى التقطت فإن كل ما تراه سيكون دائما حركة الإصبع فى اتجاه راحة اليد وأن سطح المكتب دائما صلبا ومتماسكا وليس سائلا أو رخوا. ذلك لأن هذه هى حقيقة اليد فى العالم الحقيقى وطبيعة سلوكها فى الحياة، وهذه هى أيضا حقيقة الأجسام التى تحيط بنا.

ثانيا : تحديد الجزء المرئى من العالم الافتراضى :

فى لحظة معينة تظهر الشاشة جزءا صغيرا من العالم الافتراضى الذى تم خلقه للاستخدام فى لعبة من العاب الحاسب. وما يظهر على الشاشة يتم تحديده من خلال اعتبارات ثلاثة:

- كيف يتحدد ويعالج العالم الافتراضى بأكمله.
- ما هى وجهتك وأين ترغب فى الذهاب فى نطاق هذا العالم.
- فى أى اتجاه تنظر أنت فى هذه اللحظة.

ومن خلال هذا يمكننا أن نقر بحقيقة ثابتة هى أنه مهما كان اتجاه سيرك يسارا أو يمينا للأمام أو الخلف ولأعلى أو لأسفل فإن العالم الافتراضى ينبغى أن يتجدد من حولك ويفرض عليك ما يمكن أن تراه من موقعك فى كل لحظة.

وكل ما تراه ينبغى أن يكون فى علاقة منطقية مع ما تراه فى المنظر التالى، فإذا كنت تنظر إلى شىء ما على نفس المسافة بصرف النظر إلى الاتجاه الذى تنظر منه فإنك لابد وأن ترى نفس الشىء بنفس الارتفاع مثلا. وكل جسم حولك ينبغى أن يتحرك ويبدو مقنعا بأن له نفس الكتلة وأنه يحمل نفس صفات الصلابة أو النعومة أو المرونة باستمرار.

ويبذل مصممو البيئة والمنتجات والعمارة والمنشآت المدنية وحتى مصممو العاب الحاسب جهدا فائقا فى تحديد معالم العالم الافتراضى ثلاثى الأبعاد بحيث تتحرك أنت فى أرجاء هذا العالم بدون أن تواجه أشياء تجعلك تفكر أو تتعجب ما لم يكن ذلك مقصودا. ولأبد لمصمم الرسوم المجسمة أن يتجنب تعليقا من أحد مشاهدى عمله " هذا ليس واقعيا ، فليس هذا ممكنا فى هذا العالم!! " . إن آخر شىء يمكن أن تتوقعه مثلا هو جسمان صلبان يخترق أحدهما الآخر. سوف يعطيك هذا على الفور انطباعا قويا بأن كل شىء حولك مصنوع وزائف وليس حقيقى.

ثالثا : جعل الأشياء أقرب ما تكون للحقيقة :

وتتضمن المرحلة الثالثة قدرا مساويا من الحسابات داخل معالج الحاسب أو أجزاء أخرى منه تماما كالخطوتين السابقتين. وهى مرحلة تحدث أيضا فى الوقت الحقيقى مهما كان ناتج هذا التصميم سواء كان ذلك فى الألعاب أو أفلام الفيديو أو فى تصميم المنتجات أو محاكاة العمليات الصناعية والمحاكاة البيئية .. الخ.

مهما كان العالم الافتراضى ثلاثى الأبعاد كبيرا أو غنيا. فإن وسيلة الحاسب الوحيدة فى تحقيق وتصوير هذا العالم هى صياغة والتعامل مع نقاط الشاشة التى هى بالطبع ثنائية الأبعاد. وسوف نخصص جزءا من هذا الفصل للتركيز على كيفية تحقيق الإيهام بأن ما تراه على الشاشة أمر واقعى. وعلى وجه الخصوص فإننا سنركز على كيفية أن تصبح المناظر والأشياء أقرب ما يكون لما تراه فى العالم الحقيقى. وأولا فإننا سوف ننظر إلى كيف تضاف بعض العناصر إلى شىء ساكن ليبدو حقيقيا وواقعيا. ثم سنجيب على نفس السؤال فيما يتعلق بمنظر كامل ثم أخيرا سوف نتناول ما الذى يمكن ان يصنعه الحاسب لإظهار مناظر كاملة الحركة لأماكن وأشياء وأناس حقيقيون يتحركون بسرعة وفى واقعية.

مراحل بناء العالم ثلاثى الأبعاد :

يتضافر عدد من مكونات الصورة نحو جعل المنظر يبدو حقيقيا. وهذا يتضمن عددا كبيرا من العناصر التى تصوغ المنظر فى شكله النهائى لعل أهمها:

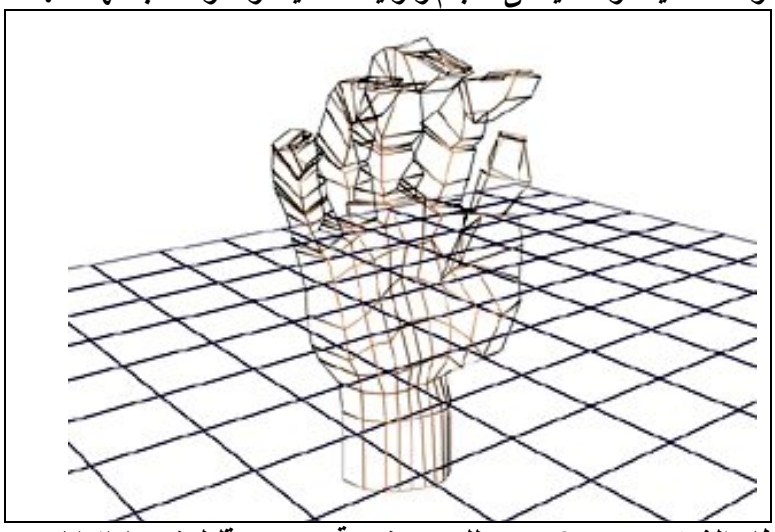
- بناء وأشكال الأشياء Modeling
- ملامسها الأجسام Texture
- الإضاءة Lighting

بالإضافة إلى بعض العناصر الأخرى التى توحى بالواقعية وتقترب بالمنظر من الحقيقة التى نألفها مثل:

- المنظور Perspective
- عمق الرؤية Depth of Field
- مدى دقة التفاصيل Accuracy and Anti-Aliasing

١- بناء أشكال الأشياء Modeling :

عندما ننظر عبر النافذة فإننا نرى كل ما حولنا من أجسام ومناظر تتكون من كل الأشكال والمجسمات والعناصر. ونرى فى كل شىء خطوطا مستقيمة ومنحنية فى أحجام وتوليفات عديدة ومتنوعة تجمعها معا.

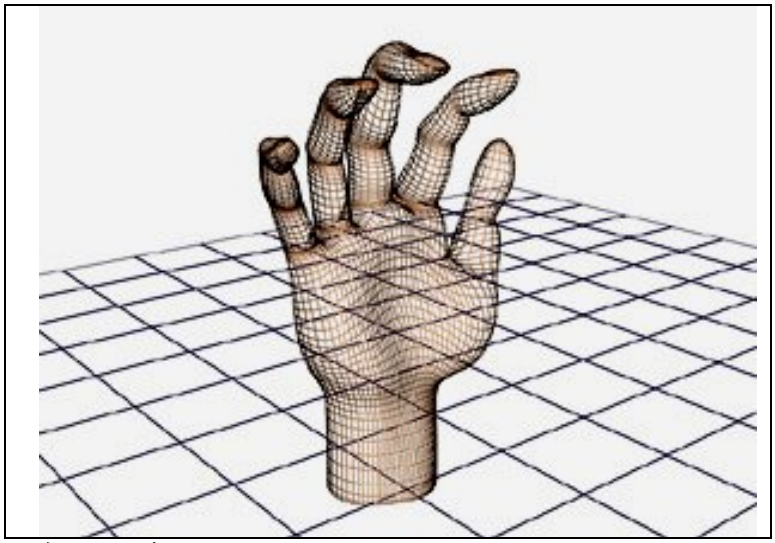


شكل ٢ الإطار الشبكى wireframe لليد مصنوعة من عدد قليل نسبيا(٨٦٢) من المضلعات

وبشكل مماثل فإنك تنظر إلى منظر مجسم ثلاثى الأبعاد على شاشة الحاسب لترى الصور مصنوعة من العديد من الأشكال على الرغم من أن معظمها قد صنع بواسطة خطوط مستقيمة. نرى مربعات ومستطيلات ومتوازيات مستطيلات ودوائر وأشكال بيضاوية ولكن أهمها جميعا وأكثرها انتشارا هو المثلث. ومع هذا ولكى تبنى صورة يمكن النظر إليها كجسم ناعم الانحناءات كتلك التى نراها فى الطبيعة فإن بعضا من الأشكال ينبغى أن يكون صغيرا جدا. وجسم معقد كالجسم البشرى يمكن أن يتطلب آلافا من هذه العناصر الشكلية تتجاور مع بعضها فى نظام بنائى يسمى الإطار الشبكى Wireframe . عند هذه النقطة فإن البناء ينبغى أن يكون واضحا فيه ما سوف تمثله الصورة ولو كان ذلك بشىء من البساطة. ولكن الخطوة التالية الهامة هى أن هذه الإطار الشبكى ينبغى أن يكون له أسطح.

٢- ملامس الأسطح Texture :

عندما نقابل سطحا ما فى العالم الحقيقى يمكننا أن نتعرف على المعلومات الخاصة به بوسيلتين أساسيتين، فيمكننا أن ننظر إليه –فى بعض الأحيان من عدة زوايا- أو كما يمكننا لمسه لنتعرف على ما إذا كان صلبا أو خشنا أو ناعما. أما فى العالم الافتراضى ثلاثى الأبعاد فإن كل ما يمكننا أن نفعله هو أن ننظر إلى أسطح الأشياء لكى نجد كل ما يلزمنا فيها من معلومات. ومثل هذه المعلومات يمكن أن تصلنا من خلال ثلاثة عناصر:



شكل ٣ استخدام ٣٤٤٤ مضلع لبناء الإطار الشبكى جعلت اليد أكثر طبيعية واستدارة

اللون: أى لون مجمل الشىء وهل يحمل كله نفس اللون أم أن بعض عناصره أو جزيئاته تحمل ألوانا أخرى.

الملمس: وهل يبدو الشىء ناعما أم يحتوى على ملامس خطية أو نتوءات أو شقوق أو أى شىء آخر غير معتاد فى سطحه.

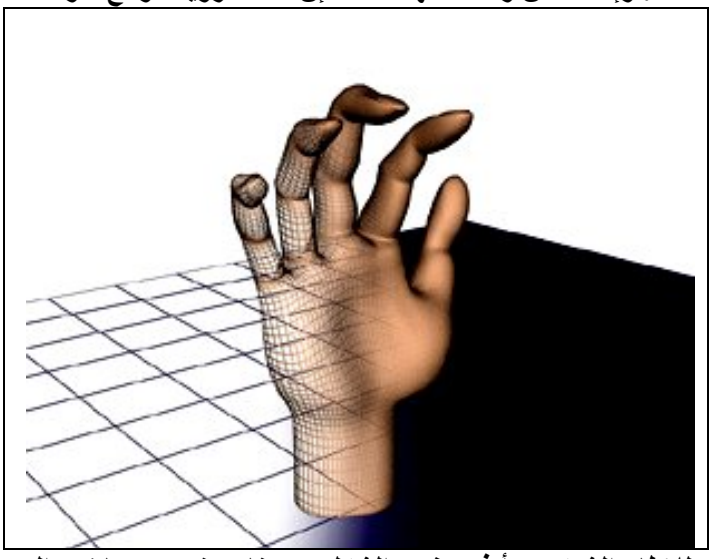
الانعكاسات: كم من الضوء يعكس الشيء وهل الانعكاسات حادة أم مشوشة أو غائمة. وهل هناك مصدر واحد لهذه الانعكاسات، أم أنها تأتى من أكثر من مصدر .

وهناك طريق واحد لجعل المنظر يبدو حقيقيا وواقعيا وهو أن يكون لديك مجموعة متنوعة من هذه العناصر الثلاثة تنتشر فى أرجاء الصورة المختلفة. انظر حولك الآن إن لون مفاتيح الحاسب الذى تعمل عليه لها لون مختلف وملامس مختلفة وانعكاسات مختلفة عن كل ما يحيط بها، حتى عن جسم الحاسب أو الشاشة المجاور لها كلها تختلف عن لون وملمس ذراعك ويدك وهكذا.

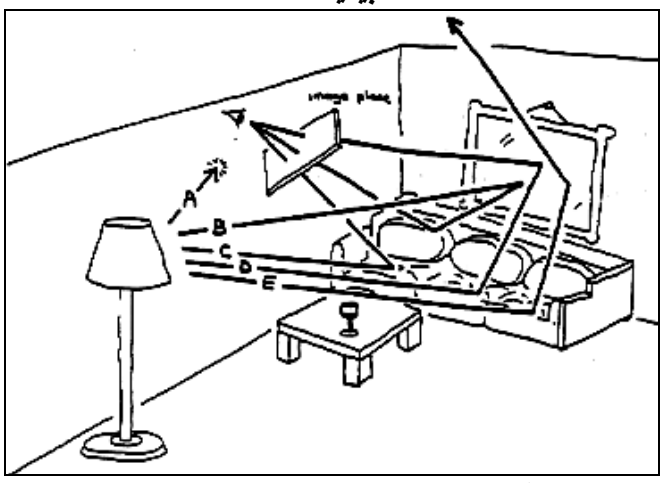
ولكى يتحقق لمنظر ما ألوان واقعية يكون على الحاسب الاختيار بين ملايين الألوان لك بكسل من بكسلات الصورة.

أما التنوع فى الملمس فيأتى من كلا من النماذج الرياضية التى نعرفها للأسطح بدءا من جلد الضفدعة إلى طبق الجيلى إلى الصور الملمسية التى يختزنها الحاسب والتى يمكن تطبيقها على الأسطح. وهذه بالمناسبة يمكن أن تكون أى صورة مختزنة بالحاسب وليس فحسب الصور التى تتضمن تمثيلا للمجسمات.

كما أننا يمكننا ربط الخواص التى لا يمكن أن نراها كالصلابة والمتانة والمرونة والبرودة والحرارة إلى توليفة من الألوان والملامس والانعكاسات. وإذا ما كان واحدا منها خاطئا فإن خدعة رؤية الواقع سوف تضيع.



شكل ٤ إضافة الأسطح للإطار الشبكى بدأ فى تغيير الشكل من بناء هندسى رياضى إلى ما يمكننا أن نميزه كيد طبيعية



شكل ٥ يوضح مدى تعقد حسابات الإضاءة

٣- الإضاءة Lighting:

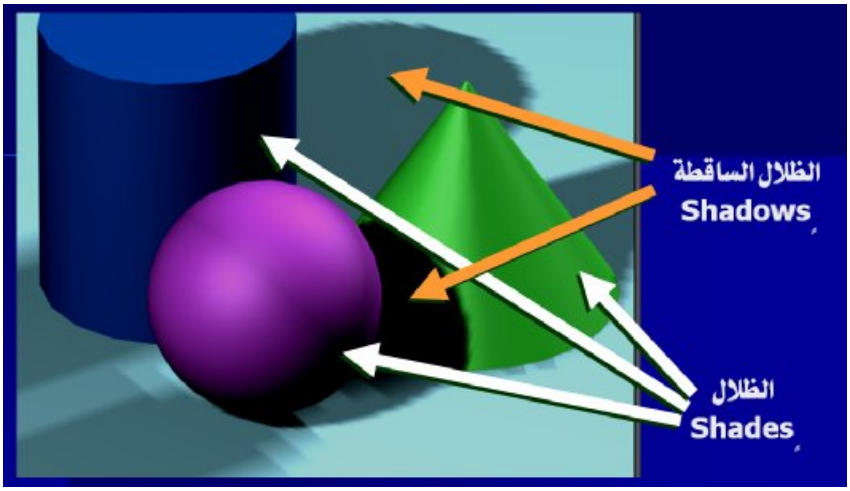
عندما ندخل إلى غرفة ما فإن أول ما نفعله هو أن نبادر إلى إضاءة المصباح. وهذه مسألة بديهية قد لا تشغل من تفكيرنا الكثير. وقد لا نفكر أبدا فى الطريقة التى يأتى بها الضوء من المصباح وكيف ينتشر حولنا فى الغرفة ولكن المهتمين بالرسوم المجسمة ثلاثية الأبعاد لابد لهم ان يفكروا بذلك جيدا لأن الأسطح المحيطة بالشبكة لابد لها من أن تضاء من جهة ما. وأحد أهم التقنيات المستخدمة فى ذلك هى تتبع الإشعاع Ray Tracing التى سبق الإشارة إليها، وهى تعتمد على مخطط لمسار الضوء الذى يسلكه شعاع خيالى من الضوء خلال مساره من مصدر الضوء إلى الجسم

المضاء شكل (٥). حتى فى انعكاسه من المرايا وأشباهها والأسطح العاكسة الأخرى حتى يقع تماما عل الأجسام بكثافة مختلفة من زوايا مختلفة.

وعندما يكون الضوء فى مسار واحد من مصدر واحد فإن حسابات إضاءة الأجسام يكون معقدا إلى حد ما . لكن معظم الغرف والأماكن التى نعرفها تأتيها الإضاءة من أكثر من مصدر مثل عدد من المصابيح تتدلى من السقف، أو جوانب الغرفة أو ضوء طبيعى يأتى من النوافذ،

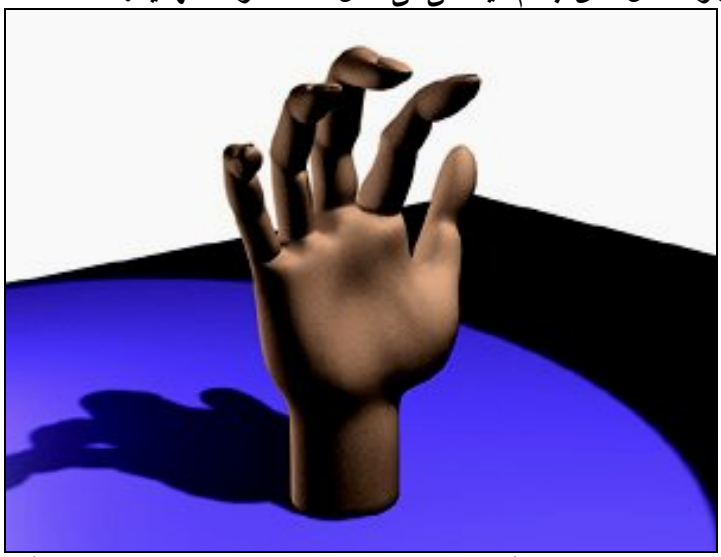
كما يمكن أن يكون مصدر الضوء الشموع وغيرها من مصادر الإضاءة الخافتة. وعندما تتفاعل هذه جميعا لإضاءة مكان ما أو جسم ما فإن حسابات الضوء هنا تكون من التعقيد بحيث لا يمكن لعقل بشرى أن يستوعبها.

ويلعب الضوء دورا هاما أيضا فى تأثيرين يعطيان مظهر يدل على الوزن والصلابة للأجسام وهى الظلال والظلال الساقطة:



الظل Shade :

وهو يحدث عندما يسطع الضوء على جسم ما من ناحية أكثر من ناحية أخرى. هذا الظل هو الذى يعطينا استدارة الكرة وبروز عظام الخدين وانحناءات وانثناءات الملاءة على السرير والستارة على النافذة ويبدو معه عمق الأشياء. وهذه الاختلافات فى شدة الضوء تحدث تأثيرها على الأشياء بحيث تخدع الرائى وتوهمه بأنه يرى الأسطح مجسمات لها طول وعرض وعمق. ولولا الظل الذى جسم اليد التى فى شكل ٦ لما عرفنا أنها يدا.



شكل رقم ٦ لا يضيف الضوء العمق فحسب من خلال الظلال ولكنه يثبت الاجسام فى الارض ويعطيها ثقلها ووزنها من خلال الظل المرمى

الظلال الساقطة Shadow :

وهو التأثير الذى يعطى خداع الوزن، فالأجسام الصلبة تسقط ظلالا عندما يسطع الضوء عليها ويمكنك أن ترى هذا واضحا فى المزولة الشمسية أو فى صورة لشجرة قبل الظهيرة يسقط عليها الضوء من جهة ما فيسقط ظلها على الجهة المقابلة. ولأننا تعودنا أن نرى الناس والأشياء وهى تلقى بظلالها ، فإن رؤية الظلال الساقطة فى المناظر والصور المصنوعة ثلاثية الأبعاد تجعلها اكثر واقعية وتؤكد خدعة الوهم بأننا نرى منظرا أو نافذة على العالم الحقيقى بدلا من

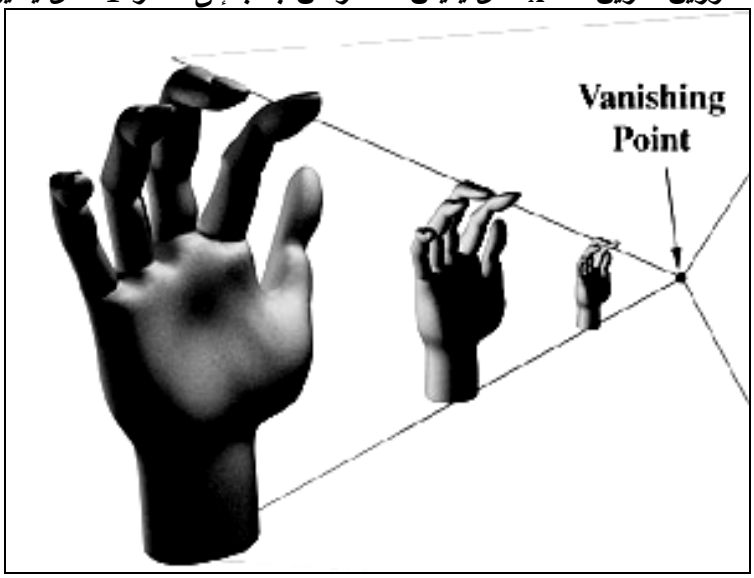
شاشة مليئة بالأشكال المرسومة هندسيا والمولدة رياضيا. وفى الصورة شكل ٦ أيضا يمكننا أن نتبين أن الظلال الساقطة لا تضيف العمق فحسب ولكنها تثبت الأجسام فى الأرض وتعطيها ثقلها ووزنها.

٤- المنظور Perspective

المنظور هو أحد الكلمات التى تبدو صناعية أو هندسية الطابع، ولكنها فى الحقيقة تصف حقيقة واضحة يراها كل منا فى كل لحظة من لحظات حياته. فإذا ما وقفت على جانب طريق طويل مستقيم ناظرا إلى آخره فإنه يبدو كما لو كان جانبى الطريق يجتمعان مع فى نقطة واحدة عند خط الأفق. كما أنك ترى الأشجار وأعمدة الإضاءة الأقرب اكبر والأبعد اصغر والأبعد منها اصغر واصغر وهكذا. فى الحقيقة أن الأشجار تبدو كما لو كانت تتجمع Converge فى نقطة تنشأ عند التقاء جانبى الطريق. وهكذا عندما نجد أن عناصر منظر ما تتجمع بالتدريج فى نقطة واحدة على مسافة بعيدة منا فإن هذا هو ما يسمى منظورا Perspective. وبالطبع فإن هناك عدة تنويعات واختلافات ولكن معظم الرسوم ثلاثية الأبعاد تستخدم إما منظور النقطة الواحدة كما وصفناه هنا، وهو أسهل أنواع المنظور حسابا ومعالجة بداخل الحاسب. ولن قدرة برامج معالجة الرسوم الثلاثية الأبعاد تقاس من بين ما تقاس به بقابليتها للرسم بمنظور النقطتين أو الثلاث نقاط. وكلا النوعين يوفر قدرا متزايدا من الواقعية، ويجعل من المنظر أشبه بما تقدمه الكاميرا الفوتوغرافية من صور وهو ما يقرب الصورة من ذهن المشاهد.

فى شكل ٧ قد نلاحظ أن الأيادى بعيدة عن بعضها البعض لكن فى المناظر الحقيقية غالبا ما يكون هناك بعض الأجسام التى تحجب أجساما أخرى. ويكون على برمجيات الحاسب عند بناء مثل هذه المناظر ليس فقط حساب حجم الجسم الأبعد وموضعه وإنما أيضا معرفة أى الأجسام يظهر اكبر وأيها اصغر وأى التفاصيل فى الأجسام الأخرى تحجب وأيها يظهر واضحا.

وأهم التقنيات المستخدمة لهذا الغرض أى فى حساب هذه العوامل هو ما يسمى بمخزن العمق z-buffer . وهذا الاسم يأتى من التوصيف المعروف للإحداثيات الهندسية أو الخطوط الوهمية التى تمتد من مقدمة الصورة إلى خط الأفق وهناك كما نعلم بالطبع محورين آخرين هما x الذى يقيس المنظر من جانب إلى الآخر Y الذى يعايره من اعلى إلى اسفل.



شكل رقم ٧ الشكل المنظور

وتعمل طريقةz-buffer على إعطاء كل مضلع أو نقطة فى المنظر قيمة تعتمد على مدى قربها من مقدمة الصورة. وعموما فإن قيم z الأصغر تكون للنقاط القريبة من المقدمة (سطح الشاشة) وكلما زادت القيمة كلما زاد بعدها عن سطح الشاشة واقترب من نقطة الأفق. فعلى سبيل المثال فإنه فى Z-Buffer ذى ١٦ بيت (16 Bit) يخصص رقما مثل ٣٢٧٦٨ - لجسم يتم إظهاره كأقرب ما يكون للشاشة ويعطى القيمة ٣٢٧٦٨ الموجبة لجسم يبعد عنها بعدا أقصى.

فى العالم الواقعى لا يمكننا أن نرى الأجسام المتوارية خلف أجسام أخرى لذلك فإنه لا يكون لدينا مشكلة فى التعرف على أى الأجسام اقرب وأيها ابعد وأيها يخفى الآخر.

لكن الحاسب يواجه هذه المشكلة دائما ويحاول أن يحلها بشكل مختلف، وذلك بأن يحسب قيمة العمق Z لكل نقطة عند إنشاءها ويقارنها بالأجسام الأخرى التى لها نفس الإحداثيات السينية والصادية X و Y ويكون الجسم الذى له اقل قيمة لـ Z كامل التفاصيل ظاهرا تماما بينما الأجسام التى لها قيمة Z أعلى لا تكون ظاهرة عند تقاطعها مع الأخرى.

إن النتائج هنا تؤكد أننا لا يمكننا أن نرى الخلفية أو العناصر الأقرب لها. إذا ما وقفت خلف عناصر أخرى اقرب للمقدمة. وبما أن قيم Z تحسب للأجسام قبل إظهارها لذلك فإن هناك بعض المناطق والأجسام التى تكون محجوبة بأخرى لا يتم إظهارها أبدا مما يسرع العمل أثناء عملية الإظهار Rendering.

رؤية الرسم المنظورى Perspective:

هناك العديد من الأساليب الخاصة برسم الرسوم المنظورية Perspective Views والتى قد تستخدم بمعدل يومى فى حياتنا اليومية .

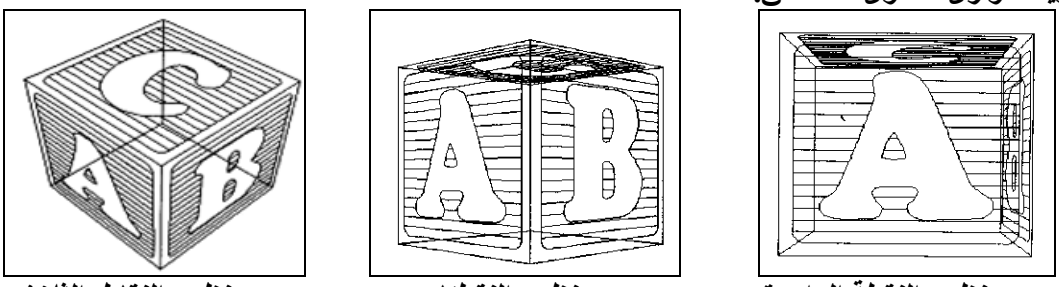
وفى كل أنواع المنظور المعروفة يعتبر مفهوم خط الأفق مسألة هامة فى برامج وتطبيقات بناء المجسمات بالحاسب، وذلك لأن كل الخطوط الأفقية تتحول من خلال رؤيتنا إلى نقاط تلاشى موجودة عليه. وتتحول الخطوط الموجودة على الأسطح التى توجد أسفل عينيك لأعلى لكى تلتقى مع خط الأفق . بينما تتحول الخطوط الموجودة اعلى عينيك إلى اسفل لكى تلتقى أيضا مع خط الأفق . أما الخطوط الموجودة فى مستوى عينيك فتتطابق مع الأفق.

منظور النقطة الواحدة One- point perspective:

هو رسم تتلاشى فيه جميع الخطوط الأفقية فى المنظر بحيث تتجمع فى نقطة واحدة على خط الأفق، تسمى نقطة الزوال. أما الخطوط الرأسية المتعامدة على سطح الأرض فتظل موازية لبعضها البعض.

منظور النقطتان Two - point perspective:

توجد هنا نقطتان للتلاشى واحدة لكل جانبان من الجسم، وهذه النقاط أيضا توجد على خط الأفق . وفى منظور النقطة الواحدة يكون أحد أوجه الجسم موازيا لمستوى خط الأفق أما فى منظور النقطتين فلا يحدث هذا. ويتشابه منظورى النقطة الواحدة والنقطتين فى أن الخطوط الرأسية المتعامدة على سطح الأرض تظل موازية لبعضها البعض فى مستويات توازى مستوى خط الأفق.



منظور النقطة الواحدة | منظور النقطتان | منظور النقاط الثلاث

شكل رقم ٨ أنواع المنظور

منظور النقاط الثلاث Three- point perspective:

هنا تتحول الخطوط الرأسية أيضا إلى نقطة تلاشى ثالثة. ويمكننا رؤية كل أسطح القالب الثلاثة وقد أصبح لها نقاط تلاشى. وإذا كنت تنظر إلى أسفل على أى نقطة موجودة تحت الأفق فان خطوط القالب الرأسية تتحول أو تتجمع إلى أسفل وتتجمع هذه الخطوط إلى أعلى إذا كنا ننظر على نقطة فوق الأفق.

٥- عمق الميدان Depth of Field

عمق الميدان مصطلح يأتى إلى رسوم الحاسب من علوم التصوير الضوئىPhotography ، وهو تأثير ضوئى بصرى يستخدم بنجاح فى خلق المناظر المجسمة ثلاثية الأبعاد وفى الصورة شكل ٧ فكما أن الأيدى تبدو لنا وهى تصغر كلما بعدت عن عيوننا، فإن هناك ظاهرة أخرى تحدث وهى أن الأيدى الأبعد تصبح أيضا أقل وضوحا وغائمة بعض الشىء. وهذا ينطبق أيضا على رؤية الصور والأفلام. ويستخدم مخرجو الأفلام ومصممو رسوم الحاسب المجسمة عمق الرؤية فى غرضين أساسيين:

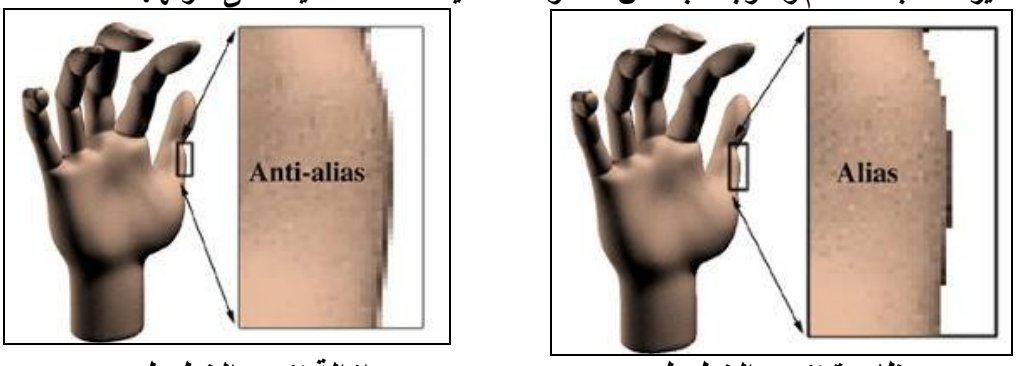
١. لتأكيد الخداع والإيهام بوجود العمق فى المنظر الذى تراه. إنه من الممكن للحاسب أن يجعل كل شىء يظهر فى المنظر بصرف النظر عن درجة قربه أو بعده واضحا بدون أى تشويش وهو ما لا تستطيعه العين. ولكن بما أننا قد اعتدنا على رؤية الأشياء الأبعد اقل وضوحا فإنه إذا ما صنع الحاسب ذلك يكون المنظر غير واقعى ويبدو مصنوعا وآليا بعض الشىء.
٢. تركيز الاهتمام على عنصر معين أو ممثل معين يكون فى هذه اللحظة محور الاهتمام أو الأكثر أهمية.

فلكى يوجه المخرج اهتمامنا إلى بطل المسلسل فإنه على سبيل المثال سوف يستخدم عمق الميدان قليل العمق حيث يظهر الممثل وحده كأوضح ما يكون فى البؤرة. وهكذا الحال تماما فى تصميم المناظر ثلاثية الأبعاد بداخل الحاسب. إن المنظر الذى يصمم لكى يبهرك بجلال وعظمة الطبيعة فى المقابل لابد وأن يستخدم فكرة عمق الميدان بوعى أكبر بكثير للحصول على المنظر الموجود فى الخلفية فى البؤرة تماما.

٦- دقة التفاصيل Details Accuracy:

ونعنى بهذا ما يسمى بإزالة تكسر الخطوط Anti-Alias وهى تقنية تستخدم لخداع العين وإيهامها برؤية أشياء

غير موجودة. إن قدرة نظم الرسم والصور الرقمية فى خلق خطوط رأسية وأفقية هو شىء لاشك فيه. ولكن عندما يأتى الأمر إلى الأقواس والخطوط المائلة والمنحنية والقطرية وهى الأكثر انتشارا فى عالم الحقيقة، فإن الحاسب يمكن ان ينتج تأثيرات تشبه السلالم والدرجات بدلا من الخطوط المنحنية السلسة السليمة التى نعرفها.



ظاهرة تكسر الخطوط Alias إزالة تكسر الخطوط Anti-alias

شكل رقم ٩ إزالة تكسر الخطوط Anti-alias

ولمزيد من خداع العين نحو رؤية هذه الخطوط ناعمة فإن الحاسب يعمد إلى إضافة ظلال متدرجة لنفس لون الخط على البكسلات المحيطة به. هذه البكسلات الذائبة المتدرجة من الخط إلى ما يحيط به سوف تخدع العين نحو التفكير فى أن الدرجات أو السلالم قد اختفت. وهذه الطريقة فى خداع النظر بإضافة ألوان وظلال متدرجة تسمى Anti- Alias وهى واحدة من التقنيات التى تفصل صور الحاسب المجسمة عن تلك المصنوعة باليد. إن المسألة تكون أكثر تعقيدا عندما تتحرك هذه الخطوط فى الرسوم المتحركة، حيث يتطلب الأمر إضافة الألوان والدرجات الظلية المختلفة لتناسب الموقع الجديد للخط المطلوب رسمه.

٧- مثال تطبيقى:

عندما توضع كل هذه الحيل التى تناولناها معا فإنه من الممكن إنتاج صور ومناظر شديدة الواقعية بسهولة واضحة. وفى الأفلام والألعاب الحديثة فإن الأشياء التى يتم تجميعها على خلفية من صورة طبيعية بما يؤدى إلى زيادة القدرة على الإيحاء بأن الأشياء التى تراها حقيقية.

ويمكن أن ترى النتيجة المذهلة عندما تقارن الصور الطبيعية بتلك التى صنعها الحاسب. وشكل ١٠ هو مثال جيد لهذه الفكرة ففى هذه المجموعة من الصور يبدو منظر لمدخل أحد المنازل وفى واحدة من الصور تم وضع كرة وتصويرها بكاميرا فوتوغرافية.

وفى الصورة الأخرى استخدم الفنان برامج الحاسب الجرافيكية لخلق كرة وإضافتها إلى المنظر، مع إضافة الظلال المناسبة. هل يمكنك أن تتعرف على أى المنظرين هو الحقيقى وأيها صنع بواسطة الحاسب. المسألة صعبة للغاية وعموما فإن الصورة اليمنى هى التى صنعها الحاسب.

شكل ١٠ (أ)

شكل ١٠ (ب)

شكل ١٠ (ج)

المدخل ثلاثى الأبعاد لرسوم الحاسب Computer 3D approach

رسم المناظر ثلاثية الأبعاد ونقلها من داخل الحاسب إلى الشاشة يسمى الإظهار Rendering وهو يتم عادةً باستخدام نوع من التقنيات يسمى pipeline أو assembly-line وهو ما يعنى بأننا بصدد سلسلة متتابعة من العمليات يعتمد كل منها على الآخر، تبنى المناظر والمجسمات فى هذه العمليات من توليفة من الخطوط كل منها خط محسوب داخل الحاسب ومكون من عدة نقاط كل نقطه لها لون ودرجة ظلية معينه تبنى الشكل المجسم. وهذه التقنيات يوظف لها معالج الحاسب برمجيات ووسائل إظهار مناسبة. ويمكن إظهار المجسم باستخدام معدات الحاسب Computer Hardware غالية الثمن لتقوم بنفس عمل البرمجيات ولكنها تسمح برسم ٦٠ صوره فى الثانية للجسم وبذلك تسمح بوجود صورا أكثر واقعية، أما برامج الإظهار فهى بطيئة وتتطلب وقتاً قد يصل من عدة دقائق إلى عدة ساعات لإظهار صوره واحدة، ومع ذلك فإن الرسوم ثلاثية الأبعاد بالحاسب دائماً ما تستخدم مثل هذه البرمجيات للإظهار لأنها تعطى قدرة اكبر على التحكم فى الصور وتعطى مظهر واقعى بشكل كبير مع خفض ملحوظ فى النفقات.

إنشاء المجسمات ثلاثية الأبعاد 3D Models Creation:

١ إنشاء المجسم Modeling :

يطلق أسم النمذجة الهندسية Geometric modeling على عملية بناء أشكال ثلاثية الأبعاد بواسطة الحاسب فى أغراض تصميم، وتحليل، وتصنيع المنتجات وما تتطلبه من نماذج أخرى. وهناك تقنيتان رئيسيتان لبناء نموذج رياضى للمجسم المراد إنشاؤه تتلخصان فى تمثيل سطح المجسم (الكرة مثلا) إما:

- سلسلة من المنحنيات.
- مجموعه من المضلعات (مثلثات – مربعات –مخمسات)، المتراصة جنبا إلى جنب.

والمكونات الأساسية فى أى مجسم والتى تمثل نواة اللبنات الأساسية ولا يمكن لجسم مبنى بالحاسب أن يستغنى عنها وهى

Vertex: هو نقطة في الفراغ ثلاثي الأبعاد و هذه النقطة ليس لها أبعاد.

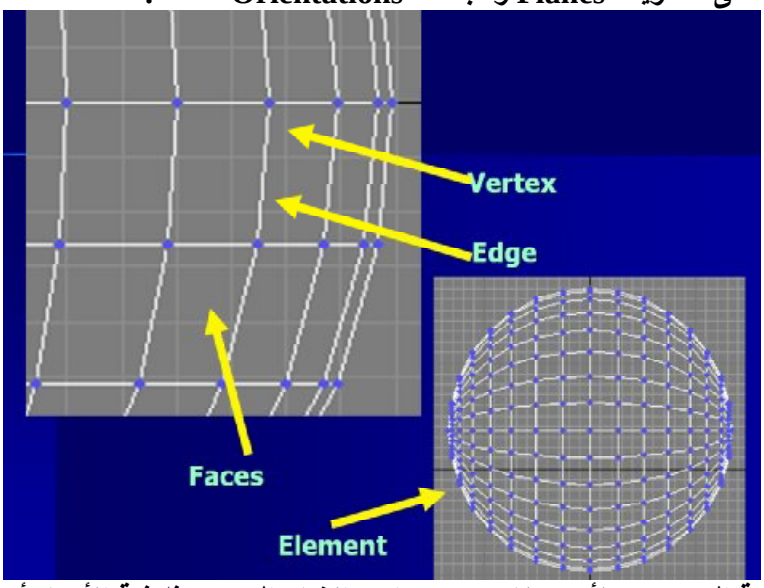
Vector- Edge: الحرف أى هو الخط الموجود أو الواصل بين أي نقطتين في الفراغ .

Face : وجه ويحدد بأي ثلاثة نقط في الفراغ Vertex.

Element : عنصر مكون من العديد من الوجوه Faces وبالتالى الأحرف Edges والنقاط Vertex.

ويتكون أي كائن في برامج الرسم ثلاثى الأبعاد من عدد كبير من الأوجه و يمكن التعامل مع كل وجه على حدة مثل إعطاءه خامة مختلفة عن الوجوه الأخرى. إلا أن معظم عمليات التعامل مع المجسمات تتعامل مع عدد من الوجوه تشكل عنصرا من عناصر الجسم أو الجسم كله.

وبناء الأجسام من مضلعات كبيرة الحجم لا يمكنه إنتاج أسطح ناعمة لذا فإن النماذج التفصيلية والمجسمات الدقيقة تتطلب عدداً كبيراً جداً من هذه المضلعات أصغر حجما. وهكذا فإن بناء المجسمات يستلزم إيجاد علاقة رياضية بين أسطح ثنائية الأبعاد تتواجد فى مستويات Planes واتجاهات Orientations مختلفة.



والكائنات الأساسية التى يمكن لأى برنامج من برامج إنشاء الرسوم ثلاثية الأبعاد أن بناءها والتعامل معها هى:

الكائنات المنشأة من أسطح ذات حواف مستقيمة مثل:

- الصندوق Box • المنشور Prism • الماسة Diamond • الهرم Pyramid

الكائنات المنشأة من أسطح دورانية مثل:

- الكرة Sphere • المخروط Cone • الحلقة Torus /Donut • الأسطوانة Cylinder

ويجدر بالذكر هنا أن الكرة بالذات لها نوعان هامان أولهما هو L-sphere والمقصود هنا Longitudinal and Latitudinal Sphere وهي تعني الكرة المكونة من أوجه طولية وعرضية ويستفاد من ذلك فى إنشاء كرة ثم معالجة عدة أوجه منها بالمسح أو بإعطاء هذه الأوجه خصائص وصفات مختلفة. وعند ذلك تصبح المنطقة التي تم حذف عدد من الأوجه مثلا منها متساوية ومحددة . أما النوع الثانى فهو Geo-sphere أو Gsphere أى الكرة متشابكة الأوجه ويفضل استخدام هذا النوع من الكرات عندما نريد أن نرسم كرة فقط بغية التعامل معها ككل.

وبعض الكائنات تكون بمثابة تعديل للكائنات الأساسية لتسهيل العمل أو لشيوعها فى الرسوم بشكلها المعدل وتطلق بعض البرامج على مثل هذه الكائنات الأولية الإضافية Extended Primitives مثل:

- نصف كرة Hemispher • اسطوانة مفرغة Tube • الماسة Hedra
- عقدة Knot • خزان بترول Oil Tank • كبسولة Capsule

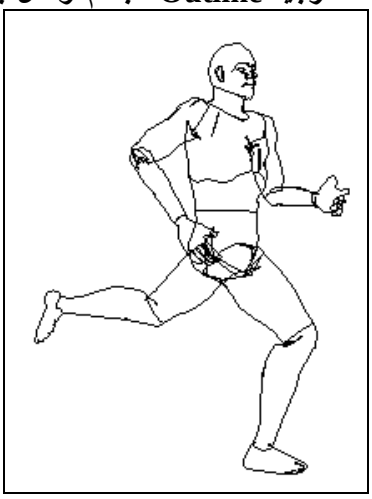
أنماط النماذج ثلاثية الأبعاد:

وهناك ستة أنماط لإظهار النماذج المنتجة بالحاسب هى :

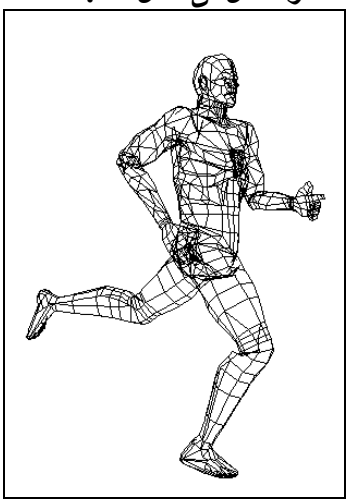
- التمثيل الخطى Linear Representation
- نماذج الإطار الشبكى Wire-frame models
- نماذج السطوح Surface models
- النماذج المصمتة Solid models
- النماذج شبه الواقعية Semi-Realistic models
- نماذج الواقع الافتراضى Virtual Reality models

١- نماذج التمثيل الخطى Linear Representation

تعتبر نماذج التمثيل الخطى أبسط الأنواع التى يعدها الحاسب لتقديم معلومات عن الشكل الذى يتم تصميمه أو حتى مجرد توضيحه فى أى سياق بعيدا عن العملية التصميمية، وفى الطبيعة يمثل الإطار الخطوط الأساسية فى بناء الكثير من الكائنات فهو بمثابة الهيكل الأساسى المبسط للكائنات الفقارية كالطيور والحيوانات وأيضا فى الجسم البشرى. ويمكن أن تتمفصل أجزاء النموذج الخطى مع بعضها البعض لبناء نموذج يمثل عدة مكونات. ويمكن أن يكون التمثيل الخطى كذلك ممثلا للخطوط الخارجية Outline للجسم أو لكل جزء منه على حدة، كما هو الحال فى شكل ١١.



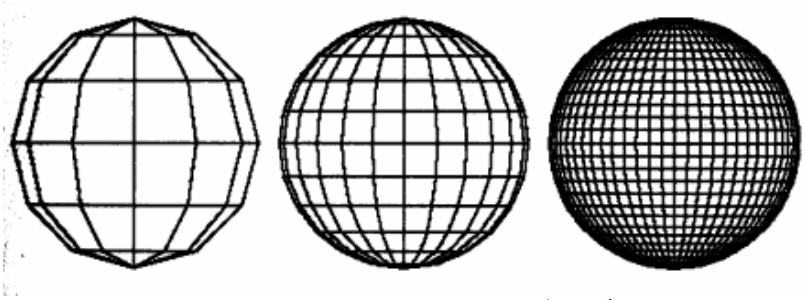
شكل رقم ١١ التمثيل الخطى



شكل رقم ١٢ الإطار الشبكى

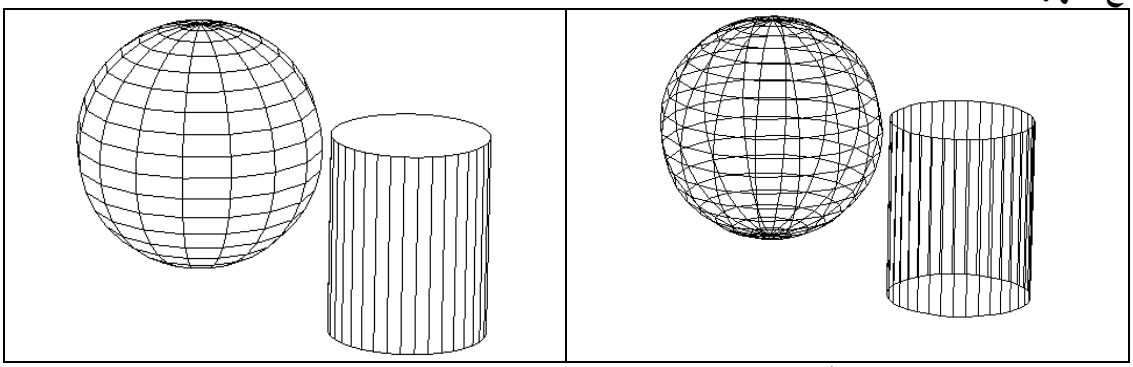
٢- نماذج الإطار الشبكى Wire-frame models

وتعتبر أيضا من الأساليب البسيطة لتقديم بيانات النموذج المصمم، فى أقل وقت وبأسرع ما يمكن. ولكنها فى الوقت نفسه أداة المصمم فى الوصف الدقيق للكائنات الحية والبيئات والظواهر الطبيعية. وهنا لا يلجأ الحاسب لبناء الهيكل الأساسى للجسم أو إطاره الخارجى فحسب وإنما يقوم أيضا ببناء سطحه الخارجى بمضلعات ثنائية الأبعاد مسطحة متجاورة تمثل فى الطبيعة جلد أو المظهر الخارجى للمنتجات والأشياء والمخلوقات وكلما استخدم عدد أكبر من هذه المضلعات فى بناء الشكل زادت دقته ونعومته (شكل ١٣).



شكل رقم ١٣ تزداد دقة نموذج الإطار الشبكى بزيادة عدد الوجوه على سطحه

. ومثل هذا النوع من النماذج لا يوفر المعلومات الكاملة عن ملامس الأسطح أو لونها أو طبيعة ومواصفات الخامة المستخدمة فيها. ولكن قد يتوفر لهذا النوع من النماذج خاصية إخفاء الخطوط المختفية (شكل ١٤)، مما يضفى على النماذج واقعية واقتراب اكثر من الطبيعة. ولكنها مع ذلك تفرض طابعا هندسيا على المجسمات مهما كانت طبيعتها الأصلية، وتظل بعيدة عن التمثيل والمحاكاة الحقيقية التى يمكن أن تقنع الرائى بمطابقتها للأصل الذى تحاكيه أو الذى سينتج عنها.



شكل رقم ١٤ نموذج الإطار الشبكى مع إخفاء الخطوط غير الظاهرة Hidden Lines

ونماذج الإطار الشبكى يتم بناؤها من نقاط Vertices يربط بينها خطوط Segments وتوصل الخطوط معا لبناء مسطحات ثنائية الأبعاد لكن من الممكن أن يكون لكل منها اتجاهه والمستوى Plane المستقل الذى ينتمى إليه.

٣- نماذج السطوح Surface models

وهذه النماذج تتضمن تحديدا أكثر طبيعة الأجزاء ويبدو معها الشكل أكثر تحديدا مقارنة بنماذج الإطار الشبكى. أما النماذج الأكثر تعقيدا فى بناء أسطحها فينشئها الحاسب بتجميع السطوح المختلفة للأجزاء المكونة للأشكال. وفى هذه النماذج يمكن أن يبدو عمق المجسمات ويضاف إليها السمك ويمكن كذلك أن تملأ بالألوان والظلال المختلفة. ويكون هنا أساسيا استعمال تقنيات إزالة الخطوط المختفية لإضفاء مزيد من الواقعية. إلا أن هذه النماذج لا تمثل بواقعية الأشكال الطبيعية كما أنه من غير الممكن أن يتحقق من خلالها خصائص الكتلة والوزن الحجم.

٤- النماذج المصمتة SOLID MODELLING

فى نماذج الإطار الشبكى يمثل المكعب على شاشة الحاسب بـ ١٢ خطا وثمانى نقاط . أما فى نماذج السطوح فان المكعب يمثل بـ ٦ أسطح تحددها خطوط تمثل حواف السطوح ونقاط تمثل قمم ونهايات هذه الخطوط، لكن فى النموذج المصمت solid model يمثل المكعب بكتلته.

شكل رقم ١٥ النماذج المسطحة

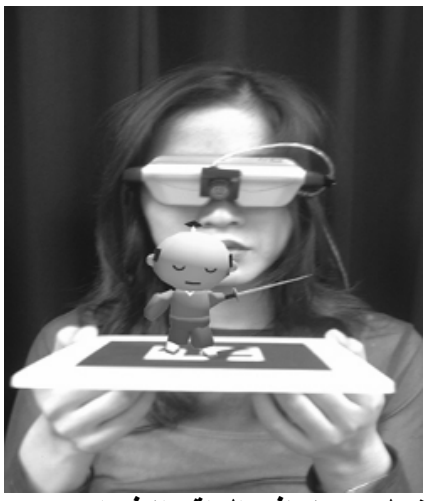
شكل رقم ١٦ النماذج المصمتة

وهناك عدة طرق لتشكيل النماذج المصمتة منها استعمال المجسمات الأولية كالمكعب cube والمنشور prism والاسطوانة Cylinder، والكرة sphere، كوحدات أولية primitives لبناء النماذج المركبة من خلال عمليات رياضية بولينية كالاتحاد union، والطرح Subtraction والتقاطع Intersection، الإزالة Removal، التباين difference.

٥- النماذج شبه الواقعية Semi-Realistic models

هنا تضاف الملامس وتأثيرات الخامات المختلفة إلى النموذج ليصبح أكثر قدرة على التعبير عن الأصل الذى يحاكيه. وفى الحقيقة فإن هذا النوع لا يمثل نموذجا حقيقيا وإنما هو مجرد نوع من التطوير لكافة النماذج السابقة مثل المصمتة ونماذج الأسطح. ويتضح بالشكل ١٦ قدرة الحاسب على إنتاج أشكال شبه واقعية بصرف النظر حتى عن إضافة الملامس وتأثيرات الخامات إليها.

شكل ١٦ نماذج شبه واقعية



شكل ١٧ نماذج الواقع الافتراضى

٦- نماذج الواقع الافتراضى Virtual Reality models

مع النصف الأخير من التسعينيات وأوائل القرن الحادى والعشرين انتشر مصطلح الواقع الافتراضى Virtual Reality وهو أسلوب ليس لبناء المجسمات فحسب وإنما لجعل المستخدم يعيش بينها فى بيئة مصنوعة Synthetic ثلاثية الأبعاد يتعامل معها فى الزمن الحقيقىreal-time كأنها أشياء حقيقية موجودة على أرض الواقع، شكل ١٧.

وهكذا فإن مصطلح الحقيقة الافتراضية يعنى بالتمثيل شبه الواقعى للأشياء والأجسام والأشخاص وبيئات تواجدها. كما أضاف إليها فكرة التفاعلية الدائمة بين مستخدم الحاسب والرسوم والصور الرقمية التى يتعامل معها.

وأهم صفات نظم الواقع الافتراضى هو استخدام أجهزة مثل قفازات البيانات data gloves وعصى التحكم wands والنظارات الخاصة للقيام بعمليات الإدخال والتحكم فى عناصر هذا النظام باستخدام حركات الجسم أو حتى بالتوجيه المنطوق وتستجيب المجسمات والنماذج التى يتعامل معها داخل الحاسب هنا لأفعاله اللحظية باستجابات منطقية وفى الزمن الحقيقى شكل ١٨.

شكل ١٩ - قفاز وقناع يرتديه المتعامل مع برامج الواقع الافتراضى

أساليب إنشاء النماذج 3D Model Modification :

كل أنواع النماذج السابقة تنشأ بعدد من الأساليب الرياضية والهندسية تختلف باختلاف النموذج والشكل المطلوبين. وقد يبدأ الإنشاء بعملية تحويل الأشكال ثنائية الأبعاد إلى مجسمات بطرق مختلفة تؤثر كل منها فى التكوين. ولكن يمكن

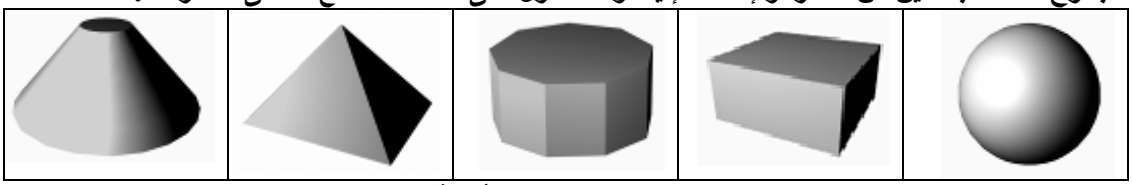
أن تنشأ هذه المجسمات أيضا من وحدات أساسية معدة من قبل وقد يتم كذلك بالقطع والحذف والإضافة وغيرها من التقنيات المعروفة لتشكيل النماذج المادية ثلاثية الأبعاد ولكن بما يتناسب مع قدرات الحاسب. وبعد الانتهاء من بناء الجسم الأساسى تبدأ عمليات التعديل المناسبة حتى يصل النموذج للشكل المطلوب له.

أولا: بناء الأجسام ثلاثية الأبعاد 3D Model Construction:

يمكن تعداد المئات من العمليات التى يمكن أن يقوم بها الحاسب لمعاونة المصمم على أداء عمله فى بناء النماذج ثلاثية الأبعاد. ولكننا سنقتصر هنا على العمليات الأساسية لبناء وتصميم النماذج:

أسلوب البناء وإعادة الصياغة Build & Edit

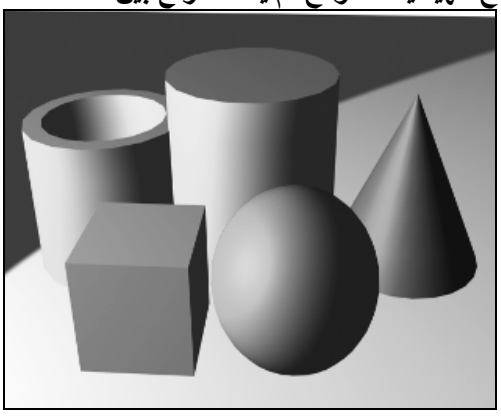
وفيه يبنى الشكل من وحدات مجسمة أساسية هندسية الشكل Primitives مثل الكرة Sphere والمخروط Cone والاسطوانة Cylinder والمكعب Box وغيرها. ثم يتم تعديل المجسم الناتج وإعادة صياغته ليأخذ الشكل المفترض للنموذج. وقد يتم ذلك من خلال عملية بولينية Boolean وهي عملية دمج اكثر من جسم للحصول علي مجسم جديد سواء بطرح أحد المجسمين من الآخر أو إضافته إليه أو الحصول على منطقة التقاطع، شكلى ١٨ و١٩.



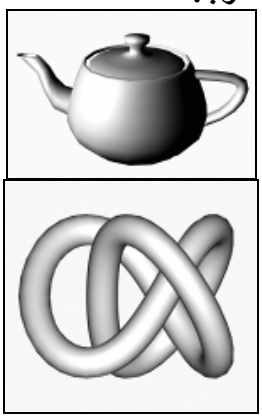
شكل رقم ١٨ بعض المجسمات الأولية Primitives

البناء الهيكلى لتوليد الطبقات lofting

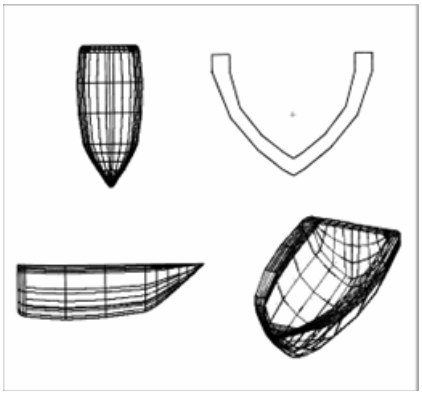
جاءت كلمة Lofting من الأسلوب مأخوذ عن الطريقة التى يبنى بها قوارب الصيد والسفن الصغيرة قديما، ، حيث انه كان يتم فى البداية إنشاء مقاطع السفن ثم توضع هذه المقاطع على مسافات وبعد ذلك يتم كسوتها كى ينتج شكل السفينة: ويطلق على عملية تركيب المقاطع وكسوتها فى برامج إنشاء المجسمات أيضا اسم lofting. ويتم ذلك أولا بإنشاء أشكال مقاطع المجسم تماما كما يحدث فى عملية صنع السفن شكل ٢١ ثم ترتب قطاعات الشكل حول محور وهمى يحدد الملامح الهيكلية للنموذج ثم يملأ الفراغ بين هذه القطاعات ليعطى الشكل المطلوب.



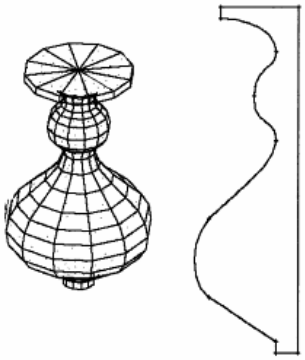
شكل رقم ١٩ تكوين من مجموعة من مجسمات أولية Primitives



شكل رقم ٢٠ مجسمات إضافية Extended Primitives



شكل رقم ٢١ البناء بالتوليد الهيكلى للطبقات lofting



شكل رقم ٢٢ البناء بالدوران Revolution

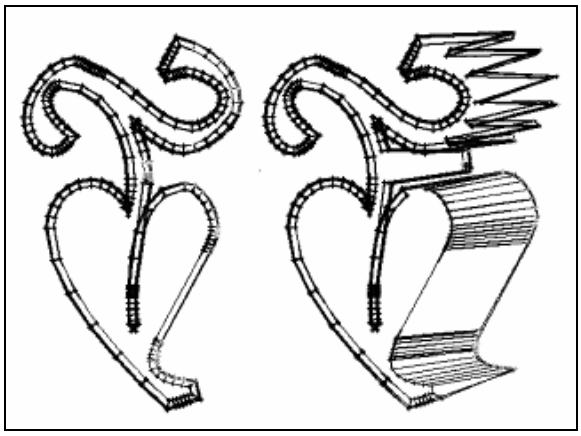
الدوران Revolution

وهى واحدة من أهم الإمكانيات التى تقدمها برامج الحاسب لتصميم الأشكال المجسمة ثلاثية الأبعاد خاصة ذات الهيئة الدورانية منها (الأسطوانية – المخروطية.. الخ) حيث يتم فيها رسم قطاع ثنائى الأبعاد يحدد الملامح الخارجية للشكل المراد بناؤه وتتم إدارته حول مسار له محور دائرى وهمى بزاوية ٣٦٠ درجة كاملة للحصول على الاستدارة الكاملة أو بزاوية أقل وفقا لطبيعة ومتطلبات التصميم (شكل ٢٢)

إلا أن هناك عدة تنويعات لهذا الأسلوب يمكن أن ينتج عنها أشكل كاللوالب والأشكال الحلزونية وذلك باختيار المسار المناسب بدلا من الدائرة.

البثق Extrusion

يعد واحد من الأساليب الأساسية التى تعتمد عليها المصمم فى بنائه للمجسمات باستخدام الحاسب حيث تفيد فى تصميم الأشكال المجسمة التى تأخذ هيئة القطاعات الطولية أو السطوح ذات السمك بمواصفاتها المختلفة. ويقوم الحاسب ببثق EXTRUDE مجسم ما بزيادة سمك قطاع فى الشكل أو وجه FACE واحد من أوجهه إما بالاتجاه لداخل الشكل أو لخارجه شكل (٢٣).



شكل ٢٣ البناء بالبثق Extrude

أسلوب Nurbs Surface

أداة مستحدثة فى العديد من برامج إنشاء النماذج. وهذه الأداة غاية في القوى، وتوفر للمستخدم القدرة على تكوين عناصر عضوية Organic مثل أوراق النباتات وغيرها من المجسمات التى تحمل صفات عضوية لا هندسية مثل وجه أو يد الإنسان مثلا باستدارتها بما لها من بناء عضوى متميز٠ شكل ٢٤.

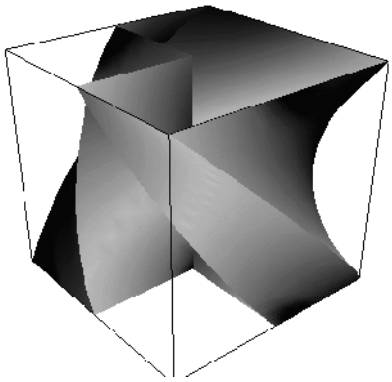
أسلوب Patch Grid :

هو نوع من الأساليب المستخدمة في بناء وتكوين النماذج. ويمتاز بأن نقاطه ذات قابلية عالية للتشكل بطريقة Bezier ويمكن تحويل العناصر الأولية primitive لتصبح من نوع Patch Grid للحصول على نتائج أفضل وأكثر دقة لتغيير صفات النموذج، شكل ٢٥.

أسلوب التشكل الانتقالى Morph :

المجسمات التى تبنى بأسلوب التشكل الانتقالى هى مجسمات ثلاثية الأبعاد يتحول أحدها إلى الآخر في الفراغ. وأفلام مثل الرجل الذئب أو دراكيولا أو القناع هى نموذج جيد لاستخدام الحاسب فى تحويل الأشكال ثلاثية الأبعاد.

شكل ٢٤



شكل ٢٥

أولا: أساليب تعديل النماذج 3D Model Modification

تعد إمكانية التعديل وتحرير الأشكال ثلاثية الأبعاد من أكبر إسهامات الحاسب فى مجال التصميم ،فقد كان المصمم يستغرق وقتا طويلا فى رسم الاسكتشات وإجراء التعديل اللازم عليها ولكن مع وجود الحاسب أصبح ذلك يسيرا من خلال وسائل متعددة. وهناك نوعين من تعديل المجسمات نوع يعيد صياغة وبناء الجسم من جديد ونوع آخر أخف حدة يتناول

خصائص وصفات الجسم المظهرية بدون تعديل فى بنائه.

أولا : أساليب تعديل بناء وتركيب الجسم :

يمكن بالطبع كما هو الحال فى أى شىء تفعله الآن فى الحاسبات، نسخ المجسمات وتكرارها وحذفها. بل ويمكن أن يضاف إلى ذلك إمكانية نسخ أجزاء وعناصر Elements من هذه المجسمات والتعامل معها. أما أساليب التعديل فى بناء المجسمات أو أجزائها فتتضمن:

٣-١-التحجيم Scaling

ويتضمن عمليتى التصغير Reduction والتكبير Enlargement فى حجم الأجزاء المكونة للنموذج. ويتم ذلك على أيا من المحاور (X,Y,Z) أو عليه جميعا فتظل إحدى النقط ثابتة كقاعدة للتكبير بينما تتحرك النقط الممثلة لنهايات الخطوط .

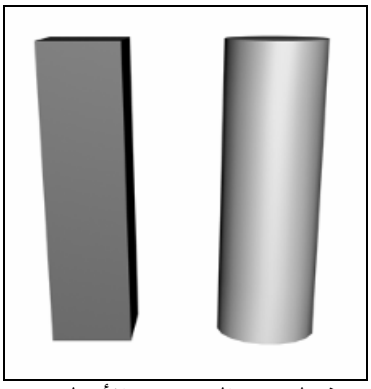
٣-٢- القطع والحذف والإضافة Cut, Remove and Add

فى العديد من التطبيقات يقوم المصمم بمعالجة وحدة يعتمد عليها التصميم حيث تقوم فكرة التصميم على وجود مكون ما أساسى يزال منه أو يضاف إليه بعض الأجزاء لكى يصبح شكلا جديدا. ويتم التعامل معه ككيان مستقل عن أصوله. وهذه العملية وما تشمله من تجميع للعناصر الأساسية فى التصميم ومعالجته كوحدة واحدة متكاملة ضمن الإطار العام للشكل تسمى بالقطع والحذف والإضافة. وقد يكون أحد وسائل هذه العمليات ما سبق أن أشرنا إليه بالعمليات البولينية Boolean Operation

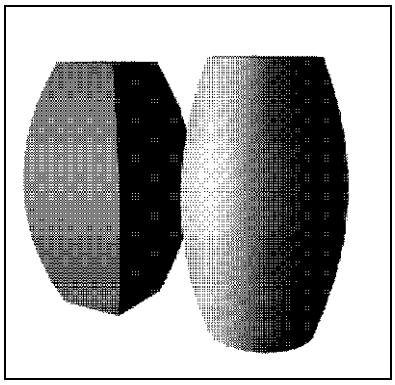
شكل رقم ٢٦ تصميم لغلاية تم بناؤها بتجميع العناصر

أسلوب التشكل الانتقالى Morph :

المجسمات التى تبنى بأسلوب التشكل الانتقالى هي مجسمات ثلاثية الأبعاد يتحول أحدها إلى الآخر في الفراغ. وأفلام مثل الرجل الذئب أو دراكيولا أو القناع هى نموذج جيد لاستخدام الحاسب فى تحويل الأشكال ثلاثية الأبعاد من حالة لأخرى.



شكل ٢٧ الجسمين الأصليين



شكل ٢٨ التعديل بالتدبيب من كلا الطرفين

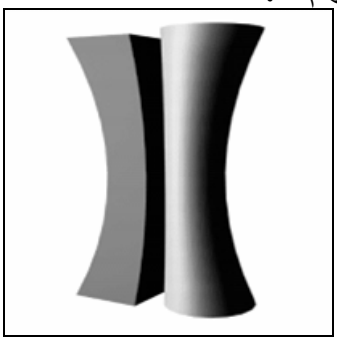
السلب أو التدبيب Taper

واحد من أهم الوسائل التى يمكن بها تعديل الأشكال المجسمة ويتم السلب TAPER بتوسيع أو تضيق أحد أطراف الكائن ويظل الجانب المقابل على حالته أو يتسع ويضيق بشكل عكسى لما يتم مع الطرف الآخر.
ويكون ذلك على أيا من محاور الجسم الثلاثة X Y Z وهكذا يمكن تطوير الشكل والحصول على هيئات متنوعة من

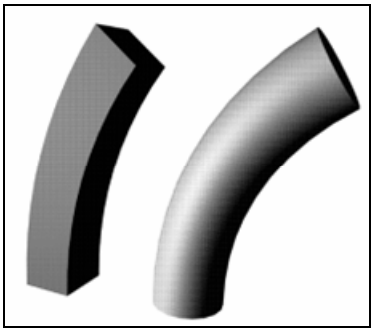
فكرة أصلية واحدة كما فى شكل رقم ٢٨و٢٩

٣-٤-الثنى Bending

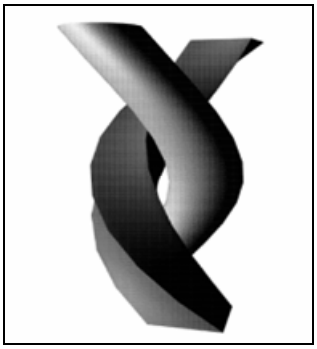
كما هو الحال فى بناء الأجسام المعدنية من شرائح عن طريق الثنى أو الحنى، يمكن إجراء تعديل متنوع فى أى شكل كوحدة واحدة وليس فقط كشرائح أو فى جزء معين منه ويتحقق الثنى أيضا على أيا من محاور الجسم الثلاثة X Y Z شكل رقم٣٠.



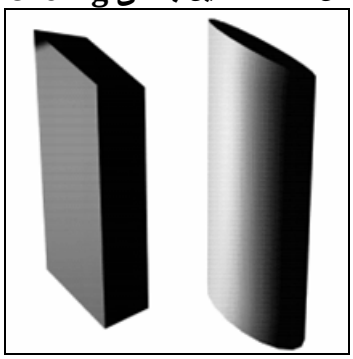
شكل ٢٩ التعديل بتقليل قطر المنتصف



شكل ٣٠ التعديل بالثنى Bending



شكل ٣١ التعديل باللى Twisting



شكل ٣٢ التعديل بالتحريف Skewing

وبالإضافة إلى هذه الأساليب هناك أيضا التعديل باللى Twisting شكل ٣١ وبالتحريف Skewing شكل ٣٢ وغيرها كثير.

ثانيا: أساليب تعديل خصائص ومظهر الجسم:

هناك بعض عمليات التعديل التى لا تتناول الجسم نفسه وإنما خصائص ATTIBUTES ، كأن يقوم الحاسب بتحديد بعض الصفات الدقيقة للكائن مثل أن يجعل الكائن غير لامع دائماً MATTE OBJECT أي لا يتأثر بأي ضوء يسلط عليه، أو أن يجعل الكائن يسقط ظلاً CAST SHADOW علي المجسمات التي حوله طبقاً لموقعها بالنسبة له، أو أن يجعل الكائن يستقبل الظل RECEIVE SHADOW من المجسمات المحيطة به طبقاً لموقعها بالنسبة له .

-التحويل Transformation :

بمجرد أن يتم إنشاء هذه النماذج فإنه يكون من الممكن أن تستبدل أو توضع على خلفيه من صنع الحاسب. على سبيل المثال كرة تم إظهارها يمكن أن توضع ورائها خلفية من السحب ويمكن للمستخدم من خلال تعليمات محددة أن يحدد حجم ومكان تواجد الأجسام بعد ذلك فإن الألوان واتجاهات الضوء والمواقع يمكن أن تضاف فى المنظر الذى يخلقه الحاسب بالإضافة إلى زاوية واتجاه وموقع الرؤية التى يمكن اختبارها جميعاً أيضا. عند هذه النقطة فإن برنامج الحاسب يعمل على حل الشكل كمشكله هندسية ويحوله إلى عناصر أولية مثل المثلثات كأن الجسم يتكون من مثلثات وبعد ذلك فإن عملية الإظهار عليها تحديد أين موقع كل عنصر أساسى من هذه العناصر وكيف يبدوا على الشاشة باستخدام المعلومات عن موضع الرؤية وموقع الجسم فى المنظر ككل.

حسابات التحويل Transform Calculations

يرتبط كل من التغير والحركة فى العالم المادى الحقيقى الذى نعيشه بالطاقة والتواصل Continuity . فتحريك صخرة ما من مكان إلى آخر يتطلب طاقة، ورحلة الصخرة من النقطة A إلى النقطة B يتضمن بالضرورة الانتقال بين عدد لا نهائى من النقاط بين هاتين النقطتين. أما فى العالم الافتراضى ثلاثى الأبعاد فترتبط الأشياء فيه باحداثيات خيالية فى الفراغ الثلاثى الابعاد. بالطبع فإن هذه الاشياء لكونها خيالية فليس لها وزن فى عالم خالى من الجاذبية وبالتالى فإن كل الحركات والتغيرات تتم بدون بذل أى طاقة. إن الحركة فى الفراغ الخيالى ثلاثى الأبعاد هى مجرد إعادة تعيين موضع

النقطة إلى موضع آخر.

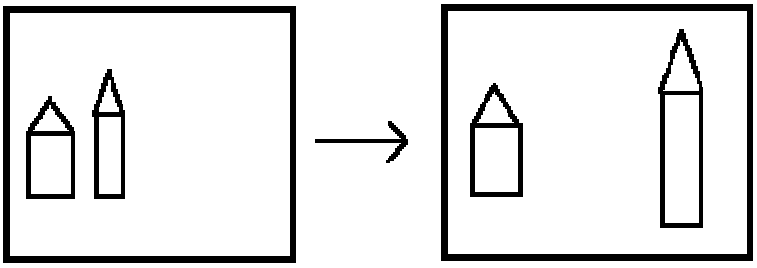
إن كرة لها مركزها فى النقطة 0,0,0 مثلا يمكن أن تتحرك مباشرة ليصبح مركزها عند النقطة 3,3,3 أو حتى النقطة 1000,1000,1000 بدون المرور بأى نقاط وسيطة على الاطلاق. إن أكثر المصطلحات شيوعا فى حركة النقاط بتغيير احداثياتها هو التحويل Transformation والمقصود هنا هو التحويل فى الاحداثيات. إن الكلمة لتحمل العديد من التداعيات والمعانى عن الفرق بين الحركة فى العالم المادى الحقيقى والحركة فى الاشياء الخيالية فى فراغ الحاسب ثلاثى الأبعاد.

أنواع التحويل:

يتضمن التحويل ثلاثة عمليات أساسية هى الإزاحة Translation والدّوران Rotation (وهما ما نطلق عليه عادة لفظ الحركة Motion)، ويضاف إليهما التحجيم Resizing بالتصغير والتكبير.

أولا: الإزاحة Translation:

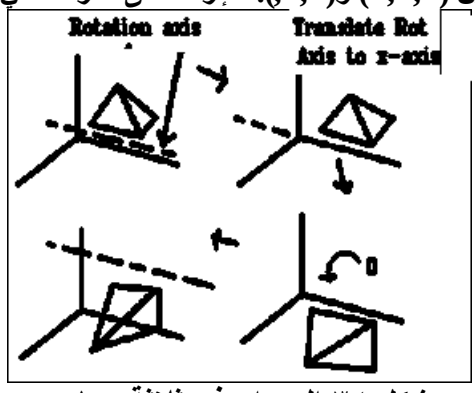
لأن تحريك أو إزاحة النقاط هو عملية رياضية مباشرة فيمكن أن تتم فى كل التطبيقات الثلاثية الأبعاد من خلال ما يسمى بصندوق الحوار Dialog Box أو ما يشابهه من الوسائل التى تمكننا من إدخال القيم الجديدة للإحداثيات التى تنتقل إليها النقاط. لكننا غالبا نحتاج إلى وقت لكى نتطور فى كل التطبيقات لأننا لا نستطيع الوصول مباشرة إلى الشاشة وتحريك الأشياء للأمام والخلف. لذا فإن البرامج المختلفة قد وفرت وسائل مختلفة لحل مشكلة التحويل التفاعلى. ولكن فى كل الحالات يصب الحل دائما فى تقسيم الحركة ثلاثية الأبعاد إلى حركة فى مستويات مختلفة واتجاهات مختلفة. فللانتقال من الموقع (٠،٠،٠) إلى الموقع (٣،٣،٣)، فإنه يمكننا ان نستخدم المسقط الرأسى للشاشة لتحريكها أولا إلى الموقع (٣،٣،٠)، ثلاث وحدات إلى اليمين وثلاثة إلى اعلى ثم نتحول إلى المسقط الأفقى Top View حيث يمكننا ان ننتقل ثلاث نقاط فى العمق z من (٣،٣،٠) إلى (٣،٣،٣).



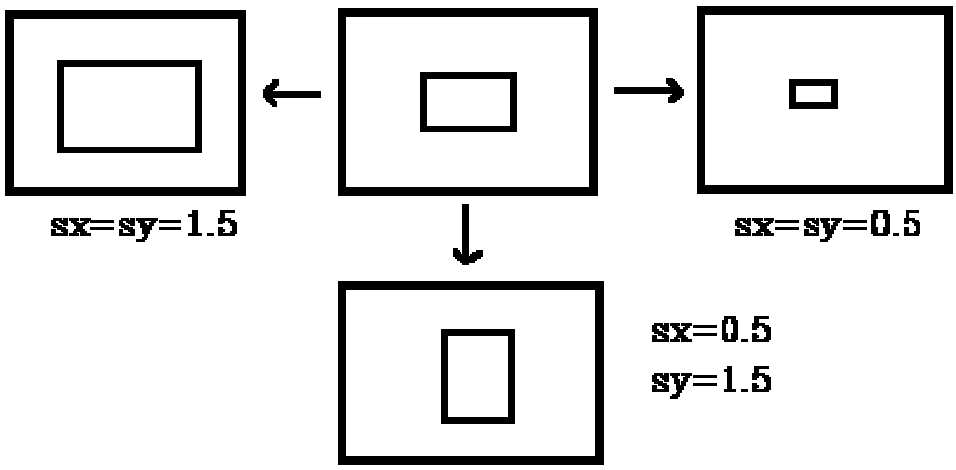
شكل ٣٣ الإزاحة Translation

إن مصمم الرسوم ثلاثية الأبعاد الطموح يَجِبُ أَنْ يكون له القدرة على أَنْ يَتخيّلَ هذه العملياتِ بالكامل بعيدا عن أي ارتباط بتطبيق أو برنامج محدد. لابد من أن يكون لديه القدرة على أن يتصوّرالعمليةَ التى وَصفتْ هنا بحيث يكون لها مضمون عقلانى مفهوم لديه. إذا ما لم يمكنه أَنْ يَتخيّل هذا بعيدا عن شاشة الحاسب، فلَنْ يَكُونَ قادرًا أبد أَنْ يُؤدّيه عندما يَجْلسُ أمام الحاسب للعملِ.

كل الأشياء ثلاثية الأبعاد التى نبنيها فى رسومنا المجسمة تتكونمِنْ نقاطٍ فى فراغ ثلاثى الأبعاد تنتظم وتُنسّقُ فى مجموعات تَحددَ الخطِوط والسطوح. وهكذا فلكى يُحرّكَ الشيء الكامل في الفراغ، ينبغى أن نُحوّلُ كل نقاطه جميعا معا. الأسهل، والنّوع الأكثر أهمية من الحركةِ يَدْعى إزاحة Translationوالإزاحة هى تُحرّكُ كل النّقطِ بنفس الكميةِ. إذا ما كان لشيء ما نقطةُ واحدة في (١,١,١) ونقطة أخرى في (٢,٢,٢)، وأردنا نحن أن نزيح الشّيء لمسافات (٠,١,٢) فإن النقطتان تتُحوّلان الآن إلى الموضعين (١,٢,٣) و(٢,٣,٤). فالإزاحة هى تُحرّكُ شيء ما بدون تغيِّر فى اتجاهه.



شكل ٣٤ الدوران فى ثلاثة محاور



شكل ٣٥ التحجيم

ثانيا: الدورانُ Rotation

كل النّقاطِ التى تمثل شيئا ما تتغيّرُ لتعكس درجة دّوران هذه النقاطِ حول كل واحد من المحاور الثّلاثة X, Y, Z. ويُمكنُ أَنْ يُؤدى هذا بشكل دقيق للغاية باستخدام صناديقِ الحوارِ ، لكن يُمكنُ أن يؤدى أيضا بشكل أكثر فعّالية بالأدواتِ التّفاعليةِ التي تخَلقَ مجالا خياليا حول الشّيء على الشّاشةِ. المجال والشّيء الموجود فيه يُمكنُ أَنْ يُدارا بشكل حرّ في كل الاتجاهاتِ باستخدام الماوس (شكل ٣٤).

التحجيم :Resize

يستعمل تحويلَ الإحداثيات أيضا لغرضِ ثالث وهو تغيير حجم الأشياء. وهذا بالضبط ما يسمى بالتكبير والتصغير scaling. هذا أيضا ممكن لأن بما أن الشّيء تتكون من نقاط. لذا فهو يُمكنُ أَنْ يُكبّرَ بتَحريكِ كل نّقاطِه للخارجِ بعيداً عن مركزِه، ويَنكمش أو يتقلص بسحب هذه النقاط كلّها نحو ذلك المركزِ (شكل ٣٥).

٣-الظلال والأنوار Lighting and Shading :

بعد أن يتم تحديد العناصر الأولية ينبغى أن تظلل. و يمكن حساب معلومات الظلال بكل نقطه من نقاط الشكل من خلال موقعها ولون الضوء الواقع عليها فى المنظر الذى خلقه الحاسب، وكذلك من خلال وضع واتجاه هذا السطح فى الفراغ ولون سطحه وخامته وأيضا الظروف الضوئية والبيئية المحيطة بهذا الجسم مثل الضباب وغيره.

وغالباً ما تستخدم أجهزه الجرافيك طريقة جورود للتظليل Gouraud Shading وهى تعمل على حساب كمية الإضاءة فى كل نقطة على حدى وتعمل على دمجها مع بعضها وخلط الألوان للحصول على سطح مظلل بدرجة معينة بشكل يبدوا واقعى لحد كبير أما طريقه فونج للظلال Phong Shading فهى تمثل بالإضافة لما فعله جورود دمجاً لمساحات الظلال بعضها البعض فى اتجاه عمودى على سطح الجسم أو سطح العنصر بما يمكننا من حساب كمية الإضاءة عند كل نقطة وهذا يوفر لحد كبير إمكانية حساب الأسطح مما يجعلها ناعمة ولكن الأمر يتطلب حسابات اكثر.

٤-الخريطة النقطية Mapping:

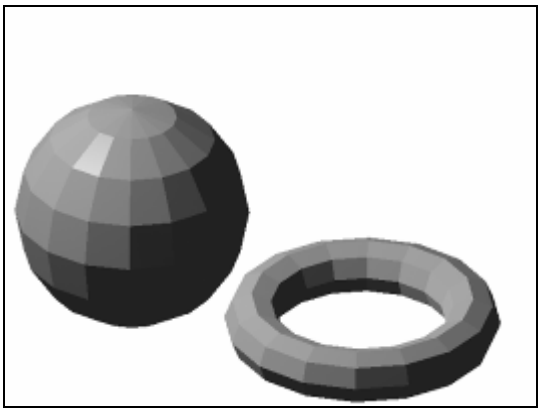
وهى تعنى توزيع النقاط الملونة على السطح وهناك العديد من التقنيات التى تسمح للفنان أن يخفى تفاصيل واقعية إلى نماذجه باستخدام أشكال بسيطة أكثرها شيوعا هى:

خريطة الملمس Texture mapping

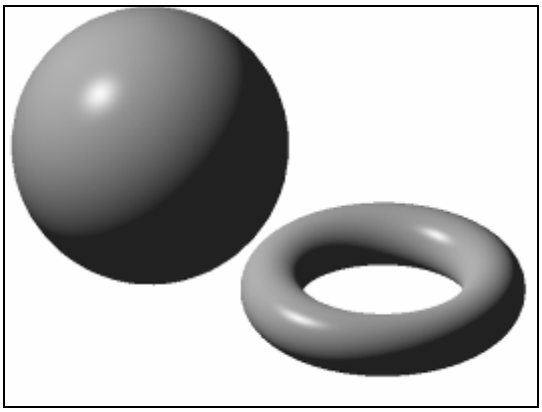
خريطة الملامس هي طريقةٌ للسَيْطَرَة علىِ والتحكم فى اللّونِ المنتشر لسطحِ من خلال التحكم على كل بكسل pixel على حدة، بدلاً من تَخصيصِ قيمة إجمالية وحيدة لعدد من البكسلات المتجاورة. وينجزَ هذا أفضل ما يكون بتطبيق الخريطة النقطيةBitmap الملصقة على نقاط السّطحِ كما نفعل بورق الحائط. لكن الأنماطَ اللونيةِ يُمكنُ أَنْ تَكُونَ مُوَلَّدة أيضا من خلال التّطبيقِ نفسه لَخَلْقَ ما نسميه " الملامس الإجرائية"procedural textures".

فعلى سبيل المثال يمكن أن يطبق نمط أحجار البناء على سطح كرة وعند عملية الإظهار تأخذ عناصر الملمس شكل الجسم وعند وضع الإضاءة تظل الكرة ناعمة ولكن بلون مختلف يتضمن تأثيرات ملمس أحجار البناء (شكل ٣٨).

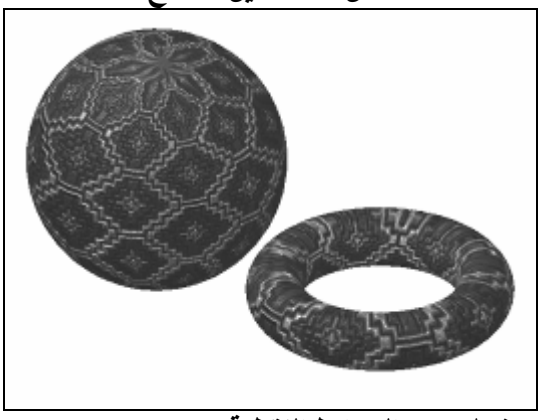
إنّ تعبير خريطة الملامس مُشوّشُ إلى حد بعيد لأنه يعبر فى الحقيقة عن خريطةَ لونِية color map. وهناك أساليب وتقنياتَ أخرى لخرائط الأسطح وجميعها يُؤثّرُ على الملمس بشكل مباشر. لكن الكلمةَ قَدْ لَصقتْ ، وليس لدى معظم فنانى رسوم الحاسب المجسمةُ اختيار إلا أَنْيُتَعَوّد عليه.



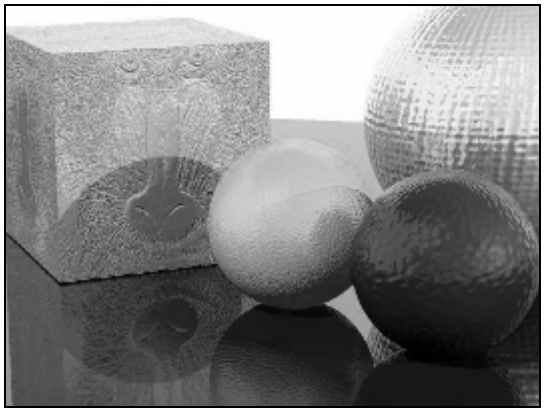
شكل ٣٦ تظليل مسطح



شكل ٣٧ تظليل جورود



شكل ٣٨ الخرائط النقطية Texture map



شكل ٣٩ توزيع البروزات Bump map

توزيع البروزات bump mapping

وهى تؤثر بشكل اكثر واقعية بخلق ألوان وظلال وأضواء بارزه للأشكال التى تبدو بارزة مما يجعل الأشكال تبدوا اكثر تعقيداً ففى المثال السابق تجعل bump mapping شكل قوالب البناء وكأنها تبدو طبيعية فتتضح ظلالاً أعمق فى أماكن خطوط الاتصال بين قوالب الطوب (المونه) ولكن ليس لها تأثير على الشكل فعند توجيه الضوء على الكرة تظهر ملساء (شكل ٣٩).

خرائط الإحلال Displacement mapping

تتناول هذه النموذج بشكل مادى فهى تعمل على تغير الجسم بشكل اكثر واقعية فعلى سبيل المثال عند تطبيق قوالب البناء على سطح الكرة فإن ظلال الكرة تبدوا مجعدة بنفس تجاعيد قوالب البناء وليست ملساء.

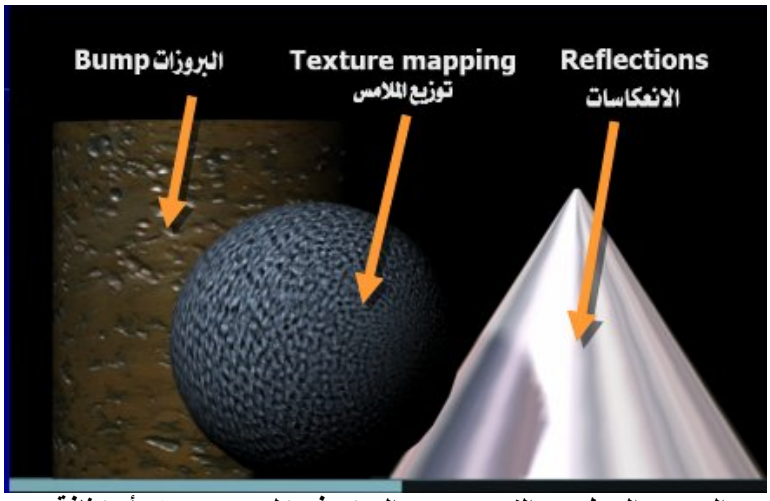
بناء الأسطح Surfacing

بناء الأسطح Surfacing وتسمى أيضا انشاء الظلال Shading هى عملية تَخصيصُ قيّمة ضوئيةُ إلى سطوحِ الأشياءِ. هذه القِيَمِ تتحكم عموماً فى الإلوان التى يتفاعل به السّطحِ مع الضّوءِ في المشهدِ لخْلقَ لون الشّيء ودرجة بريقه specularity ، ونوعية ومدى الانعكاس فيه reflective qualities ودرجة شفافيته transparency ، ودرجة الانكسار refraction فيه إذا كان هذا السّطحَ شفّافُا.

ويتحكم بناء الأسطح Surfacing أيضا فى الكيفية التى تبدو بها المادة وإن كانت مصنوعة من الخشب أو المعدن أو البلاستيك وبناء الأسطح يجب أن يفهم على حقيقته فى كونه مجموعة من العوامل والاعتبارات تَتفاعل معا لَخْلق أسطح ذات تأثيرات واقعية ومثيرة الخيال.

الانعكاس المبهر Specular Reflection

الانعكاس المبهر هى ما نسميه غالبا بضوء التأكيد highlights وهو انعكاس شعاع الضّوءِ من الجسم إلى عينِ المشاهدِ. وهذا النوع من الانعكاس مهمُ جداً في الرسوم ثلاثية الأبعاد لأنها تؤكد على التقوسات والأجسام المنحنية والكرويةَ في الفراغ ثلاثى الأبعاد. إنّ لونالانعكاس المبهر هو لون مصدرِ الضّوءِ نفسه.



ويأتى الإبهار البصرى (البريق والسطوع والنصوع) من التحكم في كل من درجته (أو كثافة intensity) وانتشارها أو تلاشيه decay. هناك بالطبع بِضْعَة مواد طبيعية لَيْسَ لها بريق وسطوع على الإطلاق، ولكن بشكل عام يكون التحكم فى كثافة وانتشار الانعكاس المبهر هو وسيلة المصمم فى خلق الإيهام بمجموعة من المواد الطبيعية التى تبدو واقعيةً تماما عند عرضها على شاشة الحاسب.

الإبهار البصرى وإحداث تأثيرات البريق والسطوع والنصوع مسألة حيوية للغاية في الرسوم والصور المتحرّكة لأن تأثيراتالبريق والسطوع والنصوع ضرورية جدا فى التأكيد على حدوث تغييراتَ فى الأجسام مما يُعزّزُ وهم وجود هذه الأجسام وحركتها.

٥-دمج العناصر Blending :

بمجرد أن تنتج عملية التظليل هذه الألوان اللازمة لكل عنصر من عناصر الصورة فإن الخطوة الأخيرة هى كتابة هذه الألوان لمخزن معلومات الصورة Frame buffer وبشكل متكرر فهذه التقنية تسمى Z buffer وهى المخزن الإضافى الذى يخزن قيمة Z وهى العمق أو الارتفاع فتعطى انطباعا شبه حقيقى واقرب ما يكون من خلال زاوية ووضع ومكان معين بما يؤكد ظهور النقاط المختفية خلف النقاط الظاهرة وأخيراً فإن السطح المرسوم الذى يكون شبه شفاف فإن الجزء الأمامى يدمج مع الجزء الخلفى وهو تأثير الشفافية ممثلا عندما نضع شفافة بيضاء على لون اخضر فيندمج اللون الأبيض مع الأخضر ويعطى اخضر فاتح

٦-الإظهار المجسم المبنى بشكل مادى Physical Based Rendering

الإظهار Rendering

الإظهار كما سبق وأن أشرنا هو عملية بناء الصورة النقطية bitmapped images من منظرٍ فى مشهد مجسم ثلاثى الأبعاد. إنه، في الواقع، " التقاط صورة للمشهدِ. أما الصور المتحرّكة فهي سلسلةٌ من مثل هذه الاظهارات لمشاهد متعاقبة يبدو بكل مشهدٍ منها تغَيّرَ طفيفا.

تَوضعُ الكاميرا في موقعٍ ما في الفراغ ثلاثى الأبعاد، موجهة إلى جهةٍ مُعينةٍ. تلك المضلّعاتِ التي سَقطَ ضمن نطاق رؤية الكاميراِ المنظرِ تسقط بشكل رياضي على مستوى موازى لعدسة الكاميرا تماما كما يحدث مع الكاميرات الحقيقية التى تسقط الصورة على الفيلمتِتَمّنُ عمليةُ الإظهار بعض الوسائلِ التى يمكنها أن تحدد ما إذا كان السطح الذى توجه إليه الكاميرا لنموذجٍ ما يَحْجبُ بسّطحٍ آخرٍ أقربِ إلى الكاميراِ.

وبمجرد أن يتم تحديد السطوحَ المرئيةُ للكاميراِ، ومواضع إسقاطها على مستوىِ المُشَاهَدَةِ، يلون كلpixel كل بكسل بما يتناسب مع المادة لتى يفترض أنه يمثلها وظروف وجود المادة ومدى الإضاءة الساقطة عليها والانعكاسات والبريق الصادرة منه ودرجة شفافية المادة.

تَتطلّبُ الصور المتحرّكةُ العديد من الإظهارات rendering قد يبلغ عددها ٣٠ مرة لكل ثانية، ووقتَ الإظهار هو اعتبلهمُ بشدة فى الصور المتحرّكة ثلاثية الأبعاد. ووقتَ الإظهار هو نتيجة مباشرة ليس فقط لقوةِ الحاسب المستعملْ، لكن أيضا لعددِ المضلّعاتِ polygonsفي المشهدِ، ومدى تعقيد الإنارةِ، وتواجد العناصرِ المعقدة مثل تلك التى تتضمن شفافيةِ وسطوحِ عاكسةِ كالمرايا.

لان مسار الإظهار لا تتعلق تماما بكيفية سلوك الضوء الحقيقى في التعامل مع الأجسام فإنها لا تعمل بنفس التأثير على إحداث الظلال والأضواء ، وهناك أساليب وتقنيات أخرى للإظهار مثل Ray tracing وهى تعمل على حساب مسار الضوء الذى يخترق المنظر وتبدأ من أول نقطة حتى الجسم الذى نريد إظهاره ، وإذا قابلت معوقات فى طريقها فإنها تتوقف وإذا قابلت أسطح شفافة منها تخترقها ولكن بشكل اقل وتؤثر طريقة تتبع الأشعاع Ray tracing ظلال

دقيقة جدا اكثر من أى طريقة أخرى مما يوفر تعاملا جيدا وبشكل صحيح مع مستويات الأسطح المختلفة على الرغم من أنها تستغرق وقتا أطول من أى طريقة أخرى لخلق هذه التأثيرات المدهشة.

الحركة فى الصور الثلاثية الأبعاد:

حتى الآن فإننا كنا ننظر إلى الأشياء التى تجعل الصورة الرقمية واقعية. سواء كان المنظر ساكنا أو كان جزءا من تتابع متغاير من الصور أو ما نسميه بالرسوم المتحركة. ولكن خلال مثل هذه التتابعات المتحركة التى نسميها أحيانا أفلاما فإن المبرمجين والمصممين سوف يستخدمون حيلا جديدة إضافية لخلق ما يبدو للرائى كحركة وأفعال حية عوضا عن الصور الساكنة التى يولدها الحاسب.

تحديد عدد اللقطات فى الثانية:

عندما تذهب لرؤية فيلم فى السينما، فإن تتابعا من الصور أو اللقطات **Frames** يجرى أمام عينيك بسرعة ٢٤ صورة فى الثانية الواحدة. وبما أن شبكية العين تحتفظ بالمنظر لمدة أزيد قليلا من ٢٤/١ ثانية فإن أعين معظم الناس سوف تميل لدمج الصور المتتابعة كصورة واحدة ذات حركة وأفعال مستمرة.

إن هذا يعنى أن كل لقطة من الفيلم المتحرك هى صورة فوتوغرافية مأخوذة بتعريض الفيلم فى الكاميرا لمدة ٢٤/١ من الثانية. وهو وقت أطول من التعريض المأخوذة للصور الساكنة التى يكون فيها رصد أو تجميد لحركة العداء أو لاعب الكرة والأشياء المتحركة المماثلة فى وضع معين. كنتيجة لهذا إذا ما نظرت إلى صورة مفردة من فيلم عن السباق فإنك سوف تشاهد بعض السيارات باهتة ومشوشة وغائمة **Blurred** لأنها تتحرك أسرع من سرعة إغلاق غالق العدسة **Shutter** فى الكاميرا. وهذا التشويش أو الخفوت للأشياء المتحركة هو ما يجعلك تشعر بشيء من الواقعية فى الصورة.

ومع كل هذا وبما أن الصور ثلاثية الأبعاد ليست صورا فوتوغرافية إطلاقا، فإنه ينبغى إضافة مثل هذا الشحوب والتشويش (الزغللة) لجعل الصورة أكثر واقعية. وهو دور هام لمبرمج الحاسب. ويرى بعض المصممين أن التغلب على وجود هذه الزغللة الطبيعية يتطلب أن يكون الفيلم أكثر من ٣٠ صورة فى الثانية. بل أن بعضهم قد رفع الأفلام والألعاب والمسيرات**Walk Through** التى يصممها حتى وصلت إلى ٦٠ صورة فى الثانية.

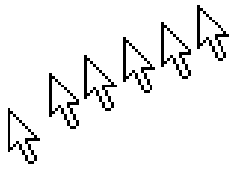
ومع أن هذا قد سمح بإظهار الصورة الواحدة بتفاصيل ودقة اعلى فإنها قد اقتضت زيادة عدد الصور التى ينبغى إظهارها لتوضيح سلسلة معينة من الأفعال.

وكمثال فكر فى مطاردة تستغرق على الشاشة ٥ دقائق. هنا يحتاج الفيلم إلى ٢٤ صورة فى الثانية x ٦٠ ثانية x ٥ دقائق أى ٧٢٠٠ سبعة آلاف ومائتى صورة مختلفة. بينما قد يحتاج الفيلم المجسم ثلاثى الأبعاد إلى ٥x٦٠x٦٠ أى حوالى ١٨٠٠٠ ثمانية عشر ألف صورة.

خلق التشويش والشحوب Blurring

التشويش والشحوب (الزغللة) التى يسعى المبرمجون إلى إضافتها لإضفاء مزيد من الواقعية على الأفلام ثلاثية الأبعاد هو ما يسمى بزغللة الحركة **Motion Blur** أو **Spatial Anti-Alias** .

إنك إذا ما أطفأت خاصية ذيل الماوس التى تظهر فى ويندوز، فإنك تكون قد أبطلت نوعا بدائيا جدا من تقنية **Motion Blur**. إن نسخا من الأجسام المتحركة تتحرك من مكانها مع وجود نسخة أخرى فى موضع آخر ثم تذوب الأقدم وهكذا. ويعتمد وضع النسخة الجديدة على مكان الرائى واتجاه الحركة ومدى قرب الجسم المتحرك من الرائى.



شكل ٤٠ خاصية ذيل الماوس **Mouse Pointer Trail**

وكما ترى فإن هناك عددا من القرارات الهامة التى ينبغى اتخاذها. بالإضافة إلى هذا فإن هناك أجزاء من الصورة يتم التضحية فيها بالإظهار الدقيق مقابل إضفاء مزيد من الواقعية. وهذا يمكن أن ينطبق على كل من الصورة الساكنة أو المتحركة.

والانعكاسات هى مثال جيد لذلك. فلا بد وأنك رأيت صور أسط مطلية بالكروم فى السيارات وسفن الفضاء تعكس تماما كل شيء فى المنظر. بينما أن الصور التى يغطى بعض أجزائها خامة الكروم هى نموذج واضح لظاهرة تتبع الإشعاع أو اقتفاء أشعة الضوء **Ray Tracing** . إن معظمنا لا يمكنه العيش فى عالم مطلى بالكروم.

الأسطح الخشبية اللامعة والأرضيات والرخام والمعادن الملمعة كلها تعكس ما حولها ولكن على الرغم من دقتها فإنها لا تساوى الانعكاسات التى نراها فى مرآة جيدة الصنع. إن الانعكاسات من هذه الأسطح لابد لنا من زغللتها بحيث يكون لكل سطح أو خامة درجة الزغللة المناسبة له حتى تصبح الأجسام والأشياء المحيطة بالشخصيات فى الأفلام الرقمية قادرة على إبراز الأحداث والأشخاص من خلال الخلفيات الواقعية للحدث.

التحويل فى الرسوم المتحركة ثلاثية الأبعاد:

الحركة السلسة التى نراها فى فيلم مجسم كجزء من منظر يتضمن آلاف أو ملايين الصور قد تعنى عملا مضنيا وطويلا ومكلفا للحاسب. لتأخذ فكرة عما يفعله الحاسب دعنا نستخدم بعض الأرقام المصطنعة لكى تظهر الفكرة الكم الهائل من العمليات الرياضية التى تتضمنها عملية التحويل وإظهار الصورة على الشاشة.

لا تشغل بالك بعدم قدرتك على استيعاب أو تعلم هذا الكم من الرياضيات، فلست بحاجة لذلك، لأن الحاسب يقوم بالعمل كله بدلا منك.

إن هناك عددا كبيرا من المتغيرات يتضمنه الجزء الأول من العملية:

x	ارتفاع العالم الذى ننظر إليه	=٧٥٨
y	عرض العالم الذى ننظر إليه	=١٠٢٤
z	عمق المسافة من الأمام إلى الخلف	=٢
Sx	ارتفاع نافذتنا على هذا العالم	
Sy	عرض نافذتنا على هذا العالم	
Sz	متغير يعبر عن العمق ويحدد أى الاجسام يمكننا أن نرى يغطى الاجسام الأخرى (المختفية)	
D	هى المسافة بين عين الرائى ونافذتنا على هذا العالم الخيالى	

أولا دعنا نحسب حجم النافذة المطلة على هذا العالم الخيالى.

$$\frac{sx}{d}=\frac{X}{Z};\qquad \frac{sy}{d}=\frac{Y}{Z}$$

$$sx=\frac{768\cdot.75}{2}=\frac{768}{2/.75}\qquad sy=\frac{1024\cdot.75}{2}=\frac{1024}{2/.75}$$

$$sx=288\qquad sy=384$$

وبعد ذلك لا بد لنا ان نستخدم التحويل المنظورى لنقترب خطوة من هذا العالم على شاشة الحاسب. ولهذه الخطوة نحتاج إلى اضافة عدد آخر من المتغيرات مثل:

$\omega = 22$ -- the _total field of view

$z_n = 1$ -- the point closest to us where we can no longer see into the imaginary world

$z_f = 30$ -- the point farthest from us where we can no longer see into the imaginary world

$$s=\sin\left(\omega/2\right)$$

$$s=0.19$$

$$c=\cos\left(\omega/2\right)$$

$$c=.9816$$

$$Q=\frac{s}{1-z_n/z_f}$$

$$Q=0.1966$$

Sy	المجال الكلى للرؤية	=٢٢
Sz	أقرب نقطة لنا لا يمكننا الرؤية بعدها فى العالم الخيالى.	=١
Z	أبعد نقطة لنا لا يمكننا الرؤية بعدها فى العالم الخيالى.	=٣٠

وهكذا فإن النقاط x,y,z,1.5 فى العالم الخيالى ثلاثى الأبعاد هى تحويل من الموضع x,y,z,w الذى نحصل علية من المعادلة الى اليسار. عند هذه النقطة فإنه لابد من تطبيق عدة تحويلات أخرى قبل أن نتمكن من عرض الصورة على الشاشة

لكنك على الأقل حتى الآن قد بدأت تدرك مستوى الحسابات التى يتضمنها هذا العمل وأن كل هذا يتم حسابه لرسم خط واحد. تخيل إذا كم الحسابات اللازمة لرسم منظر ملىء بالخطوط والأجسام والظلال والأشخاص. وتخيل كذلك أنك لا بد أن تقوم بهذا ٦٠ مرة فى الثانية الواحدة. ألا تشعر بالسرور والامتنان لمن اخترعوا لك الحاسب.

وعندما ترى فيلما بالرسوم المتحركة لمسيرة **Walk through** بداخل أحد الأبنية. أولا ضع فى اعتبارك أن هذا الفيلم هو شكل بسيط جدا من الألعاب ثلاثية الأبعاد ولكن ليس به أعداء يتربصون بك وليس هناك قذائف ورماح واسهم تنطلق صوبك من كل مكان، وليس فيه مخلوقات خرافية بشعة المنظر تتصيد رأسك.

حتى مثل هذا المنظر البسيط يتضمن عددا من العناصر المعقدة بالفعل. فالحوائط مغطاة بالملامس والأثاثات عليها أغطية منسوجة تلائم بيئتها. والأشعة الضوئية تسقط على الأجسام فتسقط هى بدورها ظلالا على الأرضيات وعلى الأجسام المجاورة. ولاحظ أيضا كيف تبدو الأجسام التى تتوارى خلف أجسام أخرى وكيف يحسب الحاسب حسابات العمق هذه. وكل هذا يتم قبل أن يظهر المنظر على الشاشة.

ومن الواضح فى هذا الكم الهائل من المعلومات يتطلب جهدا هائلا من المعالج الأمر الذى يفرض فكرة استخدام معالج خاص يتولى حساب المعلومات الجرافيكية بدلا من إنهاك المعالج الرئيسى بكل هذا العمل المضنى.

دور البطاقات الجرافيكية Graphic Cards:

منذ الأيام الأولى للحاسبات الشخصية كانت البطاقات الجرافيكية مجرد مترجم تتناول الصور بعد اكتمال معالجتها داخل معالج الحاسب فى شكل نبضات كهربائية وتتولى مجرد عرضها على الشاشة. هذا بالطبع شىء معقول ولكن كان كل شىء يتم داخل معالج الحاسب من حسابات وتحكم فى عمليات الحاسب ومراقبة وعمليات أخرى عديدة ويضاف اليه معالجات الصور وعمليات تحويلها من شكل لآخر ثم عرضها على الشاشة. كان من الممكن تقبل مثل هذه العمليات فى الماضى ولكن رسوم وصور اليوم – خاصة الثلاثية الأبعاد المجسمة منها- تحتاج الى وقت طويل لمعالجتها بالإضافة إلى كمية هائلة من الحسابات المعقدة اللازمة لإجراء العديد من عمليات تحويل البيانات وحساب ما يلزم نحو التعبير عن العمق والظلال والظل الساقط. إن مثل هذه المعالجات لترهق اقوى وأسرع المعالجات . لقد أصبحت المتطلبات كثيرة بشكل واضح لتحقيق الاستجابة المرئية فى الوقت الحقيقى أيضا.

ولعل هذا ما دعا إلى إيجاد دور للبطاقات الجرافيكية فى تقاسم العمل مع المعالج الرئيسى حتى يصبح إنتاج الرسوم والصور ومعالجتها أسرع وأفضل.

وكما رأينا حتى الآن، فإن الخطوة الأولى للحاسب فى بناء الأشكال الرقمية ثلاثية الأبعاد هى فى خلق الإطار الشبكى التى تمثل العالم الافتراضى الذى نريده من مثلثات ومضلعات، ثم يتم تحويل هذا العالم السلكى من الشكل الرياضى الحسابى ثلاثى الأبعاد إلى مجموعة من الأنماط والنماذج التى يمكن عرضها على الشاشة ثنائية الأبعاد. ويتم فى أعقاب هذا تغطية الصورة المحولة بأسطح ويتم إظهارها وإضاءتها من عدد من المصادر الطبيعية أو الصناعية. ثم تترجم كلها جميعا إلى بكسلات يمكن عرضها على الشاشة.

وأشهر البطاقات وأكثرها شيوعا تقوم بعمل الإظهار **Rendering** بدلا من المعالج الرئيسى للحاسب، بعد أن يتم هذا المعالج إعداد الشبكات السلكية ومن ثم تحويلها إلى أنماط يمكن عرضها على الشاشة ثنائية الأبعاد.

والمعالج الجرافيكى الموجود فى بعض بطاقات العرض مثل **Voodoo 3** أو **TNT 2** يأخذ زمام المبادرة من المعالج الرئيسى عند هذه المرحلة. لكن البطاقات الحديثة الآن تصمم بحيث يمكنها أن تؤدى ما هو أكثر بكثير بل وتريح المعالج تماما من عناء القيام بالعديد من المهام الأخرى منذ بداية العمل الجرافيكى.

وأحد من الأساليب المستخدمة فى هذا هو ما تقوم به بطاقة **GeForce 256** من شركة إنفيديا **Nvidia**، فبالإضافة إلى الإظهار الذى تقوم به معظم البطاقات القديمة فإنها تضيف إلى ذلك عمليات تحويل الشبكات السلكية من معادلات رياضية تمثل الجسم الثلاثى الأبعاد فى الفراغ إلى الشكل الذى يناسب العرض الثنائى الأبعاد. بالإضافة إلى عمليات إظهار الإضاءة وتوزيعها. ولأن كل من عمليتى التحويل وتتبع الإشعاع (تتبع مسار الأشعة الضوئية) **Ray Tracing** يتضمن حسابات رياضية طويلة ومعقدة للغاية**Floating Point** (وهى الحسابات التى تتضمن معالجة الكسور، لأن العلامة العشرية يمكن أن يتغير مكانها بغرض الحصول على دقة اعلى). وهذه تشكل عبئا ثقيلا على أى معالج مهما كانت سرعته وقوته.

ولأن المعالج الجرافيكى ليس له أى دور فى العمليات الأخرى التى يقوم بها الحاسب فإنه يصمم لكى يؤدى هذه المهام الرياضية بسرعة شديدة.

أما البطاقة **VooDoo 5** من شركة **3DFX** فإنه يؤدى دورا آخر إضافيا بدلا من المعالج الرئيسى **CPU** وتسمى الشركة هذه التقنية **T-Buffer** . وهى تقنية تركز على تحسين عمليات الإظهار بدلا من إضافة مزيد من الأعباء على المعالج.

وتتولى تقنية **T-Buffer** معالجة مشكلة تكسر الخطوط المائلة **Aliasing** بإظهار حتى أربعة نسخ من نفس المنظر كلا منها يبدأ عند نقطة تبعد قليلا عن الأخرى ، ثم يدمج هذه جميعا معا مما يضيف زغللة بسيطة للحواف مما يضيع أثر التكسر التى تشوب المنظر فى الخطوط القطرية والمائلة. وتستخدم نفس التقنية أيضا للحصول على ما يسمى

بضبابية (زغللة) الحركة Motion Blur أو الضبابية الناشئة عن كل من اختلاف عمق الميدان Depth of field والظلال الساقطة Shadows.

وكل هذه تجعل من المنظر المجسم أكثر نعومة وأفضل رؤية وأكثر واقعية مما قد يتطلبه معظم مصممى الرسوم ثلاثى الأبعاد.

إن هدف VooDoo 5 فى تصميمه هو أداء إزالة التكسر فى الخطوط المائلة وتحسين المنظر بشكل عام مع الحفاظ على سرعة الأداء فى الإظهار بل وإسراعها ما أمكن ذلك.

ما زال أمام رسوم وصور الحاسبات الكثير وما زال الطريق أمامها مفتوحا لكى نرى رسوما وصورا ثلاثية الأبعاد متحركة بشكل واقعى وطبيعى وبسرعة مناسبة.

ولكن مما لا شك فيه أن رسوم الحاسب قد تقدمت بخطى واسعة منذ الشاشة أحادية الألوان ذات الثمانون عمودا والخمس وعشرون سطرا. والنتيجة هى أن ملايين الناس اليوم يستمتعون بالألعاب وأشكال المحاكاة فى تكنولوجيا اليوم.

ومن المتوقع أن المعالجات ثلاثية الأبعاد سوف تأتى أقرب لجعلنا نحس أننا نستكشف فعلا عوالم حقيقية أخرى وأن نتعامل مع أشياء لا نجرؤ على التعامل معها فى الحياة الحقيقية.

إن التقدم الهائل فى جرافيكيات الحاسب الشخصى فى مجال المعدات تحدث كل ستة اشهر. ولكن التقدم فى مجال البرمجيات هنا أبطأ نسبيا. تماما كما حدث مع الانترنيت ستصبح رسوم وصور الحاسبات شيئا مثيرا للانتباه وأكثر جذبا من التلفزيون فى الزمن القريب.

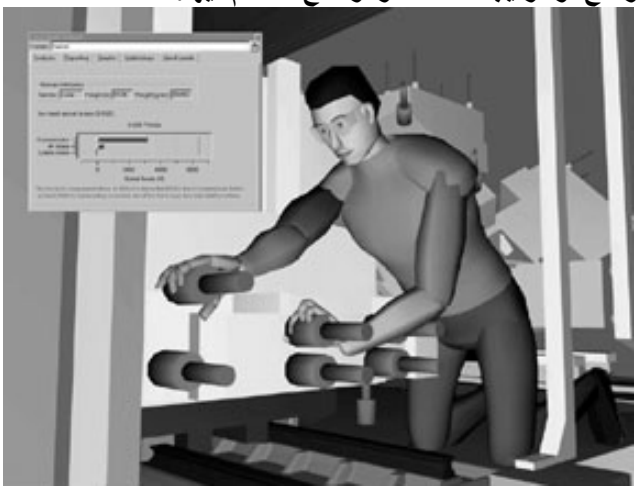
تطبيقات الرسوم ثلاثية الأبعاد

أستخدم صانعوا الفيلم فى هوليود الرسوم ثلاثية الأبعاد فى أفلام قصيرة بدءا من حقبة السبعينيات. ولكن هذه التقنية لم يكتب لها أن تستخدم فى الأفلام الطويلة إلا ابتداء من عام ١٩٨٢ عندما عمل فيلم الخيال العلمى Star Trek – The Wrath of Khan and Tron . وانتشرت تلك التقنيات بشكل سريع جداً فى هذه الفترة حتى أنه عام ١٩٩٥ عُمل فيلم Toy Story وأصبح هو أول فيلم طويل أستخدم فيه رسوم الحاسب المجسمة بشكل أساسى.

واليوم فإن الرسوم ثلاثية الأبعاد لها تطبيقات عديدة فى نطاق واسع من مجالات البحوث فى العلوم الطبيعية والطبية والصيدلية والهندسية وفى كافة أنشطة التصميم الهندسى والصناعى وتصميم المنتجات والعديد من المجالات الأخرى .

أستخدم المهندسون فى الصناعات المختلفة الحاسب فى كافة مجالات التصميم والتصنيع (CAM / CAD) لبناء نماذجهم ومجسماتهم مهما كانت معقدة ومهما كانت تتضمن من تفاصيل دقيقة وحسابات علمية مثل السيارات والطائرات. حتى أنها تستخدم الآن فى بناء مكونات الحاسبات الدقيقة كالمعالج وشرائح الذاكرة.

لا يقتصر توظيف قدرات الحاسب فى بناء الرسوم ثلاثية الأبعاد فى العمل الهندسى على التصميم الهندسى للآلات والمعدات أو النظم وانما يمتد ليشمل كافة مجالات العمل الهندسى: التصميم-التحليل - الرسم والمحاكاة - توجيه العمليات الإنتاجية - التصنيع - مراقبة الجودة. وبالصورة شكل ٤١ برنامج لمحاكاة تحليل المهام Task Analysis وفيه يتولى الحاسب بناء نموذج لكل من الإنسان والعمل الذى يقوم به ثم يقوم بالتعرف على مشاكل عمليات التشغيل ومن ثم يقوم باستنتاج أفضل أداء وأفضل وضع أو ترتيب للمعدات ومواضع التحكم فيها.



شكل رقم ٤١ تحليل المهام Task Analysis باستخدام الحاسب

استخدام البيانات الجرافيكية ثلاثية الأبعاد مباشرة فى توجيه العمليات التنفيذية وتشغيل الآلات التى يمكن وصلها بالحاسب كما يمكن لها كذلك توجيه ما يسمى بالإنسان الآلى Robots أو ماكينات التحكم الرقمى CNC لتوفير عمليات تشغيل عالية الدقة واكثر أمنا خاصة فى الصناعات التى تكون هناك خطورة فيها على الإنسان.

أستخدم المهندسون المعماريون والمدنيون ومصممى تخطيط المدن نماذج الحاسب ثلاثية الأبعاد بشكل وفر عليهم الكثير من النفقات. كما قلل من الوقت اللازم لإعداد النماذج اللازمة لإبراز أعمالهم. ويوضح شكل ٤٢ نموذجين

لمنشآت معمارية تم تصميمها بواسطة برامج الحاسب ثلاثية الأبعاد. كما استفاد بنفس القدر مصممو التصميم الداخلى وأصبح لديهم بديلا قويا لبناء النماذج بتكلفة تكاد لا تذكر (شكل ٤٣).

شكل ٤٢ الرسوم ثلاثية الأبعاد فى التصميم المعمارى

شكل ٤٣ الرسوم ثلاثية الأبعاد فى التصميم الداخلى

واستفاد مصممو المنتجات من قدرة الحاسب على بناء نماذج المنتجات وتقييمها واختبارها قبل الشروع فى البناء الفعلى لها، مما وفر الكثير من النفقات والجهد المبذول. وقد أمكن فى هذا الصدد اختبار صلاحية المنتجات الاستهلاكية للتعامل مع مستخدم المنتج ومدى فاعلية اعتبارات الأمان فيها. كما تستخدم النماذج من هذا النوع فى محاكاة بيئة الاستخدام وحتى المستخدم نفسه بقياساته وقدراته وقواه العضلية ومدى حركته. ويوضح شكل ٤٤ مدى دقة أداء نماذج الحاسب المجسمة وقدرتها عن التعبير عن المواصفات الدقيقة للمنتج.

تستخدم النماذج التى يخلقها الحاسب من صور التصوير الجوى والتى تتضمن أسطح ومستويات مختلفة تمثل تضاريس الأرض بما فيها المرتفعات والسهول الموجودة فى دراسة التركيب السطحى للأرض وإنشاء الخرائط الطبوغرافية وتخطيط المدن.

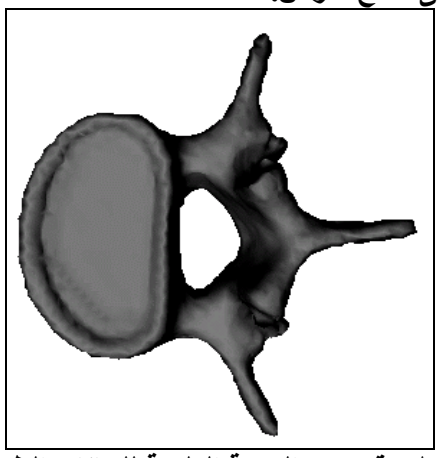
يستخدم العلماء فى مجالات العلوم الطبيعية النماذج والمجسمات المولدة بالحاسب **Computer Generated** لدراسة المواد وسلوكها ومقاومتها للأحمال والإجهادات ولدراسة مدى تأثرها بالعوامل والمؤثرات البيئية والميكانيكية .. الخ.

شكل رقم ٤٤ استخدامات الحاسب فى تصميم نماذج المنتجات

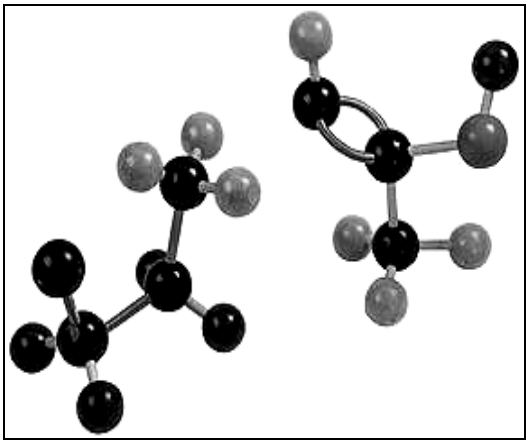
يستخدم الباحثون فى العلوم الطبية والبيولوجية، المجسمات والنماذج ثلاثية الأبعاد للخلايا والجزيئات وأعضاء

الجسم البشرى وحتى الجسم البشرى كله لدراسة تأثير الأمراض عليها ودراسة ما يمكن أن يؤثر على الجسم البشرى، ساعدت قدرة الحاسب على بناء النماذج ثلاثية الأبعاد فى أن يستخدم الحاسب فى الرؤية العلمية للبيانات لصور الرنين المغناطيسى والأشعة المقطعية ويمكن للحاسب هنا ليس فحسب بناء هذه الصور ولكن أيضا تفسيرها وتحليلها. أيضا تستخدم البحوث الصيدلانية المجسمات ثلاثية الأبعاد لدراسة تأثير بعض العقاقير على الجسم البشرى. شكل ٤٦

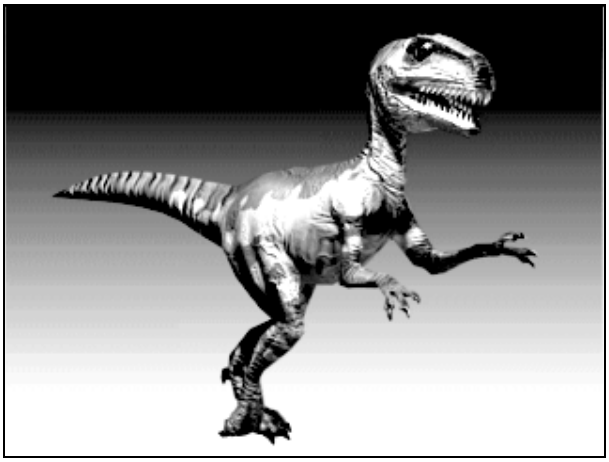
يستخدم الحاسب فى حل مشكلات عديدة فى صناعة السينما اليوم. ولعل أكثر ما يؤكد على هذه الحقيقة هو الأفلام العديدة التى استغلت نماذج متحركة ثلاثية الأبعاد مثل سلسلة أفلام حدائق الديناصورات Jurassic Park (شكل ٤٧) وأفلام غزو الفضاء. وهى مجالات كان من الصعب الخوض فيها بدون الاستعانة بالحاسب لخلق أشياء وأماكن لم تتواجد أبدا على سطح الأرض.



شكل رقم ٤٥ الرؤية العلمية للبيانات الطبية



شكل رقم ٤٦ تمثيل العمليات الكيمائية Chemical Processes



شكل رقم ٤٧

من بين أكثر استخدامات الرسوم ثلاثية الأبعاد فى الحاسب انتشارا اليوم هى العاب الحاسب التى تمكن اللاعب من أن يتعامل مع الرسوم ثلاثية الأبعاد على الشاشة وهذه الألعاب تتضمن قدراً كبيراً من أدوات الإظهارRending والإظهار فى الوقت الحقيقى Real-time Rendering وهذه العملية تتضمن إدخال المعلومات وتغيير البيانات الجرافيكية لحظياً وتظهر معها الأجسام وكأنها تتحرك بشكل طبيعى وفقاً للمتغيرات التى تحدث فى مدخلات الحاسب.

أنواع الرسوم ثلاثية الأبعاد:

بالإضافة إلى الرسوم ثلاثية الأبعاد التى تتولد بداخل الحاسب، يوجد عدد من أنواع الرسوم ثلاثية الأبعاد غير المرتبطة كليا بالحاسب، ولكنها يمكن أن تستفيد إلى حد كبير من تقنياته فى حساباتها. فبعضها يستخدم الحاسب فى توليد الارقام اللازمة لها وبعضها يستفيد بنظم التحكم الرقمى فى طباعة أو توليد أو صياغة هذه الرسوم. ونظرا لعدم وجود ترجمات معتمدة لبعض هذه الأنواع من الرسوم أو المجسمة، فإننا سنلجأ إلى استخدام الأسماء اللاتينية لها. وفيما يلى أكثر أنواع هذه الرسوم والصور شيوعا:

١- ستيريوجراف Stereographs

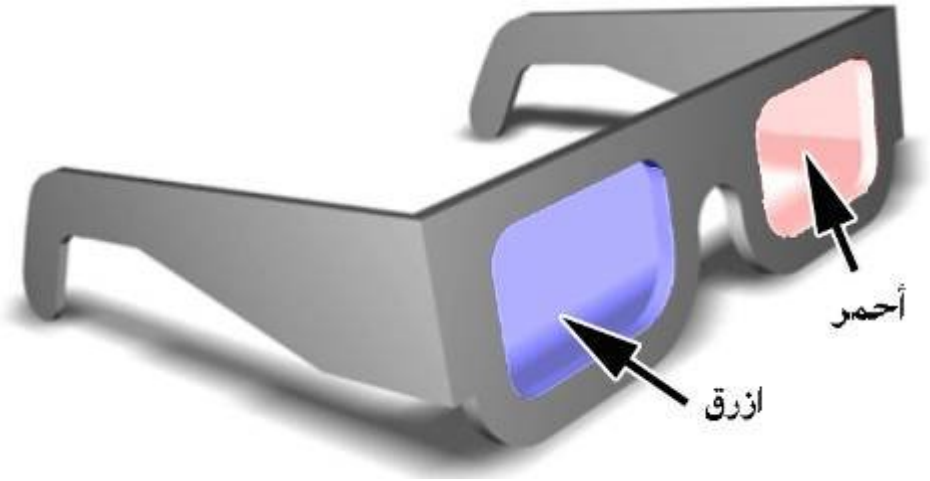
هى أحد أساليب الإيهام بالعمق فى الصور الفوتوغرافية وهى توليفة من اثنين من الصور مأخوذة لنفس المنظر

ومصدرة بزاوية مختلفة قليلا فيخلق المنظور المختلف نوعاً من الرؤية المجسمة فهى تسجل صورة للشكل كما تراه العين اليسرى وصورة أخرى كما تراه العين اليمنى . ولكى تظهر هذه الصورة بشكل مجسم ثلاثى الأبعاد فان الاستريوجراف ينبغى ان يعرض من خلال stereoscope وهو جهاز يعرض فى نفس الوقت الصورة التى تمثل رؤية الرائى من خلال العين اليمنى مع الصورة اليسرى ،بنفس زوايا الالتقاط تقريباً ويستقبل المخ كل صورة منها بشكل منفصل ويدمجها معاً لإنشاء صورة مجسمة . وعادة ما تخلق صور الاستريوجراف stereographs باستخدام كاميرا مجسمة stereo camera وهى كاميرا بها عدستان إن لم يكن ثلاث او اكثر .

وقد ظلت الكاميرات المجسمة stereo cameras أداة المصورين المحترفين لإنتاج الرسوم المجسمة حتى عام ١٩٤٧ عندما قدم المصور الأمريكى سيتون روتشويت Seton Rochwit الجهاز الذى يسمى المجسم الواقعى stereo realist وهو يتضمن ٣ عدسات يسرى ويمنى ومركزية وجميعها من النوع الضابط للبؤرة view finding، لقد مكنت هذه الكاميرا المصورين الهواة من خلق صورهم المجسمة وبيعت حوالى ١٣٠ ألف كاميرا من هذا النوع فى العشرين سنة التى تلت إنتاجها وقد وصلت هواية التصوير المجسم إلى قمتها فى الخمسينيات (١٩٦٠-١٩٥٠) إلا أنها غير مستخدمة الآن.

٢- الاناجلايف anaglyphs :

تستخدم تقنية اناجلايف anaglyphs الألوان والمرشحات لخلق الإيهام بالعمق خاصة فى الرسوم المتحركة والأفلام ويتكون الاناجلايف من منظرين مختلفين قليلا لنفس المنظر مطبوعة بلون مختلف لكى تبدو ثلاثية الأبعاد فان الاناجلايف تعرض من خلال نظارات خاصة لعدساتها ألوان مختلفة غالباً ما تكون الأحمر والتركواز (السيان) وتعمل العدسة الحمراء على ترشيح الصورة الحمراء بحيث تمر المرئيات التركواز (السيان) فقط من هذه العدسة بينما تعمل العدسة الأخرى (التركواز) على ترشيح المنظر بحيث يمر اللون الأحمر فكل منهما يكمل الآخر ويستقبل المخ الصور المختلفة من خلال العين ويصهرها معا لإنتاج المنظر ثلاثى الأبعاد وقد سجل العالم الفرنسى (لويس دوكوس دوهورون Louis Ducos Du Hauron) براءة اختراع الاناجلايف عام ١٨٩١ . وبقدوم عام ١٩٠٣ نجحا رائدى صناعة الفيلم الفرنسيان وهما لويس واوجوست لومير Louis and Auguste Lumiere) فى عمل رسوم متحركة ثلاثية الابعاد.



٣- الصور المستقطبة ثلاثية الأبعاد Polarized 3D images

لقد أدى ما طوره الأمريكى (ادوين هربرت Edwin Herbert) فى نظم بولارويد (Polaroid) إلى خلق أفلام سينمائية ثلاثية الأبعاد (مجسمة).

وتنتج هذه الأفلام من خلال التصوير بكاميرتين أو بكاميرا لها عدستين ويعرضان معا فى دار العرض متزامنين Simultaneously ويستخدم فلتر استقطابى فى مقدمة عدسة جهاز العرض الذى إلى الجانب الأيسر يبعث موجات صوتيه عشوائية فى مستوى واحد فى حين انه يوضع فلتر آخر فى مقدمة العدسة من الجانب الأيمن، والمشاهدين يرتدون نظارات بعدسات رمادية قطبية تعمل على توجيه الموجات الضوئية بنفس الطريقة كما فى مرشحات العرض ويتسبب هذا فى رؤية العين اليسرى للمشاهد ما يعرضه جهاز العرض Projector الأيسر والعين اليمنى ما يعرضه جهاز العرض Projector الأيمن ويعمل المخ على استقبال ودمج هذه المرئيات المختلفة وصهرها معاً فى شكل واحد مجسم.

٤- أوتوستيريوجرام Autostereograms :

هى نوع من صور الاستريوسكوب ولكنها لا تحتاج إلى أجهزه عرض خاصة كالاستريوسكوب أو نظارات التجسيم

واشهر أنواع الاوتوستريو جرامس هى الصور المصنوعة بالتحديب والهولوجرام والاستريوجرام المصنوع بالحاسب.

٥- الصور العدسية Linticular Images

هى صورة ثلاثية الأبعاد تنتج من خلال مصدرين مرئيين (صورتين) تعرضان بزاويتين مختلفتين قليلا وفى هذه الحالة فان الصورة الأصلية تحول إلى شرائط رفيعة جداً تدمج معاً ثم تغطى بعطاء شفاف بلاستيك يتضمن الآلاف من الحفر والنتوءات .

وهذه الحفر والنتوءات تعمل كالعدسات فتوجه مصدر الصورة الأيسر إلى عين المشاهد اليسرى والمصدر الأيمن إلى عين المشاهد اليمنى ويستقبل المخ الصورتان ويدمجهما فى صورة واحدة مجسمة.

٦- الاستيريوجرام ذى النقاط العشوائية Single Image Random Dot Stereograms (SIRDS)

وهى نوع من الصور التى يخلقها الحاسب وتتكون من خطوط عشوائية وتعرض بشكل معين بحيث أنها تعرض صورة مجسمة سبق أن حددنا طريقة معينة لرؤيتها ولكى نرى الشكل المختفى يجب على الرائى ان يريح عينيه ثم يركز على نقطة محددة فى الصورة التى هى عبارة عن نقط لمدة دقائق فيرى المجسم فى الصورة وغالباً ما تكون تلك النقطة خلف الصورة ويعمل الSIRDS بنفس طريقة الإستريوسكوب و الأناجليف فكل عين تستقبل المنظر بزاوية مختلفة ويعمل المخ على دمج المنظرين معا . لقد أصبح الSIRDS شائع الاستخدام فى أوائل التسعينيات وكان موجود فى كتب تسمى الكتب السحرية .

٧-الهولوجرام Holograms:

هو نوع من الصور ثلاثية الأبعاد تخلق بواسطة الليزر. ولكى نصنع هولوجرام فانه يتم تقسيم شعاع الليزر إلى مكونين وذلك بتوجيه جزء من شعاع الليزر نحو الصورة الموجودة على سطح والشعاع الآخر على الشىء الذى يراد تصويره. وتصطدم الموجات الضوئية فى الجسم وتتجه نحو الفيلم ويتصادم شعاعى الليزر القادمين من المصدرين (الفيلم والجسم) وبتداخلات مع بعضهما البعض. أى أن الهولوجرام هو تسجيل للطريقة التى يتداخل بها الجسم مع الليزر الذى يصطدم به. وللهولوجرام تطبيقات عديدة، بدءا من حماية بطاقات الاعتماد Credit Cards وتذاكر السكة الحديد إلى تزيين أغلفة المجلات وشرائط الكاسيت والأقراص المدمجة .

وقد أثبت الهولوجرام (Hologram) أنه مفيد جداً فى مجال العلوم الطبية بما يمكن الباحثين من فحص شخص أو جسم أو شىء من جميع جوانبه ،ويستفاد من تقنيات الهولوجرام فى الاستفادة من أشعة الليزر فى اختزان بيانات الحاسب التى تسجل فى شكل نقاط معتمة ولامعة على سطح صورة الهولوجرام، ويعمل نوع من الهولوجرام يسمى متعدد الأوجه على اختزان كم من المعلومات يكاد يكون أضعاف الوسائط التقليدية لتخزين المعلومات كالشرائط الممغنطة ويحتوى كل وجه على كم هائل من المعلومات وبإضاءة الهولوجرام بشعاع الليزر بزاوية مختلفة فإن الحاسب فإن الحاسب يمكنه أن يحصل على البيانات المختلفة من كل وجه

ومنذ ظهور تقنية الهولوجرام، وهى في حركة تطور ديناميكية سريعة نظرا لأهمية استخداماتها وتشعب تطبيقاتها. ومن أنواع الهولوجراف التى ظهرت هو ما أطلق علية اسم (Integrams) أى الهولوجراف الكامل. وهذا الهولوجراف الكامل هو تطوير لفكرة التصوير الضوئى المجسم "Stereoscopy" الذى شاهده الملايين من المشاهدين فى دور العرض السينمائية ، وكما أنه قريب إلى حد ما للعروض التليفزيونية ثلاثية الأبعاد.

وحيث أن فكرة مشاهدة الصورة المجسمة تقوم على فكرة ازدواجية الرؤية بكلتى العينين لمنظورين مختلفين حيث تشاهد كل عين منظور زاوى (أى من زاوية محددة) ، ويقوم مخ الإنسان بتجميع الصورتين وجمعها فى شكل مجسم ، وكذلك التليفزيون المجسم والسينما المجسمة تشاهد صورتين ضوئيتين زاويتين بنفس الدرجة الزاوية للعين البشرية ، فإذا ما شوهدا بالعينين فإن الصورة التى ترى صورة ثلاثية الأبعاد.. وللحصول على الهولوجرام الكامل فإن ذلك يتم بإحدى طريقتين الأولى ويتم فيها التصوير ضوئيا على فيلم عادى بالطريقة التقليدية بآلتى تصوير، فنحصل على فيلمين، وبعد ذلك نقوم بتعريض الهولوجرام المتخلل من خلال هاتين الصورتين الفيلميتين.

أما الطريقة الثانية لتصوير الهولوجرام الكامل، وهى ما يطلق علية اسم الهولوجراف ٣٦٠°. والوصف البسيط لهذه الطريقة بأنها تتم باستخدام منصة تصوير دوارة "Rotating Stage " ويوضع عليها الموضوع المراد تصويره وتكون أمام آلة تصوير ثابتة سواء كانت هذه الآلة فوتوغرافية أو سينمائية. ويمكن أن يحدث عكس ذلك بأن تكون المنصة ثابتة و آلة التصوير هى المتحركة. والمرحلة التالية لهاتين الحالتين السابقتين تكون الحصول على هولوجرام من خلال الفيلم التقليدى الذى تم تصويره ، ويتم تعريض الهولوجرام بوضعه على شكل دائرى وتكون الصورة على شكل خطوط طويلة متراصة وسمك كل خط ملليمترا بينما الطول من ٤٠ : ٣٠ سم. ويتم التعريض من زاويتين مختلفين. ويتم التعريض من زاويتين مختلفتين. ويتم العرض الهولوجرافى بوضع الهولوجرام بشكل أسطوانى ويوضع المصدر الضوئى بجانب محور الاسطوانة ويضيء الهولوجرام إما من أعلى لأسفل أو من أسفل لأعلى. والجدير بالذكر أن الهولوجرام إذا ما تعرض لأكثر من تعريض لأكثر من زاوية فإن فى كل زاوية يسجل التداخل بدون أن يؤثر أى تعريض على الآخر إذ يسجل على الهولوجرام خطوط التداخل من زاوية السقوط فقط وبتغيير الزاوية فالصورة بكاملها تتغير.

وإذا كان الهولوجرام عبارة عن شريحة فيلمية مسجل عليها كثافات متغيرة ، وعلى شكل خطوط وأهداب ، وهذا الهولوجرام هو تسجيل للتدخل الضوئى الذى يمكن بإسقاط شعاع ليزر علية بنفس زاوية سقوطه عند التعريض يتم الحصول على الصورة الهولوجرافية المجسمة وإعادة بناء الأشعة فنرى صورة الجسم.ولكن إذا كان التدخل يمكن حسابه بالطرق الرياضية خاصة وأن الطول الموجى للشعاع الساقط (شعاع الليزر) معروف مسبقاً من اختياره للتعريض الضوئى ، وكذلك أبعاد الشكل المراد تصويره معلومة بالكلية ، وبذلك يمكننا بواسطة الحاسب إنتاج هولوجرامات لأشياء ولأجسام غير موجودة أصلاً **Computer-Generated Holograms** وبهذا يكون قد فتح أمام المصمم باباً جديداً يطل على أفق الإبداع والابتكار، فيمكن خلق أعمال فنية وأشكال ذات دلالات تعبيرية. وقد يكون هذا الشكل نموذجاً لمنتج صناعى لم نقم بتصنيعه بعد، خاصة إذا ما كانت تكلفة النموذج الأولى للمنتج الصناعى المقترح "**Prototype** " باهظة جداً .. ويمكن هنا اختبار حركات هذا النموذج، وما يمكن أن يقوم به . كل الأشكال أصبح من الممكن الاستغناء عنها وذلك بعمل هولوجرام يقوم المصور بصياغته بواسطة الحاسب.

إن التطورات التى أجريت فى إمكانيات الحاسبات الآلية الحديثة ذات السعة الكبيرة وذات السرعة الفائقة جعلته قادرا على تنفيذ الإجراءات الضخمة والبالغة التعقيد فى سرعة عالية إذ يفترض الحاسب زوايا الإسقاط لشعاع الليزر الذى يفترض أن يقوم بالتعريض ، والطول الموجى لهذا الشعاع الساقط ويحسب مقدار التداخل وشكله وفقا للتصميم الذى وضعه المصمم والذى سيكون الحاسب أداته التصميمية أى يقوم المصمم بتنفيذ تصميمه ببرامج إنتاج الهولوجرامات المولدة حاسبيا، وبعد الحصول على الشكل الهولوجرامى على الشاشة يمكن تسجيله على فيلم حساس. كما يمكن نسخ الهولوجرام للحصول على عدة نسخ ، وكل ما نحتاج إليه لعرض التصميم هو مصدر ليزر وعدسة بسيطة حتى نرى التصميم صورة حقيقية مجسمة قبل تصنيعه.