إستخدام تقنية الفوتوجرامترى كأداة فعاله لتصميم البيئات الرقمية المختلفة المحاكية للواقع

Utilizing Photogrammetry as a Proficient Tool in Creating Diverse Photorealistic Digital Environments

إسراء أحمد حسين دسوقي
معيدة بقسم السينما والتليفزيون، كلية الفنون التطبيقية- جامعه بدر بالقاهرة Israa.Dissoki@buc.edu.eg

د/ ماجد سعيد ابراهيم
مدرس بقسم الفوتوغرافيا والسينما والتليفزيون، كليه الفنون التطبيقية- جامعه حلوان. magedsaeed@a-arts.helwan.edu.eg

أ.د/ سماح جمال محمد
أستاذ بقسم الفوتوغرافيا والسينما والتليفزيون، كلية الفنون التطبيقية- جامعه حلوان.
رئيس قسم السينما والتليفزيون- كلية الفنون التطبيقية- جامعة بدر بالقاهرة BUC Samah.Gamal@buc.edu.eg

ملخص البحث: Abstract

تقنية الفوتوجرامتريPhotogrammetryهي إحدي تقنيات المسح الثلاثي الابعاد للمجسمات باستخدام التصوير الفوتوغرافي، بإستخدامها يمكن إنتاج مجسمات رقميه ثلاثية الابعاد مطابقه للواقع. وتتميز تقنية القياس التصويري Photogrammetryعن تقنيات المسح الثلاثي الابعاد الأخرى بانها قليله التكاليف ولا تحتاج لمعدات خاصه مما يجعلها متاحه بصوره أكبر للاستخدام والتطبيق. وذلك بالتقاط العديد من الصور الفوتوغرافية بتتابع محدد بحيث تغطي جميع أجزاء وتفاصيل الجسم مع الاخذ في الاعتبار ضرورة وجود مساحة من التداخل اوالتراكب Overlapping بين كل صورتين متتاليتين. لتمر الصور الفوتوغرافية بعد ذلك بعمليات من المعالجات الحاسوبية بواسطة برامج مخصصه لاستخلاص المعلومات من الصور الفوتوغرافية وتكوين مجسم رقمي ثلاثي الابعاد مطابق للواقع علي اجهزه الكمبيوتر جاهز للاستخدام داخل برامج التصميم للتعديل عليه او دمجه في بيئة افتراضيه اوطباعته بأجهزة الطباعة ثلاثية الابعاد. شهدت السنوات الأخيرة مزيجاً من التقدم التكنولوجي والمنهجيات الإبداعية ثورة في إنشاء البيئات الرقمية. من بين هذه التقنيات المبتكرة، تقف تقنية الفوتوجرامتري (Photogrammetry) كأداة رئيسية، تقدم فرصًا لا مثيل لها لصياغة المناظر الواقعية الرقمية في العديد من المجالات، بما في ذلك صناعة الألعاب، والسينما، وافلام الرسوم المتحركة والواقع الافتراضي . بفضل تقنية الفوتوجرامتري (Photogrammetry)أصبح بإمكان مصممي البيئات الرقمية المختلفة إعادة إنشاء المعالم التاريخية، والمناظر الطبيعية، والهندسة المعمارية بطريقة رقمية والتقاط التفاصيل الدقيقة، مثل نسيج السطح، والملامس، والإضاءة، والأبعاد، بدقة وواقعية كبيرة. ودمجها داخل البيئات الرقمية المختلفة. مما يعزز دقة الرؤية والواقعية التي تؤثر على مدى إنغماس المتلقيين وتفاعلهم. كما يقدم استخدام التصوير الفوتوجرامتري نهجا جديدًا لتبسيط عملية انشاء البيئات الرقمية. وتوفر حلاً فعالاً من حيث الوقت والتكلفة من خلال تقليل الحاجة الى إنشاء الاجسام والاسطح والملامس كاملة بطريقة يدوية. يهدف هذا البحث الى التعمق في التطبيقات المتعددة للتصوير الفوتوجرامتري في مجال تصميم البيئات الرقمية الواقعية وإلقاء الضوء على الأثر الجوهري لهذه التقنية على العديد من المجالات. من خلال التحليل النقدي ودراسة حالات الاستخدام والإمكانيات والقيود لدمج التصوير الفوتوجرامتري كأداة لا غنى عنها في تشكيل مستقبل العديد من المجالات.

كلمات دالة: Keywords

الفوتوجرامتري Photogrammetry، مجسمات رقميه ثلاثية الابعاد 3D Models، البيئات الرقمية الواقعية Digital Photorealistic Environments، لتجارب الغامرة، Immersive Experiences، إعادة البناء ثلاثي الأبعاد 3D Reconstruction

Paper received November 6, 2023, Accepted on December 30, 2023, Published on line March 1, 2024

المقدمة: Introduction

الفوتوجرامتري (Photogrammetry) والتي تعني ترجمتها الحرفية "القياس من الصور" إذا رددناها لأصلها اللاتيني؛ تقنيه علميه تعود بدايتها وتطورها لقرن من الزمن. وهي تقنيه مسح ثلاثي الابعاد للمجسمات مكافئه لتقنيه المسح الثلاثي الابعاد بأشعة الليزر، ولكنها تعتمد في هذه العملية على الصور الفوتوغرافية. ظل القياس التصويري (Photogrammetry) ذو ارتباط وثيق بعلم المساحة الأرضية والطبوغرافيا لشيوع استخدامها في رسم الخرائط خلال الحرب العالمية الثانية. خلال هذا القرن من الزمن تعرضت تقنيه القياس التصويري (Photogrammetry) وأساليب جمع ومعالجه المعلومات من الصور للعديد من التطورات بعد ان كانت عمليه قائمه بشكل كلي على أدوات قياس ميكانيكيه وبصريه حتى أصبحت في يومنا هذا عمليه رقميه بالكامل بحيث تتم عملية التقاط الصور ومعالجتها علي اجهزه الكمبيوتر مما جعلها أكثر سرعه وسهوله. يظل السعي إلى محاكاة الواقع هدفا مستمرًا في مجال تصميم المحتوى الرقمي، لا سيما في إنشاء البيئات الرقمية للتطبيقات المتنوعة في مختلف الصناعات. ضمن هذا السياق، تبرز تقنية الفوتوجرامتري كتقنية رئيسية، تقدم مساراً مثيراً لتحقيق واقعية لا مثيل لها في المشاهد الرقمية. بسرعة، انتقلت تقنية التصوير الفوتوجرامتري من كونها غير معروفة نسبيًا إلى أن تم ارتباطها بتصميم البيئات الرقمية الواقعية. ومنذ ذلك الحين، ظهرت في العديد من الأفلام والالعاب والعروض التقنية. بفضل هذه التقنية، أصبح من السهل الحصول على نسخه رقمية لاي جسم مادي. وانشأت العديد من المكتبات الافتراضية التي تحتوي على كم هائل من النسخ الرقمية وأصبحت متاحة وأحيانا بصورة مجانية لجميع مصممي البيئات الرقمية المختلفة. (Frazer, 2021)

مشكلة البحث: Research of the Problem

على الرغم من التقدم الواضح والانتشار المتزايد للمسح التصويري في تصميم مختلف البيئات الرقمية الواقعية، إلا أن هذه التكنولوجيا لا يتم استخدامها على النحو الأمثل بسبب عدم فهم وظائفها وتطبيقها عبر المجالات المختلفة.

أهداف البحث: Research Objectives

1- تأكيد فاعلية توظيف تقنية الفوتوجرامتري في تصميم البيئات الرقمية الواقعية المختلفة.
2- التعمق في التطبيقات المتعددة للتصوير الفوتوجرامتري في مجال تصميم البيئات الرقمية الواقعية.

فروض البحث: Research Hypothesis

1- يساعد استخدام تقنية الفوتوجرامتري لإنتاج مستنسخات رقمية ثلاثية الأبعاد مطابقة للواقع في تصميم البيئات الرقمية الواقعية المختلفة.
2- توظيف تقنية الفوتوجرامتري لإنتاج مجسمات رقمية ثلاثية الأبعاد مطابقة للواقع كوسيلة لتصميم البيئات الرقمية الواقعية المختلفة.

منهج البحث Research Methodology

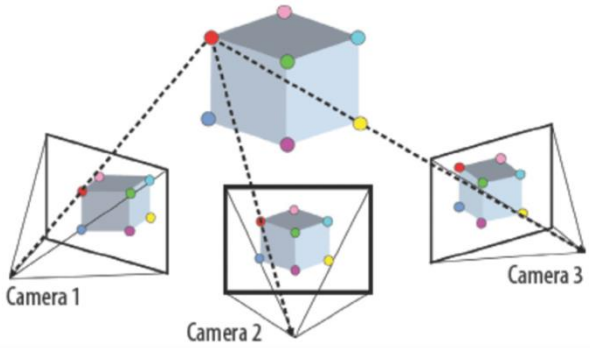
المنهج الوصفي التحليلي: من خلال الاستفادة من دراسة تقنية الفوتوجرامتري وتطبيقها في تصميم البيئات الرقمية الواقعية المختلفة

الاطار النظري: Theoretical Framework

الفوتوجرامتري مجال معقد وشيق يمزج بين العديد من العلوم، ولكن تعتبر الفوتوغرافيا هي حجر الأساس لقيامه. ان التاريخ المترابط للفوتوجرامتري والتصوير الفوتوغرافي يوضح كيف كان لتطور الفوتوغرافيا الأثر الكبير لتقدم الفوتوجرامتري. منذ أصولها المبكرة وصولا إلى العصر الرقمي الحديث، كان اعتماد الفوتوجرامتري على التصوير الفوتوغرافي حاسمًا في تشكيل الطريقة التي يسجل ويحلل ويقيس بها العالم المادي. ان الفوتوغرافيا إسقاط لمشهد ثلاثي الابعاد على سطح مستوي ثنائي الابعاد. بذلك يتم فقد معلومات التجسيم او البعد الثالث. يمكن وصف الفوتوجرامتري انها عملية عكسية لاستعادة تلك المعلومات المفقودة.

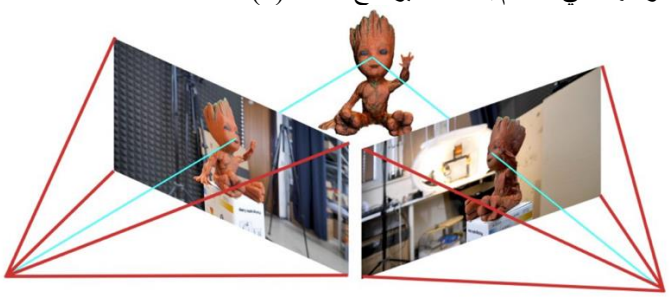
1-1 تقنيه الفوتوجرامتري:

علم وفن تحديد حجم وشكل الأجسام نتيجة تحليل الصور المسجلة على الأفلام أو الوسائط الإلكترونية ومصطلح فوتوجرامترى Photogrammetry هو مشتق من مصطلح يونانى يتم ترجمته الى "light drawn to measure" والتي تعني الضوء المرسوم للقياس (Atkinson, 2017) .ويتم تعريفة أيضا بأنه تقنية قياس بصرية ثلاثية الأبعاد تستخدم الضوء كحامل للمعلومات بدون اتصال فيزيائى بالاجسام. يمكن تحديد حجم وشكل وموقع جسم ما واستنتاج مجسم ثلاثى الابعاد له من صورتين او عده صور لهذا الجسم باستخدام مجموعه من تقنيات القياس وتحليل بيانات الضوء. يمكن استخدام الفوتوجرامترى Photogrammetry نظريًا في أي حالة يمكن فيها تصوير الجسم الذي نريد قياسه. إذا كان لدينا صورتان على الأقل لنفس الجسم او العنصر من زاويتين مختلفتين، فيمكننا إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد لهذا الجسم. للحصول علي مجسم رقمي مطابق للجسم في الواقع يتم التخطيط لعملية المسح التصويري للجسم بالتقاط الصور الفوتوغرافية لجميع أجزائة من عدة زوايا وعلي ارتفاعات مختلفة كما يتم التأكد من إتمام عملية التصوير الفوتوغرافي بشكل صحيح وبتعريض ضوئي سليم. (Luhmann, Robson, Kyle, & Boehm, 2019) . تتم عملية تقدير الإحداثيات ثلاثية الأبعاد للجسم من خلال تحليل الصور الفوتوغرافية المأخوذة للجسم من عده نقاط مختلفة. يتم تحليل سطح الجسم الي النقاط المكونه لهذا السطح ثم يتم تحديد الموقع الحقيقي لكل نقطة من خلال تحليل الصور الفوتوغرافية المتعدده من زوايا مختلفة لنفس النقطة. نحتاج على الأقل إلى صورتين لنفس النقطة التي تم التقاطهما من مواقع مختلفة. باستخدام قواعد المنظور الهندسي وإستخدام طريقة تشكيل الضوء للصورة على سطح المستشعر كنموذج هندسي للإسقاط المركزي كما يوضح الشكل رقم (1). يمكن تتبع مسار شعاع الضوء المنعكس من علي سطح الجسم حامل صورتة ومعلومات اخري عنه حتي يسقط علي السطح الحساس داخل كاميرا الفوتوغرافية مرورا بعدسة الكاميرا.



شكل (1) يوضح تقنية القياس من خلال تقاطع خطوط النظر بين العدسة وبين نقاط سطح المجسم

لتكوين إحداثيات ثلاثية الأبعاد للنقاط المكونة للمجسم في الفراغ في عملية تحليل الصور يتم تحديد الموضع النسبي للكاميرا بالنسبة للجسم وتعتبر الكاميرا مركز الاسقاط للإشاعة المرسومة بين الكاميرا والنقطة في الصورة وموقعها في الحقيقة. نقطة الصورة تكون علي الخط المستقيم الممثل لخط شعاع الضوء. النقطة "الحقيقية" في الفضاء تكمن في تقاطع أشعة الضوء الممثلة لنفس النقطة. يتم استخدام صورتين على الأقل لتمثيل كل نقطة على سطح التضاريس الجسم الذى يتم مسحه ويطلق علي النقطة اسم نقطة الهدف. (Foster & Halbstein, 2014) وبذلك يمكننا تحديد موقعها علي الجسم بدقة كما يوضح الشكل (2).



شكل (2) كيفية تحديد موقع نقطة الهدف

1-1-1 النظريات الأساسية لعلم الفوتوجرامتري:

التثليث Triangulation:

في علم الفوتوجرامتري، التثليث Triangulation يشير إلى عملية تحديد إحداثيات نقطة ثلاثية الأبعاد في الفضاء عن طريق استخدام العلاقة الهندسية بين عدة صور لنفس الجسم. ويعتبر التثليث Triangulationهو المبدأ الأساسي الذي يعتمد عليه التصوير الفوتوجرامتري، حيث تحسب إحداثيات النقاط المكونة لسطح المجسم باستخدام المبادئ الهندسية للمثلثات، فعندما تلتقط صوًرا فوتوغرافية من موقعين مختلفين على الأقل لمجسم ما، يتكون ما يسمى بخطوط النظر Lines of sight ما بين عدسة الكاميرا وبين النقاط على سطح المجسم محل التصوير، وتتقاطع تلك الخطوط لتكون إحداثيات ثلاثية الأبعاد لنقاط المجسم.
(Luhmann, Robson, Kyle, & Boehm, 2019)

ضبط الحزمة Bundle Adjustment:

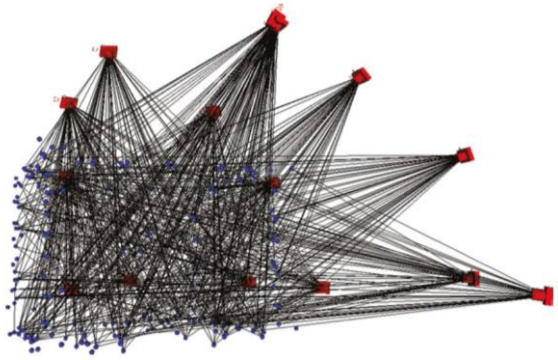
ضبط الحزمة هو تقنية رياضية تُستخدم لتحسين معلمات التوجيه لعدة صور لإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد متسق ودقيق. يأخذ في الاعتبار مواقع وتوجيهات محطات الكاميرا وهي مواقع التقاط الصور حول الجسم. يتم تحديد شكل وموضع المجسم عن طريق إعادة بناء حزم الأشعة التي تمثل نفس النقطة في كل الصور الملتقطة للمجسم من زوايا متعددة. باستخدام طريقة الاسقاط المركزي لحزم الأشعة المكونة للنقاط على الجسم. بتوجيه حزم الأشعة من كل الصور الملتقطة للجسم من زوايا متعددة في وقت واحد. يتم تقاطع كل حزم الأشعة من الصور المتعددة، ينشأ من هذا التقاطع شبكة كثيفة لعلاقات هندسيه معقده. ويلي ذلك تطبيق علم

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

حساب المثلثات والعديد من العمليات اللوغاريتمية الأخرى لحساب واستنتاج باقي المعلومات. في النهاية نتمكن من حساب ابعاد النقاط الموجودة على سطح الجسم المصور وإنتاج مجسم ثلاثي البعاد مطابق للواقع. (Mikhail & Bethel, 2017)

نقاط التحكم Control Points:

نقاط التحكم هي نقاط ذات إحداثيات معروفة. يتم استخدام هذه النقاط للإشارة المكانية للصور، مما يضمن القياسات الدقيقة. للحصول على إحداثيات ثلاثية الأبعاد للنقاط.



شكل (3) حزمة اشعة من مجموعة صور

معايرة الكاميرا Camera Calibration:

يجب معايرة الكاميرات المستخدمة في علم التصوير الفوتوجرامتري بدقة لتصحيح التشوهات البصرية والعيوب الأخرى. يتضمن هذا العملية تحديد ابعاد الكاميرا الداخلية، مثل البعد البؤري ومساحه السطح الحساس.

شكل (4) توجيه الاضاءة الطبيعية

- **حامل ثلاثي الارجل:** يفضل استخدام حامل ثلاثي الارجل حيث يساهم في ثبات الكاميرا وإمكانية التصوير بارتفاعات مختلفة.
- **الخلفية:** يمكن تصوير الاجسام المراد استنساخها رقميا في الفضاءات الطبيعية المحيطة بها دون الحاجة لتعديل الخلفية اذ يساعد التباين بالخلفية برامج المعالجة واعاده البناء على التفريق بين المجسم وخلفيته. إذا تم استخدام خلفية مخصصه يفضل استخدام خلفية موحدة الإضاءة وذات لون متباين مع لون الجسم.
- **طاولة التصوير الدوارة Turntable:** تتيح التحكم في تحريك المجسم بدرجات زوايا محددة إذا أمكن حمل الجسم وتصويرة داخل الاستوديو.
- **العلامات المرجعية اوعلامات القياس:** تعمل هذه العلامات كمرجع للبرامج عند معالجة الصور في مرحله مطابقة الصور كما انها تعمل كدليل لتحديد المقياس النهائي للمجسم. (Photogrammetry Workflow Using a DSLR Camera | Scholars' Lab, 2019)

3-1-1 خطوات المسح الفوتوجرامتري:

ضبط إعدادات الكاميرا:

تشمل العوامل الرئيسية استخدام الوضع اليدوي للتحكم في الإعدادات مثل فتحة العدسة وسرعة الغالق وحساسية ISO ، مع الحرص على الاستمرارية في الصور. وتعتبر وضعية الفتحة ضيقة للحفاظ على عمق ميدان كبير واستخدام سرعة الغالق الكافية لمنع حدوث اهتزازات، والحفاظ على قيم ISO على مستويات منخفضة للحد من الضوضاء. كذلك، يساهم ضبط إعدادات التوازن الأبيض الصحيح white balance والتركيز اليدوي Manual Focus والتقاط الصور بتنسيق RAW أو JPEG عالي الجودة بشكل كبير في الحفاظ على تفاصيل الصور . (Poux, 2022)

تحديد محطات الكاميرا:

وهي عملية تحديد محطات وقوف الكاميرا حول الجسم أو نقاط الرؤية التي ستلتقط منها الكاميرا الصور الفوتوغرافية من جميع الزوايا الضرورية للقيام بعملية المسح الفوتوغرافي. والتأكد من عدم ترك جزء من الجسم بدون تصوير والتخطيط لتصوير الجسم من ثلاث ارتفاعات مختلفة بزاوية 30 درجة تقريبا على الأقل كما يوضح الشكل رقم (5) مع التركيز على التداخل الكافي بين الصور المتتالية عادة بنسبة 60-80% . (How Do I Create a 3D Model Using Photogrammetry?, 2020)

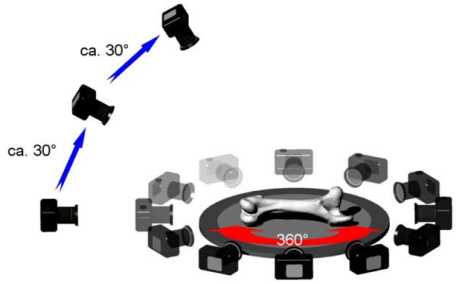
(Luhmann, Robson, Kyle, & Boehm, 2019)

الإسقاط المركزي Central Projection:

الإسقاط المركزي في الهندسة الوصفية هي عملية لتمثيل الاشكال الهندسية على سطح مستوي من خلال عملية الإسقاط والتقاطع . الإسقاط المركزي هو إسقاط من مستوى إلى آخر حيث تقع نقطة المستوى الأول والصورة على المستوى الثاني في خط مستقيم من نقطة ثابتة. تمر الأشعة البارزة عبر نقطة واحدة تسمى مركز الإسقاط. هذه هي في الأساس النقطة المرجعية التي تنطلق منها جميع الخطوط والإسقاطات.

2-1-1 معدات التصوير الفوتوجرامتري:

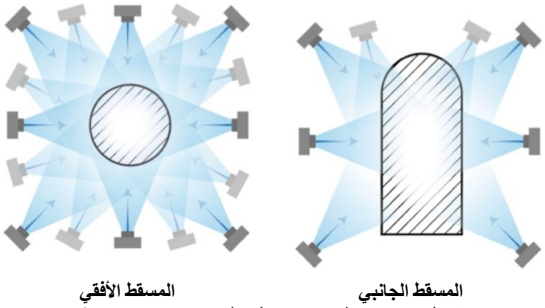
- **الكاميرا:** يمكن الحصول على نتائج ممتازة بالكاميرات الاحترافية DSLR، إلا انه في بعض الأحيان يمكن كذلك استخدام كاميرات الهاتف المحمول.
- **العدسة:** يوصى باستخدام عدسات ثابتة البعد البؤري ذات بعد البؤري مناسب لتصوير المجسمات المتوسطة الحجم دون حدوث تشوهات منظورية هو 50 مم، وفي حالة تصوير جسم ذو تفاصيل كثيرة يمكن استخدام عدسة ماكرو Macro، مع مراعاة وجود عمق مجال Depth of Fieldواسع وثابت في كل الصور.
- **الإضاءة:** يوصي باستخدام مصادر إضاءة مشتتة مستمرة كما يمكن استخدام مصادر الإضاءة الخاطفة لتلاشي وجود أي ظلال حادة او مناطق داكنة. كما يوضح الشكل(4).



شكل (5) محطات وقوف الكاميرا حول الجسم

الإلتفاف حول الجسم 360 درجة:

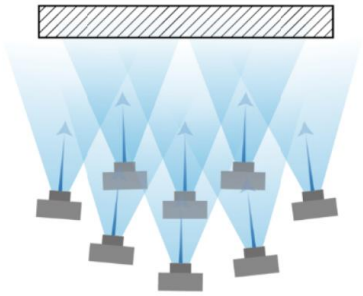
بعض الاجسام يمكن الالتفاف حولها 360 درجة وتغطية جميع جوانب الجسم كما يظهر في الشكل. يتم تصوير الجسم من جميع جوانبه باختلاف من 10 إلى 15 درجة بين كل زاوية تصوير والتي تليها. شكل (6)



شكل (6) الإلتفاف حول الجسم 360 درجة

المسح الفوتوغرافي في خط مستقيم 180 درجة:

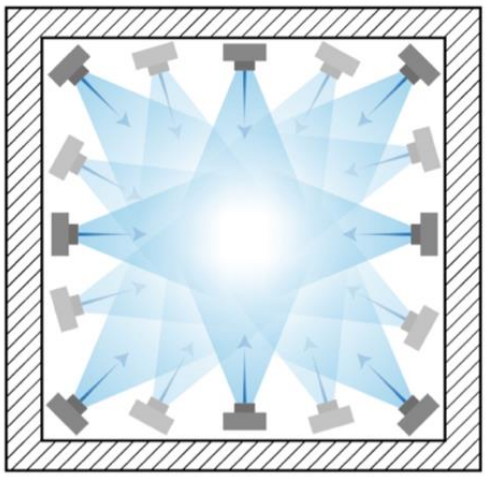
عند القيام بالمسح الفوتوغرافي للأجسام المستوية مثل الواجهات يتم التقاط الصور في مسار خط مستقيم بعرض المجسم. مع مراعاة التصوير بإرتفاعات مختلفة لتغطية جميع أجزاء السطح. شكل (7)



شكل (7) المسح الفوتوغرافي في خط مستقيم 180 درجة

المسح الفوتوغرافي لمكان من الداخل:

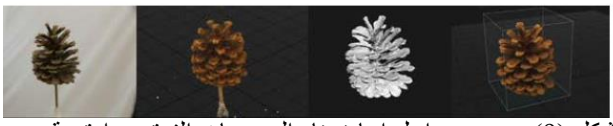
بالنسبة لعملية المسح الفوتوغرافي لمكان من الداخل مثل الغرف كما يوضح شكل (8)، يتم وضع الكاميرا كما لو كانا نلتقط صور لجسم ما في منتصف الغرفة. (Tips for Taking Pictures for Good Photogrammetry, n.d.)



شكل (8) وضع الكاميرا عند المسح الفوتوغرافي لمكان من الداخل

3- معالجة الصور وإعادة بناء المجسم:

باستخدام برامج المعالجة وإعادة البناء تتوافر برامج إعادة بناء مجانية مفتوحة المصدر مثل برنامج MeshRoom. وبرامج مدفوعة مثل ريالتي كابتشر Reality Capture وتتفاوت مواصفات كل برنامج عن الاخر من حيث عدد الصور الممكن معالجتها ووقت وجودة المجسم النهائي. يقوم البرنامج بإعادة بناء سحابة نقاط استنادًا إلى صور الجسم التي تم إدخالها له. ثم شبكة كثيفة من النقاط المكونة لقوام وألوان سطح الجسم، ثم انتاج مجسم مصمت بدون ملامس والوان، ثم المجسم النهائي.



شكل (9) يوضح مراحل إعادة بناء المجسمات الفوتوجرامترية من الصور

4-1-1 أنواع التصوير الفوتوجرامتري:

يمكن تصنيف التصوير الفوتوجرامتري وفقًا التصنيفات التالية:

شكل (10) يوضح التصنيفات المختلفة للتصوير الفوتوجرامتري

وفقًا لموقع الكاميرا، والمسافة بينها وبين الجسم :

- **التصوير الفوتوجرامتري بالأقمار الصناعية:** وقد تصل المسافة بين الكاميرا والجسم إلى 300 كم.
- **التصوير الفوتوجرامتري الجوي:** باستخدام الطائرة. وقد تبعد الكاميرا عن الجسم مسافة تصل إلى 300 م.
- **تصوير الطائرات بدون طيار:** التقاط الصور الجوية من الطائرات بدون طيار، وقد تبعد الكاميرا عن الجسم حوالي 100 متر

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

- **التصوير الفوتوجرامتري الأرضي:** من خلال أخذ القياسات من موقع أرضي ثابت.
- **التصوير الفوتوجرامتري قصير المدى**: مسافة التصوير أقل من 200 م.
- **تصوير تحت الماء**: مسح الجسم في الماء أو من خلاله.
- **التصوير الفوتوجرامتري عن قرب (الماكرو):** مقياس الصورة > 1 (التصوير الميكروسكوبي).

وفقًا لعدد صور القياس:

- **التصوير الفوتوجرامتري من خلال التقاط صورة واحدة:** يتضمن تحرير الصور الفردية مع تصحيح زاوية الصورة.
- **التصوير الفوتوجرامتري من خلال التقاط صورتين Stereophotogrammetry:** يتضمن تحرير صور مزدوجة.
- **التصوير الفوتوجرامتري متعدد الصور:** يستخدم نظام التثليث لإعادة البناء الرقمية للمجسمات والمشاهد.

وفقًا لتوافر نتائج القياس:

-الفوتوجرامتري الغير متصل Offline Photogrammetry
في هذه الأنظمة، يتم التقاط البيانات باستخدام الكاميرات، ثم يتم تنفيذ معالجة وتحليل البيانات في وقت لاحق.

-الفوتوجرامتري المتصل Online Photogrammetry :
الأنظمة الفوتوجرامترية المتصلة تحتوي على عدد محدود من الكاميرات. تقدم معلومات عن الاجسام الثلاثية الأبعاد في فترات زمنية محددة. يتم نقل البيانات ثلاثية الأبعاد التي تم الحصول عليها في الوقت الحقيقي الي نظام تشغيل اخر. أمثلة على ذلك أنظمة الملاحة، وأنظمة التموضع في تصنيع السيارات، وتوجيه الروبوت الموجه بالصورة.

-الفوتوجرامتري في الوقت الحقيقي Real-Time Photogrammetry :
في هذه الأنظمة، يتم جمع ومعالجة وتحليل البيانات على الفور بعد جمعها وتختلف عن النظام الفوتوجرامتري المتصل بأنها اسرع في عملية المعالجة وعرض البيانات، بحيث يتم عرض النتائج في الوقت الفعلي. أمثلة على ذلك مجالات الرصد الجغرافي، والاستكشاف والإنقاذ، والطيران بدون طيار، والتصوير الطبي، والواقع المعزز والواقع الافتراضي.

وفقًا لمجال التطبيق:

- الفوتوجرامتري المعماري Architectural Photogrammetry:
-يستخدم لقياس واجهة المباني ،وتوثيق المباني التاريخية ،وقياس التشوهات المعمارية ،وإعادة بناء المباني المتضررة رسم خرائط المواقع الأثرية، والاستنساخ الرقمي للآثار والمنحوتات.

- الفوتوجرامتري الهندسي Engineering Photogrammetry
يستخدم في قياس المنشآت، وقياس المواقع الهندسية الكبيرة، والتعدين، وقياس الطرق ومسارات السكك الحديدية.

- الفوتوجرامتري الصناعي Industrial Photogrammetry:
يستخدم في عمليات الهندسة العكسية ومراقبة عمليات الصنيع والجودة.

- الفوتوجرامتري الطبي Medical Photogrammetry:
يستخدم لقياسات الاسنان والأعضاء، وقياسات انحراف العمود الفقري، والجراحات التجميلية، وتحليل حركة الأجسام.

- الفوتوجرامتري الجنائي Forensic Photogrammetry:
يستخدم لتسجيل الحوادث، وتوثيق الأدلة وتسجيل الأدلة الجنائية.

- الفوتوجرامتري الخاص برؤية الحاسوب Photogrammetry for Computer Vision:
يستخدم لعمليات تحليل الصور والمشاهد، وعمليات تقدير الابعاد والعمق.

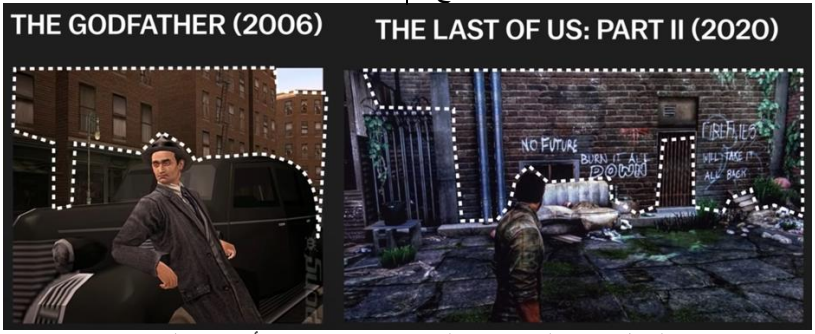
- الفوتوجرامتري الخاص بصناعه الأفلام والألعاب Photogrammetry for Film and Game Industry:
الاستنساخ الرقمي للمجسمات الواقعية التي تدخل في بناء البيئات الرقمية المختلفة للألعاب، وافلام التحريك، وبناء المؤثرات البصرية لمشاهد الأفلام، والواقع الافتراضي، والمعزز، والممتد. هذا ما سنتناوله بالتفصيل.
(Luhmann, Robson, Kyle, & Boehm, 2019)

2-1 استخدام تقنيه الفوتوجرامتري في تصميم البيئات الرقمية المحاكية للواقع:

أصبحت التقنية الفوتوجرامتري أداة محورية هامة للعديد من الصناعات التي تقدم محتوى بصري واقعي. تتيح تقنية الفوتوجرامتري إمكانيات لا محدودة للدمج بين العالمي الواقع والخيال. إذ تُمكّن هذه التقنية من تسهيل عملية إنشاء الأصول، وتقليل الوقت والموارد اللازمة لبناء نماذج ثلاثية الأبعاد التفصيلية يدوياً. بالاستعاضة عن ذلك باستنساخها رقميا من الواقع. كما في الشكل رقم (11) يبين حجر طبيعي ونسخته الرقمية.

الشكل (11) لحجر طبيعي ونسخته الرقمية

بتناول حائط من الطوب كمثال والذي يمكن ان يكون أحد مكونات البيئة الرقمية المطلوب انشائها. إن رسم وتصميم حائط من الطوب من الصفر سيسمح للمصممين بالتحكم الكامل في التصميم والتفاصيل. ولكن هذه الطريقة تتطلب خبرة متقدمة في النمذجة ثلاثية الأبعاد، واجادة عدة برامج مثل بليندرBlender، مايا Maya و 3D Max بالإضافة إلى أن إنشاء ملامس عالية الجودة ومقاربة للواقع من الصفر يتطلب مهارات فنية عالية وقتًا وجهدًا كبيرا للوصول لنتيجة مرضية. وهو عنصر شائع متكرر الظهور في العديد من الألعاب كما في الشكل رقم (12).



الشكل (12) لحائط من الطوب يظهر في بيئة أكثر من لعبة

من ناحية أخرى، تمكن تقنية الفوتوجرامتري المصممين من التقاط تفاصيل العالم الحقيقي بدقة عالية دون التأثير على الملامس والتفاصيل والعيوب الطبيعية للأجسام. والحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد واقعية للغاية. كما انها أسرع بكثير مقارنةً بالنمذجة اليدوية، خاصةً لالتقاط الهياكل المعقدة. مما يقلل من وقت الإنتاج الكلي للعمل. (How Video Game Rocks Get Made , 2021) .

عند بدء العمل على خلق بيئة رقمية، يقوم مصممي البيئات الرقمية أولا بتحليل عناصر ومكونات المشهد او البيئة المطلوب تصميمها. ثم يتم تخطيط عملية الإنتاج بتحديد الاجسام والمواقع التي سيتم مسحها بتقنية الفوتوجرامتري. بعض هذه الاجسام يمكن احضارها لأستوديو متخصص للقيام بعملية المسح الفوتوجرامتري والبعض الأخر سيتم مسحة فوتوجرامتريا في مكانه. ثم دمجها جميعا بعد عدة مراحل من المعالجات الأخرى في بيئة رقمية واحدة متناغمة. ظهرت مؤخرا العديد من المنصات الالكترونية مثل كويكسل Quixel,بولي هيفين Poly Haven ، سكتش فاب Sketch Fab وغيرها تركز بشكل أساسي على توفير أصول وأدوات عالية الجودة لإنشاء بيئات ثلاثية الأبعاد واقعية. يمكن شراء المجسمات الجاهزة منها دون الحاجة للمرور بعملية المسح الفوتوجرامتري لكل مكونات البيئة المطلوب تصميمها. (Photogrammetry, Game-engines and the Geospatial Industry - Aerometrex, n.d.)

2- دراسات الحالة والأمثلة:

خلقت تقنية الفوتوجرامتري تقاطعا بين الواقع والخيال. هذا التقاطع يستمر في دفع حدود السرد البصري، مما يتيح لصناع الأفلام ومطوري الألعاب صياغة قصص جذابة وعوالم غامرة تمزج بين الواقع والخيال. وهكذا أصبحت تقنية الفوتوجرامتري آداه رئيسية للصناعات الإبداعية لإنتاج محتوى بصري مذهل يجذب الجماهير واللاعبين على حد سواء.

2-1 مجال الأفلام والسينما:

في صناعة الأفلام، تمكنت التقنية من إنشاء إعدادات واقعية بالتقاط بيئات ومعالم وأدوات مفصلة من العالم الحقيقي. رفعت معايير التأثيرات البصرية (VFX) وعناصرCGI ، مما يسمح بالدمج السلس للبيئات الرقمية مع لقطات الحياة الواقعية. وقد أعادت القدرة على إعادة إنشاء المشاهد بدقة وواقعية، مما أثر إيجاباً على تجربة السينما للجمهور في جميع أنحاء العالم.

2-1-1 بناء المشاهد:

من المتعارف عليه في مجال المؤثرات البصرية والخاصة للأفلام التي تتطلب بناء بيئات خاصة تدور بها احداث الفيلم ان يتم بناء بيئة رقمية ثلاثية الابعاد والقيام بالتصوير باستخدام خلفيات خضراء او زرقاء اللون. ثم يتم بعد ذلك في مرحله ما بعد الإنتاج ضبط المشاهد وحذف الخلفية الخضراء واستبدالها بالبيئة الرقمية التي تم تصميمها خصيصا لهذا المشهد كما في الشكل رقم (13). (Montgomery, 2023)في فيلم The Jungle Book2016 تم تجميع عناصر بيئة الفيلم بالكامل من مستنسخات رقمية من الواقع تم انتاجها بتقنية الفوتوجرامتري لتكون بهذه الواقعية وغزارة التفاصيل.

شكل (13) يستعرض نفس المشهد من فيلم The Jungle Book اثناء التصوير وبعد إضافة البيئة الرقمية التي تدور بها احداث الفيلم

في مسلسل The Mandalorian ظهر اول استخدام لتقنية جديده يتم فيها استبدال الخلفيات الخضراء والزرقاء بشاشات LED تعرض البيئة الرقمية التي تدور فيها الاحداث في الوقت الفعلي للتصوير. يتم وضع شاشات ال LED حول الممثلين علي شكل شاشة مقوسة لتغطي ثلاث اتجاهات وأحيانا يتم تغطية الاسقف بشاشات ال LED وأيضا إضافة حائط رابع لتصبح غرفه كاملة من الشاشات التي تخلق مساحة لدمج الممثلين الفعلي داخل البيئة الرقمية في الوقت الحقيقي. وتسمي هذه التقنية The Volume. (Why “The Mandalorian” Uses Virtual Sets Over Green Screen, 2020)

شكل (14) لمشهد من مسلسل The Mandalorianيظهر استخدام تقنية The Volumeللدمج الفوري بين الممثلين والبيئة الرقمية لأحداث المشهد

2-1-2 الأشخاص والمجموعات:

يتم المسح الفوتوجرامتري للأشخاص والممثلين للحصول على نسخة رقمية منهم يمكن استخدامها في المشاهد الخطيرة او صعبة التنفيذ بشكل واقعي. كما يمكن ذلك من إضافة الأشخاص والمجموعات داخل المشاهد دون الحاجة لوجودهم الفعلي داخل موقع التصوير. في فيلم The Passenger تم استنساخ الممثل كريس بارت Chris Pratt رقميا كما يظهر في الشكل (15) عن طريق تصويره بـ93 كاميرا محيطه به 360 درجة في نفس الوقت. (Passengers | Photogrammetry, 2016)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

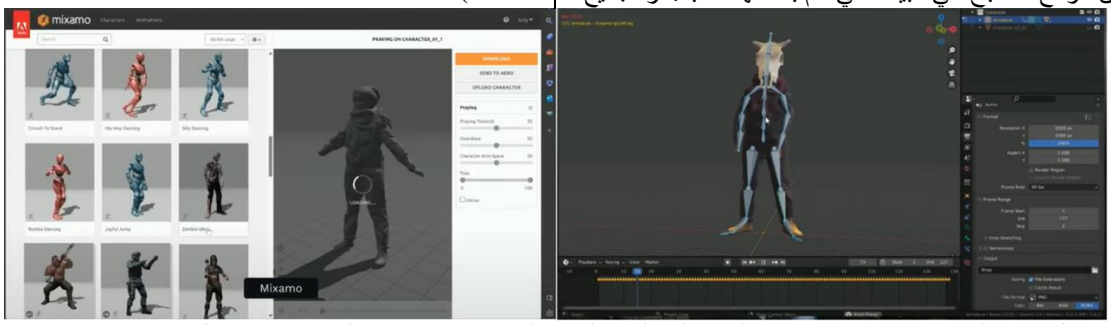
شكل (15) للممثل كريس برات اثناء تصويرة فوتوجرامتريا ونسخته الرقمية

فيلم Ghost in the Shell 2017. الذي تدور أحداثه في مدينه هونج كونج في المستقبل. في المشهد الافتتاحي يتم استعراض المدينة من اعلي اذ تطوف الكاميرا بين المباني مظهره مجسمات هولوجرامية متحركة كإعلانات على أسطح المباني. لتنفيذ هذه المجسمات المتحركة. تم التقاط مجسمات متحركة ثلاثية الابعاد للممثلين كما في الشكل (16) بتقنية الفوتوجرامتري ب 80 كاميرا في نفس الوقت. (How Ghost in the Shell Created Those Giant Holograms, 2017)

شكل (16) لعملية الحصول علي مجسم متحرك وصورته النهائية داخل بيئة الفيلم

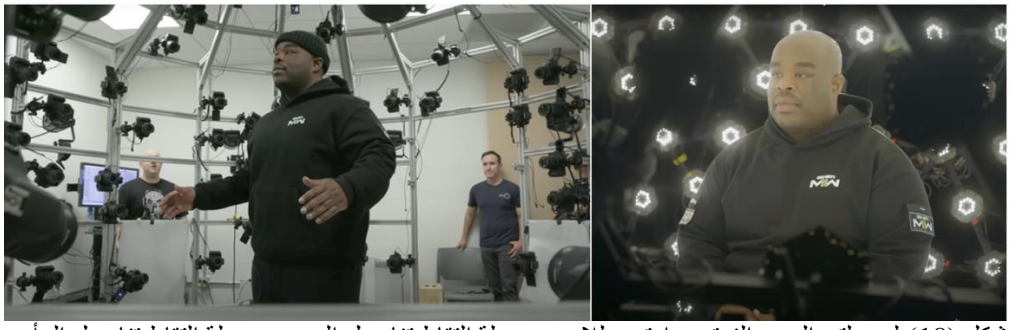
2-2 صناعه العاب الفيديو:

في صناعة الألعاب، غيّرت التقنية عملية تطوير الألعاب من خلال توفير وسيلة لمصممي الألعاب لإنشاء عوالم افتراضية مفصلة وواقعية للغاية. تسمح تقنية الفوتوجرامتري بإنشاء شخصيات ومناظر طبيعية وأدوات تعزز تجربة اللعب. مما يمكن اللاعبين من استكشاف بيئات مُصمَّمة بدقة تقارب الواقع. حيث يمكن نقل بيئة بالكامل من الواقع لتصبح هي البيئة التي تتم بداخلها اللعبة. او تجميع العناصر والملامس والاجسام المكونة لبيئة اللعبة لتصميم بيئة جديدة افتراضية. وبالنسبة للأشخاص يمكن استنساخ الأشخاص رقميا من الواقع ثم ادخل هذه المجسمات الي برامج تحريك الأشخاص مثل برنامج Mixamo وتحريكه بصورة طبيعية. كما يظهر في شكل (17).
(Photorealistic Environments and Photogrammetry, 2023)



شكل (17) لشخصية ثلاثية الابعاد تم الحصول عليها بالمسح الفوتوجرامتري وعملية تحريكها داخل برنامج Mixamo

العديد من الألعاب تعتمد بشكل كبير على استخدام تقنية الفوتوجرامتري منها كمثال سلسلة العاب EA SPORTS FIFA وسلسلة Assassin's Creed. استخدم مصممي لعبة Call of Duty تقنية الفوتوجرامتري بشكل موسع للحصول على نسخ رقمية لجميع أنواع الاجسام والعناصر المكونة للعبة بما في ذلك شخصيات اللاعبين. حيث تم انشاء العديد من الاستوديوهات المصممة للتصوير الفوتوجرامتري داخل الشركة المطورة Infinity Ward في كاليفورنيا. بعضها لتصوير الاجسام الثابتة مثل قطع الأسلحة والإكسسوارات والأخر للمسح الفوتوجرامتري للأشخاص كما يوضح شكل (18). اذ تضم غرفة تصوير الاشخاص 200 كاميرا فوتوغرافية عالية الدقة تحيط بشكل كروي يغطي منصة التصوير الفوتوجرامتري من 360 درجة. كما يتم التقاط مجسم فوتوجرامتري عالي الدقة منفصل للرأس حرصا علي ظهور كل التفاصيل بواقعية مبهرة . (How “Modern Warfare II” Became the Most Realistic “Call of Duty” Game, 2023). حيث ان استوديو التصوير الفوتوجرامتري المتعدد الكاميرات المتخصص في تصوير الاشخاص يوفر راحة أكبر للممثل الذي لا يحتاج إلى الثبات على وضع معين لفترة طويلة. كما أنه يمنع الأخطاء الناتجة عن ابسط الحركات المفاجئة للممثل مثل التنفس. (Statham Statham, N., Jacob, J., & Fridenfalk, M.2022)



شكل (18) لمرحلتي المسح الفوتوجرامتري للاعب مرحلة التقاط تفاصيل الجسم ومرحلة التقاط تفاصيل الرأس

كما استخدم مطورو اللعبة تقنية الفوتوجرامتري لتصوير جميع أنواع الأصول في اللعبة، بما في ذلك الإطارات، والسيارات المدمرة، والسجائر، والدبابات. تمت معالجتها بعد ذلك ببرامج الفوتوجرامتري لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد يمكن تعديلها بأي عدد من الطرق لتناسب احتياجات اللعبة. مثال علي ذلك قناع ghost's desert maskتم تصميمة أولا في الواقع ثم مسحة فوتوجرامتريا ومعالجة الصور والتعديل عليها وصولا للحصول على المجسم النهائي الذي يرتديه اللاعبين داخل اللعبة كما يوضح الشكل رقم (19). (How Is Photogrammetry Used in Video Games? – PhotoModeler,)

شكل (19) لعملية المسح الفوتوجرامتري لقناع Ghost's Desert Maskوكيفية ظهوره داخل اللعبة

لتطوير لعبة Microsoft Flight Simulator تم عمل مسح فوتوجرامتري لسطح الأرض للعديد من المدن باستخدام الأقمار الصناعية والطائرات. يتم تقسيم عمليه المسح الفوتوجرامتري الجوي الي ثلاث مراحل وهي تخطيط مسار الطائرة، عملية المسح الفوتوجرامتري. ثم اخيرا تحليل الصور ثنائية الأبعاد المتعددة وإعادة بناؤها لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد مفصلة للمناظر الطبيعية والتضاريس والمباني وغيرها من المعالم الجغرافية. (Kim, J., Jeon, K., Lee, J., & Lee, J., 2022). من خلال استخدام تقنية الفوتوجرامتري، حققت اللعبة مستوى لا مثيل له من الواقعية من خلال تمثيل دقيق للمدن والمعالم البارزة والمناظر الطبيعية كما يظهر في الشكل رقم (20) بنسبة 1:1 تمكن اللاعبين استكشاف والتفاعل مع عالم افتراضي واسع وواقعي بشكل لا يقل دقة عن الأرض الحقيقية. (How Microsoft Flight Simulator Recreated Our Entire Planet, 2020)

شكل (20) يظهر زاوية الرؤيا من داخل كبينة الطيار لمقاطعة كولومبيا الامريكية من الجو في لعبة Microsoft Flight Simulator

الخلاصة: Conclusion

بشكل عام، إن استخدام تقنية الفوتوجرامتري لخلق بيئات رقمية تحاكي الواقع في صناعات مثل الألعاب والأفلام يمثل قفزة هائلة في إنتاج المحتوى والسرد البصري. كما يظهر هذا البحث الأثر الجوهري لتقنية الفوتوجرامتري في تغيير طريقة تصميم البيئات الرقمية المحاكية للواقع. مما زاد بشكل كبير من واقعية وأصالة الاعمال الفنية. ان استخدام تقنية الفوتوجرامتري لخلق بيئات رقمية تحاكي الواقع في إنتاج الأفلام والألعاب لم يعزز من واقعية الصورة البصرية فقط، بل أيضًا قدم حلولًا فعّالة من حيث التكلفة لإنشاء محتوى مثير للاهتمام. من خلال الاستفادة من هذه التقنية، تمكن مصممي الألعاب وصناع الأفلام من إنشاء تجارب غامرة تمحو الحدود بين الواقع والعوالم الافتراضية.

المراجع: References

1- Frazer, B. (2021, July 29). The Future of Filmmaking: Cinematography in the Age of Photogrammetry. Frame.io Insider. https://blog.frame.io/2021/06/14/photogrammetry-future-of-filmmaking/
2- Atkinson, K. B. (2017, January 1). Close Range Photogrammetry and Machine Vision.
3- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2019, November 18). Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
4- Foster, S., & Halbstein, D. (2014, February 7). Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

ogrammetry-game-engines-and-geospatial-industry/
12- Montgomery, P. (2023, June 2). Photogrammetry For VFX: A Comprehensive Guide | Visualskies. Visualskies. https://visualskies.com/3d-scanning-for-film-and-tv/photogrammetry-for 13- Why “The Mandalorian” Uses Virtual Sets Over Green Screen. (2020, January 11). [Video]. Youtube . Retrieved December 29, 2023, from https://www.youtube.com/watch?v=Ufp8weYYDE8
13- Photorealistic Environments and Photogrammetry. (2023, October 27). [Video]. Youtube . Retrieved December 29, 2023, from https://www.youtube.com/watch?v=flb8RP8F8_E
14- Statham, N., Jacob, J., & Fridenfalk, M. (2022, March). Game environment art with modular architecture. Entertainment Computing, 41, 100476. https://doi.org/10.1016/j.entcom.2021.100476
15- Kim, J., Kim, J., Jeon, K., Lee, J., & Lee, J. (2022, April 28). Development and Validation of Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry Simulator for Shaded Area Detection. Applied Sciences, 12(9), 4454. https://doi.org/10.3390/app12094454
16- How Microsoft Flight Simulator Recreated Our Entire Planet. (2020, November 26). [Video]. Youtube . Retrieved December 29, 2023, from https://www.youtube.com/watch?v=0w7q1ZFfsxs
Design. Springer.
5- Mikhail, E. M., & Bethel, J. S. (2017). "Introduction to Modern Photogrammetry." John Wiley & Sons.
6- Photogrammetry Workflow using a DSLR Camera | Scholars’ Lab. (2019, September 24). Scholars’ Lab. https://scholarslab.lib.virginia.edu/blog/documentation-photogrammetry//
7- Poux, F. (2022, December 16). Ultimate Guide to 3D Reconstruction with Photogrammetry | Towards Data Science. Medium. https://towardsdatascience.com/the-ultimate-guide-to-3d-reconstruction-with-photogrammetry-56155516ddc4
8- How do I create a 3D model using photogrammetry? (2020, January 21). https://telsupport.brookes.ac.uk/articles/how-do-i-create-a-3d-model-using-photogrammetry/#:~:text=Shiny%2C%20Transparent%20or%20Textureless%20Objects,can%20be%20washed%20off%20later
9- Tips for taking pictures for good photogrammetry. (n.d.). https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/tsarticles/ts/52TspXEV098QBNNf1FQbkG.html
10- how video game rocks get made. (2021, September 7). [Video]. Youtube . Retrieved December 29, 2023, from https://www.youtube.com/watch?v=fFy-muKWmQ8
11- Photogrammetry, game-engines and the geospatial industry - Aerometrex. (n.d.). https://aerometrex.com.au/resources/blog/phot