أجهزة الادخال اللازمة لإنشاء البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد

أ.د. خـالـد محـمـد فـرجـون
أســـتاذ ورئيس قسم تكنولوجيا التعليم
بكلية التربية - جامعة حلوان

المجلة العلمية المحكمة للجمعية المصرية للكمبيوتر التعليمي

معرف البحث الرقمي DOI: 10.21608/EAEC.2020.31619.1022

المجلد الثامن - العدد (الثاني)- الطبعة الأولي
مسلسل العدد 16 - سبتمبر 2020

رقم الإيداع بدار الكتب 24388 لسنة 2019
ISSN-Print: 2682-2598 ISSN-Online: 2682-2601

موقع المجلة عبر بنك المعرفة المصري http://eaec.journals.ekb.eg
موقع الجمعية https://eaec-eg.com

العنوان البريدي: ص.ب 60 الأمين وروس 42311 بورسعيد – مصر

تاريخ الإرسال	2020-06-02 14:04:27
تاريخ القبول	2020-06-02 18:58:11
عرض المقال المنشور	المجلد 8، عدد 2 - 2020 https://eaec.journals.ekb.eg/article_94960.html

CC BY NC ND

أجهزة الادخال اللازمة لإنشاء البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد

أ.د. خـالـد محـمـد فـرجـون
أســـتاذ ورئيس قسم تكنولوجيا التعليم بكلية التربية - جامعة حلوان

المستخلص:

تهدف هذه الورقة لاستعراض أمثلة لأنواع أجهزة الإدخال المتاحة وكيفية استخدامها عند إنشاء البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد، والمقصد من ذلك؛ أن نبصّر مصممي البيئات الافتراضية التعليمية ثنائية الابعاد أو ربما ثلاثية الابعاد المعروضة عبر الشاشة ثنائية الابعاد، بأن الخروج عن حدود الشاشة التقليدية، سيثري البيئات التعليمية المدمجة، لما تحمله هذه التكنولوجيات من مثيرات مدمجة تجمع بين ما هو مرئي ومسموع وملموس، خاصة بعد تطويرها في الآونة الأخيرة وربطها بأنظمة الذكاء الاصطناعي وشبكات المعلومات.

ومن هذه الأنواع: أجهزة الإدخال التقليدية مثل لوحات المفاتيح والماوس ثنائي الابعاد وكرة التتبع والقلم وطاولات الأجهزة اللوحية اللمسية وعصيان التحكم وجهاز الادخال وفق درجات الحرية، وكذلك أجهزة الإدخال المكانية ثلاثية الابعاد ومنها تكنولوجيا الاستشعار للتتبع ثلاثي الابعاد والاستشعار المغناطيسي والميكانيكي والصوتي وبالقصور الذاتي والبصري والراداري وأجهزة الاستشعار الكهروبيولوجي والهجين.

الكلمات المفتاحية:

البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد، أجهزة الادخال المكانية ثلاثية الابعاد، تكنولوجيا الاستشعار للتتبع ثلاثي الابعاد، تكنولوجيا الاستشعار البيولوجي، الصوتي، البصري، الميكانيكي، بالقصور الذاتي، أجهزة الاستشعار الكهروبيولوجي والهجينة.

المقدمة:

رغم تعدد متطلبات انشاء البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد؛ إلا أن اختيار أجهزة الادخال المطلوبة لعملية الإنشاء؛ يعد عنصراً مهماً في عمليات التصميم والاستخدام والتطوير، باعتبار انها الوسيلة الأساسية للبناء، ولا شك أن اختيار مجموعة مناسبة من هذه الاجهزة، يتطلب دراية كاملة عن مواصفات المنتج النهائي، حتى يسمح للمستخدم بالتواصل بسهولة مع التطبيقات. فعلى سبيل المثال، قد تحتاج بيئات محددة إلى تتبع رأس المستخدم أو السماح له بالتفاعل مع عناصرها باستخدام صوته أو ايماءته، بل واحياناً حركة اطرافه، أو حركة عينيه، مما يستلزم مع ذلك وجود مواصفات وسعات محددة لهذه الاجهزة.

ولذا تهدف هذه الورقة لاستعراض أمثلة لأنواع أجهزة الإدخال المتاحة وكيفية استخدامها عند إنشاء البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد، والمقصد من ذلك؛ أن نبصّر مصممي البيئات الافتراضية التعليمية ثنائية الابعاد أو ربما ثلاثية الابعاد المعروضة عبر الشاشة ثنائية الابعاد،

بأن الخروج عن حدود الشاشة التقليدية، سيثري البيئات التعليمية المدمجة، لما تحمله هذه التكنولوجيات من مثيرات مدمجة تجمع بين ما هو مرئي ومسموع وملموس، خاصة بعد تطويرها في الآونة الأخيرة وربطها بأنظمة الذكاء الاصطناعي وشبكات المعلومات ، على أن يتم في كتابات لاحقة؛ الحديث عن باقي المتطلبات من برامج ومستلزمات الأخرى لازمة لتصميم البيئات الافتراضية الذكية ثلاثية الابعاد.

وبطبيعة الحال، فإن هذه الأجهزة تتطلب جهاز كمبيوتر ذات مواصفات عالية لتوليد المعلومات، علاوة على أجهزة اخراج ونمزجه وأخرى لأخذ العينات، بحيث تقوم هذه الأجهزة بترجمة هذه المعلومات إلى شكل إنساني ملموس.

لذلك، يمكننا أن نفكر قبل استخدام هذه الأجهزة في اختيار أنسب أجهزة للإخراج – والتي سيولي شرحها بالتفصل في مكان اخر، ومنها الشاشات ذات العرض ثلاثي الابعاد المسئولة عن توليد المحتوى وفق هذه الأجهزة المادية الموجودة، وعموما هناك عدد من الخصائص الهامة عند اختيار أجهزة العرض المرئي للبيئات الافتراضية ثلاثية الأبعاد يجب مراعاتها وهي: مجال النظر ومجال الرؤية المكاني field of regard and field of view ، والمواصفات الخاصة بالنقاط الضوئية للشاشة spatial resolution، وهندسة الشاشة screen geometry، آلية نقل الضوء light transfer mechanism، ومعدل التنشيط Refresh rete، وبيئة العمل ergonomics، وتأثير عمق التلميحات effect on depth cues، علاوة على عدد من الخصائص الأخرى مثل السطوع brightness والتباين اللون color contrast، وتصحيح الجاما gamma correction.

بالإضافة الى ما سبق من مواصفات فإن هناك أنواع متعددة من أنواع أجهزة جهاز العرض المرئي Visual Display Device Types يتوقف اختيار إحداها أو عدد منها بناء على متطلبات البيئة الافتراضية ومن هذه الانواع ما يلي:

- العرض من خلال شاشة واحدة single-screen displays
- الشاشة المحيطية والعروض متعددة الشاشات surround-screen and multiscreen displays
- منضدة العمل وشاشات منضادية workbenches and tabletop displays
- العروض المحمولة على الراس head-worn displays
- العروض ذات الاسطح الكيفية arbitrary surface displays
- العروض ذات الاسطح الاتوماتيكية المجسمة autostereoscopic displays

علاوة على عدد من أجهزة الإخراج السمعية المسماة بالعروض السمعية، والتي تمثل جانب مهم آخر من تقديم المعلومات الحسية للمستخدم، والتي يقصد بها؛ تلك العروض المسئولة

عن توليد وعرض الصوت ثلاثي الابعاد في المكان spatialized 3D sound ، مما يتيح للمستخدم ؛ الاستفادة من قدرات التمركز السمعي Localization لتحديد الموقع والاتجاه الذي ينبعث منه الصوت .(Sherman and Craig, 2003) مما يوفر مميزات هامة في التطبيقات ثلاثية الابعاد.

واستكمالا لمكونات البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد هناك نوع اخر يعد طفرة في تطوير هذه البيئات وهي أجهزة الإخراج اللمسية والمسماة بأجهزة العرض المسي ، والذي سبق تخصيص ورقة بحثية له من قبل الباحث (خالد فرجون، 2017) حيث يهتم هذا الجانب بشعور المستخدم عند لمس الأشياء داخل البيئة الافتراضية واستقبال الحس العميق من خلال محاكاة التفاعل المادي بين الكائنات الافتراضية والمستخدم، لما يحمله هذا العرض اللمسي للعديد من الخصائص المختلفة التي تؤثر على استخدام أجهزة اللمس في واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد منها الأكثر شيوعا؛ الابعاد الادراكية perceptual dimensions والنقاط الضوئية Resolution وبيئة العمل Ergonomics.

وفيما يلي شرح مفصل لأنواع أجهزة الادخال المستخدمة في انشاء البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد

أولا: أجهزة الإدخال *التقليدية* Traditional Input Devices

هناك العديد من أجهزة الإدخال التي يتم استخدامها في سطح المكتب في البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد، وقد استخدمت العديد من هذه الأجهزة وقد صممت لتطبيقات سطح المكتب ثنائي الابعاد التقليدية مثل معالجة النصوص وجداول البيانات والرسم. ومع ذلك، مع تعديلات معينة، يمكن لهذه الأجهزة أيضا أن تعمل بشكل جيد في البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد وكذلك في التطبيقات ثلاثية الابعاد مثل النمذجة وألعاب الكمبيوتر. وبطبيعة الحال، فإن معظم هذه الأجهزة يمكن أن تستخدم أيضا في أكثر نمط للواجهات ثلاثية الابعاد والتي قد تستخدم شاشات العرض المحيطي أو القبعات على الراس HWDs ، وعلى الرغم من أن البعض سيكون أكثر ملاءمة من غيرها، ولذا سنستعرض في البداية أجهزة الادخال التقليدية، مثل لوحات المفاتيح keyboards ، والماوس ثنائي الابعاد2D ، وكرة الحركة trackballs والقلم والقرص القائم على اللمس pen- and touch-based tablets ، وأجهزة الادخال على سطح المكتب ذات الأوجه الستة desktop 6-DOF input devices . وبشكل عام، فإن أجهزة الاستشعار يجب أن تكون نشطة لأن المستخدم يجب أن يعالجها فعليًا لتوفير المعلومات اللازمة للتطبيق ثلاثي الأبعاد.

1- لوحات المفاتيح Keyboards

لوحة المفاتيح هو مثال كلاسيكي لجهاز استشعار سطح المكتب المعروف بالاستشعار النشط التقليدي الذي يحتوي على مجموعة من المكونات المنفصلة (أزرار) وهي تستخدم عادة في العديد من تطبيقات سطح المكتب ثلاثية الابعاد من النمذجة إلى ألعاب الكمبيوتر، فعلى سبيل المثال،

غالبا ما تستخدم مفاتيح الأسهم كمدخلات لتقنيات التنقل البسيطة في أول شخص مطلق النار في ألعاب الكمبيوتر، ومغامرات الواقع الافتراضي أو الواقع المعزز المحمول، ومع ذلك فإنها ليست عملية؛ نظرا لحجمها والحاجة إلى سطح لدعمها ، وفي حالة البيئات ثلاثية الابعاد فإن الإبحار يصعب تحقيقه إلا إذا ارتدى المستخدمين قبعة الراس HWDs ، حيث يتم الغوص في العالم الافتراضي، مما يجعل لوحة المفاتيح التقليدية تحديا للعمل، ومع ذلك، عند استخدام بعض العروض أقل غامر، مثل الشاشة الواحدة ، يمكن للمستخدمين الاستفادة احياناً من لوحات المفاتيح التقليدية.

ولأن إدخال أحرف أبجدية رقمية مهم في العديد من التطبيقات ثلاثية الأبعاد التي تستخدم قبعة الراس HWDs وشاشات العرض المحيطي، فإن هناك حاجة إلى أجهزة أقل تقليدية في هذه البيئات، ومنذ تطوير لوحة المفاتيح القياسية، كانت هناك مجموعة متنوعة من تخطيطات لوحة المفاتيح المختلفة والتصاميم لجعلها أسهل إدخال للمعلومات الابجدية الرقمية، خاصة عندما تكون لوحات المفاتيح التقليدية ليست مناسبة، (MacKenzie and Tanaka-Ishii , 2007).

ولعل أسهل طريقة لجلب لوحة المفاتيح إلى واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد هو تصغيرها حتى يمكن حملها أو ارتدائها، وتتميز هذه التقنية أيضا بإمكانية الاحتفاظ بتخطيط كويرتي المألوف QWERTY layout بحيث يضطر المستخدمون إلى إعادة تحديد مواقع المفاتيح لصغر حجمها، الشكل (1) ، لذلك يجب على المستخدمين الكتابة بواحد أو اثنين من أصابعه.

الشكل (1) مثال على لوحة مفاتيح مصغرة

وهناك طريقة ثانية لجعل لوحة المفاتيح صغيرة بما يكفي ليتم عقدها في يد واحدة وذلك للحد من عدد المفاتيح المادية ، على سبيل المثال، لوحات المفاتيح على بعض الهواتف المحمولة يمكن بسهولة استخدامها بيد واحدة عن طريق الضغط على 12 إلى 15 مفتاح مع الإبهام، لأن الهواتف المحمولة اليوم تحتوي على الكثير من الميزات التي تتطلب إدخال النص (على سبيل المثال، إدخال الأسماء في قائمة الأسماء)، وقد وضعت العديد من آليات المدخلات الرمزية مختلفة بالنسبة لهم، وبعضها يمكن تطبيقها في وجهات المستخدم ثلاثية الابعاد ، وتستخدم تقنية إدخال

النص المستندة إلى الهاتف التنسيق القياسي للحروف على لوحة مفاتيح الهاتف الرقمية و يوضح الشكل (2) لوحة مفاتيح chord والمتوفرة تجاريا (Twiddler2) التي تحتوي على 12 مفتاحا وتتطلب عدم الضغط على أكثر من مفتاحين في وقت واحد لإنتاج أي حرف أو رقم أو رمز ترقيم قياسي .

الشكل (2) لوحة مفاتيح chord keyboard ذات 12 مفتاح

كما تتوفر لوحة مفاتيح عبارة عن جهاز لوحة المفاتيح الافتراضية الجديد المسمى باللوحة الحساسة Sense-board (الشكل 3).

ومن الواضح أن لوحة مفاتيح يمكن أن توجد تقريبا على أي سطح، ويمكن للمستخدمين الكتابة مع كل الأصابع العشرة على لوحة المفاتيح الافتراضية. ويتم ذلك عن طريق استخدام أجهزة استشعار العضلات لتحديد حركة الإصبع. ويلاحظ أن لوحات المفاتيح الافتراضية تتوفر معها قلم للتفاعل أو إصبع واحد.

الشكل (3) نموذج للوحة المفاتيح الافتراضية Senseboard virtual keyboard prototype

2-الماوس ثنائي الابعاد وكرة التتبع 2D Mice and Trackballs

يعد الماوس ثنائي الأبعاد وكرة التتبع من الامثلة الكلاسيكية من أجهزة الإدخال والاستشعار النشط التقليدية والأكثر شعبية من نظام ويندوز، لإمكانية التفاعل مع الأيقونات، والقوائم، والمؤشرات وواجهة ويندوز.

ويعتبر الماوس أحد الأجهزة الأكثر استخداماً على نطاق واسع في مهام الإدخال ثنائي الابعاد التقليدية، علاوة على ذلك تأتي كرة التتبع وهي في الأساس شبيه الماوس في اغلب مهامها، إلا انها بدلا من نقل الجهاز كله لتحريك المؤشر، فتقوم الكرة بالتلاعب لتدوير جزءا لا يتجزأ من الجهاز، وواحدة من مزايا كرة التتبع هي أنها لا تحتاج للعمل على سطح ثنائي الابعاد ، مما يعني أنها يمكن أن تتحرك في يد المستخدم لتعمل بشكل صحيح، وبغض النظر عن التصميم المادي للفأرة أو كرة التتبع، فتعد هذه الأجهزة اثنين من الاجهزة الأساسية ، فالأول هو محدد للبعد ثنائي الابعاد لتحديد مواقع المؤشر لتنسيق القيم بالبكسل وتوليد البعد الثنائي ، والثاني هو من المكونات المنفصلة (عادة واحد إلى ثلاثة أزرار)، والماوس وكرة التتبع هي الأجهزة النسبية التي تبلغ مدى تحركها، بدلا من العمل في مساحة ثابتة ، كما هو الحال مع لوحات المفاتيح، فهي تستخدم عادة في العديد من التطبيقات المختلفة ذات النوعية ثلاثية الابعاد ، كما انها توفر العديد من الخيارات المختلفة لتخطيط تقنية التفاعل داخل المهمة المطلوبة، فعلى سبيل المثال، غالبا ما يتم دمج الماوس والكرة مع لوحات المفاتيح في ألعاب الكمبيوتر ليصبح الإبحار أكثر تفصيلاً ، كما يمكن أن تستخدم لوحة المفاتيح للتحويل، في حين يتم استخدام الماوس أو كرة التتبع لتدوير الكاميرا بحيث يمكن للمستخدم رؤية بيئته في هيئة ثلاثية الابعاد (على سبيل المثال، كالبحث، والنظر إلى أسفل، والاستدارة حول موضوع معين) Joseph J. LaViola & (Doug A. Bowman ,2017).

الشكل (4) مثال لجهاز كرة يد محمول باليد يمكن استخدامه في البيئات ثلاثية الأبعاد للبيئات المعززة والمحمولة والغامرة.

المواس وكرة التتبع لديهم نفس المشكلة مثل لوحة المفاتيح في أنها ليست مصممة ليتم استخدامها في بيئات ثلاثية الابعاد أو بيئات الواقع المعزز المتنقل ، لأن الماوس يحتاج إلى أن يوضع على سطح مسطح ومدعم من أجل تحديد المواقع لعمله بشكل صحيح، ولذا من الصعب استخدامه مع هذه الشاشات، ونظرا لأن كرة التتبع يمكن أن تستخدم في يد واحدة (الشكل4)، فإن استخدامها في بيئات غامرة ثلاثية الأبعاد، متحركة، وبيئات معززة مقبول، كما تم دمجها بنجاح في واجهة ثلاثية الأبعاد باستخدام شاشة عرض العمل ومع ذلك، في معظم الحالات، يستخدم الماوس ثلاثي الابعاد في هذه الأنواع من الواجهات ثلاثية الابعاد لأنها تتطلب توفر إمكانات جهاز DOF.

3- القلم- وطاولات الأجهزة اللوحية اللمسية Pen- and Touch-Based Tablets

القلم وطاولات الأجهزة اللوحية اللمسية (الشكل 5) والهواتف الذكية المحمولة يمكن أن تولد نفس أنواع المدخلات التي قوم بها الماوس، ولكن بشكل مختلف، إذا أن هذه الأجهزة لديها عنصر مستمر (لتحديد المواقع ثنائي الابعاد) للسيطرة على المؤشر وتوليد تنسيق للقيم ثنائي الابعاد بالبكسل.

ويمكن توليد هذه القيم بعدة طرق، اعتمادا على جهاز معين، حيث يمكن للقلم التحرك أو الحوم فوق سطح الكمبيوتر اللوحي لتوليد تنسيق القيم، ولمس سطح الشاشة ويمكن أيضا اتاحة التنسيق للمعلومات ثنائية الابعاد، بالإضافة إلى ذلك، فإن القلم أو الكمبيوتر اللوحي نفسه يمكن أن يكون أزرار مختلفة لتوليد أحداث منفصلة، وعلى النقيض من الماوسات، والقلم- والأجهزة التي تعمل باللمس كالأجهزة المطلقة، فكلها أجهزة تعمل في إطار مرجعي ثابت من على سطح الكمبيوتر اللوحي.

الشكل (5) قرص كبير ومسطح يتيح للمستخدم الرسم مباشرة على الشاشة

علاوة على ما سبق فإن أجهزة الكمبيوتر اللوحية التي تعمل باللمس من خلال القلم واللمسات اللاصقة ليست مناسبة لمعظم عرض الفيديو المرئي ، والجوال، والبيئات المعززة بسبب وزنها، ومع ذلك، تم دمج أقراص أصغر للهواتف الذكية والمساعدين الرقمية الشخصية في الماضي بنجاح في واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد في البيئات الغامرة وكذلك في إعدادات الهاتف النقال ، ويمكن استخدام أقراص أكبر حجماً على أساس القلم في تطبيقات ثلاثية الأبعاد حيث يجلس المستخدم عبر شاشات عرض سطح المكتب ثلاثية الأبعاد، وعلى منضدة العمل وشاشات نصف الكروية الصغيرة ، وهذه الأنواع من الأجهزة منتشرة في كل من سطح المكتب ثلاثية الابعاد وتطبيقات الواقع الافتراضي الغامرة ، لأنها تعطي للمستخدم القدرة على التفاعل مع "القلم والورق" كما تسمح للمستخدم لجلب تقنيات التفاعل ثنائي الابعاد مثل الكتابة اليدوية والقائمة.

4- عصيان التحكم Joysticks

عصيان التحكم هي مثال آخر من أجهزة الإدخال المستخدمة تقليديا على سطح المكتب وفي ألعاب الفيديو ومع تاريخ طويل مثل الأجهزة الطرفية إدخال الكمبيوتر، وهذه الأجهزة تشبه الماوس والأقراص القائمة على القلم في أنها تستخدم الاستشعار النشط ولها مزيج محدد ثنائي الابعاد، وتحتوي على مجموعة من المكونات المنفصلة مثل أزرار ومفاتيح أخرى، ومع ذلك، هناك فرق مهم بين الماوس وعصا التحكم والماوس، حيث يتوقف المؤشر عن التحرك بمجرد توقف الماوس عن الحركة، بينما مع عصا التحكم، يستمر توجه المؤشر عادة في التحرك في اتجاه عصا التوجيه، ولإيقاف المؤشر، يجب إرجاع مقبض عصا التحكم إلى الوضع المحايد ، ويسمى هذا النوع من عصا التحكم عادة عصا التحكم متساوي التوترisotonic joystick ، ويسمى بمعدل التحكم (أي وضع الجهاز يتم تعيينها إلى سرعة المؤشر، بدلا من السيطرة على الموقف، الذي يتم تعيين موقف الجهاز إلى موقف المؤشر)، والعديد من أنظمة ألعاب الفيديو في وحدة التحكم تستفيد من تصاميم عصا التحكم المختلفة (التناظرية والرقمية) في وحدات تحكم اللعبة (الشكل 6)، وعصا التحكم يمكن أيضا أن تزداد مع المحركات اللمسية، مما يجعلها تتناول الجانب اللمسي أيضا .

الشكل (6) تطورت أدوات التحكم البسيطة إلى وحدات تحكم لعبة متطورة

كما تم تصميم عصيان التحكم Isometric joysticks بشكل متساوي للقياس وبشكل ملموس ويختلف إنتاجها مع القوة التي يطبقها المستخدم على الجهاز، ويتم الضغط على جهاز متساوي القياس لتحقيق اهدافها، في حين يتم الاستدارة والتناوب للتساوي في القياس، وهناك مشكلة مع هذه الأجهزة هو أن المستخدمين قد تتعب بسرعة من الضغط المستمر احيانا من أجل تطبيق أداء معين عند الاستخدام ومثال على ذلك الجهاز في (الشكل7).

الشكل (7) جهاز إدخال ثلاثي الأبعاد متساوي القياس

وقد استخدمت عصا التحكم وأجهزة الإدخال في ألعاب الكمبيوتر لسنوات عديدة، وغالبا ما تستخدم في القيادة والألعاب محاكاة الطيران ، وعند دمجها في وحدات تحكم اللعبة ، فهي جهاز الإدخال في الاختيار مع أنظمة لعبة فيديو وحدة التحكم ، بالإضافة إلى ذلك، أنها تستخدم في بعض الأحيان في تطبيقات CAD/CAM، وتم تصميم عصا التحكم في حد ذاتها في المقام الأول لأنظمة ألعاب الفيديو المكتبية وأجهزة التحكم ، ومع ذلك، عند دمجها كجزء من وحدات تحكم اللعبة ، فإنها يمكن أن تستخدم في الواجهات ثلاثية الابعاد لدعم عدة أنواع من الواجهات ثلاثية الابعاد، على سبيل المثال، إثنين من عصا التحكم التناظرية في الشكل (6) يمكن استخدامها لترجمة رؤية المستخدم وتدويرها بطريقة مشابهة لاستخدام لوحة المفاتيح والماوس، ومع ذلك، فإن هذه الوحدات تحكم اللعبة التقليدية في كثير من الأحيان لتتبع (الموقف والتوجه)، والحد من فائدتها في واجهات المكان ثلاثي الابعاد 3D وفي الواقع الافتراضي والمعزز والبيئات المتنقلة mobile environments.

5- جهاز الادخال 6-DOF Input Devices

يعني مصطلح degrees of freedom (DOF) درجات الحرية أي عدد الأبعاد المستقلة لحركة الجسم في البيئة الافتراضية ثلاثية الابعاد، حيث يمكن بسهولة استخدام جهاز DOF لوصف

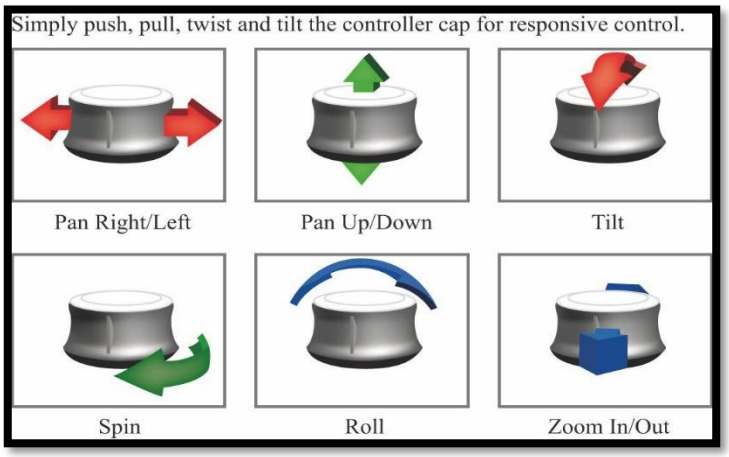
إمكانيات الإدخال التي توفرها أجهزة الإدخال، وحركة الكائن المفصلي المعقد مثل الذراع واليد البشرية، أو الحركات المحتملة للجسم الافتراضي.

ويعد جهاز (DOF) من أفضل اجهزة الادخال في البيئات ثلاثية الابعاد، حيث يوفر درجات عالية من الحرية تتيح تحريك الجسم في الفضاء بسهولة ويسر، إذ يتحدد دوره في التعقب والالتقاط.

وهناك ثلاثة احداثيات للموقف الافتراضي تتحرك فيها جهاز (DOF) وهي الإحداثيات (x, y, z) وكذلك ثلاثة قيم للتوجه (yaw, pitch, roll) ، وعموما ، فإن الجهاز يعطي مؤشرا على مدى سعته والقوة لديه في استيعاب تقنيات التفاعل المختلفة .

وقد اشتقت فكرة هذا الجهاز من عصا التحكم، كما يعتمد في استخدامه على القوى المتساوية القياس لجمع الموقف وجمع بيانات التوجيه ثلاثية الابعاد لذا يعد أفضل جهاز للاستخدام. والشكل (8) يوضح مثالا لجهاز الإدخال 6-DOF الذي تم تطويره خصيصا للتفاعل ثلاثي الأبعاد على سطح المكتب. حيث يوضح الضغط والدفع والسحب الطفيف من الأصابع على غطاء الجهاز ليولد انحرافات صغيرة في X ، Y ، و Z ، الذي يحرك الكائنات بشكل حيوي في تلك المحاور الثلاثة . ومع الالتواء الطفيف وإمالة من الغطاء، يتم إنشاء الانحناءات والتناوبات على طول المحاور الثلاثة. ويبين الشكل (9) كيف يتم التلاعب من خلال هذا الجهاز للحصول على موقف ومعلومات التوجيه ثلاثية الابعاد (Joseph J. LaViola & Doug A. Bowman ,2017).

الشكل (8) جهاز 6-DOF الذي يلتقط بيانات موقع واتجاهات الاجسام ثلاثية الأبعاد ه.



الشكل (9) مثال للتفاعلات التي يحدثها جهاز 6-DOF في الفراغ ثلاثي الابعاد

على عكس بعض الأجهزة الأخرى السابق الحديث عنها، والتي تم تصميمها لتفاعل سطح المكتب ثنائي الابعاد والتي يمكن استخدامها في واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد ، قد تم تصميم هذا الجهاز للتفاعل ثلاثي الابعاد ، ولكن فقط عند إعداد الحوسبة المكتبية ، علما بأن جهاز 6-DOF صمم أصلا للتلاعب بالتحكم من بعد tele robotic في الاجسام داخل الفراغ ثلاثي الابعاد، كما انه يستخدم اليوم من قبل المصممين في البيئات ثلاثية الابعاد مع CAD/CAM وكذلك تطبيقات الرسوم المتحركة animation applications، وأنه لا يحل محل الماوس، ولكن يتم استخدامه جنبا إلى جنب معا، للتحكم في حركة الكائنات في الفضاء ثلاثي الابعاد، في حين أن الماوس يمكن استخدامه في ذات الوقت لتحديد عناصر القائمة وتحرير الكائن، ونادرا ما تستخدم هذه الاجهزة في بيئات أكثر غمرة لأنها تعمل بشكل أفضل عندما ترتكز ولا تحمل في يد المستخدم.

ثانيا: أجهزة الإدخال المكانية ثلاثية الابعاد 3D Spatial Input Devices

قبل الحديث عن أنواع أجهزة الادخال المكانية ثلاثية الابعاد ؛ يجب الإشارة الى أن هناك طريقة أخرى لتوصيف أجهزة الإدخال وهي نوع الإدخال وتواتر البيانات التي تولدها، حيث يمكن أن يكون تردد بيانات جهاز الإدخال إما منفصلا أو متواصلا أو مزيجاً من الاثنين، وتقوم أجهزة الإدخال المنفصلة عادة بإنشاء قيمة بيانات واحدة (على سبيل المثال، قيمة منطقية أو عنصر من مجموعة) استنادا إلى إجراء المستخدم، وغالبا ما تستخدم لتغيير الوسائط داخل التطبيق، مثل تغيير وضع الرسم في برنامج النمذجة ثلاثية الابعاد، أو للإشارة إلى مستخدم يريد البدء في تنفيذ إجراء، مثل تمثيل أسلوب الإبحار.

وتولد أجهزة الإدخال المتواصل قيم بيانات متعددة (مثل الأرقام الحقيقية القيمة وإحداثيات النقاط الضوئية Pixel وما إلى ذلك) وذلك استجابة لعمل المستخدم، وفي كثير من الحالات، بغض النظر عما يقوم به المستخدم (مثال أنظمة التتبع وقفازات الاستشعار عن الانحناء)، وفي العديد من الحالات، تتكون أجهزة الإدخال من مكونات بيانات منفصلة ومتواصلة (على سبيل المثال،

وحدات تحكم حركة اللعبة التي يتم تتبعها في الفضاء مقترنة بأزرار متعددة)، مما يوفر مجموعة أكبر من ادوار تقنية الجهاز في التفاعل.

ويمكن أيضا وصف أجهزة الإدخال استنادا إلى أنواع أجهزة الاستشعار المصاحبة لهذه الأجهزة والتي تستخدم لالتقاط البيانات، فعلى سبيل المثال، أجهزة الاستشعار النشطة active sensors التي تتطلب من المستخدم ارتداء جارب أو التلاعب بالجهاز لإنشاء بيانات مفيدة، وبعبارة أخرى، فإن تلك الاجهزة لن توفر أي معلومات مفيدة إلى الكمبيوتر ما لم تتم عبر أجهزة الاستشعار للتلاعب بها بطريقة ما، وخلاف ذلك، فالجهاز يظل دون دور يذكر.
ولذا فأجهزة الإدخال المتكاملة مع أجهزة الاستشعار النشطة يمكن أن تولد على حد سواء بيانات منفصلة (على سبيل المثال، أزرار) وبيانات مستمرة (على سبيل المثال، التسارع والسرعة)، وعلى سبيل المثال، شبيه بالكرة الموجودة في الماوس trackballs ، وأدوات الانزلاق sliders ، وأوامر الطلب dials وهي أمثلة لأجهزة الإدخال المتكاملة مع أجهزة الاستشعار النشطة التي تتوفر للمستخدم حتى يتسنى له المعالجة لإنشاء تسلسل للبيانات المستمرة في نطاق معين لتحقيق اهداف محددة ، وفي مثال آخر، يمكن توفير أداة للتحكم في حركة ألعاب الفيديو بأزرار مستشعره نشطة وأجهزة استشعار تسارع لتوليد بيانات منفصلة لإصدار الأوامر (عندما يضغط المستخدم على الأزرار المناسبة) والبيانات المستمرة لتتبع حركة المستخدم (يتم إنشاء هذه البيانات تلقائيا عندما يتصل المستخدم بالجهاز).

ولا تتطلب أجهزة الإدخال التي تستعمل أجهزة الاستشعار السلبية passive sensors من المستخدم أن يحمل أو يرتدي أي أجهزة إدخال لتوليد بيانات مفيدة، حيث يتم فصل هذه الأنواع من الأجهزة من المستخدم وعادة ما توضع في موقع استراتيجي في البيئة المادية بحيث يمكن للمستخدم التفاعل مع التطبيق ثلاثي الابعاد بشكل غير مزعج.

والمثال الكلاسيكي لجهاز الإدخال الذي يستخدم أجهزة الاستشعار السلبية هو كاميرا الفيديو، إذ يلاحظ أنه يمكن وضع كاميرا فيديو على المستخدم كجزء من جهاز الإدخال، ولكن هذا من شأنه أن يجعله مستشعرا نشطا وفعالا لأن المستخدم سيحتاج إلى ارتداء / معالجة الجهاز، والفرق الرئيسي بين أجهزة الاستشعار النشطة والسلبية هو مستوى التلاعب المطلوب لتوليد بيانات مفيدة منها، ومع أجهزة الاستشعار النشطة، يتطلب الامر التلاعب، بينما مع أجهزة الاستشعار السلبية، ليس هناك حاجة للتلاعب بواسطة الجهاز.

في نطاق أجهزة الإدخال المكاني ثلاثية الابعاد ، كثيرا ما يطلب الرصد المستمر لحركات المستخدم مع الأجهزة المستندة إلى أجهزة الاستشعار النشط والسلبي (Sherman and Craig, 2003) ، فعلى سبيل المثال، فأن تعقب الجهاز سوف يحقق باستمرار إخراج الموقف، والتوجه، وبمعلومات الحركة حول تشكل المستخدم بحيث يمكن نقلها إلى التطبيق ثلاثي الابعاد ، ولا شك ان هذه الأجهزة مفيدة عند التعرف على مكان شيء في الفضاء ، وهذا ما نسعى الى تحقيقه، وهناك مثال لهذا وهو تتبع الرأس، وهو شرط لعرض الصوت ثلاثي الابعاد ومشاهدة نشاط الحركة المشاهد في شاشات العرض البصرية. ومع رصد هذه الأجهزة، غالبا ما تحتاج إلى تقسيم

البيانات إلى تسلسل متميز، وتستخدم هذه التتابعات عادة في التعرف على الإيماءات ثلاثية الأبعاد (LaViola, 2013). ومع الأجهزة المستندة إلى أجهزة الاستشعار النشطة، غالبا ما يتم تجزئة البيانات يدويا، فعلى سبيل المثال، يقوم المستخدم؛ بالضغط على زر في وحدة تحكم حركة اللعبة ليعرف التطبيق ثلاثي الابعاد بالبدء والايقاف لمراقبة بيانات جزء معين، ومع ذلك فالتحدي الاكبر، مع أجهزة الإدخال المستندة إلى أجهزة الاستشعار السلبي، والتطبيق ثلاثي الابعاد نفسه عادة لتحديد متى يبدأ جزء بيانات محددة ومتى ينتهي.

وأخيرا، يمكن تصنيف أجهزة الإدخال حسب الاستخدام المقصود، فعلى سبيل المثال، يتم تصميم بعض الأجهزة لتحديد موقع ومعلومات التوجيه على وجه التحديد، في حين تم تصميم البعض الآخر لإنتاج قيمة عدد حقيقي أو للإشارة إلى عنصر معين من مجموعة خيارات. وتشمل خصائص جهاز الإدخال الأخرى ما إذا كان الجهاز يقيس نسبياً (أي الفرق بين القياس الحالي والسابق) أو القيم المطلقة (أي القياسات القائمة على نقطة مرجعية ثابتة)، أو يسمح بمراقبة الموقع أو المعدل.

ولذا في العديد من التطبيقات ثلاثية الأبعاد، من المهم لواجهة المستخدم أن تتوفر معلومات حول المستخدم أو موقف الكائن المادي ، أو التوجه، أو الحركة في الفضاء ثلاثي الابعاد، فعلى سبيل المثال، قد يحتاج التطبيق إلى موقف رأس المستخدم واتجاهه بحيث يمكن تضمين المنظر الكامل للحركة وإشارات العمق المجسمة في التطبيق، بيئة افتراضية أخرى قد تتطلب معلومات حول الانحناء من أصابع المستخدم بحيث يمكن تقديم اليد الافتراضية المقابلة ليد المستخدم الحقيقية ، وفي معظم الحالات، نحن نريد هذه المعلومات المرسلة إلى التطبيق ثلاثي الابعاد تلقائيا دون وجود المستخدم للإشارة إلى نظام الكمبيوتر لجمعها، وستدعم هذه المعلومات الأساسية مهام مثل تقديم الوقت الحقيقي مع المنظور الصحيح أو فهم مستمر لموقع يد المستخدم أو موقف الجسم (Joseph J. LaViola & Doug A. Bowman ,2017).

ويمكننا تصنيف هذه الأجهزة على أساس ما إذا كانت قائمة على الاستخدام بالاستشعار النشط (أي اليد المحمولة أو المختفية) أو الاستخدام بالاستشعار السلبي.

1- تكنولوجيا الاستشعار للتتبع ثلاثي الابعاد Sensing Technologies for 3D Tracking

واحدة من أهم جوانب التفاعل ثلاثي الابعاد هو توفير فهم جيد لموقف المستخدم، والتوجه، و / أو الحركة للحفاظ على المراسلات المناسبة بين المحتوى البدني والافتراضي، ونتيجة لذلك، فوجود تتبع دقيق هو جزء حاسم من جعل تقنيات التفاعل صالحة للاستعمال ضمن التطبيقات ثلاثية الابعاد. ولذا، فان القدرة على تتبع وفهم موقع المستخدم في الفضاء ثلاثي الابعاد أمر أساسي لكثير من تقنيات التفاعل، وتشمل الخصائص الضرورية للمتتبعين لتكنولوجيا الاستشعار المستخدمة، ومداها، والكمون (التأخير بين وقت حدوث الحركة ومتى يتم الإبلاغ عنها)، والارتعاش (الضوضاء أو عدم الاستقرار)، والدقة حاليا، وهناك عدد من اساليب

الاستشعار المختلفة في الاستخدام، وتمثل هذه الاساليب؛ التكنولوجيات الرئيسية المستخدمة في أنظمة التعقب للعثور على المستخدم وكيفية تحديد الموقف والتوجه وهي:

- **الاستشعار المغناطيسي Magnetic Sensing**

يستخدم الاستشعار المغناطيسي جهاز إرسال transmitting device ينبعث من حقل مغنطيسي منخفض التردد low-frequency magnetic field . وجهاز استشعار صغير دوره تلقي الاشارات، بحيث يحدد موقفها والتوجه بالنسبة إلى هذا المصدر المغناطيسي.

وتختلف مجموعة أجهزة الاستشعار، ولكنها تعمل عادة داخل دائرة نصف قطرها من 120 إلى 900سم و الشكل (6) مثالا على نظام التتبع المغناطيسي ، ويبين الشكل عدة أحجام مختلفة للمصدر المغناطيسي ، وكل منهم يدعم نطاقات مختلفة، أصغر مصدر للإرسال المغناطيسي ، أصغر نطاق مقبول من نظام تتبع ، وعلى سبيل المثال، أصغر جهاز إرسال مصدر مغناطيسي، وفي الشكل (10) لديها مجموعة تصل إلى 130 سم ، في حين أن المحيط الكبير لديها مجموعة تصل إلى 450 سم ، ومن الواضح أن نظاما ذا نطاق 130 سم لا يكون ملائما لبيئات العرض الكبيرة مثل شاشات العرض المرئية المحيطيsurround-screen visual displays أو HWDs حيث يحتاج المستخدم إلى مساحة كبيرة للتجول.

الشكل (10) جهاز استشعار مغناطيسي

ويستخدم هذا النظام في المقام الأول مع أجهزة المراقبة التقليدية conventional monitors من أجل العرض في شبيه بسعة الواقع الافتراضي (fish-tank VR) ، خاصة ان مجموعة الأجهزة لم تعد عاملا حاسما، خاصة أن أجهزة الاستشعار المغناطيسية لديها نطاق تتبع محدود ، فهي ليست مناسبة لتطبيقات الواقع المعزز في الخارج والبيئات ذات الأجهزة المتنقلة ، ومع ذلك، كانت هناك محاولات لاستخدام نظام التتبع المغناطيسي خفيفة الوزن للتطبيقات النقالة ثلاثية الابعاد من خلال ارتداء المستخدم للمصدر المغناطيسي على الجسم للحصول على معلومات الموقع النسبي لرأس المستخدم واليدين (Basu et al., 2012).

ويتكون جهاز االاستشعار المغناطيسي من وحدة إلكترونية ومولد مجال مغناطيسي ومستقبلات تتبع المستخدم أو الكائن، وتظهر الصورة ثلاثة في الشكل (10) مولدات للمجال المغناطيسي مختلفة الحجم تدعم نطاقات تتبع مختلفة الحجم، ووحدتين الكترونيتين مختلفتين تدعمان أعدادا مختلفة من المستقبلات، ومجموعة من المستقبلات، ويلاحظ أن جهاز الاستقبال الموضح فوق وحدة الإلكترونيات الأكبر يتضمن في جهاز شبيه بالقلم

وغالبا ما تميل أجهزة الاستشعار المغناطيسي إلى أن تكون دقيقة في الوضع في الداخل في حدود 0.2 سم و 0.01 درجة في التوجه، ودقتها تميل إلى التحلل بعيدا عن البيانات المستقبلية من المصدر، والعيب الرئيسي هو أن أي الأجسام المغناطيسية أو الموصلة (المعدنية) الموجودة في الغرفة مع جهاز الإرسال قد تشوه المجال المغناطيسي، مما يقلل من الدقة، ويمكن أن تكون هذه التشوهات في الدقة شديدة جدا في بعض الأحيان، مما يجعل العديد من تقنيات التفاعل، وخاصة التقنيات؛ قائمة على الإيماءات، التي يصعب استخدامها، ويمكن التعامل مع التشوهات من خلال إجراءات المعايرة وخوارزميات الترشيح ولكن القيام بذلك يمكن أن يزيد من وقت البدء والتكلفة عبر الإنترنت، وفي بعض الحالات يتم تضمين تصفية وتشويه هذه الخوارزميات مباشرة في نظام التتبع المغناطيسي.

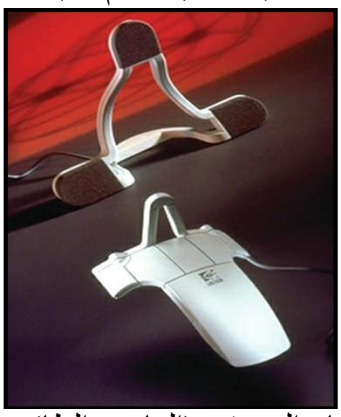
– الاستشعار الميكانيكي Mechanical Sensing

أجهزة الاستشعار الميكانيكية لديها بنية قوية مع عدد من الروابط الميكانيكية مترابطة جنباً إلى جنب مع المحولات الكهرو ميكانيكية مثل فرق الجهد أو فك الترميز، حيث يتم تثبيت نهاية واحدة في مكان، في حين يتم إرفاق الآخر إلى الكائن حتى يتم التعقب (عادة رأس المستخدم أو اليد)، كما يتم التحرك لتعقب الجسم، وتحرك الروابط ، كما يتم اتخاذ قياسات من المحولات للحصول على معلومات عن الموقف والتوجيه، وتستخدم شاشات العرض المرئية المثبتة على الذراع هذا النوع من تكنولوجيا الاستشعار، بالإضافة إلى ذلك، فإن العديد من أجهزة ردود فعل القوة المرجعية تستند على الاستشعار الميكانيكي ، مما يسهل تعقبها وبقوة ، ولا شك ان أجهزة الاستشعار الميكانيكية تتميز بانها دقيقة جدا في نقل المعلومات مع انخفاض الكمون بدرجة عالية، ومع ذلك، فإنها غالباً ما تكون ذات حجم ضخم، مما يحد من تنقل المستخدم بها، ويجعل من الصعب إتمام عملية التفاعل في التطبيقات المحمولة ثلاثية الابعاد وكذلك من خلال تطبيقات الواقع المعزز.

– الاستشعار الصوتي Acoustic Sensing

تبعث عادة أجهزة الاستشعار الصوتية (الشكل 11) صوتا عالي التردد من خلال مكونات المصدر وتستقبله الميكروفونات، قد يكون المصدر هو الكائن المتحرك ، مع وضع الميكروفونات في البيئة حوله (أسلوب العمل الخارجي outside-in approach)، أو قد يكون المصدر في البيئة، مع الميكروفونات على الجسم المتتبع (أسلوب من الداخل إلى الخارج inside-out approach)،

والاسلوب المهيمن لتحديد الموقف والمعلومات الموجهة من تتبع الصوت هو استخدام وقت الرحلة من نبضات الموجات فوق الصوتية، وبعبارة أخرى، يمكن تحديد المسافة بين مرسل ومستقبل الوقت الذي يستغرقه نبض الموجات فوق الصوتية للانتقال من المصدر إلى الوجهة، مضروبا في سرعة الصوت، ومن هذه المسافة، يمكن تقدير الموقف ، ومع المزيد من المستقبلات، وهي مجموعة من ثلاث نقاط يمكن استخدامها لتحديد التوجه باستخدام التثليث، وتشمل الأساليب الحديثة للاستشعار الصوتي استخدام مكبرات صوت قياسية وميكروفون موجود في معظم أجهزة الكمبيوتر المحمولة والاجهزة التي تسجل الاحساس بحركة المستخدم (Gupta & et al., 2012)، ويتم إرسال نغمة غير مسموعة من خلال مكبر الصوت بحيث تحصل على تردد يتحول عندما يعكس قبالة الأجسام المتحركة مثل يد المستخدم، ثم يتم قياس تردد هذا التحول عن طريق الميكروفون، والتي لا يجب أن توضع على الجسم للتعقب، وهذا الأسلوب لا يمكنه تتبع الأجسام بدقة ولكن يمكنه الشعور بالحركة جيدا بما فيه الكفاية لدعم الايماءات البسيطة.



الشكل (11) جهاز الاستشعار الصوتي (الماوس الطائرFly Mouse)، ويولد الجهاز الشبيه بالماوس الإشارات الصوتية التي يحدد منها المستقبل بمعلومات الموقع والتوجيه.

ومن مزايا أنظمة الاستشعار الصوتية أنها غير مكلفة نسبيا وخفيفة الوزن، ومع ذلك، غالبا ما يكون لهذه الأجهزة معدلات قصيرة ومعدلات أخذ العينات منخفضة (مقارنة مع أجهزة الاستشعار الميكانيكية والقصور الذاتي، والتي يمكن أن يكون معدلات أخذ العينات فوق 1 كيلو هرتز). وبالإضافة إلى ذلك، فإن دقتها تقل إذا كانت الأسطح العاكسة للصوت موجودة في الغرفة. ومن العيوب الأخرى للاستشعار الصوتي أن الضوضاء الخارجية، مثل مفاتيح الالتصاق أو الهاتف الرنين، إذ يمكن أن يسبب تداخلا في الإشارة وبالتالي تقلل إلى حد كبير من الدقة، كما هو الحال مع أي تتبع للنظام الذي يحتوي على مشاكل الدقة، والعديد من تقنيات التفاعل يصعب استخدامها إذا كان جهاز استشعار بالموجات فوق الصوتية يفقد إشارة، أو يعاني من تشوهات في أي مكان داخل نطاق تتبع (التشوهات عادة ما تزيد بشكل ملحوظ كلما يتحرك المستخدم نحو حدود التتبع).

- **الاستشعار بالقصور الذاتي Inertial Sensing**

تستخدم أجهزة الاستشعار بالقصور الذاتي (الشكل 12) مجموعة متنوعة من أجهزة القياس بالقصور الذاتي ، مثل جيروسكوبات ذات الزاوية المعدلة angular- rate gyroscopes ، ومقياس التسارع الخطي linear accelerometers، وأجهزة قياس المغنطيسية magnetometers، وفي الغالب يتم دمج هذه الحساسات في حزمة واحدة تسمى وحدة قياس بالقصور الذاتي inertial measurement unit (IMU) ، وتوفر هذه الأجهزة قياسات مشتقة من الموقف والتوجيه (أي، توفر الجيروسكوبات سرعة الزاوية ، والتسارع الخطي) ، ولذلك يجب أن تكون بياناتهم متكاملة للحصول على موقف توجيه المعلومات، وعندما يتم دمج البيانات ، والنتيجة هي قياس نسبي (على سبيل المثال، يتم دمج سرعة الزاوية للحصول على تغيير في الموقف)، والاستثناء الوحيد لهذه القاعدة هو أن لمقياس التسارع الخطي ثلاثي المحاور يمكن استخدامها لتحديد اتجاه الجاذبية مباشرة (وبالتالي الملعب ولفة الجهاز)، بسبب تسارع الجاذبية.

الشكل (12) جهاز تعقب بالقصور الذاتي، وتقع أجهزة الاستشعار في المكعب المبين في الصورة.

ويعتبر نظام التتبع في أجهزة الاستشعار، هو مجموعة محدودة من طول شريط القياس الذي يربط أجهزة الاستشعار بوحدة الالكترونيات، والاستشعار اللاسلكي هو أيضا شائع مع هذه الأنظمة، ويتم العثور على مكونات الاستشعار بالقصور الذاتي عادة في الأجهزة النقالة مثل الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية، والتي تعد جزءا لا يتجزأ من وحدة الالكترونيات داخل الجهاز، ونطاقها غير محدود على نحو فعال، وبالإضافة إلى ذلك، يمكن لأجهزة الاستشعار أن تنتج قياسات بمعدلات أخذ العينات العالية ، واستخدمت أجهزة الاستشعار بالقصور الذاتي في الأصل في نظم تتبع كبيرة على السفن والغواصات والطائرات في عام 1950 (Welch and Foxlin 2002) ومع ذلك، فإن وزن هذه الأجهزة يحظر استخدامها عند التتبع لواجهة المستخدم ثلاثية الابعاد حتى أصبحت صغيرة بما يكفي لتناسب النظم الميكانيكية الدقيقة microelectronic mechanical systems (MEMS).

والحد الرئيسي من أجهزة الاستشعار بالقصور الذاتي هو أنهم يعانون من تراكم الأخطاء من موجات الاستشعار، والضوضاء، والانجراف، ويمكن أن يكون تراكم الأخطاء شديدا مع التسارع الخطي، وهذا هو السبب في أن معظم أنظمة التتبع بالقصور الذاتي مقترنه بتتبع التوجيه فقط. وعلى الرغم من أن هناك أنظمة الملاحة بالقصور الذاتي التي يمكن أن تتبع الموقف والتوجيه، فإنها تستخدم على السفن والغواصات، حيث أن خطأ التتبع مقبول في كثير من الأحيان ، على النقيض من ذلك في الدقة دون الالتزام بالسنتمترات المطلوبة في البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد ، وتعاني الجيروسكوبات أيضا من تراكم الأخطاء، ولكن بصورة أقل من غيرها، وهناك طرق للتعويض عن هذه المشكلة من خلال الاستفادة من تقنيات استشعار الانصهار مثل تنقية Kalman filtering لتحسين تقديرات التوجه (Azuma and Bishop 1994; Williamson et al. 2010). على سبيل المثال، وأجهزة الاستشعار بالقصور الذاتي في كثير من الأحيان للتعامل مع تراكم الخطأ من خلال تضمين قياسات المغنطيسية لمنع تراكم الانحراف الجيرسكوبي.

والمعروف ان تقنيات التفاعل ثلاثية الابعاد المشتركة يصعب تنفيذها دون تتبع الموقف ، ومع ذلك، يمكن استخدام أنظمة تتبع التوجيه فقط لتتبع الرأس حيث سيقف المستخدم أساسا في مكان واحد ، بالإضافة إلى ذلك، غالبا ما يقترن تتبع التوجه بالقصور الذاتي منخفض الكمون مع شكل آخر من تتبع الموقف، ويمكن استخدام تقنية الابحار الافتراضية في هذه الحالة للسماح للتنقل من خلال البيئة، وبالإضافة إلى ذلك، فإن البيانات التي تنتجها أجهزة الاستشعار بالقصور الذاتي تعمل بشكل جيد للتعرف على الإيماءات ثلاثية الابعاد عندما يقترن بالاستدلال (Wingrave et al. 2010) في التعلم القائم على الآلات (Hoffman & et al. 2010) ، ويمكن استخدام هذه الإيماءات ثلاثية الأبعاد بطرق مختلفة ، خاصة في نظام التحكم .

– الاستشعار البصري Optical Sensing

ثمة اسلوب آخر لتحديد الموقع والتوجيه من المستخدمين والأشياء المادية هو من قياسات الضوء المنعكس أو المنبعث، وهذه الأنواع من تعقب استخدام تقنيات رؤية الكمبيوتر وأجهزة الاستشعار البصرية مثل الكاميرات، ويمكن استخدام مجموعة متنوعة من الكاميرات المختلفة، بدءا من كاميرات الويب المكتبية البسيطة، إلى كاميرات ذات العمق الثنائي Stereo ، إلى الكاميرات عالية الدقة المتطورة ذات المعدلات بلعينات العالية وذات كثافات البكسل العالية.

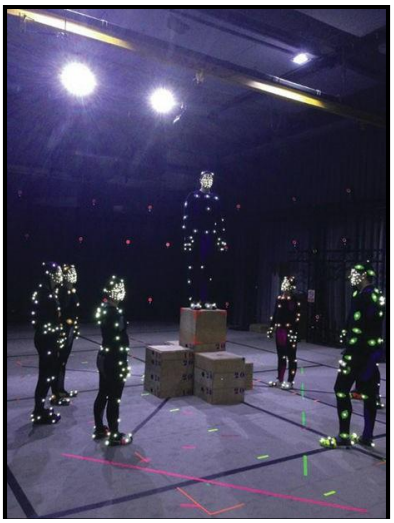
وتوفر الكاميرات العميقة معلومات أكثر من الكاميرات التقليدية ، لأنها تدعم استخراج تمثيل ثلاثي الأبعاد للمستخدم أو الكائن، وتستخدم ثلاث تقنيات مختلفة للعمق في الكاميرات: وقت الرحلة، الضوء المنظم، والرؤية المجسمة ، وتحدد الكاميرات الطائرة ذات العمق الزمني خريطة العمق للمشهد من خلال إلقاء الضوء عليها بواسطة شعاع من الضوء النبضي وحساب الوقت الذي يستغرقه الضوء ليتم اكتشافه على جهاز التصوير بعد أن ينعكس خارج المشهد، وتستخدم الكاميرات ذات العمق الخفيف الهيكل نمطا معروفا من الضوء (غالبا ما يكون بالأشعة تحت الحمراء) حيث يتم عرضه في المشهد، ومن ثم يمكن لمستشعر الصور لالتقاط هذا النمط من الضوء المشوه استنادا إلى الأشكال الموجودة في المشهد، وأخرا يتم استخراج الأشكال

الهندسية ثلاثية الأبعاد باستخدام تشويه النمط البصري المتوقع ، وأخيرا، تحاول الكاميرات ذات العمق الثنائي Stereo محاكاة النظام البصري البشري باستخدام اثنين من أجهزة التصوير معايرة موزعين من الناحية الخارجية من كل منهما آخر.

دور هذه الكاميرات التقاط صور متزامنة من المشهد، حيث يتم استخراج عمق بكسل الصورة من مجهر التباين. ومنذ فترة وجيزة أصبحت أجهزة الاستشعار البصرية وتقنيات التتبع البصري أكثر قوة وأكثر شيوعا للتفاعل ثلاثي الأبعاد، ويمكن تصنيف أنظمة الاستشعار البصري، مثل أجهزة الاستشعار الصوتية، إما في الخارج أو الداخل، ويمكن إما استخدام علامات أو تكوينات بدون علامات.

أما الأنظمة الخارجية القائمة على العلامات Marker-based outside فيتم تركيب أجهزة استشعارها في مواقع ثابتة في البيئة، ويتم وضع الأشياء المتعقب عليها بالعلامات النشطة أو السلبية مثل العلامات العكسية (الشكل 13) أو القفازات الملونة (الشكل 14) يبين تفاوت عدد وحجم هذه المعالم تبعا لنوع نظام التتبع البصري وعدد الدرجات المطلوبة.

ولا تزال الأنظمة الخارجية في أنظمة الاستشعار البصرية أو أجهزة الاستشعار المثبتة في مواقع ثابتة في البيئة، ولكن لا حاجة إلى معالم، مما يجعل التتبع غير مزعج تمام، وكثيرا ما توفر الكاميرات العميقة تكوينا خارجيا بدون علامة .(Wang & et al. 2011).



الشكل (13) مثال على نظام التتبع البصري الخارجي القائم على التحديد، حيث يتم وضع أجهزة استشعار الكاميرا متعددة استراتيجيا في البيئة، والمستخدم يرتدي عدة علامات لتتبع الجسم والوجه.

الشكل (14) مثال على نظام تعقب اليدين البصري الخارجي القائم على العلامات حيث يتم استخدام جهاز استشعار كاميرا واحدة والعلامات هي قفازات ملونة ذات أنماط مميزة

تقوم الأنظمة التي تعتمد على العلامة في الداخل بوضع أجهزة استشعار بصرية على المستخدم أو الكائن المتتبع، بينما يتم وضع العلامات في البيئة، وهناك العديد من العلامات المختلفة التي يمكن استخدامها، مثل منارات اليد النشطة active LED beacons أو شريحة الفيديو السلبي passive fiducials مثل بطاقات أنماط التعرف (Foxlin and Naimark 2003; Hogue et al. 2003). وقد تم تطوير هذه الفيديو السلبي passive fiducials لأول مرة كجزء من نظام الافتراضي للمؤتمرات الافتراضية، والتي تطورت في وقت لاحق إلى مكتبة التتبع ARTookKit (الشكل 15) مثالا على نظام تتبع من الداخل والخارج يستند إلى علامة يعرف باسم HiBall،

حيث تتألف علامة HiBall من مجموعة من الكاميرات الصغيرة عالية السرعة، والتي يتم محاذاتها في السكن الذاتي، والتي يمكن اضافتها على رأس المستخدم (Welch et al. 2001). ويتم وضع مجموعة من المصابيح في البيئة، ويتم مسح المكان بالكامل، ويتم اضاءة المصابيح بسرعة عالية في تسلسل معروف ومحدد، وبتوفير الكاميرا يمكن أن نرى ما يكفي من المصابيح، وكذلك الموقف والاتجاه والتعقب يمكن حسابهم مباشرة من خلال التثليث. ويوضح الشكل (16) مثالا آخر على نظام التتبع من الداخل إلى الخارج يقوم على العلامة حيث تستند الى شيء معروف وتستخدم أنماط كمعالم للتتبع، ونظام تتبع HTC Viveالمستخدم مع قبعة الراس HWD وهو مثال آخر مثير للاهتمام من تتبع داخل وخارج العلامة، ويستخدم أجهزة الاستشعار البصرية على قبعة الراس HWD للكشف عن ضوء الليزر الذي اجتيح أفقيا وعموديا عبر المشهد من خلال اثنين من البواعث.

الشكل (15) نظام تتبع HiBall حيث يتم تركيب منارات ليد على السقف، وتقع أجهزة استشعار الكاميرا في يد الكائن المتحرك

الشكل (16) مثال على نظام التتبع من الداخل إلى الخارج حيث يستند إلى عدة علامات مع أنماط فريدة معروفة وضعت استراتيجيا على جدران وسقف الغرفة.

ولا تزال الأنظمة الداخلية التي لا تميز بلا علامات تضع أجهزة الاستشعار البصرية على المستخدم أو الكائن المتتبع، ولكن بدلا من وجود موجهات fiducials معروفة أو منارات beacons موضوعة في البيئة المادية، تحاول خوارزميات التتبع الأساسية الاستفادة من البيئة المادية نفسها (على سبيل المثال، الهياكل) لتحديد الموقف، والتوجه، أو الحركة، وهناك اسلوبان رئيسيان للتتبع البصري بدون علامات .(Billinghurst & et al. 2015) هما:

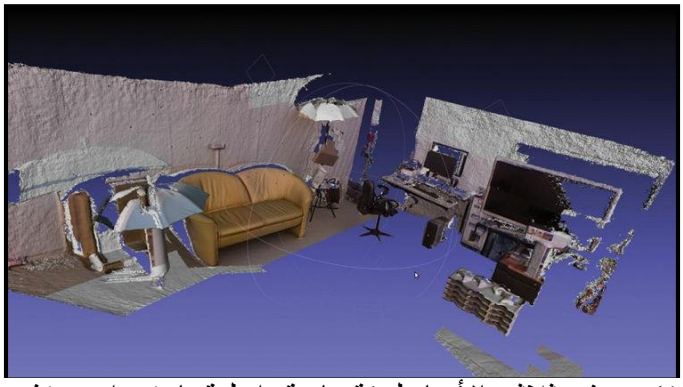
أولا، الاسلوب القائم على ميزة تطابق تنسيق المعدلات بين ميزات الصورة ثنائية الأبعاد والعالم ثلاثي الابعاد الخاصة بهم، ويمكن بعد ذلك العثور على موقف المستخدم والتوجه من خلال إسقاط إحداثيات ثلاثية الابعاد من الميزات في صورة ثنائية الابعاد بحيث يلاحظ إحداثيات وأداء عملية التقليل ومن أمثلتها الخوارزميات التي تؤدي للكشف عن وصف الخصائص الطبيعية.

ثانيا، مقتطفات الاسلوب القائم على نموذج تشكل المعلومات على أساس تتبع النماذج المعروفة أو المكتسبة من الكائنات في العالم الحقيقي، وسوف يتبع الأسلوب الخاص بإنتاج

نموذج الأجسام ثلاثية الابعاد في العالم الحقيقي باستخدام برنامج CAD، وقد تم تقريب بنية الكائن بصفة أولية باستخدام الخطوط والدوائر، والكرات، وتم استخدام مرشحات الحواف Edge filters للحصول على شكل يستند على مطابقة بين بيانات التصفية والأوليات (Wuest et al., 2005)، وبدلا من نمذجة العالم الحقيقي مسبقا، هناك اسلوب آخر هو خلق وتحديث خريطة للبيئة المادية في الوقت نفسه تحديد تشكل داخله، ويعرف هذا الأسلوب باسم SLAM (التموضع وبناء خريطة المكان في آن واحد Simultaneous Localization and Mapping)، وكان يستخدم أصلا في مجال الروبوتات (Dissanayake et al. 2001) وكانت هناك العديد من الاختلافات في SLAM وضعت للتتبع مع أجهزة الاستشعار البصرية (Fuentes-Pacheco et al. 2015) مثال واحد باستخدام كاميرا أحادي القياسية يكسر فكرة SLAM ، ووجود مكونات منفصلة لتتبع الكاميرا وخريطة البناء (Klein and Murray 2007, 2008) ، ويعرف هذا الاسلوب باسم PTAM (التتبع المتوازي ورسم الخرائط؛ (الشكل 17) ويمكن لهذا الأسلوب SLEM استخدامها مع الكاميرات العميقة التي تحتوي أيضا على أجهزة الاستشعار RGB .(Lieberknecht & et al., 2011).

كما استخدمت الأساليب التي تستخدم أقرب نقاط تكرارية (ICP) أجهزة استشعار عميقة لإنشاء خرائط لمشهد ثلاثي الأبعاد يمكن استخدامه للتتبع (Izadi et al., 2011) مع هذه الأجهزة لاستشعار الاعماق، والتي يمكن استخلاصها لإنشاء اشياء يمكنها الانسجام واستخدامها كجزء من عملية رسم الخرائط (الشكل18)، إلا ان في بعض الحالات، يتم فقدان التتبع عندما يتحرك مستشعر الكاميرا حول البيئة، مما يتطلب نوعا من إعادة التوطين (Glocker & et al. 2013).

الشكل (17) التتبع باستخدام خوارزمية PTAM algorithm ، وتستخدم نقاط التمييز في العالم الحقيقي جنبا إلى جنب مع مفهوم SLAM



الشكل (18) نموذج ثلاثي الأبعاد لبيئة مادية داخلية باستخدام مستشعر العمق ومستشعر RGB ، ويمكن بعد ذلك استخدام هذا النموذج خلال SLAM أو لتتبع المستخدم مرة واحدة في النموذج المخلق.

وقد يكون من الصعب وضع نظم تتبع يستند إلى الرؤية، نظرا لأنه يجب تعيين العديد من العلامات لتتبع المستخدم أو الأجسام المادية بشكل صحيح، وتشمل هذه العلامات عدد من الكاميرات، ووضع هذه الكاميرات، وما هي الخلفية البصرية، وتصميم ووضع المعالم، سواء كانت في البيئة أو على المستخدم التتبع أو كائن، وكذلك أجزاء من الجسم وعدد الأشخاص الذين يحتاجون إلى تعقبهم.

ولا شك أن أنظمة الاستشعار المستندة إلى الرؤية لها ميزة واضحة في أن المستخدم يمكن أن يكون غير مترابط تماما من الكمبيوتر، ومع ذلك، إلا في تتبع بلا علامة وبلا حدود ، لا يزال المستخدم بحاجة إلى ارتداء علامات أو ارتداء / عقد أجهزة الاستشعار البصرية، والعيب الرئيسي للتتبع القائم على الرؤية هو انقطاع التواصل بسبب الحجب في كثير من الحالات، إذ لا يمكن للكاميرا التقاط المعلومات حول أجزاء من جسم المستخدم التي يتم إغفالها من قبل أجزاء أخرى ، على سبيل المثال، فإنه من الصعب استخراج المعلومات من جميع الأصابع عندما يتم توجيه اليد بطرق معينة، إضافة المزيد من الكاميرات والمعالم يمكن أن تساعد على الحد من مشكلة انسداد، ولكن هذا يمكن أن تزيد من تعقيد خوارزمية تتبع ، وبالإضافة إلى ذلك، فإن التتبع البصري ليس دقيق كما هو الحال في الحساسات الميكانيكية أو الكهرومغناطيسية .

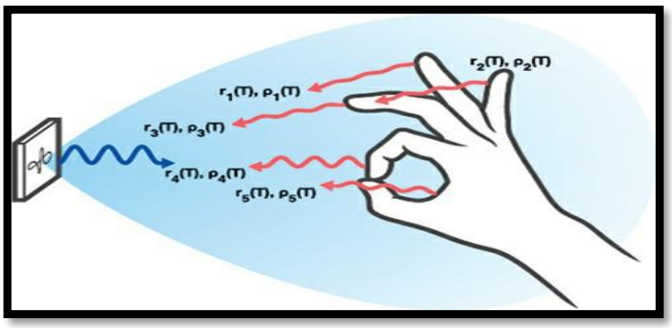
– استشعار الرادار Radar Sensing

يعتبر استشعار الرادار تقنية حساسة راسخة باستخدام موجات كهرومغناطيسية معدلة مرسلة نحو أهداف متحركة أو ثابتة تنبعث منها الإشعاعات المرسلة، مع إعادة توجيه جزء من الطاقة مرة أخرى نحو الرادار حيث يتم اعتراضها بواسطة هوائي استقبال. ويؤدي التأخير الزمني أو تغير الطور أو التردد والتوهين في الاتساع إلى التقاط معلومات غنية حول خصائص الهدف، مثل المسافة والسرعة والحجم والاتجاه. ومع ذلك، فقد تم تصميم الاستشعار عن طريق الرادار التقليدي لكشف الأجسام الكبيرة مثل السفن والطائرات حيث لا يتطلب الأمر استشعارًا دقيقًا، مما

يجعله غير عملي للاستشعار في أجهزتها ثلاثية الأبعاد، حيث يتطلب الأمر معرفة دقيقة بجسم المستخدم أو جسمه أو حركته. ومع ذلك، فإن العمل الأخير من قبل "ليان وزملاءه". (Lien & et al. , 2016) أدى إلى استشعار الرادار التي يمكن استخدامها لكشف حركات اليد ثلاثية الابعاد بدقة عالية.

وقد اتبع "ليان وزملاءه (Lien & et al. ,2016) رادار موجة ملليمتر لإلقاء الضوء على يد المستخدم مع شعاع رادار على نطاق 150 درجة مع نبضات تتكرر على تردد عال جدا (1-10 كيلوهرتز)، وتمثل الإشارة المنعكسة تراكب للتفكك من مراكز انتثار ديناميكية متعددة (الشكل 19)، وتمثل هذه المجموعات من مراكز الانتثار تشكيلات يدوية ديناميكية ، ثم معالجة هذه البيانات في تمثيلات مجردة متعددة ، والتي تستخدم لاستخراج كل من الخصائص اللحظية والدينامية لليد متحرك وأجزائه، وهذه التمثيلات يمكن استخدامها لتدريب خوارزميات التعلم الآلي لتصنيف الإصابات الدقيقة والإيماءات حركة اليد .

وتتمثل الميزة الرئيسية لرادار الموجات المليمترية لواجهة المستخدم ثلاثية الأبعاد في أنه يمكن الكشف عن حركات اليد الدقيقة، والتي يمكن أن تؤدي إلى مجموعة كبيرة من عناصر التحكم في الواجهة المختلفة لجميع جوانب التحديد الثلاثي الأبعاد والتلاعب والملاحة والتحكم في النظام. ومع ذلك، فإن القيد الأساسي هو أن هذا نهج الاستشعار لا يصور في الواقع هيكل الهيكل العظمي من اليد. وبالتالي، فإنه لا يتتبع موضع اليد وتوجيهه في الفضاء.

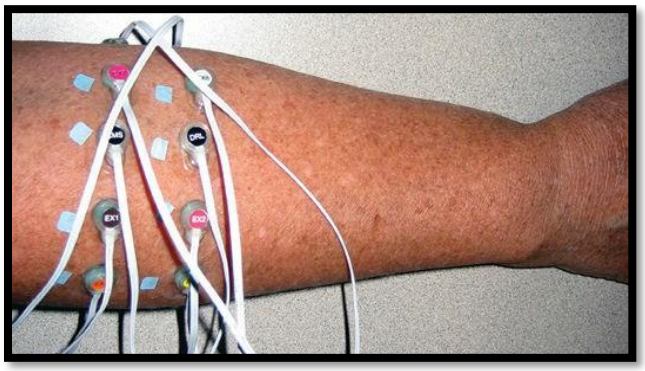


الشكل (19) رادار يرسل شعاع لموجة مليمترية راداريه واسعه عند ترددات عالية لجمع مراكز الانتثار الدينامية ليد المستخدم التي يمكن استخدامها بعد ذلك في التعرف على الإيماءات باليد.

2- أجهزة الاستشعار الكهروبيولوجي Bioelectric Sensing

أجهزة الاستشعار الكهرو بيولوجي والتي تهدف إلى قياس النشاط الكهربائي في الجسم، وقد استخدمت هذه الحساسات النشطة في المقام الأول في المجال الطبي لمختلف الإجراءات التشخيصية، ولكنها يمكن أن تستخدم أيضا لجمع المعلومات حول جسم الإنسان لدعم التفاعل

ثلاثي الابعاد، وتكنولوجيا الاستشعار كهرو بيولوجي الرئيسية المستخدمة في المدخلات المكانية ثلاثية الابعاد هي تخطيط كهربية القلب (EMG). ويقصد بـ EMG بالكشف عن القدرة الكهربائية الناتجة عن العضلات عند تنشيطها كهربائيا أو عصبيا، الشكل(20) مثالا على استخدام هذه الحساسات للكشف عن فتات الإصبع (Saponas et al. 2008,2010) البيانات التي تم إنشاؤها بواسطة تخطيط كهربة القلب EMG غالبا ما تكون مرتفع الصوت، مما يجعل من الصعب استخدامها بدقة لتقنيات التفاعل ثلاثي الابعاد، وغالبا ما تتطلب معالجة الإشارات المتطورة وخوارزميات التعلم الآلي لمعالجة البيانات، على هذا النحو ، وأجهزة الاستشعار الكهربائية الحيوية غالبا ما تكون أكثر فائدة للإدخال ثلاثي الابعاد (LaViola, 2013).



الشكل (20) مثال على أجهزة الاستشعار of EMG sensors المطبقة على ساعد المستخدم

الاستشعار الهجين Hybrid Sensing

وضعت المتتبعات الهجينة او الفائقة أكثر من تكنولوجيا واحدة للاستشعار للمساعدة في زيادة الدقة، والحد من الكمون، وتوفير أفضل تجربة تفاعل ثلاثي الابعاد بشكل عام، وبصفة عامة، تستخدم تكنولوجيات الاستشعار الفردي للتعويض عن نقاط ضعف بعضها البعض، ويرد في الشكل (21) مثال على نظام هذا التتبع ، إذ يجمع هذا المثال بين تقنيات الاستشعار بالقصور الذاتي والموجات فوق الصوتية ، وعنصر بالقصور الذاتي يقيس التوجه، والمكون بالموجات فوق الصوتية يقيس الموقف، حيث مكين الجهاز إلى تحقيق امكانيات جهاز 6-DOF ، وعلاوة على ذلك، يوفر معلومات من عند كل مكون لتحسين دقة الآخر، كما يلاحظ أيضا ، أن هذا النظام الهجين يتميز بأن لديه ميزة إضافية وهي الاداء اللاسلكي مع المستخدم حيث يرتدي مربع من الالكترونيات تعمل بالطاقة الصغيرة على حزام مخصص لذلك .(Wormell and Foxlin 2003).

ويتمثل أحد الأساليب الشائعة في الجمع بين الرؤية والاستشعار بالقصور الذاتي معا لدعم تتبع المستخدمين الأكثر بقوة .(You et al. 1999; Williamson & et al., 2010). وتوفر أجهزة الاستشعار بالقصور الذاتي توجيه الكمون المنخفض وتقديرات الموقف، ورغم أن استخدام أجهزة الاستشعار البصرية أبطأ ولكنها أكثر دقة لتوفير إطار مرجعي مطلق وقادر على

تصحيح الانجراف بالمقارنة بأجهزة الاستشعار بالقصور الذاتي، وكثيرا ما تستخدم أنظمة تحديد المواقع العالمية (GPS) بالاقتران مع مقاييس التسارع أو الجيروسكوبات لتتبعها في بيئات الواقع الواسع النطاق في الهواء الطلق ، حيث يتعذر إصلاح المصادر أو المستقبلات في البيئة (Honkamaa et al. 2007).

إلا أن الصعوبة الرئيسية مع تعقب أجهزة الهجينة هي أن الجمع بين أكثر من تكنولوجيا للاستشعار سينتج عمليات أكثر تعقيدا، ومع ذلك، فإن التعقيد الإضافي له ما يبرره إذا تحسنت دقة التتبع بشكل ملحوظ، من خوارزميات الانصهار الاستشعار (على سبيل المثال، مرشحات Kalman filters) والتي غالباً ما تكون مطلوبة عند الجمع بين أجهزة استشعار المختلفة بهدف السلاسة لضمان أن كل نوع جهاز استشعار يعمل بشكل صحيح (You and Neumann 2001; He et al., 2014).

الشكل (21) جهاز تعقب هجين لاسلكي بالقصور الذاتي / الموجات فوق الصوتية

تتبع الجسم لواجهات المستخدم ثلاثية الأبعاد Tracking the Body for 3D User Interfaces

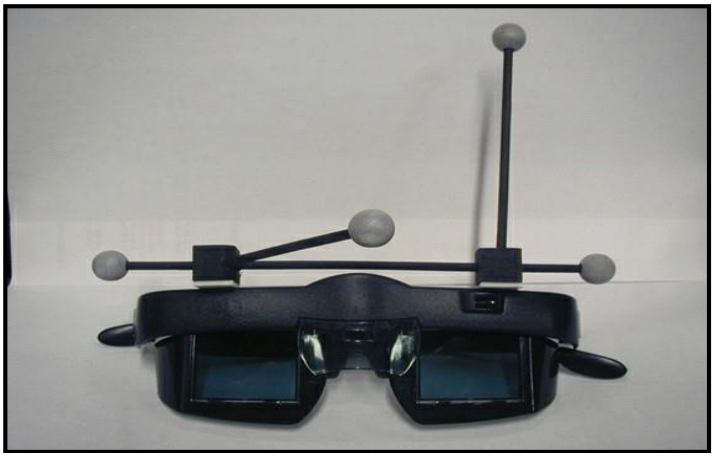
في ضوء ما سبق فإن واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد تتطلب معلومات حول موقف المستخدم، والتوجه، أو الحركة في الفضاء ثلاثي الابعاد لدعم مجموعة متنوعة من تقنيات التفاعل المكاني ثلاثي الابعاد، يمكن تتبع أجزاء مختلفة من الجسم (الرأس واليدين والأطراف والأصابع والعينين، أو الجسم كله) لجمع البيانات لدعم مختلف البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد. وفي الجزء التالي، نقوم بدراسة كيفية وصف تقنيات أجهزة الاستشعار والتي تستخدم لتتبع أجزاء مختلفة من جسم المستخدم ومناقشة آثارها على البيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد.

تتبع الرأس، الأيدي، والأطراف Tracking the Head, Hands, and Limbs

يمكن اعتبار أن المحرك الرئيسي او حجر الزاوية للتفاعل ثلاثي الابعاد هو حركة الراس واليد ، ولا شك ان التتبع الرئيسي مهم لضمان عرض أي من الصور التي يتم إنشاؤها بواسطة الكمبيوتر في المنظور الصحيح في كل من تطبيقات الواقع الافتراضي والواقع المعزز، كما يدعم التتبع الرئيسي حركة المنظر، وهو الممثل لتلميحات العمق ، ولا شك أن تتبع حركة اليد هام للغاية ، لأن اليدين هي العنصر الأساسي في الآلية اللازمة لأداء المهام المختلفة للتفاعل ثلاثي الابعاد ، كما أصبح التفاعل لكامل الجسم والتقاط الحركة أكثر شهرة في العديد من مجالات التطبيق المختلفة ، وتتبع أطرافه وأجزاء أخرى من الجسم (على سبيل المثال، الجذع أو القدمين) ولا شك أن هذا يعد هام أيضا في سياق التفاعل ثلاثي الابعاد.

إن تتبع الرأس واليدين والأطراف يمكن أن يتم مع كل من أجهزة الاستشعار النشطة والسلبي، فمع أجهزة الاستشعار النشطة مثل المغناطيسي أو الهجين بالموجات فوق الصوتية / أجهزة الاستشعار بالقصور الذاتي، يتم وضع جهاز صغير على المنطقة أو المناطق التي تحتاج إلى تتبع، على سبيل المثال، في الرأس تتبع تعقب غالبا ما توضع على زوج من نظارات الرؤية المزدوجة أو جزءا لا يتجزأ مباشرة إلى نظام قبعة الراس HWD. ويمكن أيضا أن توضع أجهزة الاستشعار على ظهور أيدي المستخدم لتتبع اليد، مما يجعل من السهل على المستخدمين لأداء مختلف الإيماءات القائمة على اليد وغيرها من الحركات، وعندما تكون هناك حاجة إلى العديد من أجهزة الاستشعار، كما هو الحال في تتبع كامل الجسم full-body tracking ، فغالبا ما يرتدي على الملابس الداخلية bodysuits للجسم لضمان وضع أجهزة الاستشعار كلها بشكل صحيح، مما يجعل الملابس الداخلية نفسها جهاز كبير للاستشعار.

إن استخدام العلامات القائمة من الخارج على أجهزة الاستشعار البصرية للراس Using marker-based outside-in optical sensors for head ، وتتبع أي جزء في الجسم هو مماثل لتتبع كامل الجسم ، حيث يمكن وضع علامات على الملابس الداخلية (الشكل 13)، ويمكن أيضا استخدام هذا الاسلوب للرأس (الشكل 22) أو تتبع اليد بوضع علامات في تلك المحددة المناطق.



الشكل (22) استخدام الاستشعار خارج الرؤية القائم تتبع الرأس، ويتم وضع علامات استراتيجية على نظارات الروية المزدوجة ثلاثية الابعاد للحصول على نظام الإحداثيات للرأس

لذا فالحد الرئيسي مع هذا الاسلوب هو تتبع المستخدم من خلال ارتداء أجهزة الاستشعار أو العلامات، والتي يمكن أن تكون في كثير من الأحيان مرهقة، كما أن أجهزة الاستشعار السلبي مثل الكاميرات توفر أسلوب لقياس العمق بطريقة غير مزعجة للراس واليد، وكذلك تتبع أطرافهم ، وقد يحتاج المستخدمون ببساطة جهاز استشعار السلبي امامهم للتفاعل ، وجهاز في الجانب لتغذية البرنامج على التعرف، ويمكن استخراج تمثيل هيكل عظمي لرأس المستخدم واليدين والمفاصل الأخرى (Shotten & et al., 2011) التي يمكن استخدامها في التطبيق ثلاثي الابعاد ، وبما أن الاستشعار السلبي يقع عادة في مكان واحد مع نطاق محدود، فإن تنقل المستخدم غالبا ما يكون محدودا، وهو ما يمثل عيبا في استخدام هذا الاسلوب، لا سيما في حالة الواقع المعزز المحمول (Joseph J. LaViola & Doug A. Bowman ,2017).

تتبع الأصابع Tracking the Fingers

في بعض الحالات، من المفيد الحصول على معلومات تفصيلية حول التتبع حول أصابع المستخدم، مثل كيفية انحناء الأصابع أو ما إذا كان إصبعان قد اتصلا ببعضهما البعض. ويمكن جمع هذه المعلومات باستخدام كل من أجهزة الاستشعار النشطة والسلبية. وتعتبر قفازات البيانات مثالاً لنهج الاستشعار النشط الذي يمكن أن يوفر هذه المعلومات للاستشعار السلبي، وعادة ما تستخدم هذه الاساليب في تحقيق ذلك.

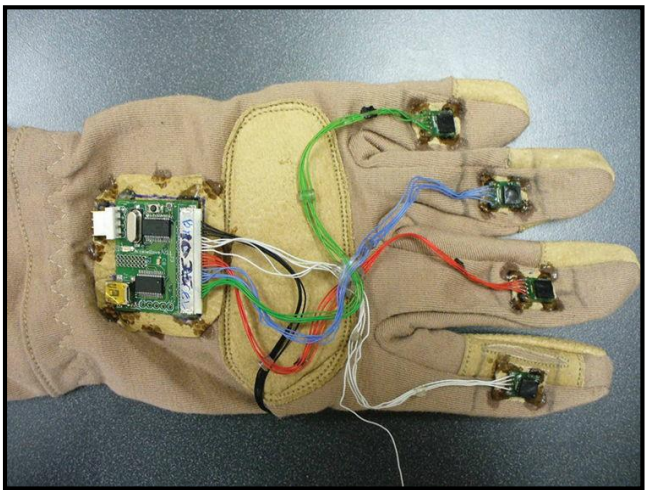
وتستخدم القفازات النشطة المستندة إلى أجهزة الاستشعار عادةً تقنية استشعار الانحناء لتتبع الأصابع والكشف عن المواقف اليدوية (التكوينات الثابتة) وإيماءات معينة (سلسلة من المواقف). على سبيل المثال، يمكن أن تميز قفازات البيانات بين القبضة، ووضع التأشير، وفتح

اليد. عادة ما يتم إعطاء البيانات الخام من القفازات في شكل قياسات زاوية مشتركة، ويستخدم البرنامج للكشف عن المواقف والإيماءات القائمة على هذه القياسات.

وقد تم تطوير العديد من قفازات البيانات على مر السنين. وتعد من أقدم أجهزة الاستشعار المستخدمة في الإضاءة، وهي أجهزة استشعار بدائية مبنية على الرؤية تستخدم أنابيب مرنة مع مصدر ضوء في أحد أطراف الخلايا الضوئية photocells varies من جهة أخرى. وعندما تنحني الأصابع، يختلف مقدار الضوء الذي يضرب الخلايا الضوئية، مما ينتج عنه قياس مقدار الانحناء. وهناك اسلوب آخر يستند إلى الضوء يستخدم أجهزة استشعار ذات مقياس زوايا بصري تتألف من أنابيب مرنة ذات جدار داخلي عاكس، ومصدر ضوء في أحد الأطراف، وكاشف حساس من جهة أخرى، يكشف عن الأشعة الضوئية المباشرة والمنعكسة. وبالاعتماد على ثني الأنابيب، يقوم الكاشف بتغيير مقاومته الكهربائية كدالة لشدة الضوء. تم استخدام هذه الأنواع من أجهزة الاستشعار المستندة إلى الضوء في القفازات القديمة من الجيل الأول للبيانات.

اليوم، يتم استخدام تقنية أجهزة استشعار أكثر تطوراً، مثل مستشعرات الألياف البصرية، والحبر المقاوم وأجهزة الاستشعار وأجهزة استشعار الانحناء المقياس ووحدات القياس بالقصور الذاتي (IMUs) (شكل 23) يظهر مثالاً لقفاز يلتقط التسارع والمعلومات الجيروسكوبية لكل إصبع.

وتحتوي قفازات البيانات عادة على ما بين 5 و 22 جهاز استشعار. فعلى سبيل المثال، القفازات التي تحتوي على 5 أجهزة استشعار عادةً ما تقيس مفصلًا واحدًا في كل إصبع، في حين يمكن لقفاز يحتوي على 18 مستشعرًا قياس مفصلين على الأقل في كل إصبع، والاختطاف بين الأصابع، ولف المعصم، وغيرها. مثال على قفاز من 18 سنًا يستخدم أجهزة استشعار الانحناء موضح في الشكل (24).



الشكل (23) قفاز البيانات الذي يستخدم مقاييس التسارع accelerometers والجيروسكوبات gyroscopes والمغنطيـــسية magnetometers لالتقاط معلومات عن كل إصبع

الشكل (24) قفاز بيانات استشعار الانحناء التي يمكن تتبع الأصابع

من منظور واجهة المستخدم ثلاثية الأبعاد، يُستخدم قفاز البيانات بشكل شائع لإيماءة اليد والتعرف على الوضع (LaViola, 2013)، والتي يمكن تطبيقها على مجموعة متنوعة من تقنيات التفاعل المختلفة. على سبيل المثال، قد تشير نقرة المعصم إلى رغبة المستخدم في حذف كائن. يمكن أن يشير وضع التأشير إلى تقنية الابحار في كثير من الأحيان، ويتم استخدام وضعيات اليد والإيماءات كأوامر النظام في سياق تقنيات التحكم بالنظام.

في بعض البيئات الافتراضية ثلاثية الأبعاد، يلزم وجود تمثيل افتراضي ليد المستخدم. ويمكن لقفازات البيانات ذات نظام التتبع المقترن تقديم مثل هذا التمثيل. بشكل عام، تُفيد هذه الأنواع من التمثيلات عندما يتم حظر العالم الحقيقي تمامًا من عرض المستخدم (على سبيل المثال، عند استخدام قبعة الراس HWD) ويحتاج المستخدم إلى رؤية يديه في المشهد مع كائنات افتراضية أخرى.

وواحدة من المزايا الرئيسية لقفازات استشعار الانحناء هي أنها توفر عددًا كبيرًا من أجهزة درجات الحرية DOF، مما يجعل من الممكن التعرف على مجموعة متنوعة من إيماءات اليد والوضعية بالإضافة إلى تقديم تمثيل يد المستخدم في التطبيق ثلاثي الأبعاد. ومع ذلك، يتعين على المستخدم أن يرتدي الجهاز، وسيكون هناك دائمًا جزء كبير منهم لا يتوافق معه القفاز بشكل جيد. بالإضافة إلى ذلك، تحتاج قفازات استشعار الانحناء أحيانًا إلى المعايرة على أساس كل مستخدم على حدة.

واحدة من المزايا الرئيسية لقفازات استشعار الانحناء هي أنها توفر عددًا كبيرًا من اجهزة DOF، مما يجعل التعرف على مجموعة متنوعة من إيماءات اليد والوضعية بالإضافة سهلة لتمثيل يد المستخدم في التطبيق ثلاثي الأبعاد. ومع ذلك، يتعين على المستخدم أن يرتدي الجهاز، وسيكون هناك دائمًا جزء كبير لا يتوافق فيه القفاز بشكل جيد. بالإضافة إلى ذلك، قد تحتاج قفازات استشعار الانحناء أحيانًا إلى المعايرة على أساس كل مستخدم على حدة.

كبديل لقفازات الاستشعار عن الانحناء، فإن قفازات القرصة (الشكل 25) تحدد فقط ما إذا كان المستخدم يلامس طرفين أو أكثر من أطراف الأصابع معا. وتحتوي هذه القفازات على مادة موصلة عند كل طرف من أطراف الأصابع، بحيث يقرص المستخدم إصبعين معًا، فيتم إجراء اتصال كهربائي. غالبًا ما تُستخدم هذه الأجهزة لتنفيذ إيماءات الاستيلاء والقرص في سياق اختيار الكائن، وتبديل الوضع، وتقنيات أخرى.

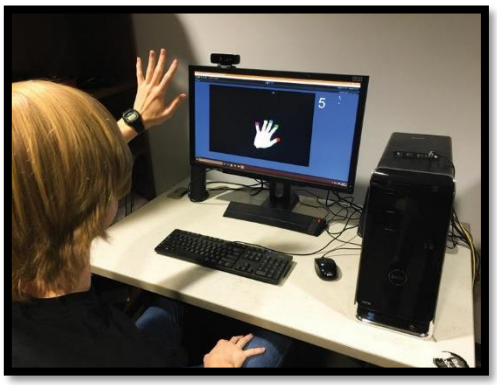
يمكن أيضًا وضع القماش الموصل في أماكن أخرى بجانب أطراف الأصابع. على سبيل المثال، إذا كانت قطعة القماش الموصلة موجودة على ظهر القفاز على طول أصابع المستخدم وإبهامه، كما هو موضح في الشكل (25) ، وإذا تم تعقب الإصبع ، يمكن للمستخدم عمل إيماءات يمكن تفسيرها على هيئة أشرطة منزلقة بسيطة عن طريق ملامسته بقطعة الإصبع المتعقبة وأحد شرائط القماش على ظهر القفاز الآخر. عند إجراء الاتصال، ويمكن أن يحدد النظام موقع طرف الإصبع المتعقب بينما يقوم المستخدم بنقله إلى أعلى وأسفل شريط القماش. إذا تم إرفاق جهاز تعقب بقفاز آخر، فمن الصعب تحديد ما إذا كان إصبع المستخدم يتحرك باتجاه المعصم أو بعيدًا عن الرسغ عند القيام بالإيماءة. تم استخدام هذه التقنية البسيطة لضبط حجم الكائن أو زيادة وتقليل قيم العلامات. كانت قرصة القفاز شائعة في أوائل عام 2000 ، لكنها نادرا ما تستخدم اليوم. ومع ذلك، فإنها لا تزال تتمتع بمزايا في تصميم واجهة المستخدم ثلاثية الأبعاد ويمكن بسهولة أن تبنى من البداية مع صانع اليوم وتقنية DIY .

الشكل (25) قفاز القرصة Pinch Glove هو جهاز الإدخال المستخدم اللين للارتداء الذي يستخدم قماش موصل في كل من أطراف الأصابع

ومع ذلك فلكل من القفازات القابلة للطي واللبس Pinch Glove قفازات استشعار الانحناء ، على الرغم من أنه من الممكن تحديد ما إذا كان هناك اتصال الإصبع (على سبيل المثال، السبابة إلى الإبهام) مع قفاز استشعار الانحناء ، وهناك حاجة إلى شكل من أشكال التعرف على إيماءات اليد ، والتي لن تكون دقيقة مثل القفاز (الذي لديه أساسا 100 ٪ دقة، على افتراض أن الجهاز يعمل بشكل صحيح)، على العكس من ذلك، يمكن للمرء أن يحصل على فكرة عن كيفية قفل الأصابع عند استخدام القفازات القابلة للطي، لكنها توفر تقديرات تقريبية جدا ، فمن الناحية المثالية، يجب أن يكون قفاز البيانات وظيفة كل من قفازات الاستشعار عن الانحناء وقرصات الاستدارة، بحيث يتوفر نظام يجمع بين كل من الانحناء الاستشعار ومدخل القائم على القرص، ساعدت على جعل بعض تقنيات التفاعل أسهل ، مثل القفل أثناء عملية التحجيم أو بدء عملية اختيار الأشياء ووقفها.

وأخيرا، مثال آخر على استخدام أجهزة الاستشعار النشطة هو تتبع الأصابع باستخدام مركز تطوير أبحاث EMG. NASA من خلال جهاز الإدخال الكهربيولوجي الذي يقرأ إشارات الأعصاب العضلية المنبثقة عن الساعد (الشكل 26)، حيث يتم التقاط هذه الإشارات العصبية من قبل مجموعة القطب الجاف على الذراع، ويتم تحليل الإشارات العصبية باستخدام برنامج التعرف على النمط ، ومن ثم توجيهها من خلال جهاز الكمبيوتر لإصدار الأوامر واجهة ذات الصلة ، ويظهر الشكل (26) مستخدم التحكم على طائرة 757 الافتراضية (Jorgensen et al., 2000) ، ويمكن أيضا استخدام هذا النوع من الأجهزة لمحاكاة لوحة المفاتيح الحقيقية في إعداد البيئات الافتراضية أو المحمولة ، وفي الآونة الأخيرة، وقد أعيد ظهور هذا الاسلوب في شكل جمله من ادوات الاستشعار للتلميح التي يستخدمه نظام .EMG Joseph J. LaViola & (Doug A. Bowman ,2017)

الشكل (26) مثال على الجهاز الذي يتتبع حركات الإصبع والإيماءات باستخدام أجهزة الاستشعار EMG للكشف عن نشاط العضلات في الساعد



الشكل (27) مثال على تتبع الأصابع باستخدام كاميرا ذات عمق كبير، والاستفادة من الاستشعار السلبي

لا شك ان هناك غير استخدام أجهزة الاستشعار النشطة كالقفازات لتتبع أصابع المستخدم، وهي أجهزة الاستشعار السلبي، فهي أيضا بدائل قابلة للتطبيق وقد ثبت دقتها وسرعتها (Qian et al. 2014; Sridhar et al. 2015)

والاعتماد على خوارزميات رؤية الكمبيوتر بدلا من القياسات الاكثر مباشرة لتتبع الإصبع حيث يمكن أن تكون غير مزعجة تماما ، ومع ذلك، لا تزال هناك قضايا مرتبطة بحدود البصر ، وأجهزة الاستشعار السلبي التي لا تقدم النطاق الجيد الذي يمكن للقفازات أداة، وتستخدم أجهزة الكاميرا ذات العمق في بعض الأحيان على سطح المكتب، ولكن يمكن أيضا أن تكون محمولة على الجبهة من قبعة الراس HWD لتوفيرها على اليد وتتبع الإصبع في أنظمة الواقع الافتراضي والمعزز، وكذلك الرادار الموجة المليمتر (الشكل 19) هو أيضا بديلا قابلا للتطبيق كجهاز استشعار سلبي لتتبع الحركات الدقيقة من كل من اليد والأصابع.

المـــراجـــع:

- خالد فرجون (2017). تـوظـيـف تـكـنـولـوجـيـا الاسـتـنسـاخ البصـري اللمسـي في الواقع التعليمي المعزز، ورقة عمل مقدمة للمؤتمر الدولي الحادي عشر للتعلم الالكتروني وتكنولوجيا التعليم "نحو مجتمع تعلمي ذكي" المزمع عقده يومي الثلاثاء/الاربعاء 5-6 ديسمبر 2017 بفندق جراند نايل تاور بالقاهرة.

- Azuma, R., and G. Bishop (1994). "Improving Static and Dynamic Registration in an Optical See- Through HMD." *Proceedings of SIGGRAPH '94,* 197–204.
- Basu, A., C. Saupe, E. Refour, A. Raij, and K. Johnsen (2012). "Immersive 3DUI on One Dollar a Day." *2012 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 97–100.
- Billinghurst, M., A. Clark, and G. Lee (2015). "A Survey of Augmented Reality." *Foundations and Trends in Human Computer Interaction* 8(2–3): 73–272.
- Dissanayake, M., P. Newman, S. Clark, H. Durrant-Whyte, and M. Csorba (2001). "A Solution to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem." *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 17(3): 229–241.
- Foxlin, E., and L. Naimark (2003). "VIS-Tracker: A Wearable Vision-Inertial Self Tracker." *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2003*, 199–206.
- Glocker, B., S. Izadi, J. Shotton, and A. Criminisi (2013). "Real-Time RGB-D Camera Relocalization." *2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 173– 179.
- Gupta, S., D. Morris, S. Patel, and D. Tan (2012). "Soundwave: Using the Doppler Effect to Sense Gestures." *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2012)*, 1911–1914.
- He, C., H. Şen, S. Kim, P. Sadda, and P. Kazanzides (2014). "Fusion of Inertial Sensing to Compensate for Partial Occlusions in Optical Tracking Systems." *Augmented Environments for Computer-Assisted Interventions, Lecture Notes in Computer Science* 8678: 60–69.
- Hoffman, M., P. Varcholik, and J. LaViola (2010). "Breaking the Status Quo: Improving 3D Gesture Recognition with Spatially Convenient Input Devices." *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2010*, 59–66.
- Hogue, A., M. Robinson, M. R. Jenkin, and R. S. Allison (2003). "A Vision-Based Head Tracking System for Fully Immersive Displays." *Proceedings of Immersive Projection Technology and Virtual Environments 2003*, 179–188.
- Honkamaa, P., S. Siltanen, J. Jäppinen, C. Woodward and O. Korkalo (2007). "Interactive Outdoor Mobile Augmentation Using Markerless Tracking and GPS." *Proceedings of the Virtual Reality International Conference (VRIC)*, 285–288.
- Joseph J. LaViola & Doug A. Bowman (2017). D User Interfaces: Theory and Practice (2e), Pearson Higher Ed USA.

- LaViola, J. (2013). "3D Gestural Interaction: The State of the Field." *ISRN Artificial Intelligence*, Vol. 2013, Article ID 514641, 18 pages, 2013.
- Lieberknecht, S., A. Huber, S. Ilic, and S. Benhimane (2011). "RGB-D Camera-Based Parallel Tracking and Meshing." *10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 147–155.
- Lien, J., N. Gillian, M. Karagozler, P. Amihood, C. Schwesig, E. Olson, H. Raja, and I. Poupyrev (2016). "Soli: Ubiquitous Gesture Sensing with Millimeter Wave Radar." *ACM Transactions on Graphics (TOG)* - Proceedings *of ACM SIGGRAPH 2016* 35(4): Article No. 142.
- MacKenzie, I. S., and K. Tanaka-Ishii (2007). *Text Entry Systems: Mobility, Accessibility, Universality*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Qian, C., X. Sun, Y. Wei, X. Tang, and J. Sun (2014). "Realtime and Robust Hand Tracking from Depth." *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* 1106–1113.
- Sherman, B., and A. Craig (2003). *Understanding Virtual Reality.* San Francisco, CA: Morgan Kauffman Publishers.
- Shotton, J., T. Sharp, A. Kipman, A. Fitzgibbon, M. Finocchio, A. Blake, M. Cook, and R. Moore. (2011). "Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images." *Communications of the ACM*,56(1):116–124.
- Sridhar, S., F. Mueller, A. Oulasvirta, and C. Theobalt (2015). "Fast and Robust Hand Tracking Using Detection-Guided Optimization." *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 3213–3221.
- Welch, G., and E. Foxlin (2002). "Motion Tracking: No Silver Bullet, but a Respectable Arsenal." *IEEE Computer Graphics and Applications, Special Issue on "Tracking"* 22(6): 24–38.
- Williamson, B., C. Wingrave, and J. LaViola (2010). "Realnav: Exploring Natural User Interfaces for Locomotion in Video Games." *Proceedings of IEEE Symposium on 3D User Interfaces2010*, 3–10.
- Wingrave, C., B. Williamson, P. Varcholik, J. Rose, A. Miller, E. Charbonneau, J. Bott, and J. LaViola (2010). "Wii Remote and Beyond: Using Spatially Convenient Devices for 3DUIs." *IEEE Computer Graphics and Applications* 30(2):71–85.
- Wormell, D., and E. Foxlin (2003). "Advancements in 3D Interactive Devices for Virtual Environments." *Proceedings of Immersive Projection Technology and Virtual Environments 2003*, 47–56.
- Wuest, H., F. Vial, and D. Strieker (2005). "Adaptive Line Tracking with Multiple Hypotheses for Augmented Reality." *Proceedings of the Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 62–69.

- You, S., and U. Neumann (2001). "Fusion of Vision and Gyro Tracking for Robust Augmented Reality Registration." *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2001*, 71–78.
- You, S., U. Neumann, and R. Azuma (1999). "Hybrid Inertial and Vision Tracking for Augmented Reality Registration." *Proceedings of IEEE Virtual Reality 1999*, 260–267.

Input devices needed to create 3D virtual environments

Prof. Khaled m. Fargoun

Head of the Department of Education Technology,

Faculty of Education - Helwan University

Abstract:

This paper aims to review examples of the types of input devices available, how they are used when creating 3D environments, and the intent; To inform the designers of the two-dimensional or perhaps three-dimensional educational virtual environments that are displayed across the two-dimensional screen, that deviating from the boundaries of the traditional screen will enrich the integrated educational environments, because these technologies carry built-in stimuli that combine what is visible, audible and tangible, especially after developing them recently. The latter and linking them to artificial intelligence systems and information networks. to be made in subsequent writings; Talk about the rest of the requirements of programs and other supplies needed to design smart 3D environments.

These types include: traditional input devices such as keyboards, two-dimensional mouse, trackball, pen, tablet tables, touch sticks, joystick and input device according to degrees of freedom (DOF), as well as three-dimensional spatial input devices, including three-dimensional tracking sensing technology, magnetic, mechanical, acoustic, inertial, optical, and radar inertia The Bioelectric and Hybrid Sensing.

Keywords:

3D virtual environments - 3D Spatial Input Devices - Sensing Technologies for 3D Tracking – Bioelectric, Acoustic, Optical, Mechanical and Inertial Sensing - Bioelectric and Hybrid Sensing.