واجهة المستخدم اللمسية في بيئات التعلم الافتراضية ثلاثية الابعاد

ا.د/ خالد محمد فرجون

أستاذ ورئيس قسم تكنولوجيا التعليم بكلية التربية جامعة حلوان (حاليا)

ووكيل الكلية لشئون التعليم وقائم بالعمادة (سابقاً)

مقدمة*:

تأتي كلمة " لمسي haptic من الكلمة اليونانية hap tin، "، وتستخدم للإشارة إلى كل من أحاسيس القوة أو الحركة المرتبطة بتحفيز النهايات العصبية للمفاصل والعضلات، بجانب ردود الفعل عن طريق اللمس الناتجة عن تحفيز النهايات العصبية في الجلد معتمدة في ذلك على تأثيرات العرض اللمسي لهذه الأجهزة، حيث تتيح للمستخدم تأثيرات حســـية كبيرة من القوة، اللمس، الاهتزاز، ودرجات الحرارة، وربما مزيج من أي من هذه الاحساسات معا.

وغالبا ما يقترن العرض اللمسي Haptic Displays مع أجهزة الإدخال بحيث يمكن أن يوفر حلقة ردود فعل سريعة بين قياس حركة المستخدم وردود الفعل اللمسي المرسلة للمستخدم، مع ضمان الكمون المنخفض بين الحركة البشرية وردود الفعل اللمسي والتي تعد من المتطلبات الرئيسية لخلق العرض الفعال.

ويعتبر العرض اللمسي أكثر أنماط العروض استخداماً في واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد 3D User Interface (UI) حيث يتيح للمستخدم الشعور بلمس الأشياء داخل البيئة الافتراضية واستقبال الحس العميق proprioception من خلال محاكاة التفاعل المادي بين الكائنات الافتراضية والمستخدم.

لذا يعرف عن واجهة المستخدم اللمسية haptics بأنها نظام يسمح للإنسان بالتفاعل مع الكمبيوتر من خلال الأحاسيس الجسدية والحركات، ويشير مفهوم اللمسية Haptics إلى نوع من تكنولوجيا التفاعل بين الإنسان والحاسوب والتي تشمل التغذية المرتدة عن طريق اللمس أو غيرها من الأحاسيس الجسدية لتنفيذ الإجراءات أو العمليات على جهاز الكمبيوتر.

ويتم تطبيق الواجهة اللمسية بشكل أساسي في بيئات الواقع الافتراضي بنمطيه الثنائي والثلاثي الابعاد، حيث يمكن للفرد التفاعل مع الكائنات والعناصر الافتراضية، كما تعتمد الواجهة اللمسية على أجهزة استشعار مصممة خصيصًا لإرسال إشارات كهربائية إلى الكمبيوتر استنادًا إلى الحركات أو التفاعلات الحسية المختلفة، ويتم تفسير كل إشارة كهربائية من قبل الكمبيوتر لتنفيذ عملية أو إجراء. في المقابل، فإن الواجهة اللمسية ترسل أيضًا إشارة إلى العضو أو الجسم البشري. فعلى سبيل المثال،

* ورقة عمل مقدمة للمؤتمر السنوي السابع (الدولي الخامس) للجمعية المصرية للكمبيوتر التعليمي ايام 17 – 19 يوليو 2019

يستخدم اللاعب في لعبة السباق قفاز مدعوم بأجهزة حساسة للتفاعل مع واجه البيئة الافتراضية، فيمكن مثلا أن استخدام يده لتوجيه السيارة، ومع ذلك، عندما تصطدم السيارة بجدار أو بسيارة أخرى، فإن الواجهة اللمسية ترسل إشارة حسية تكسب للمستخدم نفس الشعور من اهتزاز أو حركة سريعة.

وقد أظهر المصممون في الفترة الأخيرة كثير من امكانيات البيئة الافتراضية ، بل واتسعت سعاتها بناء على ما جاءت به الثورة الصناعية الرابعة ، بداية من واجهة المستخدم داخل هذه البيئة، التي تعد امكانياتها طفرة هائلة، باعتبارها مرأة لهذه البيئة، لكي يستثمر المستخدم التفاعل مع البيئة بأكملها، إذ تعد هذه الواجهة ؛ الوسيط الذي يتم من خلاله التواصل أو التفاعل بين المستخدمين واجهزة الكمبيوتر، حيث تقوم واجهة المستخدم بترجمة تصرفات المستخدم والحالة الناقلة للبيانات عبر (المدخلات) إلى تمثيل يمكن للكمبيوتر تفسيره والعمل من خلاله للانتقال لخطوة تالية للتفاعل مع العناصر المتعددة داخل البيئة الافتراضية.

لذا يعد أسلوب التفاعل interaction technique بين الانسان والكمبيوتر عبر واجهة المستخدم؛ هو الذي يسمح للمستخدم بإنجاز المهمة، ويشتمل اسلوب التفاعل على كل من الأجهزة (أجهزة الإدخال / الإخراج) ومكونات البرامج، ويكون مكون أسلوب التفاعل مسؤولا عن تعيين المعلومات من جهاز الإدخال (أو الأجهزة الاخرى) إلى بعض الإجراءات داخل النظام وتحديد مخرجات النظام إلى نموذج والذي يمكن عرضه بواسطة جهاز الإخراج (أو الأجهزة الاخرى).

نشـأت واجهة المسـتخدم اللمسية ثلاثية الابعاد

تعود أصول هذه الواجهة لواجهات المستخدم الرسومية (GUIs) المستخدمة في أجهزة الكمبيوتر الشخصية والتي حملت حتى اليوم تاريخ مثير للاهتمام، حيث ظهرت هذه الواجهة قبل عام 1980، وقت كان كل التفاعل بين الانسان وأجهزة الكمبيوتر معتمدا على أساس سطر الأوامر – حيث يطلب من المستخدم لكتابة الأوامر المعقدة ؛ استخدام لوحة المفاتيح، تم استخدام العرض بشكل حصري تقريبا للنص، وعندما ظهرت الواجهة الرسومية كانت في البداية غير تفاعلية، ولكن في عام 1980، ظهرت العديد من ادوات الادخال وأسعار معقولة، وأصبحت محل جدل لما لها من إمكانيات حيث اتاحت هذه الأدوات ؛ اظهار واجهات المستخدم الرسومية الأولى مثل Xerox (Star).

ومع ظهور واجهة المستخدم الرسومية، أصبح تصميم واجهة المستخدم GUIs, UI design and HCI بشكل عام مجال بحث أكثر أهمية من غيره. إذ يعد هذا المجال من المجالات المتعددة التخصصات التي تستمد أصولها من المعرفة الموجودة في الإدراك، وعلم اللغة، والعوامل البشرية، والإثنوغرافيا، وعلم الاجتماع، والتصميم الجرافيكي ، وغيرها من المجالات.

وبطريقة مماثلة، فإن تطوير نظم واجهة المستخدم ثلاثية الأبعاد كمجال للبحوث والممارسة، إلى حد كبير، كان مدفوعاً بالتكنولوجيات، بما في ذلك تكنولوجيا الرسومات ثلاثية الأبعاد، والواقع المعزز، والواقع الافتراضي، و(خاصة) المدعم بالأنظمة ثلاثية الأبعاد.

ومع نضج كل من هذه التكنولوجيات، ظهرت أنواع جديدة من التطبيقات، مما أدى بدوره إلى تطور مهام المستخدمين على هذه الواجهات، حيث أصبحت واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد محل العديد من البحوث التطويرية. وسوف نتناول في عجالة وقائع تطور بعض هذه المجالات وكيف اظهرت التقدم في التكنولوجيا الحاجة لهذه التكنولوجيا.

ففي أواخر الستينيات من القرن الماضي، وضع "إيفان ساذرلاند Ivan Sutherland" رؤية لنوع جديد كامل من منصة الكمبيوتر حيث لم تكن أجهزة الكمبيوتر في المقام الأول للعد فقط، بل استبدلت تباعاً للتجارب التفاعلية في الواقع المحاكي والتحليل البصري للبيانات. وبعد بضع سنوات، اتخذ الخطوات الأولى نحو تحقيق هذه الرؤية مع أول عرض رئيسي محمول على المسار، والتي كانت قادرة على حد سواء على البيئة الافتراضية او المدمجة VR and AR ، وكان هذا الاستخدام من البيانات حول تتبع الرأس لتحديد التفاعل وزاوية الرؤية، حيث يلاحظ انه في مثل هذه الطريقة أن المستخدمين سوف تتحرك رؤوسهم فقط للنظر في أجزاء مختلفة من العالم بشكل طبيعي، وربما كان ذلك أول اسلوب للتفاعل ثلاثي الابعاد (وما زال هذا الأسلوب هو الأساس للكثير من الأساليب المتقدمة اليوم).

وفي أواخر عام 1980 وأوائل عام 1990 ، أصبح بناء أنظمة الواقع الافتراضي أكثر عملية، حيث اشتملت على العديد من التكنولوجيات التي مكنت من رؤية الرسومات ثلاثية الأبعاد المجسمة، وشاشات الكرستال السائل miniature CRT displays ، وأنظمة تتبع المواقع position-tracking systems ، وأجهزة التفاعل interaction devices مثل Glove VPL Data.

وعلى الرغم من أن العديد من استخدامات تكنولوجيا الواقع الافتراضي حتى وقتاً قريب لم تشتمل بداخلها نمط التفاعل ثلاثي الابعاد 3D من خلال تتبع الرأس beyond head tracking ، إلا أن التجارب المبكرة في كيفية تمكين المستخدمين من التفاعل مع العالم الافتراضي من خلال الأيدي والأدوات التي تم تتبعها كان المرحلة الأولى لتطوير هذه التكنولوجيا.

ومن المثير للاهتمام، عندما دخل الواقع الافتراضي لأول مرة من خلال مقالة "جيم فولي"عام 1987" Foley's article in Scientific American ، الذي نبه فيها بضرورة الوعي العام لهذه التكنولوجيا وأظهرت صورة الغلاف بأنه ليس نظام تقليدي لعرض بيئة رسومية معقدة ولكن الحال تبدل بقفازات متابعة البيانات Glove Data كجهاز الإدخال لتمكين المستخدمين من التفاعل مع العالم الافتراضي المجسم. حيث كانت اساليب التفاعل ثلاثية الأبعاد في البداية مقصورة على مجال علماء ومهندسي الكمبيوتر وكانت التطبيقات المستخدمة بسيطة نسبياً. وكان التصور لمجموعات البيانات العلمية ثلاثية الأبعاد، والتجول في الوقت الحقيقي من الهياكل المعمارية، وألعاب الواقع الافتراضي من خلال تطبيقات بسيطة ولكنها كانت مثيرة للاهتمام، إلا انها قدمت الكثير من التحديات البحثية (كتناولها لرسومات أسرع وأكثر واقعية، وأكثر دقة عند تتبع خوذة الرأس، وانخفاض للاهتزازات، بجانب عرض أفضل). إلا أن هذه التطبيقات كانت فقيرة نسبياً خاصة عند تفاعل المستخدمين معها، في حين لم توفر تطبيق نموذجي يسمح فقط للمستخدم للتنقل بشكل تفاعلي البيئة، كعرض اسم كائن عند لمس المستخدم لها في هذه الفترة.

وقد واصلت تكنولوجيا التتبع والعرض ثلاثية الابعاد 3D داخل البيئات ثلاثية الابعاد في التطوير (حيث انخفض الكمون وتحسنت الدقة في الموقف وفي تتبع التوجه)، بعد ما أراد الباحثون تطوير التطبيقات لتصبح أكثر تعقيداً مع تزويدها بمجموعة أكثر ثراء من التفاعلات، بجانب توفيرها لإمكانيات تسمح للمهندس المعماري لبناء التصميم في العالم الافتراضي بواسطة تتبع خوذة الرأس داخل البيئة الافتراضية والقيام بالإبحار بطريقة بسيطة، مع إمكانية تزويد المستخدم بتسجيل وتشغيل الشروح الصوتية حول التصميم

المعماري، لتغيير نوع من الحجر المستخدم على الواجهة ، أو ربما لنقل نافذة، أو لإخفاء الجدران الداخلية بحيث يمكن أن ينظر الى التفاصيل الداخلية والمكونات الهيكلية.

ولحسن الحظ، بسبب التركيز في وقت سابق على واجهات لأجهزة الكمبيوتر الشخصية، كان مجال تفاعل الانسان مع الكمبيوتر HCI في مستوى مقبول من النضج، خاصة عندما شهدت التطبيقات ثلاثية الابعاد "أزمة في الواجهة". وقد وضع خبراء التفاعل بين الانسان والكمبيوتر؛ مبادئ عامة لتصميم الواجهة الجيدة، وعمليات التصميم والتطوير التي تهدف إلى ضمان قابلية الاستخدام (Hix and Hartson, 1993, 223) والنماذج التي شرحت كيفية تعامل البشر مع المعلومات عند التفاعل مع النظم.

وقد ساعد تطبيق تفاعل الانسان مع الكمبيوتر القائمة إلى واجهات المستخدم ثلاثية الابعاد؛ تحسين قابليتها للاستخدام، ولكن كانت هناك بعض الأسئلة حول تفاعل الانسان مع الكمبيوتر بالواجهة ثلاثية الابعاد عما كانت عليه هذا التفاعل بالنظام التقليدي.

وبعيداً عن التصميم المنخفض، كان مصممو واجهات التصميم ثلاثية الأبعاد (ولا يزالون) يواجهون قيودا تكنولوجية، مثل بطء المدخلات ، والمساحة المحدودة لعمل البيئات ثلاثية الأبعاد ، وتسرب المستخدمين في التتبع داخل البيئات الافتراضية ، علاوة على ما تجلبه الأجهزة من إرهاق عند ارتداؤها أو الاحتفاظ بها أو إرفاقها، وبالتالي فإن كثيراً من التصميمات على الورق لا يمكن تنفيذه بالطريقة المتوقعة، وبالإضافة إلى ذلك، وجد الباحثون أن مساحة التصميم للتفاعل ثلاثي الابعاد كانت ضخمة، مع عدد غير محدود تقريباً من الاحتمالات بسبب التعبير في المدخلات ثلاثية الابعاد، علاوة على عدم القدرة على تصميم جميع أنواع التفاعلات "المبهرة" التي يتمناها المصممين.

واقع واجهات المستخدم اللمسية ثلاثية الابعاد

اصبح مجال واجهة المستخدم ثلاثي الابعاد اليوم أكثر نضجاً، وهذا ما لاحظه الباحثون والممارسين في جميع أنحاء العالم، بجانب ظهور العديد من الخلفيات المختلفة، والتصميم، والتقييم، ودراسة التفاعل ثلاثي الابعاد ، وقد انتشرت البحوث في مجموعة واسعة من المؤتمرات الأكاديمية والمجلات ، علاوة على ذلك، ظهرت أساليب الإدخال ثلاثية الابعاد القوية مثل Nintendo Wii Remote, the Microsoft Kinect, the Leap Motion Controller, and Oculus Touch ، بل وأصبحت متاحة للمستخدمين، كما أن هناك المئات من التطبيقات ومشاريع الكبيرة التي تنطوي على التفاعل ثلاثي الابعاد.

ومع ذلك ورغم تعدد أنظمة التشغيل لتطبيقات الكمبيوتر المختلفة وتنوعها، إلا أن الماوس ولوحات المفاتيح والنوافذ والقوائم والرموز؛ لا تزال هي الادوات القياسية السائدة في الواجهات التقليدية traditional pointer interfaces (WIMP) ، ومع ذلك فقد بدأت تتكاثر الأجهزة ثلاثية الابعاد غير التقليدية بسبب تنوع عناصر الواجهة الجديدة ، وليس فقط على الأجهزة النقالة بل اشتملت هذه العناصر أجهزة الإدخال المكاني مثل أجهزة التتبع trackers ، وأجهزة التوجيه ثلاثية الأبعاد 3D pointing devices ، والأجهزة الكاملة التي تسمح بالإدخال القائم على الإيماءات whole-hand devices that allow gesture-based input.

كما ظهرت ايضاً تقنيات الإخراج ثلاثية الأبعاد المتعددة 3D output technologies في

أجهزة الكمبيوتر، مثل شاشات عرض الإسقاط المجسمة stereoscopic projection displays ، وعالية الدقة high-resolution HWDs (Focusing on stereoscopic head-worn displays)، والنظم السمعية المكانية spatial audio systems ، والأجهزة المعتمدة على اللمس haptic devices، والتي أصبحت في الآونة الاخيرة أكثر شيوعاً، بل وأن بعضها يعتبر من المنتجات الإلكترونية الأكثر استخداماً بين الشباب والأطفال داخل برامج التسلية، مما يدعو لضرورة توظيفيها كوسيط تعليمي.

ومع ذلك فإن عملية التفاعل ثلاثي الابعاد ؛ رغم استحداث الكثير من اساليبه ؛ إلا أنها ما زالت تحمل قدر كبير من الصعوبة، حيث اكتشفت مجموعة متنوعة من المشاكل، وكثيرا ما يجد المصممون صعوبة في فهم المساحات الثلاثية الأبعاد وتنفيذ الإجراءات في الفضاء الحر ، على الرغم من أننا نعيش ونعمل في عالم واقعي ثلاثي الابعاد، إلا أن العالم المادي يحتوي على العديد من المتغيرات التي تصعب فهم هذا العالم، كما أن القيود وتكاليف العمل التي لا يمكن تمثيلها حالياً في محاكاة الكمبيوتر لتحقيق الإيحاء بالبعد الثالث ما زالت مكلفة وصعبة التحقيق ؛ رغم توافر العديد من البرامج والتكنولوجيات المحققة لذلك.

وهذا ما فرض على المصممين التعليميين المعنيين بتصميم أنظمة واجهة المستخدم وأساليب التفاعل لتطبيقات ثلاثية الأبعاد بكل المتغيرات البنائية داخل البيئات التعليمية الافتراضية ثلاثية الابعاد؛ أن تكون محل بحث وتجريب للوصول إلى افضل النتائج عند تصميم هذه البيئات وانتاجها، خاصة أنه من الواضح أن مجرد تكييف أنماط التفاعل WIMP التقليدية مع متطلبات تكنولوجيا البعد الثالث غالبا ما لم يوفر حلاً كاملاً للمشكلات التصميمية، مما جعل هناك ضرورة لتطوير واجهات المستخدم ثلاثية الابعاد القائمة على التفاعل مع الواقع الحقيقي 3D UIs based on real-world interaction ، إذ ينبغي أن تجهز هذه الواجهة في إطار جديد على أساس التفاعل مع العالم الحقيقي أو ما يستلزمه العالم ثلاثي الابعاد من أي إضافات أخرى.

كما ينبغي توفـر عنصر هام لنظام العرض اللمسي (إلى جانب الجهاز الفعلي) وهـــو البرنامج المستخدم لتجميع القوات والأحاسيس اللمسية التي يعرضها جهاز العرض للمستخدم: كالاستدعاء اللمسي haptic rendering، والذي يستند على مجموعة كبيرة ومتنوعة من التقنيات الخوارزمية العامة، مثل النمذجة القائمة على الفيزياء والمحاكاة، بالإضافة الى النمذجة النفسية للإدراك اللمسي للمستخدم، والذي يعد من الأساليب المشهورة في تقديم اللمس الافتراضي (Israr and Poupyrev, 2011, 2022-2023) .

ولذا تتضمن واجهة المستخدم ثلاثية الأبعاد 3D user interface (3D UI) المعتمدة على العرض اللمسي؛ واجهة تفاعل بين المستخدم والكمبيوتر ؛ بحيث يحدث هذا التفاعل داخل حيز حقيقي أو افتراضي ثلاثي الأبعاد ، إلا انها حتى وقتاً قريب مازالت امكانياته محدودة بسبب أن الأنظمة التفاعلية المسببة للرسومات ثلاثية الأبعاد لا تنطوي بالضرورة على تفاعل ثلاثي الأبعاد، ورغم أن التفاعل ثلاثي الابعاد لا يعني بالضرورة استخدام أجهزة ادخال ثلاثية الابعاد، إذا يمكن أن ينقر المستخدم على كائن من خلال ماوس للدخول على بيئة افتراضية ثلاثية الابعاد، إلا أن ما يشغلنا هنا هو التفاعل ثلاثي الابعاد الذي ينطوي على المدخلات الطبيعية (غير المعروفة في البيئات ثنائية الابعاد) مثل إيماءات اليد أو الخطو والتنقل والتحرك الفيزيقي في الفراغ، والتي تمدنا بنتائج افضل. خاصة أن مستخدمي الكمبيوتر الجدد أصبحوا على دراية وثيقة بهذه المدخلات الحسية للتفاعل مع مكونات واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد، ومع ذلك ما زال هناك بعض المصممون يستخدموا أجهزة الإدخال التقليدية

مثل الماوس والشاشة التي تعمل باللمس، وأجهزة الإخراج كالشاشة أو الجهاز اللوحي أو شاشة الموبايل، واساليب التفاعل مثل السحب والإفلات والقرصة للتكبير، وواجهة الحاجيات مثل القوائم المنسدلة، واستعارات واجهة المستخدم مثل ويندوز، والأيقونات، والقوائم، ومؤشر (WIMP) عبر سطح المكتب. ألا أن الواقع يؤكد عدم جدوى هذه الأجهزة التقليدية للتفاعل مع مكونات واجهة المستخدم للتطبيقات الحالية التي يجري تطويرها باستمرار. حيث تتطلب واجهات المستخدم ثلاثية الابعاد من المستخدم ارتداء خوذه الرأس head-worn display (HWD) كوسيلة للانغماس في البيئات الافتراضية، حتى يكون قادراً على رؤية العالم المادي من حوله ، مما جعل استخدام لوحة المفاتيح غير عملي في هذا النوع الجديد، حيث يكون الانغماس بجهاز خوذة الراس (HWD) في الواقع المعزز augmented reality (AR) محدود الإمكانيات عند تطبيقه، مما اضطر المطورون لإعادة تصميم مكونات الواجهة بطريقة أخرى، حيث سعوا لتوفير نوعية جديدة من المكونات توفر للمستخدم امكانية وضع الكائن الافتراضي في أي مكان داخل الفراغ ثلاثي الابعاد 3D، دون وجود أي صعوبة في تحريكه مع أي اتجاه – وهذا ما يصعب تحقيقه من خلال اجهزة الادخال التقليدية كالماوس الذي تنحصر سعته في ابعاد الطول والعرض عبر الشاشات ثنائية الابعاد.

وبالتالي، فإن هذه الأنظمة المبتكرة غير التقليدية تحتاج إلى مجموعة جديدة من مكونات واجهة المستخدم: أجهزة جديدة، وتقنيات جديدة، وأجهزة استعارات جديدة. وقد تشمل بعض هذه المكونات الجديدة تحسينات بسيطة للمكونات القائمة لبعض المهام القليلة؛ والبعض الآخر يجب أن يكون مصمم من البداية وفق انظمة مختلفة عن سابقها، خاصة ان العديد من هذه البيئات غير التقليدية تعمل في الفضاء الحقيقي و / أو الافتراضي ثلاثي الابعاد.

وأهم ما يميز التفاعل ثلاثي الابعاد في واجهات المستخدم ثلاثية الابعاد هو أنه من أكثر الأنماط اتصال بمهام العالم الحقيقي؛ فالتفاعل في الفراغ ثلاثة أبعاد غالباً ما يجعل الشعور بديهي في أغلب التطبيقات، وذلك بسبب توائم خصائص المهام في هذه المجالات ومطابقتها مع خصائص البيئات الطبيعية ثلاثية الابعاد، إذ يمكن للبيئات الافتراضية أن توفر للمستخدمين إحساساً بوجودهم داخل البيئات الحقيقية، بل وشعورهم بالانغماس فيها (استبدال البيئة المادية بالبيئة الافتراضية) ، وهو أمر منطقي للتطبيقات الممثلة للواقع مثل الألعاب والتدريب والمحاكاة، إذا يمكن للمستخدم التفاعل باستخدام المهارات الطبيعية داخل هذه البيئات.

كما يمكن ايضاً؛ الاستفادة من أن المستخدم لديه بالفعل قدرا كبيرا من المعرفة حول العالم، وأن هذه الواجهة ثلاثية الابعاد 3D UIs أكثر مباشرة أو فورية للتفاعل كواجهة للبيئات الافتراضية ثلاثية الابعاد عن الواجهات ثنائية الابعاد، حيث توفر هذه البيئات مسافة ادراكية قصيرة بين اداء المستخدم داخلها وردود فعل النظام؛ التي تظهر نتيجة ذلك الأداء؛ مما يسمح للمستخدمين ببناء نماذج ذهنية متكاملة ومركبة لإتمام عمليات المحاكاة مما يحقق في النهاية اهداف التعلم من هذه البيئات الافتراضية.

خصائص العرض اللمسي للواجهات الافتراضية ثلاثية الابعاد

إذا كان العرض اللمسي في الواجهات الافتراضية ثلاثية الابعاد يعني القدرة على تقديم ردود الفعل اللمسية للمستخدم من المستخدم لهذه الواجهات، فينبغي أن تعد أداة قوية لتطوير هذه العروض لكي تصبح أكثر فعالية وكفاءة للانغماس في الواقع الافتراضي. وعلى وجه الخصوص فإن الانغماس ينبغي ان تتوفر فيه بعض الخصائص حتى يمكن أن يزيد العرض اللمسي من الواقعية داخل واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد *(Biggs and Srinivasan, 2002, 98)*، إذ يعد أمر مهم بشكل

خاص في تطبيقات الألعاب الترفيهية،

وبطبيعة الحال، فإن محاكاة الواقعية للمثيرات اللمسية من الأشياء الهامة في العالم الحقيقي ومن الصعب حالياً القيام به- خاصة أن الحصول على ذلك؛ صعب للغاية حتى وقتنا هذا، وما زال العرض القائم على التصميم اللمسي ضعيف، بل ويمكن في الواقع أن يعيق تجربة الانغماس بسعته الحالية. ومع ذلك فإن احتياجنا اليه أصبح ضروري وهام؛ خاصة عندما يكون العرض اللمسي الحقيقي خطير، ومن المحتمل أن يضر المستخدم، مما يجعل العرض اللمسي الافتراضي متطلب يحتاج للبحث في متغيراته وخصائصه للوصول به لأعلى الخصائص خاصة لحاجتني اليه عند تعلم المهارات الخطيرة والمكلفة في الواقع.

ولذا ينبغي الرجوع لخصائص العرض اللمسي عبر واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد؛ باعتباره واحد من أهم الاستخدامات الطبيعية لردود الفعل المسي ؛ إذ يجب دراسة التغذية المرتدة ودرجاتها عند الاستحواذ والتلاعب بالكائنات الافتراضية باستخدام التلاعب المباشر ، فالأجهزة المسببة للعرض اللمسي والتي سيشار اليها لاحقاً ستحدد خصائص هذا العرض، بحيث توظف وفق هذا الخصائص، حيث يمكن عن طريق اللمس معرفة التغذية الراجعة لمهارة محددة باستخدام ردود الفعل اللمسية ، مما يجعل العرض اللمسي وسيلة وتمثيل للواقع غير مكلف، خاصة ان للعرض اللمسي العديد من الخصائص المختلفة التي ترتبط باختيار أجهزة اللمس في واجهة المستخدم ثلاثية الابعاد، وسوف نناقش ثلاث من الخصائص الأكثر شيوعاً وهي:

- الأبعاد الإدراكية perceptual dimensions

أهم سمات العرض المسي هو قدرته على تقديم معلومات للمستخدم، ومعظم شاشات العرض المسي تتطلب الاتصال الجسدي المباشر بين الأجهزة والجسم البشري، والمستخدم لديه "الشعور" بالجهاز، وهناك استثناءات قليلة لهذه القاعدة، بما في ذلك عرض خاص للغاز أو الرياح، أو أنظمة الموجات فوق الصوتية ذات الأغراض العامة (أي الموجات الصوتية القوية والموجهة التي يمكن للمستخدم الشعور بها).

خلافاً للعرض البصري أو السمعي، فإن هناك في العرض اللمسي Haptic العديد من الآليات الفسيولوجية والإدراكية المتوازية التي تثير الأحاسيس اللمسية للإنسان، ولذلك يتم استخدام العديد من الاساليب لخلق الأحاسيس المسي، وليس هناك أسلوب واحد "أفضل" للعرض اللمسي، خاصة وأن لتصميم العرض المسي وتطبيقاته أشياء محددة تعتمد على أبعاد الإدراك الحسي الذي نود أن تثيره. وعلى المستوى الأساسي، قد يوفر العرض تلميحات عن طريق اللمس أو الحركية، أو كليهما. وإذا كان الجهاز يوفر التلميح اللمسي، فيمكن لآليات التشغيل أن تستهدف مستقبلات الجلد المختلفة باستخدام الاهتزازات في الترددات المختلفة والسعات، وأشكال الإغاثة الثابتة ، أو التحفيز الكهربائي المباشر ، حيث ترتبط الشحنة الكهربائية مباشرة بنهايات العصب عن طريق اللمس، إذا تم تصميم الجهاز لإخراج التلميح الحركي ، فيمكن للآليات استهداف مجموعات العضلات المختلفة في الطرف وإما بنشاط تعديل القوى التي تنطبق على جسم الإنسان (كما هو الحال في الكلاسيكية لعرض قوة ردود الفعل) أو تعديل المقاومة المتصورة لجهاز تشتغل الإنسان، والتي يمكن القيام به إما باستخدام نشاط يعرض الفرامل باللمس أو بشكل سلبي باستخدام الدعائم المادية البسيطة.

موقع الجسم الذي يستخدم للتشغيل اللمسي هو بعد آخر للإدراك الحسي، فكثافة وتوزيع النهايات العصبية في الجلد والعضلات والأوتار تختلف عبر مواقع الجسم. فعلى سبيل المثال، يتم قياس الدقة المكانية اللمسية في طرف الاصبع مع

اختبار عتبة نقطتين لتكون 1mmواحد ملي متر، في حين أن المثير على ظهره يزيد إلى أكثر من 20 مليمتر، بالإضافة إلى ذلك، فإن حجم منطقة التنشيط التي يمكن أن تدعمها الشاشة يؤثر على كل من التصور وتصميم العرض: حيث أن العرض الكامل للجسم عن طريق اللمس ينظر اليه بشكل مختلف جداً من الاهتزاز لجزء من الجسم، لذا فالنظر في كل هذه الأبعاد الإدراكية أمر ضروري في تصميم العرض اللمسي وتطبيقاته التوافقية.

- **النقاط الضوئية** Resolution

يشير مكان النقاط الضوئية للعرض اللمسي إلى أقرب مكان أدنى للمؤثرات التي يمكن للجهاز تقديمها للمستخدم، ولذا ينبغي أن تتوافق النقاط الضوئية مع الدقة المكانية الإدراكية لمواقع الجسم حيث يتم تطبيق العرض اللمسي، فمثلاً، الساعد هو أقل حساسية للمؤثرات إذ وضعت عن كثب من أطراف الأصابع (Sherman and Craig, 2003, 33)؛ وبالتالي، يجب أن يكون جهاز اللمس المصمم للأصابع بعدد نقاط ضوئية أعلى في المكان من معصم الساعد.

كما تشير النقاط الضوئية الزمنية temporal resolution إلى القرب الزمني الأدنى من المحفزات عن طريق اللمس التي تولدها العروض اللمسية. وغالبا ما يشار إليها باسم معدل التحديث من العرض اللمسي. لذا فالنقاط الضوئية الزمنية مهم جدا في العرض لأنها المسئولة عن تقديم الأحاسيس اللمسية ذات الجودة العالية، فعلى سبيل المثال، في قوة عرض المثير الزماني المنخفض يمكن أن يسبب اهتزازات غير مقصودة، مما يجعل الكائنات الظاهري يشعر بعدم احساسه بقوة من المقصود. وعادة ما تتطلب عرض قوة معدلات التحديث على الأقل 1000 هرتز لتوفير جودة الانتاج المسي (Massie, 1993, 323).

- **بيئة العمل** Ergonomics

من أجل توليد الأحاسيس اللمسي وتواصل المعلومات عن طريق اللمس والتمثيل القوي، فالعرض اللمسي يحتاج اقتران وثيق بالأشياء المادية والمعلومة لدى المستخدم، فبيئة العمل والسلامة تلعب دورا حيوياً في تصميم وتوصيف هذه العروض، فعلى سبيل المثال، تستخدم بعض شاشات اللمس عن طريق التحفيز الكهربائي المباشر لتحفيز المستقبلات اللمسية، ولذلك، يجب الحرص على عدم تجاوز كمية التيار الذي قد يسبب الأحاسيس غير مريحة أو الإصابة. وبالمثل قد تعرض بقوى قوة التأكيد غير آمنة للمشارك، بينما بسبب أخطاء في تصميم العروض اللمسية قد تسبب عدم الراحة.

بالإضافة إلى السلامة، فإن عدم راحة المستخدم هي أيضا من المخاوف عند تصميم العرض اللمسي، فعلى سبيل المثال، يستغرق الأمر وقتا وجهدا للمستخدم لإرفاق أو وضع العديد من الأجهزة اللمسية، وخاصة مع اتصالات المتعددة، وعند تصميم آليات المرفقات التي تجعل هذه العملية سهلة ومريحة من قبل المستخدمين.

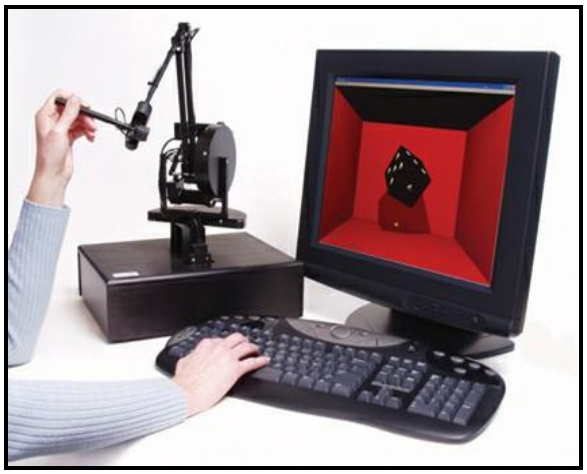
علاوة على ذلك، فغالبا ما يتم إرفاق الجهاز مع المستخدم، مما يجعل حمله والتعامل معه مرهق، مما يصعب مهمة المستخدم في القيام بالمهام المطلوبة، بجانب صعوبة تهيئة الإحساس داخله بالقدرة على التحريك لعناصر البيئة الافتراضية، خاصة في المهام اللمسية المقصودة لأداء مهمة دقيقة، ولذا فأنه بغض النظر عن العرض اللمسي المستخدم وحاجتنا الى تحقيقه، تصبح راحة المستخدم والسلامة؛ الشاغل الرئيسي للمصمم عند تجهير البيئة الافتراضية المستخدمة.

أنواع العروض اللمسية في واجهات المستخدم ثلاثية الابعاد:

تم تطوير مجموعة واسعة من العروض اللمسية خلال السنوات الماضية في كل من البحوث والظروف الصناعية؛ وقد تطورت العديد منها من العمل المنجز في الروبوتات عن بعد والتشغيل عن بعد (Biggs and Srinivasan, 2002, 100). وكان هناك أيضا عدد من المحاولات لتصنيف العرض اللمسي. فعلى سبيل المثال، غالبا ما يتم تصنيفها على أساس أنواع المحركات، أي المكونات النشطة للعروض اللمسية التي تولد القوة أو الحساسيات اللمسية (Hatzfeld and Kern, 2014, 23) للحصول على مقدمة شاملة لتكنولوجيا المشغل)، وسوف نناقش هنا مجموعة العرض اللمسي من المنظور المرتكز على واجهة المستخدم، ووضعها في واحدة من ست فئات: مرجعية الأرض ground-referenced ، و المشار إليه من قبل الجسم body-referenced، واللمس tactile، وفي الهواء in-air، والممزجة combination، وغير النشطة passive ، وسوف نعرض بإيجاز بعض الأجهزة التي تقدم أمثلة لهذه الفئات الستة.

1- أجهزة اللمس ذات الصلة بمرجعية الارض Ground-Referenced Haptic Devices

تقوم أجهزة التغذية المرتدة ذات مرجعتية الأرض بإنشاء رابط فعلي بين المستخدم ونقطة أرضية في البيئة، مثل سطح المكتب أو الجدار أو السقف أو الأرضية. ونظرا لأن هذه الأجهزة ثابتة على البيئة المادية، فإن نطاقها محدود. وتشمل أنواع مختلفة من اجهزة العرض المرجعية الأرضية المعتمدة على عاكس القوة force-reflecting joysticks، وأجهزة ردود الفعل القوة القائمة على القلم pen-based force-feedback devices، والأجهزة الوترية stringed devices، ومنصات الحركة motion platforms ، والازرع الروبوتية المفصلية الكبيرة large articulated robotic arms ، وتستخدم شاشات العرض المشار إليها في الشكل تقنية المحركات الكهربائية أو الهوائية أو الهيدروليكية .



الشكل (1)

جهاز مرجعي للقوة مرجعية من الأرض

كما أن عصا التوجيه التي تسبب القوة Force-reflecting joysticks ، والمسئولة عن التوجيه ذات القوة المرتدة force-feedback steering، تكون متاحة بشكل عام ، علاوة على انها غير مكلفة نسبياً ، وغالبا ما تستخدم في ألعاب الكمبيوتر كالقيادة ومحاكاة الطيران ، ويعرض العرض اللمسي القائم على القلم إضافة ردود الفعل اللمسية لجهاز التوجيه المألوف (كالقلم)، ويوضح ذلك الشكل (1) ، حيث تستخدم أجهزة التغذية المرتدة المستندة إلى سلسلة من الوصلات الفولاذية الرقيقة لتحكم يد المستخدم في التطبيق، الذي يتسم بخفة الوزن والدعم لمساحة كبيرة من العمل (Ishii and Sato, 1994, 83) ، كما أن هناك عصا مفصلية كبيرة ترتكز على الأرض أو السقف، بحيث يمكن من خلالها تولد مستويات أعلى وبقوة ودقة افضل، كما تتميز هذه الأجهزة بتوفير مجموعة كبيرة نسبياً من الحركة للمستخدم.

وهناك امثلة كثيرة لهذا النوع من الأجهزة منها جهاز "ارجون" للتلاعب عن بعد Argonne

Remote Manipulator وجهاز ساركوس ديكستروس SARCOS Dextrous ، وجهاز Arm Master ، حيث يعرض هذا الجهاز قوة الذراع الخارجية التي يمكن أن يؤدي تطبيقها للتحكم في معدل القوى لليد والكوع والكتف عند انتاج العناصر داخل البيئات الافتراضية.

وبالإضافة إلى الأجهزة اللمسية المصممة لتعزيز التحكم اليدوي والتلاعب عن بعد، والتي تشتمل على أجهزة العرض المسندة إلى الأرض مثل أجهزة المطاحن treadmills ومنصات الحركة motion platforms وأجهزة التنقل الأخرى للتنقل عبر البيئات الافتراضية ثلاثية الأبعاد.

2- أجهزة اللمس ذات مرجعية الجسم Body-Referenced Haptic Devices

على النقيض من الأجهزة ذات المرجعية للأرض التي أشير إليها من قبل، هناك الأجهزة ذات ردود الفعل المشار إليها في الجسم حيث يضع الجهاز المسي على جزء من الجسم المستخدم - عرض لمسي "grounded" للمستخدم، والميزة الرئيسية للعروض ذات مرجعية الجسم أنها توفر للمستخدم حرية حركة أكثر بكثير في البيئة المحيطة من ذات المرجعية للأرض ground-referenced displays (أي يمكن للمستخدم التجول بحيث يصبح غير مقيد بمساحات العمل التي يتم عرضها مع العروض اللمسية، ومع ذلك فالعيب، هو أن المستخدم لابد ان يتحمل الوزن الكامل للجهاز. لذلك؛ فالعوامل المريحة مثل الوزن والحجم حاسمة في تصميم الأجهزة الصالحة للاستخدام والفعالة، وتعد تحد هندسي كبير، وهذا النوع من العرض يستخدم عادة المحرك الكهربائي أو التقنيات الهوائية electrical or pneumatic actuator technology.

وأحد الاساليب الواعدة التي تقلل من وزن الأجهزة المشار إليها الجسم، والذي يجعلها أكثر راحة، هو استخدام تحفيز العضلات الكهربائية لإرسال إشارات كهربائية لمجموعات العضلات المختلفة مما تسبب في حركات العضلات اللاإرادية لتوليد القوى اللمسية ويستخدم هذا الاسلوب عادة الأقطاب الكهربائية، متصلا عن طريق الجلد لتحفيز العصب الكهربائي (TENS) في الجهاز، وقد وضعت استراتيجية على العضلات المختلفة لاستدعاء الحركة، فعلى سبيل المثال، وضعت الأقطاب الكهربائية على عضلات الساعد بحيث يمكن أن تجعل من ناحية المستخدم خطوة صعوداً وهبوطاً مع كمية مناسبة من التحفيز، وقد تم استخدام هذا النوع من النظام اللمسي في لعبة الملاكمة القائمة على الواقع الافتراضي virtual reality boxing game (Kruijff et al., 2006, 315) .

ويمكن تصنيف العروض اللمسية المعتمدة على الجسم Body-referenced displays بشكل أكبر حسب مواقع الجسم التي يتم تشغيلها بواسطة الأجهزة، وهناك نوع واحد اكثر شعبية هو الهيكل الخارجي القائم على الذراع arm-based exoskeleton ، وهو ما يشبه عرض قوة الذراع الخارجي المشار إليه ، إلا أنها تحمل على ظهر المستخدم بدلا من اتصالها بالأرض أو السقف، أو الجدار.

والنوع الثاني من العروض المرتبطة بالجسم المشار إليه هو جهاز اليد- قوة ردود الفعل hand-force-feedback device. ، ويتم ترتكز هذه الأجهزة إلى ساعد المستخدم user's forearm، والكتفpalm ، أو ظهر اليد back of the hand ، ويتوقف نمط الاستخدام على التصميم، وعادة ما تستخدم هذه العروض وصلات وأوتار وبكرات لنقل القوى إلى اليد والأصابع، مع وضع المحركات عن بعد، ويرد

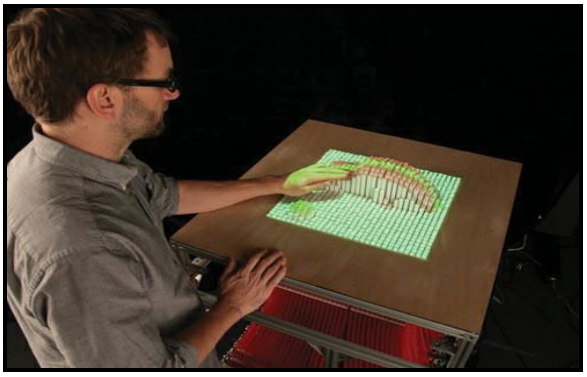
مثال على هذا الجهاز في الشكل (2) ؛ حيث يمكن أن تنتج القوى التي تحظر على المستخدم من الانحناء الأصابع ، وهناك طريقة بديلة لتصميم أجهزة التغذية المرتدة للقوة اليدوية ، وهي تشمل على وضع المشغلات في راحة المستخدم ، مما يقلل من التعقيد الكلي للأجهزة ، وقد أظهر أيضا الهيكل الخارجي المحمول كامل الجسم مؤخرا، على الرغم من أن الغرض منها هو عادة لتضخيم التنقل المستخدم والقوة بدلا من توفير ردود الفعل المسي في حد ذاته، وبغض النظر عن نوع العروض اللمسية للجسم المشار إليها ، إلا أن المستخدم يرتديها ، مما تتطلب وقت الإعداد وضعها على المستخدم مع مراعاة المعايرة لجسم معين وربطه بالحجم.

الشكل (2) الجهاز اللمسي ذات المرجعية المرتبطة في قوتها بالجسم

العروض اللمسية Tactile Displays

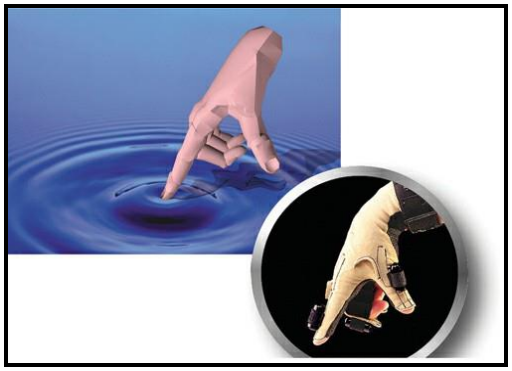
تهدف العرض اللمسية إلى تقديم المعلومات اللمسية من خلال تحفيز الحس اللمسي للمستخدم. ولأن الجلد البشري حساس للغاية، ومطلوب طاقة أقل بكثير لإنتاج الأحاسيس اللمسية قوية ويمكن التعرف عليها، لذلك، فإن هذه العروض عموماً أصغر بكثير وأكثر خفية من عرض القوة التي ناقشناها أعلاه. وتستند جميع العروض اللمسية على إنتاج الأحاسيس عن طريق اللمس من خلال تطبيق المحفزات المادية على جلد الإنسان ، لذلك يمكن تصنيف شاشات اللمس عن طريق المبادئ المادية للتحفيز، وهي تشمل أجهزة العرض الميكانيكية القائمة على الازاحة mechanical displacement-based displays ، وعروض الاهتزاز اللمسي vibrotactile وهي التي تنطوي على تصور الاهتزاز من خلال اللمس ، والعروض اللمسية القائمة على الإحساس الكهربائي electro cutaneous ، والعروض الكهربائية القائمة على الاهتزاز electro vibration ، والعروض القائمة على الاحتكاك اللمسي surface friction ، والعروض القائمة على التعرض الحراري thermoelectric .

ومن الأمثلة على العروض الميكانيكية القائمة على الازاحة displacement الخزانات القابلة للنفخ inflatable bladders والعروض ذات الشكل بارز relief-style، حيث تخلق مجموعة من الدبابيس صورة شكلية أو "صورة لمسية" يمكن أن يلاحظها المستخدم ويشعر بها في اليد ، ويوضح ذلك شكل (3) ؛ والعرض الذي يصور الاهتزاز من خلال اللمس Vibrotactile الموضح في شكل (4) ؛ حيث يلاحظ التواصل عن طريق إحساس اللمس بوضع محركات تهتز على أطراف الأصابع واليدين. كما أن هناك المحرك الأكثر شيوعا المستخدم فيه يعرض Vibrotactile وهو محرك المهتز، وتستخدم عروض Vibrotactile عادة في وحدات تحكم اللعبة والهواتف المحمولة، ويقدم العرض الكهربائي مباشرة مستقبلات اللمس في جلد الإنسان مع خلال ارسال شحنات كهربائية تمر عبر الجلد، مما يخلق إحساس غير مألوف للمستخدم فيشعره بشعور الـوخـز tingling ،(Follmer et al., 2013, 419)



الشكل (3) عرض النزوح الميكانيكية الذي لديه القدرة على إنتاج الأشكال اللمسية

وفي نوع آخر من التحفيز الكهربائي، حيث ينتج تيار يحفز العصب القحفي الثامن الواقع خلف الأذن للشعور بالاهتزاز، إذ يلاحظ أن هذه الإشارات الكهربائية توفر للمستخدم لا الإحساس عن طريق اللمس، ولكن من خلال التحفيز الدهليزي، والذي يمكن أن يخلق إحساس عالي للشعور بالحركة. حيث تعرض العروض اللمسية على شكل احاسيس إلكترونية عن طريق التحكم في الاحتكاكات الكهروستاتيكية بين الأسطح المفرغة والأصابع المنزلقة ، حيث أن الجهد المتناوب المطبق على السطح الموصلة ينتج قوة الجذب بين الإصبع والسطح الموصلة، وهذه قوة تنظم الاحتكاك بين السطح وجلد اليد المتحرك، مما يخلق الإحساس بالشيء، مثل الاحتكاك من الاصبع على السطح، ويمكن الجمع بين هذا الاحتكاك مع التمثيل



الشكل (4) جهاز اللمس الذي يضع المحركات تهتز على أطراف الأصابع وكف اليد.

المرئي، مما يسمح للمستخدم أن يشعر بسطح الصور الافتراضية ثلاثية الابعاد الظاهرية، كما هو مبين في الشكل (4) (Kim et al. 2013, 532). ولاحظ أن أي سطح يمكن أن يضاف مع هذه الأحاسيس عن طريق اللمس، بما في ذلك الأسطح من الأشياء اليومية، وأجهزة الإدخال، والدعائم المادية .(Bau et al., 2012, 1).

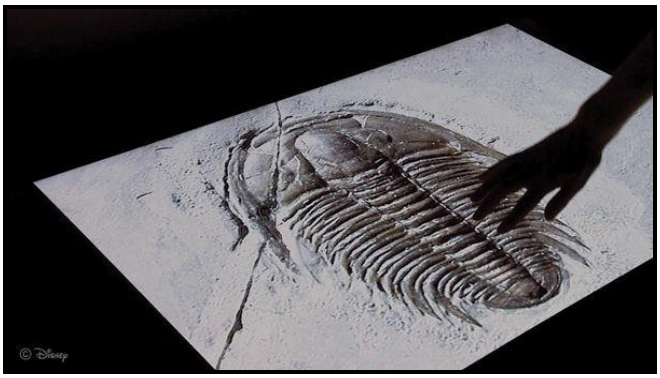
وتشبه شاشات اللمس الاحتكاكية السطحية شاشات العرض الكهربية في أنها تتحكم في الاحتكاك بين اليد البشرية والسطح، إلا أن التأثير عن طريق اللمس يعتمد على اهتزاز السطح عند تردد الموجات فوق الصوتية ويخلق طبقة من ضغط الهواء بين اليد البشرية وسطح اللمس، حيث تتكون طبقة رقيقة من الهواء لتقليل الاحتكاك بين اليد والعرض الملموس، مما يجعلها أكثر تنزلق "“slippery” (Winfield et al. 2007, 423). كما يمكن أيضا إحداث التلاعب عن طريق الاحتكاك بزيادة او نقصان اهتزاز الموجات فوق الصوتية.

وأخيرا، تنتج شاشات الكهروحرارية الإحساس بالحرارة وعادة ما يتم تطويرها باستخدام أجهزة كهروحرارية مختلفة، مثل نمازج

"بلتير" Peltier modules (Jones, 2008, 60).

ومن هنا يتضح ان جميع التكنولوجيات التي ناقشناها أعلاه تسمح لتصميم اساليب التشغيل والتحكم اللازمة لإنتاج الأحاسيس عن طريق اللمس، والهدف الأعلى من تصميم عروض اللمس هو بناء المفاهيم اللمسية عالية الترتيب التي يمكن أن توصل المعاني المعقدة، والتعبيرات، والخبرات للمستخدم.

وتشمل الفئة الثانية لغات اللمس لتوصيل المعلومات الرمزية، وعرض الصور والأصوات، والتواصل التنبيهات والرسائل، وتقديم المعلومات المكانية مثل الاتجاهات والأشكال (Israr and Poupyrev 2011, 2023).



الشكل (5) تسمح شاشات العرض الكهربية للمستخدم بأن يشعر بالمطبات والتلال على العرض ثلاثي الأبعاد المتوقع على سطح الشاشة

3- اللمس عبر الهواء In-Air Haptics

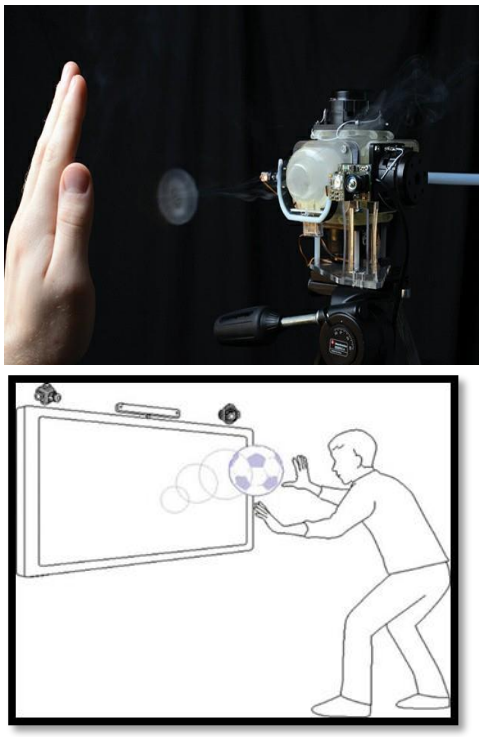
مع جميع اساليب التغذية الراجعة اللمسية التي تمت مناقشتها حتى الآن، من أجل أن يشعر الأشياء الافتراضية، يجب على المستخدمين أن يكون الاتصال من خلال البدني المباشر مع الجهاز اللمسي، إما عن طريق لمس بعض الأشياء المادية المجهزة للأجهزة اللمسية أو عن طريق ارتداء أجهزة التغذية المرتدة عن طريق اللمس في شكل قفازات لمسية، وأحزمة، وسترات، الخ. ولذا فهي تتطلب من المستخدمين ارتداء الأجهزة المادية؛ والتي غالبا ما تعوق بشكل كبير التفاعل المستخدم الطبيعي، بل وقد تحد في تحقيق مجموعة شاملة من التطبيقات التي توظف ردود الفعل عن طريق اللمس، وبالتالي، فإن الاسلوب الاكثر حداثة في العرض اللمسي هي أجهزة الإحساس اللمسي عبر الهواء، أي التي تخلق الأحاسيس اللمسية " في الجو" دون الحاجة إلى الاتصال البدني المباشر مع جهاز لمسي. وتستند معظم الأجهزة لخلق الأحاسيس اللمسية في الهواء على استخدام الهواء لتحفيز الجلد البشري.

وقد تم إدخال أقرب اسلوب لخلق الأحاسيس عن طريق اللمس في الهواء في السينما التناظرية Sensorama ، وقد اخترعها السينمائي "مورتون هيليغ" عام 1960. ويقصد بمصطلح سينسوراما Sensorama مجموعة من الرسومات المجسمة التي تحمل معها الرائحة، والصوت المزدوج Stereo ، والمقعد الهزاز، والرياح التي تهب في وجه المستخدم لزيادة الشعور بالغمر في البيئة الافتراضية، وقد استخدمت اساليب مماثلة لتهيب الهواء أيضا لعقود في الترفيه القائم على الموقع (كعالم والت ديزني ’Soarin“ الجذاب، الذي يحاكي الطيران في طائرة شراعية). وبالمثل، تم إنشاء أحاسيس حرارية من خلال العرض باستخدام مصابيح الحرارة (Dinh et al., 1999, 223).

وتعتمد هذه النوعية من العروض اللمسية على الموجات فوق الصوتية في الهواء (Iwamoto et al. 2008, 55)، حيث تأتي مجموعة ثنائية الأبعاد من مئات من محولات الموجات فوق الصوتية المصغرة التي تشكل شعاع الضغط الإشعاعي بالموجات فوق الصوتية باستخدام بحث مراحل مجموعة التركيز phased array focusing approach (Wilson et al., 2014, 414) وبسبب تردد الموجات فوق الصوتية المنخفضة، فإن 99.9٪ من الطاقة الصوتية الحادثة incident acoustic energy ستنعكس على الجلد البشري، وتخلق حقل من الضغط الذي يوفر الأحاسيس اللمسية التي يمكن إدراكها، ومن خلال تعديل شعاع الموجات فوق الصوتية في حوالي 200 هرتز، وأن تقترن الكثافة بالأحاسيس اللمسية، سوف يزداد الاحساس بسبب حساسية الجلد العالية للمؤثرات الاهتزازية بسبب قوة هذا التردد. ومع ذلك، وما يعيب فقط على هذا الاسلوب هو المسافة القصيرة محولات الموجات فوق الصوتية المسببة للموجات فوق الصوتية واجسام المستفيدين.

ويستند الاسلوب البديل لخلق الأحاسيس اللمسية في الهواء على استخدام حقول ضغط الهواء المركزة على استخدام دوامات الهواء air vortices ؛ حيث يتم إنتاج الأحاسيس اللمسية عن طريق الاحساس اللمسي tactile sensations داخل دوامة الهواء (Sodhi et al., 2013) ، وتوفير الأحاسيس اللمسية الفعالة على مسافات كبيرة نسبيا (أكثر من متر واحد في الطول) ، كما يعد هذا من أساليب العروض اللمسية التفاعلية غير المكلفة نسبياً ، كما انه قابل للتطوير ، مع امكانية تزامن مكبرات الصوت المصغرة المدفوعة لخلق دوامة (شكل 6) حيث يلاحظ ذلك .

ورغم أن الأحاسيس اللمسية في الهواء ليست قادرة حتى الان على توفير الأحاسيس اللمسية المفصلة للغاية في ظل الاستجابة الحادثة من الأجهزة الكهروميكانيكية ومع ذلك، فإنها توفر طرائق تفاعلية جديدة عند تصميم واجهات المستخدم ثلاثية الابعاد 3D في كل من سطح المكتب والإعدادات في نطاق اعدادات حجم الغرفة room-scale settings.



الشكل (6) شاشة اللمس التي تعمل على دوامة الهواء

4- أجهزة المزج Combination Devices

بسبب تعقيدات محاكاة القوة وأحاسيس اللمس، فإن معظم أجهزة اللمس ترتكز على إنتاج التغذية المرتدة ضمن واحدة من أربع فئات عرض لمسي. ومع ذلك، فالجمع بين الانواع المختلفة من ردود الفعل يمكن أن تخلق الأحاسيس اللمسية أكثر تصديقه من واحده ويمكن التعرف عليها من الشكل (7) حيث يوضح هذا الجهاز كيف يمكن أن يتم الجمع بين الانماط التي تمت الإشارة إليها من قبل

المستخدم والقائمة على الجسم. ومثال آخر على جمع الأنماط؛ حيث يستخدم جهاز قوة اليد المشار إليه الجسم إلى جانب ردود الفعل عن طريق اللمس لأطراف المستخدم (Kramer, 1993, 952).

الشكل (7) جهاز لمسي يجمع بين ردود الفعل القوة المرجعية والمرجعية من قبل الجسم.

5- اللمس السلبي Passive Haptics

رأينا حتى الآن الأجهزة اللمسية كلها أجهزة نشطة تولد قوى أو أحاسيس لمسية باستخدام بعض انواع من تكنولوجيا المحرك التي تسيطر تقنيات العروض اللمسية. إلا أن هناك فئة أخرى من واجهات اللمسية هي تلك التي تقوم على استخدام التمثيل الفيزيائي السلبي للكائنات الافتراضية passive physical representations of virtual objects لتوصيل صفاتهم البدنية المتميزة في نوعها عن غيرها.

ومن ضمن سمات اللمس السلبي في أنها تنقل القوة الثابتة أو الأحاسيس اللمسية على أساس الهندسة والملمس من كائن معين، فعلى سبيل المثال، كوب حقيقي أو مطرقة يمكن استخدامها لتوفير إحساس الملمس الواقعي تماما عندما يحتوي ذلك في العالم الافتراضي على إظهار الكوب الافتراضي أو المطرقة. ولا تقتصر الأجهزة اللمسية السلبية بالضرورة على الأشياء المحمولة بل يمكن أن تشمل المنضدة، والجدران، والأرض، فضلا عن توفير قدرات المدخلات الأساسية (Poupyrev, Tomokazu et al., 1998, 130).

كما تعد الأجهزة المسامية السلبية (أو "الدعائم" "props") من النوعية المحددة جداً في محاكاتها للأشياء المادية الصلبة فتجعلها تحاكي مباشرة الكائنات الافتراضية الممثلة لها، ولذا فهذه النوعية فعالة جدا في تحسين الواقع (Insko, 2001,84) وبطبيعة الحال، فإن الحد الأساسي لها هو خصوصيتها تتحدد في الحاجة إلى التسجيل الدقيق الكائنات الحقيقية والكائنات الافتراضية والتمثيل السلبي بينهم.

المـراجـع:

1. 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.
2. Bau, O., I. Poupyrev, M. Le Goc, L. Galliot, and M. Glisson (2012). "REVEL: Tactile Feedback Technology for Augmented Reality." *ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies (SIGGRAPH '12)*. Article 17, 1 .
3. Biggs, S. J., and M. A. Srinivasan (2002). "Haptic Interfaces:" In K. Stanney (ed.), *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications*, 93–115. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
4. Dinh, H. Q., Walker, N., Hodges, L. F., Song, C., and Kobayashi, A. (1999). "Evaluating the Importance of Multi-Sensory Input on Memory and the Sense of Presence in VirtualEnvironments." *Virtual Reality, 1999. IEEE Proceedings*, 222–228.
5. Follmer, S., D. Leithinger, A. Olwal, A. Hogge, and H. Ishii (2013). "in FORM: Dynamic Physical Affordances and Constraints through Shape and Object Actuation." *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '13)*, 417–426.
6. Hatzfeld, C., and T. A. Kern (2014). *Engineering Haptic Devices: A Beginner's Guide*, Second Edition. London: Springer-Verlag.
7. Hix, D., and H. Hartson (1993). *Developing User Interfaces: Ensuring Usability through Product and Process.* John Wiley and Sons.Importance of Multi-Sensory Input on Memory and the Sense of Presence in Virtual Environments." *Virtual Reality, 1999. IEEE Proceedings*, 222–228.
8. Insko, B. E. (2001). "Passive Haptics Significantly Enhances Virtual Environments." PhD Dissertation, Dept. of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill.
9. Ishii, M., and M. Sato (1994). "A 3D Spatial Interface Device Using Tensed Strings." *Presence: Tele operators and Virtual Environments* 3(1): 81–86.
10. Israr, A., and I. Poupyrev (2011). "Tactile Brush: Drawing on Skin with a Tactile Grid Display." *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 201)*, 2019–2028.
11. Iwamoto, T., M. Tatezono, and H. Shinoda (2008). "Non-Contact Method for Producing Tactile Sensation Using Airborne Ultrasound." In M. Ferre (eds.) Haptics: Perception, Devices and Scenarios. EuroHaptics 2008. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5024. Springer: Berlin, Heidelberg

12. Jones, L. (2008). “Warm or Cool, Large or Small? The Challenge of Thermal Displays.” *IEEE Transactions on Haptics* 1(1): 53–70.
13. Kim, S., A. Israr, and I. Poupyrev (2013). “Tactile Rendering of 3D Features on Touch Surfaces.” *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST ‘13)*, 531–538.
14. Kramer, J. (1993). “Force Feedback and Texture Simulating Interface Device.” Patent No. 5,047,952.
15. Kruijff, E., D. Schmalstieg, and S, Beckhaus (2006). “Using Neuromuscular Electrical Stimulation for Pseudo-Haptic Feedback.” In *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (VRST’06), Limassol, Cyprus, 312–315.
16. Massie, T. H. (1993). *Design of a Three Degree of Freedom Force Reflecting Haptic Interface*. Cambridge, MA: MIT Press.
17. Poupyrev, I., N. Tomokazu, and S. Weghorst (1998). “Virtual Notepad: Handwriting in Immersive VR.” *Proceedings of the 1998 IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS ‘98),* 126–132.
18. Sherman, B., and A. Craig (2003). *Understanding Virtual Reality.* San Francisco, CA: Morgan Kauffman Publishers.
19. Sodhi, R., I. Poupyrev, M. Glisson, and A. Israr (2013). “AIREAL: Interactive Tactile Experiences in Free Air.” *ACM Transactions on Graphics (TOG) – SIGGRAPH 2013 Conference Proceedings*, Article 134: 10 pages.
20. Wilson, A., H. Benko, S. Izadi, and O. Hilliges (2012). “Steerable Augmented Reality with the Beamatron.” *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST ‘12)*, 413–422.
21. Winfield, L., J. Glassmire, J. Colgate, and M. Peshkin (2007). “T-PaD: Tactile Pattern Display Through Variable Friction Reduction.” *Proceedings of the Second Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces*.