مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (1) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (1) 2018

Design and study of mechatronic system for assisting blind people to recognize patterns

Dr. Iyad Hatem*
Tareq Khalas**

(Received 22 / 2 / 2018. Accepted 6 / 3 / 2018)

□ ABSTRACT □

This research aims to study and design a mechatronic system capable of rendering images through a touchable surface to help the blind to read and understand these images. This system uses mechanical and electronic techniques and integrated software to convert the gray image to a three-dimensional surface.

The mechanical mechanisms used with the control systems have been studied to reach the design that is capable of transferring the fixed images to the mechanical system with the possibility of forming surfaces with suitable accuracy. The gray levels in the stationary images were represented as a mathematical variable that changes on the Z axis in terms of Cartesian coordinates where zero is considered black, and the maximum value expresses the white and gray levels within the linear area of these two points The "Afroge" image processing library was used with the C# programming language to build an interface for analysis and communication with the Arduino controllers, which acted as an intermediary to link the image data and the mechanical device (tactile display) to display images for the blind.

Finally all designed systems (mechanical, electronic and software) have been tested after they have been successfully designed. Training of a group of blind people was conducted to test the system on several samples of images of different forms and the system has demonstrated its ability to transmit multiple types of information.

Keywords: Tactile Display , Active touch , Blind , Salient graphics , Linear actuator

*Associate Professor, Dept. of Mechatronics Engineering, Tishreen University, Syria.
**Postgraduate Student, Dept. of Mechatronics Engineering, Tishreen University, Syria.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (1) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (1) 2018

دراسة وتصميم منظومة ميكاترونيكية لمساعدة المكفوفين في التعرف على الأشكال

د.إياد حاتم *
طارق خلاص**

(تاريخ الإيداع 22 / 2 / 2018. قُبِل للنشر في 6/ 3 / 2018)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى تصميم منظومة ميكاترونيكية قادرة على تشكيل الصور الرمادية على مجسم ميكانيكي لمساعدة المكفوفين في التعرف على تلك الصور. تستخدم المنظومة تقنيات ميكانيكية والكترونية وبرمجية متكاملة لتحقيق العمل بشكل فعال وقابل للتنفيذ ، حيث تم دراسة الآليات الميكانيكية المستخدمة مع منظومات التحكم للوصول الى التصميم القادر على نقل الصور الثابتة إلى المنظومة الميكانيكية بالإضافة إلى إمكانية تشكيل توابع رياضية في فضائين ثنائي وثلاثي البعد.

مثلت السويات الرمادية في الصور الثابتة عن طريق تابع رياضي خطي يتغير على المحور Z حسب الإحداثيات الديكارتية حيث تم اعتبار نقطة الـ 0 هي اللون الأسود والنقطة النهائية تعبر عن اللون الأبيض على خلاف السويات الرمادية الواقعة ضمن المجال الخطي لهاتين النقطتين. وباستخدام مكتبات معالجة الصور Aforge في لغة البرمجة C# تم بناء واجهة للتحليل والتخاطب مع متحكمات الأوردوينو Arduino والتي هي اللاعب الأساسي والوسيط للربط بين بيانات الصور Image data والجهاز الميكانيكي (الشاشة اللمسية) لعرض الصور للكفيف.

أخيرا اختبرت كل المنظومات المصممة (الميكانيكية والإالكترونية والبرمجية) بعد الإنتهاء من تصميمها ، كما وأجري تدريب لبعض المكفوفين للتعامل مع الشكل الناتج لتجربة أداء هذه الخوارزميات وبعد تقييم الأداء للجهاز أظهر قدرته في نقل أنواع متعددة من المعلومات.

الكلمات المفتاحية: شاشة لمسية، لمسات نشطة، مكفوفين، الرسومات البارزة ، محركات خطية.

* استاذ مساعد ، قسم هندسة الميكاترونيك ، رئيس مركز المتميزين ، جامعة تشرين ، سورية.
** طالب ماجستير ، قسم هندسة الميكاترونيك ، جامعة تشرين ، سورية.

مقدمة:

أحرز تطوير لوحات العرض بلغة بريل تقدماً ملحوظاً في مجال الحصول على المعلومات النصية لضعاف البصر والمكفوفين من خلال منحهم إمكانية الوصول إلى المحتويات الرقمية ولكن لا يزال الوصول إلى معلومات الرسم البياني محدود نسبيا ويرجع ذلك جزئيا إلى الرسومات التي يجب أن يتم لها معالجة مبسطة لتكون مناسبة للاستخدام عن طريق اللمس.

وبسبب عدم توفر وسائل موثوق بها وبأسعار معقولة لنقل الرسوميات البارزة عبر الكومبيوتر تنتج معظم هذه الرسومات على وسائط مادية من خلال مجموعة متنوعة من الأساليب بما في ذلك الكولاج والنقش على الورق وغيرها، وقد أثبتت هذه الرسومات البارزة المنتجة مع مثل هذه الأساليب أنها ذات فائدة كبيرة للخرائط الجغرافية والرسومات البيانية والرياضية وماشابه.

تعتبر هذه العملية مهمة خاصة في مجال التعلم حيث يجب أن يتوفر للطلاب ضعاف البصر الوصول إلى نفس المعلومات كما هو الحال مع أقرانهم المبصرين ، كما أنها توفر المعلومات التي سيكون من الصعب فهمها من الخبرة المباشرة من البيئة والأوصاف اللفظية .

مع أن الرسومات البارزة تنتج على وسائط مادية، ومع ذلك فهي عادة ما تكون ضخمة وغالبا ما تتدهور مع الاستخدام. الأهم من ذلك، لا تحمل الوسائط المادية إمكانية الوصول إلى المحتوى الديناميكي مثل نظم المعلومات الجغرافية التفاعلية (GIS) والصور المتحركة (GIF) والتي يمكن أن تكون ذات قيمة خاصة في سياق الرسومات البارزة وبالتالي إن الرسومات البارزة تقدم تجربة محسنة في التفاعل مع المعلومات البيانية للمعاقين بصريا.

إن هذه الرسومات البارزة يمكن توصيفها على أنها رسومات ثنائية البعد (إما بروز أو عدمه) وبالتالي فهي متوافقة مع الصور ذات اللونين على الأكثر.

مراجعة تاريخية:

إن الشاشات اللمسية عند المكفوفين هي أحد أهم عوامل التواصل الرسومي مع العالم الخارجي وزيادة التقنيات المقدمة في هذا المجال لها دور كبير في زيادة دائرة المعارف عند المكفوفين وإمكانية تصور العالم الخارجي البعيدين عن رؤيته بسبب الإعاقة البصرية لديهم.

تم إجراء البحوث اللازمة لاستنباط أشكال بديلة من الاتصال للمعوقين بصريا على مر السنين، والتقدم الذي أحرز مؤخرا في علوم الحاسوب يعد بشير نجاح لتحقيق المزيد [1]. فعلى سبيل المثال، هناك بالفعل عدة أنواع من البرامج التي تحدد معلومات مرئية يمكن تحويلها إلى شكل نصي وتحيلها ككلمة مركبة أو بطريقة برايل [2] وصولاً لواجهة مستخدم رسومية من خلال الجمع بين استجابة سمعية مع شاشة اللمس [3]،[4] ، وأيضا فكرة عرض مرئي مع شاشة اللمس كما افترضها نويزوسكي [5] في جهازين مشهورين الأول (نظام استبدال الرؤية عن طريق اللمس) [6]،[7] والآخر اوبتاكون OPTACON (بصري لتحويل اللمس) [8] حيث أثبت الأول أن الأشخاص المعاقين بصرياً يمكن أن يتعرفوا على أنماط معقدة أما الثاني فقد أثبت امكانية التعرف على الأحرف المطبوعة والكلمات.

تم تصنيف إدراك التاكتور (الأطراف اللمسية) إلى وضعين لمسة سلبية ولمسة نشطة [9] وبالتالي تم تصنيف الجهازين السابقين على أنهما سلبيان ولكنهما حسنا من التعرف بالنسبة للمستخدم.

وقد بذلت جهود تكنولوجية لتقديم كميات كبيرة من المعلومات بدقة فيما يتعلق باللمسة النشطة باعتبارها مهمة وقد وضعت مجموعة من الأجهزة تتميز بخصائص متنوعة منها ما توفر الدقة المكانية العالية والأسطح اللمسية الكبيرة

[10]،[11] وشاشات قابلة للتجديد باستخدام أوراق الذاكرة الرقيقة [12] ، بالإضافة لمحاولة نقل سمة من كائن (كما هو موضوع البحث) كاللون أو السطوع أو الملمس باستخدام أنماط الاهتزاز [13].

إن إضافة البعد الثالث يزيد من المعلومات القابلة للنقل وقد تم إثبات ذلك نظرياً حسب [14] ولتثبيت هذه النظرية بذلت محاولات لتوسيع كمية المعلومات المعروضة عن طريق إضافة البعد الثالث [15]–[17] اذ تحتوي على المواصفات التالية: منظومة 16 * 16 مربعة أبعاد التاكتور 10 ملم و 61 تدرج [15] ؛ منظومة 8 * 8 مربعة أبعاد التاكتور 5 ملم و 4 تدرج [16] ؛ منظومة 8 * 8 مربعة أبعاد التاكتور 17 ملم و 3 تدرج [17]

أهمية البحث وأهدافه:

هدف البحث هو تصميم منظومة ميكاترونيكية قادرة على تشكيل الصور الرمادية على مجسم ميكانيكي لمساعدة المكفوفين في التعرف على تلك الصور وذلك باستخدام أدوات برمجية ومادية تؤمن تطبيق هذه التقنيات على بعض العينات والنماذج المتوفرة ، وهو خلاف جميع الأبحاث الواردة بهذا السياق حيث أن البعد الثالث فيها يعبر عن تجسيد مجسمات الصورة وليس سوياتها الرمادية.

دراسات نفسية فيزيائية Psychophysical ماقبل التصميم:

السايكوفيزيكال هو علم دراسة المحفزات من ناحية فيزيائية والعلاقة بينها وبين الإدراك لهذه المحفزات والإحساس بها ، لذا من الجيد مراجعة هذه الدراسات قبل تصميم أي جهاز لمسي ثلاثي الأبعاد ، تم العمل على البحوث المتعلقة بإيجاد جهاز اتصال بديل كـ OPTACON و TVSS ، كما وقدمت جهود بحثية في [2] استطاعت دراسة العوامل البشرية بما في ذلك النظام الحسي البشري ونتائج تحفزه بمثل هذه الأجهزة اللمسية.

وبجب ملاحظة أن هذه الأنواع من الدراسات لاتضع بالضرورة في الاعتبار تطوير جهاز عرض لمسي ، فعلى سبيل المثال قدمت في [19] دراسة تشكيل طائرة ملموسة بواسطة التاكتور لها ملمس جسم تركيبي ، حيث أثبتت أن الشكل والشكل التركيبي يُعتمَدان إدراكياً بدون تصميم أو تطوير أي جهاز لمسي ، وأوضح لوميس وفيدرمان في [20] أن الأنماط ثلاثية الأبعاد يمكن التعرف عليها بالشكل اللمسي مع بعض الاعتبارات والشروط التصميمية الخاصة كالدقة المكانية وأقصى ارتفاع للتاكتور.

الدقة المكانية:

في هذه البحث تم افتراض عدة نماذج ميكانيكية لتشكيل الشاشات الرسومية والتي يعتمد فيها النموذج الميكانيكي بشكل أساسي على بيكسلات ميكانيكية (تاكتور) تحاكي عمل البيكسلات في الصور المرئية ، حيث يتم التعويض عن البيكسل العاتم في الصورة الرمادية ببيكسل منخفض على الصورة المجسمة (الشاشة اللمسية) كما وأن البيكسل المضاء في الصورة الرمادية عبارة عن بيكسل مرتفع على الشاشة اللمسية. وبالتالي تشكل الشاشة الرسومية انطباع الصور الرمادية على سويات عدة كما هو الحال في الصور المرئية ، وإن تدريب المكفوف على هذه التوضعات المختلفة يؤدي للحصول على معلومات عن الصورة الأساسية المرئية.

يجب أن تتشابه الدقة بين الأجهزة ثنائية البعد والأجهزة ثلاثية البعد فمثلا من أشهر أجهزة الشاشات اللمسية هو DMD–12060 بسطح 120*60 بيكسل ذو تاكتور مربع 3.08 ملم [11]. تصنع هذه الأجهزة بتداخل قدره 3 ملم وهناك عدة أسباب لذلك نذكر منها:

1- إن تقديم خطوة ناعمة وأسطح على شاشة اللمس يتطلب تداخل كثيف وقد قدمت دراسة في [18] تُظهر جهاز لمسي يتألف من مصفوفة 64X64 مع فاصل 3MM بين كل تاكتور، وتم تصميم التاكتور Tactor- pins بشكل مسدس فضلا عن الشكل المربع لتأكيد وصف ناعم للتشكيل الرسومي والتي زادت فيها الكثافة بنسبة 36% بالمقارنة مع الترتيب المربع. وقد كان إجمالي مساحة شاشة التاكتايل 200x170 mm يمكن رفع كل تاكتور بدرجة 0.1 mm ولها ارتفاع أعظمي 10 mm.

ويمكن القول بأن لهذا التصميم عدة عيوب نذكر منها: إن الشكل المسدس للبيكسلات يتسبب باختلاف الفواصل بين البيكسلات الأفقية والعمودية مع القطرية وبالتالي حمّل الكفيف عبء التمييز بين نمطين من التباعد على جهاز واحد ولصورة واحدة.

الدقة المتبعة في هذا الجهاز اللمسي لا تتناسب مع جميع المكفوفين ، إن اختلاف الأيدي من شخص لأخر يتسبب في مشكلة فالمكفوف الشاب يختلف عن المكفوف المسن كما هو الحال في اختلاف الجنس بين أيدي المرأة والرجل ، كما ويجب الأخذ بعين الاعتبار بعض الحالات المرضية والتي لا تستطيع التمييز لمثل هذه الدقة المختارة.

لذا ومما سبق فقد تم تصميم الجهاز اللمسي في هذا البحث على شكل بيكسلات مربعة لتتناسب في التباعد بين المحور الأفقي مع نظيره الشاقولي وبالتالي إعطاء الكفيف فسحة في التواصل مع نوع واحد من التباعدات.

2- خطوة الرفع: إن الشاشات ثنائية البعد تعتمد على ارتفاع واحد وثابت أما اختلاف الارتفاعات في الشاشات ثلاثية البعد يشكل أهمية وحاجة لتقليل التباعد بين البيكسلات مما يشكل ارتباطا وثيقاً بينها وبين عتبة التمييز.

لذا فقد أثبتت دراسات أن عتبة الارتفاع تلعب دورا كبيرا واختلافها يشكل أهمية في طريقة التعرف فنعومة الصور تتطلب دقة أكثر وحددت هذه الدراسات أن 0.1 و 0.2 ملم هي عتبة ارتفاع جيدة نسبياً [21] و [22].

كما وتم تصميم الشاشة اللمسية بنسب دقة متفاوتة حيث يمكن تحديد الدقة من 0.1 ملم وحتى 10 ملم وبارتفاع أعظمي يمكن أن يتفاوت من 10 ملم وحتى 127 ملم ، وبالتالي يمكن تدريب الكفيف على الدقة المناسبة للحصول على أفضل نتيجة.

النموذج الرياضي والمحاكاة على الماتلاب:

الصور المستخدمة هنا هي صور رمادية وذلك لصعوبة إيصال معلومات الصور الملونة بالطريقة المتبعة في البحث، وإن تحويل الصور الملونة إلى رمادية هي عملية ليست فريدة من نوعها حيث أنه تمثل الأوزان المختلفة لقنوات الألوان على نحو فعال في طبقات الأبيض – أسود.

إن تحويل اللون من الفضاء اللوني المعتمد على النظام RGB إلى التدرج الرمادي Grayscale يجب أن يحسب مجاميع الأوزان في الفضاء الخطي RGB وذلك بعد أن يتم إزالة تابع ضغط غاما أولا عن طريق توسع غاما.

ومن أجل الفضاء اللوني sRGB يتم تعريف توسع غاما كالتالي:

$$C_{linear} = \begin{cases} \dfrac{C_{srgb}}{12.92} & , C_{srgb} \le 0.04045 \\ \left(\dfrac{C_{srgb} + 0.055}{1.055}\right)^{2.4} & , C_{Srgb} > 0.04045 \end{cases}$$

حيث يمثل C_{srgb} قيم غاما المضغوطة الثلاثة الأساسية B_{srgb} , G_{srgb} , R_{srgb} كل في المجال [0,1] وإن C_{srgb} يتطابق مع قيمة الشدة الخطية (R, G, B) أيضا في المجال [0,1] ، ثم يتم حساب الإنارة كمجموع أوزان قيم الشدة الخطية الثلاث Linear–Intensity . تُعرف الشدة الضوئية الرمادية في فضاء ألوان sRGB معطاة بالمعادلة:

$$Y = 0.2126R + 0.7152G + 0.0722B$$

تمثل هذه المعاملات قياس شدة الإدراك لدى البشر المبصرين للألوان الثلاثة ، وعلى وجه الخصوص فإن الرؤيا عند البشر أكثر حساسية للون الأخضر وأقل حساسة للون الأزرق، وبالتالي لترميز الشدة اللونية الرمادية في الفضاء RGB الخطي نقوم باستبدال الشدة Y في كل من R,G, B وبالتالي تأخذ الرؤيا عند البشر الانطباع الرمادي في الصور المعروضة، ولمحاكاة هذا الواقع الرقمي في الصور المرئية على الحاسب على الشاشة اللمسية يكفي إيجاد قيمة Y لكل بيكسل في الصورة. وبعد التحويل للرمادي نقوم بتمثيل الصورة بالمعادلة التالية:

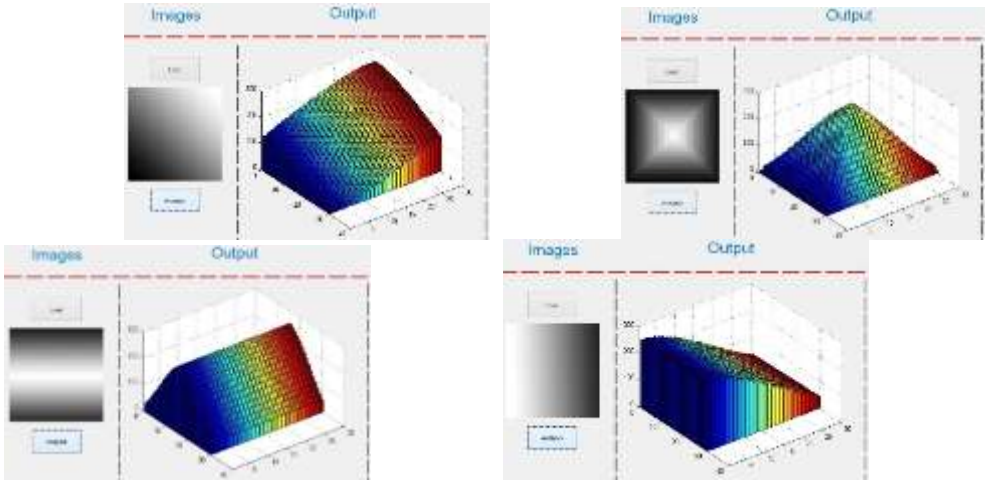
Z= R . S(Gray(i,j))

حيث أن R < 1 تمثل النسبة المضروبة لعملية تحديد الدقة في الارتفاع والحد الأعلى للتاكتور (الارتفاع الأعظمي).

i,j تمثلان العنوان الفيزيائي لموقع البيكسل في الصورة.

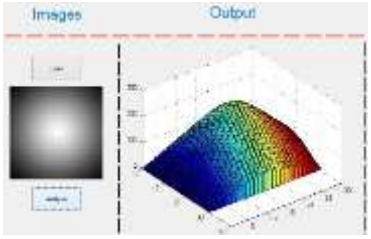
S(Gray(i,j)) تمثل نسبة ضغط البيكسل i,j في الصورة والتي هي ضمن المجال من 7–bit وحتى 1–bit

يبين الشكل (1) المنحني البياني الثلاثي الأبعاد للصورة التجريبية الرمادية الموافقة.



الشكل (1): الصورة الأصلية بأبعاد 30x30 وبحواف ليست ناعمة وبدقة 7–bit.

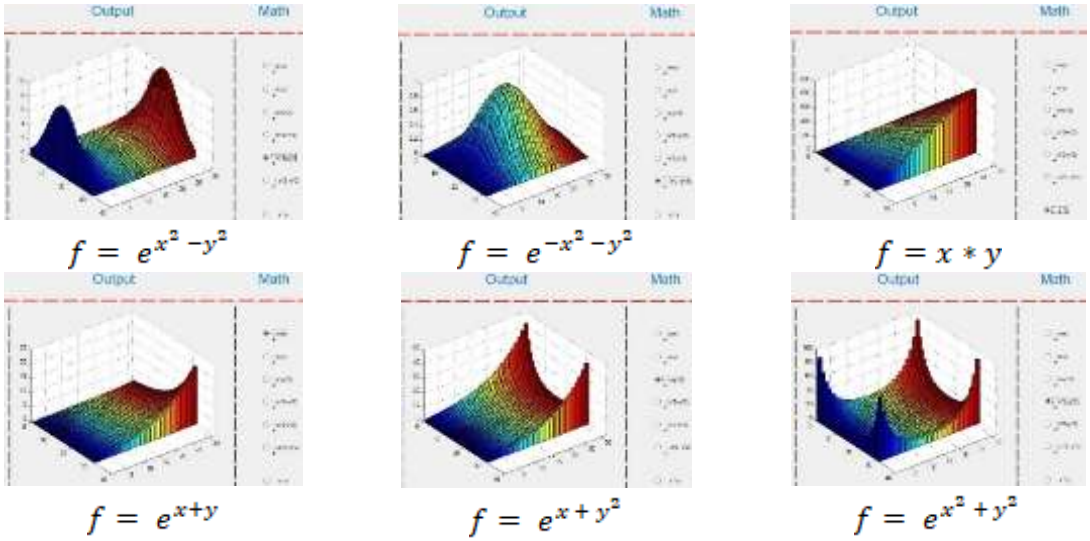
كما يبين الشكل (2) ذلك لصورة ذات حواف أنعم وبنفس الدقة والأبعاد.



الشكل (2): الصورة الأصلية بأبعاد 30x30 وبحواف ناعمة وبدقة 7–bit.

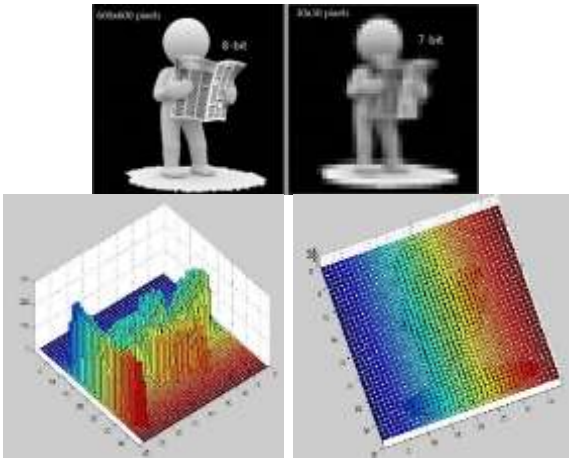
يمكن على نفس الأبعاد تشكيل بعض المعادلات الرياضية الخطية والأسية والتي تعطي الكفيف الدارس للتوابع الرياضية فكرة سريعة وديناميكية عن أشهر المعادلات الرياضية أو بعض المعادلات الغير معروفة النتيجة أو رسم بعض المنحنيات البيانية كمسار الجذور في التحم الألي وغيرها.

الشكل (3) يبين المنحني البياني الذي يحقق المعادلات المقابلة له.



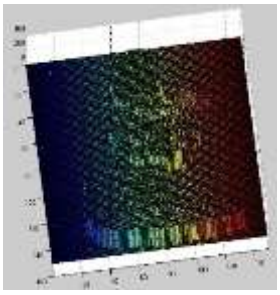
الشكل (3): المنحنيات البيانية لبعض المعادلات الرياضية على شاشة التاكتايل

الشكل (4) يبين صورة مرئية معقدة وحقيقية وكيفية تمثيلها على شاشة تاكتايل بأبعاد 30x30 بيكسل.



الشكل (4) : صورة حقيقية ممثلة على شاشة التاكتايل

الشكل (5) يمثل نفس الصورة السابقة ولكن بزيادة عدد البيكسلات على شاشة التاكتايل.



الشكل (5) : صورة لشاشة تاكتايل تعبر عن الصورة بدقة 150x150 pixels وبسوية ارتفاع تصل إلى 7-bit

التصميم الميكانيكي

إن التحليل الحركي للتاكتور هو أحد المرتكزات الأساسية لتقييم مستوى الأداء والذي من خلاله يمكننا مساعدة المتدرب الكفيف في معرفة الصور الميكانيكية الناتجة لصورة دقيقة ومفهومة بالنسبة له.

فمن خلال طبيعة التصميم لشاشة التاكتايل فإن تموضع البيكسلات الميكانيكية يجب أن يكون بشكل أفقي وذو حركة خطية وضمن حدود ارتفاعات البيكسل المفروضة من 10 mm وحتى 127 mm.

إن إيجاد آلية لرفع التاكتور يتطلب إجراء تقييم تقني لاختيار المشغلات (المحركات) وذلك حسب:

1- حجم المشغل : من الناحية التقنية بانخفاض قطر المحرك يقل عزم الدوران الناتج.

2- نوع المشغل : لدينا نوعين من المشغلات الحركية:

1- مشغلات خطية Linear actuator : تتيح هذه المشغلات الاستفادة من كفاءة الطاقة نظراً لآلية التشغيل المباشر والتي يتوافر منها عدة أنواع كهربائية خطية أو محركات الضواعط الهيدروليكية أو الزيتية حيث أن التحكم بالخطوة في المحركات الخطية الكهربائية أسهل وأدق ويعطينا لحظة توقف جيدة للتاكتور مع الحفاظ على الوضعية. بيد أن هذه المحركات لاتتوافر بالأحجام الصغيرة كما أنها ناشرة للحرارة في عملية المسك holding وبطبيعة التصميم فإن تجاور المحركات أمر لابد مما يشكل ناحية سلبية في التصميم ، وأما محركات الضواغط الهيدروليكية أو الزيتية فهي ذات قوة وإنتاجية عالية لكنها صعبة التحكم في الموقع بدقة.

يوجد أيضاً محركات فوق صوتية خطية ولكنها بحاجة لبعض الوقت حتى يتم تطويرها وطرحها للإستخدام بشكل عملي وفعال.

2-مشغلات دورانية Rotary Type : يمكن تحويل الحركة الدورانية إلى حركة خطية بسهولة عن طريق أنظمة التروس أو وصلة المسمار (البرغي) ولكن كما هو الحال فإن اختلاف أنواع المحركات الدورانية يعطي أهمية وخصوصية لنوع المحرك الذي سيتم استخدامه تبعاً لآلية تحويل الحركة وقد تم اختيار محرك السيرفو لسهولة التحكم بالموضع والسرعة والاتجاه لمثل هذه المحركات.

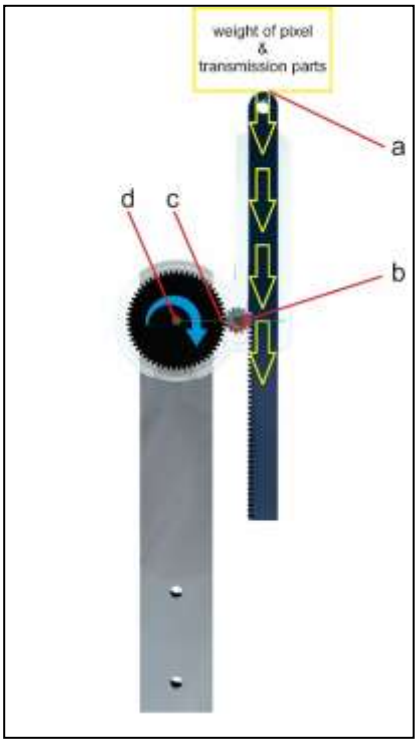
آلية تحويل الحركة

يجب التمييز بين المسافة Distance و التنقل Displacement في الحركات الخطية ، بتخيل أن جسما ما يدور حول مركز؛ المسافة التي يقطعها عندما ينهي دورته هي بكل بساطة محيط الدائرة، ولكن التنقل هو صفر لأنه رجع لنقطة البداية ، وبالتالي يجب التحويل من الحركة الدورانية إلى الحركة الخطية ، وهنالك عدة طرق لتنفيذ هذه الحركة اخترنا منها طريقة المسننات المثبتة مع محور المحرك والمتعشقة مع بعضها وصولا لجريدة مسننة خطية ، أي أن دوران المحرك يحدد طريقة مساره أو حركته الخطية.

الشكل (6): الشكل النهائي للبيكسل الشاقولي

الدراسة التصميمية

لحساب القوة المحركة للبيكسل الواحد يجب معرفة القوى والعزوم المطبقة على كل جزء من أجزائه الميكانيكية بدءاً من رأس البيكسل وصولاً إلى محور دوران المحرك. يبين الشكل (7) مخطط انتقال القوى وتشكل العزوم على النقاط الحساسة فيه.



الشكل (7): مخطط انتقال القوى وتشكل العزوم

تعبر النقطة a عن مجموع الأوزان للبيكسل مع النواقل الميكانيكية للحركة من رأس البيكسل حتى موضع النقطة a وبقياس مجموع أوزانهم نجد أنه 200[g] .

يتشكل من القوة a عزم دوراني حول محور المسنن الصغير عند النقطة b يعطى بالعلاقة:

$$T_{ab} = R_{gear} * 200$$

وبتعويض قيمة نصف قطر المسنن الصغير $R_{gear} = 0.385$

$$T_{ab} = 0.385 * 200 = 77\ [\frac{g}{cm}]$$

وباعتبار أن عامل الاحتكاك بين المسننات 0 بالتالي إن قيمة العزم T_{cd} مساوية لـ : $T_{cd} = T_{ab} * \eta$

حيث أن $\eta = {}^{d_1}/_{d_2} = {}^{n_1}/_{n_2} = 0.250$: Pitch

d_x Diameter , n : Number of Teeth ,

$$T_{cd} = 77 * 0.25 = 19.25\ [\frac{g}{cm}]$$

تعبر النقطة d عن محور دوران المحرك والذي بدوره متصل بشكل كامل مع المسنن الكبير وبالتالي فإن العزم المطلوب للتشغيل هي قيمة T_{cd} نفسها.

التجميع النهائي والنتائج:

تم تجميع مئة بيكسل موزعين على عشرة أسطر وعشرة أعمدة لتشكيل الأرضية الأساسية للجهاز بأبعاد (10*10) بيكسل والربط بينها وبين الشاشة اللمسية النهائية عن طريق نواقل حركة مغلفة ضمن غمد لكل واحدة وذلك لضمان إنشاء شاشة لمسية نهائية بأبعاد صغيرة نسبياً كما هو موضح بالشكل (8).

الشكل (8): الشكل النهائي للبحث

اختبار الآلية – المرحلة الأولى:

تم إعطاء المكفوفين في المرحلة الأولى صور لنماذج تحتوي على اللونين الأبيض والأسود الجدول (1) يحتوي على هذه النماذج ، كما وتم إعطائهم قواعد التعرف التالية:

1–عدم اعتبار اللون الأبيض كشكل أو لون أساسي في الصورة . مثلا في العينية 14 اعتبر الكفيف الكامل أن الصورة عبارة عن أربع مثلثات متقابلة بيضاء بينما ينظر البصير لهذه الصورة على أنها إشارة X أو تقاطع مستقيمين مائلين سوداوين.

2–أخذ التدرجات في البكسلات على أساس أنها خطوط مائلة وليست خطوط مكسرة وذلك بسبب صغر الشاشة اللمسية في الأبعاد وعدد البيكسلات فإن الصور العينات تكون عبارة عن صورة 10* 10 بيكسل.

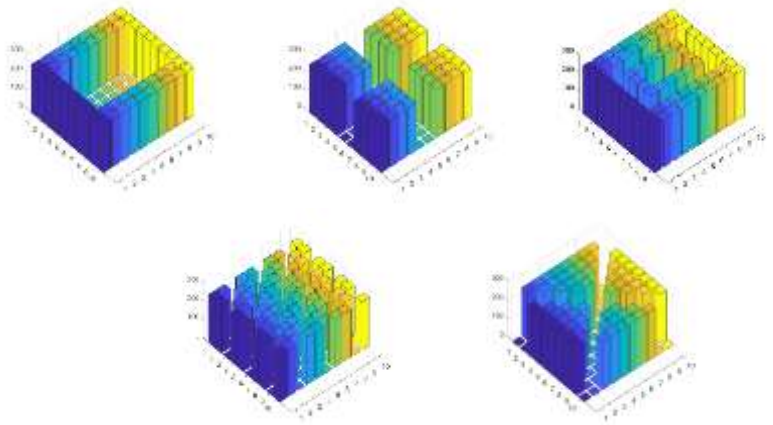
3–يضع الكفيف علامة أو نتيجة تعرفه على الصورة بعد الشرح المفصل لشكلها وذلك للمقارنة بين الشكل الذي تم تصوره والشكل الحقيقي.

الجدول (1): المرحلة الأولى صور بلونين (أسود – أبيض):

رقم العينية	شكل العينة	التواصل	كفيف كامل	كفيف جزئي
1		مع شرح	10	10
2		مع شرح	10	10
3		بدون شرح	10	7
4		بدون شرح	5	10
5		بدون شرح	10	10
6		بدون شرح	8.5	10
7		بدون شرح	10	10
8		بدون شرح	10	5
9		بدون شرح	10	10
10		بدون شرح	5	10
11		بدون شرح	10	10
12		بدون شرح	0	0
13		بدون شرح	10	10
14		مع شرح للكفيف الكامل	8	10
القيمة الوسطية للتعرف			8.32	8.71

يجدر بالذكر أن الكفيف الكامل لم يكن يعرف بعض الأشكال الأساسية كإشارة + كما في العينة الرابعة أو إشارة X كما في العينية 14 حيث أنه تعرف بشكل صحيح على ماهية الصورة بيد أنها **كانت المرة الأولى التي يرى فيها إشارتي + و x بشكلهما الحقيقي.**

يبين الشكل (9) بعض أشكال من عينات المرحلة الأولى .

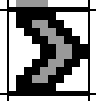
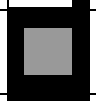
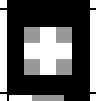
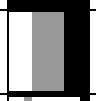
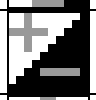
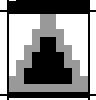
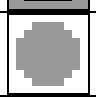


الشكل (9) : مجموعة من عينات المرحلة الأولى

اختبار الآلية – المرحلة الثانية:

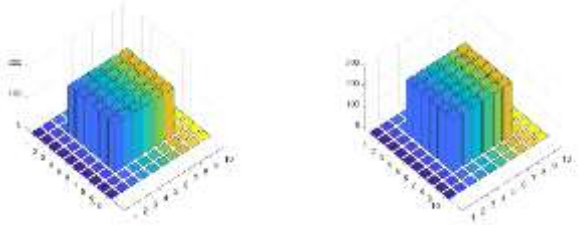
أعطي المكفوفين في هذه التجربة صوراً تحتوي على تدرجات بثلاثة ألوان (أسود – رمادي – أبيض) ويبين الجدول (2) معدل التعرف الفردي والإجمالي لكل كفيف على حدة مع صور توضيحية للنماذج الصور في هذه التجربة

الجدول (2): المرحلة الثانية صور بثلاثة ألوان (أسود – رمادي – أبيض) :

رقم العينية	شكل العينة	التواصل	كفيف كامل	كفيف جزئي
1		بدون شرح	9	10
2		بدون شرح	10	10
3		بدون شرح	10	7
4		بدون شرح	10	10
5		بدون شرح	10	10
6		بدون شرح	10	10
7		مناقشة	5	7
8		بدون شرح	4	8
9		مناقشة	7.5	8
10		بدون شرح	10	10
11		بدون شرح	2	4

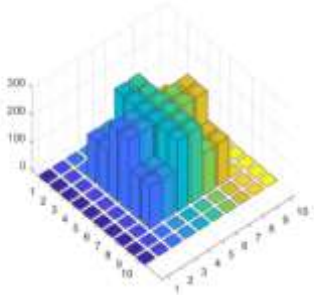
12		مناقشة	1	0
13		بدون شرح	5	5
14		بدون شرح	8	10
القيمة الوسطية للتعرف			7.25	7.78

بعد التدريب تبين مايلي أن التداخل اللوني الثلاثي لم يشكل عبء على المكفوفين بالعكس كانت الانطباعات لديهم جيدة بيد أنه أصبح هناك مفهوم جديد للصورة ، بعبارة أخرى في المرحلة الأولى كانت الأشكال أساسية والعينات ذات نطاق محدود ولا يوجد في الصورة معالم أو تجسيدات لونية على خلاف هذه المرحلة فمثلا في العينة الثالثة كانت المرة الأولى التي يرى فيها الكفيف صورة ذات ثلاثة ألوان مما أعطاه القدرة على اكتساب قدرة جديدة وهي الذاكرة البعدية (أو ذاكرة الإرتفاع) والتي بدورها تم تنشيطها تلقائياً في العينة السادسة حيث أن الكفيف استطاع تمييز الصورة على أنها صورة بلونين هم الأسود والرمادي دون الحاجة أو الإشارة أو التلميح على أن هذه الإرتفاع (اللون الرمادي) أخفض من الإرتفاع الكلي (اللون الأبيض)، والتي كان يمكن اعتبارها كالعينة الثالثة من المرحلة الأولى.



الشكل (10): الفرق بين العينة 3 من المرحلة الأولى والعينة 6 من هذه المرحلة

كما وأنه تم تغيير القاعدة الأولى في المرحلة الأولى والتي تنص على إهمال اللون الأبيض في الصورة ففي العينة السابعة ترجم الكفيف الصورة على أنها مربع أسود بداخله أربع مربعات رمادية

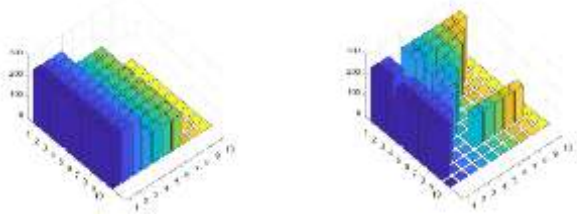


الشكل (11): شكل العينة 7 على الشاشة اللمسية

حيث أن البصير يرى الصورة على أنها مربع أسود بداخله مربع رمادي وبداخله صليب أبيض وهو مايعرف بماهية أو تحليل الصورة حيث أن شبكيات العين بالتعاون مع طرق تحليل الدماغ للصورة تدربت على إهمال أو عدم إهمال اللون الأبيض في الصورة وذلك تبعا لل (الموقع و الشكل) وبالتالي تم تعديل القاعدة الأولى في المرحلة الأولى وأصبحت "**لايمكن إهمال الأبيض بشكل كلي حسب موقعه وشكله**"

وهو ماتم مواجهته في العينة 8 والعينة 9 حيث أن البصير يرى العينة 8 على أنها تدرج أسود رمادي أبيض بينما في البداية كانت رؤيا الكفيف الكامل لهذه الصورة على أنها مستطيلين أسود ورمادي متلاصقين أما الكفيف

الجزئي كان مترددا بين الإجابتين وبعد تكرار صور مماثلة من هذا النوع أصبحت رؤيا المكفوفين للون الأبيض أكثر دقة وهذا ماتجلى في العينة 9 حيث أن الصورة تحوي على شكل قد يعرف حتى من قبل المبصرين بأكثر من طريقة وهو ماعبر عنه كلا المكفوفَين

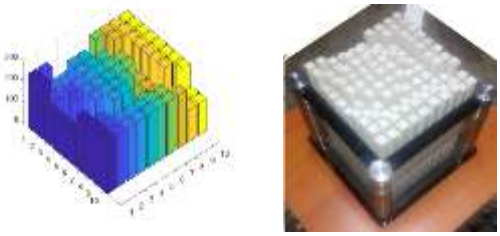


الشكل (12): شكل العينة 8 والعينة 9 على الشاشة اللمسية

كما وانه تمت مواجهة شكل شبيه بالدائرة لأول مرة في العينة 11 حيث أن الكفيف لم يدرك التشابه بين الدائرة وبين الشكل المعطى إلا بعد الشرح بينما كان الشكل المعرف من قبله على أنه أقرب لشكل هندسي مثمن.

أما العينات الثلاثة الأخيرة والتي تعبر عن شكل مصغر للمجهر أو أداة البحث في الكومبيوتر والتي كانت أول صورة تعطي شكل مادي موجود ومتداول إلا أن المكفوف واجه صعوبة في معرفة شبيه للشكل الملموس بين يديه.

يجدر بالذكر أنه تم إعطاء العينات الثلاثة الأخيرة لمبصرين لايعرفون ماهية الصورة الأصلية وكانت النتيجة مشتركة بينهم جميعا على أنه شكل حرف Q مما وجد اختلاف بين المبصر والمكفوف في هذه العينات وهو أن المبصرين لم يترددو في تشبيه الشكل الرئيسي للأداة بالدائرة على خلاف المكفوفين والذين اعتبروها مثمن أو شكل هندسي قد يشبه الدائرة مرتبط بذيل قصير.



الشكل (13): شكل العينة 12 على الشاشة اللمسية

الاستنتاجات والتوصيات:

يعد تعداد وتكرار العينات بمثابة قاعدة البيانات ودائرة المعارف الصورية للشاشات اللمسية والتي بدورها تعطي الكفيف مفاهيم أوسع للصور ودائرة معارف أشمل للتواصل الرسومي مع العالم الخارجي والتي لها أهمية خاصة في مجال التعلم حيث أنها توفر للطلاب ضعاف البصر الوصول إلى نفس المعلومات كما هو الحال مع أقرانهم المبصرين، كما أنها توفر المعلومات التي سيكون من الصعب فهمها من الخبرة المباشرة من البيئة والأوصاف اللفظية.

كما يحمل تعداد الألوان في الصورة الواحدة معاني واعتبارات لها أهمية في الصورة لايمكن التحدث عنها إلا بشكل حسي (سواء كان ملموس أو مبصر).

استطاعت شاشة التاكتايل هذه أن تقدم صورة حسية ملموسة للدماغ البشري وهو اللاعب الرئيسي في عملية التعرف والتحليل والمشاهدة دوناً عن العين والتي هي مصدر البيانات للمبصرين.

إن عملية انتقال مزود البيانات الرئيسي للدماغ من العين الخارجة عن الخدمة إلى الأجزاء الحسية الملموسة أعطت إمكانية رؤيا جديدة للصور تجلت في إمكانية تعرف المتدربين على صور وأشكال جديدة لم تتسنى لهم معرفتها قبلاً.

كما ويمكن العمل على تطوير هذه الشاشات من حيث الدقة (عدد البيكسلات) والحجم وأقصى ارتفاع ونعومة السطح المشكل والذي بدوره سيعمل على توسيع مجال التعرف على الصور و الأشكال عند الكفيف.

المراجع

[1] Nye, P. W. , Bliss, J. C., *A challenging problem with lessons for the future*, in Proc. IEEE, vol. 58, pp. 1878–1898, Dec. 1970.

[2] Way, T. P. , Barner, K. T., *Automatic visual to tactile translationpart 1: Human factors, access methods and image manipulation*, IEEE Trans. Rehab. Eng., vol. 5, pp. 81–94, Mar. 1997.

[3] Crispien, K. , Petrie, H., *Providing access to GUI's for the blind using multimedia—based on spatial audio presentation*, in Publication from the GUIB Project up to Sept. 1993, 1994, pp. 1–20.

[4] Weber, G., *Modeling interaction of the blind using graphical interfaces*, in Proc. Information Processing'92, F. H. Vogt, Ed. Amsterdam, The Netherlands: North Holland, 1992, vol. 3, pp. 39–46.

[5] Noiszewski, K., *Gazeta Lekarska*, vol. 4, no. 24, Series 2, pp. 1018–1022, 1889.

[6] Scadden, L. A., *A tactile substitution for sight*, New Scientist, vol. 41, pp. 677–678, 1969.

[7] White, B. W., Saunders, F. A., Scadden, L. A., Bach-y-Rita, P., Collins, C. C., *Seeing with the skin*, Perception, vol. 2, pp. 333–336, 1970.

[8] Linvill, J. G. , Bliss, J. C., *A direct translation reading aid for the blind*, in Proc. IEEE, vol. 54, pp. 40–50, 1966.

[9] Gibson, J. J., *Observation on active touch*, Psychologic. Rev., vol. 69, pp. 477–491, 1962.

[10] Goodrich, G. L., Maure, D., Melrose, S., Jaffe, D., Schreier, E., Stevens, M., *Development of a graphic braille display*, in Rehab. R&D Progr. Rep., 1985, pp. 157–158.

[11] Schweikhardt, W. , Kl¨oper, K., *Rechnerunterst¨utzte aufbereitung von bildshirmtext-grafiken in eine tastbare darstellung*, Institut f¨ur Informatik Universit¨at Stuttgart, Institutsbericht, 1984, pp. 1–16.

[12] Steenkeste, F., *Development of a memory shape film and its integration into a tactile graphic computer screen for blind users*, in Proc. ECART 3, 1995, pp. 95–97.

[13] Akamatsu, M., Sato, S., Mackenzie, I. S., *Multimodal mouse: A mouse-type device with tactile and force display*, Presence, vol. 3, no. 1, pp. 73–80, 1994.

[14] Attneave, F., *Application of Information Theory to Psychology*. New York: Holt, Reinehart, and Winston, 1959.

[15] Shimizu, Y., *Tactile display terminal for the visually handicapped*, Displays, July 1986, pp. 116–120.

[16] Friksen-Gibson, S. F., Bach-y-Rita, P., Tomkins, W. J., Webster, J. G., *A 64-solenoid four-level fingertip search display for the blind*, IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-34, pp. 963–965, 1987.

[17] Minagawa, H., Ohnishi, N., Sugie, N., *Tactile-audio diagram for blind persons*, IEEE Trans. Rehab. Eng., vol. 4, pp. 431–437, Dec. 1996.

[18] Shinohara, M. , Shimizu, Y. , Mochizuki, A. , Three-Dimensional Tactile Display for the Blind , IEEE Trans. Rehab. Eng., vol. 6, No. 3, pp. 249–256, Sep. 1998.

[19] C. L. Reed, *Perceptual dependence for shape and texture during haptic processing, Perception*, vol. 23, pp. 349–366, 1994.

[20] J. M. Loomis , S. J. Lederman, *Tactual perception, in Handbook of Perception and Performance*, New York: Academic, 1986, pp. 1–31.

[21] Thrasyvoulos N. Pappas, Vivien C. Tartter, Andrew G. Seward, Boris Genzer, Karen Gourgey, Ilona Kretzschmar , *Perceptual dimensions for a dynamic tactile display* , Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering , vol. 7240 , Apr 7 2009.

[22] Shogo O. , Hikaru N. , Yoji Y. , *Psychophysical Dimensions of Tactile Perception of Textures* , IEEE Trans. Haptics. Vol. 6 pp. 81 – 93 , June 2012.

[23] Thrasyvoulos N. P. , Vivien C. T. , Andrew G. S. , Boris G. , Karen G. , Ilona K. , Perceptual Dimensions for a Dynamic Tactile Display , Human Vision and Electronic Imaging XIV , B. E. Rogowitz and T. N. Pappas , Vol. 7240 , Jan 2009.