مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

دراسة أداء واصفات النقاط المميزة في بناء صورة بانورامية

الدكتور إياد حاتم*

يحيى ابراهيم**

(تاريخ الإيداع 14 / 7 / 2016. قُبِل للنشر في 19/ 12 / 2016)

□ ملخّص □

تم في هذا البحث إجراء تقييم لكواشف وواصفات النقاط المميزة في الصور عند استخدامهم من أجل بناء صورة بانورامية وذلك لاستخدامها لاحقاً في بحث نقوم فيه ببناء مشهد ثلاثي البعد ضمن بيئة داخلية. نُوقش عمل كل من الواصفات (SIFT, SURF, BRIEF, ORB, BRISK, FREAK)، عند استخدامها مع الكواشف الملائمة لها على قاعدة بيانات ملتقطة بواسطة كاميرا RGB–D لبيئة داخلية. أُستخدمت خوارزمية اختبار التقاطع وخوارزمية RANSAC (إجماع العينات العشوائية) لإيجاد مصفوفة الانتقال بين الصور. نوقشت نتائج كل من: سرعة الكواشف وسرعة الواصفات وسرعة عملية المطابقة ومتوسط عدد النقاط المميزة المستخلصة والحساسية والدقة لكل الواصفات. كما استُخدمت قاعدة بيانات جامعة أوكسفورد لتبيان أفضل الواصفات لتتعامل مع تغيرات الدوران والإضاءة التي يمكن أن تنتج عن تغير زاوية الإضاءة في الصور. خلُصت الدراسة إلى أن الكاشف SIFT يعطي أفضل نتائج ضمن التطبيقات التي لا تهتم بمدة تنفيذ العملية، ويعتبر الزوج SURF/BRISK أفضل زوج واصف/كاشف يمكن استخدامه في تطبيقات الزمن الحقيقي ويعطي نتائج منافسة جداً لنتائج الكاشف SIFT.

الكلمات المفتاحية: النقاط المميزة، كاشف، واصف، مطابقة، صورة بانورامية.

* أستاذ مساعد– قسم هندسة الميكاترونيك– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية – سورية.

** طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم هندسة الميكاترونيك– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

Study the Performance of Image Descriptor for Building Panoramic Image

Dr. Iyad Hatem*
Yahya Ibrahim**

(Received 14 / 7 / 2016. Accepted 19 / 12 / 2016)

□ ABSTRACT □

In this paper an evaluation of image keypoints detectors and descriptors is presented when used for building panoramic image. The descriptors: (SIFT, SURF, BRIEF, ORB, BRISK, and FREAK) were discussed, when used with the appropriate keypoints detectors on database taken indoors by RGB-D camera. Crosscheck and RANSAC (RANdom Sample Consensus) algorithms were used to find transform matrix between images. The speed of keypoints detectors and descriptors, the matching speed, the average of extracted keypoints, recall and precision were investigated. Oxford dataset was used to find the best descriptor for dealing with rotation and illumination changes that might occur due to changes in illumination angle.

The obtained results showed that SIFT was the keypoint descriptor with the highest performance in non-real time applications. The SURF/BRISK was the best detector/descriptor which can be used in real time applications with comparable SIFT's results.

Key words: keypoints, detector, descriptor, matching, panorama.

*Associate Professor, Department of Mechatronics, Faculty of mechanical & electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
**Postgraduate Student, Department of Mechatronics, Faculty of mechanical & electrical engineering, University of Tishreen, Lattakia, Syria.

مقدمـة:

إنّ التزايد الكبير للتطبيقات الحديثة التي تعتمد في مضمونها على استخدام الواصفات للنقاط المميزة Keypoints Descriptors في الصور الرقمية، وانتشار استخدام هذه التطبيقات في مجالات علمية عديدة ومتنوعة كمجالات بناء الصور البانورامية، وإعادة البناء ثلاثي البعد، وتطبيقات تحديد الموقع ورسم الخريطة بشكل آني Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) وغيرها، جعل هذا المجال من البحث مصب اهتمام الكثير من الباحثين مما زاد من عدد هذه الخوارزميات.

تعتمد هذه الخوازرميات في عملها بشكل عام على اكتشاف النقاط المميزة Keypoints في الصورة فيما يسمى بكاشف النقطة المميزة Keypoints detector. ووصف هذه النقاط عن طريق أشعة، تحوي على معلومات تُرمز النقطة المميزة بالاستفادة من معلومات النقاط المجاورة لها، فيما يسمى بواصف النقطة المميزة. ومن ثم تتم عملية مطابقة بين الواصفات المستخلصة من الصور لمعرفة النقاط المميزة المتماثلة فيما بينها، مما يساعد في تطبيقات تتبع الأجسام وتمييز العناصر في الصور و معرفة العلاقة بين الصور المختلفة.

في البداية كانت هذه العملية تستغرق وقتاً كبيراً نوعاً ما حيث لا يمكن إجراءها ضمن الزمن الحقيقي، ومن ثم عمل الباحثون على تسريع أداء هذه الخوازميات وتقليل الذاكرة التي يستخدمها الكمبيوتر عند اجراء خوارزمية الواصف. نظراً لتواجد العديد من الواصفات عمد الباحثون على إجراء مقارنات فيما بينها من نواحي وجوانب متعددة لتبيان الأفضل ونقاط القوة والضعف لكل منها.

طُرحت أولى الأوراق العلمية في هذا المجال كانت من قبل Schmid & Mikolajczyk [10] اللذان اعتمدا في بحثهما على قاعدة بيانات جامعة أوكسفورد Oxford Dataset، وأطلقا مفهوم الدقة Precision والحساسية Recall، وقاما برسم مخطط عملية الاستقبال Receiver Operating Characteristics بين هاتين القيمتين فيما يسمى بمخطط الدقة/حساسية precision/recall. حُسبت القيمة التي يغطيها المخطط لكل واصف، واعتبرت الواصف الذي يغطي مجالاً أكبر بالواصف الأفضل. نظراً لقدم هذه الدراسة نسبياً فإن عدد الواصفات التي تم مقارنتها كانت قليلة نوعاً ما، وخَلُصت الدراسة إلى تفضيل الواصفات المشابهة في عملها للواصف SIFT. ويعد هذا البحث المرجع الأساسي الذي اعتمد عليه معظم الباحثين اللاحقين للمقارنة بين الواصفات، حيث قام Ozkan & Isik [7] بالاعتماد عليه من حيث طرق المقارنة وقاعدة البيانات المستخدمة لإجراء تقييم بين أحدث الواصفات المطروحة. لقد قاما باستخدام الواصف مع الكاشف الموصى به من قبل مكتشف الواصف، ومن أجل المطابقة اعتمدت مكتبة FLANN بالنسبة للواصفات المشابهة للواصف SIFT، وهي مكتبة حساب الجيران الأقرب بشكل سريع Fast Library for Approximate Nearest Neighbors، ومسافة هامنغ Hamming Distance من أجل الواصفات الثنائية Binary Descriptors. أوصت الدراسة إلى تفضيل كل من الواصف SIFT والواصف ORB للاستخدام في حال وجود تغيرات هندسية بين الصور الملتقطة (تقريب، دوران، تغير زاوية التصوير...)، واستخدام الكاشف FAST والواصف BRIEF في التطبيقات التي تكون فيها التغيرات الهندسية بين الصور قليلة وتكون السرعة مهمة في هذا التطبيق.

ثم عمل Mikolajczyk & Miksik [11] على إجراء مقارنة بين الواصفات عند استخدامها مع الكاشف SURF، من أجل جعل المنافسة عادلة بين الواصفات، واعتمدا في مطابقة الواصفات على شجرة K-d العشوائية Randomized Kd-tree للواصفات المشابهة للواصف SIFT، ومسافة هامنغ للواصفات الثنائية. أكدت الدراسة

تفوق الواصفات الثنائية من حيث الزمن والذاكرة المستخدمة مع نتائج لمخطط الدقة/حساسية منافسة لنتائج الواصفات SURF& SIFT.

فيما بعد عمل Heinly وآخرون [6] على مقارنة الواصفات الثنائية (BRIEF, ORB, BRISK) مع الواصفات (SURF, SIFT)، ودرسوا تأثير الكاشف المستخدم مع الواصف، حيث استخدموا كل واصف مع عدد من الكواشف. وبينت الدراسة ضرورة توافق الواصف مع الكاشف من حيث تعاملهما مع التغيرات (الدوران، المقاس Scale)، وأكدت تفوق الواصف SIFT في حال وجود تغيرات بين الصور، مع الإشادة بأداء الواصف BRIEF من حيث السرعة.

مؤخراً قام Bekele وآخرون [3] بمقارنة الواصفات المستخدمة سابقاً بالإضافة إلى الواصف FREAK، لإيجاد الأفضل من أجل تطبيقات الموبايل، واعتمدوا في دراستهم على قاعدة بيانات أوكسفورد وقاعدة SMVS الخاصة بتطبيقات الموبايل، والتي لا تحتوي على مصفوفة الانتقال بين الصور. قاموا باعتبار كل المطابقات التي تبقى بعد تطبيق خوارزمية RANSAC –عند استخدامها لإيجاد المصفوفة الأساسية fundamental matrix– بالمطابقات الصحيحة. وخلصوا إلى اعتبار الواصف BRISK كأفضل واصف في تطبيقات الموبايل و تطبيقات الزمن الحقيقي حيث كانت نتائجه منافسة لنتائج الواصف SIFT.

كُتبت المقالة وفق الترتيب التالي: في البداية بُينت الأهداف المرجوة من البحث مع إبراز أهميته في التطبيقات العلمية. وفي الفقرة الثالثة أُظهرت المواد المستخدمة في البحث بعرض الواصفات وقاعدة البيانات والأدوات البرمجية وتوضيح المعايير والأساليب المستخدمة للمقارنة وطرق التقييم. وقدمت الفقرة الرابعة نتائج البحث مع مناقشة لسلبيات وايجابيات كل من الواصفات، وأخيراً تم توضيح ما خَلصَ إليه البحث.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى إيجاد أفضل زوج (واصف/كاشف) لاستخدامه من أجل بناء صورة بانورامية (360*180) درجة عن طريق صور ملتقطة لجميع الاتجاهات مع بقاء مكان الكاميرا ثابت، وتمت مقارنة كل من الواصفات (FREAK, BRISK, ORB, BRIEF, SURF, SIFT)، عند استخدامها مع الكاشف الملائم لها من حيث التعامل مع تغيرات الدوران والمقاس.

اهتم البحث بدراسة أفضل واصف/كاشف يتعامل مع تغيرات الدوران بشكل جيد، ولا يتأثر بتغيرات الإضاءة، ويعطي قيم جيدة للمطابقات الصحيحة ضمن المطابقات التي تم استخلاصها.

تتجلى أهمية البحث في الاستخدامات الكثيرة للواصفات في مجالات عديدة، وسيتم الاستفادة من النتائج التي خلُص إليها البحث باستخدام الواصف الأفضل في بحث بناء بيئة افتراضية ثلاثية البعد لوسط داخل البناء.

طرائق البحث و موادهـ:

ملخص عن الواصفات المستخدمة:

يمكن تقسيم الواصفات إلى قسمين: القسم الأول يعتمد على مخطط التوزع (الهيستوغرام) للتدرج (HOG) Histogram of gradient للنقطة المميزة والنقاط المجاورة لها، كالواصفات (SIFT, SURF). القسم الثاني يعتمد على فرق الشدة اللونية intensity للنقاط المجاورة للنقطة المميزة، وتتميز بسرعتها حيث يمكن أن تُجرى في الزمن

الحقيقي كواصفات (BRIEF, BRISK, FREAK, ORB). فيما يلي ملخص عن الواصفات المستخدمة في البحث والتي أُجريت المقارنة عليها.

الواصفات التي تعتمد على مخطط توزع التدرج (HOG):

تتميز هذه الواصفات بالدقة والوثوقية والكفاءة العالية، ولكنها تستغرق وقتاً كبيراً لإنجازها وتستهلك حجماً كبيراً من ذاكرة الحاسوب [9] وفيما يلي أهم الواصفات التي طرحت في هذا المجال.

واصف نقل السمات غير المتغير بتغير المقاس SIFT

(Scale Invariant Feature Transform)

تعد خوارزمية SIFT [9] عبارة عن كاشف وواصف للنقاط المميزة، تقوم بإيجاد النقاط المميزة عن طريق تطبيق خوارزمية اللابلاسيان على المرشح الغاوصي Laplacain of Gaussian بمقاسات مختلفة، حيث يمثل كل مقاس قيمة الانحراف المعياري σ للتابع الغاوصي. يُعتبر البيكسل المختلفة عن جميع النقاط المجاورة لها في نفس المقاس والمقاس الأعلى والأدنى كنقطة مميزة. من أجل تسريع الخوارزمية تُستخدم خوارزمية الاختلاف بين المرشح الغاوصي Difference Of Gaussian. ثم تعتمد الخوارزمية على تجاهل النقاط السيئة والإبقاء على النقاط الأكثر أهمية عن طريق : أ) استخدام تقريب تايلور على الصورة . ب) استخدام عتبة للقيم المميزة eigenvalue لمصفوفة هاسيان Hessian. بالنسبة للواصف يُحدد توجه الواصف بجهة الشعاع الأكبر في الهيستوغرام الممثل لأشعة مطالات وزاويا كل من النقاط المجاورة للنقطة المميزة في نفس المقاس. ويولد الشعاع الذي يمثل الواصف بحساب الهيستوغرام لأشعة المطالات والزوايا في 16 قسم حول النقطة المميزة، وكل هيستوغرام عبارة عن 8 بُعد، فيكون الشعاع ذو 128 بُعد، أي ما يعادل 128 بايت من ذاكرة الكمبيوتر.

واصف النقاط المميزة الصلب المُسرَعة SURF (Speeded Up Robust Features):

تعتبر خوارزمية SURF عبارة عن كاشف وواصف للنقاط المميزة وتعد امتداد لخوارزمية SIFT، حيث عمل Bay وآخرون [2] على تطوير خوارزمية SIFT، والتسريع من وقت إنجازها مع أخذ حيز أقل في الذاكرة. تعتمد الخوارزمية على أساليب متعددة للتسريع كاستخدام التقريب لخوارزمية اللابلاسيان على المرشح الغاوصي، واستخدام الصورة المكملة integral image من أجل حساب كل من القناعات بشكل سريع. يتم حساب توجه الواصف باستخدام مرشح مويجة هار haar wavelet، وهو عبارة عن مرشح بسيط يُستخدم لحساب الانحدار على المحورين الشاقولي والأفقي (X,Y). بالنسبة لتقليل الذاكرة المستخدمة فقد تم تقليل بُعد الشعاع الذي يمثل هذا الواصف، فهو عبارة عن شعاع ذو 64 بُعد، أي ما يعادل 64 بايت من ذاكرة الكمبيوتر.

بالنسبة لهذا النوع من الواصفات (SIFT, SURF)، ومن أجل عملية المطابقة بين الواصفات، يتم حساب المسافة الإقليدية Euclidean Distance بين الأشعة الناتجة للواصفات، ويتم اعتبار الأشعة القريبة من بعضها كشعاع ممثل لنفس النقطة، ومن أجل تسريع عملية الحساب يتم استخدام مكتبة FLANN حساب الجيران الأقرب بشكل سريع Fast Library for Approximate Nearest Neighbors.

الواصفات الثنائية:

أُوجدت هذه الواصفات من أجل تطبيقات الأجهزة المحمولة، التي تتطلب العمل في الزمن الحقيقي، وتتطلب ذاكرة قليلة. بشكل عام فإن معظم الواصفات الثنائية تشترك بالمراحل التالية: 1) نمط أخذ العينات حول النقطة المميزة. 2) تحديد توجه الواصف باستخدام أساليب تجعل الواصف يتلاءم مع دوران النقطة المميزة في الصور. 3)

طريقة أخذ الأزواج في العينات من أجل مقارنتها فيما بينها، حيث يتم مقارنة الأزواج من حيث قيمة الشدة اللونية في كل زوج، تُرمّز بـ (1 أو 0)، فنحصل على سلسلة من المحارف الثنائية تُرمّز النقطة المميزة مع النقاط المجاورة لها.

لا تُحدد الواصفات الثنائية كاشف محدد للعمل عليه، وتعتمد معظمها على الكاشف FAST كاشف السمات المعتمد على اختبار الأجزاء المُسرّع Features from Accelerated Segment Test [12]، وعلى تطورات هذه الخوارزمية. يعتمد هذا الكاشف على الشدة اللونية في إيجاد النقاط المميزة حيث تؤخذ دائرة مكونة من 16 بيكسل حول النقطة المدروسة، وتعتبر النقطة كنقطة مميزة في حال وجود N بيكسل مجاور – من البيكسلات المدروسة – جميعها أكبر أو أصغر من قيمة الشدة اللونية للنقطة المدروسة، و يُحتفظ بالنقاط التي تمتلك معلومات أكثر مع تجاهل للنقاط التي تحقق قيم غير أعظمية.

بالنسبة لعملية المطابقة بين الواصفات الثنائية تُستخدم مسافة هامنغ، وهي عبارة عن عملية XOR بين الأشعة الممثلة للواصفات، ونُبين فيما يلي الواصفات الثنائية التي تم العمل عليها.

واصف السمات الثنائية الصلبة المستقلة البسيطة BRIEF

(Binary Robust Independent Elementary Features)

طُرح الواصف BRIEF من قبل Calorider وآخرون [5]. يُعد أول واصف ثنائي مطروح وهو أكثرها بساطة. لا يحتوي هذا الواصف على نمط معين لأخذ العينات، ولا يقوم بتحديد توجه الواصف. أما بالنسبة لمقارنة الأزواج فقد طرح الكاتب عدة وسائل لأخذ العينات. نوقش عمل 128 و 256 و 512 زوج ومقارنة نتائج كل منها، وخَلُصت الدراسة إلى أنَ استخدام 512 زوج يعد أفضل طريقة لوصف النقطة المميزة مع النقاط المجاورة. يمكن استخدام هذا الواصف مع أي كاشف للصورة، وتم التوصية باستخدامه مع الكاشف FAST. رغم بساطة هذا الواصف إلا أنه يعد النواة الأساسية لجميع الواصفات الثنائية الأُخرى التي تعد أكثر تعقيداً وتتميز بخصائص وأساليب إضافية.

واصف النقاط المميزة المعتمد على الكاشف FAST الموجه والواصف BRIEF المدور (Oriented FAST and Rotated BRIEF) ORB

طُرحت خوارزمية ORB من قبل Rublee وآخرون [13]. وتعتبر عبارة عن كاشف وواصف للصورة، تعتمد على الكاشف FAST والواصف BRIEF. في البداية تُكتشف النقاط باستخدام الكاشف FAST، ثم تُطبق قوانين كاشف الزوايا هاريس Harris corner على النقاط المكتشفة، وتُؤخذ النقاط التي هي أكبر من عتبة معينة. الكاشف FAST لا ينتج نقاط متعددة المقاييس، ولذلك يتم تطبيق هرم المقاييس على الصورة وحساب النقاط المميزة في كل مقاس.

بالنسبة لوصف النقاط المميزة، لا يحتوي هذا الواصف على نمط معين لأخذ العينات. لكنه يقوم بحساب توجه الواصف باستخدام العزوم من الدرجة الأولى للصورة، حيث يقوم بحساب مركز الكتلة للكثافة اللونية intensity centroid، والذي يُعبر عن المتوسط الحسابي للشدات اللونية في البيكسلات الموجودة في منطقة النقطة المميزة، وتُعتبر الزاوية بين مركز الكتلة للكثافة اللونية ومركز النقطة المميزة هي الزاوية التي تمثل توجه الواصف. أما بالنسبة لأخذ الأزواج للمقارنة، تُستخدم خوارزمية تَعلم تعمل على زيادة التباين varince بين الأزواج، والتقليل من الارتباط correlation فيما بينها. تستخدم الخوارزمية 256 زوج للمقارنة، فيكون الواصف عبارة عن شعاع ذو 256 عنصر.

واصف النقاط المميزة الثنائية الصلبة غير المتغيرة بتغير المقاس BRISK

(Binary Robust Invariant Scalable Keypoints)

طُرحت خوارزمية BRISK من قبل Leutenegger وآخرون [8]، وهي عبارة عن كاشف وواصف للصورة، ويعد ملائم مع تغيرات المقاس والدوران، يستخدم الكاشف AGAST، وهو تطوير لخوارزمية FAST، حيث يعمل على زيادة سرعة الخوارزمية مع بقاء كفاءة الأداء نفسها . يستخدم هذا الواصف نمط معين لأخذ العينات حول النقطة المميزة، وهو على شكل دوائر محددة المركز، وكلما ابتعدنا عن مركز النقطة المميزة يزداد عدد الدوائر، ويزداد قطر الدائرة الذي يمثل الانحراف المعياري للمرشح الغاوصي المستخدم على مركز الدائرة. تُقسم الأزواج إلى أزواج للمسافات القصيرة وأزواج للمسافات الطويلة، تُستخدم الأزواج ذات المسافات الطويلة لحساب توجه الواصف حيث تُجمع جميع التدرجات بين كل أزواج المسافات الطويلة في العينات، وتكون الزاوية بين مركبتي التدرج الشاقولية والأفقية هي توجه الواصف، حيث يتم تدوير العينات بنفس زاوية التوجه. تُحسب قيمة الواصف بمقارنة 512 زوج من الأزواج ذات المسافات القصيرة، فيكون الواصف عبارة عن شعاع ذو 512 بُعد، أي ما يعادل 64 بايت في الذاكرة.

واصف النقاط المميزة السريع المعتمد على مبدأ عمل شبكية العين

(Fast Retina Keypoint) FREAK

طُرح الواصف FREAK من قبل Alahi وآخرون [1]، اعتمد هذا الواصف (من أجل نمط أخذ العينات حول النقطة المميزة) على مبدأ عمل شبكية العين، فكانت العينات عبارة عن دوائر مركزية متقاطعة فيما بينها، يزداد قطرها كلما ابتعدنا عن مركز النقطة المميزة. تُمرر النقاط المدروسة على مرشح غاوصي، حيث يُمثل قطر الدائرة عن الانحراف المعياري للمرشح. بالنسبة لحساب توجه الواصف تُستخدم نفس الطريقة في الواصف BRISK، ولكن بدلاً من الأزواج ذات المسافات البعيدة يُستخدم 45 زوج محدد مُسبقاً. أما بالنسبة لأخذ الأزواج من أجل إجراء عملية المقارنة يُستخدم نفس المبدأ المستخدم في الواصف ORB، لاختيار 512 زوج فيكون الشعاع الممثل للواصف ذو 512 بُعد.

قاعدة البيانات :

تم العمل على قاعدة بيانات خاصة بالبحث وهي عبارة عن صور ملتقطة بكاميرا RGB-D لمشاهد ضمن بيئة داخلية (داخل المنزل). تم التقاط هذه الصور في ظروف إضاءة طبيعية، دون الاستعانة بأي وسيلة لزيادة الإضاءة، في أوساط تختلف فيها عدد العناصر و درجة التعقيد. تتكون هذه القاعدة من 12 مجموعة من الصور، يُظهر الشكل (1) بعض الأوساط التي تم التقاط الصور فيها. كل مجموعة عبارة عن 5 صور، في البداية تُلتقط الصورة الأصلية (الأولى في المجموعة)، ومن ثم تدور الكاميرا حول محورها العمودي بزاوية عشوائية إلى اليمين واليسار، ومن ثم تُدور الكاميرا حول محورها الأفقي بزاوية عشوائية إلى الأعلى والأسفل. يُظهر الشكل (2) المجموعة الأولى في قاعدة البيانات، حيث وُضعت الصور الخمسة في نفس الشكل (الصورة الأولى في المنتصف والصور الأربعة الأخرى في الجهات الأربعة).

الشكل (1): عينة من قاعدة البيانات (الصور الأولى في كل مجموعة).

الشكل (2): الصور الملتقطة في مجموعة واحدة. a b c d e

a) الصورة اليسارية في المجموعة. b) الصورة العليا . c)الصورة الأولى (الأساسية). d) الصورة السفلى. e) الصورة اليمنى.

في هذه القاعدة ونتيجة لدوران الكاميرا تتغير زاوية الإضاءة، مما يؤدي إلى تغير الإضاءة في الصورة الناتجة، كما يتغير موقع العنصر المدروس في الصورة بزاوية معينة، تم الاستفادة منها لدارسة أفضل واصف، يمكن استخدامه من أجل بناء صورة بانورامية كاملة للوسط المحيط بالكاميرا، عند دورانها حول محورها العمودي بزاوية 360 درجة مئوية، وحول محورها الأفقي بزاوية 180 درجة مئوية. وسيتم الاستفادة من هذه الصور في بناء نموذج ثلاثي البعد للوسط المحيط بالكاميرا. من أجل معرفة أفضل واصف قادر على التعامل مع تغيرات الدوران والإضاءة، ويقوم بإعطاء أفضل مصفوفة انتقال بين الصور، تم العمل على قاعدة البيانات المطروحة من قبل Mikolajczyk [10]، لاحتوائها على مصفوفة الانتقال بين الصور الملتقطة. تتكون هذه القاعدة من ثمانية مجموعات من الصور، تحتوي كل مجموعة على ستة صور. كل مجموعة تمثل واحدة من التغيرات التالية: تغير في الإضاءة، تغير في مكان التقاط الصورة لنفس المشهد، دوران للصورة، دوران وتقريب أو تبعيد، ضغط للصورة بطريقة JPEG، أو تشويش على الصور.

أدوات البحث:

التقطت الصور في قاعدة البيانات عن طريق كاميرا RGB-D من نوع kinect X-BOX 360، تعطي هذه الكاميرا صورة RGB بالألوان الأساسية بأبعاد (640*480) بيكسل، وصورة رمادية تمثل بُعد كل بيكسل في الصورة الأساسية. تمّ العمل على الصورة الأساسية الملونة من أجل استخلاص النقاط المميزة و مطابقتها. استخدمت الكاميرا من خلال مكتبة OpenNI مفتوحة المصدر على لغة c++. كما استخدمت الكواشف والواصفات و خوارزمية RANSAC من خلال مكتبة opencv [4] مفتوحة المصدر، بلغة البرمجة c++ على البيئة البرمجية Microsoft Visual Studio 2010 باستخدام حاسوب بمعالج ذات الموصفات Intel ® core ™ I3 CPU M370 @ 2.40 GHZ، وذاكرة عشوائية 4 GB RAM، ونظام تشغيل windows 7 Ultimate 64 bit.

سيناريو العمل:

اعتُمد في دراسة قاعدة البيانات الخاصة بالبحث (التي لا تحوي على مصفوفة الانتقال) على المعايير المطروحة من قبل Bekele وآخرون [3]. في البداية تُستخلص النقاط المميزة في كل من الصور الخمسة لكل المجموعات، باستخدام الكاشفات (SIFT, SURF, ORB, FAST, BRISK). بالنسبة للكواشف فقد أجريت المقارنة بينها من حيث: 1) متوسط عدد النقاط المستخرجة في الصور. 2) سرعة الكاشف حيث تم حساب الزمن الذي يستغرقه الكاشف لاستخراج نقطة مميزة واحدة (برمجياً)، وذلك بحساب المتوسط الحسابي للأزمنة التي استغرقها الكاشف لاكتشاف نقطة واحدة في كل صورة من قاعدة البيانات.

أما بالنسبة لتقييم الواصفات الثنائية استُخدام كل واصف مع ما يناسبه من الكواشف (من حيث التعامل مع المقاس والدوران)، حيث استُخدم كل من الواصفات (BRISK , FREAK) مع كل من الكواشف (BRISK, SURF)، والواصف BRIEF مع الكاشف FAST، والواصف ORB مع الكاشف ORB، كما أوصى Heinly [6]، حيث أثبت أن الواصف ORB يعطي أفضل النتائج عند استخدامه مع الكاشف ORB.

ثم تمّ استخلاص الواصفات للنقاط المميزة ومطابقتها فيما بينها، ونوقشت الواصفات من حيث: 1) سرعة كل واصف، وذلك بحساب الزمن الذي يستغرقه الواصف من أجل نقطة مميزة واحدة، حيث تم حساب المتوسط الحسابي للأزمنة التي استغرقها الواصف لوصف نقطة واحدة في كل صورة من قاعدة البيانات. 2) سرعة المطابقة بين الواصفات في الصور، وذلك بحساب الزمن الذي يستغرقه الواصف للمطابقة، من خلال حساب المتوسط الحسابي للأزمنة التي استغرقها الواصف لمطابقة نقطتين في كل صورة من قاعدة البيانات. استُخدمت مكتبة FLANN لمطابقة

بين واصفات SURF & SIFT، واستخدمت مسافة هامنغ لمطابقة الواصفات الثنائية. في الخطوة التالية استُخدمت خوارزمية اختبار التقاطع cross check، بأخذ المطابقات المشتركة الناتجة عن مطابقة واصفات الصورة الأولى مع الثانية والمطابقات بالاتجاه المعاكس. واستُخدمت خوارزمية إجماع العينات العشوائية RANSAC لاستخراج مصفوفة الانتقال بين الصورة الأولى والصور الأربعة الأخرى، واعتُبرت النقاط التي تجتاز RANSAC بالمطابقات الصحيحة. في الخطوة الأخيرة تم حساب الحساسية، وهي عبارة عن عدد المطابقات الصحيحة المستخلصة من الواصف على عدد المطابقات الصحيحة كلها (التي تم استخلاصها كمطابقة صحيحة والتي لم يتم استخلاصها كمطابقة صحيحة)، وفي هذه الدراسة ونتيجة لعدم وجود مصفوفة الانتقال بين الصور، اعتبرت جميع النقاط التي تم مطابقتها بمطابقات صحيحة، على اعتبار أن إيجاد النقاط المماثلة في كلا الصورتين هي من مهام الكاشف. وحساب الحساسية وهي نسبة عدد المطابقات الصحيحة على عدد المطابقات قبل تطبيق اختبار التقاطع ، وحساب الدقة وهي نسبة عدد المطابقات الصحيحة على عدد المطابقات التي اجتازت اختبار التقاطع. وعرض النتائج بعرض المتوسط الحسابي للحساسية والدقة عند حسابهما على كامل قاعدة البيانات.

ومن أجل جعل المنافسة أكثر مساواة بين الواصفات الثنائية القادرة على التعامل مع الدوران والمقاس سيتم مقارنة كل من الواصفات (ORB, BRISK, FREAK) عند استخدامهم مع الكاشف ORB وعرض النتائج على كل مجموعة من مجموعات قاعدة البيانات وتبيان الأفضل.

تم استخدام قاعدة بيانات أوكسفورد من أجل اختبار أفضل واصف يعطي مصفوفة انتقال صحيحة بين الصور، بعد تطبيق خوارزمية RANSAC، حيث تم اختبار 100 نقطة عشوائية في كل أنحاء الصورة الأولى وتطبيق مصفوفة الانتقال الناتجة عن الواصف، ومقارنتها مع النقاط الناتجة عند تطبيق مصفوفة الانتقال المعطاة في قاعدة البيانات. تُعتبر هذه المصفوفة كمصفوفة صحيحة في حال كان المتوسط الحسابي للمسافات بين النقاط المدروسة أقل من 3 بيكسلات، وعرضت النتائج كنسبة مئوية لعدد المصفوفات الصحيحة على عدد مرات الاختبار.

تم حساب كل من الحساسية والدقة لكل تغير من التغيرات الموجودة في القاعدة، اعتماداً على المعايير المطروحة من قبل Mikolajczyk [10]، حيث تم الاستفادة من مصفوفة الانتقال لمعرفة نقاط المطابقات الصحيحة. وتعتبر النقطة كمطابقة صحيحة إذا حققت الشرطين التالين: 1) يجب أن تكون المسافة بين مركز النقطة المميزة في الصورة الأولى بعد تطبيق مصفوفة الانتقال عليها والنقطة المقابلة لها في المطابقة (في الصورة الثانية) أقل من ثلاثة بيكسلات. 2) يجب أن تكون نسبة المجال المشترك بين النقطتين المميزتين على المجال المغطى من كلا النقطتين أقل من (0.3).

ويتم حساب الحساسية، بتقسيم عدد النقاط الصحيحة التي يعطيها الواصف بعد تطبيق عملية المطابقة، على عدد جميع النقاط الصحيحة التي يعطيها الكاشف بين الصورتين (واستخدمت نفس المعايير لحساب هذه النقاط)، وحساب الدقة بتقسيم عدد النقاط الصحيحة على عدد المطابقات التي اجتازت اختبار التقاطع. وعرضت النتائج بالنسبة لكل تَغيّر من التغيرات المطروقة في قاعدة البيانات.

النتائج والمناقشة:

يبين الجدول (1) المتوسط الحسابي لعدد النقاط المميزة المكتشفة من قبل كل كاشف، وسرعة اكتشاف النقطة المميزة الواحدة في قاعدة البيانات الخاصة بالبحث، والملتقطة في أوساط سيتم العمل عليها لاستخراج الصور

البانورامية. يبين الجدول تفوق الكاشف FAST من حيث العدد الكبير للنقاط المميزة المستخلصة، يأتي بعدها من حيث العدد الكواشف SURF & SIFT، التي تعطي عدد كافي للقيام بحساب التطابق بين الصور، أما بالنسبة لكواشف BRISK & ORB، فتعطي أقل عدد من النقاط، والتي لا تكون كافية في بعض الأحيان لاستخلاص مطابقات صحيحة.

يُعد الكاشف FAST الأسرع حيث يتفوق على كل من الكواشف الأخرى (SIFT, SURF, ORB, BRISK) بـ (253, 49, 17, 38) مرة على التوالي.

الجدول (1) متوسط عدد النقاط المميزة وزمن لإستخلاص نقطة واحدة [µs]
والقيمة الوسطية لاستخلاص النقاط في الصورة لكل كاشف

الكاشف	متوسط عدد النقاط المميزة في الصورة	الزمن المقدر لاستخلاص الكاشف نقطة واحدة [ميكرو ثانية] [µs]	القيمة الوسطية لاستخلاص النقاط في الصورة [ميلي ثانية] [ms]
SIFT	989	3040	3006
SURF	1381	594	821
FAST	2548	12	30
ORB	491	205	101
BRISK	257	459	118

يَظهر من الجدول (1) القيمة الوسطية للزمن الذي يستغرقه الكاشف لاكتشاف جميع النقاط في الصورة، فيُعد الكاشف FAST الأسرع، حيث يتفوق على كل من الكاشفات (SIFT, SURF, ORB, BRISK) بحوالي (100, 27, 3, 4) مرة على التوالي. مع الانتباه أن هذه القيمة تعد وسطية تتغير بتغير عدد النقاط في الصورة الذي يعتمد بدوره على درجة التعقيد وعدد المميزات في الصورة.

أما بالنسبة لتوزع النقاط في الصورة فيعد الكاشفان SURF & SIFT من أفضل الكواشف في هذا المجال، كما بين Heinly [6]، حيث تتوزع النقاط على كامل مجال الصورة، ولا تتأثر بتغير الشدة اللونية، في حين أن الكواشف الأخرى تعد كواشف زوايا وتعتمد في عملها على فرق الشدة اللونية في الصورة. لذلك يعد الكاشف SURF أفضل كاشف يمكن استخدامه حيث يعطي عدد نقاط جيد وموزعة على كامل الصورة خلال وقت جيد مقارنة بغيره. مع الإشادة بسرعة الكاشف FAST، والعدد الكبير للنقاط التي يكتشفها، إلا أنّ هذا الكاشف غير قادر على التعامل مع تغيرات الدوران والمقاس.

الجدول (2): زمن استخلاص الواصف لنقطة مميزة واحدة لكل الواصفات المدروسة وزمن إجراء عملية المطابقة بين نقطتين لكل الواصفات المدروسة

الواصف	زمن استخلاص الواصف لنقطة مميزة واحدة [ميكرو ثانية] [µs]	زمن عملية المطابقة بين نقطتين [ميكرو ثانية] [µs]
SIFT	3178.9	2247.3
SURF	1260.5	1839.7
BRIEF	777.6	477.7
ORB	300.05	106.9
BRISK	70.3	74.8
FREAK	391.8	84.9

يبين الجدول (2) قيم المتوسط الحسابي لزمن استخلاص الواصف لنقطة مميزة واحدة، حيث تم حساب الزمن لجميع النقاط المميزة المدروسة في البحث وعرض المتوسط الحسابي لهذه النقاط، تبين أن الواصف BRISK عن استخدامه مع الكاشف SURF يعد الأسرع، حيث يتفوق على (SIFT, SURF, BRIEF, ORB, FREAK) بحوالي (45, 17, 11, 4, 5) مرة على التوالي.

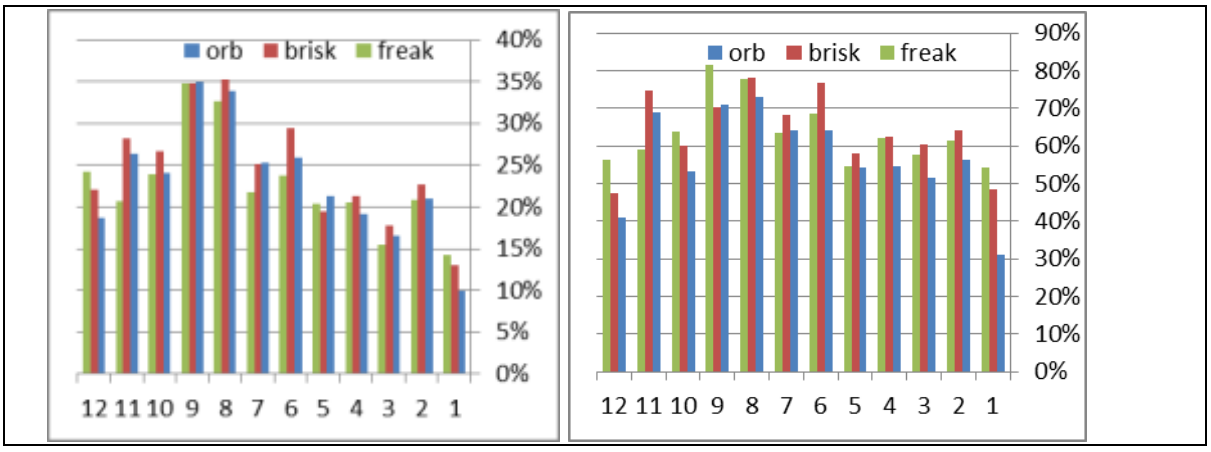
ويبين الجدول (2) قيم المتوسط الحسابي لزمن عملية مطابقة نقطتين موصوفتين بنفس الواصف، حيث تم حساب الزمن لمطابقة جميع النقاط المدروسة في البحث و عرض المتوسط الحسابي لها، فقد تبين أن الزوج واصف/كاشف SURF/BRISK يعد الأسرع، ويتفوق على الواصفات (SIFT, SURF, BRIEF, ORB, FREAK) بحوالي (30, 24, 6, 1.5,1.2) مرة على التوالي.

الجدول (3): قيم المتوسط الحسابي لقيم الحساسية والدقة عند حسابها على جميع الصور في قاعدة البيانات الخاصة بنا لكل الواصفات المستخدمة

الواصف	الحساسية recall (%)	الدقة precision (%)
SIFT	19.9	52.63
SURF	19.32	50.8
BRIEF	0.6	1.6
ORB	23.1	56.9
BRISK/BRISK	12.72	37.1
SURF/BRISK	11.12	37.66
BRISK/FREAK	7	22
SURF/FREAK	8.5	27.12

يُبين الجدول (3) قيم الحساسية والدقة كنسبة مئوية لكل من الواصفات المستخدمة، ويُظهر الجدول تفوق كل من الواصفات (ORB, SIFT, SURF) على باقي الواصفات، يأتي بعدها الواصف BRISK والواصف FREAK في حين يعد الواصف BRIEF الأسوأ ولذلك لكونه لا يتعامل مع تغيرات الدوران والمقاس.

وتأتي قوة الواصف ORB من كون عدد النقاط المستخلصة قليل. ولجعل المنافسة أكثر عدلاً بين الواصفات الثنائية، تمت مقارنة الواصفات الثنائية (باستثناء الواصف BRIEF) عند استخدامها مع الكاشف ORB، وتُظهر النتائج الموضحة بالشكل (3) (الممثلة لقيم الدقة والحساسية على 12 مجموعة في قاعدة البيانات) تفوّق كل من الواصفات BRISK & FREAK على الواصف ORB، مع تفوّق بسيط للواصف BRISK، مما يُثبت أن النتائج الجيدة للواصف ORB تأتي بسبب النقاط التي يكشفها الكاشف ORB، حيث يقوم باختيار أفضل 500 نقطة من النقاط المكتشفة.

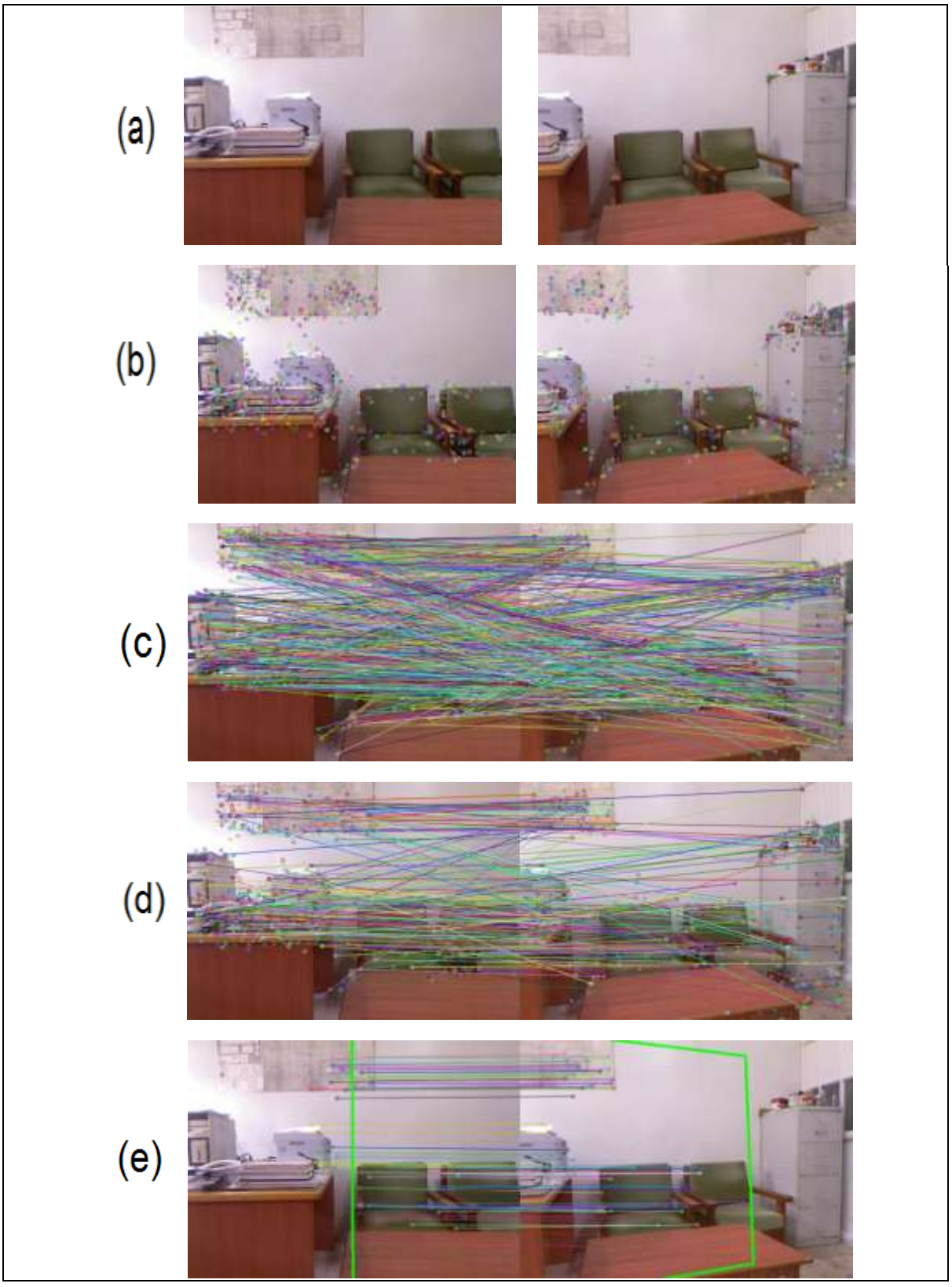


الشكل (3): الدقة على اليمين، والحساسية على اليسار، كنسبة مئوية عند استخدام الواصفات (orb, brisk, freak) مع الكاشف orb على كل مجموعة من القاعدة.

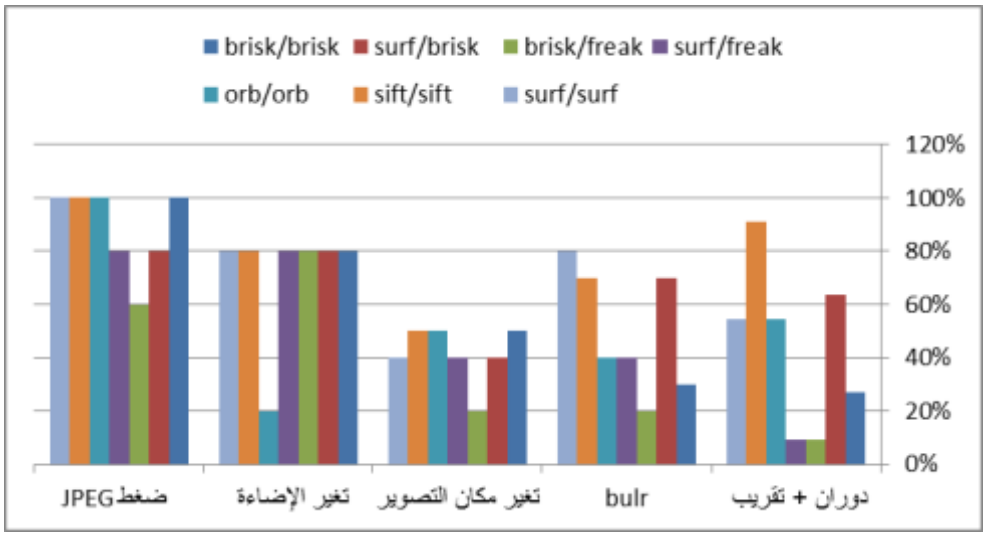
يُبين الشكل (4) الخطوات التي أُجريت على صورتين من المجموعة الأولى في قاعدة البيانات الخاصة بالبحث. استخلصت النقاط المميزة باستخدام الكاشف SURF، واستُخدم الواصف BRISK لوصف النقاط المميزة، عُرضت المطابقات الناتجة قبل وبعد خوارزمية اختيار التقاطع والمطابقات التي بقيت بعد تطبيق خوارزمية RANSAC.

تمت دراسة قاعدة البيانات أوكسفورد بحساب مصفوفة الانتقال بعد تطبيق RANSAC على النقاط التي أعطاها الواصف، وحساب النسبة التي حققت نتائج صحيحة، وعرض هذه النتائج للواصفات المستخدمة بالنسبة للتغيرات الموجودة في قاعدة البيانات، وأظهرت النتائج الموضحة في الشكل (5)، تفوق الواصف SIFT على الجميع في حالات التغيير جميعها، يأتي بعده الواصف SURF والزوج SURF/BRISK الذي يعطي قيم منافسة للواصف SIFT في كل حالات التغيير، كما تبين النتائج ضعف الواصف ORB في التعامل مع تغيرات الإضاءة.

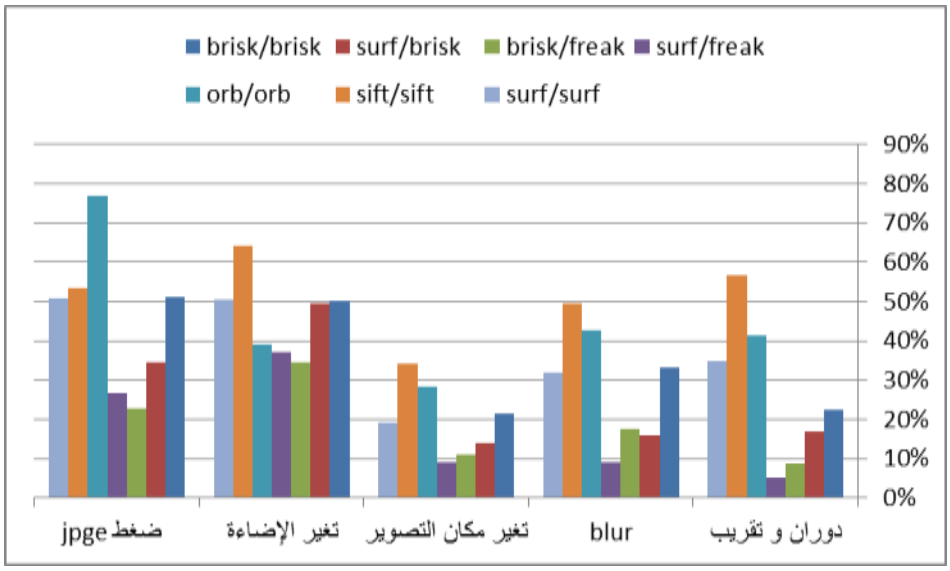
يُظهر الشكل(6) و الشكل(7) قيم الحساسية والدقة لكل الأزواج (واصف/كاشف) المستخدمة لدراسة قاعدة بيانات أوكسفورد. تُظهر النتائج تفوق (SIFT & ORB) على غيرها من الكواشف، فيما أثبت الواصف BRISK نتائج جيدة مقاربة للنتائج SIFT و SURF، ويعد الواصف FREAK الأسوأ في هذا الاختبار.



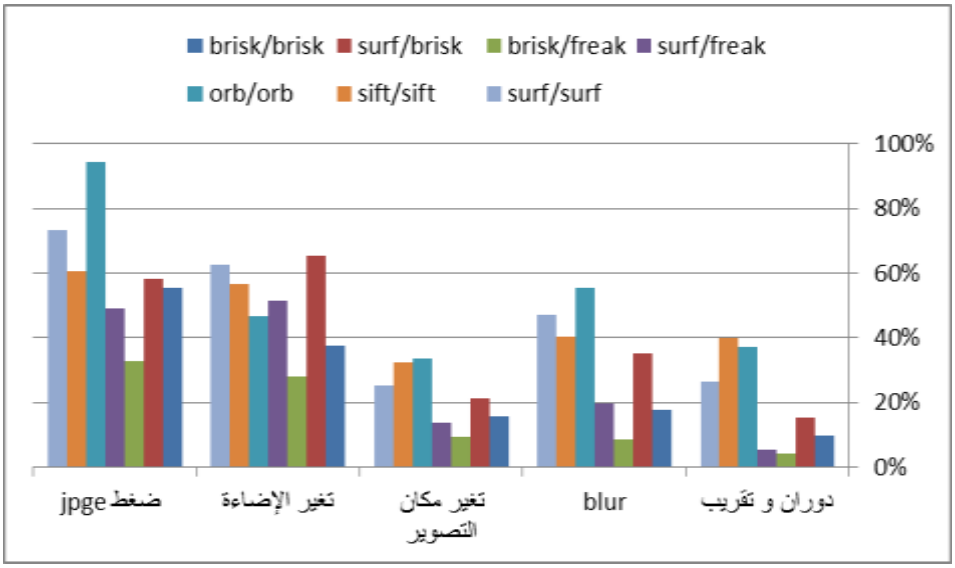
الشكل (4): (a) الصورتين الملتقطتين، (b) النقاط المميزة المستخلصة عند تطبيق الكاشف SURF، (c) المطابقات الكلية الناتجة عن مطابقة الصورتين، (d) المطابقات التي اجتازت خوارزمية اجتياز التقاطع، (e) المطابقات التي اجتازت خوارزمية اختيار العينة العشوائية RANSAC، ويمثل المنحني الأخضر توضع الصورة الأولى بالنسبة للصورة الثانية.



الشكل (5): نسبة عدد المصفوفات الصحيحة بعد تطبيق RANSAC على عدد الاختبارات.



الشكل (6): الحساسية كنسبة مئوية على قاعدة بيانات Oxford



الشكل (7): الدقة كنسبة مئوية على قاعدة بيانات Oxford.

الاستنتاجات والتوصيات:

بالاستناد إلى النتائج المبينة في الجداول والأشكال خلُصت الدراسة إلى ما يلي:

- يعد الزوج (SIFT/SIFT) أفضل زوج (واصف/كاشف) للاستخدام في حالة إيجاد مصفوفة الانتقال بين صور، ولا يُنصح باستخدامه في تطبيقات التي تتطلب التنفيذ في الزمن الحقيقي، حيث أظهرت النتائج أمكانية تعامله مع تغيرات الدوران والمقاس بين الصور بشكل جيد، دون التأثر بتغيرات الإضاءة بين الصور، بينما تستغرق هذه الخوارزمية وقت كبير حيث لا يمكن اجراءها في تطبيقات الزمن الحقيقي.
- يُنصح باستخدام الزوج (SURF/SURF) في التطبيقات المتوسطة السرعة حيث أثبت نتائج جيدة عند حساب مصفوفة الانتقال بين الصور خلال زمن جيد أسرع من الزوج (SIFT/SIFT)، ولكن لا يمكن أن تجري في الزمن الحقيقي، لبطء الواصف SURF .
- يُنصح باستخدام الزوج (SURF/BRISK) في تطبيقات الزمن الحقيقي، حيث أثبت الدراسة قوة هذه الزوج في التعامل مع تغيرات الدوران والتقريب بين الصور، كما أنه لا يتأثر بتغيرات الإضاءة التي قد تنتج نتيجة تغير زاوية الإضاءة. حيث أن الكاشف SURF يعطي نقاط جيدة لبناء مطابقات صحيحة بين الصور ضمن زمن جيد نسبياً، فيما يعد الواصف BRISK الأسرع في عملية حساب الواصف لنقطة مميزة وفي عملية المطابقة، و تبين النتائج تَفوق الواصف BRISK على غيره من الواصفات الثنائية عند تطبيقها على نفس الكاشف.
- يُمكن التعامل مع الزوج (ORB/ORB) بوثوقية عالية، لما أعطاه من نتائج جيدة عند حساب الحساسية والدقة، مع الانتباه إلى ضعفه في التعامل مع تغيرات الإضاءة.
- أثبت الدراسة سرعة الكاشف FAST في حساب النقاط المميزة في الصورة، حيث توفق على غيره بالعدد الكبير للنقاط المميزة في زمن قصير نسبياً، ويعاني هذا الكاشف من ضعف في التعامل مع تغيرات الدوران والمقاس في الصورة، لذا يُنصح باستخدامه في تطبيقات الزمن الحقيقي التي تعتمد على صور لا تحتوي على تغيرات الدوران والمقاس.

المراجع:

[1] ALAHI, A.; ORTIZ, R.; VANDERGHEYNST, P. *FREAK: Fast retina keypoint*, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2012, 510-517.

[2] BAY, H.; ESS, A.; TUYTELAARS, T.; GOOL, L. V. *Speeded-up robust features (SURF).* Computer Vision and Image Understanding, vol. 110, no. 3, 2008, 346 – 359.

[3] BEKELE, D.; TEUTSCH, M.; SCHUCHERT, T. *Evaluation of binary keypoint descriptors*. IEEE Signal Processing Society; Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013, 3652-3656.

[4] BRADSKI, G. *The OpenCV Library*. Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 2000.

[5] CALONDER, M.; LEPETIT, V.; STRECHA, C.; FUA, P. *BRIEF: Binary robust independent elementary features*," Springer Berlin Heidelberg, 2010, 778–792.

[6] HEINLY, J.; DUNN, E.; FRAHM, M. *Comparative evaluation of binary features*. Computer Vision ECCV, Springer Berlin Heidelberg, 2012, 759–773.

[7] ISIK, S.; OZKAN, K. *A Comparative Evaluation of Well-known Feature Detectors and Descriptors.* International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, 2014, 1-6.

[8] LEUTENEGGER, S.; CHLI, M.; SIEGWART, R.Y. *BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints*. IEEE International Conference on Computer Vision, 2011, 2548–2555.

[9] LOWE, G. D. *Distinctive image features from scale invariant keypoints*, International Journal of Computer Vision, vol. 60, no. 2, 2004, 91–110.

[10] MIKOLAJCZYK, K.; SCHMID, C. *A performance evaluation of local descriptors*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 27, no. 10,2005, 1615–1630.

[11] MIKSIK, O.; MIKOLAJCZYK, K. *Evaluation of Local Detectors and Descriptors for Fast Feature Matching.* IEEE International Conference on Pattern Recognition, 2012, 2681-2684.

[12] ROSTEN, E.; DRUMMOND, T. *Machine learning for high-speed corner detection*. In ECCV, Springer Berlin Heidelberg, 2006, 430-443.

[13] RUBLEE, E.; RABAUD, V.; KONOLIGE, K.; BRADSKI, G. *ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF*. IEEE International Conference on Computer Vision, 2011, 2564–2571.