Journal of Technology Research (JTR)
Volume 1, Issue 1, (2023), pp 041-052, ISSN 3005-639X

Computer Vision–Based Object Tracking System Assisted by a PID Controller

Ishaq Y. Al-Arbah[1]*, Umm Al-Saad M. Al-Amils[1], Ahmed A. Al-Barq[1], Taha T. Al-Qasir[1]

[1] Faculty of Industrial Technology, Misurata, Libya.
*Corresponding author email: issaclarbah@gmail.com

Received: 03-02-2023 | Accepted: 18-4-2023 | Available online: 15-6-2023 | DOI:10.26629/jtr.2023.04

ABSTRACT

The study aimed to identify the applications of artificial intelligence that can be benefited from in the development of the video and surveillance camera system. There are challenges and problems related to the following aspects (monitoring process - identifying shapes - tracking them. And by employing some artificial intelligence applications in the monitoring process, such as object recognition and tracking systems, where the tasks of object recognition and tracking in video surveillance and monitoring systems are a key element, and color detection to track the target with real-time video sequences. The system described in this paper is on a camera attached to a Raspberry Pi board, containing an image processing algorithm (Haarcascade) that first detects the object and then tracks it. Color detection is generally a key stage in most image processing applications, if the application is based on color information. To monitor the object in the video, a built-in panel is adopted to monitor the activity of the object of interest based on the Raspberry PI panel. A real-time execution software method is implemented to track the object of interest. Animated and recognized using the Python programming language with OpenCV libraries. The two algorithms are tested and compared to prove the robustness of the object detection algorithm.

Keywords: Raspberry Pi ،Haar Cascade, OpenCV.

كاميرا تتبع الكائن باستخدام الرؤية الحاسوبية وبمساعدة المتحكم PID

إسحاق يوسف الارباح[1]، ام السعد محمد الاميلس[1]، أحمد علي البرق[1]، طه توفيق القصير [1]

[1] كلية التقنية الصناعية – مصراته ، مصراته، ليبيا.

ملخـــــص البحـــــث

هدفت الدراسة الي التعريف ببعض تطبيقات الذكاء الاصطناعي التي يمكن الإفادة منها في تطوير نظام كاميرات الفيديو والمراقبة، وقد اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي، من خلال استقراء وتحليل الدراسات والأبحاث والكتب التي ترتبط بموضوعها، حيث يوجد تحديات ومشكلات تتصل بالجوانب التالية (عملية المراقبة – التعرف على الاشكال – تتبعها)، ومن خلال توظيف بعض تطبيقات الذكاء الاصطناعي في عملية المراقبة، كأنظمة التعرف على الأشكال وتتبعها، والتي تعتبر عنصرًا رئيسيًا في أنظمة المراقبة والرصد بالفيديو، واكتشاف الألوان لتتبع الهدف بتسلسلات الفيديو في الوقت الفعلي. يحتوي النظام الموصوف في هذا المشروع على كاميرا متصلة بلوحة **(Raspberry Pi)**، كما يحتوي على خوارزمية معالجة

"Articles published in *J Technol Res* are licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License."

الصور (**Haarcascade**) التي تكتشف الكائن أولاً ثم تتبعه. إن اكتشاف الألوان بشكل عام هو مرحلة أساسية في معظم تطبيقات معالجة الصور، هذا إذا كان التطبيق يعتمد على معلومات اللون. لمراقبة الكائن في الفيديو، تم استخدام لوحة **Raspberry PI** لمراقبة نشاط الكائن في الوقت الفعلي وذلك بتتبع حركات الكائن والتعرف عليها باستخدام لغة برمجة بايثون مع مكتبات **OpenCV**. ومن ثم اختبار الخوارزميتين ومقارنتهما لإثبات متانة خوارزمية الكشف عن الكائن من خلال نتائج عملية.

الكلمات الدالة: راسبيري باي، مصفوفة هار، أوبن سي في.

1. المقدمة

لقد كان لتعلّم الآلة نصيب كبير من الاهتمام في السنوات الأخيرة، ومع التطور الهائل والسريع للحاسب باستخدام الأساليب التكنولوجية وتقنيات تعلم الآلة والذي أدى إلى تطور نظم الذكاء الاصطناعي والنظم الخبيرة التي تعتمد على أساليب المعالجة الرمزية للذكاء الاصطناعي مع المعالجة باستخدام الحاسب العصبي، وتعد الكاميرا الرقمية العماد الحقيقي الذي قامت على بعض منه أبحاث رؤية الحاسبات خاصة مع تطور معدات الإنسان الآلي والتصنيع، والتوثيق والاستشعار عن بعد والتصوير [1].

أدت التكاليف المنخفضة إلى جانب التصغير السريع لكاميرات الفيديو إلى تمكين استخدامها على نطاق واسع في الطرق السريعة والمطارات ومحطات السكك الحديدية والمركبات على الطرق، أصبحت المراقبة الذكية وسيلة أساسية وعملية للأمن الذي يجمع بين علوم الحاسوب والهندسة والدراسات متعددة التخصصات بما في ذلك مستودع البيانات ورؤية الحاسوب ومعالجة الصور الرقمية ورسومات الحاسوب بالإضافة إلى الذكاء الحسابي ويعد الكشف عن الكائن المتحرك في المراقبة المرئية هو الخطوة الأساسية[2] .

مشكلة تتبع الكائن النموذجية هي في الأساس مشكلة تقدير الحالة بحيث يشير الكائن إلى أنه سيتم تقدير قياساته ،وهي حالات حركية مثل الموضع والسرعة والتسارع، كما أن نظام التتبع يجب أن يتكون من كائن أو أشياء يجب تعقبها [2]. مشكلة تتبع الكائن النموذجية هي في الأساس مشكلة تقدير الحالة بحيث يشير الكائن إلى أنه سيتم تقدير قياساته ،وهي حالات حركية مثل الموضع والسرعة والتسارع، كما أن نظام التتبع يجب أن يتكون من كائن أو أشياء يجب تعقبها [2].

2. التقنيات المستخدمة في اكتشاف الوجوه والتعرف عليها:

شهدت السنوات الأخيرة تقدمًا كبيرًا في التقنيات التي يمكن من خلالها اكتشاف الوجوه والتعرف عليها، حيث ظهرت العديد من الخوارزميات المتقدمة جدًا لاكتشاف الوجوه، خاصة مع إدخال التعلم العميق (Deep Learning)، إلا أن إدخال خوارزمية فيولا جونز في عام 2001 كان بمثابة اختراق في هذا المجال[3] .

1.2 خوارزمية **Viola Jones algorithm**:

تمت تسمية خوارزمية فيولا جونز على اسم باحثين في مجال الرؤية الحاسوبية اقترحا الطريقة في عام 2001، وهما بول فيولا ومايكل جونز في ورقتهما، " Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features"، على الرغم من كونه إطارًا قديمًا، فقد أثبت تطبيقه فاعليته بشكل استثنائي في اكتشاف الوجه في الوقت الفعلي. هذه الخوارزمية بطيئة في التدريب، ولكن يمكنها اكتشاف الوجوه في الوقت الفعلي بسرعة.

تتكون خوارزمية فيولا جونز من الخطوات الرئيسية التالية:

أ- **اختيار ميزات Haar**: تعتمد خوارزمية Haar على استخدام عدة مصنفات، وتعتبر هذه الطريقة عملية لاكتشاف الأجسام، وهي تعتمد على تدريب الجهاز على التعلم اعتمادا على المقاربة، حيث يتم تدريب التابع على عدة صور إيجابية وسلبية ثم يستخدم هذه التابع المدرب للكشف عن الأجسام في صور أخرى.

الميزات الشبيهة بخوارزمية Haarهي ميزات الصورة الرقمية المستخدمة في التعرف على الأشياء، تشترك جميع الوجوه البشرية في بعض الخصائص العالمية لوجه الإنسان، مثل منطقة العيون أغمق من وحدات البكسل المجاورة لها، ومنطقة الأنف أكثر إشراقًا من منطقة العين.

هناك طريقة بسيطة لمعرفة المنطقة الأفتح أو الأغمق وهي تلخيص قيم البكسل لكلتا المنطقتين ومقارنتهما، سيكون مجموع قيم البكسل في المنطقة المظلمة أصغر من مجموع وحدات البكسل في المنطقة الفاتحة، إذا كان أحد الجانبين أفتح من الآخر، فقد يكون حافة الحاجب أو في بعض الأحيان قد يكون الجزء الأوسط أكثر لمعانًا من الاجزاء المحيطة، والتي يمكن تفسيرها على أنها أنف، ويمكن تحقيق ذلك باستخدام الميزات الشبيهة لخوارزمية Haar لتفسير الأجزاء المختلفة للوجه.

ب- **خلق صورة متكاملة creating an integral image:**

يتم استخدام الصورة المتكاملة كوسيلة سريعة وفعالة لحساب مجموع القيم (قيم البكسل) في صورة معينة – أو مجموعة فرعية مستطيلة من الشبكة (الصورة المحددة)، يمكن أيضًا استخدامها بشكل أساسي لحساب متوسط الكثافة في صورة معينة[3].

2.2 خوارزمية AdaBoost:

هي واحدة من أكثر الخوارزميات المستخدمة في تعلم الآلة حيث تستخدم عددًا من صور عينات التدريب (مثل الوجوه) لاختيار عدد من الميزات(المصنفات) الجيدة، بالنسبة إلى التعرف على الوجوه، فإن المصنفات عادة ما تكون على هيئة شكل مستطيل من البكسلات ذات قيمة لونية متوسطة وحجم نسبي معين، ستبحث (AdaBoost) في عدد من المصنّفات وتكتشف أيهما أفضل مؤشر للوجه بناءً على صور العينة، بعد اختياره لأفضل مصنف، ستستمر في العثور على آخر وآخر حتى الوصول إلى بعض العتبات وستجمع هذه المصنّفات معًا النتيجة النهائية.

تسمى كل مرحلة من مراحل تصنيف المنطقة المحددة بواسطة الموقع الحالي للإطار الكاشف بأنها إما إيجابية أو سلبية، تشير الموجبة إلى أنه تم العثور على كائن وتشير السلبية إلى عدم العثور على كائن، إذا كانت التسمية سالبة، يكون تصنيف هذه المنطقة مكتملاً، ويقوم الكاشف بتحريك النافذة إلى الموقع التالي، إذا كانت التسمية موجبة، ينتقل مصنف المنطقة إلى المرحلة التالية، يقوم الكاشف بالإبلاغ عن كائن موجود في موقع النافذة الحالية عندما تصنف المرحلة الأخيرة المنطقة بأنها إيجابية.[4].

3.2 خوارزمية(HaarCascade) في(OpenCV):

توفر مكتبة (OpenCV) المدرب الذي يعطي القدرة على تدريب الخوارزمية لإنشاء المصنف الذي سيتضمن المعلومات (الصفات المميزة) التي سيستفيد منها للتعرف على الجسم الذي تم تدريب الخوارزمية للتعرف عليه، وتوفر أيضا المكتشف الذي يمكن من اكتشاف وجود الأجسام، لان سيتم إيجاد الوجه في الصورة، إذا كان

الوجه موجود سيتم إعادة موضع اكتشاف الوجه كمستطيل بالصيغة Rect(x,y,w,h) [5].

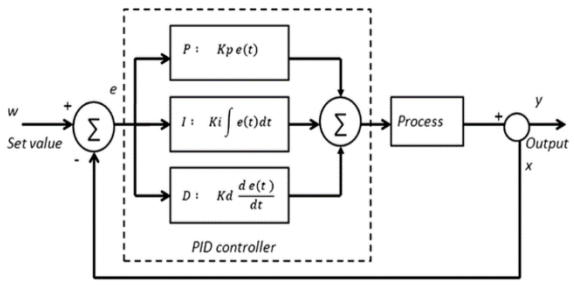
3. التحكم الآلي:

تعود نشأة علم التحكم الآلي إلى قرون عديدة حيث أوجدت تقنيات رياضية جديدة تمكننا من السيطرة بشكل أدق، وهذه التقنيات تشمل التطورات في التحكم الأمثل والتقدم في طرق التكيف الأمثل نظرية التحكم تنقسم إلى شقين نظرية التحكم القديم أو الكلاسيكي والتي تعتمد على المعادلات الرياضية والشق الثاني هو نظرية التحكم الحديث وهي تطبق على نظم التحكم أحادية المدخلات والمخرجات [6].

1.3 المتحكم PID:

متحكم PIDهو حلقة تحكم شامل بتغذية عكسية شائعة الاستخدام في نظم التحكم الصناعية، PID هي اختصار (proportional + integral+ derivative) أي تناسبي، تكاملي، تفاضلي، وهي المسئولة عن تصحيح الخطأ الناتج في الفرق بين القيمة الفعلية والقيمة المقاسة[5] .

ويعتبرPID عنصر أساسي في أنظمة التحكم حيث يشكل 80% من هذه الأنظمة أي أن أي نظام صناعي يعتمد على التحكم الآلي لابد من وجودPID حيث يعمل على تقليل نسبة الخطأ وتحديد سرعة الاستجابة لهذه الأنظمة. يتم ربط المتحكمة نوع PID ذات النوع المتوازي مع المشأة كما هو موضح بالشكل (1)[6] .



شكل 1. حلقة المتحكمPID.

يتم تمثيل خوارزميات المتحكم PID بثلاثة معاملات مفصلة P التناسبي I التكاملي D التفاضلي، القيمة التناسبية تبين رد الفعل مع الخطأ الحالي والقيمة التكاملية تتناسب مع استمرارية وجود الخطأ. يمكن تلخيص حلقة التحكم بثلاث وظائف أساسية هي:

أ- **وظيفة القياس:** تتم هذه الوظيفة بواسطة أجهزة تحسس أو مجسات وتدعي أحياناً بالمرسلات ويتم اختيار نوع المرسل حسب العملية المراد التحكم فيها.

ب- **وظيفة المقارن:** هي أنه يقارن القيمة المقاسة عبر المرسل والقيمة المضبوطة مسبقاً والتي يراد الوصول إليها وتسمي القيمة المقاسة (PV) بينما القيمة المضبوطة (SP) نتيجة المقارنة تنشأ عنها قيمة تدعي الخطأ (error) وتمر بدورها إلى أحد أو مجموعة عناصر التحكم السابقة ونتيجة المعالجة والحساب ترسل قيمة التحكم النهائي للعمل به.

ج- **وظيفة التحكم التلقائي:** تختلف أنواع عناصر التحكم النهائي باختلاف العملية المراد التحكم فيها، فهنالك مثلاً الصمامات لقفل وفتح الأنابيب، المحركات للتحكم في السرعة والاتجاه، السخانات للتحكم في درجة الحرارة وهكذا[6] .

2.3 نظرية التحكم نوع PID:

يوجد ثلاثة أنواع رئيسية من نمط تحكم PID هي:

أ- **النوع المتسلسلSeries PID** :وفيه تكون عناصر أو حدود I وDمرتكزة تماماً على الحد بمعنى أنها لا تعمل بدونه.

ب- **النوع المتفرعParallel PID** :تؤدي هذه الوظائف P,I,D بشكل مستقر عن بعضها ثم تجمع معاً إلى خرج واحد.

ج- **النوع المختلط Mixed PID:** هذا النوع هو مزيج من المتسلسل والمتوازي.

كما أن الأنواع الثلاثة يمكن دراستها عند الحلقة المفتوحة والحلقة المغلقة، إذا تم الأخذ بعين الاعتبار القيمة المقاسة تسمى الحلقة المغلقة أما إذا تم عزلها فيسمى

النمط بالحلقة المفتوحة. سيتم التركيز في هذا النوع على المتوازي وتعطى وظيفة الخرج له بالعلاقة:

$$Mv(t) = P_{out} + D_{out} \qquad (1)$$

- **الحد التناسبي:** يدعى أحياناً بالتضخيم ويسبب في تغيير قيمة الخرج بمقدار يتناسب طردياً مع قيمة الخطأ الحالي . يمكن ضبط الاستجابة التناسبية بضرب قيمة الخطأ بقيم ثابتة K_p قابلة للضبط[6] .

$$P_{out} = K_p e(t) \qquad (2)$$

P_{out}: الحد التناسبي للخرج

K_p: التضخيم التناسبي قابل للتعديل

e: الخطأ ويساوي $S_p - P_v$

t: الزمن

وإذا كانت قيمة التضخيم التناسبي كبيرة فسينتج عنها تغير كبير في الخرج عند قيمة معينة للخطأ إذا كانت هذه القيمة كبيرة فسيصبح النظام غير مستقر وهو أن الحد التفاضلي لا يستطيع إلغاء الخطأ أو الإزاحة offset.

- **الحد التكاملي:** يطلق على الحد التكاملي أحياناً إعادة الضبط reset وذلك لقدرته على إزالة الخطأ، ويعطى الحد التكاملي بالعلاقة:

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(T)\, dT \qquad (3)$$

حيث:

I_{out}: الحد التكاملي للخرج.

K_i: تضخيم التكامل القابل للموالفة.

T: التغير اللحظي.

يستعمل الحد التكاملي مع الحد التناسبي بشكل واسع في التطبيقات الصناعية لتعجيل عملية الاستجابة وإزالة الخطأ عند الإستقراريه، ومع ذلك قد يتسبب الحد التكاملي في ظهور النطة overshootفوق القيمة المراد الوصول إليها بسبب تجميعه لبيانات الخطأ (الفرق بين القيمة المراد تحقيقها وقيمة الخرج الفعلية) المتراكمة، يمكن عمل توافق بين سرعة الاستجابة والنطة بواسطة مؤالفة ثوابت المتحكم PID مع بعض.

- **الحد التفاضلي:** يطلق عليه بالمعدل Rate وذلك لأنه يظهر فقط عندما يكون هناك تغيير في قيمة الخطأ بالنسبة للزمن ويتناسب طردياً مع معدل هذا التغيير، يمتلك الحد التفاضلي ثابتاً قابلاً للتغيير في عملية الموالفة ويرمز له رياضياً K_d وفي الأنظمة الصناعية عادة T_d لأنها ترمز لميل دالة الخطأ[6] .

ورياضيا يعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$D_{out} = K \frac{de(t)}{dt} \qquad (4)$$

حيث:

D_{out}: الحد التفاضلي.

K_d: ثابت الحد التفاضلي.

مع أن الحد التفاضلي يحسن أحياناً في عملية التحكم إلا أنه يتأثر بالضوضاء بشكل كبير ويمكن أن يتسبب في عدم استقراريه النظام ولهذا السبب لا يستخدم الحد التفاضلي في الصناعة إلا بشكل نادر وبحذر شديد. فأن دالة خرج المتحكم $u(t)$ تعطى بالعلاقة:

$$u(t) = Mv(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(T)dT + K_d \frac{de(t)}{dt} \qquad (5)$$

بحيث تكون عناصر الموالفة هي:

K_p: التضخيم التناسبي، ويمكن زيادتها لتسريع الاستجابة، ولكن إلى الحد الذي يبقى على استقرار النظام.

K_i: التضخيم التكاملي، لتسريع عملية إزالة الخطأ.

K_d: التضخيم التفاضلي، لتقليل عملية Over shootمع مراعاة تأثير الضوضاء [6] .

3.3 الموالفة:

تعد عملية موالفة الحلقة loop tunning من أعقد وأخطر عمليات التحكم لا سيما الموالفة المباشرة أثناء العملية والسبب هو عدم وجود قانون ثابت يتحكم في العملية إذا أخطأنا باختيار القيم المناسبة لعناصر

الموالفة, (K_i, K_p, K_d)يمكن أن تصـــبح العملية المراد التحكم فيها غير مسـتقرة وربما تخرج عن السـيطرة فبدلاً عن الحصـــول على قيمة مســتقرة بعد فترة من الزمن قد يصـبح هنالك إما وقت أطول للحصـول على هذه القيمة أو ربما لا تســـتقر وتظل في حالة تذبذب طوال الوقت وربما هو أســوأ وهو تضـــخيم عملية التذبذب مع الوقت حتى تخرج عن السيطرة تماماً[6].

4. أجهزة الحاسوب أحادية اللوحة:

واحدة تحتوي اللوحة عادةً على معالج وذاكرة وصـــول عشـــوائي، ومنافذ إدخال وإخراج ومنفذ للشـــبكات ومنافذ للتفاعل مع الأجهزة، وتحتوي بعضـــها على شـــبكة Wi-Fi، وBluetooth، وأيضًا تقوم SBCs بتشغيل توزيعات نظـــام التشـــغيـــل مثـــل Ubuntu وWindows وDebian[7].

الميزة الرئيســـيـــة لأجهزة SBCs هي رؤوس الإدخـال والإخراج للأغراض العـامـــة GPIO ، وبعض هـذه المسامير توفر العديد من بروتوكولات الاتصال التسلسلي مثل SPI,I2C,SMBus، وكذلك توفر وحدات الإدخال والإخراج الرقمي والإدخال التناظري وتوفر ايضـــا إخراج ذو تعديل عرض النبض PWM. يتم اســـتخدام هذه اللوحات بشكل متكرر في مجالات شبكات الاستشعار وإنترنت الأشـــياء IOT [8].وتلخص مزايا SBCs كما يلي:

أ- منخفضة التكلفة.

ب- صغر الحجم.

ج- استهلاك منخفض للطاقة.

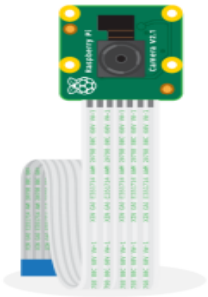
4. 1 الراسبري باي:

لوحـة Raspberry PI هي لوحـة تطوير أو كبـديـل للحاسوب المحمول، ولكن في الواقع، إنها أشبه بالأجزاء الـداخليـة لجهـاز الكمبيوتر، مع الكثير من مســـــامير الادخـال والاخراج الملائمـة لصـــــنع منـافـذ والوظـائف المختلفة، كما بالشكل (2).[9].

شكل2: لوحه Raspberry PI 4B.

2.4 كاميرا الراسبري باي:

كاميرا الريسبري باي كما بالشكل (3)، الإصدار الثاني (Raspberry Pi Camera V2)، بدقة عالية 8 MB وحساس تصوير Sony IMX219 من شركة سوني، وإمكانية العمل ككاميرا مراقبة CCTV، كشف الحركة، والتصوير بالتعريض المطول أو الطويل[9].



شكل 3: كاميرا Raspberry PI V2.

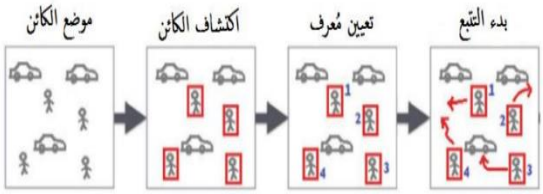
4. 3 المحرك المؤازر Servo Motor:

عبارة عن محرك تيار مســتمرو مجهز بدائرة الكترونية، للتحكم بـدقـة في اتجـاه دوران ووضـــــع عمود المحرك، ومجهز بصـــــندوق تروس، ويصـــــنف من المحركات الخاصة [10].

5. النظام المستخدم:

في البـدايـة يقوم النظـام المقترح بتتبع الكـائنـات وذلـك باكتشافها أولاً أي تحديد موضع هذه الكائنات في الصورة عن طريق وضـــــع مربعات محيطة بها (Bounding box)، ثم تقوم خوارزميـة التتبع بتعيين رقم معرف ID

خاص بكل كائن، لتبدأ عندها عملية التتبع لكل كائن تم تعيين رقم معرف له كما بالشكل (4).



شكل 4: مراحل تتبع الكائن.

5. 1 المكونات المادية للنظام:

يتكون الجهاز من خمس أجزاء رئيسية وهي كالتالي:

أ- لوحه الراسبري باي.

ب- محركات السيرفو وعددهم اثنان، واحد للحركة الأفقية والثاني للحركة العمودية.

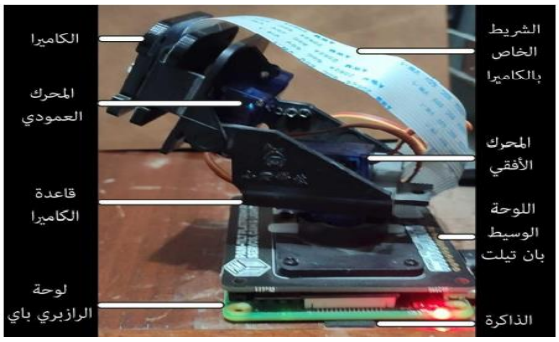
ت- كاميرا الراسبري باي.

ث- شاشة تلفاز للعرض.

ج- لوحه مفاتيح مع الفأرة.

ويتم تركيبهما كما في الشكل (5) والشكل (6)، حيث يتم تحميل النظام لينكس النسخة (Raspbian Buster)، *وتهيئته وإعادة تشغيل الجهاز، وبعد إعادة التشغيل* يجب أن يتم توسيع نظام الملفات الخاص بالجهاز ليشمل كل المساحة المتوفرة على بطاقة (micro-SD)الخاصة باللوحة. هيكل البرنامج ويتكون من ثلاث أجزاء رئيسية مع الجزء الخاص بتتبع الكائن وهي خوارزمية (Haarcascade). اما تشغيل الكود على جهاز راسبري باي فيتم عن طريق واجه (Terminal).

يؤدي اختلاف قيم (scale Factor) في سرعة كشف الاجسام ودقة الصورة في حاله تكبير القيمة وتصغيرها، يوجد العديد من الخوارزميات التي يمكن استعمالها في اكتشاف الكائن وتتبعه، معاملات المتحكم PID (K_i-K_d-K_p) تؤثر في زمن الصعود والقفز وزمن الاستقرار والخطأ عند الاتزان، ويتم الموالفة يدويا عند طريق التجربة بقيم أولية ثم تغيرها تدريجيا، في حاله تغيير (time sleep) يؤثر ذلك على سرعة المحرك واحتمالية حدوث خطا في عملية الموالفة.



شكل 5: أجزاء الجهاز

شكل 6: وحدات الادخال والخرج والطاقة.

5. 2 هيكل البرنامج: يتكون البرنامج من ثلاث أقسام رئيسية وهي:

أ- **PID.py:** حلقة التحكم.

ب- **objcenter.py:** يحسب مركز مربع إحاطة الوجه باستخدام جهاز كشف الوجه (Haar Cascade).

ت- **Pan_tilt_tracking.py:** البرنامج النصي لتشغيل حركة تتبع كائن ، وتتم باستخدام أربع عمليات مستقلة (اثنتان منها للتحريك والإمالة، واحدة للعثور على كائن، والأخرى لقيادة النظام بقيم زاوية جديدة).

3.5 حلقة التحكم PID: تم تحويل المعادلة (5) الي كود برمجي بسيط، حيث تم في البداية أنشاء فئة (class) وتسميته PID وهذا ال class يوجد به ثلاث طرق (methods):

أولا: تعريف باني (constructor) يقبل ثلاث معاملات (K_i-K_d-K_p) هذه القيم هي ثوابت ومحددة في البرنامج النصي لبرنامج التشغيل وتهيئة المعاملات مع استيراد الوحدة(Time) للمُساعدة في التعامل مع الوقت في لغة بايثون، وتهيئة الكسب بقيم ابتدائية.

ثانيا: التهيئة (initialize) وفيها تم اعطاء قيم لحدود المتحكم PID وهي **cP** الحد التناسبي، **cI** الحد التكاملي, **cD** الحد التفاضلي. وتعريف الوقت الحالي والوقت السابق، لكي يتم حساب فارق الزمن (delta time) في داله التحديث، وتم تعريف الخطأ المسبق وإعطائه قيمة ابتدائية =0.

ثالثا: تعريف دالة التحديث، بحيث يستقبل الكود متغيرين قيمة الخطأ (error) وقيمة زمن السكون (sleep)بالثواني، تم وضع السكون لفترة زمنية محددة مسبقًا، وذلك لمنع التحديثات بسرعة كبيرة بحيث لا يستطيع الجهاز الاستجابة بسرعة كافية، يجب اختيار قيمة السكون بحكمة بناءً على معرفة قيود بروتوكول الاتصال الميكانيكية والحاسوبية.

1. حساب زمن (delta time) بطرح الوقت الحالي من الوقت السابق وذلك بسبب أن التحديثات لن تأتي في نفس الوقت بالتحديد.
2. حساب الخطأ السابق بالخطأ الحالي ثم حساب متغيرات المتحكم PID حيث:

- الحد التناسبي (cP) يساوي الخطأ.
- الحد التكاملي (cD) يساوي الخطأ مضروب في الفارق الزمني.
- الحد التفاضلي (cD) يساوي فرق الخطأ مقسوم على فرق الزمني مع مراعاة أن الفارق الزمني أكبر من الصفر.

5. 4 كشف الوجه وتتبع الكائن:

يوجد في البرنامج طريقتين للتحديث الأولى كما تم ذكرها في السابق هي طريقة لمساعدة (PID) في حساب زاوية المحرك (servomotor) لإبقاء الوجه في المنتصف، والثانية هي العثور على الوجه وإرجاعه لمركز الإحداثيات حيث يتم إنشاء دالة ثم تمرير معاملين هما:

(Frame): صورة تحتوي علي وجه واحد.

(Frame Center): إحداثيات مركز الاطار.

الفكرة هي إبقاء الكائن المكتشف في الوسط ويتم تحقيق ذلك بخطوتين:

أولا: كشف الكائن.

ثانيا: حساب إحداثيات المركز (X،Y) للكائن.

يتم استدعاء المكتبة (imutils) وهي عبارة عن مكتبة من مجموعة توابع لإنجاز عمليّات معالجة الصّور الأساسيّة، مثل الانسحاب (تركيب صورة امامها)، التّدوير، تغيير حجم الصّورة، استخراج هيكل عناصر الصّور (skeletonization)، بالإضافة إلى إمكانيّة عرض صور (Matplotlib) بشكل أسهل باستخدام كلٍّ من المكتبة المفتوحة للرؤية الحاسوبيّة وبايثون، واستدعاء مكتبة (OpenCV).

حتى يتم اكتشاف الوجه في (OpenCV) يتم استخدام (method) تدعي (detect Multiscale) والتي تستخدم لاكتشاف الأجسام في الصورة، لاكتشاف الوجه في الصورة نمرر للتابع أربع متغيرات:

أ- Image: الصورة التي سيتم البحث من ضمنها عن الوجه(gray).

ب- Factor scale: عامل القياس للهرم المستخدم لاكتشاف وجه الأنسان (image pyramid).

إذا تم زيادة قيمة (Factor scale)ستزداد سرعة المكتشف، والتي قد تؤثر علي دقة الاكتشاف.

ت- Min Neighbors: للتحكم بأقل عدد من المستطيلات المحيطة المكتشفة في منطقة معينة بالنسبة للمنطقة التي يمكن أن تعتبر وجه أنسان، هذا البارامتر مفيد جدا للتخفيف من معدل اكتشاف الصورة الكاذبة.

ث- Min Size: اقل طول وعرض مسموح للمستطيل المحيط للوجه المكتشف.

5.5 البرنامج النصي لبرنامج تشغيل تتبع كائن التحريك:

يتكون البرنامج من عدة مكتبات وهي كالاتي:

5. 1.5 المكتبات المستخدمة لتشغيل تتبع الكائن:

أ- المكتبات (Manager وprocess) تساعد مع (multiprocessing) ومشاركة المتغيرات.

ب- المكتبة (Videostream) تتيح استدعاء الإطارات من الكاميرا.

ت- المكتبة (Objcenter) تساعد في تحديد موقع الكائن داخل الإطار، بينما تحافظ ال (PID) على بقاء الكائن في وسط الإطار من خلال حساب زاوية (Servo Motor).

ث- المكتبة (Pantilthat) تستخدم لتفاعل اللوحة (pan tilt hat) مع (raspberry PI).

2.5.5 الخروج من البرنامج:

يعد الخروج من البرنامج النصي متعدد المعالجات أمرًا صعبًا ويتم استخدام طريقه (ctrl + c) عن طريق تعريف دالة (def signal handler) وهي كود برمجي مستمر يعمل في الخلفية ويتم استدعائه عن طريق وحدة الاشارى (ctrl + c).

3.5.5 تعريف بعض المتغيرات:

أ- متجه(X) للكائن وهذا يتم حسابة دائما (Xobj).

ب- متجه(Y) للكائن وهذا يتم حسابة دائما ((Yobj.

ت- مركز الإطار (Xcenter) و(Ycenter).

4.5.5 عملية قلب الفيديو:

تكون كاميرا (PI) مقلوبة وهي مصممة كذلك، لذلك يتم استخدام دالة ((cv2.flip) لقلب الفيديو.

5.5.5 ضبط عرض الإطار وارتفاعه وكذلك حساب النقطة المركزية للإطار:

يتم استخدام قيمة (value) للوصول إلى متغيرات نقطة المركز، وهذا مطلوب مع طريقة (manager) لمشاركة البيانات بين العمليات.لحساب مكان وجود الوجه، سيتم ببساطة استدعاء طريقة التحديث على (obj) أثناء تمرير إطار الفيديو.

6.5.5 عملية PID:

في عملية (pid_process) يتم تشغيل اثنتين من هذه العمليات في أي وقت (التحريك والإمالة)، وفي هذه العملية يتم تعريف 6 معاملات:

أ- (output) : زاوية محرك (servo) التي يتم حسابها بواسطة المتحكم (PID) وتكون زاوية تحريك أو إمالة.

ب- ثوابت المتحكمPID :

ت- objCoord: يتم تمرير هذه القيمة لكي يتمكن الجهاز من تتبع مكان الكائن عن طريق احداثيات(X و Y).

ث- centerCoord: يستخدم هذا المعامل لحساب الخطأ وهو فقط يعطي قيمة مركز الاطار. يتم حساب الخطأ عن طريق طرح قيمة (centerCoord) من (objCoord) وتمريرها في الدالة P.

7.5.5 تهيئة الموالفة يدويا:

تتم عملية الموالفة يدويا باتباع الخطوات التالية:

أ- ضبطK_iوK_d على الصفر.

ب- زيادةK_pمن الصفر حتى يتأرجح الإخراج (على سبيل المثال، تتحرك المؤازرة ذهابًا وإيابًا أو لأعلى ولأسفل). ثم ضبط القيمة على النصف.

ت- زيادةK_iحتى يتم تصحيح الإزاحة بسرعة، مع العلم أن القيمة المرتفعة للغاية ستؤدي إلى عدم الاستقرار.

ث- زيادة K_d حتى يستقر الإخراج على مرجع الإخراج المطلوب بسرعة بعد اضطراب الحمل (تحريك الوجه في مكان ما بسرعة كبيرة)، سيؤدي إلى استجابة مفرطة ويجعل الإخراج يتجاوز الحد الذي يجب أن يكون عليه. ومن خلال اتباع الخطوات السابقة تم التوصل الي هذه القيم المبينة في الجدول (1)، والتي كان عندها النظام مستقر واستجابة المحركات جيدة.

جدول رقم (1): قيم الموالفة اليدوية للمتحكم PID في الحركة الافقية والعمودية.

نوع المتحكم	الحركة الافقية	الحركة العمودية
P	0.09	0.11
I	0.08	0.1
D	0.002	0.002

6. النتائج:

تم ضبط المتغيرات (P–I–D) وكانت نسبة التعرف والتتبع جيدة. الجدول (2) يوضح تأثير زيادة المعاملات.

جدول (2): تأثير زيادة المعاملات.

الوقت بالثواني	التغير	ملاحظات
0.1	بطيء	يؤثر في تتبع الكائن
0.2	متوسط	مناسب للتتبع وحركة المحركات جيدة
0.05	سريع جدا	يوثر في تتبع الكائن ويكون نسبة الخطأ كبيرة وذلك بسبب انحراف الكاميرا عن نقطة منتصف الإحداثيات

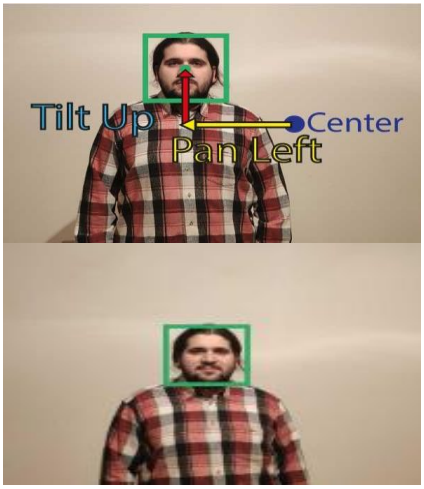
عند تغيير (timesleep) وجد انه يؤثر على حركة المحرك (servomotor)، كلما نقص (timesleep) ازدادت سرعة المحرك وذلك كما هو مبين في الجدول (3).

جدول رقم (3): تأثير تغيير (time sleep) .

المعامل	زمن الصعود	القفزة	زمن الاستقرار	الخطأ عند الاتزان
K_p	نقص	زيادة	تذبذر طفيف	نقص
K_i	نقص	زيادة	زيادة	عزل
K_d	الى طيئ نقص أو زيادة طفيفة(	نقص	نقص	ال شيء

1.6 خوارزمية تتبع الوجه:

تتم عملية التتبع بحيث يكون الجسم في منتصف الإطار، عن طريق ارسال الأوامر للمحرك الرأسي والأفقي بالحركة في الاتجاه المناسب كما بالشكل (7).



شكل7: تحديد الوجه ثم تغيير وضع الكاميرا ليكون الوجه في منتصف الإطار.

2.6 خوارزمية تتبع الجزء العلوي من الجسد:

كانت نسبة التعرف الصحيح اقل دقة من الخوارزمية الأولى حيث انه توجد بعض حالات التعرف الخطأ على أجسام غير صحيحة كما بالشكل (8).كما ان الخوارزمية لا تتمكن من التعرف على الجزء العلوي من الجسد في حالة كان الجسم في ضع غير مباشر للكاميرا كما هو موضح بالشكل (9).

شكل 8: التعرف على الجسم بشكل صحيح مع التعرف على جسم أخر خاطئ

شكل 9: (أ) التعرف بشكل صحيح على الجسم بزاوية، (ب) عدم التعرف بشكل صحيح

7. الاستنتاجات:

أ- هناك مشاكل في مصنفات هار (Haar cascade)، فعند تكبير قيمة (scale Factor) ستصبح أسرع في عملية اكتشاف الجسم ولكن المشكلة بان الدقة تنخفض، وعند تقليل قيمة (scale Factor) يصبح مكتشف القياس أبطأ وتزيد الدقة ولكن بالمقابل يزيد عدد الاجسام الكاذبة المكتشفة.

ب- يوجد العديد من خوارزميات (Haar cascade)، للوجه والعين وللجسم العلوي والسفلي، تم في هذا العمل استعمال خوارزميات للوجه، في حين استعمال الخوارزمية يجب تغيير بعض المتغيرات ليناسب حجم المستطيل المرسوم على الجسم (frame).

ت- عندما يكون من الضروري بقاء النظام عاملا، يمكن أولا الموالفة إلى قيم صفرية، ثم زيادة K_p تدريجيا

حتى يبدأ خرج الحلقة بالتذبذب، حينئذ ينبغي إنقاص قيمة K_p إلى النصف تقريبا من أجل استجابة من نوع " اضمحلال ربع الاتساع"، ثم تزاد قيمة K_i حتى يتم تصحيح أي انزياح خلال زمن كاف للعملية، ومع ذلك، فإن زيادة كبيرة جدا في K_i ستسبب في عدم استقرارية النظام، وأخيرا، يتم زيادة K_d إذا كان مطلوبا، حتى تصبح الاستجابة سريعة بشكل ما قبل وبعد حدوث اضطراب ، ولكن مرة أخرى، فإن زيادة K_d كثيرا قد يتسبب في استجابة زائدة عن الحاجة وظهور القفزة، في العادة تتسبب عملية الموالفة السريعة في PID بظهور قفزة طفيفة من أجل الوصول لقيمة الضبط (setpoint) بشكل أسرع، بالرغم من هذا، فبعض الأنظمة لا تتقبل هذه القفزة، وفي هذه الحال يكون النظام المغلق ذو "إخماد قوي (over–damped)" ضروريا، والذي يتطلب ضبط K_p أقل من نصف القيمة K_p التي تسببت في التذبذب.

8. الخاتمة:

تم في هذه الورقة عمل نظام لمراقبة الأجسام التي تدخل في نطاق المنطقة المراقبة وتحديد مراكزها مع مرور الزمن بواسطة آلة تصوير ثابتة. حيث اعتمد النظام على خطوتين أساسيتين هما اكتشاف وجود أجسام في المنطقة المستهدفة وذلك باستخدام تقنية طرح الخلفية وذلك لسرعتها وتناسبها مع أنظمة الوقت الحقيقي ومن ثم تتبع حركة هذه الأجسام وتحديد مواقعها باستخدام تقنية إسقاط الرسم البياني ،وقد تم اختيار هذه التقنية لمرونتها وقدرتها على تتبع الأجسام التي يمكن أن تتغير بعض خصائصها أثناء تسلسل الفيديو. وفي حالة تتبع جسم واحد يتم تطبيق خطوة إضافية وهي التنبؤ بالموقع الجديد للجسم وذلك ليتم تمييزه من بقية الأجسام الأخرى، كما تم التنبؤ للموقع الجديد للجسم بناءً على موقعه الحالي ومسار سرعته مع استخدام قانون البعد بين نقطتين ومتوسط التغير لمواقع الجسم السابقة، وهذه المعلومات يتم أخذها من الصور السابقة.

من خلال التجارب العملية تبين أن تغير معاملات المتحكم PID نتج عنه تحكم أفضل في زمن الصعود وزمن الاستقرار، وكذلك تقليل الخطأ عند الاتزان . كما أن تغيير (timesleep) يؤثر على حركة المحرك، بحيث كلما زاد (timesleep) زادت سرعة المحرك، ولكن ذلك أيضا يوثر في تتبع الكائن وتكون نسبة الخطأ كبيرة بسبب انحراف الكاميرا عن نقطة منتصف الإحداثيات.

التوصيات:

أ– يمكن تطبيق هذه التجربة باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية (neural network) عن طريق مكتبة (tensorflow).

ب– انشاء قاعدة بيانات، في حالة التعرف على الوجه يمكن استنتاج الاسم إذا كان من ضمن القاعدة.

ت– إضافة رسائل نصية باستخدام IOT واستعمالها ككاميرا مراقبة.

ث– انشاء GUI للتسهيل المستخدم من الوصول الي المتغيرات مثل (scale factor) و(timesleep).

ث– استخدام خوارزمية HOG + Linear SVM (Histogram Of Oriented Gradients + Linear SVM detection) حيث تعد هذه الطريقة أسهل من حيث ضبط المتغيرات للتابع (detectMultiScale ())، ستحتاج كثير من الوقت، وقد تحتاج لضبط جديد عند اختلاف الصورة. كما تعد هذه الخوارزمية أسهل في ضبط المتغيرات وأفضل، وتتميز بأن نسبة اكتشاف الصور الكاذبة قليل جدا، ولكن يوجد سيئة واحدة في هذه الخوارزمية وهي انها تحتاج الي معالج أقوى.

المراجع

1. Huang T. Surveillance video: the biggest big data. Compute Now. 2014;7(2).
2. Hu H, Wen Y, Chua T-S, Li X. Toward scalable systems for big data analytics: a technology. 2014.
3. Davies ER. Machine vision: theory, algorithms, practicalities. 3rd ed. San Francisco: Morgan Kaufmann; 2005.
4. Szeliski R. Computer vision: algorithms and applications. London: Springer; 2010.
5. Simply OpenCV. 2017.
6. Ayodele TO. Introduction to machine learning. Portsmouth (UK): University of Portsmouth; 2010 Feb.
7. Ballard DH, Brown CM. Computer vision. Englewood Cliffs: Prentice Hall; 1982.
8. Murphy M. Star Trek's "tricorder" medical scanner just got closer to becoming a reality. [Internet]. [cited 2025 Sep 25].
9. Pajankar A. Raspberry Pi computer vision programming: design and implement computer vision applications with Raspberry Pi, OpenCV, and Python 3. 2nd ed. Birmingham: Packt Publishing; 2020.
10. Abdallah AA. Simply Raspberry Pi. 2014.