

برج تتبع حركة ذكي يعمل بواسطة أردوينو

Arduino powered smart motion tracking turret

إعداد الطلاب:

العباس عبد البصير الطيب محمد أحمد

عصام الدين محمد سعيد أحمد

نزار حسن إبراهيم علي

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في

الهندسة الكهربائية (قدرة)

إشراف:

أ/ غانم عثمان الحاج

قسم الهندسة الكهربائية

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبد الله البدرى



أبريل 2026م

الآية

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قال تعالى:

﴿وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا﴾

صدق الله العظيم

(سورة طه: 114)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله الذي علّم بالقلم، علّم الإنسان ما لم يعلم، والصلاة والسلام على نبينا محمد وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان.

نقدم هذا العمل المتواضع كنتتويج لمسيرتنا الدراسية في تخصص الهندسة، وبحثاً في آليات الأنظمة المدمجة. يتمحور المشروع حول "تصميم وبناء برج مراقبة ذكي يعتمد على التتبع الآلي بالأمواج فوق الصوتية" تحت إدارة المتحكم الدقيق أردوينو.

هدفنا من هذا البحث هو تقديم نموذج تطبيقي يجمع بين دقة الاستشعار وسرعة الاستجابة الميكانيكية، آمليين أن يشكل إضافة تقنية مفيدة تسهم في تطوير الأنظمة الأمنية الذكية

الإهداء

إلى الذين سكنوا في ثنايا الروح وكانوا لنا في عتمة الدروب ضياءً، إلى من تجرّعوا مرارة الصبر لنذوق اليوم حلاوة النجاح؛ آبائنا وأمهاتنا الكرام، أصحاب الفضل، والقلوب التي لم تملّ يوماً من الدعاء لنا، من وهبونا أعمارهم لبنني مستقبلنا، ومن كانت كلماتهم هي الوقود الذي لم ينطفئ في صدورنا.

إلى ورثة الأنبياء وحملة مشاعل النور، أساتذتنا الأجلاء الذين رسموا لنا بفيض علمهم معالم الطريق.. وإلى أرواحنا التي تعاهدت على التميز، وسواعدنا التي تشابكت لتجعل من الحلم واقعاً يزهو؛ نهديكم خلاصة سهرنا، وثمره تعاوننا، وعصارة فكرنا في هذا المشروع، سائلين المولى عز وجل أن يتقبل منا هذا الجهد، ويجعله علماً يُنتفع به، وخطوة أولى في طريقٍ طويلٍ من العطاء الذي ننشده جميعاً.

شكر وعرفان

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله تنزل الخيرات، والصلاة والسلام على معلم البشرية

وهادي الإنسانية، الذي قال: (لا يشكر الله من لا يشكر الناس)

بعد رحلة علمية مكلفة بالجد والاجتهاد، نقف اليوم بامتنان كبير لنقدم شكرنا وتقديرنا لكل من كان له بصمة في إنجاز هذا العمل؛ نرفع آيات الحمد والشكر لله سبحانه وتعالى الذي أنار لنا درب العلم، ومنحنا الصبر والقوة لتجاوز الصعاب وإتمام هذا البحث، فله الحمد حتى يرضى، وله الحمد إذا رضي، وله الحمد بعد الرضا.

إلى شعلة العلم وربان المشروع؛ نتقدم بوافر الشكر وعظيم الامتنان إلى مشرفنا الفاضل الأستاذ غانم عثمان الحاج، الذي تفضل بالإشراف على هذا المشروع، فكان لنا نعم الموجه والناصح. لقد كان لسعة صدره، وتوجيهاته القيمة، وملاحظاته الدقيقة الأثر الأكبر في تقويم هذا العمل وإخراجه بصورته النهائية، فجزاه الله عنا خير الجزاء.

إلى صرحنا الأكاديمي كل التقدير والاحترام لأساتذتنا الأجلاء في كلية الهندسة، أعضاء هيئة التدريس الذين لم يبخلوا علينا بعلمهم طيلة سنوات الدراسة، وكانوا لنا القدوة في الإخلاص والأمانة العلمية.

إلى من ساندونا في هذا المشروع نخص بالشكر كل من مد لنا يد العون تقنياً أو معنوياً خلال مراحل إعداد المشروع، ولكل من ساهم بكلمة تشجيع أو ملحوظة بناءة كان لها دور في إثراء هذا العمل

المستخلص:

تناول هذا البحث تصميم وتنفيذ نظام راداري تفاعلي لبرج حراسة ذكي يعتمد على تقنيات الأنظمة المدمجة. تكمن مشكلة البحث في قصور أنظمة المراقبة التقليدية الثابتة عن الاستجابة اللحظية للمتغيرات المحيطة، وعليه يهدف المشروع إلى بناء منظومة قادرة على الرصد والتتبع والردع بشكل آلي متكامل. اعتمدت منهجية العمل على استخدام المتحكم الدقيق (أردوينو أونو) كخادم مركزي للنظام، مدمجا مع مستشعر الأمواج فوق الصوتية لتقدير المسافات بالزمن الحقيقي، ومحرك سيرفو عالي العزم لتأمين الاستقرار الميكانيكي أثناء المسح الزاوي. تم تطوير خوارزمية برمجية تتيح للنظام التمييز بين مستويين من التنبيه: مستوى "الرصد البعيد" الذي يفعل إنذارات ضوئية وسمعية متقطعة، ومستوى "الردع القريب" الذي يشغل نظام التصويب بالليزر مع إنذار مستمر لضمان الحماية الفورية. أظهرت النتائج العملية كفاءة عالية للنظام في التتبع الديناميكي للأجسام ضمن نطاق مسح يصل إلى مئة وعشرين درجة، مع سرعة استجابة ملحوظة في الانتقال من وضع المسح الدوري إلى وضع تثبيت الهدف. استنتج البحث أن دمج المكونات منخفضة التكلفة مع البرمجة الذكية يوفر حولا أمنية فعالة تتجاوز قيود الأنظمة التقليدية من حيث دقة التموضع وسهولة الصيانة. الكلمات المفتاحية: أردوينو، التتبع الذكي، الأمواج فوق الصوتية، الأنظمة المدمجة، برج الحراسة الآلي.

Abstract:

This research presents the design and implementation of an interactive radar system for a smart security turret based on Embedded Systems technology. The research problem addresses the limitations of conventional static surveillance systems in responding instantaneously to environmental changes. Consequently, the project aims to develop an automated system capable of autonomous detection, tracking, and deterrence.

The methodology relies on the Arduino Uno microcontroller as the central processing unit, integrated with an Ultrasonic sensor for real-time distance estimation, and a high-torque MG996R servo motor to ensure mechanical stability during angular scanning. A software algorithm was developed to distinguish between two alert levels: "Long-range Detection," which activates intermittent visual and audible alarms (LED & Buzzer), and "Short-range Deterrence," which triggers a laser aiming system with a continuous alarm to ensure immediate protection.

Experimental results demonstrated high system efficiency in dynamic object tracking within a 120-degree scanning range, with a significant response speed when transitioning from periodic scanning to Target Lock mode. The study concludes that integrating low-cost components with intelligent programming provides effective security solutions that overcome the constraints of traditional systems in terms of positioning accuracy and maintenance ease.

Keywords: Arduino, Smart Tracking, Ultrasonic, Embedded Systems, Autonomous Sentry Turret.

فهرس المحتويات

الرقم	المحتوى	رقم الصفحة
	الآية	i
	الإهداء	iii
	الشكر والعرافان	iv
	المستخلص	v
	Abstract	vi
	فهرس المحتويات	vii
	فهرس الأشكال	x
الفصل الأول: الإطار العام للبحث		
1-1	المقدمة	1
2-1	أهداف البحث	2
3-1	منهجية البحث	2
1-3-1	مرحلة التحليل والتصميم	2
2-3-1	التصميم الهندسي	2
3-3-1	التطوير البرمجي	3
4-3-1	الاختبار والتقييم	3
4-1	أهمية البحث	3

4	مشكلة البحث	5-1
4	تحدي المعالجة في الزمن الحقيقي	1-5-1
4	استقرار النظام الميكانيكي	2-5-1
4	موثوقية الكشف	3-5-1
5	بنية البحث	6-1
الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة		
6	المقدمة	1-2
6	دراسات علمية سابقة	2-2
6	تصميم برج مستقل يعتمد على الرؤية الحاسوبية	1-2-2
7	نظام رادار ذكي للتعقب بالزمن الحقيقي باستخدام أردوينو	2-2-2
8	روبوت تتبّع الأشخاص باستخدام أردوينو ومستشعرات الأشعة تحت الحمراء	3-2-2
9	تنفيذ نظام المراقبة بالآلية Pan-Tilt ونظام ESP32\Arduino	4-2-2
10	أوجه الاستفادة من الدراسات السابقة	3-2
10	تكامل المستشعرات	1-3-2
11	استقرار الأداء الحركي	2-3-2
11	منطق المسح والرصد	3-3-2
11	التنبه في الزمن الحقيقي	4-3-2

الفصل الثالث: مكونات المشروع		
12	المتحكم المستخدم	1-3
13	الحساس أو المستشعر	2-3
14	منظومة الحركة	3-3
15	منظومة الإنذار والتنبيه	4-3
16	Laser	1-4-3
16	Led	2-4-3
17	Buzzer	3-4-3
الفصل الرابع: الجانب التطبيقي والتنفيذ العملي		
18	مخطط الدائرة الإلكترونية ونظام المحاكاة	1-4
19	الكود البرمجي	2-4
24	نموذج مجسم البرج	3-4
الفصل الخامس: تحليل النتائج والتوصيات		
25	تحليل النتائج	1-5
25	أداء الكشف والتتبع	1-1-5
25	زمن الاستجابة والتتبع للأهداف المتحركة	2-1-5
25	دقة الزوايا والسلوك الميكانيكي	3-1-5
26	استهلاك الطاقة والموثوقية	4-1-5
26	مناقشة نقاط القوة والقيود	2-5

26	التوصيات	3-5
29	الخاتمة	4-5
30	المراجع	

فهرس الأشكال

الرقم	أسم الشكل	رقم الصفحة
1-3	Arduino uno	13
2-3	Ultrasonic HC-SR04	14
3-3	Servo Motor MG996R	15
4-3	Laser	16
5-3	Led	17
6-3	Buzzer	17
1-4	نموذج محاكاة للدائرة العملية	18
2-4	نموذج مجسم البرج	24

الفصل الأول

الإطار العام للبحث

1-1 المقدمة:

في عصر التكنولوجيا المتقدمة أصبحت التكنولوجيا الذكية تلعب دوراً هاماً في تحسين جودة الحياة والأمان في مختلف المجالات. واحدة من هذه التطبيقات هي أنظمة تتبع الحركة التي تستخدم في مجالات متعددة مثل الأمن والسلامة والمنشآت الصناعية ومراقبة المنازل.

تُعد الأنظمة المدمجة (Embedded Systems) العصب المغذي للتطبيقات الأمنية الحديثة، حيث يتم دمج العتاد الصلب مع البرمجيات لأداء مهام محددة في الزمن الحقيقي. وفقاً للمرجع الأساسي (Kamal, 2017)، فإن الأنظمة التي تعتمد على المتحكمات الدقيقة مثل Arduino توفر مرونة عالية في معالجة الإشارات القادمة من الحساسات البيئية وتحويلها إلى أفعال ميكانيكية دقيقة.

في هذا المشروع، يتم تطبيق مفهوم "النظام المتكامل" من خلال ربط مستشعرات الموجات فوق الصوتية بمحركات سيرفو لتشكيل برج مراقبة ذكي. ويشير (Bolton, 2015) في كتابه "

Mechatronics" إلى أن تكامل المستشعرات مع المشغلات الميكانيكية (Actuators) يسمح ببناء

أنظمة ذات تغذية راجعة (Feedback Systems) قادرة على رصد الأهداف وتتبعها بدقة زاوية محددة،

وهو ما نسعى لتحقيقه باستخدام الليزر ونظام التتبع الصوتي (الجرس) لتوفير استجابة فورية وحاسمة

عند كشف أي اختراق أمني ضمن النطاق المبرمج.

1-2 أهداف البحث:

- تصميم نظام تتبع ذكي: تصميم نظام يمكنه الكشف عن الحركة وتقديم تنبيهات في الوقت الفعلي باستخدام Arduino.
- تحسين دقة الكشف: تحسين دقة الكشف عن الحركة وتقليل الإنذارات الكاذبة.
- تطبيقات عملية: تحديد التطبيقات العملية للنظام في مختلف المجالات.

1-3 منهجية البحث:

يعتمد هذا البحث على المنهج التجريبي التطبيقي، والذي يمر عبر أربع مراحل أساسية لضمان تحقيق أهداف المشروع بدقة:

1-3-1 مرحلة التحليل والتصميم (System Analysis):

تم البدء بتحليل المتطلبات التقنية للنظام، حيث تم اختيار لوحة Arduino Uno كعقل مدبر للنظام نظراً لمرونتها، وتحديد نظام الحركة باستخدام محركات Servo MG لضمان استقرار الهيكل الميكانيكي تحت ظروف التشغيل المختلفة.

1-3-2 التصميم الهندسي (Hardware Architecture):

تعتمد المنهجية على ربط المكونات المادية وفق تكامل وظيفي:

وحدة الاستشعار: استخدام مستشعر لرصد المسافات في الزمن الحقيقي.

وحدة التنبيه: دمج الليزر للتصويب البصري مع الجرس (Buzzer) والـ LED للإنذار السمعي والضوئي.

1-3-3 التطوير البرمجي (Software Development):

تمت برمجة النظام بلغة C++ داخل بيئة Arduino IDE حيث تم تطوير خوارزمية تعتمد على "المسح الزاوي المستمر". تقوم الخوارزمية بتحليل البيانات القادمة من الحساس وتفعيل "بروتوكول الاستجابة" فور رصد أي جسم ضمن النطاق الأمني المحدد.

1-3-4 الاختبار والتقييم (Testing & Evaluation):

- خضع النموذج لسلسلة من الاختبارات الميدانية لقياس:
- مدى دقة مستشعر الالتراسونيك في تحديد المسافات.
- سرعة استجابة المحركات في توجيه الليزر نحو الهدف.
- كفاءة نظام الإنذار عند حدوث اختراقات متتالية.

1-4 أهمية البحث:

يساعد نظام تتبع الحركة في تحسين الأمان في مختلف المجالات من خلال خفض تكاليف الحماية ورفع كفاءة النظام من خلال توفير نظام تتبع حركة دقيق وموثوق. يمكن استخدام النظام في المنازل الذكية والأماكن العامة والمنشآت الصناعية كما يفتح المجال لتطوير تطبيقات أكثر تعقيداً في مجال المراقبة والتحكم.

1-5 مشكلة البحث:

تتمحور مشكلة البحث حول التحديات التقنية التي تواجه أنظمة المراقبة التفاعلية عند العمل في بيئات ديناميكية، ويمكن تلخيصها بناءً على المراجع الهندسية في النقاط التالية:

1-5-1 تحدي المعالجة في الزمن الحقيقي (Real-Time Processing):

يذكر (Kamal, 2017) أن التأخر في استجابة النظام للمؤثرات الخارجية (Latency) قد يؤدي إلى فشل النظام في أداء مهمته الأمنية. في مشروعنا، تبرز المشكلة في ضرورة تنسيق حركة السيرفو مع قراءات Ultrasonic لضمان عدم فقدان الهدف أثناء الحركة.

1-5-2 استقرار النظام الميكانيكي (Mechanical Stability):

يوضح (Bolton, 2015) أن ظاهرة "القصور الذاتي" والاهتزازات عند توقف المحركات فجأة تؤثر سلباً على دقة التوجيه. وتظهر هذه المشكلة بوضوح عند محاولة تثبيت شعاع الليزر على هدف متحرك، مما يتطلب اختيار مشغلات ذات عزم دوران مناسب وبرمجة دقيقة لزوايا الدوران.

1-5-3 موثوقية الكشف (Detection Reliability):

تكمن المشكلة في قدرة المستشعر على التمييز بين الأهداف الحقيقية والضوضاء الناتجة عن انعكاس الموجات فوق الصوتية، مما يتطلب بناء خوارزمية برمجية داخل الأردوينو قادرة على فلترة القراءات الخاطئة وتفعيل تنبيهات الجرس فقط عند التأكد من وجود جسم مادي في النطاق المحدد.

1-6 بنية البحث:

البحث يتكون من خمسة أبواب رئيسية:

- الباب الأول: المقدمة والمنهجية.
- الباب الثاني: الدراسة النظرية حول تقنيات تتبع الحركة وأردوينو.
- الباب الثالث: تصميم وتنفيذ نظام تتبع الحركة.
- الباب الرابع: المحاكاة وكود التشغيل.
- الباب الخامس: تحليل النتائج والتوصيات

الفصل الثاني

الإطار النظري والدراسات السابقة

1-2 المقدمة:

يُعد استعراض الدراسات السابقة ركيزة أساسية في البحث العلمي والابتكار الهندسي، حيث يهدف هذا الفصل إلى تقديم رؤية شاملة للمشاريع والأبحاث التي تناولت أنظمة المراقبة الذكية والتحكم الآلي باستخدام المتحكمات الدقيقة. إن الهدف من هذا الاستعراض ليس مجرد رصد ما تم إنجازه، بل هو تحليل التقنيات المستخدمة وفهم التطور التقني الذي طرأ على أنظمة المراقبة، وصولاً إلى بناء قاعدة معرفية صلبة تدعم الأهداف التقنية لمشروع "برج المراقبة الذكي".

2-2 دراسات علمية سابقة:

من خلال نقد وتحليل هذه الدراسات، يسعى هذا البحث إلى تمييز مشروعنا الحالي عبر دمج تقنيات التتبع الذكي في هيكل مدمج لتحقيق أقصى استفادة من المساحة والكفاءة التشغيلية. وفي هذا الجزء نستعرض هذه الدراسات:

1-2-2 تصميم برج مستقل يعتمد على الرؤية الحاسوبية

العنوان: Design of a Vision Based Autonomous Turret

المؤلفون: J. Szrek, P. Krot, W. Zimroz

المصدر: مجلة Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems

تاريخ النشر: أكتوبر 2023

تهدف الدراسة إلى سد الفجوة بين أنظمة المراقبة الثابتة والأنظمة التفاعلية الذكية. ركز الباحثون على بناء نظام أمني قادر على اكتشاف التهديدات وتتبعها آلياً باستخدام خوارزميات الرؤية الحاسوبية المتقدمة لتقليل الخطأ البشري.

استخدم الباحثون هيكلاً ميكانيكياً بمحورين (Tilt-pan) تم الاعتماد على حاسوب لمعالجة الصور بلغة Python ومكتبة OpenCV بينما عملت لوحة التحكم المصغرة (Arduino) كمنفذ للأوامر الحركية. الخوارزمية المستخدمة هي TLD التي تكتشف الهدف وتتعلم خصائصه الفيزيائية وتتبعه حتى في حالة الاختفاء المؤقت خلف العوائق.

أثبتت الدراسة أن دقة التتبع تزداد بنسبة 25% عند استخدام متحكم PID لتنظيم سرعة المحركات، مما قلل من ظاهرة التذبذب (Overshoot) عند محاذاة الهدف.

2-2-2 نظام رادار ذكي للتتبع بالزمن الحقيقي باستخدام أردوينو

العنوان: Ultrasonic and Arduino Based Radar System

المؤلفون: R. Patel, S. Mehta, A. Khan

المصدر: مؤتمر منشور في ResearchGate (بواسطة باحثين من جامعة ولاية Gujarat)

تاريخ النشر: نوفمبر 2023

تقدم هذه الورقة حلاً اقتصادياً لأنظمة الرادار التقليدية المكلفة. الهدف هو إنشاء رادار محلي المدى يعتمد على الموجات فوق الصوتية لرسم خريطة محيطية بالبرج وكشف المسافات بدقة سنتيمترية.

المنهجية تعتمد على ربط مستشعر HC-SR04 بمحرك سيرفو يتحرك بزاوية 180 درجة. يقوم

$$\text{Distance} = \left(\frac{\text{time} \times 0.034}{2} \right) \text{ وتحويله إلى مسافة}$$

تم تصميم واجهة رسومية باستخدام لغة Processing لعرض الأهداف كنقاط حمراء على شاشة الرادار.

نجح النظام في كشف الأجسام حتى مدى 4 أمتار بدقة عالية، مع القدرة على تحديد الزاوية والمسافة في آن واحد، مما يسمح للبرج بالتوجه للهدف مباشرة دون الحاجة للبحث العشوائي.

3-2-2 روبوت تتبع الأشخاص باستخدام أردوينو ومستشعرات الأشعة تحت الحمراء

العنوان: Arduino-Based Human Tracker Robot

المؤلفون: S. Kumar, P. Bhardwaj, R. Tyagi

المصدر: International journal of engineering paradigms and researches

تاريخ النشر: عام 2024

تركز الدراسة على التمييز بين الحركة العشوائية (مثل حركة الأشجار) وحركة الأشخاص

الحيوية، لرفع كفاءة أنظمة التنبيه وتقليل الإنذارات الكاذبة.

اعتمد الباحثون "منطق الدمج" (Fusion sensor) تم استخدام مستشعر PIR لاكتشاف الأشعة تحت الحمراء الصادرة عن جسم الإنسان كإشارة "استيقاظ" للنظام، ثم تفعيل مستشعر Ultrasonic لتحديد الإحداثيات الدقيقة. تم استخدام محركات سيرفو لتوجيه البرج نحو مصدر الحرارة المتحرك. حقق النظام دقة استجابة بلغت 92% في بيانات داخلية مزدحمة، وأظهرت الدراسة أن دمج مستشعرين يقلل من استهلاك الطاقة لأن النظام يبقى في وضع الخمول حتى يكتشف الـ PIR حركة بشرية.

2-2-4 تنفيذ نظام المراقبة بالآلية Pan-Tilt ونظام ESP32\Arduino

العنوان: Implementation of an ESP-32 Wi-Fi CAM & Arduino-Based Robot for IoT Surveillance

المؤلفون: A. Sudhakar, M. G. Sumithra, B. Saranya

المصدر: مؤتمر هندسي منشور عبر منصات الأبحاث الأكاديمية (Fortie)

تاريخ النشر: يونيو 2025

تهدف الدراسة إلى بناء نظام مراقبة عن بعد يدمج بين التحكم الميكانيكي وبين تقنيات إنترنت الأشياء (IOT) للسماح للمستخدم بمراقبة البرج عبر شبكة Wi-Fi.

تم استخدام وحدة ESP32-CAM لالتقاط البث المباشر، وربطها مع لوحة Arduino للتحكم في قاعدة Pan-Tilt التي تحمل الكاميرا والليزر. المنهجية ركزت على تطوير تطبيق هاتف يسمح بالتحكم اليدوي في زاوية البرج بالإضافة إلى الوضع التلقائي. تمكن النظام من نقل البيانات بزمن تأخير يقل عن 200 ملي ثانية، مما يجعله مثالياً للمراقبة الأمنية في الزمن الحقيقي. كما تم اختبار الليزر كوسيلة للإشارة إلى المتسللين في الظلام.

2-3 أوجه الاستفادة من الدراسات السابقة:

من خلال مراجعتنا الشاملة للدراسات السابقة الموثقة، يمكن استخلاص عدة نقاط محورية تم اعتمادها وتطويرها في هذا المشروع:

2-3-1 تكامل المستشعرات (Sensor Fusion):

أظهرت الدراسات (خاصة دراسة Kumar et al). أن الاعتماد على مستشعر واحد قد يؤدي إلى أخطاء في التتبع. لذا، تم في هذا المشروع دمج حساس Ultrasonic مع نظام تنبيه بصري وسمعي (LED & Buzzer) لضمان دقة الكشف في المدى القريب والردع الفوري.

2-3-2 استقرار الأداء الحركي:

أكدت دراسة Szrek et al أن التحكم في محركات السيرفو يتطلب دقة عالية لتجنب الاهتزاز. وبناءً عليه، تم اختيار محركات MG996R ذات التروس المعدنية في هذا المشروع لضمان استقرار حركة البرج وقدرته على حمل الليزر والحساس دون انحراف.

2-3-3 منطق المسح والرصد (Scanning Logic):

بالاستفادة من دراسة الرادار الخاصة بـ Patel et al يتبنى مشروعنا خوارزمية المسح الزاوي الدوري (Sweep Scanning). هذا المنطق يسمح للبرج بتغطية زاوية 180 درجة بشكل مستمر، مما يحول النظام من "كاشف حركة بسيط" إلى "رادار مراقبة متكامل".

2-3-4 التنبيه في الزمن الحقيقي:

أثبتت الدراسات الحديثة أن قيمة نظام التتبع تكمن في استجابته اللحظية. لذا، تم تصميم نظامنا ليعطي رد فعل فوري (إضاءة الليزر وإطلاق الجرس) بمجرد خرق المسافة الآمنة، وهو ما يعزز الجانب الأمني للمشروع.

الباب الثالث

مكونات المشروع

في هذا الباب سنقوم بشرح مكونات المشروع عبر تتبع رحلة الإشارة من لحظة دخول جسم إلى نطاق البرج حتى التنفيذ النهائي:

3-1 المتحكم المستخدم:

استخدمنا في هذا العمل المتحكم Arduino Uno وهو لوحة تحكم دقيقة مبنية على ATmega328p يتكون من منافذ رقمية Digital pin، ومنافذ تناظرية Analog inputs، منفذ USB للطاقة والبرمجة، ومنظم جهد داخلي 5 فولت و 3.3 فولت، ونافذ GND، الشكل (3-1) يوضح المتحكم Arduino UNO.

يمثل المتحكم عقل المنظومة، يقارن المتحكم المسافة التي تم إرسالها على شكل إشارة من الحساس بالحد المرجعي (threshold)، إذا كانت أقل من الحد يعتبر الجسم هدف، وبعد ذلك يعمل على حساب الزاوية التي يجب أن يتجه إليها البرج ومن ثم يرسل أوامر إلى ال servo motor للتحريك ويقرر أيضا متى يشغل الليزر و led أو buzzer.



الشكل (1-3) Arduino UNO

2-3 الحساس أو المستشعر:

يمثل هذا الجزء عين البرج، يقوم على ارسال نبضة صوتية (غير مرئية) ثم يستقبل انعكاسها من الجسم، ومن ثم يقوم بإرسال إشارة للمتحكم.

الحساس HC-SR04 يعمل بجهد تشغيل تيار مستمر 5 فولت، تيار عمل 15 ملي أمبير، تردد 40 هيرتز، أقصى مدى 4 أمتار والحد الأدنى للمدى 2 سم، زاوية القياس 15 درجة، والأبعاد 15*20*45 مم.

ويتكون في الأساس من وحدة ارسال Transmitter، وحدة استقبال Receiver ودائرة معالجة بسيطة،

أنظر الشكل (2-3)



الشكل (2-3) Ultrasonic HC-SR04

3-3 منظومة الحركة:

هو servo motor لكن أكثر قوة وبِعزم دوران عالٍ مهمته تحريك البرج أفقياً، له مواصفات هيكلية كما يظهر في الشكل (3-3)، عندما يرصد جسم يتوقف عند زاوية مناسبة ويقوم بتعديل الحركة لمتتبع الجسم المتحرك.

يتكون من محرك DC داخلي، مجموعة تروس معدنية Gearbox، دائرة تحكم داخلية بالموضع position controller.



الشكل (3-3) Servo Motor MG996R

3-4 منظومة الإنذار والتنبيه:

تعتبر وسائط التنبيه حلقة الوصل الأساسية بين النظام البرمجي والبيئة الخارجية، حيث تهدف إلى تحويل الإشارات الإلكترونية المعالجة إلى ردود فعل ملموسة يمكن إدراكها. يتضمن هذا الجزء تصميم منظومة تنبيه ثنائية التأثير؛ تعتمد على المؤثرات البصرية لتحديد النطاق المرئي، والمؤثرات السمعية لتوفير استجابة فورية عند حدوث اختراق أو رصد جسم، مما يضمن كفاءة البرج في التفاعل مع المحيط بشكل لحظي.

:Laser 1-4-3

مؤشر تصوير بصري كما في الشكل (4-3). عند رصد الجسم وتوجيه البرج نحوه يقوم Arduino بتشغيل الليزر، بالتالي يوضح مكان التصوير.

في بعض التصاميم يمكن استخدام LDR مع ليزر لعمل قطع شعاع لكن في هذا المشروع قمنا باستخدام HC-SR04 للاستشعار.



الشكل (4-3) Laser

:LED 2-4-3

يتضمن الوصف: مقاومة فائقة للطقس، اتجاهية قياسية مستديرة 5 مم، إلكتروني مقاوم للأشعة فوق البنفسجية، التيار الامامي 30 ملي امبير، الجهد الامامي 1.8 فولت إلى 2.4 فولت ع الجهد العكسي 5 فولت وشدة الإضاءة 20 ميكرو كانديلا، درجة حرارة التشغيل من -30 درجة مئوية إلى +85 درجة مئوية. أنظر الشكل (5-3).

مهمته بيان حالة النظام Indicator، عند المسح يكون في حالة الوميض وعند القفل على الهدف يكون في حالة الضوء الثابت وفي حالة فقد الهدف يطفئ.



الشكل (3-5) Led

3-4-3: Buzzer

مهمته هي التنبيه الصوتي عند رصد الجسم ويكون هذا بصفارة قصيرة، وصفارة طويلة عند القفل على الهدف، وعند خروج الجسم من مدى البرج او لا يوجد هدف يكون في حالة الصمت. الشكل (3-6) يوضح الجرس المستخدم.

نوع الادخال تيار مستمر، الجهد الكهربائي المقدر 12 فولت، نطاق الجهد 3-20 فولت، التردد 2.8 كيلو هرتز، تكنولوجيا بيزو، وضع التشغيل نغمة واحدة، مستوى ضغط الصوت 100 ديسيبل عند 12 فولت والوزن 13 جرام.



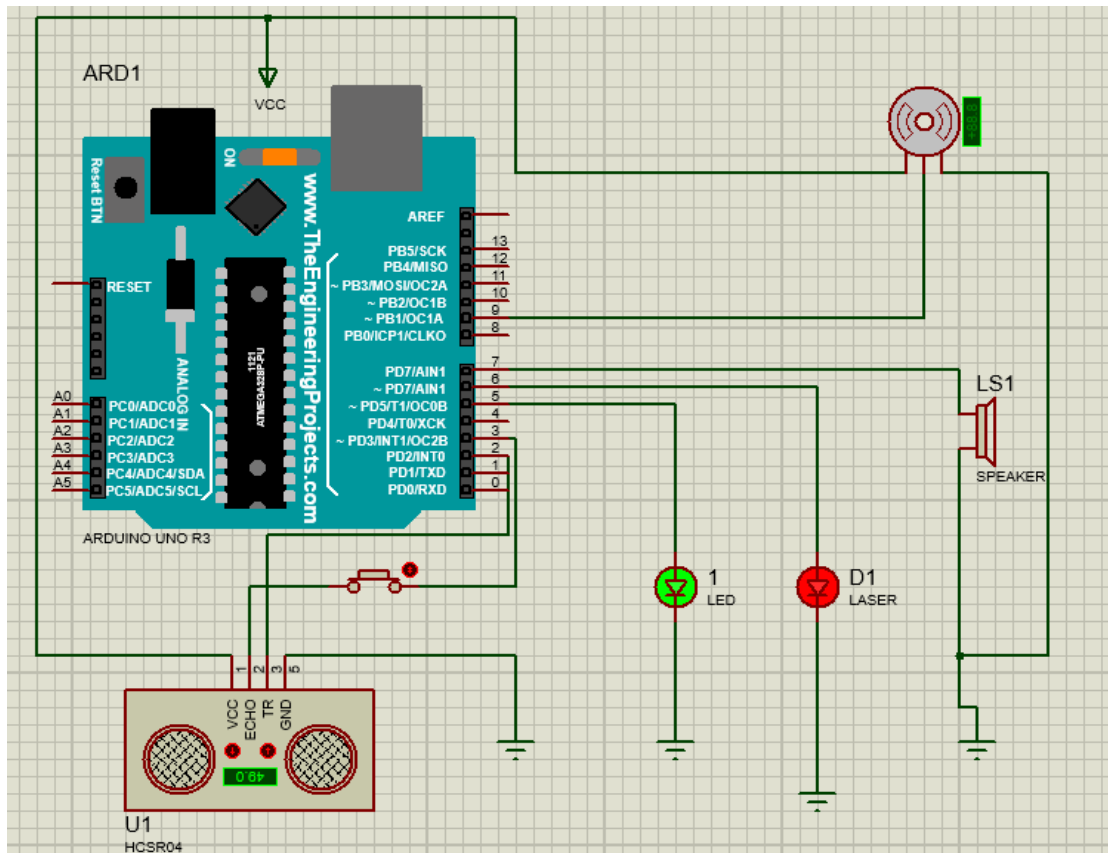
الشكل (3-6) Buzzer

الباب الرابع

الجانب التطبيقي والتنفيذ العملي

1-4 مخطط الدائرة الإلكترونية ونظام المحاكاة:

تُعد مرحلة المحاكاة خطوة جوهرية في التصميم الهندسي، حيث تتيح اختيار ترابط المكونات والتحقق من سلامة المسارات البرمجية قبل الانتقال إلى التنفيذ المادي. تم الاعتماد في هذه المرحلة على برنامج Proteus كونه من أقوى الأدوات البيئية لمحاكاة المتحكمات الدقيقة والحساسات بشكل لحظي.



الشكل (1-4) نموذج محاكاة للدائرة العملية

2-4 الكود البرمجي:

```
#include <Servo.h>

const int TRIG_PIN = 2;
const int ECHO_PIN = 3;
const int SERVO_X_PIN = 9;
const int LASER_PIN = 5;
const int LED_PIN = 6;
const int BUZZER_PIN = 7;

const float SOUND_SPEED = 0.034;
const float MIN_DISTANCE = 5.0;
const float DETECTION_RANGE = 100.0;
const float TARGET_LOCK_RANGE = 50.0;

const int MIN_ANGLE = 73;
const int MAX_ANGLE = 110;
const int STEP_DELAY = 40;

Servo servoX;

float currentDistance = 0;
bool wasTargetDetected = false;
int currentAngle = 90;
int stepDir = 1;
unsigned long lastMoveTime = 0;
```

```

void setup() {
    pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
    pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
    pinMode(LASER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);

    servoX.attach(SERVO_X_PIN);
    servoX.write(currentAngle);
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    currentDistance = measureDistance();

    if (currentDistance >= MIN_DISTANCE && currentDistance <= DETECTION_RANGE) {

        if (servoX.attached()) {
            servoX.detach();
        }

        wasTargetDetected = true;

        if (currentDistance <= TARGET_LOCK_RANGE) {
            handleTargetLocked();
        } else {
            handleTargetTracking();
        }
    }
}

```

```

    }
}
else {
    if (wasTargetDetected) {
        allSystemsOff();
        wasTargetDetected = false;
    }

    |
    if (!servoX.attached()) {
        servoX.attach(SERVO_X_PIN);
    }
    handleScan();
}
}

float measureDistance() {
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(2);

    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

    long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 25000);
    float dist = (duration * SOUND_SPEED) / 2.0;
    return (dist <= 0) ? 999 : dist;
}

```

```

}

void handleScan() {
    if (millis() - lastMoveTime >= STEP_DELAY) {
        lastMoveTime = millis();
        servoX.write(currentAngle);

        currentAngle += stepDir;
        if (currentAngle >= MAX_ANGLE || currentAngle <= MIN_ANGLE) {
            stepDir = -stepDir;
        }
    }
}

void handleTargetTracking() {

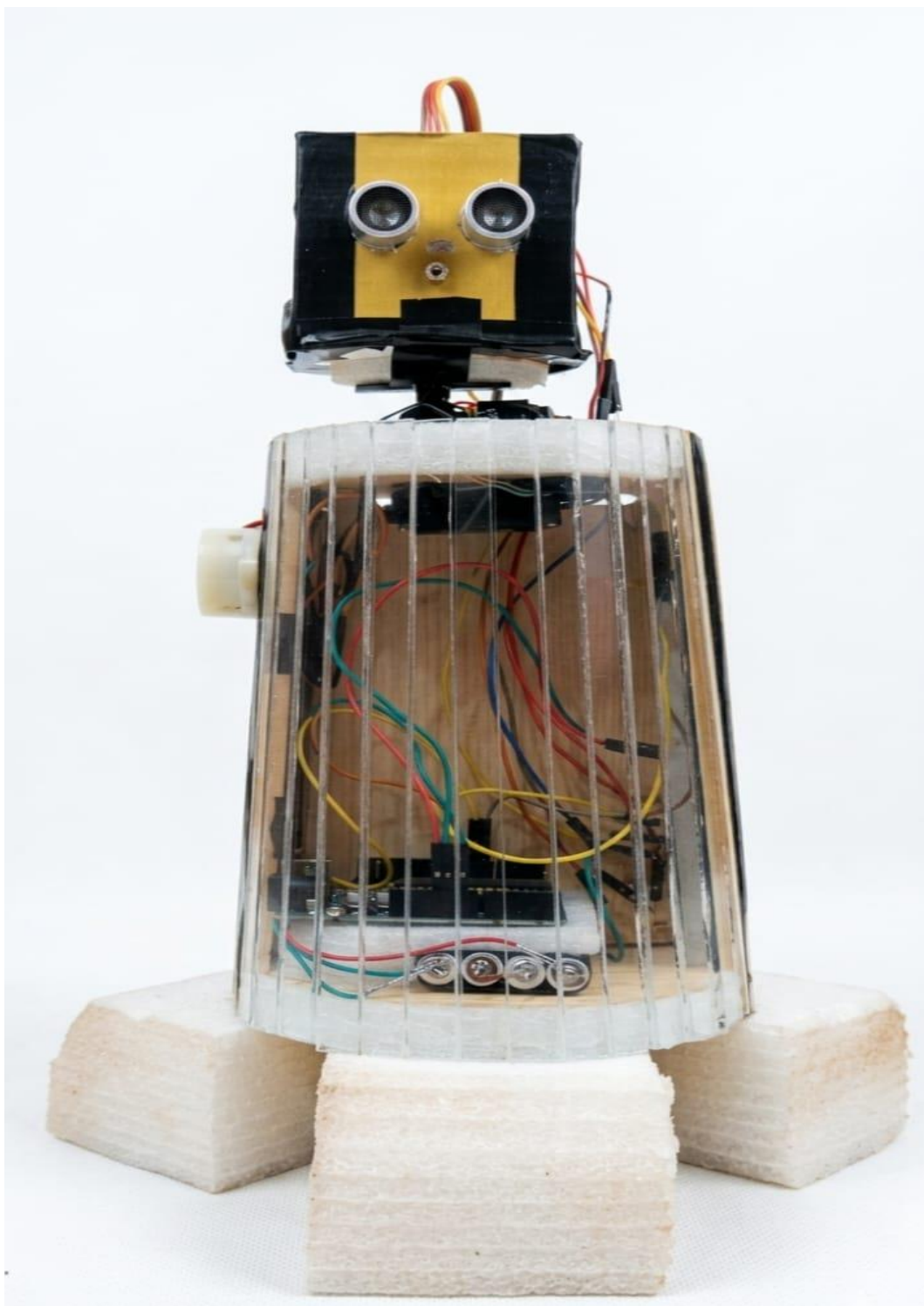
    if (millis() % 400 < 200) {
        tone(BUZZER_PIN, 1500, 50);
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
    } else {
        noTone(BUZZER_PIN);
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
    }
}

void handleTargetLocked() {
    tone(BUZZER_PIN, 2000);
}

```

```
digitalWrite(LED_PIN, HIGH);  
digitalWrite(LASER_PIN, HIGH);  
}  
  
void allSystemsOff() {  
    digitalWrite(LASER_PIN, LOW);  
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);  
    noTone(BUZZER_PIN);  
}
```

3-4 نموذج مجسم البرج:



الشكل (2-4) نموذج مجسم البرج

الفصل الخامس

تحليل النتائج والتوصيات

5-1 تحليل النتائج:

بعد التجميع والتصميم والتنفيذ للمشروع تحصلنا على الآتي:

5-1-1 أداء الكشف والتعقب:

أثبت المستشعر (HC-SR04) قدرته على قياس المسافات ضمن النطاق التصميمي (حتى مدى عملي يصل إلى حوالي 2-300 سم في الظروف القياسية) مما مكن النظام من كشف وجود الأجسام وتحويل الإحداثيات إلى أوامر توجيه للسيرفو.

استجابت محركات السيرفو MG996R لأوامر التوجيه بسرعة مقبولة لتطبيقات المراقبة البسيطة وتمكنت وحدة التوجيه من متابعة الأهداف ضمن حدود السرعات والزوايا الميكانيكية المتاحة.

5-1-2 زمن الاستجابة والتتبع للأهداف المتحركة:

زمن الاستجابة الكلي (من الكشف إلى توجيه السيرفو) كان مناسباً للتطبيقات ذات الحركة المعتدلة لكنه أظهر تأخرًا طفيفاً مع الأهداف سريعة الحركة أو عند حدوث تغييرات مفاجئة بالاتجاه يمكن تقليل هذا التأخر بزيادة معدل المسح (polling rate) وتحسين كفاءة الكود البرمجي.

5-1-3 دقة الزوايا والسلوك الميكانيكي:

دقة التتبع متأثرة بعوامل ميكانيكية مثل دقة تركيب السيرفو، توازن الحمل، والاحتكاك. احتاج النظام إلى معايرة الزوايا وتثبيت ميكانيكي جيد لتقليل الاهتزازات والانحرافات الزاوية.

5-1-4 استهلاك الطاقة والموثوقية:

استهلاك محركات السيرفو كان الأعلى ضمن مكونات النظام، ما يتطلب مصدر طاقة قادرًا على تزويد تيارات الذروة دون تأثير على أداء الأردوينو. لوحظ أن فصل تغذية السيرفو عن تغذية الأردوينو أو استخدام مصدر طاقة منفصل يحسّن الاستقرار.

5-2 مناقشة نقاط القوة والقيود:

نقاط القوة:

- تكلفة منخفضة ومكونات متاحة بسهولة، مما يجعل النظام مناسبًا للمشاريع التعليمية والتجريبية.
- مرونة التصميم البرمجي والقدرة على التوسعة بإضافة حساسات أو وحدات اتصال لاسلكية.
- تحقيق الوظائف الأساسية: كشف الحركة، تتبع الاتجاه، وإصدار إنذار صوتي في الوقت الفعلي.

القيود:

- محدودية دقة مستشعر الموجات فوق الصوتية في البيئات المعقدة ووجود انعكاسات.
- تأخر محدود في تتبع الأهداف السريعة بسبب تتابع القياسات وزمن حركة السيرفو.
- غياب إمكانيات التمييز المتقدمة (تمييز نوع الهدف أو التعرف بصريًا) لعدم وجود كاميرا أو معالجة صور متقدمة.
- الحاجة إلى إدارة طاقة مناسبة لتجنّب تذبذب الأداء عند تحميل السيرفو.

5-3 التوصيات:

1. توسيع نطاق التطبيق التقني

إضافة حساس PIR للكشف الأولي عن الحركة لتقليل عدد قراءات HC-SR04 ومنع الإنذارات الكاذبة، PIR يعمل كمرحلة استهلاكية تُفَعّل المسح الدقيق فقط عند وجود حركة.

دمج مستشعر TOF أو LiDAR صغير للحصول على قراءات مسافة أكثر دقة واستقرارًا في ظروف الانعكاس أو الضجيج. عند الحاجة إلى تمييز الهدف، إضافة وحدة كاميرا ومعالجة صور (OpenMV) أو Raspberry Pi مع (OpenCV) لتمكين التعرف البصري وتتبع الأهداف المعقدة.

2. تحسين واجهة المستخدم

- إضافة شاشة عرض (OLED أو LCD) تعرض حالة النظام، المسافة الحالية، زاوية السيرفو، وسجلات التنبيه لتسهيل المراقبة المحلية والصيانة.
- تفعيل أوضاع تشغيل قابلة للاختيار (يدوي/آلي) عبر أزرار أو واجهة بلوتوث/Wi-Fi للتحكم عن بعد وإعادة المعايرة بسهولة.
- تسجيل بيانات تشغيل على بطاقة SD أو إرسالها إلى خادم سحابي لتحليل الأداء وتحسين الخوارزميات.

3. إجراء تجارب ميدانية موسعة

- تنفيذ اختبارات في بيئات تشغيل فعلية متعددة (داخليًا وخارجيًا، في ظروف إضاءة وطقس متغيرة) لقياس نسبة الإنذارات الحقيقية إلى الكاذبة، زمن الاستجابة، وحدود سرعة التتبع.
- تقييم أداء النظام أمام أهداف بأشكال وحجوم وسرعات مختلفة لتحديد متطلبات تحسين السيرفو وخوارزميات التنبؤ.

4. الصيانة والاستدامة

- اعتماد جدول صيانة دوري للتحقق من اتصال الأسلاك، ثبات التركيبات الميكانيكية، وتنظيف المستشعرات والعدسات.
- استخدام موصلات وأسلاك ومصادر طاقة ذات جودة جيدة لتقليل احتمالات الفشل الميكانيكي أو الكهربائي.
- تصميم وحدات قابلة للفك لتسهيل استبدال المكونات التالفة أو ترقيتها.

5. التعليم والتدريب

- إعداد دليل تشغيل وصيانة مفصل، وورش تدريبية للمستخدمين والفنيين لتوضيح عملية المعايرة، استكشاف الأخطاء وإصلاحها، وتحديث البرمجيات.

- توثيق الشيفرة ومخططات الدارات بشكل كامل لتسهيل التطوير الأكاديمي والتعاوني.

6. استغلال الطاقة المتجددة

- لتمكين التشغيل في مواقع بعيدة، يوصى بدمج مصدر طاقة شمسي مع وحدة شحن بطارية مناسبة (MPPT) وبطارية قادرة على تغذية الحمل لمدة مطولة، بالإضافة إلى دوائر إدارة طاقة لحماية المكونات.
- اعتماد استراتيجيات برمجية لتقليل استهلاك الطاقة، تقليل تردد المسح عندما لا توجد حركة، وضعيات نوم للمكونات الطرفية، وإيقاف تشغيل الليزر عندما لا يكون مطلوبًا.

مقترحات للبحث المستقبلي:

- استبدال لوحة التحكم بوحدة ذات قدرة معالجة واتصال أعلى (ESP32 أو Raspberry Pi) أو لتمكين معالجة صور مدمجة، اتصال لاسلكي مباشر، وتشغيل خوارزميات تنبؤية.
- تطوير خوارزميات تتبع تنبؤية تعتمد على نماذج حركة بسيطة لتوجيه السيرفو نحو موقع الهدف المتوقع، ما يقلل فقدان التعقب مع الأهداف سريعة الحركة.
- دمج نظام إنذار متعدد القنوات (صوتي، بصري، وإشعارات عبر الهاتف الذكي) لرفع فعالية الاستجابة والتعامل مع حالات الطوارئ.

5-4 الخاتمة:

في ختام هذا البحث حول تصميم نظام برج تتبع حركة ذكي يعمل بواسطة أردوينو، يثبت النظام عملياً إمكانية تنفيذ حل مراقبة منخفض التكلفة قادراً على الكشف عن الحركة، تتبع الاتجاه، وإصدار إنذارات في الزمن الحقيقي ضمن حدود الأداء المتوقعة.

- حقق النظام الأهداف الأساسية للمشروع من حيث تصميم آلية تتبع ذكية ومعالجة قراءات المستشعر وإصدار الإنذارات، مع ملاحظة وجود قيود متعلقة بدقة المستشعر وبيئة التشغيل وسرعة الأهداف.

- لتحسين الدقة والاعتمادية وتوسيع نطاق التطبيقات الممكنة (مثل المراقبة المتقدمة، التطبيقات الصناعية أو الأمنية)، يتطلب النظام دمج حساسات إضافية، تحسين المعالجة البرمجية، وتطوير الجانب الميكانيكي وإدارة الطاقة.

ختاماً، يشكل هذا المشروع أساساً عملياً ومفيداً للتطبيقات التعليمية والتجريبية ويقدم منصة قابلة للتطوير نحو أنظمة تتبع ومراقبة أكثر تقدماً وفعالية. تتيح التوصيات المقدمة مساراً واضحاً لتحسين الأداء وتمديد الاستخدام في بيئات وتطبيقات أوسع.

المراجع:

Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering (W. Bolton, 2015). (6th ed)

Embedded Systems: Architecture, Programming and Design (Raj Kamal, 2017). (3th ed)