



الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

كلية هندسة الذكاء الاصطناعي
كلية الاتصالات الذكية

تصميم صندوق أسود لاسلكي للسيارات Design of Wireless Black Box for Cars

إعداد:

محمد لطفي قصار

بإشراف:

الأستاذ الدكتور المهندس حسان احمد

المهندس محمد عثمان

المهندس يزن أبو عرفة

الملخص

يهدف هذا المشروع إلى تصميم وتنفيذ صندوق أسود ذكي للسيارات يعتمد على المتحكم الدقيق **ESP32**، وذلك بهدف تسجيل وتحليل البيانات الأساسية المتعلقة بحالة المركبة أثناء التشغيل. تأتي أهمية هذا المشروع من الحاجة المتزايدة إلى أنظمة قادرة على توثيق أحداث القيادة والحوادث، وتحليل أداء المركبة، والمساهمة في رفع مستوى السلامة المرورية.

يقوم النظام بتسجيل درجات الحرارة في عدة نقاط باستخدام أربع حساسات من نوع **LM35**، مما يتيح مراقبة الحالة الحرارية للنظام واكتشاف أي ارتفاع غير طبيعي في درجات الحرارة. كما يتم تسجيل حركة واتجاه السيارة باستخدام الحساس **MPU6050**، الذي يوفر معلومات دقيقة حول التسارع والميلان، الأمر الذي يسمح بتحديد اتجاه الحركة (أمام، خلف، يمين، يسار) والتغيرات المفاجئة أثناء القيادة.

إضافة إلى ذلك، تم استخدام وحدة **RTC** لتسجيل الوقت الحقيقي لكل قراءة، مما يسمح بربط البيانات المسجلة بزمان حدوثها بدقة عالية. كما يعتمد المشروع على وحدة **ESP32-CAM** لتسجيل الفيديو بشكل مستمر طوال فترة تشغيل السيارة، ويتم تخزين جميع البيانات الحسية ومقاطع الفيديو على بطاقة ذاكرة **SD** مدمجة مع وحدة الكاميرا.

تم استخدام محركات تيار مستمر (**DC Motors**) للتحكم بالحركة، مع دائرة قيادة المحركات **L298N**، إضافة إلى **ESP Shield** التي تسهل عملية التوصيل والتكامل بين المكونات المختلفة. يوفر هذا المشروع نموذجًا عمليًا منخفض التكلفة لصندوق أسود ذكي، مع قابلية عالية للتطوير مستقبلاً، ليشمل تقنيات إضافية مثل أنظمة تحديد المواقع والاتصال الخلوي.

1. Abstract

This project aims to design and implement a **smart vehicle black box system** based on the **ESP32 microcontroller**, with the purpose of recording and analyzing essential data related to the vehicle's operating conditions. The importance of this project arises from the increasing need for systems that can document driving events, analyze accidents, and enhance road safety.

The system records **temperature data** at multiple points using four **LM35 temperature sensors**, enabling continuous thermal monitoring and early detection of abnormal temperature increases. In addition, **vehicle motion and direction** are recorded using the **MPU6050 sensor**, which provides accurate acceleration and orientation data, allowing the determination of vehicle movement (forward, backward, left, and right) as well as sudden motion changes.

Furthermore, an **RTC module** is used to record real-time timestamps for each data entry, ensuring precise temporal documentation of events. The project also employs an **ESP32-CAM module** to continuously record video during vehicle operation, with all sensor readings and video files stored on an integrated **SD card**.

DC motors are used to control movement through the **L298N motor driver**, and an **ESP Shield** is utilized to simplify wiring and system integration. This project presents a low-cost and practical prototype for a smart vehicle black box, with high potential for future expansion, including GPS tracking and GSM communication

الفهرس

المخلص	2
1. Abstract	3
1. الفصل الأول	6
المقدمة	6
1. المقدمة	7
• 1. تسجيل بيانات الحركة	8
• 3. تسجيل درجات الحرارة	8
• 4. تسجيل الفيديو	8
• 5. التسجيل الزمني	8
2. الفصل الثاني	9
الدراسة النظرية	9
• الدراسة النظرية	10
1. المقدمة	10
2. الصندوق الأسود للسيارات	10
• ○ خصائص ESP32	11
• ○ دور ESP32 في المشروع	11
4. حساس درجة الحرارة LM35	12
5. حساس الحركة MPU6050	12
6. وحدة RTC	13
7. ESP32-CAM	13
محركات DC ودائرة L298N	14
3. الفصل الثالث	16
الدراسة التحليلية و التصميمية	16
1. مكونات المشروع الرئيسية	17
ESP Shield	18
2. آلية عمل النظام	18

19	..... مخطط الكتل (Block Diagram)	•
20	..... 4. الفصل الرابع	
20	..... الدراسة العملية و التنفيذ	
21	..... التوصيلات العملية للمشروع	2.
22	..... آلية عمل النظام أثناء التشغيل	3.
22	..... النتائج العملية	4.
28	..... المراجع	

1. الفصل الأول

المقدمة

1. المقدمة

في عصر يتسم بالتقدم التكنولوجي السريع، يواجه العالم تحديات متزايدة في مجال السلامة المرورية. تُعد حوادث السيارات من بين أكثر الأحداث إبلاماً وتدميرًا التي قد تواجهها المجتمعات. ومع ذلك، فإن فهم العوامل المؤدية إلى هذه الحوادث وتطبيق التدابير اللازمة لتجنبها أمر بالغ الأهمية.

إحدى الأدوات الرئيسية التي يمكن أن تُسهم في تحسين السلامة المرورية هي نظام "الصندوق الأسود" المثبت في المركبات. فبينما كانت أنظمة الصندوق الأسود التقليدية تعتمد على الاتصالات السلكية وتتطلب استرجاع البيانات يدويًا، فإن التطورات في التكنولوجيا اللاسلكية تتيح فرصة لتطوير حل أكثر كفاءة وتنوعًا.

يُعد الصندوق الأسود اللاسلكي للسيارات تقنية ثورية مُهيأة لإحداث نقلة نوعية في نهج صناعة السيارات تجاه السلامة وجمع البيانات وإدارة المركبات. يدمج هذا النظام المتطور إمكانيات الاتصال اللاسلكي في وظائف الصندوق الأسود التقليدية، مما يوفر نقل البيانات وتحليلها في الوقت الفعلي.

من خلال الاستفادة من الاتصال اللاسلكي، يُحسن الصندوق الأسود اللاسلكي مراقبة المركبات وتشخيصها وإعادة بناء الحوادث، مما يمهد الطريق لطرق أكثر أمانًا وإدارة أكثر كفاءة للمركبات.

في هذه المقدمة الشاملة، سنتعمق في تطور تقنية الصندوق الأسود، وأهمية الاتصال اللاسلكي في السيارات الحديثة، وتطوير وتطبيق الصندوق الأسود اللاسلكي للسيارات، ومواصفاته الفنية، وتأثيره المحتمل على سلامة السيارات وتحليلات البيانات.

نشأ مفهوم تقنية الصندوق الأسود في صناعة الطيران في منتصف القرن العشرين كوسيلة لتسجيل بيانات الرحلات والمساعدة في التحقيقات في الحوادث. وقد تم تركيب الصناديق السوداء، المعروفة أيضًا باسم مسجلات بيانات الأحداث أو مسجلات بيانات التصادم، في البداية في الطائرات لتسجيل معايير الطيران الحيوية ومحددات قمرة القيادة. ومع مرور الوقت، تطورت تقنية الصندوق الأسود ووجدت طريقها إلى قطاعات النقل الأخرى، بما في ذلك السيارات.

في صناعة السيارات، لعبت الصناديق السوداء دورًا محوريًا في فهم ديناميكيات المركبات أثناء الحوادث والمساعدة في تحليل ما بعد الحادث. كانت الصناديق السوداء الأولى في السيارات تخزن البيانات بشكل أساسي محليًا، مما استلزم استرجاعها يدويًا لتحليلها. إلا أن التطورات التكنولوجية، وخاصة في مجال الاتصالات اللاسلكية، أحدثت نقلة نوعية في قدرات الصناديق السوداء في السيارات.

2. المشاكل

على الرغم من التطورات الكبيرة في ميزات السلامة في السيارات، لا تزال حوادث الطرق تشكل مصدر قلق بالغ على مستوى العالم. إن فهم العوامل المؤدية إلى الحوادث وتطبيق تدابير لمنعها أمر بالغ الأهمية لتعزيز السلامة على الطرق. ومن الأدوات الرئيسية لتحقيق ذلك نظام الصندوق الأسود المثبت في المركبات، والقادر على تسجيل ونقل البيانات ذات الصلة قبل الحوادث وأثناءها وبعدها. عادةً ما تكون أنظمة الصندوق الأسود التقليدية في المركبات سلكية وتتطلب استرجاع البيانات يدويًا. ومع ذلك، فإن التطورات في التكنولوجيا اللاسلكية تتيح فرصة لتطوير حل أكثر كفاءة وتعددًا في الاستخدامات. ويكمن التحدي في إنشاء نظام صندوق أسود لاسلكي يمكن دمجه بسلاسة مع البنية التحتية الحالية للمركبة، وجمع بيانات شاملة في الوقت الفعلي، ونقلها لاسلكيًا إلى الجهات المعنية، بما في ذلك خدمات الطوارئ، وشركات التأمين، ومصنعي المركبات.

3. الاهداف

قد يختلف نطاق مشروع الصندوق الأسود اللاسلكي للسيارات تبعًا لـ الأهداف والمتطلبات المحددة للمشروع. ومع ذلك، بشكل عام، يشمل نطاق هذا المشروع عادةً الجوانب الرئيسية التالية:

1. تسجيل بيانات الحركة

يعمل النظام على تسجيل حركة السيارة واتجاهها بدقة باستخدام حساس **MPU6050**، الذي يوفر معلومات عن التسارع والميلان على عدة محاور. من خلال تحليل هذه البيانات، يمكن تحديد اتجاه حركة السيارة سواء كانت تتحرك للأمام أو للخلف، أو تقوم بالانعطاف يمينًا أو يسارًا. تتيح هذه البيانات إمكانية تتبع سلوك القيادة واكتشاف التغيرات المفاجئة في الحركة، مثل التوقف الحاد أو الانعطافات السريعة، مما يساعد في تحليل الحوادث وفهم أسبابها.

2. المراقبة والتنبيهات في الوقت الفعلي

يمكن لنظام الصندوق الأسود اللاسلكي أن يتضمن إمكانيات مراقبة في الوقت الفعلي لتوفير تغذية راجعة أو تنبيهات فورية لأحداث أو ظروف محددة، مثل الكبح المفاجئ، أو السرعة الزائدة، أو أعطال المحرك.

3. تسجيل درجات الحرارة

يقوم النظام بقياس وتخزين درجات الحرارة في عدة نقاط مختلفة باستخدام أربعة حساسات من نوع **LM35**. يسمح هذا التوزيع بمراقبة الحالة الحرارية للنظام بشكل أدق، والكشف المبكر عن أي ارتفاع غير طبيعي في درجة الحرارة قد يؤثر على سلامة المكونات أو أداء النظام. يتم تخزين القيم المقاسة بشكل دوري مع ربطها بالوقت الحقيقي، مما يوفر سجلًا حراريًا يمكن الرجوع إليه عند الحاجة.

4. تسجيل الفيديو

يعتمد المشروع على وحدة **ESP32-CAM** لتسجيل فيديو مستمر طوال فترة تشغيل السيارة. يوفر التسجيل المرئي توثيقًا مباشرًا لما يحدث أثناء القيادة، سواء من حيث الطريق أو البيئة المحيطة بالسيارة. يشكل هذا الفيديو عنصرًا داعمًا مهمًا للبيانات الحسية المسجلة، حيث يساهم في توضيح الأحداث وتأكيداتها، خاصة في حالات الحوادث أو الأعطال المفاجئة.

5. التسجيل الزمني

يتم ربط جميع البيانات المسجلة، سواء بيانات الحركة أو درجات الحرارة أو الفيديو، بالوقت الحقيقي باستخدام وحدة **RTC**. يتيح هذا الربط الزمني إمكانية تتبع تسلسل الأحداث بدقة، ومعرفة وقت حدوث كل قراءة أو تسجيل. يعد التسجيل الزمني عنصرًا أساسيًا في أنظمة الصندوق الأسود، لأنه يسمح بإعادة بناء الأحداث بشكل منظم ودقيق.

2. الفصل الثاني

الدراسة النظرية

• الدراسة النظرية

1. المقدمة

يهدف هذا الفصل إلى تقديم الدراسة النظرية الشاملة التي تُشكّل الأساس العلمي والتقني لمشروع **تصميم وتنفيذ صندوق أسود ذكي للسيارات** يعتمد على المتحكم **ESP32** ويجمع بين تسجيل البيانات الحركية، الحرارية، المرئية، والزمنية أثناء تشغيل المركبة. تكمن أهمية هذا الفصل في شرح المبادئ النظرية التي تحكم عمل كل مكون مستخدم في النظام، وتوضيح أسباب اختياره، وطريقة عمله، ونوع البيانات التي يتعامل معها، إضافة إلى بروتوكولات الاتصال المستخدمة بين الوحدات المختلفة.

يعتمد المشروع على دمج عدة أنظمة إلكترونية ومستشعرات تعمل بشكل متزامن، مثل حساسات الحرارة، وحدة قياس الحركة، وحدة التصوير، ووحدة الزمن الحقيقي، مع وحدات القيادة والتحكم بالمحركات. لذلك، فإن فهم الخلفية النظرية لهذه المكونات يُعد خطوة أساسية لتبرير التصميم المعتمد وضمان موثوقية النظام عند استخدامه في تحليل الحوادث وتسجيل سلوك المركبة.

2. الصندوق الأسود للسيارات

الصندوق الأسود هو نظام إلكتروني يقوم بتسجيل بيانات تشغيل المركبة مثل السرعة، الاتجاه، التسارع، والظروف المحيطة، ويتم الرجوع لهذه البيانات بعد وقوع الحوادث.

3. المتحكم ESP32

تم تطوير المتحكم الدقيق **ESP32** من قبل شركة **Espressif Systems**، وظهر لأول مرة عام **2016** كجيل متقدم من المتحكم **ESP8266**. جاء **ESP32** ليقدّم قدرات أعلى في المعالجة، مع دعم مدمج لتقنيات الاتصال اللاسلكي، مما جعله من أكثر المتحكمات استخدامًا في مشاريع إنترنت الأشياء والأنظمة الذكية.

البروتوكولات التي يدعمها **ESP32** :

I2C – GPIO – ADC

• I2C (Inter-Integrated Circuit)

هو بروتوكول اتصال تسلسلي يُستخدم للتواصل بين المتحكم الدقيق وعدة وحدات أو حساسات باستخدام خطين فقط هما خط البيانات وخط الساعة. يتميز بسهولة التوصيل وإمكانية ربط أكثر من جهاز على نفس الناقل.

• GPIO (General Purpose Input/Output)

هي منافذ رقمية عامة تُستخدم لإرسال أو استقبال إشارات رقمية بسيطة مثل تشغيل أو إيقاف وحدة، أو قراءة حالة زر أو حساس.

• PWM (Pulse Width Modulation)

تُعد تقنية تعديل عرض النبضة (PWM) إحدى تقنيات التحكم المستخدمة لتنظيم القدرة الكهربائية المتوسطة المزودة إلى محركات التيار المستمر، وذلك من خلال تغيير نسبة زمن الإشارة التي تبقى في الحالة العالية ضمن دورة زمنية ثابتة. وبدلاً من تغيير قيمة الجهد الكهربائي، يتم التحكم بسرعة دوران المحرك عن طريق تعديل نسبة التشغيل (Duty Cycle) للإشارة الرقمية.

في هذا المشروع، تُستخدم إشارات PWM للتحكم بسرعة محركات التيار المستمر عبر دائرة قيادة المحركات، حيث يؤدي تغيير نسبة التشغيل إلى تغيير الجهد المتوسط الواصل إلى المحرك، وبالتالي التحكم بسرعة الدوران. يسمح هذا الأسلوب بتحقيق تسارع وتباطؤ سلسين، وتحكم دقيق في سرعة الحركة، مع تقليل الفاقد في القدرة.

ADC (Analog to Digital Converter)

هي عملية تحويل الإشارات التناظرية إلى إشارات رقمية، وتُستخدم لقراءة قيم الحساسات التناظرية مثل حساس درجة الحرارة، ليتمكن المتحكم من معالجتها.

○ خصائص ESP32

- معالج ثنائي النواة
- يعمل بتردد يصل إلى 240 ميجاهرتز
- إضافة إلى ذاكرة داخلية مناسبة لتشغيل التطبيقات المدمجة.
- دعم WiFi وBluetooth
- عدد كبير من مداخل الإدخال والإخراج الرقمية والتناظرية
- دعم بروتوكولات الاتصال
- استهلاك منخفض للطاقة

○ دور ESP32 في المشروع

- قراءة بيانات الحساسات
- التحكم بالمحركات
- معالجة البيانات
- التنسيق بين الوحدات
- إرسال الأوامر لوحدة الكاميرا

4. حساس درجة الحرارة LM35



تم تطوير حساس LM35 من قبل شركة Texas Instruments في سبعينيات القرن الماضي، ويُعد من أشهر وأبسط حساسات قياس درجة الحرارة المستخدمة في الأنظمة الإلكترونية.

يعتمد LM35 على مبدأ إخراج جهد تناظري متناسب خطيًا مع درجة الحرارة، حيث يعطي خرجًا بمعدل 10 ميلي فولت لكل درجة مئوية، مما يجعله سهل القراءة والمعالجة.

في هذا المشروع، تم استخدام أربعة حساسات LM35 لقياس درجة الحرارة في عدة نقاط داخل النظام، مما يسمح بمراقبة الحالة الحرارية بشكل أدق.

أنواع البيانات:

بيانات تناظرية (Analog Voltage)

البروتوكول المستخدم:

ADC (Analog to Digital Conversion)

5. حساس الحركة MPU6050



تم تطوير حساس MPU6050 من قبل شركة InvenSense، وظهر كحل متكامل يجمع بين مقياس تسارع ثلاثي المحاور وجيروسكوب ثلاثي المحاور في شريحة واحدة.

يُستخدم هذا الحساس على نطاق واسع في تطبيقات الملاحة، الروبوتات، والطائرات المسيرة، لما يتميز به من دقة عالية في قياس الحركة والميلان.

في هذا المشروع، يُستخدم MPU6050 لتحديد اتجاه حركة السيارة (أمام، خلف، يمين، يسار) ورصد التغيرات المفاجئة في التسارع، وهي معلومات أساسية في تحليل الحوادث.

أنواع البيانات:

بيانات رقمية (Acceleration – Gyroscope Data)

البروتوكول المستخدم:

I2C

6. وحدة RTC



تم تطوير وحدات **RTC (Real Time Clock)** لتوفير تتبع دقيق للوقت مستقل عن المتحكم الرئيسي، وتستخدم على نطاق واسع في أنظمة التسجيل والتوقيت.

تحتوي وحدة RTC على بطارية احتياطية تسمح لها بالاستمرار في حفظ الوقت حتى في حال انقطاع التغذية الكهربائية عن النظام.

في هذا المشروع، تُستخدم وحدة RTC لتسجيل التاريخ والوقت الحقيقي لكل قراءة حساسات وكل حدث مسجل.

أنواع البيانات:

بيانات زمنية (Time & Date)

البروتوكول المستخدم:

I2C

7. ESP32-CAM



تم تطوير وحدة **ESP32-CAM** كنسخة متخصصة من ESP32 مدمج معها كاميرا ومنفذ بطاقة ذاكرة SD ، وظهرت لتلبية الحاجة إلى حلول منخفضة التكلفة للتصوير والتسجيل المرئي في الأنظمة المدمجة.

تتميز هذه الوحدة بقدرتها على التقاط الصور وتسجيل الفيديو وتخزينه محليًا دون الحاجة إلى وحدات خارجية إضافية. كما يمكن التحكم بها عن طريق متحكم رئيسي أو برمجتها للعمل بشكل مستقل.

في هذا المشروع، تُستخدم ESP32-CAM لتسجيل فيديو مستمر أثناء تشغيل السيارة، ويتم حفظ مقاطع الفيديو على بطاقة الذاكرة.

أنواع البيانات:

بيانات فيديو رقمية

البروتوكولات المستخدمة:

SD (للتخزين على) SPI

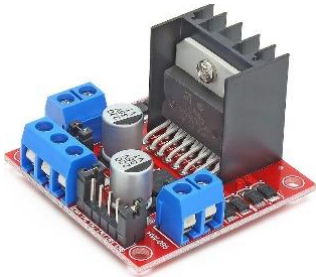


محركات DC ودارة L298N

تُعد محركات التيار المستمر من أقدم أنواع المحركات الكهربائية، وقد استُخدمت منذ القرن التاسع عشر في التطبيقات الصناعية والميكانيكية.

تعتمد هذه المحركات على تحويل الطاقة الكهربائية إلى حركة دورانية، وتتميز بسهولة التحكم باتجاه وسرعة الدوران.

في هذا المشروع، تُستخدم محركات DC لمحاكاة حركة السيارة وتنفيذ أوامر القيادة.



نوع الإشارة:

طاقة كهربائية

طريقة التحكم:

PWM عبر دائرة القيادة

تم تطوير الدارة **L298N** كدائرة قيادة ثنائية الجسر (Dual H-Bridge) للتحكم بمحركات التيار المستمر.

تسمح هذه الدارة بالتحكم باتجاه وسرعة المحركات، كما توفر حماية للتحكم من التيارات العالية الناتجة عن تشغيل المحركات.

في هذا المشروع، تعمل L298N كوسيط بين ESP32 ومحركات DC.

نوع البيانات:

إشارات تحكم رقمية

البروتوكول المستخدم:

GPIO + PWM

8. وحدة تنظيم الجهد / LM2596 DC-DC Step Up / Step Down Voltage Converter



تُعد وحدة **LM2596 DC-DC Voltage Converter** من الوحدات الإلكترونية المهمة في الأنظمة المدمجة، حيث تُستخدم لتنظيم الجهد الكهربائي وتعديله بما يتناسب مع متطلبات المكونات المختلفة داخل النظام. تعمل هذه الوحدة على مبدأ التحويل المستمر للجهد (DC-DC Conversion)، وتستطيع خفض الجهد (Buck) أو رفعه (Boost) حسب الحاجة، مع الحفاظ على استقرار الجهد الخارج.

تتميز وحدة LM2596 بكفاءة عالية مقارنة بالمنظمات الخطية، حيث تقلل من الفاقد الحراري وتحسن من استهلاك الطاقة، مما يجعلها مناسبة للاستخدام في الأنظمة التي تعتمد على مصادر طاقة محدودة مثل البطاريات.

تكمن أهمية استخدام وحدة LM2596 في هذا المشروع في ضمان توفير جهد ثابت وآمن لجميع مكونات الصندوق الأسود، حيث تختلف متطلبات الجهد بين الوحدات المستخدمة مثل ESP32-CAM ، ESP32، الحساسات، ودائرة قيادة المحركات.

تساهم هذه الوحدة في:

- حماية المكونات الإلكترونية من الجهود غير المستقرة.
- ضمان تشغيل مستقر للنظام أثناء تغيير جهد مصدر الطاقة.
- تقليل الأعطال الناتجة عن ارتفاع أو انخفاض الجهد.
- تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في النظام.

3. الفصل الثالث

الدراسة التحليلية و التصميمية

1. مكونات المشروع الرئيسية

يتكوّن نظام الصندوق الأسود المقترح من مجموعة من المكونات الإلكترونية والميكانيكية التي تم اختيارها بعناية لتحقيق أهداف المشروع، وتشمل هذه المكونات ما يلي:

• المتحكم الدقيق ESP32

يُعد ESP32 الوحدة الرئيسية في النظام، حيث يتولى مهمة التحكم بكافة مكونات المشروع. تتمثل وظيفته في قراءة البيانات القادمة من الحساسات المختلفة، ومعالجتها، وتنظيم عملية تسجيلها وتخزينها. كما يقوم بالتنسيق بين وحدات النظام المختلفة لضمان التشغيل المتزامن وتبادل البيانات بشكل صحيح.

• Car kit

تثبيت القطع من خلاله وتمثيل بيئة شكل السيارة

• وحدة ESP32-CAM

تُستخدم وحدة ESP32-CAM لتسجيل فيديو مستمر أثناء تشغيل السيارة. تتمثل وظيفتها في توفير توثيق مرئي للأحداث المحيطة بالمركبة، مما يدعم بيانات الحساسات الأخرى ويساعد في توضيح الظروف التي تحدث أثناء القيادة أو عند وقوع الحوادث.

• أربعة حساسات درجة حرارة من نوع LM35

تُستخدم أربعة حساسات من نوع LM35 لقياس درجات الحرارة في عدة نقاط داخل النظام. تتمثل وظيفتها في مراقبة الحالة الحرارية للمركبة والكشف عن أي ارتفاع غير طبيعي في درجة الحرارة. يتم تسجيل هذه القيم وربطها بالوقت الحقيقي لاستخدامها في التحليل لاحقًا.

• حساس الحركة MPU6050

يُستخدم حساس MPU6050 لتسجيل حركة واتجاه السيارة. تتمثل وظيفته في قياس التسارع والميلان على المحاور المختلفة، مما يسمح بتحديد اتجاه الحركة مثل التقدم للأمام، الرجوع للخلف، أو الانعطاف يمينًا ويسارًا. تساهم هذه البيانات في تحليل سلوك المركبة وفهم ما يحدث أثناء الحوادث.

• وحدة الوقت الحقيقي RTC

تُستخدم وحدة RTC لتوفير الوقت والتاريخ الحقيقيين للنظام. تتمثل وظيفتها في ربط جميع البيانات المسجلة بزمان حدوثها، مما يسمح بإعادة ترتيب الأحداث وتحليلها بشكل دقيق ومنظم.

• محركات تيار مستمر DC Motors

- تُستخدم محركات التيار المستمر لمحاكاة حركة السيارة ضمن المشروع. تتمثل وظيفتها في تنفيذ أوامر الحركة الصادرة من وحدة التحكم، مثل الحركة للأمام أو للخلف، مما يساعد في اختبار النظام وتحليل بيانات الحركة.

• دارة قيادة المحركات L298N

للتحكم بمحركات التيار المستمر. تتمثل وظيفتها في تضخيم إشارات التحكم القادمة من L298N تُستخدم دارة المتحكم الدقيق وتوفير التيار المناسب للمحركات، إضافة إلى التحكم باتجاه وسرعة الدوران مع حماية المتحكم من التيارات العالية

ESP Shield

تُستخدم ESP Shield لتنظيم التوصيلات الكهربائية بين المكونات المختلفة. تتمثل وظيفتها في تسهيل عملية الربط، تقليل الأخطاء في التوصيل، وتحسين موثوقية النظام.

• بطاقة ذاكرة SD

تُستخدم بطاقة الذاكرة لتخزين البيانات المسجلة من الحساسات ومقاطع الفيديو. تتمثل وظيفتها في حفظ المعلومات بشكل دائم، مما يسمح بالرجوع إليها لاحقاً لتحليل الحوادث أو دراسة سلوك المركبة.

• وحدة تنظيم الجهد LM2596 DC-DC

- لتنظيم الجهد الكهربائي داخل النظام. تتمثل وظيفتها في توفير جهد ثابت LM2596 تُستخدم وحدة ومستقر لجميع المكونات الإلكترونية، وحمايتها من تقلبات الجهد التي قد تؤثر على أدائها أو تسبب تلفها.

يلعب كل مكون دوراً محدداً وأساسياً في عمل النظام، ويعتمد نجاح المشروع على التكامل الصحيح بين هذه العناصر.

2. آلية عمل النظام

عند تشغيل السيارة يتم تزويد نظام الصندوق الأسود بالطاقة الكهربائية، حيث تبدأ جميع المكونات الإلكترونية بالعمل من خلال وحدة تنظيم الجهد التي تؤمن تغذية مستقرة للنظام بالكامل.

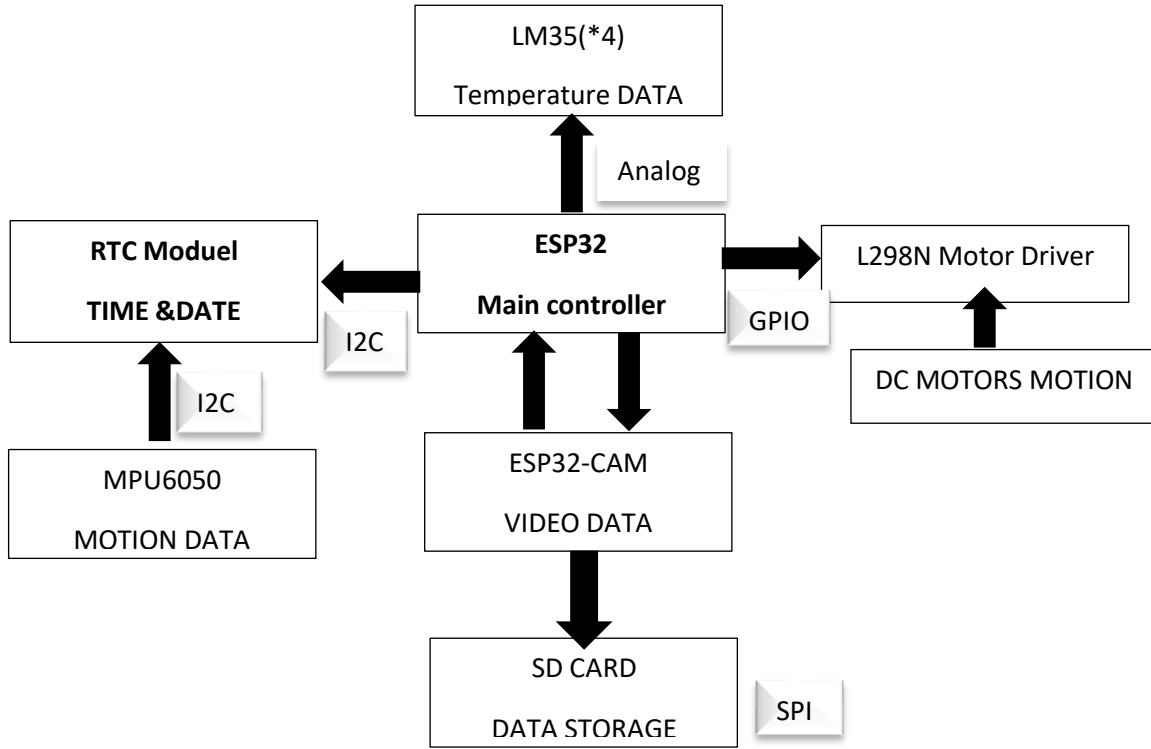
، حيث تقوم بتسجيل ESP32-CAM بعد ذلك، يتم بدء تسجيل الفيديو تلقائياً باستخدام وحدة فيديو مستمر وتخزينه على بطاقة الذاكرة طوال فترة تشغيل السيارة، مما يوفر توثيقاً مرئياً دائماً للأحداث المحيطة بالمركبة.

بالتزامن مع تسجيل الفيديو، يقوم المتحكم الدقيق بعملية قراءة الحساسات، حيث يتم جمع بيانات ، إضافة إلى قراءات درجات الحرارة من حساسات MPU6050 الحركة والاتجاه من حساس الموضوع في عدة نقاط مختلفة LM35.

عند استلام قراءات الحساسات، يتم **حفظ البيانات مع الوقت الحقيقي**، حيث تُربط جميع القيم ، مما يضمن توثيقاً دقيقاً لتسلسل الأحداث RTC المقروءة بالطابع الزمني المأخوذ من وحدة أثناء التشغيل.

تستمر عملية **التسجيل المتزامن للبيانات والفيديو** بشكل تلقائي دون تدخل المستخدم، وذلك حتى **إيقاف السيارة**، حيث يتوقف النظام عن العمل ويتم إنهاء عمليات التسجيل والتخزين بشكل آمن.

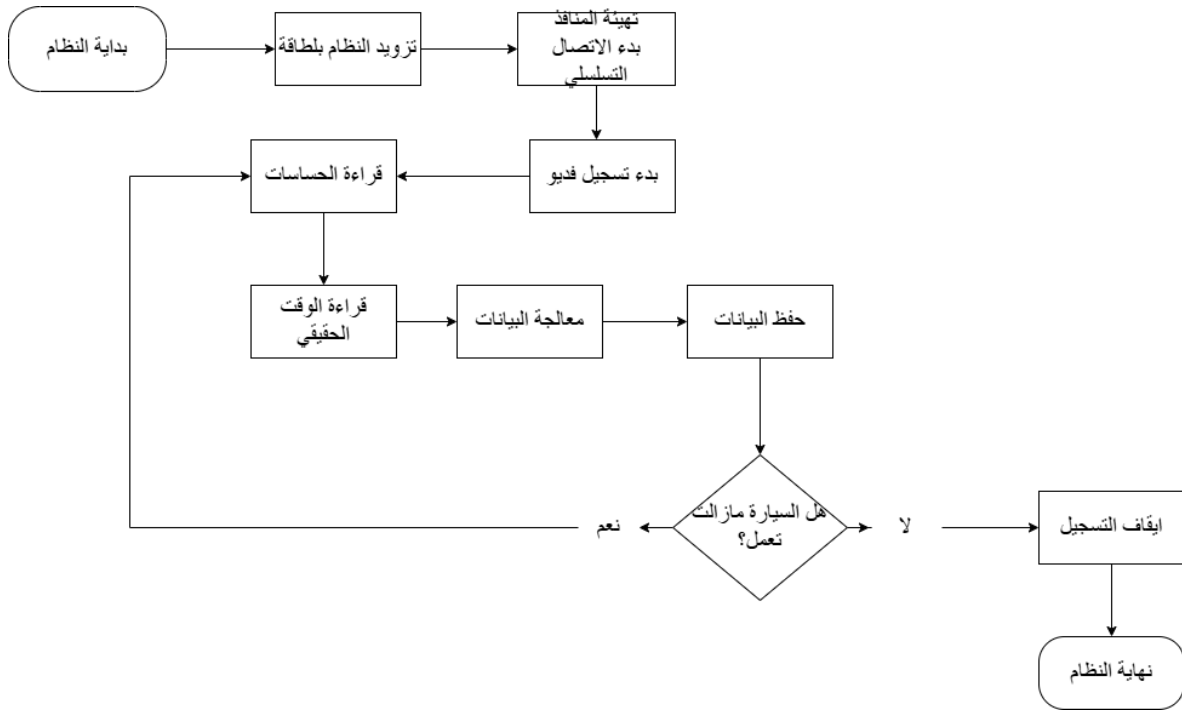
● مخطط الكتل (Block Diagram)



4. الفصل الرابع

الدراسة العملية و التنفيذ

1. مخطط تدفقي لعمل النظام الصندوق الأسود اللاسلكي



2. التوصيلات العملية للمشروع

تم توصيل جميع مكونات النظام وفق مخطط مدروس يضمن الاستقرار وسلامة العمل. حيث تم ربط حساسات LM35 بمداخل التحويل التناظري الرقمي (ADC) في المتحكم ESP32 ، بينما تم ربط حساس MPU6050 ووحدة RTC باستخدام بروتوكول I2C.

كما تم توصيل دائرة L298N بالمخارج الرقمية للتحكم بمحركات التيار المستمر، في حين تم تجهيز وحدة ESP32-CAM ببطاقة ذاكرة SD لتخزين مقاطع الفيديو المسجلة. استخدام ESP Shield ساعد في تنظيم التوصيلات وتقليل التعقيد الكهربائي.

3. آلية عمل النظام أثناء التشغيل

عند تشغيل السيارة، يبدأ المتحكم ESP32 بتهيئة جميع الوحدات المتصلة به. يتم تفعيل حساسات الحرارة وحساس الحركة ووحدة RTC ، كما تبدأ وحدة ESP32-CAM بتسجيل الفيديو بشكل تلقائي.

خلال فترة التشغيل:

- يتم قراءة درجات الحرارة بشكل دوري.
- يتم تسجيل بيانات الحركة والاتجاه.
- يتم جلب الوقت الحقيقي لكل قراءة.
- يتم تسجيل الفيديو بشكل مستمر.

تُرسل جميع هذه البيانات إلى الذاكرة ليتم تخزينها بشكل منظم، مما يسمح بالرجوع إليها لاحقاً في حال وقوع حادث أو الحاجة إلى تحليل أداء السيارة.

4. النتائج العملية

أظهرت التجارب العملية أن النظام قادر على العمل بشكل مستقر ومتواصل، حيث تم تسجيل بيانات الحساسات والفيديو دون انقطاع. كما أثبت النظام فعاليته في توثيق حركة السيارة وربطها بالوقت الحقيقي، مما يحقق الهدف الأساسي من المشروع.

5. أقسام الكود البرمجي للمشروع

قسم الثوابت:

```
const int ENA = 25;  
const int IN1 = 27;  
const int IN2 = 26;
```

```
const int ENB = 14;  
const int IN3 = 12;  
const int IN4 = 13;
```

```
const int PWM_FREQ = 1000;  
const int PWM_RES = 8;  
int valSpeed = 0;
```

```

const float MAX_RPM_AT_255 = 400.0f;
const float WHEEL_DIAM_M = 0.05f;
const float WHEEL_CIRC_M = 3.1415926f * WHEEL_DIAM_M;

float rpm_est = 0.0f;
float v_mps_est = 0.0f;
float v_kmh_est = 0.0f;

const int SPEED_LIMIT = 200;
bool highSpeedAlertSent = false;

const int LM35_1_PIN = 34;
const int LM35_2_PIN = 35;
const int LM35_3_PIN = 36;
const int LM35_4_PIN = 39;

static const uint8_t MPU_ADDR = 0x68;
bool mpuOK = false;

static const int RTC_DAT = 32;
static const int RTC_CLK = 23;
static const int RTC_RST = 33;

ThreeWire myWire(RTC_DAT, RTC_CLK, RTC_RST);
RtcDS1302<ThreeWire> Rtc(myWire);

enum Motion { MOT_STOP, MOT_FORWARD };
Motion currentMotion = MOT_STOP;

float lm35[4] = {0,0,0,0};
float ax_g = 0.0f, ay_g = 0.0f, az_g = 0.0f;

char recFlag = 'e';

unsigned long t0 = 0;
bool after3sDone = false;
unsigned long toggleTimer = 0;

unsigned long teleTimer = 0;
const unsigned long TELE_PERIOD_MS = 100;

unsigned long pingTimer = 0;
const unsigned long PING_PERIOD_MS = 1000;

inline void pwmWriteA(uint8_t duty) { analogWrite(ENA, duty); }
inline void pwmWriteB(uint8_t duty) { analogWrite(ENB, duty); }

void computeTheoreticalSpeed() {

```

```

rpm_est = ((float)valSpeed / 255.0f) * MAX_RPM_AT_255;
v_mps_est = (rpm_est / 60.0f) * WHEEL_CIRC_M;
v_kmh_est = v_mps_est * 3.6f;

if (currentMotion == MOT_STOP) {
    rpm_est = 0.0f;
    v_mps_est = 0.0f;
    v_kmh_est = 0.0f;
}
}

void SetSpeed(int val) {
    valSpeed = constrain(val, 0, 255);

    if (currentMotion != MOT_STOP) {
        pwmWriteA(valSpeed);
        pwmWriteB(valSpeed);
    }

    if (valSpeed > SPEED_LIMIT) {
        if (!highSpeedAlertSent) {
            Serial2.println("ALERT=HIGH_SPEED");
            highSpeedAlertSent = true;
        }
    } else {
        highSpeedAlertSent = false;
    }
}

void stopAll() {
    digitalWrite(IN1, LOW); digitalWrite(IN2, LOW);
    digitalWrite(IN3, LOW); digitalWrite(IN4, LOW);
    pwmWriteA(0); pwmWriteB(0);
}

void forward() {
    digitalWrite(IN1, HIGH); digitalWrite(IN2, LOW);
    digitalWrite(IN3, LOW); digitalWrite(IN4, HIGH);
    pwmWriteA(valSpeed); pwmWriteB(valSpeed);
}

void applyState(Motion st) {
    switch (st) {
        case MOT_FORWARD: forward(); break;
        default: stopAll(); break;
    }
}

```



```

float readLM35_C(int pin) {
    int adc = analogRead(pin);
    float voltage = adc * (3.3f / 4095.0f);
    return voltage * 100.0f;
}

static inline int16_t be16(uint8_t hi, uint8_t lo) {
    return (int16_t)((hi << 8) | lo);
}

bool mpuWriteReg(uint8_t reg, uint8_t val) {
    Wire.beginTransmission(MPU_ADDR);
    Wire.write(reg);
    Wire.write(val);
    return (Wire.endTransmission() == 0);
}

bool mpuReadRegs(uint8_t reg, uint8_t* out, uint8_t len) {
    Wire.beginTransmission(MPU_ADDR);
    Wire.write(reg);
    if (Wire.endTransmission(false) != 0) return false;
    uint8_t got = Wire.requestFrom((int)MPU_ADDR, (int)len, (int>true);
    if (got != len) return false;
    for (uint8_t i = 0; i < len; i++) out[i] = Wire.read();
    return true;
}

bool mpuInit() {
    if (!mpuWriteReg(0x6B, 0x00)) return false;
    if (!mpuWriteReg(0x1C, 0x00)) return false;
    return true;
}

void readMPU_Accel_g(float &ax, float &ay, float &az) {
    if (!mpuOK) { ax = ay = az = 0.0f; return; }

    uint8_t b[6];
    if (!mpuReadRegs(0x3B, b, 6)) { ax = ay = az = 0.0f; return; }

    int16_t axRaw = be16(b[0], b[1]);
    int16_t ayRaw = be16(b[2], b[3]);
    int16_t azRaw = be16(b[4], b[5]);

    const float S = 16384.0f;
    ax = (float)axRaw / S;
    ay = (float)ayRaw / S;
    az = (float)azRaw / S;
}

```

```

void rtcAutoFixIfInvalid() {
    RtcDateTime now = Rtc.GetDateTime();

    bool invalid =
        (now.Year() < 2024) ||
        (now.Month() < 1 || now.Month() > 12) ||
        (now.Day() < 1 || now.Day() > 31) ||
        (now.Hour() > 23) ||
        (now.Minute() > 59) ||
        (now.Second() > 59);

    if (invalid) {
        RtcDateTime compiled(__DATE__, __TIME__);
        Rtc.SetDateTime(compiled);
        Serial.println("RTC: FIXED_FROM_COMPILE");
        Serial2.println("RTC: FIXED_FROM_COMPILE");
    } else {
        Serial.println("RTC: OK");
    }
}

String getRtcTimeString() {
    RtcDateTime now = Rtc.GetDateTime();
    char buf[32];
    snprintf(buf, sizeof(buf),
        "%04u-%02u-%02u %02u:%02u:%02u",
        now.Year(), now.Month(), now.Day(),
        now.Hour(), now.Minute(), now.Second());
    return String(buf);
}

void updateSensors() {
    lm35[0] = readLM35_C(LM35_1_PIN);
    lm35[1] = readLM35_C(LM35_2_PIN);
    lm35[2] = readLM35_C(LM35_3_PIN);
    lm35[3] = readLM35_C(LM35_4_PIN);

    readMPU_Accel_g(ax_g, ay_g, az_g);
    computeTheoreticalSpeed();
}

#define PWDN_GPIO_NUM    32 // Power Down للكاميرا
#define RESET_GPIO_NUM   -1 // Reset (1 - يعني غير مستخدم) غير موصول
#define XCLK_GPIO_NUM     0 // XCLK clock للكاميرا
#define SIOD_GPIO_NUM     26 // SDA ↳ SCCB (للكاميرا I2C مشابه)
#define SIOC_GPIO_NUM     27 // SCL ↳ SCCB

```

```

#define Y9_GPIO_NUM    35 // D7
#define Y8_GPIO_NUM    34 // D6
#define Y7_GPIO_NUM    39 // D5
#define Y6_GPIO_NUM    36 // D4
#define Y5_GPIO_NUM    21 // D3
#define Y4_GPIO_NUM    19 // D2
#define Y3_GPIO_NUM    18 // D1
#define Y2_GPIO_NUM     5 // D0
#define VSYNC_GPIO_NUM 25 // VSYNC
#define HREF_GPIO_NUM   23 // HREF
#define PCLK_GPIO_NUM   22 // PCLK

```

```

write_fourcc(f, "strf");
write_u32(f, 40);
write_u32(f, 40);
write_u32(f, height);
write_u16(f, 1);
write_u16(f, 24);
write_fourcc(f, "MJPG");
write_u32(f, 0);
write_u32(f, 0);
write_u32(f, 0);
write_u32(f, 0);
write_u32(f, 0);

```

```

write_fourcc(f, "LIST");
moviListSizePos = f.position();
write_u32(f, 0); // placeholder
write_fourcc(f, "movi"); // اسم الليست

```

```

moviDataStart = f.position(); // موضع بداية البيانات بعد "movi"
bytesMovi = 0;

```

المراجع

https://systems.uomisan.edu.iq/projects/uploads/files/48m6u5chzd9xb_w.pdf

<https://www.ijraset.com/research-paper/wireless-blackbox-for-cars-using-sensors-and-gps-module>

**P. Ajay Kumar Reddy, P.Dileep Kumar, K. Bhaskar .[1]
reddy, E.Venkataramana, M.Chandra sekhar Reddy,
“BLACK BOX FOR VEHICLES”, International Journal of
Engineering Inventions ISSN: 2278-7461,
www.ijeijournal.com Volume 1, Issue 7(October2012) PP:
06-1.**

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5421801>

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6289457>

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4410638>