جامعة الأزهر

كلية الهندسة

قسم الهندسة الكهربية
شعبة الاتصالات والالكترونيات

مشروع تخرج بعنوان:

نظام تجنب التصادم بتقنية V2X

تحت إشراف:

د. عبد الله محمد حسان

إعداد:

أميرة عاطف رشدي

جميلة عادل محمد آلاء حسن ونس

آية جمال طه أسماء سعد فودة

2026 - 2025

ملخص المشروع باللغة العربيه:

يقدم هذا المشروع نظاماً متكاملاً لتجنب التصادم قائماً على تقنية الاتصال بين المركبة وكل شيء (Vehicle-to-Everything – V2X).

تم بناء النظام بالكامل الاعتماد على عتاد مدمج منخفض التكلفة ومتوفر في الأسواق، ليثبت أن أنظمة السلامة المرورية التعاونية — والتي ظلت لفترة طويلة حكراً على أنظمة مساعدة السائق في السيارات الفاخرة باهظة الثمن — يمكن تحقيقها بتكلفة اقتصادية تناسب شبكات الطرق في الدول النامية .

وبدلاً من الاعتماد على مستشعرات المركبة الفردية فقط، يتيح هذا النظام تبادل معلومات السلامة في الوقت الحقيقي بين المركبات، البنية التحتية للطرق، المشاة، والشبكة السحابية؛ مما يمكن النظام من رصد المخاطر غير المرئية للمركبة وتنبيه السائق إليها ضمن الحدود الزمنية الحرجة للسلامة المعتمدة عالمياً.

التحديات والأهداف:

أدى التوسع العمراني السريع والنمو المستمر في حركة المرور إلى مشكلات متفاقمة؛ مثل الازدحام الخانق، تكرار الحوادث، والخسائر البشرية والاقتصادية الجسيمة وتأتي تقنية V2X

لمعالجة هذا التحدي عبر توحيد أربعة مجالات اتصال تعاونية في منظومة سلامة واحدة:

- V2V (Vehicle-to-Vehicle): الاتصال بين المركبات بعضها البعض.
- V2I (Vehicle-to-Infrastructure) : الاتصال بين المركبة والبنية التحتية للطرق
- V2P (Vehicle-to-Pedestrian) : الاتصال بين المركبة والمشاة.
- V2N (Vehicle-to-Pedestrian): الاتصال بين المركبة والشبكة السحابية

يقوم هذا المشروع بتصميم وتنفيذ هذه المجالات الأربعة معاً والتحقق من كفاءتها على منصة نموذجية موحدة، محققاً هامش أمان تعاوني يفوق بمراحل ما يمكن أن يوفره أي مجال منفرد أو أي نظام تقليدي يعتمد على مستشعرات سيارة واحدة.

أهداف العمل الأساسية:

1. دمج مجالات اتصال V2X الأربعة على منصة مدمجة واحدة منخفضة التكلفة.
2. تنفيذ خوارزميات السلامة التعاونية بشكل حتمي (Deterministic) وضمن الحدود الزمنية الصارمة التي يتطلبها تجنب التصادم الفوري.
3. التحقق الوظيفي من كفاءة كل مجال عبر سيناريوهات اختبار منظمة ومحاكية للواقع.
4. بناء نموذج أولي قابل للتوسعة (Scalable) ليكون أساساً للتطوير والإنتاج الصناعي المستقبلي.

معمارية النظام(System Architecture) :

تم تقسيم النظام برمجياً ووظيفياً على ثلاثة معالجات متكاملة، جرى اختيار كل منها بعناية للمهمة التي يؤديها بأعلى كفاءة:

أ. المتحكم الدقيقSTM32F446RE :

- نظام التشغيل :يعمل بنظام التشغيل الزمني الحقيقي.(FreeRTOS)
- الوظيفة : حيث يقوم بتشغيل خمس خوارزميات متطورة لمساعدة السائق (ADAS) بالتوازي في مسار حتمي واحد يتكرر كل 50مللي ثانية، وهي:
  - تحذير التصادم الأمامي(FCW) .
  - إشارة الكبح الطارئ الإلكترونية(EEBL) .
  - تحذير النقطة العمياء(BSW) .
  - تحذير عدم التجاوز(DNPW) .
  - مساعد الحركة عند التقاطعات(IMA) .
- المستشعرات المتصلة :يتولى قراءة بيانات ستة مستشعرات مسافة بالموجات فوق الصوتية (HC-SR04)، ووحدة قياس القصور الذاتي (MPU9250) عبر ناقل الاتصال السريع(SPI) .

ب. طبقة الاتصال اللاسلكي: المتحكم ESP32-S3

- الاتصال المحلي :(V2V) يقوم ببث واستقبال بيانات الحالة للمركبات المجاورة عبر وصلة ESP-NOWاللاسلكية المباشرة.

- الاتصال السحابي :(V2I/V2N) يحافظ على اتصال آمن بالشبكة السحابية عبر بروتوكول (MQTT-over-TLS)ليعمل كبوابة بيانات رئيسية للمركبة.

ج. الذكاء الاصطناعي والمعالجة العليا: Raspberry Pi 5

- نظام التشغيل واللغة :يعمل بنظام Raspberry Pi OSومبرمج بلغة Python.
- الوظيفة :يتولى المهام المعقدة وعالية المستوى؛ مثل معالجة رسائل السحابة، التحكم الذكي في إشارات المرور، اكتشاف المشاة عبر الكاميرا، وإدارة محور التواصل بين العمليات المختلفة (IPC)لربط الأنظمة الفرعية.

ميزة التقسيم الهيكلي :يتيح هذا التوزيع غير المتجانس

(Heterogeneous Processing) تشغيل كل مهمة في بيئتها المثالية؛ السلامة الحتمية على المتحكم الدقيق المباشر، معالجة بث الراديو على متحكم الـ ESP32، وتطبيقات التعلم الآلي والرؤية الحاسوبية على مستوى نظام Linux في الـ Raspberry Pi 5.

تفاصيل الأنظمة الفرعية والنتائج الوظيفية:

أولاً: نظام V2V التحذير التعاوني من التصادم:

يتبادل النظام الفرعي V2Vعلى متحكم STM32حزم بيانات القياس عن بُعد

(Telemetry Frames) بحجم 23بايت مع المركبات المجاورة كل 100مللي ثانية عبر راديو ESP-NOW.حقق هذا الاتصال زمن استجابة (Latency) من الطرفين يتراوح بين 1إلى 2 مللي ثانية فقط. تم التحقق من سلامة البيانات عبر اختبار التحقق (XOR) والذي نجح بنسبة 100%عبر جميع التكرارات الألف للاختبار.

وبلغ مدى الاتصال المقاس في البيئات المفتوحة 200إلى 480 متراً، وهو مدى كافٍ جداً لتنبيه السائق للمركبات القادمة من خلف المنعطفات وحالات الكبح المفاجئ قبل رؤيتها بالعين المجردة.

ثانياً: نظاما V2I و V2N البنية التحتية والسحابة:

يربط هذان النظامان المركبة بإشارات الطرق والمنصة السحابية عبر وسيط MQTTمن

(HiveMQ Cloud) المؤمّن ببروتوكول التشفير العالي TLS 1.3. تم تسليم الرسائل بمتوسط زمن استجابة يبلغ 87مللي ثانية ونسبة نجاح تسليم بلغت 99.7%عند مستوى جودة الخدمة (QoS 1). كما تم تنفيذ متحكم إشارة المرور القائم على) آلة الحالات المنتهية (Finite State Machine - بـ 7 حالات

على جهاز Raspberry Pi 5، ونجح تماماً في إدارة سيناريوهات إعطاء الأولوية لمركبات الطوارئ والتحكيم بين السيارات المتعددة في جميع حالات الاختبار الوظيفي الـ 47المصممة له.

ثالثاً: نظام V2P حماية المشاة:

يقوم الـ Raspberry Pi 5بتشغيل نموذج اكتشاف الأجسام الخفيف والفعال YOLOv8nبصيغة ONNXعبر مسار الكاميرا. حقق النموذج دقة تميز تبلغ mAP@50 %89في ظروف النهار المثالية، وحافظ على دقة mAP@50 %72ليلياً بفضل دمج كاميرا الأشعة تحت الحمراء (مقارنة بـ %57فقط بدونها). وعند رصد مشاة في مسار السيارة، يصل التنبيه إلى الجرس الصوتي المرتبط بمتحكم STM32 في غضون 127مللي ثانية، وهو زمن ممتاز يقع ضمن نافذة رد الفعل الآمنة للقيادة داخل المدن.

تكامل النظام وإدارة البيانات:

تتصل المعالجات الثلاثة سلكياً عبر بروتوكولات اتصال حتمية ومحور برمجي متطور:

- يربط UART1بين STM32وESP32-S3بسرعة 115200بود.
- يربط UART2بين STM32وRaspberry Pi 5بسرعة مخصصة تبلغ 120000بود.
- تتم قراءة وحدة القصور الذاتي MPU9250عبر SPIبسرعة 1ميجاهرتز.

وعلى صعيد البرمجيات في جهاز Raspberry Pi 5، تتواصل خمس عمليات Pythonمتزامنة جسر الـUART ، عميل السحابةV2N ، متحكم الـV2I ، عملية رؤية المشاةV2P ، وجسر لوحة البيانات عبر محور تواصل مبني على مقابس مجال يونكس (Unix Domain Sockets) بنمط النشر والاشتراك (Pub/Sub).حافظ هذا المحور على استقرار كامل دون فقدان أي رسالة طوال اختبار تكامل مستمر لمدة 60دقيقة، كما تميز بتصميم متحمّل للأعطال (Fault-tolerant) يسمح بإعادة تشغيل أي عملية في حال انهيارها تلقائياً دون التأثير على بقية النظام.

القيود الهندسية والتوجهات المستقبلية:

رغم تحقيق النموذج الأولي لكافة أهدافه الموضوعة بنجاح، إلا أنه تم تحديد عدة قيود هندسية بكل شفافية لضمان التطوير المستقبلي:

- تحديد الموقع :يتم اشتقاق الاتجاه والسرعة حالياً من مستشعر القصور الذاتي MPU9250بدلاً من نظام GPS، مما يؤدي إلى تراكم نسبة الخطأ (Drift) بمرور الوقت.
- الاستشعار المحيطي :مستشعرات الموجات فوق الصوتية الحالية محدودة بخط الرؤية المباشر وبمدى عملي لا يتجاوز 300سم.
- الرؤية الليلية :تنخفض دقة رصد المشاة ليلًا إلى %57في حال عدم استخدام إضاءة الأشعة تحت الحمراء.

- المدى اللاسلكي :قد يتقلص مدى بروتوكول ESP-NOW في البيئات الحضرية المزدحمة والمباني العالية.(Urban Canyons)
- نطاق الاختبار :جرى التحقق من السيناريوهات التعاونية باستخدام مركبتين فقط كنموذج إثبات مفهوم، وليس أسطولاً كاملاً.

التوصيات والخطوات المستقبلية المقترحة:

1. استبدال تقنية ESP-NOW بوصلة الاتصال الخلوي القياسية للسيارات .5G NR-V2X PC5
2. إضافة نظام تحديد مواقع عالي الدقة RTK-GPS لتحديد الموقع المطلق للمركبة بدقة سانتي-مترية.
3. تطوير خوارزمية ذكية لحساب مسافة الأمان عبر تدريب نموذج تعلم آلي على بيانات كبح حقيقية.
4. توسيع نطاق متحكم الـ V2I لدعم إدارة المرور الذكية عبر تقاطعات متعددة متتالية) الموجة الخضراء.(Green Wave -
5. تعزيز الأمن السيبراني لوصلة الـ V2V وتشفيرها وفقاً للمعيار العالمي .IEEE 1609.2
6. تجميع ودمج كافة المكونات الإلكترونية للنظام في لوحة دارة مطبوعة مخصصة (PCB) مطابقة لمعايير صناعة السيارات.
7. توسيع نطاق الاختبارات عبر تكنولوجيا المحاكاة المتقدمة بأسلوب الأجهزة داخل الحلقة (Hardware-in-the-Loop – HIL).

"وفي الختام، لا يسعنا إلا أن نرد الفضل لأهله، فالحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله. اللهم اجعل هذا الجهد ثمرةً طيبةً تنفع الناس وتحفظ أرواحهم، واجعله حجةً لنا لا علينا. نسألك يا ربنا أن تبارك لنا في ما علمنا، وأن تزيدنا علماً وعملاً، وأن توفقنا لخدمة مجتمعنا ووطننا. وصلى الله وسلم على نبينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين."