Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University of Mosul
College of Computer Science and
Mathematics
Department of Software

Development of Software System for Managing Automated Guided Vehicles (AGV)

A Thesis Submitted to the Council of the College of
Computer Science and Mathematics
University of Mosul
as a Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Science
in Software

By
Ryham Ibrahim Khalil Majeed

Supervised by
Assist. Prof. Dr. Naktal Moiad Edan Kataa

2025 A.D. **1446 A.H.**

Abstract

Automated Guided Vehicles (AGVs) are intelligent systems designed for material handling, transportation, and distribution across various environments such as ports, airports, production lines, warehouses, and logistics sites. They contribute to enhancing productivity, reducing costs, and minimizing reliance on human labor while improving safety. As the demand for these vehicles increases, the need for effective management systems to monitor the autonomous driving environment in real-time has become crucial, ensuring reliable operation and precise guidance while avoiding obstacles. This research aims to develop an advanced management system for AGVs using Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) techniques through Deep Convolutional Neural Networks (DNNs) and Software Engineering (SE) to build a reliable, scalable system that enhances control, sensing, and object detection processes in AGVs, leading to improved performance, reduced errors, and increased operational data processing and responsiveness. To achieve this, an integrated software and hardware system was developed for real-time vehicle management, featuring an advanced object detection model to enhance detection and differentiation of objects, autonomous navigation with obstacle avoidance, rerouting, and material lifting and lowering. Furthermore, a Forklift AGV prototype was designed, integrating various hardware components, including the controller, different sensors, cameras, motors, and power sources, to gather data from the real-world environment.

This system has developed based on a novel object detection model named YOLOXI, an enhanced version of YOLOv3, designed to improve real-time object detection, particularly in challenging conditions such as varying lighting, occluded and overlapping objects, small objects, and complex backgrounds. The model development relied on two key techniques: first, augmenting and enhancing training data using image augmentation through mix-up and label smoothing, which generates more complex synthetic images and diverse training datasets; and second, the Adaptive Spatial Feature Fusion (ASFF) technique, which utilizes adaptive weights (α, β, γ) to optimize feature fusion across different levels in the Feature Pyramid Network (FPN). This approach minimizes information loss between high-resolution low-semantic and low-resolution high-semantic levels. Additionally, an ultrasonic sensing algorithm was incorporated to measure distances and facilitate obstacle avoidance during navigation. The

YOLOXI model was trained using Python on a combined dataset called Pascal VOC Integration, consisting of 23,268 images. Its performance was evaluated using metrics such as Regression Loss, Confidence Loss, and Classification Loss to measure discrepancies between ground truth values and model predictions for adaptive weight adjustments. Furthermore, quality assessment metrics such as IoU, Precision, Recall, AP, and mAP demonstrated significant improvements in detection accuracy across all classes, achieving a mean Average Precision (mAP) of 93.93%. This research contributes to the development of an advanced AGV software system capable of real-time environment monitoring, object detection and classification, autonomous navigation, and obstacle avoidance. These capabilities enhance the efficiency and reliability of AGVs in industrial and logistics environments while supporting the automation of material handling, transportation, and distribution processes.

In real-time testing, the system performance was validated under different lighting conditions (normal, dim, and very dim), achieving an average confidence score of 98.1%, 97.4%, and 94.3%, respectively. It also demonstrated high efficiency in detecting static, moving, large, small, and overlapping objects, with accuracies of 97.3%, 96.9%, 97%, 91.1%, and 92.6% at a 20 m distance, 96.6%, 96.9%, 92.7% respectively. Moreover, the system effectively distinguished body parts such as faces, palms, and feet with an accuracy exceeding 97%. Additionally, the system exhibited robust autonomous navigation and obstacle avoidance capabilities across three scenarios (clear path, path with a nearby obstacle, and path with a very close obstacle). It was also capable of operating on devices with varying computational resources without compromising detection accuracy, making it suitable for deployment in resource-constrained environments.

Therefore, this research contributes to the development of an advanced AGV software system capable of real-time environment monitoring, object detection and classification, autonomous navigation, and obstacle avoidance. Consequently, the system supports industrial, logistics, and transportation sectors, including land, sea, and air transport, by automating material loading, transportation, and distribution processes reliably.

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الموصل
كلية علوم الحاسوب والرياضيات
قسم البرمجيات

تطوير نظام برمجي لإدارة المركبات الموجهة آلياً (AGV)

رسالة مقدمة
الى مجلس كلية علوم الحاسوب والرياضيات في جامعة الموصل
كجزء من متطلبات نيل شهادة ماجستير علوم في
البرمجيات

من قبل

رهام ابراهيم خليل مجيد

بإشراف
أ. م. د. نكتل مؤيد عيدان كاطع

١٤٤٦هـ ٢٠٢٥ م

المستخلص

المركبات الموجهة ذاتيًا (AGVs) هي أنظمة ذكية مُصممة لتحميل المواد ونقلها وتوزيعها في بيئات متعددة، مثل الموانئ والمطارات وخطوط الإنتاج والمستودعات والمواقع اللوجستية، حيث تُسهم في تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف والاعتماد على العمالة البشرية مع تعزيز السلامة. ومع تزايد الطلب على هذه المركبات، أصبحت الحاجة إلى أنظمة إدارة فعالة ضرورية لمراقبة بيئة القيادة الذاتية في الوقت الفعلي، مما يضمن التشغيل الموثوق والتوجيه الدقيق مع تجنب العقبات. يهدف هذا البحث إلى تطوير نظام متقدم لإدارة المركبات الموجهة ذاتيًا باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (ML) عبر الشبكات العصبية التلافيفية العميقة (DNNs) وهندسة البرمجيات (SE) لبناء نظام موثوق وقابل للتطوير يعزز عمليات التحكم والاستشعار والكشف عن الأجسام في AGV، مما يسهم في تحسين الأداء وتقليل الأخطاء وزيادة القدرة على معالجة البيانات التشغيلية والاستجابة لها. لتحقيق ذلك، تم تطوير نظام متكامل من البرامج والأجهزة لإدارة المركبات في الوقت الفعلي، من خلال نموذج كشف مطور لتحسين الكشف والتمييز بين الأجسام، والملاحة الذاتية مع امكانية تجنب العقبات وإعادة التوجيه ورفع وخفض المواد. بالإضافة الى تصميم نموذج من نوع Forklift AGV يدمج مكونات أجهزة مختلفة، بما في ذلك وحدة التحكم، وأجهزة الاستشعار المختلفة، والكاميرا، والمحركات، ومصادر الطاقة، لجمع البيانات من البيئة الحقيقية.

هذا النظام تم تطويره من خلال تطوير نموذج كشف جديد يسمى YOLOXI، محسّنًا عن نموذج YOLOv3، لتحسين الكشف عن الأشياء في كل من مجموعة البيانات والكشف في الوقت الفعلي، لا سيما في ظل ظروف الإضاءة المتغيرة، والأجسام الصغيرة، المحجوبة، المتداخلة، والخلفيات المعقدة. اعتمد تطوير النموذج على تقنيتين رئيسيتين: الأولى زيادة وتحسين بيانات التدريب باستخدام زيادة الصور عبر تقنية المزج وتنعيم العلامات، مما يساعد في إنتاج صور صناعية معقدة وبيانات تدريب أكثر تعقيدًا، والثانية تقنية ميزة الاندماج المكاني التكيفي (ASFF)، والتي تستخدم أوزانًا تكييفية (α، β، γ) لتحسين دمج الميزات عبر المستويات المختلفة في شبكة هرم الميزات (FPN)، مما يقلل من فقدان المعلومات بين المستويات عالية الدقة منخفضة الدلالة، والمستويات عالية الدلالة منخفضة الدقة. بالإضافة إلى، خوارزمية الاستشعار الفوق الصوتية لقياس المسافة أثناء التنقل وتجنب العقبات بالإضافة الى إعادة التوجيه لليمين واليسار مع إمكانية الرفع والخفض للمواد. تم تطوير وتدريب نموذج YOLOXI باستخدام لغة بايثون على مجموعة بيانات مدمجة تسمى Pascal VOC Integration مكونة من ٢٣,٢٦٨ صورة، وتم تقييم الأداء باستخدام مقاييس مثل

Regression Loss، Confidence Loss، Classification Loss لقياس الخطأ بين القيم الحقيقية وتنبؤات النموذج لتعديل الأوزان التكييفية اثناء التدريب. بالإضافة إلى مقاييس الجودة مثل IoU، Precision، Recall، AP، mAP ، mAP@0.5 ، mAP@0.5:0.95 ، مما أظهر تحسنًا ملحوظًا في دقة الكشف لجميع فئات مجموعة البيانات البالغة ٢٠ فئة، حيث بلغ متوسط الدقة المتوسط (mAP) المقاس عبر جميع الفئات وفي عتبات مختلفة ٩٣,٩٣٪.

في الوقت الفعلي، تم التحقق من أداء النظام في ظروف إضاءة مختلفة (طبيعية، خافتة، وخافتة جدًا) محققًا متوسط درجة ثقة بلغ ٩٨,١٪، ٩٧,٤٪، و٩٤,٣٪ على التوالي، كما أثبت كفاءة في كشف الأجسام الثابتة والمتحركة والكبيرة والصغيرة والبعيدة والمقطوعة والمتداخلة وبيئات المعقدة بدقة تبلغ (٩٧,٣٪، ٩٦,٩٪، ٩٧,١٪، ٩١,١٪، ٩٢,٦٪ على مسافة ٢٠متر، ٩٦,٩٦٪، ٩٦,٩٪، ٩٢,٧٪) وإمكانية تمييز الأجزاء مثل الوجه وراحة اليد والأقدام بدقة تجاوزت ٩٧٪. بالإضافة إلى ذلك، أظهر النظام قدرة عالية على التنقل الذاتي وتجنب العوائق في ثلاث سيناريوهات (مسار واضح، مسار به عائق قريب، ومسار به عائق قريب جدًا)، مع إمكانية تشغيله على أجهزة بموارد حسابية مختلفة دون التأثير على دقة الكشف، مما يجعله مناسبًا للاستخدام في بيئات ذات موارد محدودة.

وبالتالي، يساهم هذا البحث في تقديم نظامًا برمجيًا موثوقا لإدارة المركبات الموجهة ذاتيًا يتميز بقدرته على مراقبة البيئة أثناء التنقل، واكتشاف وتصنيف الأجسام، مع إمكانية إعادة التوجيه، وتجنب العقبات. كما أنه عالي الأداء ومستقر في اكتشاف الأجسام تحت ظروف إضاءة متغيرة، وقادر على اكتشاف الأجسام الثابتة والمتحركة، والأجسام الصغيرة والبعيدة، المقطوعة والمتداخلة وتمييز الأجسام عن أجزائها، واكتشاف بدقة في المشاهد التي تحتوي على أجسام متعددة في الوقت الفعلي. وبالتالي، يساهم النظام في دعم القطاعات الصناعية واللوجستية ومرافق النقل البرية والبحرية والجوية من خلال أتمتة عمليات التحميل والنقل والتوزيع للمواد بشكل موثوق.