

ABSTRACT

The application of computer vision technology with YOLO11 in the agricultural sector holds great potential to enhance efficiency and objectivity in determining fruit ripeness levels. However, YOLO11-based detection models still face challenges such as high computational complexity and reduced accuracy when processing images with complex backgrounds and varying lighting conditions. This study aims to develop a more efficient YOLOv11 architecture by introducing a novel block named C3k2_Lite. The proposed block is a lightweight variant of C3k2 that integrates the Fast Context Unit (FCU) and Cross-Gating Enhancement (CGE) to improve feature selectivity and contextual interaction without significantly increasing the number of parameters. Experimental results demonstrate that the YOLOv11 + C3k2_Lite model achieves a 6.8% increase in precision and a 4% improvement in mAP50, along with reductions in inference time by 0.1 ms, memory load by 0.3 MB, and parameter count by 0.1 million compared to the baseline YOLOv11 model. These improvements indicate that the proposed architectural design successfully balances computational efficiency and detection accuracy while enhancing the model's capability to extract features under complex environmental conditions. The novelty of this research lies in the integration of a cross-gating mechanism within a lightweight convolutional block, enabling dynamic feature interaction efficiently within the YOLOv11 framework—an approach rarely explored in fruit ripeness detection. This finding contributes to the advancement of lightweight attention-based object detection models that are adaptive for implementation on edge computing devices and IoT-based precision agriculture systems. Future research is recommended to extend this work by evaluating in-field datasets with higher variability and conducting real-time performance tests to validate the model's readiness for practical deployment in smart farming environments.

Keyword : C3k2_Lite, Object Detection, Tomato, YOLOv11

ABSTRAK

Penerapan teknologi visi komputer menggunakan YOLO11 dalam sektor pertanian berpotensi besar meningkatkan efisiensi dan objektivitas dalam menentukan kematangan buah. Namun, model deteksi berbasis YOLO11 masih menghadapi tantangan berupa kompleksitas komputasi tinggi dan penurunan akurasi pada citra dengan latar belakang kompleks serta pencahayaan bervariasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan arsitektur YOLOv11 yang lebih efisien dengan memperkenalkan blok baru bernama C3k2_Lite. Blok ini merupakan varian ringan dari C3k2 yang mengintegrasikan *Fast Context Unit (FCU)* dan *Cross-Gating Enhancement (CGE)* guna meningkatkan selektivitas dan interaksi kontekstual antar fitur tanpa menambah parameter secara signifikan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa model YOLOv11 + C3k2_Lite mencapai peningkatan *precision* sebesar 6.8% dan mAP50 sebesar 4%, disertai penurunan *inference time* sebesar 0.1 ms, beban memori sebesar 0.3 MB, serta penyusutan parameter sebesar 0.1 juta dibandingkan model YOLOv11 *baseline*. Peningkatan ini membuktikan bahwa desain arsitektur yang diusulkan mampu menyeimbangkan antara efisiensi komputasi dan akurasi deteksi, sekaligus memperkuat kemampuan model dalam mengekstraksi fitur pada kondisi lingkungan kompleks. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi mekanisme *cross-gating* dalam blok *convolutional* ringan, yang memungkinkan interaksi dinamis antar fitur secara efisien di dalam kerangka YOLOv11, suatu pendekatan yang belum banyak dieksplorasi dalam domain deteksi kematangan buah. Temuan ini berimplikasi pada pengembangan model deteksi objek berbasis *lightweight attention* yang adaptif untuk implementasi pada perangkat *edge computing* dan sistem pertanian presisi berbasis *IoT*. Ke depan, penelitian ini disarankan untuk diperluas melalui evaluasi pada *dataset* lapangan (*in-field dataset*) yang lebih heterogen serta pengujian performa *real-time* guna memastikan kesiapan model untuk penerapan praktis di lingkungan pertanian cerdas.

Kata Kunci : C3k2_Lite, Deteksi Objek, Tomat, YOLOv11