AI & SUSTAINABILITY IN VET EDUCATION
ERASMUS 2023-1-LT01-KA220-VET-000155506

AI & SUSTAINABILITY
IN VET EDUCATION

AI-SAVES@PROJECTHUB

Υποβολή Έργου

Σύστημα Έξυπνης Διαλογής Απορριμμάτων με YOLOv11 και Raspberry Pi 5

Αναδιατυπωμένο με βάση τη δομή του Project 8: Web-Controlled Camera Turret

Funded by
the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Πίνακας Περιεχομένων

1. Τίτλος Έργου.....3
2. Κατηγορία Έργου.....3
3. Περιγραφή Έργου.....3
4. Λέξεις-κλειδιά.....4
5. Ομάδα-στόχος.....4
6. Στόχοι του Έργου.....4
7. Χρονοδιάγραμμα Έργου.....4
8. Παρεχόμενοι Πόροι.....5
9. Εργαλεία και Τεχνολογίες που Χρησιμοποιήθηκαν.....5
10. Σχέδιο Υλοποίησης Βήμα προς Βήμα.....6
11. Κριτήρια Αξιολόγησης.....7
12. Διαθέσιμες Γλώσσες.....8
13. Συντελεστές.....8
14. Ανατροφοδότηση και Συνεχής Βελτίωση.....8
Σημειώσεις Υποβολής.....8

Funded by the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

AI-SAVES@PROJECTHUB

1. Τίτλος Έργου:

Σύστημα Έξυπνης Διαλογής Απορριμμάτων με YOLOv11 και Raspberry Pi 5

2. Κατηγορία Έργου:

AI / Sustainability / Computer Vision / Intelligent Automation – VET Maker Project

3. Περιγραφή Έργου:

Το έργο δείχνει πώς μπορεί να κατασκευαστεί ένα AI-powered smart waste sorting system με χρήση Raspberry Pi 5, camera module, YOLOv11 object detection model και servo motor. Το σύστημα παρακολουθεί μια σταθερή περιοχή σε real time και αναγνωρίζει ανακυκλώσιμα αντικείμενα, κυρίως πλαστικά μπουκάλια και παρόμοιους περιέκτες.

Όταν ανιχνευθεί ένα αντικείμενο-στόχος με επαρκές confidence, το Raspberry Pi στέλνει GPIO signal σε ένα SG90 servo motor, το οποίο ανοίγει το καπάκι του κάδου για σύντομο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια το επαναφέρει στην κλειστή θέση. Με αυτόν τον τρόπο, το έργο συνδέει το computer vision με το physical automation και δείχνει πώς το AI μπορεί να υποστηρίξει πιο υπεύθυνες συνήθειες ανακύκλωσης σε σχολεία, γραφεία και VET περιβάλλοντα.

Το έργο εισάγει τους μαθητές στο edge AI, στο Raspberry Pi configuration, στο camera-based object detection, στο servo control, στον Python programming και στον σχεδιασμό βιώσιμων τεχνολογικών λύσεων. Μπορεί να επεκταθεί σε έναν ευρύτερο smart recycling station με object counting, IoT dashboards και data reporting για την ενίσχυση της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης.

4. Λέξεις-κλειδιά:

Raspberry Pi 5
YOLOv11
smart waste sorting
computer vision
object detection
servo motor
edge AI
recycling automation
sustainability
VET maker project

5. Ομάδα-στόχος:

- Μαθητές/σπουδαστές Vocational Education and Training (VET)
- Εργαστήρια Robotics, automation και STEM
- Μαθητές/σπουδαστές που ενδιαφέρονται για AI, sustainability και physical computing
- Εκπαιδευτικοί που αναζητούν ένα πρακτικό παράδειγμα AI for sustainable development

Funded by the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

6. Στόχοι του Έργου:

- Να μάθουν πώς εφαρμόζεται το computer vision για την αναγνώριση ανακυκλώσιμων απορριμμάτων σε real time.
- Να κατανοήσουν πώς ένα AI model μπορεί να ελέγχει έναν physical actuator μέσω των Raspberry Pi GPIO pins.
- Να διερευνήσουν το edge computing, εκτελώντας το inference τοπικά στο Raspberry Pi 5 χωρίς εξάρτηση από cloud processing.
- Να προωθήσουν την υπεύθυνη διάθεση απορριμμάτων και πρακτικές circular economy μέσα από ένα προσβάσιμο σχολικό prototype.

7. Χρονοδιάγραμμα Έργου:

Φάση	Χρόνος / Ημερομηνία
Ημερομηνία έναρξης	18/01/2026
Ημερομηνία λήξης	27/02/2026
Σχεδιασμός έργου και AI concept	1 εβδομάδα
Hardware assembly και servo wiring	1 εβδομάδα
YOLOv11 setup και ONNX optimization	1–2 εβδομάδες
Programming και integration	1 εβδομάδα
Testing, calibration και improvements	1 εβδομάδα

8. Παρεχόμενοι Πόροι:

- Περιγραφή σχεδιασμού και συναρμολόγησης του smart bin prototype
- Σημειώσεις για Raspberry Pi 5 και camera configuration
- Λεπτομέρειες καλωδίωσης servo motor για GPIO-based actuation
- Python source code για AI inference και servo control
- YOLOv11 / ONNX model deployment workflow
- Checklist δοκιμών για detection confidence, latency και servo reliability
- Σύνδεσμος video presentation: https://youtu.be/Sjh06PGHFeM

9. Εργαλεία και Τεχνολογίες που Χρησιμοποιήθηκαν:

Hardware

- Raspberry Pi 5
- Raspberry Pi Camera Module v2 / Camera Module 3
- SG90 servo motor
- Jumper wires και power supply
- Custom 3D-printed camera mount και servo brackets
- Δομή smart bin που χρησιμοποιήθηκε ως physical prototype

Software

- Raspberry Pi OS
- Python 3.11
- Geany IDE για coding και debugging
- TigerVNC / RealVNC για remote access και monitoring

Funded by the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

- Linux Terminal για εγκατάσταση dependencies και διαχείριση GPIO permissions

AI and Machine Learning

- Ultralytics YOLOv11 για real-time object detection
- ONNX Runtime για optimized CPU inference στο Raspberry Pi 5
- COCO dataset και transfer learning, με χρήση object classes όπως bottle, cup και wine glass
- OpenCV για image processing, video display και annotation

GPIO and Physical Computing

- GPIOZero και LGPIO για συμβατότητα με την Raspberry Pi 5 RP1 I/O architecture
- PWM signal control για άνοιγμα και κλείσιμο του servo mechanism
- Servo-detach logic για μείωση buzzing, jitter και περιττής κατανάλωσης ενέργειας

Digital Management

- Edge computing: το inference εκτελείται τοπικά στο Raspberry Pi 5
- Προαιρετική μελλοντική IoT επέκταση μέσω MQTT, Mosquitto, Node-RED ή Grafana
- GitHub / version control για διαχείριση των iterations του Python script

---

10. Σχέδιο Υλοποίησης Βήμα προς Βήμα:

Βήμα 1: Ρύθμιση του Raspberry Pi και της Camera

Εγκαταστήστε το Raspberry Pi OS στη microSD card, εκκινήστε το Raspberry Pi 5 και ενημερώστε το operating system. Συνδέστε το camera module μέσω του CSI ribbon cable και επιβεβαιώστε ότι καταγράφει frames σωστά.

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
```

Βήμα 2: Εγκατάσταση του Software Environment

Εγκαταστήστε τα Python dependencies για computer vision, AI inference, GPIO control και camera access. Το Raspberry Pi 5 απαιτεί το LGPIO backend για αξιόπιστο servo control μέσω GPIOZero.

```
pip install ultralytics opencv-python picamera2 gpiozero lgpio numpy
pip install onnxruntime
```

Βήμα 3: Προετοιμασία του AI Model

Το έργο χρησιμοποιεί το YOLOv11 Nano ως real-time object detection model. Το model βασίζεται σε transfer learning από το COCO dataset, το οποίο ήδη περιλαμβάνει bottle και container-related classes. Για καλύτερη απόδοση στο Raspberry Pi, το model γίνεται export σε ONNX format.

```
from ultralytics import YOLO
model = YOLO("yolo11n.pt")
model.export(format="onnx")
```

Βήμα 4: Κατασκευή του Smart Bin Mechanism

Τοποθετήστε την camera έτσι ώστε να βλέπει την περιοχή εισαγωγής απορριμμάτων. Στερεώστε το SG90 servo motor στον lid mechanism, ώστε μια περιστροφή 90-degree να ανοίγει τον κάδο. Το signal wire συνδέεται στο GPIO 17, το red wire στα 5V και το brown wire στο GND. Συνιστάται external 5V supply εάν το servo προκαλεί voltage drops κατά τη διάρκεια του AI inference.

Funded by the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.





Prototype photos: smart bin, camera mount και Raspberry Pi-based setup.

Βήμα 5: Προγραμματισμός του Detection Logic

Το Python script καταγράφει συνεχώς frames από την camera, τα μετατρέπει στο σωστό color format και εκτελεί YOLOv11 inference. Το script ελέγχει αν το detected class ID ανήκει στις στοχευμένες recyclable categories.

```
TARGET_IDS = [39, 41, 43]  # bottle, cup, wine glass
results = model(bgr_frame, conf=0.35, verbose=False)
found_target = any(int(c) in TARGET_IDS for r in results for c in r.boxes.cls)
```

Βήμα 6: Σύνδεση του AI Output με την Servo Movement

Όταν το AI model αναγνωρίζει ένα target object, το servo κινείται ομαλά από την κλειστή στην ανοικτή θέση. Ο κάδος παραμένει ανοικτός για έξι δευτερόλεπτα και στη συνέχεια κλείνει αυτόματα. Ο κώδικας αποσυνδέει το servo signal μετά την κίνηση, ώστε να μειωθεί το jitter και να εξοικονομηθεί ενέργεια.

```
if found_target and last_state == "idle":
    last_state = "active"
    move_servo_smooth(servo, -0.99, 0.88, steps=120, delay=0.01)
    servo.value = None
    time.sleep(6)
    move_servo_smooth(servo, 0.88, -0.99, steps=120, delay=0.01)
    servo.value = None
    last_state = "idle"
```

Βήμα 7: Δοκιμή και Calibration του Prototype

Δοκιμάστε το σύστημα με διαφορετικά bottles, lighting conditions και camera angles. Το confidence threshold ρυθμίστηκε στο 0.35, επειδή υψηλότερες τιμές προκαλούσαν missed detections σε low light. Η ομάδα επέκτεινε επίσης τα target IDs ώστε να περιλαμβάνουν related classes, επειδή το model μερικές φορές ταξινομούσε πλαστικά μπουκάλια ως cups ή wine glasses.

- Detection metric: confidence score και correct class detection.

Funded by the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

- Mechanical metric: σταθερή 90-degree servo rotation χωρίς jitter.
- Response metric: latency από camera capture έως servo movement, με στόχο κάτω από 200 ms.
- Reliability metric: 10 συνεχόμενοι επιτυχημένοι κύκλοι open-and-close χωρίς mechanical failure.

Βήμα 8: Τελική Επίδειξη και Αναστοχασμός

Το τελικό prototype αναγνωρίζει ένα target recyclable object, ανοίγει το bin lid, περιμένει να τοποθετηθεί το αντικείμενο μέσα και στη συνέχεια κλείνει αυτόματα. Το έργο επιδεικνύει με επιτυχία ένα ολοκληρωμένο AI-to-action workflow: camera capture, object detection, decision logic, GPIO output και physical actuation.

Τι λειτούργησε καλά: Το Raspberry Pi 5 διαχειρίστηκε αποτελεσματικά το YOLOv11 inference χωρίς dedicated GPU, ιδιαίτερα μετά τη χρήση ONNX optimization. Το servo-detach logic έλυσε το βασικό πρόβλημα jitter και έκανε το prototype πιο σταθερό.

Προκλήσεις: Η βασική δυσκολία ήταν η εξισορρόπηση της AI processing power με τις απαιτήσεις ισχύος του servo. Οι lighting conditions επηρέασαν επίσης το detection reliability, κάτι που απαίτησε προσεκτική ρύθμιση του confidence threshold.

Μελλοντική επέκταση: Το έργο μπορεί να βελτιωθεί με MQTT connectivity, web dashboard, bottle-count statistics, καλύτερο waste-category recognition και multi-bin mechanism για διαχωρισμό plastic, paper, glass και metal.



Internal servo mechanism που χρησιμοποιείται για το άνοιγμα και το κλείσιμο του bin lid.

---

11. Κριτήρια Αξιολόγησης:

Η επιτυχία του έργου αξιολογείται με βάση την τεχνική απόδοση, τα μαθησιακά αποτελέσματα και τη συνάφεια με το sustainability.

- **Detection accuracy: το YOLOv11 model πρέπει να αναγνωρίζει σωστά τα target recyclable objects σε controlled lighting με στόχο accuracy πάνω από 90%.**
- **Servo response reliability: το lid πρέπει να ανοίγει και να κλείνει ομαλά, ολοκληρώνοντας 10 συνεχόμενους κύκλους χωρίς jitter ή mechanical failure.**
- **Latency: ο χρόνος από το detection έως το servo movement πρέπει να παραμένει κάτω από 200 ms με χρήση ONNX optimization.**

Funded by the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

- **System integration: οι μαθητές πρέπει να δείξουν ότι η camera, το AI model, το GPIO control και το servo mechanism λειτουργούν ως ένα ενιαίο σύστημα.**
- **Sustainability learning: οι μαθητές πρέπει να μπορούν να εξηγήσουν πώς το AI και το automation μπορούν να υποστηρίξουν πιο υπεύθυνη διάθεση απορριμμάτων.**

---

12. Διαθέσιμες Γλώσσες:

- Ελληνικά

---

13. Συντελεστές:

Project team: δεν προσδιορίζεται στο αρχικό Project 9 document.

Οι development resources περιλαμβάνουν Raspberry Pi documentation, Ultralytics YOLOv11, COCO dataset, ONNX Runtime, OpenCV, GPIOZero, LGPIO και AI-VET kit components.

---

14. Ανατροφοδότηση και Συνεχής Βελτίωση:

Η ανατροφοδότηση μπορεί να συλλεχθεί από μαθητές και εκπαιδευτικούς μετά τη δοκιμή του prototype σε classroom ή laboratory environment. Η χρήσιμη ανατροφοδότηση θα πρέπει να εστιάζει στην ευκολία assembly, στη σαφήνεια των οδηγιών, στο detection reliability, στην ασφάλεια του servo mechanism και στο πόσο αποτελεσματικά το έργο αναδεικνύει τη σύνδεση μεταξύ AI και sustainability.

Οι μελλοντικές εκδόσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν richer dataset, web dashboard για recycling statistics, remote monitoring και multi-category physical sorting. Το έργο θα μπορούσε επίσης να συνδεθεί με μια school-wide awareness campaign, όπου οι μαθητές συγκρίνουν τη συμπεριφορά ανακύκλωσης πριν και μετά την εισαγωγή του smart bin.

Σημειώσεις Υποβολής

Το έργο έχει αναδιατυπωθεί με χρήση της δομής AI-SAVES@PROJECTHUB του Project 8. Όλες οι οδηγίες του template έχουν αφαιρεθεί και το περιεχόμενο έχει προσαρμοστεί από το Project 9: Smart Waste Sorting System.

Το έργο προορίζεται για εκπαιδευτική και προωθητική χρήση στο πλαίσιο του AI and Sustainability in VET Education. Παρουσιάζει ένα πρακτικό και αναπαραγώγιμο παράδειγμα computer vision, edge AI και physical computing εφαρμοσμένο σε μια πρόκληση sustainability.

Funded by the European Union

This project has been funded with support from the European Commission. This communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.