

ENG: Advanced packaging systems: object pose estimation and robotic picking

The proposed activities address the challenges of automating packaging processes in scenarios characterized by high variability of products and strong requirements in terms of flexibility, efficiency, and sustainability, such as E-commerce. In this context, items to be handled differ widely in shape, size, material, texture, and physical properties and such variability makes traditional rule-based automation and pre-programmed robotic solutions largely ineffective. As a result, packaging tasks still rely heavily on human operators, leading to limited scalability, ergonomic issues, and suboptimal use of packaging materials.

The activity focuses on the development of a framework for real-time object 6D pose estimation for robotic picking tasks. A core objective is the **comparative validation of state-of-the-art Deep Learning methods**, both correspondence-based and global-feature-based, **alongside classical algorithms** to address the challenges posed by high product variability. To ensure modularity and reproducibility, **multiple RGB-agnostic pose estimation methods are to be implemented** within a containerized Python environment.

Experimental validation is to be carried out, supported by a physical robotic environment employing UR10e cobots with RGB-D perception systems and pneumatic suction grippers. This setup serves a dual purpose: first, it enables flexible data generation that strictly preserves the real-world limitations, such as noise and imperfections, inherent to images and depth maps acquisition, effectively mitigating the synthetic domain gap; second, it allows physical picking experiments to validate the applicability of the selected methods to industrial applications.

Expected results:

- **A software framework** for real-time objects pose estimation and robotic-picking activities in highly variable industrial scenarios
- **Quantitative evaluation results** highlighting the performance, robustness, and limitations of the selected approaches under representative operating conditions.

ITA: Sistemi avanzati di packaging: stima della posa degli oggetti e prelievo robotico

Le attività proposte affrontano le sfide dell'automazione dei processi di packaging in scenari caratterizzati da un'elevata variabilità dei prodotti e da stringenti requisiti in termini di flessibilità, efficienza e sostenibilità, come nel caso dell'e-commerce. In questo contesto, gli oggetti da manipolare differiscono ampiamente per forma, dimensione, materiale, texture e proprietà fisiche; tale variabilità rende le soluzioni di automazione tradizionali basate su regole e i sistemi robotici pre-programmati in larga misura inefficaci. Di conseguenza, le operazioni di packaging

dipendono ancora fortemente dagli operatori umani, con ricadute negative sulla scalabilità, sull'ergonomia e su un utilizzo non ottimale dei materiali di imballaggio.

L'attività si concentra sullo sviluppo di un framework per la stima in tempo reale della posa 6D degli oggetti per compiti di prelievo robotico. Un obiettivo centrale è **la validazione comparativa di metodi di Deep Learning utilizzati nello stato dell'arte**, sia basati su corrispondenze sia su caratteristiche globali, **insieme ad algoritmi classici**, al fine di affrontare le sfide poste dall'elevata variabilità dei prodotti. Per garantire modularità e riproducibilità, **diversi metodi di stima della posa RGB-agnostic dovranno essere implementati** all'interno di un ambiente Python containerizzato.

E' richiesta una validazione sperimentale, supportata da un ambiente robotico fisico che impiega cobot UR10e con sistemi di percezione RGB-D e pinze a ventosa pneumatiche. Questa configurazione ha una duplice finalità: in primo luogo, consente una generazione flessibile dei dati che preserva rigorosamente i limiti del mondo reale, quali rumore e imperfezioni intrinseche all'acquisizione di immagini e mappe di profondità, mitigando efficacemente il divario tra dati sintetici e reali; in secondo luogo, permette di eseguire esperimenti di prelievo fisico per validare l'applicabilità dei metodi selezionati in contesti industriali.

Risultati attesi:

- Un software framework per la stima in tempo reale della posa degli oggetti e per attività di prelievo robotico in scenari industriali ad alta variabilità.
- Risultati quantitativi che evidenzino prestazioni, robustezza e limiti degli approcci selezionati in condizioni operative rappresentative.