

Event- and Frame-Based Visual Odometry for Ultra-Low-Power Neuromorphic Systems

In recent years, advances in machine learning and embedded AI have enabled the deployment of increasingly sophisticated models on platforms subject to strict constraints in terms of power, memory, and latency. In particular, the integration of event-based and frame-based sensors, together with heterogeneous neural models (ANNs and SNNs), has opened new opportunities for efficient and highly reactive perception systems in robotics.

One of the main open challenges concerns the development of visual odometry pipelines capable of operating in real time on ultra-low-power platforms, while maintaining high accuracy and robustness in dynamic environments. This problem is especially relevant for miniaturized robotic systems, such as nano-UAVs and small UGVs, where the available computational budget is limited to a few hundred milliwatts.

The combined use of event cameras and frame-based cameras represents a promising solution: frame-based sensing provides dense and structured visual information, while event-based sensing ensures low latency, high dynamic range, and energy-efficient processing. However, the design of visual odometry algorithms that can effectively exploit both sensing modalities and be efficiently mapped onto ultra-low-power neuromorphic System-on-Chips remains an open research problem.

This Incarico di Ricerca is framed within the RoboMix2 project and has as its main objective the investigation and development of event- and frame-based visual odometry techniques, with particular emphasis on their implementation and deployment on ultra-low-power platforms such as GAP9 and Kraken.

In particular, the research activity will focus on the following aspects:

1. Design and analysis of hybrid visual odometry pipelines, combining event-based processing (e.g., through SNNs or asynchronous models) and frame-based processing (ANNs), with an evaluation of accuracy, latency, and robustness.
2. Algorithmic and architectural optimization of visual odometry solutions to meet the memory, power, and throughput constraints typical of ultra-low-power SoCs.
3. Deployment and validation on real hardware, with a specific focus on SoCs such as GAP9 and Kraken, including integration with event-based and frame-based sensors and experimental evaluation on robotic platforms.

This activity will contribute to the scientific and technological objectives of the **RoboMix2** project by advancing the state of the art in neuromorphic perception for robotics and by providing concrete solutions for efficient visual odometry on next-generation embedded systems.

Event- and Frame-Based Visual Odometry for Ultra-Low-Power Neuromorphic Systems

Negli ultimi anni, i progressi nel campo del machine learning e dell'embedded AI hanno reso possibile l'impiego di modelli sempre più avanzati anche su piattaforme fortemente vincolate in termini di potenza, memoria e latenza. In particolare, l'integrazione di sensori event-based e frame-based, insieme a modelli neurali eterogenei (ANN e SNN), ha aperto nuove prospettive per sistemi di percezione efficienti e reattivi in ambito robotico.

Una delle principali sfide ancora aperte riguarda lo sviluppo di pipeline di visual odometry capaci di operare in tempo reale su piattaforme ultra-low-power, mantenendo al contempo elevata accuratezza e robustezza in scenari dinamici. Questo problema è particolarmente rilevante per robot miniaturizzati, come nano-UAV e piccoli UGV, dove le risorse computazionali disponibili sono limitate a pochi centinaia di mW.

L'impiego congiunto di event cameras e frame-based cameras rappresenta una soluzione promettente: i frame forniscono informazioni dense e strutturate, mentre gli eventi garantiscono bassa latenza, alto dynamic range e parsimonia energetica. Tuttavia, la progettazione di algoritmi di visual odometry che sfruttino efficacemente entrambe le modalità sensoriali e che siano mappabili su System-on-Chip neuromorfici e ultra-efficienti rimane una tematica di ricerca aperta.

Questo Incarico di Ricerca si inserisce nel contesto del progetto RoboMix2 e ha come obiettivo principale lo studio e lo sviluppo di tecniche di visual odometry basate su eventi e frame, con particolare attenzione alla loro implementazione ed esecuzione su piattaforme ultra-low-power quali GAP9 e Kraken.

In particolare, l'attività di ricerca si concentrerà sui seguenti aspetti:

1. Progettazione e analisi di pipeline di visual odometry ibride, che combinino elaborazione event-based (ad esempio tramite SNN o modelli asincroni) ed elaborazione frame-based (ANN), valutandone accuratezza, latenza e robustezza.
2. Ottimizzazione algoritmica e architetturale delle soluzioni di visual odometry per rispettare i vincoli di memoria, potenza e throughput tipici di SoC ultra-low-power.
3. Deployment e validazione su hardware reale, con particolare riferimento a SoC come GAP9 e Kraken, includendo l'integrazione con sensori event-based e frame-based e la valutazione su piattaforme robotiche rappresentative.

L'attività contribuirà agli obiettivi scientifici e tecnologici del progetto **RoboMix2**, avanzando lo stato dell'arte nella percezione neuromorfica per la robotica, e fornendo soluzioni concrete per la visual odometry efficiente su sistemi embedded di nuova generazione.