

Titre de la thèse

Optimisation de la transmission de flux vidéo sphérique pour la téléopération immersive de robots autonomes

Contexte et motivation

Cette thèse rentre dans le cadre d'une nouvelle collaboration entre le laboratoire DRIVE de l'Université Bourgogne Europe sur le campus de Nevers en France (<https://drive.ube.fr/>) et le laboratoire CNRS-AIST JRL, IRL 3218 à Tsukuba au Japon (<http://jrl.cnrs.fr>).

La téléopération de robots est un enjeu clé dans de nombreux domaines, allant de l'exploration en environnements hostiles (zones sinistrées, sites industriels dangereux, espaces sous-marins ou extraterrestres) à la maintenance d'infrastructures critiques et à l'assistance humaine. L'utilisation de caméras 360° permet d'améliorer la perception et l'immersion de l'opérateur, facilitant ainsi le contrôle à distance et l'interaction avec l'environnement.

Cependant, la transmission en temps réel de ces flux vidéo haute définition et à géométrie non conventionnelle pose plusieurs défis majeurs :

1. **Optimisation de la bande passante** : Comment transmettre efficacement une vidéo sphérique en garantissant une faible latence et une haute qualité là où c'est nécessaire ?
2. **Reconstruction 3D et SLAM à distance** : Comment combiner l'analyse visuelle et la cartographie simultanée pour une meilleure perception et navigation des robots ?
3. **Adaptation au contexte et aux contraintes réseau** : Comment ajuster dynamiquement la transmission en fonction des besoins de l'opérateur et des ressources disponibles ?

Cette thèse propose d'explorer des stratégies avancées de **compression, tuilage adaptatif et multicast intelligent**, en exploitant un **maillage sphérique uniforme** pour optimiser la transmission des flux vidéo dans un contexte de téléopération de robots en **commande partagée**.

Objectifs scientifiques et techniques

L'objectif principal est de concevoir un cadre de transmission efficace permettant une interaction fluide entre un opérateur distant et un robot équipé de caméras 360°, en minimisant l'utilisation des ressources réseau et computationnelles.

1. Transmission optimisée du flux vidéo sphérique
 - Développement d'une stratégie de **tuilage sphérique adaptatif**, où seules les régions pertinentes de la vidéo sont transmises en haute définition. Exploitation des informations contextuelles :
 - o Regard de l'opérateur pour prioriser les tuiles les plus visibles.
 - o Dynamique de la scène pour détecter les régions les plus informatives.
 - Intégration d'un mécanisme de **multicast intelligent**, permettant une transmission différenciée selon les destinataires (opérateur, algorithmes de vision, archivage, etc.).
2. Reconstruction 3D et SLAM distribué pour une téléopération augmentée
 - Développement d'une approche combinant **SLAM distribué et transmission sélective des tuiles** contenant le plus d'informations visuelles.
 - Optimisation du compromis entre **qualité de visualisation** (pour l'opérateur) et **précision de la reconstruction 3D** (pour la navigation du robot).
 - Intégration d'une gestion dynamique des ressources réseau et calcul pour assurer une adaptation aux **contraintes de latence et de bande passante**.
3. Validation et expérimentation sur différents types de robots
 - Les expérimentations seront réalisées soit sur des humanoïdes au sein du **laboratoire CNRS-AIST JRL au Japon** et avec une flotte de drones au sein du **laboratoire DRIVE à Nevers** pour évaluer l'efficacité de la méthode dans des scénarios variés à définir pendant la thèse.
 - **Analyse des performances** de latence, robustesse et qualité perçue de la téléopération.

Verrous scientifiques et techniques

- Comment assurer une **transmission temps réel et faible latence** pour un flux vidéo immersif en contexte réseau contraint ?
- Quelle est la meilleure stratégie de **tuilage sphérique et de priorisation des flux** pour équilibrer immersion et efficacité de la reconstruction 3D ?
- Comment concevoir un **multicast intelligent et adaptatif** capable d'optimiser la transmission en fonction des différents récepteurs et de leurs besoins ?
- Quelle rétroaction la latence et la gigue du flux vidéo doit-elle avoir sur la conduite téléopérée d'un humanoïde ? D'un drone ?

Applications et impact

Les résultats de cette thèse pourront être appliqués à de nombreux domaines :

- **Exploration et intervention en environnement extrême** (ex. robots de secours en zones sinistrées, missions spatiales).
- **Inspection et maintenance d'infrastructures critiques** (ex. téléopération de robots industriels ou d'inspection sous-marine).
- **Surveillance et sécurité** (ex. patrouilles autonomes avec assistance humaine).
- **Assistance et interaction humain-robot** (ex. robots humanoïdes d'assistance téléopérés).

Profil demandé :

Les candidats doivent posséder un diplôme de Master ou d'ingénieur en informatique. De bonnes connaissances en I.A. et apprentissage automatique et profond, ainsi que des compétences pratiques en programmation et des outils logiciels (par exemple, Python, C++) et un Anglais courant (écrit et parlé) sont requis. Les candidats doivent être motivés pour apprendre rapidement et travailler efficacement sur des problèmes de recherche difficiles

Financement :

Double financement avec une première période sur Nevers (bourse projet européen) puis une seconde période à Tsukuba au Japon (bourse AIST japon).

Dates importantes :

Dossier à envoyer pour **début Mai 2025**

Début du contrat : **Septembre/ Octobre 2025**

Direction / codirection de la thèse :

Sidi Mohammed Senouci, Professeur, Université Bourgogne Europe, email : sidi-mohammed.senouci@ube.fr

Guillaume Caron, Co-directeur du CNRS-AIST JRL, IRL 3218, Tsukuba, Japon, email : guillaume.caron@cnrs.fr

Philippe Brunet, MCF, Université Bourgogne Europe, email : philippe.brunet@u-bourgogne.fr

Comment candidater :

Toute candidature devra être adressée par mail qui devrait avoir comme sujet "Application for PhD position UBE / CNRS-AIST JRL" et doit impérativement contenir les éléments suivants :

- un Curriculum Vitae détaillé (contenant notamment une description du cursus universitaire et une description de l'expérience professionnelle et de stage),
- les notes obtenues en Master/Ingénieur (avec si possible le classement),
- une liste des publications (y compris mémoire(s), rapport(s) de stage),
- Lettre de motivation
- Lettres de recommandations de personnes ayant déjà travaillé avec ou encadré le candidat (lettre d'encadrant de Master ou de stage par exemple) – éléments pouvant être envoyés plus tard si pas encore disponibles.

PhD Title

Optimized Transmission of Spherical Video Streams for Immersive Teleoperation of Autonomous Robots

Context and Motivation

This PhD project is part of a new collaboration between the **DRIVE Laboratory** at **Université Bourgogne Europe** on the Nevers campus in France (<https://drive.ube.fr/>) and the **CNRS-AIST JRL Laboratory**, IRL 3218 in Tsukuba, Japan (<http://jrl.cnrs.fr>).

Robot teleoperation is a key challenge in many fields, from exploration in hazardous environments (disaster zones, dangerous industrial sites, underwater or space missions) to the maintenance of critical infrastructure and human assistance. The use of **360° cameras** enhances the operator's perception and immersion, thereby facilitating remote control and interaction with the environment.

However, real-time transmission of such high-definition and non-conventional geometry video streams presents several major challenges:

1. **Bandwidth optimization:** How can we efficiently transmit spherical video while ensuring low latency and high quality where it matters most?
2. **Remote 3D reconstruction and SLAM:** How can visual analysis and simultaneous mapping be combined for better perception and navigation?
3. **Context-aware and network-constrained adaptation:** How can transmission be dynamically adjusted based on operator needs and available resources?

This PhD position aims to explore advanced strategies such as adaptive tiling, intelligent multicast, and spherical mesh optimization to enhance video streaming in a shared-control robot teleoperation context.

Scientific and Technical Objectives

The main goal is to design an efficient transmission framework enabling **smooth interaction** between a remote operator and a robot equipped with **360° cameras**, while minimizing network and computational resource usage.

1. Optimized Transmission of Spherical Video Streams
 - Development of an **adaptive spherical tiling strategy**, transmitting only the most relevant regions in high definition. Leveraging **contextual information**:
 - Operator's gaze to prioritize visible tiles.
 - Scene dynamics to detect the most informative regions.
 - Integration of an **intelligent multicast mechanism**, enabling differentiated transmission depending on corresponding recipients (operator, vision algorithms, archiving, etc.).
2. Distributed 3D Reconstruction and SLAM for Enhanced Teleoperation
 - Development of a method combining **distributed SLAM and selective tile transmission** based on visual information density.
 - Optimizing the trade-off between **visual quality** (for the operator) and **3D reconstruction accuracy** (for robot navigation).
 - Integration of **dynamic network and computing resource management** to adapt to latency and bandwidth constraints.
3. Validation and Experiments on Various Robot Platforms
 - Experiments will be conducted on humanoid robots at the CNRS-AIST JRL lab in Japan, and on drone fleets at the DRIVE lab in Nevers, to evaluate the effectiveness of the proposed approach in diverse, real-world scenarios.
 - Performance analysis will include **latency, robustness, and perceived teleoperation quality**.

Scientific and Technical Challenges

- How to ensure **real-time, low-latency transmission** of immersive video streams under constrained networks?

- What is the **optimal spherical tiling and prioritization strategy** to balance immersion and 3D reconstruction performance?
- How to design an **adaptive and intelligent multicast system** optimized for heterogeneous recipients with varying requirements?
- What is the impact of video stream **latency and jitter** on teleoperated driving of humanoids or drones?

Applications and Impact

The outcomes of this thesis can be applied in multiple domains:

- **Exploration and intervention** in extreme environments (e.g., rescue robots in disaster zones, space missions).
- **Inspection and maintenance** of critical infrastructure (e.g., industrial or underwater inspection robots).
- **Surveillance and security** (e.g., autonomous patrols with human-in-the-loop).
- **Human-robot assistance and interaction** (e.g., teleoperated humanoid assistance robots).

Expected profile:

Applicants must hold a Master's or Engineering degree in Computer Science. Solid knowledge in Artificial Intelligence, including machine learning and deep learning, as well as practical skills in programming and software tools (e.g., Python, C++) are required. Fluent English (written and spoken) is also essential. Candidates must be highly motivated, quick learners, and able to work effectively on challenging research problems.

Funding:

This position is supported by dual funding:

- The first phase will take place in Nevers, France (funded by a European project).
- The second phase will be conducted in Tsukuba, Japan (funded by AIST Japan).

Important dates:

Application deadline: **Early May 2025**

Expected start date: **September / October 2025**

PhD Supervision / Co-supervision:

Sidi Mohammed Senouci, Professor, Université Bourgogne Europe, email : sidi-mohammed.senouci@ube.fr

Guillaume Caron, Co-director du CNRS-AIST JRL, IRL 3218, Tsukuba, Japon, email : guillaume.caron@cnrs.fr

Philippe Brunet, Associate Professor, Université Bourgogne Europe, email : philippe.brunet@u-bourgogne.fr

How to apply:

Applications must be submitted via email with the subject line: "Application for PhD position UBE / CNRS-AIST JRL" and must include the following documents:

- A detailed Curriculum Vitae (including academic background and descriptions of professional and internship experience)
- Academic transcripts from Master's/Engineering degree (including ranking if available)
- A list of publications (including any thesis/dissertation, internship reports)
- A motivation letter
- Recommendation letters from individuals who have worked with or supervised the candidate (such as Master's or internship supervisors) - these can be sent later if not immediately available.