

Master thesis : Cell-Free Massive MIMO with Dynamic Metasurface Antennas: Uplink Resource Allocation under Max-Min Fairness

Auteur : Innaurato, Arnaud

Promoteur(s) : Vanderheyden, Benoît

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master : ingénieur civil électricien, à finalité spécialisée en "electronic systems and devices"

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/26091>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Cell-Free Massive MIMO with Dynamic Metasurface Antennas

Uplink Resource Allocation under Max-Min Fairness

Arnaud Innaurato

Master's thesis completed in order to obtain the degree of

Master of Science in Electrical Engineering

Supervisor: Prof. Benoît Vanderheyden

Daily advisor: Mr. Muteen Munawar

Academic Year **2025 – 2026**

Abstract

Cell-Free massive MIMO is a promising architecture for future wireless networks. Instead of relying on a single base station, it distributes many Access Points (APs) across the coverage area and serves all users jointly, eliminating the coverage problems that arise at cell edges. Deploying cell-free, however, requires a massive number of APs, each equipped with multiple antennas, which leads to considerable hardware complexity and energy consumption. In particular, conventional fully-digital architectures, which assign one Radio Frequency (RF) chain per antenna element, quickly become prohibitively costly and power-hungry.

Dynamic Metasurface Antennas (DMAs) directly address this problem. A DMA performs analog beamforming through tunable metamaterial elements embedded in waveguides. A single RF chain can drive a large number of radiating elements simultaneously. This significantly reduces both hardware complexity and power consumption compared to fully-digital or hybrid architectures, making DMAs well suited for large-scale deployments.

This thesis investigates the use of DMAs as AP hardware in a Cell-Free massive MIMO network. The first part builds the necessary background: the electromagnetic behavior of DMA elements is characterized through the Lorentzian resonance model, which inherently couples the phase and amplitude of each element and constitutes the central hardware constraint of this work.

The second part addresses the uplink problem under a max-min Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (SINR) fairness criterion for DMA-enhanced Cell-Free MIMO, ensuring uniform Quality of Service (QoS) across all users. The resulting optimization problem involves three coupled sets of variables: digital combining vectors, per-user transmit powers, and DMA weight matrices. To solve this non-convex problem, an alternating optimization framework is developed. Within this framework, two algorithms are proposed for updating the DMA weights: one based on Semidefinite Relaxation (SDR) and another based on Gradient-Ascent (GA) over the Lorentzian phase parameters.

Simulations in an Indoor Factory environment show that both algorithms achieve a 6–8 dB gain over an unoptimized baseline and stay within 2.5–4 dB of the fully-digital upper bound. Distributing antennas across multiple access points consistently improves the worst-user SINR, confirming the macro-diversity benefit of the Cell-Free architecture. Overall, these results demonstrate that DMA-based Cell-Free Massive MIMO constitutes a practical, cost-effective, and energy-efficient solution for next-generation industrial wireless systems.