

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**

Illustrations

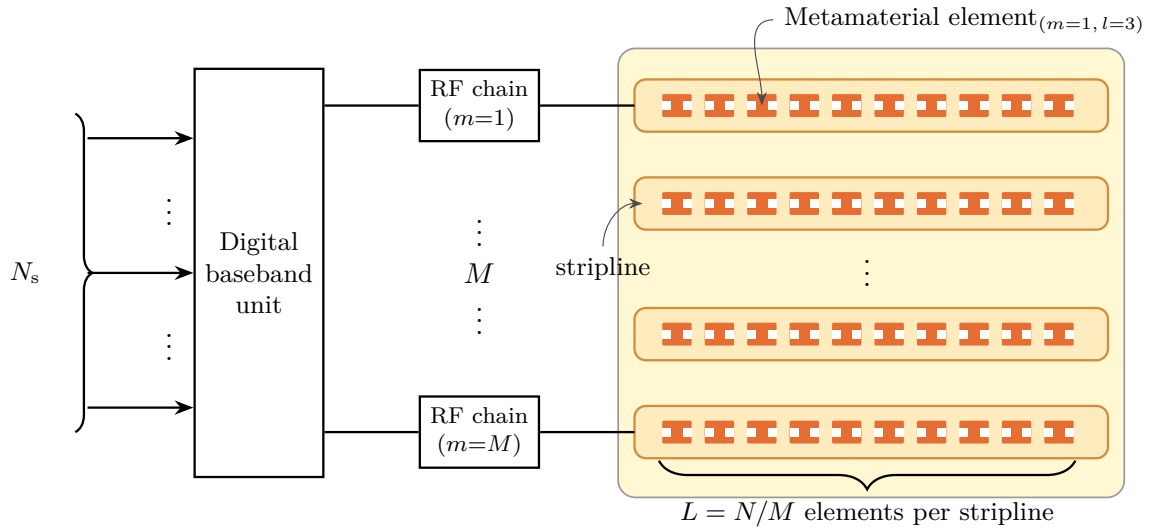


Figure 1. Structure of a Dynamic Metasurface Antenna (DMA) used in this work. A digital baseband unit feeds M Radio Frequency (RF) chains, each exciting a stripline loaded with L tunable metamaterial elements. The resulting architecture enables analog beamforming in the wave domain with a drastically reduced number of RF chains compared to fully digital MIMO.

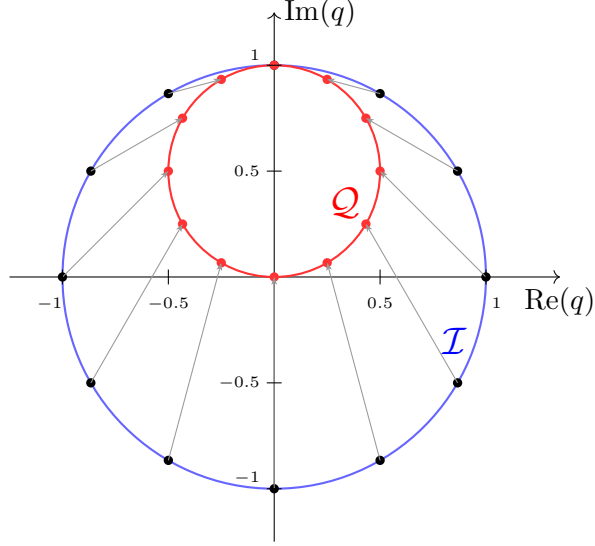


Figure 2. Feasible set of DMA weights under the Lorentzian constraint. Ideal beamforming coefficients lie on the unit circle (set $\mathcal{I}$), enabling independent phase control with constant amplitude. In contrast, Lorentzian-constrained coefficients (set $\mathcal{Q}$) are restricted to a shifted circle in the complex plane, reflecting the intrinsic coupling between amplitude and phase imposed by the resonant behavior of the metamaterial elements. This constraint fundamentally limits the achievable beamforming performance and motivates the proposed optimization strategies.

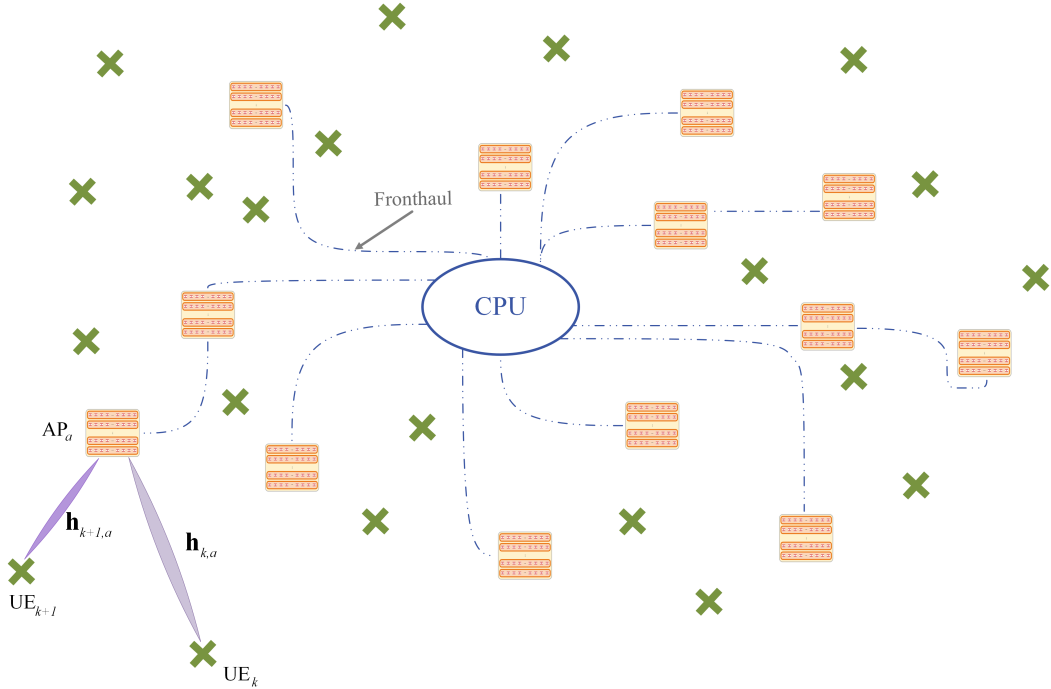


Figure 3. DMA-enhanced Cell-Free Massive MIMO architecture. Multiple distributed Access Points (APs), each equipped with a DMA array, jointly serve all User Equipments (UEs) and forward the received signals to a Central Processing Unit (CPU) for fully centralized detection.

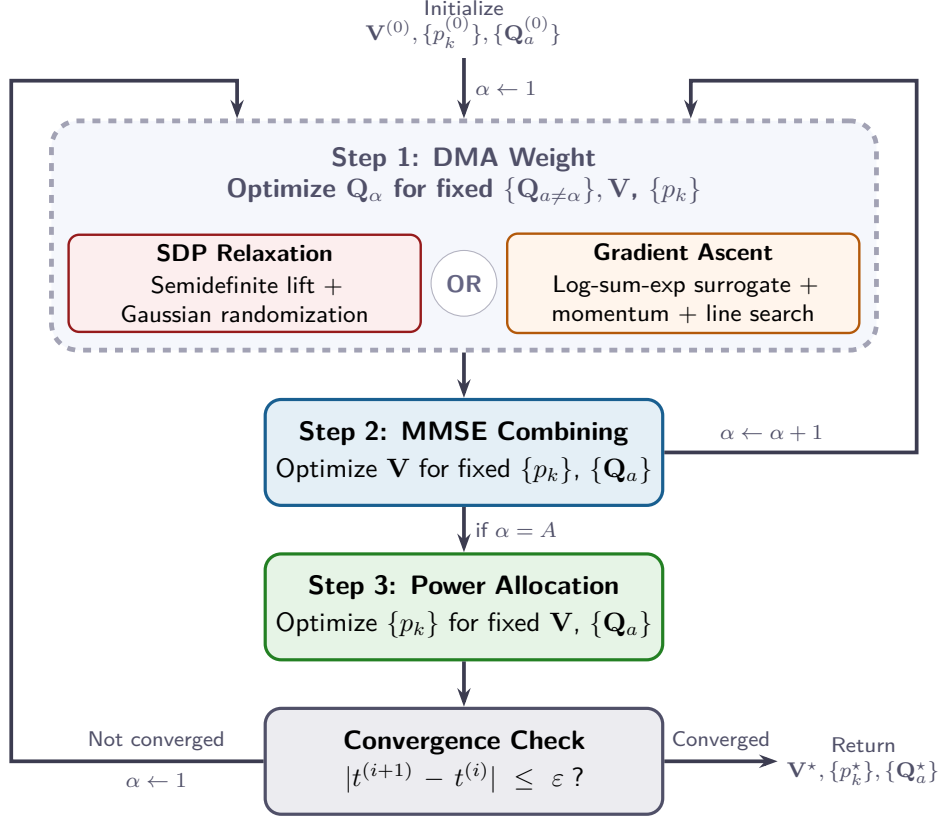


Figure 4. Schematic illustration of the proposed algorithms based on Alternating Optimization (AO), highlighting how the system parameters are repeatedly refined until a stable performance is reached.

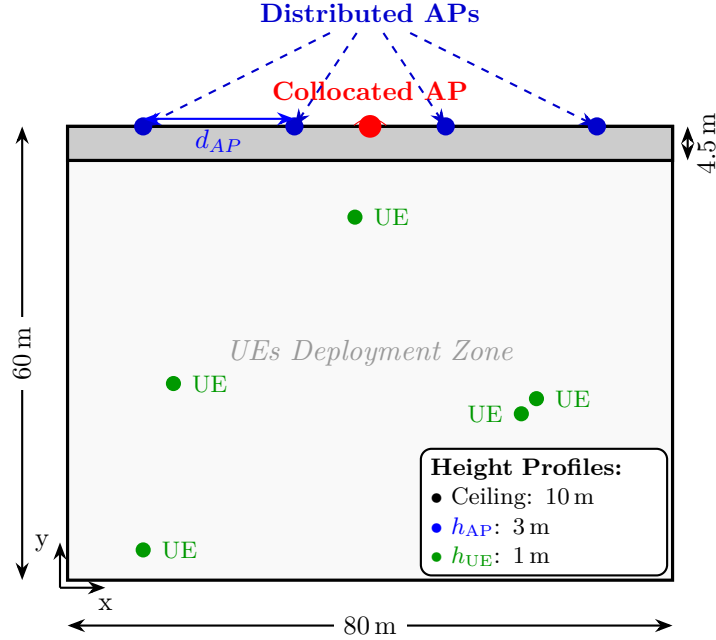


Figure 5. Simulation setup used for performance evaluation. The indoor factory environment spans 80×60 m, with User Equipments randomly distributed in the deployment area. Both collocated and distributed AP configurations are considered, with realistic height profiles for ceiling, APs, and UEs.

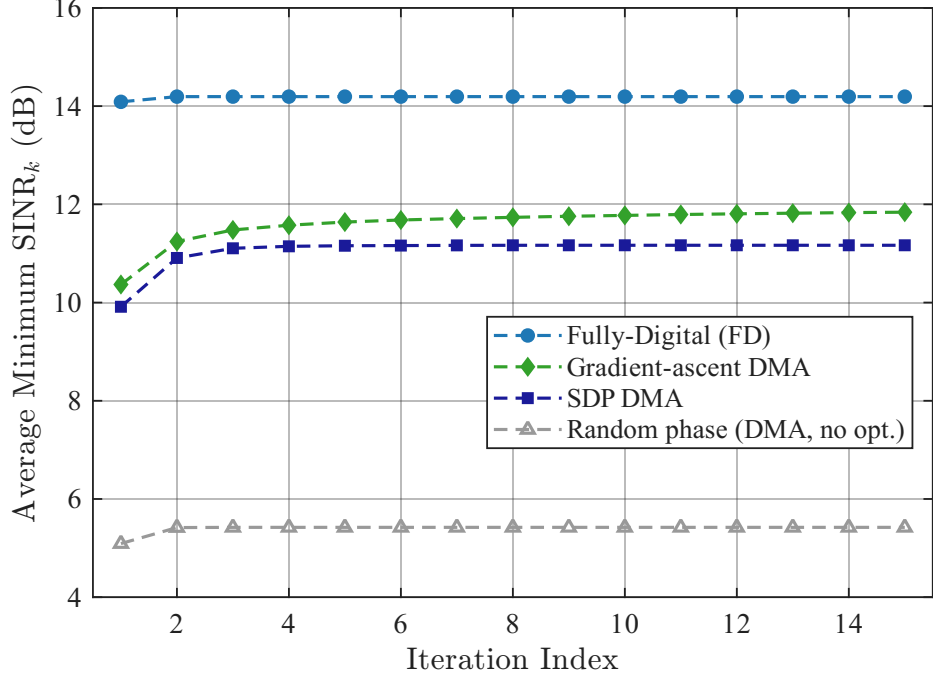


Figure 6. Convergence behavior of the proposed alternating optimization algorithms. The evolution of the average minimum SINR is shown across iterations for the SDR-based and gradient-ascent (GA) DMA optimization schemes, compared to a fully-digital (FD) benchmark and a non-optimized DMA baseline. Both proposed methods significantly improve the worst-user performance and approach the FD upper bound.

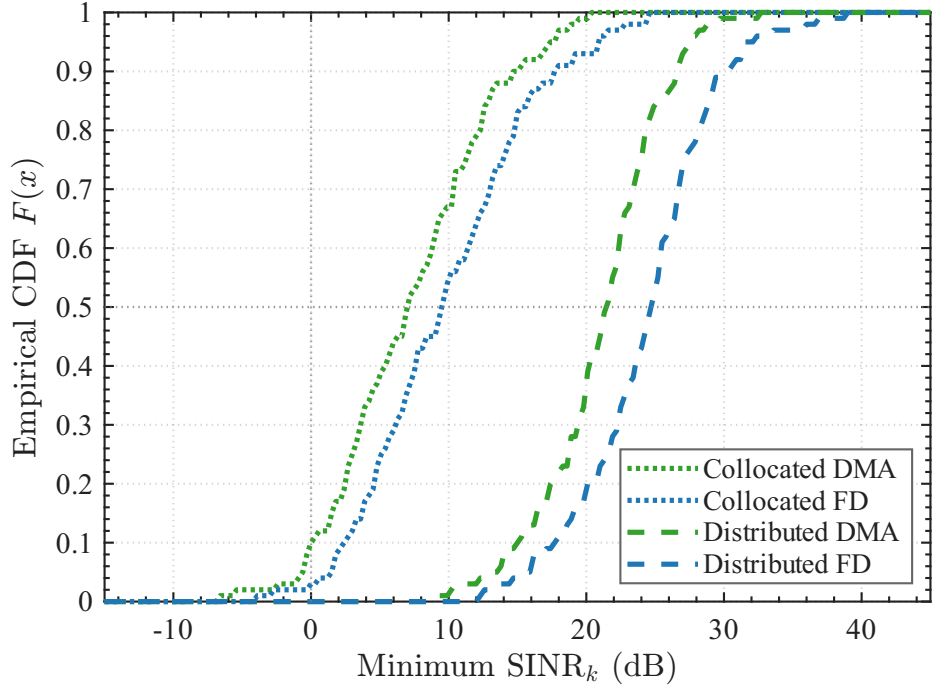


Figure 7. Empirical cumulative distribution function (CDF) of the minimum user SINR for different architectures. Distributed (Cell-Free) deployments consistently outperform collocated setups for both DMA-based and fully digital systems, highlighting the macro-diversity gain of Cell-Free Massive MIMO.