**Ứng dụng GNN trong môi trường IoT-Edge-5G**

Đặc điểm môi trường

Mạng biên 5G là môi trường mạng phức tạp, có tính phi tập trung cao, nhiều node kết nối đồng thời (người dùng/thiết bị), chuyển giao liên tục (handover), số lượng dịch vụ biên tăng mạnh (edge computing), và đòi hỏi bảo mật thời gian thực.

Vai trò của GNN ( Graph Neural Network )

 **Phát hiện tấn công tại node biên:** Triển khai GNN trên gateway hoặc thiết bị edge, inference trực tiếp embedding để cảnh báo tấn công/tải trọng bất thường, giảm độ trễ phản ứng so với phải gửi dữ liệu về cloud để phân tích.

 **Tối ưu hóa quản lý tài nguyên, định tuyến adaptive, bảo trì dự đoán:** GNN giúp định tuyến các dịch vụ thông minh, cân bằng tải, phát hiện khiếm khuyết/mất kết nối nhờ phân tích topology động.

 **GraphSAINT, ClusterGCN, NeighborLoader:** Sử dụng kỹ thuật sampling lân cận để chia nhỏ đồ thị thật lớn thành tập data nhỏ hơn, enable training/inferring near real-time trên thiết bị biên với hạn chế RAM/CPU.

Tối ưu hóa GNN cho thiết bị biên

Vấn đề của GNN với thiết bị biên là:

* Giới hạn tài nguyên (RAM, Compute, năng lượng)
* Đồ thị lớn, nhiều node/edge
* Yêu cầu inference thời gian thực (real-time)

Giải pháp chính

* Sử dụng sampling (GraphSAGE, GraphSAINT, ClusterGCN): Lấy mẫu ngẫu nhiên tập node/edge cục bộ, giảm chi phí tính toán, ổn định học máy (tránh overfitting/over-smoothing).
* Auto-Designed Lightweight GNN (ALGNN, LightGNN): Sử dụng kiến trúc GNN nhẹ, pruning mạng, distillation knowledge, tìm kiếm tự động thông qua NAS/PSO/MOPSO để giảm số tham số, tiêu thụ.
* Tối ưu message passing, sử dụng attention Mechanism: Tập trung vào đường truyền quan trọng, giảm số lượng thông điệp phải truyền tải.
* Học liên tục (Continual Learning, Elastic GNN): Giúp cập nhật mô hình nhanh theo thời gian mà không cần đào tạo lại từ đầu, đáp ứng môi trường mạng thay đổi động; chống "quên lãng thảm họa" (catastrophic forgetting).