

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**



**Dương Minh Ngọc**

**NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN TÍNH NĂNG PHỐI  
HỢP HOẠT ĐỘNG GIỮA CHẾ ĐỘ GPS VÀ PTP 1588  
TRONG ĐỒNG BỘ THỜI GIAN CHO TRẠM  
GNODEB 5G**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY**

**Ngành: Kỹ Thuật Máy Tính**

**HÀ NỘI - 2022**

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

**Dương Minh Ngọc**

**NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN TÍNH NĂNG PHỐI  
HỢP HOẠT ĐỘNG GIỮA CHẾ ĐỘ GPS VÀ PTP 1588  
TRONG ĐỒNG BỘ THỜI GIAN CHO TRẠM  
GNODEB 5G**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY**

**Ngành: Kỹ Thuật Máy Tính**

**Cán bộ hướng dẫn: Ths. Tăng Thiên Vũ**

**HÀ NỘI - 2022**

## TÓM TẮT

**Tóm tắt:** Mạng di động thế hệ thứ 5 (5G) sử dụng công nghệ Ghép kênh song công phân chia theo thời gian (TDD) do đó có những yêu cầu hết sức nghiêm ngặt về đồng bộ thời gian. Hiện tại, trạm thu phát gốc trong mạng 5G (gNodeB) đang hỗ trợ hai cơ chế đồng bộ thời gian hoạt động độc lập với nhau đó là cơ chế đồng bộ thời gian sử dụng GPS và cơ chế đồng bộ thời gian sử dụng giao thức PTP1588. Để có thể tận dụng được ưu điểm của cả hai nguồn đồng bộ GPS và PTP1588, đề án này nghiên cứu và đề xuất hai phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 trong đồng bộ thời gian cho trạm gNodeB. Hai phương án phối hợp đã đề xuất được tiến hành thử nghiệm trên một hệ đo thực tế cho thấy trạm gNodeB đã được đồng bộ thời gian sử dụng phối hợp cả hai nguồn GPS và PTP1588, đạt được hiệu quả đồng bộ thời gian cao, thỏa mãn tiêu chuẩn đồng bộ thời gian trong mạng 5G – NR là  $TE < 1.5 \mu s$ . Đây là những kết quả ban đầu đáng hứa hẹn, góp phần nâng cao hiệu quả đồng bộ thời gian trong mạng 5G.

**Từ khóa:** 5G, TDD, gNodeB, GPS, PTP1588, TE.

## LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên cho phép em được gửi lời cảm ơn tới Khoa Điện tử viễn thông – Trường Đại Học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội và Trung tâm Vô tuyến Băng thông rộng - Khối 2 – Tổng Công Ty Công nghiệp Công nghệ cao Viettel đã tạo điều kiện thuận lợi cho em được học tập, nghiên cứu và thực hiện đồ án tốt nghiệp này.

Em cũng xin được bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới Ths. Tăng Thiên Vũ và anh Hoàng Đức Trường đã dành thời gian quý báu, tận tình hướng dẫn, đóng góp những ý kiến xác đáng để em có thể hoàn thành đồ án một cách tốt nhất.

Em cũng vô cùng biết ơn những thầy cô trong trường, trong khoa đã tận tình giảng dạy, trang bị cho em những kiến thức quan trọng để em có hành trang vững chắc cho con đường tương lai của mình.

Em cũng xin gửi lời cảm ơn chân thành đến gia đình, bạn bè đã giúp đỡ, ủng hộ em trong quá trình học tập và thực hiện đồ án này.

Chúc mọi người luôn hạnh phúc và gặt hái được nhiều thành công trong cuộc sống.

## **LỜI CAM ĐOAN**

Em xin cam đoan nội dung được trình bày trong Đồ án tốt nghiệp “Nghiên cứu và phát triển tính năng phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP 1588 trong đồng bộ thời gian cho trạm gNodeB 5G” đều do em thực hiện dưới sự hướng dẫn của ThS. Tăng Thiên Vũ. Các số liệu, kết quả được nêu trong đồ án hoàn toàn trung thực. Tất cả các nội dung tham khảo và nghiên cứu đều được trích dẫn nguồn gốc rõ ràng trong mục tài liệu tham khảo. Nếu phát hiện bất kỳ sự gian lận nào, em xin chịu trách nhiệm trước Hội đồng cũng như kết quả đồ án của mình.

Hà Nội, ngày    tháng    năm

2022

Sinh viên

Dương Minh Ngọc

## MỤC LỤC

<b>TÓM TẮT .....</b>	<b>i</b>
<b>LỜI CẢM ƠN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LỜI CAM ĐOAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>DANH SÁCH HÌNH VẼ.....</b>	<b>vii</b>
<b>DANH SÁCH BẢNG .....</b>	<b>ix</b>
<b>MỞ ĐẦU .....</b>	<b>1</b>
<b>CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU VỀ TRẠM THU PHÁT GỐC GNODEB VÀ TỔNG QUAN VẤN ĐỀ ĐỒNG BỘ HÓA THỜI GIAN TRONG MẠNG 5G.....</b>	<b>3</b>
1.1. Giới thiệu về trạm thu phát gốc.....	3
1.1.1. Kiến trúc cơ bản của mạng truy cập di động .....	3
1.1.2. Vai trò của trạm thu phát gốc.....	5
1.1.3. Cấu trúc trạm thu phát gốc.....	6
1.1.3.1. Đường ống xử lý gói tin .....	6
1.1.3.2. Cấu trúc trạm thu phát gốc với các loại mạng RAN khác nhau. ....	7
1.1.4. Giới thiệu về trạm thu phát gốc gNodeB do Viettel sản xuất.....	9
1.2. Tổng quan về vấn đề đồng bộ hóa thời gian trong mạng 5G.....	10
1.2.1. Công nghệ ghép kênh song công phân chia theo thời gian .....	11
1.2.2. Các loại nhiễu trong môi trường TDD .....	11
1.2.3. Các loại đồng bộ hóa .....	14
1.2.4. Các yêu cầu tiêu chuẩn về đồng bộ hóa thời gian.....	16
1.2.5. Các chỉ tiêu đánh giá chất lượng đồng bộ thời gian.....	17
1.2.6. Mô hình đồng bộ hóa thời gian trong mạng 5G.....	17
<b>CHƯƠNG 2: CHẾ ĐỘ HOẠT ĐỘNG GPS VÀ PTP1588 TRONG ĐỒNG BỘ THỜI GIAN CHO TRẠM GNODEB 5G .....</b>	<b>19</b>
2.1. Chế độ hoạt động GPS.....	19
2.2. Chế độ hoạt động PTP1588 .....	21
2.2.1. Giao thức thời gian chính xác .....	21
2.2.1.1. Thuật toán BMC.....	22
2.2.1.2. Đồng bộ hóa thời gian giữa đồng hồ chủ và đồng hồ nô lệ .....	23
2.2.2. Quy trình đồng bộ thời gian sử dụng giao thức PTP tại trạm gNodeB.....	24

2.3. So sánh giữa chế độ hoạt động GPS và PTP1588.....	26
2.4. Mô hình đồng bộ thời gian của trạm gNodeB và nhu cầu cải tiến.....	26
<b>CHƯƠNG 3: ĐỀ XUẤT PHƯƠNG ÁN PHỐI HỢP HOẠT ĐỘNG GIỮA CHẾ ĐỘ GPS VÀ PTP1588 TRONG ĐỒNG BỘ THỜI GIAN CHO TRẠM GNODEB 5G .....</b>	<b>28</b>
3.1. Phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian. ....	28
3.2. Phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588.....	31
<b>CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ.....</b>	<b>34</b>
4.1. Mô hình hệ đo.....	34
4.2. Các thiết bị sử dụng .....	34
4.3. Hình ảnh thực tế hệ đo.....	37
4.4. Tiến hành các thử nghiệm.....	38
4.4.1. Thử nghiệm đo chất lượng đồng bộ thời gian sử dụng chế độ GPS .....	38
4.4.1.1. Mục tiêu thử nghiệm .....	38
4.4.1.2. Kết quả thử nghiệm .....	38
4.4.1.3. Nhận xét kết quả.....	39
4.4.2. Thử nghiệm đo chất lượng đồng bộ thời gian sử dụng chế độ PTP1588.....	39
4.4.2.1. Mục tiêu thử nghiệm .....	39
4.4.2.2. Kết quả thử nghiệm .....	40
4.4.2.3. Nhận xét kết quả.....	40
4.4.3. Thử nghiệm đo chất lượng đồng bộ thời gian sử dụng phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian.....	41
4.4.3.1. Mục tiêu thử nghiệm .....	41
4.4.3.2. Thực hiện thử nghiệm. ....	41
4.4.3.3. Kết quả thử nghiệm. ....	42
4.4.3.4. Nhận xét kết quả.....	43
4.4.4. Thử nghiệm đo chất lượng đồng bộ thời gian sử dụng phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588.....	43
4.4.4.1. Mục tiêu thử nghiệm. ....	43
4.4.4.2. Thực hiện thử nghiệm. ....	43
4.4.4.3. Kết quả thử nghiệm. ....	45

4.4.4.4. Nhận xét kết quả.....	45
<b>CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ TRIỂN VỌNG PHÁT TRIỂN .....</b>	<b>46</b>
5.1. Kết luận.....	46
5.2. Triển vọng phát triển. ....	46
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>48</b>



## DANH SÁCH HÌNH VẼ

Hình 1.1: Kiến trúc cơ bản của mạng truy cập di động.....	3
Hình 1.2: Mạng lõi được phân chia thành Mặt phẳng điều khiển và Mặt phẳng người dùng.....	4
Hình 1.3 Đường ống xử lý gói tin, bao gồm các thành phần của mặt phẳng người dùng và mặt phẳng điều khiển .....	6
Hình 1.4: Đường ống xử lý gói tin được phân phối qua CU, DU và RU.....	7
Hình 1.5: D-RAN với RRU và BBU cùng nằm tại mỗi trạm gốc .....	8
Hình 1.6: C-RAN với BBU (gồm DU, RU) được di chuyển tới một vị trí trung tâm, trạm thu phát gốc chỉ gồm RRU và ăng-ten. ....	9
Hình 1.7: Phần cứng trạm gNodeB do Viettel nghiên cứu, sản xuất .....	10
Hình 1.8: Công nghệ TDD với các khe thời gian được phân bổ xen kẽ cho hoạt động truyền và nhận .....	11
Hình 1.9: Các trường hợp nhiễu liên tế bào.....	12
Hình 1.10: Nhiễu trong trường hợp truyền UL/DL đồng thời. ....	14
Hình 1.11: Đồng bộ hóa tần số.....	15
Hình 1.12: Đồng bộ hóa về pha.....	15
Hình 1.13: Đồng bộ hóa thời gian.....	15
Hình 1.14: Các mô hình đồng bộ hóa thời gian trong mạng 5G .....	18
Hình 2.1: Sơ đồ phần cứng hỗ trợ cơ chế đồng bộ thời gian sử dụng tín hiệu GPS .....	19
Hình 2.2: Quy trình đồng bộ thời gian sử dụng tín hiệu GPS tại trạm gNodeB .....	20
Hình 2.3: Mô hình phân cấp chủ - nô lệ cho đồng bộ hóa thời gian trong mạng .....	21
Hình 2.4: Quá trình trao đổi các bản tin để đồng bộ hóa thời gian trong giao thức PTP...	23
Hình 2.5: Quy trình đồng bộ thời gian sử dụng giao thức PTP .....	25
Hình 2.6: Mô hình đồng bộ thời gian của trạm gNodeB .....	27
Hình 3.1: Quy trình phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP dựa trên độ lệch thời gian.....	30
Hình 3.2: Quy trình phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên $t_{\text{delay}}$ .....	33

Hình 4.1: Mô hình hệ đo .....	34
Hình 4.2: Bộ điều hợp mạng Intel Ethernet XXV710-DA2 .....	35
Hình 4.3: Timingcard do tập đoàn Viettel nghiên cứu, sản xuất .....	36
Hình 4.4: TimeProvider 4100 (TP4100).....	37
Hình 4.5: Các thiết bị được ghép nối trong một hệ đo thực tế.....	38
Hình 4.6: Đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC sử dụng nguồn đồng bộ GPS .....	39
Hình 4.7: TE của PHC khi được đồng bộ thời gian sử dụng chế độ GPS.....	39
Hình 4.8: Đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC sử dụng nguồn đồng bộ PTP1588 .....	40
Hình 4.9: TE của PHC khi được đồng bộ sử dụng chế độ PTP1588 .....	40
Hình 4.10: TE của PHC khi sử dụng phương án phối hợp giữa chế độ hoạt động GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian.....	42
Hình 4.11: TE của PHC khi sử dụng phương án phối hợp giữa chế độ hoạt động GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588.....	45

## **DANH SÁCH BẢNG**

Bảng 1.1: Các yêu cầu về đồng bộ hóa thời gian cho mạng LTE/5G-NR .....	16
Bảng 4.1: Các trường hợp mô phỏng độ lệch thời gian của PHC với từng nguồn đồng bộ GPS và PTP1588. ....	41
Bảng 4.2: Các trường hợp mô phỏng độ trễ đường truyền bản tin PTP1588. ....	43

## MỞ ĐẦU

Trong hệ thống mạng di động thế hệ thứ 5 (5G), công nghệ Ghép kênh song công phân chia theo thời gian (Time Division Duplex –TDD) được sử dụng nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng phổ tần số. Công nghệ TDD sử dụng cùng một dải tần cho cả đường dữ liệu lên (UL) và đường dữ liệu xuống (DL) bằng cách sử dụng hai khe thời gian, một khe cho đường dữ liệu lên và một dành cho đường dữ liệu xuống với các khe thời gian phân bổ xen kẽ nhau. Do đó để tránh hiện tượng can nhiễu tín hiệu giữa đường dữ liệu lên và đường dữ liệu xuống, gây ảnh hưởng tới chất lượng dịch vụ thì yêu cầu về đồng bộ thời gian trong mạng 5G là hết sức nghiêm ngặt.

Hiện tại, trạm thu phát gốc trong mạng 5G (gNodeB) đang hỗ trợ hai cơ chế đồng bộ thời gian đó là cơ chế đồng bộ thời gian sử dụng GPS và cơ chế đồng bộ thời gian sử dụng giao thức PTP1588. Tuy nhiên, hai cơ chế đồng bộ thời gian này đang hoạt động độc lập với nhau nên không tận dụng được ưu điểm của từng nguồn đồng bộ GPS và PTP1588 khi áp dụng trong các điều kiện khác nhau. Xuất phát từ nhu cầu thực tiễn đó, đề án này sẽ đề xuất các phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 trong đồng bộ thời gian cho trạm gNodeB nhằm nâng cao hiệu quả đồng bộ thời gian trong mạng 5G.

Mục tiêu của đề án là đồng bộ thời gian cho trạm gNodeB sử dụng phối hợp cả hai nguồn đồng bộ GPS và PTP1588 tùy theo chất lượng nguồn đồng bộ nào đang tốt hơn thay vì chỉ có thể sử dụng được một nguồn đồng bộ đã cấu hình như trước đây. Phạm vi nghiên cứu của đề án giới hạn chất lượng cả hai nguồn đồng bộ GPS và 1588 đều trong ngưỡng đảm bảo để đồng bộ cho hệ thống.

Để thực hiện mục tiêu đã đề ra, đề án đã nghiên cứu cơ chế đồng bộ thời gian sử dụng tín hiệu GPS với sự hỗ trợ từ phần cứng và cơ chế đồng bộ thời gian sử dụng giao thức PTP1588 sau đó tiến hành đề xuất hai phương án để phối hợp hoạt động giữa hai cơ chế trên trong đồng bộ thời gian cho trạm gNodeB. Đề án cũng đã tiến hành thử nghiệm hiệu quả đồng bộ thời gian của từng chế độ GPS, PTP1588 và hai phương án phối hợp hoạt động đã đề xuất trên một hệ đo thực tế. Kết quả cho thấy, trạm gNodeB đã được đồng bộ thời gian sử dụng phối hợp cả hai nguồn GPS và PTP1588, đạt được hiệu quả

đồng bộ thời gian cao, thỏa mãn tiêu chuẩn đồng bộ thời gian trong mạng 5G – NR là  $TE < 1.5\mu s$ . Đây là những kết quả ban đầu đáng hứa hẹn, góp phần nâng cao hiệu quả đồng bộ thời gian trong mạng 5G.

Phần còn lại của đề án được trình bày với cấu trúc như sau. Chương 1 giới thiệu về trạm thu phát gốc gNodeB và tổng quan về vấn đề đồng bộ hóa thời gian trong mạng 5G. Chương 2 trình bày về chế độ hoạt động GPS và PTP1588 trong đồng bộ thời gian cho trạm gNodeB 5G. Chương 3 đề xuất hai phương án để phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588. Các thử nghiệm đo hiệu quả đồng bộ thời gian của từng chế độ GPS và PTP1588 cũng như hai phương án phối hợp hoạt động đã đề xuất trên một hệ đo thực tế được trình bày trong chương 4. Chương 5 tổng kết lại những kết quả đã đạt được của đề án, những điểm cần cải thiện và tiềm năng phát triển trong tương lai.

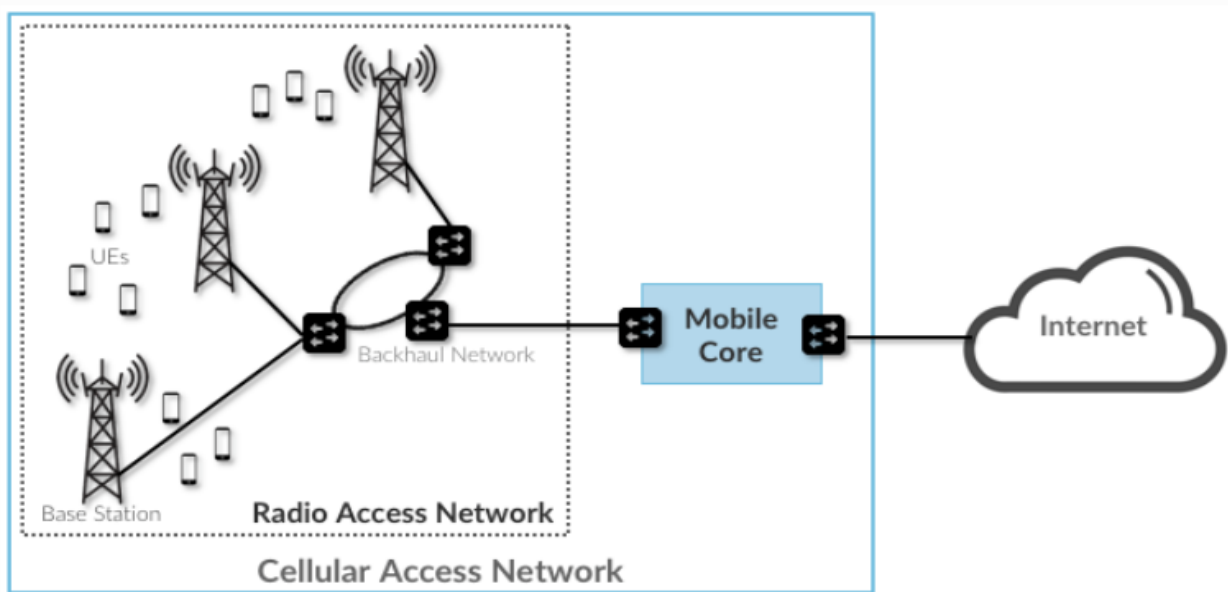
# CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU VỀ TRẠM THU PHÁT GỐC GNODEB VÀ TỔNG QUAN VẤN ĐỀ ĐỒNG BỘ HÓA THỜI GIAN TRONG MẠNG 5G

## 1.1. Giới thiệu về trạm thu phát gốc.

Trong phần này, đồ án sẽ trình bày về kiến trúc cơ bản của mạng truy cập di động (Cellular access network) từ đó cho thấy vị trí của trạm thu phát gốc (base station) trong mạng, vai trò, cấu trúc của trạm thu phát gốc và giới thiệu về trạm thu phát gốc gNodeB do tập đoàn Viettel nghiên cứu, sản xuất.

### 1.1.1. Kiến trúc cơ bản của mạng truy cập di động.

Mạng truy cập di động (Cellular access network) có vai trò cung cấp kết nối không dây tới các thiết bị đang di chuyển. Những thiết bị này, được gọi là thiết bị người dùng (User Equipment - UE). Thiết bị người dùng có thể là điện thoại thông minh, máy tính bảng, ô tô, máy bay không người lái, các loại máy công nghiệp và nông nghiệp, robot, ...



Hình 1.1: Kiến trúc cơ bản của mạng truy cập di động

Như trong hình 1.1, mạng di động bao gồm hai hệ thống con chính: Mạng truy cập vô tuyến (Radio Access Network - RAN) và Lõi di động (Mobile Core).

Mạng truy cập vô tuyến (RAN) là thành phần chủ yếu của một hệ thống viễn thông không dây, kết nối các thiết bị riêng biệt tới mạng lõi thông qua một kết nối vô tuyến (radio link). RAN quản lý phổ vô tuyến, đảm bảo nó được sử dụng hiệu quả và đáp ứng

các yêu cầu về chất lượng dịch vụ của mọi người dùng. RAN bao gồm một tập hợp các trạm thu phát gốc phân tán. Trạm thu phát gốc trong mạng 5G được gọi là gNodeB.

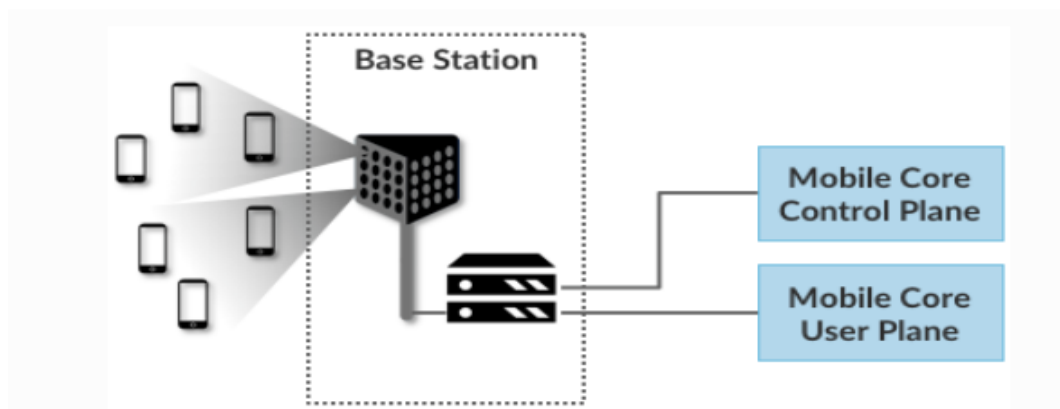
Mạng Backhaul kết nối các trạm gốc thực hiện RAN với mạng lõi. Mạng này thường có dây, có thể có hoặc không có cấu trúc liên kết vòng như trong hình 1.1. Mạng quang thụ động (Passive Optical Network - PON) là một ví dụ cho việc triển khai backhaul RAN. Mạng backhaul là một phần cần thiết của RAN, nhưng là một lựa chọn triển khai và không được quy định bởi tiêu chuẩn 3GPP.

Mạng lõi là thành phần trung tâm của mạng viễn thông, cung cấp các dịch vụ tới người sử dụng đã kết nối tới RAN. Một số chức năng của mạng lõi:

- Cung cấp kết nối Internet (IP) cho cả dịch vụ dữ liệu và thoại.
- Đảm bảo kết nối này đáp ứng các yêu cầu QoS.
- Theo dõi tính di động của người dùng để đảm bảo dịch vụ không bị gián đoạn.
- Theo dõi việc sử dụng của thuê bao để lập hóa đơn và tính phí.

Trong mạng 5G, mạng lõi được gọi là Next Generation Core (NG-Core).

Hình 1.2 vẽ lại các thành phần từ hình 1.1 để làm nổi bật hai điểm khác biệt quan trọng. Đầu tiên là mỗi trạm gốc có một thành phần tương tự (được mô tả bởi một ăng-ten) và một thành phần số (được mô tả bởi một cặp bộ xử lý). Thứ hai là mạng lõi được phân chia thành mặt phẳng điều khiển (Control Plane) và mặt phẳng người dùng (User Plane), tương tự như việc phân chia mặt phẳng điều khiển / dữ liệu trong Internet. Tầm quan trọng của sự phân chia này sẽ được thể hiện rõ ràng trong những phần sau.



Hình 1.2: Mạng lõi được phân chia thành Mặt phẳng điều khiển và Mặt phẳng người dùng

### 1.1.2. Vai trò của trạm thu phát gốc.

Trong mạng truy cập di động, trạm thu phát gốc có các vai trò sau [1]:

Đầu tiên, mỗi trạm thu phát gốc thiết lập kênh không dây cho UE của thuê bao khi khởi động hoặc chuyển giao kết nối của UE tới trạm gốc lân cận khi UE hoạt động. Kênh này được giải phóng khi UE không hoạt động trong một khoảng thời gian định trước.

Thứ hai, mỗi trạm thu phát gốc thiết lập kết nối “Mặt phẳng điều khiển 3GPP” giữa UE và thành phần mặt phẳng điều khiển của lõi di động tương ứng và chuyển tiếp lưu lượng báo hiệu (signaling traffic) giữa hai trạm. Lưu lượng báo hiệu này cho phép xác thực UE, đăng ký và theo dõi tính di động của thuê bao.

Thứ ba, đối với mỗi UE đang hoạt động, trạm thu phát gốc thiết lập một hoặc nhiều đường hầm giữa trạm gốc và thành phần mặt phẳng người dùng của lõi di động tương ứng.

Thứ tư, trạm thu phát gốc chuyển tiếp cả gói tin của mặt phẳng điều khiển và gói tin của mặt phẳng người dùng giữa mạng lõi và UE. Các gói này được đào hầm qua các giao thức SCTP / IP và GTP / UDP / IP, tương ứng. SCTP (Stream Control Transport Protocol) là một giao thức truyền tải đáng tin cậy thay thế cho TCP, được sử dụng để mang thông tin báo hiệu (điều khiển) cho các dịch vụ điện thoại. GTP ((General Packet Radio Service) Tunneling Protocol) là một giao thức đường hầm được thiết kế để chạy qua UDP.

Thứ năm, mỗi trạm thu phát gốc điều phối việc bàn giao UE với các trạm gốc lân cận, sử dụng các liên kết trực tiếp giữa trạm với trạm. Các liên kết này được sử dụng để truyền cả gói tin của mặt phẳng điều khiển (SCTP qua IP) và gói tin của mặt phẳng người dùng (GTP qua UDP / IP).

Thứ sáu, các trạm thu phát gốc điều phối quá trình truyền đa điểm không dây đến một UE từ nhiều trạm gốc, đây có thể có hoặc không là một phần của việc chuyển giao UE từ trạm gốc này sang trạm gốc khác.

Như vậy trạm thu phát gốc có thể được xem như một bộ phận giao nhận chuyên dụng. Theo hướng Internet-UE, nó phân mảnh các gói IP gửi đi thành các phân đoạn lớp vật lý và lên lịch cho chúng để truyền qua phổ vô tuyến có sẵn và theo hướng UE-Internet, nó tập hợp các phân đoạn lớp vật lý thành các gói IP và chuyển tiếp chúng (qua

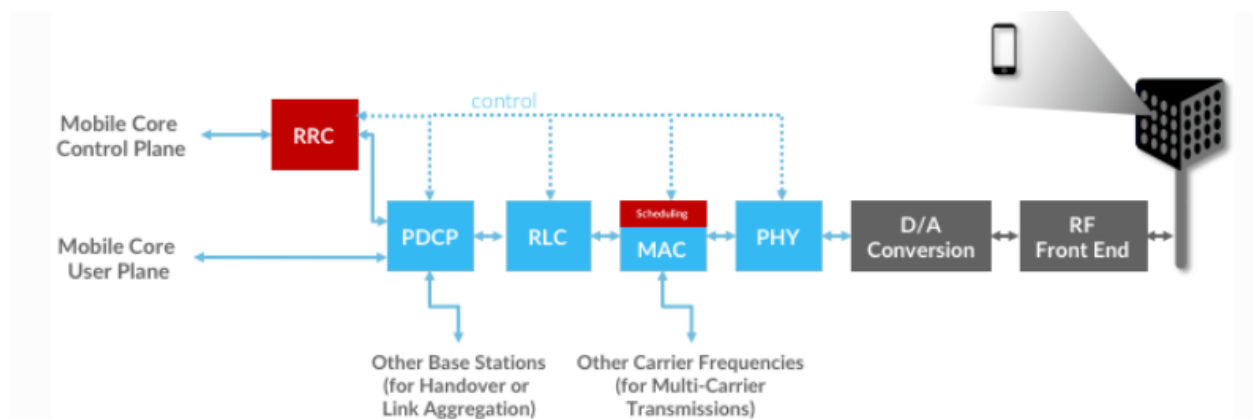


một đường hầm GTP / UDP / IP) đến mặt phẳng người dùng của mạng di động. Ngoài ra, dựa trên các quan sát về chất lượng kênh không dây và các chính sách đối với mỗi thuê bao, nó quyết định xem có nên (a) chuyển tiếp các gói gửi đi trực tiếp đến UE hay không, (b) chuyển tiếp gián tiếp các gói tới UE thông qua một trạm gốc lân cận hay (c) sử dụng nhiều con đường để tiếp cận UE.

### 1.1.3. Cấu trúc trạm thu phát gốc.

Trong phần này, đề án sẽ trình bày các giai đoạn xử lý gói tin được thực hiện bởi trạm thu phát gốc, sau đó chỉ ra cách các giai đoạn này có thể được phân phối trong các thành phần vật lý khác nhau cấu thành nên trạm gốc, xem xét các loại mạng RAN khác nhau từ đó cho thấy các cấu trúc khác nhau có thể có của trạm gốc.

#### 1.1.3.1. Đường ống xử lý gói tin.



Hình 1.3 Đường ống xử lý gói tin, bao gồm các thành phần của mặt phẳng người dùng và mặt phẳng điều khiển

Hình 1.3 cho thấy các giai đoạn xử lý gói tin được thực hiện bởi trạm thu phát gốc. Các giai đoạn này được quy định bởi tiêu chuẩn 3GPP. Hình vẽ mô tả trạm gốc như một đường ống (chạy từ trái sang phải cho các gói tin được gửi đến UE) nhưng cũng hoàn toàn hợp lệ khi xem nó như một ngăn xếp giao thức. Các giai đoạn chính của quá trình xử lý gói tin như sau [1]:

**RRC (Radio Resource Control - Kiểm soát tài nguyên vô tuyến):** Thực hiện nhiều chức năng như truyền phát thông tin, thiết lập và giải phóng các kết nối giữa UE và RAN, kiểm soát chất lượng dịch vụ. RRC chạy trong mặt phẳng điều khiển của RAN và không xử lý các gói tin trên mặt phẳng người dùng.

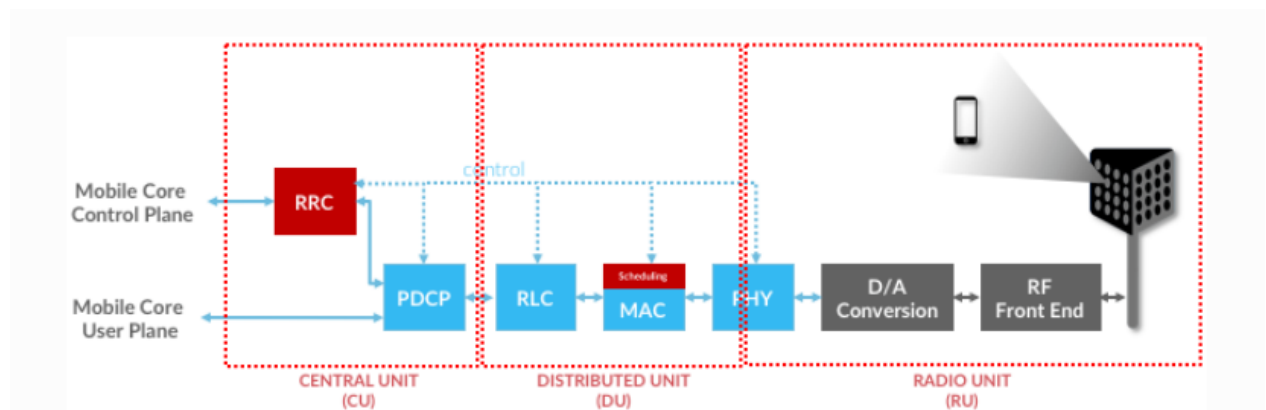
PDCP (Packet Data Convergence Protocol - Giao thức hội tụ dữ liệu gói): Chịu trách nhiệm nén và giải nén các tiêu đề IP, mật mã và bảo vệ tính toàn vẹn, đồng thời đưa ra quyết định chuyển tiếp sớm (tức là gửi gói tin xuống đường ống tới UE hay chuyển tiếp đến một trạm gốc khác).

RLC (Radio Link Control - Điều khiển liên kết vô tuyến): Chịu trách nhiệm phân đoạn và lắp ráp lại, bao gồm truyền / nhận các phân đoạn (segmentation) một cách đáng tin cậy bằng cách triển khai một dạng ARQ (automatic repeat request).

MAC (Media Access Control - Điều khiển truy cập phương tiện): Chịu trách nhiệm về các phân đoạn đệm, ghép kênh và phân kênh, bao gồm tất cả các quyết định lập lịch thời gian thực về những phân đoạn được truyền khi nào.

PHY (Physical Layer - Lớp vật lý): Chịu trách nhiệm về mã hóa và điều chế.

Cách các giai đoạn trong đường ống xử lý gói tin được phân vùng giữa các phần tử vật lý được thể hiện trong hình 1.4



Hình 1.4: Đường ống xử lý gói tin được phân phối qua CU, DU và RU

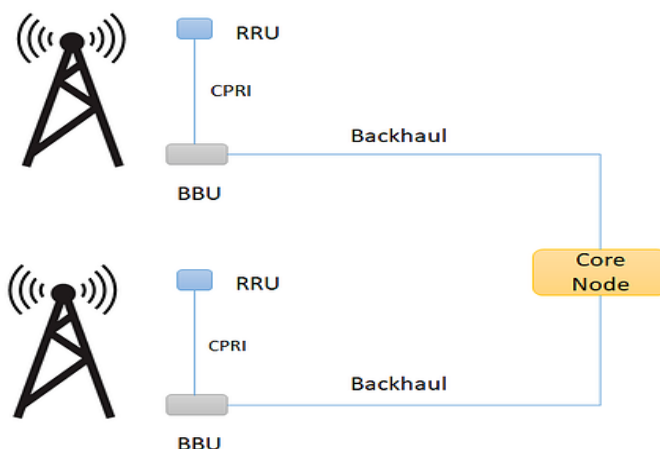
Cách phân chia trong hình 1.4 cũng như cấu trúc trạm thu phát gốc với các loại mạng RAN khác nhau sẽ được trình bày cụ thể trong phần 1.1.3.2.

#### 1.1.3.2. Cấu trúc trạm thu phát gốc với các loại mạng RAN khác nhau.

##### *D-RAN (Distributed RAN)*

Đây là cấu hình RAN truyền thống trong đó mỗi trạm thu phát gốc gồm hai thành phần [2]: RRU (Remote Radio Unit) và BBU (Base Band Unit). RRU có vai trò lọc và khuếch đại tín hiệu RF (tần số vô tuyến), quyết định vùng phủ sóng của hệ thống; chuyển

đổi tín hiệu RF giữa dạng tương tự và số để xử lý. BBU có vai trò quản lý toàn bộ trạm gốc; vận hành, bảo trì, xử lý tín hiệu, chuyển tiếp tín hiệu đến mạng lõi. Khi RRU nhận được thông tin tín hiệu từ ăng-ten, nó sẽ giao tiếp với BBU sử dụng giao thức CPRI (Common Public Radio Interface). Backhaul là giao diện được hình thành giữa BBU và mạng lõi.

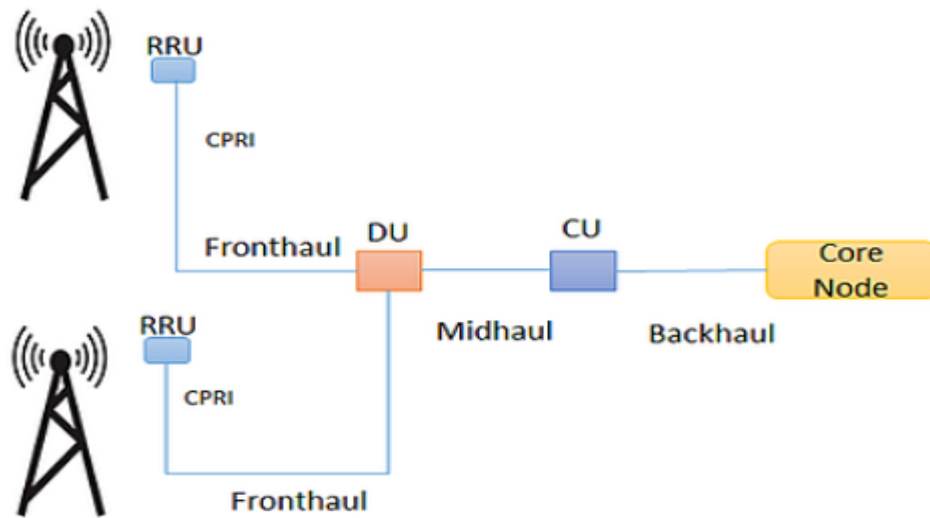


Hình 1.5: D-RAN với RRU và BBU cùng nằm tại mỗi trạm gốc

#### *C-RAN (Centralized RAN)*

Với C-RAN, BBU di chuyển đến một vị trí tập trung và trạm gốc chỉ gồm ăng-ten và RRU [2]. Lợi ích chính của C-RAN là nó giảm chi phí triển khai và bảo trì trên mỗi tế bào (cell) vì các BBU được tập trung. Bên cạnh đó, C-RAN giúp cải thiện hiệu quả quang phổ và giảm nhiễu vì các BBU tập trung có thể chia sẻ tài nguyên động giữa nhiều RRU.

Ngoài ra, BBU được chia thành các đơn vị tập trung (Central Unit - CU) và đơn vị phân tán (Distributed Unit) để phân chia nhiệm vụ, giảm chi phí và cải thiện hiệu quả hơn nữa. DU là phần mềm được triển khai trên máy chủ COTS (commercial/customizable – off - the shelf) và được điều khiển bởi CU. DU gồm các giai đoạn RLC, MAC và một phần của giai đoạn PHY của đường ống xử lý gói tin như trong hình 1.4. DU giúp phân chia nhiệm vụ và phân bổ tài nguyên cho các nhiệm vụ đó. CU là phần mềm thực hiện các giai đoạn RRC và PDCP của đường ống xử lý gói tin trong hình 1.4. Fronthaul là giao diện giữa RRU và DU, Midhaul là giao diện giữa DU và CU, Backhaul là giao diện giữa CU và mạng lõi.



Hình 1.6: C-RAN với BBU (gồm DU, CU) được di chuyển tới một vị trí trung tâm, trạm thu phát gốc chỉ gồm RRU và ăng-ten.

#### 1.1.4. Giới thiệu về trạm thu phát gốc gNodeB do Viettel sản xuất.

Viettel 5G gNodeB là một thành phần của mạng truy cập 5G, đóng vai trò quan trọng trong việc thực hiện các công nghệ vô tuyến 5G đảm bảo kết nối dữ liệu giữa nhiều thiết bị đầu cuối 5G với các thiết bị trong mạng lõi, cho các dịch vụ đáp ứng tốc độ cao, độ trễ thấp. Viettel phát triển đa dạng các dòng sản phẩm trạm truy cập 5G gNodeB, từ các trạm Small cell, Micro tới Macro với số anten đa dạng, từ các trạm triển khai tập trung tới phân tán, và có lộ trình phát triển các sản phẩm đáp ứng các ứng dụng mới sử dụng 5G massive IOT, URLLC, Private Network.

Các tính năng chính:

- Hỗ trợ massive MIMO (Single-User, Multi-User MIMO), Beamforming.
- Chế độ Non-StandAlone (NSA) option 3x và Stand-Alone (SA) option 2.
- Tương thích với O-RAN.
- Các cơ chế nâng cao về lập lịch QoS, cấp tài nguyên thích nghi kênh truyền, điều khiển công suất, quản lý đa luồng dữ liệu cho UE.

- Thiết kế nhỏ gọn dễ dàng lắp đặt, nâng cấp, tiết kiệm năng lượng hiệu quả, cũng như khả năng tự động phát hiện, cảnh báo lỗi được ứng dụng trong quá trình vận hành khai thác.

Các chỉ tiêu kỹ thuật:

- Dung lượng: 128 người dùng/cell (Có thể mở rộng lên 500 người dùng/cell)
- Băng tần: 2600 MHz (n41), 3700 MHz (n78), TDD
- Băng thông: 80-100MHz, IBW 200MHz
- Tốc độ (DL/UL): hỗ trợ tối đa 1.8 Gbps/380 Mbps
- Công nghệ điều chế: QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM.
- Thu phát đa ăng ten: 8T8R, 32T32R, 64T64R
- Công suất phát: 3W/port ~ 40W/port (Macro 8T8R)
- Hỗ trợ: 3GPP Release 15.



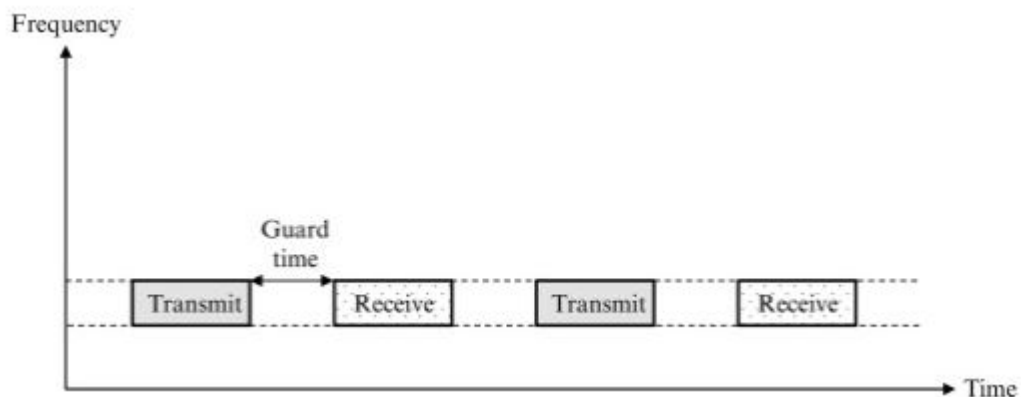
Hình 1.7: Phần cứng trạm gNodeB do Viettel nghiên cứu, sản xuất

## 1.2. Tổng quan về vấn đề đồng bộ hóa thời gian trong mạng 5G.

Trong phần này, đồ án sẽ giới thiệu về công nghệ Ghép kênh song công phân chia thời gian (Time Division Duplexing – TDD), một công nghệ được sử dụng trong mạng 5G để thấy được tầm quan trọng của vấn đề đồng bộ hóa thời gian trong mạng 5G; các vấn đề về nhiễu có thể xảy ra trong môi trường TDD; các chỉ tiêu đánh giá chất lượng đồng bộ và mô hình đồng bộ hóa thời gian trong mạng 5G.

### 1.2.1. Công nghệ ghép kênh song công phân chia theo thời gian.

Ghép kênh song công phân chia theo thời gian (Time Division Duplexing - TDD) là một phương pháp để cho phép giao tiếp song công (full – duplex) trên một liên kết truyền thông bán song công (half – duplex). Máy phát và máy thu đều sử dụng cùng một dải tần nhưng truyền và nhận ở các thời điểm khác nhau. TDD sử dụng cùng một dải tần bằng cách sử dụng hai khe thời gian, một khe cho hoạt động truyền và một dành cho hoạt động nhận với các khe thời gian phân bổ xen kẽ nhau. Giữa hai khe thời gian có một khoảng thời gian bảo vệ (guard time) để tín hiệu truyền từ trạm thu phát gốc có thể tới UE trước khi UE bắt đầu truyền tín hiệu tới trạm thu phát gốc. Do chỉ sử dụng một dải tần duy nhất để hoạt động, công nghệ TDD giúp gia tăng hiệu quả sử dụng phổ tần, đặc biệt là ở các dải tần số băng thông hẹp. Bên cạnh đó, TDD cho phép phân bổ thông lượng (throughput) thay đổi giữa các hướng truyền và nhận, làm cho nó rất phù hợp với các ứng dụng có yêu cầu lưu lượng không đối xứng giữa hướng truyền và nhận như giám sát video, phát sóng và truy cập Internet, ... Vì TDD hoạt động dựa trên các khe thời gian được phân bổ, nó yêu cầu đồng bộ hóa pha / thời gian nghiêm ngặt để tránh can nhiễu giữa các đường truyền lên (Uplink – UL) và đường truyền xuống (Downlink – DL).



Hình 1.8: Công nghệ TDD với các khe thời gian được phân bổ xen kẽ cho hoạt động truyền và nhận

### 1.2.2. Các loại nhiễu trong môi trường TDD.

Nếu đồng hồ tại trạm thu phát gốc mất độ chính xác, trong một kênh TDD, khung TDD (TDD frame) sẽ trôi ra ngoài khoảng thời gian bảo vệ và gây nhiễu cho các tế bào (cell) lân cận [3]. Nguồn đồng hồ càng kém chính xác thì sự dịch chuyển thời gian càng

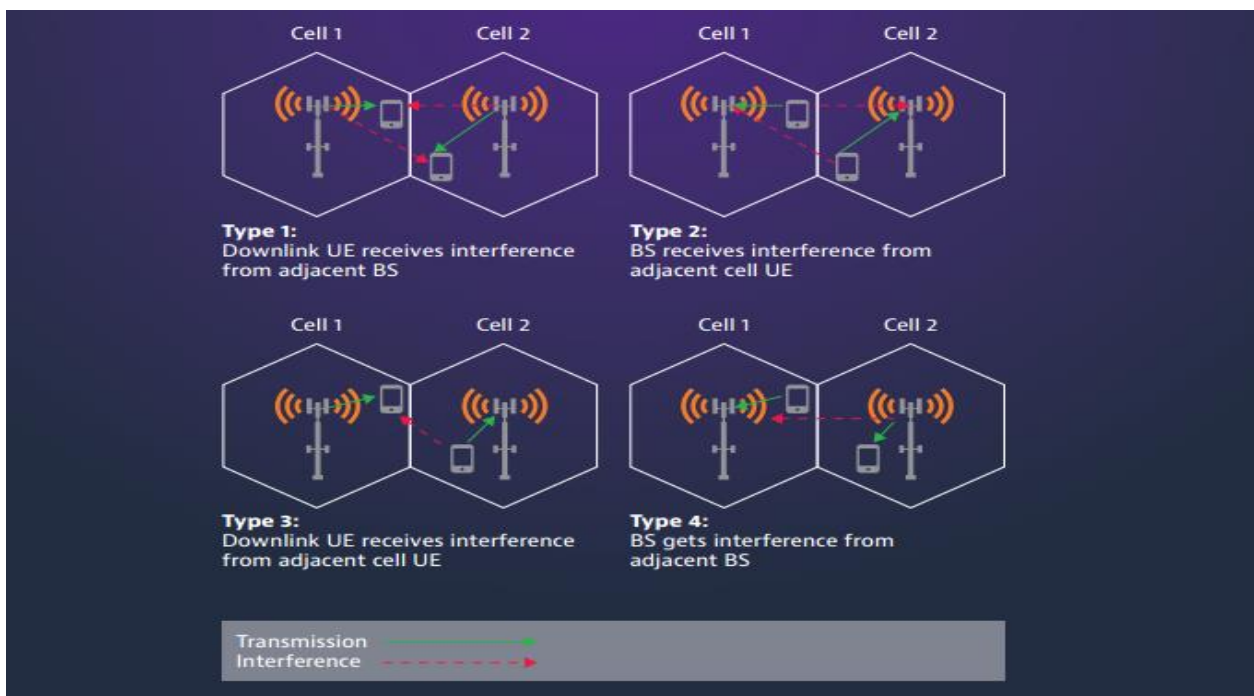
cao, mang lại những thách thức về hiệu suất và nhiễu. Dưới đây là các vấn đề về nhiễu có thể xảy ra trong môi trường TDD.

#### *Nhiễu nội tế bào (Intra-cell Interference)*

Nhiễu gây ra trong cùng một tế bào do sự không chính xác về thời gian. Xác suất xảy ra nhiễu nội tế bào là tương đối thấp do trong một tế bào TDD, những người dùng khác nhau được lập lịch trên những khe thời gian khác nhau bởi bộ lập lịch.

#### *Nhiễu liên tế bào (Inter-cell Interference)*

Khi người dùng trong các tế bào lân cận được lên lịch trên cùng một sóng mang con (subcarrier) nhưng với các khe thời gian DL/UL khác nhau, có thể xảy ra nhiễu giữa các tế bào, đặc biệt nếu các tế bào không được đồng bộ hóa với một đồng hồ chung. Hình 1.10 cho thấy bốn trường hợp có thể xảy ra.



Hình 1.9: Các trường hợp nhiễu liên tế bào

Trường hợp 1: Tế bào 1 được cấp một khe thời gian DL, tế bào 2 liền kề cũng được cấp một khe thời gian DL cùng lúc. Trong trường hợp này, cả hai UE ở rìa của hai tế bào đều bị nhiễu từ tế bào lân cận.

Trường hợp 2: Đây là trường hợp ngược lại của trường hợp 1, cả tế bào 1 và 2 đều được cấp khe thời gian UL. Hệ quả là trạm thu phát gốc tại mỗi tế bào chịu nhiễu yếu từ UE nằm ở rìa của tế bào liền kề. Nhiễu này yếu, không đáng kể do năng lượng của UE rất hạn chế khi so với trạm gNodeB.

Trường hợp 3: Tế bào 1 được cấp một khe thời gian DL, tế bào 2 liền kề được cấp một khe thời gian UL cùng lúc. UE nằm ở rìa tế bào 1 bị nhiễu rất mạnh từ UE nằm ở rìa tế bào 2. Đây là trường hợp nhiễu nghiêm trọng nhất trong tất cả các trường hợp.

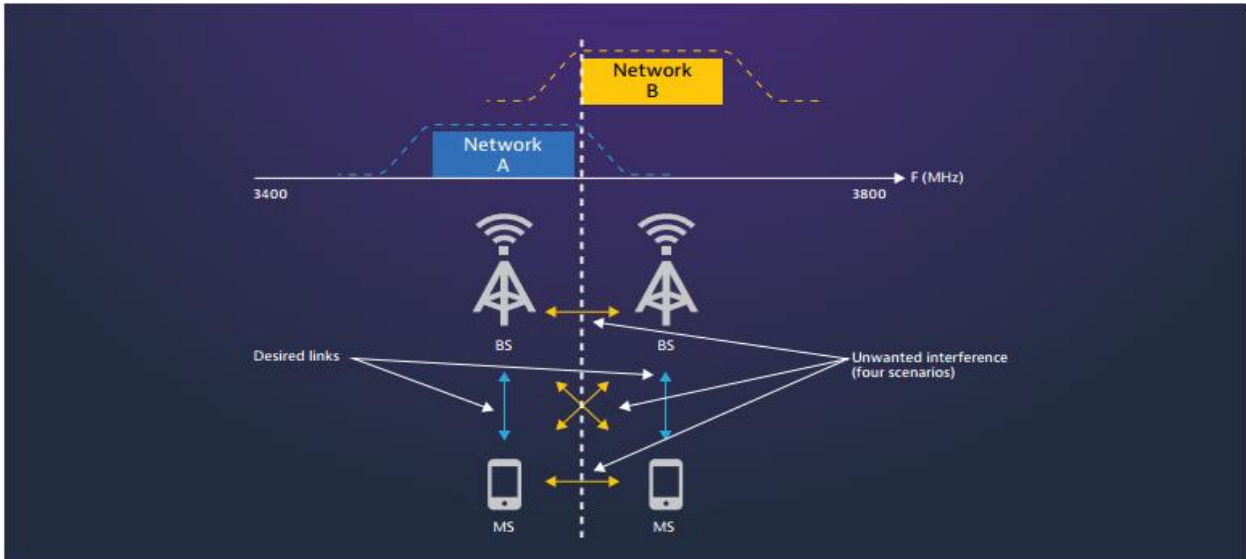
Trường hợp 4: Tế bào 1 được cấp một khe thời gian UL, tế bào 2 liền kề được cấp một khe thời gian DL cùng lúc. Trạm gốc tại tế bào 1 bị nhiễu từ trạm gốc tế bào 2. Tuy nhiên, cường độ của nhiễu tương đối yếu do khoảng cách lớn giữa hai trạm gốc.

Để tránh các trường hợp nhiễu ở trên, tất cả các trạm thu phát gốc trong mạng phải được đồng bộ hóa với một đồng hồ tham chiếu chung (UTC – Coordinated Universal Time). Theo khuyến nghị của tiêu chuẩn ITU-T, cả mạng 5G-NR TDD và LTE-TDD đều cần được đồng bộ hóa thời gian để hạn chế lỗi thời gian (time error) giữa các thiết bị đầu cuối xuống dưới  $1.5 \mu\text{s}$ . Các giải pháp đồng bộ hóa thời gian khác nhau có thể được sử dụng để đảm bảo tất cả RU trong toàn mạng được đồng bộ hóa, cho phép bộ lập lịch ở trạm gốc đảm bảo nhiễu là tối thiểu.

#### *Nhiễu đường truyền chéo giữa các mạng (Cross-slot/link Interference)*

Một trường hợp nhiễu tiềm ẩn khác trong mạng TDD là nhiễu đường truyền chéo giữa các mạng. Nhiễu này xảy ra khi hai mạng TDD được triển khai trong hai dải tần liền kề gây nhiễu khi hai mạng này truyền đồng thời theo hai hướng UL và DL (Hình 1.10). Trong trường hợp này, trạm gốc hoặc UE thuộc về một mạng truyền trong khi trạm gốc hoặc UE thuộc về mạng khác nhận. Trường hợp này được gọi là truyền UL/DL đồng thời.





Hình 1.10: Nhiễu trong trường hợp truyền UL/DL đồng thời.

Nếu hai mạng được đồng bộ hóa về pha và khung dữ liệu thì vấn đề này có thể được ngăn ngừa. Mục đích của việc đồng bộ hóa giữa các mạng liên kề sử dụng cùng kênh truyền (co-channel adjacent network) hoặc các mạng sử dụng kênh truyền liên kề (collocated adjacent channel) là để ngăn chặn các kịch bản nhiễu giữa trạm gốc-trạm gốc, UE-UE. Đồng bộ hóa trong trường hợp này không chỉ yêu cầu có một tham chiếu giờ UTC chung mà còn yêu cầu có một cấu trúc khung dữ liệu (frame structure) tương thích giữa các nhà mạng. Đồng bộ hóa về khung dữ liệu và khe thời gian giúp tránh việc giảm hiệu năng do nhiễu đường truyền chéo giữa các mạng mà không yêu cầu sử dụng thêm các phương pháp làm giảm nhiễu khác như dùng bộ lọc, dùng dải tần bảo vệ (guard band), ...

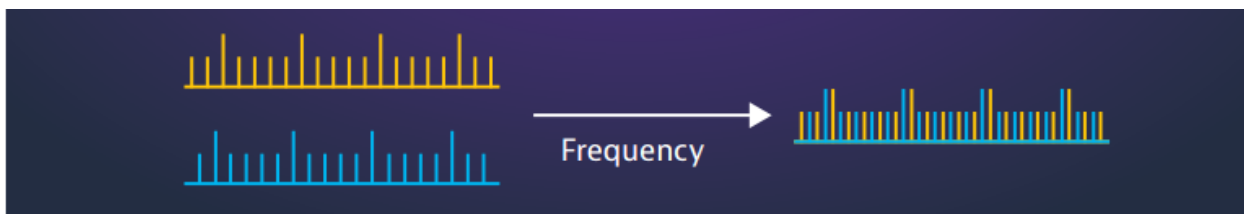
Như vậy, mạng TDD LTE hoặc 5G-NR, không chỉ yêu cầu đồng bộ hóa về tần số và pha mà còn yêu cầu đồng bộ hóa về khung dữ liệu và khe thời gian để giảm nhiễu. Bên cạnh đó, với sự tiến hóa của mạng RAN tới kiến trúc O-RAN, các yêu cầu về thời gian và đồng bộ hóa còn trở nên quan trọng hơn nữa bởi độ trễ thêm vào từ các nút mạng với giao diện mở cần được xem xét để đảm bảo các dịch vụ 5G liền mạch.

### 1.2.3. Các loại đồng bộ hóa.

Trong một kênh truyền, thiết bị nhận cần ước tính sự dịch chuyển về tần số và pha của tín hiệu nhận được đối với bộ dao động cục bộ để nó có thể bù cho sự dịch chuyển về pha và tần số đó. Hiện tượng này được gọi là đồng bộ hóa. Đồng bộ hóa gồm các loại sau:

### *Đồng bộ hóa tần số*

Hai đồng hồ được căn chỉnh có cùng khoảng thời gian lặp lại (tần số) mà không phải về pha hoặc thời gian.



Hình 1.11: Đồng bộ hóa tần số

### *Đồng bộ hóa về pha*

Hai đồng hồ được căn chỉnh có cùng khoảng thời gian lặp lại (tần số) và pha nhưng không có gốc thời gian chung.



Hình 1.12: Đồng bộ hóa về pha

### *Đồng bộ hóa thời gian*

Hai đồng hồ được căn chỉnh có cùng khoảng thời gian lặp lại (tần số), pha và có chung một gốc thời gian.



Hình 1.13: Đồng bộ hóa thời gian

### *Đồng bộ hóa khung dữ liệu*

Tất cả mạng TDD sử dụng một cấu trúc khung dữ liệu (frame structure) duy nhất để tránh hiện tượng truyền UL/DL đồng thời cũng như đồng bộ hóa phần bắt đầu của khung dữ liệu trên toàn bộ mạng.

#### 1.2.4. Các yêu cầu tiêu chuẩn về đồng bộ hóa.

Đồng bộ hóa giữa các nút khác nhau trong một mạng có nghĩa là phân phối thời gian và tần số cho các đồng hồ trên toàn mạng, trải rộng trên một khu vực địa lý rộng lớn với một nguồn đồng hồ cơ sở chung. Tất cả các mạng truyền thông đều yêu cầu các nút phải được đồng bộ để có thể giải điều chế đúng tín hiệu nhận được.

Trong truyền thông không dây, thiết bị nhận không biết trước về kênh không dây vật lý hoặc độ trễ lan truyền (propagation delay) gắn với tín hiệu được truyền. Một thiết bị nhận điển hình sử dụng một bộ dao động cục bộ giá rẻ, bộ dao động này tồn tại một độ trôi nhất định (drift). Do đó cần sử dụng đồng bộ hóa thời gian như một quá trình mà thiết bị nhận xác định thời điểm chính xác để lấy mẫu tín hiệu đến và đồng bộ hóa sóng mang như một quá trình mà thiết bị nhận điều chỉnh tần số và pha của bộ dao động sóng mang cục bộ của nó với tín hiệu nhận được, từ đó thiết bị nhận có thể giải điều chế tín hiệu nhận được một cách thích hợp.

Định nghĩa và quy trình đồng bộ hóa có thể khác nhau tùy thuộc vào hệ thống thông tin liên lạc cụ thể. Trong mạng 5G NR FDD, độ chính xác sóng mang là 50 ppb và độ chính xác về thời gian là 10  $\mu$ s. Tuy nhiên, với mạng LTE/5G NR TDD, yêu cầu độ chính xác về thời gian chặt chẽ hơn là 1.5  $\mu$ s. Đối với những tính năng nâng cao như MIMO, dịch vụ dựa trên vị trí, độ chính xác về thời gian là vài trăm nano giây được yêu cầu. Bảng dưới đây cung cấp các yêu cầu tiêu chuẩn về đồng bộ hóa thời gian cho mạng LTE/5G-NR với các tính năng/dịch vụ khác nhau.

Bảng 1.1: Các yêu cầu về đồng bộ hóa thời gian cho mạng LTE/5G-NR với các tính năng/dịch vụ khác nhau

Trường hợp sử dụng	Loại đồng bộ	Yêu cầu về đồng bộ
LTE/5G-NR FDD	Tần số	50 PPB Tuyệt đối
LTE/5G-NR FDD	Thời gian	$\sim 10 \mu$ s Tuyệt đối

LTE/5G-NR/ eMBMS/Carrier Aggregation	Thời gian	$\sim 3\text{-}5\ \mu\text{s}$ Tuyệt đối
LTE/5G-NR TDD/ eCIC	Thời gian	$\sim 1.5\ \mu\text{s}$ Tuyệt đối
LTE/5G-NR CoMP/LBS	Thời gian	$< 1\ \mu\text{s}$ Tương đối

### 1.2.5. Các chỉ tiêu đánh giá chất lượng đồng bộ thời gian.

Để đánh giá chất lượng đồng bộ hóa thời gian trong mạng 5G, dưới đây là một số chỉ tiêu được sử dụng:

*Lỗi thời gian (Time Error – TE)*

Lỗi thời gian (TE) được định nghĩa là chênh lệch thời gian giữa hai đồng hồ, gồm lỗi thời gian tuyệt đối và lỗi thời gian tương đối.

*Lỗi thời gian tuyệt đối (Absolute TE)*

Lỗi thời gian tuyệt đối là sự chênh lệch về thời gian giữa đồng hồ của một nút và đồng hồ tham chiếu cơ sở (Primary Reference Time Clock – PRTC), là tham chiếu thời gian của đồng hồ kiện tướng (grand master).

*Lỗi thời gian tương đối (Relative TE)*

Lỗi thời gian tương đối là sự chênh lệch về thời gian giữa đầu vào của hai RU.

*Lỗi căn chỉnh thời gian (Time Alignment Error – TAE)*

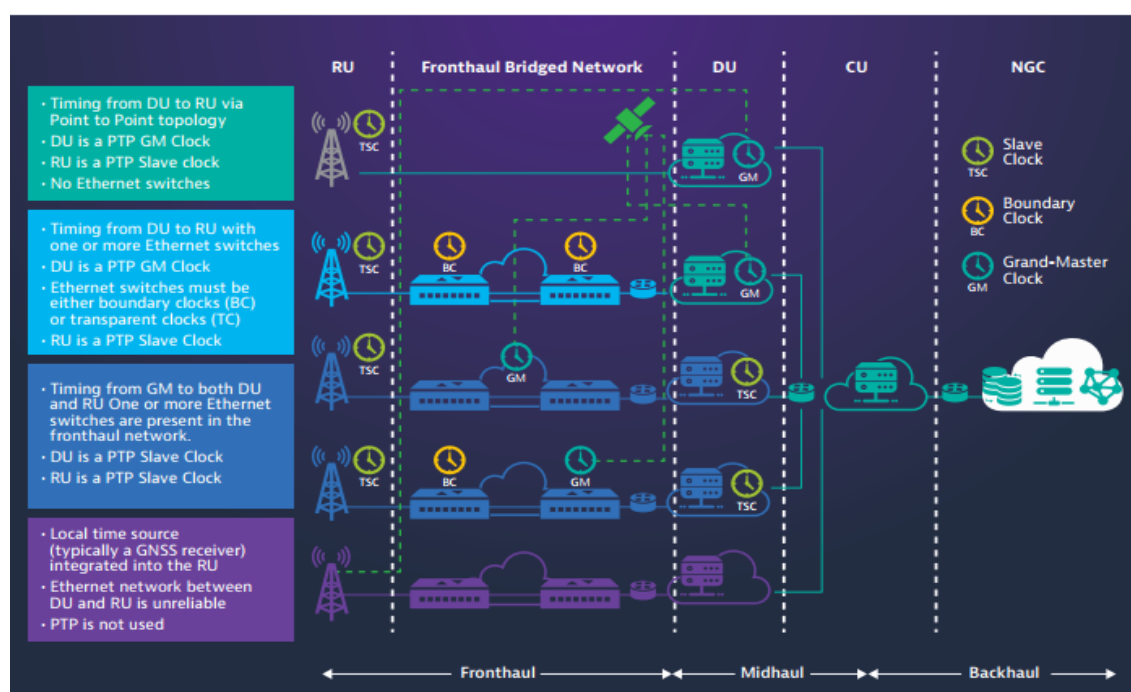
Lỗi căn chỉnh thời gian là sự chênh lệch thời gian giữa hai cổng ăng-ten, được đo bằng cách sử dụng GPS hoặc một nguồn thời gian chung làm tham chiếu. Các giới hạn do TAE khác nhau giữa hai RU, sóng mang hoặc cổng ăng-ten (đối với MIMO).

### 1.2.6. Mô hình đồng bộ hóa thời gian trong mạng 5G.

Có nhiều tùy chọn để đáp ứng các yêu cầu nghiêm ngặt về đồng bộ hóa pha và thời gian. Mục đích là đảm bảo tất cả các nút trong mạng được đồng bộ hóa với nguồn PRTC. Vị trí của nguồn đồng bộ có thể khác nhau tùy thuộc vào cấu trúc mạng, chi phí, ứng dụng. Bằng cách sử dụng đồng hồ kiện tướng (grand master) được đồng bộ hóa với nguồn vệ tinh và sự kết hợp của các đồng hồ biên (boundary clock), đồng hồ nô lệ (slave clock),

các nút mạng có thể được căn chỉnh theo một thời gian và pha chung. Các tùy chọn bao gồm:

1. Cài đặt GNSS/GPS ở mỗi trạm thu phát gốc. Tùy chọn này có chi phí cao và không là một lựa chọn thực tế trong một số trường hợp (Hình 1.14, trường hợp 4).
2. Cài đặt GNSS ở một số điểm giao vận (transport sites) hỗ trợ định thời đầy đủ (Full Timing Support – FTS) sử dụng PTP1588v2. Mỗi nút trong mạng truyền tải phải là đồng hồ boundary hoặc transparent. GNSS và đồng hồ tham chiếu cần được bố trí cẩn thận để toàn bộ các nút mạng được đồng bộ hóa về thời gian (Hình 1.14, các trường hợp từ 1 đến 3).



Hình 1.14: Các mô hình đồng bộ hóa thời gian trong mạng 5G

## CHƯƠNG 2: CHẾ ĐỘ HOẠT ĐỘNG GPS VÀ PTP1588 TRONG ĐỒNG BỘ THỜI GIAN CHO TRẠM GNODEB 5G

### 2.1. Chế độ hoạt động GPS.

Trạm thu phát gốc gNodeB 5G hỗ trợ cơ chế đồng bộ thời gian sử dụng tín hiệu GPS với phần cứng hỗ trợ được mô tả trong hình 2.1. Chức năng của từng khối như sau:

#### *Khối Timingcard*

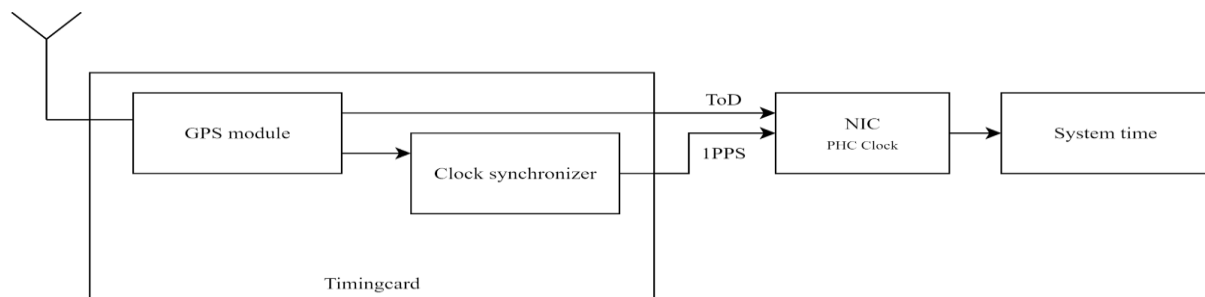
Khối Timingcard được cấu thành từ hai khối chức năng: khối GPS và khối đồng bộ xung nhịp. Khối GPS nhận tín hiệu từ vệ tinh qua ăng-ten, sau đó trả về các giá trị: xung 1 PPS (Pulse Per Second) và thông tin thời gian của đồng hồ nguyên tử trên vệ tinh với độ chính xác cao ToD (Time of Day). Xung 1PPS có tần số 1 Hz, có sườn lên trùng với thời điểm bắt đầu một giây trong giờ GPS. Thông tin thời gian ToD bao gồm các giá trị ngày, tháng, năm, giờ, phút, giây lấy được từ bản tin RMC, bản tin RMC này có được nhờ giải mã tín hiệu của các vệ tinh (GPS). Khối đồng bộ xung nhịp có chức năng đồng bộ bộ dao động nội của hệ thống với xung 1PPS, từ đó cung cấp xung nhịp đã được đồng bộ GPS cho toàn bộ hệ thống. Như vậy, đầu ra của khối Timingcard là xung 1PPS đã được đồng bộ GPS và thông tin thời gian ToD.

#### *Khối NIC*

Khối NIC có đồng hồ nội PHC (PTP Hardware Clock) được đồng bộ thời gian với đồng hồ nguyên tử trên vệ tinh sử dụng tín hiệu 1PPS và ToD từ Timingcard.

#### *Khối System time*

Khối System time được đồng bộ thời gian với PHC trên khối NIC, có nhiệm vụ phân chia các khe thời gian giữa đường dữ liệu lên (UL) và đường dữ liệu xuống (DL) trong công nghệ TDD được sử dụng cho trạm gNodeB.



Hình 2.1: Sơ đồ phần cứng hỗ trợ cơ chế đồng bộ thời gian sử dụng tín hiệu GPS

Quy trình đồng bộ thời gian sử dụng tín hiệu từ vệ tinh (GPS) với sự hỗ trợ từ phần cứng mô tả ở trên diễn ra như sau:

Bước 1: Đợi sự kiện sườn lên xung 1PPS từ Timingcard.

Bước 2: Tại sự kiện sườn lên xung 1PPS, tiến hành đồng thời lấy giá trị thời gian ToD từ Timingcard ( $t_{GPS}$ ) và lấy mẫu thời gian PHC của NIC ( $t_{PHC}$ ).

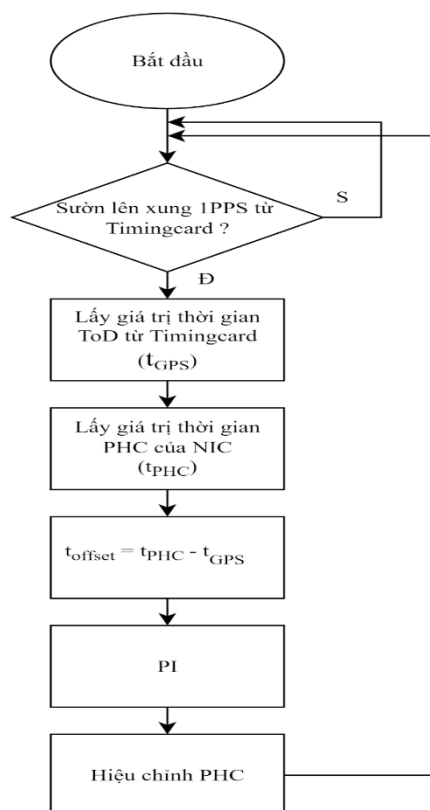
Bước 3: Tính toán độ lệch thời gian (time offset) giữa  $t_{PHC}$  và  $t_{GPS}$ .

$$t_{offset} = t_{PHC} - t_{GPS}$$

Bước 4: Độ lệch thời gian tìm được ở bước 3 được đưa vào bộ điều khiển PI để tính ra độ lệch tần số (frequency offset), giá trị này sau đó cùng với độ lệch thời gian được sử dụng để hiệu chỉnh PHC sao cho độ lệch với ToD từ Timingcard là nhỏ nhất có thể.

Quay trở lại bước 1.

Quy trình trên được thể hiện qua sơ đồ trong hình 2.2.



Hình 2.2: Quy trình đồng bộ thời gian sử dụng tín hiệu GPS tại trạm gNodeB

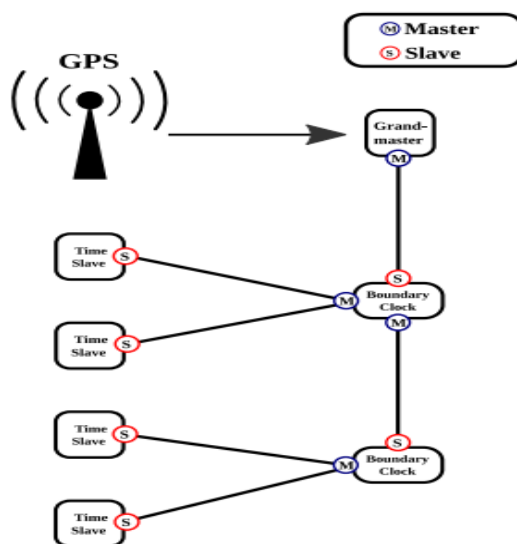
## 2.2. Chế độ hoạt động PTP1588.

Trong phần này, đề án sẽ giới thiệu về Giao thức thời gian chính xác (Precision Time Protocol – PTP), sau đó trình bày quy trình đồng bộ thời gian sử dụng giao thức PTP tại trạm gNodeB.

### 2.2.1. Giao thức thời gian chính xác.

Giao thức thời gian chính xác (Precision Time Protocol - PTP) là một giao thức miễn phí quản trị, có khả năng chịu lỗi, độ chính xác dưới micro giây, được tiêu chuẩn hóa để đồng bộ đồng hồ trong các hệ thống phân tán trong một mạng cục bộ. PTP được thiết kế cho các môi trường khi sử dụng GPS là quá tốn kém hoặc không thể thực hiện được do các vấn đề kết nối.

Chuẩn IEEE 1588-2008 xác định PTP sử dụng mô hình phân cấp chủ – nô lệ (master – slave) cho đồng bộ hóa đồng hồ trong một mạng. Các đồng hồ trong mạng bầu chọn một đồng hồ kiện tướng (grandmaster clock) sử dụng thuật toán BMC (Best Master Clock) và tất cả các đồng hồ khác trở thành đồng hồ nô lệ (slave clock) với đồng hồ kiện tướng đó. Trong một mạng, chỉ có thể có một đồng hồ kiện tướng duy nhất, nhưng có thể có nhiều đồng hồ chủ (master clock). PTP định nghĩa các loại đồng hồ khác nhau: đồng hồ thường (ordinary), đồng hồ biên (boundary clock). Đồng hồ thường có một cổng PTP duy nhất trong khi đồng hồ biên có nhiều cổng PTP. Mục đích của đồng hồ biên là truyền tải đồng bộ hóa thời gian đến nhiều đồng hồ thường, từ một đồng hồ kiện tướng duy nhất.



Hình 2.3: Mô hình phân cấp chủ - nô lệ cho đồng bộ hóa thời gian trong mạng



### 2.2.1.1. Thuật toán BMC.

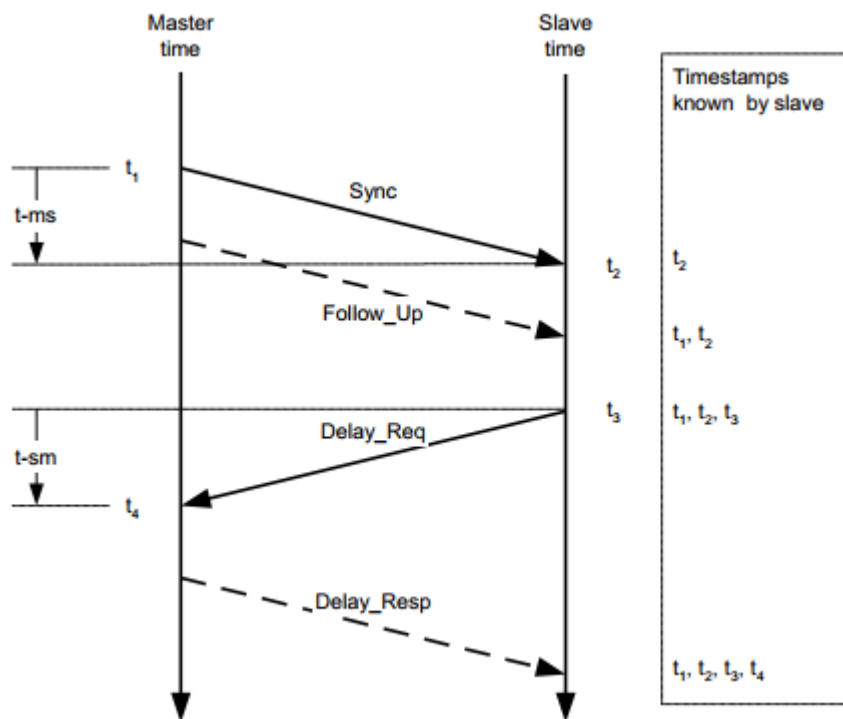
Thuật toán BMC (Best Master Clock) luôn chạy trên tất cả các đồng hồ biên và đồng hồ thường trong mạng [4]. Điều này giúp mỗi đồng hồ có thể thích ứng với những thay đổi động trong mạng. Thuật toán BMC sử dụng tập dữ liệu bao gồm các trường từ hai đồng hồ để so sánh đồng hồ nào đủ điều kiện hơn để trở thành đồng hồ kiện tướng. Bất cứ khi nào một đồng hồ mới vào mạng, tất cả đồng hồ sẽ so sánh tập dữ liệu từ đồng hồ kiện tướng cũ với đồng hồ mới. BMC so sánh từng trường trong tập dữ liệu của hai đồng hồ như được chỉ ra dưới đây với mức độ ưu tiên giảm dần, chỉ so sánh trường tiếp theo nếu các trường trước đó trong tập dữ liệu của hai đồng hồ là giống nhau.

<b>Priority One</b>	Một trường được người dùng chỉ định, có giá trị trong khoảng từ 0 đến 255, trong đó mức độ ưu tiên cao hơn được ưu tiên trong thuật toán BMC.
<b>Clock class</b>	Loại đồng hồ mà thiết bị sử dụng, có nhiều loại khác nhau: đồng hồ được đồng bộ hóa GPS, đồng hồ được hiệu chuẩn nguyên tử, ....
<b>Clock accuracy</b>	Độ chính xác của đồng hồ được chỉ định theo đơn vị thời gian, từ độ chính xác 25ns đến độ chính xác dưới 10 giây.
<b>Clock variance</b>	Các thống kê tính về phương sai và độ ổn định của đồng hồ.
<b>Priority Two</b>	Giống như trường priority one nhưng với độ ưu tiên thấp hơn.
<b>Unique Port ID</b>	Thường là địa chỉ MAC vật lý của cổng, không có quan hệ với độ chính xác của đồng hồ và chỉ được sử dụng trong trường hợp các trường đề cập phía trên trong tập dữ liệu của hai đồng hồ giống nhau.

Bằng cách này, hai thiết bị khác nhau so sánh cùng một tập dữ liệu (thiết bị A so sánh chính nó với thiết bị B và ngược lại) sẽ luôn ra quyết định giống nhau đồng hồ nào nên là kiện tướng.

### 2.2.1.2. Đồng bộ hóa thời gian giữa đồng hồ chủ và đồng hồ nô lệ.

Sau khi đồng hồ kiện tương và đồng hồ chủ được chọn, quá trình đồng bộ hóa bắt đầu. Theo chuẩn IEEE 1588-2008, đồng hồ chủ có thể gửi bản tin chứa thời gian hiện tại của nó với tần suất 10 lần mỗi giây cho tất cả các đồng hồ nô lệ của nó. Trong một quá trình hoàn chỉnh, có bốn bản tin được trao đổi giữa đồng hồ chủ và đồng hồ nô lệ để đồng bộ hóa thời gian của đồng hồ nô lệ với đồng hồ chủ [5] như được thể hiện trong hình 2.4.



Hình 2.4: Quá trình trao đổi các bản tin để đồng bộ hóa thời gian trong giao thức PTP

Quá trình trao đổi các bản tin để đồng bộ hóa thời gian giữa đồng hồ chủ và đồng hồ nô lệ diễn ra như sau:

- Đồng hồ chủ gửi một bản tin Sync tới đồng hồ nô lệ và ghi lại thời điểm  $t_1$  bản tin Sync được gửi đi.
- Đồng hồ nô lệ nhận bản tin Sync và ghi lại thời điểm nhận bản tin  $t_2$ .
- Đồng hồ chủ thông báo tới đồng hồ nô lệ về mốc thời gian  $t_1$  bằng cách:
  - Nhúng mốc thời gian  $t_1$  vào bản tin Sync. Điều này đòi hỏi phải có sự hỗ trợ từ phần cứng để đạt được độ chính xác cao nhất.

- 2) Nhúng mốc thời gian  $t_1$  vào bản tin Follow\_Up được gửi đi ngay sau bản tin Sync.
- d) Đồng hồ nô lệ gửi một bản tin Delay\_Req tới đồng hồ chủ và ghi lại thời điểm  $t_3$  bản tin Delay\_Req được gửi đi.
- e) Đồng hồ chủ nhận bản tin Delay\_Req và ghi lại thời điểm nhận bản tin  $t_4$ .
- f) Đồng hồ chủ thông báo tới đồng hồ nô lệ về mốc thời gian  $t_4$  bằng cách nhúng  $t_4$  trong một bản tin Delay\_Resp gửi tới hồ đồng nô lệ.

Sau khi quá trình trao đổi bản tin như trên diễn ra, đồng hồ nô lệ biết thông tin về cả bốn mốc thời gian  $t_1, t_2, t_3, t_4$  và sử dụng bốn mốc thời gian này để tính toán độ trễ đường truyền trung bình (mean propagation time) của bản tin trao đổi giữa hai đồng hồ và độ lệch thời gian (time offset) giữa đồng hồ nô lệ và đồng hồ chủ.

Gọi  $t_{\text{delay}}$  là độ trễ đường truyền trung bình của bản tin trao đổi giữa đồng hồ chủ và đồng hồ nô lệ. Giả thiết rằng độ trễ truyền của một bản tin truyền từ đồng hồ chủ tới đồng hồ nô lệ và từ đồng hồ nô lệ tới đồng hồ chủ là như nhau.

Gọi  $t_{\text{offset}}$  là độ lệch thời gian giữa đồng hồ nô lệ và đồng hồ chủ.

Ta có hệ phương trình:

$$t_{\text{offset}} + t_{\text{delay}} = t_2 - t_1$$

$$-t_{\text{offset}} + t_{\text{delay}} = t_4 - t_3$$

Giải hệ phương trình ta có:

$$t_{\text{offset}} = \frac{t_2 - t_1 - t_4 + t_3}{2}$$

$$t_{\text{delay}} = \frac{t_2 - t_1 + t_4 - t_3}{2}$$

Sau khi đồng hồ nô lệ tính toán được độ lệch thời gian của nó với đồng hồ chủ, đồng hồ nô lệ sử dụng giá trị độ lệch thời gian này để hiệu chỉnh chính nó sao cho độ lệch thời gian với đồng hồ chủ là nhỏ nhất.

### 2.2.2. Quy trình đồng bộ thời gian sử dụng giao thức PTP tại trạm gNodeB.

Quy trình đồng bộ thời gian sử dụng giao thức PTP gồm các bước sau:

Bước 1: Tại mỗi đồng hồ trong mạng, triển khai thuật toán BMC để xác định trạng thái tiếp theo của đồng hồ (đồng hồ kiện tương, đồng hồ chủ hay đồng hồ nô lệ).

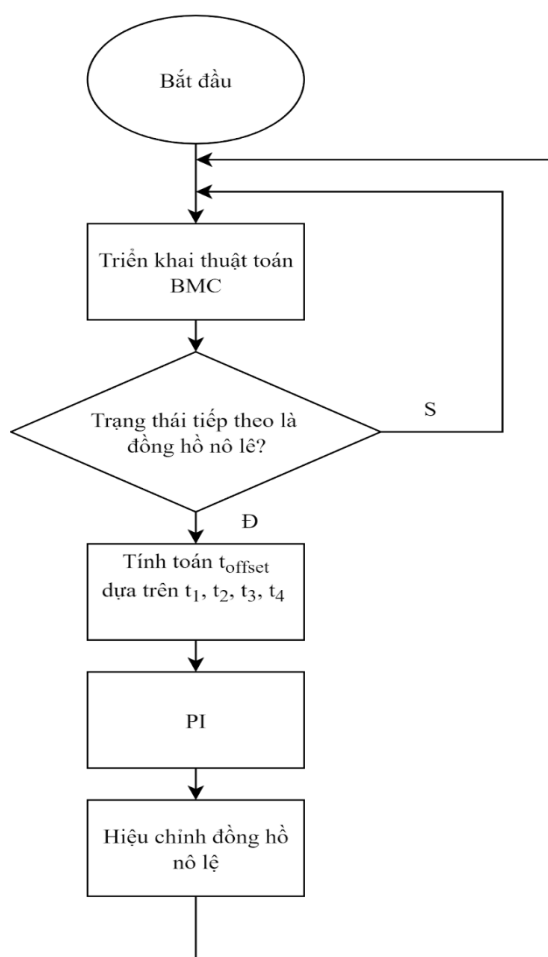
Bước 2: Nếu xác định được trạng thái tiếp theo của đồng hồ là đồng hồ nô lệ thì tiến hành tính độ lệch thời gian với đồng hồ chủ sử dụng các mốc thời gian  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  có được qua quá trình trao đổi các bản tin PTP giữa đồng hồ chủ và đồng hồ nô lệ.

Bước 3: Độ lệch thời gian tìm được ở bước 2 được đưa vào bộ điều khiển PI để tính ra độ lệch tần số.

Bước 4: Độ lệch thời gian cùng với độ lệch tần số được sử dụng để hiệu chỉnh đồng hồ nô lệ sao cho độ lệch với đồng hồ chủ là nhỏ nhất có thể.

Quay trở lại bước 1.

Quy trình trên được thể hiện qua sơ đồ trong hình 2.5.



Hình 2.5: Quy trình đồng bộ thời gian sử dụng giao thức PTP

### **2.3. So sánh giữa chế độ hoạt động GPS và PTP1588.**

Hiện tại, trạm gNodeB hỗ trợ cả hai cơ chế đồng bộ thời gian sử dụng tín hiệu GPS và giao thức PTP1588. Mỗi cơ chế đồng bộ lại có những ưu, nhược điểm riêng.

Cơ chế đồng bộ sử dụng GPS mang lại hiệu quả đồng bộ thời gian cao hơn (các chỉ tiêu đánh giá chất lượng đồng bộ TE, cTE, MaxTE có giá trị thấp hơn so với trường hợp sử dụng giao thức PTP) tuy nhiên việc triển khai cơ chế GPS tại tất cả các địa điểm trên hạ tầng mạng lưới là không khả thi do chi phí đắt đỏ. Bên cạnh đó, tín hiệu GPS còn dễ bị ảnh hưởng bởi các điều kiện thời tiết không thuận lợi như mưa, bão, ... và các địa hình bị che chắn như các toà nhà cao tầng trong thành phố, ... dẫn tới chất lượng nguồn đồng bộ từ GPS không ổn định, gây ảnh hưởng lớn đến hoạt động của trạm gNodeB.

Cơ chế đồng bộ sử dụng giao thức PTP tuy mang lại hiệu quả đồng bộ thấp hơn so với cơ chế GPS nhưng chi phí rẻ và chất lượng nguồn đồng bộ PTP1588 cũng ổn định hơn so với nguồn đồng bộ GPS. Nguyên nhân là do nguồn đồng bộ 1588 được lấy từ các site router. Site router cũng được đồng bộ GPS nhưng khác biệt ở chỗ các site router tạo thành mạng lưới rộng khắp trên một khu vực địa lý rộng lớn. Nếu do điều kiện thời tiết ở một khu vực không tốt, site router ở khu vực đó bị mất đồng bộ GPS thì site router đó có thể đồng bộ với một site router ở khu vực khác có thời tiết tốt, tín hiệu GPS không bị ảnh hưởng. Mạng lưới site router lớn đảm bảo luôn có ít nhất một site router được đồng bộ GPS, mang lại chất lượng nguồn đồng bộ ổn định cho trạm gNodeB.

### **2.4. Mô hình đồng bộ thời gian của trạm gNodeB và nhu cầu cải tiến.**

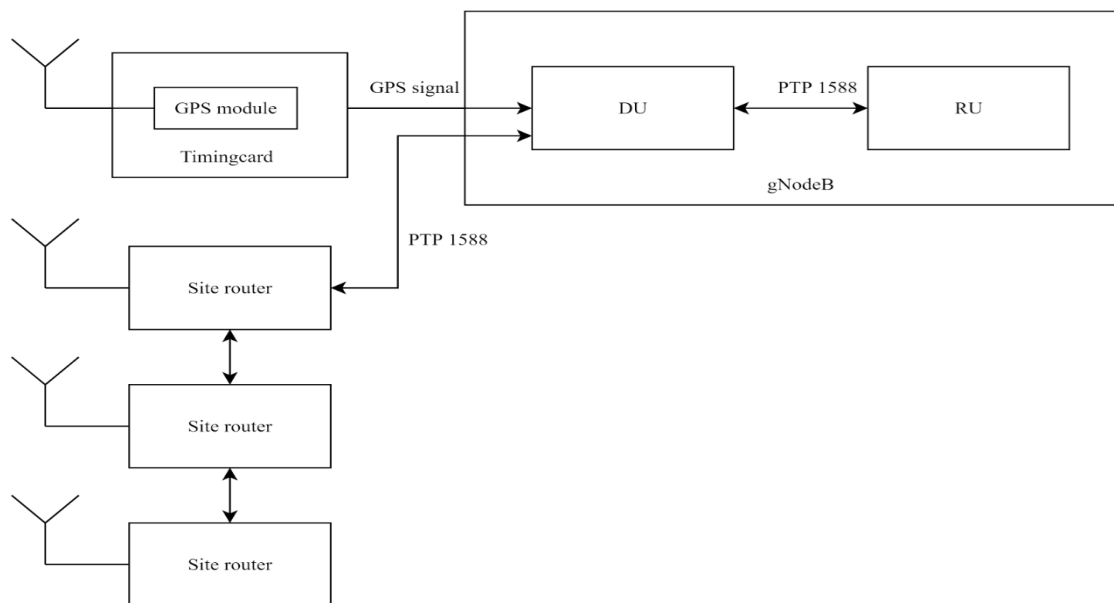
Mô hình đồng bộ thời gian của trạm gNodeB được mô tả trong hình 2.6.

Đồng hồ trên DU được đồng bộ thời gian sử dụng nguồn đồng bộ GPS với sự hỗ trợ của timingcard hoặc nguồn đồng bộ từ site router sử dụng giao thức PTP1588. Đồng hồ trên RU sau đó lại được đồng bộ thời gian với đồng hồ trên DU sử dụng giao thức PTP1588. Như vậy trên DU hỗ trợ cả hai chế độ đồng bộ: chế độ GPS và chế độ PTP1588. Tuy nhiên hai chế độ này lại hoạt động độc lập với nhau, một khi DU được cấu hình ở chế độ nào sẽ chỉ hoạt động ở chế độ đó. Điều này dẫn tới các vấn đề như sau:

- Khi nguồn đồng bộ GPS hoặc PTP1588 bị mất hoặc không ổn định sẽ gây ảnh hưởng tới hoạt động của trạm gNodeB.

- Không tận dụng được ưu điểm của từng nguồn đồng bộ khi áp dụng trong các điều kiện khác nhau.

Từ đó có thể thấy, việc phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và chế độ PTP1588 là cần thiết. Khi chất lượng một trong hai nguồn đồng bộ GPS hoặc PTP1588 bị suy giảm hoặc không ổn định có thể sử dụng nguồn đồng bộ còn lại, giúp đảm bảo hoạt động thông suốt của trạm gNodeB, nâng cao hiệu quả đồng bộ hóa thời gian trong mạng cũng như tận dụng được ưu điểm của từng nguồn đồng bộ. Trong chương tiếp theo, đề án sẽ đề xuất phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 trong đồng bộ thời gian cho trạm gNodeB.



Hình 2.6: Mô hình đồng bộ thời gian của trạm gNodeB

## CHƯƠNG 3: ĐỀ XUẤT PHƯƠNG ÁN PHỐI HỢP HOẠT ĐỘNG GIỮA CHẾ ĐỘ GPS VÀ PTP1588 TRONG ĐỒNG BỘ THỜI GIAN CHO TRẠM GNODEB 5G

### 3.1. Phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian.

Trong phần này, đề án đề xuất phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian của PHC với từng nguồn đồng bộ GPS và PTP1588.

Ban đầu, hệ thống hoạt động ở một trong hai chế độ GPS hoặc PTP1588 và chất lượng cả hai nguồn đồng bộ GPS và PTP1588 đều trong ngưỡng đảm bảo để đồng bộ cho hệ thống (thỏa mãn chuẩn 3GPP  $TE < 1.5 \mu s$ ). Gọi `offset_thres` là một giá trị độ lệch thời gian ngưỡng (nhỏ hơn giá trị TE cực đại được cho phép trong mạng 5G) dùng để kiểm tra chất lượng nguồn đồng bộ nào đang tốt hơn trong hai nguồn, từ đó quyết định sử dụng nguồn đồng bộ đó cho hệ thống. Nếu độ lệch thời gian của PHC với một nguồn đồng bộ nhỏ hơn hoặc bằng giá trị `offset_thres` thì chất lượng nguồn đồng bộ đó được đánh giá là đang tốt, ngược lại nếu độ lệch thời gian của PHC với một nguồn đồng bộ lớn hơn giá trị `offset_thres` thì chất lượng nguồn đồng bộ đó được đánh giá là đang không tốt.

Bên cạnh đó, do nguồn đồng bộ 1588 ổn định hơn nguồn GPS nên hệ thống luôn ưu tiên sử dụng nguồn đồng bộ 1588 nếu chất lượng hai nguồn đồng bộ tương đương nhau. Hệ thống còn sử dụng một bộ đếm để theo dõi chất lượng nguồn đồng bộ đang sử dụng phải được đánh giá là không tốt so với nguồn còn lại trong một khoảng thời gian xác định (`waiting_time`) trước khi quyết định chuyển nguồn đồng bộ (hay chuyển chế độ hoạt động) của hệ thống. Điều này giúp đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định, tránh tình trạng chuyển qua lại liên tục giữa hai chế độ. Quy trình phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 diễn ra như sau:

Bước 1: Tính độ lệch thời gian giữa PHC và nguồn GPS (`offset_GPS`)

Tính độ lệch thời gian giữa PHC và nguồn PTP1588 (`offset_PTP`)

Bước 2: So sánh `offset_GPS` và `offset_PTP` với `offset_thres`

- Nếu:  $\text{offset\_GPS} \leq \text{offset\_thres}$  và  $\text{offset\_PTP} \leq \text{offset\_thres}$

(chất lượng cả hai nguồn GPS và PTP1588 đều đang tốt)

hoặc  $\text{offset\_GPS} > \text{offset\_thres}$  và  $\text{offset\_PTP} > \text{offset\_thres}$

(chất lượng cả hai nguồn GPS và PTP1588 đều đang không tốt nhưng vẫn trong ngưỡng đảm bảo để đồng bộ cho hệ thống)

*hoặc*  $\text{offset\_GPS} > \text{offset\_thres}$  và  $\text{offset\_PTP} \leq \text{offset\_thres}$

chất lượng nguồn GPS đang không tốt, chất lượng nguồn PTP1588 đang tốt)

*thì* quyết định chọn nguồn PTP1588 là nguồn đồng bộ cho hệ thống.

- *Nếu*  $\text{offset\_GPS} \leq \text{offset\_thres}$  và  $\text{offset\_PTP} > \text{offset\_thres}$

(chất lượng nguồn GPS đang tốt, chất lượng nguồn PTP1588 đang không tốt)

*thì* quyết định chọn nguồn GPS là nguồn đồng bộ cho hệ thống.

Bước 3: So sánh giá trị của bộ đếm (counter) với một khoảng thời gian xác định trước ( $\text{waiting\_time}$ ). Nếu  $\text{counter} < \text{waiting\_time}$  thì tăng counter lên 1 và quay lại bước 1. Nếu  $\text{counter} \geq \text{waiting\_time}$  thì chuyển tới bước 4.

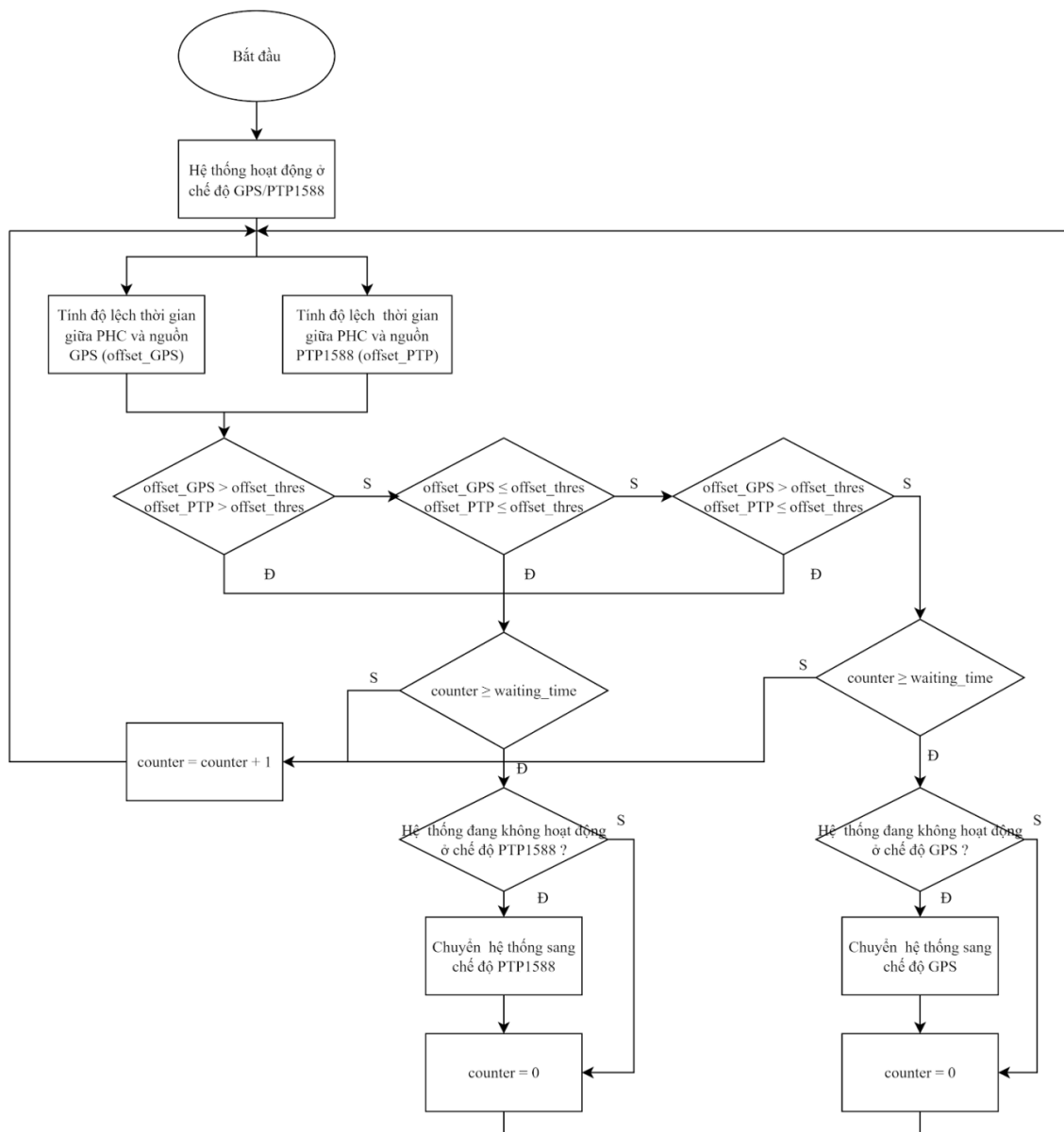
Bước 4: Kiểm tra hệ thống đang sử dụng nguồn đồng bộ nào. Nếu nguồn đồng bộ hệ thống đang sử dụng trùng với nguồn đồng bộ quyết định ở bước 2 thì xóa bộ đếm về 0 và quay lại bước 1. Nếu nguồn đồng bộ hệ thống đang sử dụng khác với nguồn đồng bộ quyết định ở bước 2 thì đổi sang nguồn đồng bộ quyết định ở bước 2, xóa bộ đếm về 0 và quay lại bước 1.

Quy trình phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian được mô tả trong hình 3.1.

Phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian tồn tại nhược điểm là phụ thuộc vào độ chính xác của phần cứng. Giả sử ta lấy  $\text{offset\_thres} = 200 \text{ ns}$  và lúc này chất lượng nguồn PTP1588 đang không tốt, hệ thống đang hoạt động ở chế độ GPS. Trong thời gian này, chất lượng gps có thể kém dần (do yếu tố khách quan thời tiết, anten), lúc này xung 1PPS xuất ra từ Timingcard được tổng hợp dựa trên bộ dao động nội OCXO trên Timingcard thay vì từ tín hiệu GPS (do tín hiệu GPS đang kém) nên có pha lệch trôi dần so với xung 1PPS chuẩn từ GPS. Sự lệch pha này được tích lũy sau 1 khoảng thời gian dài, nên lấy mẫu tại từng thời điểm không phát hiện ra được. Xung 1 PPS của Timingcard bị lệch pha so với xung 1 PPS chuẩn từ GPS



thì đồng hồ PHC trên NIC được hiệu chỉnh theo xung này cũng bị sai lệch về thời gian so với thời gian chuẩn từ GPS. Sau một khoảng thời gian nhất định, độ lệch thời gian giữa PHC và thời gian chuẩn từ GPS có thể lên tới 1  $\mu$ s, vẫn thỏa mãn tiêu chuẩn đồng bộ trong mạng 5G nhưng đã lớn hơn giá trị offset\_thres (200ns). Nếu lúc này nguồn đồng bộ PTP1588 có ổn định trở lại, chất lượng tốt (sai số so với thời gian chuẩn từ GPS coi như không đáng kể), thì thuật toán trên sẽ luôn tính ra là offset\_PTP (1  $\mu$ s) > offset\_thres (200ns). Kết hợp với việc khi hoạt ở chế độ GPS, NIC luôn nhận xung 1 PPS xuất ra từ



Hình 3.1: Quy trình phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP dựa trên độ lệch thời gian

Timingcard để hiệu chỉnh cho PHC của nó mà không biết rằng xung 1 PPS này đã bị lệch so với xung 1PPS chuẩn từ GPS, giá trị `offset_GPS` tính được vẫn nhỏ hơn `offset_thres`. Dựa vào hai điều kiện đầu vào trên, thuật toán vẫn quyết định hệ thống hoạt động ở chế độ GPS mà không chuyển sang chế độ PTP1588. Như vậy thuật toán trên có thể hoạt động không chính xác khi xung 1 PPS xuất ra từ Timingcard bị lệch pha so với xung 1 PPS chuẩn từ GPS sau một khoảng thời gian nhất định trong trường hợp tín hiệu GPS bị mất. Để khắc phục nhược điểm này, đề án đề xuất phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa vào độ trễ đường truyền của bản tin 1588.

### 3.2. Phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588.

Trong phần này, đề án đề xuất phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588.

Điều kiện ban đầu là chất lượng cả hai nguồn đồng bộ GPS và PTP1588 đều trong ngưỡng đảm bảo để đồng bộ cho hệ thống (thỏa mãn chuẩn 3GPP TE < 1.5  $\mu$ s). Giả sử hệ thống đang hoạt động ở chế độ PTP1588, đồng hồ PHC trên NIC đang được hiệu chỉnh theo nguồn đồng bộ 1588, giá trị độ lệch thời gian ( $t_{\text{offset}}$ ) giữa PHC và nguồn 1588 tương đối nhỏ (< `offset_thres`). Theo lý thuyết đã được đề cập trong phần 2.2.1.2, độ lệch thời gian giữa nguồn đồng bộ 1588 (đồng hồ chủ) và PHC (đồng hồ nô lệ) được tính như sau:

$$t_{\text{offset}} = t_2 - t_1 - t_{\text{delay}}$$

với  $t_{\text{delay}}$  là độ trễ truyền của bản tin 1588 trao đổi giữa đồng hồ chủ và đồng hồ nô lệ

Như vậy, giữa  $t_{\text{offset}}$  và  $t_{\text{delay}}$  có mối quan hệ phụ thuộc lẫn nhau. Do đó, có thể đánh giá  $t_{\text{offset}}$  gián tiếp thông qua  $t_{\text{delay}}$ . Nếu chất lượng nguồn đồng bộ 1588 đang tốt,  $t_{\text{offset}}$  đang nằm trong khoảng giá trị mong đợi ( $[0, \text{offset\_thres}]$ ) thì  $t_{\text{delay}}$  cũng nằm trong một khoảng giá trị xác định tương ứng. Nếu chất lượng nguồn đồng bộ 1588 suy giảm làm cho  $t_{\text{offset}}$  vượt ra ngoài khoảng giá trị mong đợi nói trên thì  $t_{\text{delay}}$  cũng vượt ra ngoài khoảng giá trị tương ứng của nó. Bằng cách kiểm tra xem  $t_{\text{delay}}$  có nằm trong một khoảng xác định hay không, có thể quyết định được chất lượng nguồn 1588 có đang tốt hay không.

Để tính toán khoảng giá trị của  $t_{\text{delay}}$  khi chất lượng nguồn 1588 đang tốt, tiến hành tính giá trị trung bình của  $t_{\text{delay}}$  ( $t_{\text{delay\_mean}}$ ) khi  $t_{\text{offset}}$  nằm trong khoảng mong đợi ( $[0, \text{offset\_thres}]$ ). Sau đó sử dụng  $t_{\text{delay\_mean}}$  cộng/trừ với một giá trị cửa sổ (`window_size`) để xác

định khoảng giá trị [delay\_min\_value, delay\_max\_value]. Sử dụng khoảng giá trị này làm căn cứ đánh giá chất lượng nguồn đồng bộ PTP1588 có đang tốt hay không, từ đó có quyết định chuyển hệ thống sang chế độ GPS hay không.

Điều kiện đầu vào là chất lượng cả hai nguồn đồng bộ GPS và PTP1588 đều trong ngưỡng đảm bảo để đồng bộ cho hệ thống (thỏa mãn chuẩn 3GPP TE < 1.5  $\mu$ s). Bên cạnh đó, do nguồn đồng bộ 1588 ổn định hơn nguồn GPS nên hệ thống luôn ưu tiên sử dụng nguồn đồng bộ 1588 khi nó được đánh giá là tốt, chỉ chuyển sang nguồn GPS khi nguồn PTP1588 bị đánh giá là không tốt. Một bộ đếm cũng được sử dụng nhằm đảm bảo hoạt động ổn định của hệ thống như đã đề cập đến ở phần 3.1.

Quy trình phối hợp giữa chế độ GPS và PTP1588 diễn ra như sau:

Bước 1: Tính giá trị độ trễ đường truyền hiện thời của bản tin 1588 trao đổi giữa đồng hồ chủ và đồng hồ nô lệ (delay\_PTP).

Bước 2: Cập nhật khoảng giá trị [delay\_min\_value, delay\_max\_value] hiện thời.

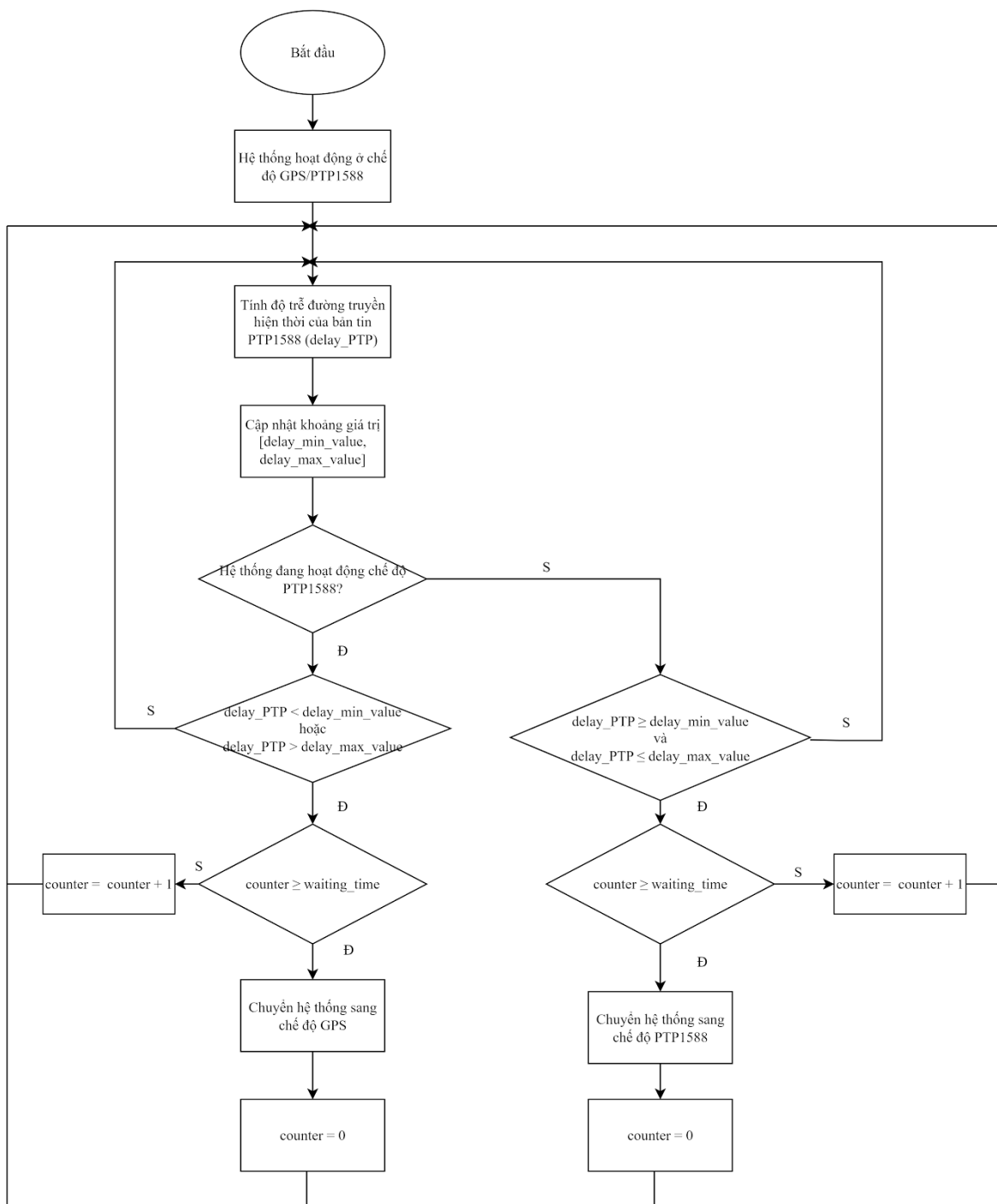
Bước 3: Kiểm tra xem hệ thống đang chạy ở chế độ nào và so sánh giá trị delay\_PTP với khoảng giá trị [delay\_min\_value, delay\_max\_value]

- Hệ thống đang hoạt động ở chế độ PTP1588: nếu  $\text{delay\_PTP} < \text{delay\_min\_value}$  hoặc  $\text{delay\_PTP} > \text{delay\_max\_value}$  thì quyết định chọn nguồn GPS là nguồn đồng bộ cho hệ thống, nếu không quay lại bước 1.
- Hệ thống đang hoạt động ở chế độ GPS: nếu  $\text{delay\_min\_value} \leq \text{delay\_PTP} \leq \text{delay\_max\_value}$  thì quyết định chọn nguồn PTP1588 là nguồn đồng bộ cho hệ thống, nếu không quay lại bước 1.

Bước 4: So sánh giá trị của bộ đếm (counter) với một khoảng thời gian xác định trước (waiting\_time). Nếu  $\text{counter} < \text{waiting\_time}$  thì tăng counter lên 1 và quay lại bước 1. Nếu  $\text{counter} \geq \text{waiting\_time}$  thì chuyển tới bước 5. [5]

Bước 5: Kiểm tra hệ thống đang sử dụng nguồn đồng bộ nào. Nếu nguồn đồng bộ hệ thống đang sử dụng trùng với nguồn đồng bộ quyết định ở bước 3 thì xóa bộ đếm về 0 và quay lại bước 1. Nếu nguồn đồng bộ hệ thống đang sử dụng khác với nguồn đồng bộ quyết định ở bước 3 thì đổi sang nguồn đồng bộ quyết định ở bước 3, xóa bộ đếm về 0 và quay lại bước 1.

Quy trình phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588 được mô tả trong hình 3.2.

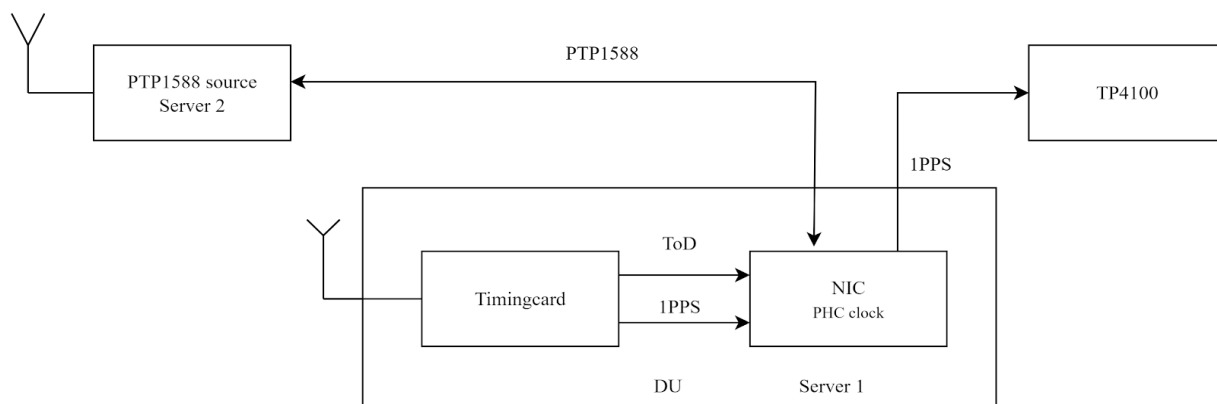


Hình 3.2: Quy trình phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên  $t_{\text{delay}}$

## CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

### 4.1. Mô hình hệ đo.

Mô hình hệ đo được sử dụng cho các thử nghiệm tiến hành trong chương này được mô tả trong hình 4.1.



Hình 4.1: Mô hình hệ đo

Hệ đo gồm các khối với chức năng như sau:

#### *Khối DU*

Khối DU được cài đặt chức năng trên server 1, có hai thành phần là Timingcard và NIC. Timingcard là phần cứng hỗ trợ cơ chế đồng bộ sử dụng GPS cho PHC trên NIC. NIC có chứa đồng hồ PHC là đối tượng được đồng bộ thời gian của hệ đo.

#### *Khối nguồn đồng bộ PTP1588*

Hệ đo sử dụng server 2 có đồng hồ đã được đồng bộ GPS (đóng vai trò như site router), là nguồn đồng bộ PTP1588 của hệ đo. Server 2 truyền nhận các bản tin 1588 với server 1 theo giao thức PTP qua đó đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC.

#### *Khối TP4100*

TP4100 là máy đo chuyên dụng để đo chất lượng đồng bộ thời gian. TP4100 nhận xung 1PPS được xuất ra từ PHC trên NIC và so sánh với đồng hồ tham chiếu đã được đồng bộ GPS của nó để từ đó tính toán các chỉ tiêu đánh giá chất lượng đồng bộ thời gian trong mạng.

### 4.2. Các thiết bị sử dụng.

Các thiết bị phần cứng được sử dụng trong hệ đo như sau:

## NIC XXV710-DA2T

Sự phát triển mạnh mẽ của mạng 5G đã thúc đẩy nhu cầu đồng bộ hóa thời gian với độ chính xác cao trên toàn mạng. Hầu hết các triển khai đều sử dụng giao thức PTP 1588 để đảm bảo độ chính xác về thời gian cần thiết trên toàn mạng. Bộ điều hợp mạng Intel Ethernet XXV710-DA2T với phần cứng hỗ trợ giao thức PTP 1588 đáp ứng được các yêu cầu về đồng bộ thời gian, mang tới độ linh hoạt cao hơn, giá thành rẻ hơn với các thiết bị chuyên dụng hỗ trợ PTP hiện nay. Bộ điều hợp mạng Intel Ethernet XXV710-DA2T giúp tăng độ chính xác về đồng bộ hóa pha và thời gian sử dụng giao thức PTP1588 thông qua sự kết hợp giữa cải tiến phần cứng và tối ưu hóa phần mềm.

Các tính năng chính:

- Bộ dao động với độ chính xác cao tích hợp trên mạch: cho độ chính xác pha cao hơn bộ điều hợp Ethernet tiêu chuẩn và cung cấp tính năng giữ đồng bộ xung nhịp (holdover) tốt hơn khi nguồn thời gian cung cấp cho nó bị gián đoạn.
- Đầu nối SMA kép: cho phép kết nối với nguồn thời gian / thiết bị nhận bên ngoài, cho phép NIC hoạt động như là một đồng hồ kiện tướng (grandmaster) và nguồn thời gian cho thiết bị khác.
- Các chân do phần mềm xác định (Software-defined pins – SDPs): các chân I/O có thể được cấu hình bởi người dùng điều khiển SMAs và cung cấp sự phối hợp thời gian giữa các cổng.
- Tính năng cá nhân hóa thiết bị động (Dynamic Device Personalization – DDP) cho phép tăng hiệu quả xử lý gói cho NFV và triển khai đám mây.
- Bộ công cụ phát triển mặt phẳng dữ liệu (Data Plane Development Kit – DPDK) được tối ưu hóa để xử lý gói tin hiệu quả.
- Hỗ trợ PCIe 3.0, x8



Hình 4.2: Bộ điều hợp mạng Intel Ethernet XXV710-DA2

### *Timingcard*

Timingcard là thiết bị phần cứng hỗ trợ cơ chế đồng bộ sử dụng tín hiệu GPS. Timingcard cung cấp xung đầu ra với tần số 1Hz ổn định, có độ chính xác cao, có khả năng lấy nguồn đồng bộ từ đồng hồ bên ngoài (tần số 1Hz -> 10Mhz) hoặc xung 1PPS từ module GPS tích hợp bên trong để đồng bộ cho xung đầu ra 1Hz. Cùng với xung 1Hz trên, timingcard có thể cung cấp bản tin RMC từ module GPS để làm đầu vào cho các tiến trình đồng bộ trên trạm gNodeB 5G.

Các thông số kỹ thuật:

- Module GPS: Ublox M8T
- Buffer clock: LMK05028
- PCI converter: ax99100
- Holdover time: 3h
- Output jitter: +/- 60 ns (tham số đo được trong trường hợp đồng bộ với xung 1PPS từ module GPS)



Hình 4.3: Timingcard do tập đoàn Viettel nghiên cứu, sản xuất

### *TP4100*

TimeProvider 4100 là một thiết bị đồng bộ hóa chấp nhận nhiều đầu vào từ GNSS (Global Navigation Satellite Systems), Synchronous Ethernet (SynE), 1588 PTP Grandmaster Clock và liên kết truyền dẫn kỹ thuật số E1/T1, phân phối luồng thời gian

đến nhiều điểm đầu cuối chẳng hạn như các trạm thu phát gốc. TP4100 được sử dụng trong đồ án như một thiết bị đo, nhận xung 1 PPS xuất ra từ PHC trên NIC, so sánh với đồng hồ tham chiếu đã được đồng bộ GPS của nó để tính toán các chỉ tiêu đánh giá chất lượng đồng bộ thời gian.

Các tính năng chính:

- Hỗ trợ các giao thức IEEE 1588v2 PTP, SyncE, NTP
- Hỗ trợ GNSS (GPS, GLONASS, BeiDou, QZSS, Galileo)
- Đồng hồ tham chiếu cơ sở (Primary Reference Time Clock – PRTC) lớp A và lớp

B

- Các lựa chọn khác nhau cho bộ dao động nội (mini OCXO, OCXO, Rubidium)



Hình 4.4: TimeProvider 4100 (TP4100)

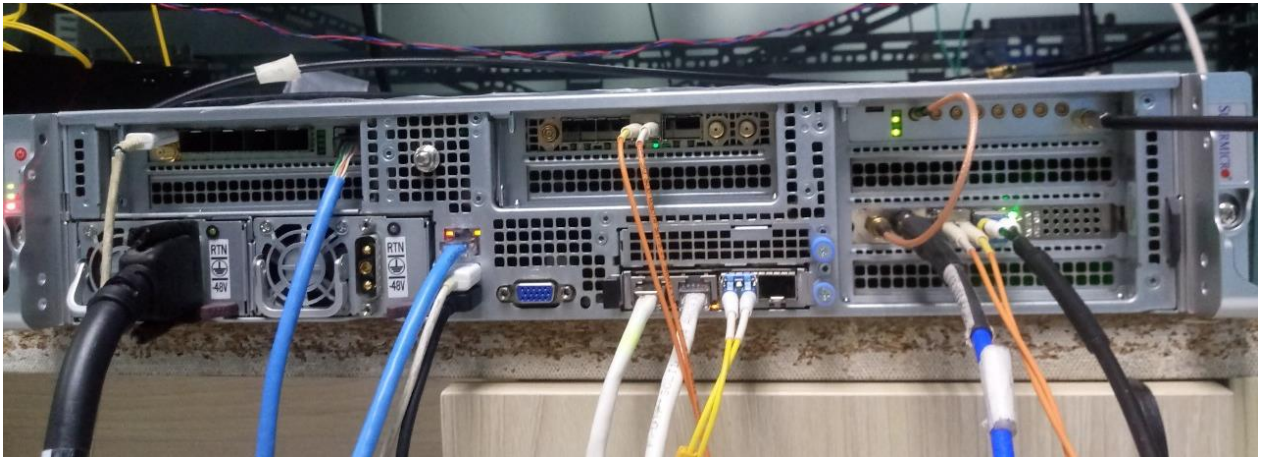
### 4.3. Hình ảnh thực tế hệ đo.

Các thiết bị phần cứng trong hệ đo được ghép nối như sau:

- Timingcard và NIC được kết nối vào server 1 (DU) qua cổng PCIe.
- Timingcard được nối ăng-ten GPS và dùng 1 dây cáp nối timingcard với cổng SMA1 trên NIC để xuất xung 1PPS đã được đồng bộ GPS từ timingcard cho NIC
- Dùng cáp quang nối cổng SFP trên server 2 với cổng SFP của NIC để truyền nhận bản tin 1588 giữa hai thiết bị.
- Dùng dây cáp nối cổng SMA2 trên NIC với cổng 1PPS\_0 trên máy đo TP4100 để xuất xung 1PPS từ PHC đã được hiệu chỉnh theo từng chế độ hoạt động khác nhau của NIC vào máy đo để đánh giá chất lượng đồng bộ thời gian.
- Dùng dây cáp nối cổng RJ45 trên TP4100 với cổng RJ45 trên server 1 để có thể truy cập máy đo từ xa qua server 1.



Hình 4.5 mô tả hình ảnh thực tế các thiết bị được ghép nối trong hệ đo.



Hình 4.5: Các thiết bị được ghép nối trong một hệ đo thực tế

#### 4.4. Tiến hành các thử nghiệm.

Trong phần này, đồ án sẽ trình bày các thử nghiệm được tiến hành với hệ đo được mô tả trong phần 4.1.

##### 4.4.1. Thử nghiệm đo chất lượng đồng bộ thời gian sử dụng chế độ GPS.

###### 4.4.1.1. Mục tiêu thử nghiệm.

Mục tiêu của thử nghiệm là tiến hành đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC sử dụng nguồn đồng bộ GPS sau đó đo chỉ số TE (Time Error) giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên máy đo TP4100 để từ đó đánh giá chất lượng đồng bộ thời gian cho PHC sử dụng chế độ GPS. Thử nghiệm được tiến hành trong 1 giờ với điều kiện thời tiết thuận lợi.

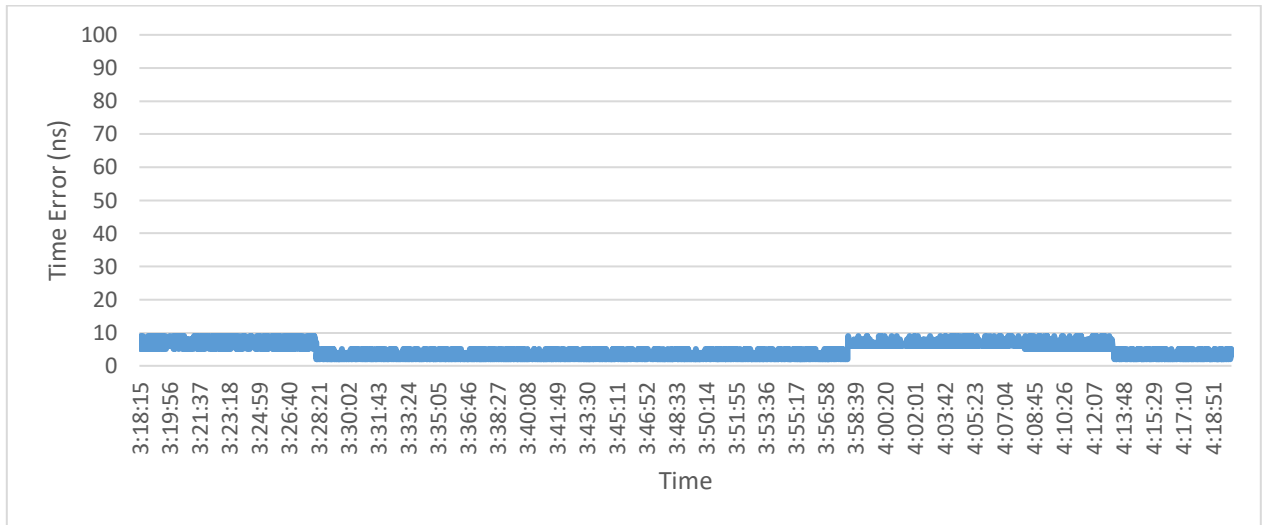
###### 4.4.1.2. Kết quả thử nghiệm.

Kết quả đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC sử dụng nguồn đồng bộ GPS được thể hiện trong hình 4.6.

```
ts2phc[149730.320][25-Oct-2022 09:21:16]: ens3f0 extts index 0 at 1666664476.999999998 corr 0 src 1666664477.0 diff -2
ts2phc[149730.320][25-Oct-2022 09:21:16]: TS2PHC_SYNCED
ts2phc[149730.320][25-Oct-2022 09:21:16]: ens3f0_master offset -2 s2 freq +71
ts2phc[149731.320][25-Oct-2022 09:21:17]: ens3f0 extts index 0 at 1666664478.000000006 corr 0 src 1666664478.0 diff 6
ts2phc[149731.320][25-Oct-2022 09:21:17]: TS2PHC_SYNCED
ts2phc[149731.320][25-Oct-2022 09:21:17]: ens3f0_master offset 6 s2 freq +79
ts2phc[149732.320][25-Oct-2022 09:21:18]: ens3f0 extts index 0 at 1666664479.000000001 corr 0 src 1666664479.0 diff 1
ts2phc[149732.320][25-Oct-2022 09:21:18]: TS2PHC_SYNCED
ts2phc[149732.320][25-Oct-2022 09:21:18]: ens3f0_master offset 1 s2 freq +75
ts2phc[149733.320][25-Oct-2022 09:21:19]: ens3f0 extts index 0 at 1666664479.999999995 corr 0 src 1666664480.0 diff -5
ts2phc[149733.320][25-Oct-2022 09:21:19]: TS2PHC_SYNCED
ts2phc[149733.320][25-Oct-2022 09:21:19]: ens3f0_master offset -5 s2 freq +70
ts2phc[149734.320][25-Oct-2022 09:21:20]: ens3f0 extts index 0 at 1666664480.999999996 corr 0 src 1666664481.0 diff -4
ts2phc[149734.320][25-Oct-2022 09:21:20]: TS2PHC_SYNCED
ts2phc[149734.320][25-Oct-2022 09:21:20]: ens3f0_master offset -4 s2 freq +69
ts2phc[149735.320][25-Oct-2022 09:21:21]: ens3f0 extts index 0 at 1666664481.999999999 corr 0 src 1666664482.0 diff -1
ts2phc[149735.320][25-Oct-2022 09:21:21]: TS2PHC_SYNCED
ts2phc[149735.320][25-Oct-2022 09:21:21]: ens3f0_master offset -1 s2 freq +71
```

Hình 4.6: Đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC sử dụng nguồn đồng bộ GPS

Kết quả đo chỉ số TE giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên TP4100 được minh họa bằng biểu đồ trong hình 4.7.



Hình 4.7: TE của PHC khi được đồng bộ thời gian sử dụng chế độ GPS

#### 4.4.1.3. Nhận xét kết quả.

Từ biểu đồ trong hình 4.7 có thể thấy PHC trên NIC được đồng bộ thời gian tốt khi sử dụng nguồn đồng bộ là GPS. Giá trị TE giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên TP4100 nhỏ, dao động trong khoảng [2 ns, 9 ns], và ổn định trong thời gian tiến hành phép đo. Tuy nhiên, do điều kiện phép đo được thực hiện trong thời gian còn tương đối ngắn (1 giờ) với điều kiện thời tiết thuận lợi nên chưa phản ánh được các tình huống như thời tiết không tốt khiến tín hiệu GPS bị ảnh hưởng, khi đó chất lượng nguồn GPS bị ảnh hưởng, giá trị TE không ổn định, dao động mạnh.

#### 4.4.2. Thử nghiệm đo chất lượng đồng bộ thời gian sử dụng chế độ PTP1588.

##### 4.4.2.1. Mục tiêu thử nghiệm.

Mục tiêu của thử nghiệm là tiến hành đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC sử dụng nguồn đồng bộ PTP1588 sau đó đo chỉ số TE (Time Error) giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên máy đo TP4100 để từ đó đánh giá chất lượng đồng bộ thời gian cho PHC khi sử dụng chế độ PTP1588. Thử nghiệm được tiến hành trong 1 giờ.

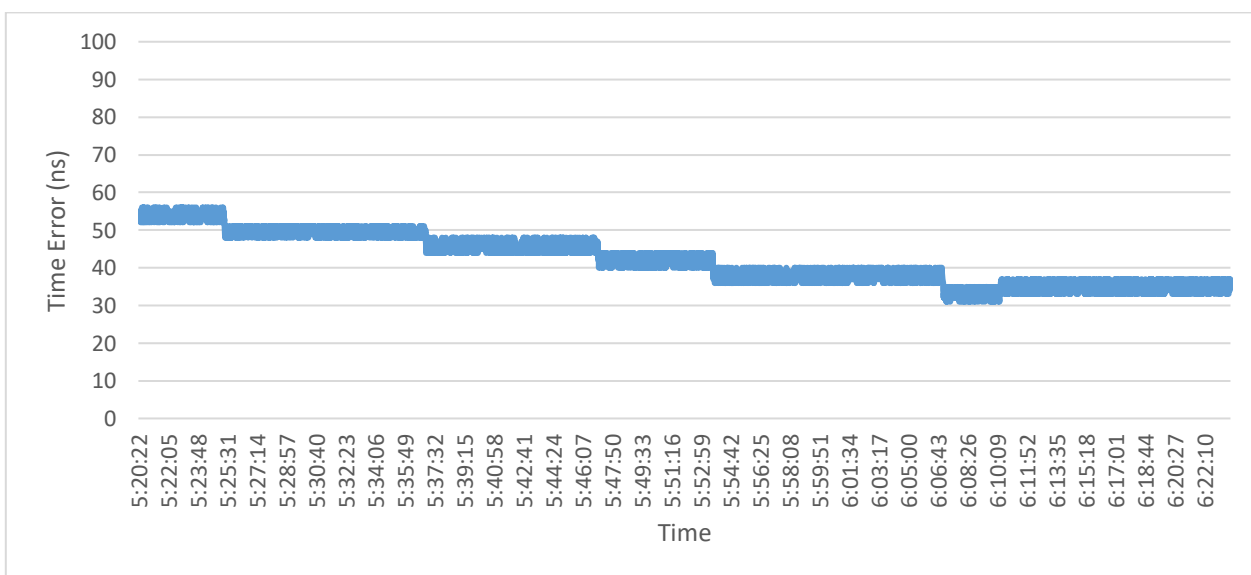
#### 4.4.2.2. Kết quả thử nghiệm.

Kết quả đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC sử dụng nguồn đồng bộ PTP1588 được thể hiện trong hình 4.8.

ptp4l[144154.894]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-5 s2 freq	+68 path delay	751
ptp4l[144154.957]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-6 s2 freq	+66 path delay	751
ptp4l[144155.019]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-4 s2 freq	+69 path delay	752
ptp4l[144155.082]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-5 s2 freq	+67 path delay	753
ptp4l[144155.144]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-5 s2 freq	+66 path delay	753
ptp4l[144155.207]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-7 s2 freq	+62 path delay	752
ptp4l[144155.269]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-8 s2 freq	+60 path delay	752
ptp4l[144155.332]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-5 s2 freq	+64 path delay	751
ptp4l[144155.394]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-5 s2 freq	+64 path delay	754
ptp4l[144155.457]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-2 s2 freq	+69 path delay	754
ptp4l[144155.519]	[25-Oct-2022 07:48:21]:	master offset	-3 s2 freq	+67 path delay	756
ptp4l[144155.582]	[25-Oct-2022 07:48:22]:	master offset	-9 s2 freq	+56 path delay	756
ptp4l[144155.644]	[25-Oct-2022 07:48:22]:	master offset	0 s2 freq	+71 path delay	746
ptp4l[144155.707]	[25-Oct-2022 07:48:22]:	master offset	-4 s2 freq	+64 path delay	752
ptp4l[144155.769]	[25-Oct-2022 07:48:22]:	master offset	-2 s2 freq	+63 path delay	750

Hình 4.8: Đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC sử dụng nguồn đồng bộ PTP1588

Kết quả đo chỉ số TE giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên TP4100 được minh họa bằng biểu đồ trong hình 4.9.



Hình 4.9: TE của PHC khi được đồng bộ sử dụng chế độ PTP1588

#### 4.4.2.3. Nhận xét kết quả.

Từ biểu đồ trong hình 4.9 có thể thấy PHC trên NIC được đồng bộ thời gian tương đối tốt khi sử dụng nguồn đồng bộ PTP1588. Giá trị TE giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên TP4100 tương đối nhỏ, dao động trong khoảng [31 ns, 56 ns] và ổn định trong thời gian tiến hành phép đo. Có thể thấy giá trị TE đo được trong trường hợp sử dụng

nguồn đồng bộ PTP1588 cao hơn khi sử dụng nguồn đồng bộ GPS. Nguyên nhân là do nguồn đồng bộ GPS lấy tín hiệu trực tiếp từ vệ tinh nên có độ chính xác cao hơn nguồn đồng bộ 1588. Tuy nhiên, trong trường hợp điều kiện thời tiết không thuận lợi, nguồn đồng bộ 1588 duy trì sự ổn định cao hơn nguồn đồng bộ GPS do không bị ảnh hưởng bởi thời tiết.

#### **4.4.3. Thử nghiệm đo chất lượng đồng bộ thời gian sử dụng phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian.**

##### **4.4.3.1. Mục tiêu thử nghiệm.**

Mục tiêu của thử nghiệm là đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC sử dụng phối hợp hai nguồn đồng bộ GPS và PTP1588 tùy theo chất lượng nguồn đồng bộ nào đang tốt hơn dựa trên độ lệch thời gian của PHC với từng nguồn đồng bộ. Sau đó tiến hành đo giá trị TE giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên TP4100 để đánh giá chất lượng đồng bộ thời gian cho PHC sử dụng phương án phối hợp hai nguồn đồng bộ dựa trên độ lệch thời gian.

##### **4.4.3.2. Thực hiện thử nghiệm.**

Do trong một khoảng thời gian ngắn và điều kiện thời tiết không có nhiều thay đổi thì độ lệch thời gian giữa PHC và hai nguồn đồng bộ GPS và PTP1588 tương đối ổn định. Do đó, để có thể thử nghiệm hoạt động của phương án phối hợp giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian, tiến hành mô phỏng các trường hợp khác nhau của độ lệch thời gian giữa PHC và từng nguồn đồng bộ. Các trường hợp mô phỏng sử dụng được liệt kê trong bảng 4.1, giá trị  $\text{offset\_thres} = 100 \text{ ns}$ .

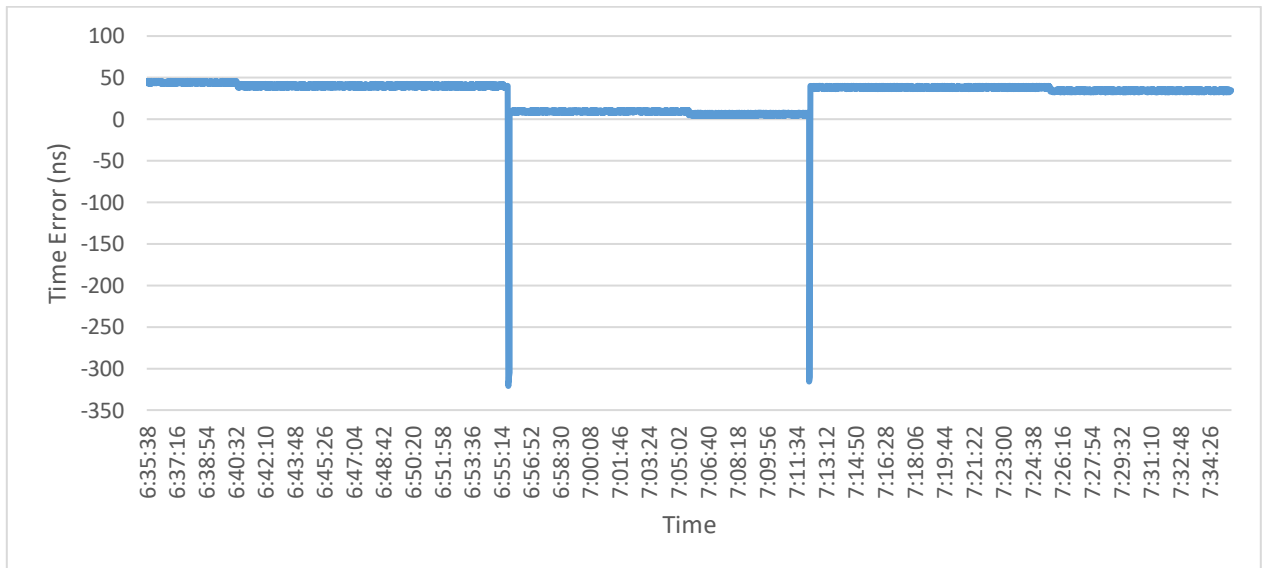
Bảng 4.1: Các trường hợp mô phỏng độ lệch thời gian của PHC với từng nguồn đồng bộ GPS và PTP1588.

Trường hợp mô phỏng	Nội dung mô phỏng	Giá trị $\text{offset\_ptp}$	Giá trị $\text{offset\_gps}$
1	$\text{offset\_ptp} > \text{offset\_thres}$ $\text{offset\_gps} > \text{offset\_thres}$	Mô phỏng các giá trị $\text{offset\_ptp}$ trong khoảng: $100\text{ns} < \text{offset\_ptp} < 1500\text{ns}$	Mô phỏng các giá trị $\text{offset\_gps}$ trong khoảng: $100\text{ns} < \text{offset\_gps} < 1500\text{ns}$
	$\text{offset\_ptp} \leq \text{offset\_thres}$	Mô phỏng các giá	Mô phỏng các giá

2	$\text{offset\_gps} \leq \text{offset\_thres}$	trị $\text{offset\_ptp}$ trong khoảng: $0 \text{ ns} \leq \text{offset\_ptp} \leq 100 \text{ ns}$	trị $\text{offset\_gps}$ trong khoảng: $0 \text{ ns} \leq \text{offset\_gps} \leq 100 \text{ ns}$
3	$\text{offset\_ptp} \leq \text{offset\_thres}$ $\text{offset\_gps} > \text{offset\_thres}$	Mô phỏng các giá trị $\text{offset\_ptp}$ trong khoảng: $0 \text{ ns} \leq \text{offset\_ptp} \leq 100 \text{ ns}$	Mô phỏng các giá trị $\text{offset\_gps}$ trong khoảng: $100 \text{ ns} < \text{offset\_gps} < 1500 \text{ ns}$
4	$\text{offset\_ptp} > \text{offset\_thres}$ $\text{offset\_gps} \leq \text{offset\_thres}$	Mô phỏng các giá trị $\text{offset\_ptp}$ trong khoảng: $100 \text{ ns} < \text{offset\_ptp} < 1500 \text{ ns}$	Mô phỏng các giá trị $\text{offset\_gps}$ trong khoảng: $0 \text{ ns} \leq \text{offset\_gps} \leq 100 \text{ ns}$

#### 4.4.3.3. Kết quả thử nghiệm.

Kết quả đo chỉ số TE giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên TP4100 khi sử dụng phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian được minh họa bằng biểu đồ trong hình 4.10.



Hình 4.10: TE của PHC khi sử dụng phương án phối hợp giữa chế độ hoạt động GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian

#### 4.4.3.4. Nhận xét kết quả.

Từ biểu đồ trong hình 4.10 có thể thấy PHC trên NIC đã được đồng bộ thời gian sử dụng phối hợp cả hai nguồn đồng bộ. Giá trị TE giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên TP4100 tương đối ổn định khi sử dụng từng nguồn đồng bộ, với giá trị TE dao động trong khoảng [4 ns, 11 ns] khi sử dụng nguồn đồng bộ GPS và [32 ns, 46 ns] khi sử dụng nguồn PTP1588. TE tăng lên đột ngột trong thời gian chuyển giữa hai nguồn đồng bộ, dao động trong khoảng [-321 ns, -305 ns] và giá trị TE tăng đột biến này diễn ra trong thời gian tương đối ngắn từ 3 – 5 s sau đó lại trở về trạng thái ổn định. TE trong toàn bộ quá trình đều thỏa mãn tiêu chuẩn đồng bộ thời gian trong mạng 5G – NR là  $TE < 1.5 \mu s$ .

#### 4.4.4. Thử nghiệm đo chất lượng đồng bộ thời gian sử dụng phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588.

##### 4.4.4.1. Mục tiêu thử nghiệm.

Mục tiêu của thử nghiệm là đồng bộ thời gian cho PHC trên NIC sử dụng phối hợp hai nguồn đồng bộ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588. Sau đó tiến hành đo giá trị TE giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên TP4100 để đánh giá chất lượng đồng bộ thời gian cho PHC khi sử dụng phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588.

##### 4.4.4.2. Thực hiện thử nghiệm.

Để có thể thử nghiệm hoạt động của phương án phối hợp giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588, tiến hành mô phỏng các trường hợp độ trễ đường truyền bản tin 1588 thay đổi. Các trường hợp mô phỏng sử dụng được liệt kê trong bảng 4.2.

Bảng 4.2: Các trường hợp mô phỏng độ trễ đường truyền bản tin PTP1588.

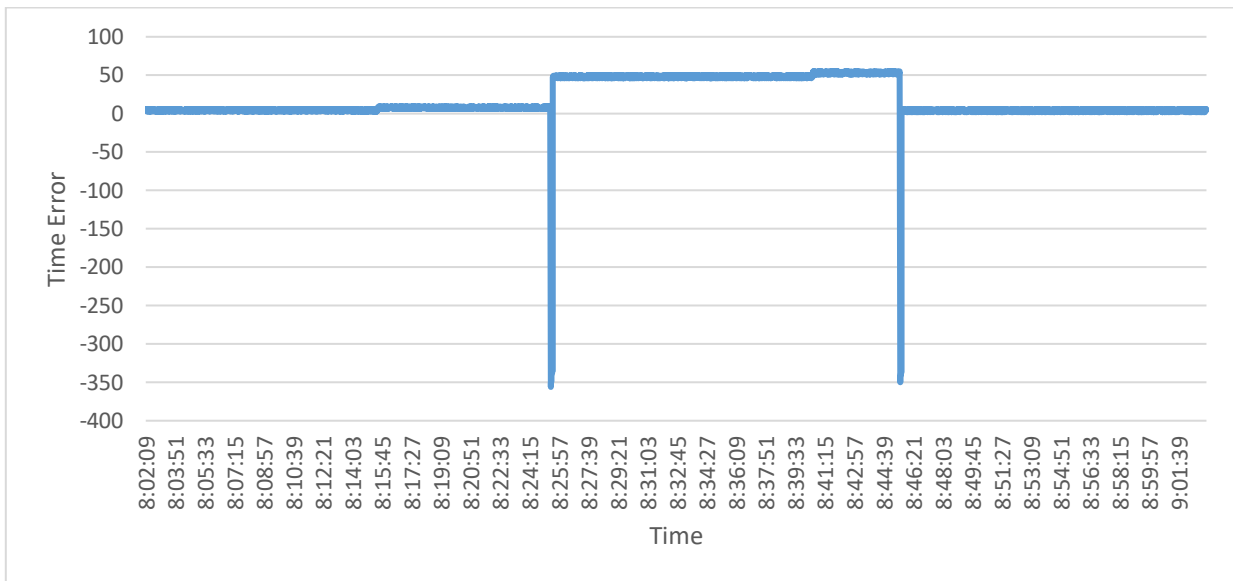
Trường hợp mô phỏng	Nội dung mô phỏng	Giá trị delay_PTP
1	Mô phỏng chất lượng nguồn PTP1588 tốt trong $t_1$ s -> không tốt trong $t_2$ s -> tốt trong $t_3$ s (với $t_1, t_2, t_3 > \text{waiting\_time}$ )	Trong khoảng thời gian $t_1$ và $t_3$ , mô phỏng các giá trị delay_PTP trong khoảng [delay_min_value; delay_max_value]

		Trong khoảng thời gian $t_2$ , mô phỏng giá trị delay_PTP ngoài khoảng [delay_min_value; delay_max_value]
2	Mô phỏng chất lượng nguồn PTP1588 không tốt trong $t_1$ s -> tốt trong $t_2$ s -> không tốt trong $t_3$ s (với $t_1, t_2, t_3 > \text{waiting\_time}$ )	Trong khoảng thời gian $t_1$ và $t_3$ , mô phỏng các giá trị delay_PTP ngoài khoảng [delay_min_value; delay_max_value] Trong khoảng thời gian $t_2$ , mô phỏng giá trị delay_PTP trong khoảng [delay_min_value; delay_max_value]
3	Mô phỏng chất lượng nguồn PTP1588 tốt trong $t_1$ s -> không tốt trong $t_2$ s -> tốt trong $t_3$ s -> không tốt trong $t_4$ s (với $t_1, t_3, t_4 > \text{waiting\_time}$ và $t_2 < \text{waiting\_time}$ )	Trong khoảng thời gian $t_1$ và $t_3$ , mô phỏng các giá trị delay_PTP trong khoảng [delay_min_value; delay_max_value] Trong khoảng thời gian $t_2$ và $t_4$ , mô phỏng giá trị delay_PTP ngoài khoảng [delay_min_value; delay_max_value]
4	Mô phỏng chất lượng nguồn PTP1588 không tốt trong $t_1$ s -> tốt trong $t_2$ s -> không tốt trong $t_3$ s -> tốt trong $t_4$ s (với $t_1, t_3, t_4 > \text{waiting\_time}$ và $t_2 < \text{waiting\_time}$ )	Trong khoảng thời gian $t_1$ và $t_3$ , mô phỏng các giá trị delay_PTP ngoài khoảng [delay_min_value; delay_max_value] Trong khoảng thời gian $t_2$ và $t_4$ , mô phỏng giá trị

		delay_PTP trong khoảng [delay_min_value; delay_max_value]
--	--	---

#### 4.4.4.3. Kết quả thử nghiệm.

Kết quả đo chỉ số TE giữa PHC và đồng hồ tham chiếu cơ sở trên TP4100 khi sử dụng phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588 được minh họa bằng biểu đồ trong hình 4.11.



Hình 4.11: TE của PHC khi sử dụng phương án phối hợp giữa chế độ hoạt động GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588

#### 4.4.4.4. Nhận xét kết quả.

Từ biểu đồ trong hình 4.11 có thể thấy PHC trên NIC đã được đồng bộ thời gian sử dụng phối hợp cả hai nguồn đồng bộ. Giá trị TE giữa PHC và đồng hồ tham chiếu chuẩn trên TP4100 tương đối ổn định khi sử dụng từng nguồn đồng bộ, với giá trị TE dao động trong khoảng [2 ns, 9 ns] khi sử dụng nguồn đồng bộ GPS và [46 ns, 55 ns] khi sử dụng nguồn PTP1588. TE tăng lên đột ngột trong thời gian chuyển giữa hai nguồn đồng bộ, dao động trong khoảng [-356 ns, -335 ns] sau đó lại trở về trạng thái ổn định. Giá trị TE tăng đột biến tại thời điểm chuyển giữa hai nguồn đồng bộ diễn ra trong khoảng thời gian ngắn từ 6 – 8 s. TE trong toàn bộ quá trình đều thỏa mãn tiêu chuẩn đồng bộ thời gian trong mạng 5G – NR là  $TE < 1.5 \mu s$ .



## CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ TRIỂN VỌNG PHÁT TRIỂN

### 5.1. Kết luận.

Đồ án đã tiến hành nghiên cứu, đề xuất hai phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 trong đồng bộ thời gian cho trạm gNodeB 5G đó là phương án phối hợp giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ lệch thời gian và phương án phối hợp giữa chế độ GPS và PTP1588 dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588. Hai phương án đã được thử nghiệm và đo kiểm trên một hệ đo thực tế và cho kết quả khá tương đồng. Kết quả cho thấy, khi sử dụng cả hai phương án, đồng hồ PHC trên NIC đã được đồng bộ thời gian sử dụng phối hợp cả hai nguồn đồng bộ GPS và PTP1588 tùy theo chất lượng nguồn đồng bộ nào tốt hơn thay vì chỉ sử dụng được một nguồn đồng bộ đã cấu hình như trước đây. Giá trị TE ổn định khi sử dụng từng nguồn đồng bộ và tăng lên trong khoảng  $[-321\text{ ns}, -305\text{ ns}]$  với phương án phối hợp dựa trên độ lệch thời gian và  $[-356\text{ ns}, -335\text{ ns}]$  với phương án phối hợp dựa trên độ trễ đường truyền bản tin 1588 tại thời điểm chuyển giữa hai nguồn đồng bộ. Tuy nhiên khoảng thời gian TE tăng cao tương đối ngắn (dưới 10 s) và các giá trị TE trên vẫn thỏa mãn tiêu chuẩn đồng bộ thời gian trong mạng 5G – NR là  $TE < 1.5\text{ }\mu\text{s}$ .

Mặc dù đã đạt được một số kết quả đáng quan tâm như trên nhưng hai phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 đã đề xuất vẫn tồn tại một số điểm hạn chế. Phương án phối hợp hoạt động giữa hai chế độ sử dụng độ lệch thời gian còn phụ thuộc vào độ chính xác của phần cứng (Timingcard). Khi sử dụng cả hai phương án, giá trị TE tăng cao tại thời điểm chuyển giữa hai nguồn đồng bộ tuy vẫn thỏa mãn tiêu chuẩn chung về đồng bộ thời gian trong mạng 5G ( $TE < 1.5\text{ }\mu\text{s}$ ) nhưng trong một số ứng dụng đòi hỏi các yêu cầu về đồng bộ thời gian chặt chẽ hơn ( $TE < 100\text{ ns}$ ) thì lại chưa đáp ứng được. Bên cạnh đó, các thử nghiệm tiến hành trong đồ án diễn ra trong thời gian chưa đủ dài và trong điều kiện thời tiết không có nhiều thay đổi nên vẫn chưa phản ánh được chất lượng đồng bộ sử dụng nguồn GPS suy giảm trong trường hợp thời tiết không thuận lợi trong khi chất lượng đồng bộ sử dụng nguồn PTP1588 khá ổn định do nguồn đồng bộ này không phụ thuộc nhiều vào thời tiết.

### 5.2. Triển vọng phát triển.

Hai phương án phối hợp hoạt động giữa chế độ GPS và PTP1588 trong đồng bộ thời gian cho trạm gNodeB 5G được đề xuất trong đồ án đã cho thấy những kết quả ban đầu

đáng hứa hẹn, góp phần nâng cao hiệu quả đồng bộ thời gian trong mạng 5G. Trong tương lai, hai phương án trên có thể được nghiên cứu thêm để giảm giá trị TE tại thời điểm chuyển giữa hai chế độ hoạt động, đáp ứng được một số ứng dụng đòi hỏi yêu cầu chặt chẽ hơn về đồng bộ thời gian với  $TE < 100$  ns cũng như tích hợp thêm tính năng báo hiệu khi chất lượng một hoặc cả hai nguồn đồng bộ không đảm bảo để đồng bộ thời gian.

## **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] P. Larry and S. Oguz, 5G Mobile Networks: A Systems Approach, Morgan & Claypool, 2020.
- [2] K. Yazz, "What is Radio Access Network (RAN)?," 12 5 2022. [Online]. Available: <https://www.trentonsystems.com/radio-access-network-ran>. [Accessed 16 10 2022].
- [3] V. S. Inc, "5G Timing and Synchronization Handbook for TDD Deployment," 2021.
- [4] G. Emil and E. Anders, "Practical analysis of the Precision Time Protocol under different types of system load," Stockholm, 2017.
- [5] "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems," in IEEE Std 1588-2019 (Revision of IEEE Std 1588-2008) , vol., no., pp.1-499, 16 June 2020, doi: 10.1109/IEEESTD.2020.9120376.