

附件 1.1：成品說明書

報名組別：創新實作專業組

創作主題：基於 NFV 虛擬雲端運算之智慧電子圍籬系統

作品簡介 YOUTUBE 影片連結：

https://www.youtube.com/watch?v=JeUSECjrwqY&ab_channel=YuWen

科系：資訊工程系

指導教師：吳信德 教授

團隊成員：蔡沛錦、彭筱竹、林玉文、蔡馥仔

團隊組長：王采筑

組長 E-mail：wtsaichu@gmail.com

組長手機號碼：0932064490

一、前言

關鍵詞：第五代行動通訊技術(5th generation mobile networks/5th generation wireless systems, 5G)、電子圍籬(Geofencing)、網路功能虛擬化(Network Functions Virtualization, NFV)、行動邊緣運算(Multi-access edge computing, MEC)、雲端化無線存取網路(Cloud-RAN)

1. 動機

因應近期 COVID-19 疫情的關係，我們希望實作出一套電子圍籬系統(Electronic Fence System)，主要針對居家檢疫與隔離者確實掌握受檢疫者的行蹤。當受檢疫者離開檢疫範圍，系統可向當事人發送警告簡訊，並同步通知相關衛政單位，形成一道隱形的電子圍籬。

政府當前使用的電子防疫平台的原理是，透過非指定範圍內的基地台是否有指定隔離對象的手機國際行動裝置辨識碼(International Mobile Equipment Identity, IMEI)以下本文稱 IMEI 碼去判定指定隔離對象是否在當前指定隔離區域範圍內。**這樣的判定方法是模糊的而不精準的**，本系統透過多基地台進行三點定位，得到更加精確的位置以判定指定隔離對象是否在當前指定隔離區域範圍，從而改善現存的電子圍籬系統。

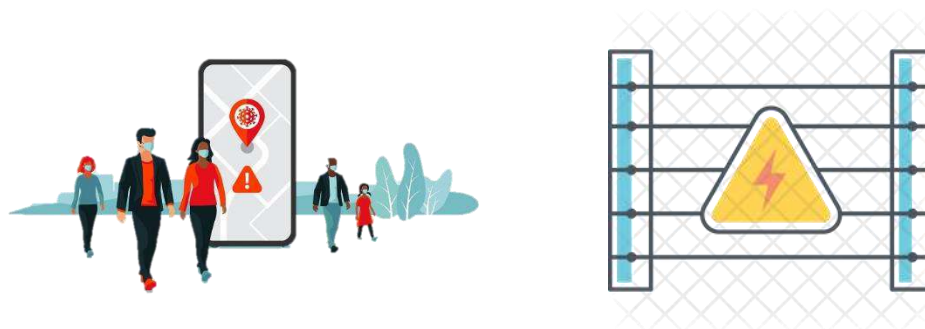


圖 1 電子圍籬示意圖

2. 台灣電子圍籬的發展

2019 年末，COVID-19(前稱 2019 新型冠狀病毒或 2019-nCoV) 肆虐全球，面對這種高傳染性疾病，台灣政府規定，染疫或指定密切接觸的人需要隔離，並與衛生局、五大電訊公司和 NCC(National Communications Commission)[1]聯合開發了電子防疫平台，通過 IMEI 碼連線基地台是否在指定隔離範圍基地台內來檢測被隔離者是否已經離開隔離範圍。

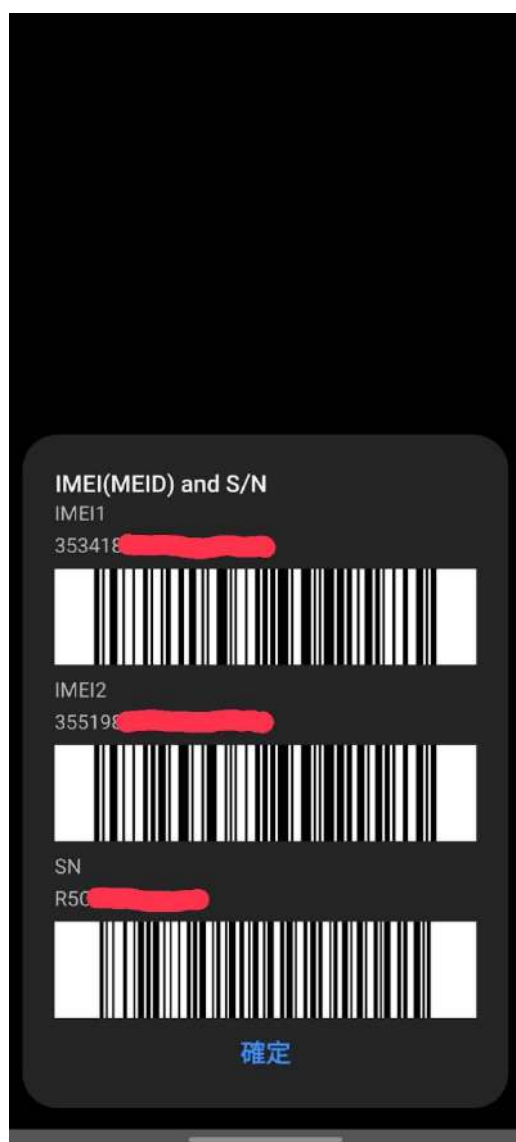


圖 2 NCC 電子圍籬宣傳(圖源：NCC)

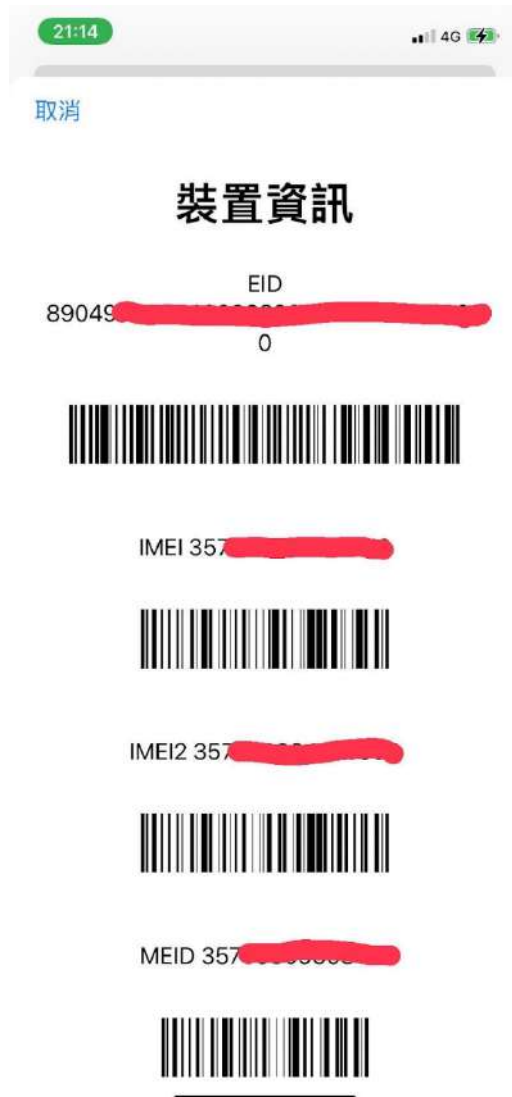
當手機連接到附近的基地台時，除了門牌號訊息外，還有手機國際行動裝置辨識碼 IMEI 訊息，用來綁定門牌號、手機、個人資料。只要使用者有手機或使用者身分模組(Subscriber Identity Module, SIM)以下本文稱 SIM 卡，就能被檢測到使用者的大概位置。因此，指揮中心可以通過跟蹤門牌號、IMEI 碼等訊息，確認家庭隔離人員在哪個基地台附近，然後找到家庭隔離人員和自主健康管理人的位置。



圖 3 新聞報導電子圍籬(圖源：台灣「天網(電子圍籬 2.0)」是什麼)



Android



iOS

圖 3 輸入*#06#即可查詢指定裝置的 IMEI 碼

這套系統在台灣防疫隔離初期發揮巨大的價值，我們可以認為，這套系統在疫情之後仍然可以發揮應用價值，例如，圈定指定區域如有害化學物質處理場，當有人誤入時，便會發起警訊，讓工作人員能夠立即前往處理，又或者攜帶手機的失智老人出門時，可以知道其位置。

5G 對於電子圍籬系統是有益的，下面我們將會再度說明為何 5G 適用於電子圍籬。

3. 電子圍欄與 5G 的關係

本文根據幾個特點來解釋為什麼 5G 適合發展電子圍欄系統，這跟 5G 的特性有相當的關聯性。

3.1 部署小型基地台提高換手頻率

5G 發出高功率的高頻無線電波，在繞射不足的情況下會部署大量的小型基地台 (Cell)，以加強發訊範圍。基地台的密度增加，這意味著在固定的區域內換手的頻率變高，定位精度提昇。

下圖為中華電訊 5G 基地台的訊號分佈。[2]



圖 4 中華電訊 5G 訊號分佈圖 (圖源：[行動寬頻系統\(5G NR+4G LTE\)](#) 涵蓋)

3.2 行動邊緣運算技術的崛起

行動邊緣運算(Multi-access edge computing, MEC)以下本文稱 MEC 是一個網路架構的概念，在行動網路的邊緣提供雲端運算的能力，以及 IT 服務的環境。技術上可以提高 5G 速度的技術。邊緣計算允許不同的區塊分別進行不同的任務，如此接入網路就不需要計算其他東西來降低性能，這個技術對於進行大量運算的電子圍籬系統是必要的技術。

4. 目前電子圍籬的問題

4.1 頻繁的錯誤仍然發生

如下圖報導[3]，這類報導在防疫期間經常出現，搜索結果是根據範圍外的基地台是否有指定隔離對象的 IMEI 碼，再回溯是否有該匡列對象的註冊號，這種方法仍然會出現誤差，光是北市單月舉報誤差就超過四千件。

自由時報 NEW
Liberty Times Net 即時 熱門 政治 社會 生活 健康 國際 地方 蒐奇 影音 財經 娛樂 藝文
汽車 時尚 體育 3C 評論 玩咖 食譜 地產 專區 TAIPEI TIMES 求職

北市電子圍籬單月誤報逾4千件 黃珊珊：警凌晨按鈴確認是否外出



北市議員徐巧芯（右）反映電子圍籬誤報件數多，建議市府向中央取消電子圍籬的措施，北市副市長黃珊珊（左）允諾會反映。（翻攝台北市議會網站）

2022/06/02 19:05

〔記者蔡亞樺／台北報導〕國內疫情嚴峻，確診者於隔離治療、居家照護及居家檢疫期間，仍實施電子圍籬措施，但北市議員徐巧芯今天下午在議會質詢指出，電子圍籬誤報讓民眾不勝其擾，調閱資料發現今年4月派案數8645件，其中4617件誤報，連北市副市長黃珊珊也受害。

圖 5 電子圍籬誤報新聞片段(圖源：[北市電子圍籬單月誤報逾4千件](#))

4.2 人權隱私與技術執行問題

中國的天網系統被認為是侵犯了人們的隱私，實際上，電子圍欄與天網的性質是一樣的。憲法明令保護人們的居住和行動自由，有一部分人認為，這個系統是違憲的，這部分也是有爭議的，對於這點監察院調查委員也提出了質疑報告，見下圖監察院調查委員提出質疑的新聞片段[4]，詳情可參考連結：



圖 6 監察委員新聞稿片段(圖源：[防疫兼顧人權](#))

在發生疫情的時候，人們可以為了他人的安全而妥協，相應的會更加注重付出隱私之後，該系統是否能夠確實發揮其作用，為此需要更加精確的算法跟穩定的系統。

5. 目標

5.1 提高精確度

我們可以通過第三代合作夥伴計劃(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)以下簡稱 3GPP 訂定的通道模型來計算範圍，進行三相精準定位，最後判定是否超出指定範圍。

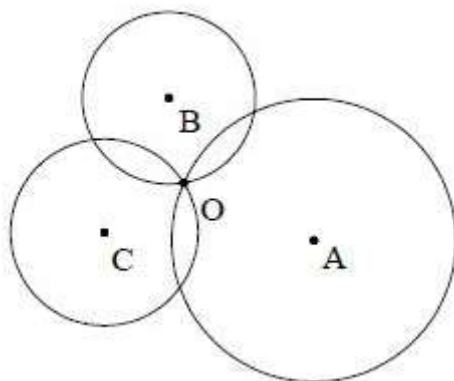


圖 7 三點定位示意圖

5.2 不規則的範圍判定算法

本系統透過特殊的算法，圈定不規則形狀的範圍並進行判定，這對於部份建築物的範圍判定很有幫助，例如有前院的別墅，或是凹多邊形的宿舍等等，下面我們會應用在模擬宜大的模型部份詳細說明這項算法。

5.3 輕量級的模擬系統

現存的行動通訊虛擬系統都伴隨著需要建立大量複雜的環境，並且倚賴高要求的硬體資源，本系統的目的之一，即是開發一套輕量級且不需要仰賴高性能的硬體設備與複雜的環境才能搭建起來的系統以進行電子圍籬的模擬。

1. 基於 NFV 技術建立模擬系統

用虛擬機的方式建立虛擬網卡，**本系統建立的虛擬網路稱為 SIMNetwork**，模擬行動終端機(User Equipment, UE) 本文稱 UE 接入核心網的過程，再回傳**參考訊號接收功率** (Reference Signal Receiving Power, RSRP)本文稱 RSRP 並且圖像化顯示或是操控，最後透過**中央單元**(Central Unit, CU)本文稱 CU 進行運算，UE 接入 5G 核心網的請求由接入和移動管理功能(Access and Mobility Management Function, AMF)本文稱 AMF 進行。

NFV 即**網路功能虛擬化**(Network Functions Virtualization)，將許多類型的網路設備(如 servers，switches 和 storage 等)構建為一個 Data Center Network，通過借用訊息技術(Information Technology,IT)的虛擬化技術虛擬化形成虛擬機(Virtual Machine, VM)，然後將傳統的通訊技術(Communication Technology,下稱 CT)業務部署到 VM 上。

本系統透過這種技術建構 DU-CU-AAU 的 5G **新一代無線接入網**(New Generation Radio Access Network, NR)，後續會提到本系統的 Choice System 參數，其中的 NG-RAN 即代表 NR。

本系統使用 NFV 技術模擬 NR 系統架構，模擬一般人無法取得的 **generation NodeB**(下稱 gNB)/Cell 跟獨立的 CU。

下圖為 NFV 的架構

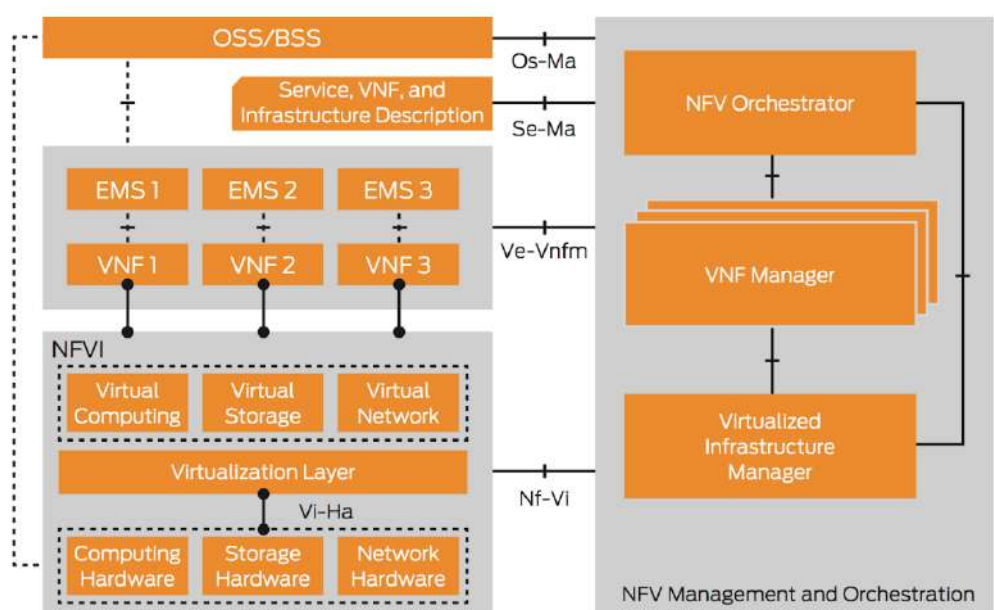


圖 8 NFV 的架構(圖源：[NFV 基本概念](#))

一個 NFV 的標準架構包括網路功能虛擬化基礎設施(NFV infrastructure,NFVI)，

網路功能虛擬化管理以及編排(Management and Orchestration,MANO)和網路虛擬化功能(Network Functions Virtualization,VNFs)，三者是實現了 VNF 的實體的動態建立及管理。

1.1 NFVI(NFV Infrastructure)

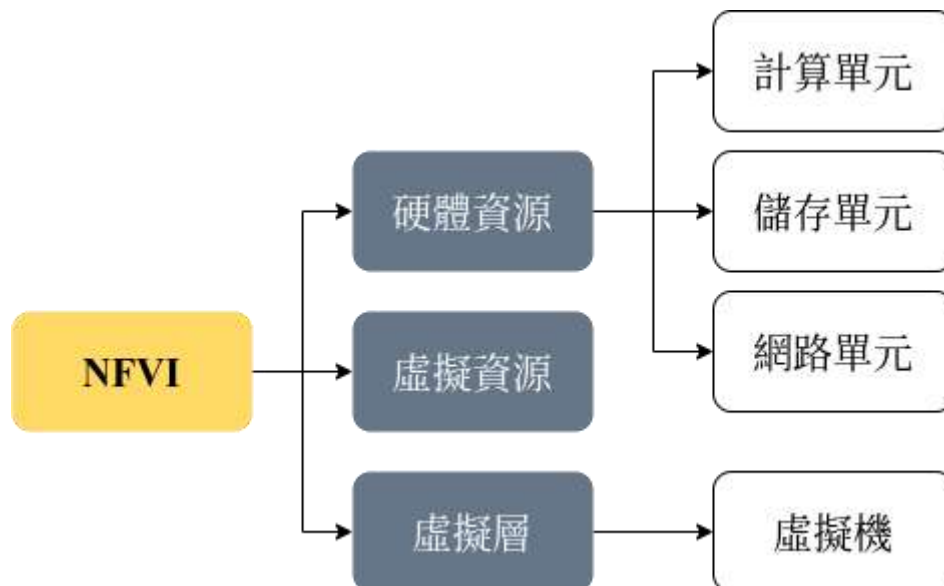


圖 9 NFVI 包含的內容

包含了硬體資源、虛擬化層和虛擬資源，硬體資源包含一般計算單元、儲存單元跟網路單元，它們透過虛擬層與虛擬資源產生映射，虛擬化層對硬體資源進行抽象化，保證 VNF 可以部署到硬體資源上，虛擬化層為運行在硬體資源的一個容器(Container)，經典的解決方案有：Hypervisor、Docker 以及 vSwitch。

本系統將 VM 作為虛擬層調度硬體資源，並建立虛擬的硬體對應單元，如計時器模擬 UE 接入核心網的過程。

1.2 VNF

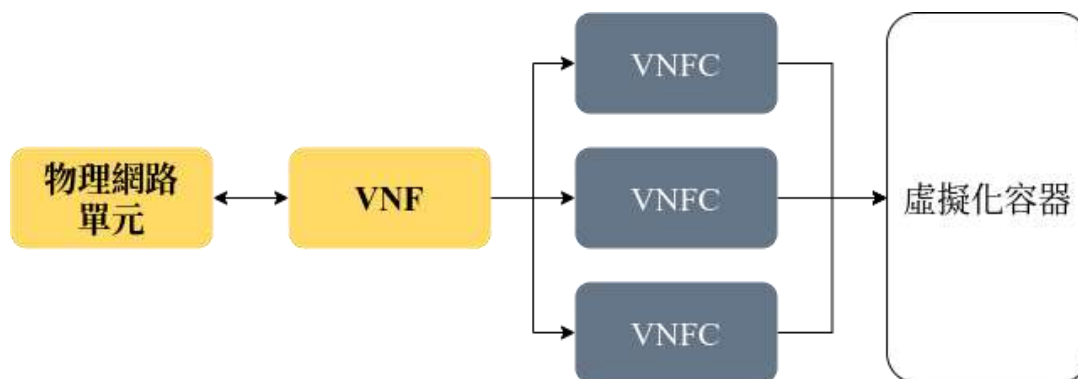


圖 10 VNF 功能組成

VNF 運行在 VNFI 上，不依賴硬體資源實現網路功能，VNF 包括操作與管理單元(Operation and Management Unit, OMU)和虛擬網路子功能(Virtual Network Sub-Functions, VNSF)，實例是 3GPP 演進的分組核心的網路元素如 MME、SGW、PGW 等，整個 VNF 可以單獨佈署到一個 VM 中，本系統即是如此。

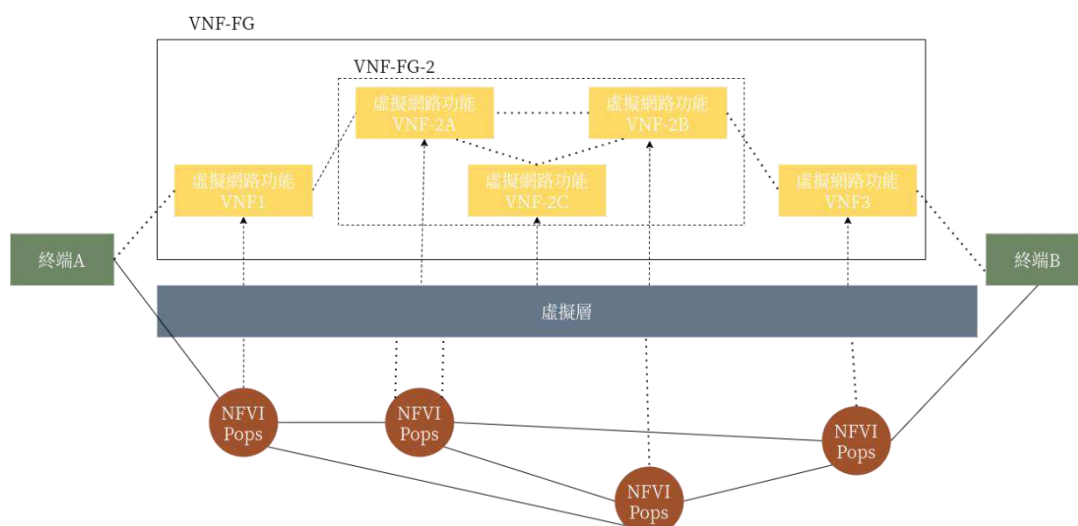


圖 11 VNF 組成虛擬網路服務示意圖

1.3 MANO(Management and Orchestration)

MANO 提供了 NFV 的整體管理和編排，向上接入 OSS/BSS，由 NFVO(NFV Orchestrator)、VNFM(VNF Manager)以及 VIM(Virtualized infrastructure manager) 虛擬化基礎設施管理器三者共同組成。

1. VIM：NFVI 被 VIM 管理，VIM 控制著 VNF 的虛擬資源分配，如虛擬計算，虛擬存儲和虛擬網路。Openstack 和 VMWare 都可以作為 VIM，前者是開源的，後者是商業的。
2. VNFM：管理 VNF 的生命週期，如上線、下線，進行狀態監控、image onboard。VNFM 基於 VNFD(VNF 描述)來管理 VNF。
3. NFVO：用以管理 NS(Network Service，網路業務)生命週期，並協調 NS 生命週期的管理、協調 VNF 生命週期的管理(需要得到 VNF 管理器 VNFM 的支持)、協調 NFVI 各類資源的管理(需要得到虛擬化基礎設施管理器 VIM 的支持)，以此確保所需各類資源與連接的優化配置。

本系統將主機是為一個系統的模擬版本，或是將虛擬機視為界面的實現，未來可以嫁接到具體設備商運行，即是技術的核心概念之一：與軟體定義網路(Software-Defined Networking, SDN)不同的一個技術點。

網路虛擬化，即網路設備的控制平面與底層硬件分離，將設備的控制平面安裝在

服務器虛擬機上。在虛擬化的設備層面上可以安裝各種服務軟體，實際上我們可以將我們模擬系統視為一種服務，本系統將運算功能分配到不同的虛擬機，用彈性的分配方式去進行最佳效率的服務運算，加快工服務的運行速度，不侷限於硬體，這個技術目前由 ETSI NFV 工作組訂定標準[5]。



圖 12 本系統的 NFV 架構對應

本系統以虛擬機建立 VIM，特色之一就是彈性而開放的設計，由設定檔主導，得以動態切換界面並且高頻率的更新資料，這樣的架構優點在於，由設定檔案主導的虛擬網路功能可以依照使用者的想法輕易的進行變動實驗。

2. 模擬 RSRP 的輕量化系統

目前 5G 的開源項目有許多，與本系統相關較知名的有 Free5GC[6]與 ORAN 的 Near-Real-Time RIC[7]，之所以從無到有架設本系統的原因在於，Free5GC 橋接一個虛擬網卡在 4G 核心網路，以 5G 的方式連線，但是無法進行 RSRP 的模擬；而 ORAN 的 Near-Real-Time RIC 可以模擬訊號，然而架設 Kubernetes 需要的硬體資源條件跟時間耗費要大上許多，因此本系統由訂定需求，根據 3GPP 的標準建立適應不同情境的通訊模型設立電子圍籬的架構。

本系統使用 python 建立網路中端交互的過程，讓終端在創造出來的虛擬網域用虛擬網卡進行模擬網路的行動通訊，以開放式系統互聯模型(Open System Interconnection Model, OSI)模型，能夠完全模擬應用層到網路層的服務。

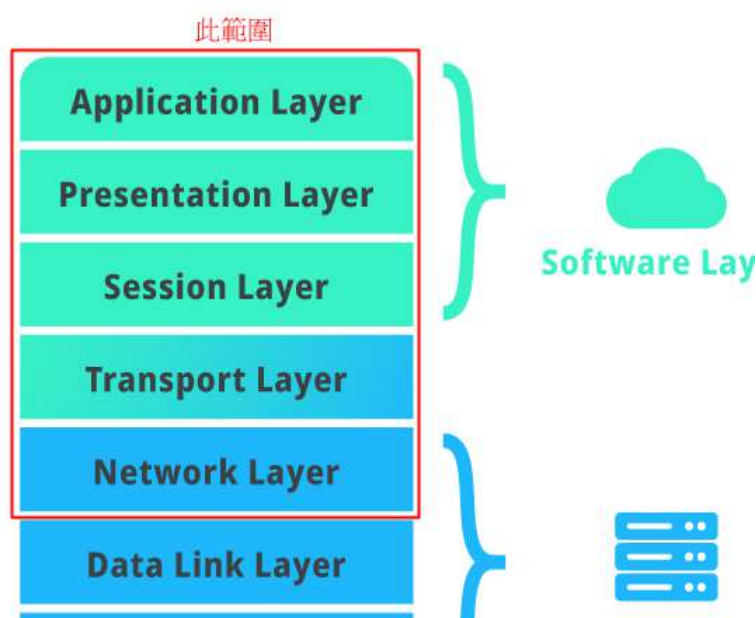


圖 13 OSI 模型示意(圖源：[What is the OSI Model?](#))

本系統是離散的，非集中的，正賴以此，所以每個獨立的個體是輕量級的，相比 Kubernetes 需要 6G 以上的 RAM 跟超過 50G 的 Disk，本系統需要的 RAM 只需要 3G，Processor 除了 CU 也只需要一個，相當輕量化，硬體需求層面大幅降低，符合 NFV 的重點。

表 1 Kubernetes 虛擬機需求與本系統虛擬機需求比較

	Kubernetes(RIC)	本系統(gNB/UE)	本系統(CU)
RAM 需求	6G	3G	3G
Disk	50G	20G	20G
Processor	2 CPUs	1 CPU	1 CPU

3. 通訊模型的動態模擬以及實際情境切換

通訊過程中容易受到干擾，且根據情境有不同的計算方式，因為干擾是無法預測的，且情境的變換可能在一瞬間，一旦無法掌握這些資訊，定位就會不精準，為此我們需要因應情境動態的切換適合的模型達到最高的精準度。

然而動態設計並且切換是極為困難的，我們無法準確預知現實生活中可能發生的許多情境，目前我們還沒有找到相關的或是類似的模擬器，但是關於定位有大量的論文跟研究正在進行，說明這仍是一個在成長的領域，本系統的特點之一在於：**即時的情境判斷以及動態的通訊模型切換，達到最精準的定位效果。**

通訊模型路徑損耗/(Pathloss)的部份，這個參數對本系統至關重要，因為它是距離與訊號功率密度的正相關係數，本系統會依據情境分成不同的模型，下一節會詳細說明，見下圖。

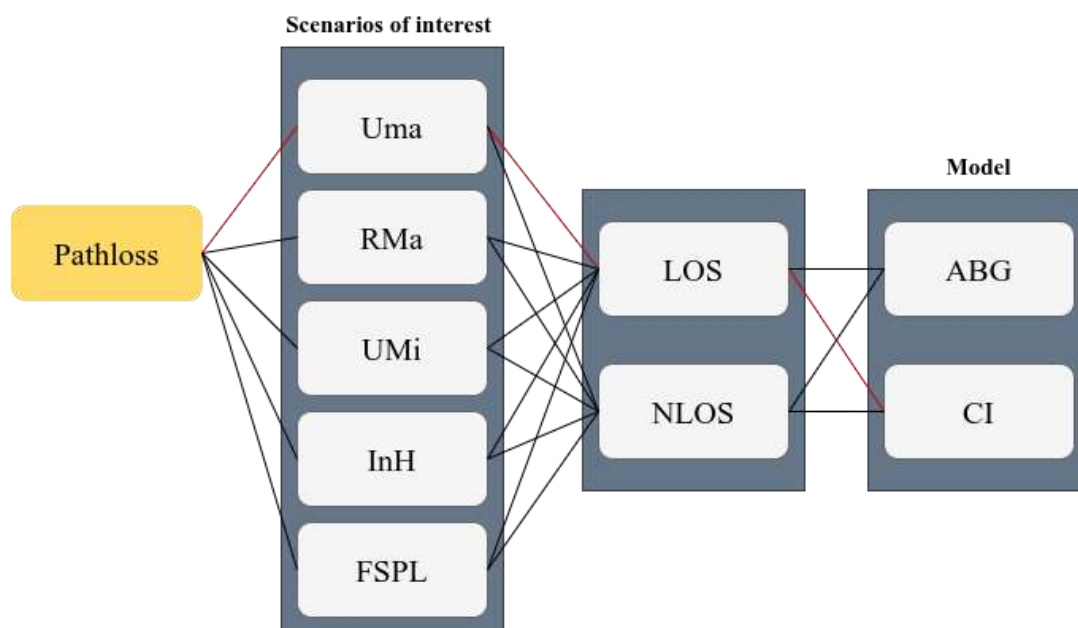


圖 14 Pathloss 分類概要

本系統以天線功率-路徑損耗的方式計算 RSRP，遵守 3GPP 訂定的協議，即便有標準供參考，各個模型動態的切換跟參數的交互更新影響是一項龐大的工程，系統必須在相當的效率下判斷當前情境並且快速抽出需要的參數並且做模型替換，正是因為如此，系統嚴格遵守標準內的計算方式，參考大量論文得出的系統架構十分繁雜。

4. DU-CU-AAU 架構的實現：MEC 技術的實現

此前需要說明長期演進技術(Long Time Evolution, LTE)基地台跟 5G NR 基地台構造上的差異，見下圖

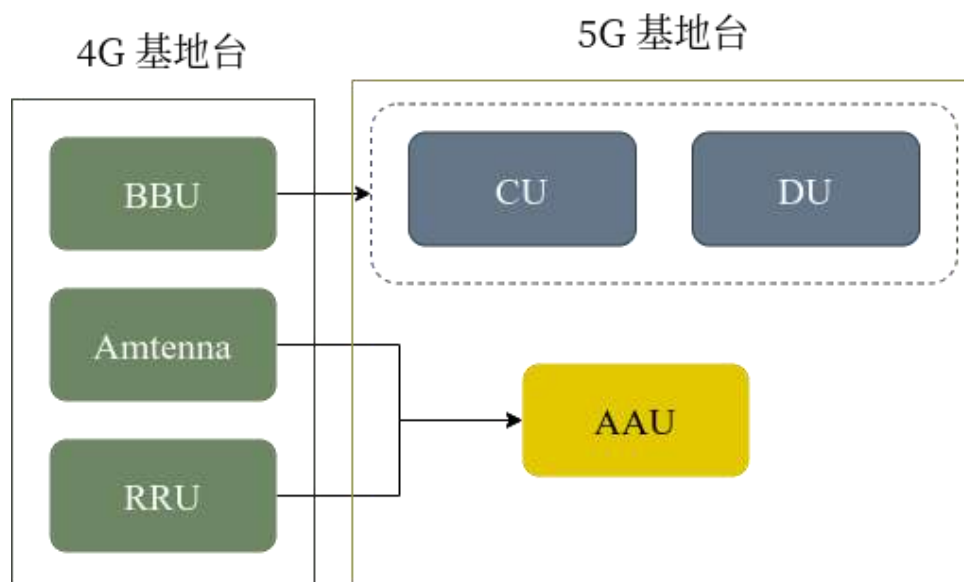


圖 15 4G 到 5G 基地台的演進

4.1 BBU 到 CU 與 DU

基頻模組(Baseband Unit, BBU)本文稱 BBU，處理基帶訊號的電訊網路設備，作為 RPC 跟 RRU 的中繼點，負責處理上行跟下行鏈路的傳輸數據並且控制遠端射頻模組(Remote Radio Unit, RRU)，簡要說明 BBU 處理訊號跟一切運算相關，而 RRU 負責物理層面跟傳輸將訊號發送出去。

而在 NR 系統，BBU 被分成分離式單元(Distributed Unit, DU)跟集中式單元(Centralized Unit, CU)。CU 和 DU 的切分是根據不同協議層即時性的要求來進行的。在這樣的原則下，把原先 BBU 中的物理底層下沉到 AAU 中處理，對即時性要求高的物理高層，MAC，RLC 層放在 DU 中處理，而將對即時性要求不高的 PDCP 和 RRC 層放到 CU 中處理。這樣在需求分配上的同步上，即時性高的需求得到最快速的處理而不被其他服務所拖累，這層意義上實現了 5G 低延遲跟快速的特性。

表 2 DU 跟 CU 的對比

	DU	CU
協議	MAC/RLC	PDCP/RRC
處理需求	即時性的需求跟服務	非即時性的需求跟服務
下層	AAU	DU
上層	CU	CN

這邊以更加直觀的圖說明 LTE 與 NR 基地台之間的差異：

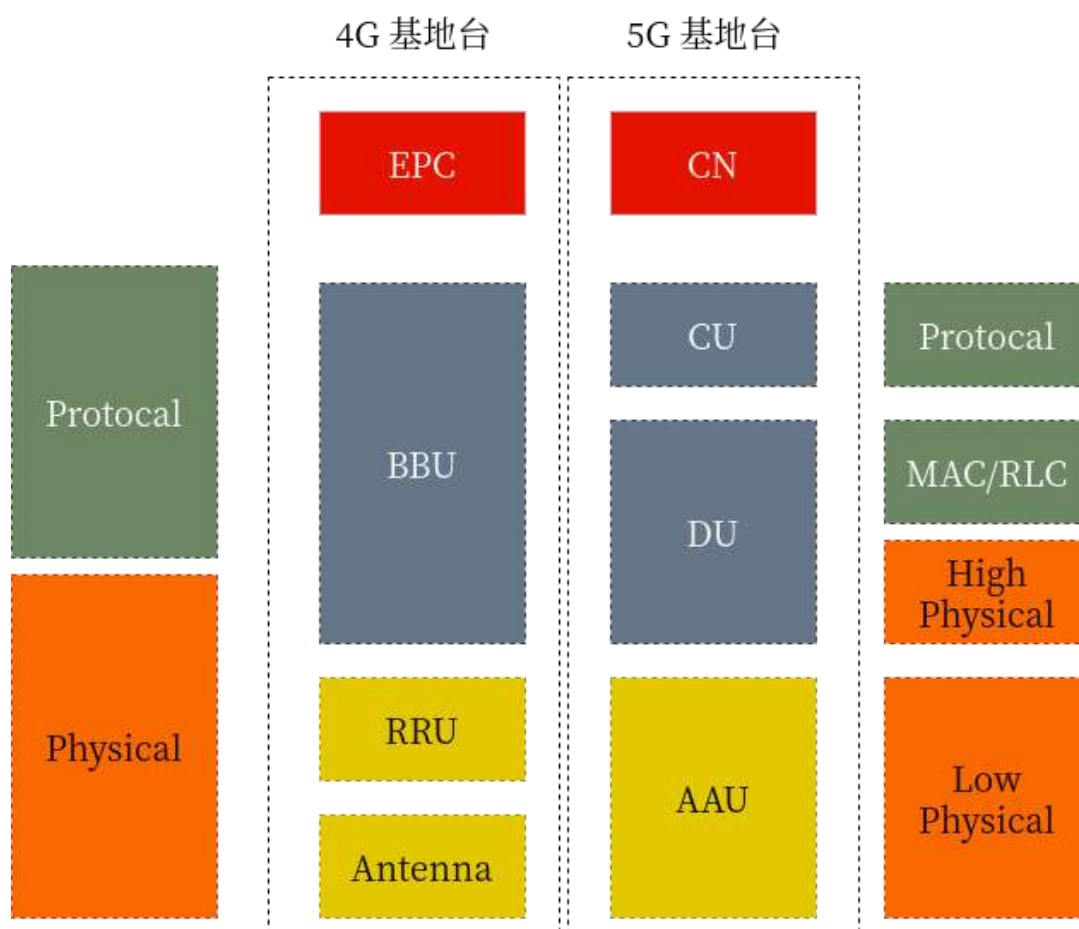


圖 16 二次說明 4G 與 5G 基地台差異

這樣的架構仍然存在部份的差異：可以將 DU 與 CU 共站布署以減少中傳損耗，也可以讓 DU、CU 與 AAU 分開架設以求更快的運算速度。

4.2 分離式架構

以下圖 17 說明兩者之間的差異

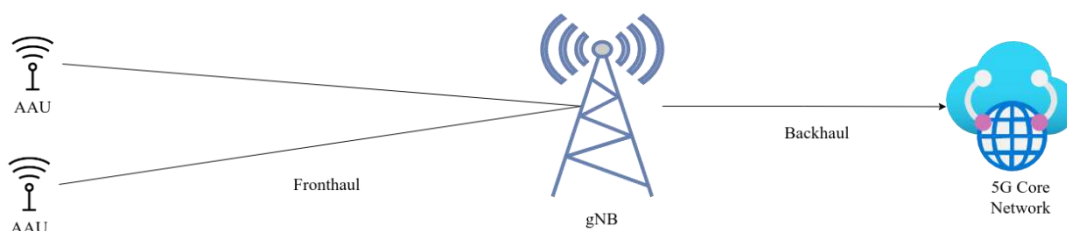


圖 17(a) 共站架設架構

對於共站式架構，只存在前傳跟後傳，因此不存在中傳損耗。

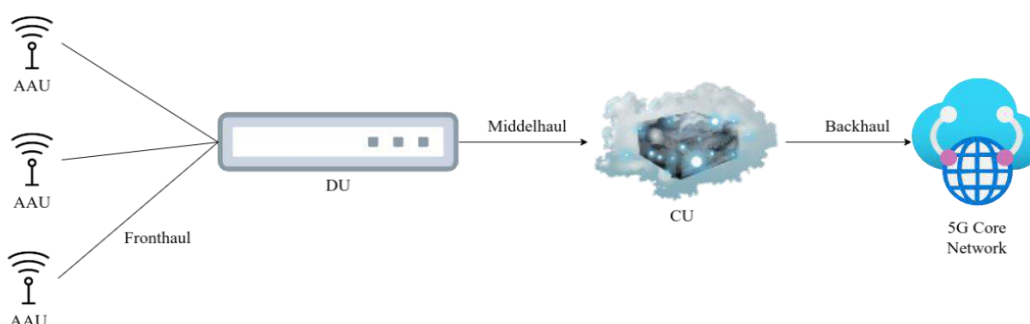


圖 17(b) 分離架設架構

本系統中採用分離式架構，以強調 MEC 的特性，透過將非即時性的、需要大量運算的服務推到 CU 當中，加快 UE 接入核心網的速度。因此本系統創建一台 CU。在系統中，CU 是獨一無二的，專門管理運算資源以及非即時性的要求，也可以將它視為 NFV 當中的 MANO 部份。因為本系統服務的運行結束是由 CU 發起，另外，本系統 CU 的部份服務可以在系統其他兩台靜止的情況下獨立運行。

4.2.1 分離式架構的優點

1. 機帶資源分配效率最大化

本系統有一項國立宜蘭大學模擬子系統，因此以宜蘭大學為例說明為何本系統採用這種架構：白天時因為課程，教稿大樓網路需求量大，若是以共站架構，會分配最大化的流量給學生宿舍與教稿大樓，對於宿舍而言會造成不必要的資源浪費。

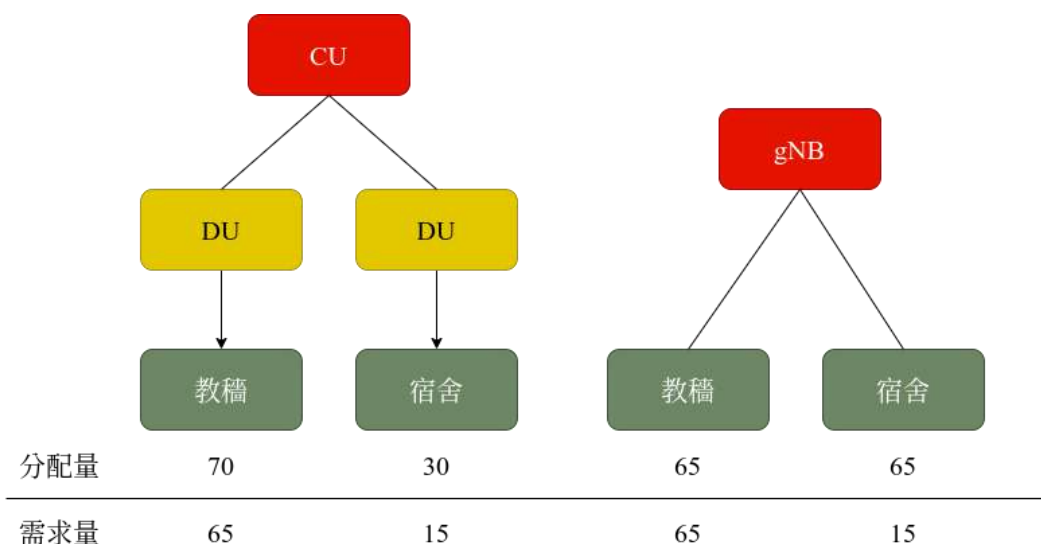


圖 18(a) 白天網路分配

gNB 根據最大容量進行分配會造成多餘的冗餘跟負擔，而如果採分離式架構就能對基地台資源進行合理分配，這跟基地台卻按最大容量設計有關係，透過分佈式架構能夠避免不必要的資源浪費。

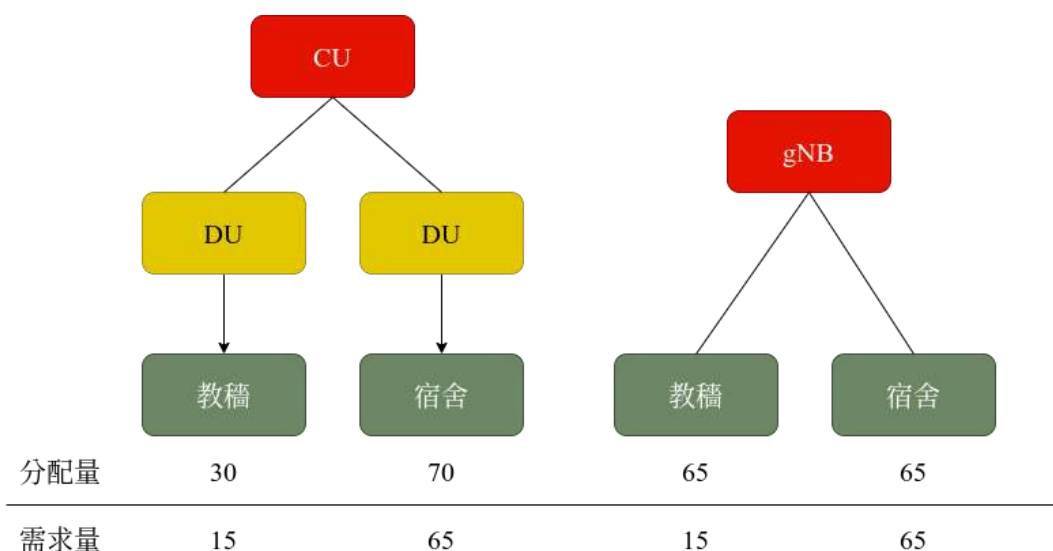


圖 18(b) 晚上網路分配

將 DU 集中部署，並由 CU 統一調度，就能夠節省一半的基帶資源。這種方式和之前提出的雲端化無線存取網路 C-RAN 架構非常相似，而 C-RAN 架構由於對於光纖資源的要求過高而難以普及。在 5G，DU 可能由於同樣的原因難以集中部署，但 CU 作為基地台的一部分，其本身的集中管理也能帶來資源的共享，算是 5G 時代對於 C-RAN 架構的一種折中的實現方式。

2.有利於實現無線接入的切片和雲端化

網路切片作為 5G 的目標[9]，能更好地適配增強型移動寬頻(Enhanced Mobile Broadband, eMBB)，大規模機器類型通訊(Massive MachineType Communication，mMTC)和超可靠低延遲通訊(Ultra-Reliable and Low Latency Communications，縮寫 uRLLC)這三大場景對網路能力的不同要求。

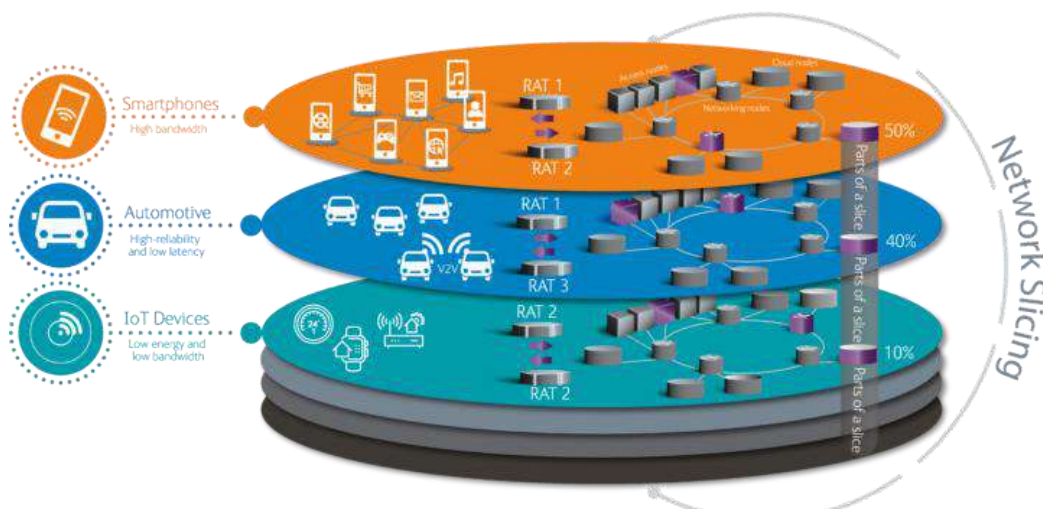


圖 19 網路切面示意圖(圖源：5G Network Slicing)

切片實現的基礎是虛擬化，但是在現階段，對於 5G 的即時處理部分，通用服務器的效率還太低，無法滿足業務需求，因此還需要採用專用硬體，而專用硬體又難以實現虛擬化，承接上點，虛擬化技術為解決這個問題的解決方案，不管是 SDN 還是 NFV 都可以提供這個問題的解決方案。

這樣一來，就需要用專用硬體的部分剝離出來成為 AAU 和 CU，剩下非即時部分組成 CU，運行在通用服務器上，再經過虛擬化技術，就可以支持網路切片和雲端化了，就架構跟技術而言是比較經典的解決方案。

4.2.2 分離式架構的缺點

1.延遲的增加

網路單元的增加會帶來相應的處理延遲，再加上增加的的傳輸界面帶來的延遲，增加的雖然不算太多，但也足以對超低延遲服務帶來很大的影響。

本系統並不屬於超低延遲服務，然而它對於延遲也有一定的要求，之所以在系統圖形使用者介面(Graphical User Interface, GUI)本文稱 GUI 設定兩秒的刷新間隔，是因為軟體模擬在 VM 設計精細度受限下，本系統比起速度更注重冗餘帶來的穩定性，實驗過後，系統刷新的速度最快可以 5 毫秒一次，但是這個理論值受限於範圍內 UE 的數量，後面將說明如何在這種限制之下壓低刷新週期。

在本系統假定的情境，在人群移動範圍很小(理論上直徑 3500 公尺以內)的情況，因此指定對象必定會限速，本系統建立模擬對象的移動速度大概在 2-9 公尺/秒不等，參考世界短跑紀錄，目前是(9.58 秒/100 公尺，即 10.4384133612 公尺/秒)，也就是說，一般人形走勢不會超過這個限制。

如果以高速移動離開該範圍，如搭乘交通工具，那麼判斷就會直接是離開範圍，這樣的架構，一些延遲是可以容許的，何況延遲也不大。

其次是網路複雜度的提高。5G 不同業務對即時性要求的不同，eMBB 對時延不是特別敏感，對於 eMBB 和 mMTC 業務可以把 CU 和 DU 分開來在不同的地方部署，而支持 uRLLC，就必須要 CU 和 DU 合設了。這樣一來，不同服務的 CU 位置不同，大大增加了網路本身的複雜度。

CU 和 DU 雖然可以在邏輯上分離，但物理上是不是要分開部署，還要看具體業務的需求才行。對於 5G 的終極網路，CU 和 DU 必然是合設與分離這兩種架構共存的。[10]

三、功能簡介

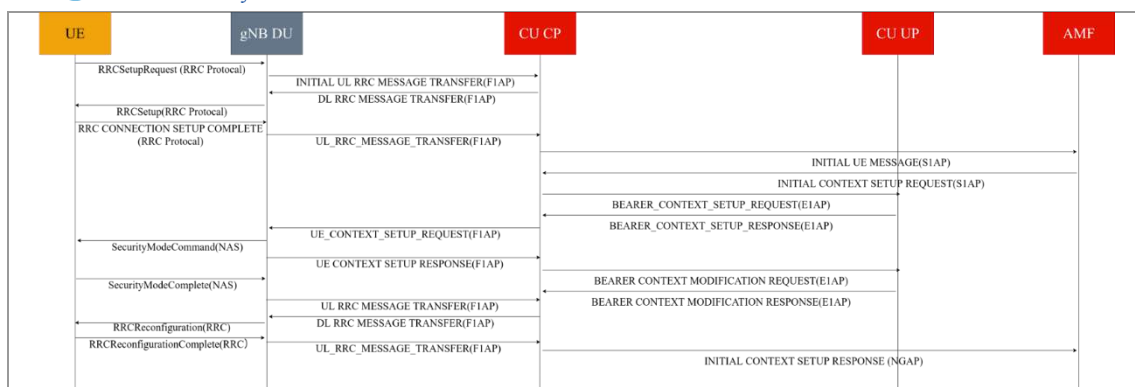


圖 22 UE 接入 5G 核心網(省略隨機接入)

本系統 UE 接入的步驟，分成 22 個步驟進行交互，流程圖如上，省略隨機接入，在 Multiple gNBs System 中，會在 RRCSetup 回傳 CellGroupConfig 時進行換手，過程中會帶入隨機接入的部份。

各個單元之間有不同的協議進行通訊，系統完全遵照 3GPP 提出的協議進行設計模擬，因此可將這幾個單元視為關係圖如下。

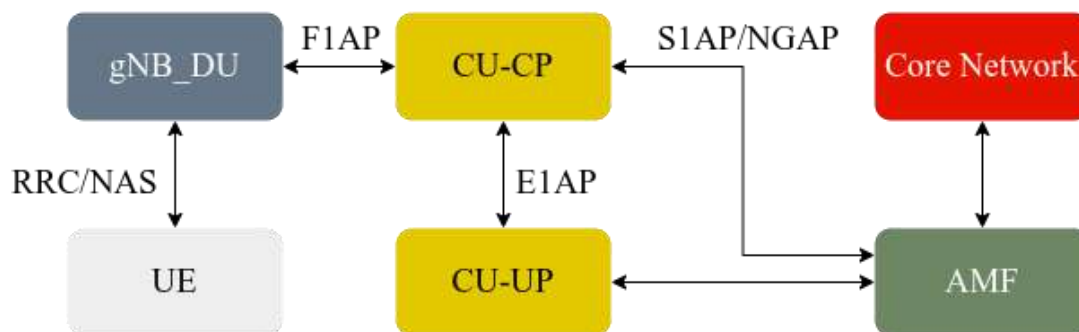


圖 23 各單元交互圖

協議參考表如下

表 4 各個協議參照表

RRC	ETSI TS 138 331 V15.15.0 (2021-10)[11]
F1AP	ETSI TS 138 473 V16.5.0 (2021-04)[12]
E1AP	ETSI TS 138 463 V16.4.0 (2021-01)[13]
S1AP	ETSI TS 136 413 V16.5.0 (2021-04)[14]
NAS	ETSI TS 124 501 V16.10.0 (2021-09)[15]
NGAP	ETSI TS 138 413 V16.7.0 (2021-10)[16]

這個部份模擬的原因是從接入部份理解 NR 的接入過程跟協議的訂定，透過大量參數了解接入過程的架構。

3. 通訊模型計算

本系統以 RSRP 做為訊號強度判定的依據，在研究上大部分人較常聽到 RSSI，這是由於 2.4GHz(藍芽與 WiFi 頻段)只有 RSSI 跟 RSRQ，見下表 5 可以了解本系統使用 RSRP 的原因

表 5 RSRP 與 RSSI 比較表

名詞	RSRP	RSSI
全名	Reference Symbol Received Power	Received Signal Strength Indication
說明	RSRP 為 UE 量測 Downlink Reference Signals (DRS) 的平均訊號強度	RSSI 是 UE 接收到的 wide-band 訊號強度 包含了非從屬基地台的訊號
DRS 和 RB	固定 RB (Resource Block)	包含 DRS 以及其他 RB 的訊號強度

RB 的概念涉及頻域與時域的對應，可以直觀的理解，本系統需要的是 UE 在當前狀況實實通過下行鏈路接收的訊號密度，這個數據來自 UE，因此更能反應當前 UE 的狀態，這也是系統選用 RSRP 做計算的原因。

接下來談到 RSRP 的計算[17]：

$$RSRP = Antenna\ Power(dBm) - Pathloss(dBm) \quad (1)$$

3.1 天線功率(Antenna Power)

天線功率的計算方式如下

$$\begin{aligned}
 Antenna\ Power(W) = & \\
 & Transmission\ Power(each\ Resource\ Element) \\
 & + Antenna\ Gain - Feeder\ Loss \quad (2)
 \end{aligned}$$

3.1.1 每單位資源的功率

Transmission Power(each Resource Element) =

$$AAU \text{ power} / \text{Number of subcarriers in Frequency Bandwidth} \quad (3)$$

本系統算的是主動天線模組(Active Antenna Unit, AAU)，因應 5G 需要採用 Massive MIMO 多天線的設計並前傳上百 Gbps 傳輸量，5G 基地台必須 RRU+饋線+天線模組集成為 AAU。

本系統參考安世半導體開出的規格[18]，根據原文「A 5G BBU is about 200 to 300 W while an AAU is about 900 W at 30% load rate.」AAU power 設定其為 900W

根據其規格表，其天線陣列有三種規格：64(32T/32R) 128(64T/64R) 256(128T/128R)，本系統採用 128(64T/64R)。

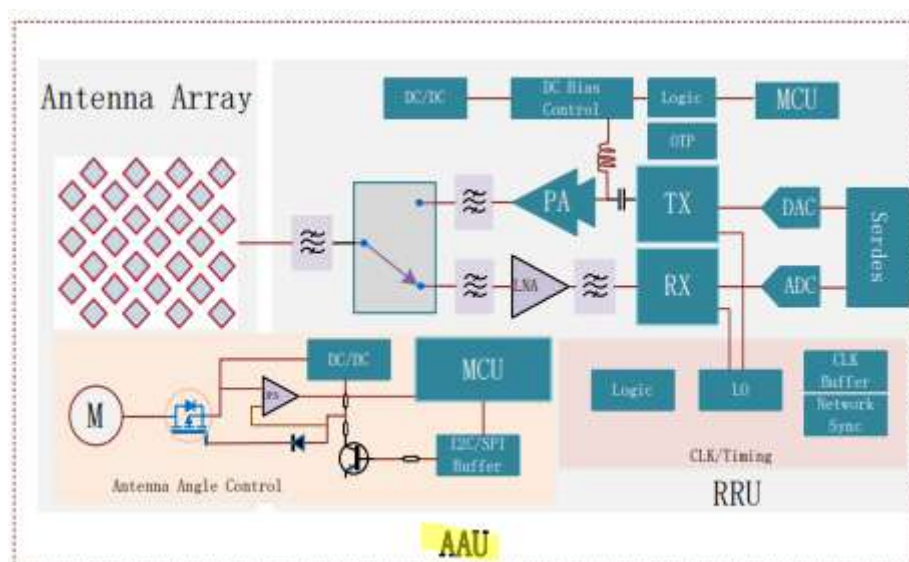


圖 24 AAU 基礎設施圖(圖源：[5G Infrastructure Diagram](#))

3.1.1.1 頻寬上的子載波數

Number of subcarriers in Frequency Bandwidth

頻寬上的子載波數重點參數有兩個：子載波間隔和所佔用頻寬。

一般來說，LTE 系統中只有一種子載波間隔：15kHz，但是在 NR 系統中，子載波間隔有 5 種，見式(4)

$$\text{Subcarrier Spacing} = \{2^n \times 15 \mid 0 \leq n < 5, n \in \mathbb{N}\} \quad (4)$$

本系統參考中華電訊的配置[19]，在下表可以看到在 NR 五大電信的頻段。

表 5 五大電訊 NR 頻段

	n1	n3	n28	n41	n78
中華電訊	✓	✓			✓
台灣大哥大	✓	✓	✓		✓
遠傳電訊	✓	✓	✓	✓	✓
台灣之星	✓	✓			✓
亞太電訊			✓	✓	

除了為了 5G 釋出的新頻段 n78 之外，其他頻段如 n1、n28 是電訊業者原有的 4G 頻段，未來也將能夠轉為 5G 基地台使用。另外還有 n3、n41 頻段也在電訊業者的 4G 頻段中，不過初期並不會太快應用在 5G 服務。本系統中選擇 **n78** 作為配置參考。

5G NR 頻段在總體上被分為兩個頻率範圍 Sub6 和 mmW

表 6 Sub6 和 mmW 比較表

Sub6		mmW
Mid bands 1GHz-6GHz		High Bands 24-100 GHz (TDD only)
e.g	2.5-2.7 GHz TDD (n41)	24.25-27.5 GHz (n258)
	3.3-3.8 GHz TDD (n78)	27.5-29.5 GHz (n257)
	4.4-5GHz TDD(n79)	27.5-28.35 GHz (n261)
Low Bands <16GHz		37-40 GHz (n260)
		64-71 GHz

透過 5G/NR - FR/Operating Bandwidth [20]找對應頻段的資訊，這見下示意圖

NR operating band	Uplink (UL) operating band BS receive / UE transmit F _{UL_low} – F _{UL_high}	Downlink (DL) operating band BS transmit / UE receive F _{DL_low} – F _{DL_high}	Duplex Mode
n1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
n14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
n18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
n26	814 MHz – 849 MHz	859 MHz – 894 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n29	N/A	717 MHz – 728 MHz	SDL
n30 ³	2305 MHz – 2315 MHz	2350 MHz – 2360 MHz	FDD
n34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
n38 ¹⁰	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
n47 ¹¹	5855 MHz – 5925 MHz	5855 MHz – 5925 MHz	TDD ¹⁰
n48	3550 MHz – 3700 MHz	3550 MHz – 3700 MHz	TDD
n50	1432 MHz – 1517 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	TDD ¹
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n53	2483.5 MHz – 2495 MHz	2483.5 MHz – 2495 MHz	TDD
n65	1920 MHz – 2010 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD ⁴
n66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz – 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD
n75	N/A	1432 MHz – 1517 MHz	SDL
n76	N/A	1427 MHz – 1432 MHz	SDL
n77 ¹²	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz – 3800 MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD
n79	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD
n80	1710 MHz – 1785 MHz	N/A	SUL
n81	880 MHz – 915 MHz	N/A	SUL
n82	832 MHz – 862 MHz	N/A	SUL
n83	703 MHz – 748 MHz	N/A	SUL
n84	1920 MHz – 1980 MHz	N/A	SUL
n86	1710 MHz – 1780 MHz	N/A	SUL
n89	824 MHz – 849 MHz	N/A	SUL
n90	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD ⁵
n91	832 MHz – 862 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	FDD ⁹
n92	832 MHz – 862 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	FDD ⁹
n93	880 MHz – 915 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	FDD ⁹
n94	880 MHz – 915 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	FDD ⁹
n95 ⁸	2010 MHz – 2025 MHz	N/A	SUL

圖 25 5G NR frequency bands(圖源：[5G/NR - FR/Operating Bandwidth](#))

由此可知算出本系統的固定頻寬的子載波數目：

$$20 \text{ MHz}/30 \text{ kHz}=20106/(30103)=6.66666667102667$$

從而計算天線功率如下：

$$900\text{W}=59.542425094 \text{ dBm}$$

$$59.542425094 * 128 = 3810.715206016 \text{ dBm}$$

Transmission Power(each Resource Element)=

$$3810.715206016/667=5.7132162009$$

3.1.2 天線增益(Antenna Gain)

天線增益是指在相同輸入功率時，天線在某一規定方向上的輻射功率密度與參考天線(通常採用理想輻射點源)輻射功率密度的比值。

本系統參考 3.5 GHz Coverage Assessment with a 5G Testbed[21]，將天線增益設置為 6 dBi。

3.1.3 饋線損耗

饋線也稱饋送線，是配電系統或輸電網路中的外圍線路或分支，將更小或更多的遠程節點與承載較大流量的線路或分支連接起來；饋線也專指主變電站向二次變電站供電的電力線路。

饋線越長，饋線損耗越大，然而饋線會根據類型而造成距離與饋線損耗有所不同

表 7 饋線類型 (8/7 與 4/5 擇一)

	GSM900	GSM1800	Length	Loss
1/2 跳線	7 dB/100 m	8 dB/100 m	2	0.14
8/7 饋線	4.03 dB/100 m	5.87 dB/100 m	50	2.935
4/5 饋線	2.98 dB/100 m	4.31 dB/100 m	50	2.155
避雷器				0.5
接頭				0.4

如下可以設定饋線損耗為 $0.14+2.155+0.5+0.4=3.195$

由此可以得出天線功率為

$$\text{Antenna Power}=5.7132162009+6-3.195=8.5182162009$$

3.2 路徑損耗

參考 5G;Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz(3GPP TR 38.901 version 16.1.0 Release 16)[22] 第 7.4 節 Pathloss, LOS probability and penetration modelling 第 24 頁。

3.2.1 路徑損耗模型分類

見圖 14，以下簡要說明如何分類以及在宜蘭大學如何進行模擬。

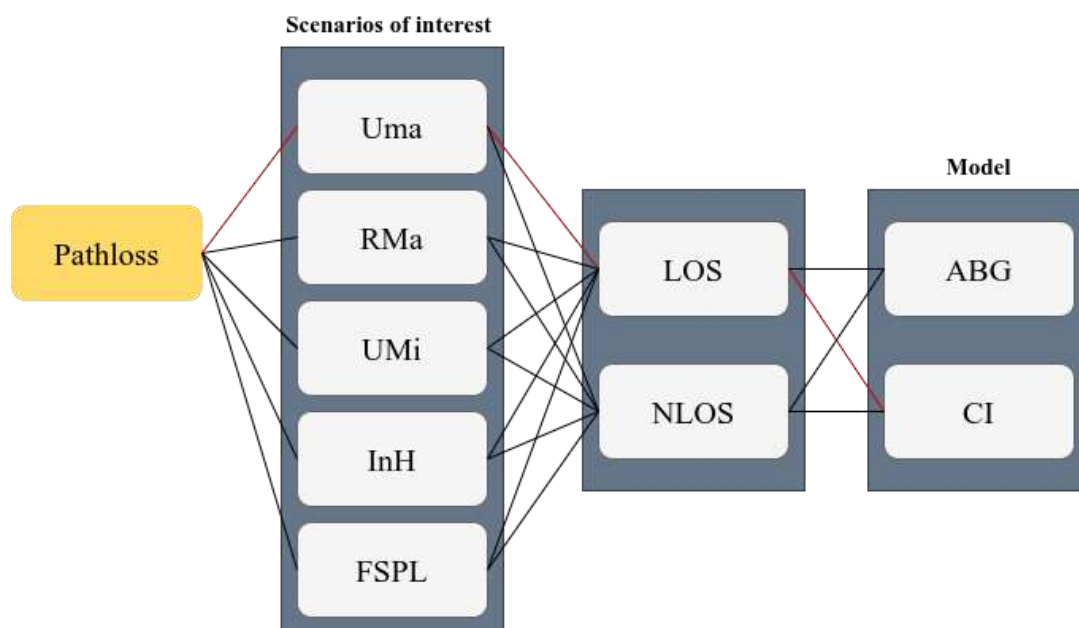


圖 14 路徑損耗模型分類

表 8 路徑設想(Scenario)分類

UMa	Urban Macro	建築物分布比較密集的区域，基地台間距約 500m 的城市
RMa	Rural Macro	建築物分布非常稀疏的区域，基地台間距到 5000m 的鄉下
UMi	Urban Micro	真實的城市街道，基地台間距等於或小於 200 m
InH	Indoor Hotspot	典型的辦公環境包括開放式隔間區域
FSPL	Free Space Path Loss	自由路徑

本系統**模擬宜蘭大學的模型**(戶外)，因此系統在這個部份選用 UMa 模型。

表 9 LOS 與 NLOS

	LOS	NLOS
Full Name	Line Of Sight	Non-LOS
Mean	兩個基站之間或者是手機與基站之間沒有遮擋	兩個基站之間或者是手機與基站之間有遮擋

本系統模擬宜蘭大學的模型(戶外)，因此系統在這個部份選用 LOS 模型。

3.2.2 距離

見下圖 26，可以得知，距離的計算方法是將平面距離與立體距離做分隔，後續可以看到中斷點(Breakpoint)與平面距離的比較造成選用模型的不同。

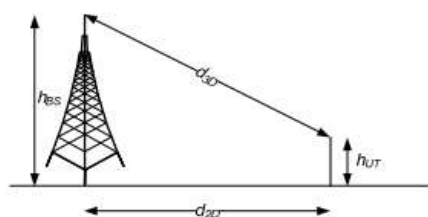


Figure 7.4.1-1: Definition of d_{2D} and d_{3D} for outdoor UTs

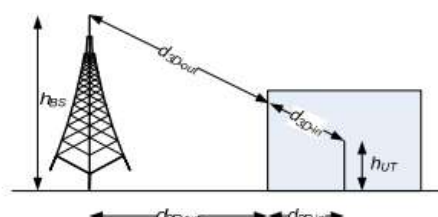


Figure 7.4.1-2: Definition of d_{2D-out} , d_{2D-in} and d_{3D-out} , d_{3D-in} for indoor UTs.

Note that

$$d_{3D-out} + d_{3D-in} = \sqrt{(d_{2D-out} + d_{2D-in})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2} \quad (7.4-1)$$

圖 26 距離的計算方法 (圖源：[TR 138 901 - V16.1.0](#))

在得知立體距離的計算方法後，見下圖 Uma 模型的路徑損耗公式：有兩個模型，其中選用哪個模型與否是根據平面距離與中斷點的比較而來。

UMa	LOS	$PL_{UMa-LOS} = \begin{cases} PL_1 & 10m \leq d_{2D} \leq d'_{BP} \\ PL_2 & d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km, \text{ see note 1} \end{cases}$ $PL_1 = 28.0 + 22\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c)$ $PL_2 = 28.0 + 40\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 9\log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$	$\sigma_{SF} = 4$	$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ $h_{BS} = 25m$
	NLOS	$PL_{UMa-NLOS} = \max(PL_{UMa-LOS}, PL'_{UMa-NLOS})$ <p>for $10m \leq d_{2D} \leq 5km$</p> $PL'_{UMa-NLOS} = 13.54 + 39.08\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 0.6(h_{UT} - 1.5)$	$\sigma_{SF} = 6$	$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ $h_{BS} = 25m$ Explanations: see note 3
		Optional $PL = 32.4 + 20\log_{10}(f_c) + 30\log_{10}(d_{3D})$	$\sigma_{SF} = 7.8$	

圖 27 Uma 模型的 Pathloss 計算方法 (圖源：[TR 138 901 - V16.1.0](#))

根據圖上的說法，參考 note 1，內容如下「Note 1: Breakpoint distance $d_{BP} = 4 h_{BS} h_{UT} f_c / c$, where f_c is the center frequency in Hz, $c = 3.0 \times 10^8$ m/s is the propagation velocity in free space, and h_{BS} and h_{UT} are the effective antenna heights at the BS and the UT, respectively.

合理得出中斷點的公式如下

$$Breakpoint = (Height_{Base\ Station} \times Hiegh_{User\ Terminal} \times F_c) / C \quad (6)$$

$$F_c = \text{Center Frequency}, C = 3 \times 10^8 \text{ (m/s)}$$

對中斷點與平面距離進行比較，如果平面距離小於中斷點則選用模型 1，若否則選用模型 2。

最後根據模型計算路徑損耗，最後得出 RSRP 並回傳給 DU，一開始根據 TR 138 901 - V16.1.0 我們將程式流程圖設計為圖 28(a)。

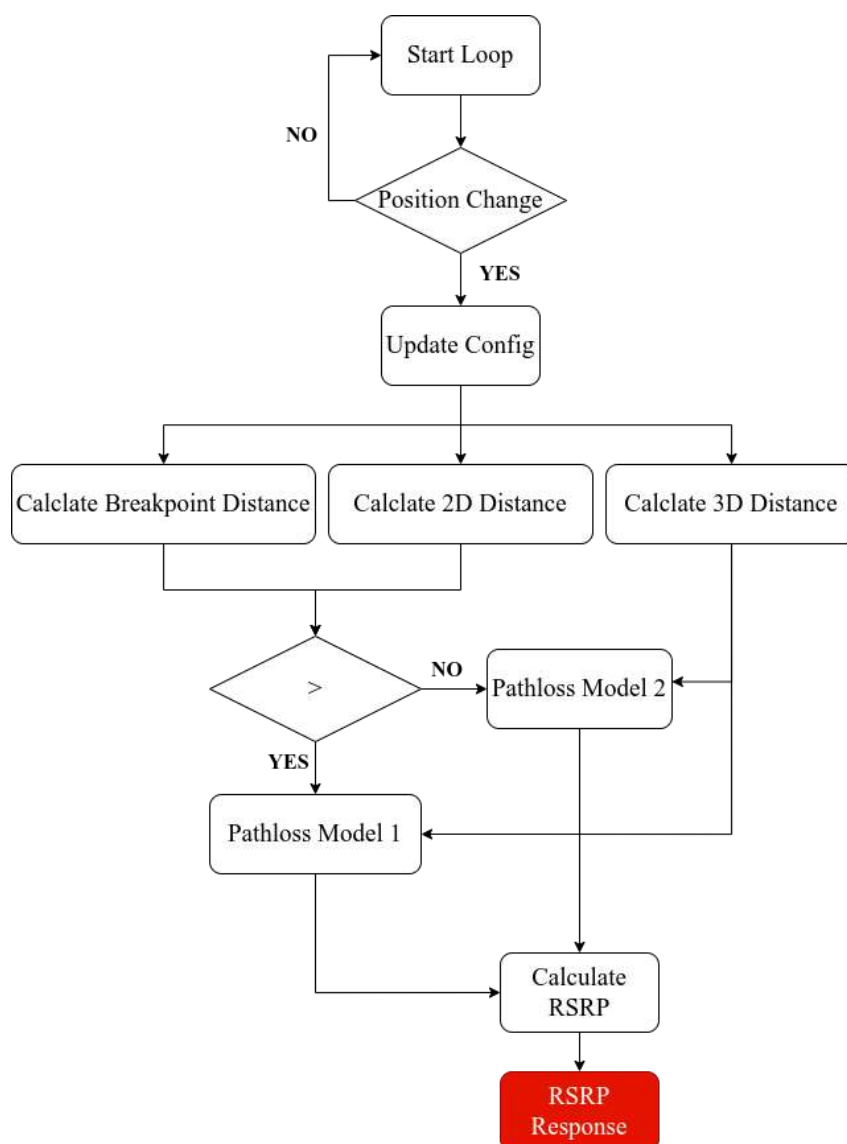


圖 28(a) 初版系統路徑損耗計算流程

如此一來，會產生一個問題：當中斷點距離遠大於場域設定時，中斷點的計算便會造成計算時間的浪費，觀察到這個情況，本系統設立兩個參數以確保在上述情況下，可以最快速的選用路徑損耗模型，避免不必要的計算。

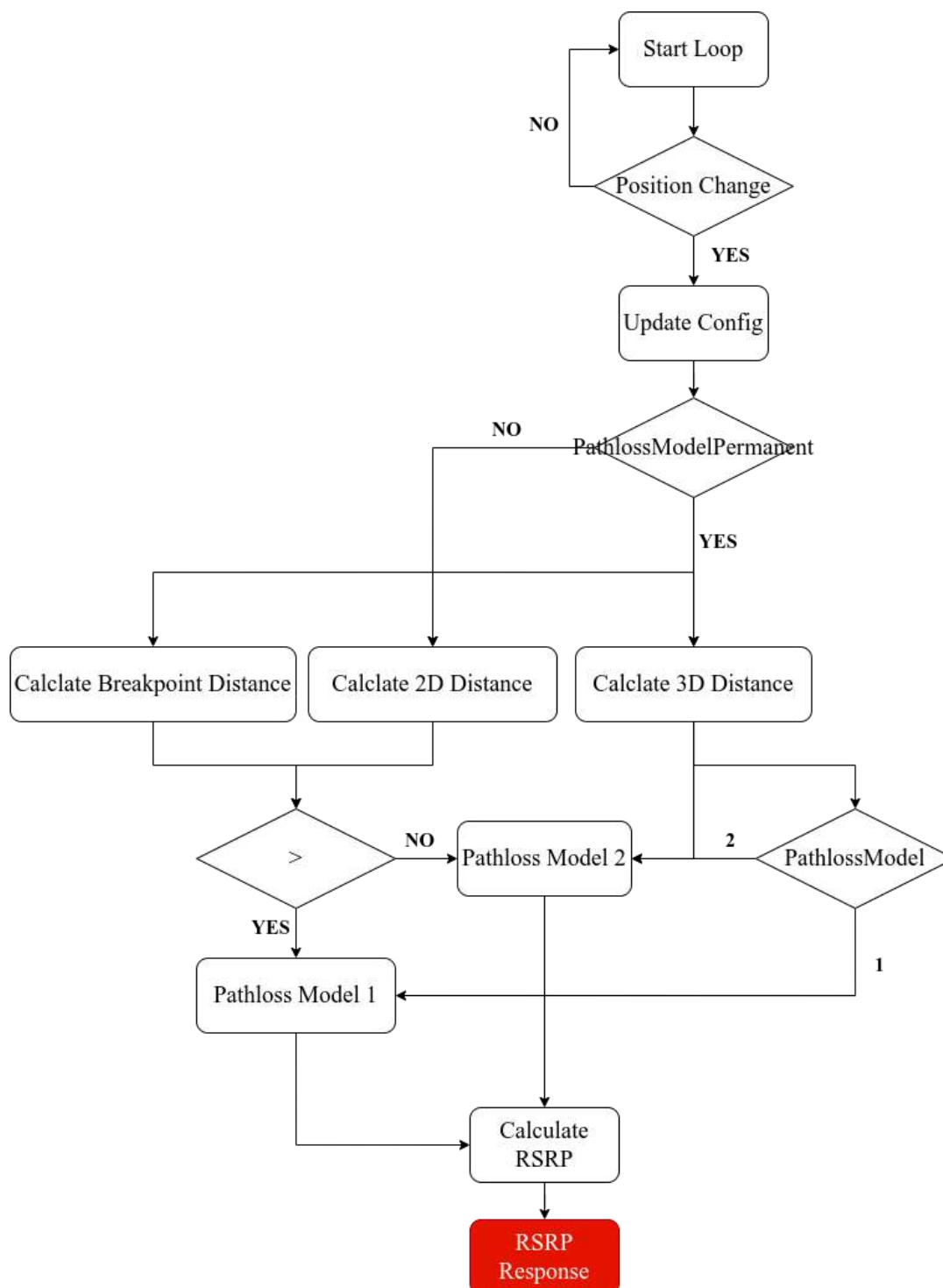


圖 28(b) 終版系統路徑損耗計算流程

3.2.3 中心頻率設定

[23]基於 3GPP TS 38.104 Release 17 規範，將 5G NR ARFCN 頻率通道的編號轉換為 5G NR 中心頻率。5G 的頻段 0-100MHz 分成 3279166 個頻段，將這些頻段從 0 開始編號，每個編號都代表着一個絕對的頻域位置，這些編號就叫做 NR-ARFCN[24]。

因為系統設定是 n78 頻段，可以看到如下圖：

n78	TD 3500	TDD 15	1	020000 030007 053333 500	15.0	30	10 15 20 25 30	40	50 60 70 80 90 100
		30	2	020000 030006 053332		60	10 15 20 25 30	40	50 60 70 80 90 100

圖 29 n78 頻段訊息

由此可以得知，系統設定中心為 3550 GHz。

3.3 gNB 參數設定

本系統設定的一般設置如下，這些設定會保存在在 gNB-DU 進行初始化，即根據上述參數進行一次計算，在 Single gNB System 中是唯一的，但是在 CU 還是會用 gNB 的名稱進行存取，而在 Multiple gNBs System 中是用複合的設定，這邊以 Single gNB System 舉例。

表 10 gNB-DU 簡要參數設定

Parameter	Value	Unit
Bandwidth	20	GHz
Subcarrier_Spacing	30	kHz
AAU_Power_Watt	900	W
AAU_Power_dBm	59.542425094	dB
Antenna_Array_TX	64	
Antenna_Array_RX	64	
Transmission_Power	5.7132162009	
Antenna_Gain	6	dBi
Feeder_System	GSM1800	
Feeder_Loss	3.195	dB
Antenna Power	8.5182162009	dB
Frequency_Band	n78	
Downlink_Min	3300	GHz
Downlink_Max	3800	GHz
Center_Frequency	3550	GHz
Duplex_Mode	TDD	

4. 圖形化界面展示

系統將展示以 Single gNB System 與 Multiple gNBs System 以及 NIU Model 分界的各個圖形化界面。

4.1 座標軸

本系統採用笛卡兒座標系(système de coordonnées cartésiennes)建立平面的場域佈置，大小依據表 11 參數設定，這個設定可以在系統的 System_Field_Configuration 進行更改。

表 11 座標軸參數設定

名稱	意義	設定值	位置
X_RANGE	場域設定可見範圍 (X 軸的正值)	800	System_Field_Configuration
Y_RANGE	場域設定可見範圍 (Y 軸的正值)	800	System_Field_Configuration

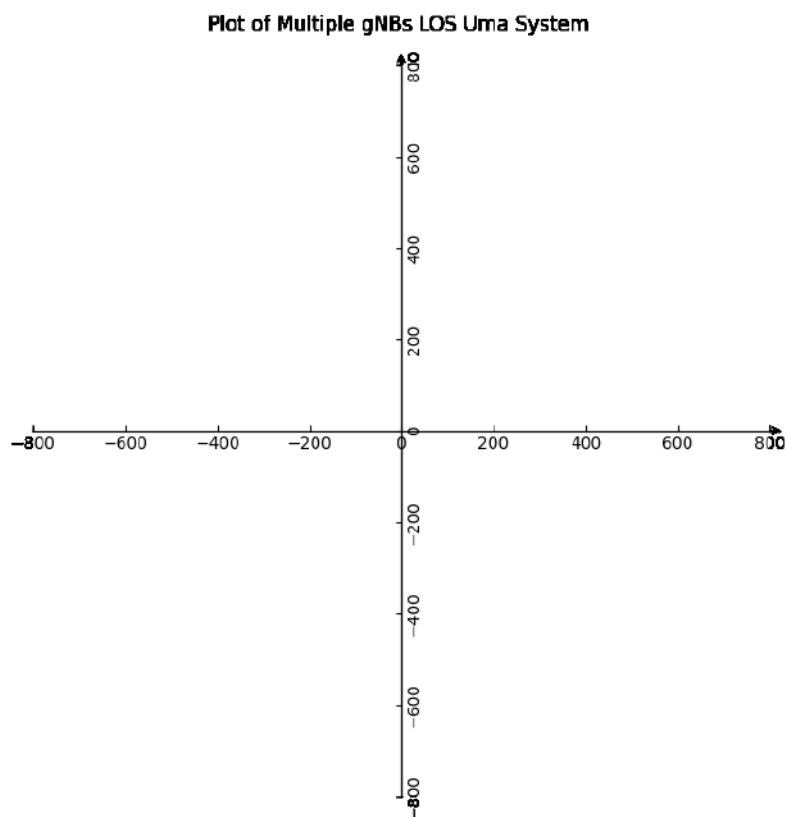


圖 30(a) Single gNB System 座標軸



圖 30(b) NIU Model 座標軸

4.2 gNB/Cell 位置分佈

本系統在座標系統上佈上 gNB(來自一開始 gNB 傳輸的資料)，採用相同的顏色標示避免稿混，並且再一旁標示名字，參數來自 gNBs_Configuration，定義如下：

表 12 gNB/Cell 位置分佈設定

名稱	意義	設定值
gNB_Position_X	gNB 的 X 座標	(-X_RANGE,X_RANGE)
gNB_Position_Y	gNB 的 Y 座標	(-Y_RANGE,Y_RANGE)
gNB_Center_Color	中心的顏色，在 Multiple gNBs System 中，所有 gNB 顏色相同	#2CD8C1
gNB_Range_Color	只有 Single gNB System 有	#2CD8C1



圖 31(a) NIU Model 位置分佈

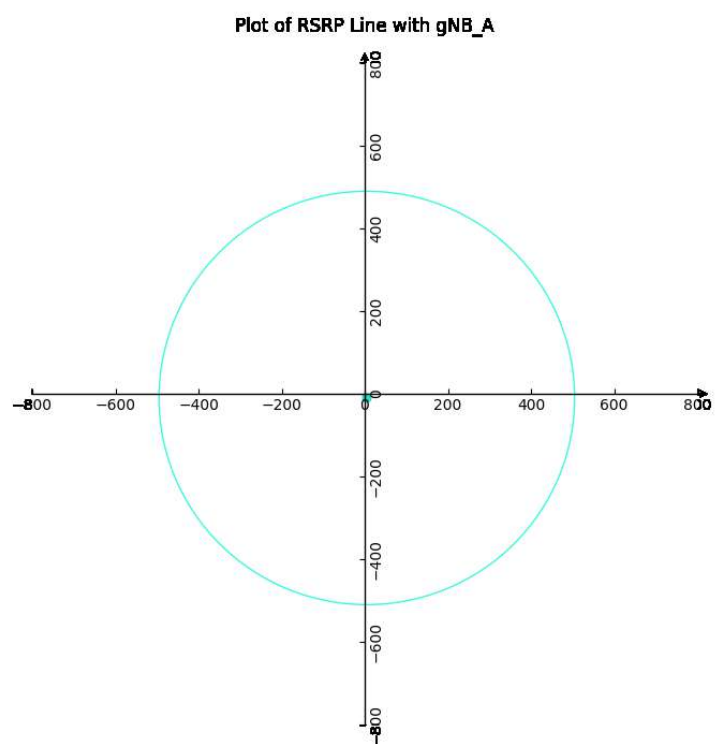


圖 31(b) Single gNB System gNB/Cell 位置分佈

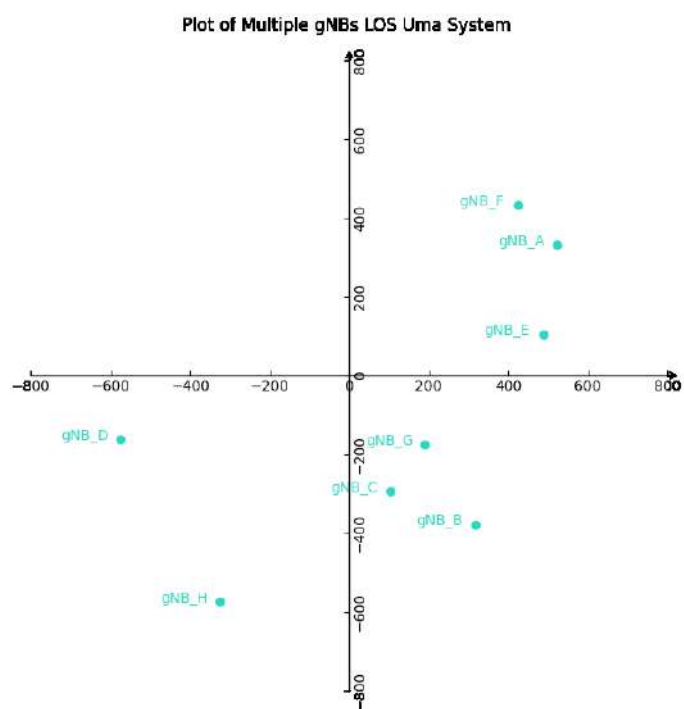


圖 31(c) Multiple gNBs System gNB/Cell 位置分佈

4.3 隔離範圍設定

在 Single gNB System 中，gNB_Range 這個參數標示的是以 gNB 中心座標為範圍，產生的警戒範圍，因此計算以圓心跟半徑回應，計算過程比較簡單。但是，在 Multiple gNBs System 設定比較複雜，它可能會設有不規則形狀的隔離範圍。

4.3.1 Single gNB System

表 13 Single gNB System 隔離範圍設定

名稱	意義	設定值
gNB_Range	是以 gNB 中心座標為範圍，產生的警戒範圍	650

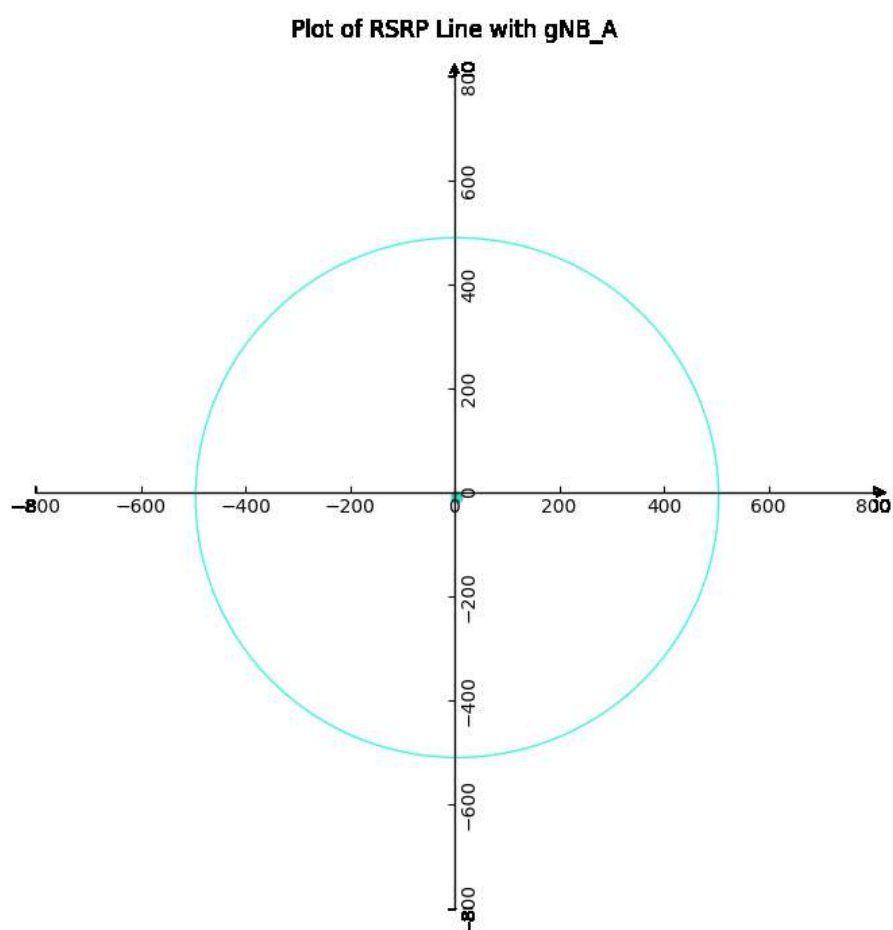


圖 32 Single gNB System 隔離範圍

4.3.2 Multiple gNBs System

在 Multiple gNBs System 中，有一個系統參數是設定範圍型態的參數 (Range_Type)，本系統分成以下類型，然而對於特殊的類型需要建立一虛擬函數填充算法才能進行判定。

1. 長方形(正方形也在此限)：Rectangle
2. 橢圓形(圓形也在此限)：Ellipse
3. 多邊形(三角形等等)：PolyCollection
4. 其他(凹多邊形等等)：ConcavePolygon
5. 非一般幾何形狀：ELSE

Range_Type 具有對應的參數，在大部份的情況下，此參數被紀錄在 System_Field_Configuration，且此參數互相為互斥的。

4.3.2.1 長方形

長方形判定較為容易，判定參數如下：

表 14(a) Multiple gNBs System 長方形隔離範圍設定

名稱	意義	設定值
Range_Color	所有形狀都有的參數	#9C0C0C
Rectangle_Start_X	左下角的 X 座標	-291
Rectangle_Start_Y	左下角的 Y 座標	-233
Rectangle_Width	範圍的寬	591
Rectangle_Length	範圍的長	395

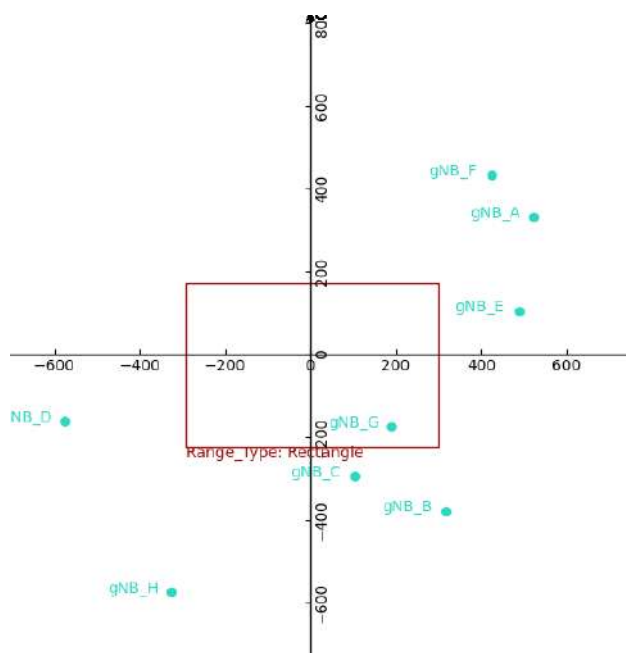


圖 33(a) Multiple gNBs System 隔離範圍：長方形

4.3.2.2 橢圓形

如果 Range_Type 為 Ellipse，則範圍設定參數如下：

表 14(b) Multiple gNBs System 橢圓形隔離範圍設定

名稱	意義	設定值
Range_Color	所有形狀都有的參數	#9C0C0C
Ellipse_Start_X	橢圓形原點的 X 座標	-61
Ellipse_Start_Y	橢圓形原點的 Y 座標	43
Ellipse_Width	橢圓形的寬	591
Ellipse_Length	橢圓形原點的長	455
Ellipse_Angle	橢圓形傾斜角度	34

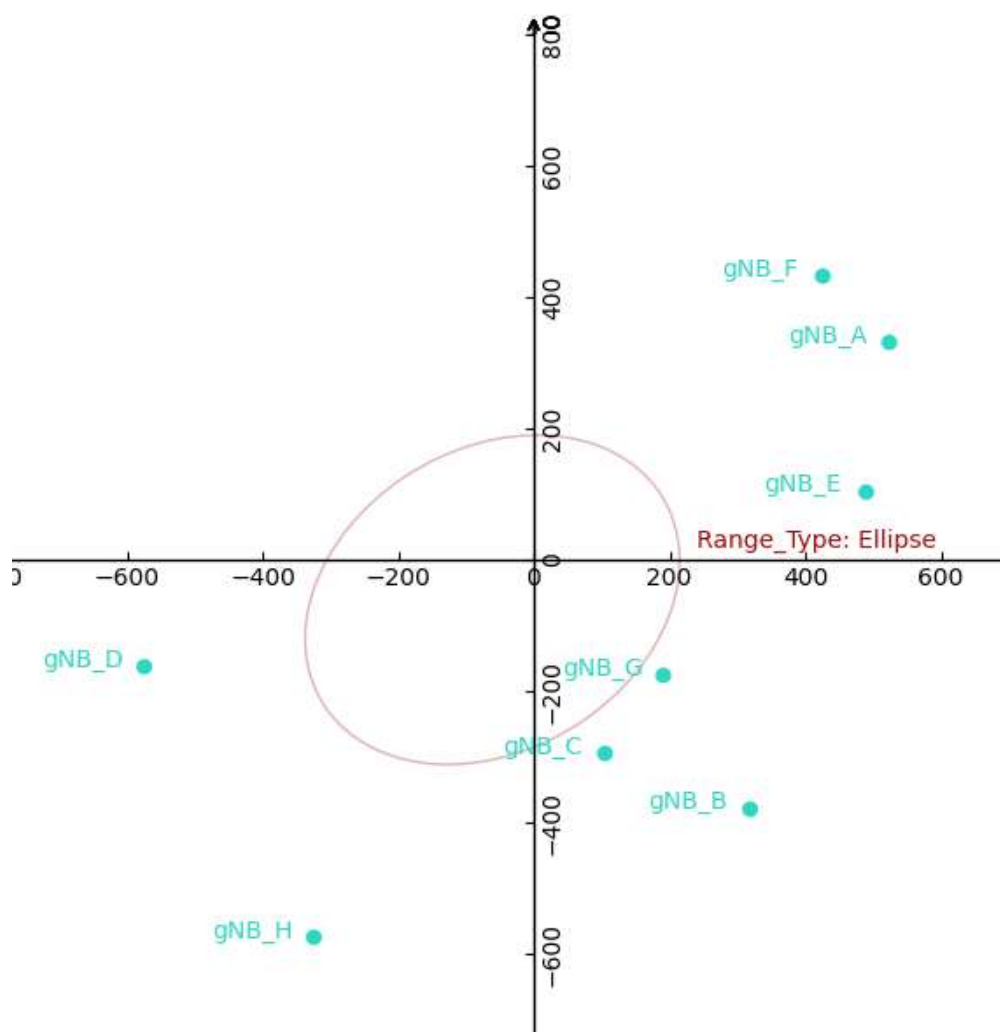


圖 33(b) Multiple gNBs System 隔離範圍：橢圓形

4.3.2.3 多邊形 PolyCollection

如果 Range_Type 為 PolyCollection，則範圍設定參數如下：

表 14(c) Multiple gNBs System 多邊形隔離範圍設定

名稱	意義	設定值
Range_Color	所有形狀都有的參數	#9C0C0C
PolyCollection_Edges	多邊形的邊數	5
PolyCollection_Points	多邊形的點座標陣列	

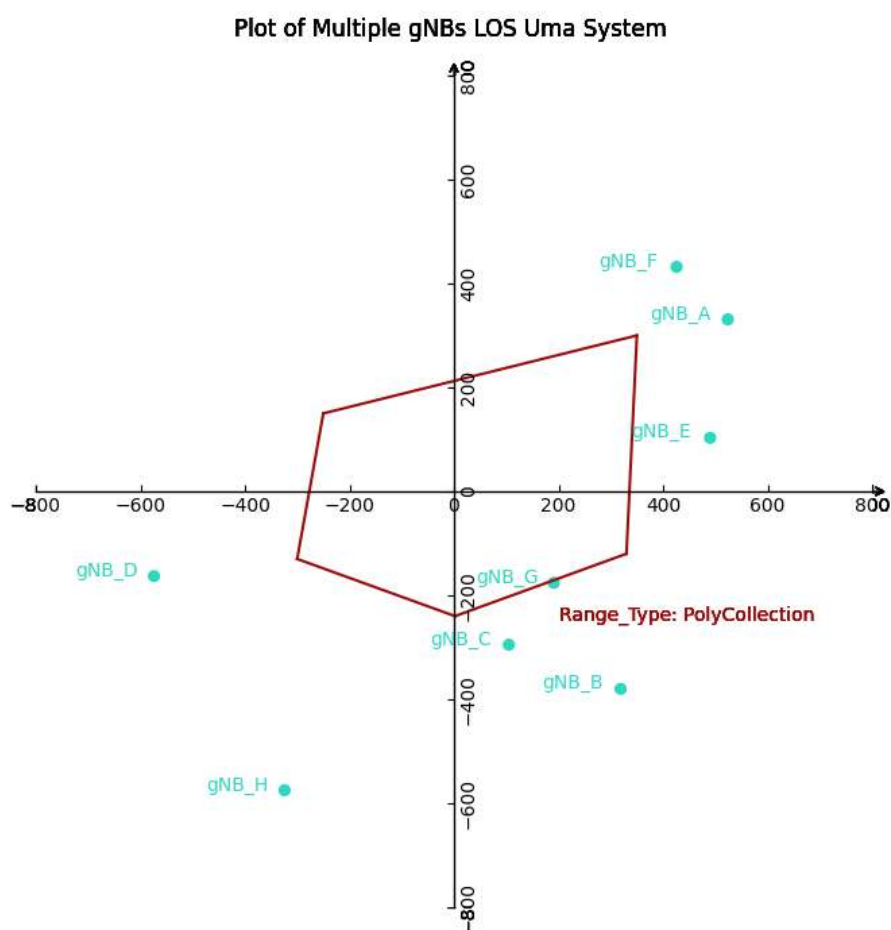


圖 33(c) Multiple gNBs System 隔離範圍：多邊形

4.3.2.4 凹多邊形 Concave Polygon

如果 Range_Type 為 ConcavePolygon，則範圍設定參數如下：

表 14(d) Multiple gNBs System 多邊形隔離範圍設定

名稱	意義	設定值
Range_Color	所有形狀都有的參數	#9C0C0C
ConcavePolygon_Edges	多邊形的邊數	5
ConcavePolygon_Points	多邊形的點座標陣列	

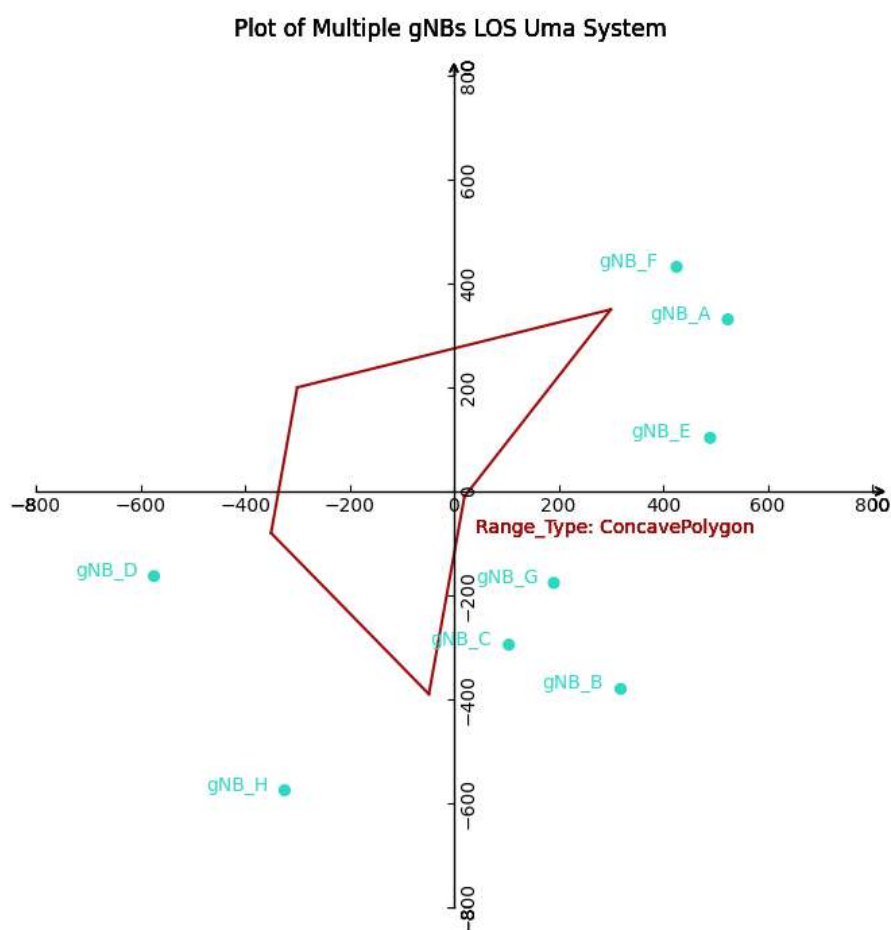


圖 33(d) Multiple gNBs System 隔離範圍：多邊形

4.3.3 NIU Model 隔離範圍：時化宿舍

屬於規則幾何形狀的圈定範圍，見圖 34。

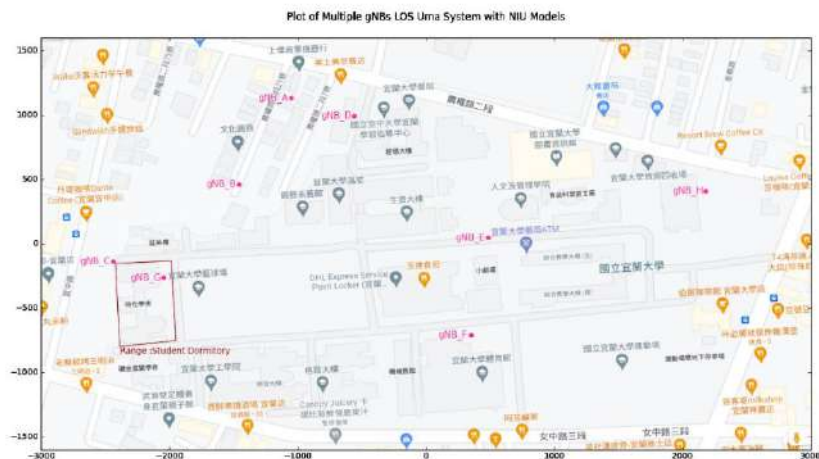


圖 34 時化宿舍圈定隔離範圍

4.4 UE 位置：可控制式 GUI

見上述，本系統中存在讓使用者透過鍵盤的上下左右鍵盤控制 UE 當前位置的功能，目前 Single gNB LOS Uma System 設有此功能，在系統中，存在一個主要的 UE 進行控制，見圖 35。

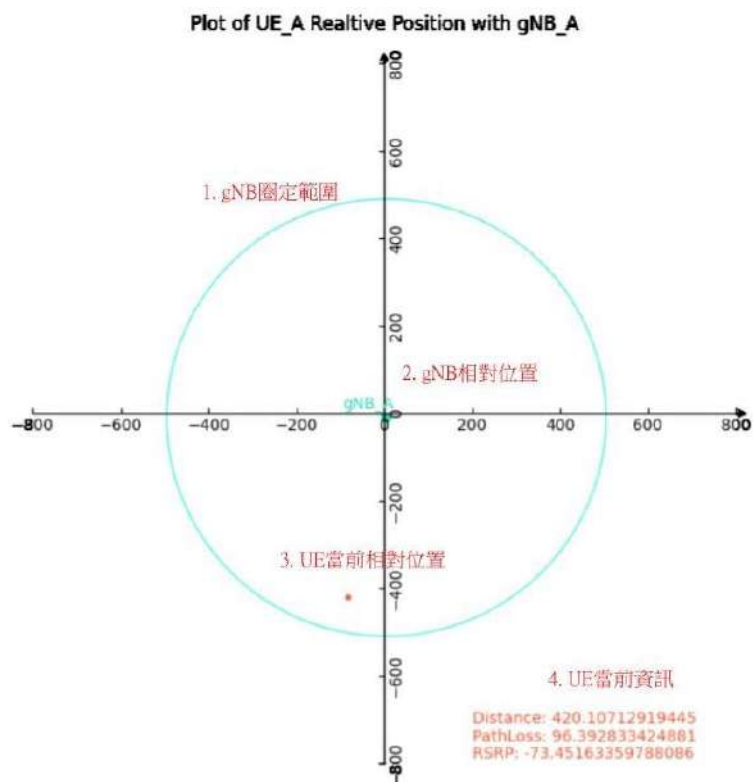


圖 35 主要 UE 的控制面板

4.5 UE: 等 RSRP 線

見圖 36，由於只有一台 gNB，因此無法進行精準定位，本系統透過 RSRP 以及 gNB 設定回推平面距離，並將其顯示在 CU 的 GUI 上面，因此呈現漣漪狀的等 RSRP 線，並且可以從終端看到是否超出範圍的提示。

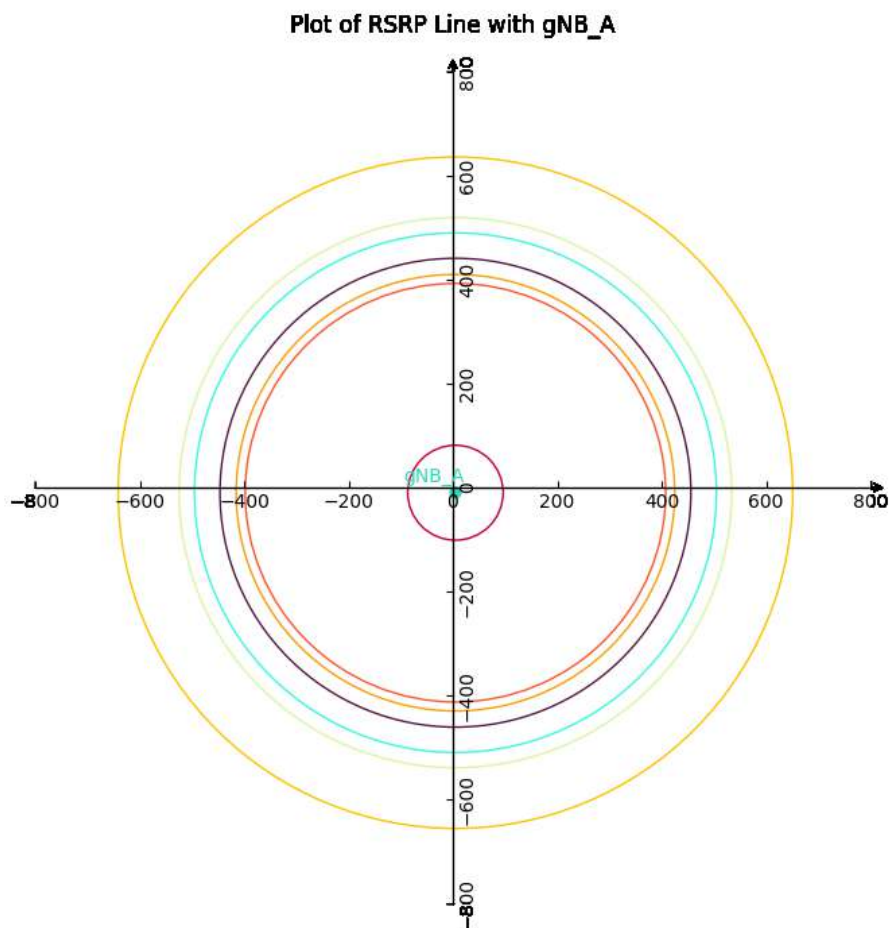


圖 36(a) Single gNB System 的等 RSRP 線圖

```

UE_D[RSRP]: -73.0503254676494 dBm
UE_E[RSRP]: -60.38069019173664 dBm
UE_F[RSRP]: -74.13091259970562 dBm
UE_A[RSRP]: -73.45163359780806 dBm
UE_B[RSRP]: -75.3002228672299 dBm
UE_B is out of range!!
UE_C[RSRP]: -77.3713313020874 dBm
UE_C is out of range!!
UE_D[RSRP]: -73.0503254676494 dBm
UE_E[RSRP]: -59.1641234927117 dBm
UE_F[RSRP]: -73.6385250688682 dBm
UE_A[RSRP]: -73.45163359780806 dBm
UE_B[RSRP]: -75.3002228672299 dBm
UE_B is out of range!!
UE_C[RSRP]: -77.3713313020874 dBm
UE_C is out of range!!
UE_D[RSRP]: -73.0503254676494 dBm
UE_E[RSRP]: -59.1641234927117 dBm
UE_F[RSRP]: -73.6385250688682 dBm
UE_A[RSRP]: -73.45163359780806 dBm
UE_B[RSRP]: -75.65370471442472 dBm
UE_B is out of range!!
UE_C[RSRP]: -77.55698351889794 dBm
UE_C is out of range!!
    
```

圖 36(b) Single gNB System 的 RSRP 提示

4.6 Multiple gNBs System 的 UE 即時精準定位

見下圖 37，由於多個基地台連線的緣故，本系統得以在 CU 以 UE 的 RSRP 資訊配合 gNB 資訊進行三點定位，得出確切位置，因此在 Multiple gNBs System 中，本系統將顯示 UE 的座標位置在 System_Field_GUI 上。

每個 UE 都有各自不同的顏色，本系統將 UE 名稱與 RSRP 資訊即時的顯示在 GUI 的右下角，可以透過顏色進行相應 UE 的對應。

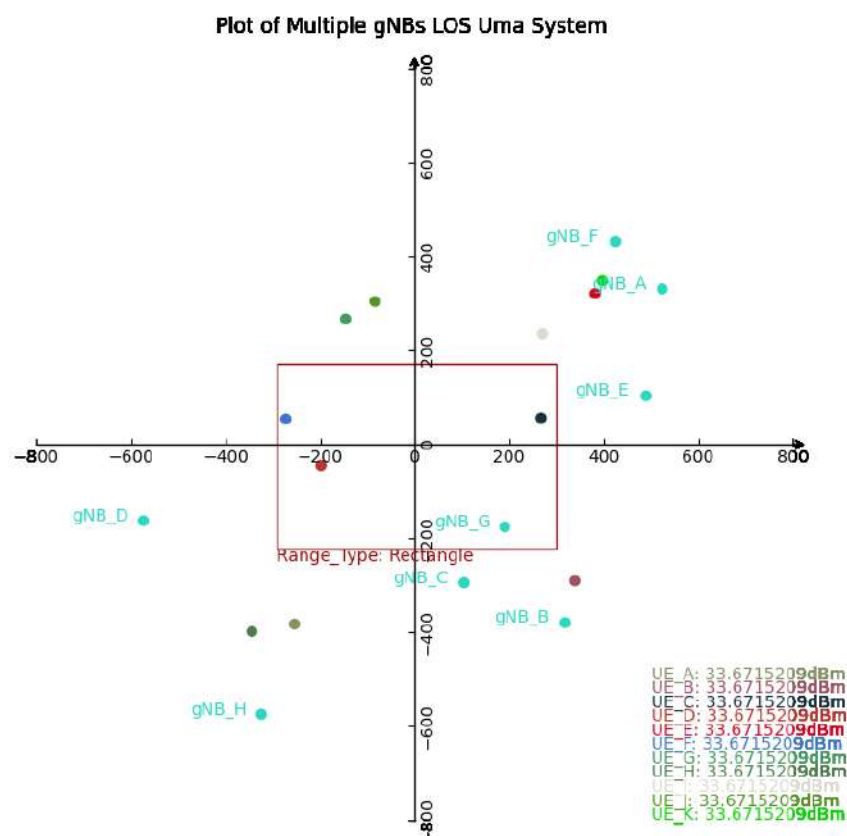


圖 37(a) Multiple gNBs System 的 UE 即時精準定位

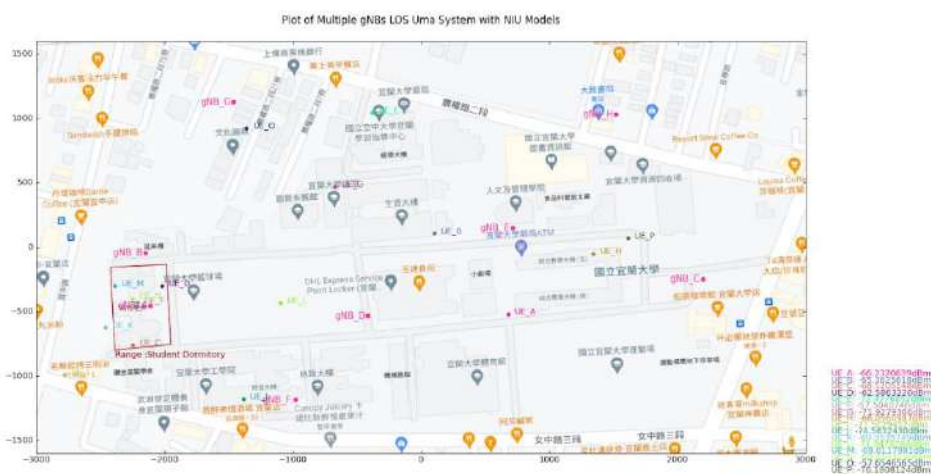


圖 37(b) NIU Model System 的 UE 即時精準定位

4.7 標實線：Primary Cell

連結實線的是 UE 和其 Primary Cell，以相應的 UE 顏色連線 UE 對應的 Cell。

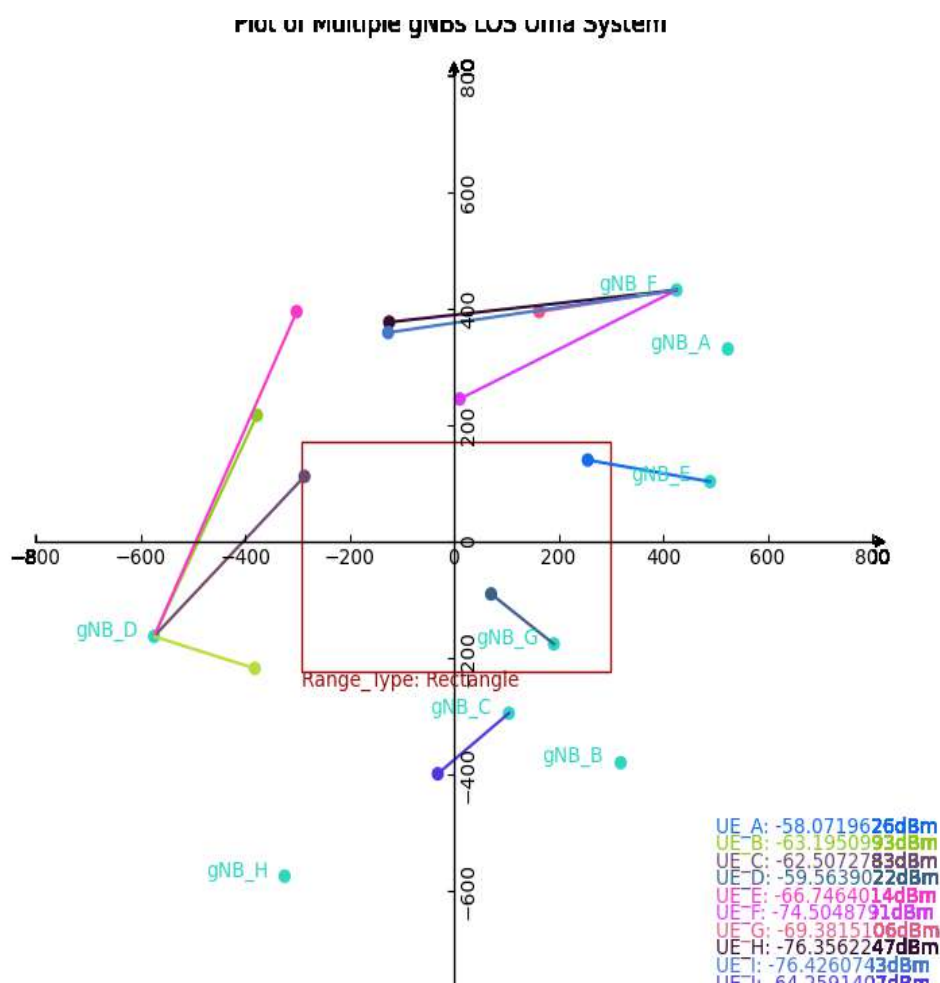


圖 38(a) Multiple gNBs System 的 Primary Cell 標線

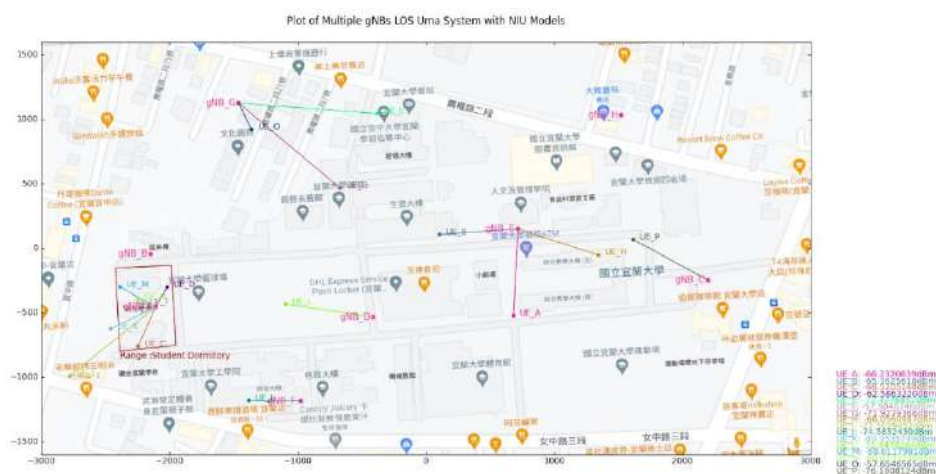


圖 38(b) NIU Model System 的 Primary Cell 標線

4.8 標虛線：Secondary Cell

虛線用來標示 Secondary Cell，以相應的 UE 顏色連線 UE 對應的 Cell。

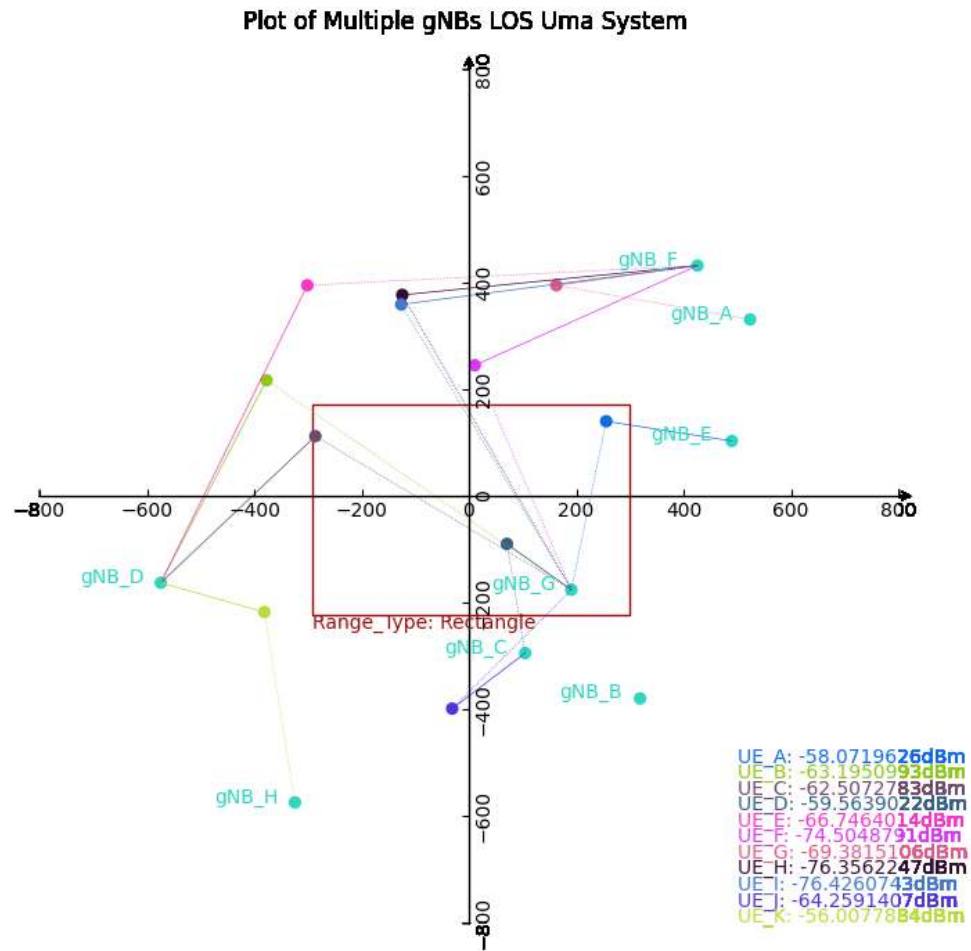


圖 39(a) Multiple gNBs System 的 Secondary Cell 標線

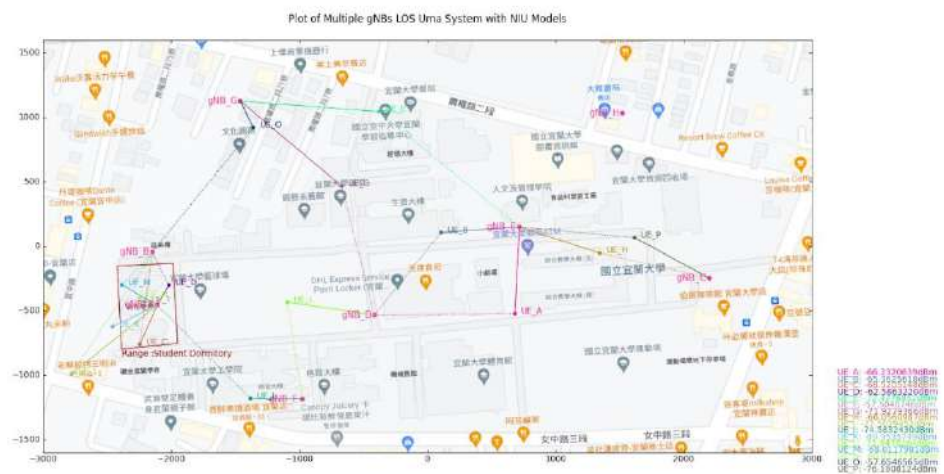


圖 39(b) NIU Model System 的 Secondary Cell 標線

5. 超出隔離範圍的警戒表現方式

超出隔離範圍，UE 便會變為紅色(#FF0000)，在 Multiple gNBs System 中尤其明顯，見下圖 40。

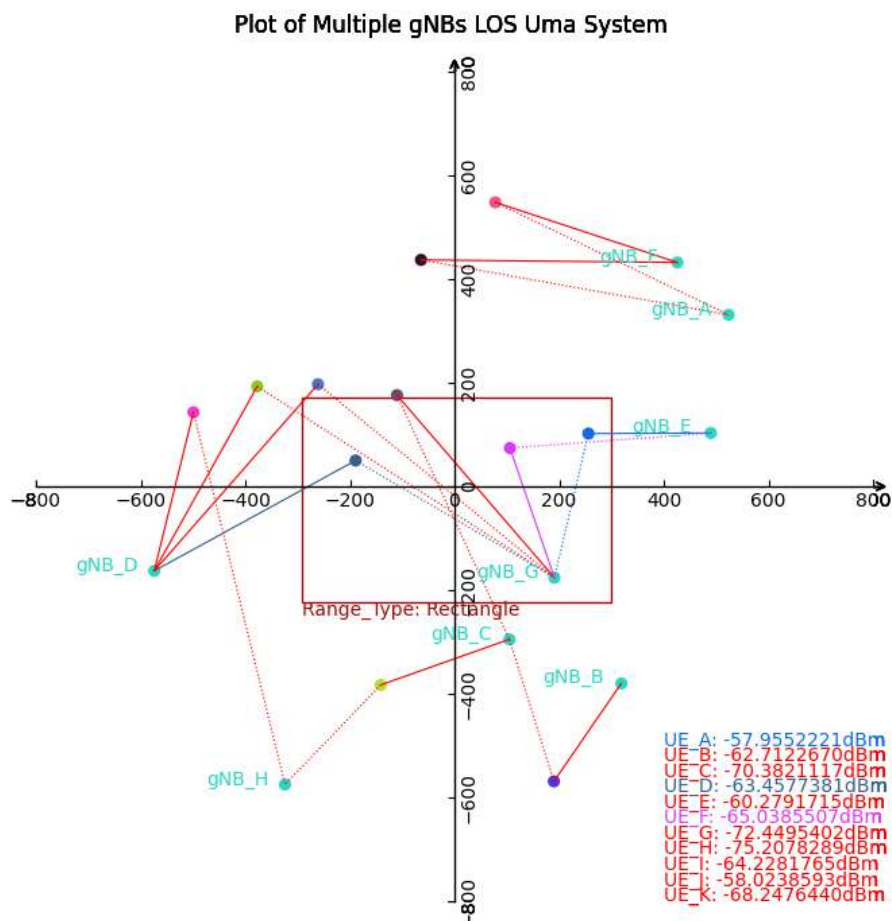


圖 40(a) Multiple gNBs System 的超出隔離範圍的警戒表現

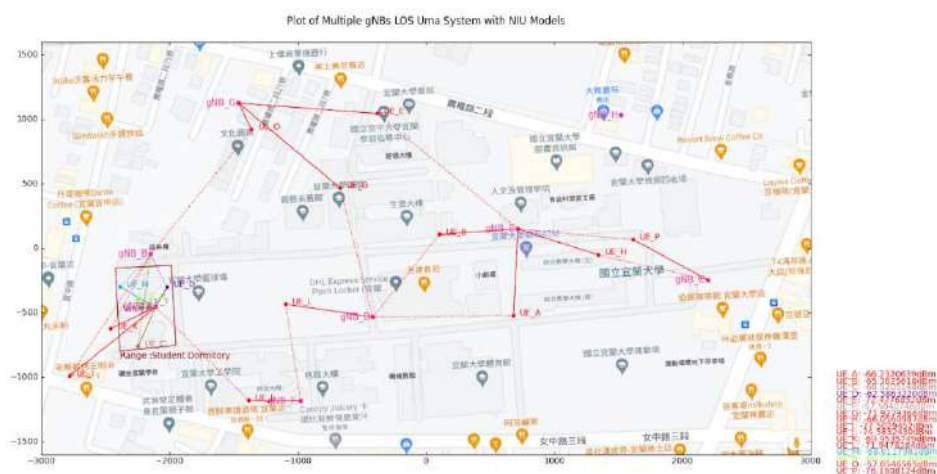


圖 40(b) NIU Model System 的超出隔離範圍的警戒表現

四、作品特色

1.改善電子防疫平台的判定模糊的缺點

本系統透過紀錄接入網路過程中，主副基地台的資訊，以深度遞迴搜尋尋找匹配的第三個 Cell，進行三點定位，算法上較政府的電子圍籬更加精確，**以此改善政府電子圍籬的失誤**，見圖 41 (a)，政府的電子圍籬透過 IMEI 碼進行追蹤，卻無法有效的定位，指定隔離對象可能收到非圍定基地台的連線，也可能在指定基地台內連線卻已經離開指定隔離範圍，綠色為指定基地台，橘色為非指定範圍基地台。

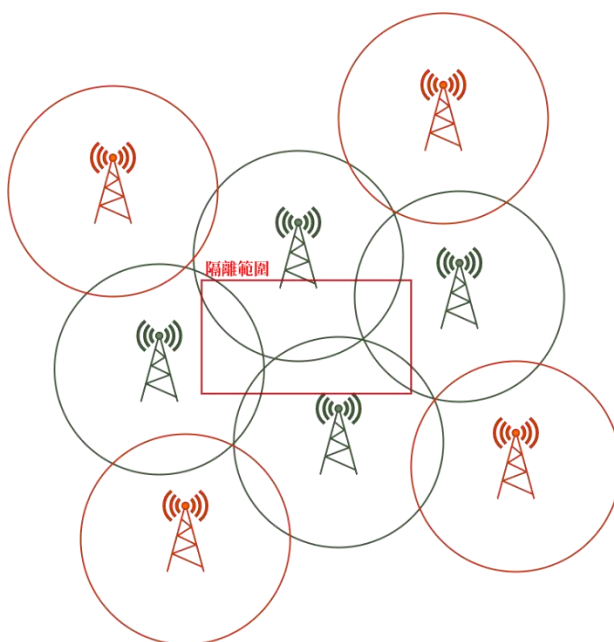


圖 40(a) 電子防疫平台判定地帶模糊

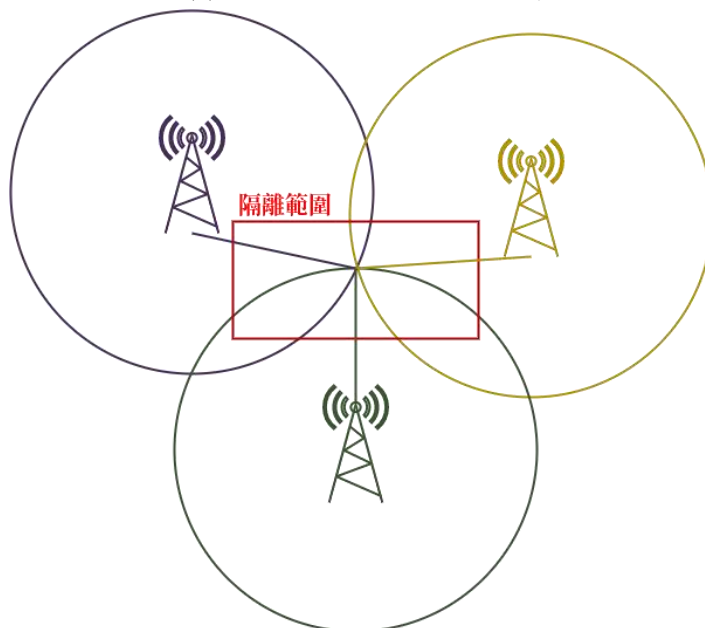


圖 40(b) 本系統採取精準定位算法

2. 配合 3GPP 的協議通訊模型

見上述，本系統大部分參照 Release15 後的協議內容(見表 8)，為了部署實際應用可行的虛擬網路功能，進行大量的考據，採用標準通訊模型而進行模擬。如此本系統在佈署虛擬網路功能時，**運行在通用服務器時毋需進行大幅更改而得以遵照當前的協議進行通訊的標準。**

3. 動態切換通訊模型切合情境提昇精準度

由上述得知，通訊模型因應 UE 的狀態與環境因素有些微差異，在本系統中，系統會動態判定當前的狀態切換不同的模型以及參數進行計算，選擇切合當前情況的通訊模型可以得出最為精確的定位資訊。

4. DU-CU 分離式部署加快運算效率

從上述得知，若要達到模型的動態切換必須進行大量運算，若是在 DU-CU 共站架設，勢必會造成多餘的資源浪費，因此本系統採用 DU-CU 分離式架構，避免產生大量的資源浪費以及網路接入延遲，本系統將運算交由 CU 的其他部份進行運算，即 **CU 進行運算的同時與進行接入功能是同時進行的**，這樣可以避免造成延遲，採用 MEC 使本系統能夠在**不影響網路接入功能**情況下進行大量的計算功能。

5. RSRP 的幾何換算限定隔離範圍

見上述 Multiple gNBs System 的隔離區域，本系統可以透過關鍵算法圈定幾何形狀的區域以及判定是否離開該區域，這種算法能夠因應建築物以及區域有所彈性改變，達到更精確的隔離以及判定。

6. 輕量級的系統架設

本系統採用模組導向設計，建立環境簡易，且容易彈性改變參數切和使用者需求，模擬情境多樣化，且硬體設備要求相較其他模擬系統低。

7.在通用服務器上運行專業設備功能的設計

使用 NFV 技術，本系統可以在通用服務器上運行，**不受特殊硬體條件限制**便可以運行。

五、系統程式設計之流程圖

1. 總體流程圖

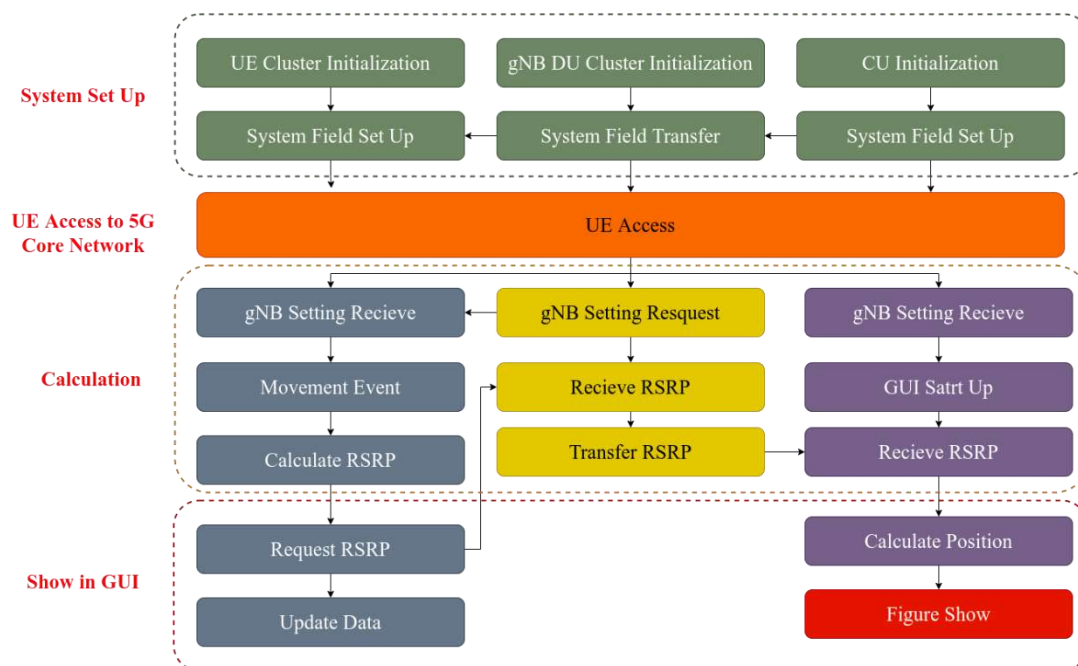


圖 41 系統總體流程圖(通用)

本系統分成四個階段進行系統的流程，見圖 41，這些階段明顯的分出系統建立的交接點，除了第一階段，其餘階段會進行迴圈循環直到系統結束。

2. 初始化設定流程

這個階段是 Single gNB System 與 Multiple gNBs System 共有的階段，這個階段分成兩個步驟：

1. 各單元自身設定參數的補全與矛盾修正
2. 場域設定的互相通訊

2.1 單元自身設定參數的補全與矛盾修正

流程圖如下圖 42，各個虛擬機檢查重要參數的四項性質並且提醒使用者是否有遺漏任何參數：

重要參數列表列出**不可為空的特殊設定參數**，並且標示有**優先級**，因此這個步驟是確保系統不會在重要參數缺失的情況下發生令系統癱瘓的錯誤。

如果發生錯誤類型，就會產生警告訊息，在遍歷所有重要參數之後，一次性列出來。

關於優先級矛盾的問題，如 Frequency_Band 優先級較高(0)，而 Duplex_Mode(1) 優先級較低，若 Frequency_Band 為 n78 而 Duplex_Mode 為 FDD，則要將 Duplex_Mode 改為 TDD。

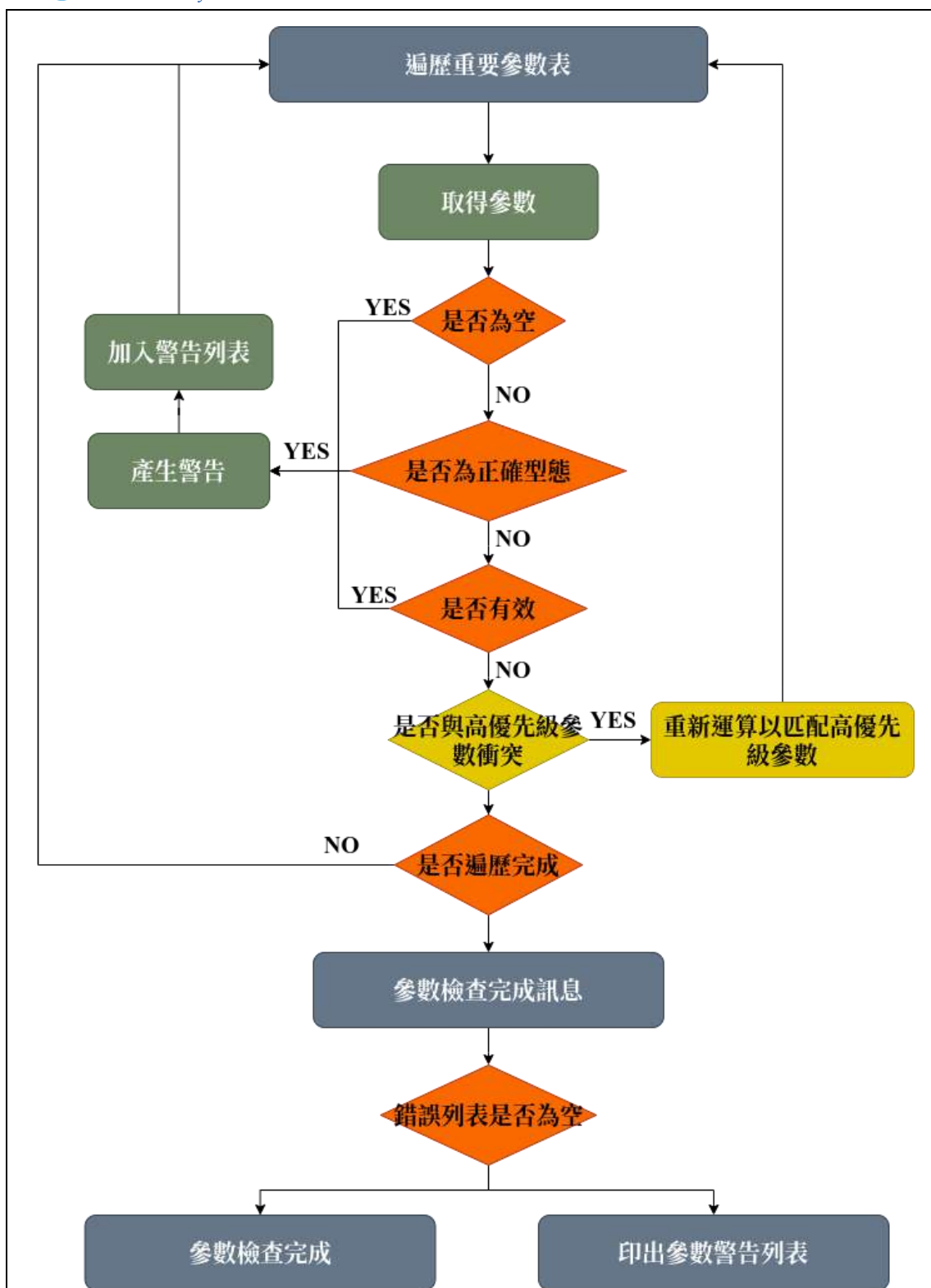


圖 42 單元自身設定參數的補全與矛盾修正流程圖

2.2 場域設定的相通

本系統在設定場域時，部份參輸必須保持同步，通常以 CU 上的 System_Field_Configuration 為標準，因此，UE 上標準需與 CU 上的設定保持一致。

3. UE 請求接入 5G 核心網流程



圖 43 UE 接入總流程圖

3.1 第一階段: RRC SetUp

一般來說這個階段會有兩種結果：RRCSetUp 和 RRCReject，RRCReject 會在 DU 就被返回，後續 F1AP 的協定的例外情況寫上 Not applicable. (不適用)，根據這個定理，本系統模擬這個過程，盡量遵守 3GPP TS，因為這是接入核心網的第一步驟，此時發送信令是 SRB0。

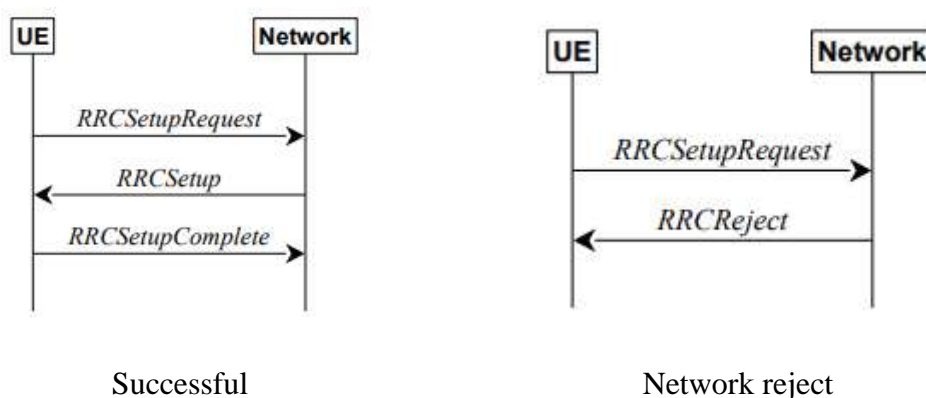


圖 44 RRCSetUp 流程圖

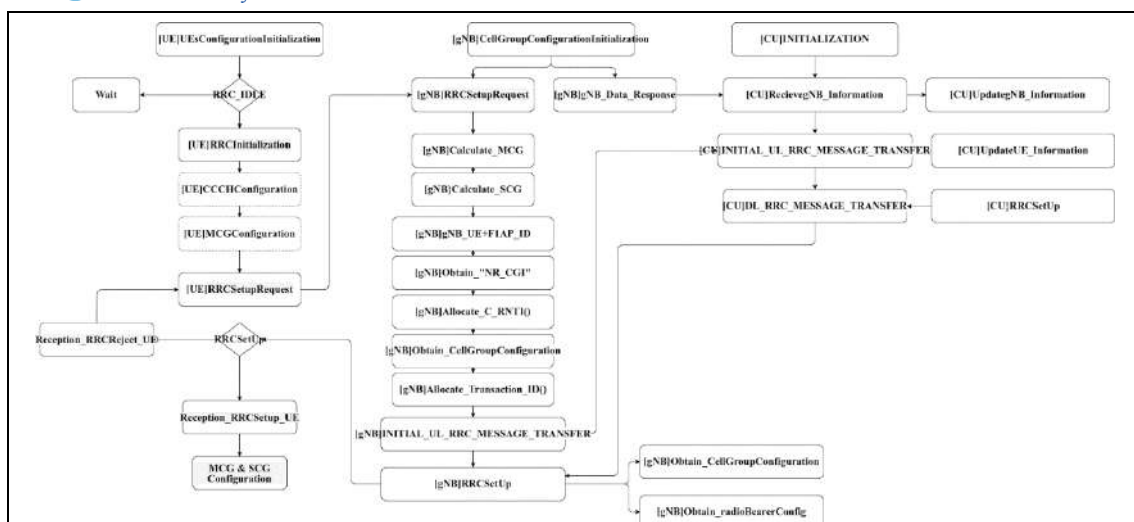


圖 45 RRCSetup 建立過程流程圖

3.1.1 Initiation

當 UE 處於 RRC_IDLE 並且已經獲取必要的系統訊息時，當上層請求建立 RRC 連接時，UE 啟動該過程。

本系統設置了一個稱為“RRC”的參數。它表明 UE 的 RRC 狀態，就像在生活中是真實的。對於三星部份的手機，可以在手機中輸入*#0011#取得部份訊號資訊，我們使用 Samsung Galaxy A53 手機，搭配 5G 方案查看 RRC 狀態如下

表 15 實體手機中狀態訊息

10:40	56%
ServiceMode	
LTE-BASIC Info	
Band:8 BW: 10MHz	
DL & UL Frequency: 9260 / 27260	
MIMO Mode/MIMO RI: TBD / --	
ServingCellID:0x6514E1FPCI:137	
Home PLMN: 466 92	
Registered PLMN: 466 05	
RSRP:-- RSRQ:-- RSSI:--	
TAC:24500 SINR: -30	
RRC: IDLE	
WAKEUP_INFO: 11	
<NR Information>	
UpLayerInd: 0	
RestrictDCNR: 0	
NR MO: NULL	
ENDC Status: Inactive	
SCG Failure Cause: --	
NR-MSTC: OFF	
NR-CHBW: --, BWP: --	
NR-SRB3: --	
NR-SSB Index:--	
NR-SSB RSRP:--	
NR-SCS: --	
NR RSRP:--, RSRQ:--	

RRC_IDLE

19:51	85%
ServiceMode	
LTE-BASIC Info	
Band:7 BW: 20MHz	
DL & UL Frequency: 3050 / 21050	
MIMO Mode/MIMO RI: TBD / 2	
ServingCellID:0x4C8AA2PCI:2	
Home PLMN: 466 92	
Registered PLMN: 466 92	
RSRP:101 RSRQ:-7 RSSI:-70	
TAC:13700 SINR: 20	
RRC: CONNECTED	
WAKEUP_INFO: 1	
<NR Information>	
UpLayerInd: 1	
RestrictDCNR: 0	
NR MO: NULL	
ENDC Status: Active	
SCG Failure Cause: --	
NR-MSTC: OFF	
NR-Band: 78, NR-ARFCN: 631000	
NR CDRX: Active	
NR Num CC: 1	
PCI: 2	
NR-CHBW: 90, BWP: 0	
NR-SRB3: 0	

RRC_CONNCTED

無

RRC_INACTIVE

LTE 原本並沒有 RRC_INACTIVE 狀態，是在 5G 的 R13 規範之後被引入的，目的是減少信令和功耗，因為 5G 的技術會產生大量功耗，高速率的情況下 RRC 耗電的關鍵，大量的設備傳輸少量數據會產生過高的信令消耗。

在 RRC_IDLE 狀態(空閒狀態)下，會進行初始化，然後 UE 會通過 Common Control Channel(以下簡稱，CCCH)訊道發送 RRCSetupRequest。

下圖為 Initiation 的流程圖，灰色表示系統並沒有實做或是將其保留(這個設定會沿用)

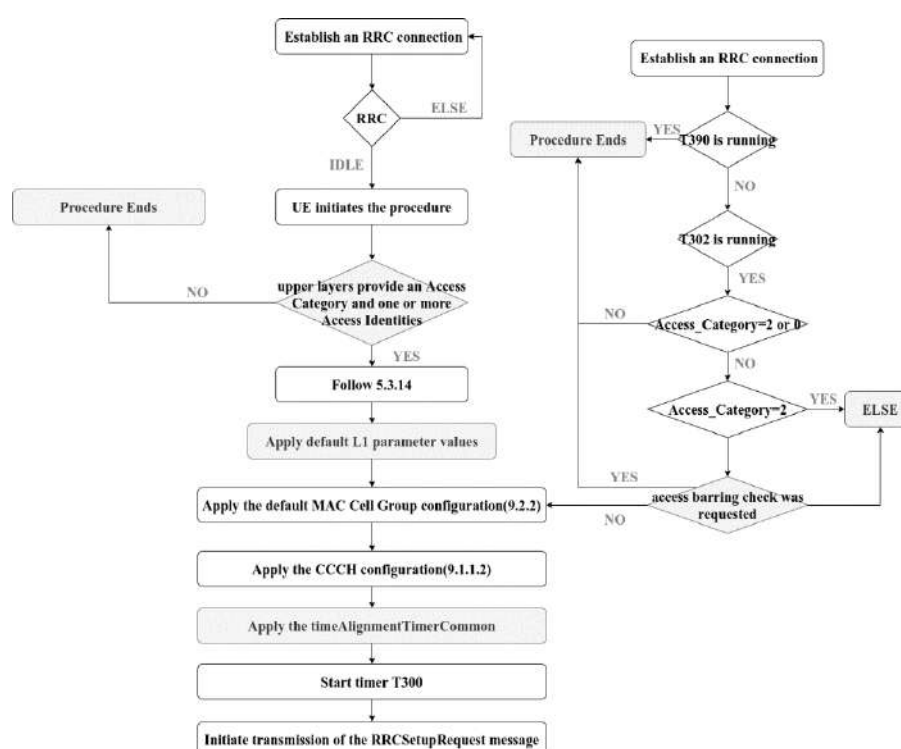


圖 46 初始化流程圖

在 Single gNB System 中，本系統會將主要控制的 UE 進行高物理層的模擬，但是基於 NFV 的技術，會將重點放在配置 CCCH 的部份與協議 5.3.14 的內容執行模擬。

而在 Multiple gNBs System 中，本系統會將重點放在 CellGroupConfiguration 上，因為這邊系統配置 UE 的 MCG 與 SCG，先不考慮 SPCell。

3.1.1.1 Apply the CCCH configuration

表 16 CCCH configuration

Name	Value	Semantics description
SDAP configuration	NOTUSED	
PDCP configuration	NOTUSED	
RLC configuration	TM	
Logical channel configuration		
>priority	1	Highest priority
>prioritisedBitRate	INFINITY	
>bucketSizeDuration	ms1000	
>logicalChannelGroup	0	

```

CCCH_Configuration={
  "SDAP_Configuration":"NOT_USED",
  "PDCP_Configuration":"NOT_USED",
  "RLC_Configuration":"TM",
  "Logical_Channel_Configuration":{
    "Priority":1, #Highest priority
    "PrioritisedBitRate":"INFINITY",
    "BucketSizeDuration_ms":1000,
    "LogicalChannelGroup":0
  }
}

Update_UE_Configuration({"CCCH_Configuration":CCCH_Configuration})
  
```

圖 47 Single LOS CCCH configuration 部份代碼

配置參考中華電信以及一般協議內容。

3.1.1.2 Apply the default MAC Cell Group configuration

表 17 MAC Cell Group configuration

Name	Value	Semantics description
MAC Cell Group configuration		
bsr-Config		
>periodicBSR-Timer	sf10	
>retxBSR-Timer	sf80	
phr-Config		
>phr-PeriodicTimer	sf10	
>phr-ProhibitTimer	sf10	
>phr-Tx-PowerFactorChange	dB1	

在 Single gNB System 中並不關注這個部份，因為對於一台基地台模擬的系統，是不會出現一台以上的基地台，CellGroup 也就被忽略了，但是在設定中它依然象徵性的存在，對多個模擬機的系統中，也是可能被配置的，**本系統盡量在不影響效能的情況下保留這些動態配置**，在系統中這些模組是獨立的文件，設計上是彈性的。

但是在 Multiple gNBs System，其的意義是不同的，對於分割不同 Group 的 Cell(這邊視為 gNB)，要接入的 gNB 可能會有所不同，而帶動 MCG 與 SCG 的配置不同。這邊系統會先設定一個主要接入的 PCell，接入之後由再讓 RRCSetup 返回新的 MCG 配置。

3.1.2 RRCSetupRequest

為了請求建立 RRC 連接。(5.3.3)攜帶消息：UE 標識，RRC 連接建立原因。
如果上層攜帶 5G-S-TSMI，UE_Identity 就要返回 ng-5G-S-TMSI-Part1 否則就要隨機產生一個 32 位元的標示(在該 Cell 唯一)。

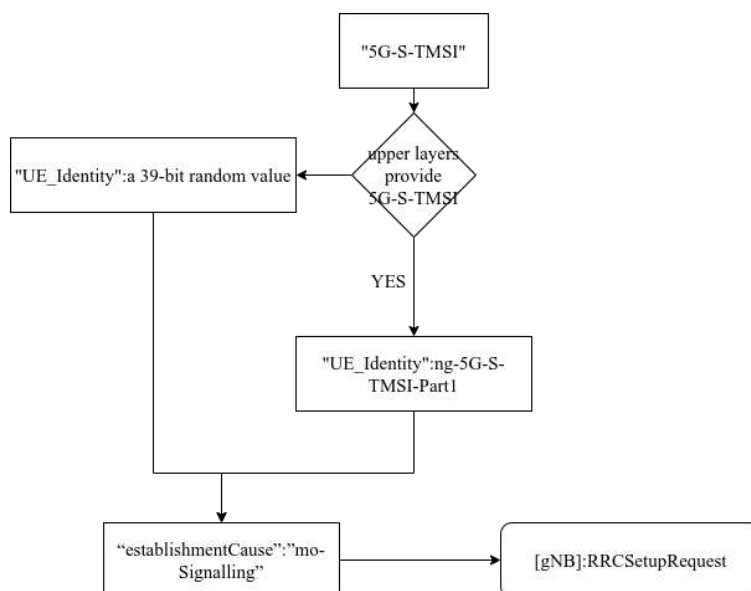


圖 48 UE Identity 分配流程

如下表，之後參數表會用三個值表示：Name 是 IE 名稱，Value 是預設值(通常是配置在 Single gNB LOS Uma 的主要 UE)，Characteristic 代表系統中該配置的產生方式，參數見表 18。

表 18 RRCSetRequest 攜帶 IE 表

Name	Value	Characteristic
UE_Identity		Dynamic/Allocated
establishmentCause	mo-Signalling	Static
UE_Name	UE_A	in UE Configuration
UE_IP	10.0.2.100	in UE Configuration

信令:SRB0

邏輯通道:CCCH

見 Actions related to transmission of RRCSetupRequest message [5.3.3.3] page 55.

3.1.3 INITIAL UL RRC MESSAGE TRANSFER(F1AP)

ETSI TS 138 473 V16.5.0 (2021-04) 5G NG-RAN F1 Application Protocol (F1AP)
(3GPP TS 38.473 version 16.5.0 Release 16)

See Initial UL RRC Message Transfer [8.4.1] page 58

初始 UL RRC 消息傳輸過程的目的是將初始 RRC 消息傳輸到 gNB-CU。
該過程使用非 UE 相關信令。

UE 相關邏輯 F1 連接的建立應作為程序的一部分啟動。



Figure 8.4.1.2-1: Initial UL RRC Message Transfer procedure.

圖 49 INITIAL UL RRC MESSAGE TRANSFER 流程

如果 DU 到 CU RRC 容器 IE 未包含在初始 UL RRC 消息傳輸中，則 gNB-CU 應在 gNB-DU 無法為此類 UE 服務的假設下拒絕該 UE，傳送 RRCReject。

如果 gNB-DU 能夠為 UE 服務，則 gNB-DU 應包括 DU to CU RRC Container IE，並且 gNB-CU 應按照 TS 38.331 中的規定配置 UE。

gNB-DU 不應在 DU 到 CU RRC 容器 IE 的 TS 38.331 中定義的 CellGroupConfig IE 中包含 ReconfigurationWithSync 字段。見待會的 CellGroupConfig 跟 ReconfigurationWithSync 部份

如果 SUL Access Indication IE 包含在 INITIAL UL RRC MESSAGE TRANSFER 中，則 gNB-CU 應認為 UE 已在 SUL 載波上執行了接入。
(系統中未實現，且預設為 True)

如果 RRC-Container-RRCSetupComplete IE 包含在 INITIAL UL RRC MESSAGE TRANSFER 中，gNBCU 應按照 TS 38.401 [4] 中的規定將其考慮在內。

向 gNB-CU 發送第一個 RRC 消息，這個過程將建立一個 UE 級的 F1 連接

而在 **Multiple gNB System** 系統中，系統會在這邊模擬隨機接入的過程，這部份就沒有接入部份嚴謹，事實上在 gNB 數量劇烈增加的情況，要在範圍內圈定是需要非常大量的運算，而在後續，還需要考量到換手的情況，為了避免拖累效率(注意：系統用程式模擬硬體的工作一定會比硬體慢，面對這種情況系統會在這邊做盡量的保留實際情況的方法下簡化流程)，系統會如同隨機接入一樣隨機接入一個 Cell，之後透過算法連接到訊號較好，下圖為在 Multiple gNB System 系統中的計算流程。

在這個步驟中系統會透過這個方式，初步根據距離配置 MCG，Connected Primary Cell 以及 SCG，Connected Secondary Cell，傳給 CU 更新配置後，在將更新過的 UE_Information 傳回 gNB，最終回到 UE 那邊覆寫配置。

表 19 INITIAL UL RRC MESSAGE TRANSFER

Name	Value	Characteristic
UE_Name	UE_Name	Dynamic form request
UE_IP	UE_IP	Dynamic form request
gNB_DU_UE_F1AP_ID		Allocate/Request
NR CGI		in Config
>PLMN	46692	in Config
>>MCC	466	in Config
>>MNC	92	in Config
>NR cell Identity		in Config
>>gNB Identity	1010010111000101010010	in Config
>>Cell Identity	1111001000000	in Config
C-RNTI		Allocate
RRC-Container	RRCSetupRequest	Static
DU to CU RRC Container	include CellGroupConfig	in Config
SUL Access Indication	True	Static
Transaction ID		Allocate

gNB-DU UE F1AP ID 唯一標識 gNB-DU 內 F1 接口上的 UE
C-RNTI Cell RNTI(Radio Network Temporary Identity 無線網路臨時身份)
Transaction ID 唯一標識由同一協議對等方發起的所有正在進行的相同類型的並行過程中的一個過程。屬於同一過程的消息使用相同的 Transaction ID。

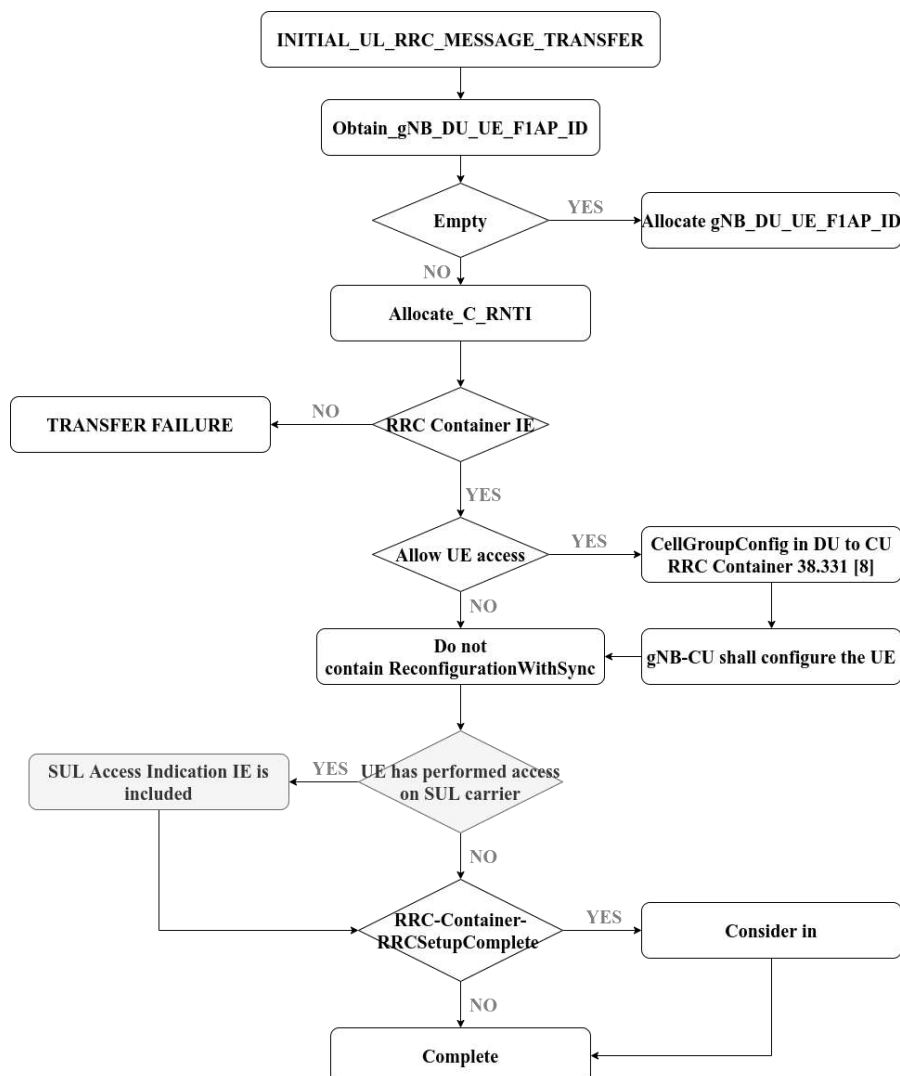


圖 50 INITIAL UL RRC MESSAGE TRANSFER(F1AP) 流程圖

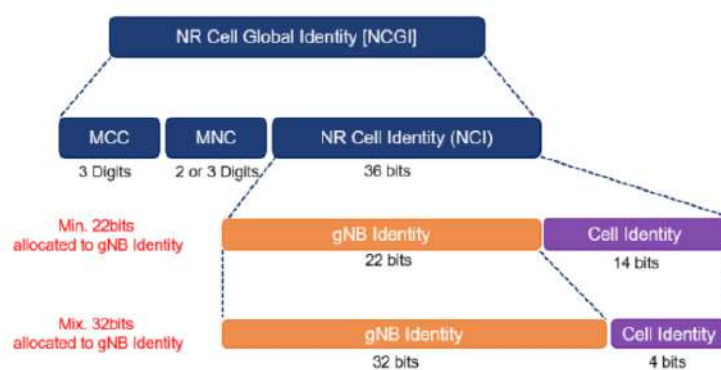


圖 51 NR CGI 組成 (圖源：[NCGI](#))

在 UE Configuration 中會設定這些參數，算是可以調整的配置參數，先說 PLMN，由行動裝置國家代碼(MCC)跟行動裝置網路代碼(MNC)組成，本系統根據實際手機的設定去設置為 466 92，但除了手機指令以外，可以透過這個網站[24]去查詢相應的代碼，**中華電信是 466 92**，遠傳是 466 03/01。

另外，本系統在 UE Configuration 設定有 bitlength gNB ID 和 bitlength Cell ID，目前是設置 22/14，在註冊 gNB 時會動態分配給指定區域唯一的標示碼，透過 bitlength gNB ID 和 bitlength Cell ID 指定位元長度格式。

3.1.4 DL RRC MESSAGE TRANSFER

目的：將 RRC 消息 RRCSetup 轉發給 gNB-DU。

DL RRC 消息傳輸過程的目的是傳輸 RRC 消息。該過程使用 UE 相關信令。
General



圖 52 DL RRC MESSAGE TRANSFER

如果存在與 UE 相關的邏輯 F1 連接，則 DL RRC MESSAGE TRANSFER 消息應包含 gNB-DU UE F1AP ID IE，gNB-DU 應使用它來查找存儲的 UE 上下文。如果沒有 UE 相關的邏輯 F1 連接存在時，應在接收到 DL RRC MESSAGE TRANSFER 消息時建立與 UE 相關的邏輯 F1 連接。在系統中，我們預設為包含相關的邏輯 F1 連結。

如果 RAT 索引/頻率選擇優先級 IE 包含在 DL RRC MESSAGE TRANSFER 中，則 gNB-DU 可以將其用於 RRM 目的。如果附加 RRM 策略索引 IE 包含在 DL RRC MESSAGE TRANSFER 中，則 gNB-DU 可以將其用於 RRM 目的。這個部份系統本系統沒有實現，但本系統仍然留空這個 IE。

如果可用，DL RRC MESSAGE TRANSFER 消息應包括舊的 gNB-DU UE F1AP ID IE，以便 gNB-DU 可以在 RRC 連接重建過程中檢索現有的 UE 上下文，如 TS 38.401 中所定義。事實上在系統中會用 OLD 標示舊的 F1AP UE，保存在 CU 的檔案中，然而，在 Single gNB System 會將獲得的 F1AP_ID(包括 DU 與 CU)寫入 CU 與 UE 的檔案，**只有 CU 有舊的跟新的 F1AP**，gNB 只有刷新 gNB-DU

UE F1AP ID，而 UE 得到新的 gNB-DU UE F1AP ID 並在配置中覆寫，而在 Multiple gNB System 中，因為大量的腳本存在，我們會透過 CU 配置傳遞消息刷新 UE 的配置，但是不保留舊的 gNB-DU UE F1AP ID，這樣做是為了在效益跟設計彈性的取捨間達到效益最大化。

如果激活了 SRB 複製，DL RRC MESSAGE TRANSFER 消息應包括 Execute Duplication IE，以便 gNB-DU 可以為 SRB 執行基於 CA 的複製。

如果 gNB-DU 通過 DL RRC MESSAGE TRANSFER 消息中的 gNB-DU UE F1AP ID IE 和舊的 gNB-DU UE F1AP ID 識別 UE 關聯的邏輯 F1 連接，縱上述，所以在這個設計中，將舊的 gNB-DU UE F1AP ID 用在此處，在 Single gNB System 這個方面有比較明顯的顯現出來。

如果設置為“true”的 UE Context not retrievable IE 包含在 DL RRC MESSAGE TRANSFER 中，則 DL RRC MESSAGE TRANSFER 可能包含網路共享 IE 的 PLMN 輔助訊息(如果在 gNB-CU 處可用)並且可以按照指定使用在 TS 38.401 中。

如果 DL RRC MESSAGE TRANSFER 消息包含 New gNB-CU UE F1AP ID IE，如果支持，gNB-DU 應將 gNB-CU UE F1AP ID IE 中收到的值替換為 New gNB-CU UE 的值 F1AP ID 並將其用於進一步的信令。

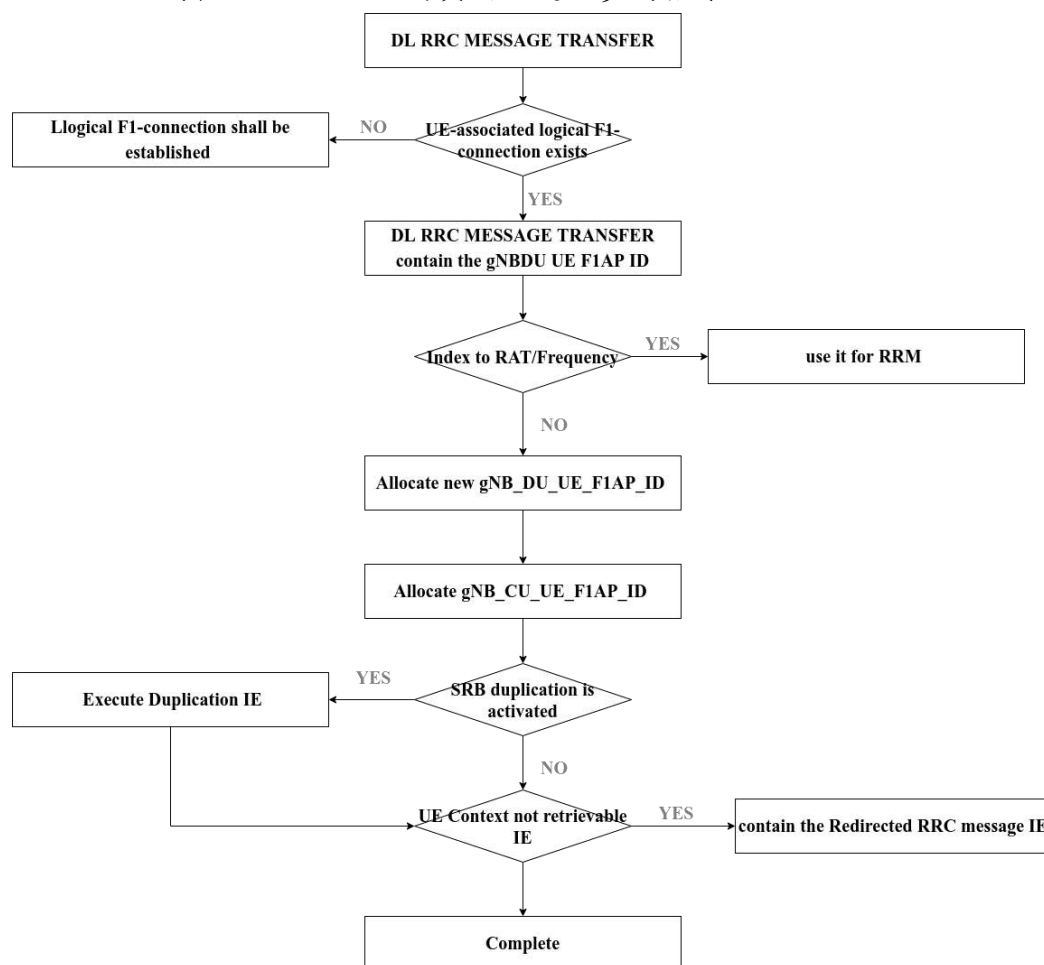


圖 53 系統 DL RRC MESSAGE TRANSFER 的詳細過程

與 UE 上下文釋放請求過程的交互

如果設置為“true”的 UE Context not retrievable IE 包含在 DL RRC MESSAGE TRANSFER 中，則 gNB-DU 可以觸發 UE Context Release Request 過程，如 TS 38.401 中所述。這個系統沒有實現，但一樣有寫虛擬函數，以供未來之用。

表 20 DL RRC MESSAGE TRANSFER

Name	Value	Characteristic
gNB_DU_UE_F1AP_ID		Allocate
gNB_CU_UE_F1AP_ID		Allocate
SRB_ID	1	Static
RRC-Container	RRCSetup	Static
Execute Duplication	True	Static
RAT-Frequency Priority Information	True	Static
>EN-DC		
>>Subscriber Profile ID for RAT/Frequency priority	111111	Static/Changeable
>NG-RAN		
>> Index to RAT/Frequency Selection Priority	1010111	Static/Changeable
RRC Delivery Status Request	True	Static/Changeable

gNB-DU UE F1AP ID 唯一標識 UE 的關聯標示

RAT-Frequency Priority Information 見 Initial UL RRC Message

Transfer [9.3.1.34] 第 184 頁

RAT 頻率優先級訊息包含 RAT/頻率優先級 IE 的用戶配置文件 ID 或 RAT/頻率選擇優先級 IE 的索引。這些參數用於定義 RRM 策略的本地配置。

3.1.5 RRCSetup

See RRCSetup 第 284 頁。RRCSetup 消息用於建立 SRB1。

信令無線承載：SRB0

RLC-SAP：TM

邏輯訊道：CCCH

返回 CellGroupConfiguration 和 radioBearerConfig

CellGroupConfiguration 和 radioBearerConfig 配置是建立 SRB1 的重要配置，CellGroupConfiguration 就起碼配置 mac-CellGroupConfig，spCellConfig 以及 physicalCellGroupConfig 這三種，**本系統將兩個配置弄成獨立的文件**，動態讀取並少量更改本系統需要的配置，達到效能最佳化，使用者也可以改寫配置符合你的需要，但是經過很長時間的查詢(3GPP 的標準會寫上這邊應該要攜帶這個 IE，進一步會告訴你要攜帶哪些配置，但是詳細資料要找很久，建議要查詢 RLC 協議，內容比 RRC 以及 F1AP 協議少，但是也更偏向物理層面)，得到詳細的配置大約有 300 行，並且互相關聯，建議不要更改比較好。

3.1.6 Reception of the RRCSetup by the UE

見 Reception of the RRCSetup by the UE [5.3.3.4] 第 55 頁，如果接收到 RRCSetup 的情況，表示 RRC 連接成功，接下來我們根據協內容執行一連串步驟，如下圖。

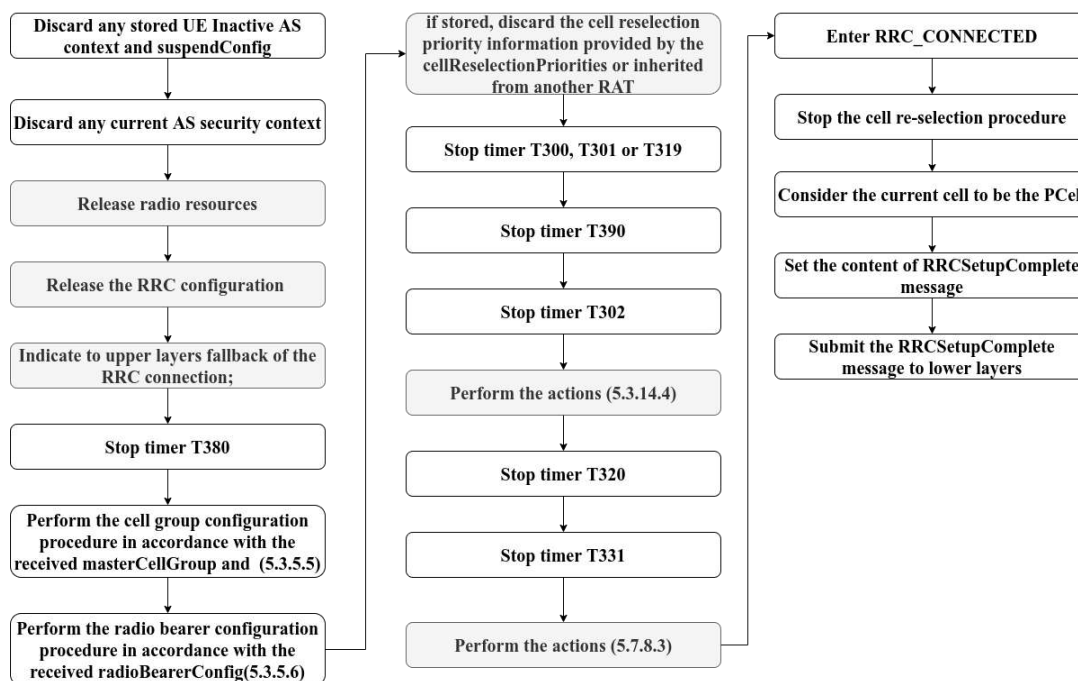


圖 54 Reception of the RRCSetup

等待更新的部份

1. 根據收到的 masterCellGroup(5.3.5.5)執行 CellGroupConfiguration 配置流程
2. 根據收到的 radioBearerConfig(5.3.5.6)執行無線承載配置流程
3. 執行動作 T302、T390 釋放或停止(禁止緩解)(5.3.14.4)
4. 執行操作 T331 釋放或停止 (5.7.8.3)

3.1.6.1 CellGroupConfiguration 配置流程

網路為 UE 配置主小區組 (MCG) 和零個或一個輔小區組 (SCG)。在 (NG)EN-DC 中，MCG 按照 TS 36.331 中的規定進行配置，而對於 NE-DC，SCG 按照 TS 36.331 中的規定進行配置。網路在 CellGroupConfig IE 中為小區組提供配置參數，配置流程如圖。

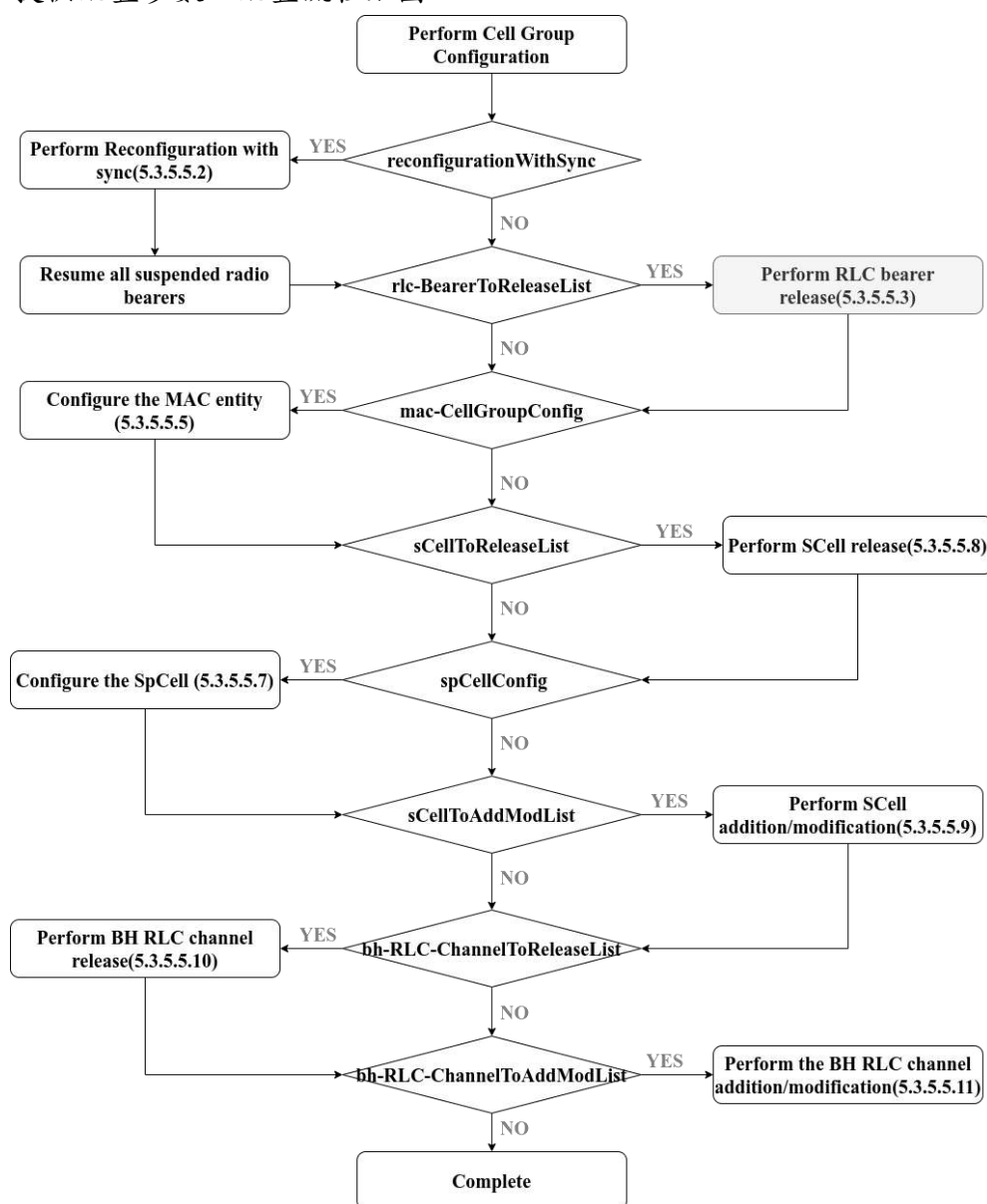


圖 55 CellGroupConfiguration 配置流程

其中，比較需要注意的是 Reconfiguration with sync 的同步，這個部份系統實做出來，雖然系統覺得還有上升的空間，其他部份虛擬化，根據 Cell Group configuration 5.3.5.5.2 第 70 頁，進行如下的配置。

3.1.6.2 Reconfiguration with Sync

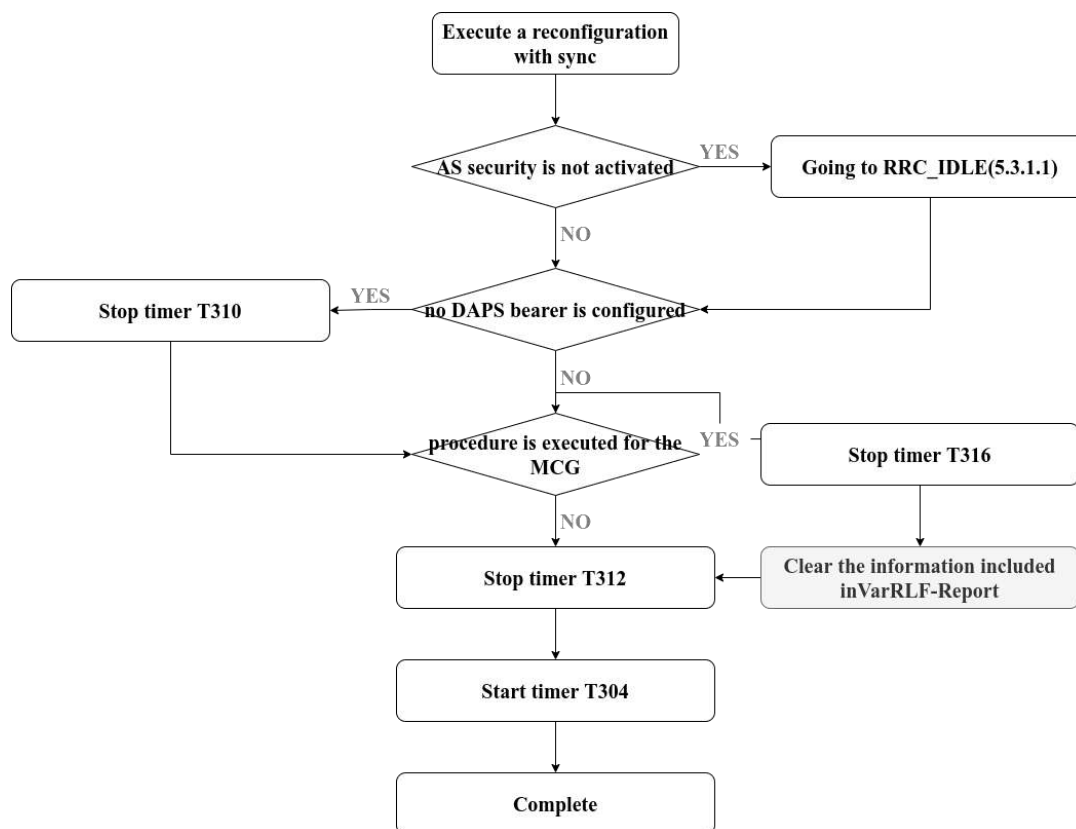


圖 56 Reconfiguration with Sync 配置流程

這用作將 C-RNTI 分配給 UE.38.331(v15.1)-5.3.5.5.2 狀態的 RNTI，“將新 UE-Identity 的值應用為該小區組的 C-RNTI”

不論是在 Single gNB System 和 Multiple gNBs System，系統會將重新配置過後的 UE-Identity 同步更新在 UE 與 CU 端(經過 gNB，但是不會在 gNB 上保存加快運算速度)，順帶一提，Timer 相關的配置在 Single gNB 的系統中，主要控制的 UE 有特殊的方式控制各個計時器的運行狀態。

3.1.6.3 RLC Bearer Release

UE 應對於包含在作為當前 UE 一部分的 rlc-BearerToReleaseList 中的每個 logicalChannelIdentity 值，在本系統儲存 CCCH 和 DCCH 的 ID，

同一 Cell Group 內的配置(LCH 版本)；或者對於每個根據 5.3.5.4 作為 SCG 釋放結果而釋放的 logicalChannelIdentity 值：釋放 TS 38.322 第 5.1.3 節中規定的 RLC 實體或實體釋放對應的邏輯通道。

本系統未實施，但提出來的原因很簡單，對於 Cell Group 可以花很多時間研究，可惜的是，RLC 真的需要時間消化，但是我們很推薦看看 RLC 協議，NFV 的技術需要用軟體定義但是面對影體的界面仍然需要遵守其規定。

3.1.7 Reception of the RRCReject by the UE

見 Reception of the RRCSetup by the UE [5.3.3.5] 第 55 頁，UE 應執行 5.3.15 中規定的動作。

當 UE 嘗試建立或恢復 RRC 連接時，UE 在接收到 RRCReject 時開始這個過程。

UE 接收到 RRCReject

1. 停止定時器 T300
2. 停止定時器 T319
3. 停止定時器 T302
4. 重置 MAC 並釋放默認的 MAC 小區組配置
5. 如果 RRCReject 中配置了 waitTime：則啟動定時器 T302，定時器值設置為 waitTime；
6. 如果響應來自上層的請求接收到 RRCReject：則通知上層訪問禁止適用於除類別'0'和'2'之外的所有訪問類別；
7. 如果定時器 T331 正在運行，則 UE 繼續根據 5.7.8 繼續保持 IDLE/INACTIVE

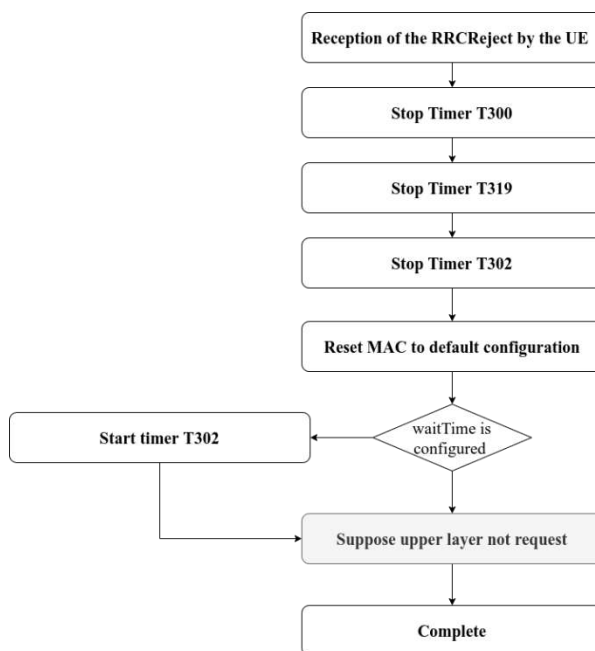


圖 57 Reception of the RRCReject 流程圖

3.2 第二階段: RRCSetupComplete

見 ETSI TS 138 331 V16.3.1 (2021-01) 5G NR Radio Resource Control (RRC)

Protocol specification (3GPP TS 38.331 version 16.3.1 Release 16)

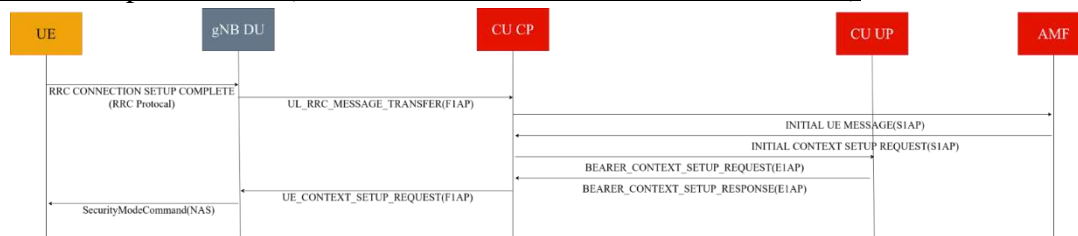


圖 58 第二階段流程圖

3.2.1 RRC_CONNECTION_SETUP_COMPLETE

RRCSetupComplete 消息用於確認 RRC 連接建立成功完成。

信令無線承載：SRB1

RLC-SAP：AM

邏輯訊道：DCCH

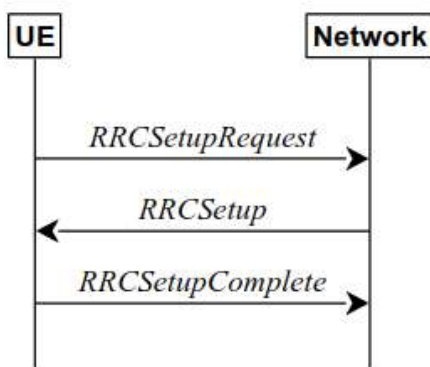


Figure 5.3.3.1-1: RRC connection establishment, successful

圖 59 RRC_CONNECTION_SETUP_COMPLETE 流程圖

不收到 RRCSetup 是不會進入這個區塊的，因為 RRCSetup 之後的動作之一就是根據收到的配置，配置 RRCSetupComplete 的攜帶訊息，進行系統說的下一個步驟，這個階段會連結到許多東西根據 TS138.331 提供在 285 頁的要攜帶的 IE

表 21 RRC_CONNECTION_SETUP_COMPLETE 攜帶主要 IE

Name	Value	Characteristic
selectedPLMN_Identity_Index	0	in Config
RegisteredAMF		in Config
>PLMN-Identity	46692	in Config
>AMF-Identifier	bit(24)	in Config
Guami_Type	mapped	Static
s_NSSAI_List		in Config
DedicatedNAS_Message	Service_Request	Static
ng-5G-S-TMSI-Value		in Config

其中 NSSAI 見 TS 138.331 第 621 頁，S-NSSAI(單一網路切片選擇輔助訊息)識別端到端的網路切片，包括切片/服務類型和切片區分符，參見 TS 23.003 [21] 由 8 或是 32 位元的 bits 組成。

3.2.2 UL_RRC_MESSAGE_TRANSFER

見 TS138.331 8.4.3 UL RRC Message Transfer 第 60 頁，UL RRC 消息傳輸過程的目的是將 RRC 消息作為 UL PDCP-PDU 傳輸到 gNB-CU。該過程使用與 UE 相關的信令。



Figure 8.4.3.2-1: UL RRC Message Transfer procedure

圖 60 UL RRC MESSAGE TRANSFER 流程圖

此消息由 gNB-DU 發送，用於將第 3 層消息通過 F1 接口傳輸到 gNB-CU。當 gNB-DU 從無線接口接收到一個 RRC 消息時，若 UE 關聯的邏輯 F1-UE 的連接存在，gNB-DU 應向 gNB-CU 發送帶有 RRC-Container IE 的 UL RRC MESSAGE TRANSFER 消息。

如果 Selected PLMN ID IE 包含在 UL RRC MESSAGE TRANSFER 消息中，gNB-CU 可以將其用作在 TS 38.401 [4] 中規定。

如果 UL RRC MESSAGE TRANSFER 消息包含 New gNB-DU UE F1AP ID IE，則 gNB-CU 應：將 gNB-DU UE F1AP ID IE 中收到的值替換為 New gNB-DU UE F1AP ID 的值並將其用於進一步的信令。此時還是在 SRB1，邏輯通道是 DCCH。

其參數見 TS138.331 的 9.2.3.3，第頁。它攜帶的 IE 配置如下，但是本系統會更新 gNB-DU UE F1AP ID 本地的值，也就是說，在傳輸的過程當中，我們必須保存 UE 的 F1AP 協議的 ID 在三方，並保持同步更新。

如上，如果系統根據文件，必須攜帶 RRC-Container，以及新的 gNB-DU UE F1AP ID 值，所以參數如下：

表 22 UL_RRC_MESSAGE_TRANSFER 攜帶主要 IE 表

Name	Value	Characteristic
gNB_DU_UE_F1AP_ID		in Config
gNB_CU_UE_F1AP_ID		in Config
SRB_ID	1	Static
RRC_Container	RRC_CONNECTION_SETUP_COMPLETE	Static
selectedPLMN_Identity_Index	0	from request
New_gNB_DU_UE_F1AP_ID		Allocate

3.2.3 INITIAL UE MESSAGE

見 LTE;Evolved Universal TerrestrialRadio Access Network (E-UTRAN);S1 Application Protocol (S1AP)(3GPP TS 36.413 version 16.5.0 Release 16)
這一個從 CU 傳送到 AMF，目的是將 UE 想要入網的消息告訴核心網，AMF<，全稱 Access and Mobility Management Function，接入和移動管理功能，終端接入權限和切換等由它來負責。
根據 9.1.7.1 INITIAL UE MESSAGE 第 139 頁，它負責傳遞 NAS 消息，告訴核心網路該 UE 想要接入網路，面向 MME。

NAS 傳輸過程的目的是通過 S1 接口承載 UE - MME 信令。NAS 消息不被 eNB (在 NR 是 gNB)解釋，它們的內容超出了本規範的範圍。該程序可能使用現有的與 UE 相關的邏輯 S1 連接。如果不存在與 UE 相關的邏輯 S1 連接，則 UE 相關的邏輯 S1 連接的建立作為過程的一部分被啟動(並且可以被建立)。

NAS 消息在 INITIAL UE MESSAGE、DOWNLINK NAS TRANSPORT、上行 NAS 傳輸或重新路由 NAS 請求消息。
參數如下，如同之前所述，系統會保留所有 Optional 的參數，但不一定會在就給他們賦值，部份不屬於重要參數列表。

表 23 INITIAL UE MESSAGE 攜帶主要 IE 表

Name	Value	Characteristic
eNB_UE_S1AP_ID	(0,224-1)	Allocate
NAS-PDU		Static/Changeable
5GS TAI		
>PLMN Identity	46692	from request
>5GS TAC		in Config
RRC_Establishment_Cause	mo-Signalling	Static
User_Location_Information		
>NR CGI		in Config
>5GS_TAI		同上

>Age of Location	5	in Config
Allowed_NSSAI		from request

RRC_Establishment_Cause 攜帶的原因就是在 RRCSetupRequest 消息中攜帶的那個原因值。

這邊會傳到 AMF 單元，實際上是在 CU 這台虛擬機，因此這台負擔比較吃重，因為系統即便在同一個虛擬機仍然使用網路的方式傳輸。

可以看出一些 NAS 傳輸消息的端倪：當 eNB 從無線接口接收到第一個通過 RRC 消息發送的要轉發給 MME 的 UL NAS 消息時，eNB 將調用 NAS 傳輸過程並將包含 NAS 消息的 INITIAL UE MESSAGE 消息作為 NAS-發送給 MME PDU IE。eNB 應該分配一個唯一的 eNB UE S1AP ID 用於 UE，並且 eNB 應該在 INITIAL UE MESSAGE 消息中包含這個標識。

這個協定其實是給 LTE 使用，但在 Release13 之後，NR 的發展其實跟 LTE 並不是完全無關的，所以實際上，上述文件的 TAI，實際上系統中是用 5GS-TAI 跟 5GS-TAC，即便在 LTE 的協定之中，你仍然可以看到 5G 的存在，這側面象徵著 NR 與 LTE 的關係：他們並不完全相異，這跟核心網從 2G 開始的架構有關。

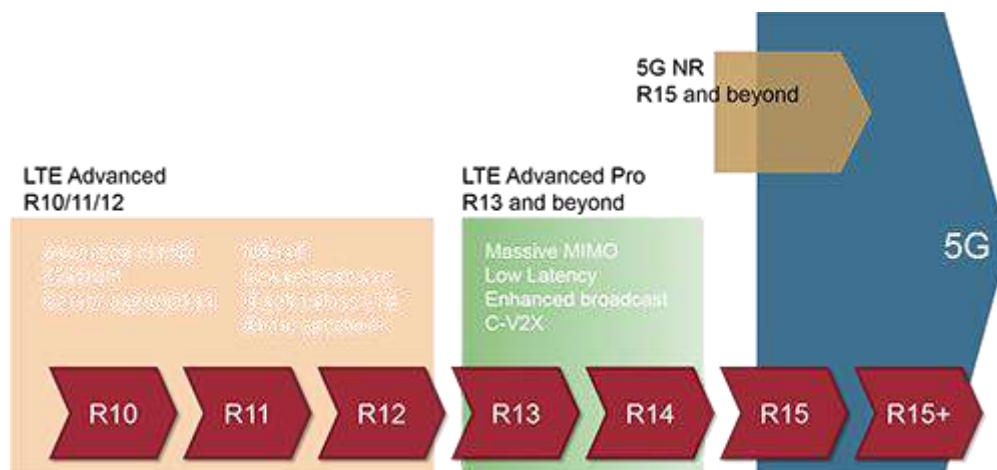


圖 60 LTE 與 NR (圖源：[LTE 與 NR](#))

3.2.4 INITIAL CONTEXT SETUP REQUEST

見 8.3.1 Initial Context Setup，第 38 頁，初始上下文設置過程的目的是建立必要的整體初始 UE 上下文，包括 E-RAB 上下文、安全密鑰、切換限制列表、UE 無線電能力和 UE 安全能力等。該過程使用 UE 相關信令。

「This message is sent by the MME to request the setup of a UE context.」該消息由 MME 發送以請求建立 UE Context。實際上，4G LTE 利用這個動作接入核心網，而 MME(Mobility Management Entity)正是 3GPP 協定 LTE 接入網路的關鍵控制節點，而在 5G 中，是由 AMF 管理，所以實際上，這個過程是 AMF 對 CU-UP 單元發送 INITIAL UE MESSAGE 請求接入核心往後的回應，這個階段要進入加密跟 Context 交換的步驟，因此可以在這個步驟看到更多 LTE 與 NR 的差異。

表 24 INITIAL CONTEXT SETUP REQUEST 攜帶主要 IE 表

Name	Value	Characteristic
MME_UE_S1AP_ID		Allocate
eNB UE S1AP ID		from INITIAL UE MESSAGE
UE_Aggregate_Maximum_Bit_Rate		in Config
>UE_Aggregate_Maximum_Bit_Rate_Downlink	3080	in Config
>UE_Aggregate_Maximum_Bit_Rate_Uplink	1100	in Config
>Extended_UE_Aggregate_Maximum_Bit_Rate_Downlink	3080	in Config
>Extended_UE_Aggregate_Maximum_Bit_Rate_Uplink	1100	in Config
E_RAB__Be_Setup_Item_IEs		Sequence
>E-RAB ID	-	in Config
>E_RAB_Level_QoS_Parameters	-	in Config
UE Security Capabilities		
>Encryption Algorithms	-	in Config
>Integrity Protection Algorithms	-	in Config

3.2.5 Bearer Context Management Procedures

5G;NG-RAN;E1 Application Protocol (E1AP)(3GPP TS 38.463 version 15.0.0 Release 15) BEARER_CONTEXT_SETUP_REQUEST 和 BEARER_CONTEXT_SETUP_RESPONSE 合稱 Bearer Context Management procedures

Bearer Context 設置過程的目的是允許 gNB-CU-CP 在 gNB-CU-UP 中建立 Bearer Context。該過程使用與 UE 相關的信令。

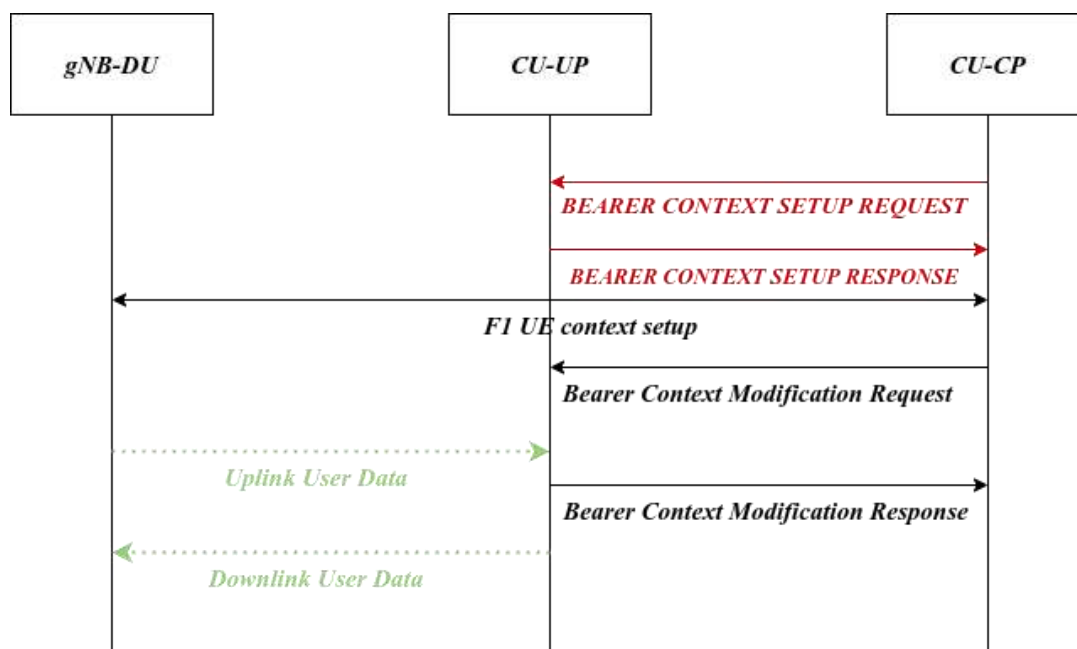


圖 61 Bearer Context Management Procedures

gNB-CU-CP 通過向 gNBCU-UP 發送 BEARER_CONTEXT_SETUP_REQUEST 消息來啟動該過程。如果 gNB-CU-UP 成功建立請求的資源，使用 BEARER_CONTEXT_SETUP_RESPONSE 消息回復 gNB-CU-CP。

gNB-CU-UP 應在 BEARER_CONTEXT_SETUP_RESPONSE 消息中向 gNB-CU-CP 報告所有請求資源的結果，方法如下：

For E-UTRAN:

- A list of DRBs which are successfully established shall be included in the *DRB Setup List* IE;
- A list of DRBs which failed to be established shall be included in the *DRB Failed List* IE;

For NG-RAN:

- A list of PDU Session Resources which are successfully established shall be included in the *PDU Session Resource Setup List* IE;
- A list of PDU Session Resources which failed to be established shall be included in the *PDU Session Resource Failed List* IE;
- A list of DRBs which are successfully established shall be included in the *DRB Setup List* IE;
- A list of DRBs which failed to be established shall be included in the *DRB Failed List* IE;
- A list of QoS Flows which are successfully established shall be included in the *Flow Setup List* IE;
- A list of QoS Flows which failed to be established shall be included in the *Flow Failed List* IE;

圖 62 Bearer Context Management Procedures

當 gNB-CU-UP 報告 PDU 會話資源、DRB 或 QoS 流建立不成功時，原因值應該足夠精確，以使 gNB-CU-CP 能夠知道建立不成功的原因。

這個階段，**系統需要配置安全相關參數**，這是初步的設置，未來還會再度進行，然而，跟前面的 CellGroupConfig 與 RadioBarearConfig 一樣，系統也會用設定檔配置，要更改的話會透過設定檔。

如果 BEARER CONTEXT SETUP REQUEST 消息中包含數據轉發訊息請求 IE、PDU 會話數據轉發訊息請求 IE 或 DRB 數據轉發訊息請求 IE，則 gNB-CU-UP 應在數據轉發訊息中包含請求的轉發訊息 BEARER CONTEXT SETUP RESPONSE 消息中的 Response IE、PDU Session Data Forwarding Information Response IE 或 DRB Data Forwarding Information Response IE。

3.2.5.1 BEARER CONTEXT SETUP REQUEST

BEARER CONTEXT SETUP REQUEST 對於 NG-RAN，gNB-CU-CP 決定 flow-to-DRB 映射，並將 SDAP 和 PDCP 配置帶給 gNB-CU-UP。

因為採用 5G，所以系統攜帶主要參數如下：

表 25 BEARER CONTEXT SETUP REQUEST 系統攜帶主要 IE 參數

Name	Value	Characteristic
gNB-CU-CP UE E1AP ID	[0,232)	Allocate
Security Information		in Config
>Security Algorithm		in Config
>>Ciphering Algorithm	NEA0	in Config
>>Integrity Protection Algorithm	128-NIA1	in Config
>User Plane Security Keys		in Config
>>Encryption Key		in Config
>>Integrity Protection Key		in Config
CHOICE System	NG-RAN	Static
PDU_Session_Resource_Setup_List	SEQUENCE	in Config
DRB_Setup_List	SEQUENCE	in Config
UE_DL_Aggregate_Maximum_Bit_Rate		from request
UE_DL_Maximum_Integrity_Protected_Data_Rate		in Config
Serving_PLMN	46692	in Config
Bearer_Context_Status_Change	SETUP	Static

另外，CHOICE System 系統選的是 NR，如果是 E-UTRAN 就回傳 DRB To Setup List。這邊系統回傳 PDU Session Resource To Setup List 或者 DRB To Setup List。

3.2.5.2 BEARER CONTEXT SETUP RESPONSE

目的是 gNB-CU-UP 告訴 gNB-CU-CP 承載建立結果，攜帶的消息比較少。

表 26 BEARER CONTEXT SETUP REQUEST 攜帶主要 IE 表

Name	Value	Characteristic
gNB-CU-CP UE E1AP ID	[0,232)	Allocate
gNB-CU-UP UE E1AP ID		Allocate
CHOICE System	NG-RAN	Static
PDU_Session_Resource_Setup_List	SEQUENCE	in Config
DRB_Setup_List	SEQUENCE	in Config
DRB_Failed_List	SEQUENCE	in Config
PDU_Session_Resource_Failed_List	SEQUENCE	in Config

這邊如果成功，就代表 Bearer Context 建立完成，這意味著系統可以進行下一步配置，這個步驟中特殊的地方，就是在 CHOICE System 中，E-UTRAN 和 NG-RAN 的選擇，毫無疑問的，系統選擇 NG-RAN。但是他們攜帶的消息是不一樣的，比較如下表

表 27 Choice System 比較

	E-UTRAN	NG-RAN
BEARER CONTEXT SETUP REQUEST	DRB To Setup List	DRB To Setup List
		PDU Session Resource To Setup List
BEARER CONTEXT SETUP RESPONSE	DRB Setup List	DRB Setup List
	DRB Failed List	DRB Failed List
		PDU Session Resource Setup List
		PDU Session Resource Failed List

BEARER CONTEXT SETUP RESPONSE 中除了 SetUp List 以外還有 Failed List，這代表還有**失敗的可能性**，不同於之後的 BEARER CONTEXT MODIFICATION(還要再二次協商避免失誤)，這邊只要有攜帶的 IE 原因，失敗的原因就很明顯。

3.2.5.3 BEARER CONTEXT SETUP FAILURE

此消息由 gNB-CU-UP 發送以指示 BEARER CONTEXT SETUP 不成功。

系統中，有 BEARER CONTEXT SETUP FAILURE 的函數，但因為是理論值，所以這個參數必須要修改設定或是手動觸發，畢竟系統不期望有錯誤發生，這個建立失敗的原因也是系統未來可以深入了解的部份。

3.2.6 UE Context Setup

UE Context 設置過程的目的是建立 UE Context，其中包括 SRB 和 DRB 配置。該過程使用與 UE 相關的信令。

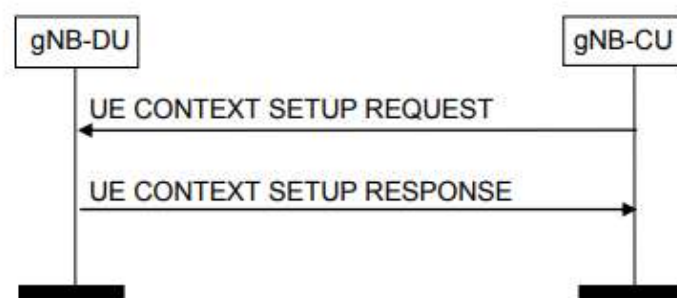


Figure 8.3.1.2-1: UE Context Setup Request procedure: Successful Operation

圖 63 UE Context Setup 建立流程

gNB-CU 通過向 gNB-DU 發送 UE CONTEXT SETUP REQUEST 消息來啟動該過程。如果 gNB-DU 成功建立 UE 上下文，它會使用 UE CONTEXT SETUP RESPONSE 回復 gNB-CU。

如果不存在與 UE 相關的邏輯 F1 連接，則應建立與 UE 相關的邏輯 F1 連接作為過程的一部分，但我們系統是存在 F1 連接的，默認建立與 UE 相關的邏輯 F1 連接。

3.2.6.1 UE CONTEXT SETUP REQUEST

表 28 UE CONTEXT SETUP REQUEST 攜帶主要 IE 比較

Name	Value	Characteristic
gNB_CU_UE_F1AP_ID		in Config
gNB_DU_UE_F1AP_ID		in Config
SpCell_ID		in Config
ServCellIndex	(0,31)	in Config
SpCell_UL_Configured	UL	Static
CU_DU_RRC_Information	見如下配置	in Independent Config
DRX_Cycle		in Config
>>Long DRX Cycle Length	ms64	in Config
>>Short DRX Cycle Length	ms128	in Config
>>Short DRX Cycle Timer	(0,16)	in Config
SRB_to_Be_Setup_List		in Config
DRB_to_Be_Setup_List		in Config
Inactivity_Monitoring_Request	False	Changeable
RAT_Frequency_Priority_Information		
>>CHOICE_System	NG-RAN	Static
>>Index_RAT_Frequency_Selection_Priority		in Config
RRC_Container	SecurityModeCommand	Static

gNB_DU_UE_Aggregate_Maximum_Bit_Rate_Uplink		from request
RRC_Delivery_Status_Request	False	Changeable
Resource_Coordination_Transfer_Information		in Config
servingCellMO		in Config

如果 SpCell UL Configured IE 包含在 UE CONTEXT SETUP REQUEST 消息中，則 gNB-DU 應相應地為指示的 SpCell 配置 UL。

CU to DU RRC Information 的參數，我們這個系統設置獨立的配置檔，當系統使用 UE CONTEXT SETUP REQUEST，就會取得該設定檔案的資料。

若攜帶了 DRX_Cycle IE，DU 使用 DRX_Cycle IE 攜帶的值；否則 DU 可以使用自己設置的值。

另外，需要注意，RAT_Frequency_Priority_Information 也有分 EN-DC 跟 NG-RAN，因為系統是 NG-RAN，所以要攜帶的 IE 是 Index to RAT/Frequency Selection Priority。

gNB_DU_UE_Aggregate_Maximum_Bit_Rate_Uplink 只要建立 DRB，就必須攜帶該 IE，該 IE 作用於 UE 的 Non-GBR QoS Flow。

若是攜帶 RRC_Delivery_Status_Request，這個參數指定是否要將 UE 的 RRC 消息遞交狀態回傳給 CU，這邊我們是在設定檔設定 False，但是其實可以更改。而在這邊，**gNB 會採取兩個動作**：SecurityModeCommand 和 UE CONTEXT SETUP RESPONSE

3.2.6.2 UE CONTEXT SETUP RESPONSE

此消息由 gNB-DU 發送以確認 UE 上下文的設置，確認 SRB、DRB 承載建立情況，順帶一提，如果 CellGroupConfig IE 包含在 UE CONTEXT SETUP RESPONSE 消息中包含的 DU to CU RRC Information IE 中，則 gNB-CU 應執行 RRC 重新配置或 RRC 連接恢復，如 TS 38.331 [8] 中所述。

表 29 UE CONTEXT SETUP RESPONSE 攜帶主要 IE 比較

Name	Value	Characteristic
gNB_CU_UE_F1AP_ID		in Config
gNB_DU_UE_F1AP_ID		in Config
DU_to_CU_RRC_Information		
C_RNTI		
Resource_Coordination_Transfer_Container		

3.2.7 SecurityModeCommand

見 5G; Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5G System (5GS); Stage 3 (3GPP TS 24.501 version 16.10.0 Release 16) NAS security mode command accepted by the UE, 5.4.2 第 182 頁

目的是為了激活 AS 的安全，這個是由 gNB 回傳給 UE 的資訊，NAS 安全模式控制過程的目的是使用 5G NAS 安全上下文，並使用相應的 5G NAS 密鑰和 5G NAS 安全算法初始化和啟動 UE 和 AMF 之間的 NAS 信令安全。

消息類型：安全模式命令

表 30 SecurityModeCommand 攜帶主要 IE 比較

Name	Value	Characteristic
Extended protocol discriminator		in Config
Security header type		in Config
Spare half octet		in Config
Security mode command message identity		in Config
Selected NAS security algorithms		in Config
ngKSI		from request
Replayed UE security capabilities		

見下圖 64

Table 9.7.1: Message types for 5GS mobility management

Bits	8	7	6	5	4	3	2	1	
0	1	-	-	-	-	-	-	-	5GS mobility management messages
0	1	0	0	0	0	0	0	1	Registration request
0	1	0	0	0	0	0	1	0	Registration accept
0	1	0	0	0	0	0	1	1	Registration complete
0	1	0	0	0	0	1	0	0	Registration reject
0	1	0	0	0	0	1	0	1	Deregistration request (UE originating)
0	1	0	0	0	0	1	1	0	Deregistration accept (UE originating)
0	1	0	0	0	0	1	1	1	Deregistration request (UE terminated)
0	1	0	0	0	1	0	0	0	Deregistration accept (UE terminated)
0	1	0	0	0	1	1	0	0	Service request
0	1	0	0	0	1	1	0	1	Service reject
0	1	0	0	0	1	1	1	0	Service accept
0	1	0	0	0	1	1	1	1	Control plane service request
0	1	0	0	1	0	0	0	0	Network slice-specific authentication command
0	1	0	0	1	0	0	0	1	Network slice-specific authentication complete
0	1	0	0	1	0	0	1	0	Network slice-specific authentication result
0	1	0	0	1	0	1	0	0	Configuration update command
0	1	0	0	1	0	1	0	1	Configuration update complete
0	1	0	0	1	0	1	1	0	Authentication request
0	1	0	0	1	0	1	1	1	Authentication response
0	1	0	0	1	1	0	0	0	Authentication reject
0	1	0	0	1	1	0	0	1	Authentication failure
0	1	0	0	1	1	0	1	0	Authentication result
0	1	0	0	1	1	0	1	1	Identity request
0	1	0	0	1	1	1	0	0	Identity response
0	1	0	0	1	1	1	0	1	Security mode command
0	1	0	0	1	1	1	1	0	Security mode complete
0	1	0	0	1	1	1	1	1	Security mode reject
0	1	1	0	0	0	1	0	0	5GMM status
0	1	1	0	0	0	1	0	1	Notification
0	1	1	0	0	0	1	1	0	Notification response
0	1	1	0	0	0	1	1	1	UL NAS transport
0	1	1	0	0	1	0	0	0	DL NAS transport

圖 64 安全訊息攜帶 IE 形式

NAS 安全算法訊息元素的目的是指示用於加密和完整性保護的 5G 算法。

NAS 安全算法訊息元編碼如圖 9.11.3.34.1 和表 9.11.3.34.1 所示。

NAS 安全算法是類型 3 訊息元素，長度為 2 個八位字節。

UE 成功接收之後的事情，對於此 UE 必須將舊的 5G NAS security context 刪除，並接收 UE 應接受指示“空完整性保護算法”的 SECURITY MODE COMMAND 消息，**配置新的 5G NAS security context**

3.2.8 BEARER CONTEXT MODIFICATION REQUEST & BEARER CONTEXT MODIFICATION RESPONSE

再協商一把 DRB、SRB 的建立，在步驟 UE CONTEXT SETUP RESPONSE 存在部分 DRB、SRB 建立失敗的情況

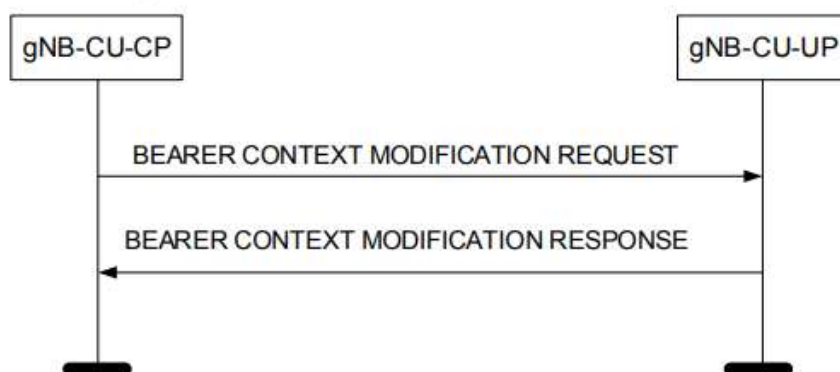


Figure 8.3.2.2-1: Bearer Context Modification procedure: Successful Operation.

圖 65(a) Success BEARER CONTEXT MODIFICATION

gNB-CU-CP 通過向 gNB-CU-UP 發送 BEARER CONTEXT MODIFICATION REQUEST 消息來啟動該過程。如果 gNB-CU-UP 成功修改承載上下文，它會使用 BEARER CONTEXT MODIFICATION RESPONSE 消息回復 gNB-CU-CP。

注意這個過程還是會失敗的：

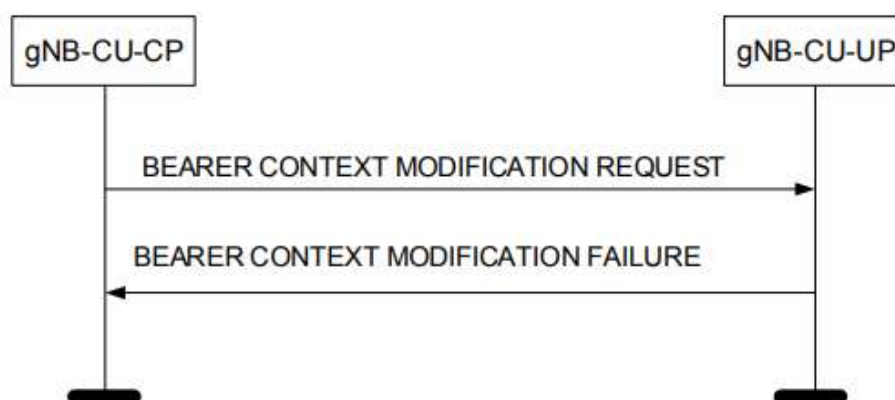


Figure 8.3.2.3-1: Bearer Context Modification procedure: Unsuccessful Operation.

圖 65(b) Failure BEARER CONTEXT MODIFICATION

如果 gNB-CU-UP 不能修改請求的承載上下文，它應該以 BEARER CONTEXT MODIFICATION FAILURE 消息和適當的原因值來響應。

表 31 BEARER CONTEXT MODIFICATION REQUEST 攜帶主要 IE 比較

Name	Value	Characteristic
gNB_CU_CP_UE_E1AP_ID		in Config
gNB_CU_UP_UE_E1AP_ID		in Config
CHOICE System	NG-RAN	Static
DRB To Modify List		in Config
PDU Session Resource To Setup List		in Config
PDU_Session_Resource_To_Modify_List		
PDU Session Resource To Remove List		
PDU_Session_Resource_Failed_List		

3.3 第三階段：SecurityModeComplete

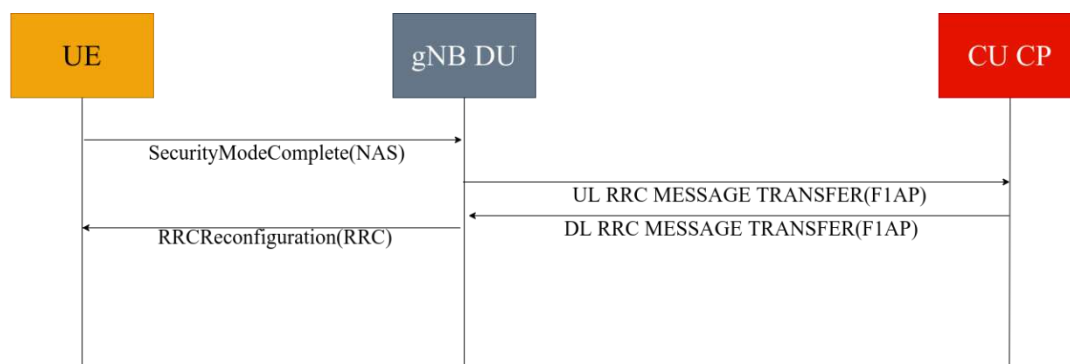


圖 66 Security Mode Complete 流程

確認激活了 AS 安全 8.2.26 Security mode complete 514 UE 向 AMF 發送 SECURITY MODE COMPLETE 消息以響應 SECURITY MODE 命令消息。見表 8.2.26.1.1。

表 32 SecurityModeComplete 攜帶主要 IE 比較

Name	Value	Characteristic
Extended protocol discriminator		in Config
Security header type		in Config
Spare half octet		in Config
Security mode command message identity		in Config

3.3.1 RRCReconfiguration

RRCReconfiguration 消息是修改 RRC 連接的命令。它可以傳達用於測量配置、移動性控制、無線電資源配置（包括 RB、MAC 主配置和物理信道配置）的信息，包括安全配置。信令無線承載：SRB1 或 SRB3 RLC-SAP：AM 邏輯信道：DCCH。

3.4 第四階段：RRCReconfigurationComplete

3.4.1 RRCReconfigurationComplete

此過程的目的是修改 RRC 連接，例如 建立/修改/釋放 RB，執行同步重新配置，設置/修改/釋放測量，添加/修改/釋放 SCell 和單元組。作為一部分在該過程中，NAS 專用訊息可以從網路傳輸到 UE。

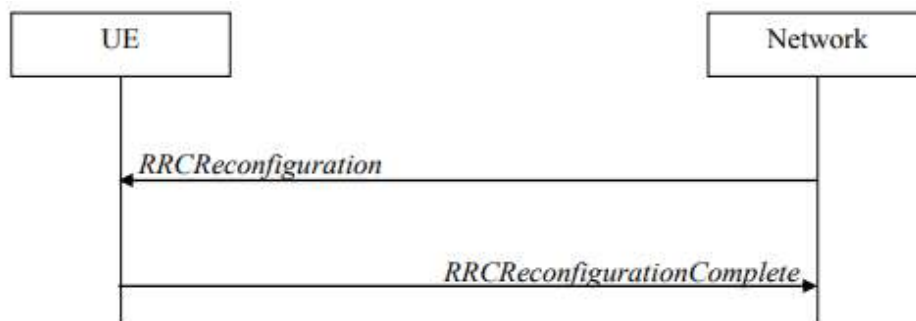


Figure 5.3.5.1-1: RRC reconfiguration, successful

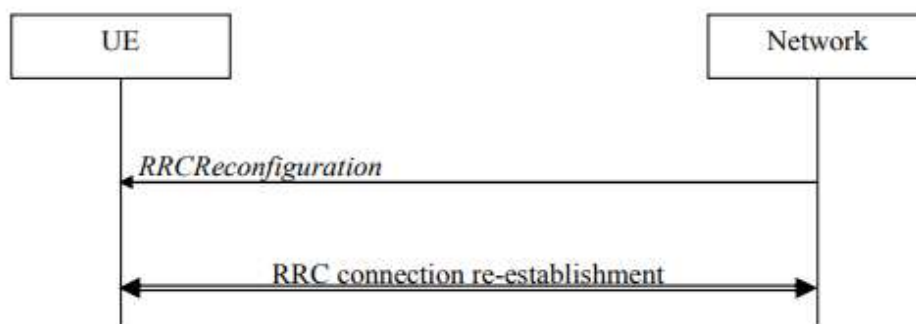


Figure 5.3.5.1-2: RRC reconfiguration, failure

圖 67 RRCReconfiguration 成功與失敗過程

在 EN-DC 中，SRB3 可用於測量配置和報告以(重新)配置 MAC、RLC、物理層和 RLF 計時器以及 SCG 配置的常數

表 33 RRCReconfigurationComplete 攜帶主要 IE 比較

Name	Value	Characteristic
RRCReconfigurationComplete		in Config
RRCReconfigurationComplete		

3.4.2 INITIAL CONTEXT SETUP RESPONSE

此消息由 **NG-RAN 節點發送** 以確認 UE 上下文的設置

在建立 PDU 會話的情況下，5GC 應在 AMF 接收到 INITIAL CONTEXT SETUP RESPONSE 消息之前準備好接收用戶數據。 如果不存在與 UE 相關的邏輯 NG 連接，則應在接收到 INITIAL CONTEXT SETUP REQUEST 消息時建立與 UE 相關的邏輯 NG 連接。

4.RSRP 偵測運算流程

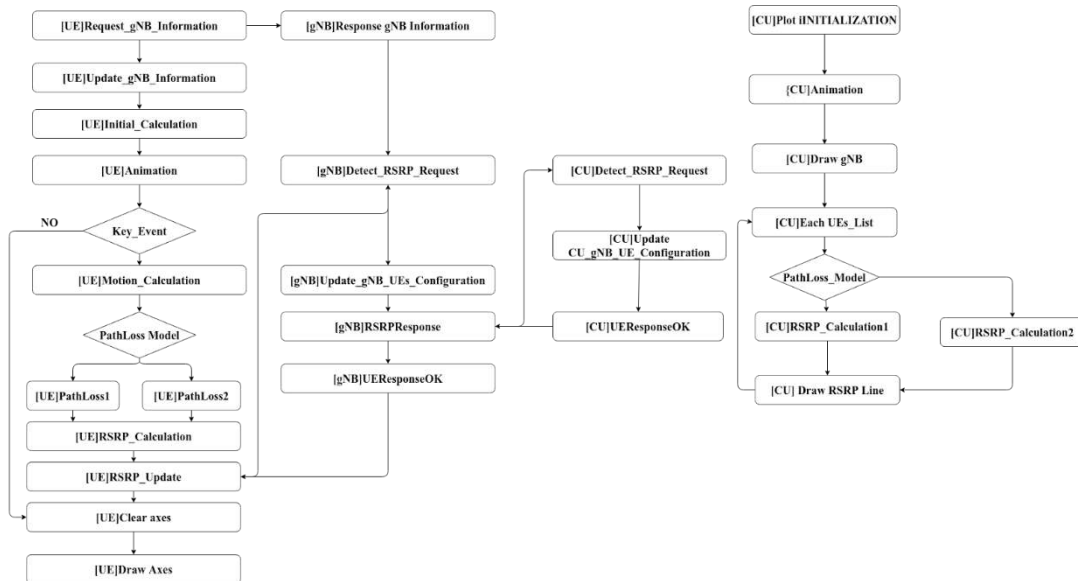


圖 68 (a)Single gNB System 的 RSRP 計算流程圖

對於單一個基地台，只要建立了 UE-gNB-CU 連線就會容易許多。UE 向 gNB 請求資訊，將其視為在現實生活中，UE 向 gNB 進行請求，在系統中，系統將取得 gNB 資料，取得用來計算 RSRP 的參數，因為實際上 RSRP 是由接收到的參數，由 UE 反饋給 gNB 的。UE 會去進行通訊模型的計算：流程圖如下，我們是根據 3GPP 的標準訂定我們的通道模型。

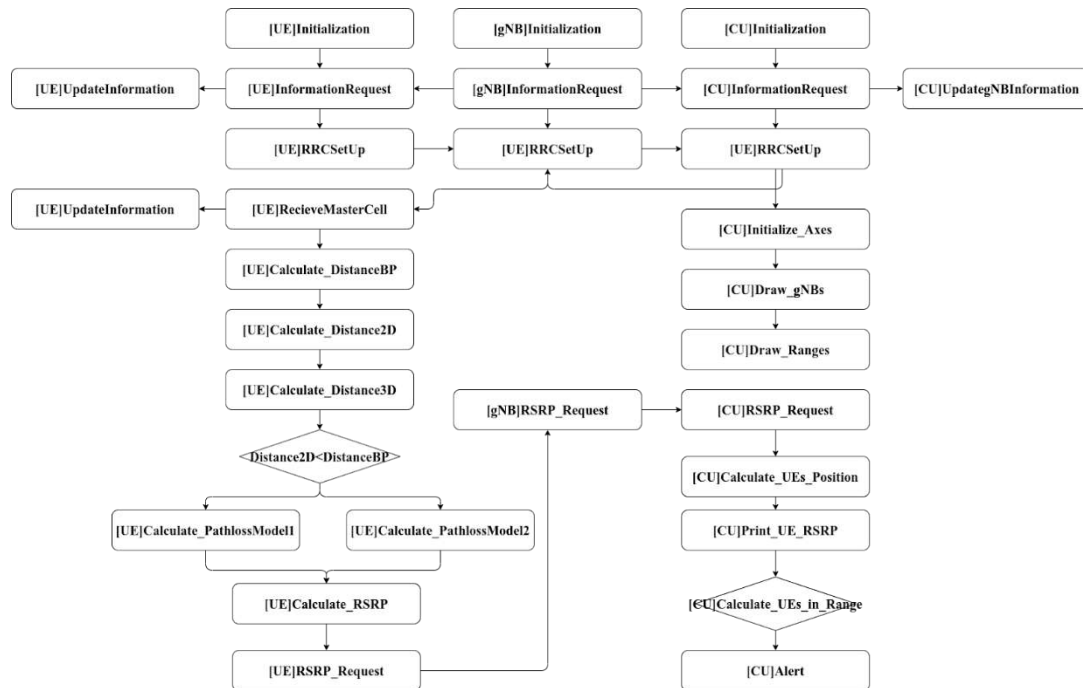


圖 69 (b)Multiple gNBs System 的 RSRP 計算流程圖

流程圖如上，系統需將 gNB 的重要設定參數複製一份，傳送到 CU 與指定 UE 各一份，在 Multiple gNBs System，若 UE 集群在同一台虛擬機，便會將所有 gNB 集群的重要資訊拷貝一份，再根據各個 UE 的連接 Cell 進行設定映射，這是初始化流程。將設定進行三方同步後，當 UE 開始動作就開始了系統判斷。

與 Single gNB 系統中不同，跟擁有主要控制 UE 的不同，Multiple gNBs 系統並沒有主要的 UE，採用對稱式架構，所以我們在模擬上，gNB 跟 UE 再一開始都是隨機生成的，我們稱之為 Initialization，這造成一個很重要的問題：因為隨機，所以必須將流程跟算法設置為彈性。

然而，gNB 是不會移動的，因此算法上兩者的著墨點不同，比較如下表：

表 34 gNB 與 UE 設定比較

	gNB	UE
固定資訊	位置 天線功率 中心頻率	名稱 IP 位置
動態資訊	當前連接 UE	位置 當前連接 PCell 跟 SCell RSRP
靜態可變	-	User Terminal High
算法著重	MCG 與 SCG 的對應	即時的動態更新

Multiple gNBs System 是從 gNB 開始的，會先發送簡略的 gNB 訊息，送到 CU 和 UE 先備份，那就是一開始 gNB 的資料。並且會在這個系統一直沿用。

之後系統會透過 RRC 請求分配新的 CellGroup 設定，在此確定各個 UE 的 PCell 跟 SCell，這是我們接下來計算的重要依據，這個設定會進行更新之後進行計算。

```

Connected_Primary_Cell_Name=UE["Connected_Primary_Cell_Name"]
Primary_Cell=Obtain_gNB_Information(Connected_Primary_Cell_Name)
Connected_Primary_Cell_Position_X=Primary_Cell["gNB_Position_X"]
Connected_Primary_Cell_Position_Y=Primary_Cell["gNB_Position_Y"]
Connected_Primary_Cell_gNB_Antenna_Power=Primary_Cell["gNB_Antenna_Power"]
Connected_Primary_Cell_gNB_Center_Frequency=Primary_Cell["gNB_Center_Frequency"]
Connected_Secondary_Cell_Name=UE["Connected_Secondary_Cell_Name"]
Secondary_Cell=Obtain_gNB_Information(Connected_Secondary_Cell_Name)
Connected_Secondary_Cell_Position_X=Secondary_Cell["gNB_Position_X"]
Connected_Secondary_Cell_Position_Y=Secondary_Cell["gNB_Position_Y"]

```

圖 70 Cell 設定

在設定完 gNB 的資訊之後，接下來會進行 RSRP 的計算，照樣會根據中斷點與平面距離決定套用哪個模型在這個階段，我們會根據 RRCSetup 更新過後的本地保存資訊進行運算。

上面可以看見兩個 Cell：一個是主要的，另外一個是次要的，RSRP 計算時，會計算三個 RSRP 並且回傳：

表 35 gNB 與 Cell 分配

Cell	Calculate
Connected_Primary_Cell	RRCSetup 分配
Connected_Secondary_Cell	
Special_Cell	除了 Connected_Primary_Cell 和 Connected_Secondary_Cell 設定的第三個特別 Cell

但考慮實際情況，系統將 gNB 的分佈設為圖，根據鄰近的演算法算出第三個 Special_Cell 所在位置，這是供三點定位之用，實際上系統的手機一次只會連接兩個基地台，不過也有 Special Cell 的存在，不過不是用在這個地方，通常會跟 PCell 一起合稱 SpCell，詳情可以見前面的 CellGroupConfiguration。

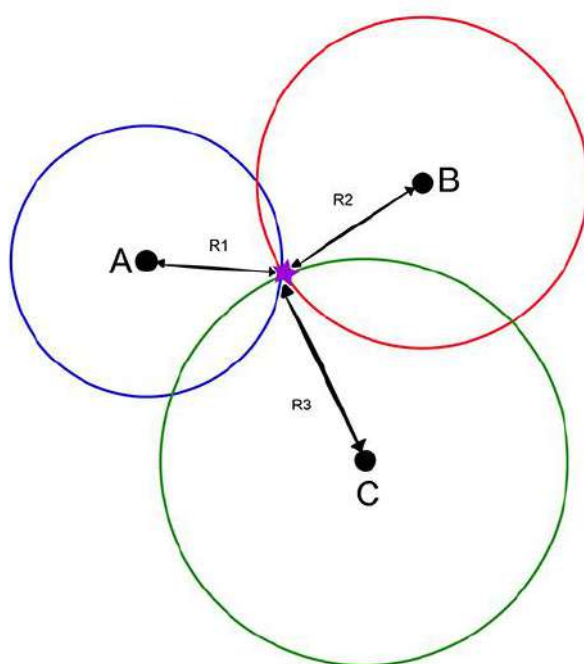


圖 71 三點定位

算出 Special gNB 的流程如下：

1. 搜尋 Primary_Cell 的 CellGroup 的其他 Cell
2. 若沒有其他的非 Primary_Cell 或 Secondary_Cell 的 Cell
3. 搜尋 Secondary_Cell 的 CellGroup 的其他 Cell
4. 若是沒有就搜尋下一個最近的 CellGroup
5. 搜尋最近的 CellGroup 中離 Primary_Cell 最近的 Cell

具體流程圖如下

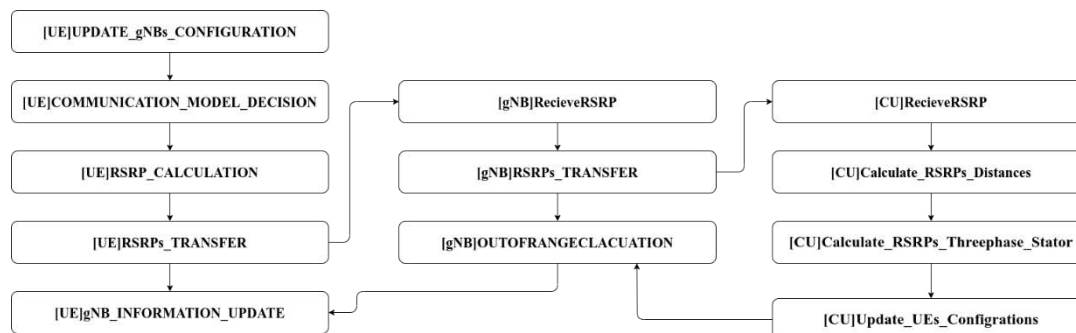


圖 72 換手算法

算出 RSRP 後，UE 會反饋給 gNB，再由 gNB 算出新的 MCG 與 SCG 回傳新的配置給 UE，gNB 會在計算之前先行傳遞 RSRP 跟 UE 資訊給 CU，這是為了效能之用，這樣速度會比較快，或者說，這正是移動邊緣運算的精髓：將大部份的運算分工給 CU。

UE 傳送給 gNB 的參數如下：

表 36 UE 傳送給 gNB 的參數表

名稱	內容
UE_Name	UE 名稱
Connected_Primary_Cell_Name	主要連接的 gNB
Connected_Secondary_Cell_Name	次要連接的 gNB
Connected_Special_Cell_Name	除上面兩個以外的 gNB
RSRP_Primary_Cell	主要連接到的 gNB 回傳的 RSRP
RSRP_Secondary_Cell	次要連接到的 gNB 回傳的 RSRP
RSRP_Special_Cell	Special_Cell gNB 回傳的 RSRP

4.1 UE 移動運算流程

需要注意的是，在主從式架構，主要的 UE 由於是使用者控制，路徑難以判斷，但是模擬出來的 UE 路徑卻是有跡可循，本系統利用這個特性對運動進行判斷，以減少空運算帶來的效能損失，流程圖見圖。

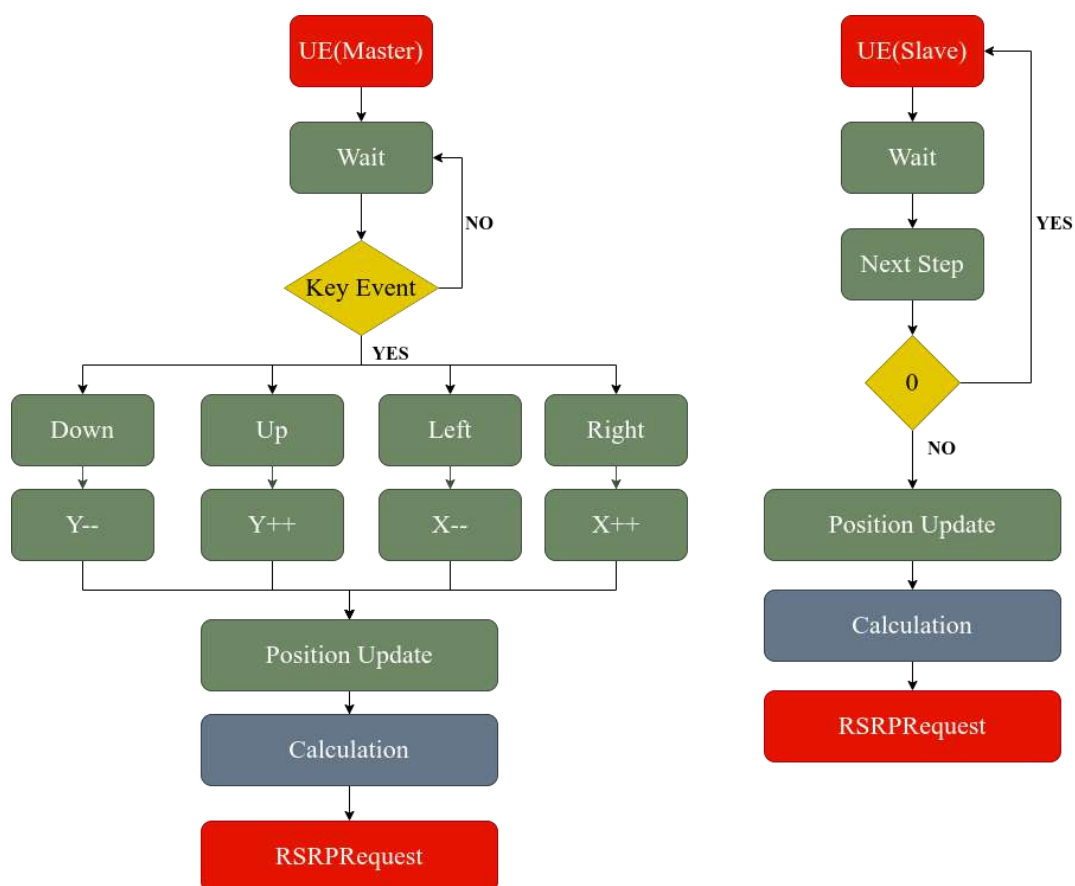


圖 73 UE 運動的流程圖

4.2 運算流程

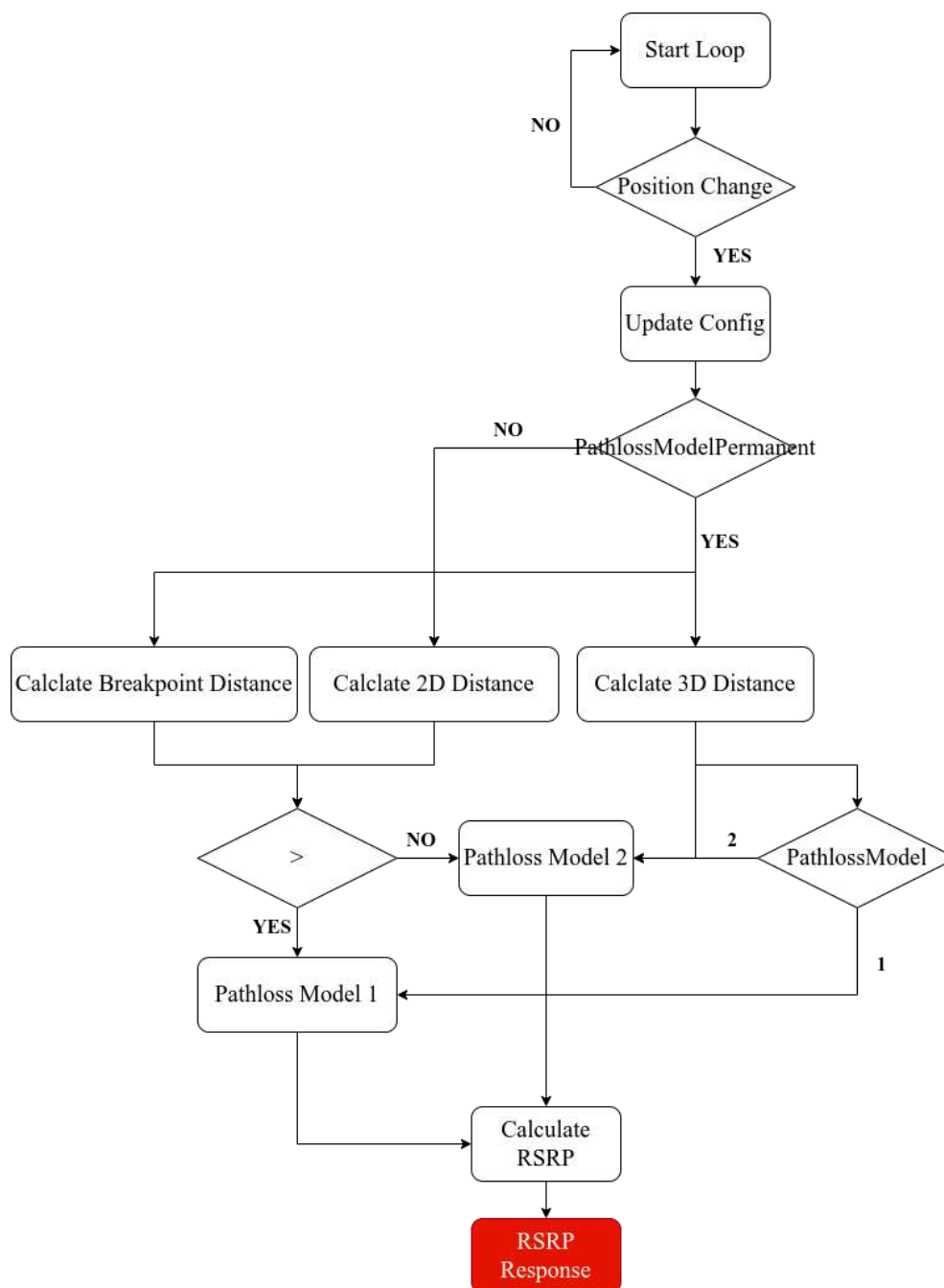


圖 74 RSRP 計算流程

步驟如下：

1. 中斷點計算與平面距離計算
2. 立體距離計算
3. 路徑損耗模型判斷
4. 路徑損耗計算
5. RSRP 計算

4.3 路徑損耗計算流程

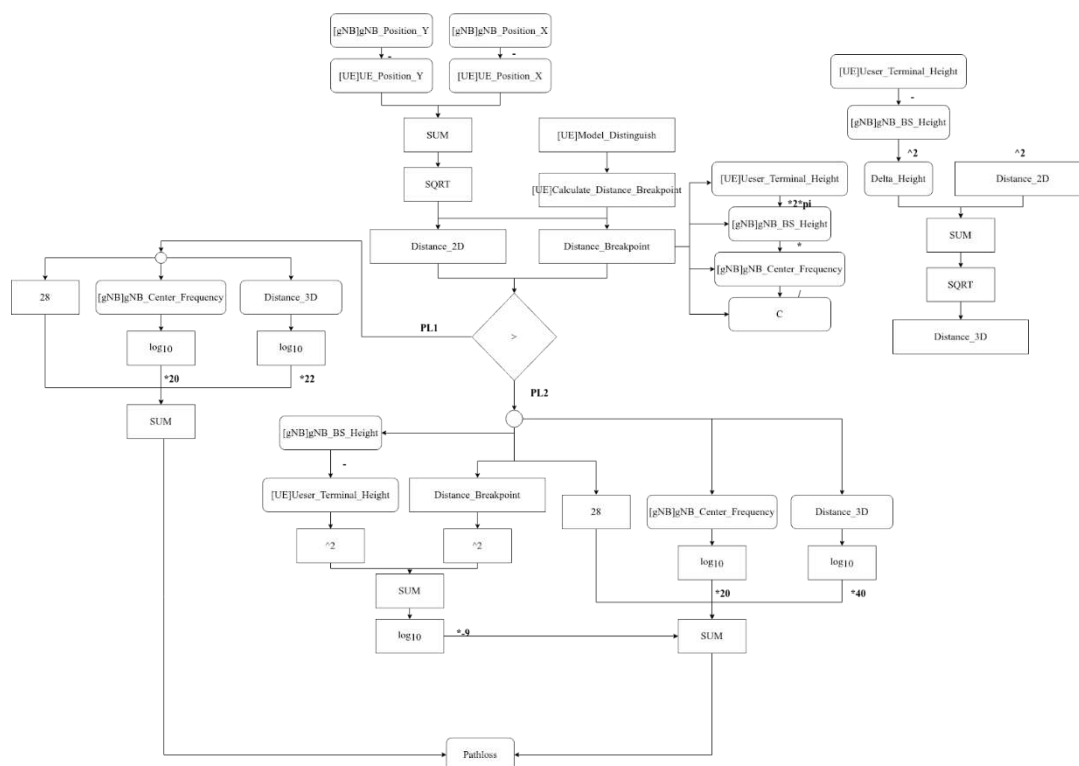


圖 75 路徑損耗計算流程

這是一開始計算 Pathloss 的運算流程圖，因為 Pathloss 模型根據距離分成兩個，所以計算中斷點確立距離範圍適用的模型是很重要的一環，需要注意的是，系統參數中心頻率設定是以 MHz 為單位，這邊需要乘以一百萬，當初卡這邊卡很久，這是因為要除以光速的緣故(文件言明要 3×10^8 的 8 次方)，但是那是中斷點，如果要計算 Pathloss 需要除以一千，用 GHz 的單位計算。

但是一直計算中斷點會脫慢效率，在主要的 UE，尤其重視這點：使用者控制的即時性，系統場域設定是(-800,800)這個設定可以動態設定，但這是這意味著在這範圍內，兩點最遠的距離是 16002，約為 2262.74169979695，這個數字遠低於系統計算出來的中斷點距離 3038.5020760604075，因此系統增設 Path_Loss_Permanentg 參數標示 PathLoss Model 的永久性，省略在每此更新 RSRP 時，中斷點的計算。

每次更新都要重新計算一次，然而運算時間還在其次，重點在於動態從配置檔案讀取跟寫入的動作，因此我們在設計程式的彈性之餘，確保在設定檔案的安全之下，減少讀寫的最低限度動作。

實際上會運用到的參數更多，但是資料越少，傳播速度越快，在加上 gNB 已經有其他 gNB 的配置，所以我們只需要傳遞最少的參數即可，接下來讓 gNB 自行判斷下一個接入的 gNB。

UE 收到回傳的資料後會進行判斷，如果該參數不變的話，就不會對其做變動，這是保證我們讀寫安全跟加速的重要的一環，因為以機率來說，我們可以確定，不換手的機率比起換手的機率要小，進行判斷可以減少我們浪費時間的期望值。

4.4 gNB 判斷

CU 會根據階收到的資料進行運算，會先從計算各個 gNB 到 UE 的對應距離，然後產生圓方程式，我們先判斷 Primary_Cell 和 Secondary_Cell，再由 Secondary_Cell 和 Special_Cell 進行判斷。

這個時候會產生三種情況：

1. 相交
2. 相離
3. 切點

數學來說，的確是這樣，但是，實際上，我們定位的是一個點，因此我們會去掉相離的狀況，因為那不可能從我們的狀況發生，剩下的只有相交跟切點的這兩種情況，然而對我們來說也只是一個可能跟兩個可能而已。

程式碼參考[26]，他是根據輔助線進行計算，如下圖

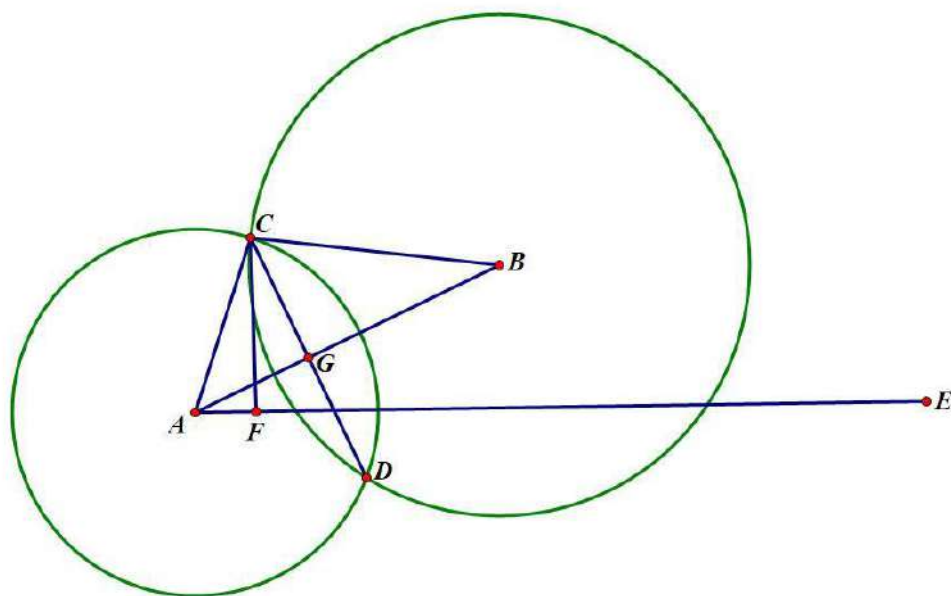


圖 76 幾何算法

這篇文章帶給系統很大的幫助，因為幾何學上的畫圖要數值化需意大量的計算，總之用了三個圖來進行三項定位，但是結果還是有小數點等級的誤差，因為輸出的值是浮點數，但是系統設定是只能以整數移動。

獲得點之後，系統會先在畫布上面畫出點的位置，此事不進行任何運算，因為這是很耗費時間的運行方式，系統會在其他程式上進行運算，實際上，畫布跟運算是兩個程式，他們彼此之間透過設定檔案進行交互。

之後用實線畫出 PCell 與 UE 之間的連線作用，這是很重要的部份，你可以在這邊看到簡易版的換手，老實說應該不能說運用到正式的換手的演算法，但是時間拉久就可以看到 UE 跟這些 gNB 的交互作用。

最後用虛線畫出 SCell，其實這步驟可以省略，因為採用虛線變得有些不可見，但是基於一些理由，我們還是決定方上去，但是彈性的設計讓我們想取消也很方便。

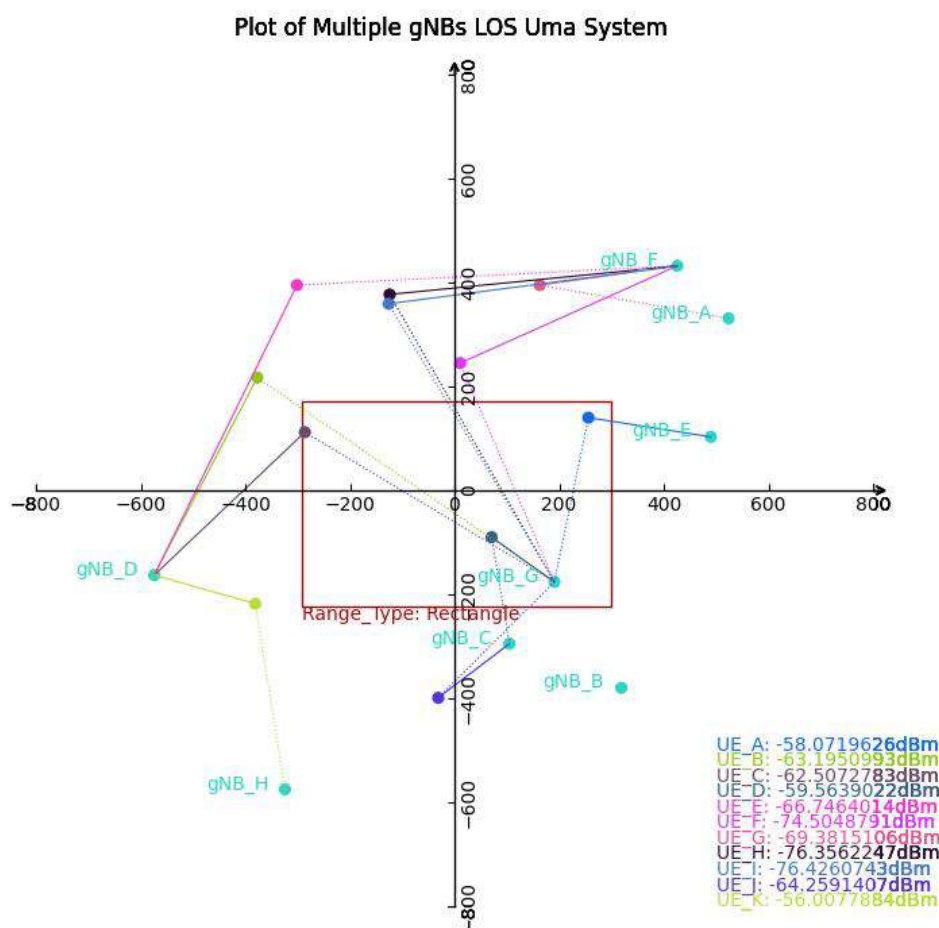


圖 77 範圍判定

系統會在右下角標示 UE 的顏色跟名稱。

系統盡量避免在 GUI 的程式使用大量的讀寫作業跟運算，因為 Matplotlib 本身是一個很耗費運算資源的程式，因此系統會在設定檔加上 OUT_OF_RANGE 參數，對於這個，系統會在運算部份就標示它是否超出範圍，搭配 RANGE_Type 參數進行指定範圍判定。

以長方行為舉例：此時 CU 已經知道 UE 的大概座標，因此，系統會用這個座標去判定它是否在我們指定的範圍內或外。

如果抄出範圍，就標示它已經離開範圍，會在 GUI 的程式提醒警示，並且字體變紅。警示狀態：

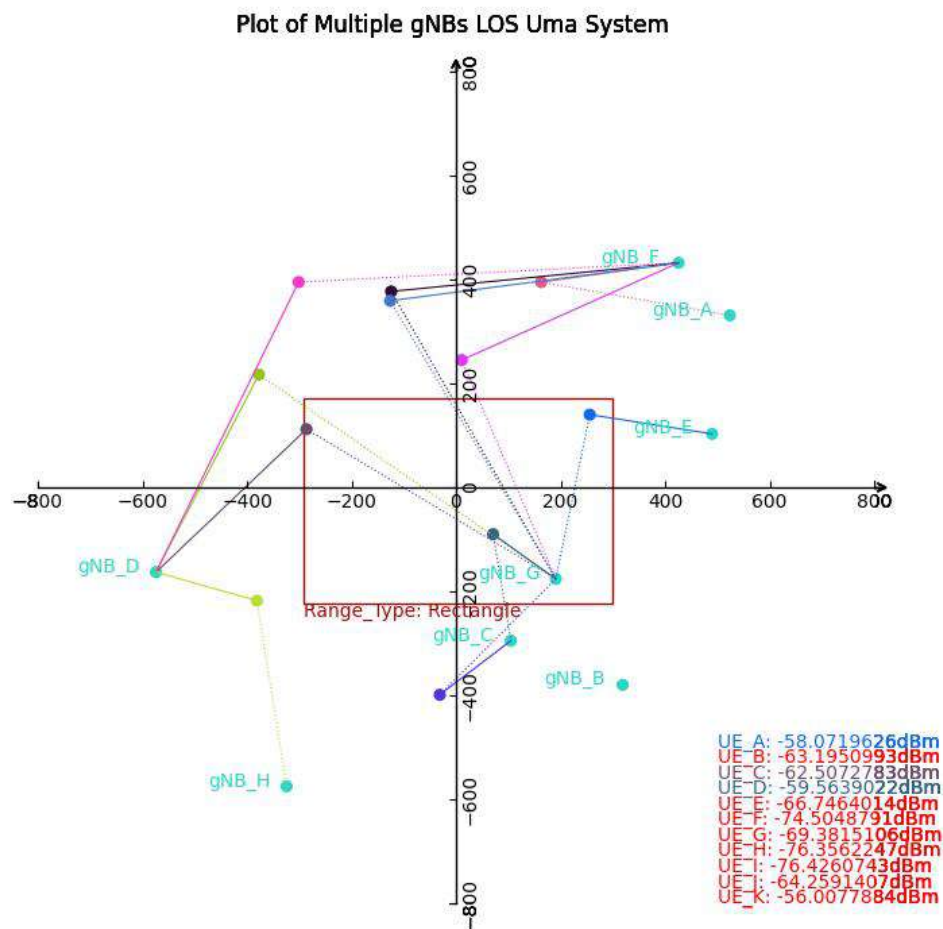


圖 78 範圍判定警示狀態

5. GUI 顯示流程

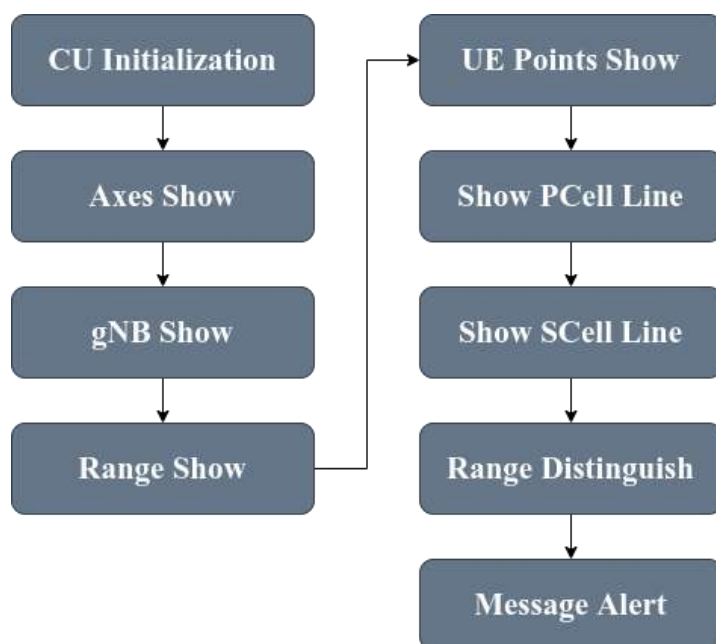


圖 79 顯示流程

如上，在每兩秒刷新的區間，進行逐層顯示出場域內的元素。

六、系統架構(使用平臺、技術與系統架構設計圖示)

1. 使用平臺

本系統使用 VirtualBox[27]進行系統開發，裝設系統為 Ubuntu-18.04.6-desktop-amd64，基於系統進行系統開發，原因在於大部分的網路相關設備系統都是基於 Linux 開發，為此本系統使用 Ubuntu 進行開發，並選擇穩定的 18.04 長期支援版本。

2. 技術

本系統使用到的技術如下：

- 第五代行動通訊技術(5G)：最熱門的商業化應用
- 網路功能虛擬化(Network Functions Virtualization, NFV)：可以佈署在通用軟體，不受限於硬體
- 行動邊緣運算(Multi-access edge computing, MEC)：系統不因大量的精細運算拖累接入核心網路的速度
- 雲端化無線存取網路(Cloud-RAN)：此架構讓本系統得以在彈性的架構之下動態分配資源

3. 系統架構設計圖示

3.1 開發架構

開發架構為系統在開發進行時如何運用環境進行有效的開發以及更新，見圖 包括本系統使用編輯器以及如何更新到 Github 上。

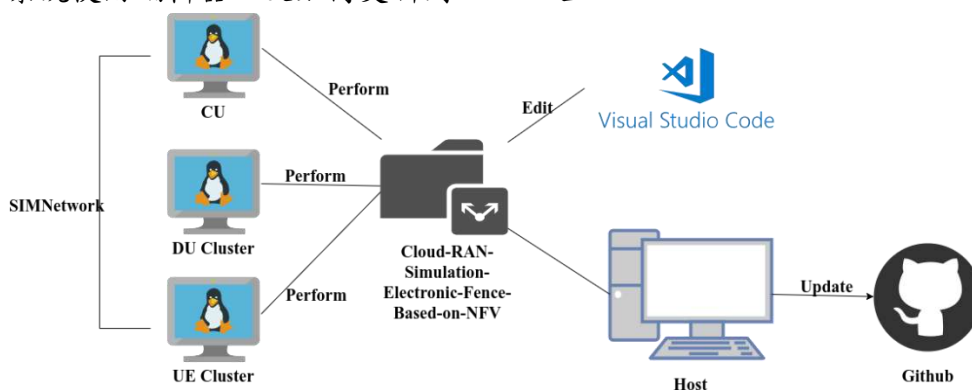


圖 80 系統開發架構

本系統在主機上建立一個共用的資料夾

Cloud-RAN-Simulation-Electronic-Fence-Based-on-NFV，名稱即專案在 Github 上的名字，使虛擬機給予權限使用共用資料夾，因此，本系統開發時在主機上的 Visual Studio Code 進行開發，執行在虛擬機上運行，虛擬機之間透過設立虛擬網路 SIMNetwork 進行通訊，最後在主機上將專案 Push 上去，進行每日更新。

3.2 系統架構

下圖為本系統架構，實際上，本系統分為三個虛擬機，透過虛擬網路 SIMNetwork 互相通訊，彼此之間透過 NFVI 的虛擬層進行資源運用，並遵守 3GPP 協議進行通訊，接入核心網。

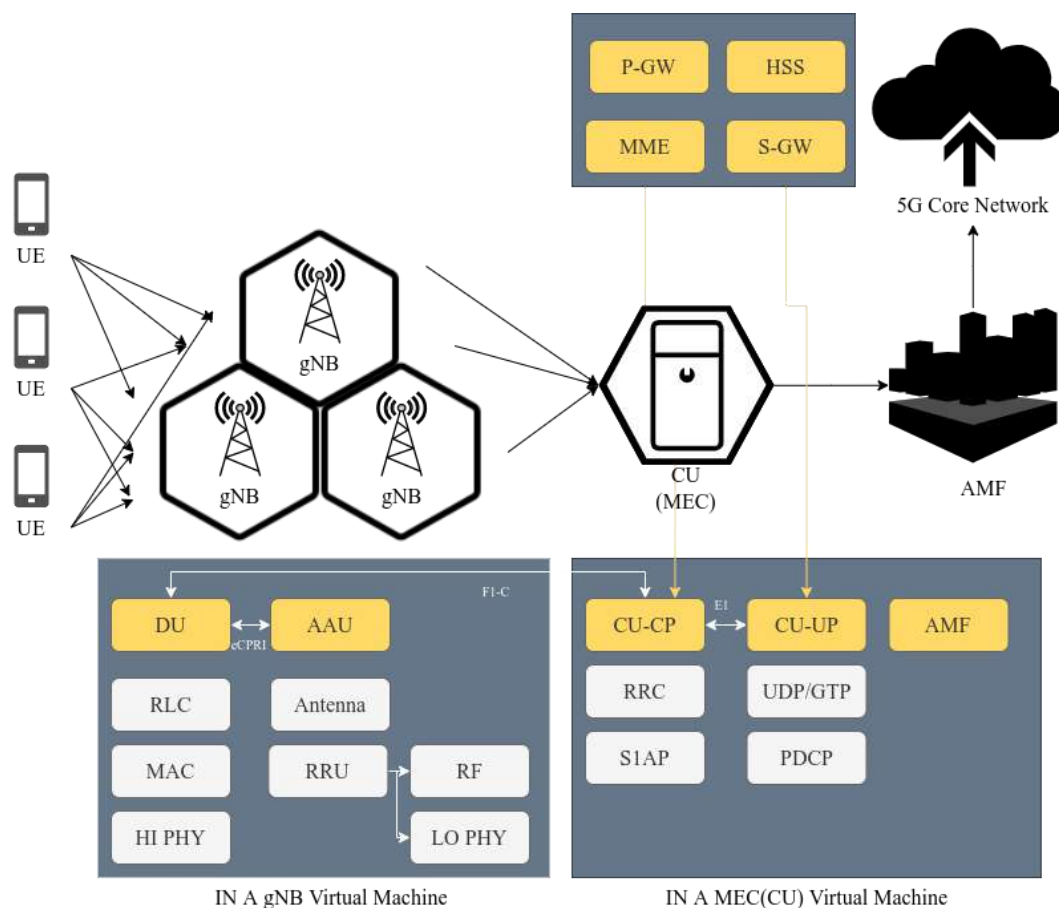


圖 81 系統架構圖

七、使用對象及使用環境

1. 學術用途

本系統提供彈性的設計，供行動通訊相關研究的模擬環境，當使用者需要建立地域關係的通訊通道模擬，便可以改變本系統設置的參數以及算法，觀察到適用於使用者設定模組的情形。

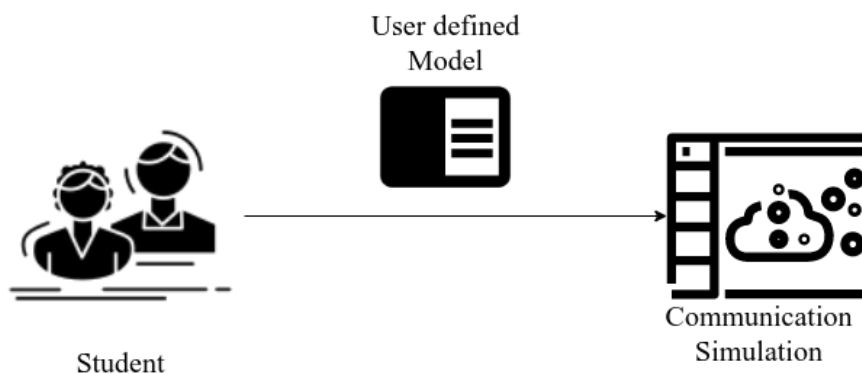


圖 82 通訊模型實驗示意圖

此外，本系統可以看到部份協議互動的過程，除了動態更改參數以外，使用者可以由此觀測到協議的進行了解制定的規則以及意義，透過了解網路架構，便可以實現其他 VNFs。

2. 商業價值

本系統商業優勢如下：

1. 不耗費額外成本進行功能的實現
2. 通用硬體實現專用硬體的功能
3. MEC 及分離式架構提昇效能
4. 多版本協議支援
5. 架構容易維護，程式邏輯清晰

本系統在定位上具有一定的價值，系統佈署 VNF，將可以將此功能運用在通用服務器上，**不耗費額外成本進行功能的實現**，以及達到最佳效率的系統設計，以架構上的優勢減少大量運算帶來的消耗，並且以彈性的設計以及模組導向達到自定義的功能實現，此外本系統支援新舊版的協議，不需要受困於版本限制。

3. 應用價值

3.1 情境一：防疫隔離期間

根據「嚴重特殊傳染性肺炎防治及紓困振興特別條例」，如指定隔離對象在隔離期間離開隔離區域，將從重裁處 20 萬至 100 萬罰鍰及 10 萬至 100 萬罰鍰[28]。若是因電子圍籬系統失誤而收到罰鍰通知，無論是取消還是支出都是一筆不小的花費，為此需要進行精準的裁定以防範此類事件的發生，本系統能夠已經準定位滿足此算法，避免因失誤造成的時間金錢以及人力成本浪費。

3.2 情境二：寄宿校內管制

部份高中居住是禁止在指定時間內外出的，如架設本系統，便可以依據手機的定位確認並警示學生是否在指定時間外離開宿舍，現代生活離不開手機的使用，因此以此為依據是一項方便而簡要的設施，不僅可以在學生遭遇步測獨時候立即反應，也可以透過本系統進行追蹤。

3.3 情境三：手機遺失

若是手機遺失，通報後可以透過本系統得知其確切位置，這種情況在手機失竊的情形也有用處。

3.4 情境四：危險管制區域

若是有人攜帶手機進入管制區域，工作人員可以盡快採取行動，將其驅離，避免產生安全以外事故。

八、計畫管理(作品完成的所用時間)

1. 計畫總時程

計畫時程大概是一個月左右，其中參考論文以及通訊協定佔了大量的時間，以及反覆的更新系統以其達到最佳的效能。圖為本系統計畫時程甘特圖(Gantt Chart)。



圖 83 本系統計畫時程甘特圖

本系統依照工作內容，將其拆分為五個部份，見表 37:

表 37 系統工作內容整理

工作內容	意義	耗費時間
文獻閱讀整理	3GPP 最新標準的內容整理	1 周
架構邏輯設計	建立穩健彈性的系統架構設計	1 周
算法流程設計	依照協定設計最適合系統架構的流程與算法	2 周
圖形化界面設計	進行圖形化界面的表現方式與設計	1 周
文書處理	撰寫 ReadMe.md 以及計畫輸內容	1 周

2. 開發平均時長

本系統使用主機上的 Visual Studio Code 進行開發，因此可以見到 Wakatime[29] 觀察本系統週平均開發時長，見下圖 84。



圖 84 Wakatime 觀察本系統週平均開發時長

九、版權宣告(說明參賽作品宣告的版權)

Copyright © [2022] 蔡沛錦、彭筱竹、林玉文、蔡馥仔、王采筑. All rights reserved.
版權所有© [2022] 蔡沛錦、彭筱竹、林玉文、蔡馥仔、王采筑

十、製作經費

本系統為虛擬機製作，經費為 0

十一、未來發展方向

1. 新增功能更新

本系統未來望增加以下功能，得以實際運行在其他實際設備，實現系統功能：

1. 室內室外模型
2. 繞射計算
3. 加強更精細的雜訊干擾系統模擬物理干擾
4. 考慮搭乘交通工具的情況
5. 考慮都卜勒效應(Doppler Effect)[30]
6. 影像辨識自動圈選隔離區域
7. 微積分計算不規則區域
8. 補充 Cell Group Config 與 RadioBarear Config 的功能
9. 即時更新，跟上最新標準

2. 結論

行動通訊是累積百年以上的知識，單憑淺薄的知識是無法作到盡善盡美的，現有的核心網路架構從 2G 開始就沒有太大的邊化，在下一代網路還沒發展起來的現在，5G 作為熱門的技術受到大眾注目，本系統希望打造一套系統能夠在學術與生活應用上回饋社會。

對於這個題目，製作團隊具有相當的心得，也希望今後能持續更新這個發展中的專案進行更加深入的研究，以期來日能夠將這個網路功能部署到實際的硬體設備上。

十二 參考

- [1]NCC
https://www.ncc.gov.tw/chinese/news.aspx?site_content_sn=5170&is_history=0
- [2]移動寬帶系統 5G NR+4G LTE 覆蓋網站
<https://coverage.cht.com.tw/coverage/tw.html>
- [3]北市電子圍籬單月誤報逾 4 千件 黃珊珊：警凌晨按鈴確認是否外出
<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/3947942>
- [4]防疫兼顧人權 監察院促請指揮中心正視電子圍籬隱私權及法制疑慮
https://www.cy.gov.tw/News_Content.aspx?n=125&s=22310
- [5]Network Functions Virtualisation (NFV)<https://www.etsi.org/technologies/nfv>
- [6]free5GC<https://www.free5gc.org/>
- [7]O-RAN Near-Real-Time RIC<https://rimedolabs.com/blog/o-ran-near-real-time-ric/>
- [8]Kubernetes
<https://kubernetes.io/>
- [9]為何 5G 企業商用決戰場是網路切片技術
<https://www.ithome.com.tw/news/138744>
- [10]5G 基站 CU-DU 到底是分離還是會合設
http://pdf.dfciw.com/pdf/H3_AP201807131166164251_1.pdf
- [11]5G;NR; Radio Resource Control (RRC); Protocol specification(3GPP TS 38.331 version 15.15.0 Release 15)
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138300_138399/138331/15.15.00_60/ts_138331v151500p.pdf
- [12]5G;NG-RAN; F1 Application Protocol (F1AP) (3GPP TS 38.473 version 16.5.0 Release 16)
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138400_138499/138473/16.05.00_60/ts_138473v160500p.pdf
- [13]5G;NG-RAN;E1 Application Protocol (E1AP)(3GPP TS 38.463 version 16.4.0 Release 16)
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138400_138499/138463/16.04.00_60/ts_138463v160400p.pdf
- [14]LTE;Evolved Universal TerrestrialRadio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP)(3GPP TS 36.413 version 16.5.0 Release 16)
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136400_136499/136413/16.05.00_60/ts_136413v160500p.pdf
- [15]5G; Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5G System (5GS); Stage 3 (3GPP TS 24.501 version 16.10.0 Release 16)
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/124500_124599/124501/16.10.00_60/ts_124501v161000p.pdf
- [16]5G;NG-RAN;NG Application Protocol (NGAP)(3GPP TS 38.413 version 16.7.0

Release 16)

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138400_138499/138413/16.07.00_60/ts_138413v160700p.pdf

[17]<https://patentimages.storage.googleapis.com/56/97/d1/3221f1ec4e35af/WO2013023551A1.pdf>

[18]安世 MOSFET 對於 5G 相關應用的產品暨解決方案

https://site.eettaiwan.com/webinar/pdf/Nexperia_1022_3.pdf

[19]台灣電訊業者 5G 頻段整理

<https://www.cool3c.com/article/154759>

[20]5G/NR - FR/Operating Bandwidth

https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_FR_Bandwidth.html

[21]3.5 GHz Coverage Assessment with a 5G Testbed

<https://arxiv.org/pdf/2105.06812.pdf>

[22]5G;Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz(3GPP TR 38.901 version 16.1.0 Release 16)

https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/138900_138999/138901/16.01.00_60/tr_138901v160100p.pdf

[23]5G NR ARFCN calculator

<https://5g-tools.com/5g-nr-arfcn-calculator/>

[24]5G NR frequency band

<https://www.google.com/search?q=NR+ARFCN&oq=NR+ARFCN&aqs=chrome.0.69i59j0i512l5j0i30j69i60.693j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

[25]行動裝置網路代碼

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A7%BB%E5%8A%A8%E8%AE%BE%E5%A4%87%E7%BD%91%E7%BB%9C%E4%BB%A3%E7%A0%81>

[26]https://blog.csdn.net/qq_30336905/article/details/102972915

[27]Oracle VM VirtualBox

<https://www.virtualbox.org/>

[28]台北市政府衛生局

https://health.gov.taipei/News_Content.aspx?n=ED8781982A8E338E&sms=72544237BBE4C5F6&s=32C4438C6D16E20B

[29]Waketime

<https://wakatime.com/dashboard>

[30]都卜勒效應

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%A4%9A%E6%99%AE%E5%8B%92%E6%95%88%E5%BA%94>