



DECT NR+ 協定堆疊 · Nordic Semiconductor nRF9151

BFi91NR7DLCVG

MAC、DLC 與匯聚層在 ETSI 是分開規範的，我們把它們做成一個整體——一條無線電時間軸、一組計數器、一個服務介面。依 ETSI TS 103 636 V2.2.1 (Release 2) 撰寫，跑在 Nordic Semiconductor nRF9151 上。這套堆疊不單獨販售，而是和 BANFi 的開發服務一起提供：我們把它載入你的板子、依你的規格做成可量產的產品，並在你的硬體上量出你敢對客戶負責的數字。

TS 103 636

V2.2.1 · RELEASE 2

MAC → CVG

三層合為一個整體

靜態配置

記憶體池 · 資料平面不配置
HEAP

Mode 1

AES-128 鏈路安全 · 啟用
時

1.9 GHz · 915

MHz

免執照 · 同一份映像

參考建置上的實測值

24–33 ms

觸發式換手（25 次全數在此範圍）

先接後斷，來源鏈路全程保持；已與不換手的對照組比對。

541 μ s

每個 PDU 的安全處理

AES-128 CMAC 完整性與 AES-128 CTR 加密，硬體加速。

約 4 s

跨通道探索到入網

在錯誤通道上醒來的裝置，自己就能找到叢集並加入。

373 kbit/s

星狀上行合計

兩個全速率節點同時上行；單條授權鏈路每方向約 201 kbit/s。

深度 5

網格樹，已驗證

九台無線電，每一台對其他每一台雙向傳送，從來源到目的地最多六跳：單播 350/350 全數送達。

47.0 ms

來源與目的地之間的往返（已加密）

應用層 echo 的地板值，鏈路已加密且處於競爭條件下。

每個平台量出來的都不一樣。這些數字來自我們在 nRF9151 上的參考建置，會隨堆疊演進而移動；矽晶版本、建置組態、時脈與電源、天線與 RF 環境、主機介面與你的應用負載，都會讓它們往任一方向偏移。它們不是協定一致性測試結果，也不具任何法規意義。

移動、換手與失聯，是三件不同的事

24–33 ms

觸發式換手，先接後斷。這只是最後一步：鄰居已經在追蹤中，決策也已經做完。

< 60 s（最差觀測值）

冷啟動到換手。從空的探測清單開始——啟動探測、發現鄰居、觸發，然後才輪到上面那個毫秒級的切換。

20 s + 一次重新捕獲

服務端非預期失聯。這是失效路徑，不是換手：連續漏掉十個信標週期才宣告失聯，接著一次重新捕獲恢復關聯；唯一的資料損失是傳送中尚未被確認的訊框。

失效語意

一條會遺失訊息卻不出聲的鏈路，拿來做遙測可以，拿來做任何必須依照收到內容行動的事情就不行。這套堆疊的設計，是讓它的上層永遠知道自己站在什麼位置。

每次傳送恰好一個結果

每一次被接受的傳送都回覆一個送達結果，不是零個，也不是兩個。應用不需要從逾時去推論東西有沒有到。

沒有靜默丟棄的路徑

沒有任何程式路徑會丟掉封包而不回報。只要有遺失，在所有可能發生的位置都看得見，且附上原因。

完整性在空中被驗證

Security Mode 1 以擷取到的實際流量驗證。45 分鐘加密連續測試，跨越五次載波移動與五次安全重新關聯，MIC 失敗次數為零。

計數器跨重開機仍有效

加密計數器在電源循環之間保持唯一，重啟的裝置不會重用已花掉的金鑰流；這件事是在密文上量出來的。

協定能力

MAC (TS 103 636-4)	固定終端與可攜終端角色，也可同時兼任兩者作為網格中繼。隨機存取與排程存取；HARQ 具閉迴路回饋、冗餘版本輪替與有上限的放棄機制。自動鄰居追蹤、count-to-trigger 與先接後斷換手。
DLC (TS 103 636-5)	具分段、重組與生命週期控制；以 HARQ 結果為基礎的隱含 ARQ。上行、下行、具跳數預算的洪泛與來源路由，快取式下行路由會自行修復。
匯聚層	流量控制視窗與具分段層級 NACK 的 ARQ；Endpoint 與 Mux-Tag 多工；重複移除、依序送達、分段與重組。
安全	Security Mode 1 (AES-128 CMAC+CTR)，硬體加速，啟用時提供：MAC 層逐跳的鏈路安全；以及匯聚層可選的每條資料流酬載安全，讓酬載通過不持有該金鑰的中繼仍保持加密（已驗證至深度 3）。
頻段	1.9 GHz (band 1) ——本文件所有量測都在此頻段。915 MHz (band 4) ——協定行為已用同一份映像在空中驗證；吞吐與距離尚未特性化。頻段群組是執行時參數。
測試規範	TS 104 047-2 全套 55 項在出貨映像上跑完：48 通過、5 帶但書、2 不適用（自有測試台，2026-09-14）。DLC 8 項、匯聚層 4 項全數通過。

兩種整合方式（由 BANFI 開發服務導入）

內嵌 API——直接跑在 nRF9151 上

你的應用跑在 SiP 自身的 Cortex-M33 上，與堆疊並存。一顆晶片、一份映像；留給應用的記憶體依角色而定，各模式數字列於完整規格書。

HIF-UART / HIF-SPIS——放在你的 MCU 旁邊

你現有的 MCU 保留架構、工具鏈與應用，無線電變成它讀寫的周邊。UART 1 Mbaud 或 SPI 從屬，同一套 CRC-16 保護的暫存器介面；主機驅動約一百五十行。

資源、容量與鏈路預算

記憶體	依角色配置的靜態記憶體池；資料平面不配置 heap，建置用量即為最壞情況。各模式記憶體表列於完整規格書。
每個固定終端	64 台入網名冊；出貨排程下 3 條全速率資料通道，其餘以 RACH 成員加入，仍有可用上行（約 4 SDU/s，20 位元組）。
吞吐	單條授權鏈路每方向約 201 kbit/s（250 位元組、每秒約 100 筆）；星狀上行合計 373 kbit/s；經路由轉送每跳 96-101 筆/秒（深度 1-3）。
鏈路預算	不公布公里數。兩層樓住宅實測門檻：滿載資料 -75 dBm、節流資料 -82 dBm、關聯斷裂 -82 ~ -85 dBm；發射功率最高 +21 dBm（依當地法規）。
目標平台	Nordic Semiconductor nRF9151 System-in-Package（亦於 nRF9131 驗證混編網格）。

已知邊界

- 中繼深度已驗證到 5（九台無線電，從來源到目的地最多六跳）；更深的拓撲目前沒有空中證據，超過這個深度請規劃試點，而非量產布建。匯聚層每條資料流的酬載安全驗證至深度 3。
- 915 MHz 的吞吐與傳輸距離尚未特性化，因為測試台上的天線是 1.9 GHz 的零件。
- 尚未送交正式一致性測試，也不持有法規核准或互通性認證；認證所需的測試功能（test loop、CW 源、monitor 模式、ETF）已內建並在測試台層級驗證。
- 不做功能安全宣稱。它提供的是 IEC 61508 式「黑通道」對下層傳輸所要求的性質，讓應用層的完整性協定有辦法做出自己的宣稱。
- 目前累積的是數小時等級的連續運轉與儀器化測試，不是數個月的現場布建。

怎麼取得

這套堆疊不單獨販售或授權，而是和 BANFI 的開發服務一起提供——載入你的板子、做成你的產品、在你的硬體上量測。完整規格（各模式記憶體表、有測試報告佐證的時序表、條文覆蓋稽核、整合指南與主機暫存器映射）：請至 banfiww.com 的詢問表單留下公司資料，並選擇「完整規格與整合文件」。