

# 減低波束搜尋複雜度之非週期性技術

## Aperiodic Technology for Reducing Beam Search Complexity

羅立中  
Li-Chung Lo

### 中文摘要

一個新的巨量天線(Massive Multiple Input Multiple Output, Massive MIMO) 陣列被視為5G新無線技術 (New radio, NR) 的核心技術，在基地台裝載大量天線並配合波束成型(Beamforming) 技術，使得訊號能量集中至用戶端的方向，用戶獲得波束成型增益讓解調能力提升獲得更佳的系統效能。然而，如何讓基地台事先獲知用戶端的地理方向，是現在各公司在標準制定會議中熱烈討論的議題。

目前，各家公司已達成共識採用週期性的波束追蹤，基地台藉由傳輸多個方向參考訊號，用戶經過測量這些參考訊號後，再回報該用戶端接收能量最強的參考訊號的相關資訊給基地台。然而波束追蹤需要基地台消耗大量資源傳輸參考訊號，進而使得整體傳輸速率下降。另一方面在用戶端，又因為需要量測多次的參考訊號也使用的用戶端的計算複雜度上升，增加耗電量。因此，本篇提出非週期性的波束追蹤，可拉長波束追蹤的週期，並配合非週期性的波束追蹤，進而解決因為用戶移動造成的波束追蹤失準的問題。

### Abstract

A new paradigm dubbed as “Massive-multiple input multiple output array (Massive-MIMO array)” has been regarded as one of the key candidate technologies for 5G new radio (NR). A base-station equipping with a large number of antennas concentrates the transmission signal toward the direction of one user equipment (UE) by the beamforming technology. Obtaining beamforming gain, UE demodulates signal more efficiently and the system has better performance. However, how the base-station has the knowledge of UE’s geometric direction in advance is a serious issue where many companies were engaged in standards meetings.

So far, many companies had agreed that the periodic beam search is the solution. The base-station firstly transmitted multiple beam-formed reference signals (RSs) and each RS was beam-formed to one specific direction decided by base-station. Then, the UE measures those beam-formed RSs and feedbacks favorite beam index to base-station. However, this beam search consumes a lot of RS resource, which leads to low throughput. On the other hand, the UE has more complexity since the UE needs to measure multiple beam-formed RSs which may cause battery consumption. Hence, we propose an aperiodic beam search method in this paper. Our proposal can extend the periodicity of beam search to ease the loading at both base-station and UE sides. The base-station can track the UE’s direction immediately by aperiodic beam search to solve problem of the beam mismatch due to UE’s moving.

## 關鍵詞(Key Words)

新無線技術 (New Radio ; NR)

波束成型 (Beamforming)

全維度多輸入多輸出 (Full-Dimension Multiple Input Multiple Output ; FD-MIMO)

通道狀態資訊參考訊號 (Channel State Information-Reference Signal ; CSI-RS)

## 1 . 前言

由於現有的低頻段的頻譜資源有限，未來 5G NR 的運作將延伸在高載波的頻段上[1-3]，以獲取更高的傳輸效率。然而，訊號在高頻段運作會有嚴重衰減的特性，使得高頻段的基地台的訊號範圍不足以覆蓋原本低頻段基地台訊號範圍，造成能服務的範圍受限[4-5]。如果未來高頻段的基地台取代低頻段的基地台，可預期在同一區域內將布建更多的基地台去維持用戶收訊品質，也造成成本提升。而此現象隨著操作頻段越高越明顯。

近年來，裝載大量天線的 MIMO 系統的波束成型技術的相關研究已顯示巨大的潛力去解決高頻段基地台覆蓋能力不足的問題[6-8]。在基地台裝載大量天線並配合波束成型技術，使得訊號能量集中至特定方向，因為波束成型造成的能量增益，使得該方向上訊號傳輸距離更遠增加涵蓋範圍。然而此技術的代價是訊號傳輸方向的角度變窄，使得訊號傳輸方向如果偏離用戶端則該用戶的訊號會大幅衰減。因此，實行波束成型技術的前提是如何讓基地台事先得知用戶端相對於基地台的方向，才能讓基地台正確地傳輸至用戶端的方向，讓解調能力提升獲得最佳的系統效能。

在現行的 3GPP 標準制定的議程中，全維度多輸入多輸出 ( Full-Dimension Multiple Input Multiple Output, FD-MIMO ) 可視為未來 5G NR 技術的前哨戰[9]，預先揭露波束成型技術的運用。由於目前 5G NR 技術尚未明確，不少公司已經先在去年第十三版本的規格制訂 FD-MIMO 中預先佈局，並在今年的第十四版本[10]的規格制訂中繼續討論後續相關問題，也幫包含前述提到如何讓基地台事先得知用戶端的位置，也就是波束追蹤技術。以下先簡述何

謂 FD-MIMO，再來是波束追蹤的相關討論。

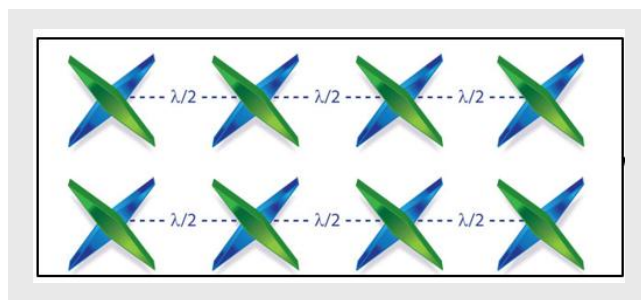


圖 1 全維度多輸入多輸出二維天線陣列

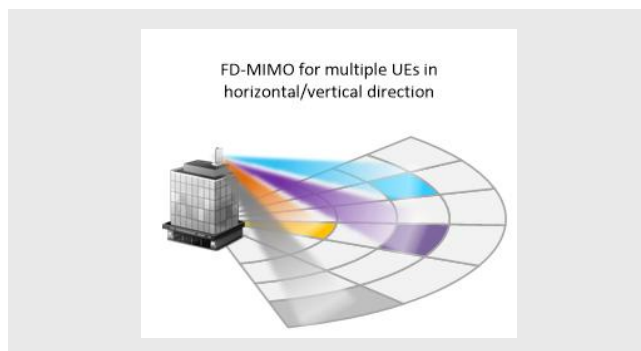


圖 2 基地台同時服務多個用戶 [11]

## 2 . 全維度多輸入多輸出

### 2.1 全維度多輸入多輸出

FD-MIMO 是 Massive-MIMO 一個運用，如圖 1，比起過去一個水平維度的天線埠 ( antenna port ) 陣列擺放，FD-MIMO 透過運用兩個維度的長方形天線埠陣列擺放，使得基地台訊號波束成型的方向從水平方向增加至垂直方向。如圖 2，增加空間多樣性 ( spatial diversity )，也使得支援更多用戶能在使用同一個資源下同時傳輸，進而增加整體傳輸性能 [11]。由於天線數變多，使得協助用戶測量天線埠之間通道的通道狀態資訊參考訊號

( Channel State Information-Reference Signal, CSI-RS ) 也因此跟著調整[12]。CSI-RS是基地台下行傳輸的參考訊號，主要功能是用戶藉由測量該訊號進而獲得目前下行通道狀態的資訊，並回報此資訊給基地台，基地台收集各用戶回報的資訊後，依此資訊分配恰當資源進行下行資料傳輸給各用戶，在標準規格第十二版之前的版本最多使用八個天線埠，其各天線埠需要一個CSI-RS讓用戶測量該天線至用戶端天線埠之間的通道狀態。

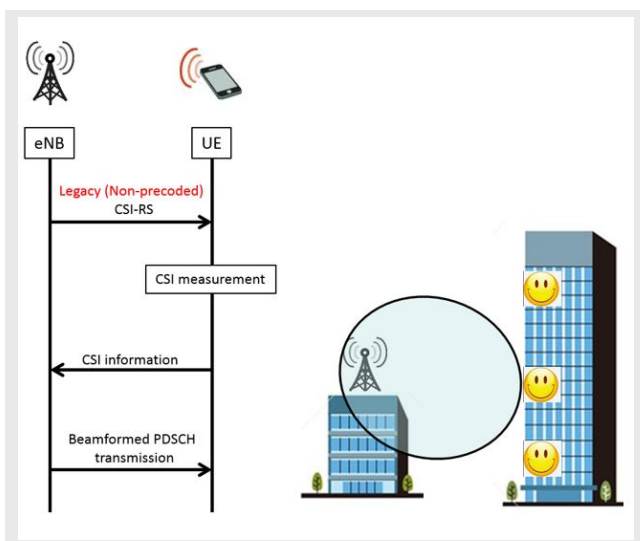


圖 3 級別A: 無預編碼通道狀態訊息參考訊號

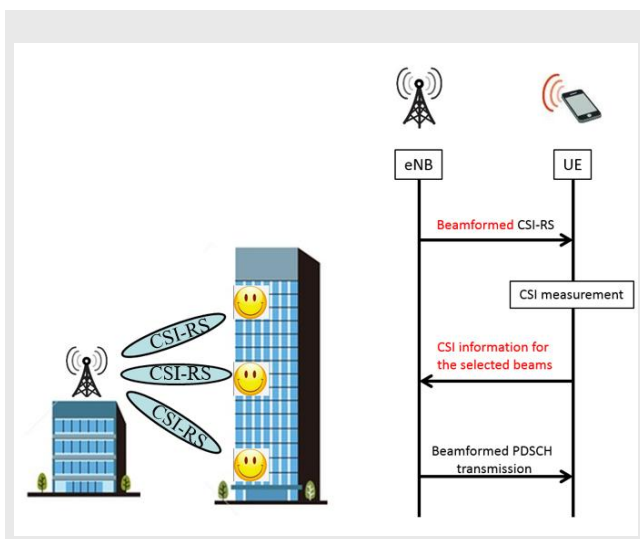


圖 4 級別B: 波束成型通道狀態訊息參考訊號

目前標準規格第十三版在FD-MIMO已經制定兩種CSI-RS傳輸模式分別為級別A ( CLASS A ) 以及級別B ( CLASS B ) [13-14]。如圖3·CLASS A為無預編碼通道狀態訊息參考訊號 ( non-precoded CSI-RS )，增加的天線埠的個數從現有的八個到十六個，甚至在正在制定的第十四版增加至三十二個天線埠。無預編碼通道狀態訊息參考訊號顧名思義，就是傳輸出去的CSI-RS並未經過編碼，傳輸出去的參考訊號無指向性，使得用戶只要落在基地台服務的範圍內，都能接收到此參考訊號。有別於CLASS A，為了不增加額外的天線成本，CLASS B維持第十二版至多八個天線埠。如圖4，CSI-RS經由波束成型技術處理使得能量集中至一個方向，但由於能量集中，造成訊號傳輸的角度較CLASS A為窄，進而使得覆蓋範圍不足。於是需要多個波束成型過的CSI-RS資源同時打出多個波束以增加訊號覆蓋範圍。另外，CLASS A的CSI-RS未經過波束成型因此不適用高頻段的運作，可預期並不會在NR的高頻段運作上有過多著墨。本篇重點放在CLASS B的運作。

### 3. 混和式通道狀態資訊回報

如前段2.2所解釋，CLASS B為指向性訊號，而如何讓基地台獲知用戶的方向在第十三版本並未明確定義。目前獲得用戶的方向資訊可依據不同的傳輸模式而有所不同。在分時雙工 ( Time Division Duplex, TDD ) 模式之下，因為通道互惠 ( channel reciprocity ) 的特性，也就是在同一個頻帶上的上行通道與下行通道可視為一致。因此用戶可傳送上行的參考訊號如探測參考訊號 ( Sounding Reference Signal, SRS )，讓基地台藉著此參考訊號估測上行通道，進而獲得下行通道的資訊，也從此資訊獲得用戶的方向。然而在分頻雙工 ( Frequency Division Duplex, FDD ) 模式，上行通道與下行通道並無通道互惠特性，必須藉由基地台傳送多個經過波束成型過CSI-RS，用戶藉由CSI-RS測量得知下行通道資訊後，再回報給基地台進而得知波束相關資訊。CSI-RS傳輸

## 2.2 通道狀態資訊參考訊號增強

與CSI回報機制將分為兩個階段完成以上程序。第一階段為長周期性波束搜尋得知用戶的方向。第二階段為短週期。藉由前第一階段獲取的用戶方向後，CSI-RS將經過波束成型傳輸至特定用戶。如圖5和圖6，詳細可分為以下四個階段：

**Step 1:**

基地台長周期性的在同一時間傳輸多個經過波束成型過的CSI-RS。基地台將自行決定每一個波束的方向。

**Step 2:**

用戶測量每個經過波束成型過的CSI-RS，並選擇訊號最強CSI-RS的波束指標（beam index）回報給基地台。

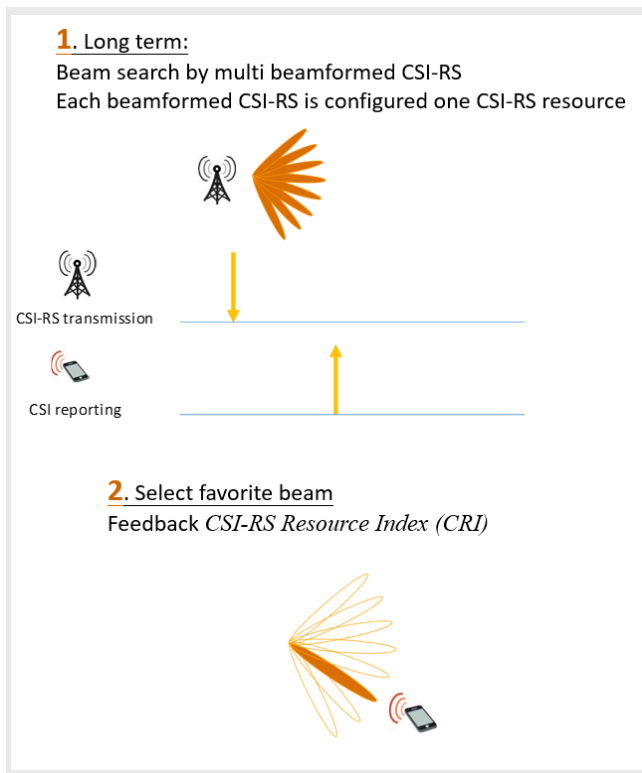


圖 5 長周期性波束搜尋得知用戶的方向

**Step 3:**

基地台短周期性傳輸經過波束成型過的CSI-RS。藉由step 2獲取的用戶方向後，CSI-RS將經過波束成型傳輸至特定用戶。

**Step 4:**

用戶測量CSI-RS並回報給基地台通道相關資訊。

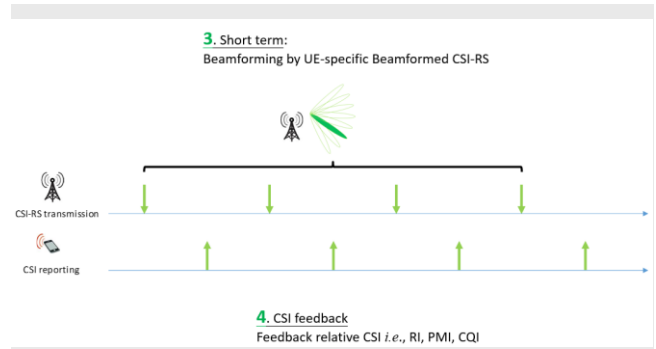


圖 6 短週期波束成型通道狀態訊息參考訊號傳輸

然而實行波束搜尋其實在基地台會消耗過多的資源在傳輸CSI-RS使得傳送資料的資源減少。進而讓整體傳輸速率下降。另一方面在用戶端，又因為要量測多次CSI-RS，也使得用戶的計算複雜度上升，增加耗電量。當然直觀地可以藉由延長波束搜尋的週期，減輕基地台與用戶兩方面的負擔。

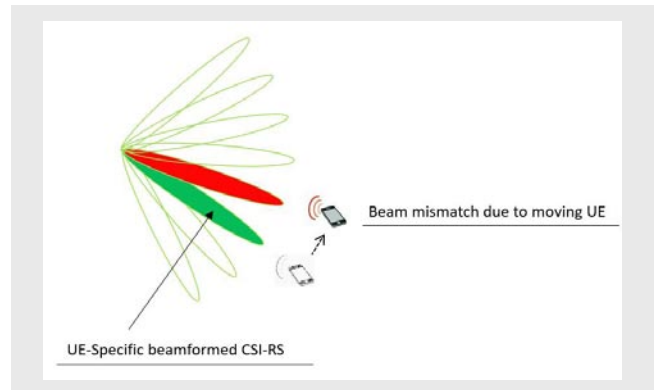


圖 7 短週期波束成型通道狀態訊息參考訊號傳輸

## 4. 非週期性的波束搜尋

### 3.1 波束不匹配 ( Beam Mismatch )

前述提到可藉由延長波束搜尋的週期，但又會引發另一個問題，如圖7所示，由於用戶是可移動的物體，如果波束搜尋的時間拉太長，則無法及時的掌握用戶正確的位置，進而使得波束的方向失準，導致新效能下降，用戶不能獲得波束該原有的波束增益，於是我們提出非週期性的波束搜尋，維持延長周期的延長波束讓基地台與用戶雙方能減輕負擔，並配合非週期性的波束追蹤，解決因為用戶移動造成的波束追蹤失準的問題。



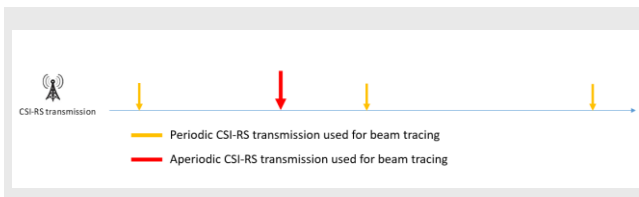


圖 8 短週期波束成型通道狀態訊息參考訊號傳輸

### 3.2 非週期性的波束搜索

我們提出新的非週期波束成型機制來因應用戶移動造成的波束搜索失準的問題，如圖8所示，同時維持長周期的波束搜索來讓整體低資源損耗以及用戶的計算複雜度。當遇到波束沒有傳送往用戶的方向時，可預期用戶會回報較差的通道狀況給基地台，進而讓基地台評估是否用戶已經離開原本波束成型的方向。此時實行非週期性的波束搜索機制，重新追蹤用戶的方向。另一方面如圖9所示，由於用戶在低速率移動，使得如果波束重新搜索，蠻大的機會仍在尚未移動前的位置附近。這樣的特性，使得我們在做非週期性的波束搜索時，可以限縮搜索範圍，同樣也減少基地台與用戶的負擔。

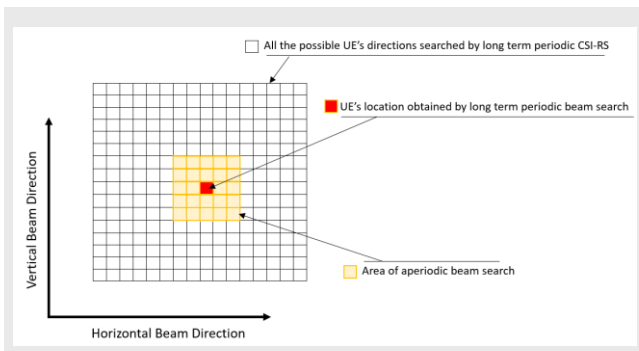


圖 9 短週期波束成型通道狀態訊息參考訊號傳輸

一個非週期性的程序可分為以下四個步驟：

#### ● Step 1: 非週期性CSI-RS資源設置

由網路預先通知用戶在下行資源裡設定 $N$ ， $N \leq 8$ 塊資源專門用來傳輸非週期性的CSI-RS訊號，而每一塊CSI-RS資源經過波束成型傳送個別的方向，且每一塊CSI-RS資源都含有自己的指標，也就是通道狀態訊息參考訊號資源指標（CSI-RS Resource Index, CRI）。由於過去已經有了週期性的CSI-RS，為了避免碰撞，需要

新增另一個控制訊號通知用戶並設定相對應的回報。

#### ● Step 2: 非週期性的CSI-RS觸發

由基地台決定何時發送非週期性的CSI-RS。當基地台持續收到用戶回報的CSI中的通道狀況過差，則基地台會判斷是否用戶已經離開原本波束成型的方向。如果是，則進行非週期性的CSI-RS傳送，並經由下行的控制訊號告知用戶進行非週期性的CSI-RS測量。值得一提的是，雖然我們在Step1已經設定好 $N$ 個CSI-RS資源，但是非週期性的波束搜索只需要搜尋用戶附近 $K$ 個波束方向即可，其中 $K \leq N$ 。 $K$ 的個數可由基地台預先設定或是經由控制訊號動態調整。

#### ● Step 3: 波束資訊回報

由於非週期程序主要是協助基地台更新波束方向，於是只要回報相對應的波束相關的資訊回去基地台即可，不用像週期性程序，需要回報完整的CSI。這裡，用戶經過測量後，選擇好的CSI回報。

#### ● Step 4: 基地台調整波束方向

基地台獲得來自用戶回報的資訊後，重新調整波束方向。如經調整後，基地台仍持續收到用戶回報的CSI中的通道狀況過差，則可以回到Step 2，重新觸發非週期性的CSI-RS測量。

## 5 · 結論

波束搜索是未來5G NR在高頻段運作不可或缺的核心技術。然而需要基地台消耗大量資源傳輸參考訊號，進而使得整體傳輸速率下降。另一方面在用戶端，又因為需要量測多次的參考訊號也使用的用戶端的計算複雜度上升，增加耗電量。本篇提出非週期性的波束追蹤，可拉長波束追蹤的週期，並配合非週期性的波束追蹤，進而解決因為用戶移動造成的波束追蹤失準的問題。

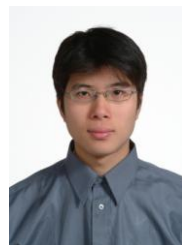
## 參考文獻

- [1] T. S. Rappaport, J. N. Murdock, and F. Gutierrez, "State of the art in 60 GHz

- integrated circuits & systems for wireless communications,” *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 8, pp. 1390–1436, Aug. 2011.
- [2] Z. Pi and F. Khan, “An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 6, pp. 101–107, Jun. 2011.
- [3] J. G. Andrews et al. “What will 5G be?” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, Jun. 2014.
- [4] S. Rangan, T. S. Rappaport, and E. Erkip, “Millimeter-wave cellular wireless networks: potentials and challenges,” *Proc. IEEE*, vol. 102, no. 3, Mar. 2014, pp. 366–86.
- [5] S. Akoum, O. El Ayach, and R. W. Heath, “Coverage and capacity in mmWave cellular systems,” *Proc. IEEE Conf. 46th Asilomar Conf.*, Nov. 2012, pp. 688–692.
- [6] E. G. Larsson, F. Tufvesson, O. Edfors, and T. L. Marzetta, “Massive MIMO for next generation wireless systems,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 186–195, Feb. 2014.
- [7] A. Pyattaev, K. Johnsson, S. Andreev, and Y. Koucheryavy, “A novel stochastic channel modeling approach for mmWave systems with beamforming,” in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC Spring)*, May 2016, pp. 1–5.
- [8] J. H. Kim, J. H. Choi, and Y. S. Cho, “An efficient beam-tracking technique for mmWave communication systems,” in *Proc. Information and Communication Technology Convergence Conf.*, May 2014, pp. 845–846.
- [9] 3GPP RP-141644, “New SID Proposal: Study on Elevation Beamforming/Full-Dimension (FD) MIMO for LTE”, Samsung, Nokia Networks, Edinburgh, Scotland, 9th – 12th September 2014
- [10] RP-151856: “New WID Proposal: Enhancements on Full-Dimension (FD) MIMO for LTE”, Samsung, 3GPP RAN Plenary #70, Dec. 2015, Sitges, Spain.
- [11] R1-143883: “High-level views on FD-MIMO and elevation beamforming”, Samsung, 3GPP RAN1 #78bis, Oct. 2014, Ljubljana, Slovenia.
- [12] R1-144047: “RS design enhancements for supporting EB and FD-MIMO”, LG Electronics, 3GPP RAN1 #78bis, Oct. 2014, Ljubljana, Slovenia.
- [13] R1-156217: “WF on class A and class B CSI reporting for Rel.13 EB/FD-MIMO”, AT&T, Beijing Xinwei Telecom Tech., CATR, CATT, CHTTL, CMCC, Deutsche Telekom, Ericsson, ETRI, Huawei, HiSilicon, ITRI, Kathrein-Werke KG, KDDI, KT Corporation, Nokia Networks, NTT DOCOMO, Samsung, Sony Corporation, 3GPP RAN1 #82bis, Oct. 2015, Malmo, Sweden.
- [14] R1-156230: “WF on CSI reporting Class B”, CATT, AT&T, Alcatel-Lucent, Alcatel-Lucent Shanghai Bell, InterDigital, NEC, Nokia Networks, NTT DOCOMO, Samsung, 3GPP RAN1 #82bis, Oct. 2015, Malmo, Sweden

## 作者簡介

羅立中



國立中山大學通訊工程研究所碩士。現任工研院資訊與通訊研究所新興無線應用技術組無線新應用創研部副工程師。