



澳門理工大學  
Universidade Politécnica de Macau  
Macao Polytechnic University

# 澳門整體移動網絡測試報告 — 網絡性能和用戶體驗的關係

劉珣、黃智謙、鄧樹傑

## 1. 背景

澳門特區政府一直大力推動澳門數碼化發展，以「智慧城市-澳門」<sup>1</sup> 作為澳門智慧城市的建設目標，從多方面不斷推動智慧手機應用程式的普及，在市民日常生活及不同行業運作中都可見一斑。市民已習慣使用各種類型的智慧應用去滿足工作、學習、娛樂、消費等需求，因此，要滿足以上的發展所需，一個先進而優質的基礎通信網絡尤為重要。

據監管機構的公開資料<sup>2</sup> 顯示，澳門早於 1988 年推出模擬式流動電話服務以來，發展至今已超過三十年，經歷第一、二、三及四代的移動電話發展，擁有豐富的技術和經驗，網絡發展平穩向前。從國際網絡測試機構發出的報告顯示，澳門的 4G 移動網絡基建水平屬世界前列<sup>3</sup>，於 2022 年 4G 移動網絡的下載平均速度位列世界第八，剛好與本澳電信監管機構郵電局定期發佈的統計資料<sup>4</sup> 相呼應，這意味本澳已具備發展發智慧城市的一項客觀條件。

---

<sup>1</sup> 智慧城市-澳門，澳門政府新聞局，<https://www.youtube.com/watch?v=IvwIS41Ve-E>

<sup>2</sup> 重要歷程，澳門郵電局，<https://telecommunications.ctt.gov.mo/AboutUS/MainEvo#telecomhistory>

<sup>3</sup> Hong Kong & Macau: Driving Greater Adoption of Fiber Services in Advanced Telecoms Markets, Ookla Insights, <https://www.ookla.com/articles/hong-kong-and-macau-q1-2023>

<sup>4</sup> 營運商的流動電信服務質素指標季度報告，澳門郵電局，<https://telecommunications.ctt.gov.mo/PublicInfo/IndicatorsofqualityofmobileserviceOperators>

這報告透視澳門移動網絡發展中網絡性能和用戶體驗的關係，除可作為本澳移動網絡發展的一個小結，也可作為未來移動網絡發展的一個參考。

## 2. 目標

本次實驗設計主要目標為全面研究本澳整體 4G 移動通信網絡主客觀性能，綜合了解本澳 4G 移動通信網絡用戶體驗感。本實驗主體分為兩部分：數據採集以及數據處理與分析。

## 3. 原則

本實驗於 2022 年 6 月至 12 月期間，分別進行了 6 次路測、6 次定點測試及 4 次定點特定種類應用測試，通過大量收集多維度數據，全面對比並分析數據從而整體展示本澳各移動通信網絡運營商之 4G 網絡性能。

實驗設計的基本原則是使用市面上的通用移動通信設備、第三方開源測試應用和第三方的專業網絡測試軟件，多維度地，大量地採集通信質量相關網絡性能技術指標（客觀）和用戶體驗評價指標（主觀）以確保數據的可信度從而提升數據說服力，並通過科學合理的統計學理論分析以及直觀的數據可視化方法，展示本澳各個運營商的 4G 移動通信網絡性能，從而做出公平直觀客觀的評價。

## 4. 數據採集

為充分全面展示網絡性能，設計相應的數據採集實驗以獲取多維度的大量的真實數據是重中之重。我們的數據採集實驗分為三種類型：路測，定點測試以及定點特定種類應用測試，分別為收集不同的評價指標而設置。

本報告採集的數據可分為兩大類：通訊網絡性能數據和用戶主觀體驗數據。由於各運營商的基站分布於本澳各處，位置不一且隱蔽性高，因此，數據採集以一般行人及車輛可到之處為準。

### 4.1. 路測

路測實驗採用將測試設備放置在移動的車輛中進行實時的數據收集工作。為確保數據的有效性和真實性，我們多次重複進行實驗並真實準確記錄數據。路測實驗主要設置如下：

- 行車線路：覆蓋澳門全區域的 10 條交通主要道路，詳情見附件一。
- 使用設備：IBeflex 頻率掃描器、數臺同型號手機，各個運營商的 SIM 卡，TEMS 軟件及 Huawei PHU 軟件
- 數據種類：
  - 1) 實時位置
  - 2) 實時時間
  - 3) 頻段
  - 4) 基站信息
  - 5) RSRP
  - 6) RSRQ
  - 7) CINR
  - 8) 上下行吞吐量

#### 4.2. 定點測試

定點測試採用在指定位置以人手持移動通信設備，利用第三方的測速軟件的方式進行數據採集工作。為確保數據的有效性和真實性，我們多次重複進行實驗並真實準確記錄數據。主要設置如下：

- 定點位置：在澳門全域選取 22 個地點，詳情見附件二。
- 使用設備：數臺同型號手機、各個運營商的 SIM 卡及 Ookla Speedtest 軟件。
- 數據種類：
  - 1) 實時位置
  - 2) 實時時間
  - 3) 上行以及下行速率

#### 4.3. 定點特定種類應用測試

為進一步模擬用戶的手機使用習慣從而獲得主觀切實的用戶使用感受，我們在 5 類應用（通信類/視頻類，網絡社交類，短視頻類，遊戲類）中分別選取了澳門最多人使用的應用軟件，指導測試者進行統一的測試項目，收集測試者的主觀使用感受。為確保數據的有效性和真實性，我們採用大量多次的重複實驗並取平均值的方法完成實驗。主要設置如下：

- 定點位置：在澳門全域選取 4 個有代表性的人流量較大地點，詳情見附件三。
- 使用設備：數臺同型號手機，各個運營商的 SIM 卡
- 應用種類：Youtube, Wechat, Facebook, Tiktok 及 AoV。
- 數據種類：收集用戶體驗相關指標，詳情請見附件四。

## 5. 數據處理

由 2022 年 6 月至 12 月期間，我們共進行 6 次路測，共收集路測原始數據：運營商 A 187200 條，運營商 B 112200 條，運營商 C 37844 條，運營商 D 37857 條。

測試收集的三項主要的通信網絡性能指標分別為參考信號接收質量 (RSRQ)，載波干擾噪聲比或信號干擾噪聲比 (CINR or SINR) 和參考信號接收功率(RSRP)，其值可以被分為 4 個區間：優、良好、一般和不良。

RSRQ: RSRQ 用於衡量手機端接收到的參考信號質量，從而根據信號質量來對不同的 4G 候選小區進行排序。這種測量用作切換和小區重選決定的輸入。

以下是 RSRQ 訊號強度的區間段表示。

RSRQ	訊號強度
> -9 dB	優
-9 dB to -12 dB	良好
< -13 dB	一般至不良

CINR: CINR 提供了所需信號與噪聲或幹擾加噪聲的相對強度。其值對於接收端是否可以準確解碼信號有重要意義，CINR 值過低會導致信號傳輸失敗。

以下是 CINR 訊號強度的區間段表示。

CINR	吞吐量
> 10	優
6 to 10	良好
0 to 5	一般
< 0	不良

RSRP: RSRP 是 LTE 網絡中可以代表移動信號強度的關鍵參數以及物理層測量需求之一，是在某個傳輸符號內承載參考信號的所有資源塊（RB）上接收到的信號功率的平均值。以下是 RSRP 訊號強度的區間段表示。

RSRP	訊號強度
> -90 dBm	優
-90 dBm to -105 dBm	良好
-106 dBm to -120 dBm	一般
< -120 dBm	不良

## 6. 分析

### 6.1. 統計性分析

統計性分析之作用主要觀測數據之形狀，以對數據有全局認識。將四家運營商的所有數據做統計學分析，求得最大值，最小值，均值，中位數，上四分位值，下四分位值和方差。表 1 中，紅色標記為每項指標最差值，綠色則為最好。通過對比發現，運營商 A 總體表現最好和最壞的情況比例較少。運營商 B 的 RSRQ 和 CINR 的表現最差，RSRP 的表現處於中等水平。運營商 C 整體上表現較好，無最壞的情況。運營商 D 的 RSRQ 和 CINR 表現最好，但在 RSRP 上的表現較差。

### 6.2. 通訊性能分析

在採集到的數據中，把第 5.1 節所提及的三個網絡性能指標全為優的篩選出來，如只從信號強弱度為優的來看，各運營商情況相近。由於 4G 移動網絡是以商業策略針對目標客戶群作出區域覆蓋的範圍而設計及配置，因此從本澳全區域信號強弱分佈及整體上下行速率來看是相對重要。

#### 6.2.1. 覆蓋範圍

我們把三個性能指標全為優的性能指標以本澳地圖放大顯示，如圖 1 所示的各運營商在本澳主要街道上通信網絡性能指標分佈情況，運營商 A (圖 1a) 的優指標在地圖上分佈平均且覆蓋範圍理想，運營商 B (圖 1b) 也優指標分布平均，覆蓋範圍也理想，相對地，運營商 C 的分布 (圖 1c) 不太均勻，有明顯區域的通訊指標不是優，形成斷斷續續的藍點，同一情況也可見於運營商 D (圖 1d)，紅點分佈斷斷續續的情況較為明顯。

表 1：各運營商各通信網絡性能指標統計分析

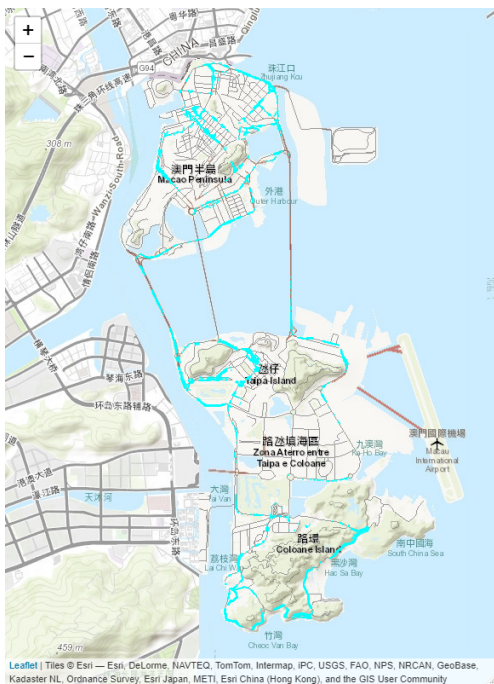
RSRQ				
指标	運營商 A	運營商 B	運營商 C	運營商 D
最小值	-40	-40	-40	-40
上四分位值	-12.2	-13.4	-11.8	-10.8
中位數	-10	-10.9	-10	-8.9
均值	-10.69	-11.57	-10.22	-9.525
下四分位值	-8.3	-8.8	-8.1	-7.6
最大值	-3	-3	-3	-3
方差	13.2436	14.6819	9.30984	7.42045
CINR				
指标	運營商 A	運營商 B	運營商 C	運營商 D
最小值	-30	-30	-30	-25.9
上四分位值	2.7	0.2	2.4	4
中位數	7.7	4.7	6.8	8.5
均值	8.525	5.556	7.908	8.922
下四分位值	13.9	10.2	12.6	13.5
最大值	40	40	40	40
方差	81.711	67.117	64.9307	53.7435
RSRP				
指标	運營商 A	運營商 B	運營商 C	運營商 D
最小值	-130	-130	-123.4	-111.7
上四分位值	-79.6	-76.3	-74.6	-81.7
中位數	-72.4	-69.4	-68.8	-74.7
均值	-72.76	-70.09	-69	-75.28
下四分位值	-65.1	-62.9	-62.7	-68.6
最大值	-31.8	-29.4	-32	-37.9
方差	145.111	124.51	92.1375	94.0807



(a) 運營商 A



(b) 運營商 B



(c) 運營商 C



(d) 運營商 D

圖 1: 通信網絡性能指標全為優之街道熱力圖



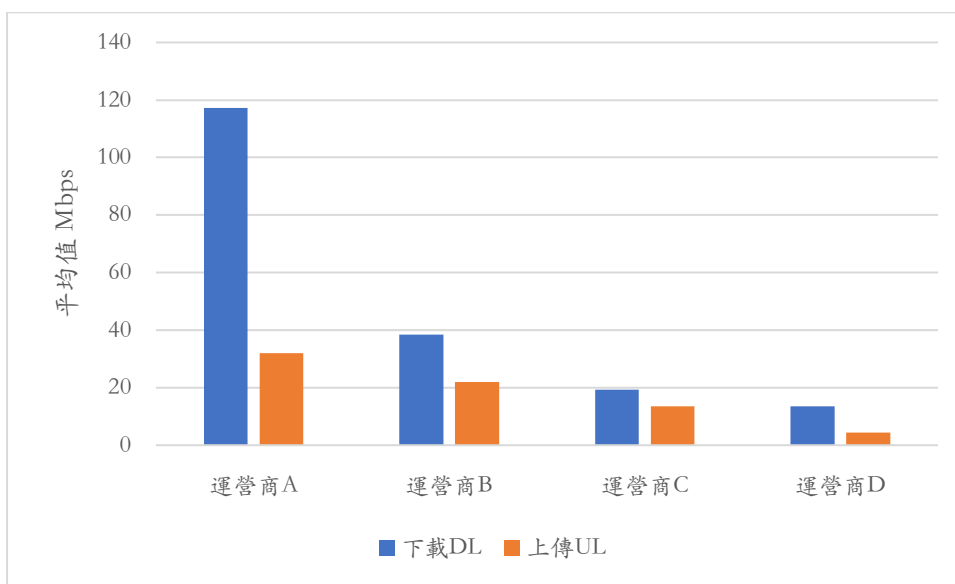
## 6.2.2. 上下行速率

用戶往往會忽略 4G 移動網絡上下速率，或會簡單以快或慢的主觀單一指標來評價，而對具體速度則不太關注。因此，我們對本澳兩個行政區域：澳門半島和氹仔，進行了 4 次定點網速測試，得出澳門及氹仔上下行的均速(見表 2)，並以圖 2 對比各運營商的速度。

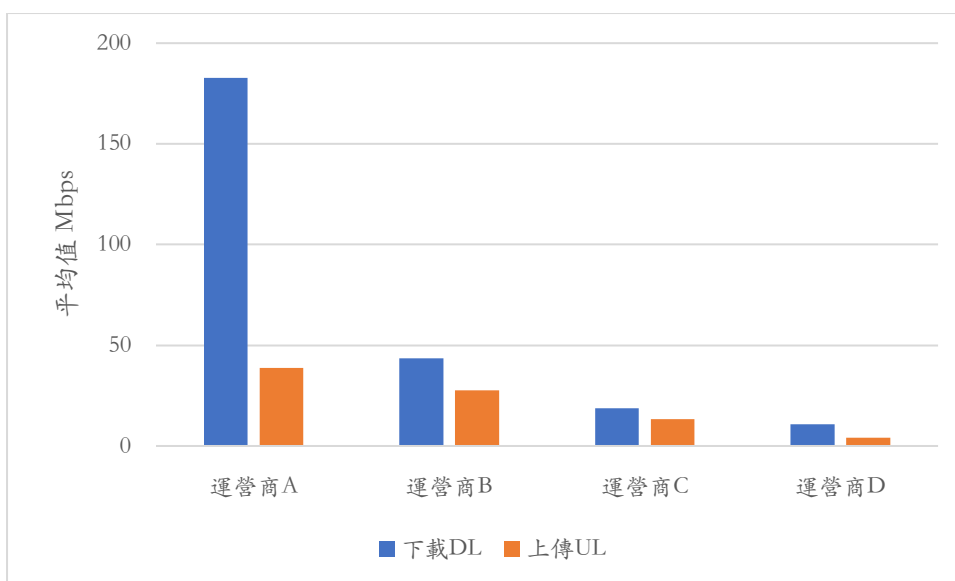
表 2: 各運營商在澳門半島和氹仔的上下載的均速

區域	運營商	下載 DL	上傳 UL
澳門半島	運營商 A	153.1064444	37.69230556
氹仔	運營商 A	127.1037037	37.22787037
澳門半島	運營商 B	49.75411111	29.16619444
氹仔	運營商 B	52.90583333	24.38583333
澳門半島	運營商 C	17.7445	13.11108333
氹仔	運營商 C	18.69327103	13.62196262
澳門半島	運營商 D	11.84152778	4.563722222
氹仔	運營商 D	14.26546296	4.913518519

圖 2 中澳門半島和氹仔所測出的上行速率和下行速率中，均以運營商 A 速度為最快，其餘運營商處於中等水平。



(a) 澳門半島



(b) 氹仔

圖 2: SpeedTest 中各運營商上行下行速度對比

### 6.3. 用戶體驗分析

用戶體驗是從應用程式的使用時得出，我們挑選了幾個本澳常用的應用程式進行數據收集和比較，分別是 YouTube、Facebook、TikTok、WeChat 及 AoV。我們針對這五款應用所涉及的圖片視頻上傳下載時間、高清視頻及語音播放流暢性及瀏覽滑屏的流暢性等項目一共進行了四次測評（詳細測評項目請見附件四）。值得注意的是，由於不同應用程式所記錄的數據單位不一致，我們對各運營商的每款應用的數據進行統計學公式歸一化求均值操作，從而獲得計得各運營商在每個應用的指標總值並作出客觀的量化比較，該統計學分析中所用的指標計算公式如下：

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i - \min(x_1, x_2, \dots, x_m)}{\max(x_1, x_2, \dots, x_m) - x_i}}{n}$$

其中  $x$  是一個測量指標， $m$  是一個應用程式四家運營商所有測量指標個數， $n$  是一個運營商測量指標個數， $y$  是指標總值。 $y$  值越大則網絡延遲越小，用戶體驗越好。

經統計計算後，各運營商在應用程式上的測量指標總值數據差異大（如圖 3 所示），運營商 A 的延遲相對太少，即網絡回應快，表現最佳，準確數值可見於表 3。

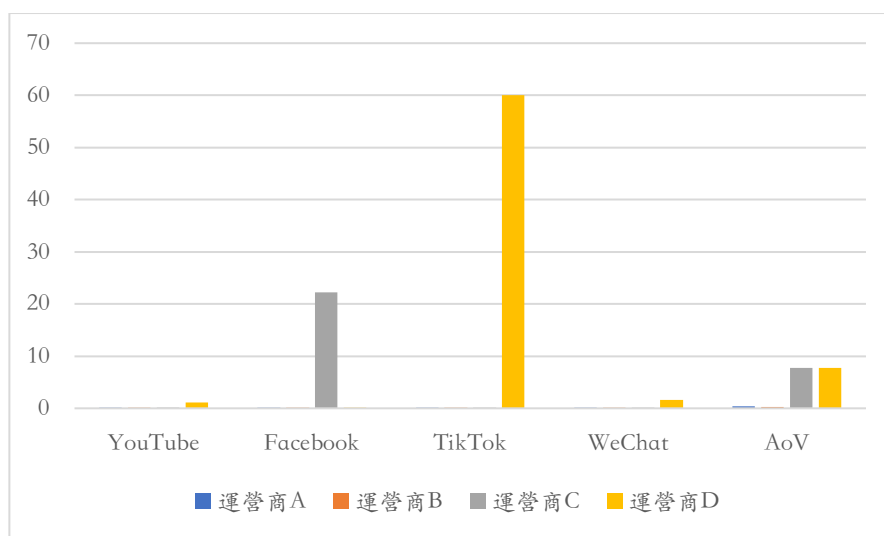


圖 3：應用程式測量指標

表 3: 各運營商在應用程式延遲測量指標

	YouTube	Facebook	TikTok	WeChat	AoV
運營商 A	1.399071	0.020305	0.016154	0.022229	0.330133
運營商 B	2.793678	0.024764	0.020412	0.032597	0.312681
運營商 C	4.187477	7.835081	0.029301	0.046814	3.338122
運營商 D	6.973752	0.038161	13.83095	0.785484	3.231371

如表 3 所示，運營商 A 在 YouTube、Facebook、TikTok 及 WeChat 均表現最佳，相對地，運營商 B 在 AoV 上表現最理想。而運營商 C 和運營商 D 在幾個應用程式上表現均為中等，但是運營商 D 在 TikTok 上表現遠差於其他運營商，從客戶的體驗來看，運營商 A 提供了相對好的體驗。

## 7. 結束語

按上述數據分析，可見整體澳門移動網絡性能基本上都能滿足用戶一定的網絡服務需求，同時我們發現各運營商的網絡覆蓋程度不太相同，各有考量，主要可從以下兩個方面解讀：

- 1) 商業策略 - 針對各自聚焦的客戶群，運營商設計移動網絡時會考慮他們的通常活動地點，安排資源提供服務，如旅客常見於口岸、酒店、購物中心、賭場等，本澳居民則常見於住宅區、學校、商業區等地方。因此，個別運營商所考慮設置的網絡基站點及數量多少不盡相同，運營商亦會針對用戶日常使用手機網絡習慣而作相對的資源調整配置；
- 2) 用戶體驗 - 穩定的客戶滲透是運營商設計移動網絡時的另一重要考慮因素，用戶在網絡使用習慣上會不斷追求更高質量的網絡連線體驗，因此，運營商會在成本投資和滿足用戶需求兩方面追求平衡，因而對網絡基站配置安排作出不同的設計和考量。

基於以上，我們認為運營商配合商業策略和用戶體驗進行架設移動網絡、定期監控、客觀評價其網絡服務質量，並有針對性的對網絡中的問題進行優化調整，可以極大程度上迎合用戶們的需求，增強用戶體驗。結合主客觀結果，我們認為網絡覆蓋程度和網絡上下行速度的客觀指標與用戶主觀體驗有很直接的關係，例如，在 6.3 節的結果中，運營商 A 在本澳的幾個常用軟件測試中都有相對明顯的優勢，這一結果也匹配了圖 1 和圖 2 所展示的客觀網絡性能指標對比結果。

附件一：路測道路信息



附件二：定點測試地點信息

No	地點
1	關閘巴士總站
2	台山麥當勞
3	水坑尾公共行政大樓
4	鏡湖醫院
5	雅廉訪 - 賈梅士商業中心澧蒼廣場
6	置富商場 (三盞燈)
7	信步閒庭 DON DON DONKI
8	信和廣場 麥當勞
9	來來超級市場 聯薪廣場
10	筷子基巴士總站
11	理工大學
12	星光書店
13	東南亞大堂
14	建興龍商業大廈
15	新口岸科英布拉街巴士總站
16	澳門文化中心
17	澳門科學館 (麥當勞)
18	氹仔 星皓廣場
19	澳門理工氹仔宿舍
20	氹仔金利達小泉居
21	花城公園
22	湖畔大廈

附件三：定點特定種類應用測試地點信息

No	地點
1	鏡湖醫院
2	信和廣場 麥當勞
3	理工大學
4	氹仔 星皓廣場



附件四：定點特定種類應用測試測試內容信息

Youtube	開啟視頻是否卡頓/轉圈時長(秒)
	檢查預設像素(360/480/720/1080)P
	播放 1 分鐘卡頓次數
	1080P 跳播卡頓時長(秒)
	1080P 回放卡頓時長(秒)
	1080P 播放 1 分鐘卡頓次數
Facebook	滑屏(20 段影片)卡頓/加載次數
	快速瀏覽(跳播)卡頓時長 (秒)
	快速回放卡頓時長
	上載 30 秒片段用時 (Bar) (秒)
	上載 30 秒片段用時(快將完成) (秒)
Tiktok	下載約 30 秒影片時長(秒)
	上載 60 秒影片時長(秒)
	快速滑屏(20 段影片), 有卡頓/加載次數
Wechat	影片訊息(30 秒片段) (秒)
	看一看 出現卡頓次數,(滑屏 20 段影片)
	影片訊息(30 秒片段)
	看一看+ 出現卡頓次數,(滑屏 20 段影片)
	圖片訊息(相簿備定圖片)
	圖片訊息(相簿備定圖片) (秒)
	語音通話(Smooth/Lag)
	圖像(Smooth/Lag)
	語音(Smooth/Lag)
	文字訊息
	語音訊息(約 10 秒)
	朋友圈(20 圖片 Post), 未成功加載次數
	文字訊息 (秒)
	語音訊息(約 10 秒) (秒)
	影音號出現卡頓次數,(滑屏 20 段影片)
AoV	遊戲時 Ping(最低~最高值)
	遊戲時延遲/卡頓次數