

GIẢI PHÁP QUY HOẠCH LẠI BĂNG TẦN GSM 900MHZ CHO MẠNG 5G TẠI VIỆT NAM

Phạm Quốc Cường^{1*}, Tăng Tấn Chiến²

¹Trung tâm TMC MobiFone – Tổng Công ty Viễn thông MobiFone,

²Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng

TÓM TẮT

Ngày nay với sự phát triển của khoa học kỹ thuật trong thời kỳ chuyển đổi số và cách mạng công nghiệp 4.0 với các xu hướng công nghệ như IoT, Big Data, AI, ... thì nhu cầu truyền thông băng rộng với tốc độ dữ liệu hàng Gbps là rất quan trọng. Để đáp ứng được nhu cầu đó thì ngành công nghiệp viễn thông thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng phải phát triển công nghệ di động 5G là điều tất yếu. Tuy nhiên, tài nguyên tần số đang dần cạn kiệt nên quy hoạch lại tần số là giải pháp hiệu quả về mặt chi phí để các nhà mạng di động đa dạng hóa các dịch vụ được triển khai trên nền tảng 5G mà không cần phải đấu giá phổ tần số mới.

Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu lý thuyết và tiến hành đo kiểm thực nghiệm để đề xuất giải pháp quy hoạch lại băng tần GSM-900MHz để dành tài nguyên tần số cho việc triển khai mạng 5G phục vụ ứng dụng IoT diện rộng tại Việt Nam. Kết quả cho thấy sau khi quy hoạch lại băng tần GSM 900MHz thì chất lượng vùng phủ 2G vẫn đảm bảo cho việc sử dụng dịch vụ thoại trên mạng 2G và tài nguyên cắt giảm sẽ được dùng để triển khai 5G phục vụ ứng dụng IoT diện rộng.

Từ khóa: Truyền thông băng rộng; Mạng di động thế hệ thứ 5; Tài nguyên tần số; Quy hoạch lại; Băng tần số GSM-900MHz.

Ngày nhận bài: 03/9/2019; Ngày hoàn thiện: 19/9/2019; Ngày đăng: 07/10/2019

SOLUTIONS TO REFORM GSM-900 MHZ BAND FOR 5G NETWORK IN VIETNAM

Pham Quoc Cuong^{1*}, Tang Tan Chien²

¹MobiFone TMC Center – MobiFone Corporation

²Danang University of Science and Technology

ABSTRACT

Nowadays, the broadband communication needs with multi-Gbps data rate play an important role in the development of science and technology in the period of digital transformation and industrial revolution 4.0 with technology trends such as IoT, Big Data, AI, ... In order to meet these trends, the telecommunication industry in the world in general and of Vietnam in particular must develop 5th mobile technology, which is inevitable. Because frequency resources are gradually depleted, spectrum refarming is a cost-effective solution for mobile network operators to diversify their services deployed on the 5G platform without auctioning a new spectrum.

In this paper, we study theories and conduct empirical tests to propose solutions to refarm the GSM-900MHz band to reserve frequency resources for rolling out 5G network in the Massive IoT field in Vietnam. The results show that the quality of 2G coverage still ensures for using of voice services based on 2G network and resources cut can be used to deploy 5G serving Massive IoT applications after refarming the GSM 900MHz band.

Keywords: Broadband communication; 5th generation mobile network; Frequency resources; Refarming; GSM-900MHz frequency band.

Received: 03/9/2019; Revised: 19/9/2019; Published: 07/10/2019

* Corresponding author. Email: cuong.phamquoc@mobifone.vn

1. Giới thiệu

Hiện nay, mạng di động thế hệ thứ 5 (5G) được xem là “xương sống” của quá trình chuyển đổi số và cách mạng công nghiệp 4.0, sự ra đời của mạng 5G cùng với sự tăng trưởng chưa từng có về số lượng thiết bị IoT được đánh giá là cuộc cách mạng số hóa của thời đại mới. Theo thống kê của hãng công nghệ Qualcomm, trên thế giới đã có hơn 18 nhà mạng triển khai thử nghiệm và thương mại hóa mạng 5G với hơn 20 nhà cung cấp thiết bị viễn thông khác nhau [1].

Mạng 5G được dự báo phát triển bùng nổ vào năm 2020 và tạo ra cuộc cách mạng về tốc độ truyền tải dữ liệu, xóa bỏ khoảng cách giữa dịch vụ băng rộng vô tuyến so với băng rộng cố định cũng như kích hoạt làn sóng công nghệ, ứng dụng mới trong các lĩnh vực kinh tế-xã hội, giải quyết thách thức kết nối Internet vạn vật, đáp ứng nhu cầu kết nối mọi lúc mọi nơi [1], [2].

Ngày 25/04/2019, Tập đoàn Công nghiệp Viễn thông Quân đội (Viettel) đã hoàn thành tích hợp hạ tầng phát sóng 5G đầu tiên tại Hà Nội và phát sóng thử nghiệm thành công trên băng tần được Bộ Thông tin và truyền thông cấp phép. Tốc độ kết nối trong các bài đo thử nghiệm dao động từ 600 – 700Mbps - tương đương với tốc độ công bố của mạng 5G Verizon (Hoa Kỳ) [3].

Theo Sách trắng Công nghệ thông tin và truyền thông Việt Nam 2017 – Bộ Thông tin và truyền thông thì tổng số thuê bao di động 2G có xu hướng giảm trong khi đó tổng số thuê bao di động băng rộng lại tăng [4], điều đó cho thấy dịch vụ thoại, nhắn tin trên nền tảng 2G vẫn còn duy trì nhưng tốc độ tăng trưởng thuê bao sử dụng dịch vụ dữ liệu cao hơn rất nhiều. Do đó, việc giảm bớt tài nguyên tần số và hướng đến ngừng cấp dịch vụ 2G là điều tất yếu trong tương lai.

Bài báo thực hiện nghiên cứu và đề xuất giải pháp quy hoạch lại băng tần số GSM 900MHz để dành dải tần số cho việc triển khai mạng 5G phục vụ ứng dụng IoT diện rộng tại Việt Nam.

2. Xu hướng phát triển dịch vụ băng rộng trên thế giới

Theo dự báo tại thời điểm 2019 của hãng công nghệ Cisco thì lưu lượng dữ liệu di động toàn cầu trong giai đoạn 2017-2022 sẽ chạm các cột mốc sau [5]:

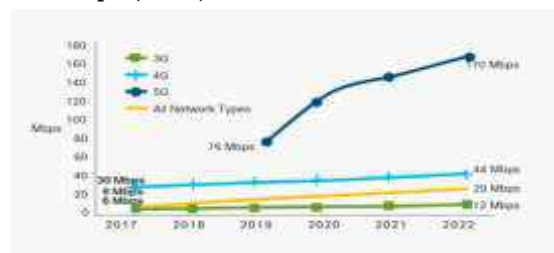
- Lưu lượng dữ liệu di động toàn cầu hàng tháng đạt 77 exabyte trước năm 2022 và lưu lượng hàng năm ước tính một zettabyte.
- Lưu lượng thông tin di động sẽ chiếm 20% tổng lưu lượng IP trước năm 2022.
- Lưu lượng dữ liệu 5G sẽ chiếm 10-12% tổng lưu lượng di động.
- Khoảng 79% lưu lượng dữ liệu di động là video vào năm 2022.
- Trung bình sẽ có 1,5 thiết bị/người tương đương 12,3 tỉ thiết bị được kết nối trong đó kết nối 5G chiếm 3,4% tổng số lượng kết nối và chiếm khoảng 11,8% tổng lưu lượng.



Hình 1. Dự báo tăng trưởng lưu lượng dữ liệu di động toàn cầu giai đoạn 2017-2022 [5]

Tốc độ kết nối mạng di động trung bình năm 2017 là 8,7 Mbps, tốc độ trung bình này sẽ tăng lên 28,5 Mbps vào năm 2022 với tỉ lệ tăng trưởng lũy kế hàng năm (CAGR) là 26,7% [5].

Trước năm 2022, tốc độ 4G sẽ tăng gấp đôi tốc độ trung bình kết nối mạng di động còn tốc độ 5G sẽ tăng từ 76 Mbps (2019) lên tới 170Mbps (2022).



Hình 2. Tốc độ kết nối di động theo công nghệ mạng [5]

Từ hình 1 và 2 có thể thấy rằng, trong những năm tới mạng 5G sẽ đóng vai trò chủ đạo trong việc cung cấp truyền thông tốc độ cao để kết nối các thiết bị di động thông minh, PC, M2M, thiết bị IoT,

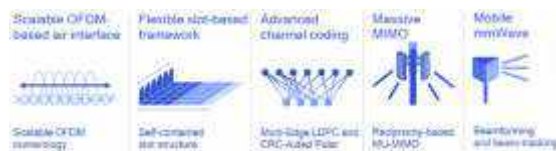
3. Thông tin di động thế hệ thứ 5 (5G)

Trong hơn 3 thập kỷ qua, thông tin di động đã có những bước tiến vượt bậc trong việc cung cấp thông tin truyền thông từ thế hệ 1G đến 4G/LTE-A. Trung bình khoảng 10 năm thì một thế hệ thông tin di động mới được ra đời cung cấp kết nối với tốc độ cao hơn, dịch vụ đa dạng hơn [2]. Bây giờ, chúng ta đang ở thời kỳ bình minh của công nghệ mạng di động 5G – cầu nối xuyên suốt cho rất nhiều lĩnh vực công nghiệp và hứa hẹn mang lại những lợi ích rất lớn về kinh tế-xã hội ở mọi quốc gia.

Các thế hệ di động trước đó liên tục cung cấp và cải tiến chất lượng dịch vụ thoại, dữ liệu,... nhưng 5G làm được nhiều hơn thế. 5G là nền tảng hình thành kết nối ảo mọi thứ từ robot đến con người, từ công nghiệp kết nối tới nông nghiệp [2], ... Hình 3 minh họa về ứng dụng của mạng 5G ở hiện tại và trong tương lai.



Hình 3. Ứng dụng của thông tin di động 5G [2]



Hình 4. Các kỹ thuật chính trong mạng 5G [7]

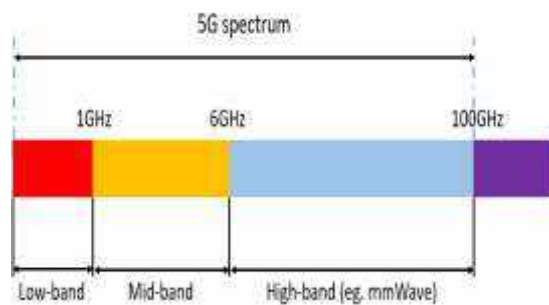
Mạng 5G có thể hoạt động và triển khai trên nhiều băng tần số khác nhau tùy vào mục đích của nhà mạng muốn cung cấp loại hình dịch vụ nào [6], [8]:

- Băng tần số cao trên 24 GHz (mmWave):

mạng 5G hoạt động trên băng tần này có băng thông cực rộng do đó sẽ cung cấp dịch vụ băng rộng di động tăng cường (eMBB) với các đặc trưng như tốc độ truyền tải dữ liệu cực cao, độ trễ cực thấp, đảm bảo tính toàn vẹn kết nối.

- Băng tần số trung bình từ 1-6 GHz: mạng 5G hoạt động trên băng tần này có băng thông rộng hướng đến cung cấp các dịch vụ điều khiển nhiệm vụ quan trọng như ô tô tự lái, thiết bị bay không người lái (drones, UAV), robot, tự động hóa, ... với các đặc trưng dịch vụ như độ tin cậy, độ khả dụng cực cao, bảo mật truyền thông toàn trình tốt, độ trễ thấp.

- Băng tần số thấp dưới 1GHz: mạng 5G hoạt động trên băng tần cung cấp kết nối dịch vụ cho các ứng dụng IoT diện rộng với các đặc trưng như tốc độ truyền tải dữ liệu linh hoạt từ vài kbps lên đến Gbps cho phép tương thích nhiều loại thiết bị, mở rộng vùng phủ do tần số thấp thì suy hao đường truyền nhỏ nên bán kính vùng 5G phủ lớn và công suất thấp thích hợp cho các thiết bị đầu cuối, các mạng cảm biến hoạt động liên tục trong khoảng thời gian dài đối với các ứng dụng dựa trên nền tảng mạng diện rộng công suất thấp (LPWAN) như thành phố thông minh, ...



Hình 5. Phổ tần số hoạt động của mạng 5G

Đến thời điểm hiện tại có hơn 18 nhà mạng di động tại hơn 10 quốc gia trên thế giới bao gồm các nước đi đầu về lĩnh vực viễn thông như: Hàn Quốc, Hoa Kỳ, Nhật Bản, Đức, Anh, Pháp, Canada, Nga, Singapore, Phần Lan,... đã triển khai mạng 5G. Hình 6 minh họa quy hoạch dải tần số hoạt động của mạng 5G tại một số quốc gia.



Hình 6. Quy hoạch tần số tại một số quốc gia [7]

Từ hình 6 có thể thấy ít nhất 7 quốc gia quy hoạch sử dụng băng tần số thấp (<1 GHz) để triển khai mạng 5G cung cấp dịch vụ Massive IoT. Tần số vô tuyến điện là tài nguyên đặc biệt quan trọng của mỗi quốc gia và đang dần cạn kiệt nên một số nhà mạng trên thế giới đang tính đến việc quy hoạch lại băng tần nhằm giảm tải nguyên cấp phát cho mạng 2G cũng như tiến tới ngưng cung cấp dịch vụ 2G để dành băng tần cho việc triển khai mạng 5G.

Bảng 1. Lộ trình tắt sóng 2G tại một số quốc gia Bắc Mỹ [9]

Thời gian	Nhà mạng	Quốc gia	Công nghệ
01.12.2016	Manitoba Telecom	Canada	CDMA
01.01.2017	Bell	Canada	CDMA
2019	AT&T	Mexico	GSM
2020	Movistar	Mexico	GSM
31.12.2016	AT&T	USA	GSM
31.12.2019	Verizon Wireless	USA	CDMA

Để hội nhập cùng với xu thế phát triển của ngành viễn thông trên thế giới thì việc giảm tải nguyên tần số 2G để triển khai 5G tại Việt Nam là điều tất yếu.

4. Giải pháp quy hoạch lại băng tần GSM 900MHz cho mạng 5G tại Việt Nam

4.1. Bảng tần thông tin di động tại Việt Nam

Theo Sách trắng Công nghệ thông tin và truyền thông Việt Nam 2017 – Bộ Thông tin và truyền thông thì ba nhà mạng cung cấp dịch vụ di động lớn nhất Việt Nam là Viettel, MobiFone, VinaPhone triển khai thương mại hóa mạng 2G, 3G và 4G [4].

Quy hoạch băng tần số cho các mạng di động mặt đất (PLMN) hiện tại như sau:

Bảng 2. Bảng tần thông tin di động tại Việt Nam

Thông tin di động	Công nghệ	Băng tần
2G	GSM	900 MHz
		1800 MHz
3G	WCDMA	900 MHz
		2100 MHz
4G	LTE/LTE-A	1800 MHz

Cả ba nhà mạng đã tái quy hoạch thành công băng tần GSM 1800MHz để triển khai mạng 4G chuẩn LTE và chuẩn LTE-A.

4.2. Giải pháp quy hoạch băng tần GSM 900 MHz cho mạng 5G

Phân bổ tần số 2G GSM 900 MHz cho ba nhà mạng hiện tại như hình 7:



Hình 7. Phân bổ tần số ARFCN 2G 900MHz cho ba nhà mạng

Mỗi kênh tần số 2G có độ rộng $\Delta f = 200\text{kHz}$, tần số hướng downlink và hướng uplink tính theo ARFCN dựa trên các công thức [10]:

$$f_{\text{uplink}} = \frac{\text{ARFCN}}{5} + 890 \text{ [MHz]} \quad (1)$$

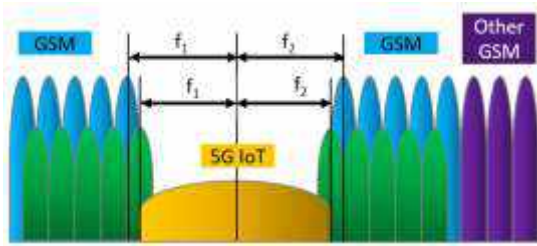
$$f_{\text{downlink}} = f_{\text{uplink}} + 45 \text{ [MHz]} \quad (2)$$

Từ hình 7 và công thức (1), (2) có thể suy ra tần số hướng downlink/uplink của các nhà mạng tại Bảng 3.

Bảng 3. Dải tần số 2G hướng downlink và uplink

Nhà mạng	ARFCN	Dải tần downlink (MHz)	Dải tần uplink (MHz)
Operator 1	1-41	935,2-943,2	890,2-898,2
Operator 2	43-83	943,4-951,6	898,4-906,6
Operator 3	84-124	951,8-959,8	906,8-914,8

Theo đặc tả kỹ thuật của Liên minh viễn thông quốc tế ITU thì băng tần GSM 900MHz có thể triển khai mạng 5G có tên là n8 và hoạt động chế độ song công phân chia theo tần số FDD [11].



Hình 8. Quy hoạch phổ tần số kiểu đan xen công nghệ GSM với 5G Massive IoT

Một số nhà mạng trên thế giới triển khai thành công độ rộng phổ tần dành cho IoT là 2x3 (MHz) trên băng tần số thấp 700 MHz [12] nên bài báo đề xuất quy hoạch độ rộng phổ tần tương tự trên băng tần 900 MHz (<1GHz) và thực hiện khảo sát đánh giá. Kiểu quy hoạch tần số là phổ công nghệ 5G IoT chen giữa phổ công nghệ 2G GSM (sandwich allocation) với mục đích tối thiểu hóa nhiễu đồng kênh và cận kênh BCCH nên sẽ cắt giảm ARFCN nằm ở dải tần số trung tâm với số lượng kênh là 15 ứng với độ rộng phổ tần là $\Delta f = 15 \times 200\text{kHz} = 3\text{MHz}$ tương ứng với hướng downlink và uplink.

Bài báo đưa ra giải pháp quy hoạch lại băng tần GSM 900 MHz qua việc cắt giảm bớt tài nguyên kênh tần số 2G của các nhà mạng để dành tài nguyên cho mạng 5G cung cấp dịch vụ Massive IoT trong bối cảnh tài nguyên tần số đang cạn kiệt. Nhóm giải pháp quy hoạch lại băng tần GSM 900MHz của ba nhà mạng được đề xuất như sau:

Bảng 4. Giải pháp cắt giảm tần số 2G ba mạng

Nhà mạng	ARFCN cắt giảm	Dải tần cắt giảm hướng DL (MHz)	Dải tần cắt giảm hướng UL (MHz)	Loại kênh
Operator 1	14-28	937,8-940,6	892,8-895,6	BCCH, SDCC H, TCH
Operator 2	55-69	946,0-948,8	901,0-903,8	
Operator 3	97-111	954,4-957,2	909,4-912,2	

Tùy vào chiến lược phát triển mạng lưới của các nhà mạng mà số lượng kênh cắt giảm cho 5G có thể tăng lên nhưng phải đảm bảo cân bằng với số thuê bao 2G.

4.3. Kết quả thử nghiệm cắt giảm tần số 2G

Tiến hành thực nghiệm bằng cách đo kiểm quét vùng phủ 2G GSM dải tần 900MHz và 1800MHz toàn tỉnh Khánh Hòa vào tháng 3/2019 sau đó áp dụng các giải pháp quy hoạch tần số đã đề xuất để đánh giá chất lượng vùng phủ trước 2G trước và sau quy hoạch.

4.3.1. Chuẩn bị dữ liệu đo kiểm

Sử dụng máy scanner chuyên dụng quét tần số Nemo FSR1 của hãng Keysight Technologies [13] cấu hình trên phần mềm Nemo Outdoor quét dải tần 2G GSM 900MHz và 1800MHz trên tuyến đường bộ của tỉnh Khánh Hòa.

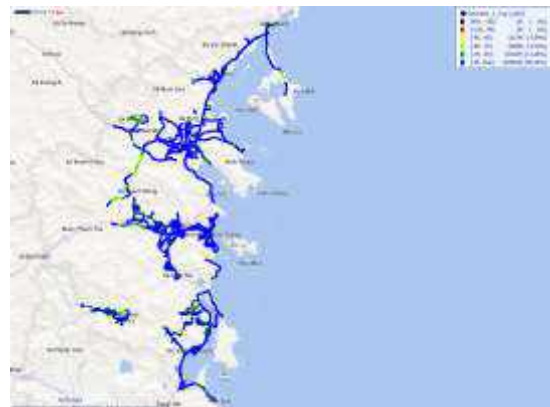


Hình 9. Máy scanner chuyên dụng Nemo FSR1

4.3.2. Phân tích và đánh giá kết quả

Các kết quả đo là những logfile sau đó nhập vào phần mềm phân tích TEMS Discovery [14] để phân tích vùng phủ 2G có được các kết quả sau:

- Bản đồ vùng phủ 2G nhà mạng 1



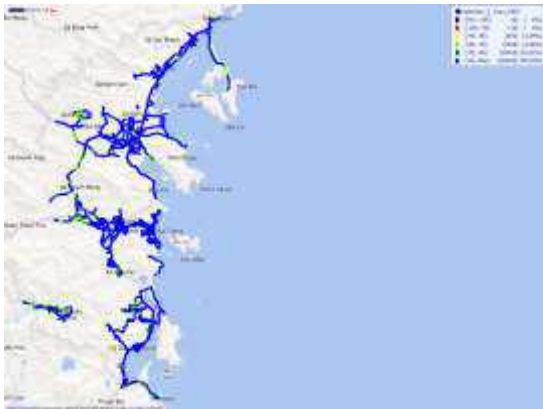
Hình 11. Vùng phủ 2G nhà mạng 1

- Bản đồ vùng phủ 2G nhà mạng 2



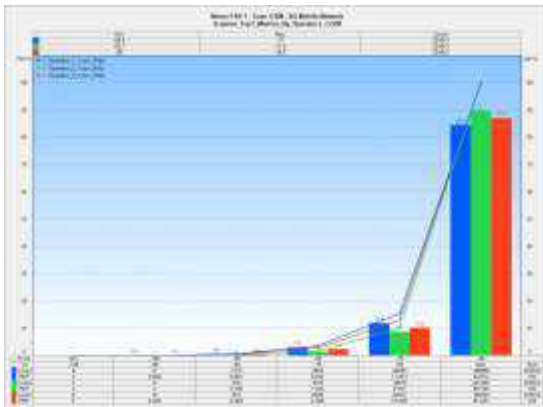
Hình 12. *Vùng phủ 2G nhà mạng 2*

- Bản đồ vùng phủ 2G nhà mạng 3



Hình 13. *Vùng phủ 2G nhà mạng 3*

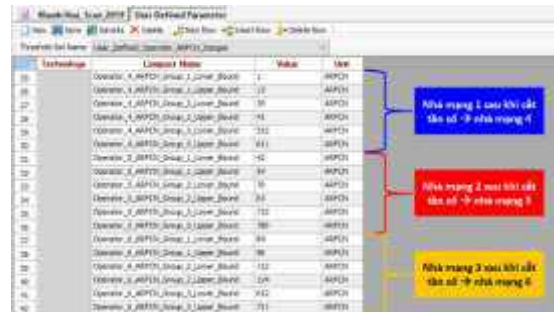
Thống kê dạng biểu đồ histogram phân bố mẫu
mức thu RxLev của ba nhà mạng ở hình 14



Hình 14. Histogram mức thu 2G RxLev của ba nhà mạng

Từ biểu đồ có thể thấy chất lượng vùng phủ để có thể truy cập sử dụng dịch vụ 2G của ba nhà mạng gần như tương đương nhau.

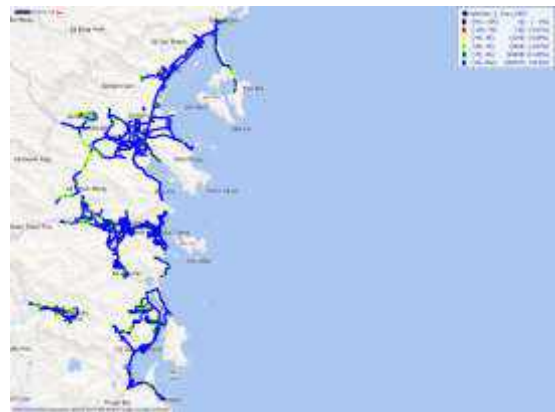
Thực hiện cấu hình cắt giảm tần số GSM 900MHz ba nhà mạng trên phần mềm TEMS Discovery [14] như hình 15.



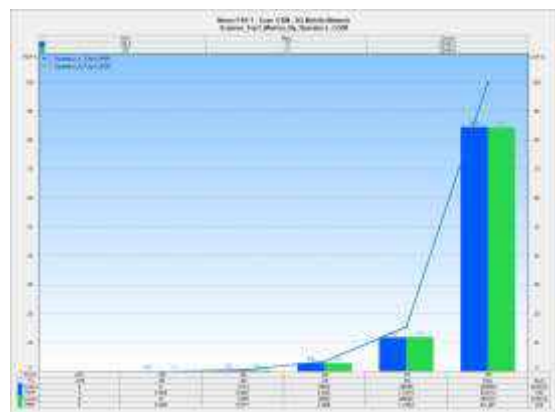
Hình 15. Cấu hình các biên tần số 2G sau khi quy hoạch

Cuối cùng xuất vùng phủ 2G của ba mạng sau khi thực hiện giải pháp quy hoạch lại tần số GSM 900MHz:

- Bản đồ vùng phủ 2G nhà mạng 1

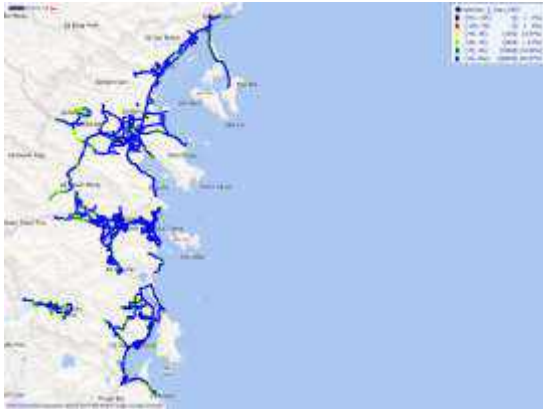


Hình 16. Vùng phủ 2G nhà mạng 1 sau khi cắt tần số

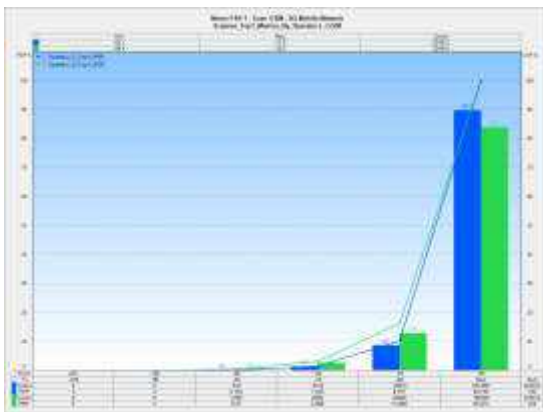


Hình 17. Histogram mức thu RxLev của nhà mạng 1 trước và sau khi cắt giảm tần số GSM 900MHz

- Bản đồ vùng phủ 2G nhà mạng 2



Hình 18. Vùng phủ 2G nhà mạng 2 sau khi cắt tần số



Hình 19. Histogram mức thu RxLev của nhà mạng 2 trước và sau khi cắt giảm tần số GSM 900MHz

- Bản đồ vùng phủ 2G nhà mạng 3

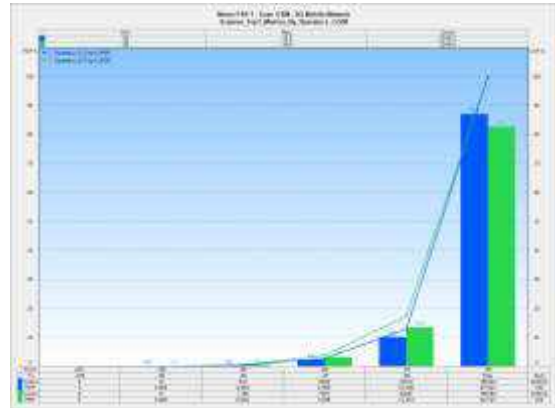


Hình 20. Vùng phủ 2G nhà mạng 3

Từ số liệu thống kê phân bố mẫu mức thu từ các biểu đồ Hình 17, 19 và 21 cho thấy:

- Chất lượng vùng phủ 2G của nhà mạng 1 sau khi quy hoạch tần số là tương đương với vùng phủ trước đó.
- Chất lượng vùng phủ 2G của nhà mạng 2 và 3 sau khi quy hoạch tần số có tỉ trọng số mẫu

trong khoảng $[-75\text{dBm}, -65\text{dBm}]$ cao hơn. Tuy nhiên, vùng phủ của 2 mạng này sau quy hoạch vẫn ở mức tốt – trên 96% tổng số mẫu $\text{RxLev} \geq -95\text{dBm}$, trong khi mức thu để thiết bị di động có thể giải mã thành công bản tin vô tuyến hiện nay tối thiểu là -105dBm .



Hình 21. Histogram mức thu RxLev của nhà mạng 3 trước và sau khi cắt giảm tần số GSM 900MHz

- Sau khi quy hoạch lại tần số 2G, cắt giảm tài nguyên thì chất lượng vùng phủ thể hiện qua tham số RxLev của ba nhà mạng đều đảm bảo xấp xỉ 100% số mẫu đo kiểm có giá trị $\geq -95\text{dBm}$ đây là mức hoàn toàn đảm bảo cho việc sử dụng dịch vụ thoại trên nền công nghệ 2G [15].

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày hướng phát triển về thông tin di động 5G cũng như xu hướng phát triển dịch vụ băng rộng thế giới. Ngành viễn thông của Việt Nam cũng đang hội nhập chung cùng với ngành viễn thông của các nước phát triển trong quá trình thực hiện chuyển đổi số và cách mạng công nghiệp 4.0 trong mọi lĩnh vực.

Tiếp đó nghiên cứu quy hoạch tần số tại các nước đã triển khai thử nghiệm, thương mại hóa thông tin di động 5G và đưa ra giải pháp kỹ thuật đề xuất quy hoạch lại băng tần 2G GSM 900MHz cho mạng 5G hoạt động tại băng tần số thấp tại Việt Nam trong tương lai để triển khai các ứng dụng IoT diện rộng.

Các kết quả khảo sát thực nghiệm trên thực tế được tiến hành tại tỉnh Khánh Hòa để đánh giá hiệu quả của giải pháp từ đó làm nguồn

tham khảo cho các nhà mạng di động triển khai mạng 5G trong bối cảnh tần số vô tuyến ngày càng cạn kiệt và khan hiếm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. George Tsirtsis, “5G From Vision to Reality”, Qualcomm Technologies Inc., 2018.
- [2]. Technical team, “Making 5G NR a reality – Leading the technology inventions for a unified, more capable 5G air interface”, Qualcomm Technologies Inc., December - 2016.
- [3]. Phóng viên tạp chí ICT News, “Hôm qua, Viettel đã phát sóng trạm 5G đầu tiên của Việt Nam, tốc độ tương đương mạng 5G Verizon của Mỹ”, 26/4/2019, <https://www.ictnews.vn/cntt/chuyen-doi-so/hom-qua-viettel-da-phat-song-tram-5g-dau-tien-cua-viet-nam-toc-do-tuong-duong-mang-5g-verizon-cua-my-181782.ict>, truy cập ngày 15/5/2019.
- [4]. Bộ Thông tin và truyền thông, “Sách trắng Công nghệ thông tin và truyền thông 2017”, Nhà xuất bản Thông tin và truyền thông, 2017.
- [5]. Cisco Public, “Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update – 2017-2022”, Cisco Systems Inc., 2019.
- [6]. George Tsirtsis, “The path to 5G New Radio”, Qualcomm Technologies Inc., 2017.
- [7]. George Tsirtsis, “4G and 5G technology seminar”, Qualcomm Technologies Inc., August - 2018.
- [8]. Technical team, “Spectrum for 4G and 5G”, Qualcomm Technologies Inc., December - 2017.
- [9]. Masa Kovaleva, “Global 2G and 3G Phase out/Sunset: What do we know so far”, 14/5/2019, <https://www.emnify.com/blog/global-2g-phase-out>, truy cập ngày 30/5/2019.
- [10]. Group of authors, “GSM frequency band”, 22/5/2012, http://niviuk.free.fr/gsm_band.php, truy cập ngày 30/5/2019.
- [11]. Yulia Klebanova, “5G – technology, spectrum, early use cases”, 6/6/2018, https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/0E/R0A0E0000D80001PDFE.pdf, truy cập ngày 1/6/2019.
- [12]. Janette Stewart, “Successful deployment of NB-IoT will depend on spectrum choices”, 30/1/2017, <https://www.analysysmason.com/About-Us/News/Newsletter/successful-deployment-of-nb-iot-jan17/>, truy cập ngày 1/6/2019.
- [13]. Technical team, “Nemo Invex Product Description”, Anite - Finland, 2014.
- [14]. Technical team, “TEMS Discovery User Guide”, InfoVista Sweden AB, 2016.
- Anacom, “Assessment of Voice and Video-telephony Services, and Network Coverage”, 10-11/2008,
- [15]. https://www.anacom.pt/streaming/methodology.pdf?contentId=873802&field=ATTACHED_FILE, truy cập ngày 10/6/2019.