

# Hiệu suất của kỹ thuật tái sử dụng tần số trong mạng có mật độ trạm siêu dày đặc

Lâm Sinh Công, Vũ Văn Tâm

\*Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc Gia Hà Nội  
Khoa Điện tử - Viễn thông

\* Đại học Kỹ thuật - Hậu cần Công an nhân dân

**Tóm tắt nội dung**—Trong hệ thống mạng siêu dày đặc, kỹ thuật tái sử dụng tần số được coi là một trong những kỹ thuật then chốt để kiểm soát nhiễu và tăng dung lượng hệ thống. Trong bài báo này, hiệu suất của kỹ thuật tái sử dụng tần số cứng được phân tích và đánh giá trong hệ thống mạng có các trạm phát được phân bố phân bố Poisson không gian. Thông qua việc phân tích xác suất phủ sóng của người dùng và hiệu suất phổ, ta thấy rằng hiệu suất của mạng có thể giảm nếu ta tăng mật độ trạm phát và đại lượng này cũng chịu ảnh hưởng rất lớn từ mức độ cân bằng về người dùng trong mạng. Đặc biệt, một kết luận rất quan trọng được trình bày trong bài báo này là: người dùng trong môi trường chịu ảnh hưởng nặng nề của suy hao vẫn có thể đạt được xác suất phủ sóng cao hơn so với trường hợp nó ở trong môi trường ít chịu ảnh hưởng của suy hao.

**Index Terms:** Xác suất phủ sóng, mật độ trạm phát, mạng siêu dày đặc, kỹ thuật tái sử dụng tần số

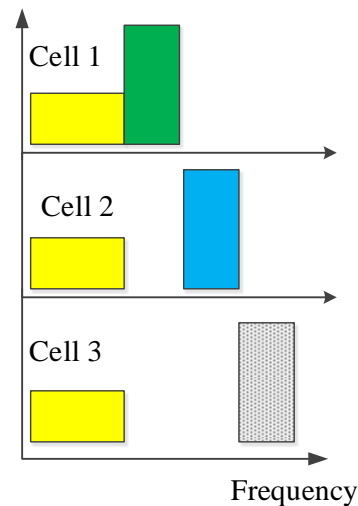
## I. GIỚI THIỆU

Trong hệ thống mạng thông tin di động 5G, các trạm phát có thể được phân bố một cách siêu dày đặc lên đến hàng trăm trạm mỗi  $km^2$  để cung cấp các dịch vụ với tốc độ cao. Khi đó hệ thống mạng có thể được gọi là mạng với mật độ trạm siêu dày đặc (Ultra Dense Networks - UDN) [1]. Với mật độ trạm siêu dày đặc, việc tái sử dụng nguồn tài nguyên tần số giữa các trạm là một điều tất yếu. Khi đó, người dùng nhận được 1 nguồn tín hiệu mang thông tin cần thiết (tín hiệu mong muốn) và chịu ảnh hưởng bởi nhiễu từ tất cả các trạm lân cận. Điều đó cũng đồng nghĩa với sự bùng phát về nhiễu trong hệ thống mạng UDN. Do đó việc sử dụng các kỹ thuật tái sử dụng tần số để làm giảm ảnh hưởng của nhiễu là một vấn đề rất cần thiết [2].

Ý tưởng chính của kỹ thuật tái sử dụng tần số là chia người dùng và nguồn tài nguyên (RBs) thành các nhóm khác nhau để mỗi nhóm người dùng sẽ được phục vụ bởi 1 nhóm nguồn tài nguyên. Thông thường công suất phát trên các RB của 1 nhóm là giống nhau nhưng khác nhau giữa các nhóm. Theo khuyến nghị của 3GPP, hoạt động của kỹ thuật tái sử dụng tần số sẽ được chia thành 2 giai đoạn [3], [4]. Giai đoạn 1 được gọi là giai đoạn thiết lập. Trong giai đoạn này, trạm phát dựa trên tỉ số giữa công suất tín hiệu mong muốn và công suất của nhiễu cộng ồn Gauss (SINR) trên kênh điều khiển để phân loại người dùng. Nếu SINR trên kênh điều khiển của người dùng lớn hơn SINR ngưỡng  $T$  thì người dùng sẽ được phân loại là người dùng trung tâm (CCU) và được phục vụ bởi RB trung tâm (CC RB). Nếu SINR trên kênh điều khiển của người dùng nhỏ hơn  $T$  thì người

dùng sẽ được phân loại là người dùng biên (CEU) và được phục vụ bởi RB biên (CE RB).

Trong phạm vi của bài báo này, chúng ta xem xét kỹ thuật tái sử dụng tần số cứng như Hình 1 Với mô hình tái sử dụng tần số



Hình 1: Kỹ thuật tái sử dụng tần số cứng

như trên, CC RB được dùng chung cho tất cả các trạm. Trong khi đó, nhóm RB còn lại được chia thành  $\Delta$  nhóm trong đó mỗi nhóm sẽ được gán như tài sản riêng của 1 trạm trong nhóm gồm  $\Delta$  trạm phát cạnh nhau và được gọi là CE RB của trạm phát đó.

Việc phân tích hiệu suất của mạng UDN sử dụng kỹ thuật tần số đã được trình bày bởi các nhóm nghiên cứu khác nhau với nhiều mô hình và môi trường truyền sóng khác nhau [1]. Các tác giả trong [5], [6] đã xem xét ảnh hưởng của đường truyền thẳng (LOS) và đường truyền không thẳng (non LOS) tới hiệu suất của mạng. Với mật độ trạm siêu dày đặc, các tác giả trong [7] đã ước lượng mạng với giả thiết số lượng trạm phát lớn hơn số lượng người dùng. Rất nhiều các tác giả đã tập trung mô hình hóa sự suy hao của đường truyền đối với mạng UDN, mà nổi bật trong đó là mô hình được trình bày trong [8]. Trong [8], các tác giả đã mô hình suy hao của đường truyền theo hàm mũ  $PL = \exp(-\alpha r^\beta)$ . Thông qua các kiểm nghiệm đo đạc trên thực tế, các tác giả đã chứng minh được tính đúng đắn và chính

xác của mô hình này. Đặc biệt, mô hình trên đã giải quyết được vấn đề của mô hình truyền thống  $PL = R^{-\alpha}$  là  $PL > 1$  khi  $r < 1$ . Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu đều tập trung vào phương pháp tái sử dụng tần số với hệ số tái sử dụng tần số  $\Delta = 1$ , tức là không có sự phân chia CCU và CEU cũng như CC RB và CE RB.

Trong các kết quả gần đây tại [9], chúng tôi đã mô hình mạng UDN sử dụng kỹ thuật sử dụng tần số cứng (Strict Frequency Reuse - Strict FR) với hệ số tái sử dụng là  $\Delta > 1$ . Trong công đó, chúng tôi đã phân tích được xác suất phủ sóng của người dùng. Trong bài báo này, các kết quả trong [9] được phát triển để đánh giá hiệu suất của toàn hệ thống mạng cũng như ảnh hưởng của các hệ số của kỹ thuật tái sử dụng tần số lên mạng.

## II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Trong bài báo này, chúng ta xem xét một hệ thống mạng trong đó các trạm được phân bố một cách siêu dày đặc theo phân bố Poisson không gian với mật độ là  $\lambda$ . Mỗi người dùng sẽ được giả thiết kết nối với trạm gần nhất. Hàm mật độ (PDF) của khoảng cách giữa người dùng và trạm kết nối là

$$f_R(r) = 2\pi\lambda r e^{-\pi\lambda r^2} \quad (1)$$

Giả thiết kênh truyền chịu ảnh hưởng của Rayleigh fading với độ lợi công suất là  $g$ . Khi đó  $g$  sẽ có phân bố của hàm mũ  $f(g) = \exp(-g)$ . Giả thiết công suất phát trên CC RB và kênh điều khiển của các trạm bằng nhau và là  $P$ . Công suất phát trên CE RB là  $\phi P$  ( $0 < \phi < 1$ ).

Mô hình suy hao của công suất phát theo khoảng cách được mô hình như trong [8]. Cụ thể, suy hao của công suất tín hiệu trên 1 khoảng cách  $r$  là  $PL = \exp(-\alpha r^\beta)$ , trong đó  $\alpha$  và  $\beta$  là các hằng số và có thể nhận một trong các cặp giá trị sau

- $\beta = 2, \alpha = 3 \times 10^{-5}$ : Các giá trị này tương ứng với trường hợp số lượng các vật cản trên đường truyền tỉ lệ với bình phương khoảng cách truyền. Hay nói cách khác, tín hiệu chịu ảnh hưởng của fading mạnh.
- $\beta = 1, \alpha = 3 \times 10^{-2}$ : Các giá trị này tương ứng với trường hợp các vật cản tuân theo hàm phân bố chuẩn hay nói cách khác số lượng các vật cản tỉ lệ với khoảng cách truyền.
- $\beta = 2/3, \alpha = 0.3$ : Các giá trị này được dùng mô hình môi trường truyền khi các vật thể được phân bố một cách rời rạc trên đường truyền.

a) *Tại pha thiết lập*: Kênh điều khiển được dùng chung giữa tất cả các trạm nên mỗi kênh điều khiển chịu ảnh hưởng từ nhiều của tất cả các trạm lân cận. Do đó công suất tín hiệu trên kênh điều khiển tại pha thiết lập là

$$SINR^{(o)}(1, r) = \frac{Pg^{(o)} \exp(-\alpha r^\beta)}{\sum_{j \in \theta} P g_j^{(o)} \exp(-\alpha r_j^\beta) + \sigma^2} \quad (2)$$

trong đó  $g^{(o)}$  và  $r$  là độ lợi công suất và khoảng cách từ người dùng đến trạm phát;  $g_j^{(o)}$  và  $r_j$  là độ lợi công suất và khoảng cách từ người dùng đến trạm nhiễu  $j$ ;  $\theta$  là tập hợp các trạm gây nhiễu lên người dùng.

b) *Tại pha truyền tin*: Công suất nhiễu thu được tại vị trí của người dùng là [9]

$$SINR(P^{(z)}, r) = \frac{Pg \exp(-\alpha r^\beta)}{\sum_{j \in \theta^{(z)}} P_j^{(z)} g_{jz} \exp(-\alpha r_{jz}^\beta) + \sigma^2} \quad (3)$$

trong đó  $z = \{(c, e)\}$  tương ứng với trường hợp của CCU và CEU.

- Trong trường hợp CCU thì  $P_j^{(z)} = P$ . Do CC RB được chia sẻ giữa tất cả các trạm nên mật độ các trạm trong tập nhiễu  $\theta^{(c)}$  là  $\lambda$ .
- Trong trường hợp CEU thì  $P_j^{(z)} = \phi P$ . Do CE RB là nguồn tài nguyên riêng của mỗi trạm trong 1 nhóm  $\Delta$  trạm nên mật độ các trạm trong tập nhiễu  $\theta^{(e)}$  là  $\frac{1}{\Delta}\lambda$ .

## III. XÁC SUẤT PHỦ SÓNG VÀ HIỆU SUẤT PHỔ

### A. Xác suất phủ sóng

Trong phần này, chúng ta sẽ đánh giá xác suất được phủ sóng của một người dùng trong mạng UDN. Xét một người dùng cách trạm phục vụ của nó một khoảng  $r$ . Trong hệ thống mạng sử dụng kỹ thuật tái sử dụng tần số, CCU tại vị trí cách trạm phát một khoảng  $r$  đạt được công suất tín hiệu  $SINR(P^{(c)}, r)$  tại pha truyền tin khi tín hiệu tại kênh điều khiển tại pha thiết lập thỏa mãn  $SINR^{(o)}(1, r) > T$ . Tương tự, CEU đạt được công suất tín hiệu  $SINR(P^{(e)}, r)$  tại pha truyền tin khi tín hiệu tại kênh điều khiển tại pha thiết lập thỏa mãn  $SINR^{(o)}(1, r) < T$ .

Như vậy, tại một thời điểm, xác suất người dùng được phủ sóng là

$$P(SINR(P^{(c)}, r) > \hat{T} | SINR^{(o)} > T) P(SINR^{(o)} > T) + P(SINR(P^{(e)}, r) > \hat{T} | SINR^{(o)} < T) P(SINR^{(o)} < T) \quad (4)$$

trong đó  $P(SINR(P^{(c)}, r) > \hat{T} | SINR^{(o)} > T)$  và  $P(SINR(P^{(e)}, r) > \hat{T} | SINR^{(o)} < T)$  tương ứng là xác suất được phủ sóng của CCU và CEU;  $P(SINR^{(o)} > T)$  và  $P(SINR^{(o)} < T)$  tương ứng là xác suất người dùng được phân loại là CCU và CEU.

Do SINR là một biến ngẫu nhiên và là hàm của độ lợi kênh, khoảng cách từ người dùng đến trạm nhiễu và trạm kết nối nên xác suất phủ sóng ở Biểu thức 4 cũng là một biến ngẫu nhiên. Do đó, để tính được xác suất phủ sóng trung bình của người dùng, chúng ta cần tính giá trị trung bình (kỳ vọng) của  $P$ . Từ đó,  $\mathbb{P}$  được sử dụng thay cho  $P$  để mô tả giá trị trung bình của xác suất.

Như vậy, xác suất để một người dùng ở khoảng cách  $r$  từ trạm phát được nằm trong vùng phủ sóng của mạng là

$$\mathcal{P}(T, \hat{T}, r) = \mathbb{P}(SINR^{(o)} > T, SINR(P^{(c)}, r) > \hat{T} | r) + \mathbb{P}(SINR^{(o)} < T, SINR(P^{(e)}, r) > \hat{T} | r)$$

Do đó, xác suất trung bình của người dùng được phủ sóng

bởi trạm nó kết nối là

$$\begin{aligned}
& \mathcal{P}(T, \hat{T}) \\
&= \int_0^\infty \mathcal{P}(T, \hat{T}, r) f_R(r) dr \\
&= 2\pi\lambda \int_0^\infty r \exp(-\pi\lambda r^2) \\
&\times \left[ \mathbb{P}(\text{SINR}^{(o)}(1, r) > T, \text{SINR}(P, r) > \hat{T}|r) \right. \\
&\quad \left. + \mathbb{P}(\text{SINR}^{(o)}(1, r) < T, \text{SINR}(\phi P, r) > \hat{T}|r) \right] dr \quad (5)
\end{aligned}$$

trong đó  $f_R(r)$  được định nghĩa bởi phương trình 1.

Dựa trên các kết quả thu được từ bài báo [9], ta có

$$\begin{aligned}
& \mathbb{P}(\text{SINR}^{(o)}(1, r) > T, \text{SINR}(P, r) > \hat{T}|r) \\
&= e^{-\frac{(T+\hat{T})}{\text{SINR}\zeta(r)}} \mathcal{L}(T, \hat{T}, \lambda, r) \quad (6a)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \mathbb{P}(\text{SINR}^{(o)}(1, r) < T, \text{SINR}(\phi P, r) > \hat{T}|r) \\
&= \left[ \begin{aligned} & e^{-\frac{\hat{T}}{\phi \text{SINR}\zeta(r)}} \mathcal{L}(0, \hat{T}, \frac{\lambda}{\Delta}, r) \\ & -e^{-\left(\frac{\hat{T}}{\phi}+T\right) \frac{1}{\text{SINR}\zeta}} \mathcal{L}(T, \hat{T}, \lambda, r) \\ & \times \mathcal{L}\left(T, 0, \frac{(\Delta-1)\lambda}{\Delta}, r\right) \end{aligned} \right] \quad (6b)
\end{aligned}$$

trong đó  $\mathcal{L}(T, \hat{T}, \lambda) =$

$$e^{-\frac{2\pi\lambda}{\beta\alpha^2/\beta} \int_0^{\zeta(r)} \frac{[-\ln(y)]^{\frac{2-\beta}{\beta}}}{y} \left[1 - \frac{\zeta(r)}{\zeta(r)+Ty} \frac{\zeta(r)}{\zeta(r)+\hat{T}y}\right] dy} \quad (7)$$

và  $\zeta(r) = \exp(-\alpha r^\beta)$ .

Thay các biểu thức của Phương trình 6a và 6b vào Phương trình 5 ta thu được:

$$\begin{aligned}
& \mathcal{P}(T, \hat{T}) \\
&= 2\pi\lambda \int_0^\infty e^{-\frac{(T+\hat{T})}{\text{SINR}\zeta(r)}} \mathcal{L}(T, \hat{T}, \lambda, r) r \exp(-\pi\lambda r^2) dr \\
&+ 2\pi\lambda \int_0^\infty \left[ \begin{aligned} & e^{-\frac{T}{\phi \text{SINR}\zeta(r)}} \mathcal{L}(0, \hat{T}, \frac{\lambda}{\Delta}, \tau_m) \\ & -e^{-\left(\frac{\hat{T}}{\phi}+T\right) \frac{1}{\text{SINR}\zeta}} \mathcal{L}(T, \hat{T}, \lambda, \tau_m) \\ & \times \mathcal{L}\left(T, 0, \frac{(\Delta-1)\lambda}{\Delta}, \tau_m\right) \end{aligned} \right] \\
&\quad r \exp(-\pi\lambda r^2) dr \quad (8)
\end{aligned}$$

Sử dụng phương pháp thay đổi biến số  $\tau = \pi\lambda r^2$ , tích phân trong biểu thức trên có dạng của xấp xỉ Gauss - Laguerre. Do đó,  $\mathcal{P}(T, \hat{T})$  có thể được xấp xỉ bởi

$$\begin{aligned}
& \mathcal{P}(T, \hat{T}) = \sum_{m=1}^{N_G} w_m e^{-\frac{(T+\hat{T})}{\text{SINR}\zeta(r)}} \mathcal{L}(T, \hat{T}, \lambda, \tau_m) \\
&+ \left[ \begin{aligned} & e^{-\frac{\hat{T}}{\phi \text{SINR}\zeta(r)}} \mathcal{L}(0, \hat{T}, \frac{\lambda}{\Delta}, r) \\ & -e^{-\left(\frac{\hat{T}}{\phi}+T\right) \frac{1}{\text{SINR}\zeta}} \mathcal{L}(T, \hat{T}, \lambda, r) \\ & \times \mathcal{L}\left(T, 0, \frac{(\Delta-1)\lambda}{\Delta}, r\right) \end{aligned} \right] \quad (9)
\end{aligned}$$

trong đó  $\tau_m = \sqrt{\frac{t_m}{\pi\lambda}}$ ;  $w_m$  và  $t_m$  là trọng số và nghiệm của đa

thức Laguerre.

## B. Hiệu suất phổ

Giá trị cực đại của thông lượng mạng (hay hiệu suất phổ) theo đơn vị diện tích được tính theo công thức Shannon mở rộng như sau [8]

$$\epsilon(\lambda) = \lambda \mathbb{E}[\log_2(1 + \text{SINR})] \quad (10)$$

Do đó, với trường hợp CCU, hiệu suất phổ được viết lại như sau

$$\begin{aligned}
& \epsilon^{(c)}(\lambda) = \lambda \mathbb{E} \left[ \log_2 \left( \text{SINR}(P^{(c)}, r) + 1 \right), \right. \\
& \quad \left. \left( \text{SINR}^{(o)}(1, r) > T \right) \right] \\
&= \lambda \int_0^\infty \mathbb{P} \left( \ln \left( \text{SINR}(P^{(c)}, r) + 1 \right) > \gamma, \right. \\
& \quad \left. \text{SINR}^{(o)}(1, r) > T \middle| r \right) d\gamma \quad (11)
\end{aligned}$$

Đặt  $t = e^\gamma - 1$ , Phương trình 11 được viết lại như sau

$$\begin{aligned}
& \epsilon^{(c)}(\lambda) = \int_0^\infty \frac{\lambda}{t+1} \mathbb{P} \left( \text{SINR}(P^{(c)}, r) > t, \right. \\
& \quad \left. \text{SINR}^{(o)}(1, r) > T \middle| r \right) \quad (12)
\end{aligned}$$

Tương tự, ta có hiệu suất phổ của CEU là

$$\begin{aligned}
& \epsilon^{(e)}(\lambda) = \int_0^\infty \frac{\lambda}{t+1} \mathbb{P} \left( \text{SINR}(P^{(e)}, r) > t, \right. \\
& \quad \left. \text{SINR}^{(o)}(1, r) < T \middle| r \right) \quad (13)
\end{aligned}$$

Vậy ta có hiệu suất của phổ của mạng theo 1 đơn vị diện tích là

$$\begin{aligned}
& \epsilon(\lambda) = \epsilon^{(c)}(\lambda) + \epsilon^{(e)}(\lambda) \\
&= \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{2\pi\lambda^2}{t+1} \mathcal{P}(T, t, r) r \exp(-\pi\lambda r^2) dr dt \quad (14)
\end{aligned}$$

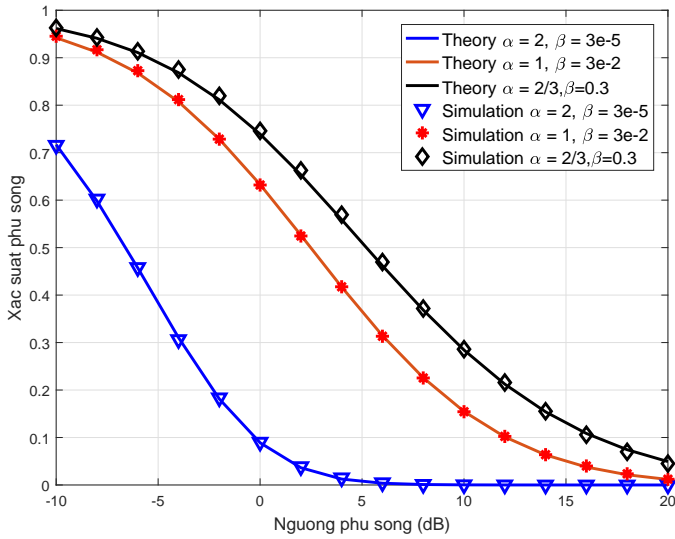
trong đó  $\mathcal{P}(T, t)$  được định nghĩa bởi Phương trình 8.

## IV. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Trong phần này chúng ta sẽ sử dụng mô phỏng Monte Carlo để kiểm tra lại kết quả phân tích lý thuyết; và phân tích ảnh hưởng của ngưỡng SINR, ngưỡng phủ sóng và mật độ của trạm lên hiệu suất của mạng.

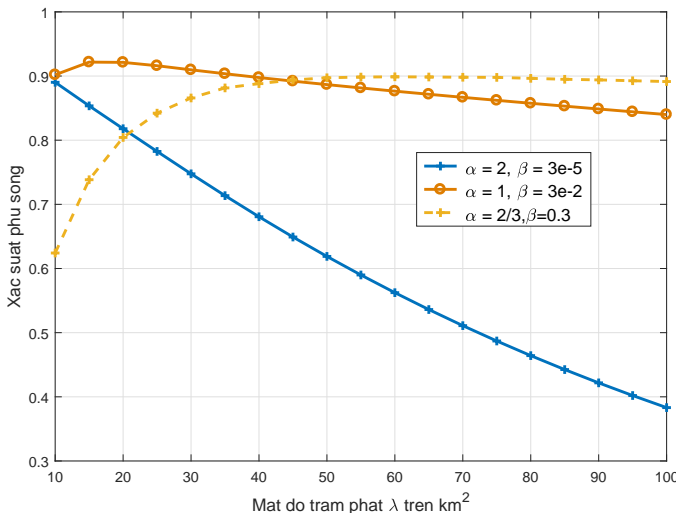
Như được chỉ ra ở Hình 2, các kết quả phân tích lý thuyết trùng khớp với các kết quả mô phỏng. Điều đó chứng minh được sự đúng đắn của các kết quả phân tích lý thuyết. Khi ngưỡng phủ sóng  $\hat{T}$  tăng tương đương với việc thiết bị người dùng yêu cầu công suất của tín hiệu nhận cao hơn để có thể giải mã được tín hiệu nhân. Điều đó có nghĩa là khi yêu cầu về ngưỡng phủ sóng càng tăng thì xác suất người dùng nằm trong vùng phủ sóng càng giảm. Hiện tượng này được thể hiện rõ trong Hình 2 khi ngưỡng phủ sóng tăng, xác suất phủ sóng giảm mạnh.

So với trường hợp  $\beta = 3/4$  và  $\beta = 1$ , môi trường có  $\beta = 2$  chịu ảnh hưởng nặng nề nhất của suy hao. Do đó, xác suất người dùng được phủ sóng trong trường hợp  $\beta = 2$  là thấp nhất.



Hình 2: So sánh kết quả lý thuyết và mô phỏng với  $\lambda = 100$  trạm/ $km^2$

### A. Ảnh hưởng của mật độ trạm phát

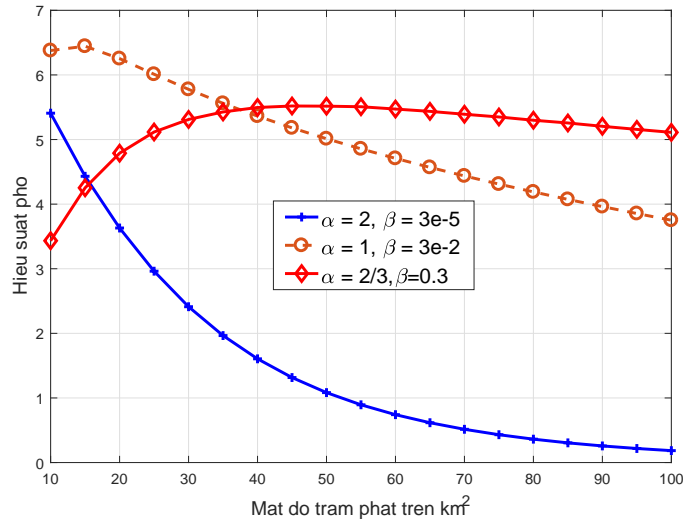


Hình 3: Ảnh hưởng của mật độ trạm phát lên hiệu suất của mạng

Để khảo sát ảnh hưởng của mật độ trạm phát lên hiệu suất của mạng, ta vẽ sự thay đổi của xác suất phủ sóng khi mật độ trạm phát tăng từ 10-100 trạm/ $km^2$ .

Một điều rất thú vị được rút ra từ Hình 3 và Hình 4, mặc dù khi  $\beta = 2/3$  tín hiệu ít chịu ảnh hưởng của suy hao hơn khi  $\beta = 2$  và  $\beta = 1$  nhưng khi xác suất phủ sóng của người dùng khi mật độ trạm nhỏ hơn 20, người dùng trong môi trường với  $\beta = 2$  và  $\beta = 1$  lại đạt được xác suất phủ sóng cao hơn đối với trường hợp  $\beta = 2/3$ . Hiện tượng này có thể được giải thích như sau:

- Trong mô hình mạng này, cả tín hiệu mong muốn và tín hiệu nhiễu đều chịu ảnh hưởng bởi cùng hệ số suy hao. Do đó, với một hệ số suy hao nhất định, sự suy hao của 2 loại tín hiệu này là tương đương nhau.



Hình 4: Ảnh hưởng của mật độ trạm phát lên hiệu suất của mạng

- Trong trường hợp với ngưỡng SINR cố định, hệ thống mạng đạt được mức cân bằng tốt hơn về số lượng CCU và CEU nên sẽ đạt được hiệu suất cao hơn.

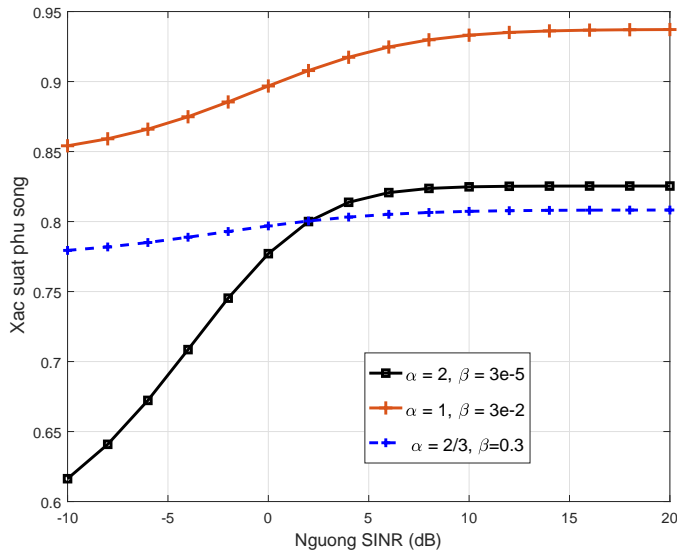
Một hiện tượng khá thú vị tiếp theo đó là khi mật độ trạm tăng, xác suất phủ sóng của người dùng giảm mạnh trong trường hợp  $\beta = 2$  và tăng tới đỉnh trước khi giảm đối với trường hợp  $\beta = 1$  và  $\beta = 2/3$ . Điều này đặc biệt khác với các kết quả công bố trước đây [10] và có thể được giải thích như sau:

- Khi mật độ trạm tăng, công suất của tín hiệu mong muốn tăng do khoảng cách giữa trạm và người dùng giảm và kéo theo SINR tăng [10]. Điều đó làm thay đổi số lượng CCU và CEU của mỗi trạm. Đến một mức nào đó, mạng sẽ đạt được mức độ cân bằng CCU và CEU tốt nhất. Khi đó, xác suất phủ sóng của người dùng sẽ là lớn nhất.
- Khi mật độ trạm đủ lớn và tăng một cách liên tục, công suất của tín hiệu mong muốn tăng đến một ngưỡng và thay đổi rất chậm [10], trong khi số lượng trạm nhiễu tăng liên tục. Điều đó làm cho tỉ số SINR của người dùng và kéo theo xác suất phủ sóng giảm mạnh.

### B. Ảnh hưởng của ngưỡng SINR

Hình 5 khảo sát ảnh hưởng của ngưỡng SINR lên xác suất phủ sóng của người dùng. Chúng ta nhắc lại rằng ngưỡng SINR dùng để phân loại người dùng thành CCU và CEU. Do đó, khi ngưỡng SINR tăng thì số lượng CEU tăng và CCU giảm. Như được chỉ ra từ Hình 5, khi ngưỡng SINR tăng, xác suất phủ sóng của người dùng (có thể là CCU hoặc CEU) tăng. Điều này được giải thích như sau:

- Công suất của trạm nhiễu của CCU và CEU đều bằng công suất phát của trạm chúng kết nối.
- Mật độ trạm nhiễu của người dùng trên CC RB là  $\lambda$  trong khi mật độ trạm nhiễu của người dùng trên CE RB chỉ là  $\lambda/\Delta$ . Do đó, xác suất phủ sóng của người dùng trên CE RB lớn hơn của người dùng trên CC RB.



Hình 5: Ảnh hưởng của ngưỡng SINR lên xác suất phủ sóng với mật độ trạm  $\lambda = 20$

Do số lượng CEU tăng khi ngưỡng SINR tăng nên xác suất phủ sóng trung bình của một người dùng (có thể là CCU hoặc CEU) tăng.

## V. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng ta đã phân tích hiệu suất của mạng có mật độ siêu dày đặc sử dụng kỹ thuật tái sử dụng tần số cứng. Hai đại lượng đặc trưng của mạng được sử dụng là xác suất phủ sóng của người dùng và hiệu suất phổ. Kết quả phân tích được kiểm định bằng mô phỏng Monte Carlo đã chỉ ra các kết luận rất quan trọng về xu hướng thay đổi của hiệu suất mạng siêu dày đặc như sau: (i) Trong trường hợp tín hiệu chịu ảnh hưởng nặng nề của suy hao ( $\beta = 2$ ), hiệu suất của người dùng vẫn có thể tốt hơn đối với trường hợp tín hiệu ít chịu ảnh hưởng của suy hao hơn ( $\beta = 1, \beta = 2/3$ ); (ii) Trong khi đối với các mạng thông thường, khi tăng mật độ trạm thì xác suất phủ sóng tăng đến giới hạn trên và dừng lại, nhưng đối với mạng siêu dày đặc thì xác suất phủ sóng có thể giảm mạnh. Sự thay đổi này có thể điều khiển bằng cách thay đổi sự cân bằng của mạng về số lượng CCU và CEU.

## TÀI LIỆU

- [1] M. Kamel, W. Hamouda, and A. Youssef, "Ultra-dense networks: A survey," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2522–2545, Fourthquarter 2016.
- [2] A. S. Hamza, S. S. Khalifa, H. S. Hamza, and K. Elsayed, "A Survey on Inter-Cell Interference Coordination Techniques in OFDMA-Based Cellular Networks," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 4, pp. 1642–1670, 2013.
- [3] 3GPP TS 36.214 version 9.1.0 Release 9, "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer - Measurements," April 2010.
- [4] 3GPP TS 36.213 version 8.8.0 Release 8, "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures," November 2009.
- [5] M. Ding, P. Wang, D. Lopez-Perez, G. Mao, and Z. Lin, "Performance impact of los and nlos transmissions in dense cellular networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, no. 3, pp. 2365–2380, March 2016.

- [6] C. Galiotto, N. K. Pratas, L. Doyle, and N. Marchetti, "Effect of los/nlos propagation on 5g ultra-dense networks," *Computer Networks*, vol. 120, pp. 126 – 140, 2017. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128617301536>
- [7] L. Su, C. Yang, and C. L. I, "Energy and Spectral Efficient Frequency Reuse of Ultra Dense Networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 15, no. 8, pp. 5384–5398, Aug 2016.
- [8] A. AlAmmouri, J. G. Andrews, and F. Baccelli, "Sinr and throughput of dense cellular networks with stretched exponential path loss," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 17, no. 2, pp. 1147–1160, Feb 2018.
- [9] S. C. Lam, Q. T. Nguyen, H. D. Huynh, and K. S. Sandrasegaran, "Strict frequency reuse in ultra dense networks," in *TENCON 2018 - 2018 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2018)*, Jeju Island, Korea, Oct. 2018.
- [10] J. G. Andrews, F. Baccelli, and R. K. Ganti, "A new tractable model for cellular coverage," in *2010 48th Annu. Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)*, pp. 1204–1211.