

MÔ HÌNH KÊNH VÀ MÔ HÌNH NHIỀU MÀU CHO KÊNH TRUYỀN ÂM THANH DƯỚI NƯỚC

CHANNEL MODEL AND COLORED NOISE MODEL FOR UNDERWATER ACOUSTIC CHANNEL

Phạm Anh Tuấn

Khoa Điện tử, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 06/5/2016, chấp nhận đăng ngày 15/5/2016

- Tóm tắt:** Trong bài báo, mô hình kênh dựa trên cơ sở hình học được áp dụng cho mô phỏng kênh truyền âm thanh dưới nước. Tác giả sử dụng phương pháp Lp-norm để mô hình hóa. Nhiều màu cho kênh này cũng được mô phỏng. Tác giả khảo sát dung lượng kênh, băng thông phù hợp và tỉ lệ lỗi khung (SER) của hệ thống.
- Từ khóa:** Kênh truyền âm thanh dưới nước, dung lượng kênh, băng thông phù hợp, tỉ lệ lỗi khung, phương pháp Lp-norm.
- Abstract:** In this paper, geometry-based channel model is applied for simulating underwater acoustic channel. We used Lp-norm method for modelling. Colored noise for this channel is also modelled. We investigated capacity, suitable bandwidth for best performance and symbol error rate (SER) of the system.
- Keywords:** Underwater acoustic channels, channel capacity, suitable bandwidth, symbol error rate, Lp-norm method.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bài báo, để mô phỏng kênh truyền âm thanh dưới nước, tác giả đã sử dụng một mô hình dựa trên mô hình tán xạ hình học nêu trong tài liệu [2], gọi là mô hình kênh dựa trên cơ sở hình học (Geometry Based Channel Model).

Với mô hình hình dựa trên cơ sở hình học, có thể khảo sát rất chi tiết về kênh truyền đa đường dưới nước và sự ảnh hưởng của các tham số lên kênh truyền.

Bên cạnh đó nhiễu màu trong kênh truyền âm thanh dưới nước cũng được mô hình hóa theo mô hình $\frac{1}{f^\beta}$ [3].

Từ mô hình kênh và mô hình nhiễu, chúng

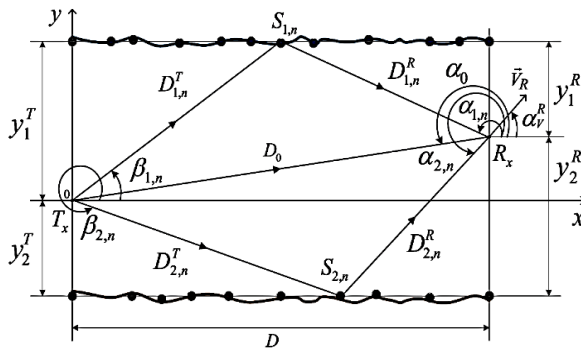
tôi xây dựng nên hệ thống mô phỏng cho kênh truyền âm thanh dưới nước và đưa ra các đánh giá về dung lượng kênh, băng thông phù hợp và tỉ lệ lỗi khung.

Trong bài báo tác giả có sử dụng cơ sở dữ liệu là hàm công suất trễ đo được từ mô hình thí nghiệm của kênh truyền thực tại Hồ Tiền, Hà Nội, Việt Nam [4].

2. MÔ HÌNH KÊNH DỰA TRÊN CƠ SỞ HÌNH HỌC

2.1. Giới thiệu về mô hình kênh truyền âm thanh dưới nước dựa trên cơ sở hình học

Mô hình kênh dựa trên cơ sở hình học (Geometry Based Channel Model) được mô tả như trên hình 1 [2].



Hình 1. Mô hình kênh dựa trên cơ sở hình học [2]

Trong đó:

$S_{i,n}$ là các điểm tán xạ (với $n = 1, 2, \dots, N_i$ và $i = 1, 2$) được giả định rằng phân phối ngẫu nhiên trên bề mặt ($i = 1$) và đáy ($i = 2$) của một môi trường nước nông.

T_x và R_x là vị trí đặt máy phát và máy thu tương ứng và D là khoảng cách giữa chúng [2].

2.2. Suy hao trong kênh truyền âm thanh dưới nước dựa trên cơ sở hình học

Trong kênh truyền dựa trên cơ sở hình học, hệ số suy hao trải hình cầu xác định như sau [2]:

$$A_s(D) = \frac{1}{D} \quad (1)$$

Trong đó:

D là tổng khoảng cách truyền theo mét và có thể được tính theo công thức [2]:

$$D_{i,n} = \frac{y_i^T}{\sin(\beta_{i,n})} + \frac{y_i^R}{\sin(\alpha_{i,n})} \quad (2)$$

Với:

$n = 1, 2, \dots, N_i$ và $i = 1, 2$.

Các góc $\beta_{i,n} \neq 0$ và $\alpha_{i,n} \neq \pi$, với $\beta_{i,n}$ và $\alpha_{i,n}$ lần lượt là góc ở nơi bắt đầu và góc của nơi đến của các đường truyền [2].

Hệ số hao do sự hấp thụ được xác định bởi công thức [2]:

$$A_\alpha(D) = 10^{-\frac{D\beta}{20000}} \quad (3)$$

Tham số β được tính như sau [2]:

$$\beta = 8,68 \times 10^3 \left(\frac{S_a f_T f_c^2 A}{f_T^2 + f_c^2} + \frac{B f_c^2}{f_T} \right) \times (1 - 6,54 \times 10^{-4} P) [\text{dB/km}] \quad (4)$$

Trong đó:

$A = 2,34 \times 10^{-6}$ và $B = 3,38 \times 10^{-6}$;

S_a là độ mặn (đơn vị ppt);

f_c là tần số sóng mang (đơn vị kHz);

$f_T = 21,9 \times 10^{6-(1520/(T+273))}$ là tần số dẫn ra (đơn vị kHz);

T là nhiệt độ (đơn vị $^{\circ}\text{C}$);

P biểu thị áp lực thủy tĩnh (đơn vị kg/cm^2), P xác định bởi: $P = 1,01(1+0,1h)$, trong đó h là biểu thị độ sâu của nước (m).

2.3. Hàm tương quan thời gian, tần số của mô hình kênh truyền âm thanh dưới nước dựa trên cơ sở hình học

Hàm tương quan thời gian, tần số (time and frequency correlation functions: T-FCF), của mô hình mô phỏng, được xác định như sau [2]:

$$\hat{r}_{HH}(\nu', \tau) = \frac{C_R}{1 + C_R} e^{j2\pi(f_0 \tau - \tau'_0 \nu')} + \frac{1}{1 + C_R} \left[\sum_{n=1}^{N_i} c_{i,n}^2 e^{j2\pi(f_{i,n} \tau - \tau'_{i,n} \nu')} \right] \quad (5)$$

Trong đó:

f_0, τ'_0 lần lượt là tần số Doppler, thời gian trễ LOS;

$c_{i,n}, f_{i,n}, \tau'_{i,n}$ tương ứng là mức độ lợi kênh bình thường, tần số Doppler, thời gian trễ n đường;

τ là biến thời gian trễ, ν' là biến tần số và C_R là hệ số Rice [2].

Trong công thức (5), $C_{i,n}$ được tính như sau [2]:

$$C_{i,n} = \frac{A_S(D_{i,n}) A_\alpha(D_{i,n})}{\sqrt{2 \sum_{n=1}^{N_i} (A_S(D_{i,n}) A_\alpha(D_{i,n}))}} \quad (6)$$

Với $A_S(D_{i,n})$ và $A_\alpha(D_{i,n})$ là suy hao trải hình cầu và suy hao do hấp thụ.

Các thông số của mô hình kênh cơ sở hình học được khởi đầu bằng cách sử dụng các giá trị tối ưu của $x_{i,n}$.

Ta có thể xác định $x_{i,n}$ theo công thức [2]:

$$x_{i,n}^{opt} = \frac{D}{N_i} (n - \frac{1}{2}) \quad (7)$$

Với: $n = 1, 2, \dots, N_i$ và $i = 1, 2$.

Dựa trên các giá trị tối ưu của $x_{i,n}$, chúng ta có thể tính toán các giá trị khởi đầu $\alpha_{i,n}$ và $\beta_{i,n}$, từ đó ta xác định được $D_{i,n}$ và sau đó là $C_{i,n}$ [2].

Tần số Doppler được tính như sau [2]:

$$f_{i,n} = f_{max} \cos(\alpha_{i,n} - \alpha_v^R) \quad (8)$$

Với:

f_{max} là tần số Doppler lớn nhất;

$\alpha_{i,n}, \alpha_v^R$ lần lượt là góc của đường truyền và góc của véc tơ vận tốc đường truyền tại nơi đến của các đường truyền.

Trễ truyền tương ứng được tính như sau [2]:

$$\tau_{i,n} = \frac{D_{i,n}}{C_s} \quad (9)$$

Với: C_s là tốc độ của âm thanh và có giá trị là 1500 m/s [2].

2.4. Ước lượng các tham số kênh truyền

Tác giả đã sử dụng cơ sở dữ liệu là hàm công suất trễ (power delay profile - PDP) đo được từ thí nghiệm đo kênh truyền thực tại Hồ Tiên, Hà Nội vào tháng 11 năm 2013 [4].

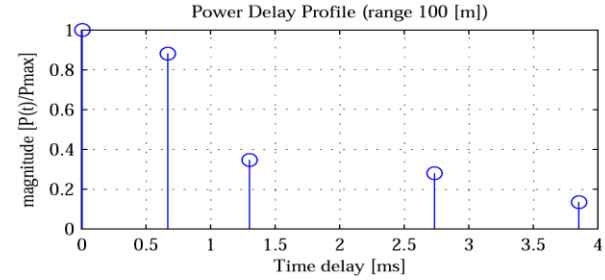
Hàm công suất trễ đo được khi khoảng cách giữa máy thu và máy phát là 100 m thể hiện ở hình 2 [4].

Hàm tương quan tần số (FCF) theo thí nghiệm là biến đổi IFT (inverse Fourier

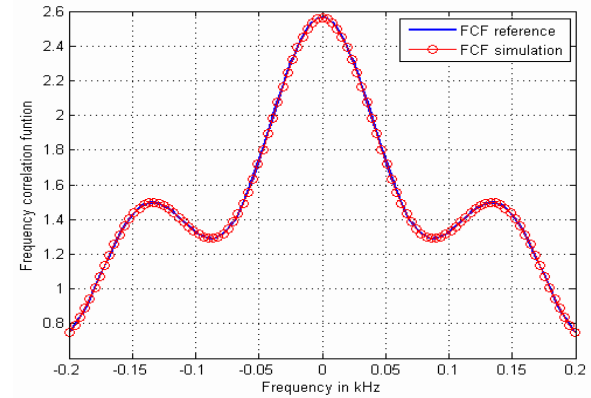
Transform) của PDP và hàm tương quan thời gian (TCF) theo thí nghiệm được xác định theo công thức [4].

$$R_{HH}(\Delta t) = 1.5 J_0(2\pi f_D \Delta t) \quad (10)$$

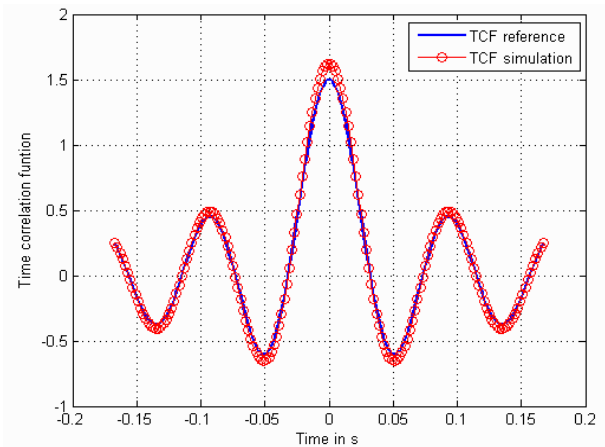
Với: f_D là tần số Doppler và $J_0(.)$ là hàm Bessel.



Hình 2. Giá trị hàm công suất trễ đo được ở khoảng cách 100 m [4]



Hình 3. Quan hệ giữa FCF của mô hình mô phỏng (FCF-simulation) và mô hình theo thí nghiệm (FCF-reference)



Hình 4. Quan hệ giữa TCF của mô hình mô phỏng (TCF-simulation) và mô hình theo thí nghiệm (TCF-reference)

Để xác định các tham số kênh, hàm chênh lệch sau đây được xác định [4]:

$$E = \left[\frac{1}{\Delta t_{\max}} \int_0^{\Delta t_{\max}} |R_{HH}(\Delta t) - R_{HH}(\Delta t)|^p d(\Delta t) \right]^{\frac{1}{p}} + \left[\frac{1}{\Delta f_{\max}} \int_0^{\Delta f_{\max}} |R_{HH}(\Delta f) - R_{HH}(\Delta f)|^p d(\Delta f) \right]^{\frac{1}{p}} \quad (11)$$

Với:

$p = 1, 2, 3 \dots$;

$R_{HH}(\Delta t)$ và $R_{HH}(\Delta f)$ là hàm tương quan thời gian (TCF) và hàm tương quan tần số (FCF) theo thí nghiệm;

$\tilde{R}_{HH}(\Delta t)$ và $\tilde{R}_{HH}(\Delta f)$ hàm tương quan thời gian (TCF) và hàm tương quan tần số (FCF) của mô hình mô phỏng [4].

Thông qua tối thiểu hóa hàm chênh lệch này ta sẽ xác định được các tham số kênh truyền. Mức sai lệch giữa FCF và TCF thể hiện như trên các hình 3, 4.

3. MÔ HÌNH NHIỀU MÀU TRONG KÊNH TRUYỀN ÂM THANH DƯỚI NƯỚC

3.1. Nhiều màu trong kênh truyền âm thanh dưới nước

Nhiều màu của kênh âm thanh dưới nước, quan trọng nhất là thành phần nhiễu xung quanh (ambient noise) [4]. Bốn nguồn nổi bật nhất là nhiễu do sự bất ổn, do sự vận chuyển, do sóng gió và nhiễu nhiệt [4].

Hàm mật độ phổ công suất nhiễu tính theo dB re $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ cho mỗi nguồn xác định theo các công thức sau [4]:

- Với nhiễu do sự bất ổn:

$$NL_{turb}(f) = 30 - 30 \cdot \log(f) \quad (12)$$

- Với nhiễu do sự vận chuyển:

$$NL_{shipping}(f) = 10 \cdot \log\left(\frac{3 \cdot 10^8}{1 + 10^4 \cdot f^4}\right) \quad (13)$$

Với nhiễu do sóng gió:

$$NL_{wind}(f, v_w) = 40 + 10 \cdot \log\left(\frac{v_w^2}{1 + f^{5/3}}\right) \quad (14)$$

- Với nhiễu do nhiệt:

$$NL_{therm} = -15 + 20 \cdot \log(f) \quad (15)$$

Toàn bộ mật độ phổ công suất cho nhiễu xung quanh được xác định như sau:

$$NL(f) = NL_{turb} + NL_{shipping} + NL_{wind} + NL_{therm} \quad (16)$$

3.2. Mô hình nhiễu màu

Mật độ phổ công suất (PSD) của nhiễu của nhiễu có thể được đại diện bởi hình dạng của nó và xác định theo công thức [3].

$$S(f) = K \frac{1}{f^\beta} \quad (17)$$

Với : $\beta \in [0, 2]$.

Khi $\beta \approx 0$ ta có nhiễu trắng, $\beta \approx 1$ là nhiễu màu hồng và $\beta \approx 2$ là nhiễu màu nâu [3].

Bằng cách sử dụng phương pháp L_p -norm, ta có thể tìm K và β phù hợp. Hàm tối thiểu hóa xác định theo công thức:

$$E = \left[\frac{1}{f_{\max}} \int_0^{f_{\max}} |S(f) - S^*(f)|^p df \right]^{\frac{1}{p}} \quad (18)$$

Trong đó: $S(f)$ là PSD của toàn bộ nhiễu xung quanh khảo sát thực tế, xác định từ công thức (16) và $S^*(f)$ là PSD của nhiễu xung quanh theo mô hình $\frac{1}{f^\beta}$.

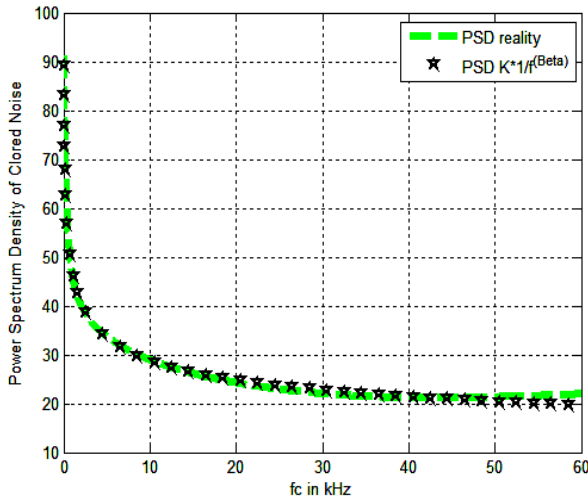
Thông qua tối thiểu hóa hàm này ta sẽ xác định được K và β cho mô hình $\frac{1}{f^\beta}$ của nhiễu màu, thể hiện như hình 5.

Mặt khác, các mẫu nhiễu màu $y(n)$ có thể được tạo ra bằng cách lọc một chuỗi Gaussian trắng $w(n)$, với mô hình bộ lọc tạo nhiễu màu như hình 6.

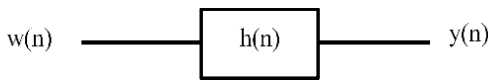
Ta có [3]:

$$y(n) = w(n) * h(n) \quad (19)$$

Với $h(n)$ là đáp ứng của bộ lọc và $y(n)$ là nhiễu màu tạo ra qua bộ lọc.



Hình 5. PSD của nhiễu xung quanh khảo sát thực tế (reality) và dạng $K*1/f^\beta$ tối ưu



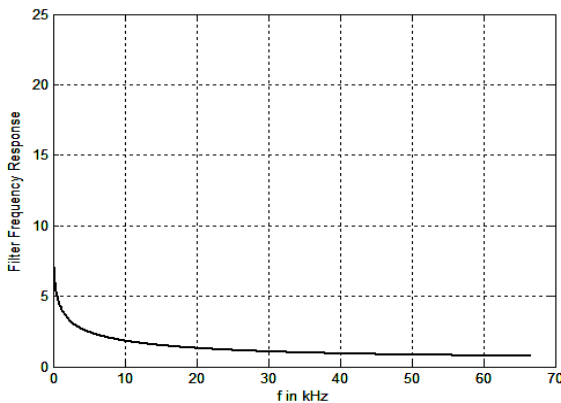
Hình 6. Bộ lọc tạo nhiễu màu

Đáp ứng tần số của bộ lọc xác định theo công thức [3]:

$$|H(e^{-j2\pi fT})| = \left[\frac{7T}{8} \right]^{\beta/2} \left[\frac{\frac{50}{49} + \frac{2}{7} \cos(\pi fT)}{2 \sin(\pi fT)} \right]^{\beta/2} \quad (20)$$

Trong đó: T là tần số lấy mẫu.

Hình dạng của đáp ứng tần số như sau:



Hình 7. Đáp ứng tần số của bộ lọc tạo nhiễu màu

Các hệ số bộ lọc xác định theo quy tắc Al-Alaoui và được cho bởi [3]:

$$h(n) = a(n) * b(n) \quad (21)$$

Với $a(n)$ và $b(n)$ xác định như sau [3]:

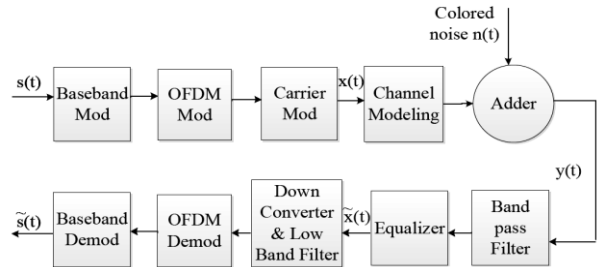
$$a(i) = \left(-\frac{1}{7} \right) \left(\frac{i - \frac{\beta}{2} - 1}{i} \right) a(i-1); a(0) = 1 \quad (22)$$

$$b(i) = \left(\frac{i + \frac{\beta}{2} - 1}{i} \right) b(i-1); b(0) = 1 \quad (23)$$

Như vậy, theo các tính toán và phân tích ở trên, chuỗi nhiễu màu cho kênh truyền âm thanh dưới nước có thể được mô hình hóa theo mô hình $\frac{1}{f^\beta}$.

4. MÔ HÌNH VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG

Kiến trúc của hệ thống đa sóng mang con trực giao OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) dùng cho mô phỏng, được đưa ra như sau:



Hình 8. Kiến trúc hệ thống OFDM dùng cho mô phỏng

Ở phần phát các khối có chức năng như sau:

- Khối **Baseband Mod**: Khối điều chế chuỗi dữ liệu, điều chế M-QAM, điều chế khóa dịch pha M-PSK,...
- Khối **OFDM Mod**: Khối điều chế đa sóng mang con trực giao.
- Khối **Carrier Mod**: Khối điều chế sóng mang, ở đây là sóng âm thanh.
- Khối **Channel Modeling**: Khối mô hình kênh truyền dựa trên cơ sở hình học.
- Khối **Colored noise**: Khối tạo nhiễu màu, nhiễu màu được tạo ra từ mô hình $\frac{1}{f^\beta}$.

- Khối **Adder**: Cộng nhiễu vào tín hiệu.

Tại phần thu, các khối có chức năng:

- Khối **Band pass filter**: Khối lọc thông dải ở đầu vào phần thu.
- Khối **Equalizer**: Khối tùy chỉnh.
- Khối **Dow converter & Low band filter**: Tách tín hiệu và lọc thông thấp.
- Khối **OFDM Demod**: Khối giải điều chế đa sóng mang con trực giao.
- Khối **Baseband Demod**: Khối giải điều chế thành chuỗi dữ liệu.

Các thông số của hệ thống OFDM dùng cho mô phỏng, được tổng kết trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số hệ thống OFDM dùng cho mô phỏng

Thông số	Giá trị
Tần số sóng mang	14 kHz
Tần số Doppler max	560 Hz
Tốc độ âm thanh	1500 m/s
Số sóng mang phụ	64
Chiều dài khoảng bảo vệ	16 ký hiệu
Số khung	100

Trong đó: Tần số sóng mang và tần số Doppler tham khảo theo tài liệu tham khảo [4]. Khi tần số cao thì suy hao và nhiễu càng nhiều [1], tần số sóng mang của hệ thống được lựa chọn thuộc dải sóng âm thanh).

5. KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

5.1. Dung lượng kênh

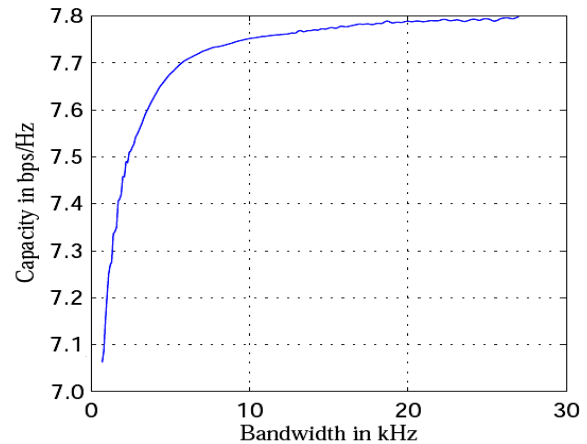
Dung lượng kênh của hệ thống xác định theo công thức sau [4]:

$$C_0 = \int_{f_0-B/2}^{f_0+B/2} \log_2 \left(1 + \frac{S_0(f)}{N(f)} |H(f)|^2 \right) df \quad (24)$$

Với: B là băng thông; $N(f)$ là mật độ phổ công suất nhiễu; $H(f)$ là hàm truyền và $S_0(f)$ là mật độ phổ công suất tín hiệu phát. $S_0(f)$ được tính theo công thức [4]:

$$S_0(f) = \frac{P_s}{B}, \forall f \in [f_0 - B/2, f_0 + B/2] \quad (25)$$

Với $N(f)$ xác định theo mô hình $\frac{1}{f^\beta}$ và công suất phát tín hiệu lấy theo cơ sở dữ liệu trong tài liệu tham khảo [4], ta có: dung lượng kênh lớn nhất khi băng thông khoảng 25 kHz đến 27 kHz.

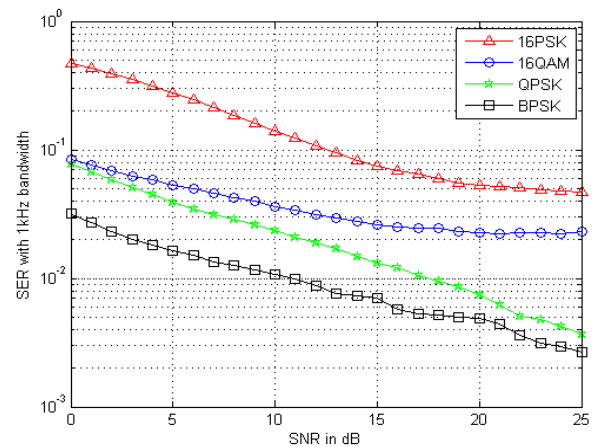


Hình 9. Đặc tuyến của dung lượng kênh của hệ thống

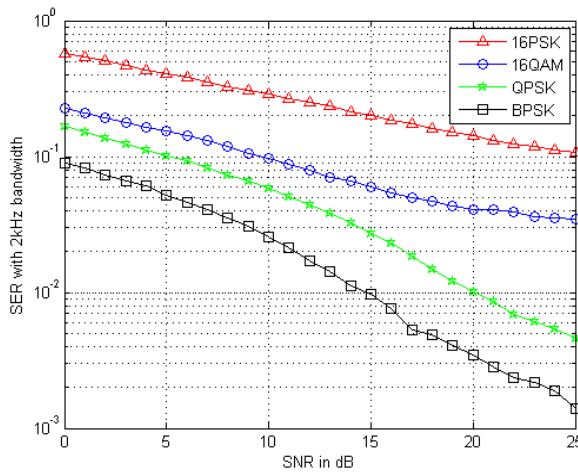
5.2. Đánh giá bằng thông phù hợp và tỉ lệ lỗi khung SER

Tỉ lệ lỗi khung SER phụ thuộc tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu (Signal to Noise Ratio - SNR) của hệ thống, khi sử dụng các loại điều chế 16QAM, 16PSK, QPSK và BPSK.

Trên hình 10 là đặc tuyến với băng thông là 1 kHz và trên hình 11 là 2 kHz. Các kết quả cho thấy, tỉ lệ lỗi SER tăng dần khi phương pháp điều chế lần lượt là BPSK, QPSK, 16QAM đến 16PSK.



Hình 10. Tỉ lệ lỗi khung SER phụ thuộc SNR với băng thông 1 kHz



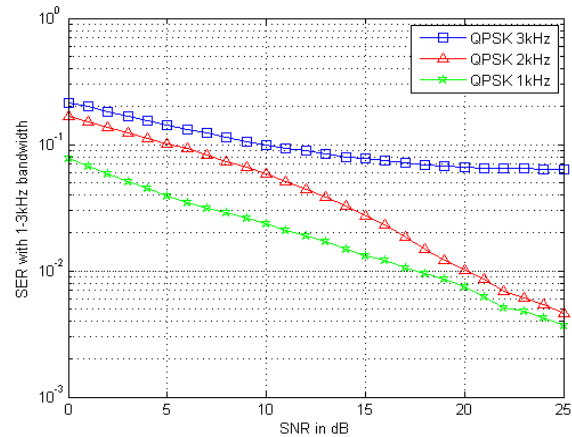
Hình 11. Tỷ lệ lỗi khung SER phụ thuộc SNR với băng thông 2 kHz

Như vậy, để có tỷ lệ lỗi SER thấp thì ta sẽ lựa chọn phương pháp điều chế trong khối Baseband Mod với hệ số điều chế (M) thấp. Với điều chế BPSK thì $M = 2$; với QPSK thì $M = 4$; 16QAM và 16PSK thì $M = 16$.

Đồng thời, thì tỷ lệ lỗi SER với băng thông 1 kHz sẽ thấp hơn so với băng thông 2 kHz nếu cùng chọn một phương pháp điều chế.

Kết quả trên hình 12 cho thấy, nếu lựa chọn băng thông lớn hơn thì tỷ lệ lỗi SER lại thấp

hơn. Điều này cho thấy, trong dải băng thông cho phép, ta sẽ lựa chọn băng thông thấp hơn để có được tỷ lệ lỗi SER thấp.



Hình 12. Tỷ lệ lỗi khung SER phụ thuộc SNR với điều chế QPSK và băng thông 1, 2 và 3 kHz

6. KẾT LUẬN

Đối với kênh truyền âm thanh đa đường dưới nước, ta có thể áp dụng mô hình dựa trên cơ sở hình học để mô hình kênh. Nhiều màu trong kênh truyền âm thanh dưới nước có thể mô hình hóa theo mô hình $\frac{1}{f^\beta}$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ruoyu Su, R. Venkatesan, and Cheng Li, "A review of channel modeling techniques for underwater acoustic communications", NECEC 2010, (2010).
- [2] Meisam Naderi, Matthias Patzold, and Alenka G.Zajic, "A Geometry-Based Channel Model for Shallow Underwater Acoustic Channels Under Rough Surface and Bottom Scattering Conditions", 2014 IEEE Fifth International Conference on Communications and Electronics (ICCE), (2014).
- [3] L. Zão and R. Coelho, Member, IEEE, "Colored Noise Based Multicondition Training Technique for Robust Speaker Identification", IEEE signal processing letters, vol. 18, No. 11, (November 2011).
- [4] Xuan Thang Nguyen, Xuan Bach Tran, and Van Duc Nguyen, "An Improvement of the L_p -Norm Method to Model Acoustic Shallow Water Channels", IEEE ICCE 2014, (2014).

Thông tin liên hệ:

Phạm Anh Tuấn

Điện thoại: 0939240099 - Email: tuanpa@uneti.edu.vn

Khoa Điện tử, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

