

CHỐNG PHA ĐÌNH TRONG THÔNG TIN VÔ TUYẾN DƯỚI NƯỚC

Nguyễn Ngọc Oanh, Phan Thanh Minh, Nguyễn Đức Chương

Trường Đại học Thông tin Liên lạc

Tóm tắt:

Thông tin dưới nước cùng với các ứng dụng của nó là một lĩnh vực nghiên cứu đã, đang được phát triển nhanh chóng và mở rộng trong nhiều lĩnh vực. Có hai cách thiết lập việc trao đổi thông tin giữa các thiết bị dưới nước: Cách thứ nhất là kết nối bằng cáp giữa máy phát và máy thu, cách này bảo đảm chất lượng tín hiệu tốt và giảm thiểu những tác động không mong muốn của môi trường; nhưng chi phí cho việc triển khai bảo đảm liên lạc cao, công tác bảo quản và bảo dưỡng khó khăn. Cách thứ hai là thiết lập thông tin giữa các thiết bị bằng cách sử dụng nước như một môi trường truyền dẫn tín hiệu và kênh thông tin vô tuyến dưới nước như vậy được gọi là kênh thủy âm. Tuy nhiên, nhược điểm lớn của thông tin vô tuyến dưới nước đó là hiện tượng đa đường, các tia sóng phản xạ từ mặt nước và đáy biển tới điểm thu lệch pha so với đường truyền thẳng gây ra tăng/giảm tín hiệu hay còn gọi là pha đình. Nội dung bài báo sẽ trình bày phương pháp chống pha đình sử dụng bộ điều chỉnh cân bằng đối với hệ thống thông tin vô tuyến dưới nước.

Từ khóa: thủy âm, truyền dẫn, pha đình

1. Mở đầu

Thông tin vô tuyến dưới nước sử dụng sóng âm đã và đang được nghiên cứu, triển khai mạnh mẽ tại các nước tiên tiến. Ban đầu chủ yếu cho truyền tín hiệu thoại điều chế tương tự với sóng mang trong khoảng 8~11kHz, ngày nay công nghệ xử lý tín hiệu số (DSP) cho phép sử dụng các bộ điều chế và giải điều chế sóng thủy âm để truyền dữ liệu khoảng cách vài km với tốc độ vài Kbps. Về ứng dụng, thông tin vô tuyến dưới nước được sử dụng cho các lĩnh vực lớn của đời sống như: giám sát môi trường; thăm dò dưới nước; thu thập dữ liệu khoa học; tìm kiếm và giám định.

- Giám sát môi trường: theo dõi biến đổi khí hậu, kiểm soát ô nhiễm, dự báo thảm họa thiên nhiên, phục vụ thông tin dữ liệu khu vực giàn khoan dầu và ga, công tác bảo vệ cảng, nhà giàn, đặc biệt là sự hoạt động của tàu ngầm trên vùng biển.

- Thăm dò dưới nước: khám phá các nguồn lực tự nhiên, các hiện tượng của biển cả, khám phá khảo cổ ở các vùng nước sâu.

- Thu thập dữ liệu khoa học: quan trắc đại dương, khoa học trái đất, sinh vật biển.

- Tìm kiếm và giám định: Nhận dạng các mục tiêu, tạo ảnh và lập bản đồ đáy biển.

Trong thực tế truyền lan của sóng thủy âm bị giới hạn bằng thông và phụ thuộc vào khoảng cách thông tin, sóng truyền chậm với vận tốc khoảng

1500m/s. Nhược điểm lớn của thông tin vô tuyến dưới nước đó là hiện tượng đa đường, các tia sóng phản xạ từ mặt nước và đáy biển tới điểm thu lệch pha so với đường truyền thẳng gây ra tăng/giảm tín hiệu hay còn gọi là pha đình. Trong điều chế số, hệ thống thông tin vô tuyến dưới nước bị pha đình có thể gây ra nhiễu xuyên ký tự (ISI). Vì vậy, nghiên cứu phương pháp chống pha đình đối với hệ thống thông tin vô tuyến dưới nước đang là vấn đề được quan tâm tại nhiều quốc gia.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Mô hình và công nghệ hệ thống thông tin vô tuyến dưới nước, ảnh hưởng của môi trường truyền lan sóng âm trong nước, hiện tượng truyền đa đường do phản xạ mặt nước và đáy biển ảnh hưởng tới cường độ tín hiệu thu và hiện tượng nhiễu ISI khi sử dụng công nghệ điều chế số.

Mô hình pha đình Rayleigh và Ricean theo lý thuyết xác suất thống kê, các phương pháp chống pha đình đa đường dựa trên đánh giá mức tín hiệu/tạp âm (SNR).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp mô hình hóa, phân tích và xây dựng mô hình toán theo xác suất thống kê.

- Phương pháp giải tích và tính toán các kết quả, phân tích so sánh đồ thị.

- Kết quả mô phỏng được thực hiện bằng phần mềm Matlab.

3. Kết quả nghiên cứu

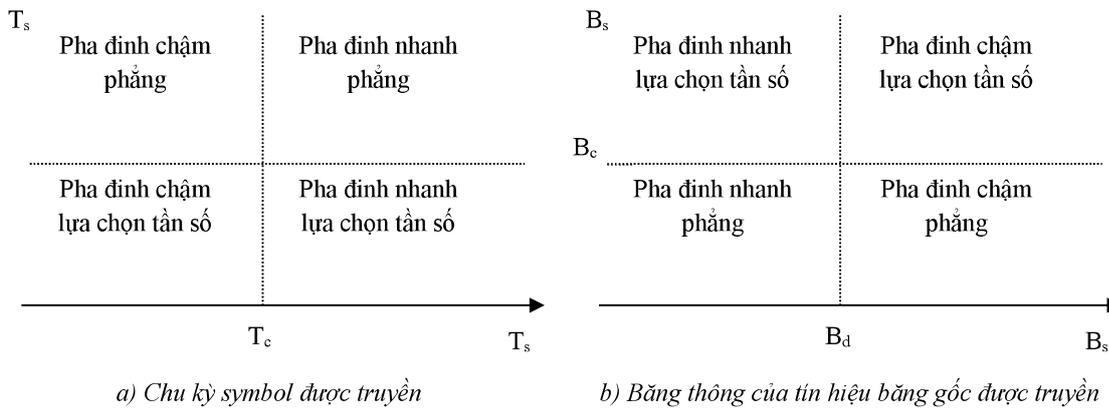
3.1. Pha đĩnh trong thông tin.

Mặt nước và đáy biển là những khu vực gây ra hiện tượng truyền đa đường. Các tia phản xạ và khúc xạ đi đến máy thu có pha sớm, hoặc muộn hơn tia trực tiếp đều làm cho sóng tổng thu được bị giảm. Nếu các tia này trùng pha với tia trực tiếp thì tạo ra hiện tượng cộng là tăng tín hiệu thu được. Hiện tượng tăng/giảm này làm cho máy thu hoạt động không ổn định gây ra nhiễu xuyên ký tự (ISI - Inter symbol Interference).

Nghiên cứu về thông tin di động sử dụng sóng vô tuyến chỉ ra rằng pha đĩnh của hệ thống này gây

ra do phản xạ từ các vật xung quanh như tòa nhà, mặt đất v.v. Đối với thông tin dưới nước, vật gây ra phản xạ đa đường là mặt biển và đáy biển là chủ yếu. Các phương tiện như tàu thuyền chạy trên mặt nước cũng đôi khi gây ra pha đĩnh nhưng chiếm tỷ lệ thấp so với hai loại trên. Tốc độ truyền lan chậm hơn rất nhiều so với sóng điện từ, cộng với sóng biển làm mặt nước không ổn định làm cho việc chống pha đĩnh đa đường gặp những khó khăn hơn thông tin di động sử dụng sóng điện từ.

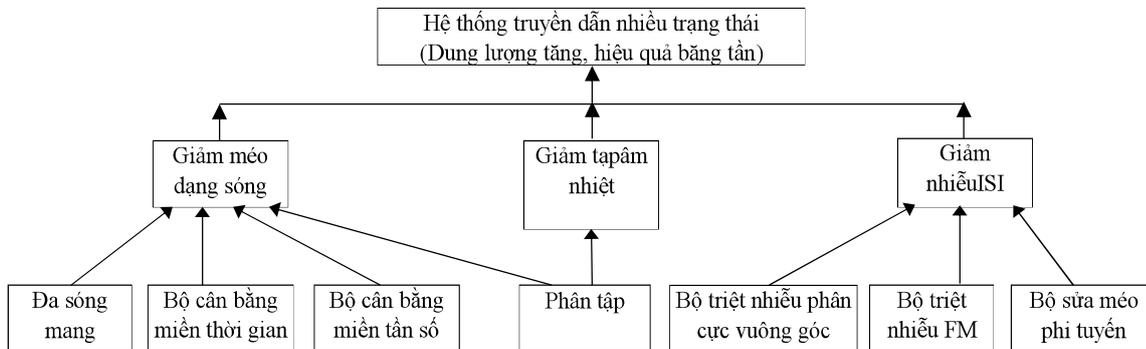
Pha đĩnh là hiện tượng cường độ của tín hiệu bị tăng giảm theo thời gian trong quá trình truyền dẫn và tại đầu thu tín hiệu thu được bị suy giảm. Pha đĩnh được phân loại theo chu kỳ của symbol và băng thông của tín hiệu như sau:



Hình 1. Phân loại pha đĩnh

3.2. Các phương pháp chống pha đĩnh trong thông tin dưới nước

Trong thông tin dưới nước, sử dụng các biện pháp kỹ thuật chống pha đĩnh nhằm đạt được hệ thống truyền dẫn nhiều trạng thái có dung lượng cao và sử dụng băng tần hiệu quả.



Hình 2. Các phương pháp chống pha đĩnh.

3.2.1. Bộ cân bằng ở miền thời gian

Trong thông tin thủy âm, các bộ cân bằng ngang thường được sử dụng cho các bộ cân bằng ở miền thời gian. Các bộ cân bằng này được sử dụng sau giải điều chế ở băng gốc của máy thu nên chúng được gọi là các bộ cân bằng ở miền thời gian.

Nguyên lý chung của các bộ cân bằng ở miền thời gian là sự giảm cấp của các đặc tính tần số do pha đĩnh chọn lọc tần số dẫn đến méo dạng sóng sau điều chế ở băng tần gốc gây ra nhiễu giao thoa giữa các ký hiệu (ISI). Bộ cân bằng ngang được thiết kế để loại bỏ nhiễu giao thoa giữa các ký hiệu gây ra do

méo dạng sóng. Về mặt lý thuyết thì bộ cân bằng ngang có thể cân bằng mọi dạng méo.

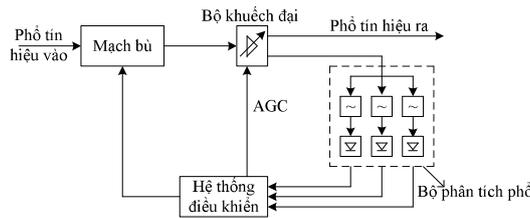
Ta có thể xây dựng ma trận cường bức về không đối với các bộ cân bằng và việc chọn các hệ số rõ nhánh để giảm thiểu méo bằng cách cường bức về không tại M điểm mẫu ở cả hai phía của xung được xét

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_v(0), P_v(-1), \dots, P_v(-2M) \\ P_v(1), P_v(-1), \dots, P_v(-2M+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ P_v(2M), \dots, P_v(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{-M} \\ C_{-M+1} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ C_M \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.2.2. Bộ cân bằng ở miền tần số

Các bộ cân bằng ở miền tần số được thiết kế nhằm mục đích cân bằng trực tiếp sự phân tán phổ bằng cách tạo ra đặc tính phổ bù trừ ngược với phân

tán trong băng do pha đỉnh nhiều tia. Các bộ cân bằng này thường được sử dụng trước khi giải điều chế. Vì thế chúng được gọi là các bộ cân bằng ở miền tần số.



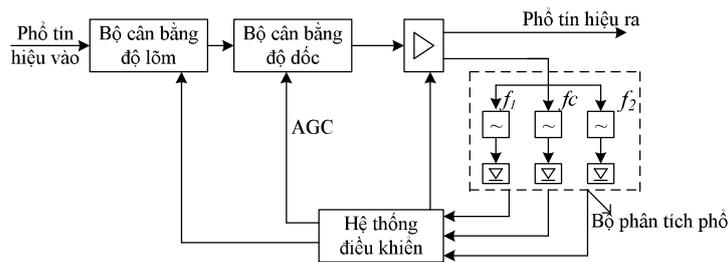
Hình 3. Mô tả bộ cân bằng ở miền tần số

Méo do mạch bù gây ra ngược với méo dạng phổ tín hiệu vào. Sau khối bù thường là một bộ khuếch đại đặc tuyến phẳng có hệ số khuếch đại thay đổi được để giữ cho mức ra không đổi. Mạch tự động điều chỉnh (AGC) để bù trừ tổn hao do mạch bù gây ra. Các tín hiệu đưa lên hệ thống điều khiển được lấy mẫu từ một số tần số đặc trưng.

Phổ của tín hiệu vào được lấy mẫu tại tần số trung tâm f_c và hai tần số biên là f_1 và f_2 . Các giá trị mẫu tại f_1 và f_2 được so sánh với nhau để điều khiển độ nghiêng đặc tuyến tần số của bộ cân bằng độ dốc và bù trừ độ nghiêng của phổ vào. Giá trị trung bình của hai mẫu tại hai tần số f_1 và f_2 được so sánh với giá trị mẫu f_c để điều chỉnh đặc tuyến tần số của bộ cân bằng độ lõm và bù trừ độ võng phổ vào tại f_c .

3.2.3. Bộ cân bằng độ dốc và độ lõm đặc tuyến truyền sóng

Bộ cân bằng độ dốc và độ lõm ở tần số trung tâm đặc tuyến truyền sóng được biểu diễn bởi hình 4.



Hình 4. Mô tả bộ cân bằng độ dốc và độ lõm của đặc tuyến tần số

3.2.1. Kỹ thuật phân tập

Phân tập là một phương pháp dùng trong thông tin để nâng cao độ tin cậy của việc truyền tín hiệu bằng cách truyền một tín hiệu giống nhau trên nhiều kênh truyền khác nhau để đầu thu có thể chọn trong số những tín hiệu thu được hoặc kết hợp những tín hiệu đó thành một tín hiệu tốt nhất. Việc này nhằm chống lại pha đỉnh và nhiễu là do những

kênh truyền khác nhau sẽ chịu pha đỉnh và nhiễu khác nhau.

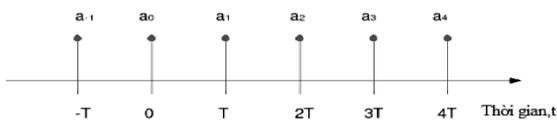
Mức độ độc lập của các kênh phân tập được trình bày bằng phương pháp tương quan chéo giữa các đường bao của pha đỉnh. Truyền dẫn phân tập ảnh hưởng rất lớn lên xác suất vượt ngưỡng, nghĩa là xác suất mà ở đó tín hiệu tổng hợp (được kết hợp từ các kênh phân tập) sẽ giảm xuống thấp hơn vị trí ngưỡng quy định. Một số kỹ thuật phân tập chính

nhằm chống lại ảnh hưởng của pha đỉnh và nhiễu như sau:

- *Phân tập không gian*: Tín hiệu được truyền trên nhiều đường khác nhau. Trong truyền dẫn hay sử dụng phân tập anten, chẳng hạn như phân tập phát/phân tập thu là phân tập trên nhiều anten phát/anten thu. Nếu các anten đặt gần nhau khoảng vài bước sóng thì gọi là phân tập gần, nếu anten đặt cách xa nhau thì gọi là phân tập xa.

- *Phân tập thời gian*: Tín hiệu được truyền đi ở những thời điểm khác nhau. Người ta dùng mã sửa lỗi FEC và trải tín hiệu ra theo thời gian bằng bộ ghép xen. Các kỹ thuật thu phân tập thời gian được sử dụng chủ yếu trong truyền số liệu số trên một kênh pha đỉnh. Trong phân tập thời gian, số liệu giống nhau được gửi đi trên kênh tại các khoảng thời gian có thứ tự tỉ lệ nghịch với tốc độ pha đỉnh bằng tần gốc.

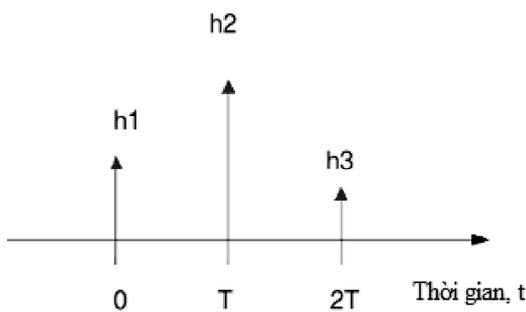
- *Phân tập tần số*: Tín hiệu được truyền trên nhiều tần số khác nhau hoặc trên một dây phổ tần rộng bị tác động bởi pha đỉnh lựa chọn tần số.



Hình 5.6 dấu được phát đi

*** Mô hình kênh truyền**

Giả sử kênh xét là kênh đa đường có 3 nhánh cách nhau T. $h[k] = [h_1 h_2 h_3]$



Hình 6. Kênh đa đường 3 nhánh.

*** Cân bằng “0”**

Mục tiêu của cân bằng “0” là xác định ra một tập các hệ số của mạch lọc $c[k]$ sao cho $h[k] \otimes c[k] = \delta[k]$ sau khi cân bằng. Đại lượng $c[k] \otimes n$ gây ra khuếch đại tạp âm làm tăng tỷ lệ lỗi bit.

*** Các hệ số cân bằng**: Từ cột ma trận toeplitz-matrix cho thấy rằng phép tích chập có thể được đại diện bằng phép nhân ma trận.

- *Phân tập góc*: Sử dụng các búp hướng anten để thu tín hiệu và chọn ra búp hướng cho tín hiệu tốt hơn.

3.3. Kết quả tính toán và mô phỏng

Để đánh giá hiệu quả của bộ cân bằng 0, chống nhiễu ISI trong kênh thông tin dưới nước bị ảnh hưởng của pha đỉnh đa đường, bằng cách giảm tỷ lệ lỗi bit với điều chế BPSK. Giả sử rằng không có định dạng xung tại máy phát. Kênh có nhiễu ISI được coi là kênh 3 nhánh cố định.

*** Phát dấu (symbol)**

Các dấu phát đi được mô hình hóa:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n g(t - nT) \tag{2}$$

Trong đó: T là chu kỳ dấu, a_n là dấu được phát đi; $g(t)$ đại diện cho bộ lọc của máy phát; n là chỉ số của dấu và $s(t)$ là dạng sóng của ra.

Để đơn giản, ta xem không có bộ lọc định hình xung tại máy phát, ví dụ $g(t) = \delta(t)$; do đó các dấu phát đi có thể được mô hình hóa rời rạc thời gian tương đương $s(k) = a_n$

Ngoài ảnh hưởng đa đường, tín hiệu thu bao gồm cả tạp âm (n), tiêu biểu là (AWGN). Giá trị của tạp âm này tuân theo hàm phân bố xác suất Gauss.

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{ với } \mu=0, \text{ phương sai}$$

$$\sigma^2 = \frac{N_0}{2}$$

Tín hiệu thu được: $y[k] = s[k] \otimes h[k] + n$, trong đó \otimes là phép tích chập.

Dùng ma trận đại số tương tự và xem các hệ số $c[k]$ có 3 nhánh, phương trình $h[k] \otimes c[k] = \delta[k]$ có thể được đại diện bằng:

$$\begin{pmatrix} h2 & h1 & 0 \\ h3 & h2 & h1 \\ 0 & h3 & h2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c1 \\ c2 \\ c3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}; \text{ Giải tìm } c[k], \text{ ta}$$

$$\text{có: } \begin{pmatrix} c1 \\ c2 \\ c3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h2 & h1 & 0 \\ h3 & h2 & h1 \\ 0 & h3 & h2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

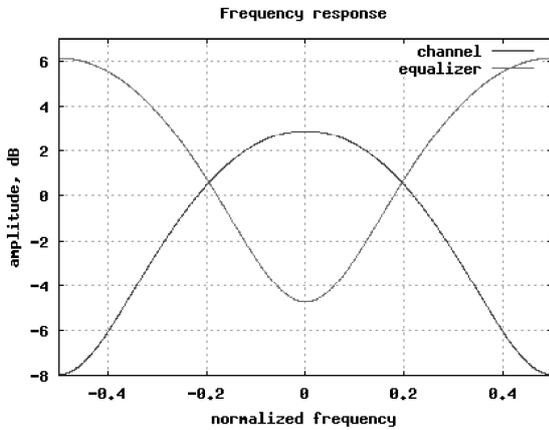
Giả sử rằng $c[k]$ có 5 nhánh:

$$\begin{pmatrix} h2 & h1 & 0 & 0 & 0 \\ h3 & h2 & h1 & 0 & 0 \\ 0 & h3 & h2 & h1 & 0 \\ 0 & 0 & h3 & h2 & h1 \\ 0 & 0 & 0 & h3 & h2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c1 \\ c2 \\ c3 \\ c4 \\ c5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Giải tìm $c[k]$ ta được:

$$\begin{pmatrix} c1 \\ c2 \\ c3 \\ c4 \\ c5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h2 & h1 & 0 & 0 & 0 \\ h3 & h2 & h1 & 0 & 0 \\ 0 & h3 & h2 & h1 & 0 \\ 0 & 0 & h3 & h2 & h1 \\ 0 & 0 & 0 & h3 & h2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

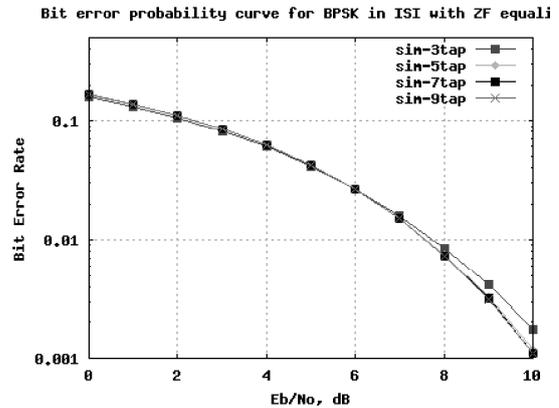
Đáp ứng tần số của kênh $h[k]$ và bộ cân bằng $c[k]$ được trình bày trong hình 7.



Hình 7. Đáp ứng tần số của kênh (màu lam) và bộ cân bằng (màu tím)

Kết quả mô phỏng cho thấy, khi tăng độ dài nhánh của bộ cân bằng từ 3 lên 5 thì chất lượng tín hiệu sẽ tốt hơn và không bị đa đường.

* Kết quả mô phỏng



Hình 8. Đồ thị lỗi bit-BER của điều chế BPSK trong kênh 3 nhánh có nhiễu ISI sử dụng bộ điều chỉnh cân bằng.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày các phương pháp chống pha đình và mô phỏng, tính toán ảnh hưởng của hiện tượng pha đình trong hệ thống thông tin vô tuyến dưới nước sử dụng bộ điều chỉnh cân bằng. Tuy nhiên, trong bài báo này chưa tính toán đến việc dùng bộ lọc cân bằng “0” khi máy phát dùng bộ định dạng xung và bộ cân bằng sai số trung bình bình phương cực tiểu; đây cũng chính là vấn đề mở ra một hướng nghiên cứu mới nhằm khắc phục và cải tiến tốt hơn cho cấu hình này trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Diogo Mendes. Amalab/simulink model to evaluate underwater acoustic. Master's thesis, Universitydade do Minho, Portugal, December 2011.
2. Kalangi Pullarao Prasanth. Modelling and simulation of an underwater acoustic communication channel Master's thesis, University of applied sciences Bremen, Germany 2004.
3. Gunilla BurroWes and Jamil Y. Khan. Short-range underwater acoustic communication networks. Autonomous Underwater Vehicles, Mr. Nuno Cruz(Ed), 2011.
4. Underwater Wireless communication: Current Achievements and Research Challenges Milica Stojanovic Massachusetts Institute of Technology. Seagrant Cllege Program.
5. Underwater Wireless communication- Milica Stojanovic Massachusetts Institute of Technology.
6. R.F.W. Coates, M. Zheng and L.Wang, Apr.1996. BASS 300 PARACOM: A “model” underwater parameteric communication system. IEE J. Oceanic Eng..vol.21.pp.225-232.

USING BALANCE ADJUSTER TO AGAINST FADING IN THE UNDERWATER COMMUNICATION

Nguyễn Ngọc Oanh, Phan Thanh Minh, Nguyễn Đức Chương

Telecommunications University

Abstract:

Underwater communication and its applications is a research field that has been developing rapidly, extending in many fields. There are two ways of establishing information exchange between underwater devices. The simplest and most effective way is the using a cable connection between the transmitter and the receiver, which ensures high quality of signal and minimize the effects of the environment. However, the disadvantages of that way are costly deployment and difficult maintenance. The second way established information between devices using water as a signal transmission medium is called underwater communication channel. Nevertheless, the main trouble of underwater wireless communication is multi-ray. The rays reflected from the surface water and the sea-floor to a receiver differ phase from direct connect and cause signal increase or decrease in the receiver. That fluctuation is called fading. This article illustrates a method to against fading using balance adjuster in the underwater wireless communication system.

Keywords: *Underwater acoustic; signal transmission; fading*