

SỬ DỤNG HỆ LƯỚI LỒNG TRONG PHƯƠNG PHÁP GIẢI SỐ ĐỂ DỰ BÁO NƯỚC DÂNG DO BÃO TẠI VINH BẮC BỘ

PTS. Bùi Xuân Thông
Trung tâm Khí tượng Thủy văn Biển

1. Khái niệm về lưới lồng

Để giải hệ các phương trình thủy động bằng các phương pháp số trị người ta thường sử dụng các hệ lưới khác nhau, hệ lưới đều và hệ lưới không đều (khoảng cách giữa các mắt lưới bằng nhau và không bằng nhau theo các chiều X và Y của hệ toạ độ) trong phương pháp sai phân hữu hạn và bằng hệ lưới tam giác trong phương pháp phân tử hữu hạn [1]. Trong bài này sẽ trình bày hệ lưới lồng tức là trong toàn bộ miền tính toán tồn tại cùng một lúc hai hệ lưới khác nhau xen kẽ trong quá trình tính toán [5]. Trong toàn bộ hệ lưới không gian thích hợp với một miền tính toán, ở đâu đó trong miền tính cần có lời giải chi tiết hơn, tập trung hơn để mô tả chính xác nghiệm số của hệ phương trình trong miền con, do đó tại đây cần có quy cách lưới nhỏ hơn. Hệ lưới xung quanh miền lưới nhỏ gọi là hệ lưới thô. Hệ lưới con hay còn gọi là lưới tinh nằm trong miền lưới thô tạo thành hệ lưới lồng. Khi tạo các miền lưới con cần thỏa mãn các điều kiện:

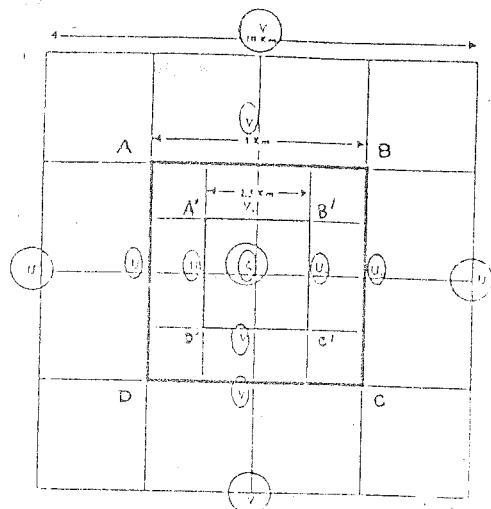
- Miền lưới con phải đủ lớn để có thể mô tả được các nhiễu động có qui mô trên toàn miền lưới thô [3]. Có thể lấy ví dụ dự báo nước dâng các miền lưới nhỏ hay còn gọi là miền lưới tinh phải đủ lớn để vừa mô tả được cả hai hiện tượng là quá trình bão và các biến động mực nước do bão gây ra [2].
- Điều kiện thứ hai để hình thành các miền lưới tinh là phải thỏa mãn được mục tiêu tập trung của lời giải. Khi tính toán dự báo nước dâng do bão cần tập trung xác định khu vực xảy ra nước dâng cực đại, khi tính toán lan truyền nhiễm bẩn cần chú ý tới khu vực có khả năng tập trung nồng độ cao, khi tính toán dự báo sự di chuyển đường đi của bão cần tập trung vào vùng ngoại vi bên phải đường đi của bão hay là vùng xung quanh tâm di chuyển của bão [3].
- Điều kiện thứ ba có liên quan tới các phương pháp xác định các giá trị trên mặt tiếp giáp giữa hai hệ lưới. Các phương pháp này có đủ độ mềm dẻo để lời giải chuyển từ lưới thô vào miền lưới tinh (lưới con) và ngược lại thỏa mãn điều kiện hội tụ của bài toán [1,3,5].

2. Các loại hệ lưới lồng

Có hai loại hệ lưới lồng cơ bản. Loại lưới lồng một chiều và loại lưới lồng hai chiều.

a. Hệ lưới lồng một chiều. Hệ lưới này chỉ có tác động một chiều tức là kết quả tính từ hệ lưới thô được sử dụng để ngoại suy các giá trị tại các nút giữa hai hệ lưới. Sau mỗi bước thời gian tính toán các giá trị nghiệm số của hai hệ lưới thô và lưới tinh được lưu giữ trong hai file kết quả riêng biệt theo quy cách của phần mềm đồ họa. Đặc điểm của loại lưới lồng một chiều là chỉ có kết quả tính toán của hệ lưới thô tác động trực tiếp đến kết quả của miền lưới tinh.

b. Hệ lưới lồng hai chiều. Trong hệ lưới lồng hai chiều tồn tại tác động qua lại giữa kết quả tính toán của hai hệ lưới. Từ kết quả tính toán của miền lưới thô nội ngoại suy ra các giá trị tại các điểm nút trên mặt tiếp giáp giữa hai miền tính toán nhằm xác định ra các giá trị tại các điểm biên của miền lưới tinh. Từ kết quả tính toán của miền lưới tinh lại tiếp tục ngoại suy cho các điểm lân cận của hệ lưới thô trên mặt tiếp giáp giữa hai hệ lưới. Quá trình tính toán này thực hiện cho một bước thời gian [5].



Sơ đồ 1: Hệ lưới lồng tại một nút lưới

Trên sơ đồ 1 dẫn ra ví dụ hệ lưới gồm 3 hệ khác nhau: Bước lưới thô 10 km, bước lưới tinh 5 km và bước lưới tinh 2,5 km. Các đường biên tiếp giáp giữa hai hệ lưới có bước lưới 10 km và 5 km là các đường AB, BC, CD và DA. Các đường biên tiếp giáp giữa hai hệ lưới 5 km và 2,5 km là các đường A'B', B'C', C'D' và D'A'. Cả 3 hệ lưới này có chung một tâm tính giá trị ζ được ký hiệu là \circledast . Các điểm tính U và V tại các điểm tính của lưới thô được ký hiệu là O, các điểm nội suy của U và V tại biên của lưới tinh (lưới con) được ký hiệu là θ .

3. Phương pháp xây dựng hệ lưới lồng

Ở trên đã đề cập đến hai loại hệ lưới lồng với hai miền không gian hai bước lưới khác biệt nhau. Nếu quá trình tính toán độc lập trên hai miền với các mảng hai chiều độc lập chỉ ràng buộc với nhau qua các giá trị trên mặt tiếp giáp ta gọi phương pháp xây dựng hệ lưới lồng này là phương pháp có bước lưới không liên tục. Theo cách làm này ta luôn thể hiện được hai kết quả tính toán lưu giữ trong hai file đặc trưng cho hai khu vực lưới thô và lưới tinh. Ngược lại, phương pháp thứ hai có bước lưới liên tục trong toàn miền tính toán với hai quy cách lưới khác nhau, miền tính toán tương ứng với bước lưới thô và miền tính toán tương ứng với bước lưới tinh. Như vậy, toàn bộ bài toán được thực hiện trên một mảng hai chiều duy nhất và chỉ lưu giữ lại kết quả tính toán và dự báo tương ứng với khu vực lưới con (lưới tinh) là nơi ta cần tập trung lời giải. Tuy nhiên, trong quá trình tính toán vẫn luôn kiểm tra được các giá trị khác trong toàn miền tính toán thuộc khu vực lưới thô và lưới tinh. Dưới đây sẽ trình bày kỹ thuật sai phân và nội ngoại suy các giá trị trên các mặt biên tiếp giáp giữa hai hệ lưới tương ứng với hai loại hệ lưới vừa nói trên.

a. Hệ lưới lồng có bước không gian không liên tục

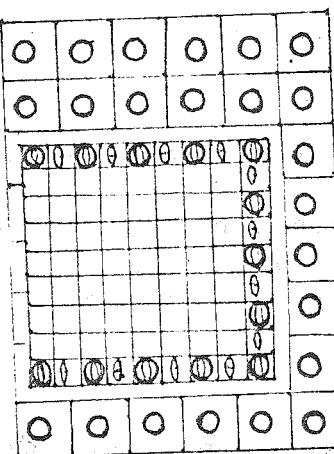
Để thuận tiện ta chọn cách xây dựng hệ lưới lồng này theo nguyên tắc tại miền lưới con có các tâm điểm của mắt lưới trùng vào điểm tâm của mắt lưới thô. Theo sơ đồ sai phân tại những điểm này sẽ có chung giá trị tính đại lượng ζ như trong sơ đồ 1. Việc chia nhỏ lưới thô ra bao nhiêu là tùy ý, trong bài toán này chúng tôi gọi tỷ số giữa hai hệ lưới thô và tinh là N_t :

$$N_t = \frac{D_{xb}}{D_{xs}}$$

Trong đó D_{xb} và D_{xs} là các bước không gian của hệ lưới thô và hệ lưới tinh. Trong sơ đồ 1 ta có một bước lưới thô ABCD với bước lưới 10 km, hệ lưới tinh 1 A'B'C'D' có bước lưới 5 km và hệ lưới tinh 2 A''B''C''D'' có bước lưới 2,5 km. Tất cả các hệ lưới này đều có chung một điểm tâm như đã nói ở trên, làm như vậy để thể hiện hệ lưới theo cách đơn giản nhất. Trong sơ đồ này các đường A'B', B'C', C'D', D'A' cũng như các đường A''B'', B''C'', C''D'', D''A'' là các đường biên của các mặt tiếp giáp ranh giới giữa các miền lưới có các bước không gian khác nhau. Các dấu O đặc trưng cho các giá trị tính được từ miền lưới thô các giá trị của U, V và ζ . Các dấu 0 đặc trưng các giá trị của U, V và ζ của miền lưới tinh. Các dấu lồng O đặc trưng cho giá trị ζ chung của tất cả các hệ lưới. Nguyên tắc chung để ngoại suy các giá trị trên biên của hệ lưới con (lưới tinh) là dựa trên các giá trị đó gần nhất liên tiếp trên miền lưới thô. Ví dụ khi cần ngoại suy giá trị ζ cho các điểm trên vùng biên của lưới con ta sử dụng biểu thức sau :

$$\zeta_0 = 2\zeta_1 - \zeta_2 \quad (1)$$

Trong đó ζ_0 là giá trị độ cao mực nước cần ngoại suy cho các điểm trên vùng biển của lưới con, ζ_1 và ζ_2 là các giá trị về độ cao mực nước tại các điểm lân cận liên tiếp trên vùng biển khô. Đối với các giá trị của thành phần tốc độ U và V trên biển của miền lưới con cũng được xác định theo nguyên tắc của biểu thức (1). Các giá trị U, V và ζ của hai miền lưới tính khô và lưới con được mô tả trong sơ đồ 2 dưới đây.

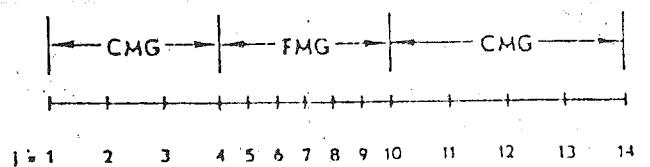


Sơ đồ 2: Hệ lưới lồng với hệ
lưới thô có bước lưới
không gian 10 km và
hệ lưới con có bước lưới
không gian 5 km.

Trên sơ đồ 2 các ký hiệu U, V và ζ như đã nói ở trên (sơ đồ 1), dấu O là các giá trị thuộc miền lưới thô, dấu Θ thuộc miền lưới con và dấu \otimes chỉ các điểm nút trùng nhau miền lưới con và lưới thô. Sau khi đã xác định được các giá trị U, V và ζ thuộc miền biển của lưới con ta có thể dễ dàng áp dụng các sơ đồ sai phân hữu hạn để giải hệ phương trình sai phân đã được vạch ra. Sơ đồ 2 minh họa hệ lưới lồng áp dụng cho một vùng tính toán có dạng hình chữ nhật với 4 đường biên (đường biên phía bắc và phía nam còn gọi là đường biên hông, đường biên phía đông thuộc miền biển hở vùng biển thoáng và cuối cùng là đường biên phía tây là đặc trưng cho vùng bờ cúng).

b. Hệ lưới lồng với các bước không gian liên tục

Khái niệm bước không gian liên tục với hàm ý là cả hai hệ lưới thô và lưới con cùng có chung chỉ số bước lưới theo phương OX và OY. Sơ đồ 3 dưới đây minh họa cho chỉ số bước lưới liên tục giữa hai hệ lưới.



Sơ đồ 3: Hệ lưới lồng liên tục

Các ký hiệu CMG bước lưới trong hệ lưới thô, FMG bước lưới trong hệ lưới con (lưới tinh), chỉ số bước lưới theo phương OY (J) chung cho cả hai hệ 1, 2, 3, Thí dụ, khi thực hiện sai phân tại điểm $J = 10$ ta thực hiện theo sơ đồ sau:

$$\frac{\partial U_{10}}{\partial \tau} = \frac{1}{2} (U_{11} - U_9) \quad \text{Trong miền lưới thô} \quad (2)$$

$$\frac{\partial U_8}{\partial \tau} = \frac{1}{4} (U_{10} - U_6) \quad \text{Trong miền lưới con} \quad (3)$$

c. Hệ lưới lồng với sơ đồ tương tác hai chiều

Phản lớn trong thực tế ta cần sơ đồ lưới lồng một chiều tức là chỉ cần giá trị của lưới thô tác động vào miền lưới con. Trong khi đó hệ lưới lồng hai chiều thì phải xét đến tác động ngược lại của các giá trị miền lưới con tới miền lưới thô. Thông thường, nếu bước thời gian Δ_t cho miền lưới thô thì bước thời gian cho miền lưới con là Δ_t/n , n là tỷ lệ giữa hai bước lưới không gian trong hệ lưới lồng.

4. Áp dụng hệ lưới lồng trong tính toán và dự báo nước dâng do bão

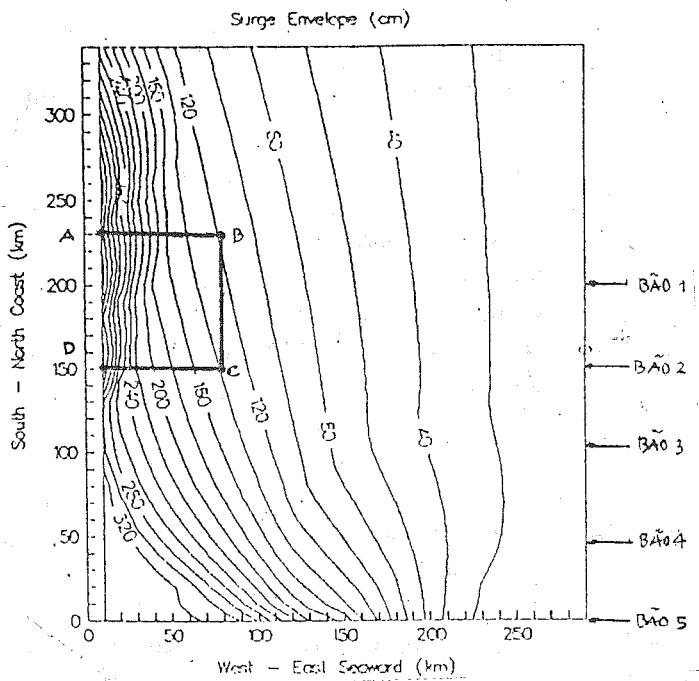
4.1. Áp dụng hệ lưới lồng một chiều để xác định đường bao nước dâng do bão ở vùng biển chuẩn

Trước hết, cần có sự thống nhất về một số khái niệm như thế nào là một vùng biển chuẩn, đường bao nước dâng và hệ phương trình bao quát về nước dâng do bão. Với mục đích là để kiểm tra tính chất đúng đắn của việc giải gần đúng hệ phương trình sai phân áp dụng vào một lưu vực chuẩn tức là một lưu vực hình chữ nhật có đường bờ thẳng, có độ dốc đều từ vùng bờ ra khơi, hay nói một cách khác là tỷ lệ độ dốc là một hằng số. Vùng biển chuẩn này được thể hiện như trên hình 1 với hai hệ lưới thô có bước lưới 10 km và lưới con có bước lưới 5 km. Khái niệm thứ hai là đường bao nước dâng. Tác động vào lưu vực với hàng loạt các cơn bão với các tham số bão khác nhau. Như trong minh họa của bài viết này chúng tôi sử dụng kết quả dự báo nước dâng của 5 cơn bão có cùng các tham số bão chỉ khác nhau vị trí bão đổ bộ (các tham số của bão là bán kính gió cực đại, tốc độ gió cực đại, tốc độ di chuyển của bão, độ lệch khí áp ở tâm, góc vào của gió bão và góc đổ bộ của bão). Với 5 cơn bão có vị trí đổ bộ khác nhau vào bờ tại mỗi nút tính chỉ giữ lại giá trị lớn nhất độ lớn nước dâng, liên kết các giá trị này dưới dạng các đường đẳng trị ta có đường bao nước dâng. Năm cơn bão như trên ta gọi chúng là một họ bão. Bằng cách xác định các đường bao nước dâng của các họ bão khác nhau ta có các kịch bản về độ lớn nước dâng lớn nhất có thể xảy ra tại một lưu vực chuẩn và thực tế. Cách làm này cũng là một hướng thực hiện dự báo nước dâng bão cho từng lưu vực với các kịch bản định trước. Trong bài viết này chúng tôi không trình bày cụ thể hệ phương trình bao quát nước dâng cũng như hệ phương trình sai phân và phương pháp sai phân giải hệ phương trình đó [5]. Kết quả tính toán đường bao nước dâng bão trên vùng lưới thô thể hiện trên H. 1.

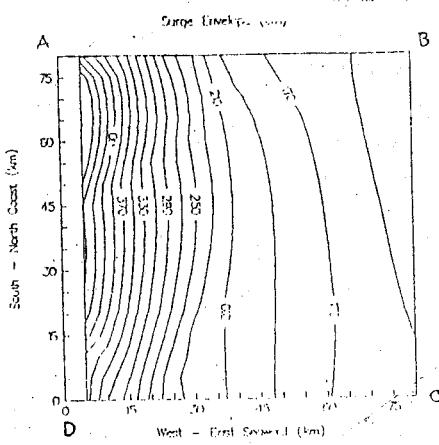
Kết quả tính toán đường bao nước dâng bão tại miền lưới con ABCD theo các nguyên tắc được trình bày ở trên được thể hiện trên H. 2.

4.2. Áp dụng hệ lưới lồng một chiêu để dự báo nước dâng do bão Nancy tháng 10 năm 1982 gây ra tại vùng vịnh Diên Châu, Nghệ An.

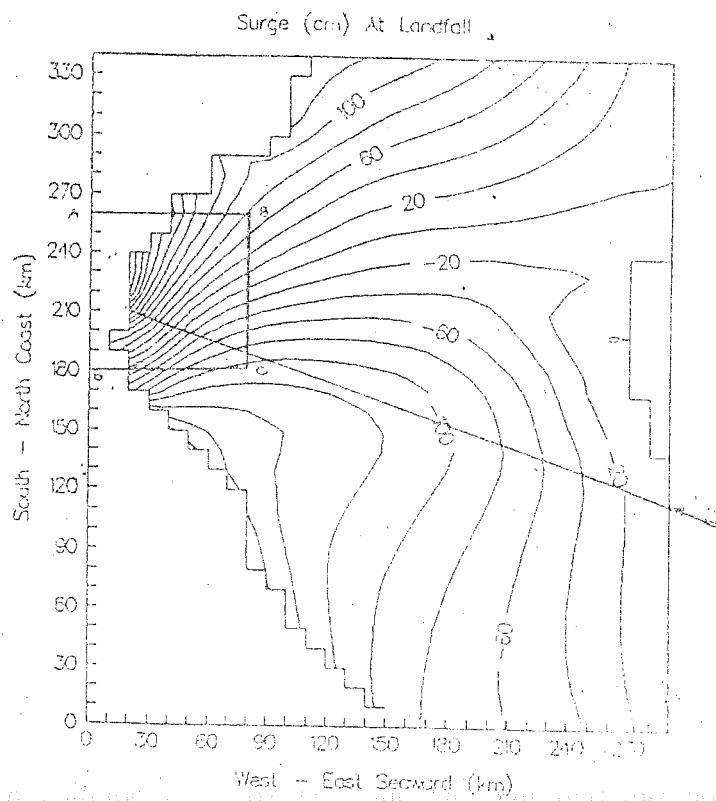
Khi chọn một lưu vực cụ thể với đường bờ và độ sâu thực tế chúng tôi chọn vịnh Bắc Bộ là miền lưới thô có bước lưới 10 km và khu vực vịnh Diên Châu nằm gọn trong miền lưới con với bước lưới 5 km (Hình 3). Để mô tả phân bố nước dâng chi tiết hơn tại khu vực bão đổ bộ ta đã chọn hệ lưới lồng với 2 hệ lưới thô là hầu hết diện tích vịnh Bắc Bộ và một lưới con là khu vực vịnh Diên Châu nơi bão đổ bộ.



Hình 1. Đường bao nước dâng bão (cm) theo hệ lưới lồng một chiều dự báo cho vùng biển chuẩn. Miền lưới con được xác định trong vùng ABCD. Bước lưới thô là 10 km, bước lưới con là 5 km.

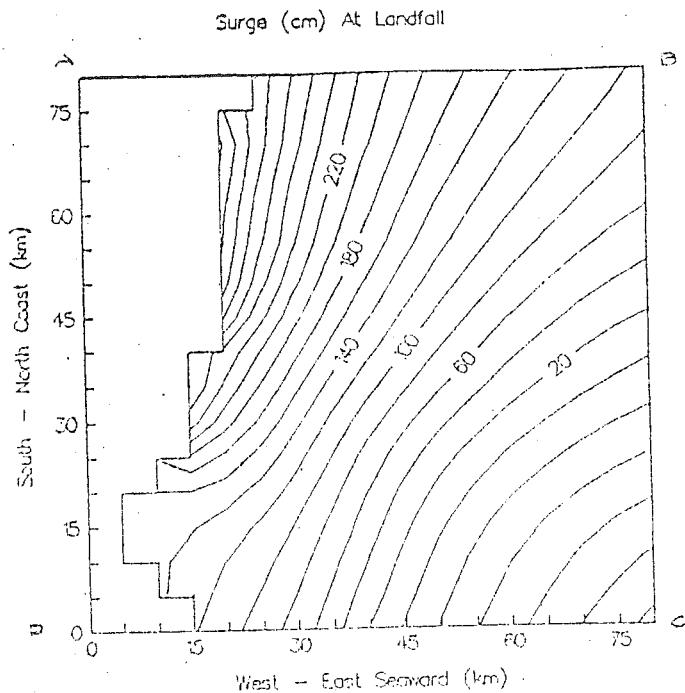


Hình 2. Kết quả xác định đường bao nước dâng bão (cm) cho vùng biển chuẩn tại miền lưới con ABCD theo sơ đồ lưới lồng một chiều



Hình 3. Nước dâng (cm) do bão Nancy (18-10-1982) tại thời điểm bão đổ bộ trong vùng vịnh Bắc Bộ tính theo hệ lưới thô. Nước dâng cực đại theo hệ lưới thô là 270 cm. ABCD là giới hạn vùng lưới con.

So sánh kết quả dự báo nước dâng theo sơ đồ lưới thô như trên hình 3 và theo sơ đồ hệ lưới lồng của miền lưới con ABCD như trên hình 4 ta nhận thấy có nhiều điểm tương đồng. Trước hết là sự giống nhau trong xu thế phân bố các đường dâng độ cao trong khu vực nước dâng đạt giá trị cực đại, điều khác nhau chính là ở giá trị nước dâng cực đại chênh lệch nhau theo sơ đồ lưới thô và lưới lồng. Cần lưu ý là bước lưới thô là 10 km trong khi đó bước lưới trong hệ lưới lồng là 5 km. Cùng so sánh với số liệu nước dâng đo được thực tế do cơn bão Nancy gây ra là 320 cm [4] ta nhận thấy rằng nước dâng dự báo theo sơ đồ hệ lưới lồng cho kết quả tốt hơn. Trong công trình [5] chúng tôi có dẫn ra các kết quả dự báo nước dâng với các cơn bão khác như Cecil (1985), Kelly(1981), Hugo (1989), các kết quả này đều khá phù hợp với số liệu đo thực tế về nước dâng bão. Đồng thời, sơ đồ lưới lồng vừa trình bày ở trên đã được kiểm nghiệm và so sánh với sơ đồ lưới không đều của Jelesnianski(1965), kết quả rất phù hợp trong cùng các điều kiện tính toán [5].



Hình 4. Nước dâng (cm) trên miền lưới con ABCD tại thời điểm bão Nancy (18-10-1982) đổ bộ vào vùng Cửa Lò tính theo sơ đồ lưới lồng một chiều. Nước dâng cực đại dự báo theo sơ đồ này trên miền lưới con là 340 cm.

Tài liệu tham khảo

1. Haltiner, G.J. 1971: Numerical Weather Prediction, John Wiley & Sons. Inc.
2. Roed and C. K. Cooper, 1986 : A Study of Various Open Boundary Conditions for Wind - Forced Barotropic Numerical Ocean Models.
3. E.J. Harsion, Jr., 1972: A Method for Incorporating Nested Finite Grid in the Solution of Systems of Geophysical Equations. Ph.D. Dissertation, Naval Postgraduate School, Monterey, California.
4. Khí tượng Thuỷ văn vùng biển Việt Nam, 1988 : Tập 1. NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.
5. Bui Xuan Thong, 1995: Storm Surge Model Using Nested Grid. Ph.D Dissertation, Department of Meteorology and Oceanography, University of the Philippines.