

TÍNH TOÁN VÀ DỰ BÁO SÓNG VÙNG KHƠI NAM BIỂN ĐÔNG

Hồ Ngọc Sang

Trung tâm Khí tượng Thủy văn phía Nam

Việc tính toán và dự báo sóng ở vùng khơi Nam Biển Đông hiện nay là hết sức cấp thiết nhằm phục vụ việc thăm dò, khai thác dầu khí, đánh bắt hải sản, giao thông vận tải, an ninh quốc phòng,...

Trong bài viết này, chúng tôi đặt vấn đề nghiên cứu phương pháp để tính toán và dự báo sóng ở vùng ngoài khơi Nam Biển Đông, với cách giải số trị phương trình cân bằng năng lượng dưới dạng phổ, đồng thời kết hợp với các hình thể synop tiêu biểu, liên quan đến sự phát sinh, phát triển sóng ở vùng Nam Biển Đông Việt Nam.

1. Giải phương trình cân bằng năng lượng phổ bằng phương pháp số trị

Xuất phát từ phương trình cân bằng năng lượng dưới dạng phổ:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + V_x \frac{\partial S}{\partial x} + V_y \frac{\partial S}{\partial y} = G \quad (1)$$

Trong đó: $S(x, y, t, \omega, \theta)$: phổ sóng, phụ thuộc vào tọa độ vị trí, thời gian, tần số và hướng truyền.

$|V| = \frac{g}{2\omega}$: vận tốc truyền của phổ sóng, gồm các thành phần:

$$V_x = \frac{g}{2\omega} \cos \theta \quad ; \quad V_y = \frac{g}{2\omega} \sin \theta$$

$G = (\alpha + \beta S) (1 - \mu)$: hàm nguồn

α, β : là hàm xác định sự phát triển của sóng

μ : tiêu tán năng lượng

$$\alpha = \frac{4\pi^2 k \omega^3}{P^2 \omega g^3} P(k, \omega)$$

$$P(k, \omega) = (1,23 \omega^{-2} \pi^{-2} U^6) [m_1 / (m_1^2 + k^2 \sin^2 \theta)] \{m_2 / [m_2^2 + (k \cos \theta - \hat{\lambda})^2]\}$$

$$k = \frac{9,818}{U^2} \omega \quad ; \quad \hat{\lambda} = \frac{U}{\omega}$$

$$m_1 = 0,52 (\omega / U)^{0,95}$$

$$m_2 = 0,33 (\omega / U)^{1,28}$$

$$\beta = \frac{P_a}{P\omega} (kU - \omega); \quad P_a = 1,2923 \text{ kg/m}^3; \quad P\omega = 1022 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,8 \exp \left(0,5 \frac{S - S_p}{S} \right)$$

$$S_p = \hat{\alpha} g^2 \omega^{-5} Q(\theta); \quad \hat{\alpha} = 8,1 \times 10^{-3}; \quad Q(\theta) \approx \cos^4 \theta$$

Trong miền vuông góc phẳng D, chúng ta chọn mạng lưới với các bước Δx , Δy biến đổi theo không gian và Δt theo thời gian.

Chúng ta ký hiệu:

$$S_{i,j}^n = S(n\Delta t, i\Delta x, j\Delta y, \omega, \theta); \quad n = 0, 1, \dots, N, \quad i = 0, 1, \dots, I, \quad j = 0, 1, \dots, J$$

Xấp xỉ gần đúng phương trình (1) bằng sơ đồ sai phân hai lớp:

$$\begin{aligned} \frac{S_{i,j}^{n+1} - S_{i,j}^n}{\Delta t} + C_1 V_x \frac{S_{i,j}^n - S_{i-1,j}^n}{\Delta x} + C_2 V_y \frac{S_{i,j}^n - S_{i,j-1}^n}{\Delta y} + \\ + C_3 V_x \frac{S_{i,j}^{n+1} - S_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} + C_4 V_y \frac{S_{i,j}^{n+1} - S_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} + \\ + C_5 V_x \frac{S_{i+1,j}^n - S_{i,j}^n}{\Delta x} + C_6 V_y \frac{S_{i,j+1}^n - S_{i,j}^n}{\Delta y} + \\ + C_7 V_x \frac{S_{i+1,j}^{n+1} - S_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} + C_8 V_y \frac{S_{i,j+1}^{n+1} - S_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} = G_{i,j}^n \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{Trong đó: } C_1 + C_3 + C_5 + C_7 = 1; \quad C_2 + C_4 + C_6 + C_8 = 1$$

Phương trình (2) được giải với điều kiện đầu:

$$S_{i,j}^0 = S(i\Delta x, j\Delta y, t_0, \omega, \theta)$$

và điều kiện biên được viết theo dạng phụ thuộc vào hướng truyền của phổ thành phần sóng.

* Khi $\theta \in [0, \frac{\pi}{2}]$, các điều kiện biên cần phải cho trên các đường thẳng OI và

OJ, vì rằng bất kỳ tính chất nào cũng có điểm đầu trên một trong hai đường thẳng này (Hình 1).

Do vậy, điều kiện biên có thể viết:

$$S_{0,j}^n = S(x_0, j\Delta y, n\Delta t) \quad (a)$$

$$S_{i,0}^n = S(i\Delta x, y_0, n\Delta t) \quad (b)$$

Trong đó (x_0, y_0) là tọa độ của điểm 0, trường hợp đơn giản thì $x_0 = y_0 = 0$

* Khi $\theta \in [-\frac{\pi}{2}, -\pi]$, điều kiện biên cần phải cho trên các đường thẳng JC và CI,
do vậy có thể viết theo dạng:

$$S_{ij}^n = S(i\Delta x, j\Delta y, n\Delta t) \quad (c)$$

$$S_{ij}^n = S(I\Delta x, j\Delta y, n\Delta t) \quad (d)$$

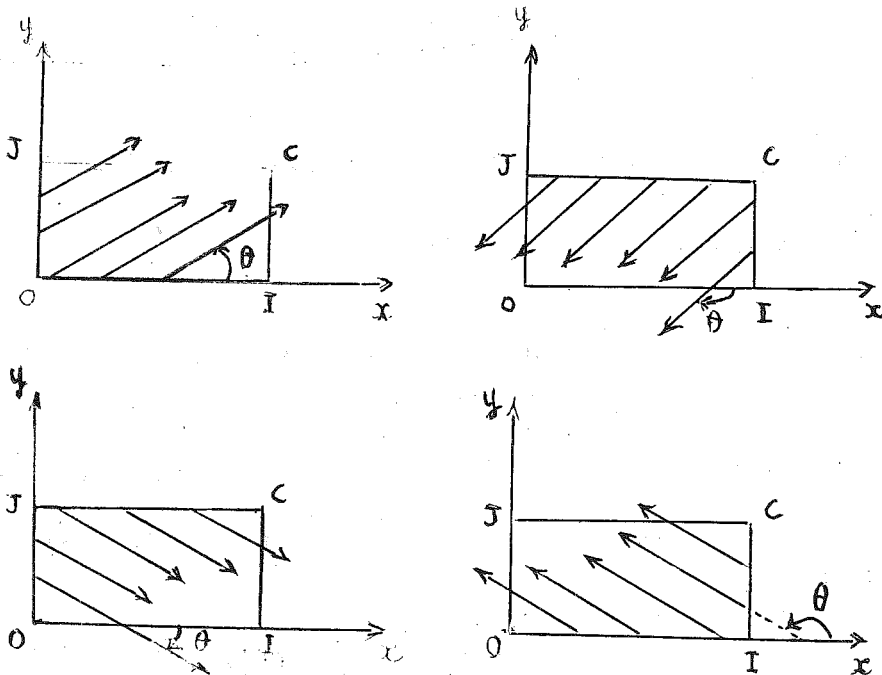
* Khi $\theta \in [0, -\frac{\pi}{2}]$, điều kiện biên được viết theo dạng (a) và (c).

* Khi $\theta \in [-\frac{\pi}{2}, \pi]$, điều kiện biên được viết theo dạng (b) và (d).

Sơ đồ sai phân (2) có độ chính xác bậc 1. Gia số C_i ($i=1,2,\dots,8$) được xác định bằng dạng cụ thể của sơ đồ sai phân 2 lớp và chọn chúng phụ thuộc vào hướng θ và điều kiện ổn định.

Từ sơ đồ chung (2) chúng ta có thể lập ra 8 sơ đồ sai phân cụ thể ứng với 2 loại: sơ đồ hiện ổn định tương đối và sơ đồ ẩn ổn định tuyệt đối. Sơ đồ ẩn có vùng giới hạn phụ thuộc vào lời giải của phương trình sai phân và vì vậy chỉ được ứng dụng trong trường hợp nếu như điều kiện ổn định:

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} \cos \theta + \frac{\Delta t}{\Delta y} \sin \theta < \frac{1}{v} \quad (3)$$



Hình 1. Sơ đồ xác định điều kiện biên (phụ thuộc vào hướng truyền của phổ thành phần sóng)

Chỉ bị phá vỡ ở một số điểm (đối với ω rất nhỏ). Còn nếu như điều kiện ổn định bị phá vỡ hầu như với mọi ω , thì tốt hơn hết là giảm bước tính theo thời gian Δt .

Vùng Nam Biển Đông mà chúng ta tính toán và dự báo sóng, được phân chia ra thành mạng lưới có ranh giới thẳng góc. Vùng mạng lưới bao gồm $I \times J$ của các hình chữ nhật thành phần với các cạnh $\Delta x, \Delta y$. Đường bờ của biển xấp xỉ gần đúng gây khúc đi qua các cạnh tương ứng của các hình chữ nhật thành phần.

Trường gió cho các điểm nút của vùng mạng lưới vào các thời điểm $t = n\Delta t (n=0,1,\dots)$ được viết theo dạng số trị mà các thành phần của nó là các giá trị mô-đun tốc độ U_{nij} và với hướng gió θ_{nij} .

Các tư liệu cho ban đầu của phương trình (2) là các giá trị phổ mật độ $S(\omega, \theta)$ của các điểm vùng mạng lưới vào thời điểm t_0 . Cho điều kiện biên là các giá trị phổ mật độ hai chiều của sóng trên ranh giới ngoài của vùng mạng lưới vào các thời điểm khác nhau.

Chọn hướng $\theta = 0$ dọc theo trục X, chúng ta khảo sát 4 dạng sơ đồ phụ thuộc góc θ ở góc phần tư nào.

$$\frac{\pi}{2} \\ 1/\theta \in [0, \frac{\pi}{2}]$$

Sử dụng điều kiện biên (a) và (b), và nếu như trong các giá trị đã cho $\Delta t, \Delta x, \Delta y, \theta$ thoả mãn điều kiện ổn định (3) thì:

$$\begin{aligned} C_1 = C_2 = 1; & \quad C_3 = C_4 = 0 \\ \text{hoặc} \quad C_1 = C_2 = 0; & \quad C_3 = C_4 = 1 \end{aligned}$$

Do vậy, sơ đồ sai phân (2) được viết lại là:

$$\frac{S_{i,j}^{n+1} - S_{i,j}^n}{\Delta t} + v_x \frac{S_{i,j}^n - S_{i-1,j}^n}{\Delta x} + v_y \frac{S_{i,j}^n - S_{i,j-1}^n}{\Delta y} = G_{i,j}^n \quad (4)$$

$$\frac{S_{i,j}^{n+1} - S_{i,j}^n}{\Delta t} + v_x \frac{S_{i,j}^{n+1} - S_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} + v_y \frac{S_{i,j}^{n+1} - S_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = G_{i,j}^n \quad (5)$$

Khi tính đến $G_{i,j} = (\alpha_{i,j} + \beta_{i,j} S_{i,j}) (1 - \mu_{i,j})$ thì (4) và (5) được viết trong dạng sau:

$$\begin{aligned} S_{i,j}^{n+1} = & \left\{ 1 - v_x \frac{\Delta t}{\Delta x} - v_y \frac{\Delta t}{\Delta y} + \left[\beta_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right] \right\} S_{i,j}^n + \\ & + v_x \frac{\Delta t}{\Delta x} S_{i-1,j}^n + v_y \frac{\Delta t}{\Delta y} S_{i,j-1}^n + \alpha_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \end{aligned} \quad (6)$$

$$S_{i,j}^{n+1} = \frac{1}{1 + v_x \frac{\Delta t}{\Delta x} + v_y \frac{\Delta t}{\Delta y}} \left\{ \left[1 + \beta_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right] S_{i,j}^n + v_x \frac{\Delta t}{\Delta x} S_{i-1,j}^{n+1} + v_y \frac{\Delta t}{\Delta y} S_{i,j-1}^{n+1} + \alpha_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right\} \quad (7)$$

$$\frac{\pi}{2} \\ 2/\theta \in [0, \frac{\pi}{2}]$$

Chú ý điều kiện biên (a), (c) và điều kiện ổn định (3), các giá trị trong số C_i sẽ là:

$$\begin{aligned} C_1 = C_6 = 1; & \quad C_3 = C_8 = 0 \\ \text{hoặc} \quad C_1 = C_6 = 0; & \quad C_3 = C_8 = 1 \end{aligned}$$

Lý luận tương tự như trên, sơ đồ sai phân trong trường hợp này là:

$$\begin{aligned} S_{i,j}^{n+1} = & \left\{ 1 - \nu \cos \theta \frac{\Delta t}{\Delta x} - \nu \sin |\theta| \frac{\Delta t}{\Delta y} + \beta_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right\} S_{i,j}^n + \\ & + \nu \cos \theta \frac{\Delta t}{\Delta x} S_{i-1,j}^n + \nu \sin |\theta| \frac{\Delta t}{\Delta y} S_{i,j+1}^n + \alpha_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{và } S_{i,j}^{n+1} = \frac{1}{1 + \nu \cos \theta \frac{\Delta t}{\Delta x} + \nu \sin |\theta| \frac{\Delta t}{\Delta y}} \left\{ \left[1 + \beta_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right] S_{i,j}^n + \nu \cos \theta \frac{\Delta t}{\Delta x} S_{i-1,j}^{n+1} + \nu \sin |\theta| \frac{\Delta t}{\Delta y} S_{i,j+1}^{n+1} + \alpha_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right\} \quad (9)$$

$$3/ \theta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \pi \right]$$

Lý luận tương tự, sơ đồ sai phân trong trường hợp này là:

$$\begin{aligned} S_{i,j}^{n+1} = & \left\{ 1 + \nu_x \frac{\Delta t}{\Delta x} - \nu_y \frac{\Delta t}{\Delta y} + \beta_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right\} S_{i,j}^n - \\ & - \nu_x \frac{\Delta t}{\Delta x} S_{i+1,j}^n + \nu_y \frac{\Delta t}{\Delta y} S_{i,j-1}^n + \alpha_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{và } S_{i,j}^{n+1} = \frac{1}{(1 + \nu_x \frac{\Delta t}{\Delta x} - \nu_y \frac{\Delta t}{\Delta y})} \left\{ \left[1 + \beta_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right] S_{i,j}^n - \nu_x \frac{\Delta t}{\Delta x} S_{i+1,j}^{n+1} + \nu_y \frac{\Delta t}{\Delta y} S_{i,j-1}^{n+1} + \alpha_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right\} \quad (11)$$

$$4/ \theta \in \left[-\frac{\pi}{2}, -\pi \right]$$

Lý luận tương tự, sơ đồ sai phân trong trường hợp này là:

$$\begin{aligned} S_{i,j}^{n+1} = & \left[1 + \nu_x \frac{\Delta t}{\Delta x} + \nu_y \frac{\Delta t}{\Delta y} + \beta_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right] S_{i,j}^n - \\ & - \nu_x \frac{\Delta t}{\Delta x} S_{i+1,j}^n + \nu_y \frac{\Delta t}{\Delta y} S_{i,j+1}^n + \alpha_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{và } S_{i,j}^{n+1} = \frac{1}{(1 - \nu_x \frac{\Delta t}{\Delta x} - \nu_y \frac{\Delta t}{\Delta y})} \left\{ \left[1 + \beta_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right] S_{i,j}^n - \nu_x \frac{\Delta t}{\Delta x} S_{i+1,j}^{n+1} - \nu_y \frac{\Delta t}{\Delta y} S_{i,j+1}^{n+1} + \alpha_{i,j}^n (1 - \mu_{i,j}^n) \Delta t \right\} \quad (13)$$

Tóm lại, việc giải bài toán theo sơ đồ (2) được tiến hành như sau: Vào thời điểm $t = 0$ ở tại mỗi điểm $(i\Delta x, j\Delta y)$ của vùng mạng lưới, chúng ta tính phổ $S(\omega, \theta)$ cho tất cả ω và θ theo các công thức từ (6) đến (13) ứng với từng trường hợp của góc θ . Sau đó việc tính toán sẽ được lặp lại ở thời điểm $t + \Delta t$.

2. Tính toán và dự báo sóng vùng khơi Nam Biển Đông

Vùng Nam Biển Đông được chia thành một mạng lưới gồm 124 điểm tính, mỗi điểm cách nhau 1 độ kinh vĩ ($\Delta x = \Delta y = 111\text{km}$). Vùng mạng lưới bao gồm 1xJ các hình vuông thành phần với các cạnh $\Delta x = \Delta y$. Đường bờ biển xấp xỉ gần đúng gãy khúc đi qua các cạnh tương ứng của các hình vuông (Hình 2).

Sơ đồ mạng lưới tính phân bố từ 5° đến 15° vĩ bắc và từ 105° đến 120° kinh đông. Bước thời gian dùng để tính toán và dự báo sóng là $\Delta t = 6$ giờ.

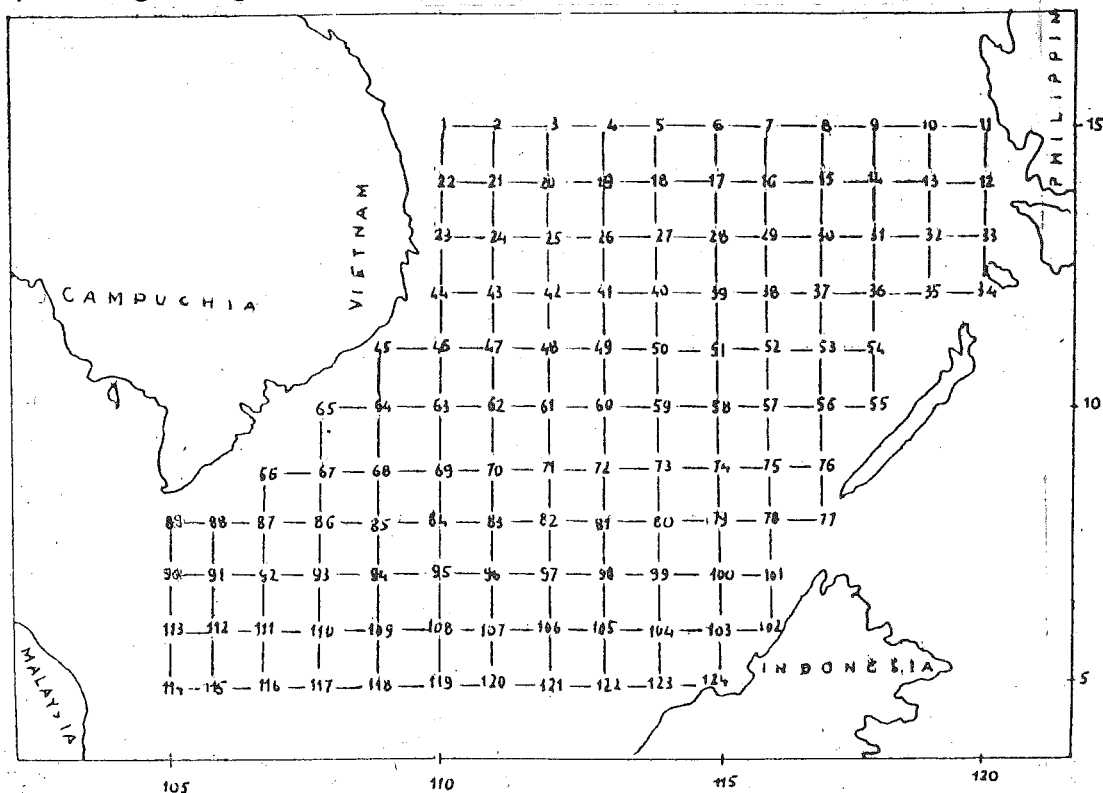
Chúng tôi lập chương trình bằng ngôn ngữ Fortran 77 sử dụng trên máy vi tính (Hình 3).

Chúng tôi đã tính toán thử nghiệm khá nhiều các trường hợp vào mùa đông và vào mùa hè, đặc biệt là những trường hợp gió khá mạnh và ổn định.

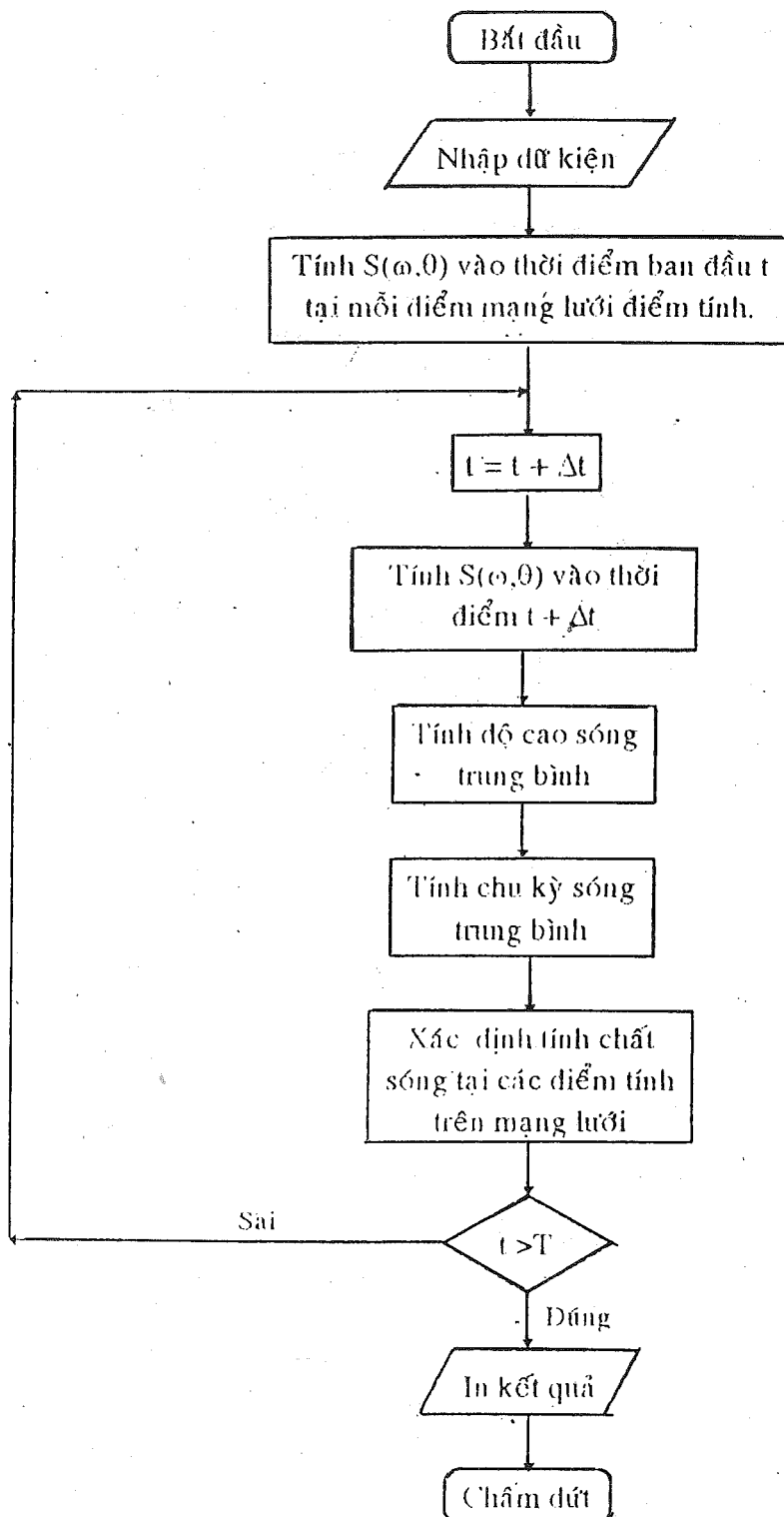
So sánh các kết quả mà chúng tôi đã tính toán thử nghiệm ứng với các hình thể synop tiêu biểu ở vùng khơi Nam Biển Đông, với các kết quả mà chúng tôi đã tính toán trước đây (tính từng điểm, bằng các công thức và toán đồ) thì mô hình tính toán ở đây có nhiều ưu điểm: khá chính xác, nhanh, đồng thời cùng một lúc trên mạng lưới của vùng khơi Nam Biển Đông Việt Nam, xác định được tính chất sóng gió - sóng lừng đối với từng điểm của mạng lưới dự báo.

Đặc biệt là so sánh với các số liệu quan trắc sóng tại dàn khoan Bạch Hổ, thì các kết quả của chúng tôi tính toán được là khá phù hợp.

Vì vậy, chúng tôi có thể khẳng định việc giải phương trình cân bằng năng lượng dưới dạng phổ bằng phương pháp số trị, mở ra một triển vọng để tính toán và dự báo sóng ở vùng khơi Nam Biển Đông Việt Nam.



Hình 2 : Sơ đồ mạng lưới điểm tính.



Hình 3 : Sơ đồ khối