

SỬ DỤNG BIẾN ĐỔI NHANH FOURIER (FFT) NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC BÃO VÀ SỰ PHÁT TRIỂN XOÁY BÃO TRONG SƠ ĐỒ BAN ĐẦU HÓA XOÁY ĐỘNG LỰC

Phạm Ngọc Bách⁽¹⁾, Nguyễn Văn Hiệp⁽²⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

⁽²⁾Viện Vật lý địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài 16/5/2018; ngày chuyển phản biện 17/5/2018; ngày chấp nhận đăng 26/6/2018

Tóm tắt: Bài báo này nghiên cứu cấu trúc và sự phát triển xoáy bão trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy động lực thông qua việc phân tách các trường thành các sóng thành phần sử dụng biến đổi nhanh Fourier (Fast Fourier Transform - FFT). Kết quả phân tích sóng của các trường gió mực 10 m, khí áp mực biển cho thấy các thành phần sóng số 0 và sóng số 1 là hai thành phần sóng chính quyết định độ lớn các trường khí tượng bên trong cơn bão. Trong đó thành phần sóng đối xứng (sóng số 0) đóng vai trò quan trọng nhất cho sự phát triển của cường độ xoáy bão. Trong quá trình chạy vòng lặp, các thành phần phổ sóng với số sóng lớn hơn 1 chỉ phát triển đáng kể trong 30 - 40 vòng lặp ban đầu, sau đó giữ ở trạng thái ổn định.

Từ khóa: Biến đổi nhanh Fourier (FFT), ban đầu hóa xoáy động lực.

1. Mở đầu

Trong dự báo thời tiết bằng các mô hình số, ngoài cấu trúc toán lý và độ phân giải của mô hình thì trường ban đầu là một trong những yếu tố quyết định tới chất lượng và độ chính xác của dự báo. Ban đầu hóa xoáy là một bài toán được đặt ra để nâng cao chất lượng điều kiện ban đầu của mô hình dự báo bão. Năm 2002, Phan Văn Tân và cộng sự [1] đã nghiên cứu kỹ thuật phân tích xoáy tạo ra trường ban đầu cho mô hình chính áp dụng dự báo quỹ đạo bão. Mục đích của ban đầu hóa là loại bỏ một cách cẩn thận xoáy yếu, sai vị trí khỏi trường ban đầu và cài vào một xoáy nhân tạo với vị trí và cường độ phù hợp với xoáy thực. Quá trình phân tích này cần được thực hiện sao cho thông tin trong tập số liệu toàn cầu được giữ lại càng nhiều càng tốt. Phan Văn Tân và CS [1] đã chỉ ra rằng xoáy nhân tạo được xây dựng dựa trên cơ sở kết hợp các thành phần đối xứng của xoáy phân tích và thành phần đối xứng giả; thành phần phi đối xứng sinh ra bởi hiệu ứng β thay thế xoáy phân tích ban đầu sẽ tạo ra trường ban đầu tốt hơn. Năm 2002, Phan Văn Tân và cộng sự [2] đã khảo sát ảnh hưởng của quá

trình ban đầu hóa tới quỹ đạo dự báo bão bằng việc chạy mô hình dự báo WBAR ứng với 9 trường hợp cho 3 cơn bão Durian (2001), Kajiki (2001), Wukong (2000). Kết quả cho thấy trường ban đầu được xây dựng bằng các phương pháp khác nhau sẽ có những ảnh hưởng rõ rệt khác nhau đến quỹ đạo dự báo của bão. Với cơn bão mạnh và xa bờ thì quá trình ban đầu hóa cần thiết loại bỏ thành phần phi đối xứng phân tích và những nhiễu động quy mô nhỏ trong trường môi trường quy mô nhỏ, ngược lại, với những cơn bão yếu và gần bờ nên được duy trì thành phần phi đối xứng phân tích trong trường ban đầu [2].

Phép biến đổi Fourier có nhiều ứng dụng trong vật lý, số học, xử lý tín hiệu,... Trong xử lý tín hiệu, biến đổi Fourier thường được áp dụng dạng chuyển đổi tín hiệu thành các thành phần biên độ và tần số. Biến đổi Fourier rời rạc có thể được tính toán nhanh hơn nhờ kỹ thuật biến đổi nhanh Fourier (Fast Fourier Transform - FFT).

Trong khí tượng học, theo nghiên cứu của Raaf và Adane năm 2012 [3], FFT được sử dụng để xác định và theo dõi sự phát triển của bão trong các hình ảnh radar thời gian thực. FFT được áp dụng cho các hình ảnh đã được lọc cho thấy các phổ Fourier đặc trưng các đám mây đối lưu có sự khác

Liên hệ tác giả: Nguyễn Văn Hiệp
Email: hiepwork@gmail.com

biệt đáng kể so với mây tầng tầng. Sự khác biệt này được ứng dụng để phát hiện ra các cơn dông mạnh từ thông tin ảnh radar.

Trong khi FFT có nhiều ứng dụng trên thế giới, việc ứng dụng FFT trong nghiên cứu khí tượng ở Việt Nam còn hạn chế. Trong nghiên cứu này kỹ thuật FFT được sử dụng để nghiên cứu cấu trúc và sự phát triển của xoáy bão trong một sơ đồ ban đầu hóa xoáy động lực nhằm chỉ ra sự phát triển của các sóng khác nhau và vai trò của chúng trong quá trình phát triển xoáy bão trong mô hình.

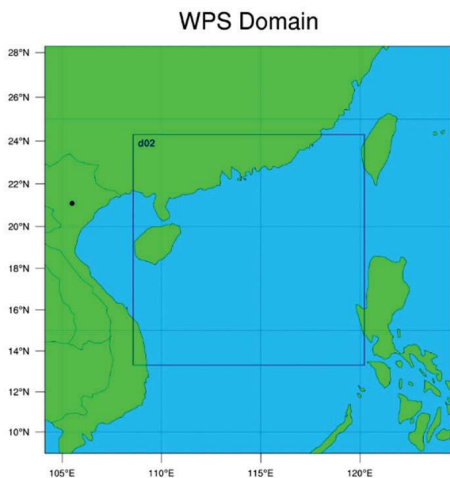
2. Phương pháp và số liệu

2.1. Thiết kế thí nghiệm và số liệu mô hình

Bài báo sử dụng mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết WRF (Weather Research and Forecasting) phiên bản 3.7 mô phỏng cơn bão Mujigae (2015) với phương pháp ban đầu hóa xoáy động lực NC2011 của hai tác giả Nguyễn Văn Hiệp và Yi-Leng Chen [4]. Bão Mujigae bắt nguồn từ một nhiễu động nhiệt đới ở gần đảo Palau, phía Đông Philippines vào ngày 28/9. Bão Mujigae là cơn bão mạnh ảnh hưởng tới Phillipines, phía Nam Trung Quốc và miền Bắc Việt Nam vào đầu tháng 10 năm 2015.

Mô hình WRF được chạy với hai miền tính với độ phân giải theo phương ngang lần lượt là 18 km và 6 km, tương ứng với số nút lưới theo phương ngang là 121×121 và 205×205. Số mực thẳng đứng trong mô hình là 38 mực (Hình 1).

Số liệu sử dụng là số liệu tái phân tích toàn cầu CFSR với độ phân giải ngang là 0,5°×0,5°. Thời điểm chạy ban đầu hóa xoáy là 06Z ngày 03/10/2015.



Hình 1. Miền tính cho mô phỏng cơn bão Mujigae

2.2. Phương pháp và các bước xử lý

Nghiên cứu sử dụng phép biến đổi Fourier để phân tích các thành phần sóng, các nhóm sóng của yếu tố khí tượng được lấy từ kết quả đầu ra của mô hình WRF. Phương pháp biến đổi nhanh Fourier FFT cơ số 2 được sử dụng với các bước cơ bản sau [5, 6, 7].

Phép biến đổi Fourier của một hàm $f(t) \in L^1(R)$ được định nghĩa bởi công thức:

$$\hat{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt, \omega \in R \quad (1)$$

Phép biến đổi ngược của biến đổi Fourier được cho bởi công thức:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{f}(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (2)$$

Tiến hành tính gần đúng các tích phân trên, trước tiên, ta giả thiết rằng các số a, b có giá trị tuyệt đối đủ lớn: $a < b, b > 0$ ta được (3) là xấp xỉ tốt của tích phân Fourier (1):

$$\int_a^b f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (3)$$

Tiếp tục, áp dụng biến đổi rời rạc (DFT) của một chuỗi $x(n)$ chu kỳ N :

$$X(k) = X_N[x(n)](k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn},$$

$$k = \overline{0, N-1} \quad (4)$$

$$\text{Với: } W_N = e^{-\frac{2\pi i}{N}}$$

Sử dụng FFT cơ số 2, chuỗi có N điểm thỏa mãn $N=2^s, (s \in \mathbb{Z}^+)$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot W_N^{kn} = \sum_{m=0}^{\frac{N}{2}-1} f_1(m) \cdot W_N^{km} + W_N^k \cdot \sum_{m=0}^{\frac{N}{2}-1} f_2(m) \cdot W_N^{km}$$

$$\text{Trong đó: } f_1(m) = x(2m)$$

$$f_2(m) = x(2m+1)$$

$$\Rightarrow X(k) = F_1(k) + W_N^k \cdot F_2(k)$$

$$k = \overline{0, N-1}$$

Áp dụng tính chất tuần hoàn theo chu kỳ $\frac{N}{2}$ của $F_1 k$ và $F_2 k$ ta có:

$$\Rightarrow \begin{cases} F_1\left(k + \frac{N}{2}\right) = F_1(k) \\ F_2\left(k + \frac{N}{2}\right) = F_2(k) \end{cases}$$

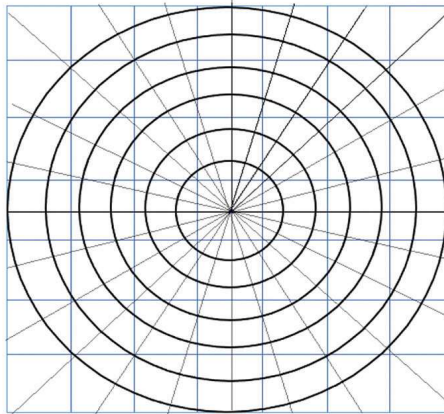
$$\text{Ngoài ra ta có: } W_N^{k + \frac{N}{2}} = -W_N^k$$

$$\Rightarrow \begin{cases} X(k) = F_1(k) + W_N^k \cdot F_2(k) & k = 0, \frac{N}{2} - 1 \\ X\left(k + \frac{N}{2}\right) = F_1(k) - W_N^k \cdot F_2(k) & k = 0, \frac{N}{2} - 1 \end{cases}$$

Như vậy, thay vì việc tính DFT của N điểm thì ta chia $X(k)$ thành 2 DFT của $\frac{N}{2}$ điểm. Tiếp tục quá trình trên cho đến khi được biến đổi của DFT của 2 điểm (cơ bản), ta sẽ có được $\frac{N}{2} \log_2 N$ biến đổi DFT 2 điểm. Mặt khác, mỗi DFT của 2 điểm chỉ phải tính 1 phép nhân phức và 2 phép cộng phức. Suy ra, để tính DFT của $N=2^s$ điểm ban đầu bằng thuật toán

FFT chỉ cần tính $\frac{N}{2} \log_2 N$ phép nhân phức (thay vì N^2) và $N \log_2 N$ phép cộng phức (thay vì $N(N-1)$). Nếu N càng lớn, khối lượng phép tính theo thuật toán FFT giảm đi càng nhiều so với phép DFT.

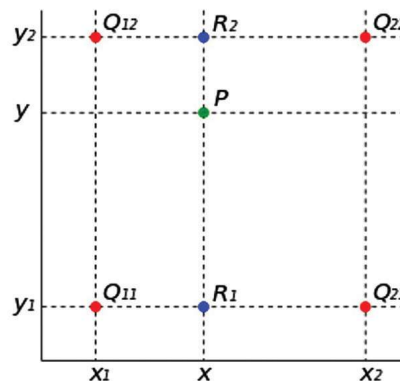
Trong nghiên cứu này, biến đổi Fourier được áp dụng cho các sóng gần tâm bão. Để áp dụng FFT, từ một lưới vuông ban đầu, một lưới giả định là các đường tròn đồng tâm với tâm được đặt trùng với vị trí tâm bão. Mỗi đường tròn bao gồm 64 điểm nút lưới (Hình 2).



Hình 2. Minh họa lưới tọa độ tròn giả định

FFT sẽ được áp dụng cho các chuỗi $N=64$ điểm tương ứng với mỗi đường tròn là một chuỗi các số liệu. Để xác định số liệu trên lưới tròn từ lưới kinh vĩ của mô hình, trong nghiên cứu sử dụng phương pháp nội suy Bilinear [8]

(Hình 3), là một phần mở rộng của phương pháp nội suy tuyến tính nội suy hàm 2 biến trên lưới 2 chiều (lưới vuông) nhằm mục đích để nội suy các giá trị từ các điểm nút lưới vuông ban đầu về lưới tròn giả định vừa tạo ra.



Hình 3. Phương pháp nội suy Bilinear [8]

Bốn điểm màu đỏ trên Hình 3 hiển thị các dữ liệu và điểm màu xanh lá cây là điểm muốn nội suy.

Sau khi thu được toàn bộ các hàm sóng thành phần, chia các sóng thành 5 nhóm phổ sóng:

- Phổ sóng số 0: Bao gồm sóng số 0, ứng với

tần số $f(0) = 0$

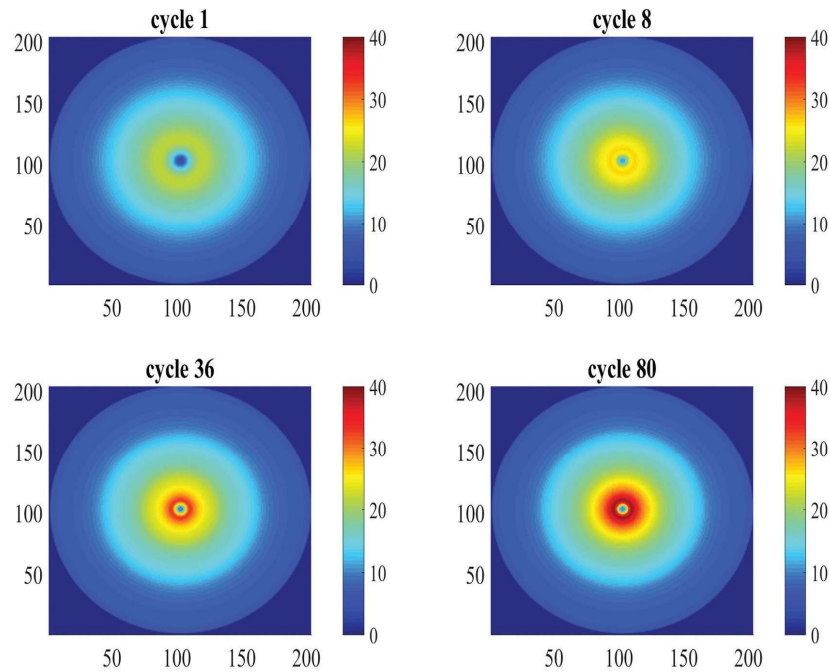
- Phổ sóng số 1: Bao gồm sóng số 1, ứng với tần số $f(1)$
- Phổ sóng số 2: Bao gồm sóng số 2, ứng với tần số $f(2)$

- Phổ sóng số 3: Bao gồm các sóng có tần số $f(2) < f(k) \leq f(4)$
- Phổ sóng số 4: Là phổ sóng gồm các hàm có tần số còn lại.

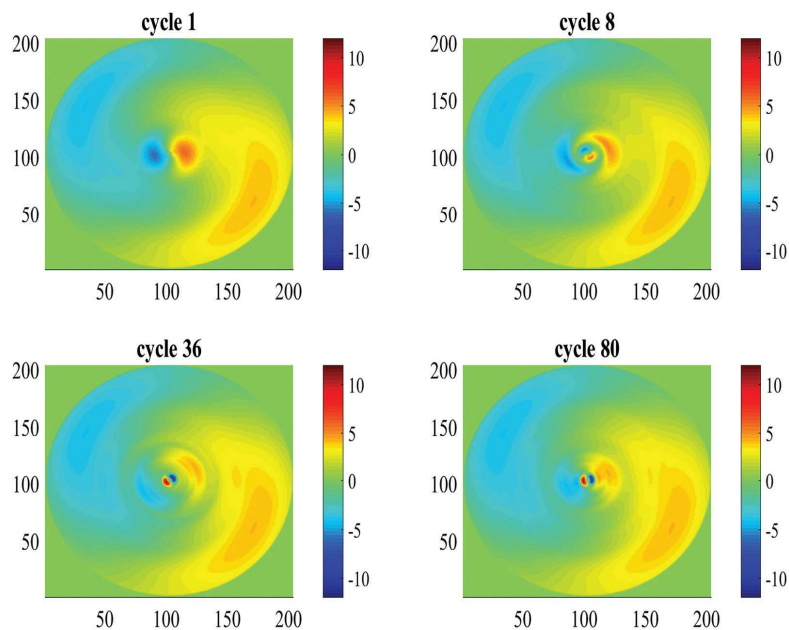
3. Kết quả phân tích sóng

Phần dưới đây sẽ trình bày kết quả tính toán, đánh giá sự thay đổi của trường tốc độ gió mực 10 m, trường khí áp mực biển trong trường hợp bão Mujigae năm 2015 (Hình 4 - Hình 12).

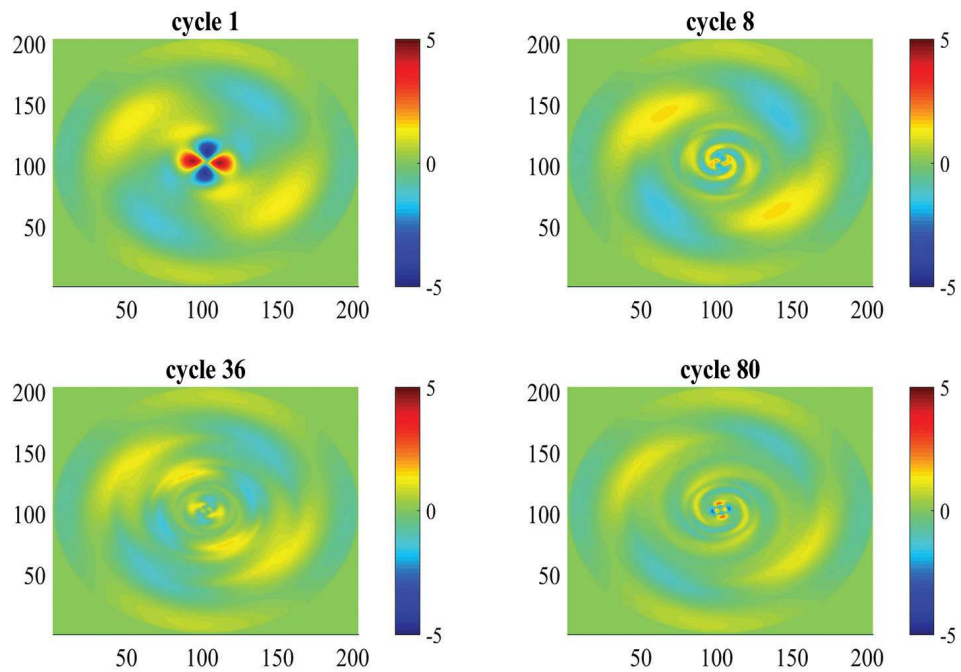
a. Trường tốc độ gió mực 10 m



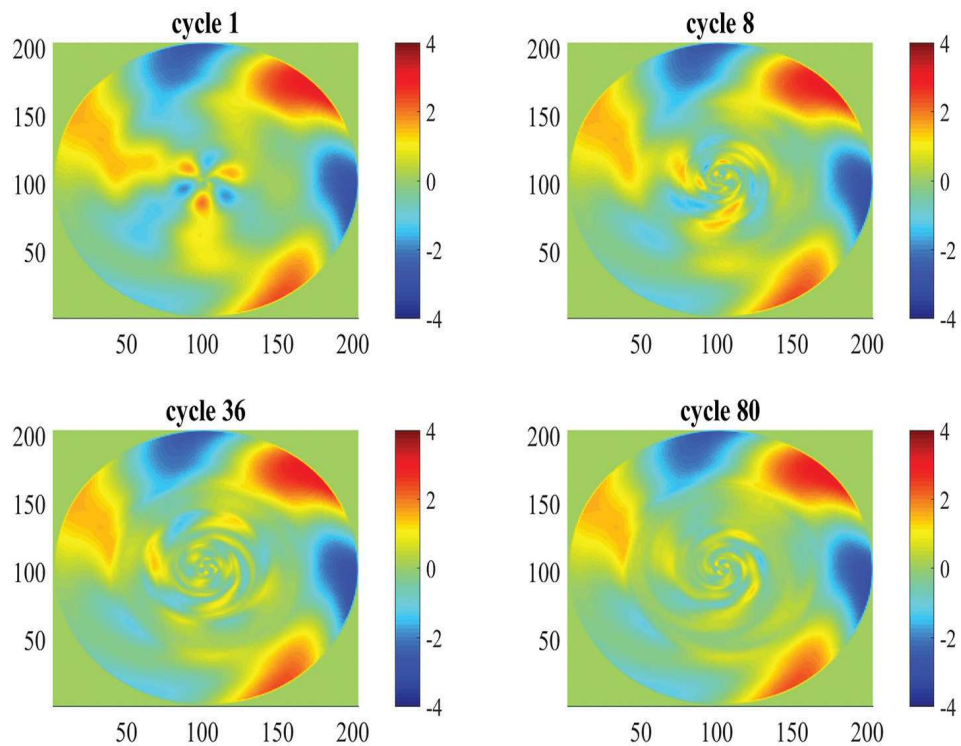
Hình 4. Tốc độ gió mực 10 m (m/s) phổ sóng số 0 với các vòng lặp thứ 1, thứ 8, thứ 36 và thứ 80



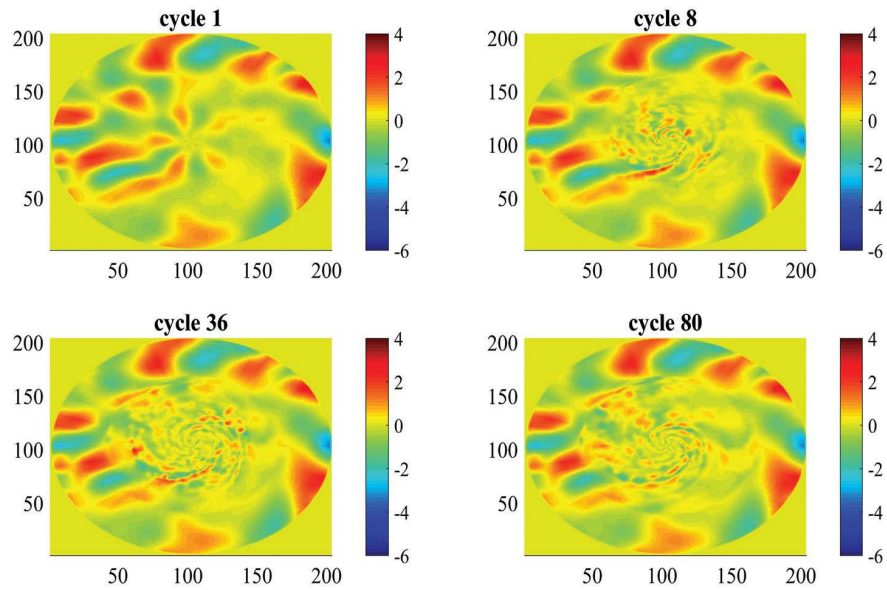
Hình 5. Tốc độ gió mực 10 m (m/s) phổ sóng số 1 với các vòng lặp thứ 1, thứ 8, thứ 36 và thứ 80



Hình 6. Tốc độ gió mực 10 m (m/s) phổ sóng số 2 với các vòng lặp thứ 1, thứ 8, thứ 36 và thứ 80



Hình 7. Tốc độ gió mực 10 m (m/s) phổ sóng số 3 với các vòng lặp thứ 1, thứ 8, thứ 36 và thứ 80

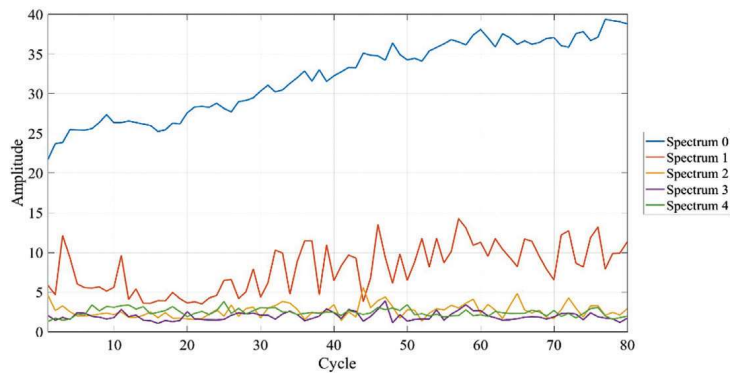


Hình 8. Tốc độ gió mực 10 m (m/s) phổ sóng số 4 với các vòng lặp thứ 1, thứ 8, thứ 36 và thứ 80

Có thể thấy được sự thay đổi của xoáy bão trong quá trình phát triển ở các phổ sóng trong trường tốc độ gió 10 m. Biên độ dao động thì có vẻ

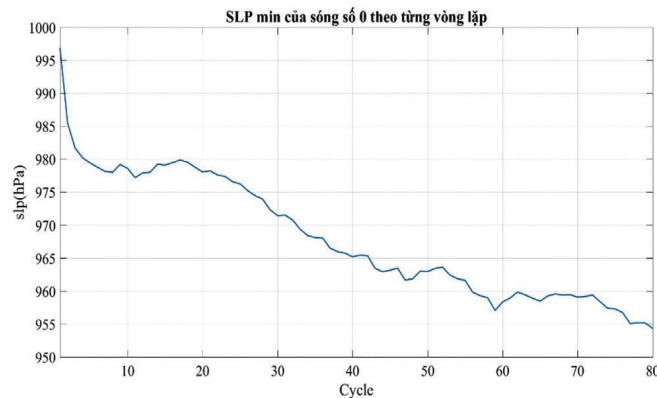
như thành phần phổ sóng số 0 và 1 là lớn hơn hẳn các thành phần sóng (phổ sóng) khác.

b. Tốc độ gió cực đại gần tâm

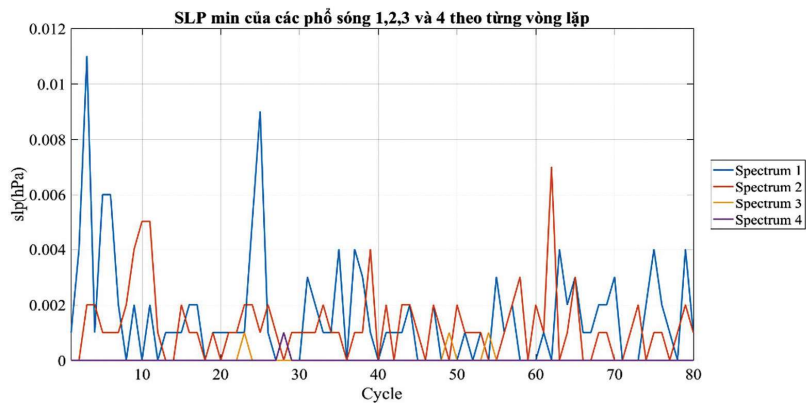


Hình 9. Tốc độ gió cực đại từng vòng lặp trong vòng bán kính 200 km tính từ tâm bão

c. Trường khí áp mực biển



Hình 10. Khí áp mực biển theo từng vòng lặp của phổ sóng số 0



Hình 11. Khí áp mực biển theo từng vòng lặp của phổ sóng số 1, 2, 3 và số 4

Hình 10 thể hiện sự thay đổi khí áp mực biển theo từng vòng lặp của phổ sóng số 0. Có thể thấy được sự thay đổi mạnh của khí áp mực biển theo từng vòng lặp, giảm từ 996,8 hPa (trước khi ban đầu hóa xoáy) xuống còn 954,3 hPa (ở vòng lặp thứ 80) (Hình 10).

Hình 11 thể hiện sự thay đổi của khí áp mực biển theo từng vòng lặp của phổ sóng số 1, 2, 3, 4. Có thể thấy mức độ ảnh hưởng của phổ sóng số 1, phổ sóng số 2, phổ sóng số 3 và phổ sóng số 4 đối với sự thay đổi khí áp mực biển cực tiểu là không đáng kể.

4. Kết luận

Từ những phân tích trên có thể rút ra một số kết luận:

Về sự phát triển của xoáy bão trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy động lực: Các thành phần sóng số 0, sóng số 1 phát triển mạnh nhất trong quá trình chạy lặp. Nghĩa là vai trò đóng góp của thành phần

sóng số 0 và sóng số 1 vào sự phát triển xoáy bão là quan trọng hơn các thành phần còn lại. Các thành phần sóng số 0 và số 1 là hai thành phần chính quyết định độ lớn các trường tốc độ gió cực đại và khí áp mực biển cực tiểu bên trong xoáy bão.

Thành phần sóng đối xứng thay đổi liên tục trong quá trình phát triển của xoáy bão (80 vòng lặp). Các thành phần phi đối xứng chỉ phát triển đáng kể trong khoảng 30 - 40 vòng lặp đầu tiên và sau đó giữ ở trạng thái ổn định. Vì vậy, với nghiên cứu này nhóm tác giả khuyến nghị, quá trình chạy ban đầu hóa xoáy của phương pháp NC2011 có thể dừng lại ở khoảng 40 vòng lặp đầu tiên nhằm tiết kiệm thời gian tính toán cũng như dung lượng máy tính. Cường độ xoáy đưa vào điều kiện ban đầu của mô hình có thể xác định từ thành phần phi đối xứng ở khoảng vòng lặp 40 kết hợp với thành phần đối xứng ở vòng lặp này nhân một tỉ lệ xác định từ cường độ bão quan trắc.

Tài liệu tham khảo

1. Phan Văn Tân, Kiều Thị Xin, Nguyễn Văn Sáng và Nguyễn Văn Hiệp (2002), "Kỹ thuật phân tích xoáy tạo trường ban đầu cho mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão", Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 493, 13-22.
2. Phan Văn Tân, Kiều Thị Xin và Nguyễn Văn Sáng (2002), "Mô hình chính áp WBAR và khả năng ứng dụng vào dự báo quỹ đạo bão khu vực Tây bắc Thái bình dương và Biển Đông", Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 498, 27-33,55.
3. O. Raaf and A. E. H. Adane (2012), "Pattern recognition filtering and bidimensional FFT-based detection of storms in meteorological radar images", Digit. Signal Process. A Rev. J., 22(5), 734-743.
4. C.-Y. Chen, Y.-L. Chen, and H. Van Nguyen (2014), "The Spin-up Process of a Cyclone Vortex in a Tropical Cyclone Initialization Scheme and Its Impact on the Initial TC Structure", Sola, 10(0), 93-97.
5. G. Bachman, L. Narici, and E. Beckenstein (2000), *Fourier and wavelet analysis*, Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg.
6. Athanasios Papoulis (1977), *Signal analysis*, McGraw-Hill Book Company.

7. E. Brigham (1988), *The Fast Fourier Transform and its applications*.
8. "https://en.wikipedia.org/wiki/Bilinear_interpolation."

APPLICATION OF FAST FOURIER TRANSFORM (FFT) ON INVESTIGATING STRUCTURE AND DEVELOPMENT OF A TROPICAL CYCLONE VORTEX IN A DYNAMICAL VORTEX INITIALIZATION SCHEME

Pham Ngoc Bach⁽¹⁾, Nguyen Van Hiep⁽²⁾

⁽¹⁾*Ha Noi University of Science, Viet Nam National University Ha Noi*

⁽²⁾*Institute of Geophysics, Viet Nam Academy of Science and Technology*

Received: 16 May 2018; Accepted: 10 June 2018

Abstract: *This research investigated the structure and development of tropical cyclone vortex in a dynamical vortex initialization scheme using Fast Fourier Transform (FFT) technique. The results of wave analysis of the meteorological fields in storms such as winds at 10 m level, sea level pressure showed that the wave number 0 and 1 are the two major components contributing to the developments of meteorological fields in the storm inner core region. In addition, the study also found that the symmetric wave component plays the most important role on the vortex development. All other waves with wave number greater than 0 only significantly develops in the first 30 - 40 cycles. This allows us to use the vortex at the 40th cycle as initial condition to save computing resources and time for possible application of the dynamical vortex initialization scheme in operational real time forecast.*

Keywords: *Fast Fourier Transform, dynamical vortex initialization.*