

# NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG TRƯỜNG VẬN TỐC CHUYỂN DỊCH KHÔNG GIAN KHU VỰC MIỀN BẮC VIỆT NAM BẰNG PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI SÓNG NHỎ

LẠI VĂN THỦY<sup>(1)</sup>, DƯƠNG CHÍ CÔNG<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

<sup>(2)</sup>Hội Trắc địa-Bản đồ-Viễn thám Việt Nam

## ***Tóm tắt:***

*Vận tốc chuyển dịch tuyệt đối (chuyển dịch so với tâm của hệ tọa độ địa tâm Trái đất) tại các điểm trong mạng lưới trắc địa địa động lực đo bằng công nghệ GNSS là đại lượng biểu diễn sự dịch chuyển vỏ Trái đất khu vực nghiên cứu. Do đặc điểm hoạt động địa chất kiến tạo có những đặc thù riêng nên các đại lượng này còn chứa nhiều yếu tố bất thường và không tuyến tính với nhau. Bài báo này trình bày cơ sở lý thuyết phương pháp biến đổi sóng nhỏ phục vụ tính toán nội suy trường vận tốc chuyển dịch không gian đặc trưng cho khu vực Miền Bắc Việt Nam từ kết quả xử lý dữ liệu đo GNSS 4 chu kỳ (2012-2015). Độ lớn và hướng của trường vận tốc chuyển dịch ngang khá phù hợp với xu thế chuyển dịch của mảng Á-Âu. Còn về trường vận tốc chuyển dịch đứng thì ta chưa thể có được bất kỳ nhận xét gì về chuyển động nâng hạ tại khu vực nghiên cứu. Kết quả về giá trị vận tốc hạ ở phía Tây Bắc và Bắc là quá lớn (đến -2cm/năm) và chuyển dịch hạ (ở vùng núi) và nâng (ở vùng trũng phía Đông Nam) ở đây là chưa thật phù hợp.*

## **1. Đặt vấn đề**

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của cuộc cách mạng khoa học, kỹ thuật, công nghệ đo đạc, định vị dẫn đường GNSS cũng có những bước tiến nhảy vọt và được ứng dụng rộng rãi trong mọi lĩnh vực kinh tế, xã hội, đặc biệt là ứng dụng để tính toán, xác định các đại lượng chuyển dịch vỏ Trái Đất tại khu vực các đới đứt gãy hoạt động đã cho kết quả chính xác hơn các phương pháp trước đây.

Trên thế giới Kumar et al. (2002) đã xây dựng trường vận tốc đặc trưng chuyển dịch ngang vỏ Trái Đất (secular velocity) (Santamaría-Gómez and Mémin, 2015) từ kết quả đo GPS liên tục một phần mạng lưới GEONET (1996-1999) khu vực miền Trung Nhật Bản. Ở Mỹ Tape et al. (2009) đã xác định trường vận tốc chuyển dịch 3 thành phần (2 ngang và 1 đứng) khu vực Nam California từ kết quả đo GPS trong 11,6 năm (1997-2008). Tại Trung Quốc Ji et al. (2014) đã xác định trường vận tốc chuyển dịch ngang từ dữ liệu đo GPS (1999-2007) và trường vận tốc chuyển dịch đứng từ đo thủy chuẩn 2 lần năm 1970 và 1990 để nghiên cứu biến dạng vỏ Trái Đất khu vực Đông Bắc Trung Quốc. Trình Bằng Phi và nnk (2015) đã xây dựng trường vận tốc chuyển dịch ngang từ kết quả đo GPS (1999-2009) sử dụng biến đổi sóng nhỏ để nghiên cứu biến dạng toàn bộ lãnh thổ Trung Quốc.

Ở Việt Nam, Nguyễn Văn Hường (2012) đã nội suy vận tốc chuyển dịch ngang theo lưới  $1^\circ \times 1^\circ$  bằng phương pháp Kriging khu vực Biển Đông Việt Nam và các vùng lân cận. Phan Trọng Trinh và nnk (2015) đã nội suy trường vận tốc chuyển dịch ngang theo lưới  $0,2^\circ \times 0,2^\circ$  bằng phương pháp Kriging khu vực Ninh Thuận và lân cận từ kết quả đo 3 chu kỳ (2012-2013) lưới 13 điểm GPS. Hai nghiên cứu trên đã sử dụng kết quả nội suy vận tốc chuyển dịch để mô tả trường vận tốc biến dạng liên tục khu vực nghiên cứu. Có thể thấy rằng việc ứng dụng công nghệ định vị dẫn đường trong nghiên cứu chuyển dịch đứt gãy ở Việt Nam mới chỉ dừng lại ở quy mô rời rạc, theo từng đới đứt gãy nên chưa đưa ra được bức tranh khái quát về chuyển dịch biến dạng trên các khu vực lớn hơn,

Ngày nhận bài: 14/9/2018, ngày chuyển phân biện: 17/9/2018, ngày chấp nhận phân biện: 20/9/2018, ngày chấp nhận đăng: 21/9/2018

hoặc trên phạm vi toàn lãnh thổ Việt Nam.

Trong một số các nghiên cứu kể trên đã áp dụng phương pháp xấp xỉ sóng nhỏ - phép biến đổi sóng nhỏ (Wavelet Transforms) để xác định trường vận tốc chuyển dịch vỏ Trái Đất ở quy mô và mức độ chi tiết hơn (Kumar et al. 2002, Tape et al. 2009, Trình Bằng Phi và nnk. 2015). Theo Tape et al. (2009) đây là công cụ thuận tiện phân tích các kết quả tính toán từ các mạng lưới GPS dày đặc: trường véc tơ vận tốc đa tỷ lệ liên tục sử dụng hàm sóng nhỏ cầu có thể được triển khai một cách cụ thể và nhất quán ở mọi vị trí, phạm vi nhỏ nhất xác định trường vận tốc đa tỷ lệ được kiểm soát bằng mật độ các điểm đo tại chỗ, bao gồm cả chuyển động thẳng đứng... và triển khai trường vận tốc theo cách này có thể chỉ ra các thay đổi có ở khu vực nghiên cứu nhạy bén hơn cả phương pháp sử dụng chuỗi tọa độ theo thời gian...

Bài báo này giới thiệu cơ sở lý thuyết và kết quả tính toán trường vận tốc chuyển dịch ngang và đứng vỏ Trái đất trên khu vực Miền Bắc Việt Nam bằng phương pháp biến đổi sóng nhỏ. Kết quả nghiên cứu nội suy trường vận tốc biến dạng bằng biến đổi sóng nhỏ sẽ được trình bày trong bài báo tiếp theo.

## 2. Cơ sở lý thuyết của phương pháp biến đổi sóng nhỏ

Trường vận tốc chuyển dịch trên mặt cầu Trái đất được biểu diễn bởi các véc tơ vận tốc theo các hướng Nam, hướng Đông và bán kính của mặt cầu. Theo Tape et al. (2009), trường vận tốc trên mặt cầu được biểu diễn dưới dạng sau:

$$V(\theta, \phi) = v_r \hat{r} + v_\theta \hat{\theta} + v_\phi \hat{\phi} \quad (1)$$

Trong đó:

$v_r$  - là vận tốc chuyển dịch theo hướng bán kính của mặt cầu;

$v_\theta$  - là vận tốc chuyển dịch theo hướng Nam;

$v_\phi$  - là vận tốc chuyển dịch theo hướng Đông;

$\hat{r}, \hat{\theta}, \hat{\phi}$  - là các véc tơ đơn vị dọc theo hướng bán kính Trái đất, hướng Nam và hướng Đông trên mặt cầu của điểm xét được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} \hat{r} &= \sin\theta\cos\phi \cdot \hat{x} + \sin\theta\sin\phi \cdot \hat{y} + \cos\theta \cdot \hat{z} \\ \hat{\theta} &= \cos\theta\cos\phi \cdot \hat{x} + \cos\theta\sin\phi \cdot \hat{y} - \sin\theta \cdot \hat{z} \\ \hat{\phi} &= -\sin\phi \cdot \hat{x} + \cos\phi \cdot \hat{y} \end{aligned} \quad (2)$$

Ở đây:  $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$  là các véc tơ đơn vị thành phần trong hệ tọa độ không gian Trái đất.

Theo lý thuyết sóng nhỏ, nếu có một hàm vô hướng  $f(x) \in L^2(S^2)$  (Không gian của các hàm có bình phương khả tích, Từ điển Toán học Anh - Việt, 1976) với bậc xác định không vượt quá bậc nhỏ nhất  $q_{\min}$  thì hàm  $f(x)$  được biểu diễn dưới dạng hàm sóng nhỏ trên hình cầu, theo đó tại điểm xét ta có thể xác định được vận tốc chuyển dịch trên mặt cầu như sau:

$$V(\theta, \phi) = \sum_{k=1}^M [a_k \cdot g_k(\theta, \phi) \cdot \hat{r} + b_k \cdot g_k(\theta, \phi) \cdot \hat{\theta} + c_k \cdot g_k(\theta, \phi)] \quad (3)$$

trong đó:

$\theta$  - là vĩ độ cầu của điểm xét;

$\phi$  - là kinh độ cầu của điểm xét;

$M$  - là số hàm khung trên mặt cầu được tính bằng cách phân chia liên tiếp một khối ban đầu  $G_0$  có 20 mặt ( $20 = 20 \times 4^q$  với bậc  $q = 0$ ) theo nguyên tắc mỗi tam giác được chia thành bốn tam giác đều mới và các đỉnh mới được dựa vào mặt cầu.

-  $a_k, b_k, c_k$  lần lượt là các tham số cần xác định theo hướng bán kính véc tơ của điểm, hướng Nam và hướng Đông (trên điểm mắt lưới  $k$ ) (Trình Bằng Phi và nnk, 2015);

$g_k(\theta, \phi)$  - là hàm số sóng nhỏ mặt cầu DOG (Difference of Gaussians) thứ  $k$  tương ứng và được tính theo công thức:

$$g_k = \lambda_a(\emptyset)^{\frac{1}{2}} \cdot \exp \left[ -\frac{\tan^2 \left( \frac{\emptyset}{2} \right)}{a^2} \right] - \frac{1}{\alpha} \lambda_{\alpha a}(\emptyset)^{\frac{1}{2}} \cdot \exp \left[ -\frac{\tan^2 \left( \frac{\emptyset}{2} \right)}{(\alpha a)^2} \right] \quad (4)$$

Ở đây:

$\alpha$  là hằng số và được chọn lớn hơn 1 ( $\alpha > 1$ ), để sự biến đổi biên độ theo đường kinh tuyến của hàm sóng nhỏ cầu DOG là nhỏ nhất, chúng tôi đã chọn  $\alpha = 1,25$ .

$\emptyset$  là góc giữa điểm lưới ( $\theta, \phi$ ) và điểm xét ( $\theta', \phi'$ ) trên mặt cầu (góc ở tâm hình cầu);

$\lambda$  là hàm tham số được tính theo công thức:

$$\lambda_a(\emptyset) = \frac{4a^2}{[(a^2 - 1)\cos\emptyset + (a^2 + 1)]^2} \quad (5)$$

Trong đó:  $a$  là tỷ lệ rời rạc hóa được tính theo công thức:  $a_q = 2^{-q}$  với  $q = 0, 1, 2, \dots, q_{\max}$

Trong công thức (3) các thành phần vận tốc theo các hướng bán kính Trái đất, vĩ độ và kinh độ trên mặt cầu được gọi là vận tốc chuyển dịch ước tính và được ký hiệu như sau:

$$\begin{aligned} v_r^{ut}(\theta, \phi) &= \sum_{k=1}^M a_k \cdot g_k(\theta, \phi) \\ v_\theta^{ut}(\theta, \phi) &= \sum_{k=1}^M b_k \cdot g_k(\theta, \phi) \\ v_\phi^{ut}(\theta, \phi) &= \sum_{k=1}^M c_k \cdot g_k(\theta, \phi) \end{aligned} \quad (6)$$

Từ vận tốc chuyển dịch tại điểm quan trắc thứ  $i$  (vận tốc đo) và vận tốc ước tính tương ứng ta có thể lập được 3 phương trình trị đo (thành phần vận tốc đo) dạng:

$$\begin{aligned} v_r(\theta, \phi) &= v_r^{ut}(\theta, \phi) + \omega_r \\ v_\theta(\theta, \phi) &= v_\theta^{ut}(\theta, \phi) + \omega_\theta \\ v_\phi(\theta, \phi) &= v_\phi^{ut}(\theta, \phi) + \omega_\phi \end{aligned} \quad (7)$$

Trong đó:

- $v_r(\theta, \phi); v_\theta(\theta, \phi); v_\phi(\theta, \phi)$  là các thành phần vận tốc đo được trên mạng lưới quan trắc bằng công nghệ GNSS;
- $v_r^{ut}(\theta, \phi); v_\theta^{ut}(\theta, \phi); v_\phi^{ut}(\theta, \phi)$  là các thành phần vận tốc ước tính;
- $\omega_r; \omega_\theta; \omega_\phi$  là số cải chính các thành phần vận tốc tương ứng;

Thay các giá trị vận tốc trong công thức (6) vào công thức (7) sau đó chuyển về ta có hệ phương trình số cải chính các thành phần vận tốc cho N điểm đo ở dạng sau:

$$\begin{aligned} -\omega_r &= Gm_a - L_r \\ -\omega_\theta &= Gm_b - L_\theta \\ -\omega_\phi &= Gm_c - L_\phi \end{aligned} \quad (8)$$

Trong đó:

L là véc tơ thành phần tương ứng  $(v_r^i, v_\theta^i, v_\phi^i)$  của vận tốc chuyển dịch tại N điểm đo:

$$L_{(1,N)}^T = [v_1^1 \dots v_1^N] \dots \quad (9)$$

m là véc tơ các tham số tương ứng (a, b, c) trên M điểm mô hình:

$$m_{(1,M)}^T = [a_1 \dots a_M] \dots \quad (10)$$

G là ma trận các giá trị hàm sóng nhỏ tương ứng với N điểm có dạng:

$$G_{(N,M)} = \begin{bmatrix} g_1(\theta_1, \phi_1) & \dots & g_M(\theta_1, \phi_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ g_1(\theta_N, \phi_N) & \dots & g_M(\theta_N, \phi_N) \end{bmatrix} \quad (11)$$

M là số hàm khung trên mặt cầu.

$\omega$  là véc tơ số cải chính thành phần tương ứng  $(\omega_r^i, \omega_\theta^i, \omega_\phi^i)$  của vận tốc tại N điểm:

$$\omega_{(1,N)}^T = [\omega_1^1 \dots \omega_1^N] \dots \quad (12)$$

Một cách viết gọn lại hệ phương trình số cải chính các thành phần vận tốc cho N điểm đo (8) như sau:

$$-\omega = Gm - L \quad (13)$$

Áp dụng nguyên tắc số bình phương nhỏ nhất đối với số cải chính vận tốc  $\omega$  (13) ta có hệ phương trình chuẩn của N điểm trong mạng lưới như sau:

$$G^T P G m - G^T P L = 0 \quad (14)$$

Trong đó:

- P là ma trận trọng số tính theo phương sai các thành phần vận tốc chuyển dịch tương ứng  $(m_{v_r}, m_{v_\theta}, m_{v_\phi})$ :

$$P_{(N,N)} = \langle 1/m_{v_r}^2 \dots 1/m_{v_N}^2 \rangle \dots \quad (15)$$

Do hàm sóng nhỏ  $\mathbf{G}$  được tính dựa trên việc phân tích tín hiệu ban đầu thành tín hiệu tần số thấp và tần số cao nên các hệ số hàm sóng nhỏ trên cầu có thể tồn tại dư thừa và khi sử dụng hàm này để ước tính trường vận tốc sẽ dẫn đến lời giải không duy nhất, ngoài ra sai lệch trị quan trắc và phân bố số liệu không theo quy tắc sẽ tạo ra sai sót. Để giải quyết các tồn tại trên và cũng giúp giải quyết vấn đề không trực giao hoàn toàn giữa các hàm sóng nhỏ trên mặt cầu. Tape et al. (2009) bổ sung thêm điều kiện đối với mô hình sóng nhỏ trên mặt cầu thông qua phương pháp chính tắc hóa để giải quyết bài toán suy biến khi giải vectơ mô hình  $m$  bằng ma trận chính tắc hóa  $\mathbf{R} \in L^2(S)^2$ . Tham số chính tắc hóa  $\zeta$  này được tính theo phương pháp tiếp cận dạng đường cong đặc trưng bằng việc áp dụng cách kiểm tra chéo (ordinary cross-validation, OCV). Khi đó hệ phương trình (14) sẽ có dạng:

$$(\mathbf{G}^T \mathbf{P} \mathbf{G} + \zeta^2 \mathbf{R}). \mathbf{m} - \mathbf{G}^T \mathbf{P} \mathbf{L} = 0 \quad (16)$$

Ma trận  $\mathbf{R}$  là ma trận vuông có kích thước ( $M \times M$ ) và được tính dựa vào tổng số bậc từ  $q_{\min}$  đến  $q_{\max}$  như sau:

$$\mathbf{R}_{M \times M} = \begin{bmatrix} 2^{2q_{\min}} & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 2^{2q_{\max}} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Để tính  $\zeta$  trước tiên ta bỏ số liệu của một điểm quan trắc và tiến hành tính toán thông số của mô hình, sau đó tính chênh lệch giữa giá trị quan trắc và giá trị ước tính mô hình của các điểm ( $L_i - \hat{L}_i$ ), tiếp đó chọn ra thông số chính tắc hóa tốt nhất khi phương trình đường cong đặc trưng  $H(\zeta)$  đạt giá trị cực tiểu. Công thức hàm số của thông số chính tắc hóa mà phương pháp OCV chọn lựa được thể hiện như sau:

$$H(\zeta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{L_i - \hat{L}_i}{1 - N_{ii}(\zeta)} \right]^2 \quad (18)$$

Trong đó:

$N$  là số lượng trị đo tham gia ước tính;

$L_i$  là giá trị vận tốc chuyển dịch của điểm đo thứ  $i$ ;

$\hat{L}_i$  là giá trị vận tốc chuyển dịch của điểm thứ  $i$  từ mô hình ước tính của  $N-1$  điểm đo;

$N_{ii}(\zeta)$  là ma trận lời giải dữ liệu chính tắc hóa được tính theo công thức:

$$\mathbf{N}(\zeta) = \mathbf{G}(\mathbf{G}^T \mathbf{G} + \zeta^2 \mathbf{R})^{-1} \mathbf{G}^T \quad (19)$$

Tham số chính tắc hóa của mô hình  $\zeta$  được chọn bằng giá trị nhận được khi phương trình đường cong đặc trưng  $H(\zeta)$  đạt cực tiểu.

Giải hệ phương trình chuẩn (16) ta nhận được các tham số của mô hình như sau:

$$\mathbf{m} = (\mathbf{G}^T \mathbf{P} \mathbf{G} + \zeta^2 \mathbf{R})^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{P} \mathbf{L} \quad (20)$$

Sau khi xác định được các tham số của mô hình  $m$  thay vào công thức (6) ta sẽ nhận được vận tốc dịch chuyển ước tính của các điểm trong mạng lưới.

Từ các giá trị vận tốc dịch chuyển đo được và sau ước tính ta sẽ tính được sai số trung phương ước tính vận tốc dịch chuyển của điểm theo công thức:

$$m_V = \pm \sqrt{\frac{[\omega\omega]}{N}} \quad (21)$$

Trong đó:

$N$  là số điểm tham gia ước tính;

$\omega$  là giá trị chênh lệch giữa trường vận tốc trước và sau ước tính được xác định theo công thức (13) ở trên.

Trường vận tốc chuyển dịch của khu vực nghiên cứu được biểu diễn dưới dạng lưới ô vuông trên mặt cầu (spherical grid) mật độ của lưới được thiết kế theo yêu cầu của người dùng. Tại mỗi điểm mắt lưới vận tốc chuyển dịch nội suy được tính theo các bước sau:

Bước 1: Xác định giá trị tọa độ cầu của điểm mắt lưới ô vuông trên mặt cầu.

Bước 2: Tính ma trận hệ số  $g_i$  của điểm mắt lưới tương ứng với hàm khung  $M$  được chọn khi tính tham số  $m$  ở trên (từ  $q_{\min}$  đến  $q_{\max}$ ).

Bước 3: Tính vận tốc chuyển dịch nội suy cho điểm mắt lưới theo công thức (6).

### **3. Ứng dụng phương pháp biến đổi sóng nhỏ xác định trường vận tốc chuyển dịch không gian trên khu vực Miền Bắc Việt Nam**

Trên cơ sở lý thuyết đã trình bày, tiến hành tính toán thực nghiệm cho 11 điểm trong mạng lưới GNSS thuộc khu vực Miền Bắc Việt Nam. Số liệu thực nghiệm là các véc tơ chuyển dịch đo được trong 4 chu kỳ do Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ thi công trong giai đoạn từ năm 2012 đến năm 2015. Kết quả thực nghiệm được tổng hợp trong các bảng sau:

*Bảng 1: Tổng hợp vận tốc chuyển dịch đo của mạng lưới GPS*

Tên điểm	Kinh độ (độ)	Vĩ độ (độ)	VN (m)	M <sub>vn</sub> (m)	VE (m)	M <sub>ve</sub> (m)	VU (m)	M <sub>vu</sub> (m)
C004	103.23829	21.92577	-0.01234	0.00049	0.03758	0.00046	-0.01460	0.00137
C014	105.13620	20.14654	-0.01175	0.00048	0.03594	0.00047	-0.00985	0.00135
C022	104.31162	21.02883	-0.01072	0.00046	0.03004	0.00044	-0.00704	0.00123
C033	104.03565	21.54916	-0.01005	0.00049	0.03470	0.00048	-0.01556	0.00149
C045	104.98187	21.11869	-0.00992	0.00048	0.03179	0.00046	-0.02924	0.00132
C049	104.44530	22.22540	-0.01215	0.00050	0.03934	0.00048	-0.02671	0.00147
C052	104.78723	21.63566	-0.01386	0.00049	0.03408	0.00046	-0.03045	0.00136
C056	105.49742	20.87954	-0.01138	0.00048	0.03155	0.00046	0.01531	0.00131
C065	105.43834	21.81049	-0.01350	0.00049	0.03646	0.00048	-0.01832	0.00139
C070	106.79372	21.92980	-0.01291	0.00048	0.03140	0.00047	0.00897	0.00137
C075	106.81632	20.98755	-0.01368	0.00048	0.03468	0.00048	0.00782	0.00141

Các vận tốc chuyển dịch đã được xác định với độ chính xác tương đối cao: sai số vận tốc mặt bằng là  $\pm 0,001m$  và sai số vận tốc độ cao là từ  $\pm 0,001$  đến  $\pm 0,002m$ .

Lập và giải hệ phương trình (16) để tính tham số của mô hình và áp dụng công thức (6) để tính vận tốc nội suy tại các điểm trong mạng lưới. Kết quả nội suy sóng nhỏ vận tốc chuyển dịch được tổng hợp trong Bảng 2 dưới đây:

*Bảng 2: Kết quả tính nội suy sóng nhỏ vận tốc chuyển dịch tại các điểm đo*

Tên điểm	Kinh độ (độ)	Vĩ độ (độ)	$v_{\theta}^{ut}$ (m)	$v_{\phi}^{ut}$ (m)	$v_r^{ut}$ (m)
C004	103.23829	21.92577	-0.01150	0.03742	-0.01335
C014	105.13620	20.14654	-0.01104	0.03555	-0.00383
C022	104.31162	21.02883	-0.01025	0.03028	-0.01461
C033	104.03565	21.54916	-0.01127	0.03456	-0.01837
C045	104.98187	21.11869	-0.01122	0.03117	-0.01306
C049	104.44530	22.22540	-0.01235	0.03917	-0.02254
C052	104.78723	21.63566	-0.01215	0.03472	-0.02009
C056	105.49742	20.87954	-0.01180	0.03227	-0.00419
C065	105.43834	21.81049	-0.01337	0.03594	-0.01414
C070	106.79372	21.92980	-0.01273	0.03155	0.00313
C075	106.81632	20.98755	-0.01318	0.03437	0.00779

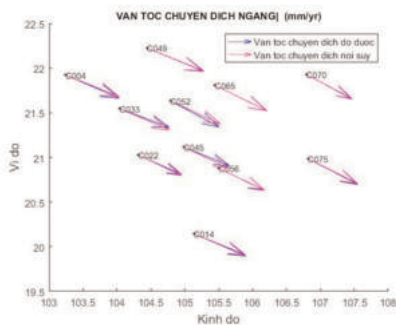
Áp dụng công thức (21) ta tính được sai số trung phương vận tốc chuyển dịch nội suy sóng nhỏ theo các hướng như sau:

$$m_{vr}^{ut} = \pm 0.00915 \text{ m}; m_{v\theta}^{ut} = \pm 0.000857 \text{ m}; m_{v\phi}^{ut} = \pm 0.00043 \text{ m}$$

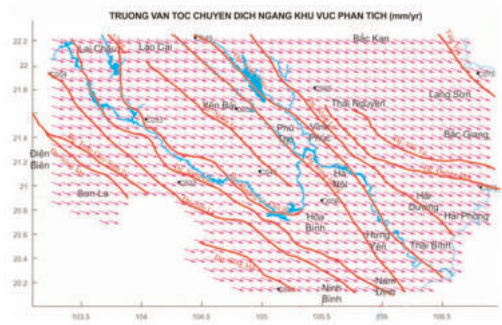
Có thể nhận thấy rằng độ chính xác các thành phần vận tốc mặt bằng sau nội suy sóng nhỏ thay đổi chút ít: khoảng  $\pm 0,001\text{m}$  trong đó thành phần hướng Bắc giảm đi một nửa và thành phần hướng Đông hầu như vẫn giữ nguyên còn đối với độ cao thì giảm đi nhiều  $\pm 0,009\text{m}$ .

Kết quả vận tốc chuyển dịch ngang (mặt bằng) trong Bảng 1 và Bảng 2 được biểu diễn trên sơ đồ ở Hình 1.

Áp dụng công thức (4) để tính giá trị của  $g_k$  cho các điểm mắt lưới ô vuông trên mặt cầu và từ tham số của mô hình ước tính  $m$  tiến hành tính toán trường vận tốc nội suy cho khu vực quan trắc theo công thức (6). Kết quả nội suy trường vận tốc chuyển dịch ngang của khu vực được thể hiện trong Hình 2 dưới đây:



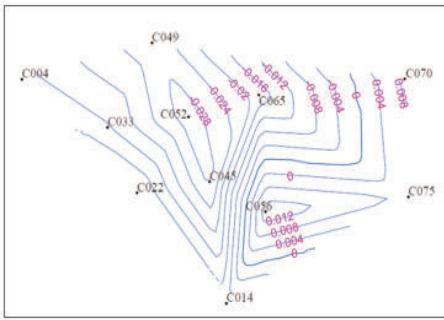
*Hình 1: Sơ đồ vận tốc chuyển dịch ngang đo được và nội suy sóng nhỏ trên 11 điểm lưới*



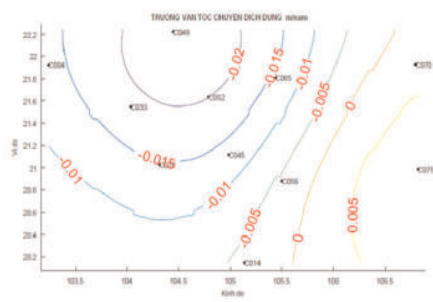
*Hình 2: Bản đồ trường vận tốc chuyển dịch ngang sau nội suy sóng nhỏ khu vực Miền Bắc*

Để dàng nhận thấy độ lớn và hướng của trường vận tốc chuyển dịch ngang khá phù hợp với xu thế chuyển dịch của Mảng Á-Âu (Simons et al., 2007).

Dựa vào giá trị vận tốc chuyển dịch đứng ở Bảng 1 đã dựng được bản đồ đường đồng mức trường vận tốc chuyển dịch đứng khu vực Miền Bắc ở Hình 3. Cũng từ Bảng 2 bản đồ đường đồng mức trường vận tốc chuyển dịch đứng sau nội suy sóng nhỏ khu vực Miền Bắc được trình bày ở Hình 4.



Hình 3: Bản đồ trường vận tốc chuyển dịch đứng khu vực Miền Bắc



Hình 4: Bản đồ trường vận tốc chuyển dịch đứng sau nội suy sóng nhỏ khu vực Miền Bắc

Như đã nói ở trên sau khi thực hiện nội suy sóng nhỏ trường vận tốc chuyển dịch đứng thì độ chính xác đã giảm đi rất nhiều ( $\pm 0,0009\text{m}$ ) nhưng vẫn còn nhận thấy được xu thế hạ (từ khoảng  $-0,5$  đến  $-2,0\text{cm/năm}$ ) ở phía Tây Bắc và phía Bắc và nâng ít hơn (từ  $0$  đến khoảng  $0,5\text{/năm}$ ) từ Hình 4, mặc dù xu thế hạ ở địa hình vùng núi và nâng ở địa hình đồng bằng là chưa thật phù hợp với quá trình phát triển lịch sử địa chất của khu vực.

#### 4. Kết luận

Trên cơ sở lý thuyết của phương pháp biến đổi sóng nhỏ và ứng dụng để tính toán trường vận tốc chuyển dịch không gian trên khu vực Miền Bắc Việt Nam, có thể đưa một số kết luận sau:

Phương pháp biến đổi sóng nhỏ phân tích vận tốc chuyển dịch ra hai thành phần: (1) Tín hiệu ở tần số cao gồm thành phần biến thiên nhanh và bất thường còn ẩn chứa bên trong trị đo đặc trưng cho vận tốc chuyển dịch bất thường ở khu vực phân tích; (2) Tín hiệu tần số thấp là các biến thiên đồng dạng đặc trưng cho vận tốc chuyển dịch chung trên khu vực nghiên cứu, thành phần này phụ thuộc vào các tham số của mô hình ( $a_k, b_k, c_k$ ). Do đó, phương pháp này đã loại bỏ được các yếu tố ảnh hưởng bất thường và không tuyến tính của trị đo để nhận được giá trị đồng dạng tuyến tính của trường vận tốc chuyển dịch trên khu vực nghiên cứu.

Phương pháp biến đổi sóng nhỏ được sử dụng để tính ma trận hệ số từ vị trí tọa độ của điểm và số bậc  $q$  thông qua việc rời rạc hóa số lượng vị trí điểm đo trên mặt cầu. Do đó, mức độ khái quát của trường vận tốc chuyển dịch phụ thuộc vào số lượng và sự phân bố của điểm đo. Số lượng điểm đo càng nhiều và được phân bố đều trên toàn khu vực thì vận tốc chuyển dịch xác định được càng chính xác với mức độ chi tiết càng cao.

Phương pháp biến đổi sóng nhỏ cho phép nội suy được trường vận tốc chuyển dịch cả ở các khu vực ngoại biên của điểm đo vì giá trị vận tốc chuyển dịch chỉ phụ thuộc vào diện tích của khu vực nghiên cứu (được xác định theo số bậc  $q$ ), không phụ thuộc vào biên của điểm nội suy. Bên cạnh đó, phương pháp này còn cho phép phân tích vận tốc chuyển dịch và nội suy vận tốc của nhiều điểm đồng thời mà không phụ thuộc vào việc lựa chọn các tam giác, đa giác. Phương pháp biến đổi sóng nhỏ cho kết quả tốt hơn đối với khu vực nghiên cứu có dạng diện rộng và hạn chế khi nội suy đối với khu vực diện hẹp dạng hình tuyến

Kết quả thử nghiệm đối với Miền Bắc Việt Nam cho thấy trường vận tốc chuyển dịch ngang sau



nội suy sóng nhỏ từ dữ liệu đo GNSS có hướng và độ lớn phù hợp với chuyển động của mảng kiến tạo Á-Âu. Kết quả nội suy sóng nhỏ của trường vận tốc chuyển dịch đứng còn chưa phù hợp với đặc điểm phát triển địa chất địa mạo của khu vực. Hy vọng với nhiều chu kỳ đo hơn trong thời gian tới sẽ có thể nhận được các kết quả chính xác hơn và các kết luận thuyết phục hơn phù hợp hơn đối với khu vực nghiên cứu./○

#### Tài liệu tham khảo

[1]. Nguyễn Văn Hường (2012): Đặc điểm biến dạng, trường ứng suất kiến tạo hiện đại và mối quan hệ của chúng với các tai biến địa chất khu vực Biển Đông Việt Nam và các vùng lân cận, *Luận án tiến sĩ địa chất*, Hà Nội, 2012, 108 tr.

[2]. Ji Lingyun, Wang Qingliang and Wang Shuangxu (2014): Present-day 3D deformation field of Northeast China, observed by GPS and leveling, *Geodesy and Geodynamics* 2014, 5(3): 34-40, <http://www.jgg09.com>, Doi: 10.3724/SP.J.1246.2014.03034.

[3]. Kumar, K. V., K. Miyashita, and J. Li (2002): Secular crustal deformation in central Japan, based on the wavelet analysis of GPS time-series data, *Earth Planets Space*, 54, 133–139, 2002.

[4]. Santamaría-Gómez, A. and A. Mémin (2015): Geodetic secular velocity errors due to inter-annual surface loading deformation, *Geophys. J. Int.* (2015) 202, 763–767, doi: 10.1093/gji/ggv190.

[5]. Simons, W. J. F., A. Socquet., C. Vigny., B. A. C. Ambrosius., S. Haji Abu., Chaiwat Promthong., C. Subarya., D. A. Sarsito., S. Matheussen., P. Morgan., and W. Spakman. (2007), A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries, *Journal of Geophysical Research*, vol.112, B06420, doi:10.1029/2005JB003868.

[6]. Tape, C., P. Muse, M. Simons, D. Dong, F. Webb (2009): Multiscale estimation of GPS velocity fields, *Geophys. J. Int.*, 179, 945–971, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04337.x.

[7]. Trình Bằng Phi, Văn Hán Giang, Tôn La Khánh, Thành Anh Yến, Trương Bằng, Bí Kim Chung, Vương Hoa (2015): Mô hình Wavelet mặt cầu và phân tích đặc trưng đa tỉ lệ của trường vận tốc GPS ở Trung Quốc đại lục [J]. *Tạp chí bản đồ*, 2015, 44(10): 1063-1070, DOI:10.11947/j. AGCS. 2015.20140141 (Tiếng Trung).

[8]. Phan Trọng Trinh, Ngô Văn Liêm, Vy Quốc Hải, Trần Văn Phong, Nguyễn Văn Hường, Nguyễn Viết Thuận, Nguyễn Quang Xuyên, Bùi Văn Thơm, Nguyễn Đăng Túc, Hoàng Quang Vinh, Nguyễn Huy Thịnh, Bùi Thị Thảo, Trần Quốc Hùng (2015): Gradient kiến tạo hiện đại khu vực Ninh thuận và lân cận, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, Tập 15, Số 3; 2015: 209-224, DOI: 10.15625/1859-3097/15/3/7216, <http://www.vjs.ac.vn/index.php/jmst>

[9]. Từ điển Toán học Anh-Việt (1976): (Khoảng 17 000 từ), Nhà xuất bản KH và KT, In lần thứ 2 – 1976, 451 tr.○

(Xem tiếp trang 41)