

# **ĐÁNH GIÁ SAI SỐ DỰ BÁO ĐƯỜNG ĐI CỦA BÃO BẰNG DỰ BÁO TỔ HỢP TRÊN KHU VỰC TÂY BẮC THÁI BÌNH DƯƠNG TRONG CÁC NĂM 2003 - 2006.**

**ThS. Nguyễn Đăng Quang**

Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương.

*B*ài báo là kết quả của một nghiên cứu về đánh giá sai số dự báo đường đi của bão khi đưa thêm một hoặc nhiều đường trung bình tổ hợp vào hệ thống dự báo tổ hợp nghiệp vụ (gọi là Control) tại cơ quan khí tượng Hồng Kông. Với bốn năm số liệu, 2003-2006, kết quả dự báo của tập hợp mới (sau khi bổ sung một hoặc nhiều đường trung bình vào Control) không đưa lại những cải thiện đáng kể về sai số vị trí trực tiếp DPE, ngoại trừ tại thời điểm  $T+120h$ , sai số DPE giảm 4-6% nhưng cải thiện này cũng không thỏa mãn kiểm nghiệm  $t$ -test. Tuy nhiên, khi xét khả năng bao phủ của tập hợp mới với đường đi "thật" của bão (best-track), tập hợp mới chỉ dự báo sai 15% trong khi con số này của Control là 40% tại hạn dự báo  $T+120h$ . Độ tán của tập hợp không đủ khả năng cung cấp độ tin cậy của dự báo. Sai số về hướng dọc theo đường đi chuyển (AT) và hướng vuông góc với đường đi chuyển (CT) của bão cũng được xem xét trong nghiên cứu. Sai số của AT lớn hơn sai số của CT; cả Control và tập hợp mới đều chỉ ra xu hướng dự báo thiên lệch phải và chậm dần theo thời gian so với Best-track.

## **1. Giới thiệu**

Những đánh giá về độ chính xác của dự báo đường đi của bão bằng dự báo tổ hợp đã được tiến hành bởi Goerss(2000), Aberson(2001) ... Các nghiên cứu này chú trọng nhiều đến tính ưu việt của dự báo tổ hợp, ví dụ như sai số dự báo của tổ hợp thì nhỏ hơn sai số dự báo của từng thành phần trong tổ hợp đó (Goerss 2000) hoặc chất lượng dự báo tổ hợp tại hạn  $T+72h$  tăng trung bình 2.4% một năm kể từ 1976 đến nay (Aberson 2001)... Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào được thực hiện với cách đặt bài toán là xem xét sai số chung của tập hợp khi bổ sung thêm một hoặc nhiều đường trung bình vào tổ hợp ban đầu.

Cụ thể hơn, hiện nay cơ quan Khí tượng Hồng Kông (HKO) đang sử dụng trong nghiệp vụ dự báo bão thông tin tổ hợp từ bốn mô hình

tất định của Cơ quan Khí tượng Anh Quốc (UKMO), Trung tâm dự báo Môi trường Mỹ (NCEP), Cơ quan Khí tượng Nhật Bản (JMA) và Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF). Từ nay, trong bài báo này, chúng tôi gọi tổ hợp bốn mô hình này là Control. Bên cạnh việc thu nhận được kết quả từ bốn mô hình trên, HKO còn nhận được sản phẩm dự báo tổ hợp của JMA và ECMWF khi có bão, áp thấp nhiệt đới (ATNĐ) trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương. Nghiên cứu sẽ tìm hiểu việc bổ sung thêm đường trung bình chung (SEM, Simple Ensemble Mean) dự báo tổ hợp của JMA và ECMWF vào Control có làm tăng chất lượng dự báo hay không, với hạn dự báo là 120h. Kết quả dự báo được so sánh với vị trí "thực" của bão (best-track); thời gian bão dịch chuyển giữa hai điểm gần nhau nhất trong Best-track là 6h.

---

Người phản biện: TS. Nguyễn Thị Minh Phương

Hai thành phần thường được dùng trong việc đánh giá dự báo đường đi của bão là sai số vị trí trực tiếp (DPE) và sai số theo hướng AT/CT được sử dụng trong nghiên cứu. Bên cạnh đó, trong công tác nghiệp vụ dự báo Khí tượng việc tìm ra sai số hệ thống của mô hình hoặc của tổ hợp mô hình là rất hữu ích; việc làm này trực tiếp ảnh hưởng đến chất lượng bản tin. Phần cuối của bài báo đề cập đến vấn đề này.

**2. Sai số dự báo**

Các dự báo đường đi của bão trong Control được thu thập trong bốn năm 2003-2006 trên toàn khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương. Mọi xoáy thuận nhiệt đới, bao gồm cả những nhiễu động nhiệt đới có vị trí tâm xác định và tốc độ gió bề mặt cực đại nhỏ hơn 17m/s (63km/h) đều được thu thập và đánh giá trong bài báo. Các dự báo trong Control được so sánh với best-track; best-track của HKO là quá trình tổng hợp và phân tích các nguồn thông tin có được sau khi cơn bão kết thúc. Thời hạn dự báo là 120h, các tính toán được thực hiện trên các

tập mẫu đồng nhất. Sự cần thiết của việc phải sử dụng các tập mẫu đồng nhất được giới thiệu bởi Neumann và Pelissier (1981b).

Trong hai năm 2003-2004, sản phẩm dự báo tổ hợp EPS của Nhật Bản mà HKO nhận được là 25 thành phần, HKO không nhận được sản phẩm EPS của Trung tâm dự báo hạn vừa Châu Âu (từ nay gọi tắt là Châu Âu) trong những năm này. Từ năm 2005, HKO thu nhận được liên tục và đều đặn 51 thành phần EPS của cả Nhật Bản và Châu Âu.

**a. Sai số vị trí trực tiếp DPE**

Sai số vị trí trực tiếp được định nghĩa là khoảng cách giữa dự báo và quan trắc của một cơn bão (Neumann và Pelissier, 1981b). Bảng 1 dưới đây chỉ ra DPE trung bình và độ lệch chuẩn (STDEV) của Control và tập hợp mới. Tập hợp mới là Control kết hợp với một hoặc nhiều SEM của một hoặc nhiều tổ hợp dự báo. Cụ thể hơn, SEM của dự báo tổ hợp của Nhật Bản được tính cho bốn năm 2003-2006, SEM của dự báo tổ hợp của Châu Âu được tính cho hai năm 2005 - 2006.

**Bảng 1. DPE trung bình và độ lệch chuẩn (được ghi trong dấu () bên cạnh giá trị DPE) (km) trong các so sánh đồng nhất: 1a) Control(C) và C + SEM của JMA EPS 2003-2006 và 1b) tương tự 1a nhưng thêm C + (SEM của ECMWF) và C + (SEM của JMA) + (SEM của ECMWF) trong hai năm 2005-2006. DLM: Dung lượng mẫu**

Bảng 1a

03-06	Control(C)	C+JMA SEM	DLM
24h	105.281 (70.36)	110.41(72.22)	435
48h	174.68 (110.12)	182.47(116.86)	346
72h	230.88 (136.67)	230.33(138.33)	255
96h	275.28 (169.13)	266.53(152.05)	174
120h	289.53 (163.86)	283.57(159.57)	99

Bảng 1b

05-06	Control(C)	C+ECM SEM	C+JMA SEM	C+ECM+JMA	DLM
24h	98.22 (59.15)	99.95 (64.18)	102.51 (63.56)	102.93 (66.48)	188
48h	170.19 (100.73)	169.67 (103.55)	176.05 (111.73)	168.59 (103.52)	148
72h	216.83 (124.54)	219.03 (128.28)	213.14 (125.33)	215.24 (129.41)	110
96h	271.54 (182.94)	270.73 (164.83)	258.62 (144.36)	255.39 (146.95)	72
120h	277.51 (138.07)	297.92 (131.34)	264.78 (127.27)	265.30 (123.53)	35

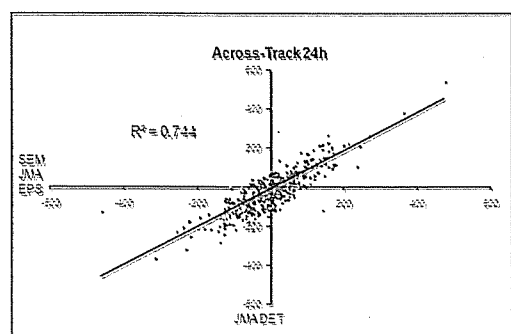
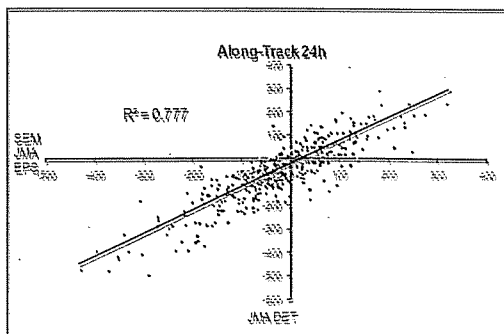
Các kết quả trên cho ta thấy, DPE và STDEV là so sánh được trong cả Control và tập hợp mới. Trong 24h dự báo đầu tiên, DPE và STDEV của tập hợp mới luôn lớn hơn Control mặc dù sự lớn hơn này là không đáng kể. Sự khác nhau giữa Control và tập hợp mới là không rõ ràng nhưng từ thời điểm T+96h dự báo, chúng ta thấy xuất hiện một xu hướng thay đổi về sai số. Từ T+96h, sai số vị trí trực tiếp và độ lệch chuẩn giảm 4-6% so với Control. Tuy nhiên những cải thiện về sai số dự báo này không thỏa mãn kiểm nghiệm thống kê t-test cho từng cặp (paired t-test) ở cả mức tin cậy 99% và 95%.

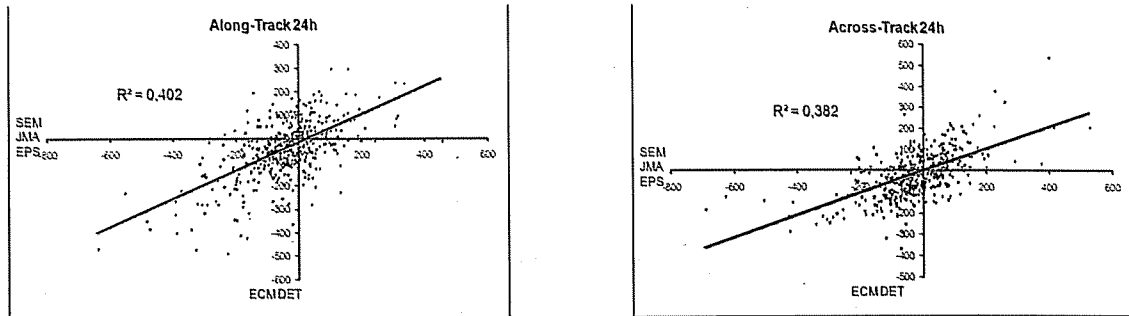
## b. Sai số AT/CT

Việc tách sai số dự báo ra hai thành phần, sai số theo hướng dọc đường đi (AT) và sai số theo hướng vuông góc đường đi (CT) của bão, lần đầu tiên được đưa ra bởi Neumann và Pelissier(1981b). Thành phần CT cho ta biết sai số vị trí, thành phần AT cho biết sai số theo thời gian. Với việc xét dấu của AT/CT, ta có thể đánh giá được dự báo lệch trái hay lệch phải (CT>0: dịch chuyển trái; CT<0: dịch chuyển phải), hoặc dự báo chậm hay nhanh (AT>0: nhanh, AT<0: chậm) so với best-track. Bảng 2(a,b) nêu một số đặc tính của Control và dự báo tổ hợp của Châu Âu. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đưa ra một khái niệm mới: một tổ hợp dự báo được xem là dự báo đúng khi best-track nằm trong vùng bao phủ của tổ hợp đó, dự báo là sai khi best-track không thuộc phạm vi bao phủ của chùm tổ hợp.

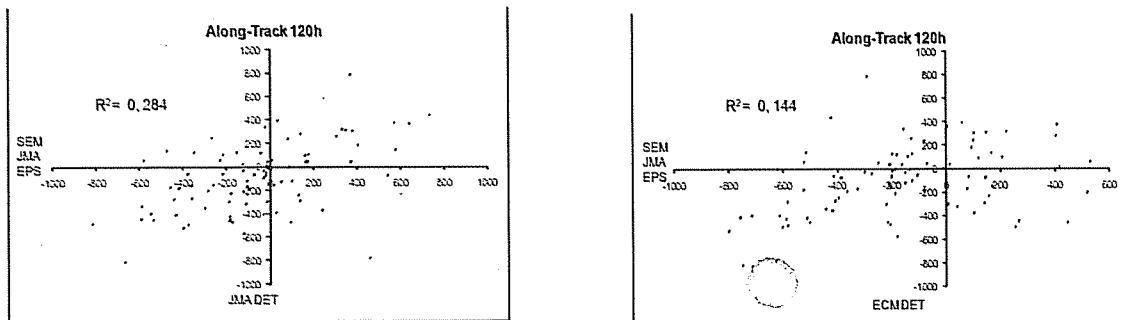
Dựa vào việc phân tích quan hệ giữa AT/CT của mô hình tất định trong Control và SEM của dự báo tổ hợp tại trung tâm tương ứng, chúng tôi đã cố gắng tìm lời giải thích cho kết quả của mục 2.1. Cụ thể, thành phần AT/CT từ mô hình dự báo bão của JMA và ECMWF trong Control được so sánh với AT/CT của SEM của JMA EPS và ECMWF EPS. Các kiểm tra chéo cũng được tiến hành, tức là AT/CT từ mô hình tất định của JMA được so với AT/CT của SEM của ECMWF EPS; và ngược lại AT/CT từ mô hình tất định của ECMWF được so với AT/CT của SEM của JMA EPS. Kết quả cho thấy, hệ số tương quan tại T+24h của mô hình và trung bình chung tổ hợp dự báo của cùng một trung tâm là 0.7, trong khi đó hệ số này là 0.4 hoặc 0.3 khi kiểm tra chéo (hình 1). Dựa vào hệ số tương quan cao giữa mô hình và trung bình tổ hợp của từng trung tâm, ta có thể suy nghĩ là cả hai trung tâm Nhật Bản và Châu Âu đều xây dựng hệ thống dự báo tổ hợp dựa trên một "nhân" mô hình; với "nhân" mô hình này, bằng các cách khác nhau họ xây dựng được tổ hợp dự báo, hiện nay số thành viên trong tổ hợp dự báo của hai trung tâm này là bằng nhau và bằng 51 thành phần.

Như vậy, việc bổ sung một thành phần có tương quan cao (phụ thuộc) với một thành phần trong Control sẽ không giúp tập hợp mới giảm sai số. Điều này trùng với phỏng đoán của Burton (2006), tổ hợp dự báo được coi là tốt nhất khi các thành viên trong đó là độc lập.





Hình 1a. Hai hình trên cùng minh họa tương quan của AT(trái), CT(phải) giữa SEM của JMA EPS và mô hình tất định JMA. Hai hình dưới minh họa tương quan giữa SEM của JMA EPS và mô hình tất định ECMWF, T+24h.



Hình 1b. Như hình 1a nhưng tại T+120h. Chỉ hiển thị thành phần AT, thành phần CT có dạng tương tự.

Sau năm ngày, T+120h, hệ số tương quan trở nên rất nhỏ (0.1 hoặc 0.2) ngay cả khi xét hệ số này giữa mô hình tất định và tổ hợp dự báo dựa trên “nhân” mô hình tất định đó. Sự

độc lập giữa mô hình và hệ thống dự báo tổ hợp trở nên rõ ràng, các thành phần sai số về hướng của cả Nhật Bản và Châu Âu là tương đương nhau. (hình 1b)

Bảng 2a. Sai số AT/CT 2003 - 2006 của Control (C) với việc chọn các dung lượng mẫu đồng nhất. Số trong các cột Nhanh/Chậm, Phải/Trái và Đúng là số lượng các thành viên của tổ hợp thỏa mãn việc xét dấu. Ví dụ tại bảng 2a, trong bốn năm 2003-2006, tại hạn dự báo T+24h có tổng cộng 1516 thành viên cho dự báo nhanh (AT>0).

(C)	AT(2003-2006)						DLM
	STDEV(Trung bình)	Nhanh(N)	Chậm (C)	Đúng	N/C	% Sai	
24h	145.81(-34.25) km	1516	2329	633	0.65	40.45	1063
48h	203.16(-77.99) km	1059	2021	490	0.52	43.48	867
72h	272.68(-114.52) km	770	1519	356	0.51	47.80	682
96h	312.46(-128.61) km	436	895	202	0.49	60.08	506
120h	334.79(-152.69) km	281	615	135	0.46	62.71	362
(C)	CT(2003-2006)						DLM
	STDEV(Trung bình)	Phải (P)	Trái (T)	Đúng	P/T	% Sai	
24h	109.69(-6.84) km	1782	2063	631	0.86	40.64	1063
48h	158.15(-4.56) km	1497	1583	486	0.95	43.94	867
72h	202.79(-2.27) km	1121	1168	387	0.96	43.26	682
96h	243.52(3.94) km	650	681	225	0.95	55.53	506
120h	270.35(27.83) km	473	423	143	1.12	60.50	362

**Bảng 2b. Như bảng 2a nhưng đổi với 51 thành phần của dự báo tổ hợp của ECMWF.**

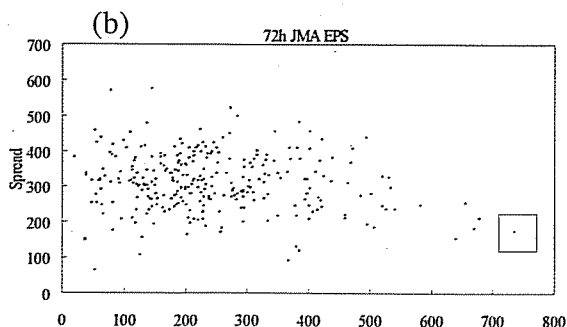
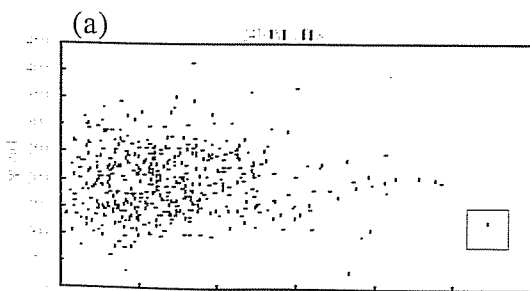
ECM EPS	AT(2005-2006)						DLM
	STDEV(Trung bình)	Nhanh(N)	Chậm(C)	Đúng	N/C	% Sai	
24h	108.27(-38.15) km	7812	13082	356	0.60	15.04	419
48h	168.24(-104.47) km	5251	10717	305	0.49	8.41	333
72h	197.02(-156.45) km	3348	7852	229	0.43	9.84	254
96h	196.28(-205.85) km	1832	5332	167	0.34	10.22	186
120h	224.50(-250.58) km	991	3320	108	0.30	14.29	126
ECM EPS	CT(2005-2006)						DLM
	STDEV(Trung bình)	Phải (P)	Trái (T)	Đúng	P/T	% Sai	
24h	111.01(-31.91) km	8563	12331	340	0.69	18.85	419
48h	141.22(-34.89) km	6912	9056	301	0.76	9.61	333
72h	165.92(-24.48) km	5152	6048	233	0.85	8.27	254
96h	187.59(-7.95) km	3493	3671	166	0.95	10.75	186
120h	182.81(17.58) km	2254	2057	113	1.096	10.32	126

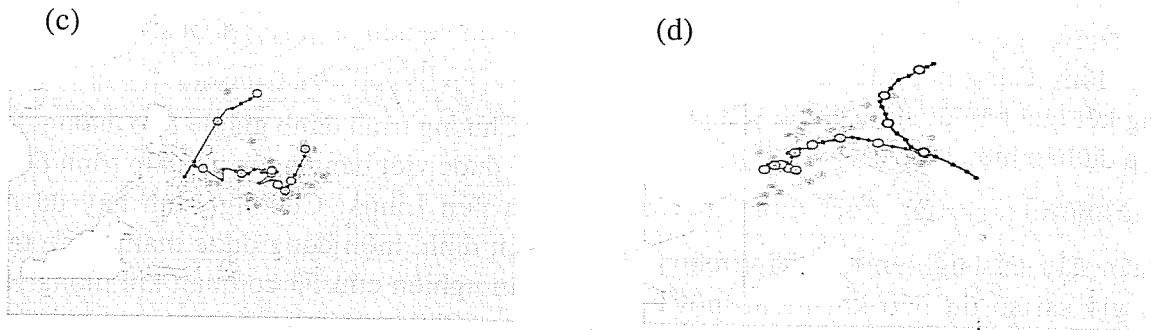
Phần trăm dự báo sai của Control tỷ lệ thuận với hạn dự báo, từ 40% tại T+24h tăng lên xấp xỉ 60% tại T+120h đối với cả AT/CT. Một sự tương phản lớn về tỷ lệ dự báo sai ở tổ hợp dự báo của Châu Âu và Nhật Bản (không nêu trong bảng 2) đã được ghi nhận, các tổ hợp dự báo này chỉ sai dưới 15% cho tới tận T+120h. Một điều khá thú vị cũng được rút ra từ việc phân tích sai số: trong 24h dự báo đầu tiên, sai số của JMA EPS nhỏ hơn nhiều lần so với sai số của ECMWF EPS. Chỉ 5-6% các dự báo tổ hợp của Nhật Bản bị sai trong khi sai số này là 15-20% đối với dự báo tổ hợp của Châu Âu. Điều này lý giải bởi Cơ quan Khí tượng Nhật Bản có sử dụng sơ đồ cài xoáy nhân tạo tại thời điểm phân tích. Tuy nhiên, lợi ích của việc cài xoáy cũng chỉ phát huy tác dụng trong 24h dự báo đầu tiên, từ T+24h trở đi sai số của hệ

thống dự báo tổ hợp của Nhật Bản và Châu Âu là như nhau.

**c. Độ tán của tổ hợp**

Độ tán đã được đề cập trong những nghiên cứu về độ chính xác của dự báo tổ hợp. Độ tán được định nghĩa là khoảng cách trung bình của các thành viên tới đường trung bình tổ hợp (Gorss, 2000). Một tổ hợp dự báo có các thành phần đứng hợp lại gần nhau (độ tán nhỏ), đường best-track có thể gần đường trung bình chung tổ hợp (DPE nhỏ) hoặc xa đường trung bình chung tổ hợp (DPE lớn). Tương tự thế, một tổ hợp có độ tán lớn cũng có hai tình huống với DPE: DPE nhỏ hoặc DPE lớn (hình 3). Như vậy, thực sự khó cho người làm dự báo khi muốn sử dụng tham số độ tán như một công cụ cung cấp độ tin cậy của dự báo tổ hợp.





Hình 3. Minh họa độ tán và DPE tại T+24h (trái) và T+72h (phải) của JMA EPS. Hai điểm nằm trong hình tròn được lấy ngẫu nhiên sao cho DPE lớn mà độ tán nhỏ, tương ứng với hai cơn bão ở hình dưới. Hình (c) là một ATNĐ yếu, T+24h, thời điểm bắt đầu dự báo là 12UTC 14/02/2004; hình (d) là cơn bão MELOR T+72h, thời điểm bắt đầu dự báo là 12UTC 31/10/2003. Đường màu xanh dương là đường trung bình chung của tổ hợp. Vị trí quan trắc thực của áp thấp (c) là hình tròn màu đen, best-track của MELOR (d) là đường liền nét màu đen.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi cũng tìm hiểu đặc điểm của những hệ thống có độ tán nhỏ mà sai số DPE lớn. Nhiều lựa chọn ngẫu nhiên được thực hiện sao cho lựa chọn đó thỏa mãn độ tán nhỏ, DPE lớn. Kết quả phân tích cho thấy, đa số các hệ thống thỏa mãn điều kiện trên (DPE lớn, độ tán nhỏ) hoặc là một hệ thống yếu hoặc là một hệ thống mạnh di chuyển ngược lên các vùng vĩ độ cao. Hình 3 là hai ví dụ minh họa cho kết luận này. Hình bên trái phía dưới là một hệ thống xoáy thuận yếu tại T+24h, thời điểm bắt đầu dự báo là 12UTC ngày 14/02/2004, hình bên phải phía dưới là cơn bão MELOR T+72h, đổi hướng và di chuyển ngược lên vùng vĩ độ cao, thời điểm bắt đầu dự báo là 12UTC ngày 31/10/2003. Độ tán và sai số vị trí trực tiếp của hệ thống yếu nêu trên lần lượt là 121.38km và 542.51km; trong khi những số này của bão MELOR là 170.75km và 732.44km.

### 3. Sai số hệ thống

Trong công tác nghiệp vụ dự báo Khí tượng, việc tìm ra sai số hệ thống của dự báo đường đi của bão là quan trọng, chúng giúp nâng cao chất lượng các bản tin. Xem xét tới các tỷ số của các dự báo Nhanh/Chậm, Phải/Trái trong bảng 2, cả Control cũng như dự báo tổ hợp của Nhật Bản và Châu Âu chỉ ra một xu hướng không đổi, mang tính hệ thống là các dự báo thiên về bên phải của best-track và chậm dần theo thời gian.

Giá trị độ lệch chuẩn và trung bình của hai thành phần sai số AT/CT trong Control, JMA EPS và ECMWF EPS được phân tích. Bảng 3 hiển thị kết quả mô hình dự báo tất định của Nhật Bản và Châu Âu trong Control. Dễ nhận thấy, dung sai của thành phần AT lớn hơn dung sai của CT trong suốt thời hạn T+120h dự báo.

Bảng 3. Độ lệch chuẩn và giá trị trung bình (được ghi trong dấu () bên cạnh giá trị độ lệch chuẩn) (km) của AT/CT trong mô hình tất định của Châu Âu và Nhật Bản trong Control, 2003-2006

AT	ECMWF	JMA	CT	ECMWF	JMA
24h	176.40(-56.26)	142.38(-20.22)	24h	124.26(-27.81)	105.29(-7.0)
48h	199.90(-110.21)	198.90(-57.33)	48h	160.84(-22.49)	155.14(-9.43)
72h	257.54(-159.71)	266.99(-101.86)	72h	197.19(-20.40)	201.08(-8.72)
96h	304.92(-170.84)	306.72(-100.53)	96h	246.18(-15.64)	240.10(-16.04)
120h	333.19(-183.87)	327.37(-129.91)	120h	279.16(-18.49)	259.86(-22.91)

Như vậy, người làm dự báo tại cơ quan Khí tượng Hồng Công hoàn toàn có thể sử dụng những kết quả này để hiệu chỉnh sản phẩm từ tổ hợp dự báo hiện thời.

### 4. Kết luận

Phần đầu của nghiên cứu dành cho việc đánh giá sai số dự báo khi thêm một hoặc nhiều thành phần trung bình từ các dự báo tổ hợp của Nhật Bản và Châu Âu vào control. Việc làm này không cải thiện được chất lượng dự báo nếu sử dụng tiêu chí đánh giá là sai số vị trí trực tiếp. Bài báo cũng khảo sát khả năng bao phủ của tập hợp mới đối với best-track. Tập hợp mới có khả năng đưa ra dự báo đúng tới 85% khi so với 40% dự báo đúng của tổ hợp cũ tại hạn dự báo T+120h. Phân tích độ tán và hai thành phần sai số AT/CT của tập hợp được thực hiện ở phần hai của bài báo. Độ tán không được xem là một chỉ tiêu tin cậy trong việc dự báo đường đi của bão. Một cách có hệ thống, sai số theo thời gian AT lớn hơn sai số theo hướng CT; cả tổ hợp dự báo mới cũng như control đều cho các dự báo có xu hướng dịch

chuyển về bên phải so với best-track và chậm dần theo thời gian.

Chương trình đánh giá dự báo đường đi của bão được viết bằng ngôn ngữ lập trình Fortran trên nền Linux. Chương trình này đã được kiểm định, hiện đang được tham khảo tại bộ phận nghiên cứu F3 cơ quan khí tượng Hồng Công. Chúng tôi cho rằng chương trình này hoàn toàn có thể áp dụng trực tiếp cho công tác đánh giá dự báo đường đi của bão tại Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương. Bên cạnh đó, chương trình được xây dựng theo hướng mở và nghiên cứu tiếp theo sẽ hướng tới bài toán dự báo nghiệp vụ.

### 5. Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn Ông Chan Sai - Tick, người chịu trách nhiệm khoa học của nội dung nghiên cứu. Tác giả cũng xin được cảm ơn những gợi ý mang tính định hướng của Ông Edwin Lai, trưởng bộ phận nghiên cứu F3, cho bài báo này. Nghiên cứu được thực tại của cơ quan Khí tượng Hồng Công với mã số 100/188/1 Pt.7.

### Tài liệu tham khảo

1. Aberson, S. D., 2001: *The ensemble of Tropical Cyclone Track Forecasting Models in the North Atlantic Basin (1976-200)*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 82, 1895-1904.
2. Andrew, B., P. Caroff, J. Franklin, E. Fukada, T. C. Lee, B. Sampson and T. Smith, 2006: *Sharing experiences in operational consensus forecasting*. WMO/CAS/WWW Sixth International Workshop on Tropical Cyclones. 424-441.
3. DeMaria, M., S. D. Aberson, K. V. Ooyama, and S. J. Lord, 1992: *A nested spectral model for hurricane track forecasting*. Mon. Wea. Rev., 120, 1628-1643.
4. Elsberry, R.L., and J.E. Peak, 1986: *An Evaluation of Tropical Cyclone Forecast Aids Based on Cross-Track and Along-Track Components*. Mon. Wea. Rev., 114, 147-155.
5. Goerss, J. S., 2000: *Tropical Cyclone Track Forecasts Using an Ensemble of Dynamical Models*. Mon. Wea. Rev., 128, 1187-1193.
6. Neumann, C. J., and J. M. Pelissier, 1981b: *Models for the prediction of tropical cyclone motion over the North Atlantic: An operational evaluation*. Mon. Wea. Rev., 109, 522-538.