**Hướng tới các phép đo gió dựa trên máy bay không người lái chính xác và thiết thực với máy đo gió siêu âm**

Abstract:

Việc thu thập dữ liệu gió trong lớp ranh giới khí quyển được hưởng lợi từ các phép đo tốc độ gió trong thời gian ngắn bằng cách sử dụng các phương tiện bay không người lái. Trước đây, các thiết bị cánh cố định và cánh quay với công nghệ đo gió đa dạng đã được sử dụng để cung cấp những dữ liệu như vậy, nhưng độ chính xác vẫn có khả năng được tăng lên. Một máy bay không người lái nhẹ để mang theo máy đo gió âm thanh chính xác tiêu chuẩn công nghiệp đã được lựa chọn. Các bài kiểm tra độ chính xác đã được thực hiện với máy đo gió cô lập ở góc nghiêng cao trong đường hầm gió hiệu chuẩn, với máy bay không người lái bay trong một đường hầm gió lớn và với toàn bộ hệ thống bay ở các độ cao khác nhau bên cạnh tham chiếu lidar sinh học.   
Dòng chảy do cánh quạt tạo ra làm lệch không khí ở một mức độ nào đó, nhưng hiệu ứng này được bù đắp một cách hiệu quả. Sự kết hợp dữ liệu cho thấy sự giảm đáng kể nhiễu xuyên âm (hệ số 13) là tốc độ mặt đất và tốc độ gió bằng hai lần. Khi so sánh với nắp tĩnh điện trong điều kiện rất hỗn loạn, với khoảng lưu 10 lần và với máy bay không người lái (UAV) liên tục quay quanh khối lượng đo của tham chiếu lidar, các phép đo tốc độ gió có độ chệch từ −2,0% đến 4,2% ( sai số gốc-trung bình-bình phương (RMSE) từ 4,3% đến 15,5%), sai lệch tốc độ gió theo phương thẳng đứng nằm trong khoảng −0,05 đến 0,07 ms − 1 (RMSE từ 0,15 đến 0,4 ms − 1), thiên vị eleva tion là từ −1 đến 0,7◦ (RMSE từ 1,2 đến 6,3◦) và độ lệch phương vị nằm trong khoảng −2,6 đến 7,2◦ (RMSE từ 2,6 đến 8,0◦). Các yêu cầu chính để có độ chính xác tốt trong các điều kiện động và thử thách là sử dụng máy đo gió âm có kích thước đầy đủ, khoảng cách lớn giữa máy đo gió và cánh quạt, và một thuật toán phù hợp để giảm ảnh hưởng của dòng chảy do cánh quạt gây ra.

Hệ thống cuối cùng đã được bay sau một tuabin gió, đo thành công sự thiếu hụt vận tốc trong không gian và sự phân bố dòng chảy xuôi trong quá trình bay về phía trước, mang lại kết quả phù hợp rất chặt chẽ với các phép đo lidar và phân bố lý thuyết. Chúng tôi tin rằng kết quả được gửi trước trong bài báo này có thể cung cấp thông tin quan trọng cho việc thiết kế hệ thống bay để đo tốc độ không khí chính xác trong thời gian ngắn tại nhiều địa điểm (chạy bằng pin) hoặc trong thời gian dài tại một địa điểm (nguồn cấp qua cáp). Các UAV có thể đo chính xác gió ba chiều có thể được sử dụng như một sự bổ sung linh hoạt và hiệu quả cho cột buồm đo và quét nắp.

1. Giới thiệu

1.1 Đo tốc độ gió

Các phép đo đặc tính gió rất quan trọng trong khoa học môi trường của lớp ranh giới khí quyển (ABL). Chúng rất quan trọng đối với các dự đoán về các quá trình khí tượng (ví dụ Lauer và Fengler, 2017), tối ưu hóa hiệu suất tuabin gió (ví dụ Wagner và cộng sự, 2009), dưới các tương tác thường xuyên với ABL trong các trang trại gió lớn (Kumer và cộng sự, 2015; Lungo, 2016; Li và cộng sự, 2016) và như các điều kiện biên để mô phỏng sự phân tán khí trong ABL (ví dụ: Labovský và Jelemenský, 2011). Các tem hệ thống phổ biến để nhận dữ liệu vận tốc gió cần thiết ở các khu vực khác nhau của ABL là máy đo gió gắn cột buồm truyền thống (chủ yếu là máy đo gió dạng cốc và máy đo âm thanh, ví dụ như Izumi và Barad, 1970), bóng bay (ví dụ như Scoggins, 1965), phát hiện âm thanh và phạm vi (SODAR; Reitebuch và Emeis, 1998) và phát hiện và phạm vi ánh sáng (lidar, ví dụ Bilbro và cộng sự, 1984). Các phương pháp này phù hợp với các phép đo ở các phạm vi khác nhau của thang đo thời gian và không gian, chúng dẫn đến dữ liệu bổ sung và thường phải so sánh (ví dụ: Barthelmie và cộng sự, 2014).

1.2 Máy bay không người lái làm nền tảng cảm biến

Bất chấp sự thay đổi lớn của các kỹ thuật đo lường hiện có, vẫn còn một lỗ hổng trong việc thu thập dữ liệu gió trong ABL, thúc đẩy sự phát triển của các phương tiện bay không người lái (UAV) nhỏ được trang bị các cảm biến đo vận tốc gió (Ivey và cộng sự, 2014; Elston và cộng sự, 2014; Lauer và Fengler, 2017; Prudden và cộng sự, 2018; Rautenberg và cộng sự, 2018; Barbieri và cộng sự, 2019). Các UAV này ít thích hợp cho các phép đo dài hạn vì độ bền thường là có giới hạn. Tuy nhiên, chúng có tính di động ba chiều (3-D), dễ triển khai, vận hành không tốn kém và linh hoạt, đồng thời cung cấp các phép đo tốc độ gió được phân giải theo thời gian và không gian (ví dụ: Nichols và cộng sự, 2017). Chúng rất linh hoạt và có thể dễ dàng được trang bị thêm các cảm biến để lập bản đồ thêm các đặc tính của không khí trong không gian 3-D. Do đó, UAV được cho là sẽ đóng góp dữ liệu có giá trị cho nghiên cứu trong ABL (ví dụ: Van den Kroonenberg và cộng sự, 2008; Wildmann và cộng sự, 2014; Prudden và cộng sự, 2018; Rautenberg và cộng sự, 2018; Barbieri và cộng sự, 2019).

Có hai loại cơ bản phù hợp để đo gió trong khí quyển: UAV cánh cố định và cánh quay. Trong UAV cánh cố định, cánh cung cấp lực (L) để chống lại trọng lượng (W). Cánh quạt cung cấp lực đẩy (T) cần thiết để vượt qua lực cản (D) của máy bay; do đó, lực đẩy tỷ lệ với W / (L / D). Ngược lại, UAV cánh quay cung cấp tất cả lực cần thiết để bù lại trọng lượng do lực đẩy của các cánh quạt; do đó, T tỷ lệ thuận với W. Vì tỷ lệ lực nâng / lực cản (L / D) của UAV cánh cố định có thể dễ dàng đạt được sự thống nhất và thường đạt đến giá trị khoảng 10 (Thielicke, 2014), yêu cầu lực đẩy tương tự. -size UAV cánh cố định nhỏ hơn đáng kể. Sức mạnh là lực đẩy nhân với tốc độ; do đó, yêu cầu năng lượng của UAV cánh cố định có thể thấp hơn nhiều so với UAV cánh quay ở tốc độ bay tương tự (xem Hình 1). Điều này làm cho UAV cánh cố định rất phù hợp để đo các nhiệm vụ đòi hỏi thời gian bay dài và các khu vực rộng lớn cần được bao phủ (Thielicke, 2014),, đặc biệt là ở những khu vực có tốc độ gió lớn đòi hỏi tốc độ không khí cao của phương tiện.

UAV cánh quay có độ bền thấp hơn, thường là <0,5. Tuy nhiên, chúng dễ triển khai và vận hành hơn, có khả năng di chuột tại chỗ và dễ điều khiển hơn nhiều (Thielicke, 2014). Do đó, họ có thể đo tốc độ gió gần các cấu trúc và thực hiện các phép đo tại một điểm duy nhất trong thời gian dài. Đây là những thuộc tính mong muốn, ví dụ: khi xác nhận các phép đo gió của UAV gần với các máy đo gió truyền thống trên thực địa.

1.3 Các phép đo tốc độ gió dựa trên UAV

Có thể xác định gió bằng hai cách tiếp cận khác nhau trong UAV: phương pháp gián tiếp đo phản ứng của UAV với gió và có thể xác định tốc độ gió, phương vị và độ cao trực tiếp từ các cảm biến cũng được sử dụng để điều khiển UAV (ví dụ Neumann và cộng sự, 2010; Johansen và cộng sự, 2015; Xiang và cộng sự, 2016; Lauer và Fengler, 2017; Donnell và cộng sự, 2018). Các phương pháp như vậy đòi hỏi kiến thức về hệ số quán tính và lực cản của UAV trong một loạt các tình huống lớn hơn. Những điều này không nhỏ để xác định nhưng có tác động lớn đến độ chính xác của các phép đo gió. Sử dụng cách tiếp cận này có thể tăng thời gian bay và tốc độ gió bền vững tối đa, vì không phải mang thêm cảm biến.

Phương pháp trực tiếp sử dụng cảm biến gió chuyên dụng được gắn vào UAV. Cảm biến phù hợp phải nhẹ, mạnh mẽ và đo được vectơ gió 3-D. Cùng với vectơ tốc độ mặt đất 3- D của UAV, tốc độ và hướng gió có thể được suy ra bằng phép cộng vectơ đơn giản. Nếu cảm biến được gắn trên gimbal, đảm bảo cao độ và góc cuộn bằng không trong khi bay, thì cảm biến hai chiều có thể đủ để đo tốc độ gió 2-D. Trong thực tế, sự kết hợp giữa tốc độ xe và tốc độ gió có thể mang lại kết quả sai lệch do sai số trong cảm biến gió và ước tính trạng thái xe. Những lỗi này có thể nhìn thấy dưới dạng các tín hiệu định kỳ trong dữ liệu gió có tần số tương tự như tốc độ, thái độ hoặc vị trí của xe (Nichols et al., 2017).

Một số loại cảm biến đã được sử dụng để đo tốc độ gió với UAV cánh cố định và cánh quay. Sử dụng cảm biến chênh lệch áp suất như ống pitot và đầu dò áp suất nhiều lỗ là phù hợp nhất khi thước đo gió bao phủ các khu vực lớn hơn và UAV liên tục di chuyển về phía trước ở tốc độ cao. Chúng trang bị cho gió chủ yếu đến từ một hướng trong hình nón chấp nhận của đầu dò. Hơn nữa, các cảm biến này hoạt động tốt nhất ở tốc độ> 3 m s-1 (Prudden và cộng sự, 2018) và có thể cung cấp các phép đo tốc độ gió chính xác với tần số cao (thường> 1 kHz). Cảm biến chênh lệch áp suất đã được gắn thành công vào UAV cánh cố định (để biết tổng quan, xem Rautenberg và cộng sự, 2018) và UAV cánh quay (ví dụ: Prudden và cộng sự, 2016).

Máy đo gió cơ học (ví dụ máy đo gió cốc) hiếm khi được nhìn thấy trên UAV. Hầu hết các máy đo gió cơ học không thể được sử dụng để đo chính xác vectơ gió 3-D. Mảng của một số cảm biến ở các hướng khác nhau sẽ phải được phân tích. Điều này dẫn đến thiết lập cồng kềnh và khối lượng đo lớn. Thời gian phản hồi nói chung là thấp (Camp và cộng sự, 1970), khiến chúng ít phù hợp hơn cho các phép đo trong môi trường thay đổi nhanh chóng như UAV đang bay. Máy đo gió cơ học hứa hẹn nhất với khả năng cảm biến gió 3-D dường như là máy đo gió cánh quạt K-Gill (ví dụ: Bottma và cộng sự, 1995); tuy nhiên, nó vẫn chưa được triển khai trong các UAV cho đến nay.