

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO KÍCH THƯỚC HẠT MƯA

Lai Thị Vân Quyên^{1*}, Nguyễn Hồng Vũ¹,
Nguyễn Thế Truyền¹, Nguyễn Mạnh Thắng¹,
Victor Ivanovich Malyugin², Dmitry Vladimirovich Kieseewetter²

Tóm tắt: Đo kích thước hạt mưa có ý nghĩa lớn đối với nhiều ứng dụng như truyền sóng, sỏi mòn đất trong nông nghiệp, nghiên cứu khí tượng, môi trường, vật lý khí quyển, đo lường cấu trúc tầng đối lưu,... Thiết bị đo mưa chao lật được sử dụng rộng rãi hiện nay không thể đo được các thông số hạt mưa mà cần phải có các dòng thiết bị khác như: thiết bị đo bằng tác động cơ học, đo bằng hình ảnh và đo bằng hiệu ứng quang học. Khắc phục những nhược điểm như không đo được hạt có vận tốc cao, nhiều môi trường lớn của các thiết bị đo bằng tác động cơ học, công kênh, khó vận chuyển, triển khai lắp đặt, giá thành cao của thiết bị đo bằng hình ảnh, các thiết bị đo bằng hiệu ứng quang học đã trở thành lựa chọn hợp lý trong ứng dụng đo kích thước hạt mưa. Trong nhóm này, đo kích thước hạt bằng hai dải ánh sáng tính theo độ sâu điều chế không phụ thuộc vào tốc độ hạt đã được lựa chọn để nghiên cứu. Bài báo đã chỉ ra hạn chế của phương pháp và đề xuất những cải tiến về phần cứng của thiết bị cũng như về phương pháp tính, thuật toán tính kích thước hạt nhằm nâng cao hiệu quả đo. Kết quả thử nghiệm cho thấy các đề xuất có tính khoa học, đóng góp mới và hiệu quả cho dòng sản phẩm đo kích thước hạt mưa.

Từ khóa: Đo lường; Xử lý dữ liệu; Quang điện tử; Dự báo lượng mưa; Thiết bị đo mưa.

Các từ viết tắt: JWD – Joss Waldvogel Disdrometer; 2DVD – Two Dimension Video Disdrometer; SVI – Snowflake Video Imager; SNR-Signal to Noise Ratio.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thông số đo kích thước hạt mưa, phân bố kích thước hạt mưa có ý nghĩa lớn đối với nhiều ứng dụng trong nghiên cứu khoa học, thương mại và công nghiệp. Ví dụ như: Đánh giá suy giảm, méo tín hiệu trong lan truyền sóng điện từ khi có mưa; Đánh giá vấn đề trượt, trôi của đất trong canh tác nông nghiệp; Là tham số cần thiết trong các nghiên cứu thuộc lĩnh vực khí tượng, môi trường, vật lý khí quyển, quang dẫn đám mây và đo lường cấu trúc của tầng đối lưu [1].

Máy đo thông số mưa được sử dụng phổ biến hiện nay là thiết bị đo mưa kiểu chao lật. Thiết bị này chỉ có thể đo lượng mưa, cường độ mưa và thời gian mưa. Khi cần đo kích thước hạt mưa, người ta phải dùng các dòng thiết bị khác. Dựa trên nguyên lý ứng dụng, có thể phân thành các nhóm thiết bị: đo bằng tác động cơ học, đo bằng hình ảnh, đo bằng hiệu ứng quang học.

Nhóm đo kích thước hạt mưa bằng tác động cơ học đầu tiên là đo bằng màng lọc của Diem (1956), sau đó là Joss and Waldvogel (1967) nghiên cứu đo kích thước bằng tác động của hạt lên cảm biến cơ điện (thiết bị JWD – Joss Waldvogel Disdrometer). Sau đó, các nghiên cứu của Tokay và cộng sự (2001), Caracciolo và cộng sự (2006) đã chỉ ra rằng JWD thích hợp với các trận mưa có cường độ mưa nhỏ và trung bình, với các trận mưa có cường độ mưa lớn, có gió to và các hạt mưa bị vỡ khi va chạm xuống cảm biến sẽ gây ra các sai số lớn do cảm biến bị rung liên tục. Công trình của Thurai và cộng sự (2013) đã chứng minh JWD không thể đo vận tốc hạt [2, 3].

Nhóm thiết bị đo bằng hình ảnh sử dụng camera để chụp ảnh của các hạt mưa rồi dùng các phần mềm xử lý ảnh trên máy tính để phân tích, tính toán các thông số của hạt. Các nghiên cứu của Kruger và Krajewski (2002); Schönhuber và cộng sự (2007) đã đưa ra loại thiết bị 2DVD (Two Dimension Video Disdrometer) dùng đo các thông số hạt mưa. Để đo

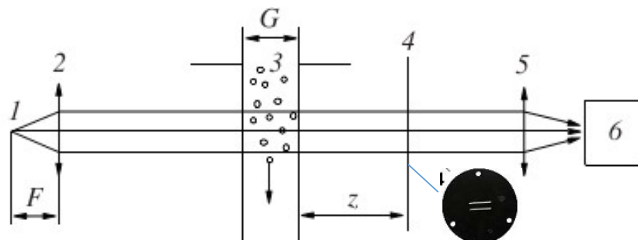
các thông số hạt tuyết, nghiên cứu của Newman và cộng sự (2009) đưa ra loại thiết bị SVI - Snowflake Video Imager [2, 3]. Nhóm thiết bị này có ưu điểm đo được nhiều thông số như kích thước, vận tốc, hình dạng. Tuy nhiên, với cấu tạo gồm phần cảm biến ngoài trời và máy tính xử lý bên trong tủ khiến kích thước của thiết bị khá cồng kềnh, khó triển khai ở những nơi hạn chế về không gian, ngoài ra giá thành cũng đắt gấp 3 đến 5 lần so với nhóm sản phẩm đo kích thước và vận tốc hạt mưa khác.

Nhóm đo bằng hiệu ứng quang học sử dụng nguồn sáng và điốt quang để đo các thông số kích thước và vận tốc của hạt mưa. Tùy theo số lượng dải ánh sáng đi đến điốt quang có thể phân ra thành hai loại là: loại một dải sáng - theo các nghiên cứu của Löffler-Mang và Joss (2000), Lanzinger và cộng sự (2006) [2] và loại hai dải sáng – các nghiên cứu của Kiesewetter D. V. và Malyugin V.I (2004) [8], (2009) [7], Michael Peter Cloos (2007), Bryson Evan Winsky (2012) [3]. Các công trình này đã khắc phục được những nhược điểm của nhóm đo bằng tác động cơ học cũng như của nhóm đo bằng hình ảnh đã nêu trên. Nhóm thiết bị đo bằng hiệu ứng quang học là lựa chọn hợp lý cho những ứng dụng đo các thông số hạt mưa và thông số trận mưa. Tuy nhiên, với từng loại thiết bị thuộc nhóm này cũng có những khác biệt. Với loại một dải sáng, kích thước hạt mưa được nội suy từ biên độ của một xung quang điện thu được, còn vận tốc hạt được nội suy từ độ rộng của xung. Biên độ và độ rộng của xung quang điện phụ thuộc vào vị trí hạt đi qua dải sáng khi mà mật độ năng lượng của dải sáng chiếu đến điốt quang không đồng đều. Nghiên cứu của Fransson và cộng sự (2011) [3] chỉ ra rằng với cùng một hạt có kích thước xác định, ở vị trí trung tâm của dải sáng, đường kính hạt đo được quá lớn còn ở rìa của dải sáng thì lại quá nhỏ. Với loại hai dải sáng, kích thước và vận tốc hạt được nội suy từ biên độ và độ rộng của hai xung quang điện nên những sai số do vị trí hạt cắt qua dải sáng đã được hạn chế. Nghiên cứu của Bryson Evan Winsky (2012) [3] đã tính vận tốc hạt từ phân tích các xung thu được rồi nội suy ra đường kính từ vận tốc đó, còn trong nghiên cứu của V.I. Malyugin và D.V. Kiesewetter (2004) [8], (2009) [7], đường kính của hạt được tính từ độ sâu điều chế M của các xung thu được chứ không nội suy từ vận tốc hạt, nên phương pháp này còn gọi là phương pháp đo kích thước hạt bằng hai dải sáng tính theo độ sâu điều chế, do đó hạn chế sai số tính toán. Phát huy ưu điểm trên, trong bài báo này nhóm nghiên cứu sẽ đưa ra những đề xuất mới nhằm nâng cao hiệu quả đo kích thước hạt mưa [7, 8].

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Hạn chế trong phương pháp đo kích thước hạt mưa bằng hai dải ánh sáng tính theo độ sâu điều chế

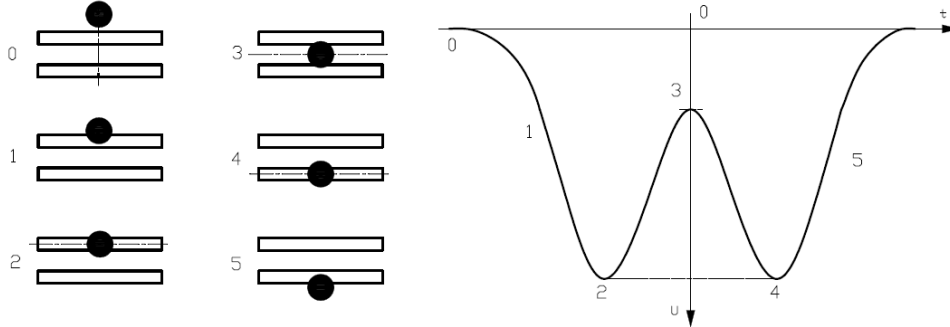
Phương pháp đo do V.I. Malyugin và D.V. Kiesewetter đề xuất [7, 8] xác định tham số kích thước hạt bằng cách đo độ sâu điều chế M của xung quang điện thu được trên điốt quang 6 (hình 1) khi hạt đi cắt qua chùm sáng do nguồn laser diode 1 và thấu kính tạo chùm song song 2 khi hạt đi cắt qua chùm sáng do nguồn laser diode 1 và thấu kính tạo chùm song song 2 tạo ra. Hình 1 mô tả cấu trúc của thiết bị theo phương pháp trên.



1. Laser diode; 2. Thấu kính tạo chùm song song; 3. Khoảng đo; 4. Màn khe sáng;
5. Thấu kính hội tụ; 6. điốt quang

Hình 1. Sơ đồ khối thiết bị đo hạt qua hai khe cách từ [7].

Ánh sáng đi qua hạt rơi trong khoảng đo 3 tới hai khe nhạy sáng (đơn giản nhất là khe hình chữ nhật) trên màn chắn 4 sẽ tạo thành hai dải sáng đi đến thấu kính hội tụ 5 trước khi tới điốt quang 6 đặt tại tiêu điểm của 5. Dạng xung quang điện thu được trên điốt quang 6 khi có hạt đi qua chùm sáng được mô tả trong hình 2. Giả định là hạt đen hình cầu chuyển động lần lượt từ trên xuống dưới.



Hình 2. Mô tả chuyển động của hạt khi cắt qua dải sáng chiếu tới các khe nhạy sáng và xung quang điện tương ứng thu được [5].

Điểm cực tiểu của xung xảy ra khi hạt đi qua điểm 2 và 4 (hình 2) là điểm mà tại đó tâm hạt thẳng đứng với trục ngang của khe. Điểm cực đại xảy ra khi hạt đi qua điểm 3 (hình 2) là điểm mà tâm của hạt thẳng hàng với đường trung tâm giữa hai khe. Hình dạng xung quang điện phụ thuộc vào tỷ lệ kích thước hình chiếu hình học của hạt khi cắt qua dải sáng so với kích thước của khe nhạy sáng và khoảng cách giữa chúng. Không làm mất tính tổng quát, sử dụng xung quang điện đảo ngược, độ sâu điều chế được tính theo (1) [8].

$$M = \frac{\bar{I}_{\max} - \bar{I}_{\min}}{\bar{I}_{\max} + \bar{I}_{\min}} \quad (1)$$

Trong đó: $\bar{I}_{\max}$ là cường độ dòng quang điện cực đại của xung quang điện đảo ngược; $\bar{I}_{\min}$ là cường độ dòng quang điện ở điểm cực tiểu của xung đảo ngược. Nếu tính đến sự nhiễu xạ bởi hạt, đường cong $I(t)$ có thể thay đổi nhưng bản chất của phương pháp sẽ không thay đổi. Mỗi quan hệ của M và R được xây dựng trước bằng thực nghiệm với các hạt cầu bằng kim loại có kích thước biết trước thể hiện ở đường cong $M(R)$ [8].

Trong công trình [8], nguồn sáng sử dụng là laser diode nên độ đồng đều của chùm sáng phát ra vẫn bị nhiễu do loại nguồn sáng bán dẫn này có tính coherent. Bên cạnh đó, việc điều chỉnh nguồn sáng và điốt quang vào đúng vị trí tiêu cự của các thấu kính tương ứng là điều chỉnh cứng nên sẽ khó khăn trong khi cần hiệu chỉnh trực quang trong điều kiện thực tế sử dụng.

Trong nghiên cứu [7, 8], để xác định giá trị đường kính hạt mưa cần độ sâu điều chế M của xung nằm trong khoảng $0 < M < 1$. Điều đó đòi hỏi chiều rộng w_s của khe nhạy sáng phải xấp xỉ đường kính lớn nhất $D_{\max}$ cần đo, còn khoảng cách w_g giữa các khe nhạy sáng gần bằng đường kính nhỏ nhất $D_{\min}$ của hạt cần đo. Nếu $w_s \ll D_{\max}$ thì dải đo kích thước sẽ tương đối nhỏ. Nếu $w_g \gg D_{\min}$ thì độ sâu điều chế sẽ tiến tới 1 ở giá trị đường kính $D_{\text{mir}} > D_{\min}$ tức là dải đo sẽ nhỏ hơn mong muốn. Nếu $w_g \ll D_{\min}$ thì độ sâu điều chế sẽ tiến đến 0 ở giá trị đường kính $D_{\text{mar}} < D_{\max}$, tức phạm vi đo được sẽ bị thu hẹp lại. Như thế, ở phương pháp này, dải đo của kích thước hạt kém và phụ thuộc rất lớn vào kích thước hình học và khoảng cách giữa các khe nhạy sáng.

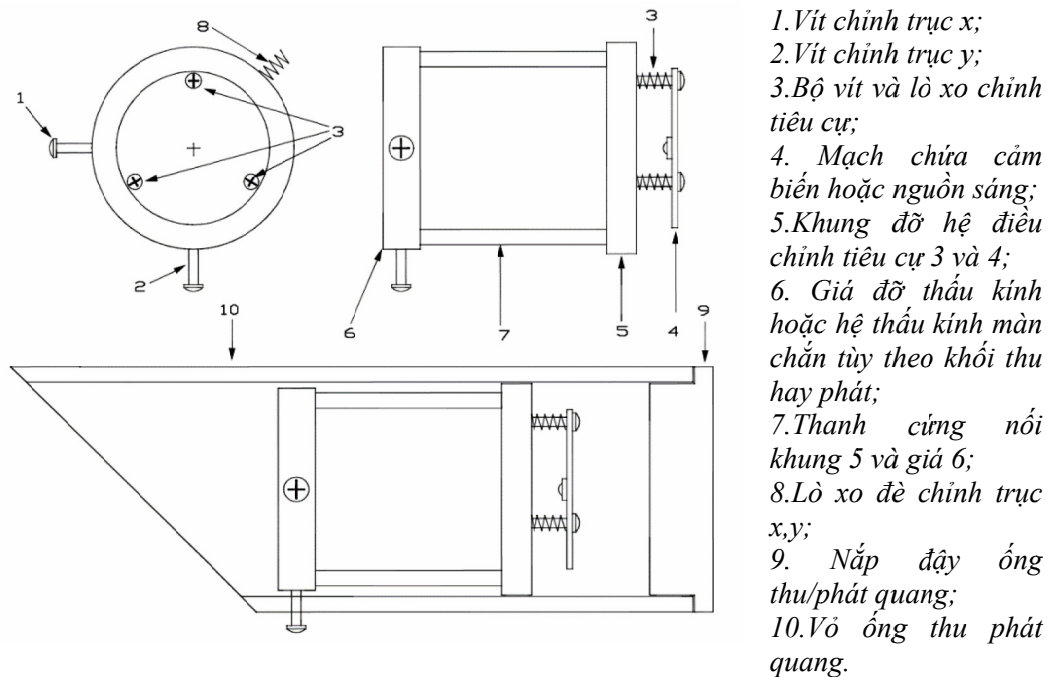
Để khắc phục những hạn chế nêu trên, trong quá trình nghiên cứu, nhóm tác giả đã đề xuất những đóng góp mới nhằm nâng cao hiệu quả đo của phương pháp [8].

2.2. Đề xuất cải tiến, nâng cao hiệu quả đo kích thước hạt mưa bằng hai dải ánh sáng tính theo độ sâu điều chế

2.2.1. Cải tiến về cấu trúc thiết bị theo phương pháp [7, 8]

Để khắc phục tình trạng nhiễu quang xuất hiện ở bên thu, nguồn sáng được lựa chọn là LED [5].

Để việc hiệu chỉnh trực quang được dễ dàng hơn, đề xuất cải tiến từ hiệu chỉnh cứng thành hiệu chỉnh mềm bằng các lò xo động trong công đoạn hiệu chỉnh nguồn sáng và đốt quang vào đúng vị trí tiêu điểm của thấu kính tương ứng. Hình 3 mô tả cấu trúc cơ cấu hiệu chỉnh trực quang mềm.



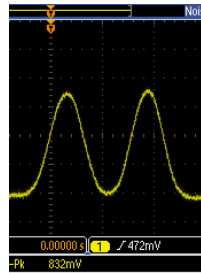
Hình 3. Mô tả cơ cấu hiệu chỉnh trực quang mềm.

2.2.2. Đề xuất phương pháp tính

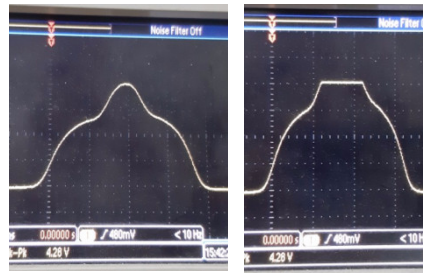
Khi đề cập đến kích thước hạt mưa ở đây là nói tới đường kính tương đương của hạt mưa (hình chiếu của hạt mưa cắt qua dải sáng) so với đường kính chuẩn của một vật đen có cùng đáp ứng xung quang điện. Sử dụng những viên bi sắt hình cầu (vật đen) có kích thước khác nhau ở nghiên cứu này bởi chúng có đường kính không đổi, dễ dàng đo được khi dùng phương pháp cơ học nên hoàn toàn có thể coi là một loại mẫu đường kính chuẩn. Khi sử dụng viên bi sắt hình cầu, nghiên cứu đã tìm ra được biến số để giảm thiểu được sai số đo bởi hệ thống (là sai số ngẫu nhiên). Sai số của hạt mưa bao gồm sai số hình dạng hạt và sai số bởi hệ thống đo, trong đó đo thực hiện bằng phương pháp thống kê nên sai số hình dạng hạt ảnh hưởng không lớn đến tổng sai số phép đo. Giảm thiểu được sai số đo bởi hệ thống này giúp cho độ chính xác của kết quả đo kích thước của hạt mưa được nâng cao hơn. Do đó, ở đây sẽ phân tích các xung quang điện thu được trên diốt quang do hạt chuẩn (viên bi sắt) cắt qua dải sáng chiếu tới các khe nhạy sáng để đề xuất phương pháp tính.

Tùy thuộc vào kích thước hình chiếu hình học D của hạt khi cắt qua dải sáng so với chiều rộng w_s của khe nhạy sáng (hai khe có cùng kích thước) và khoảng cách w_g giữa chúng, hình dạng xung quang điện thu được lại khác nhau. Hình 4 mô tả các dạng xung quang điện thu được trên diốt quang khi thả các hạt có kích thước khác nhau qua khoảng

đo của thiết bị theo phương pháp.



(a) $D < 2w_s + w_g$



(b) $D \geq 2w_s + w_g$

Hình 4. Các hình dạng xung quang điện thu được khi thả các hạt cầu kim loại có kích thước khác nhau qua khoảng đo.

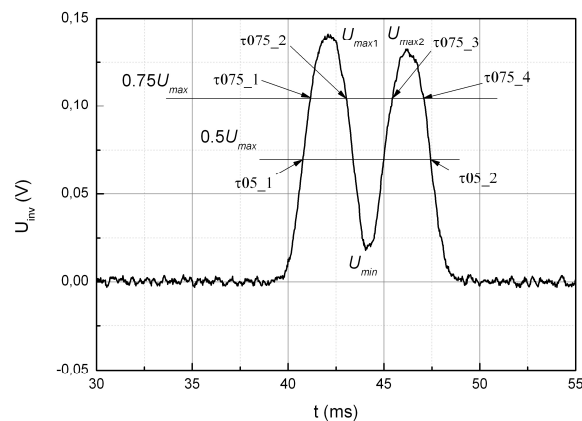
Đường kính của các hạt và tốc độ của chúng có thể xác định chính xác nhất bằng phương pháp tối ưu hóa tại tất cả các điểm của xung, so sánh xung nhận được với hình dạng xung tham chiếu từ các hạt có đường kính biết trước. Tuy nhiên, phương pháp này đòi hỏi tính toán phức tạp, tốn thời gian. Do đó, không thể sử dụng trên các bộ vi xử lý và máy tính cá nhân để có được kết quả trong thời gian thực. Bởi vậy, cần chọn một số điểm đặc trưng của xung (ở đây sẽ xét đến xung đảo ngược của xung ở hình 2) và sau đó sử dụng chúng để xác định tham số của các hạt.

Trong bài báo này, tùy vào hình dạng xung mà điểm đặc trưng sẽ khác nhau.

Với dạng xung có hai chồi xung (hình 4a), qua thực nghiệm và tính toán, thấy rằng mức 0,75 của biên độ lớn nhất của xung tín hiệu thu được cho kết quả khả quan nhất. Mức này được lựa chọn và sau đây gọi là biên số k_{075} và được tính theo công thức (2).

$$k_{075} = \frac{i_{075_3} - i_{075_2}}{i_{075_4} - i_{075_1}} \quad (2)$$

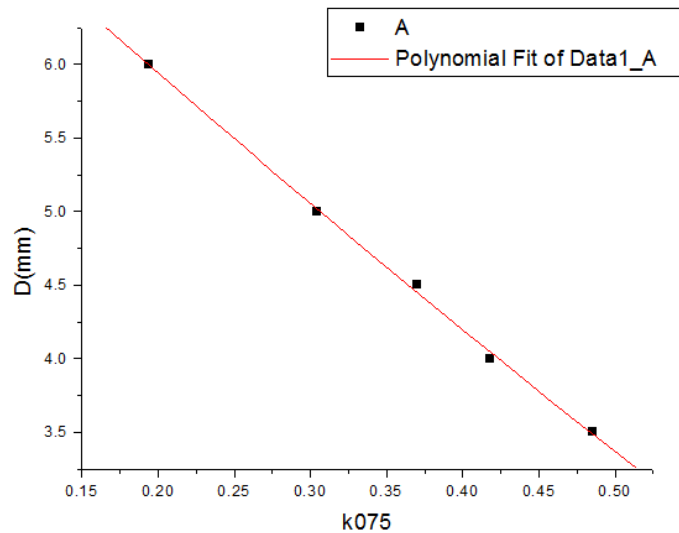
Với i_{075_x} là chỉ số mẫu tương ứng với giá trị 0,75 x $u_{\max_1(2)}$ ở sườn của từng chồi xung (với $x = 1 \div 4$ theo các chồi xung được mô tả trong hình 5) trong tập n mẫu được lấy với tần số lấy mẫu f (Hz). Theo [3], tần số lấy mẫu là 50 kHz và số lượng mẫu lớn hơn 1000 mẫu thì có thể khôi phục được hình dạng xung quang điện thu được nên trong nghiên cứu này số lượng mẫu lấy là $n = 2000$ mẫu.



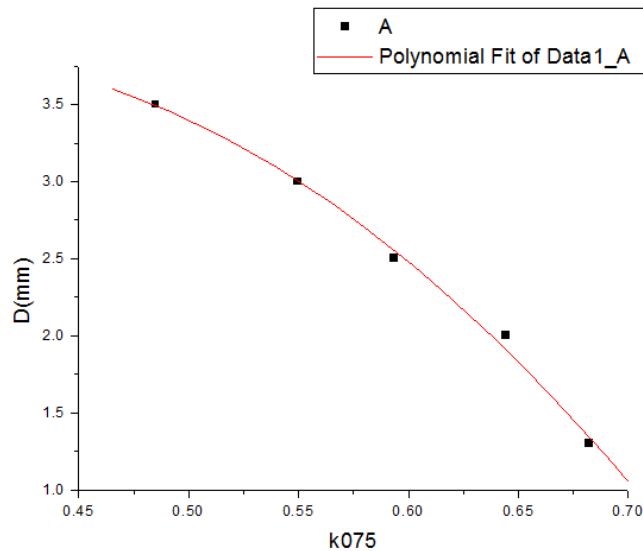
Hình 5. Hình dạng xung quang điện thu được khi hạt có đường kính 4.0 mm đi qua dải sáng (với các khe hẹp có kích thước $w_s = 2\text{mm}$, $w_g = 5\text{mm}$, $\lambda = 630\text{ nm}$) [5].

Hàm quan hệ giữa đường kính tương đương hình cầu của hạt mưa và biến số k_{075} được xây dựng bằng việc thả các viên bi sắt hình cầu có kích thước biết trước nằm trong dải đo qua khoảng đo, sử dụng thống kê và phân tích đa thức hồi quy bậc hai tìm ra được mối quan hệ này theo dạng phương trình (3). Hình 6 mô tả sự phụ thuộc của D vào k_{075} khi thả các viên bi trong dải đo từ 1mm đến 6 mm.

$$D = A + B_1 k_{075} + B_2 k_{075}^2 \quad (3)$$



(a) $D < 3,5$ mm



(b) $D \geq 3,5$ mm

Hình 6. Mô tả sự phụ thuộc của D vào k_{075} .

Với dạng xung có một chồi xung (hình 4b), đường kính D được tính thông qua biên độ cực đại của xung quang điện $u_{\max}$ khi chồi xung không bị bằng đầu còn với chồi xung bằng đầu, đường kính D được tính thông qua độ bằng đầu l_d . Tương tự như dạng hai chồi xung, sử dụng các viên bi hình cầu bằng sắt biết trước đường kính, thống kê và phân tích đa thức hồi quy bậc hai tìm được các dạng phương trình mô tả mối quan hệ này (phương trình 4 và 5).

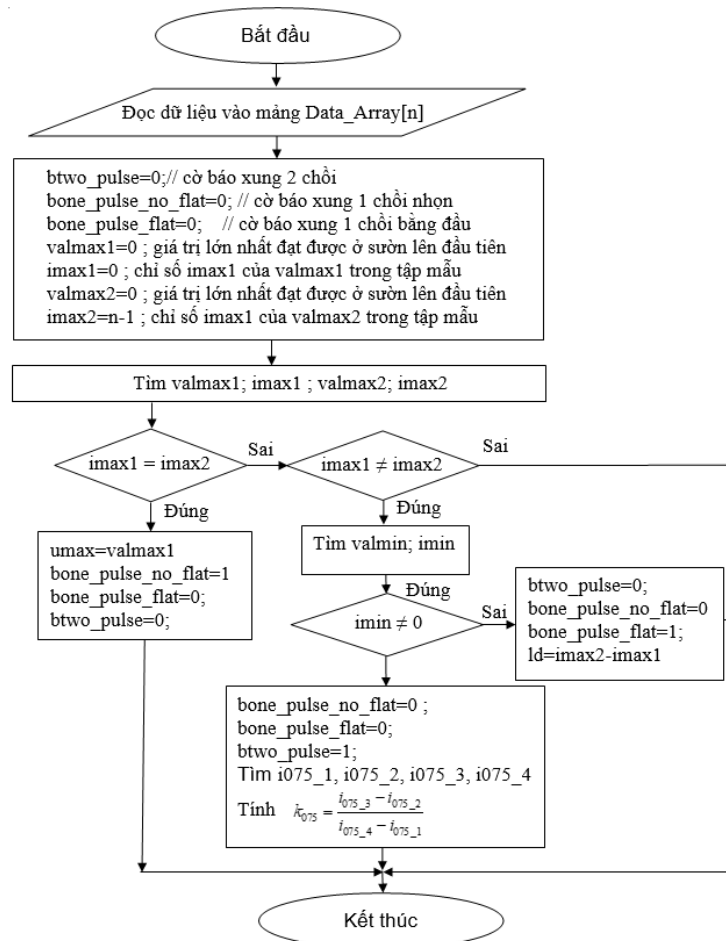
$$D = A_{11} + B_{11}u_{\max} + B_{12}u_{\max}^2 \quad (4)$$

$$D = A_{21} + B_{21}l_d + B_{22}l_d^2 \quad (5)$$

Như vậy để tính được đường kính hạt, cần phải có các bước sau:

- Xác định dạng xung, tìm các điểm đặc trưng theo từng dạng xung (hình 7);
- Xây dựng được đường cong hiệu chuẩn kích thước $D(k_{075})$ hoặc $D(u_{\max})$ hoặc $D(l_d)$ (chỉ thực hiện khi sản xuất thiết bị trước khi đưa ra chạy, đo đặc thực tế hoặc khi hiệu chỉnh lại thiết bị);
- Tính toán đường kính theo các phương trình quan hệ (3,4,5) đã được xây dựng trước theo từng dạng xung (hình 8).

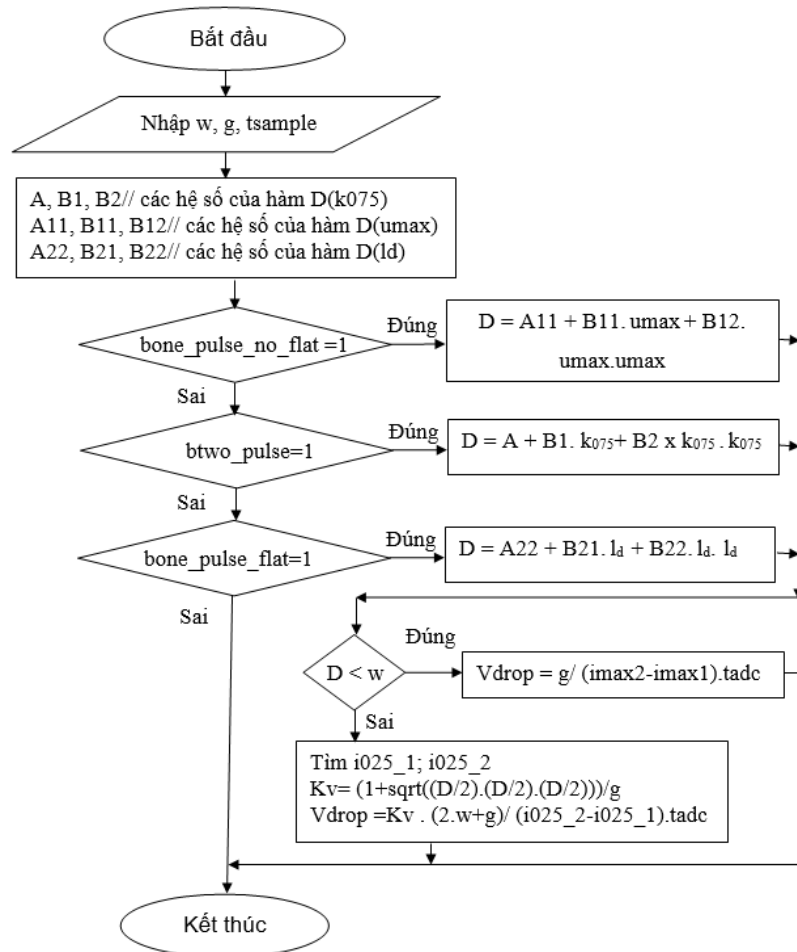
Thuật toán thực hiện đo và tính toán kích thước hạt do nhóm tác giả xây dựng được thể hiện trong hình 7-8. Thuật toán này hoàn toàn cho phép nhúng vào vi xử lý tốc độ cao để tính toán kích thước hạt mưa và đồng thời cũng tính luôn được vận tốc hạt ở chế độ thời gian thực.



Hình 7. Thuật toán xác định hình dạng xung.

Ở các nghiên cứu [5, 6], để tối ưu hóa thông số của các khe nhạy sáng trên màn chắn 4 (hình 1), cần dựa vào tỉ số tín hiệu trên nhiễu SNR. Khi độ rộng w_s quá nhỏ, công suất ánh sáng đi tới điốt quang sẽ nhỏ. Tín hiệu này bị ảnh hưởng bởi nhiễu do tự bản thân điốt quang và tầng khuếch đại đầu vào khiến tỉ số SNR nhỏ. Thêm đó, độ rộng w_s quá nhỏ gây

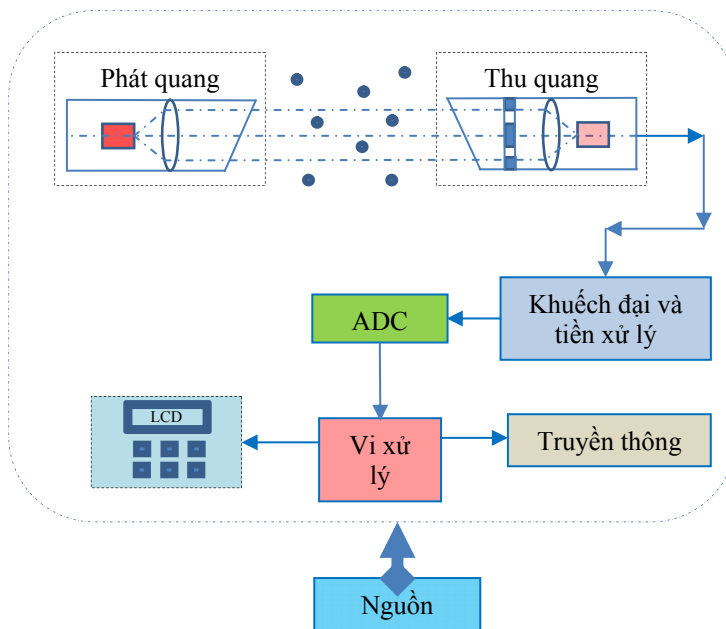
ra nhiều khó khăn trong việc chế tạo khe nhạy sáng. Khi tăng w_s công suất bức xạ quang tới đầu thu quang tăng lên, khi đó nhiễu sẽ tăng tỉ lệ với $I^{1/2}$, trong đó I là mật độ bức xạ tới đầu thu quang. Với $w_s > D_{\min}$, khi tăng w_s , nhiễu sẽ tăng còn tín hiệu có ích hầu như không thay đổi (vì tín hiệu có ích thu được chủ yếu do bóng của giọt nước như là một thấu kính tiêu cự ngắn gây ra), tức tỉ số SNR nhỏ đi. Với $w_s < D_{\min}$, khi tăng w_s , nhiễu sẽ tăng theo tỉ lệ $w_s^{1/2}$, còn tín hiệu có ích theo w_s , có nghĩa là tỉ số SNR sẽ tăng lên. Chọn độ rộng khe w_s xấp xỉ đường kính tối thiểu $D_{\min}$ của hạt mưa cần đo là thích hợp. Với đề xuất này việc xác định kích thước khe và khoảng cách giữa các khe của mảng chắn không có ý nghĩa gì lớn. Tuy nhiên, khoảng cách w_g phải gần bằng đường kính lớn nhất cần đo $D_{\max}$ của hạt nước, nếu không xung sẽ không có “khoảng lõm”, tương ứng với việc sẽ không có các tham số $i_{075_1}, i_{075_2}, \dots$ tức là không thể áp dụng phương trình (2). Khi khoảng cách w_g quá lớn ($w_g \gg D_{\max}$) hệ số k_{075} sẽ thay đổi ít dần tới khả năng phân biệt được các hạt có kích thước khác nhau giảm. Điều đó dẫn đến việc giảm độ chính xác của kết quả đo. Ngoài ra khi w_g lớn, xác suất xuất hiện bóng của giọt thứ hai tăng lên khi cường độ mưa lớn, điều đó cũng dẫn đến sai số đo. Như thế có thể thấy với đề xuất mới này, kích thước khe nhạy sáng w_s gần bằng đường kính tối thiểu $D_{\min}$ của hạt cần đo (thực nghiệm cho thấy lớn hoặc nhỏ hơn cỡ 2 đến 3 lần $D_{\min}$ cũng hoàn toàn đáp ứng được) và khoảng cách khe w_g xấp xỉ đường kính lớn nhất cần đo $D_{\max}$ thì dải đo được của kích thước hạt không bị ảnh hưởng như trong nghiên cứu [8] và việc chế tạo cơ khí các khe nhạy sáng dễ dàng hơn rất nhiều.



Hình 8. Thuật toán xác định kích thước hạt.

Chế tạo thiết bị theo đề xuất cải tiến

Từ những đề xuất cải tiến trên, tiến tới thiết kế, chế tạo thiết bị đo kích thước hạt mưa từ 1mm đến 10 mm là dải kích thước hạt phổ biến ở mưa nước ta và cũng là dải hạt mưa gây ra nhiều ảnh hưởng tới các ứng dụng trong nhiều ngành. Sơ đồ khối của thiết bị được mô tả trong hình 9.



Hình 9. Sơ đồ khối thiết bị đo mưa chế tạo theo đề xuất cải tiến.



Hình 10. Hình ảnh thiết bị đo mưa chế tạo theo đề xuất cải tiến.

Sơ đồ khối của thiết bị đo hạt mưa gồm các khối phát quang sử dụng nguồn sáng là LED đỏ CL-P1WARR650 của hãng ViShay phát ra ánh sáng có bước sóng 650 nm được điều khiển bằng khối tạo tần số 455 kHz. Chùm sáng song song đường kính 50 mm được tạo ra sau khi qua thấu kính thủy tinh quang học K8 hai mặt lồi, đường kính 53 mm (đường kính thông quang là 50 mm), tiêu cự là 100 mm bên khối phát quang. Chùm sáng này được đưa qua khoảng đo rồi tới khối thu quang có màn che làm bằng phíp phủ đồng dày 0,5 mm chứa hai khe nhạy sáng có các kích thước $w_s = 2$ mm, $w_g = 5$ mm, chiều dài của khe là 30 mm. Ánh sáng qua hai khe nhạy sáng được thu trên điốt quang loại BPW34 đặt tại tiêu điểm của thấu kính hội tụ có các thông số tương tự như thấu kính tạo chùm song song. Xung quang điện thu được sau đó được đưa qua khối khuếch đại, lọc, tiền xử lý, ADC lấy mẫu với tần số 50 kHz, xử lý tính toán trên vi xử lý STM32F407VGT6 theo các thuật toán đề xuất (hình 7, 8) trước khi hiển thị và truyền tới các thiết bị thu thập dữ

liệu. Khối phát quang, thu quang, khuếch đại tiền xử lý được chứa trong hai ống nhôm loại 6061, đường kính trong 70 mm, độ dày 5 mm, sơn đen, một đầu được phay vát góc 45 độ, một đầu bằng có nắp đáy chống nước bằng nhựa ABS và keo silicon. Hình ảnh thiết bị chế tạo theo đề xuất cải tiến chỉ ra trong hình 10.

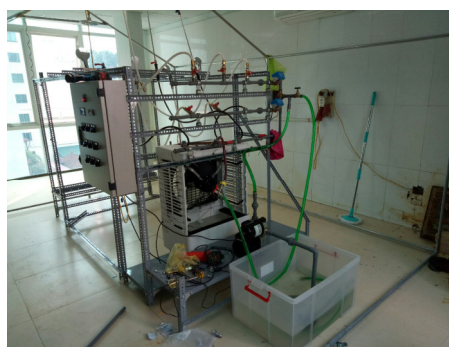
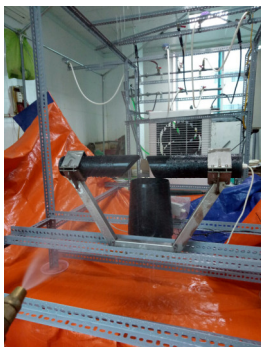
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Với tập mẫu các giá trị số cho phép khôi phục lại xung quang điện loại hai chồi xung thu được ứng với các hạt bi cầu sắt có kích thước biết trước, khi mô phỏng tính toán đường kính hạt theo biến số k_{075} và theo độ sâu điều chế M bằng phần mềm máy tính viết bằng ngôn ngữ LabVIEW, kết quả thu được: Với các hạt nhỏ hơn 3,5mm, trên tập mẫu thử, sai số lớn nhất của phương pháp nội suy từ độ sâu điều chế M là 6,92% lớn hơn so với sai số lớn nhất của phương pháp nội suy từ biến số k_{075} . Sai số lớn nhất của phương pháp nội suy từ biến số k_{075} ở dải này là 3,41%; Với các hạt lớn hơn hoặc bằng 3,5mm, trên tập mẫu thử, sai số lớn nhất của phương pháp nội suy từ độ sâu điều chế M là 2,35% lớn hơn so với sai số lớn nhất của phương pháp nội suy từ biến số k_{075} . Sai số lớn nhất của phương pháp nội suy từ biến số k_{075} ở dải này là 0,69%. Điều này cho thấy phương pháp tính đường kính hạt tương đương từ biến số k_{075} có độ chính xác cao hơn so với phương pháp từ độ sâu điều chế M.

Thực hiện thử nghiệm thiết bị đo chế tạo theo những cải tiến đề xuất sẽ được tiến hành các bước tuần tự từ trong phòng thí nghiệm với các viên bi sắt hình cầu có kích thước biết trước, giọt nước được tạo bởi hệ thống nhỏ giọt, giàn tạo mưa nhân tạo rồi sẽ đưa tới hiệu chuẩn tại trung tâm khí tượng thủy văn trước khi đưa ra thử nghiệm thực tế để đánh giá.

Thử nghiệm với các viên bi sắt hình cầu có kích thước biết trước trong dải đo của thiết bị qua các khoảng lấy mẫu, kết quả thử nghiệm như sau: với các hạt nhỏ hơn 3,5 mm, trên tập mẫu thử, sai số lớn nhất là 3,7% Với các hạt lớn hơn hoặc bằng 3,5 mm, trên tập mẫu thử, sai số lớn nhất là: 0,79%. Khi thử nghiệm với các hạt bi rơi gần như cùng lúc (trường hợp chập nhau, hoặc che lẫn nhau), thiết bị không đo được đúng kích thước của các bi mà lúc này kích thước đo được chỉ ra là kích thước hình cầu tương đương với phần bao ngoài của hai bi.

Thử nghiệm với giọt nước được tạo bởi hệ thống các bộ nhỏ giọt có van tiết lưu. Mật độ giọt nước được điều chỉnh bởi van tiết lưu và thay đổi số lượng đầu nhỏ giọt đồng thời kích thước các giọt nước cũng được điều chỉnh bởi độ lớn của đầu kim nhỏ giọt ở lõi ra. Các giọt nước sau khi đi qua thiết bị đo được hứng bởi bình dung tích chuẩn để so sánh lượng nước nội suy từ số lượng hạt và kích thước hạt mà thiết bị đo được. Thực hiện lặp nhiều lần với các đầu nhỏ giọt và lượng nước khác nhau để tăng tính chính xác của phép thử. Kết quả đạt được trong quá trình thử nghiệm với giọt nước có sai số lớn nhất là 4,5% với lượng nước dưới 30 ml.



Hình 11. Thử nghiệm thiết bị đo mưa với giàn tạo mưa.

Thử nghiệm với giàn tạo mưa có thể điều chỉnh tốc độ gió mô phỏng đến 50 km/h (tương đương áp thấp nhiệt đới), hướng gió có thể thay đổi, có thiết bị đo mưa chao lật để đối sánh lượng mưa (hình 11). Khi thay đổi mức gió và lưu lượng mưa, kết quả đo đặc và so sánh chênh lệch cao nhất là 0,3 mm khi lượng mưa đo trên thiết bị đối sánh là 40 mm hoàn toàn nằm trong khoảng sai số của thiết bị đối sánh. Kết quả này cho thấy khi đo lượng mưa, hai thiết bị là tương đương nhau.

Bên cạnh việc đo đặc các thông số hạt mưa, thiết bị còn có khả năng đo được lượng mưa, cường độ mưa bằng việc nội suy từ kích thước hạt mưa. Khi tiến hành hiệu chuẩn tại Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia và thử nghiệm thiết bị cải tiến đo mưa thực tế tại trạm Hà Đông – trạm Khí tượng Quốc tế và đối sánh với thiết bị đo mưa tại trạm. Kết quả cho thấy, ở dải lượng mưa lớn hơn 10 mm, sai lệch lượng mưa lớn nhất là 0,86 mm. Ở dải lượng mưa nhỏ hơn hoặc bằng 10 mm, sai lệch lượng mưa lớn nhất là 0,18 mm. Như vậy, lượng mưa đo được bằng hai thiết bị là tương đương nhau.

4. KẾT LUẬN

Thiết bị đo kích thước hạt mưa bằng phương pháp quang học trong nghiên cứu này có khả năng đo được kích thước, vận tốc hạt mưa, cả lượng mưa và cường độ mưa ở chế độ thời gian thực. Thiết bị đã khắc phục được nhược điểm nhiễu quang do tính coherent của nguồn laser diode, khó khăn trong quá trình hiệu chỉnh trục quang, dải đo động bị phụ thuộc lớn vào kích thước hình học của các khe nhạy sáng trong phương pháp đo bằng độ sâu điều chế. Đã đề xuất thuật toán và cách tính toán kích thước hạt mưa từ các thông số đo. Các kết quả thử nghiệm đã cho thấy hiệu quả của phép đo được nâng cao hơn so với các thiết bị tương tự hiện có. Nhược điểm của thiết bị là không đo được các hạt rơi bị trùng nhau hoặc che lấp một phần. Khi thử nghiệm ngoài trời, ảnh hưởng của côn trùng bay qua khoảng đo cũng là một vấn đề cần xem xét. Tuy nhiên, với những kết quả thu được có thể thấy, việc chế tạo và hoàn thiện thiết bị đo kích thước hạt mưa nói riêng, các thông số mưa nói chung ở Việt Nam để phục vụ nhu cầu nghiên cứu khoa học, phòng chống thiên tai hoàn toàn khả thi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ali Tokay., et al, “*Comparison of Raindrop Size Distribution Measurements by Collocated Disdrometers*”. Journal of atmospheric and oceanic technology. **Vol.30** (2013). p.1672-1689.
- [2]. F. Y. Testik và M. K. Rahman, “*High-Speed Optical Disdrometer for Rainfall Microphysical Observations*”. Journal of atmospheric and oceanic technology. **Vol.33** (2015). p.231-242.
- [3]. Bryson Evan Winsky, “*A redesigned instrument and new data analysis method used to measure the size and velocity of hydrometeors*”. Theses and Dissertations. University of Iowa. (2012).
- [4]. D.V. Kiesewetter, V.I. Malyugin, M.Y. Litvak, “*Method for the drops velocity measurement*”. A.c. N2177091 1, USSR, Bul. Izobret (in Russian)., 39, (1992).
- [5]. Lai Thi Van Quyen, Nguyen Manh Thang, Nguyen Hong Vu, Nguyen The Truyen, V.I. Malyugin, D.V. Kiesewetter, “*The Optical Disdrometer*”. Advances in Wireless and Optical Communication. (RTUWO), International conference, Riga, Latvia. (2017).
- [6]. Lai Thi Van Quyen, Nguyen Manh Thang, Nguyen Hong Vu, Nguyen The Truyen, Victor Ivanovich Malyugin, Dmitry Vladimirovich Kiesewetter, “*Device for Measuring Parameters of the Meteorological Precipitation*”. Proc. XXVI International Scientific Conference Electronics - ET2017. (2017).

- [7]. D.V. Kieseewetter, V.I. Malyugin, “Simultaneous measurements of velocity and size of moving particles”. J. Tech. Phys., **Vol. 79**, No 2, (2009), pp. 90-95.
- [8]. D.V. Kieseewetter, V.I. Malyugin, “Simultaneous measurements of velocity and size of moving particles”. Proc “Lasers for Measurements and Information Transfer 2003”, SPIE, **Vol. 5381**, (2004), p. 200-209.

ABSTRACT

DESIGN AND BUILD THE DISDROMETERS

Raindrop diameter measuring is great significance for many applications in wave propagation, erosion, meteorological, atmospheric physic research, troposphere structure measurement... It is impossible to measure raindrop parameters with the tipping bucket rain gauge used in common. To measure raindrop diameter and other parameters of raindrops, there are other device lines. Depending on the used physical principle, it can be divided into types of devices: impact, image and optical devices. Overcoming the disadvantages such as not being able to measure the speed, large noise of the impact devices, bulky, difficult to transport, deploy and install, high cost of image devices, optical devices have become a reasonable choice in raindrop diameter measurement. In this group, raindrop diameter measurement method based on two light bands and calculated according to the modulation depth is researched to improve because it does not depend on the speed of drop. This article has pointed out the limitations of the current method and the improvements in hardware of the device, the calculation method, the raindrop diameter calculation algorithm to improve the measurement efficiency. Test results show the effectiveness of the recommendations which are positive signals for a better raindrop diameter product line.

Keywords: Measuring; Data processing; Optoelectronics; Meteorological precipitation; The disdrometers.

Abbreviations: JWD – Joss Waldvogel Disdrometer; 2DVD – Two Dimension Video Disdrometer; SVI – Snowflake Video Imager; SNR-Signal to Noise Ratio.

Nhận bài ngày 05 tháng 02 năm 2020

Hoàn thiện ngày 06 tháng 3 năm 2020

Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 4 năm 2020

Địa chỉ: ¹Viện NC Điện tử, Tin học và Tự động hóa/Bộ Công thương;

²Viện Vật lý, Công nghệ nano và Viễn thông, Đại học Bách khoa St. Petersburg.

*Email: vanquyen2407@gmail.com.