(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN**
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)**
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11) **2-0004294**

(51) **G06T 3/00**; G06F 17/00
2024.01

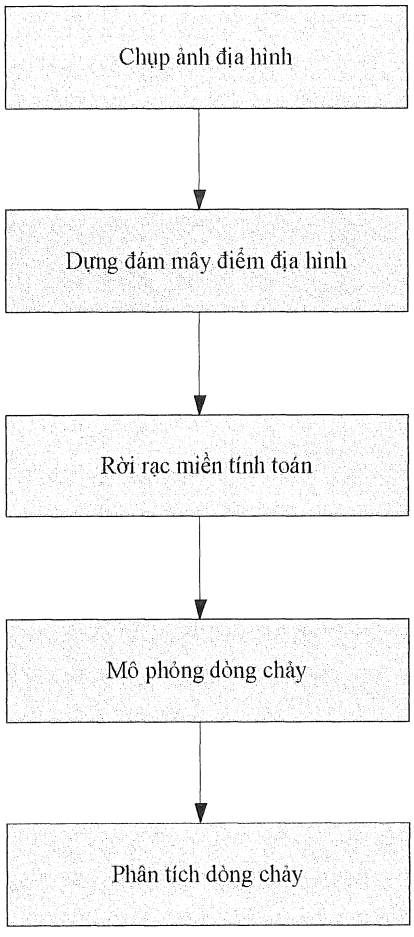
(13) **Y**

(21) 2-2025-00341
(22) 30/09/2019
(67) 1-2019-05358
(45) 25/09/2025 450
(43) 25/12/2019 381A
(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỄN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)
Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hòa, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội
(72) NGUYỄN HẢI ANH (VN); NGUYỄN TIẾN ĐẠT (VN); NGUYỄN THỊ THỦY (VN); TRẦN CÔNG MINH (VN); NGUYỄN TRÍ THÀNH (VN).
(74) CÔNG TY TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH DÒNG CHẢY CHẤT LƯU QUA ĐỊA HÌNH PHỨC TẠP SỬ DỤNG PHẦN TỬ RỜI RẠC TỨ DIỆN VÀ KHÔNG ẢNH

(21) 2-2025-00341

(57) Giải pháp hữu ích đề cập đến phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu (gió, nước) qua khu vực địa hình phức tạp (đồi núi, đô thị) hoặc không gian rộng lớn bằng phương pháp số. Trong đó, biên dạng địa hình được xây dựng dựa trên không ảnh chụp từ máy bay không người lái bay theo quỹ đạo tuyến tính. Hơn nữa, vùng không gian tính toán được rời rạc hóa thành các phần tử rời rạc dạng tứ diện phục vụ tính toán phân tích dòng chảy. Để đạt được mục đích trên, phương pháp được xây dựng trên cơ sở năm bước: chụp ảnh địa hình; dựng đám mây điểm địa hình; rời rạc miền tính toán; mô phỏng dòng chảy; phân tích dòng chảy.



Hình 2

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu (gió, nước) qua khu vực địa hình phức tạp (đồi núi, đô thị) hoặc không gian rộng lớn bằng phương pháp số. Giải pháp hữu ích được ứng dụng trong quá trình mô phỏng, phân tích dòng chảy chất lưu, đánh giá sự phân tán khí thải trong không trong một khu vực xác định như đô thị hoặc toàn bộ thành phố.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Tham chiếu hình 1, để phân tích dòng chảy qua địa hình, phương pháp truyền thống được thực hiện qua năm bước sau: thu thập dữ liệu địa hình gồm khảo sát địa hình thực tế, ảnh vệ tinh; xây dựng hình học gồm xây dựng thủ công từng đối tượng trên địa hình; rời rạc miền tính toán có nghĩa là vùng không gian được rời rạc thành các phần tử tứ diện phục vụ tính toán; mô phỏng dòng chảy là quá trình các tham số dòng chảy được tính toán tại từng phần tử tứ diện đã được rời rạc; phân tích dòng chảy là quá trình các tham số tính toán được biểu diễn dưới dạng đồ thị hoặc hình ảnh biểu diễn đường dòng, màu sắc giúp người sử dụng dễ dàng hình dung, phân tích, đánh giá dòng chảy lưu thông trong khu vực quan tâm.

Ưu điểm của phương pháp truyền thống là khả năng tính toán độ chính xác cao tại khu vực vừa và nhỏ, địa hình ít phức tạp. Nhược điểm là thời gian xây dựng hình học lâu, biên dạng đơn giản, khu vực tính toán nhỏ và không chính xác do dữ liệu hình học xây dựng từ nhiều nguồn không chính xác, tại nhiều thời điểm khác nhau. Để kết quả mô phỏng có độ chính xác cao thì bước tiền xử lý đóng vai trò rất quan trọng. Thông thường, mô hình thiết kế được sự hỗ trợ của máy tính CAD (Computer Aided Design) địa hình cần được dựng lại trước khi chia lưới. Tuy nhiên, trong trường hợp miền tính toán là những khu vực rộng lớn như một khu đô thị hay một thành phố thì việc vẽ lại mô hình 3D phải mất thời gian từ vài tháng đến hàng năm và việc chia lưới từ mô hình này cũng

tương đối khó khăn. Giải pháp hữu ích đề cập đến phương pháp mới nhằm khắc phục các nhược điểm của phương pháp truyền thống. Không ảnh từ máy bay không người lái được sử dụng để dựng lại địa hình trong khoảng thời gian ngắn với độ chính xác chấp nhận được phục vụ việc phân tích dòng chảy không khí, nước, sự phân tán hóa chất trong không khí tại một khu vực địa hình xác định.

Ưu điểm của phương pháp đề xuất sau đây này là giá thành thấp, thời gian nhanh và dễ dàng thu nhận được các ảnh số với độ phân giải cao trong điều kiện địa hình phức tạp. Đám mây điểm được tạo ra sau đó sẽ được chuyển đổi sang lưới 3D sử dụng thuật toán chia lưới tứ diện tự động. Trong đó, biên dạng địa hình được xây dựng dựa trên không ảnh chụp từ máy bay không người lái bay theo quỹ đạo tuyến tính. Hơn nữa, vùng không gian tính toán được rời rạc hóa thành các phần tử rời rạc dạng tứ diện phục vụ tính toán phân tích dòng chảy. Hiện tại, chưa có phương pháp mô phỏng, phân tích dòng chảy chất lưu nào sử dụng công nghệ xây dựng đám mây điểm từ không ảnh chụp từ máy bay không người lái bay quỹ đạo tuyến tính và chia lưới tứ diện tự động.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Mục đích của giải pháp hữu ích là đề xuất phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc tứ diện và không ảnh. Cụ thể là xây dựng một phương pháp cho phép phân tích dòng chảy chất lưu qua dạng địa hình phức tạp. Trong đó, máy bay không người lái được thiết kế quỹ đạo bay tuyến tính để chụp ảnh địa hình. Sau đó, đám mây điểm được xây dựng tự động từ tập hợp dữ liệu không ảnh được chụp. Phương pháp chia lưới tự động tứ diện nhằm rời rạc miền tính toán dòng chảy thành các phần tử tứ diện dựa trên dữ liệu đám mây điểm. Trong phần mô phỏng dòng chảy, các tính chất của dòng chảy được tính toán bằng cách giải hệ phương trình vi phân liên hệ giữa các tham số dòng chảy (tọa độ, vận tốc, nhiệt độ…) gắn trên các phần tử rời rạc tứ diện cơ sở này.

Để đạt được mục đích trên, phương pháp phân tích dòng chảy qua địa hình phức tạp được xây dựng trên cơ sở năm bước: chụp ảnh địa hình; dựng đám mây điểm địa

hình; rời rạc miền tính toán; mô phỏng dòng chảy; phân tích dòng chảy. Các bước trong phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh từ máy bay không người lái bay quỹ đạo tuyến tính. Cụ thể như sau:

Bước 1: chụp ảnh địa hình: sử dụng máy bay không người lái để thu thập tập hợp không ảnh nhằm xây dựng đám mây điểm địa hình. Trong phương pháp này, quỹ đạo bay sử dụng dạng tuyến tính, có nghĩa là, đường bay của máy bay không người lái phần lớn là đường thẳng. Ngoài ra, không ảnh ngoài thông tin về hình ảnh, còn chứa các thông tin về tọa độ và thời gian chụp phục vụ cho quá trình xây dựng đám mây điểm địa hình.

Bước 2: dựng đám mây điểm địa hình: dữ liệu không ảnh được tổng hợp thành đám mây điểm địa hình dựa trên thuật toán liên hệ các điểm mốc cố định trên địa hình (do người dùng quy định hoặc tự động xác định). Ngoài ra, sử dụng thuật toán liên hệ hình chiếu và góc chụp, đám mây điểm địa hình được xây dựng và tinh chỉnh chuẩn bị cho bước rời rạc hóa miền tính toán.

Bước 3: rời rạc miền tính toán: dữ liệu đám mây điểm bản chất là các điểm rời rạc. Trong bước này, các điểm rời rạc được liên kết với nhau theo thuật toán lân cận nhằm bắt bám chính xác biên dạng của địa hình. Sau đó, vùng không gian chứa dòng chảy chất lưu, thường là lớp không khí bao quanh địa hình được xây dựng tỉ lệ thuận với kích thước địa hình, được chia nhỏ thành các phần tử tứ diện.

Bước 4: mô phỏng dòng chảy chịu trách nhiệm thực hiện các tính toán mô phỏng các tính chất của dòng chảy. Bước này sử dụng các phần mềm thương mại (như Ansys Fluent, Star-CCM+…). Các phần mềm này cho phép tính toán chính xác hiện tượng dòng chảy xảy ra với những giả thiết cho trước và khảo sát các vấn đề tồn tại mà không cần phải xây dựng mô hình thực tế. Ngoài ra, các phần mềm mã nguồn mở (OpenFOAM) cho phép người dùng có thể can thiệp và hiệu chỉnh mô hình tính toán để phù hợp với từng bài toán cụ thể.

Bước 5: phân tích dòng chảy là quá trình trực quan hóa các tham số dòng chảy như vận tốc, áp suất, nồng độ chất dưới dạng đồ thị hoặc hình ảnh biểu diễn trực quan. Thông qua các hình ảnh biểu diễn đó, người sử dụng có thể dễ dàng đưa ra phân tích, đánh giá hoặc kết luận về bài toán đang phân tích.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ mô tả các bước thực hiện của phương pháp truyền thống;

Hình 2 là hình vẽ mô tả các bước thực hiện của phương pháp cải tiến;

Hình 3 là hình vẽ mô tả quỹ đạo bay tuyến tính của máy bay không người lái;

Hình 4 là hình vẽ mô tả quy trình xây dựng đám mây điểm địa hình;

Hình 5 là hình vẽ mô tả quy trình tạo lưới bề mặt dạng tam giác;

Hình 6 là hình vẽ mô tả quy trình tạo lưới thể tích dạng tứ diện.

Mô tả chi tiết của giải pháp hữu ích

Phần sau đây mô tả một cách đầy đủ và chi tiết những kết cấu cơ bản của phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh từ máy bay không người lái bay quỹ đạo tuyến tính.

Phương pháp mô phỏng, phân tích dòng chảy sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh từ máy bay không người lái bay quỹ đạo tuyến tính được thiết kế để nghiên cứu dòng chảy trong đô thị. Có 02 lý do: quỹ đạo bay tuyến tính phù hợp để xây dựng đám mây điểm cho các tòa nhà khối hộp trong đô thị; phần tử rời rạc tứ diện là một dạng phần tử rời rạc cơ bản, thuật toán thực hiện đơn giản và cho độ chính xác chấp nhận được.

Tham chiếu hình 2, phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh từ máy bay không người lái bay quỹ đạo tuyến tính bao gồm năm bước. Mô tả chi tiết các bước cụ thể như sau:

Bước 1: chụp ảnh địa hình.

Chụp ảnh địa hình là bước xây dựng bài bay tuyến tính cho máy bay không người lái để lấy được dữ liệu không ảnh. Việc thiết kế quỹ đạo bay, độ cao bay và tốc độ bay căn cứ vào 03 yếu tố đầu vào:

Diện tích vùng địa hình quan tâm;

Độ cao tối đa của địa hình;

Thời lượng bay của máy bay không người lái.

Tham chiếu hình 3, với bài toán phân tích dòng chảy qua đô thị, bài bay của máy bay không người lái được thiết kế quỹ đạo tuyến tính. Trong đó, các bức ảnh được chụp tại các vị trí đánh dấu để đảm bảo độ chồng chập (phần diện tích chung) giữa hai bức ảnh liên tiếp >75%. Tọa độ điểm chụp ảnh (vị trí đánh dấu trong hình 3) được tính theo hàm số sau:

$$P_{i+1}(x, y) = P_i(x, y) + f(v, h, f, \delta)$$

Trong đó, $P(x, y)$ tọa độ điểm thực hiện chụp ảnh phụ thuộc vào các tham số về vận tốc (v), độ cao (h), tiêu cự máy ảnh (f) và mức độ chồng chập yêu cầu (δ). Đối với bài toán yêu cầu cao về độ chính xác, máy bay không người lái được thiết kế để bay tại 2-3 vị trí độ cao khác nhau để thu được nhiều ảnh hơn, tại nhiều góc độ khác nhau phục vụ quá trình xây dựng đám mây điểm. Đầu ra của bước chụp ảnh địa hình là tập hợp không ảnh thỏa mãn yêu cầu về độ phân giải và độ chồng chập.

Bước 2: dựng đám mây điểm địa hình.

Tham chiếu hình 4, đầu vào của bước xây dựng đám mây điểm địa hình là tập hợp không ảnh và các tham số của camera chụp ảnh như tiêu cự, kích thước cảm biến. Đầu ra của bước này là tạo ra đám mây điểm chi tiết của địa hình. Bước dựng đám mây điểm có thể chia thành hai quá trình chính: xây dựng đám mây điểm sơ bộ dựa trên các điểm cơ sở và phủ dày đám mây điểm sơ bộ. Cụ thể:

Xác định điểm cơ sở: điểm cơ sở (điểm đặc trưng) là các điểm ít phụ thuộc nhất vào các phép biến đổi như xoay, thu phóng, thay đổi độ sáng. Đầu ra của bước xác định điểm cơ sở là tập các véc-tơ chứa thông tin mô tả cho điểm cơ sở. Cụ thể: Điểm cơ sở là các điểm cực trị trong không gian tỉ lệ L(x, y, σ) – là một ảnh được làm mờ bằng việc nhân chập ảnh gốc I(x, y) với bộ lọc Gaussian G(x, y, σ):

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y)$$

Khi đó, sai phân hai không gian tỉ lệ D(x, y, σ) sai khác nhau một hệ số k được tính toán như sau:

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y)$$

Việc xác định điểm cực trị được thực hiện bằng cách so sánh mỗi điểm trong lớp D(x, y, σ) với 8 điểm lân cận và 18 điểm lân cận của hai lớp liền kề. Nếu điểm này là cực trị trong 26 điểm so sánh thì được coi là một điểm cơ sở.

Xác định cặp điểm tương ứng giữa hai ảnh: sau khi có các điểm cơ sở của hai ảnh chụp ở hai góc chụp liền kề, việc xác định các điểm tương ứng giữa hai ảnh đượng thực hiện bằng thuật toán Brute-Force Matcher. Nguyên lý của thuật toán là so sánh các điểm cơ sở của hai ảnh liền kề để tìm được cặp điểm cơ sở giống nhau nhất thông qua việc so sánh véc-tơ thông tin mô tả điểm cơ sở.

Xác định ma trận cơ sở (E): xuất phát từ các cặp điểm cơ sở giữa hai ảnh, xác định ma trận tọa độ C và ma trận quay R của camera thỏa mãn công thức sau:

$$m_2^T . E . m_1 = 0$$

m_1, m_2 là tọa độ các cặp điểm cơ sở tương ứng giữa hai ảnh.

Sau đó, ma trận R và C được trích xuất từ ma trận E thông qua khai triển ma trận theo giá trị chính, đây là tọa độ camera và hướng chụp của camera trong hệ tọa độ tương đối giữa hai camera.

Tính tọa độ điểm 3 chiều từ các cặp điểm cơ sở tương ứng: sau khi tìm được mối quan hệ vị trí và góc quay của camera giữa hai ảnh, kết hợp với quỹ đạo của máy bay không người lái đã được xác định trước, tọa độ các điểm cơ sở trong không gian ba chiều sẽ được xác định.

Chọn ảnh tham chiếu tính chiều sâu: xuất phát từ tập hợp tập hợp không ảnh và các điểm cơ sở xác định trên, chiều sâu của ảnh sẽ được tính toán để làm dày số điểm trong dữ liệu đám mây điểm cơ sở. Trước tiên, các cặp ảnh thỏa mãn các điều kiện nhất định để được lựa chọn để tính chiều sâu ảnh. Tiêu chuẩn chọn các cặp ảnh i, j để tính chiều sâu ảnh là:

$$5^o < \varphi_{i,j} < 60^o$$

$$d_{i,j} > 2\bar{d}$$

$$d_{i,j} < 0.05\bar{d}$$

Trong đó, $\varphi_{i,j}$ là góc tạo bởi hai véc-tơ chính (tạo bởi tâm camera i đến tâm ảnh i và tâm camera j đến tâm ảnh j), $d_{i,j}$ là khoảng cách giữa hai tâm camera i và camera j, $\bar{d}$ là trung bình cộng của tất cả các giá trị $d_{i,j}$. Đầu ra của bước này là tập không ảnh được chia thành các cặp ảnh thỏa mãn các điều kiện để tính chiều sâu.

Tính toán chiều sâu ảnh: từ các cặp ảnh tìm được ở bước chọn ảnh tham chiếu tính chiều sâu, với mỗi pixel ở ảnh i cần xác định một mặt phẳng có hệ số kết hợp với ảnh còn lại trong cặp (j) là thấp nhất. Mặt phẳng này chính là mặt phẳng tiếp tuyến với địa hình thực tế. Ban đầu, mỗi điểm ảnh p chọn trước một độ sâu λ trong một khoảng định trước $[\lambda_{min}, \lambda_{max}]$, từ đó, điểm X_i trong không gian ba chiều được xác định bằng công thức:

$$X_i = \lambda . K_i^{-1} . p$$

Trong đó, K là ma trận nội tại của camera bao gồm các thông tin về tiêu cự, kích thước cảm biến của máy ảnh. Sau đó, hệ số kết hợp với ảnh còn lại được xác định bằng cách sử dụng ma trận Homography và phép tính chuẩn hóa hàm tương quan. Hệ số này đạt cực tiểu khi điểm ảnh nằm trên bề mặt của địa hình.

Tinh chỉnh ảnh độ sâu: ảnh độ sâu sinh bởi bước tính toán chiều sâu ảnh được hình thành nhưng vẫn còn một số lỗi. Bước này thực hiện nhiệm vụ tinh chỉnh độ chính xác của ảnh độ sâu. Dùng phép chiếu ngược điểm ảnh p trong không ảnh i vào không gian ba chiều xác định được điểm X. Sau đó, chiếu ngược điểm X trong không gian ba chiều vào các không ảnh lân cận. Khi đó, độ sâu của điểm ảnh chiếu được so sánh với độ sâu của điểm ảnh trong ảnh gốc (trong bước tính toán chiều sâu ảnh). Nếu hai giá trị độ sâu có sai lệch lớn hơn giá trị giới hạn (0.01) thì điểm X được coi là không tin cậy và bị loại bỏ. Ngược lại, điểm X được coi là tin cậy và được sử dụng là điểm có độ sâu ảnh chuẩn.

Khớp ảnh độ sâu: sau khi tinh chỉnh, các ảnh độ sâu sẽ được kết hợp lại để được một tệp dữ liệu đám mây điểm duy nhất. Vì các ảnh độ sâu khác nhau sẽ có nhiều điểm trùng nhau, đặc biệt là các ảnh lân cận, nên trong bước này cần loại bỏ các điểm này. Mỗi điểm ảnh trong ảnh độ sâu C_i được chiếu vào không gian ba chiều được điểm X. Sau đó, điểm X được chiếu ngược lại vào các ảnh độ sâu của các điểm lân cận. Nếu độ sâu của X trong C_i nhỏ hơn độ sâu của X trong các ảnh độ sâu C_j lân cận thì X trong C_i che khuất X trong các C_j lân cận. Khi đó, điểm ảnh độ sâu của X trong các ảnh lân cận xị xóa bỏ. Cuối cùng, đầu ra sau bước này là tất cả các ảnh độ sâu được chiếu vào không gian ba chiều và hợp thành một tệp đám mây điểm duy nhất.

Bước 3: rời rạc miền tính toán.

Trong bước này, dữ liệu đám mây điểm được sử dụng làm cơ sở để rời rạc miền tính toán thành các phần tử không gian tứ diện phục vụ tính toán dòng chảy. Cụ thể, rời rạc miền tính toán bao gồm hai thành phần chính: dựng lưới tam giác bề mặt và dựng lưới tứ diện thể tích.

Tham chiếu đến hình 5, quy trình tạo lưới bề mặt miền tính toán được thực hiện qua năm bước: nhập dữ liệu đám mây điểm; tìm kiếm tam giác hạt; phát triển lưới; kiểm tra hình học; tối ưu hóa lưới. Cụ thể như sau:

Nhập dữ liệu đám mây điểm: dữ liệu của đám mây điểm sử dụng trong phần này là dạng bảng danh sách các điểm. Dạng danh sách giúp việc tìm kiếm các điểm lân cận được hiệu quả hơn.

Tìm kiếm tam giác hạt: tam giác hạt là yếu tố quyết định đến chất lượng và đảm bảo các phần tử lưới tạo thành nằm trên bề mặt ngoài của các vật thể trong miền tính toán. Để tìm kiếm được tam giác hạt, trước tiên chọn ngẫu nhiên một điểm của đám mây, tìm điểm lân cận gần nhất của nó, nối hai điểm này lại thu được cạnh đầu tiên của tam giác hạt. Đỉnh thứ ba của tam giác hạt được tìm kiếm trong hình cầu có tâm là trung điểm của cạnh vừa tạo thành và bán kính bằng k lần chiều dài cạnh đó (k có thể do người dùng tùy chọn hoặc là một giá trị mặc định). Mỗi một điểm trong hình cầu được nối với hai đỉnh của cạnh đã tìm được tạo thành một tam giác. Tam giác được chọn là tam giác hạt nếu hình cầu ngoại tiếp tam giác đó không chứa điểm nào khác và các điểm trong hình trụ đi qua ba đỉnh của tam giác, có trục song song với véc-tơ pháp tuyến của nó đều nằm bên trên hoặc bên dưới tam giác đó. Nếu không có tam giác nào thỏa mãn, thay đổi k và lặp lại các bước trên.

Phát triển lưới: các cạnh của tam giác hạt được coi là một cạnh tự do và xếp vào hàng đợi để tìm kiếm các phần tử tam giác tiếp theo. Chọn một cạnh tự do bất kỳ, xác định các điểm nằm gần cạnh này. Vùng tìm kiếm là hình cầu có tâm là giao của đường trung trực của cạnh tự do và mặt phẳng chứa mặt trước của tam giác hạt. Bán kính của hình cầu được điều chỉnh tự động, giá trị nhỏ nhất bằng chiều dài của cạnh tự do. Bán kính sẽ được tăng lên nếu không tìm thấy điểm nào trong vùng tìm kiếm. Trong trường hợp có nhiều điểm được tìm thấy, ưu tiên các điểm nằm trên mặt phẳng chứa mặt trước của tam giác hạt, các tam giác tạo thành có hình cầu ngoại tiếp không chứa điểm nào khác được chuyển sang kiểm tra hình học ở bước sau. Nếu bán kính hình cầu tăng tối đa mà vẫn không có điểm nào trong vùng tìm kiếm thì cạnh tự do bị xóa khỏi hàng đợi và được phân loại là cạnh biên.

Kiểm tra hình học: khi có một tam giác được hình thành, phải kiểm tra hai cạnh nối điểm được chọn và hai điểm đầu mút của cạnh tự do có thực sự là cạnh mới hay

chúng đã thuộc về hình tam giác khác. Nếu cạnh đã thuộc về tam giác khác, tính nhất quán về hướng của tam giác mới và tam giác chung cạnh với nó phải được xác minh. Nếu cạnh này là cạnh mới nó được thêm vào hàng đợi. Xóa cạnh tự do khỏi hàng đợi và quay lại bước phát triển lưới. Thuật toán kết thúc khi trong hàng đợi không còn cạnh nào.

Tối ưu hóa lưới: để cải thiện chất lượng lưới tạo thành, thực hiện tối ưu hóa lưới dựa trên nguyên tắc làm mịn Laplacian. Chọn một nút lưới bất kỳ, xác định trọng tâm của các tam giác nhận nút lưới đó là đỉnh. Mặt phẳng đi qua các điểm trọng tâm được gọi là mặt phẳng tiếp tuyến. Dịch chuyển vị trí của nút lưới vào mặt phẳng tiếp tuyến này. Quá trình được lặp lại cho đến khi thu được lưới tốt nhất.

Sau khi có được lưới bề mặt địa hình. Lưới tứ diện không gian được hình thành trên cơ sở lưới bề mặt. Tham chiếu đến hình 6, quy trình tạo lưới tứ diện trên miền tính toán được thực hiện qua năm bước: nhập dữ liệu lưới bề mặt; xác định tứ diện hạt; phát triển lưới; kiểm tra chất lượng; hiệu chỉnh lưới. Cụ thể như sau:

Nhập dữ liệu lưới bề mặt: dữ liệu lưới bề mặt xây dựng trong phần trên, bao gồm các nút lưới đã được tối ưu hóa, được sử dụng để sinh lưới thể tính. Lưới tứ diện thể tích đại diện cho vùng không khí bao quanh địa hình, được thành lập phục vụ tính toán dòng chảy.

Xác định tứ diện hạt: từ tam giác hạt ngẫu nhiên nằm trên bề mặt, hình trụ tưởng tượng đi qua 3 đỉnh tam giác và trục của nó vuông góc với tam giác. Cần chú ý đảm bảo các nút lưới trên các tam giác khác nằm trên cùng một nửa không gian bờ là mặt phẳng chứa tam giác hạt. Vùng nằm trong hình trụ tưởng tượng ở phần không gian còn lại là vùng thêm nút lưới. Một nút lưới mới được thêm vào trong vùng hình trụ tưởng tượng với khoảng cách bằng k lần bán kính mặt cắt hình trụ tưởng tượng (k có thể do người dùng thay đổi tùy theo yêu cầu độ mịn của lưới và các tiêu chuẩn chất lượng lưới). Mỗi đỉnh của tam giác hạt được nối với nút lưới thêm. Tứ diện tạo thành từ tam giác hạt và điểm mới thêm được gọi là tứ diện hạt.

Phát triển lưới: các mặt còn lại của tứ diện hạt được coi là một mặt tự do và xếp vào hàng đợi để dựng tứ diện tiếp theo từ phương pháp thêm nút lưới như bước 3.2.2. Chọn một mặt tam giác tự do bất kỳ, xác định hình cầu có bán kính bằng k lần bán kính hình cầu ngoại tiếp đi qua ba đỉnh của tam giác tự do. Về phía nửa không gian không chứa tam giác hạt, bờ là mặt phẳng chứa mặt tự do, điểm nút nằm trong hình cầu được chọn làm đỉnh thứ tư kết nối với mặt tự do để tạo thành tứ diện mới. Nếu không có nút lưới nào trong hình cầu, một nút lưới mới được thêm vào theo như phương pháp đã trình bày ở bước xác định tứ diện hạt. Nếu có nhiều nút lưới trong hình cầu, ưu tiên điểm nút tạo tứ diện không chứa nút lưới khác. Đối với các tam giác có ba đỉnh nằm trên biên ngoài của miền tính toán, chúng được phân loại là tam giác biên thuộc tứ diện biên. Quy trình thêm nút lưới dừng lại đối với các tam giác lưới này và chúng bị xóa khỏi hàng đợi.

Kiểm tra hình học: khi có một tứ diện được hình thành, phải kiểm tra mặt tự do hình thành có thực sự là mặt tự do mới hay chúng đã thuộc về tứ diện khác. Nếu mặt tự do không thuộc về tứ diện khác, chúng được thêm vào hàng đợi. Nếu ngược lại, xóa mặt tự do khỏi hàng đợi và quay lại bước phát triển lưới. Thuật toán kết thúc khi trong hàng đợi không còn mặt tự do nào.

Hiệu chỉnh lưới: kiểm tra hình cầu rỗng: mỗi hình cầu ngoại tiếp tứ diện lưới không được chứa các nút lưới khác. Nếu có, các tứ diện này phải được chia nhỏ bằng cách kết nối đỉnh tứ diện với nút lưới đó. Ngoài ra, kiểm tra chỉ số chất lượng, ví dụ như tỉ số cạnh dài nhất và chiều cao ngắn nhất của các tứ diện. Tỉ số này có giá trị lớn hơn $\sqrt{2}/\sqrt{3}$, đặc trưng cho tính cân đối của tứ diện. Tỉ số này càng thấp, chất lượng lưới càng tốt. Tùy theo từng bài toán, lưới có thể được định vị lại nút lưới hoặc làm mịn để đạt yêu cầu về tỉ số này. Bằng cách định vị lại nút lưới, các tứ diện không đạt chất lượng bao gồm nút lưới và cạnh lưới đươc khoanh vùng để xóa đi. Quy trình thêm nút lưới được lặp lại với k nhỏ hơn và mặt tam giác hạt là các mặt lân cận vùng được khoanh. Qúa trình này được lặp lại đến khi lưới đạt tiêu chuẩn đề ra. Bằng cách làm mịn, các tứ diện không đạt tiêu chuẩn được thêm nút lưới để kết nối với các đỉnh của tứ diện, tạo các tứ diện mới có chất lượng tốt hơn.

Bước 4: mô phỏng dòng chảy.

Trong bước mô phỏng dòng chất lưu, lưới tứ diện sinh từ bước rời rạc miền tính toán trong bước 3 được sử dụng để giải các hệ phương trình vi phân đặc trưng nhằm xác định các tham số của dòng chảy chất lưu (vận tốc, nhiệt độ, áp suất, nồng độ chất thải). Việc tính toán mô phỏng dòng chảy được thực hiện theo ba bước chính sau đây: tiền xử lý; tính toán vòng lặp; kiểm soát kết quả. Cụ thể như sau:

Tiền xử lý: trong bước này cần xác định các thông tin cơ bản về dòng chảy: loại dòng chảy là tầng hay rối, dừng hay không dừng, hệ phương trình chủ đạo mô tả chuyển động của dòng chảy chất lưu, thiết lập các điều kiện đầu và điều kiện biên cho trường vận tốc, áp suất, nhiệt độ, nồng độ chất thải.

Tính toán vòng lặp: sau khi hoàn thành bước tiền xử lý, để tiến hành tính toán vòng lặp trước tiên chúng ta phải lựa chọn phương pháp mô phỏng. Tùy thuộc vào độ phức tạp và mục tiêu của bài toán chúng ta có thể lựa chọn mô phỏng bài toán bằng một trong ba cách: tự viết mã nguồn, dùng phần mềm mã nguồn mở (như OpenFoam, Overflow...) hoặc sử dụng các phần mềm thương mại (như Ansys Fluent, Ansys Mechanical, Comsol, Star-CCM+…). Ứng với mỗi cách mô phỏng chúng ta lựa chọn các phương pháp số, điều kiện hội tụ hoặc số vòng lặp cần thiết.

Kiểm soát kết quả: một trong các tham số cơ sở để đánh giá mức độ hội tụ nghiệm của tính toán vòng lặp là sai khác kết quả giữa hai vòng lặp tính toán liên tiếp. Nếu giá trị sai khác nhỏ hơn giá trị tới hạn (0.00001) thì kết quả được coi là đáp ứng yêu cầu và dữ liệu đầu ra là các dữ liệu số thể hiện giá trị các tham số dòng chảy chất lưu được sử dụng trong bước phân tích dòng chảy.

Bước 5: phân tích đòng chảy.

Bước phân tích dòng chảy là bước quan trọng nhất để người sử dụng để phân tích dòng chảy qua địa hình. Đầu vào của bước 5 là dữ liệu thô tham số dòng chảy đã tính toán từ bước mô phỏng dòng chảy. Sau đó, dữ liệu được chế xuất và biểu diễn dưới dạng đồ thị, đường dòng hoặc bảng màu nhằm hỗ trợ trực quan phân tích dòng chảy.

- Chế xuất dữ liệu: tính toán các đại lượng dẫn xuất như hàm dòng, hàm xoáy...các đại lượng tích phân như nhiệt độ, áp suất, vận tốc dòng chảy, nồng độ chất ô nhiễm.
- Để trực quan hóa kết quả sử dụng một số phần mềm phổ biến (như Tecplot 360 hay Ansys CFD – Post) giúp phân tích và hiểu thông tin trong các dữ liệu phức tạp đồng thời kết nối kết quả với các hình ảnh và hình ảnh động chuyên nghiệp. Bên cạnh đó phần mềm ParaView là một mã nguồn mở, phân tích dữ liệu đa nền tảng và ứng dụng trực quan. Paraview sử dụng các kỹ thuật định lượng và định tính để khai thác các bộ dữ liệu lớn trong môi trường 3D tương tác hoặc sử dụng các tính năng xử lý dữ liệu hàng loạt và tạo kịch bản để trực quan hóa các bộ dữ liệu.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh bao gồm các bước:

bước 1: chụp ảnh địa hình bằng máy bay không người lái; trong đó quỹ đạo bay sử dụng dạng tuyến tính, đường bay của máy bay không người lái phần lớn là đường thẳng; không ảnh thu được ngoài hình ảnh còn chứa thông tin về tọa độ và thời gian chụp;

bước 2: tự động dựng đám mây điểm địa hình; dữ liệu không ảnh được tổng hợp thành đám mây điểm địa hình dựa trên thuật toán liên hệ các điểm mốc cố định trên địa hình (do người dùng quy định hoặc tự động xác định); ngoài ra, sử dụng thuật toán liên hệ hình chiếu và góc chụp, đám mây điểm địa hình được xây dựng và tinh chỉnh chuẩn bị cho bước rời rạc hóa miền tính toán;

bước 3: rời rạc miền tính toán tự động; các điểm rời rạc tức các dữ liệu đám mây điểm được liên kết với nhau theo thuật toán lân cận nhằm bắt bắm chính xác biên dạng của địa hình; sau đó vùng không gian chứa dòng chảy chất lưu, thường là lớp không khí bao quanh địa hình được xây dựng tỷ lệ thuận với kích thước địa hình, được chia nhỏ thành các phần tử tứ diện;

bước 4: mô phỏng dòng chảy; thực hiện các tính toán mô phỏng các tính chất của dòng chảy, sử dụng các phần mềm thương mại (như Ansys Fluent, Star-CCM+…) cho phép tính toán chính xác hiện tượng dòng chảy xảy ra với những giả thiết cho trước và khảo sát các vấn đề tồn tại mà không cần phải xây dựng mô hình thực tế; các phần mềm mã nguồn mở (OpenFOAM) cho phép người dùng có thể can thiệp và hiệu chỉnh mô hình tính toán để phù hợp với từng bài toán cụ thể;

bước 5: phân tích dòng chảy; trực quan hóa các tham số dòng chảy như vận tốc, áp suất, nồng độ chất dưới dạng đồ thị hoặc hình ảnh biểu diễn trực quan, từ đó đưa ra phân tích, đánh giá hoặc kết luận về bài toán đang phân tích.

2. Phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh theo điểm 1, trong đó tại bước chụp ảnh địa hình, các

bức ảnh được chụp tại các vị trí được tính toán từ trước để đảm bảo độ chồng chập (phần diện tích chung) giữa hai bức ảnh liên tiếp >75%; đối với bài toán yêu cầu cao về độ chính xác, máy bay không người lái được thiết kế để bay tại 2-3 vị trí độ cao khác nhau để thu được nhiều ảnh hơn, tại nhiều góc độ khác nhau phục vụ quá trình xây dựng đám mây điểm.

3. Phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh theo điểm 1 và điểm 2, trong đó: tại bước dựng đám mây địa hình thực hiện:

xác định điểm cơ sở: các điểm ít phụ thuộc nhất vào các phép biến đổi như xoay, thu phóng, thay đổi độ sáng; là các điểm cực trị trong không gian tỉ lệ L(x, y, σ);

xác định cặp điểm tương ứng giữa hai ảnh bằng thuật toán Brute-Force Matcher: so sánh các điểm cơ sở của hai ảnh liền kề để tìm được cặp điểm cơ sở giống nhau nhất thông qua việc so sánh véc-tơ thông tin mô tả điểm cơ sở;

xác định ma trận cơ sở (E): xuất phát từ các cặp điểm cơ sở giữa hai ảnh, xác định ma trận tọa độ C và ma trận quay R của camera thỏa mãn: $m_2^T.E.m_1 = 0$, trong đó: m_1, m_2 là tọa độ các cặp điểm cơ sở tương ứng giữa hai ảnh;

tính tọa độ điểm ba chiều từ các cặp điểm cơ sở tương ứng bằng cách kết hợp quỹ đạo của máy bay không người lái đã được xác định trước với mối quan hệ vị trí và góc quay của camera giữa hai ảnh;

chọn ảnh tham chiếu tính chiều sâu: tính toán chiều sâu của ảnh để làm dày số điểm trong đám mây điểm cơ sở; ảnh được chọn phải thỏa mản: $5^o < \varphi_{i,j} < 60^o$; $d_{i,j} > 2\bar{d}$; $d_{i,j} < 0.05\bar{d}$;

tính toán chiều sâu ảnh;

tinh chỉnh ảnh độ sâu: dùng phép chiếu ngược điểm ảnh p trong không ảnh i vào không gian ba chiều xác định được điểm X; sau đó, chiếu ngược điểm X trong không gian ba chiều vào các không ảnh lân cận; khi đó, độ sâu của điểm ảnh chiếu được so sánh

với độ sâu của điểm ảnh trong ảnh gốc (trong bước tính toán chiều sâu ảnh); nếu hai giá trị độ sâu có sai lệch lớn hơn giá trị giới hạn (0.01), điểm X được coi là không tin cậy và bị loại bỏ; ngược lại, điểm X được coi là tin cậy và được sử dụng là điểm có độ sâu ảnh chuẩn;

khớp ảnh độ sâu: mỗi điểm ảnh trong ảnh độ sâu C_i được chiếu vào không gian ba chiều được điểm X; điểm X được chiếu ngược lại vào các ảnh độ sâu của các điểm lân cận; nếu độ sâu của X trong C_i nhỏ hơn độ sâu của X trong các ảnh độ sâu C_j lân cận thì X trong C_i che khuất X trong các C_j lân cận; khi đó, điểm ảnh độ sâu của X trong các ảnh lân cận xị xóa bỏ.

4. Phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh theo một trong số các điểm 1 – 3, trong đó: việc xác định điểm cơ sở trong bước dựng đám mây địa hình được thực hiện:

xác định điểm cực trị trong không gian tỉ lệ L(x, y, σ) – là một ảnh được làm mờ bằng việc nhân chập ảnh gốc I(x, y) với bộ lọc Gaussian G(x, y, σ): $L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y)$;

sai phân hai không gian tỉ lệ D(x, y, σ) sai khác nhau một hệ số k được tính toán: $D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y)$;

cách xác định điểm cực trị được thực hiện bằng cách so sánh mỗi điểm trong lớp D(x, y, σ) với 8 điểm lân cận và 18 điểm lân cận của hai lớp liền kề; nếu điểm này là cực trị trong 26 điểm so sánh thì được coi là một điểm cơ sở.

5. Phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh theo một trong số các điểm 1- 4, trong đó quy trình tạo lưới tam giác bề mặt miền tính toán thuộc bước rời rạc miền tính toán được thực hiện: nhập dữ liệu đám mây điểm dạng bảng danh sách các điểm; tìm kiếm tam giác hạt; phát triển lưới; kiểm tra hình học; tối ưu hóa lưới.

6. Phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh theo một trong số các điểm 1- 5, trong đó quy trình tạo

lưới tứ diện thể tích thuộc bước rời rạc miền tính toán được thực hiện: nhập dữ liệu lưới bề mặt; xác định tứ diện hạt; phát triển lưới; kiểm tra chất lượng; hiệu chỉnh lưới.

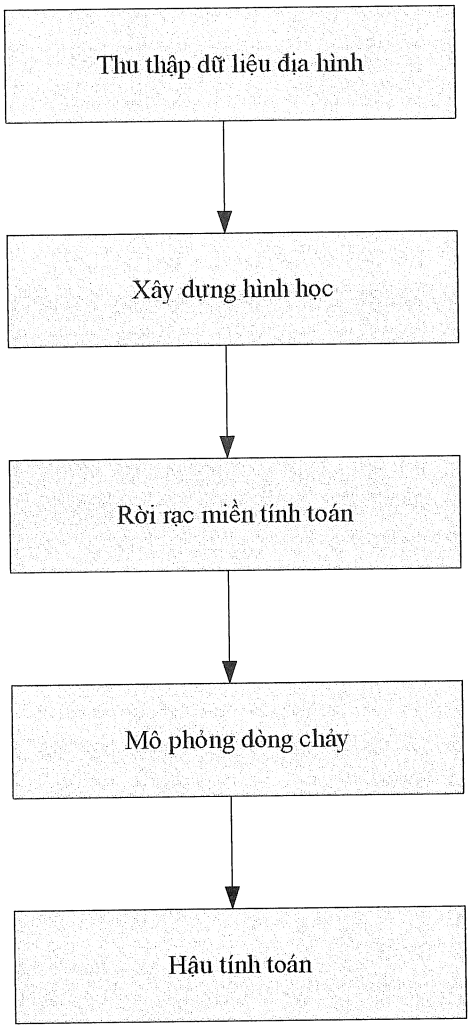
7. Phương pháp phân tích dòng chảy chất lưu qua địa hình phức tạp sử dụng phần tử rời rạc dạng tứ diện và không ảnh theo một trong số các điểm 1- 6, trong đó tính toán mô phỏng dòng chảy được thực hiện theo ba bước chính sau đây:

tiền xử lý: xác định các thông tin cơ bản về dòng chảy: loại dòng chảy là tầng hay rối, dừng hay không dừng, hệ phương trình chủ đạo mô tả chuyển động của dòng chảy chất lưu, thiết lập các điều kiện đầu và điều kiện biên cho trường vận tốc, áp suất, nhiệt độ, nồng độ chất thải;

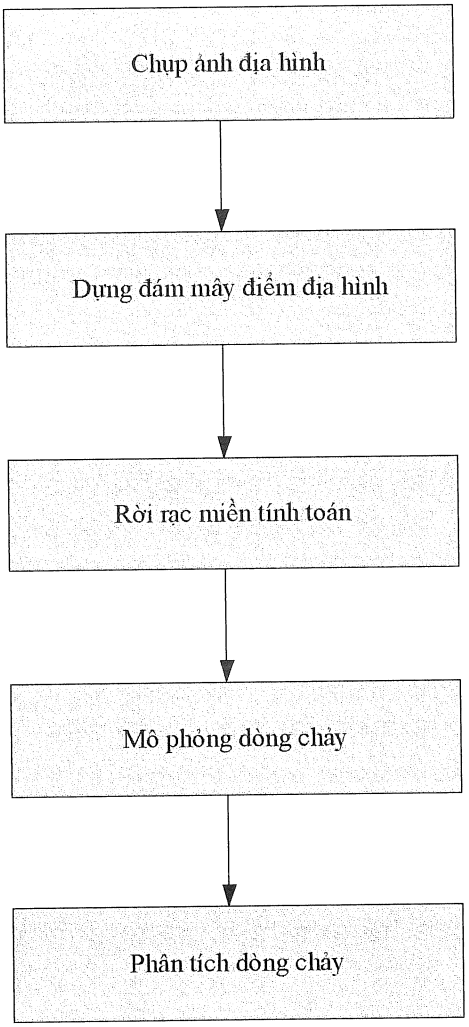
tính toán vòng lặp: lựa chọn phương pháp mô phỏng và lựa chọn các phương pháp số, điều kiện hội tụ hoặc số vòng lặp cần thiết tương ứng;

kiểm soát kết quả: sử dụng sai khác kết quả giữa hai vòng lặp tính toán liên tiếp để đánh giá mức độ hội tụ nghiệm của tính toán vòng lặp; nếu giá trị sai khác nhỏ hơn giá trị tới hạn (0.00001), kết quả được coi là đáp ứng yêu cầu và dữ liệu đầu ra là các dữ liệu số thể hiện giá trị các tham số dòng chảy chất lưu được sử dụng trong bước phân tích dòng chảy.

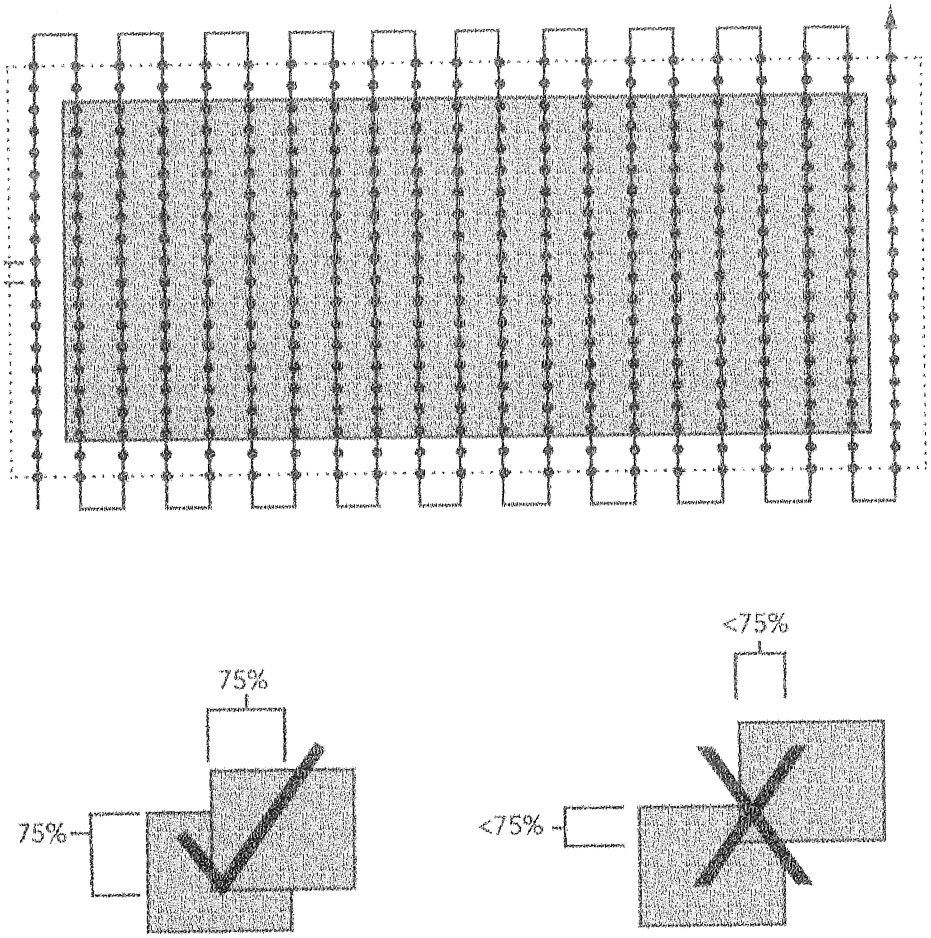
Hình vẽ



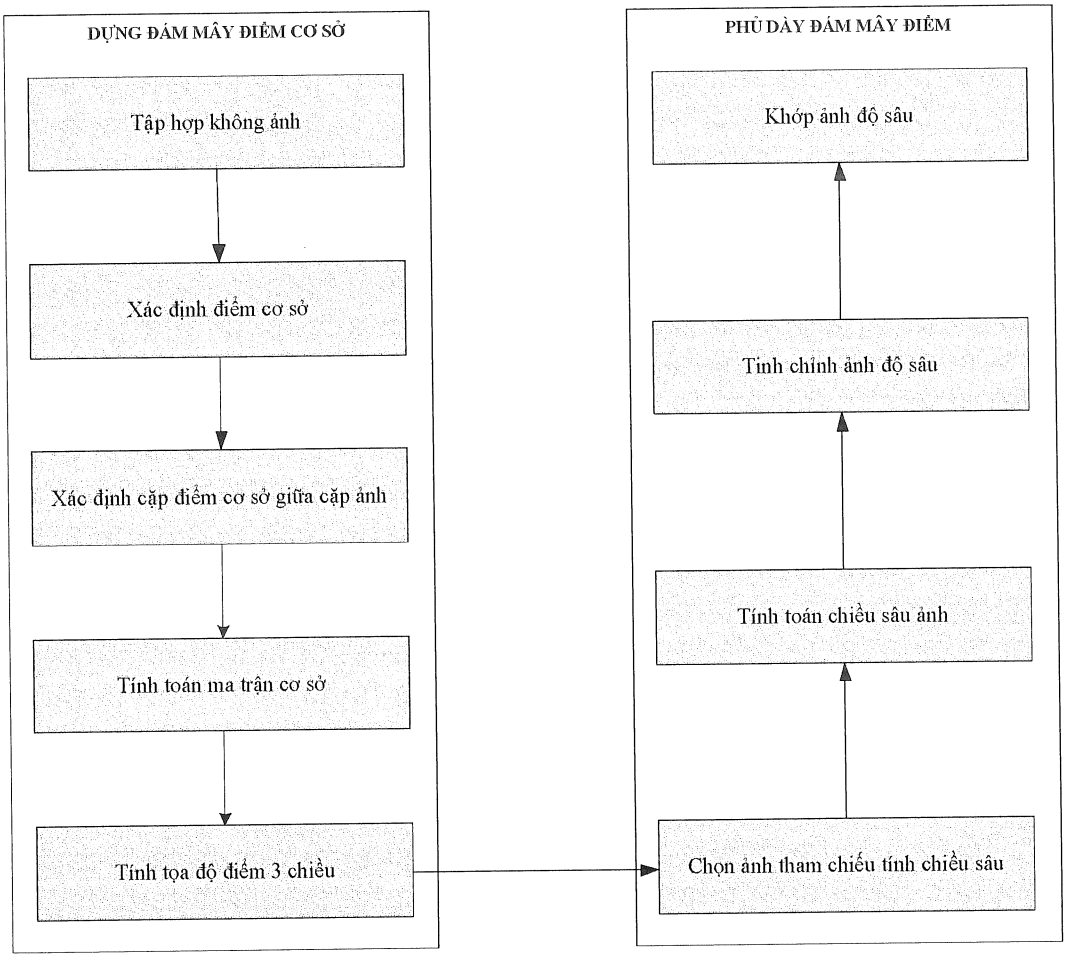
Hình 1


Chụp ảnh địa hình
Dựng đám mây điểm địa hình
Rời rạc miền tính toán
Mô phỏng dòng chảy
Phân tích dòng chảy

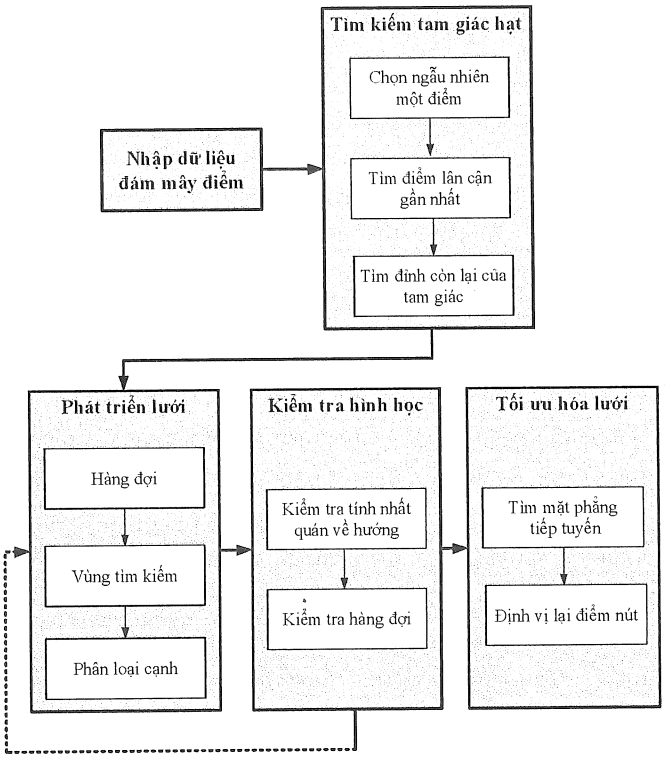
Hình 2



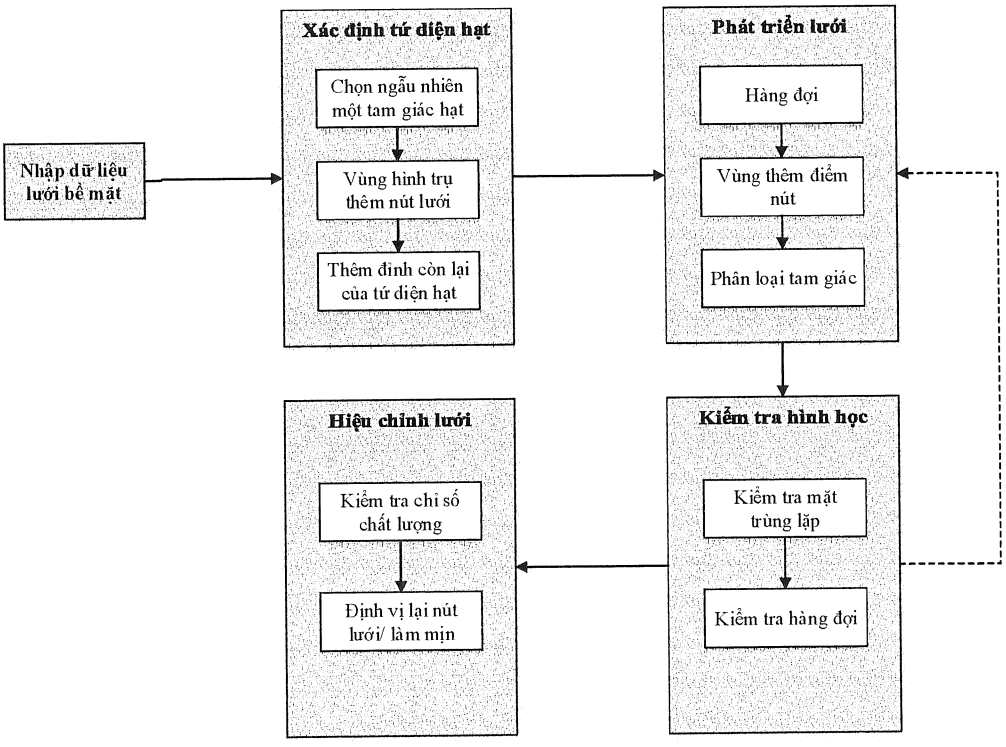
Hình 3


DỰNG ĐÁM MÂY ĐIỂM CƠ SỞ
Tập hợp không ảnh
Xác định điểm cơ sở
Xác định cặp điểm cơ sở giữa cặp ảnh
Tính toán ma trận cơ sở
Tính tọa độ điểm 3 chiều
PHỦ DÀY ĐÁM MÂY ĐIỂM
Khớp ảnh độ sâu
Tinh chỉnh ảnh độ sâu
Tính toán chiều sâu ảnh
Chọn ảnh tham chiếu tính chiều sâu

Hình 4


Nhập dữ liệu đám mây điểm
Tìm kiếm tam giác hạt
Chọn ngẫu nhiên một điểm
Tìm điểm lân cận gần nhất
Tìm đỉnh còn lại của tam giác
Phát triển lưới
Hàng đợi
Vùng tìm kiếm
Phân loại cạnh
Kiểm tra hình học
Kiểm tra tính nhất quán về hướng
Kiểm tra hàng đợi
Tối ưu hóa lưới
Tìm mặt phẳng tiếp tuyến
Định vị lại điểm nút

Hình 5


Nhập dữ liệu lưới bề mặt
Xác định tứ diện hạt
Chọn ngẫu nhiên một tam giác hạt
Vùng hình trụ thêm nút lưới
Thêm đỉnh còn lại của tứ diện hạt
Phát triển lưới
Hàng đợi
Vùng thêm điểm nút
Phân loại tam giác
Kiểm tra hình học
Kiểm tra mặt trùng lặp
Kiểm tra hàng đợi
Hiệu chỉnh lưới
Kiểm tra chỉ số chất lượng
Định vị lại nút lưới/ làm mịn

Hình 6