

XÁC ĐỊNH KÍCH THƯỚC VẾT NỨT TRÊN MẶT ĐƯỜNG BÊ TÔNG NHỰA TỪ ẢNH 2D

DETERMINATION OF SIZE OF CRACKING ON ASPHALTIC PAVEMENT SURFACE BASED ON 2D IMAGES

TS. Lê Anh Thắng, Ks. Nguyễn Hải Dương.

TÓM TẮT

Mô hình ước lượng chiều dài và bề rộng vết nứt đơn trên mặt đường bê tông nhựa dựa vào ảnh hai chiều được đề xuất. Ảnh chứa vết nứt có thể được trích lọc từ đoạn video thu hình hiện trạng bề mặt của một tuyến đường hiện hữu. Hình ảnh lấy được từ Quốc lộ 57 đã được dùng để kiểm chứng mô hình. Kết quả so sánh, giữa trị thực đo và ước lượng, cho thấy tính khả thi của mô hình đề xuất.

ABSTRACT

A model estimates the length and width of cracking on asphalt pavement surface based on two-dimensional image was proposed. Images of cracking can be extracted from video recording the current state of the road surface. Images taken from Highway No. 57 has been used to verify the model. Results comparisons between measured and estimated values showed the feasibility of the proposed model.

TS. Lê Anh Thắng

Giảng viên, Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng & CHƯD, Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp.HCM
Email: leanhthang@gmail.com
Điện thoại: 0938308076

Ks. Nguyễn Hải Dương

Học viên cao học, Khoa kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại Học Bách Khoa – Đại Học Quốc Gia Tp.HCM
Email: haiduongdj@gmail.com
Điện thoại: 0904500078

1. Giới thiệu

Sự tăng trưởng nhanh của nền kinh tế trong những năm gần đây đã kéo theo sự tăng nhanh về lưu lượng và tải trọng trên hệ thống đường ô-tô. Điều này cũng kéo theo sự xuất hiện của nhiều dạng hư hỏng trên bề mặt đường.

Để đảm bảo mặt đường luôn trong điều kiện hoạt động tốt nhất, việc bảo dưỡng và sửa chữa kết cấu mặt đường là việc phải thực hiện thường xuyên và định kỳ. Nó chiếm một phần khá lớn trong tổng chi ngân sách hàng năm phục vụ cho phát triển hạ tầng giao thông. Xây dựng phương pháp đánh giá hư hỏng mặt đường, dựa trên công nghệ hiện đại, là công việc được đặt ra cho các nhà nghiên cứu trong nước.

Một trong những dạng hư hỏng phổ biến của bê tông nhựa là nứt. Nếu không được sửa chữa sớm, các vết nứt sẽ nhanh chóng phát triển xuyên qua toàn bộ chiều dày của bê tông nhựa. Khi vết nứt đã xuyên qua toàn bộ lớp bê tông nhựa, nước mưa sẽ dễ dàng len lỏi qua các khe nứt để xuống các lớp kết cấu bên dưới, làm giảm yếu các lớp kết cấu này. Khi đó, kết cấu áo đường sẽ bị xuống cấp nhanh chóng.

Hiện nay ở Việt Nam việc đánh giá vết nứt mặt đường chủ yếu dựa vào kinh nghiệm và cảm tính của người khảo sát. Thông thường, người ta kiểm tra mặt đường bằng mắt và đánh giá dựa trên kinh nghiệm. Phương pháp này bộc lộ một số nhược điểm sau:

- Nó rất nguy hiểm, vì người khảo sát phải nhìn vết nứt trên đường trong khi xe cộ vẫn lưu thông
- Mất nhiều thời gian để xem xét và đánh giá mặt đường
- Công việc này tốn chi phí cao vì cần cả nhân công và kỹ sư có kinh nghiệm
- Vẫn còn sự khác biệt lớn giữa thực tế và kết quả đánh giá, bởi vì rất khó hạn chế được tính chủ quan trong quá trình đánh giá

Từ những lý do trên, cách xác định kích thước vết nứt trên các tuyến đường đang khai thác cần được đề xuất. Phương pháp đề xuất cần phải đảm bảo được các yếu tố như an toàn, khách quan, và khả thi.

Phương pháp xử lý ảnh chụp hai chiều để xác định chiều dài và bề rộng miệng khe nứt sẽ là nội dung chính của bài báo. Bởi vì, phương pháp này có thể đáp ứng được hầu hết các yêu cầu kể trên.

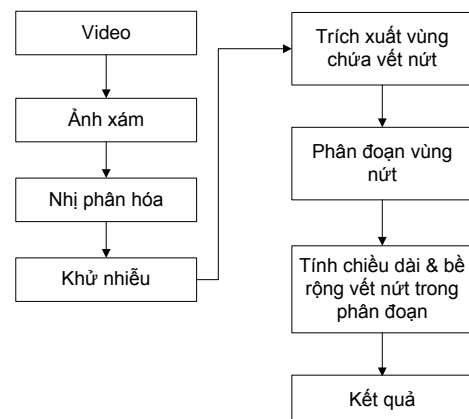
2. Thu thập ảnh

Camera được đặt vuông góc so với mặt đường, khoảng cách từ camera đến mặt đường là 1.35m. Các thông số này được giữ cố định trong suốt quá trình quay video. Sau đó dùng chương trình xuất video qua ảnh, ta có được ảnh hai chiều (2D) kích thước 864x720. Độ phân giải của ảnh theo chiều ngang và chiều dọc đều là 72dpi.

Ảnh các vết nứt được thu thập trên Quốc lộ 57, tuyến đường nối liền hai tỉnh Vĩnh Long và Bến Tre. Vận tốc di chuyển để lấy ảnh bằng vận tốc người đi bộ bình thường. Những hình ảnh thu thập được trên tuyến đường này sẽ được dùng để kiểm chứng cho mô hình xử lý ảnh được trình bày dưới đây.

3. Mô hình xác định kích thước vết nứt từ ảnh hai chiều

Việc chọn lựa các bước xử lý và thứ tự của các bước xử lý ảnh sẽ phụ thuộc vào từng dạng bài toán cụ thể. Người ta thường căn cứ vào đặc điểm cụ thể của từng lớp bài toán để đưa ra giải pháp. Phương pháp xác định chiều dài và bề rộng miệng vết nứt trên bề mặt đường nhựa được trình bày tóm tắt bằng lưu đồ dưới đây, Hình 1.



Hình 1 Sơ đồ nguyên lý chung để xác định chiều dài và bề rộng vết nứt từ ảnh chụp của chúng.

Chiều mũi tên thể hiện trình tự thực hiện của các bước xử lý. Nội dung thực hiện của các bước chính được trình bày ở các mục tiếp theo.

Vì tính phức tạp và đa dạng của các vết nứt trên mặt đường, bài báo chỉ tập trung vào một dạng nứt duy nhất. Đó là dạng nứt đơn nằm trọn vẹn trong một khung ảnh. Lưu ý rằng, nếu ghép nhiều khung ảnh với nhau, ta sẽ có được ảnh trọn vẹn của dạng nứt này. Nứt đơn là dạng nứt có thể gặp ở hầu hết các tuyến đường. Vết nứt loại này có thể nằm dọc theo trục đường, cũng có thể chạy ngang hoặc xiên so với trục đường.

3.1 Nhị phân hóa kết hợp k-Nearest Neighbours

Nhị phân hóa [1] được sử dụng để tách các đối tượng quan tâm ra khỏi ảnh nền của nó. Sự phân tách này dựa trên sự khác biệt về giá trị mức xám giữa những điểm ảnh thuộc đối tượng quan tâm và mức xám của các điểm ảnh nền.

Cho một ảnh I, sau khi nhị phân hóa với ngưỡng k ta có:

$$I'(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } I(x,y) \leq \text{trị ngưỡng} \\ 0 & \text{nếu } I(x,y) > \text{trị ngưỡng} \end{cases} \quad (1)$$

Phương pháp k-Nearest Neighbours (kNN) [2] được sử dụng, kết hợp, để phân ngưỡng. Đây là phương pháp sử dụng mức xám của các điểm lân cận để quyết định về sự phân ngưỡng tại điểm đang xét. Cho $P = (x,y)$ là tọa độ điểm ảnh đang xét trong ảnh xám I. Ta xét các điểm ảnh lân cận của P theo tám hướng, các điểm ảnh thuộc ô vuông có tâm là P và cạnh là k ($k=7$). Ô vuông này còn được gọi là mặt nạ vuông.

Giả sử ta có $M_{k \times k} = \{m_{ij}\}_{1 \leq i,j \leq k}$ là ma trận biểu diễn vùng ảnh trong mặt nạ vuông với tâm là điểm $P(x, y)$. Ta sẽ thực hiện phân ngưỡng nhị phân với ngưỡng t_b cho các điểm nằm trong mặt nạ, chưa xét đến tâm P.

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{nếu } m_{ij} \geq t_b \\ 0 & \text{nếu } m_{ij} < t_b \end{cases} \quad (2)$$

Việc phân ngưỡng cũng giống như phân loại các điểm dữ liệu vào hai lớp với mức xám 0 và 1. Tâm P sẽ nhận mức xám 0 hay 1 dựa vào sự phân ngưỡng của các điểm lân cận.

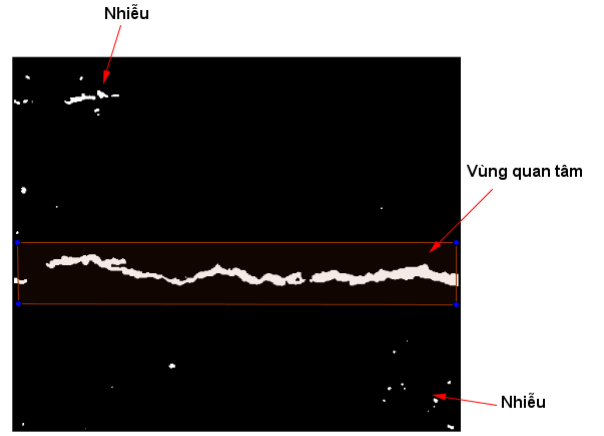
$$S = \frac{1}{k^2 - 1} \sum_{\substack{i=1, i \neq x \\ j=1, j \neq y}}^k m_{ij} \quad (3)$$

Ta có:

$$P(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } S \leq T \\ 0 & \text{ngược lại} \end{cases} \quad (4)$$

3.2 Khử nhiễu

Sau khi chuyển ảnh độ xám về ảnh nhị phân, ảnh có được sẽ xuất hiện nhiều nhiễu. Nhiễu là do màu sắc không đồng đều của bề mặt đường, hoặc là do có các hạt cát, sỏi nhỏ tạo nên. Các nhiễu này thường là nhiễu muối tiêu, nhưng đôi khi cũng có những mảng nhiễu lớn do nhiễu yếu tố khác nhau.



Hình 2 Thu thập ảnh vết nứt

Nếu loại bỏ được những vùng nhiễu có diện tích nhỏ, ta sẽ có được ảnh của vết nứt, ở vùng cần quan tâm, Hình 2. Phân ngưỡng theo diện tích được sử dụng để loại bỏ vùng nhiễu. Trước đó, các vùng liên thông trên ảnh cần được xác lập và gán nhãn để tránh loại bỏ nhầm ảnh vết nứt ở trong vùng quan tâm.

Để tìm được các vùng liên thông trong ảnh, ta thực hiện đánh dấu các vùng liên thông bằng một nhãn số có thứ tự tăng dần cho đến khi các vùng liên thông có mức xám bằng 1, vùng màu trắng, được đánh dấu hết [3].

Vùng nhiễu là các vùng liên thông, có mức xám là 1, và có diện tích nhỏ hơn ngưỡng T_{rn} . Các điểm trong vùng nhiễu sẽ được khử bằng cách đưa về giá trị 0 (vùng màu đen). Đặt $P = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_m\}$ là tập các vùng liên thông màu trắng trong hình. Phép biến đổi khử nhiễu R được thể hiện ở biểu thức sau:

$$R(C_i) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } S(C_i) < T_{rn} \\ \text{giữ nguyên} & \text{nếu } S(C_i) \geq T_{rn} \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó, $S(C_i)$ là diện tích của vùng liên thông C_i .

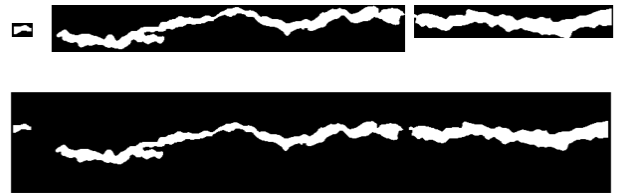
3.3 Trích xuất vùng chứa vết nứt

Hầu hết nhiễu đã được loại bỏ ở bước khử nhiễu. Tuy nhiên, nhiễu có thể vẫn còn tồn tại. Để tránh bị ảnh hưởng bởi nhiễu, vùng bao chứa vết nứt, như minh họa ở Hình 3, được tìm từ tâm vùng liên thông.

Giả sử $D = \{X_i | X_i = (x_i, y_i), i = \overline{1, n}\}$ là tập hợp các điểm ảnh thuộc vùng liên thông có diện tích lớn nhất. Tọa độ tâm O của một vùng liên thông được xác định bằng biểu thức:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \\ y_0 = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \end{cases} \quad (6)$$

Từ tâm của vùng liên thông, ta quét theo bốn phía để tìm hình chữ nhật bao vết nứt, sau đó tách thành ảnh mới theo hình chữ nhật bao, Hình 3.



Hình 3 Các vết nứt ngắt quãng được tách ra từ vùng vết nứt.

Để xác định vị hình chữ nhật bao trên ảnh, ta cần bốn thông số tọa độ là **Top, Bot, Left, Right**. Với kích thước ảnh là **MxN**, các thông số này được xác định theo biểu thức sau:

$$\text{Top} = \max\{i \mid i = \overline{1, y_o}, \sum_{j=i}^{i+\alpha} \sum_{k=1}^N I(j, k) = 0\} \geq 1 \quad (7)$$

$$\text{Bot} = \min\{i \mid i = \overline{y_o, M}, \sum_{j=i-\alpha}^i \sum_{k=1}^N I(j, k) = 0\} \leq M \quad (8)$$

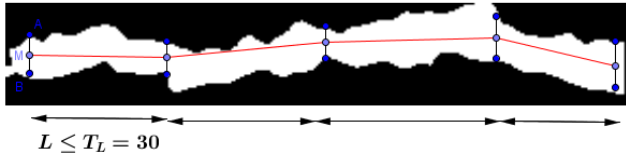
$$\text{Left} = \max\{i \mid i = \overline{1, x_o}, \sum_{j=i}^{i+\alpha} \sum_{k=1}^M I(k, j) = 0\} \geq 1 \quad (9)$$

$$\text{Right} = \min\{i \mid i = \overline{x_o, N}, \sum_{j=i-\alpha}^i \sum_{k=1}^M I(k, j) = 0\} \leq N \quad (10)$$

Trong biểu thức trên, hệ số α giúp lấy được những vùng nứt bị đứt quãng. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, hệ số này chấp nhận cả các vùng nhiễu.

3.4 Tính chiều dài vết nứt

Chiều dài của vết nứt được tính bằng cách xây dựng đường trực chạy dọc theo vết nứt. Vết nứt được chia thành nhiều phân đoạn nhỏ sao cho mỗi phân đoạn có chiều dài (tính bằng điểm ảnh) nhỏ hơn một ngưỡng T_L cho trước. Đường trực là đường nối trung điểm M của các mặt cắt ngang vết nứt, như minh họa ở Hình 4.



Hình 4 Phân đoạn của vết nứt ngang với $T_L=30$.

Gọi $\{M_i\}_{i=\overline{1, m}}$ là tập hợp các trung điểm, ta có thể xấp xỉ chiều dài của đoạn nứt thứ j bằng khoảng cách của các đường nối tâm.

$$L_j = \sum_{i=1}^{m-1} M_{i-1}M_i \quad (11)$$

$$M_{i-1}M_i = \sqrt{(x_{M_{i-1}} - x_{M_i})^2 + (y_{M_{i-1}} - y_{M_i})^2} \quad (12)$$

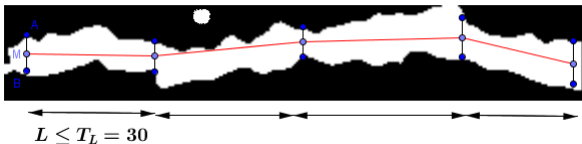
Sau khi tính được chiều dài của các phân đoạn vết nứt trong hình, tổng chiều dài của các phân đoạn vết nứt chính là chiều dài của vết nứt.

$$L = \sum_{j=1}^d L_j \quad (13)$$

Nếu tỉ lệ giữa kích thước thực đo và kích thước điểm ảnh là $16\text{pixels} = 1\text{centimet}$, thì kích thước thật của vết nứt là:

$$L_{\text{real}} = \frac{L}{16} (\text{cm}). \quad (14)$$

Hình 5 thể hiện ảnh hưởng của nhiễu khi xác định đường nối tâm của vết nứt. Hình 5a thể hiện nhiễu không gây ảnh hưởng đến quá việc tìm đường trực của vết nứt. Hình 5b thể hiện trường hợp nhiễu đã gây ảnh hưởng đến quá việc tìm đường trực của vết nứt.



(a)



(b)

Hình 5 Nhiễu gây ảnh hưởng đến quá việc tìm đường nối tâm.

Thông số ngưỡng chiều dài T_w cần được thiết lập để loại bỏ ảnh hưởng của nhiễu. Thông số này được thiết lập sao cho không làm mất đi thông tin của vết nứt.

$$\begin{cases} d = |AB| > T_w \rightarrow \text{Bỏ qua đường chia} \\ d = |AB| \leq T_w \rightarrow \text{Chấp nhận đường chia} \end{cases} \quad (15)$$

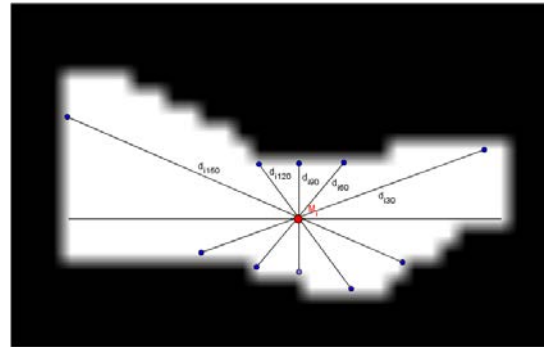
3.6 Tính bề rộng của vết nứt

Bề rộng của vết nứt tại một điểm đang xét được định nghĩa là tổng các điểm ảnh có phương vuông góc với hướng đi của vết nứt tại điểm đó.

Tương tự như việc tính chiều dài vết nứt, ta sẽ tính bề rộng của các vết nứt ở từng phân đoạn $\{W_i\}_{i=\overline{1, d}}$ và sau đó ước lượng bề rộng vết nứt bằng cách lấy giá trị trung bình của bề rộng của các phân đoạn vết nứt.

$$W = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d W_i \quad (16)$$

Sử dụng các trung điểm, đã xác định ở bước tìm đường trực của vết nứt $\{M_i\}_{i=\overline{1, m}}$, để xác định bề rộng. Bề rộng của vết nứt tại vị trí M_i được ước lượng theo 5 hướng khác nhau như Hình 6. Góc hợp bởi hướng ước lượng bề rộng và trục hoành lần lượt nhận các giá trị là $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$, và 150° . Hệ trục tọa độ có tâm là M_i .



Hình 6 Phương pháp tính bề rộng tại một điểm.

Gọi $\{d_{i30}, d_{i60}, d_{i90}, d_{i120}, d_{i150}\}$ là các giá trị bề rộng ước lượng được theo các hướng. Bề rộng thực của vết nứt được giả định bằng giá trị nhỏ nhất trong các bề rộng tìm được:

$$d_{M_i} = \min\{d_{i30}, d_{i60}, d_{i90}, d_{i120}, d_{i150}\} \quad (17)$$

Giá trị trung bình bề rộng vết nứt từ m trung điểm là:

$$W_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m d_{M_j} \quad (18)$$

Và của d phân đoạn là:

$$W = \frac{1}{m \cdot d} \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^m d_{M_j} \quad (19)$$

Kích thước bề rộng vết nứt, sau khi xét đến tỷ lệ giữa kích thước thực đo và kích thước điểm ảnh, là:

$$W_{\text{real}} = \frac{10}{16 \cdot m \cdot d} \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^m d_{M_j} (\text{milimet}) \quad (20)$$

4. Kết quả kiểm chứng

Hình 7 thể hiện kết quả khảo sát các hình chụp chứa vết nứt lấy được từ mặt đường Quốc lộ 57. Ảnh vết nứt lấy từ camera nằm ở bên trái, tương ứng bên phải là các giá trị đo đạc và ước lượng. Các giá trị này được tính bằng đơn vị mm. Các thông số sử dụng bao gồm $t_b = 150$, $T = 0,6$, $T_{rn} = 50$, $\alpha = 60$, và $T_w = 40$. Các thông số này phụ thuộc vào nhiều yếu tố khách quan, và thường được xác định căn cứ vào các ảnh định chuẩn trong một lượt khảo sát.



(a)

- Chiều dài: thực tế là 585,6; ước lượng là 553,7; sai số 5,4%.

- Bề rộng: thực tế là 8,6; ước lượng là 8,5; sai số 1,6%.



(b)

- Chiều dài: thực tế là 550,7; ước lượng là 518,1; sai số 5,9%.

- Bề rộng: thực tế là 8,4; ước lượng là 8,4; sai số 0,4%.



(c)

- Chiều dài: thực tế là 544,0; ước lượng là 517,5; sai số 4,9%.

- Bề rộng: thực tế là 7,6; ước lượng là 7,8; sai số 1,6%.



(d)

- Chiều dài: thực tế là 470,5; ước lượng là 487,5; sai số 3,6%.

- Bề rộng: thực tế là 3,9; ước lượng là 3,8; sai số 2,8%.



(e)

Hình 7 Kết quả khảo sát nứt trên mặt đường Quốc lộ 57.

Căn cứ vào kết quả khảo sát ở Hình 7, ta thấy chiều dài của vết nứt có thể được xác định với mức độ chính xác đến 3,2% (Hình 7e). Mặt khác, bề rộng vết nứt có thể được xác định với độ chính xác đến 0,4% (Hình 7b). Các trường hợp còn lại, sai số có được cũng tương đối bé. Kết quả này cho thấy mô hình xử lý ảnh đề xuất là khá tốt. Mô hình này có thể áp dụng được vào thực tế.

5. Kết luận

Kiểm tra và xác định hư hỏng trên đường khi có các phương tiện đang lưu thông là một việc làm cực kỳ nguy hiểm, tốn nhiều công sức. Chúng ta cần một giải pháp an toàn, khách quan, giúp cho các nhà quản lý thực hiện công việc của mình dễ dàng hơn. Bài báo đã trình bày một mô hình để có thể xác định chiều dài và bề rộng vết nứt đơn dựa trên ảnh hai chiều của nó.

Ảnh chụp thực tế từ Quốc lộ 57 được dùng để kiểm nghiệm mô hình. Căn cứ vào kết quả khảo sát, sai số giữa giá trị đo chiều dài vết nứt và giá trị ước lượng của nó không vượt quá 6%. Trong khi đó, bề rộng vết nứt có thể đạt giá trị sai số tốt hơn nhiều, 0,4%.

Các thông số cần cho mô hình chưa được xác định tự động, điều này đòi hỏi cần phải tiếp tục nghiên cứu để có giải pháp tiện lợi hơn.

Tài liệu tham khảo

1. Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods (2009), *Digital Image Processing*, Pearson Education India, 595p – 612p.
2. Richard O.Duda, Peter E.Hart, and David G.Stock (1997), *Pattern Classification*, 2nd, Chapter 8, 189p.
3. Nosal, and Eva-Marie (2008), *Flood-fill algorithms used for passive acoustic detection and tracking*, *New Trends for Environmental Monitoring Using Passive Systems*, IEEE.