

บทที่ 3

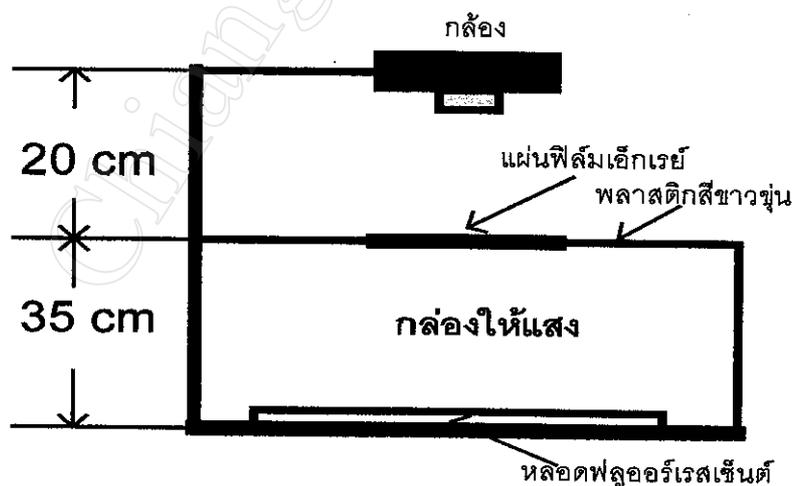
การออกแบบสร้างโปรแกรม

การออกแบบสร้างโปรแกรม สำหรับการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มเอ็กซ์เรย์เพื่อตรวจหารอยฟันผุโดยใช้วิธีแบบที่ปรับรูปได้ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 3.1 การจัดเตรียมข้อมูลภาพของฟิล์มเอ็กซ์เรย์
- 3.2 การหาตำแหน่งของฟัน
- 3.3 การหาตำแหน่งรอยฟันผุ
- 3.4 การวิเคราะห์หรือรอยฟันผุ

3.1 การจัดเตรียมข้อมูลภาพของฟิล์มเอ็กซ์เรย์

ในการจัดเก็บข้อมูลภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้ใช้กล้องดิจิตอลที่มีความละเอียด 640x480 พิกเซล เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว ภาพที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิตอลสามารถที่จะต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่มีมากับกล้อง และภาพที่ได้มีความละเอียดมากพอที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ การจัดอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อถ่ายภาพแสดงดังรูปที่ 3.1 ภาพถ่ายของฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอลแสดงดังรูปที่ 3.2



รูป 3.1 การติดตั้งกล้องและอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ

กล่องให้แสงเป็นกล่องที่ด้านข้างปิดทึบทั้งหมด ด้านบนเป็นแผ่นพลาสติกสีขาวขุ่น ทำหน้าที่กรองแสงไม่ให้จ้าเกินไป และกระจายแสงให้สม่ำเสมอ ข้างในประกอบด้วย หลอดฟลูออโรเรสเซนต์ ขนาด 32 วัตต์ 1 หลอด

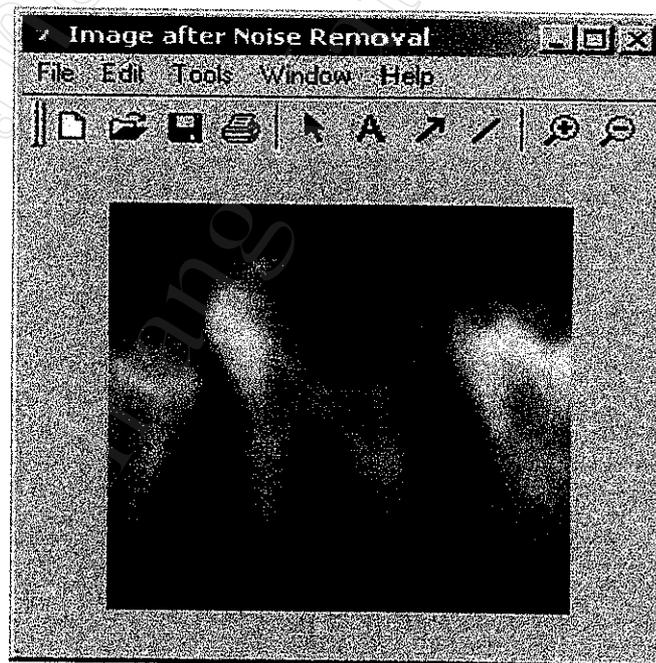


รูป 3.2 ภาพถ่ายของฟิล์มเอ็กซ์เรย์

เมื่อถ่ายภาพเสร็จแล้ว นำภาพที่ได้ส่งเข้าไปเก็บที่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเก็บเป็นภาพบิตแมพ (Bitmap) สีเทา 256 ระดับ จากนั้นนำภาพที่ได้มาลดขนาดลงเหลือขนาด 200x200 พิกเซล เพื่อลดเวลาในการประมวลผล ซึ่งจากการทดสอบ ขนาดภาพที่ลดลงจะทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น ขนาดภาพที่ลดลงนี้รายละเอียดของภาพยังมีเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ถ้าลดขนาดของภาพให้เล็กลงมากกว่านี้จะทำให้รายละเอียดของภาพบางส่วนหายไป เนื่องจากภาพที่ได้มาจะมีสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งเป็นภาพที่ไม่เรียบและไม่คมชัด ดังนั้นจึงต้องทำการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ Real space smoothing method ดังรายละเอียดที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.2.1 เพื่อให้ได้ภาพที่เรียบและคมชัดขึ้น ภาพก่อนและหลังการกำจัดสัญญาณรบกวน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



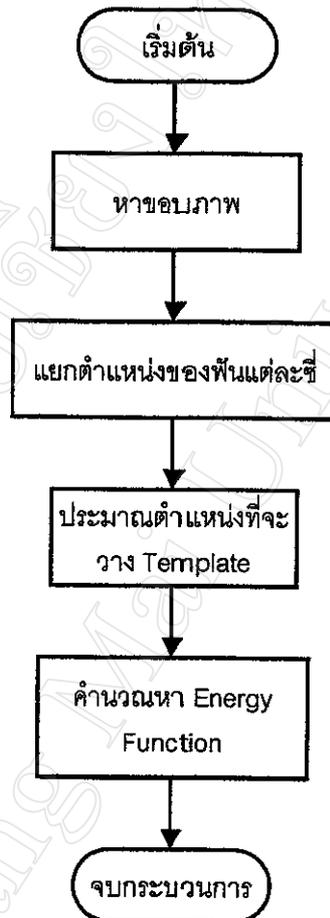
รูป 3.3 ภาพก่อนการกำจัดสัญญาณรบกวน



รูป 3.4 ภาพหลังการกำจัดสัญญาณรบกวน

3.2 การหาตำแหน่งของพื้น

ภาพที่ได้จากการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว ต่อไปจะนำภาพนั้นมาหาตำแหน่งของพื้นที่ต้องการซึ่งกระบวนการหาตำแหน่งของพื้น แสดงในรูปที่ 3.5

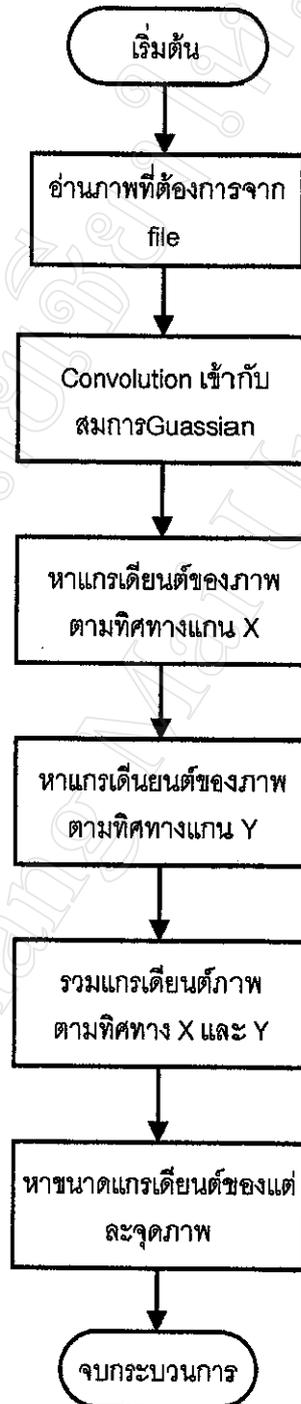


รูป 3.5 ผังงานแสดงกระบวนการหาตำแหน่งของพื้น

3.2.1 การหาขอบภาพ

ในขั้นตอนการหาขอบภาพนี้ เป็นขั้นตอนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่จะทำให้การหาตำแหน่งของพื้นที่แน่นอนสำเร็จหรือไม่ นั่นคือ ขอบภาพที่ใช้หาเป็นขอบที่ต่อเนื่องกันตลอดหรือไม่ ถ้าขอบภาพที่ได้ไม่ต่อเนื่องกันตลอด ก็จะต้องมีขอบที่ขาดหายไปไม่เกิน 5 พิกเซล เนื่องจากขอบภาพที่ขาดหายไป มีผลต่อการคำนวณค่า Energy Function เพราะว่าการคำนวณ Energy Function นั้น จะต้องนำขนาดและทิศทางของขอบภาพ ทุกจุดภาพมาใช้ในการคำนวณ เทียบกับ

ขนาดและทิศทางของ Template ซึ่ง Template ของเรานั้นเป็นรูปปิด นั้นหมายความว่า Template นั้นมีขอบที่ต่อเนื่องกันตลอด ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7 ซึ่งแผนภาพการหาขอบภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูป 3.6 ผังงานแสดงการหาขอบภาพ

ในการอ่านภาพออกมา จะนำภาพที่อ่านออกมาเก็บในตัวแปร ซึ่งตัวแปรนี้จะเป็นลักษณะของเมตริกซ์ที่มีขนาด 200x200 พิกเซล โดยที่องค์ประกอบของเมตริกซ์แต่ละตัว ก็คือค่าระดับสีของภาพที่จุดนั้นๆ นั่นเอง ภาพที่อ่านออกมาจะถูกนำไปทำการ Convolution กับสมการ Gaussian ต่อไป

ในการ Convolution นั้น ค่าของพิกเซลเอาต์พุต หาได้จากการคูณองค์ประกอบของเมตริกซ์ 2 เมตริกซ์ แล้วรวมผลลัพธ์ที่ได้จากการคูณ โดยที่เมตริกซ์หนึ่งแทนภาพ ส่วนอีกเมตริกซ์หนึ่งแทนตัวกรอง (Filter) ในที่นี้ใช้ตัวกรอง Gaussian สมการ Gaussian แสดงในสมการ (5) หัวข้อ 2.2.2 ซึ่งตัวกรองนี้เรียกว่า Convolution kernel ตัวอย่างดังแสดงข้างล่างนี้

$$k = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 5 \end{bmatrix}$$

การสร้างเอาต์พุตของการ Convolution มีขั้นตอนดังนี้

1. หมุน Convolution kernel ไป 180 องศา เพื่อสร้าง computational molecule โดยใช้คำสั่ง

$$h = \text{rot90}(k, 2);$$

$$h = \begin{bmatrix} 5 & 2 & 1 \\ 4 & 3 & 2 \end{bmatrix}$$

2. คำนวณหาพิกเซลศูนย์กลางของ computational molecule :

$$\text{floor}((\text{size}(h) + 1) / 2);$$

ซึ่งจะได้พิกเซลศูนย์กลาง คือ $h(1,2)$

$$\begin{bmatrix} 5 & \underline{2} & 1 \\ 4 & 3 & 2 \end{bmatrix}$$

3. นำ computational molecule ไปคูณกับภาพที่ต้องการ โดยกระทำเหมือนกับการวางพิกเซลศูนย์กลางของ computational molecule ทับลงไปบนจุดภาพที่ต้องการ คูณ computational ทุกตัวกับจุดภาพที่มันวางทับอยู่ แล้วรวมผลลัพธ์จากการคูณได้เท่าไร นำไปแทนที่จุดภาพที่อยู่ตรงพิกเซลศูนย์กลางของ computational molecule กระทำไปเรื่อยๆ จนครบทุกจุดภาพ ตัวอย่างเช่น

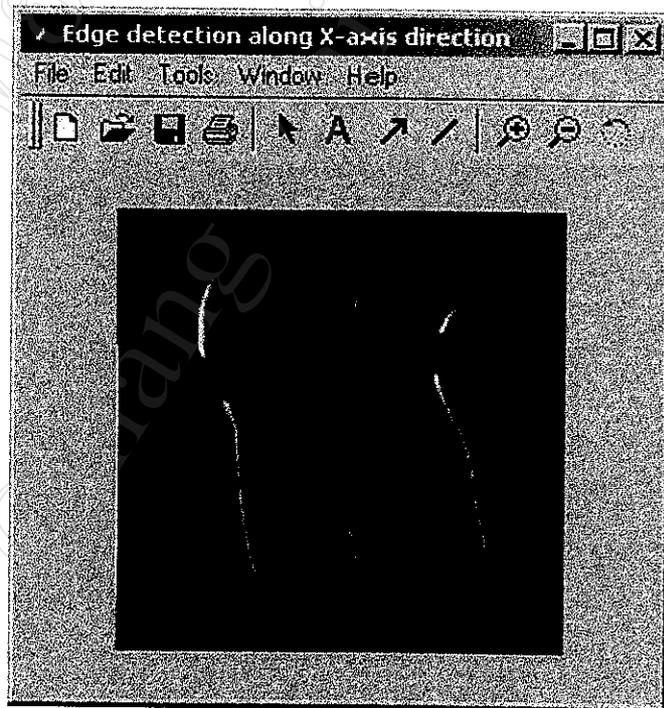
1	2	88	10	4	6	2
2	6	4	7	3	8	3
6	8	2	5	9	6	1
8	4	6	1	8	2	6
4	18	3	2	5	9	7
5	15	7	5	11	4	4
9	4	9	3	4	1	18

I ↙

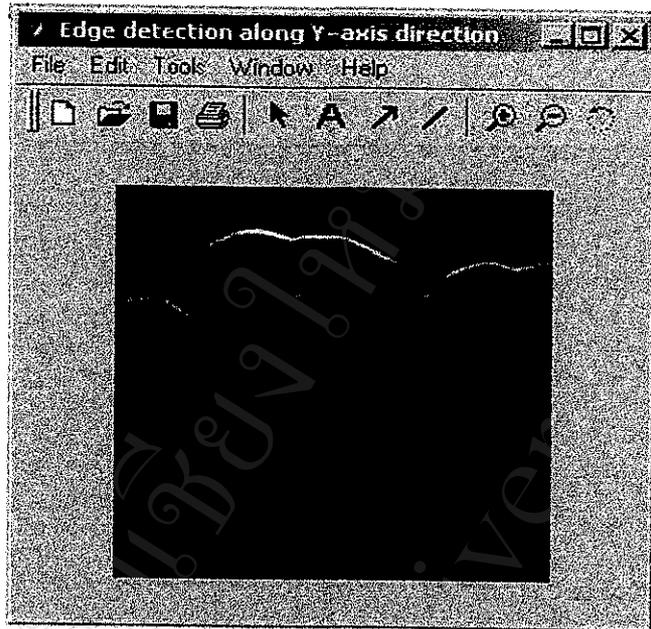
ต้องการหา convolution ของภาพ $I(3,3)$ จะได้ค่า

$$I(3,3) = 5 \times 8 + 2 \times 2 + 1 \times 5 + 4 \times 4 + 3 \times 6 + 2 \times 1$$

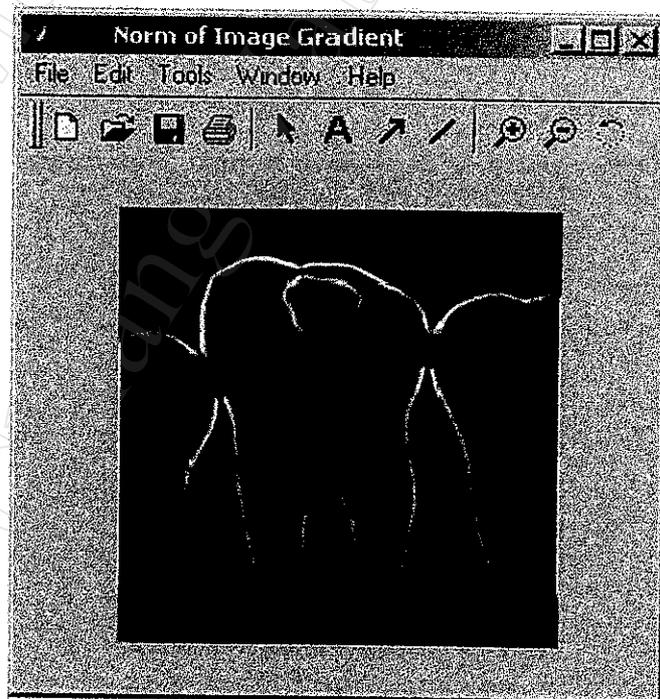
เมื่อ convolution ภาพเข้ากับสมการ Gaussian แล้ว ต่อไปก็ทำการหาขอบภาพซึ่งจะทำการหาขอบตามทิศทาง x, y และรวมภาพที่ได้เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.7, 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ



รูป 3.7 ขอบภาพตามทิศทาง x



รูป 3.8 ขอบภาพตามทิศทาง y



รูป 3.9 ขอบภาพตามทิศทาง x และ y

โปรแกรมสำหรับการหาขอบภาพด้วยวิธีการ Canny Edge Detector แสดงดังต่อไปนี้

```
function [Ix,Iy,Norm]=Tfcanny(shape)
% The algorithm parameters:
% 1. Parameters of edge detecting filters:
% X-axis direction filter:
Nx1=7;Sigmax1=2;Nx2=7;Sigmax2=2;Theta1=pi/2;
% Y-axis direction filter:
Ny1=7;Sigmay1=2;Ny2=7;Sigmay2=2;Theta2=0;
% X-axis direction edge detection
filterx=d2dgauss(Nx1,Sigmax1,Nx2,Sigmax2,Theta1);
Ix= conv2(shape,filterx,'same');
% Y-axis direction edge detection
filtery=d2dgauss(Ny1,Sigmay1,Ny2,Sigmay2,Theta2);
Iy=conv2(shape,filtery,'same');
% Norm of the gradient (Combining the X and Y directional derivatives)
%subplot(3,2,4);
Norm=sqrt(Ix.*Ix+Iy.*Iy);
% Function "d2dgauss.m":
% This function returns a 2D edge detector (first order derivative
% of 2D Gaussian function) with size n1*n2; theta is the angle that
% the detector rotated counter clockwise; and sigma1 and sigma2 are the
% standard deviation of the gaussian functions.

function h = d2dgauss(n1,sigma1,n2,sigma2,theta)
r=[cos(theta) -sin(theta);
sin(theta) cos(theta)];
for i = 1 : n2
```

```

for j = 1 : n1
    u = r * [j-(n1+1)/2 i-(n2+1)/2]';
    h(i,j) = gauss(u(1),sigma1)*dgauss(u(2),sigma2);
end
end
h = h / sqrt(sum(sum(abs(h).*abs(h))));
%%%%%%End of Function%%%%%%%%

% Function "gauss.m":
function y = gauss(x,std)
y = exp(-x^2/(2*std^2)) / (std*sqrt(2*pi));
%%%%%%%%% End of Function %%%%%%%%%

% Function "dgauss.m"(first order derivative of gauss function):
function y = dgauss(x,std)
y = -x * gauss(x,std) / std^2;
%%%%%%%%% End of Function %%%%%%%%%

```

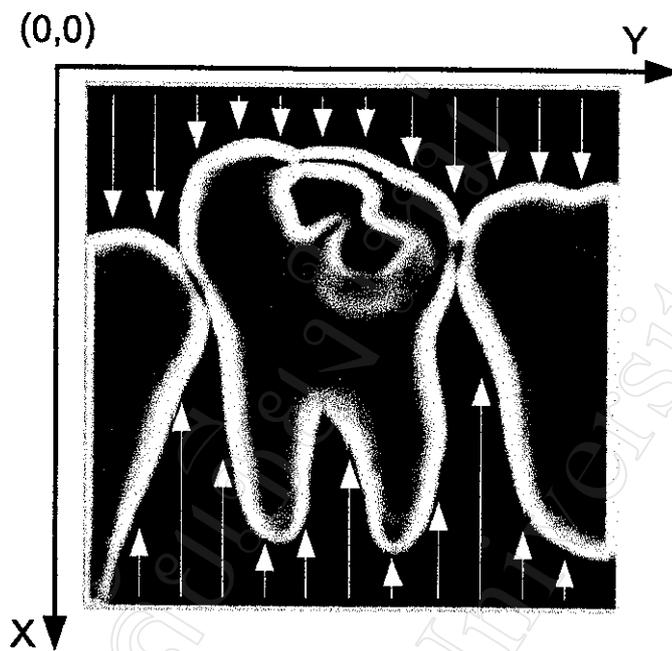
3.2.2 ประมาณขนาดและตำแหน่งที่จะวาง Template

เนื่องจากฟิล์มเอ็กซ์เรย์ของพื้นที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์นั้น โดยปกติการถ่ายเอ็กซ์เรย์ของพื้นที่เพื่อตรวจหาพื้นผิว จะเจาะจงถ่ายเอ็กซ์เรย์ไปที่พื้นที่ที่ปอดเท่านั้น ซึ่งฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่ได้มาจะได้พื้นที่ที่ต้องการตรวจหารอยพื้นผิว อยู่ตรงประมาณกึ่งกลางของฟิล์ม และมีพื้นที่อื่นติดเข้ามาอยู่บริเวณด้านข้างด้วย ดังนั้นจากลักษณะเฉพาะดังกล่าว เราจึงสามารถนำเอาภาพของฟิล์มเอ็กซ์เรย์ มาทำการประมาณหาตำแหน่งและขนาดของ Template เพื่อที่จะทำให้การวางตำแหน่งของ Template เข้าใกล้กับตำแหน่งของพื้นจริงมากที่สุด ซึ่งจะทำให้การคำนวณหาตำแหน่งที่แท้จริงของพื้นทำได้เร็วขึ้น ในการประมาณตำแหน่งและขนาดของ Template จะแบ่งการสแกนหาขอบด้านซ้ายและด้านขวาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนภาพด้านบน และส่วนภาพด้านล่าง

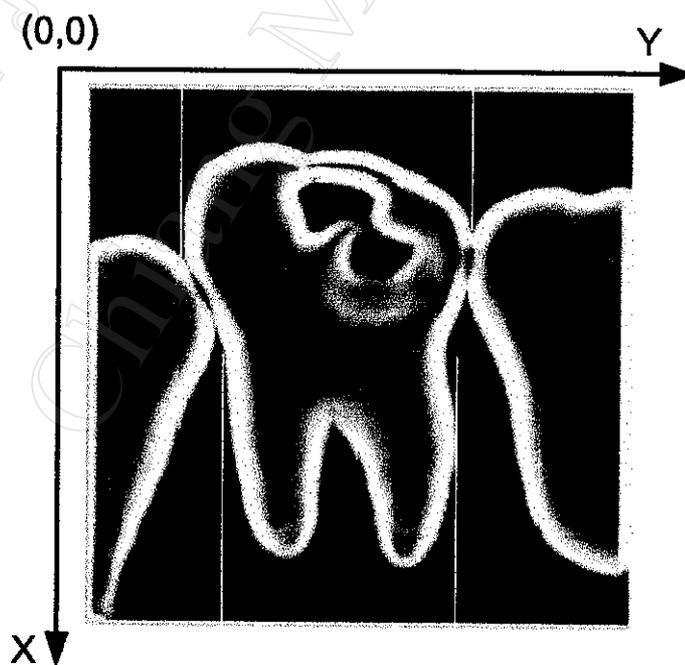
ด้านบน วิธีการทำได้โดยการสแกน จากด้านบนลงมาข้างล่างจนกว่าจะเจอจุดที่เป็นจุดภาพ (จุดขอบของพื้น) ถ้าไม่เจอจะสแกนมาถึงกึ่งกลางของภาพตามแกน x ก็จะหยุด แล้วเก็บค่า

พิกัด x และ y ไว้ จำทำมาเรื่อยๆ จากด้านซ้ายเข้ามาจนถึงจุดกึ่งกลางของภาพด้าน y ก็หยุด โดยเก็บค่าตำแหน่งทุกค่าที่พบจุดภาพไว้ กระทำในทำนองเดียวกันแต่สแกนจากด้านขวาของภาพเข้ามาจนถึงจุดกึ่งกลางของภาพเช่นเดียวกัน เมื่อทำการสแกนเสร็จแล้วหาจุดต่ำสุด (ค่า x ที่มากที่สุด) ที่เกิดจากจุดกึ่งกลางของภาพออกไปทางด้านซ้าย ที่อยู่ใกล้กับจุดกึ่งกลางมากที่สุด เมื่อได้ค่ามาเก็บค่าตำแหน่งนั้นไว้ ซึ่งจะประมาณว่าเป็นขอบซีพินทางด้านซ้าย ในทำนองเดียวกัน ก็หาจุดต่ำสุดที่วัดจากจุดกึ่งกลางของภาพ ออกไปทางด้านขวา ที่อยู่ใกล้กับจุดกึ่งกลางมากที่สุด ซึ่งจุดนี้จะประมาณว่าเป็นจุดขอบซีพินทางด้านขวา เมื่อประมาณขอบของซีพิน จากด้านซ้ายและขวาว่า อยู่ประมาณตำแหน่งที่เท่าไรได้แล้ว ณ จุดนี้เราจะรู้ว่าพินซีพินี้มีความกว้างประมาณเท่าไร

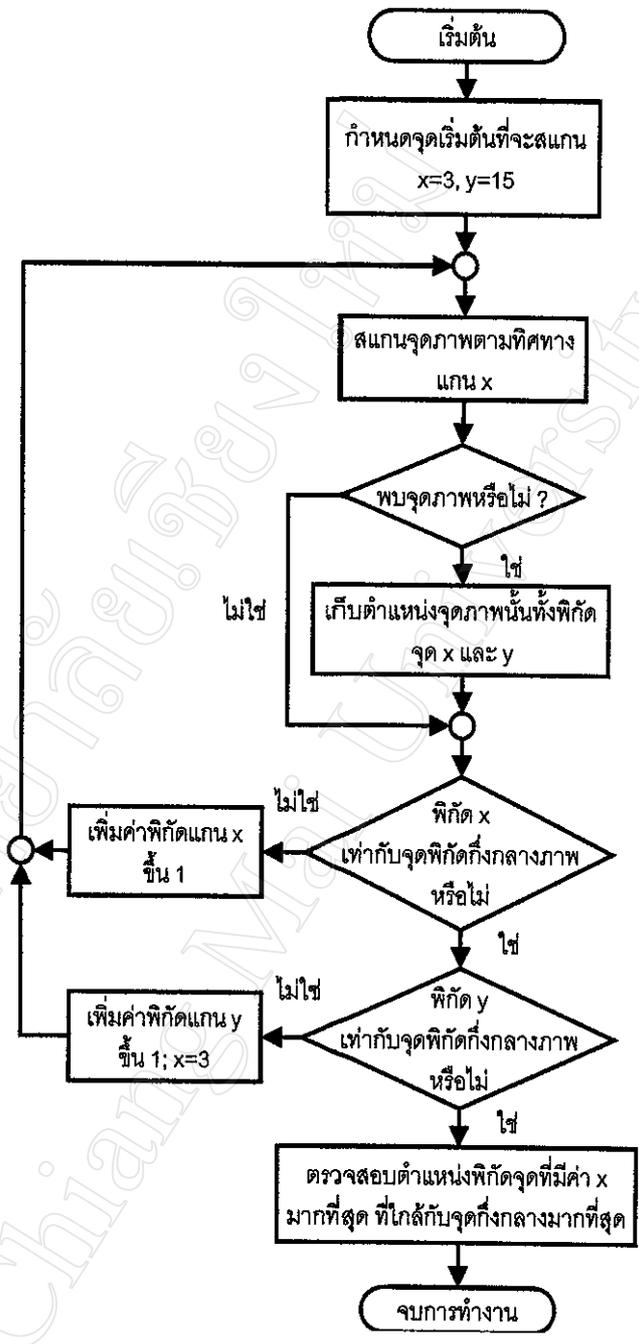
ด้านล่าง เมื่อทำการสแกนจากด้านบนลงมาเสร็จแล้ว ต่อไปทำการสแกนจากด้านล่างขึ้นบนตามแกน x แนวสแกนแต่ละเส้นจะทำขึ้นไปจนเจอจุดขอบภาพ แล้วเก็บค่าตำแหน่งนั้นไว้ ถ้าไม่เจอจะสแกนไปจนถึงจุดกึ่งกลางภาพตามแกน x ก็หยุด แล้วเพิ่มค่าการสแกนตามแนวแกน y ไปเรื่อยๆ จนถึงจุดกึ่งกลางของภาพ ทำในลักษณะเดียวกันแต่สแกนจากด้านขวาของภาพเข้ามาจนถึงจุดกึ่งกลางของภาพ เมื่อเสร็จแล้วทำการหาค่าตามแกน x ที่มีค่าน้อยที่สุดโดยวัดจากจุดกึ่งกลางของภาพออกมาทางด้านซ้าย และมีค่าตามแกน y ที่ใกล้เคียงกับค่าแกน y ที่ประมาณไว้ในตอนที่สแกนจากด้านบน ซึ่งจะประมาณว่าจุดนี้เป็นจุดขอบภาพทางด้านซ้ายอีกจุดหนึ่ง ในทางด้านขวาก็ทำในลักษณะเดียวกัน ซึ่งก็จะได้จุดขอบภาพด้านขวาอีกจุดหนึ่ง ภาพวิธีการสแกนหาขอบภาพด้านซ้ายและด้านขวาแสดงดังรูป 3.10 และเส้นขอบที่หาได้แสดงดังรูป 3.11 และผังงานแสดงการสแกนหาจุดขอบภาพส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.12 - 3.15



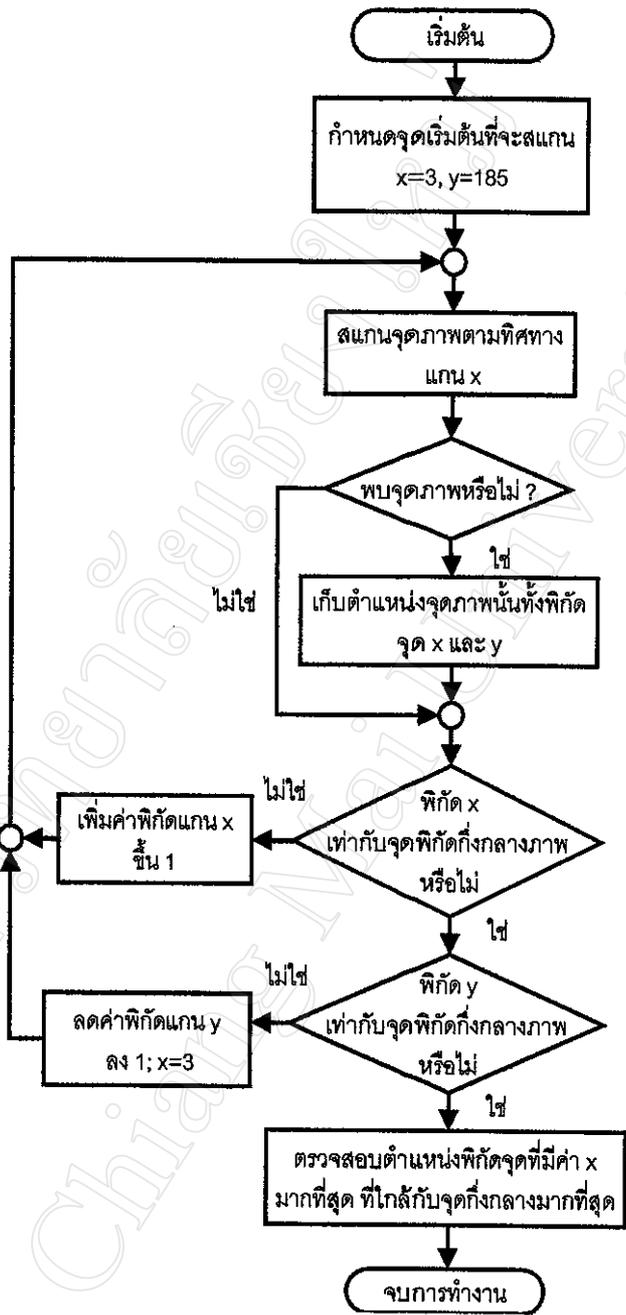
รูป 3.10 วิธีการสแกนหาเส้นขอบภาพด้านซ้ายและด้านขวา



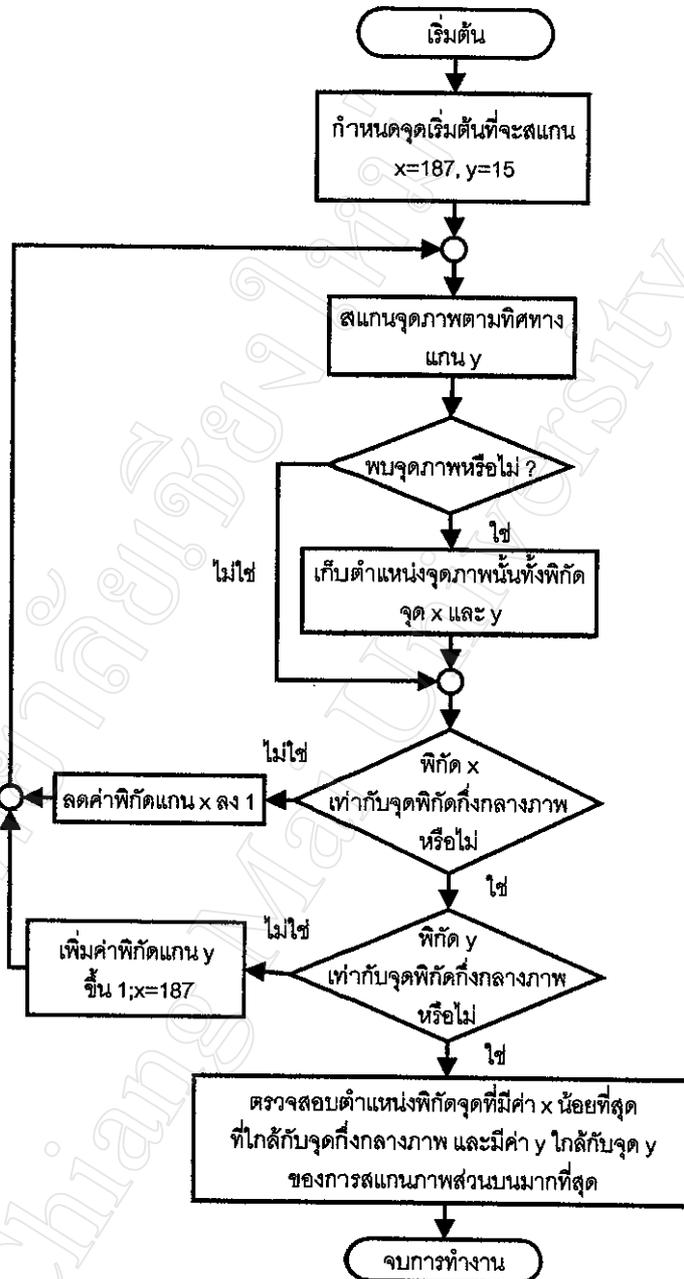
รูป 3.11 เส้นขอบภาพด้านซ้ายและด้านขวา



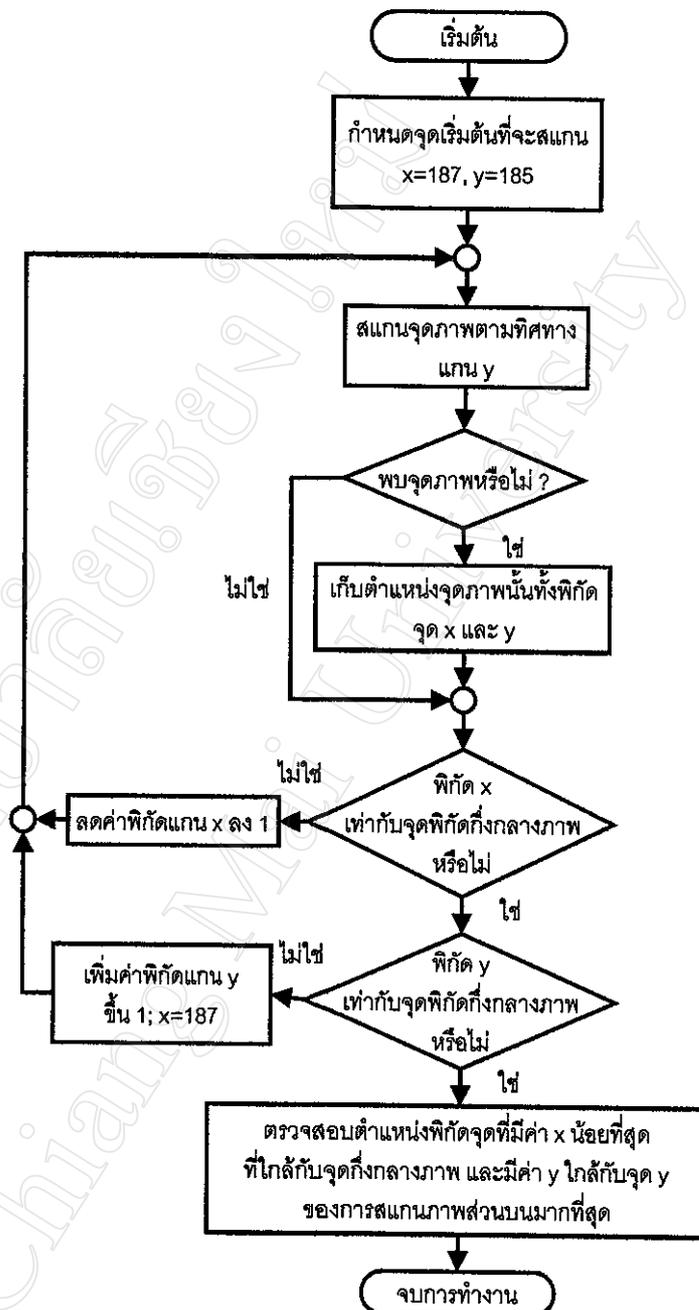
รูป 3.12 ผังงานแสดงการสแกนหาขอบสี่พินด้านซ้าย ภาพส่วนบน



รูป 3.13 ผังงานแสดงการสแกนหาขอบเขตพื้นที่ด้านขวา ภาพส่วนบน



รูป 3.14 ผังงานแสดงการหาขอบสี่เหลี่ยมด้านซ้าย ภาพส่วนล่าง



รูป 3.15 ผังงานแสดงการหาขอบเขตด้านขวาภาพส่วนล่าง

3.2.3 การสร้างและการวางตำแหน่ง Template ฟันแบบรากฟันคู้

จากลักษณะเฉพาะของฟัน เราสร้าง Template ขึ้นมาโดยอาศัยเส้นขอบที่หามาแล้ว จุดแรกทำการหาจุด θ_1 โดยการสแกนหาจุดภาพที่ค่า x ที่เป็นจุดขอบภาพมีค่ามากที่สุด และอยู่

ใกล้กับเส้นขอบด้านซ้ายมากที่สุด ก็จะได้จุด θ_1 จุด θ_{27} ก็หาได้ในลักษณะเดียวกัน แต่เป็นจุดที่อยู่ใกล้กับขอบภาพด้านขวามากที่สุด สำหรับจุด θ_{34} หาได้โดยการสแกนหาจุดขอบภาพที่ตำแหน่งพิกัดจุด (x,y) โดยหาตำแหน่งของ x ที่มีค่าน้อยที่สุด และอยู่ระหว่างจุด θ_1 และจุด θ_{27} ต่อไปทำการกำหนดจุด $\theta_{35} - \theta_{40}$ โดยมีข้อกำหนดค่าตามแกน x ของ $\theta_{34} < \theta_{35} < \theta_{36} \dots < \theta_{40}$ และค่าตามแนวแกน y ของ $\theta_{35} - \theta_{40}$ ต้องอยู่ระหว่าง θ_1 กับ θ_{34} โดยที่ค่าของ $\theta_{34} - \theta_{40}$ ที่อยู่ติดกันต้องมีค่าห่างกันไม่เกิน 5 พิกเซล ในการกำหนดจุด $\theta_{28} - \theta_{33}$ กำหนดได้โดยให้ $\theta_{34} < \theta_{33} < \theta_{32} \dots < \theta_{27}$ และค่าตามแนวแกน y ของ $\theta_{28} - \theta_{33}$ ต้องอยู่ระหว่าง θ_{27} กับ θ_{34} ที่อยู่ติดกันต้องมีค่าห่างกันไม่เกิน 5 พิกเซล

การกำหนด θ_{14} ทำโดยการสแกนจากด้านบนของภาพลงมาตามแกน x โดยกำหนดแกน y ตรงจุดกึ่งกลางของขอบภาพด้านซ้ายและด้านขวาส่วนบนของภาพ สแกนลงมาจนพบจุดขอบภาพก็จะได้จุด x ของ θ_{14} จากนั้นกำหนดจุด $\theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{15}$ และ θ_{16} โดยให้จุดตามแกน x มีค่าประมาณเท่ากับจุดแกน x ของ θ_{14} สำหรับค่าตามแกน y สามารถกำหนดได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยเฉลี่ยระยะห่างให้ประมาณเท่ากัน สำหรับ θ_{11} และ θ_{17} ค่าพิกัดจุด x จะกำหนดต่ำกว่าค่า x ของ θ_{14} ประมาณ 3 พิกเซล สำหรับค่า y จะนับจากขอบของซีพินเข้าหาด้านในประมาณด้านละ 5 พิกเซล θ_{10} และ θ_{18} การกำหนดค่าตามแกน x จะนับห่างจาก θ_{11} และ θ_{17} ออกมา 6 พิกเซลตามลำดับ ค่าตามแกน y นับห่างขอบของซีพินเข้ามาด้านใน ด้านละ 3 พิกเซล

ในส่วนของ $\theta_2 - \theta_9$ สามารถกำหนดค่าพิกัดได้ตามรูปที่ 2.6 โดยค่าในแกน x กำหนดให้มีระยะห่างเฉลี่ยประมาณเท่ากัน สำหรับค่าในแกน y กำหนดให้อยู่ในขอบเขตของ θ_1 และขอบด้านซ้ายของซีพิน θ_{26} ก็กำหนดในทำนองเดียวกัน เมื่อกำหนด θ ทุกจุดแล้วจะได้รูปของ Template ดังแสดงในรูปที่ 2.6

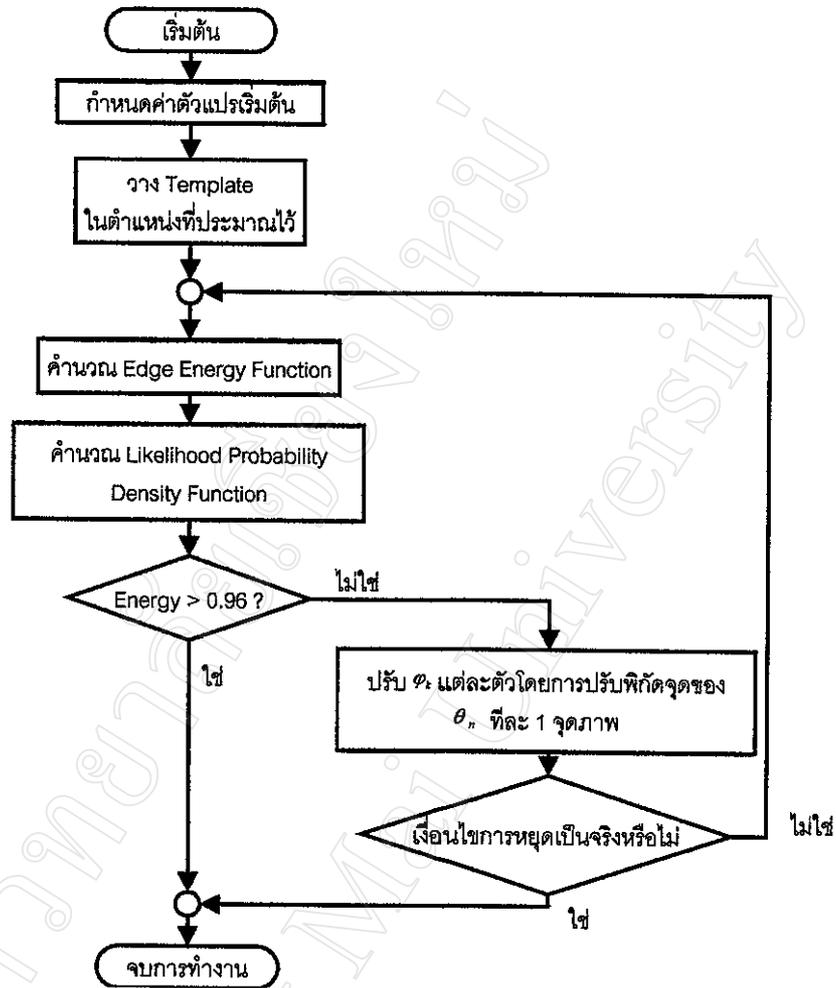
3.2.4 การสร้างและวางตำแหน่ง Template ฟินแบบรากฟันเดียว

จากที่ได้หาขอบด้านซ้ายและด้านขวาของซีพินมาแล้วนั้น สามารถที่จะนำมากำหนดตำแหน่งของ θ ต่างๆ ที่จะ Template ได้ อันดับแรกในการสร้าง Template ของฟินแบบรากฟันเดียวนั้น จะทำการกำหนด θ_1 โดยการสแกนหาตำแหน่งพิกัดจุด x และ y ซึ่งจะหาค่า x ที่มีค่ามากที่สุดของขอบภาพที่อยู่ระหว่างขอบภาพด้านซ้ายและขวา ซึ่งจุดนี้จะประมาณว่าเป็นจุด θ_1 จากนั้นหาจุดที่จะวาง θ_{12} ซึ่งจะประมาณวางไว้ตรงจุดกึ่งกลางของซีพิน ซึ่งจะเป็นค่าพิกัดจุด y หาพิกัดจุด x โดยการสแกนจากด้านบนลงมาตามแกน x จนพบจุดขอบภาพ ซึ่งจุดนี้จะประมาณเป็นจุด θ_{12} ต่อไปกำหนดจุด θ_{10} และ θ_{14} พิกัดจุด x กำหนดมากกว่า x_{12} 4 พิกเซล และพิกัดจุด y

นับเข้ามาจากจุดขอบสี่พื้นด้านละ 3 พิกเซล, จุด θ_{11} และ θ_{13} พิกัดจุด x เท่ากับ θ_{12} ส่วนพิกัดจุด y อยู่กึ่งกลางระหว่าง θ_{10} กับ θ_{12} และ θ_{12} กับ θ_{14} ตามลำดับ, จุด θ_9 และ θ_{15} พิกัดจุด x กำหนดห่างจาก θ_{10} และ θ_{14} ออกไป 6 พิกเซล ส่วนพิกัดจุด y เท่ากับขอบของสี่พื้น, จุด θ_2 และ θ_{22} พิกัดจุด x กำหนดห่างจาก θ_1 ออกไป 5 พิกเซล และพิกัดจุด y ห่างจาก θ_1 ออกไป 4 พิกเซล สำหรับ $\theta_3 - \theta_8$ และ $\theta_{16} - \theta_{21}$ กำหนดพิกัดจุด x ให้มีระยะห่างประมาณเท่ากัน สำหรับพิกัดจุด y กำหนดให้มีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 2.7 เมื่อกำหนด θ ได้ครบทุกจุดแล้วจะได้ Template มีลักษณะดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.7

3.2.5 คำนวณหา Energy Function

เมื่อกำหนดตำแหน่งที่จะวาง Template และสร้าง Template แล้ว ต่อไปก็วาง Template ที่สร้างขึ้นลงในตำแหน่งที่ประมาณไว้ แล้วคำนวณหา Edge Energy Function $U_E(\phi, I)$ และ Likelihood Probability Density Function ให้ได้ค่า Energy เข้าใกล้ 1 มากที่สุด ในการคำนวณแต่ละครั้งจะทำการปรับ ϕ_k ไปเรื่อยๆ ซึ่งทำได้โดยการปรับค่า θ แต่ละตัว คำนวณจนกว่าจะได้ค่า Energy ที่ยอมรับได้ ประมาณมากกว่า 0.96 แต่ถ้าค่าของ Energy ไม่ถึง 0.96 ก็คำนวณจนกว่าจะถึงจำนวนรอบเงื่อนไขของการหยุด จึงจะหยุด



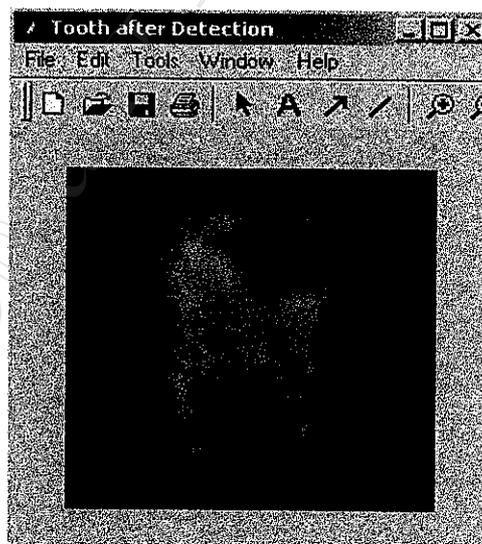
รูป 3.16 ผังงานแสดงการคำนวณหา Edge Energy Function

เมื่อคำนวณหา Energy เสร็จแล้ว ซึ่งขณะนี้จะได้ตำแหน่งของพื้นที่แน่นอนแล้ว จากนั้นเปลี่ยนภาพให้เป็นภาพ 2 ระดับ โดยให้บริเวณที่เป็นรูปพื้นที่ต้องการมีค่าเป็น 1 หหมด และบริเวณที่ไม่ใช่รูปพื้นที่ต้องการให้เป็น 0 หหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูป 3.17 ภาพของฟันที่เปลี่ยนเป็นภาพ 2 ระดับ

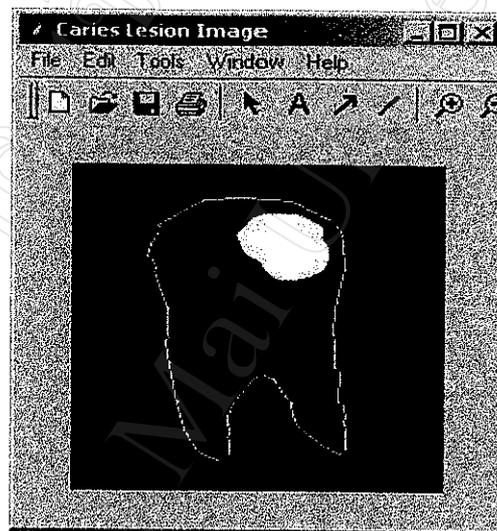
จากนั้นนำภาพ 2 ระดับมากระทำเปรียบเทียบกับภาพของฟิล์มเริ่มต้น โดยให้บริเวณที่เป็นภาพของซี่ฟันที่มีค่าระดับสีเป็น 1 เมื่อกระทำกับภาพฟิล์มเริ่มต้นแล้วให้มีค่าเท่ากับระดับสีเริ่มต้น ส่วนบริเวณที่ภาพมีค่าเป็น 0 เมื่อกระทำกับภาพฟิล์มเริ่มต้นให้มีค่าเป็น 0 หมด ซึ่งจะได้ภาพของซี่ฟันที่ต้องการหารอยฟันผุออกมา ส่วนฟันซี่อื่นจะถูกตัดออกไป ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูป 3.18 ภาพฟันที่หาได้

3.3 การหาตำแหน่งรอยฟันผุ

เมื่อได้ซีฟันที่ต้องการเสร็จแล้ว ต่อไปเป็นการหาตำแหน่งรอยฟันผุ ทำได้โดยการตรวจหา ระดับความเข้มของสีในบริเวณซีฟัน ซึ่งจากการทดสอบพบว่าระดับความเข้มของสีที่จุดภาพที่ถือ ว่าเป็นรอยฟันผุ จะมีระดับความเข้มต่ำกว่า 130 ลงมา (ภาพสีเทา 256 ระดับ) เมื่อตรวจหาจุดที่มี ความเข้มที่กำหนดพบ (ความเข้มต่ำกว่า 130) ก็กำหนดจุดภาพจุดนั้นให้เป็นสีขาว (ระดับความ เข้มสี 255) แล้วตรวจสอบจุดที่อยู่ข้างเคียงไปเรื่อยๆ ถ้ามีความเข้มอยู่ในระดับที่กำหนดก็เปลี่ยน เป็นสีขาว ถ้าไม่อยู่ในระดับที่กำหนดก็เปลี่ยนเป็นสีดำ (ระดับความเข้มสี 0) เมื่อกระทำจนทั่ว บริเวณซีฟันแล้ว ก็จะได้จุดที่เป็นรอยฟันผุเป็นสีขาวที่ไม่ใช่รอยฟันผุเป็นสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูป 3.19 ตำแหน่งของรอยฟันผุ

3.4 การวิเคราะห์รอยฟันผุ

เมื่อทราบตำแหน่งของรอยฟันผุแล้ว ขั้นตอนต่อไปทำการวิเคราะห์รอยฟันผุว่ามีความรุนแรง อยู่ในระดับไหน โดยที่ความรุนแรงของฟันผุแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ

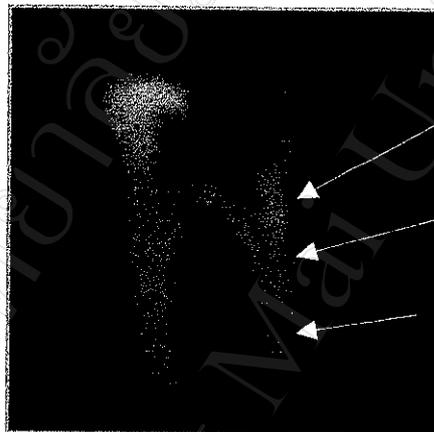
- ระดับที่ 3 รุนแรงมาก
- ระดับที่ 2 รุนแรงปานกลาง
- ระดับที่ 1 รุนแรงน้อย

โดยที่ระดับความรุนแรงแต่ละระดับวัดได้ด้วยการหาอัตราส่วน ค่าเฉลี่ยความเข้มสีของรอยผุ แต่ละตำแหน่งของฟัน (ระดับความเข้มสีต่ำกว่า 130) ต่อค่าเฉลี่ยความเข้มสีของฟันปกติ (ระดับ ความเข้มสีตั้งแต่ 130 ขึ้นไปถึง 255) กล่าวคือ อัตราส่วนน้อยมีความรุนแรงมาก และถ้าอัตราส่วน

มากมีความรุนแรงน้อย ซึ่งการคำนวณระดับความรุนแรงสามารถหาได้จากสมการที่ (1), (2) และ (3) และนอกจากความรุนแรงของฟันผุ จะหาได้จากการหาค่าเฉลี่ยความเข้มของสีแล้ว ยังต้องพิจารณาประกอบกับส่วนประกอบของฟันด้วย ซึ่งฟันจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. เคลือบฟัน เป็นส่วนที่อยู่บนสุดของฟัน ซึ่งจากการทดสอบและพิจารณาร่วมกับทันตแพทย์ เคลือบฟันมีความหนา 3 พิกเซล
2. เนื้อฟันเป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเคลือบฟันเข้ามา มีความหนา 5 พิกเซล
3. คลองรากฟันเป็นส่วนที่อยู่ในสุด

ภาพดังแสดงในรูป 3.20



เคลือบฟัน

เนื้อฟัน

คลองรากฟัน

รูป 3.20 ส่วนประกอบของฟัน

ดังนั้น ระดับความรุนแรงของรอยฟันผุทั้ง 3 ระดับพิจารณาดังนี้

- ระดับที่ 3 รุนแรงมาก มีระดับความเข้มสีเฉลี่ยต่ำกว่า 0.54 หรือมีรอยฟันผุที่คลองรากฟัน
- ระดับที่ 2 รุนแรงปานกลาง มีระดับความเข้มสีเฉลี่ยระหว่าง 0.63-0.55 หรือมีรอยฟันผุตรงเนื้อฟัน
- ระดับที่ 1 รุนแรงน้อย มีระดับความเข้มสีเฉลี่ยมากกว่า 0.63 ขึ้นไปหรือมีรอยผุตรงเคลือบฟัน