

การสร้างแบบจำลอง 3 มิติด้วยวิธีการถ่ายภาพระยะใกล้

Three-Dimension Model by Close Range Photogrammetry

ธีระ ลีลิตวรางกูร

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 91 ถ.พระอาทิตย์งามมด พุทฺธศ. กทม. 10140

1. บทนำ

พื้นภูมิประเทศซึ่งปกคลุมไปด้วยต้นไม้ ติก พื้นดิน และอื่นๆที่เป็นสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้นหรือเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งทำให้พื้นผิวโลกมีความสูงต่ำแตกต่างกันออกไปแต่ละพื้นที่ จากในอดีตการทำงานสำรวจมีเพียงแต่การสำรวจพื้นราบและเทคโนโลยีต่างๆยังไม่เจริญก้าวหน้าเหมือนเช่นอย่างปัจจุบัน สิ่งเหล่านี้ทำให้การสำรวจมีความยากลำบากในการเข้าถึงในการทำงานด้านสำรวจพื้นราบ(Plane Surveying) อีกทั้งการทำงานยังมีข้อจำกัดด้านอื่นอีกหลายอย่างในการทำงานเช่น ด้านการขนส่งเครื่องมือ , ด้านกำลังคน และด้านการทำงาน ปัจจุบันการทำงานด้านภาพถ่ายทางอากาศมีความทันสมัยมากขึ้นจากเครื่องมือที่มีความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ซึ่งการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน(Terrestrial Photogrammetry)เป็นสาขาหนึ่งในวิชาการสำรวจทางภาพถ่ายทางอากาศที่มีความสำคัญ โดยได้แนวความคิดมาจากลักษณะการถ่ายภาพด้วยกล้องที่ตั้งอยู่บนพื้นผิวของโลกที่ทำการถ่ายภาพวัตถุบนพื้นผิวโลก ซึ่งเราเรียกว่าการถ่ายภาพระยะใกล้(Close Range Photogrammetry) เป็นการถ่ายภาพบนพื้นดินที่สามารถเข้าไปวัดตำแหน่งถ่ายภาพได้โดยตรงไม่เหมือนกับการถ่ายภาพทางอากาศ ทำให้เราสามารถจัดการวางตัวเชิงมุมของกล้องโดยการวัดหรือตั้งบนตำแหน่งที่ทราบค่าคงที่ใดๆเพื่อให้ทราบการจัดตำแหน่งการวางตัวของกล้องที่ถ่ายภาพที่เรียกว่าการจัดภาพภายนอก(exterior orientation) โดยไม่จำเป็นต้องคำนวณหา ทำให้ลดจุดควบคุมบนภาคพื้นดินในการคำนวณได้อีกด้วย

โดยทั่วไปลักษณะของการถ่ายภาพบนพื้นดินมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ แบบสถิต(Static) คือการที่วัตถุไม่มีการเคลื่อนที่ขณะถ่ายภาพและ แบบจลน์(dynamic) คือการที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ขณะถ่ายภาพ ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุและความต้องการในการสร้างแบบจำลอง จากการสร้างภาพสามมิติจะต้องถ่ายภาพให้

ซ้อนกันอย่างน้อย 60 %จากปลายของเส้นฐานทั้งสอง ดังนั้นถ้าเป็นการถ่ายภาพแบบจลน์จะต้องใช้ฟิล์มที่มีความไวสูงและความเร็วชัตเตอร์สูง ในทางกลับกันการถ่ายภาพแบบสถิตก็ไม่จำเป็นต้องการถ่ายภาพระยะใกล้จึงได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองหรือปรับปรุงแผนที่เพราะกล้องมีราคาถูกและทำงานได้อย่างรวดเร็วในพื้นที่ที่ไม่กว้างขวางนัก

2. กล้องถ่ายภาพ

เป็นส่วนสำคัญในการทำงานโดยกล้องถ่ายภาพที่ใช้ในการถ่ายภาพสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท[1]คือ แบบรังวัด(metric) และแบบทั่วไป(nonmetric) โดยลักษณะของกล้องถ่ายภาพแบบรังวัด(metric)เป็นกล้องที่ผลิตขึ้นมาสำหรับใช้ประโยชน์เพื่อการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศโดยเฉพาะซึ่งกล้องเหล่านี้จะมีจุดดัชนี, ความยาวโฟกัส,จุดमुखยสำคัญ(Principal point)และได้รับการปรับแก้ความเพี้ยนของเลนส์แล้ว ส่วนลักษณะกล้องแบบทั่วไป(nonmetric)เป็นกล้องที่ใช้กันทั่วไปไม่มีเครื่องหมายของจุดดัชนีและความถูกต้องทางเรขาคณิตไม่มากนัก แต่ในปัจจุบันกล้องถ่ายภาพทั่วไปพัฒนามากขึ้นและสามารถถ่ายภาพออกมาเป็นภาพเชิงเลขได้โดยไม่ต้องนำไปสแกนอีกครั้งจากการถ่ายภาพเป็นฟิล์มเช่นเดียวกับกล้องแบบรังวัดและสามารถกำหนดค่าความละเอียดของจุดภาพ(Pixel)ได้อีกด้วย ทำให้การทำงานง่ายมากขึ้น

3. เครื่องร่ายแผนที่จากภาพคู่สามมิติ

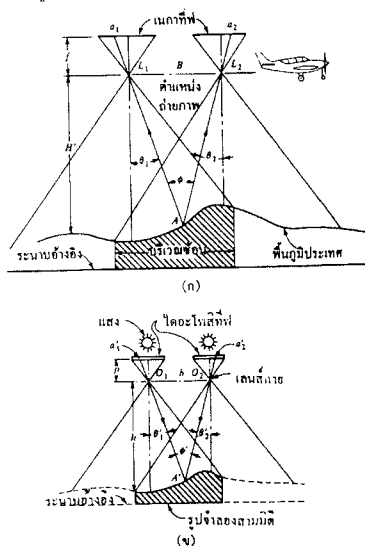
(Stereoscopic Plotting Instruments)

จากที่กล่าวมาการสร้างภาพสามมิติจากภาพคู่ซ้อนจะต้องเห็นจุดที่กำหนดบนวัตถุอย่างน้อยภายในสองภาพซึ่งเมื่อแต่นั้นนั้นจะใช้เครื่องร่ายแผนที่จากภาพคู่สามมิติ(Stereoscopic Plotting Instruments) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า เครื่องร่ายแผน

ที่สามมิติ(Stereoplotter)[1] เป็นหลักการสร้างแบบจำลองสามมิติจากแผ่นฟิล์มที่จะจัดลักษณะการวางตัวของภาพถ่ายให้เหมือนกับการบินถ่ายภาพจากเครื่องบินที่ต้องผ่านขั้นตอนทั้งสามขั้นตอนคือ

- การจัดภาพภายใน(interior orientation)
- การจัดภาพสัมพันธ์(relative orientation)
- การจัดภาพสัมบูรณ์(absolute orientation)

โดยทั้งสามกระบวนการนี้มีความต่อเนื่องกันต่อ โดยกระบวนการแรกเป็นการจัดภาพภายใน(interior orientation) เป็นการจัดวางภาพให้เหมือนกับการบินถ่ายภาพจากเครื่องบินส่วนกระบวนการต่อมาเรียกว่าการจัดภาพสัมพันธ์(relative orientation) กล้องจะถูกจัดให้มีตำแหน่งที่มุมของกล้องกลายเป็นเช่นเดียวกับตอนที่ถ่ายภาพ ซึ่งการสร้างรูปทรงของแบบจำลองสามมิติของพื้นที่ส่วนที่ซ้อนที่เหมือนจริงแต่ย่อส่วนลงภายหลังการจัดภาพสัมพันธ์จะเป็นส่วนของการจัดภาพสัมบูรณ์(absolute orientation) ในกระบวนการนี้รูปจำลองจะถูกจัดให้ได้มาตราส่วนตามต้องการและรูปจำลองได้ระดับเมื่อเทียบกับระดับอ้างอิง จะทำการฉายแสงเกิดเป็นรูปจำลอง(model) จากนั้นจึงปรับมาตราส่วนกับรูปจำลองให้ได้ระดับกับระดับอ้างอิงแล้วทำการบันทึกตำแหน่งหรือวัดรูปจำลองลงบนโต๊ะคัดลอกที่อยู่ซ้อนทับกับรูปจำลองนั้น

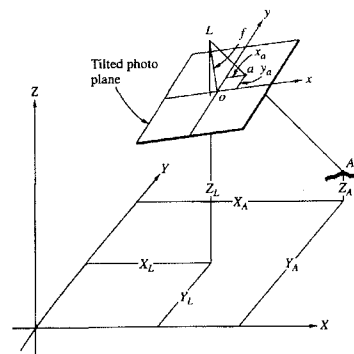


รูปที่ 1 หลักการของเครื่องร่างแผนที่สามมิติ (ก) การถ่ายภาพทางอากาศ (ข) การทำงานของเครื่องร่างแผนที่สามมิติ

จากหลักการดังกล่าวจะเห็นว่าการทำงานของเครื่องร่างแผนที่จะรวมกันเป็นระบบเดียวกันจากการทำงานที่ต่างกัน 3 แบบคือ 1)ระบบฉายภาพ(projection system) สำหรับการสร้างรูปสามมิติที่เหมือนจริง 2)ระบบดู(viewing system) ทำให้ผู้ใช้สามารถดูรูปแบบจำลองได้ 3)ระบบวัดหรือคัดลอก(measuring system) ทำการวัดรูปแบบจำลองและสามารถบันทึกไว้ได้ แต่ปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์มีบทบาทมากขึ้นจึงได้มีการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มาทำการสร้างภาพสามมิติโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข(Digital Photogrammetry)มาทำการประมวลผลภาพถ่าย จัดภาพสัมพันธ์และจัดภาพสัมบูรณ์จากนั้นก็ทำการหาหมุดควบคุมบนภาพถ่ายด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งให้ผลที่รวดเร็วและสะดวกมากโดยวิธีนี้เรียกว่า แผนที่ภาพถ่ายจากคอมพิวเตอร์ (Softcopy Photogrammetry)

4. สภาวะร่วมเส้น(Collinearity Condition)

สภาวะร่วมเส้น(Collinearity Condition)[2] เป็นวิธีเชิงวิเคราะห์ที่ใช้กันในการขยายจุดควบคุมในการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศคล้ายกับการใช้เครื่องร่างแผนที่สามมิติ ที่จะสามารถคำนวณหาค่าพิกัดของจุดบนภาพถ่ายนำไปสร้างแบบจำลองสามมิติได้เลย แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่วิธีนี้จะมีความละเอียดสูงเพราะสามารถขจัดความคลาดเคลื่อนแบบมีระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่น การยืดหดของฟิล์ม ความเพี้ยนเนื่องจากการหักเหของแสงในบรรยากาศ ซึ่งสภาวะร่วมเส้นคือสภาพที่ตำแหน่งถ่ายภาพ จุดของวัตถุใดๆ และจุดภาพของวัตถุนั้นอยู่บนภาพถ่ายในแนวเส้นตรงเดียวกัน



รูปที่ 2 สภาวะร่วมเส้น

จากรูปทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของค่าพิกัดบนภาพถ่ายและค่าพิกัดบนพื้นดิน ณ ที่ตำแหน่งเดียวกัน จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้คือ[3]

$$x_a = x_o - f \left[\frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \right]$$

$$y_a = y_o - f \left[\frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \right]$$

โดยที่

$$m_{11} = \cos \phi \cos K$$

$$m_{12} = \sin \omega \sin \phi \cos K + \cos \omega \sin K$$

$$m_{13} = -\cos \omega \sin \phi \cos K + \sin \omega \sin K$$

$$m_{21} = -\cos \phi \sin K$$

$$m_{22} = -\sin \omega \sin \phi \sin K + \cos \omega \cos K$$

$$m_{23} = \cos \omega \sin \phi \sin K + \sin \omega \cos K$$

$$m_{31} = \sin \phi$$

$$m_{32} = -\sin \omega \cos \phi$$

$$m_{33} = \cos \omega \cos \phi$$

โดยที่ m คือสัมประสิทธิ์การหมุนของรูปโดยที่ ω , ϕ และ K เป็น

การหมุนรอบแกน x, y และ z ตามลำดับ

f = ความยาวโฟกัส

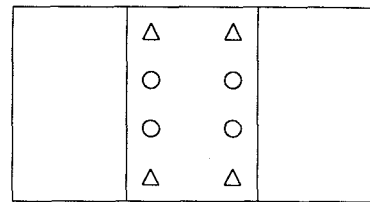
x_a, y_a = ค่าพิกัดบนภาพถ่ายของจุดที่ต้องการ

x_o, y_o = ค่าพิกัดบนภาพถ่ายของจุดกลางภาพ

X_A, Y_A, Z_A = ค่าพิกัดบนพื้นดินที่ตำแหน่งเดียวกันกับภาพถ่าย

X_L, Y_L, Z_L = ค่าพิกัดบนพื้นดินของจุดถ่ายภาพ

ดังนั้นเราสามารถหาค่าพิกัดบนพื้นดินได้จากค่าพิกัดบนภาพถ่ายด้วยการกำหนดจุดควบคุมบนพื้นดิน(Control point) บริเวณพื้นที่ที่ทำการถ่ายภาพเพื่อให้สามารถเห็นได้บนภาพถ่าย ในขณะที่ทำการถ่ายภาพจากนั้นจึงทำการกำหนดจุดที่ต้องการทราบเพิ่มบนภาพถ่ายหรือที่เรียกว่า หมุดโยง(Tie point) ในการหาค่าพิกัดของหมุดที่ต้องการทราบหรือตำแหน่งของวัตถุบนภาพถ่ายนั้น โดยการซ้อนกันของภาพถ่ายสองภาพหรือมากกว่าจะทำให้เราสามารถนำค่าพิกัดมาปรับแก้และหาค่าพิกัดของจุดอื่นๆบนภาพถ่ายได้ดังรูปที่ 3



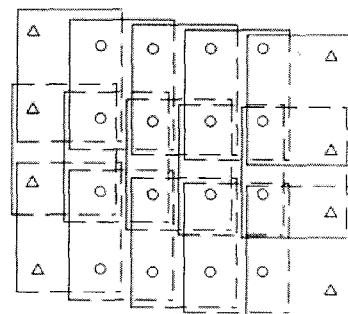
△ Control Point

○ Tie Point

รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งหมุดบนภาพถ่าย

จากพื้นฐานของการหาค่าพิกัดของภาพที่ซ้อนกัน 2 ภาพนี้เองเมื่อเครื่องบินทำการบินถ่ายภาพจริงจะมีการซ้อนกันของภาพถ่ายหลายภาพมากๆ ดังนั้นเพื่อให้การหาค่าพิกัดทำได้อย่างรวดเร็วและการทำการคำนวณเพียงครั้งเดียวก็จะใช้หลักการของ Block Adjustment เป็นการคำนวณหาค่าพิกัดที่บินถ่ายสถานที่เดียวกันทั้งภาพดังรูปที่ 4

ซึ่งการคำนวณยังคงใช้สมการของ สภาวะร่วมเส้นเช่นเดิมแต่มีการเพิ่มจำนวนของหมุดควบคุมกับหมุดโยงที่มากขึ้น ดังนั้นการทำงานจึงต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการคำนวณปรับแก้ด้วยโปรแกรมที่มีอยู่แล้วหรือเขียนขึ้นเอง ทำให้การทำงานให้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยการปรับแก้จะใช้วิธีการลีสท์สแควร์แบบสมการค่าสังเกต ที่กำหนดตัวไม่ทราบค่าคือค่าพิกัดบนภาพถ่ายของหมุดโยงที่ต้องการทราบ ส่วนค่าสังเกตคือค่าพิกัดของหมุดควบคุม ค่ามุมที่หมุนรอบแกนและค่าพิกัดของจุดเปิดถ่าย



○ Tie point

△ Control point

รูปที่ 4 แสดงลักษณะการทำ Block Adjustment

5. ขั้นตอนการทำงาน

ในการทำการสร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้วิธีการถ่ายภาพระยะใกล้จะได้ทั้งกล้องที่เป็นแบบระบบอัตโนมัติและแบบธรรมดาไม่มีอัตโนมัติ ซึ่งมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ กำหนดมาตราส่วนภาพถ่าย

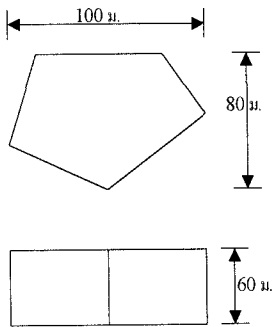
1. กำหนดจุดตั้งกล้อง
2. กำหนดจำนวนภาพที่ต้องการ
3. กำหนดจุดควบคุมบนภาพถ่าย
4. ประมาณค่าพิกัดพิกัดจุดถ่ายภาพ
5. ปรับแก้โดยสมการ

ตัวอย่าง รูปแบบการทำงาน จากรูปวัตถุที่ใช้ในการถ่ายรูปมีความกว้างยาวและสูงดังรูปที่ 5

กรณีที่ 1 กล้องถ่ายภาพแบบธรรมดา ถ้ากำหนดให้มีความยาวโฟกัส = 80 มม. และขนาดของภาพ 100X125 มม.

1. กำหนดมาตราส่วนภาพถ่าย ในการถ่ายภาพ 1 ครั้ง ควรจะครอบคลุมด้านที่ถ่ายทั้งหมดสมมติว่าถ่ายภาพแนวอนนาระยะมากที่สุดของวัตถุด้านนั้นมาหามาตราส่วนกับขนาดของภาพถ่าย

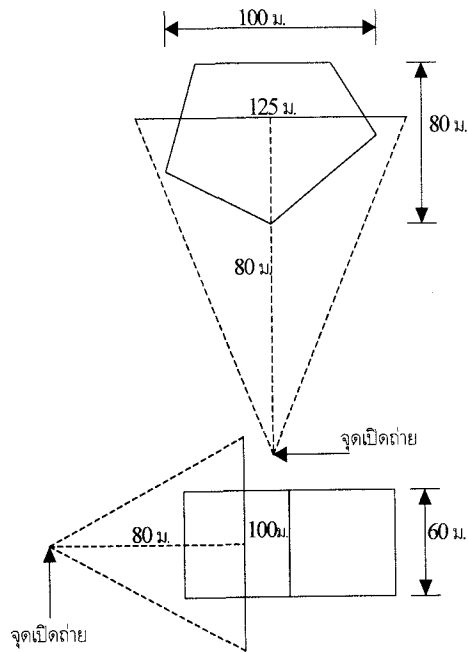
$$\text{มาตราส่วน} = \frac{1}{0.125} \approx \frac{0}{2.51} \text{ , (}$$



รูปที่ 5 ลักษณะวัตถุ

ดังนั้นขอบเขตของการถ่ายภาพ 1 ครั้งจะเท่ากับ 125 X 100 มม. และระยะที่ถ่ายภาพอยู่ห่างจากวัตถุประมาณ 80 มม. ในการถ่ายภาพแบบจำลองเพื่อคำนวณค่าพิกัดของจุดต่างๆบนแบบจำลองโดยใช้ภาพถ่าย จะอาศัยหลักการของ Block Adjustment กล่าวคือทุกจุดบนแบบจำลองจะต้องปรากฏอยู่บนภาพถ่ายอย่างน้อย 2 ภาพ(ถ้า 3 ภาพสำหรับตรวจสอบตำแหน่ง)

และจุดบนแบบจำลองจะต้องไม่เกิดจากรังสีที่ตัดกันเป็นมุมแคบเมื่อเป็นดังนั้นจะได้ว่า

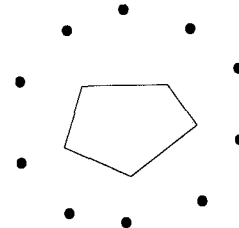


รูปที่ 6 ลักษณะการถ่ายภาพ

2. จำนวนจุดตั้งกล้อง ควรตั้งอย่างน้อย 10 จุดเพื่อให้แต่ละภาพซ้อนกัน 50 % หรือ 12 ภาพเพื่อให้แต่ละภาพซ้อนกัน 60 %

3. ดังนั้นจำนวนภาพที่ต้องการจะเท่ากับจำนวนที่ตั้งกล้องคือถ้าตั้งกล้องถ่ายภาพ 10 จุดจะได้ภาพถ่าย 10 ภาพหรือถ้าเป็นจำนวน 12 จุดก็จะได้ภาพถ่าย 12 ภาพ

4. การประมาณค่าพิกัดโดยเราจะประมาณให้ค่าพิกัด x,y คือตำแหน่งที่เราเขียนส่วน z คือความสูงของเรา ส่วนการหมุน ω , ϕ และ K จะมีเฉพาะทางแกน x และ y ทางแกน z ไม่มี



รูปที่ 7 ตำแหน่งในการถ่ายภาพ

กรณีที่ 2 กล้องถ่ายภาพแบบอัตโนมัติ ถ้ากำหนดให้มีความยาวโฟกัสเท่ากับ 25 มม. โดยที่ขนาดของภาพเท่ากับ 3000X2000 จุดภาพ(Pixel) และ Pixel Size เท่ากับ 0.010 มม.

ดังนั้นขนาดของภาพถ่ายเท่ากับ 30 X 20 มม.

1. กำหนดมาตราส่วนภาพถ่าย ในการถ่ายภาพ 1 ครั้ง ควรจะครอบคลุมด้านที่ถ่ายทั้งหมดสมมติว่าถ่ายภาพแนวนอน นำระยะมากที่สุดของวัตถุด้านนั้นมาหามาตราส่วนกับขนาดของภาพถ่าย

$$\text{มาตราส่วน} = \frac{1}{0.0304} \approx \frac{0}{0.0304}$$

ดังนั้นขอบเขตการถ่ายภาพ 1 ครั้งจะเท่ากับ 120X80ม.

และระยะที่ถ่ายภาพอยู่ห่างจากวัตถุประมาณ 100 ม.

ในการถ่ายภาพแบบจำลองเพื่อคำนวณค่าพิกัดของจุดต่างๆบนแบบจำลองโดยใช้ภาพถ่าย จะอาศัยหลักการของ Block Adjustment กล่าวคือทุกจุดบนแบบจำลองจะต้องปรากฏอยู่บนภาพถ่ายอย่างน้อย 2 ภาพ(ถ้า 3 ภาพสำหรับตรวจสอบตำแหน่ง) และจุดบนแบบจำลองจะต้องไม่เกิดจากรังสีที่ตัดกันเป็นมุมแคบเมื่อเป็นดังนั้นจะได้ว่า

2. จำนวนจุดตั้งกล้อง ควรตั้งอย่างน้อย 10 จุดเพื่อให้แต่ละภาพซ้อนกัน 50 % หรือ 12 ภาพเพื่อให้แต่ละภาพซ้อนกัน 60 %

3. ดังนั้นจำนวนภาพที่ต้องการจะเท่ากับจำนวนที่ตั้งกล้องคือถ้าตั้งกล้องถ่ายภาพ 10 จุดจะได้ภาพถ่าย 10 ภาพหรือถ้าเป็นจำนวน 12 จุดก็จะได้ภาพถ่าย 12 ภาพ

4. การประมาณค่าพิกัดโดยเราจะประมาณให้ค่าพิกัด x,y คือตำแหน่งที่เราเ็นส่วน z คือความสูงของเรา ส่วนการหมุน ω , ϕ และ K จะมีเฉพาะทางแกน x และ y ทางแกน z ไม่มี โดยเป็นการเดินรอบๆวัตถุ

ดังนั้นหลังจากการถ่ายภาพจึงต้องมีการปรับแก้เพื่อหาค่าพิกัด ดังหลักการที่กล่าวไว้ข้างต้นก็จะสามารถหาค่าพิกัดของจุดต่างๆบนภาพที่นำไปสร้างแบบจำลอง 3 มิติได้ ซึ่งในส่วนของบทความนี้จึงเป็นการนำเสนอเทคโนโลยีด้านภาพถ่ายมาทำให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดเพื่อที่จะนำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Karl Kraus and Peter Waldhausl . "Photogrammetry Vol. 1", WB-Druck ,Germany , pp. 215-229,1993.
- [2] Paul R. Wolf and Bon A. Dewitt. "Elements of Photogrammetry with Applications in GIS ", McGraw-Hill, USA , pp. 233-235 , 2000.
- [3] Albertz and Kreiling. "Photogrammetrisches Guide", Herbert Wichmann Verlag GmbH, Germany , pp. 217-219 , 1983.