ระเบียบวิธีวิจัย

Research Methodology

Essential Feature Points and Geometric Inference

ภิญโญ แท้ประสาทสิทธิ์

(pinyo at su.ac.th, pinyotae at gmail dot com)

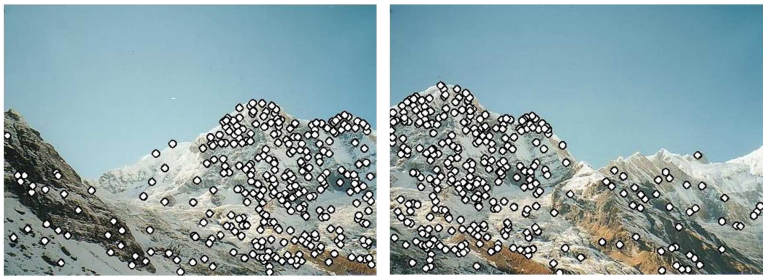
ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Topic Outline

- อะไรคือฟีทเจอร์ในคอมพิวเตอร์วิชัน
- ฟีทเจอร์ยอดนิยม
- เราใช้ฟีทเจอร์ทำอะไรได้บ้าง
- จุดและมุมที่เป็นลักษณะเด่น (point and corner features)
- จุดสำคัญกับการอนุมานทางเรขาคณิต

อะไรคือฟีทเจอร์ในคอมพิวเตอร์วิชัน

- ฟีทเจอร์หมายถึงลักษณะเด่น
- สำหรับคอมพิวเตอร์วิชันลักษณะเด่นอาจจะไม่ใช่สิ่งที่เด่นชัดในสายตามนุษย์
- มักช่วยให้เราสามารถดึงเอาข้อมูลที่ต้องการออกมาได้
- ฟีทเจอร์ที่ดีมักไม่แปรผัน (invariant) และไม่ควรจะมีมากเกินไปจนจัดการไม่ไหว



ฟีทเจอร์ยอดนิยม

- **จุดและมุมของวัตถุ (points and corners)**
- **ขอบวัตถุ (object edge or boundary)**
- **พื้นที่ส่วนหนึ่งในรูป (image patch)**

สำหรับวัตถุที่ถูกคัดแยกออกมาแล้วก็มักจะใช้ลักษณะเด่นดังนี้

- พื้นที่
- ขนาดและทิศทางของแกนหลัก
- สี ความสว่าง
- รูปร่าง

แต่ช่วงเช้านี้เราจะไม่เน้นที่ลักษณะเด่นของวัตถุที่ถูกแยกออกมา

เราใช้ฟีทเจอร์ทำอะไรได้บ้าง

- Image stitching

Match and combine multiple images

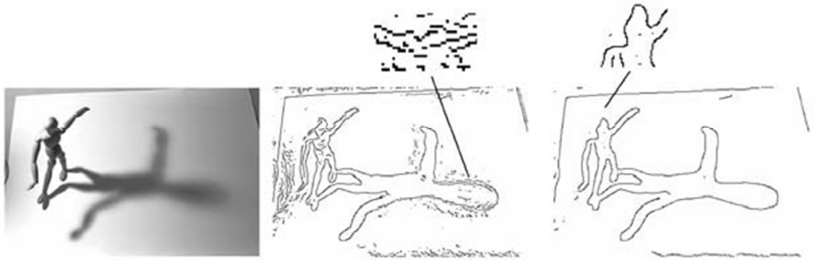
Obtain an image with higher resolution

- Image stitching ช่วยให้เราสามารถเพิ่ม resolution ของภาพโดยรวมได้

Image source: http://www.ptgui.com/

เราใช้ฟีทเจอร์ทำอะไรได้บ้าง (2)

- **หาขอบเขตของวัตถุ**



Input Bad Edge Good Edge

- **ถ้าเราหาขอบวัตถุได้ดี**
  - **เราก็สามารถประมาณขนาด รูปร่างและตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ ได้ดีด้วย**

Image source: Szeliski Ch.4 Fig 4.32 2010

เราใช้ฟีทเจอร์ทำอะไรได้บ้าง (3)

- **ค้นหาโครงสร้างของวัตถุ**

- เส้นตรงเป็นโครงสร้างทั่วไปของวัตถุต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันของเรา
- การหาเส้นตรงช่วยให้เราค้นพบและรู้จำวัตถุในฉากได้
  - เช่นการค้นหาและรู้จำวัตถุที่มีสี่เหลี่ยมเป็นองค์ประกอบ

Image source: Szeliski 2010

คำถามที่พบบ่อย ๆ ในเรื่องเกี่ยวกับฟีทเจอร์

- Where will the interest points come from?
  - What are salient features that we'll *detect* in multiple views?
- **How to *describe* a local region?**
- How to establish *correspondences*, i.e., compute matches?

Slide credit: Lihi Zelnik-Manor

จุดและมุมที่เป็นลักษณะเด่น

- ก่อนอื่นมาดูกันก่อนว่าทำไมใช้แค่จุดหรือมุมแล้วมันดีกว่าการใช้พื้นที่ได้อย่างไร
- **ตัวอย่าง**: จงหาบริเวณที่สอดคล้องกันจากภาพทั้งสอง

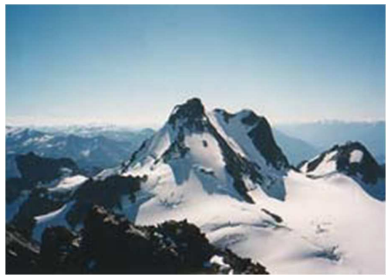
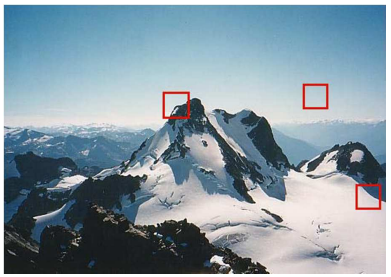
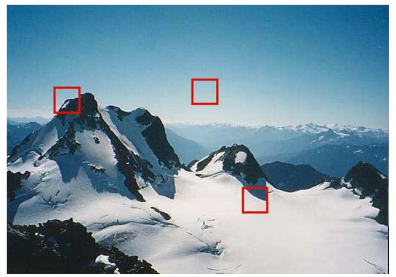


Image source: Szeliski 2010

เปรียบเทียบการใช้มุม ขอบ และ พื้นที่เป็นลักษณะเด่น

- จากตำแหน่งที่สอดคล้องกันทั้งสามแบบ
  - สังเกตได้ว่าถ้าเราเลื่อนกรอบพื้นที่ไปในทิศทางใดก็ตาม เราก็มองไม่เห็นความแตกต่างจากเดิม
  - ในกรณีของขอบ ถ้าเราเลื่อนกรอบไปในทิศเดียวกับขอบเราจะไม่เห็นความแตกต่าง

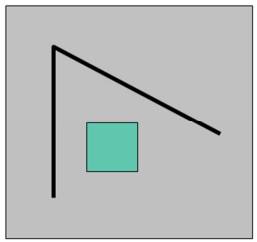
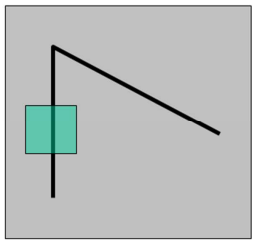
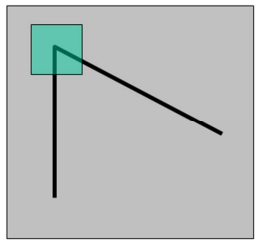



พื้นที่ ขอบ จุด, มุม พื้นที่ ขอบ จุด, มุม

Image source: Szeliski 2010

อีกแง่มุมของการเปรียบเทียบ

- สมมติว่าเรากำลังพิจารณาหน้าต่างเล็ก ๆ ของพิกเซล
  - ถ้าเป็นพื้นที่เราเลื่อนกรอบไปแล้วสิ่งที่ปรากฏอยู่ในกรอบก็เหมือนเดิม
  - ถ้าเป็นขอบหากเราเลื่อนกรอบไปในทิศเดียวกับขอบ สิ่งที่อยู่ในกรอบก็เหมือนเดิม
  - แต่ถ้าเป็นมุม จะเลื่อนไปทางไหนเราก็เห็นความแตกต่างได้ทันที
- ถ้าจะหาความสอดคล้องของตำแหน่งในภาพสองภาพ มุมจะมีความกำกวมน้อย

พื้นที่ ขอบ มุม

Slide adapted from Darya Frolova, Denis Simakov, Weizmann Institute

ข้อดีของการใช้มุม

- เจาะจงกับพื้นที่เป็นอย่างมาก
  - การเลื่อนบริเวณที่พิจารณาไม่ว่าไปในทิศใดก็สังเกตเห็นความคลาดเคลื่อนได้
- จุดมุมที่เด่น ๆ มีไม่มากนักในรูป
  - ไม่เป็นอุปสรรคทางด้านเวลาคำนวณสำหรับการหาความสอดคล้องของมุมในภาพสองภาพ
- ถ้าหากเราสนใจเฉพาะการหาความสอดคล้องของตำแหน่ง การพิจารณาก็จะง่ายขึ้น
  - มุมไม่แปรผันกับการหมุนภาพ เพราะหมุนภาพอย่างไรมุมก็ยังปรากฏอยู่ดี
  - ไม่แปรผันกับการเลื่อน
  - แทบจะไม่แปรผันกับการหดขยายรูป (ถ้าไม่ทำมากจนเกินไปและใช้ SIFT ช่วย)
  - แทบจะไม่แปรผันกับการทำ affine transform และ การทำ perspective projection (ถ้าไม่ทำมากเกินไป)
- มุมจัดว่าเป็น invariant feature ที่ยอดเยี่ยมมาก
- จุดที่เป็นลักษณะเด่นอื่น ๆ อาจจะไม่ทนต่อการแปรผันเท่ากับมุม

Automatic Projector Calibration Using Embedded Light Sensors

Video source: Johny Chung Lee from http://johnnylee.net

Low-cost Multi-Point Interactive Whiteboard using the Wiimote

Video source: Johny Chung Lee from http://johnnylee.net

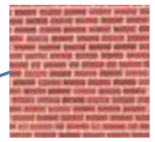
Head Tracking for Desktop Virtual Reality Displays Using the Wii Remote

Video source: Johny Chung Lee from http://johnnylee.net

Texture Analysis and Synthesis

- การวิเคราะห์พรรณลักษณ์เป็นพื้นฐานที่สำคัญ ทั้งทางด้านกราฟฟิกและคอมพิวเตอร์วิชัน
- ถ้าเราเข้าใจโครงสร้างก็จะสามารถสังเคราะห์พรรณลักษณ์ที่มีลักษณะตามต้องการได้
  - สังเคราะห์พื้นผิวขนาดใหญ่จากตัวอย่างพื้นผิวเล็ก ๆ
  - ทดลองเปลี่ยนลวดลายเฟอร์นิเจอร์
  - ทดลองเปลี่ยนลวดลายเสื้อผ้าได้ตามต้องการ
  - ทดลองเปลี่ยนพื้นผิวของสิ่งต่าง ๆ
- การค้นพบจุดมุมหรือจุดสำคัญอื่น ๆ เป็นชุดจะช่วยให้เราทำการอนุมานเกี่ยวกับรูปแบบทางเรขาคณิตได้

ตัวอย่างการสังเคราะห์และทดแทนพื้นผิว



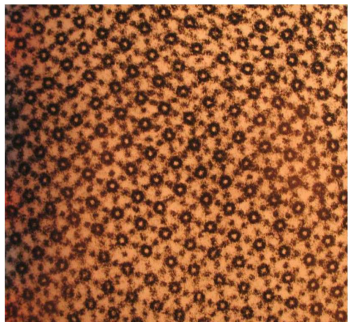
วิเคราะห์หารูปแบบซ้ำ ๆ กันอินพุต
ใช้การหามุมและขอบเป็นหลัก

สังเคราะห์ลวดลายขึ้นมาใหม่
แล้วนำไปแทนลวดลายเดิม

Image: Yanxi Liu and Wen-Chieh Lin

ปัญหาในการวิเคราะห์หารูปแบบ

- เนื่องจากโครงสร้างที่พบในภาพมักจะไม่สม่ำเสมอ แต่เกือบสม่ำเสมอ
  - มักไม่มีรูปแบบที่ซ้ำกันโดยสิ้นเชิงในธรรมชาติ
  - มุมกล้องทำให้เกิดภาพมุมตีบ หรือ เลนส์ทำให้ภาพเพี้ยน
  - การจัดวางของวัตถุไม่อยู่ในระนาบ
  - พื้นผิวมีตำหนิ



Skeletal Muscle

Image: Yanxi Liu *et al.*

ระดับของความสม่ำเสมอของรูปแบบ

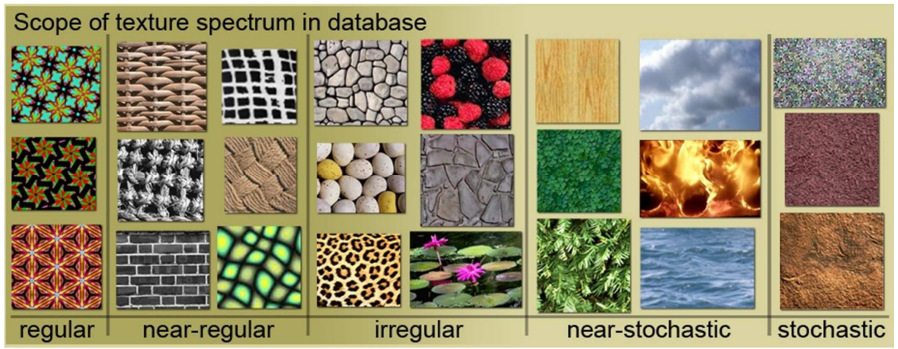


Image: Yanxi Liu *et al.*

วิธีที่ (ค่อนข้างจะ) ได้ผล

- ปัญหาการหารูปแบบเป็นปัญหาที่ยากมาก ปัจจุบันยังไม่มีวิธีที่ได้ผลชะงัด
- แต่วิธีที่ถือว่าดีมากวิธีหนึ่งคือการใช้ Deformed Lattice Detection
  - พยายามตรวจหาโครงสร้าง Lattice
  - คาดเดาและดัดแปลงโครงสร้างแลตทิซ
  - หารูปแบบที่ใกล้เคียงกับสมมติฐาน ถ้ามีสิ่งที่ตรงกันมากก็พอจะสรุปได้ว่าเจอรูปแบบซ้ำในภาพ
- เท่าที่เคยลองใช้ ไม่ใช่วิธีที่เป็น Scale Invariant การหดขยายรูปทำให้คำตอบเปลี่ยนไปมาก

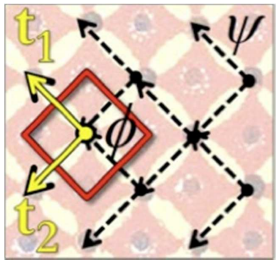


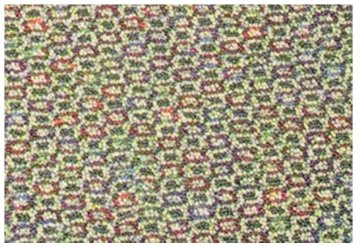
Image: Yanxi Liu *et al.*

ดูตัวอย่างการวิเคราะห์

Video: Yanxi Liu *et al*. from
http://vision.cse.psu.edu/research/deformedLattice/Deformed_Lattice_Detection.html

วิธีที่ทำให้ง่าย

- ถ้ารู้อยู่แล้วว่าจะมี Pattern แบบไหนในภาพก็ให้เก็บตัวอย่าง Pattern นั้นไว้
  - เก็บในมุมตรงให้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ หลีกเลี่ยงการเกิดภาพมุมตีบ
- จากนั้นก็ตามหา Pattern ดังกล่าว
  - ดูเหมือนเป็นวิธีขี้โกงแต่เพียงเท่านี้ก็มีวิธีประยุกต์ใช้ที่ยอดเยี่ยมน่าประทับใจมาก



ตัวอย่างการสังเคราะห์และทดแทนพื้นผิว

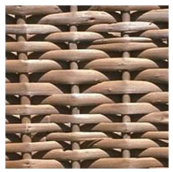
ตอนเก็บตัวอย่างเป็น ‘ภาพถ่ายหน้าตรง’
แต่ตอนตามหาเป็นภาพมุมตีบก็ได้

ทดสอบการแต่งบ้านด้วยการวิเคราะห์
และทดแทนลวดลาย

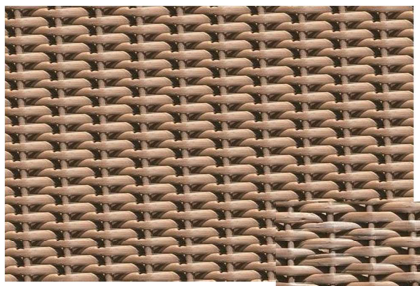
Image: Yanxi Liu *et al.*

แล้วเราสังเคราะห์พื้นผิวมาได้อย่างไร

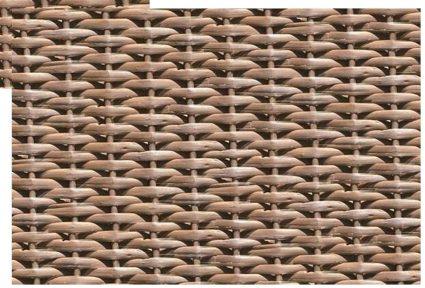
- ถ้ารู้รูปแบบการวนซ้ำเราก็สามารถทำได้
- แต่ควรใส่ความผิดพลาดลงไปเล็กน้อยเพื่อให้ดูเป็นธรรมชาติ



Input Texture



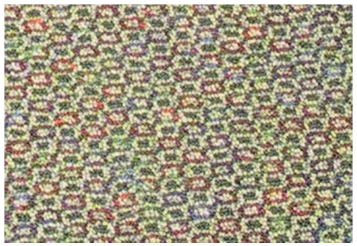
แบบซ้ำโดยสมบูรณ์



แบบสุ่มเลือกการซ้ำ

Image: Yanxi Liu *et al.*

ตัวอย่างการสังเคราะห์พื้นผิวเพิ่มเติม



Input Texture

Synthesized Texture

Image: Yanxi Liu *et al.*

อินพุตมีตำหนิก็ยังพอได้

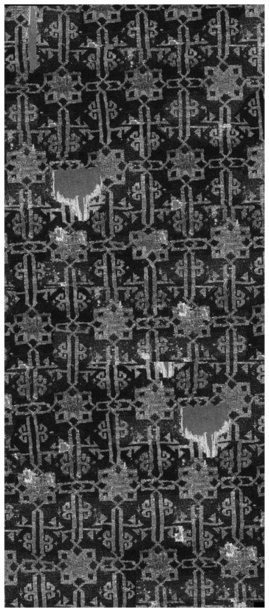
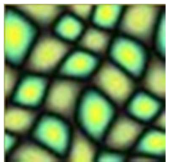


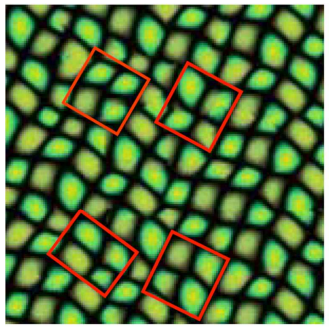
Image: Yanxi Liu *et al.*

แต่บางทีชีวิตมันก็ไม่ง่าย

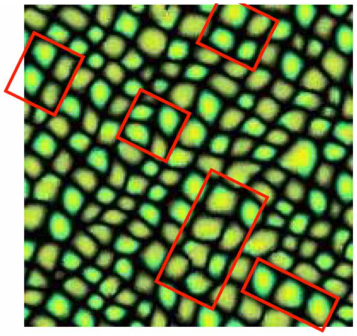
- แค่จะหารูปแบบจากอินพุตเล็ก ๆ ก็ไม่ได้ เพราะมันไม่เป็นสี่เหลี่ยมเสียทีเดียว
- และการวนซ้ำมันอาจจะลึกล้ำกว่าที่คิด (มีเรื่องของการสลับลำดับสีมาเกี่ยวข้อง)



Input Texture
สังเกตว่าสีเรียงตัว
สลับกัน
ซ้ำกันตามแนวแทยง



Efros & Freeman
SIGGRAPH'01



Wei & Levoy
SIGGRAPH'00

Efros and Freeman ทำซ้ำรูปร่างได้ดี แต่พลาดเรื่องสีไป

Slide credit: Yanxi Liu

การประยุกต์ใช้อื่น ๆ

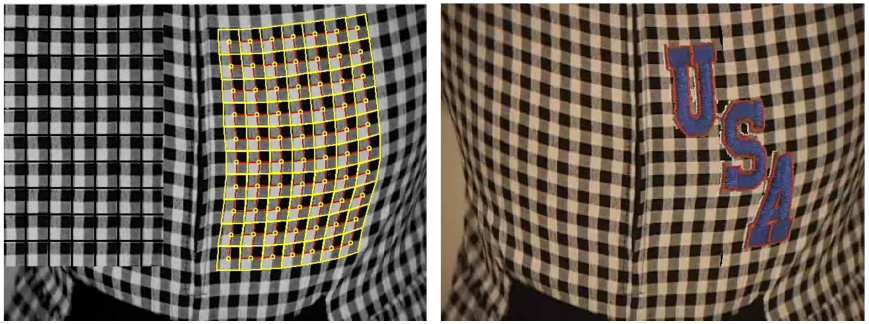
- ทดสอบการเปลี่ยนลายผ้า

Image: Yanxi Liu *et al.*

ทดสอบการวิเคราะห์และสังเคราะห์พื้นผิวกับวีดีโอ

Video: http://vivid.cse.psu.edu/texturedb/gallery/

ผลการวิเคราะห์และสังเคราะห์



Video: Yanxi Liu *et al*. from
http://vision.cse.psu.edu/research/deformedLattice/Deformed_Lattice_Detection.html

ผลงานในยุคถัดมาของนักวิจัยกลุ่มอื่น

Video: http://www.youtube.com/watch?v=LJITGhmY-5g

Image Defencing and Inpainting

ถ้าเราค้นหารูปแบบได้อย่างแม่นยำ
สามารถหาตำแหน่งรั้วได้

เอารั้วออกแล้วเปลี่ยนเป็นพื้นหลัง

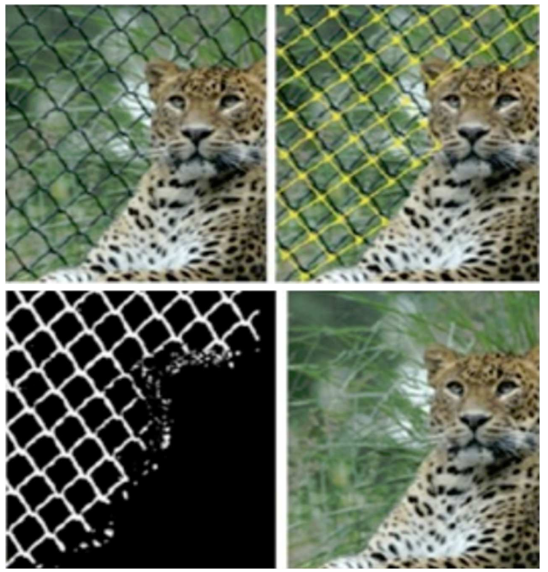


Image: Yanxi Liu *et al.*

ปัญหาในการเอาสิ่งกีดขวางออก

- **เราต้องคิดให้ได้ว่าจะเอาค่าอะไรไปแทนดี**
  - ถ้าเป็นภาพนิ่งเราไม่มีข้อมูลแน่ ๆ ต้องเดาโดยใช้ข้อมูลจากพื้นที่ใกล้เคียง
  - แต่ถ้าเป็นวีดีโอเราเอาผลจากเฟรมอื่นมาใส่เข้าไปได้
  - รูปแบบวนซ้ำของรั้ว/แลตทิซสามารถนำมาใช้เป็นจุดอ้างอิงในการเชื่อมค่าระหว่างเฟรมได้
- **วิธีทำ**
  - ใช้การตรวจหาโครงสร้างแลตทิซอัตโนมัติ (Deformed Lattice Discovery via Ecient Mean-Shift Belief Propagation, Minwoo Park *et al*., 2008)
  - เอารั้วออก ระบุไว้ว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูล
  - วิเคราะห์เฟรมใกล้เคียง ตามหาพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง (วิธีซับซ้อนพอสมควร)
  - ดึงข้อมูลจากพื้นที่ทีเกี่ยวข้องมาปะใส่พื้นที่ที่ไม่มีข้อมูล
- รายการอ้างอิง
  - Minwoo Park, Kyle Brocklehurst, Robert T. Collins, and Yanxi Liu, **Image De-fencing Revisited**, ACCV 2010

ผลลัพธ์

(a) Input (b) Automatic Segmentation

(c) Single-View Inpainting **(d) Multi-View Inpainting**

Image: Minwoo Park *et al.*

ผลลัพธ์เพิ่มเติม

Image: Minwoo Park *et al.*

สรุป

- มุม (corner) เป็นฟีทเจอร์ที่สำคัญเพราะตรวจค้นได้ง่าย เปรียบเทียบหาความสอดคล้องเชิงตำแหน่งได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะมีปริมาณไม่มากนัก และมักอยู่ที่จุดสำคัญของวัตถุ
- การค้นพบจุดสำคัญของวัตถุเป้าหมายทำให้เราสามารถผนวกสมมุติฐานของวัตถุกับตำแหน่งที่ตรวจพบเพื่อทำการอนุมานทางเรขาคณิตได้อย่างแม่นยำ
  - นำไปสู่การใช้งานที่หลากหลายทั้งทางด้านการศึกษาและด้านกราฟฟิก
- หากวัตถุเป้าหมายมีพื้นผิวหรือจุดสำคัญที่เป็นรูปแบบที่แน่นอน
  - การรู้จุดสำคัญเป็นชุดทำให้เราสกัดเอาการบิดรูปของพื้นผิวมาใช้งานได้
  - เราใช้จุดสำคัญที่พบเป็นตำแหน่งอ้างอิงเพื่อรวมข้อมูลจากภาพวีดีโอหลาย ๆ เฟรมมารวมกันได้