

การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงวยดียง  
โดยการใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์ด้วยพจนานุกรมแบบวิเคราะห

นายวัชร เรืองสังข์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUPER-RESOLUTION IMAGE RECONSTRUCTION  
USING SPARSE REPRESENTATION WITH ANALYSIS DICTIONARY

Mr. Watchara Ruangsang



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์               | การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงอย่างรวดเร็วโดยใช้การ |
|                                 | แทนแบบมากเลขศูนย์ด้วยพจนานุกรมแบบวิเคราะห์        |
| โดย                             | นายวัชร เรืองสังข์                                |
| สาขาวิชา                        | วิศวกรรมไฟฟ้า                                     |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาวดี อร่ามวิทย์         |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยากร อัครวิเศษ)  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาวดี อร่ามวิทย์)  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรีย์ พุมรินทร์)  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. สรรพฤทธิ์ มฤคทัต)

วัชระ เรื่องสังข์ : การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งโดยการใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์ด้วยพจนานุกรมแบบวิเคราะห์ (SUPER-RESOLUTION IMAGE RECONSTRUCTION USING SPARSE REPRESENTATION WITH ANALYSIS DICTIONARY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. สุภาวดี อร่ามวิทย์, 52 หน้า.

ในทุกวันนี้ ระบบภาพโทรทัศน์วงจรปิดถูกใช้งานแพร่หลายในระบบการสอดส่องดูแล อย่างไรก็ตาม คุณภาพของภาพวิดีโอที่ส่งออกจากโทรทัศน์วงจรปิดในบางกรณี อาจจะมีคุณภาพที่ต่ำ เนื่องจากข้อจำกัดของกล้อง สภาพแสง และมุมกล้อง จึงเป็นการยากที่จะสกัดข่าวสารที่มีประโยชน์เพื่อทำการวิเคราะห์ ระบุหรือรู้จำ ในวิทยานิพนธ์นี้เราศึกษาระเบียบวิธีการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งเพื่อสร้างภาพความละเอียดสูงจากภาพความละเอียดต่ำ

ระเบียบวิธีที่นำเสนอใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์และพจนานุกรมแบบวิเคราะห์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน: กระบวนการเรียนรู้ และกระบวนการสร้างใหม่ในกระบวนการเรียนรู้ พจนานุกรมแบบวิเคราะห์ถูกสร้างโดยการแทนแบบมากเลขศูนย์ ส่วนกระบวนการสร้างใหม่เป็นกระบวนการที่สร้างภาพความละเอียดสูงใช้การเข้ารหัสแบบมากเลขศูนย์ เมทริกซ์แบบมากเลขศูนย์จะถูกสร้างโดยระเบียบวิธี อีลาสติกเน็ตแบบปรับตัวได้

การทดลองถูกทดสอบโดยภาพทั่วไป ภาพใบหน้า ภาพป้ายทะเบียนรถ และภาพวิดีโอที่ผ่านการประเมินสมรรถนะเชิงวัตถุวิสัยใช้การวัดรากของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง และอัตราส่วนค่าสัญญาณสูงสุดต่อสัญญาณรบกวน สมรรถนะของระเบียบวิธีที่นำเสนอถูกเปรียบเทียบกับ ระเบียบวิธีที่ประเมินค่าในช่วงแบบไบควบิกและระเบียบวิธีอ้างอิงอื่นๆ จากผลการทดลอง ระเบียบวิธีที่นำเสนอสามารถสร้างภาพความละเอียดสูงโดยมีคุณภาพที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอ้างอิงอื่น

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

# # 5470363021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: SUPER-RESOLUTION, ANALYSIS-KSVD, ADAPTIVE ELASTIC-NET

WATCHARA RUANGSANG: SUPER-RESOLUTION IMAGE RECONSTRUCTION USING SPARSE REPRESENTATION WITH ANALYSIS DICTIONARY. ADVISOR: ASST. PROF. SUPAVADEE ARAMVITH, Ph.D., 52 pp.

Nowadays, closed-circuit television (CCTV) systems are widely used in surveillance systems. However, the qualities of output videos from CCTV in some cases are lower in resolution due to camera specification, lighting conditions, or camera angles. It is thus difficult to extract useful information for further analysis, identification, and recognition. In this thesis, we investigate image super-resolution method to reconstruct high resolution image from low resolution ones.

The proposed method using sparse representation and analysis dictionary can be divided into two stages: learning process and reconstruction process. In the learning process, an analysis dictionary is created by using sparse representation. Reconstruction process is the process that produces high-resolution image using sparse coding. A sparse matrix is generated by Adaptive Elastic Net.

The experiments are tested using general, face, license plate images, and video. For objective evaluation of the performance, Root Mean Square Error (RMSE) and Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) values are measured. The performance of proposed method is compared with Bicubic Interpolation and other referenced methods. Based on the experimental results, the proposed method produce higher resolution image with improved quality compared to other reference methods.

Department: Electrical Engineering      Student's Signature .....

Field of Study: Electrical Engineering      Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์ ที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาพร้อมทั้งให้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้โอกาสในการเรียนรู้และการทำงานวิจัยต่างๆ หลากหลายด้านซึ่งถือว่าเป็นโอกาสที่ดีในการเรียนรู้สิ่งใหม่เพิ่มเติม

ขอขอบคุณประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยากร อัครวิเศษ อีกทั้งกรรมการในการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรีย์ พุ่มรินทร์ และ ดร. สรรพฤทธิ์ มฤคทัต ที่ให้คำแนะนำ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และนำข้อบกพร่องต่างๆ มาปรับปรุงให้ดีขึ้น

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งให้การสนับสนุนด้านการศึกษา ค่าใช้จ่ายและให้กำลังใจในระหว่างการศึกษาระดับมหาบัณฑิต ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อนและน้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ช่วยเหลือ พร้อมทั้งแนะนำในทั้งด้านการเรียนและกิจกรรมต่างๆ

## สารบัญ

หน้า

|   |    |
|---|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | จ  |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ  |
| สารบัญ.....   | ช  |
| สารบัญตาราง.....  | ซ  |
| สารบัญภาพ .....   | ฅ  |
| บทที่ 1 บทนำ .....  | 1  |
| 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....   | 1  |
| 1.2. วัตถุประสงค์.....  | 2  |
| 1.3. ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....  | 2  |
| 1.4. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน .....   | 2  |
| 1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....   | 2  |
| บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....   | 3  |
| 2.1. การสร้างภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง.....  | 3  |
| 2.1.1 วิธีการประมาณค่าในช่วงโดยใช้ภาพเดี่ยว.....  | 3  |
| 2.1.2. วิธีการสร้างคืนภาพแบบด้วยการใช้ภาพความละเอียดต่ำหลายๆ ภาพ .....                          | 4  |
| 2.1.3. วิธีภายใต้การเรียนรู้.....   | 5  |
| 2.2.การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งภายใต้วิธีการเรียนรู้โดยใช้การแทนแบบมากเลข<br>ศูนย์..... | 6  |
| 2.2.1. การแทนแบบมากเลขศูนย์.....  | 7  |
| 2.2.2. การสร้างพจนานุกรม.....   | 10 |
| 2.2.2.1. วิธีการสังเคราะห์.....   | 10 |
| 2.2.2.2. วิธีการวิเคราะห์.....  | 13 |

|  |    |
|--|----|
| บทที่ 3 วิธีการที่นำเสนอ .....   | 15 |
| 3.1. การสร้างคุณภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งโดยใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์ .....                           | 15 |
| 3.1.1. ขั้นตอนการสร้างคุณภาพ .....   | 16 |
| 3.2. การสร้างพจนานุกรม .....   | 17 |
| 3.2.1. ขั้นตอนการสร้างพจนานุกรม .....  | 17 |
| 3.3. การวัดคุณภาพของภาพ .....  | 18 |
| บทที่ 4 ผลการทดสอบ .....   | 19 |
| 4.1. การสร้างคุณภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง .....   | 19 |
| 4.2. การสร้างพจนานุกรม .....   | 20 |
| 4.3. ผลการทดสอบกับภาพทั่วไป .....  | 22 |
| 4.4. ผลการทดสอบกับภาพใบหน้า .....  | 25 |
| 4.5. ผลการทดสอบกับภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ .....   | 29 |
| 4.6. ผลการทดสอบในการเพิ่มความละเอียดวิดีโอ HD เป็น 4K .....  | 34 |
| 4.7. ผลการทดสอบการใช้พจนานุกรม และการใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์ .....                                 | 44 |
| 4.7.1. การทดสอบโดยใช้วิธีการสร้างเมตริกซ์พจนานุกรมเปรียบเทียบกับงานวิจัย<br>อ้างอิง .....          | 44 |
| 4.7.2. การทดสอบโดยใช้วิธีการสร้างเมตริกซ์พจนานุกรมเปรียบเทียบกับงานวิจัยอ้างอิง<br>เพิ่มเติม ..... | 46 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....  | 47 |
| 5.1. สรุปผลการวิจัย .....  | 47 |
| 5.2. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต .....   | 47 |
| รายการอ้างอิง .....  | 48 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....   | 52 |



## สารบัญตาราง

หน้า

|   |    |
|---|----|
| ตารางที่ 4.1 ผลของค่า PSNR จากการปรับค่า $\lambda_2$ .....                      | 19 |
| ตารางที่ 4.2 ผลของค่า PSNR จากการปรับค่า $\gamma$ .....                         | 19 |
| ตารางที่ 4.3 ผลของค่า PSNR ของการประมาณโดยใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์ .....         | 19 |
| ตารางที่ 4.4 ผลของ PSNR ของภาพทั่วไป .....                                      | 24 |
| ตารางที่ 4.5 ผลของ RMSE ของภาพทั่วไป .....                                      | 24 |
| ตารางที่ 4.6 ผลของ PSNR ของภาพใบหน้าคน .....                                    | 28 |
| ตารางที่ 4.7 ผลของ RMSE ของภาพใบหน้าคน .....                                    | 28 |
| ตารางที่ 4.8 ผลของ PSNR ของภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ .....                           | 32 |
| ตารางที่ 4.9 ผลของ RMSE ของภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ .....                           | 33 |
| ตารางที่ 4.10 แสดงผลของ PSNR ของการทดสอบกับวีดิทัศน์ .....                      | 43 |
| ตารางที่ 4.11 ผลของ RMSE ของการทดสอบกับวีดิทัศน์ .....                          | 43 |
| ตารางที่ 4.12 ผลของค่า PSNR ของการสร้างพจนานุกรมจากวิธีการต่างๆ .....           | 45 |
| ตารางที่ 4.13 ผลของค่า PSNR ของการสร้างพจนานุกรมจากวิธีการต่างๆ เพิ่มเติม ..... | 46 |

## สารบัญภาพ

หน้า

|   |    |
|---|----|
| ภาพที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างภาพความละเอียดต่ำกับภาพความละเอียดสูง [1] .....                                       | 2  |
| ภาพที่ 2.1 การสร้างภาพความละเอียดสูงโดยใช้ภาพความละเอียดต่ำหลายๆ ภาพ [1] .....                                      | 4  |
| ภาพที่ 2.2 ไดอะแกรมพื้นฐาน การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งภายใต้วิธีการเรียนรู้ .....                           | 6  |
| ภาพที่ 3.1 ไดอะแกรมแนวคิดวิทยานิพนธ์ .....  | 15 |
| ภาพที่ 4.1 ชุดข้อมูลภาพทั่วไป .....   | 20 |
| ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพใบหน้า .....   | 21 |
| ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพพื้นผิว .....  | 21 |
| ภาพที่ 4.4 ภาพใบไม้ความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 60x56 จุดภาพ<br>เป็น 180x168 จุดภาพ .....        | 22 |
| ภาพที่ 4.5 ภาพใบไม้ความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 45x42 จุดภาพ<br>เป็น 180x168 จุดภาพ .....        | 22 |
| ภาพที่ 4.6 ภาพใบไม้ความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 36x34 จุดภาพ<br>เป็น 180x170 จุดภาพ .....        | 22 |
| ภาพที่ 4.7 ภาพแก้วน้ำความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 60x60 จุดภาพ<br>เป็น 180x180 จุดภาพ .....      | 23 |
| ภาพที่ 4.8 ภาพแก้วน้ำความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 45x45 จุดภาพ<br>เป็น 180x180 จุดภาพ .....      | 23 |
| ภาพที่ 4.9 ภาพแก้วน้ำความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 36x36 จุดภาพ<br>เป็น 180x180 จุดภาพ .....      | 23 |
| ภาพที่ 4.10 ภาพใบหน้าผู้ชายความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 47x68<br>จุดภาพเป็น 141x204 จุดภาพ ..... | 25 |
| ภาพที่ 4.11 ภาพใบหน้าผู้ชายความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 35x51<br>จุดภาพเป็น 140x204 จุดภาพ ..... | 25 |

|  |    |
|--|----|
| ภาพที่ 4.12 ภาพใบหน้าผู้ชายความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 28x41 จุดภาพเป็น 140x205 จุดภาพ.....                                    | 26 |
| ภาพที่ 4.13 ภาพใบหน้าผู้ชายใส่แว่นความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 47x67 จุดภาพเป็น 141x201 จุดภาพ.....                             | 26 |
| ภาพที่ 4.14 ภาพใบหน้าผู้ชายใส่แว่นความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 35x50 จุดภาพเป็น 140x200 จุดภาพ.....                             | 27 |
| ภาพที่ 4.15 ภาพใบหน้าผู้ชายใส่แว่นความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 28x40 จุดภาพเป็น 140x200 จุดภาพ.....                             | 27 |
| ภาพที่ 4.16 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 1 ความละเอียดสูง โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 54x29 จุดภาพเป็นขนาด 162x87 จุดภาพ.....                      | 29 |
| ภาพที่ 4.17 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 1 ความละเอียดสูง โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 41x22 จุดภาพเป็นขนาด 164x88 จุดภาพ.....                      | 30 |
| ภาพที่ 4.18 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 1 ความละเอียดสูง โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 32x17 จุดภาพเป็น 160x85 จุดภาพ.....                          | 30 |
| ภาพที่ 4.19 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 2 ความละเอียดสูง โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 53x26 จุดภาพเป็นขนาด 159x78 จุดภาพ.....                      | 31 |
| ภาพที่ 4.20 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 2 ความละเอียดสูง โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 40x20 จุดภาพเป็นขนาด 160x80 จุดภาพ.....                      | 31 |
| ภาพที่ 4.21 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 2 ความละเอียดสูง โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 40x20 จุดภาพเป็นขนาด 160x80 จุดภาพ.....                      | 32 |
| ภาพที่ 4.22 แสดงขนาดของวิดีโอที่ต้นมาตรฐาน .....   | 34 |
| ภาพที่ 4.23 เฟรมที่ 1 ของวิดีโอที่ต้น Foreman.....   | 35 |
| ภาพที่ 4.24 เฟรมที่ 1 ของวิดีโอที่ต้น News .....   | 35 |
| ภาพที่ 4.25 แสดงตัวอย่างบริเวณที่ 1 ของวิดีโอที่ต้น Foreman โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ..... | 36 |
| ภาพที่ 4.26 แสดงตัวอย่างบริเวณที่ 1 ของวิดีโอที่ต้น Foreman โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ .....   | 36 |

|  |    |
|--|----|
| ภาพที่ 4.27 แสดงตัวอย่างบริเวณที่ 2 ของวีดิทัศน์ Foreman โดยการใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ..... | 37 |
| ภาพที่ 4.28 แสดงตัวอย่างบริเวณที่ 2 ของวีดิทัศน์ Foreman โดยการใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ.....    | 37 |
| ภาพที่ 4.29 แสดงบริเวณที่ 1 ของวีดิทัศน์ News โดยการใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ.....            | 38 |
| ภาพที่ 4.30 แสดงบริเวณที่ 1 ของวีดิทัศน์ News โดยการใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ.....               | 38 |
| ภาพที่ 4.31 แสดงบริเวณที่ 2 ของวีดิทัศน์ News โดยการใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ.....            | 39 |
| ภาพที่ 4.32 แสดงบริเวณที่ 2 ของวีดิทัศน์ News โดยการใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ.....               | 39 |
| ภาพที่ 4.33 แสดงบริเวณที่ 3 ของวีดิทัศน์ News โดยการใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ.....            | 40 |
| ภาพที่ 4.34 แสดงบริเวณที่ 3 ของวีดิทัศน์ News โดยการใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ.....               | 40 |
| ภาพที่ 4.35 กราฟแสดงค่า PSNR ของวีดิทัศน์ Foreman เฟรมที่ 1-50 .....   | 41 |
| ภาพที่ 4.36 กราฟแสดงค่า PSNR ของวีดิทัศน์ News เฟรมที่ 1-50.....   | 41 |
| ภาพที่ 4.37 กราฟแสดงค่า PSNR ของวีดิทัศน์ Foreman เฟรมที่ 1-50 .....   | 42 |
| ภาพที่ 4.38 กราฟแสดงค่า PSNR ของวีดิทัศน์ News เฟรมที่ 1-50.....   | 42 |

# บทที่ 1

## บทนำ

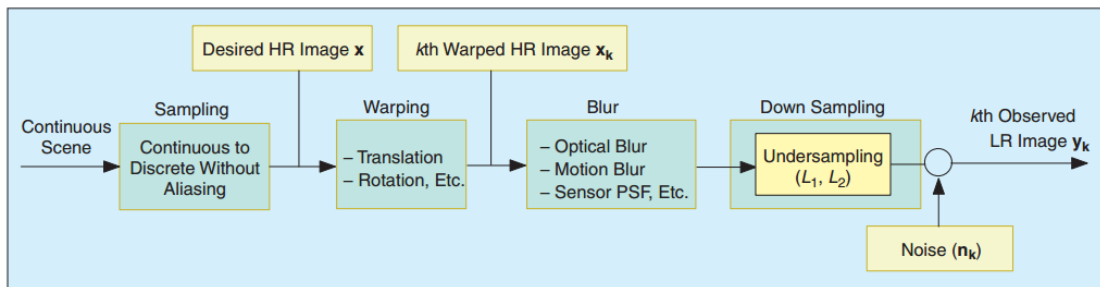
### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบวีดิทัศน์กล้องวงจรปิดในปัจจุบันมีใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีเหตุร้ายต่างๆ เกิดขึ้นอย่างมากมาย โดยระบบวีดิทัศน์กล้องวงจรปิดนั้นจะประกอบไปด้วย ระบบที่วีวงจรปิด (closed circuit television CCTV) โดยมีการติดตั้งกล้องทั้งภายในและภายนอกตามสถานที่ต่าง โดยเราสามารถติดตามดูภาพกิจกรรมหรือการกระทำต่างๆ โดยระบบกล้องวงจรปิดจะมีประโยชน์ในการการตรวจจับวัตถุ เรียนรู้จำวัตถุและการติดตามวัตถุ ซึ่งวัตถุอาจจะเป็นคนหรือสิ่งของก็ได้เช่นกัน ปกติภาพที่ได้มาจากกล้องนั้น ในบางครั้งจะไม่สามารถระบุรายละเอียดของวัตถุ หรือพฤติกรรมนั้นๆ

แต่อย่างไรก็ตาม กล้องวงจรปิดที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบันจะเป็นกล้องที่มีความละเอียดต่ำ วีดิทัศน์ที่ได้จากกล้องก็จะมีรายละเอียดต่ำเช่นกัน ทำให้รายละเอียดของวัตถุในภาพสูญหายไป หรือในบางสถานที่ตำแหน่งที่ติดตั้งกล้อง อาจจะทำให้เกิดกับสภาพแสงไม่เพียงพอ ทำให้ภาพที่ได้มาเห็นรายละเอียดไม่ชัดเจนได้ วีดิทัศน์ที่มีความละเอียดต่ำทำให้เกิดปัญหาในส่วนของความถูกต้อง โดยเมื่อนำไปใช้งานด้านอื่นๆ เช่น การจดจำใบหน้า การเข้าใจข้อความ และงานอื่นๆ ด้านไบโอเมทริก สำหรับกรณีของใบหน้า ถ้าหน้าของบุคคลถ่ายมาจากกล้องที่อยู่ระยะไกลจะยากที่จะตรวจจับและเรียนรู้จำใบหน้า ดังนั้นเราจะหาวิธีที่เพิ่มประสิทธิภาพความละเอียดของภาพ โดยเราเรียกวิธีการนั้นว่า การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง (Super-Resolution)

ในงานวิจัยนี้ พวกเราสนใจงานทางด้านการสร้างภาพความละเอียดสูง โดยใช้การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง ภายใต้การแทนแบบมาเลขศูนย์ (Sparse representation) และการสร้างพจนานุกรม แสดงดังภาพที่ 1.1 ภาพที่ได้จากกล้อง CCTV จะมีความละเอียดต่ำทำให้เห็นรายละเอียดในภาพไม่ชัดเจน ซึ่งจุดประสงค์ของการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง จะศึกษาว่าทำอย่างไรถึงจะหารายละเอียดของภาพเดิมกลับคืนมา โดยการพิจารณาความสัมพันธ์ของภาพความละเอียดสูงและความละเอียดต่ำ

นอกจากนั้น ปัจจุบัน การแสดงผลของทีวีได้มีการพัฒนาให้มีความละเอียดสูงขึ้นถึงระดับ 4K และมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากวีดิทัศน์เดิมที่มีความละเอียดต่ำกว่าเมื่อนำไปแสดงบนทีวีที่มีความละเอียดสูง จะทำให้เห็นรายละเอียดไม่ชัดเจน ดังนั้นจึงต้องการเพิ่มความละเอียดให้มากขึ้น งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเพิ่มความละเอียดของวีดิทัศน์แบบที่ละเฟรม อีกด้วย



ภาพที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างภาพความละเอียดต่ำกับภาพความละเอียดสูง [1]

## 1.2. วัตถุประสงค์

1. พัฒนาขั้นตอนวิธีการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง สำหรับรูปภาพทั่วไป ใบหน้า และ ป้ายทะเบียนรถยนต์
2. เสนอวิธีการออกแบบพจนานุกรมที่ใช้ในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง โดยใช้การ แทนแบบมากเลขศูนย์

## 1.3. ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. เสนอวิธีการแก้ปัญหาการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง ด้วยการแทนแบบมากเลข ศูนย์ โดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบ Adaptive Elastic-Net ในการแทนแบบมากเลขศูนย์
2. เสนอการใช้พจนานุกรมแบบวิเคราะห์ (Analysis Dictionary) สำหรับการสร้างคืนภาพความ ละเอียดสูงยวดยิ่ง ด้วยภาพๆ เดียว ในภาพชนิดต่างๆ คือ ภาพทั่วไป ภาพใบหน้า และภาพ ทะเบียนรถยนต์

## 1.4. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาขั้นตอนการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง
2. ศึกษาขั้นตอนและเทคนิคที่ช่วยแก้ปัญหา การแทนแบบมากเลขศูนย์
3. ทำการทดสอบวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูงจากภาพความละเอียดต่ำภาพเดียว
4. ออกแบบพจนานุกรมที่ใช้ในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง
5. ทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการทั้งหมดใน ภาพทั่วไป ภาพใบหน้าความละเอียดต่ำ และ ภาพป้ายทะเบียนรถยนต์
6. สรุปผล วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับงานวิจัยอื่นที่ผ่านมา
7. จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

## 1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง (Super-Resolution) โดยการปรับปรุงการ แก้ไขปัญหาด้วยการแทนแบบมากเลขศูนย์ (Sparse Representation)
2. แสดงให้เห็นผลของการใช้พจนานุกรม ในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1. การสร้างภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง

โดยจะเป็นการสร้างภาพความละเอียดสูงจากภาพความละเอียดต่ำเพียงภาพเดียวหรือหลายๆ ภาพ โดยการใช้ภาพความละเอียดต่ำภาพเดียวในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง (Super-Resolution Image Reconstruction) จะมีความง่ายและรวดเร็วกว่าการใช้ภาพความละเอียดต่ำหลายๆ ภาพในการสร้างภาพความละเอียดสูง แต่วิธีการใช้หลายๆ ภาพจะหาข้อมูลของภาพที่หายไปได้มากกว่าทำให้ได้ภาพที่มีความถูกต้องมากกว่า แต่การใช้ภาพความละเอียดต่ำหลายๆ ภาพ จะใช้เวลาประมวลผลนานมีความยุ่งยากและซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น โดยการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งจะแบ่ง 3 วิธีใหญ่ๆ ดังนี้

##### 2.1.1 วิธีการประมาณค่าในช่วงโดยใช้ภาพเดียว

วิธีการประมาณค่าในช่วงโดยใช้ภาพเดียว (Single Image Interpolation Method) ในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง (Super-Resolution) จะทำให้ภาพที่สร้างขึ้นมีความละเอียดมากขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการแบบง่ายๆ ที่ใช้การประมาณรายละเอียดที่สูญหายไปของภาพความละเอียดสูง รายละเอียดของภาพนั้นจะไม่เหมือนกับภาพต้นแบบมากนัก โดยจะมีการแบ่งเป็นวิธีอื่นๆ อีกดังนี้

การปรับเรียบของภาพ (Smoothing) โดยจุดมุ่งหมาย คือ การทำให้ภาพมีสัญญาณรบกวนน้อยลงหรือหายไป โดยเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจของการการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง ที่จะทำให้การกำจัดหรือลดสัญญาณรบกวนในภาพ ตัวอย่างของการปรับเรียบ คือ Gaussian, Wiener, Median filter และการกระจายค่าเฉลี่ย แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการเหล่านี้รายละเอียดบางส่วน of ภาพจะหายไป

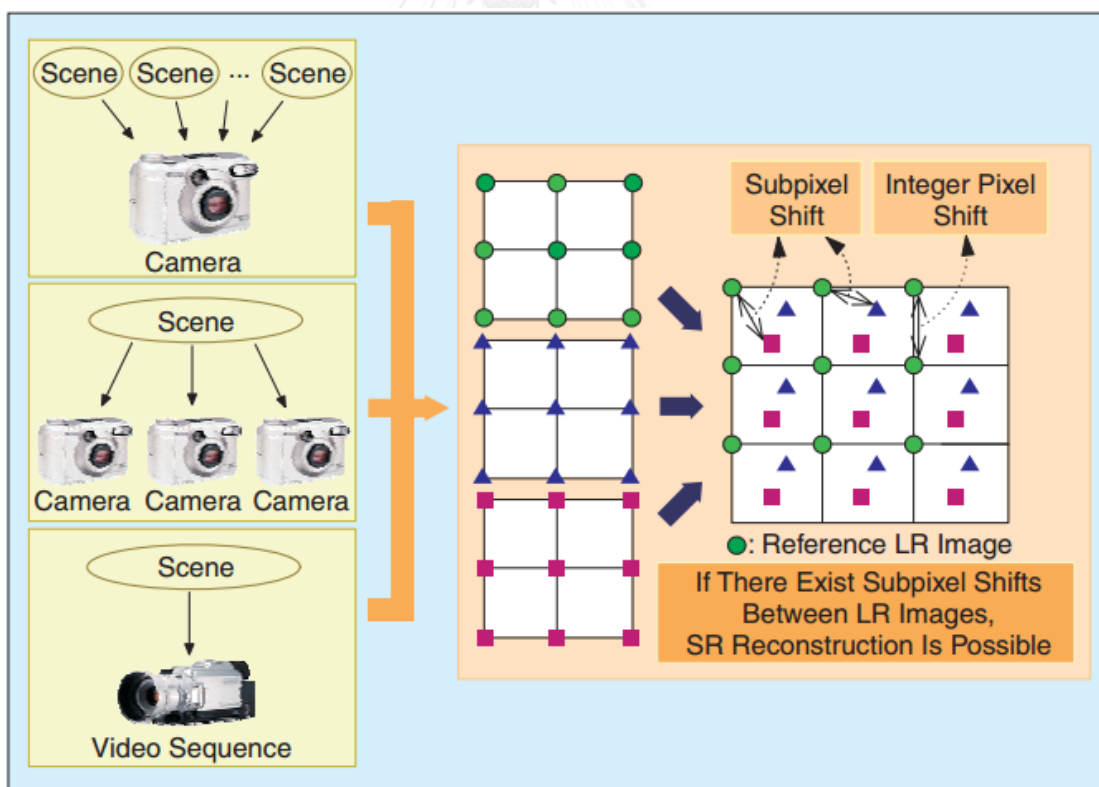
การปรับความคมชัดของภาพ (Sharpening) โดยกระบวนการนี้จะไม่ได้เพิ่มอัตราส่วนความคมชัดอย่างเดียว แต่จะเพิ่มรายละเอียดของภาพด้วย ซึ่งถือว่าเป็นประโยชน์ของการปรับความคมชัด และสัญญาณรบกวนไม่เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังมีวิธี การประมาณค่าช่วงแบบจุดภาพหรือบล็อก เช่น nearest neighbor, bilinear, bicubic, และ cubic spline วิธีเหล่านี้จะรวมวิธีการปรับเรียบและกระบวนการปรับความคมชัดของภาพเข้าด้วยกัน แต่รายละเอียดในส่วน of เส้น ขอบ มุม และพื้นผิวในภาพจะไม่ค่อยชัดเจน

## 2.1.2. วิธีการสร้างคืนภาพแบบด้วยการใช้ภาพความละเอียดต่ำหลายๆ ภาพ

วิธีการสร้างคืนภาพแบบด้วยการใช้ภาพความละเอียดต่ำหลายๆ ภาพ (Multiple Low Resolution Image Reconstruction Method) วิธีนี้จะใช้เมื่อมีภาพความละเอียดต่ำหลายๆ ภาพ ที่ถ่ายได้จากฉากเดียวกัน หรืออาจจะใช้ภาพความละเอียดต่ำที่ถ่ายจากหลายๆ มุมในฉากเดียวกัน โดยแต่ละภาพจะมีจุดภาพที่อยู่คนละตำแหน่งดังภาพที่ 2.1 ถ้าตำแหน่งของจุดภาพอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน แสดงว่าภาพที่ได้มามีรายละเอียดเหมือนกันทำให้ใช้การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งไม่ได้ แต่ถ้าภาพความละเอียดต่ำมีการเลื่อนตำแหน่งของจุดภาพ จะสามารถใช้การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง ดังนั้น วิธีนี้จะใช้สามารถสร้างภาพความละเอียดสูงได้เมื่อมีข้อมูลมากๆ

การใช้วิธีนี้ขั้นตอนแรก คือ กำหนดตำแหน่งของจุดภาพ ในขั้นตอนนี้จะประมาณการเลื่อนตำแหน่งในฉากของแต่ละภาพ โดยการกำหนดจุดภาพอ้างอิงหนึ่งภาพจุด แต่อย่างไรก็ตามการประมาณนี้ เมื่อเราถ่ายภาพจริงจะประมาณได้ยาก รับรองไม่ได้ว่าการประมาณนั้นถูกต้อง ถ้าการกำหนดตำแหน่งของจุดภาพมีความผิดพลาด หรือผิดตำแหน่งไป จะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพและความถูกต้องของการสร้างภาพความละเอียดสูง



ภาพที่ 2.1 การสร้างภาพความละเอียดสูงโดยใช้ภาพความละเอียดต่ำหลายๆ ภาพ [1]



ขั้นที่สอง คือ การเปรียบเทียบตำแหน่งจุดภาพกับจุดภาพในภาพความละเอียดสูง แต่การที่จุดภาพของภาพความละเอียดต่ำมีการเลื่อนตำแหน่งอย่างไร้รูปแบบ จึงไม่สามารถจับคู่กับจุดภาพของภาพความละเอียดสูงได้ ดังนั้นการประมาณค่าจำเป็นต้องมีพื้นที่ของภาพความละเอียดสูงจากบางส่วนของพื้นที่ภาพความละเอียดต่ำ โดยกระบวนการทั้งหมดนี้จะช่วยเพิ่มความละเอียดของภาพ

โดยที่ขั้นตอนแรกภาพจะเกิดการเบลอ ดังนั้นจึงมีการแก้ไขโดยใช้ขั้นตอนการประมาณค่าช่วงในขั้นตอนต่อไป โดยเป็นขั้นตอนสุดท้าย คือ การแก้ไขการเบลอของภาพ ในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งที่เกิดจากการทำการเฉลี่ยค่าพื้นที่จุดภาพ

ในการใช้ภาพความละเอียดต่ำหลายๆ ภาพสร้างภาพความละเอียดสูงหนึ่งภาพ เมื่อใช้ภาพความละเอียดต่ำ ที่ไม่ได้พิจารณาลักษณะพิเศษของวัตถุก่อน โดยเฉพาะภาพ ใบหน้าคน ป้ายทะเบียนรถยนต์ และการแสดงท่าทาง ที่เกิดจากกล้องมีความละเอียดต่ำและตำแหน่งที่ติดตั้งกล้องมีแสงน้อย

### 2.1.3. วิธีภายใต้การเรียนรู้

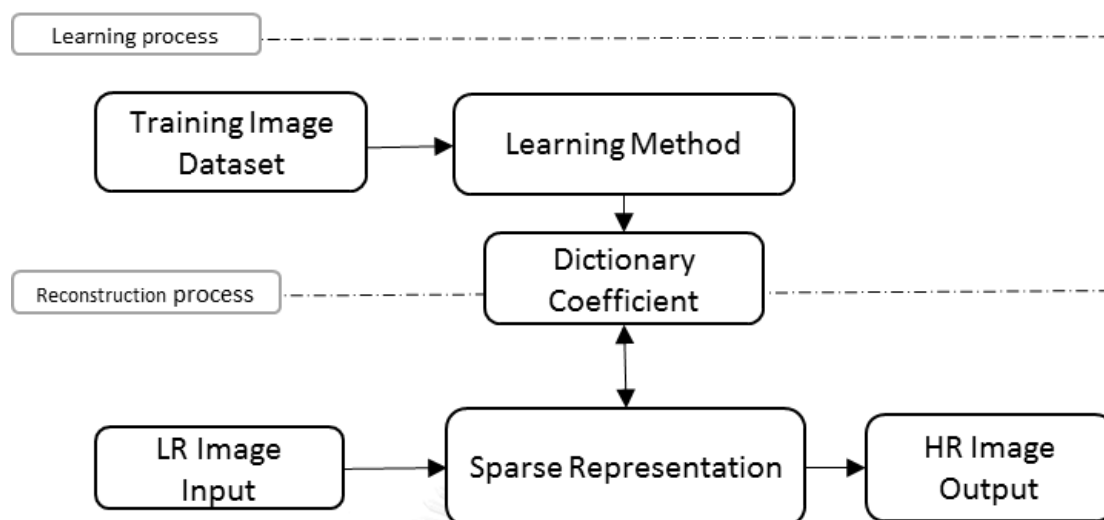
โดยปกติภาพที่ได้มาจะมีรายละเอียดมากมาย เมื่อนำมาวิเคราะห์จะมียุ่งยากและซับซ้อน จึงมี [2-6] ได้แสดงการหาความสัมพันธ์ระหว่าง ภาพที่บันทึกมาเปรียบเทียบกับภาพจริง โดยเชื่อว่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพความละเอียดต่ำและภาพความละเอียดสูง สามารถศึกษาได้ จากชุดข้อมูลบางชุดที่สร้างขึ้นเก็บค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพความละเอียดต่ำและภาพความละเอียดสูง โดยวิธีนี้จะศึกษาว่าทำอย่างไรถึงจะได้ข้อมูลทั้งหมดจากภาพความละเอียดสูงกลับมา โดยใช้ภาพความละเอียดต่ำจะเรียกว่า วิธีภายใต้การเรียนรู้ (Learning Based Method)

แต่ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ในขั้นตอนการหาค่าความสัมพันธ์ของภาพความละเอียดต่ำเปรียบเทียบกับภาพความละเอียดสูง ต้องมีการจะศึกษาชุดข้อมูลตัวอย่าง ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลมาก จึงต้องมีการหาทางปรับปรุงกระบวนการนี้ให้ใช้น้อยลง

การเรียนรู้ภายใต้การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง จะหาความสัมพันธ์กันของภาพความละเอียดต่ำและสูง โดยจะแบ่งภาพเป็นแผ่นภาพ (Patch Image) ขนาดเล็กๆ โดยข้อมูลความเหมือนกันนั้นจะเก็บไว้ในชุดข้อมูลตัวอย่าง โดยทั่วไปวิธีนี้จะใช้หาความเหมือนกันของข้อมูลและใช้ข้อมูลของชุดตัวอย่างที่มีผ่านการใช้วิธีการประมวลผลก่อนด้วย (Pre-Processing)

การใช้ภาพๆ เดียวในการประมวลผลข้อมูลที่หายไปของภาพความละเอียดสูง ภายใต้การเรียนรู้สามารถเรียนรู้รายละเอียดและประมาณค่าข้อมูลที่หายไปของภาพความละเอียดสูงได้ดี งานวิจัยนี้จึงสนใจวิธี ภายใต้การเรียนรู้ โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

## 2.2. การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งภายใต้วิธีการเรียนรู้โดยใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์



ภาพที่ 2.2 ไดอะแกรมพื้นฐาน การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งภายใต้วิธีการเรียนรู้

การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งภายใต้วิธีการเรียนรู้ โดยใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์ (Image Super-Resolution Via Sparse Representation) จะเริ่มต้นด้วยการสร้างสัมประสิทธิ์พจนานุกรม โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ (Learning Process) จากชุดของข้อมูลภาพความละเอียดต่ำและสูงซึ่งใช้การคำนวณโดยแบ่งภาพออกเป็นแผ่นๆ (Patch Image Processing) หลังจากนั้นจะใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์ (Sparse Representation) มาใช้ในการหาค่าเหมาะสมในการสร้างภาพความละเอียดสูง ดังภาพที่ 2.2

Yang *et al.* [7] ได้อธิบายวิธีการสร้างภาพความละเอียดสูง โดยภาพความละเอียดสูงจะแทนด้วย  $X$  จากภาพความละเอียดต่ำซึ่งแทนด้วย  $Y$  ซึ่งมีแนวคิดมาจากภาพความละเอียดสูงเกิดจากการมี down sampled แทนด้วยตัวแปร  $S$  และ การเบลอ (blurred) ด้วยตัวแปร  $H$  ทำให้เกิดเป็นภาพความละเอียดต่ำ ดังสมการที่ 2.1

$$Y = SHX \quad (2.1)$$

การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง คือ การย้อนกลับเอาข้อมูลบ้างตำแหน่งหรือส่วนข้อมูลของ ภาพความละเอียดสูงที่หายไปกลับมา โดยวิธีการหาข้อมูลที่หายไปจะมีการแบ่งภาพเป็นแผ่นภาพเล็กๆ  $y$  โดย Freeman *et al.* [8] จะแบ่งภาพความละเอียดต่ำเป็นภาพเล็กๆ และมีการเหลื่อมกัน (overlap) กับแผ่นภาพความละเอียดสูง 1 จุดภาพ ทำให้แผ่นภาพมีลักษณะของตัวกรองแถบ (band filter) เพื่อให้มีความคมชัดซึ่งเป็นความตั้งใจในการใช้ตัวกรองแถบ โดยใช้เกร

เดียนต์ลำดับที่หนึ่ง และสองในการแทนแต่ละแผ่นภาพเพื่อให้ภาพเกิดความคมชัดเช่นเดียวกับการใช้ตัวกรองแถบ

ถ้าเวกเตอร์  $x \in \mathbb{R}^n$  จากสมการที่ 2.11 สัญญาณ  $x$  สามารถแทนด้วย  $x = Dz$  คือ แผ่นภาพของความละเอียดสูงจะเกิดจากความละเอียดต่ำคุณสมบัติค่าหนึ่ง งานวิจัย [7] จึงสร้างพจนานุกรมสองแบบ คือ  $D_h$  เมทริกซ์พจนานุกรมความละเอียดสูงและ  $D_l$  เมทริกซ์พจนานุกรมความละเอียดต่ำ ที่ได้มาจากการพิจารณาความสัมพันธ์กับแผ่นภาพความละเอียดต่ำและสูงจากชุดข้อมูลภาพตัวอย่าง โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Lasso ในการประมาณค่า ซึ่งผลของภาพจะมีผลดีกว่าวิธีธรรมดาอื่นๆ

Seno *et al.* [9] ได้เสนอการใช้การประมาณค่าแบบ Elastic-Net [10] ในขั้นตอนการแทนแบบมากเลขศูนย์ (Sparse Representation) การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง (Super Resolution) ในส่วนของภาพทั่วไป ภายใต้ขั้นตอนวิธีงานวิจัยของ Yang [7] ที่ใช้การประมาณค่าแบบ Lasso แทนด้วยการประมาณค่าแบบ Elastic-Net จาก Glnet MatLab Package [11] ซึ่งผลของภาพที่ได้มามีความผิดพลาดน้อยกว่า Lasso และมีการเปรียบเทียบขนาดของพจนานุกรมที่ใช้ Elastic-Net กับ Lasso หลายๆ ขนาด

ซึ่งผลของการใช้พจนานุกรมที่มีขนาดใหญ่จะสามารถสร้างคืนภาพความละเอียดสูงได้ดีทั้งการประมาณค่า Elastic-Net และ Lasso แต่ภาพที่ใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Elastic-Net จะมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า Lasso นอกจากนั้น Seno *et al.* [12, 13] ยังได้ใช้ขั้นตอนการสร้างคืนภาพนี้กับภาพใบหน้า และป้ายทะเบียนรถยนต์ ซึ่งภาพที่ใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Elastic-Net จะมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า Lasso เช่นกัน แต่การสร้างคืนภาพในแต่ละประเภท ต้องใช้ชุดของภาพตัวอย่างคนละประเภท ในการสร้างพจนานุกรมทำให้ใช้เวลาในขั้นตอนนี้นาน โดยมิงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแทนแบบมากเลขศูนย์และ การสร้างพจนานุกรมดังนี้

### 2.2.1. การแทนแบบมากเลขศูนย์

การแทนแบบมากเลขศูนย์ (Sparse Representation) จะพิจารณาปัญหาของการเลือกแบบจำลองและประมาณค่าในแบบจำลองถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ภายใต้ตัวแปรทำนาย  $d$  และจำนวนตัวอย่าง  $n$

$$y = Dz + \varepsilon \quad (2.2)$$

โดยที่เมทริกซ์ข้อมูล  $D \in \mathbb{R}^{n \times d}$ , โดยเวกเตอร์ตัวแปรของระบบ  $z \in \mathbb{R}^d$  และ  $y \in \mathbb{R}^n$  คือเวกเตอร์สัญญาณขาออก,  $\varepsilon$  คือ เวกเตอร์สัญญาณรบกวนอื่นที่เพิ่มเข้ามามีขนาดมิติเท่ากับ  $n \times 1$

โดยสมมุติค่า  $D$  โดยปกติค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง และสัญญาณเอาท์พุต  $y$  มีผลรวมเท่ากับศูนย์ ซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหาแบบ Ordinary Least Square (OLS) คือ เป็นวิธีการประมาณค่าจากการทราบค่าผิดพลาดกำลังสองที่ได้จากสมการที่ 2.3

$$\hat{z}_{OLS} = \arg \min_z \|y - Dz\|_2^2 \quad (2.3)$$

แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการประมาณค่าแบบ OLS จะได้ค่าที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากความถูกต้องในการทำนายค่า การประมาณค่าจะใช้หาค่า residual squared error ให้มีค่าน้อยที่สุด

วิธีการประมาณค่าแบบ OLS จะทำให้เส้นตรงที่ปรับค่าด้วยผลรวมกำลังสอง โดยหาระยะทางในแนวตั้งฉากกับเส้นตรงของข้อมูลจุดที่สนใจ แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย OLS การประมาณค่าจะได้ค่าที่ผิดพลาด เพราะการประมาณค่าแบบ OLS ทำให้ผลมีความแปรปรวนสูง การปรับค่าฐานเล็กน้อยจะทำให้ความแปรปรวนของการทำนายค่าลดลงทำให้ความถูกต้องในการทำนายค่าเพิ่มขึ้น โดยวิธีพื้นฐานที่ใช้ปรับปรุง คือ Ridge Regression [14] ดังสมการที่ 2.4 คือ การเพิ่มการคำนวณ  $\ell_2$  norm ทำให้การประมาณค่ามีความถูกต้องมากขึ้น

$$\hat{z}_{Ridge} = \arg \min_z \|y - Dz\|_2^2 + \lambda_2 \|z\|_2^2 \quad (2.4)$$

ในการปรับปรุงประมาณค่าแบบ OLS [15] เสนอการใช้ Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (Lasso) เป็นวิธีปรับค่าสัมประสิทธิ์บางค่าให้เท่ากับศูนย์ เพื่อรักษาคุณสมบัติที่ดีในการเลือกตัวแปร ดังสมการที่ 2.5

$$\hat{z}_{Lasso} = \arg \min_z \|y - Dz\|_2^2 + \lambda_1 \|z\|_1 \quad (2.5)$$

ถ้า  $n$  คือ จำนวนของตัวแปรและ  $d$  คือ จำนวนของตัวแปรที่สนใจ ในกรณีที่จำนวน  $d > n$  Lasso จะเลือกตัวแปรที่  $n$  ซึ่งไม่ใช่ค่าที่เหมาะสม เนื่องจากปัญหาการปรับค่าแบบคอนเวกซ์โดยที่วิธี Lasso จะแก้ปัญหของ OLS และ ridge regression แต่ยังมีข้อจำกัดในการเลือกตัวแปร ในกรณีที่  $n > d$  ตัวทำนายค่าและจำนวนกลุ่มของตัวแปรก็มีค่าสหสัมพันธ์ (correlations) สูงเช่นกัน วิธีการ Lasso มีแนวโน้มที่จะเลือกตัวแปรตัวเดียวจากทั้งกลุ่มและไม่สนใจค่าอื่นอีก ดังนั้นถ้าตัวอย่างมีจำนวนมาก ผลการประมาณค่า Lasso ก็จะมีค่าความถูกต้องน้อย

งานวิจัย [10] เสนอการรวมกันของ  $\ell_1$  norm และ  $\ell_2$  norm มาใช้กับการประมาณค่าแบบ OLS หลังจากตำแหน่งและขนาดที่ผ่านการแปลงแล้ว ได้มีการสมมุติผลตอบสนอง คือ จุดกึ่งกลาง

และตัวทำนายค่า คือ ค่ามาตรฐาน สำหรับการกำหนดค่าของ  $\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  ต้องมีค่าเป็นบวก โดย นิยาม Naïve Elastic-Net ดังสมการที่ 2.6

$$\hat{z}_{NaïveEN} = \arg \min_z \|y - Dz\|_2^2 + \lambda_1 \|z\|_1 + \lambda_2 \|z\|_2^2 \quad (2.6)$$

ถ้า  $\lambda_2 = 0$ , Naïve Elastic-Net จะกลายเป็นการประมาณค่าแบบ Lasso และถ้า  $\lambda_1 = 0$ , Naïve Elastic-Net จะกลายเป็นการประมาณค่าแบบ Ridge regression โดย Naïve Elastic-Net จะเป็นคอนเวกซ์แบบเคร่งครัดและเป็นวิธีที่สามารถเลือกกลุ่มของตัวแปร ซึ่งผลของการเลือกกลุ่มของตัวแปร ตัวทำนายสหสัมพันธ์สูงและมีลักษณะเหมือนสัมพันธ์ที่ติดถอย แต่ Naïve Elastic-Net ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากการประมาณค่าทั้งแบบ Ridge และ Lasso ด้วยจึงเกิดการปรับสัมประสิทธิ์อีกสองเทอม จึงมีการเสนอการปรับค่า Naïve Elastic-Net อีกครั้งด้วยการคูณ  $(1 + \lambda_2)$  เพื่อลดความยุ่งยาก และประสิทธิภาพที่ดีกว่า ดังสมการที่ 2.7

$$\hat{z}_{EN} = (1 + \lambda_2) \hat{z}_{NaïveEN} \quad (2.7)$$

การเลือกค่าที่เหมาะสมของ Elastic-Net แสดงดังสมการที่ 2.8

$$\hat{z}_{EN} = \arg \min_z \left( \frac{d'd + \lambda_2 I}{1 + \lambda_2} \right) z + 2y'Dz + \lambda \|z\|_1 \quad (2.8)$$

Friedman *et al.* [11] เสนอการปรับปรุงการประมาณค่าแบบ Lasso, Ridge regression และ Elastic-Net ด้วยการใช้วิธี cyclical coordinate descent ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถใช้กับการประมาณค่าจำนวนตัวอย่างมากๆ และมีประสิทธิภาพด้วยคุณสมบัติของ Sparse โดยได้เสนอ Regularization Paths for Generalized Linear Models via Coordinate Descent [11] ซึ่งขั้นตอนวิธีมีความรวดเร็วในการประมาณค่าของแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป

งานวิจัยที่ [16] กล่าววิธีการประมาณค่าแบบ Lasso จะขาดสมบัติในการทำนายค่า และไม่มีเสถียรภาพ เมื่อข้อมูลตัวอย่างมีจำนวนมาก เพราะ Lasso จะไม่สนใจค่าอื่นอีกเมื่อมีการเลือกค่าแล้ว จึงมีการเสนอวิธีการปรับปรุงการประมาณค่าของ Lasso โดยวิธีการประมาณค่าแบบ Adaptive Lasso โดย Zou [16] เพื่อปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณค่า โดยการเพิ่มการปรับค่า  $\lambda_1$  norm อีกครั้งใน  $\hat{c}$  โดยวิธีการปรับค่านั้น นิยามไว้ว่า  $\hat{c} = |\hat{z}_{OLS}|^{-\gamma}$  ที่  $\gamma$  ค่าคงที่มีค่าเป็นบวก และ  $\hat{z}_{OLS}$  คือ สัมประสิทธิ์ที่หาจาก Ordinary Least Square โดยมีรูปแบบสมการดังสมการที่ 2.9

$$\hat{z}_{AdaLasso} = \arg \min_z \|y - Dz\|_2^2 + \lambda_1 \hat{c} |z|_1 \quad (2.9)$$

Zou *et al.* [17] ได้เสนอวิธีการประมาณค่าแบบ Adaptive Elastic-Net เนื่องจากวิธีการประมาณค่าแบบ Adaptive Lasso จะมีประสิทธิภาพไม่ดี เพราะได้รับคุณสมบัติการเลือกตัวแปรแบบ Lasso เมื่อใช้ข้อมูลตัวอย่างมีจำนวนมากๆ ขณะที่วิธีการประมาณค่าแบบ Elastic-Net มีคุณสมบัติในการประมาณค่าไม่ดี ดังนั้นเหตุผลเหล่านี้จึงเป็นแนวคิด ในการรวมวิธีการประมาณค่าแบบ Adaptive Lasso กับวิธีการประมาณค่าแบบ Elastic-Net เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายค่า และเลือกตัวแปรจากกลุ่มของตัวแปรเมื่อ ข้อมูลตัวอย่างมีจำนวนมากๆ โดย Adaptive Elastic-Net จะคำนวณค่า  $\hat{z}_j(EN)$  จากวิธีการประมาณค่าแบบ Elastic-Net ก่อนโดยดูจากสมการที่ 2.6 และคำนวณค่า  $\hat{c}_j$  ดังสมการที่ 2.10

$$\hat{c}_j = \left( \hat{z}_j(EN) \right)^{-\gamma}, \quad j=1,2,\dots,p \quad (2.10)$$

โดยที่  $\gamma$  เป็นค่าคงที่บวกและสามารถแก้ปัญหาในการหาค่าที่เหมาะสม จะได้รับการประมาณ Adaptive Elastic-Net ดังสมการดังนี้

$$\hat{z}_{AdapEN} = \arg \min_z \|y - Dz\|_2^2 + \lambda_2 \sum_{j=1}^p \|z\|_2^2 + \lambda_1 \sum_{j=1}^p \hat{c}_j |z_j| \quad (2.11)$$

## 2.2.2. การสร้างพจนานุกรม

การแทนแบบมากเลขศูนย์ นิยมใช้ในแก้ปัญหาตัวผกผันในการประมวลผลภาพ เช่น งานวิจัย การลดสัญญาณรบกวนในภาพ [18] และกู้คืนภาพ [19] โดยมีการใช้ขั้นตอนวิธี K-SVD เพื่อสร้างพจนานุกรมเกินสมบูรณ์ (overcomplete dictionary) จากภาพธรรมชาติ โดยพิจารณาข้อมูลภาพแบบแบ่งแผ่นออกเป็นส่วนๆ และใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์มาใช้ในการคำนวณ แทนด้วยเมทริกซ์พจนานุกรม  $D_H$  คือ เมทริกซ์พจนานุกรมของภาพความละเอียดสูง และ  $D_L$  คือ เมทริกซ์พจนานุกรมของภาพความละเอียดต่ำ กลุ่มภาพความละเอียดต่ำในเทอมของ  $D_L$  จะใช้การกู้คืนที่รายละเอียดของภาพความละเอียดสูง  $D_H$  วิธีการที่ใช้ภายในกลุ่มของภาพที่ซ้อนทับกันและความต้องการของการสร้างแผ่นภาพความละเอียดสูงจะขึ้นกับพื้นที่ที่ซ้อนทับกัน ในการเรียนรู้พจนานุกรมเกินสมบูรณ์จากงานวิจัย [20] ใช้แบบจำลองความน่าจะเป็น (probabilistic model) โดยจะจับคู่แผ่นของภาพด้วยการแทนแบบมากเลขศูนย์และเรียนรู้เพื่อปรับค่าเมทริกซ์พจนานุกรม  $D_H$  และ  $D_L$  ไปพร้อมๆกันที่ โดยที่เรียนรู้พจนานุกรมให้มีค่าที่เหมาะสม งานวิจัย [21] ได้แบ่งการสร้างพจนานุกรมออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

### 2.2.2.1. วิธีการสังเคราะห์

วิธีการสังเคราะห์ (Synthesis approach) คือ วิธีการใช้เทคนิคกลไกการเรียนรู้ (Machine-Learning) แทนลงในพจนานุกรมจากชุดข้อมูลตัวอย่าง จากนั้นจะใช้ขั้นตอนวิธีการศึกษา (Training

Algorithm) จะได้เมทริกซ์สัมประสิทธิ์ของตัวอย่าง ข้อดีของการใช้วิธีการสังเคราะห์นี้ คือ พจนานุกรมสามารถปรับค่าได้อย่างละเอียด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์และมีประสิทธิภาพที่ดี แต่อย่างไรก็ตามพจนานุกรมที่สร้างขึ้นจะไม่ค่อยมีรูปแบบที่แน่นอน และต้องมีการกำหนดขนาดของเมทริกซ์พจนานุกรมก่อนการสร้าง นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการสร้างพจนานุกรมค่อนข้างมาก โดยค่าในแนวตั้งของพจนานุกรมในแต่ละแนว เรียกว่า **อะตอม (Atom)** โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

Liao *et al.* [22] เสนอการใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบ K-Means ในการออกแบบพจนานุกรมด้วย ขั้นตอนวิธี K-LMS โดยที่ K-Means คือ ขั้นตอนการปรับค่า อะตอม โดยใช้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง K ในการปรับค่าของ อะตอม หลังจากนั้นจะตัดส่วนประกอบ K ที่แสดงแทน อะตอม โดยคำนวณหาค่าผิดพลาดที่เหลือน้อย และใช้ขั้นตอนวิธี LMS (Least Mean Squares) ในการปรับค่า อะตอม ทุกๆ ครั้งที่ปรับค่า อะตอม ค่าความผิดพลาดที่เหลือน้อยจะลดลง จากการพิจารณาค่ากำลังสองน้อยที่สุด โดยการที่จะทำให้พจนานุกรมที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพดี จะต้องมีการทำขั้นตอนทั้งหมดซ้ำหลายๆ ครั้ง

Aharon *et al.* [20] เสนอการสร้างพจนานุกรมสำหรับการแทนแบบมากเลขศูนย์ โดยจะใช้ K-SVD โดยที่ K มาจากกระบวนการจัดกลุ่มของข้อมูลแบบ K-Means และ SVD มาจาก Singular Value Decomposition โดยจะให้  $D \in \mathbb{R}^{n \times d}$  คือ พจนานุกรม ที่สามารถเขียนแทนในรูป การแทนแบบมากเลขศูนย์

$$y = Dz \quad (2.12)$$

โดยที่  $z \in \mathbb{R}^d$  เก็บค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ  $y$  และ  $y \in Y$  โดยจะมีวิธีการแทนแบบมากเลขศูนย์ ดังนี้

$$\min_z \|z\|_0 \quad s.t. \quad y = Dz \quad (2.13)$$

หรือ

$$\min_z \|z\|_0 \quad s.t. \quad \|y - Dz\|_2 \leq \varepsilon \quad (2.14)$$

โดย  $\varepsilon$  คือ ค่าความผิดพลาดคงที่ เพื่อให้  $z$  มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด วิธีที่ใช้ในการหาค่า  $z$  มี 2 วิธี คือ Matching Pursuit และ Basis Pursuit โดย Matching Pursuit เป็นวิธีการเลือกอะตอม 1 อะตอม ใน 1 ครั้ง โดยจะหาอะตอม 1 อะตอมที่เหมือนสัญญาณต้นแบบมากที่สุด และหาอะตอมต่อไปอีก 1 อะตอม ซึ่ง Basis Pursuit ใช้วิธีแก้ไขสมการด้วยวิธีการแทน  $\ell_0$  norm ด้วย  $\ell_1$  norm ในสมการที่ 2.13 และ 2.14 ในงานวิจัยดังกล่าวใช้ Basis Pursuit ในการสร้างพจนานุกรม เพราะมีความเสถียรและถูกต้องในการประมาณสูง

งานวิจัย [7] ได้กำหนดชุดข้อมูลแผ่นภาพ (Patch Image) ตัวอย่าง  $P = \{X^h, Y^l\}$  โดยที่  $X^h = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  คือ ชุดข้อมูลของแผ่นภาพความละเอียดสูง  $Y^l = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  คือ ชุดข้อมูลของแผ่นภาพความละเอียดต่ำ โดยเป้าหมายคือการเรียนรู้ เพื่อสร้างพจนานุกรมจากข้อมูลกลุ่มภาพความละเอียดสูงและความละเอียดต่ำ โดยการแทนแบบมากเลขศูนย์ของกลุ่มภาพความละเอียดสูงจะเหมือนกับการแทนแบบมากเลขศูนย์ของกลุ่มภาพความละเอียดต่ำ นั่นคือปัญหาที่มีความยุ่งยาก โดยการเข้ารหัสแบบมากเลขศูนย์ (sparse coding) ในกลุ่มภาพความละเอียดสูงและความละเอียดต่ำ แทนด้วย

$$\hat{D}_h = \arg \min_{\{D_h, Z\}} \|X^h - D_h Z\|_2^2 + \lambda \|Z\|_1 \quad (2.15)$$

และ

$$\hat{D}_l = \arg \min_{\{D_l, Z\}} \|Y^l - D_l Z\|_2^2 + \lambda \|Z\|_1 \quad (2.16)$$

ตามลำดับ และสามารถรวมความสัมพันธ์ของส่วนความละเอียดต่ำและสูงโดยแทนด้วย

$$\min_{\{D_h, D_l, Z\}} \frac{1}{N} \|X^h - D_h Z\|_2^2 + \frac{1}{M} \|Y^l - D_l Z\|_2^2 + \lambda \left( \frac{1}{N} + \frac{1}{M} \right) \|Z\|_1 \quad (2.17)$$

ที่  $N$  และ  $M$  คือ มิติของกลุ่มภาพความละเอียดสูงและต่ำในรูปแบบเวกเตอร์ ที่  $\frac{1}{N}$  และ  $\frac{1}{M}$  ที่ทำให้สองเทอมมีค่าเท่ากันจะเขียนสมการความสัมพันธ์ใหม่ได้ดังนี้

$$\min_{\{D_h, D_l, Z\}} \|P - DZ\|_2^2 + \left( \frac{1}{N} + \frac{1}{M} \right) \|Z\|_1 \quad (2.18)$$

หรือ

$$\min_{\{D_h, D_l, Z\}} \|X - DZ\|_2^2 + \lambda \|Z\|_1 \quad (2.19)$$

โดยที่

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{N}} X^h \\ \frac{1}{\sqrt{M}} Y^l \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{N}} D_h \\ \frac{1}{\sqrt{M}} D_l \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

จึงทำให้วิธีการเรียนรู้ใน พจนานุกรมโดยใช้คุณลักษณะของกลุ่มภาพความละเอียดสูง  $D_h$  และความละเอียดต่ำ  $D_l$  นั้นสามารถหาความสัมพันธ์ของความละเอียดต่ำและสูงได้



### 2.2.2.2. วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์ (Analysis approach) คือ การใช้แบบจำลองทางด้านคณิตศาสตร์มาจำลองข้อมูล และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยทั่วไปจะใช้ในรูปแบบของพจนานุกรมในการเก็บข้อมูล และออกแบบให้มีการใช้เวลาในการคำนวณอย่างรวดเร็ว โดยจะอยู่ในรูปเมทริกซ์ โดยมีงานวิจัยดังนี้

งานวิจัย [23] ได้นิยามการเข้ารหัสแบบมากเลขศูนย์วิเคราะห์ (Analysis Sparse-Coding) หรือ (Analysis Pursuit) โดยการกู้คืนสัญญาณ  $x$  จากการที่มีสัญญาณรบกวนเพิ่มเข้ามา  $y$  โดยจะแก้ไขปัญหาคือ

$$\hat{x} = \underset{x}{\text{Arg min}} \|x - y\|_2 \quad \text{s.t. } Dx = 0, \quad \text{Rank}(D) = d - r \quad (2.21)$$

หรือ

$$\hat{x} = \underset{x}{\text{Arg min}} \text{Rank}(D) \quad \text{s.t. } Dx = 0, \quad \|x - y\|_2 \leq \varepsilon \quad (2.22)$$

สมการที่ 2.21 ต้องการให้ค่า rank มีค่าเท่ากับ  $d - r$  และสมการ 2.22 จะคำนวณให้ค่าเข้าใกล้  $\varepsilon$  ซึ่งคือค่าความผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวน จากปัญหาด้านบนสามารถพิจารณาวิธีการลดสัญญาณรบกวนของ  $\hat{x}$  ได้เหมือนกับปัญหาการประมาณการสังเคราะห์แบบมากเลขศูนย์ (Synthesis Sparse Approximation) ดังสมการที่ 2.21 และ 2.22 ซึ่งสามารถใช้วิธีการประมาณค่าโดยการใช้อยู่  $\ell_0$  norm และแทนด้วย  $\ell_1$  ดังนี้

$$\hat{x} = \underset{x}{\text{Arg min}} \|x - y\|_2 \quad \text{s.t. } \|Dx\|_1 \leq T \quad (2.23)$$

วิธีการนี้ขนานกับ basis-pursuit สำหรับการสังเคราะห์ [24] และผลของการปัญหาอาจแก้ไขโดยใช้วิธีการวนซ้ำในการปรับค่ากำลังสองที่น้อยที่สุด (Iterated Re-weighted Least Squares) [25] โดยการสร้างพจนานุกรมโดยใช้ Analysis-KSVD [23] พิจารณาว่า มีชุดข้อมูล  $Y = [y_1, y_2, \dots, y_n] \in \mathbb{R}^{d \times n}$  ภายในทุกๆ ข้อมูลตัวอย่างมีสัญญาณรบกวน ในปริภูมิย่อยขนาด  $r$  ที่มีความสัมพันธ์กับค่าเมทริกซ์พจนานุกรม และสมมุติว่าทุกๆ สัญญาณตัวอย่างมีค่าของ rank เท่ากับ  $d - r$  และใช้วิธีการประมาณค่าแบบวนซ้ำนำมาใช้ด้วย หลังจากคำนวณ  $\hat{x}$  เสร็จแล้วจะทำการค่าในแถวของ  $D$  ในตำแหน่งแถวของ  $J$  ให้ค่าเท่ากับเวกเตอร์  $w_j^T$  ซึ่ง  $J$  คือ ค่าตำแหน่งแนวตั้งของ  $\hat{x}$  ที่ตั้งฉากกับ  $w_j$

จากนั้นนำวิธี K-SVD [20] มาใช้ในการปรับค่าของ  $w_j$  โดยใช้ค่าเวกเตอร์เอกฐาน (singular vector) โดยพิจารณาค่าเอกฐาน (singular value) เล็กๆ ของ  $Y_j$  ที่คำนวณจาก SVD

โดยข้อดีของวิธีการประมาณค่า คือ ไม่มีผลต่อในการปรับค่าในแนวนอนของ  $D$  ทำให้ ทุกๆค่าในแนวนอนจะปรับค่าไปพร้อมๆกัน ดังสมการที่ 2.24 จากขั้นตอนวิธีข้างต้นจึงเป็นที่มาของ Analysis Pursuit กับ K-SVD จึงเรียกว่า Analysis K-SVD [23]

$$\hat{w}_j = \underset{w}{\text{Arg min}} \|w^T Y_j\|_2 \text{ s.t. } \|w\|_2 = 1 \quad (2.24)$$

ในบทนี้ จะกล่าวถึงกระบวนการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยิ่งยวดในหัวข้อที่ 2.1 จากนั้นอธิบายวิธีการภายใต้การเรียนรู้ในหัวข้อที่ 2.2 โดยมีการอธิบายแนวคิดของการแทนแบบมาเลขศูนย์ และการสร้างพจนานุกรม บทที่ 3 จะกล่าวถึงวิธีการที่นำเสนอ และแสดงการทดสอบผลของการใช้วิธีการที่นำเสนอหลายๆ กรณีในบทที่ 4

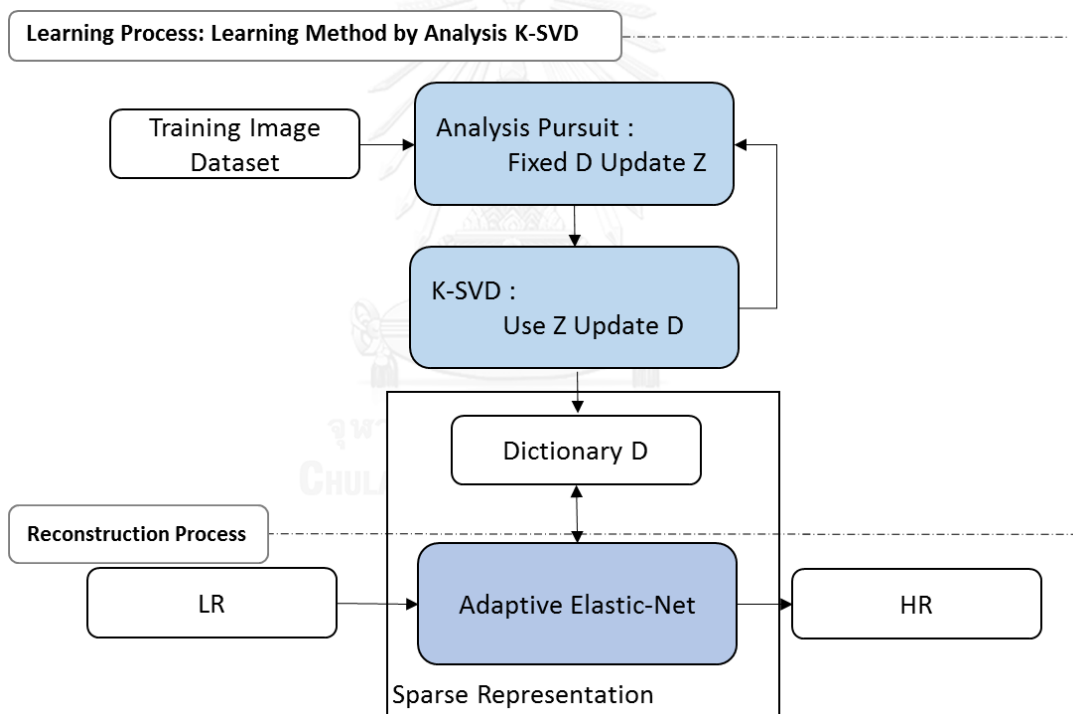


### บทที่ 3

#### วิธีการที่นำเสนอ

#### 3.1. การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งโดยใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์

จากงานวิจัยที่กล่าวมา การแทนแบบมากเลขศูนย์ (Sparse Representation) ได้นำมาใช้ในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง (Super-Resolution) โดยใช้ภาพความละเอียดต่ำภาพเดียวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการสร้างพจนานุกรมโดยใช้กระบวนการเรียนรู้ (Learning Process) ซึ่งจะหาความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลภาพความละเอียดต่ำและสูงเพื่อสร้างพจนานุกรม และขั้นตอนการสร้างคืนภาพ (Reconstruction Step) จะใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ในการสร้างภาพความละเอียดสูง ดังภาพที่ 3.1 โดยแนวคิดของวิทยานิพนธ์นี้มีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.1 ไดอะแกรมแนวคิดวิทยานิพนธ์

ใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Adaptive Elastic-Net ในการแก้ไขปัญหาของการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง ด้วยการแทนแบบมากเลขศูนย์ และนำพจนานุกรมที่สร้างมาใช้ในการคำนวณ โดยจะทำการทดสอบกับภาพหลายๆ แบบดังนี้

ภาพทั่วไป เสนอการสร้างภาพความละเอียดสูงโดยใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์ ในภาพทั่วไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น โดยจะใช้ Adaptive Elastic-Net วิธีการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมในขั้นตอนการทดสอบภาพ

ภาพใบหน้าของคน ในการสร้างภาพนี้จะใช้ภาพตัวอย่าง มาสร้างพจนานุกรม โดยภาพที่เลือกมาใช้ในการมีเงื่อนไขหลายๆ แบบที่ต่างกัน โดยจะเสนอการสร้างภาพความละเอียดสูงด้วย การแทนแบบมากเลขศูนย์ (Sparse Representation) ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพ ภาพใบหน้าคนที่ได้จากกล้องวิดีโอที่จับจ้อง โดยจะใช้ Adaptive Elastic-Net ในการแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสม และเปรียบเทียบผลโดยการวัดค่า RMSE และ PSNR การวิธีอื่นๆ ที่ผ่านมา

ภาพข้อความต่างๆ เสนอการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงด้วย การแทนแบบมากเลขศูนย์ (Sparse Representation) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความถูกต้องในป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยก่อนอื่นจะสร้างพจนานุกรมจากภาพพื้นผิวต่างๆ และป้ายทะเบียนจำนวนหนึ่ง และหลังจากนั้นจะใช้ Adaptive Elastic-Net ในการแก้ไขปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม และทดสอบผลโดยการวัดค่า RMSE และ PSNR เพื่อแสดงประสิทธิภาพของวิธี โดยขั้นตอนการสร้างคืนภาพมีรายละเอียดดังนี้

### 3.1.1. ขั้นตอนการสร้างคืนภาพ

- 1) นำค่าพจนานุกรม  $D$  และภาพความละเอียดต่ำ  $Y$
- 2) เพิ่มความละเอียดของภาพ  $Y$  โดยใช้วิธี Bicubic Interpolation แบ่งภาพ  $Y$  ออกเป็นแผ่น (Patch Image)  $y$  หลายๆ แผ่นโดยเริ่มการแบ่งจากจุดภาพมุมบนซ้ายในภาพ  $Y$  ให้เหลื่อมกัน (Over Lap) 1 จุดภาพ (Pixel) รอบๆ แผ่นภาพนั้น
- 3) ใช้แก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสมแบบ Adaptive Elastic-Net โดยใช้  $D$  และ  $y$  ใน

$$\hat{z}_{AdapEN} = \arg \min_Z \|y - Dz\|^2 + \lambda_2 \sum |z|^2 + \lambda_1 \sum c|z| \quad (3.3)$$

โดยที่  $c = (|\hat{z}_{EN}|)^{-\gamma}$  หาได้จากสมการที่ 2.5 และ  $\lambda_1, \lambda_2$  มีค่าคงที่เป็นบวก

- 4) นำค่า  $\hat{z}$  มาใช้ในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูง

$$x = D\hat{z}_{AdapEN} \quad (3.4)$$

- 5) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3) จนครบทุกแผ่นภาพ  $y$

### 3.2. การสร้างพจนานุกรม

เสนอการใช้พจนานุกรมโดยใช้ขั้นตอนวิธีจากงานวิจัย [23] สำหรับการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง (Super-Resolution) กับการแทนแบบมากเลขศูนย์ (Sparse Representation) โดยจะมีการเปรียบเทียบกับพจนานุกรมแบบเดิม ทดสอบประสิทธิภาพของพจนานุกรมทั้งเวลาที่ใช้ในการสร้าง และชนิดของภาพที่จะนำมาสร้างคืนภาพความละเอียดสูง โดยใช้ผลจากการวัดค่า PSNR และ RMSE เปรียบเทียบกัน

#### 3.2.1. ขั้นตอนการสร้างพจนานุกรม

- 1) เตรียมเมทริกซ์ชุดข้อมูลภาพตัวอย่าง  $P = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ ,  $p_i \in \mathbb{R}^d$ , ค่าเมทริกซ์พจนานุกรมเริ่มต้น  $D$ , ค่า rank เท่ากับ  $d - r$  และจำนวนการซ้ำ  $k$
- 2) หาค่าของเวกเตอร์  $z$  จากขั้นตอนวิธี Analysis Pursuit [23]

Analysis Pursuit [23] :

$$\hat{z} = \arg \min \|z - p_i\|_2 \text{ s.t. } Dz = 0, \text{ Rank}(D) = d - r \quad (3.1)$$

- 3) โดยที่  $p_i$  คือ ค่าเวกเตอร์ในแต่ละแนวตั้งที่  $i$  ของชุดข้อมูลภาพตัวอย่าง  $P$
- 4) ปรับค่าเมทริกซ์  $\hat{D}$  โดยใช้ขั้นตอนวิธี K-SVD

K-SVD:

$$\hat{w}_j := \arg \min_w \|w^T P_j\|_2 \text{ s.t. } \|w\|_2 = 1 \quad (3.2)$$

- 5) ปรับค่าในแนวนอนของ  $\hat{D}$  ในตำแหน่งแนวนอนที่  $J$  ให้ค่าเท่ากับเวกเตอร์  $w_j^T$  ซึ่ง  $J$  คือ ค่าตำแหน่งแนวตั้งของ  $\hat{Z}$  ที่ตั้งฉากกับ  $w_j$
- 6) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4) โดยให้จำนวนของ  $J$  เริ่มจาก 1 ถึง  $n$
- 7) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2) จำนวน  $k$  ครั้ง

### 3.3 การวัดคุณภาพของภาพ

จะใช้การวัดค่า ค่าผิดพลาดของค่ากำลังสองเฉลี่ยของรากที่สอง (Root Mean Square Error : RMSE) โดยถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีความถูกต้องมาก ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3.5 ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (I-T)^2}{N}} \quad (3.5)$$

โดย  $I$  คือ ภาพต้นแบบ

$T$  คือ ภาพได้จากขั้นตอนวิธีต่างๆ

$N$  คือ ขนาดของภาพ (กว้าง x ยาว)

และใช้การวัดค่าอัตราส่วนของค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal to Noise Ratio : PSNR) ซึ่งมีค่ามากหมายถึงภาพมีสัญญาณรบกวนน้อย โดยคำนวณได้จากสมการที่ 3.6 ดังนี้

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[ \frac{(2^n - 1)^2}{RMSE} \right] \quad (3.6)$$

โดย  $n$  คือ จำนวนบิตที่ใช้แทนค่าสีในแต่ละจุดภาพ

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

#### 4.1. การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง

ในขั้นตอนการสร้างคืนภาพความละเอียดสูง (Super-Resolution) จะทดสอบโดยให้มีการเพิ่มความละเอียดของภาพ กับภาพใบหน้าเด็กผู้ชายจากขนาด 85x86 จุดภาพเป็น 255x258 จุดภาพ โดยใช้การทดสอบอ้างอิงจากงานวิจัย [7] และใช้โปรแกรมสำเร็จ (Package) GCDNET [26] ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของ Adaptive Elastic net เพื่อหาค่าประมาณในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูง และมีการวัดค่าประสิทธิผล โดยใช้ค่า PSNR เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสม จากสมการที่ 3.3 โปรแกรมสำเร็จ GCDNET จะกำหนดค่าของ  $\lambda_1$  เท่ากับ 0.75 ซึ่งผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์อื่นๆ มีดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลของค่า PSNR จากการปรับค่า  $\lambda_2$

| $\lambda_2$ | 0      | <b>0.25</b>   | 0.5    | 0.75   | 1      |
|-------------|--------|---------------|--------|--------|--------|
| เด็กผู้ชาย  | 32.900 | <b>33.153</b> | 33.113 | 33.072 | 33.038 |

จากตารางที่ 4.1 จากการกำหนดค่า  $\lambda_2$  ที่ทำให้ภาพมีค่า PSNR ดีที่สุด คือ  $\lambda_2$  เท่ากับ 0.25 หลังจากกำหนดค่า  $\lambda_1, \lambda_2$  เท่ากับ 0.75, 0.25 ตามลำดับ มาทดสอบการปรับค่า  $\gamma$  ในการปรับค่าของการประมาณค่าแบบ Adaptive Elastic net ซึ่งผลของการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า  $\gamma$  เท่ากับ 0.75 ทำให้ค่า PSNR มีค่าดีที่สุด

ตารางที่ 4.2 ผลของค่า PSNR จากการปรับค่า  $\gamma$

| $\gamma$   | 0 | 0.25   | 0.5    | <b>0.75</b>   | 1      |
|------------|---|--------|--------|---------------|--------|
| เด็กผู้ชาย | - | 33.147 | 33.159 | <b>33.160</b> | 33.153 |

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าประมาณค่าโดยใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์อื่นๆ ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการประมาณค่า แบบ Adaptive Elastic-Net มีค่า PSNR ที่ดีกว่าการประมาณค่าแบบอื่นๆ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์นี้ ไปใช้กับการทดสอบอื่นต่อไป

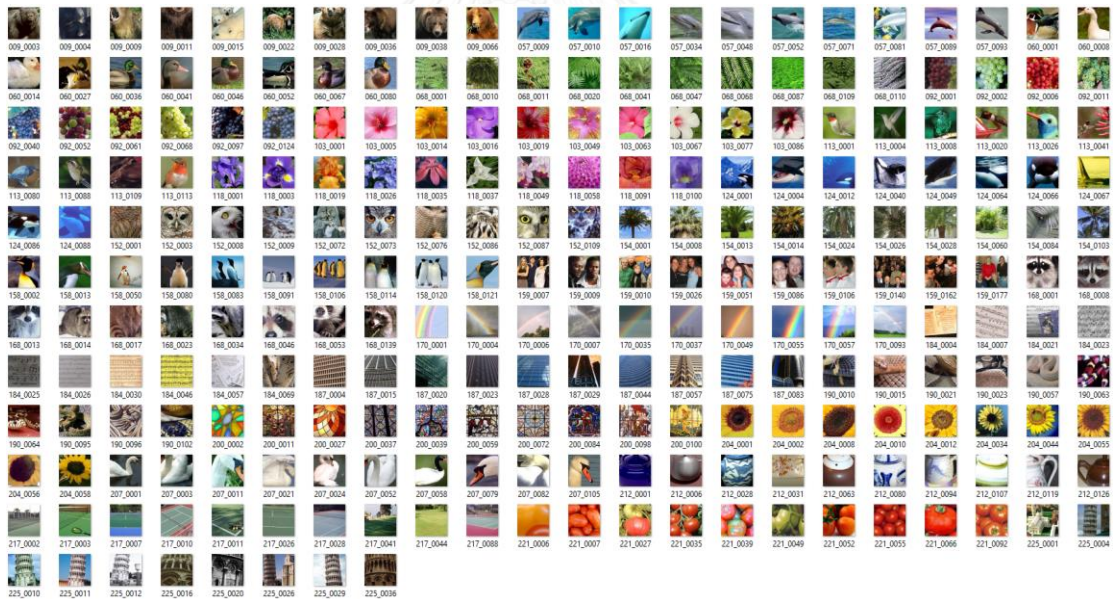
ตารางที่ 4.3 ผลของค่า PSNR ของการประมาณโดยใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์

| ภาพวิธีการ | Lasso  | Elastic-Net | <b>Adaptive Elastic-Net</b> |
|------------|--------|-------------|-----------------------------|
| เด็กผู้ชาย | 32.900 | 33.153      | <b>33.160</b>               |

## 4.2. การสร้างพจนานุกรม

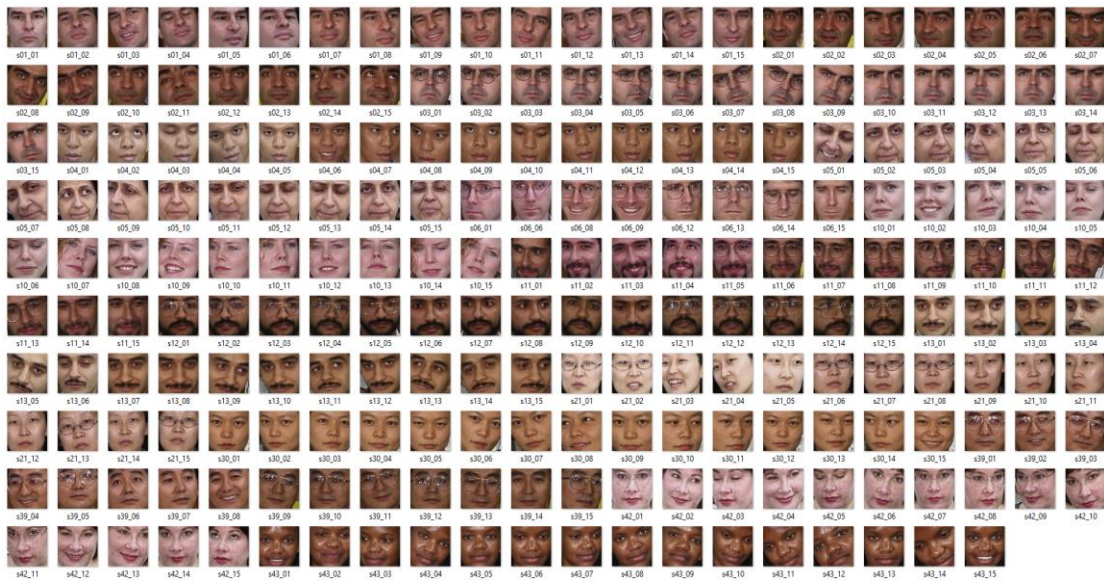
ทำการสร้างพจนานุกรมโดยใช้งานวิจัย [7] เป็นวิธีอ้างอิง และใช้การสร้างพจนานุกรมแบบวิเคราะห์จากงานวิจัย [23] โดยให้ขนาดของแผ่นภาพ (Patch Image Size) เท่ากับ  $3 \times 3$  จุดภาพ (pixel) และให้แต่ละแผ่นภาพ มีการซ้อนทับกัน (Overlap) 1 จุดภาพ การวนซ้ำของการสร้างพจนานุกรมเท่ากับ 20 รอบ โดยเลือกชุดของข้อมูลแต่ละชนิดของภาพที่จะนำไปสร้างคืนภาพความละเอียดสูง ดังนี้

- ภาพทั่วไป ใช้ชุดข้อมูลภาพ Caltech-256 [27] โดยเลือกมา 250 ภาพ ซึ่งทุกภาพมีขนาด  $180 \times 180$  ภาพ ดังภาพที่ 4.1
- ภาพใบหน้าคน ใช้ชุดข้อมูลภาพ Georgia Tech face database [28] โดยเลือกภาพใบหน้ามา 218 ภาพ ซึ่งภาพทุกภาพมีขนาด  $150 \times 150$  จุดภาพ ดังภาพที่ 4.2
- ภาพป้ายทะเบียน ใช้ชุดข้อมูลภาพ MediaLab LPR Database [29] โดยมีทั้งหมด 67 ภาพ มีขนาดเล็กที่สุด คือ  $85 \times 35$  จุดภาพ ขนาดใหญ่ที่สุด คือ  $299 \times 31$  จุดภาพ ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 ชุดข้อมูลภาพทั่วไป





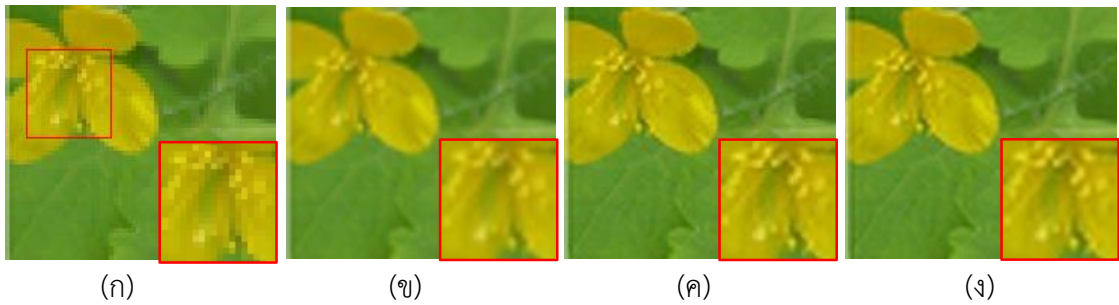
ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพใบหน้า



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพพื้นผิว

หลังจากการทดสอบการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของ การประมาณค่าโดยใช้การประมาณค่าแบบ Adaptive Elastic-Net และการสร้างพจนานุกรมแบบวิเคราะห์จากชุดข้อมูลภาพชนิดต่างๆ ทดสอบวิธีการทั้งหมด เปรียบเทียบกับวิธีอ้างอิง โดยจะกำหนดให้ขนาดแผ่นภาพ (Patch Image Size) เท่ากับ 3x3 จุดภาพ และทดสอบการขยายภาพหลายๆ ขนาด จากนั้นมีการวัดค่าคุณภาพของภาพโดยใช้ PSNR และ RMSE ซึ่งผลของการทดสอบมีดังต่อไปนี้

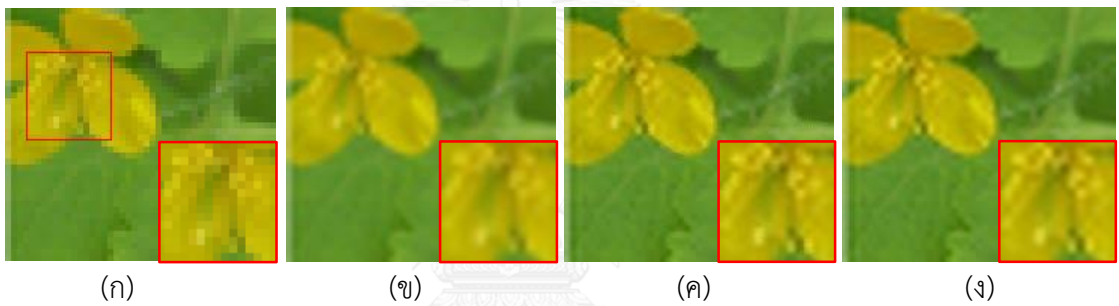
### 4.3. ผลการทดสอบกับภาพทั่วไป



ภาพที่ 4.4 ภาพไปไม่ความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด

จากขนาด 60x56 จุดภาพเป็น 180x168 จุดภาพ

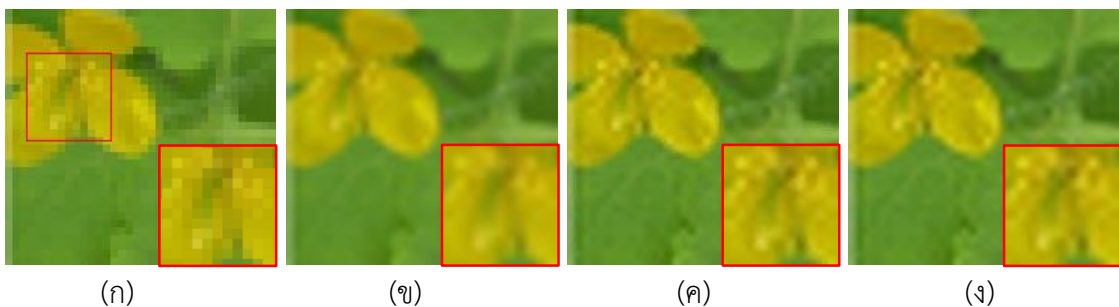
(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ



ภาพที่ 4.5 ภาพไปไม่ความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด

จากขนาด 45x42 จุดภาพเป็น 180x168 จุดภาพ

(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ



ภาพที่ 4.6 ภาพไปไม่ความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด

จากขนาด 36x34 จุดภาพเป็น 180x170 จุดภาพ

(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4.7 ภาพแก้วน้ำความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด

จากขนาด 60x60 จุดภาพเป็น 180x180 จุดภาพ

(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4.8 ภาพแก้วน้ำความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด

จากขนาด 45x45 จุดภาพเป็น 180x180 จุดภาพ

(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4.9 ภาพแก้วน้ำความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด

จากขนาด 36x36 จุดภาพเป็น 180x180 จุดภาพ

(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.4 ผลของ PSNR ของภาพทั่วไป

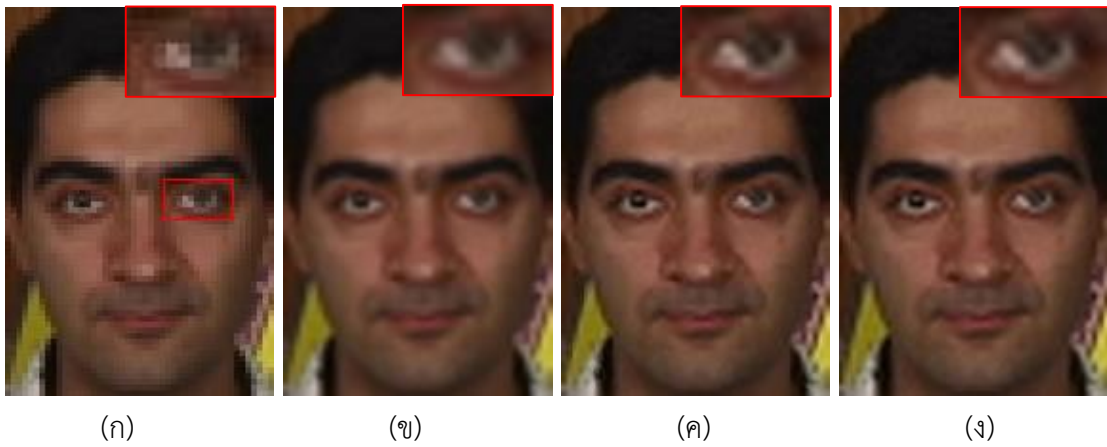
| PSNR \ วิธีการ                          | Bicubic | Yang[7] | วิธีการที่นำเสนอ |
|---|---------|---------|------------------|
| <b>ภาพใบไม้</b>                         |         |         |                  |
| จากขนาด 60x56 จุดภาพเป็น 180x168 จุดภาพ | 31.699  | 31.833  | <b>32.312</b>    |
| จากขนาด 45x42 จุดภาพเป็น 180x168 จุดภาพ | 30.593  | 30.742  | <b>31.002</b>    |
| จากขนาด 36x34 จุดภาพเป็น 180x170 จุดภาพ | 29.898  | 30.023  | <b>30.156</b>    |
| <b>ภาพแก้วน้ำ</b>                       |         |         |                  |
| จากขนาด 60x60 จุดภาพเป็น 180x180 จุดภาพ | 30.545  | 30.692  | <b>31.582</b>    |
| จากขนาด 45x45 จุดภาพเป็น 180x180 จุดภาพ | 28.607  | 29.239  | <b>29.677</b>    |
| จากขนาด 36x36 จุดภาพเป็น 180x180 จุดภาพ | 27.012  | 27.593  | <b>28.040</b>    |

ตารางที่ 4.5 ผลของ RMSE ของภาพทั่วไป

| RMSE \ วิธีการ                          | Bicubic | Yang[7] | วิธีการที่นำเสนอ |
|---|---------|---------|------------------|
| <b>ภาพใบไม้</b>                         |         |         |                  |
| จากขนาด 60x56 จุดภาพเป็น 180x168 จุดภาพ | 6.631   | 6.530   | <b>6.179</b>     |
| จากขนาด 45x42 จุดภาพเป็น 180x168 จุดภาพ | 7.531   | 7.403   | <b>7.185</b>     |
| จากขนาด 36x34 จุดภาพเป็น 180x170 จุดภาพ | 8.159   | 8.043   | <b>7.920</b>     |
| <b>ภาพแก้วน้ำ</b>                       |         |         |                  |
| จากขนาด 60x60 จุดภาพเป็น 180x180 จุดภาพ | 7.574   | 7.447   | <b>6.721</b>     |
| จากขนาด 45x45 จุดภาพเป็น 180x180 จุดภาพ | 9.466   | 8.802   | <b>8.369</b>     |
| จากขนาด 36x36 จุดภาพเป็น 180x180 จุดภาพ | 11.374  | 10.639  | <b>10.105</b>    |

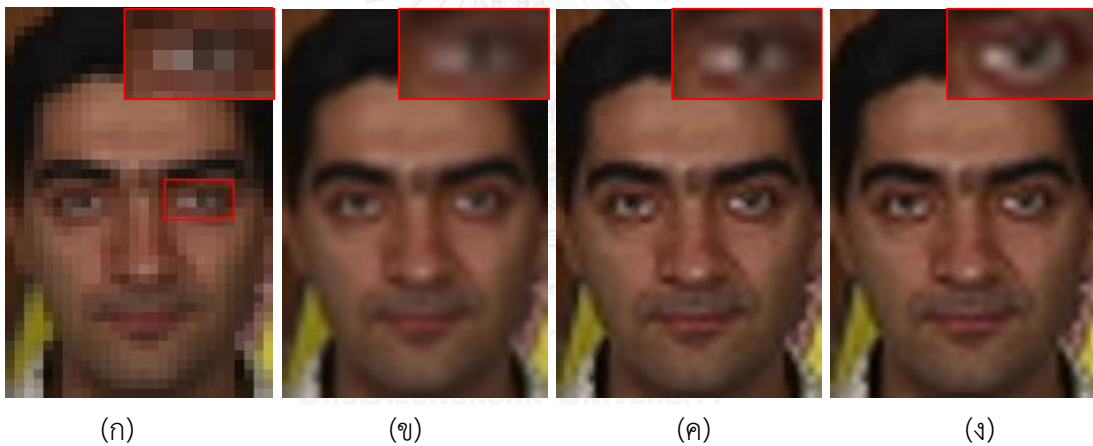


#### 4.4. ผลการทดสอบกับภาพใบหน้า



ภาพที่ 4.10 ภาพใบหน้าผู้ชายความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด  
จากขนาด 47x68 จุดภาพเป็น 141x204 จุดภาพ

(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ



ภาพที่ 4.11 ภาพใบหน้าผู้ชายความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด  
จากขนาด 35x51 จุดภาพเป็น 140x204 จุดภาพ

(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4.12 ภาพใบหน้าผู้ชายความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด

จากขนาด 28x41 จุดภาพเป็น 140x205 จุดภาพ

(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ



(ก)

(ข)

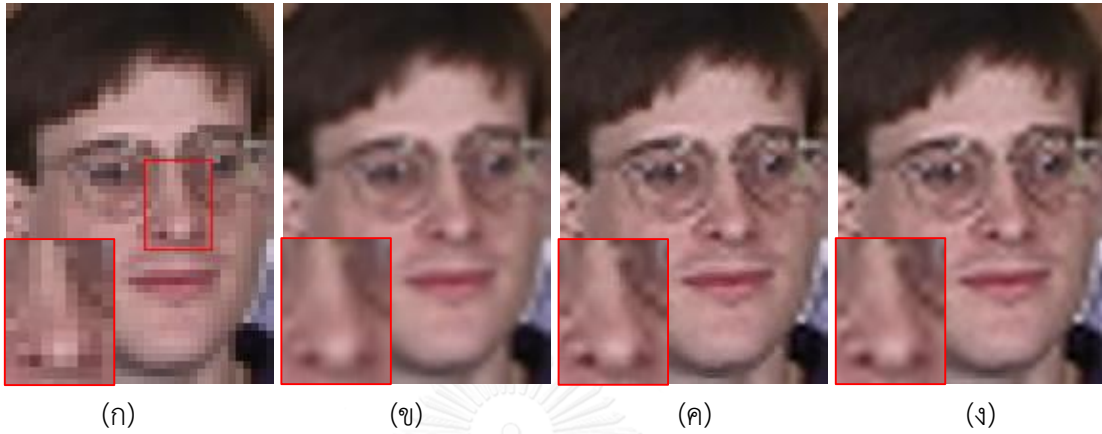
(ค)

(ง)

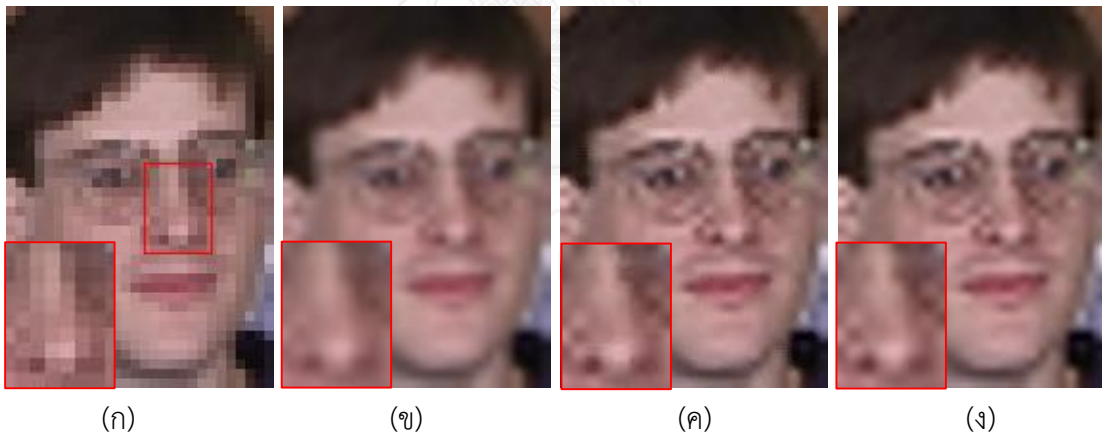
ภาพที่ 4.13 ภาพใบหน้าผู้ชายใส่แว่นความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด

จากขนาด 47x67 จุดภาพเป็น 141x201 จุดภาพ

(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ



ภาพที่ 4.14 ภาพใบหน้าผู้ชายใส่แว่นความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด  
จากขนาด 35x50 จุดภาพเป็น 140x200 จุดภาพ  
(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ



ภาพที่ 4.15 ภาพใบหน้าผู้ชายใส่แว่นความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด  
จากขนาด 28x40 จุดภาพเป็น 140x200 จุดภาพ  
(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.6 ผลของ PSNR ของภาพใบหน้าคน

| PSNR \ วิธีการ                          | Bicubic | Yang[7] | วิธีการที่นำเสนอ |
|---|---------|---------|------------------|
| <b>ภาพใบหน้าผู้ชาย</b>                  |         |         |                  |
| จากขนาด 47x68 จุดภาพเป็น 141x204 จุดภาพ | 33.358  | 33.929  | <b>33.999</b>    |
| จากขนาด 35x51 จุดภาพเป็น 140x204 จุดภาพ | 31.807  | 32.148  | <b>32.286</b>    |
| จากขนาด 28x41 จุดภาพเป็น 140x205 จุดภาพ | 30.737  | 31.131  | <b>31.245</b>    |
| <b>ภาพใบหน้าผู้ชายใส่แว่น</b>           |         |         |                  |
| จากขนาด 47x67 จุดภาพเป็น 141x201 จุดภาพ | 28.921  | 29.359  | <b>29.501</b>    |
| จากขนาด 35x50 จุดภาพเป็น 140x200 จุดภาพ | 27.704  | 28.056  | <b>28.132</b>    |
| จากขนาด 28x40 จุดภาพเป็น 140x200 จุดภาพ | 26.818  | 27.159  | <b>27.224</b>    |

ตารางที่ 4.7 ผลของ RMSE ของภาพใบหน้าคน

| RMSE \ วิธีการ                          | Bicubic | Yang[7] | วิธีการที่นำเสนอ |
|---|---------|---------|------------------|
| <b>ภาพใบหน้าผู้ชาย</b>                  |         |         |                  |
| จากขนาด 47x68 จุดภาพเป็น 141x204 จุดภาพ | 5.478   | 5.129   | <b>5.089</b>     |
| จากขนาด 35x51 จุดภาพเป็น 140x204 จุดภาพ | 6.549   | 6.297   | <b>6.198</b>     |
| จากขนาด 28x41 จุดภาพเป็น 140x205 จุดภาพ | 7.408   | 7.080   | <b>6.987</b>     |
| <b>ภาพใบหน้าผู้ชายใส่แว่น</b>           |         |         |                  |
| จากขนาด 47x67 จุดภาพเป็น 141x201 จุดภาพ | 9.130   | 8.681   | <b>8.541</b>     |
| จากขนาด 35x50 จุดภาพเป็น 140x200 จุดภาพ | 10.504  | 10.087  | <b>9.999</b>     |
| จากขนาด 28x40 จุดภาพเป็น 140x200 จุดภาพ | 11.631  | 11.184  | <b>11.101</b>    |



#### 4.5. ผลการทดสอบกับภาพป้ายทะเบียนรถยนต์

โดยการทดสอบกับภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ จะเพิ่มความละเอียดของภาพเป็นหลายๆ ขนาด โดยใช้วิธีการที่นำเสนอ ซึ่งมีรายละเอียดและผลการทดสอบดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 เพิ่มความละเอียดจากขนาด 54x29 จุดภาพเป็นขนาด 162x87 จุดภาพ

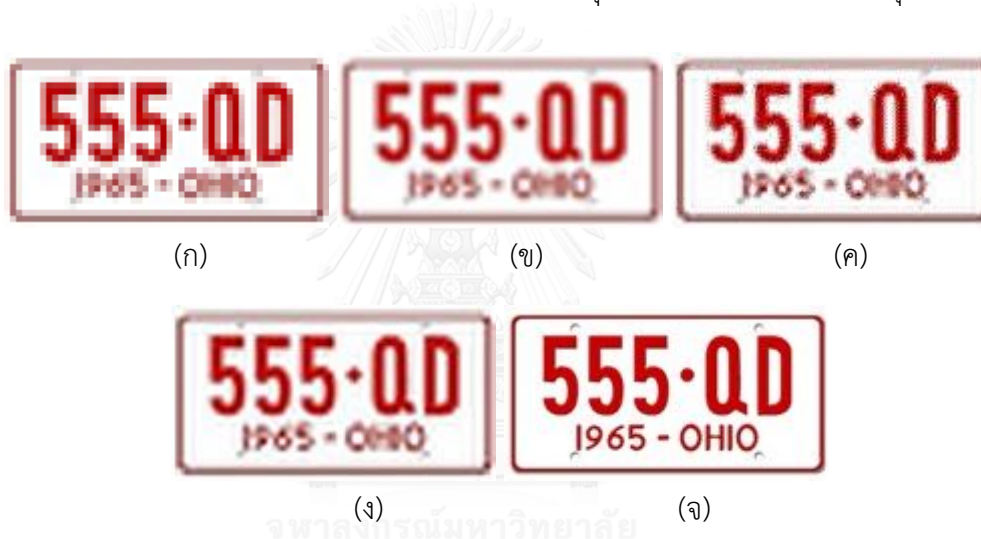
เพิ่มความละเอียดจากขนาด 41x22 จุดภาพเป็นขนาด 164x88 จุดภาพ

เพิ่มความละเอียดจากขนาด 32x17 จุดภาพเป็นขนาด 160x85 จุดภาพ

ตัวอย่างที่ 2 เพิ่มความละเอียดจากขนาด 53x26 จุดภาพเป็นขนาด 159x78 จุดภาพ

เพิ่มความละเอียดจากขนาด 40x20 จุดภาพเป็นขนาด 160x80 จุดภาพ

เพิ่มความละเอียดจากขนาด 32x16 จุดภาพเป็นขนาด 160x80 จุดภาพ



ภาพที่ 4.16 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 1 ความละเอียดสูง

โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 54x29 จุดภาพเป็นขนาด 162x87 จุดภาพ

(ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ

(จ) ภาพต้นแบบ



ภาพที่ 4.17 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 1 ความละเอียดสูง  
 โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 41x22 จุดภาพเป็นขนาด 164x88 จุดภาพ  
 (ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ  
 (จ) ภาพต้นแบบ



ภาพที่ 4.18 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 1 ความละเอียดสูง  
 โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 32x17 จุดภาพเป็น 160x85 จุดภาพ  
 (ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ  
 (จ) ภาพต้นแบบ



ภาพที่ 4.19 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 2 ความละเอียดสูง  
 โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 53x26 จุดภาพเป็นขนาด 159x78 จุดภาพ  
 (ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ  
 (จ) ภาพต้นแบบ



ภาพที่ 4.20 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 2 ความละเอียดสูง  
 โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 40x20 จุดภาพเป็นขนาด 160x80 จุดภาพ  
 (ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ  
 (จ) ภาพต้นแบบ



ภาพที่ 4.21 ภาพแผ่นป้ายทะเบียนตัวอย่างที่ 2 ความละเอียดสูง  
 โดยเพิ่มความละเอียดจากขนาด 40x20 จุดภาพเป็นขนาด 160x80 จุดภาพ  
 (ก) ภาพความละเอียดต่ำ (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ  
 (จ) ภาพต้นแบบ

ตารางที่ 4.8 ผลของ PSNR ของภาพป้ายทะเบียนรถยนต์

| PSNR \ วิธีการ                     | Bicubic | Yang[7] | วิธีการที่นำเสนอ |
|------------------------------------|---------|---------|------------------|
| <b>ภาพทะเบียนตัวอย่างที่ 1</b>     |         |         |                  |
| 54x29 จุดภาพเป็นขนาด 162x87 จุดภาพ | 18.909  | 19.151  | <b>19.489</b>    |
| 41x22 จุดภาพเป็นขนาด 164x88 จุดภาพ | 17.674  | 18.307  | <b>18.599</b>    |
| 32x17 จุดภาพเป็นขนาด 160x85 จุดภาพ | 15.631  | 16.261  | <b>16.300</b>    |
| <b>ภาพทะเบียนตัวอย่างที่ 2</b>     |         |         |                  |
| 53x26 จุดภาพเป็นขนาด 159x78 จุดภาพ | 18.344  | 18.704  | <b>18.710</b>    |
| 40x20 จุดภาพเป็นขนาด 160x80 จุดภาพ | 16.725  | 17.288  | <b>17.500</b>    |
| 32x16 จุดภาพเป็นขนาด 160x80 จุดภาพ | 15.313  | 15.914  | <b>16.136</b>    |

ตารางที่ 4.9 ผลของ RMSE ของภาพป้ายทะเบียนรถยนต์

| RMSE\ วิธีการ                      | Bicubic | Yang[7] | วิธีการที่นำเสนอ |
|------------------------------------|---------|---------|------------------|
| <b>ภาพทะเบียนตัวอย่างที่ 1</b>     |         |         |                  |
| 54x29 จุดภาพเป็นขนาด 162x87 จุดภาพ | 28.914  | 28.119  | <b>27.045</b>    |
| 41x22 จุดภาพเป็นขนาด 164x88 จุดภาพ | 33.330  | 30.987  | <b>29.965</b>    |
| 32x17 จุดภาพเป็นขนาด 160x85 จุดภาพ | 42.171  | 39.218  | <b>39.045</b>    |
| <b>ภาพทะเบียนตัวอย่างที่ 2</b>     |         |         |                  |
| 53x26 จุดภาพเป็นขนาด 159x78 จุดภาพ | 30.857  | 29.583  | <b>29.365</b>    |
| 40x20 จุดภาพเป็นขนาด 160x80 จุดภาพ | 37.179  | 34.844  | <b>34.005</b>    |
| 32x16 จุดภาพเป็นขนาด 160x80 จุดภาพ | 43.740  | 40.818  | <b>39.789</b>    |

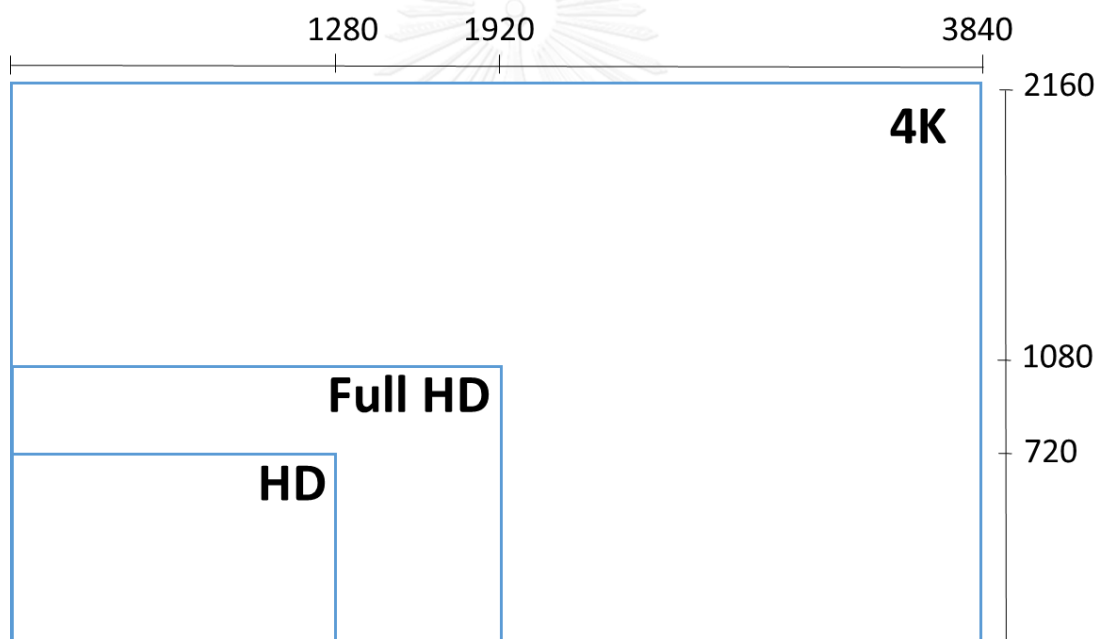
จากการแสดงผลการทดสอบกับภาพทั่วไป ภาพใบหน้า และภาพข้อความ โดยการเพิ่มความละเอียดของภาพตามผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอ ได้นำค่าพจนานุกรมที่สร้างได้จากภาพชุดข้อมูลของแต่ละชนิดของชุดภาพ และใช้การประมาณค่าแบบ Adaptive Elastic-Net ซึ่งผลการวัดค่า PSNR จะมีค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่นำมาอ้างอิง อีกทั้งค่าของ RMSE ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับภาพต้นแบบความละเอียดสูง วิธีการที่นำเสนอมีความผิดพลาดที่น้อยกว่า ซึ่งสามารถเห็นได้บริเวณขอบภาพที่มีความคมชัดมากขึ้น

โดยที่ชุดข้อมูลของภาพทั่วไปที่นำมาใช้ในการสร้างพจนานุกรม จากการทดสอบจะให้ผลของค่า PSNR ดีกว่าแบบอื่น เนื่องจากชุดของข้อมูลภาพทั่วไป มีภาพหลายๆ แบบ ทำให้มีลักษณะเด่นต่างๆ ของภาพมีหลายลักษณะ เมื่อนำมาเรียนรู้ เพื่อสร้างพจนานุกรมจะได้ค่าที่เหมาะสมไปใช้ในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงจึงทำให้ได้ผลดี ซึ่งชุดข้อมูลภาพของใบหน้าและป้ายทะเบียน จะมีลักษณะเฉพาะ จึงควรนำไปใช้กับภาพชนิดนั้นๆ โดยถ้าจะให้ผลดีขึ้น ควรเพิ่มขนาดของชุดข้อมูลภาพให้มีจำนวนมากขึ้น เพื่อให้ได้ลักษณะเด่นไปใช้ในการสร้างเมทริกซ์พจนานุกรม

จากนั้นเราจะทดสอบการเพิ่มความละเอียดของวิดีโอ และการใช้พจนานุกรม กับการแก้ไขปัญหาการแทนแบบมากเลขศูนย์ในแบบต่างๆ โดยเราจะนำพจนานุกรมที่สร้างจากชุดข้อมูลภาพทั่วไปไปใช้ในการทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบมีดังต่อไปนี้

#### 4.6. ผลการทดสอบในการเพิ่มความละเอียดวิดีโอ HD เป็น 4K

นอกจากนี้ ในปัจจุบันโทรทัศน์การแสดงผล 4K นิยมใช้แพร่หลายมากขึ้น แต่ยังมีโทรทัศน์หรือข้อมูลเดิมมีความละเอียดไม่สูงถึงขนาด 4K ถ้านำวิดีโอหรือข้อมูลนั้นมาแสดง จะทำให้ภาพที่ได้ไม่คมชัด งานวิจัยนี้ได้นำวิธีที่นำเสนอมาใช้ในการเพิ่มความละเอียดของวิดีโอจากขนาด HD ซึ่งมีขนาด 720x1280 จุดภาพ (เพิ่มความละเอียดของวิดีโอ 2 เท่า) และ Full HD ซึ่งมีขนาด 1920x1080 จุดภาพ (เพิ่มความละเอียดของวิดีโอ 3 เท่า) เพิ่มความละเอียดเป็น 4K ซึ่งมีขนาด 3840x2160 จุดภาพ ดังภาพที่ 4.22 โดยได้ทดสอบกับวิดีโอ Foreman ดังภาพที่ 4.23 และ News ดังภาพที่ 4.26 ซึ่งใช้พจนานุกรมที่สร้างจากชุดข้อมูลภาพทั่วไปมาใช้ในการสร้างคืนวิดีโอแบบเฟรมต่อเฟรม วิธีการที่นำเสนอโดยใช้พจนานุกรมแบบวิเคราะห์ที่สร้างจากชุดข้อมูลภาพทั่วไป และการประมาณค่าแบบ Adaptive Elastic-Net มาใช้ในขั้นตอนวิธี



ภาพที่ 4.22 แสดงขนาดของวิดีโอมาตรฐาน

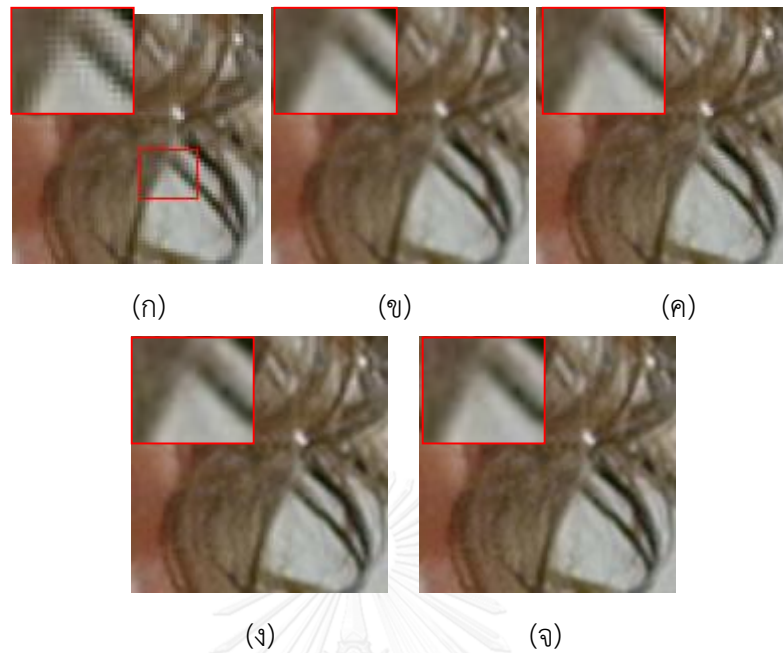




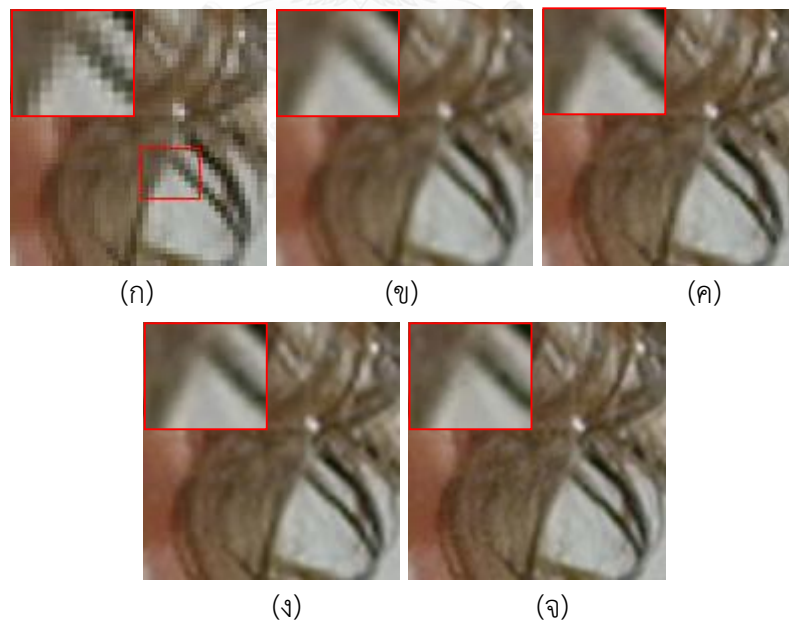
ภาพที่ 4.23 เฟรมที่ 1 ของวิดีโอ Foreman



ภาพที่ 4.24 เฟรมที่ 1 ของวิดีโอ News

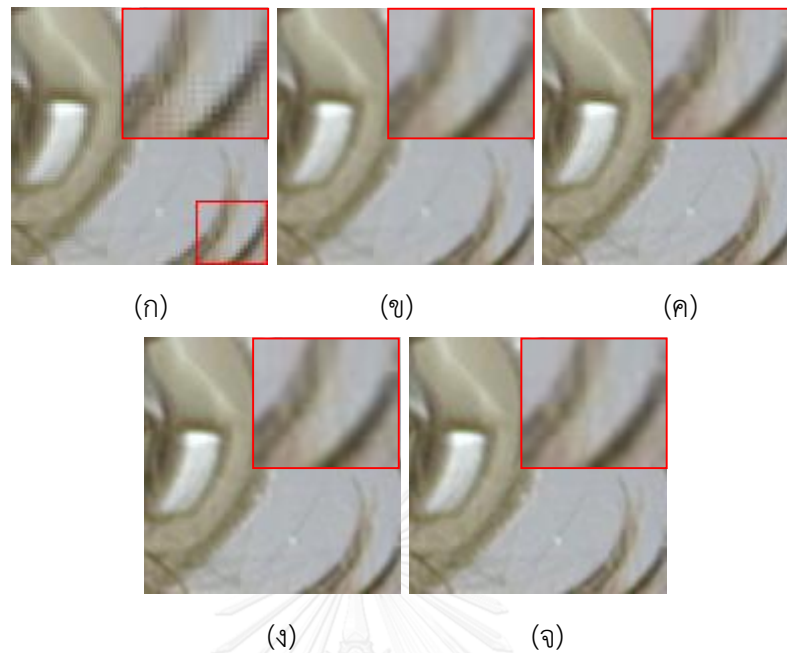


ภาพที่ 4.25 แสดงตัวอย่างบริเวณที่ 1 ของวิดีโอ Foreman โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ (ก) ขนาด Full HD (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ (จ) ขนาด 4K



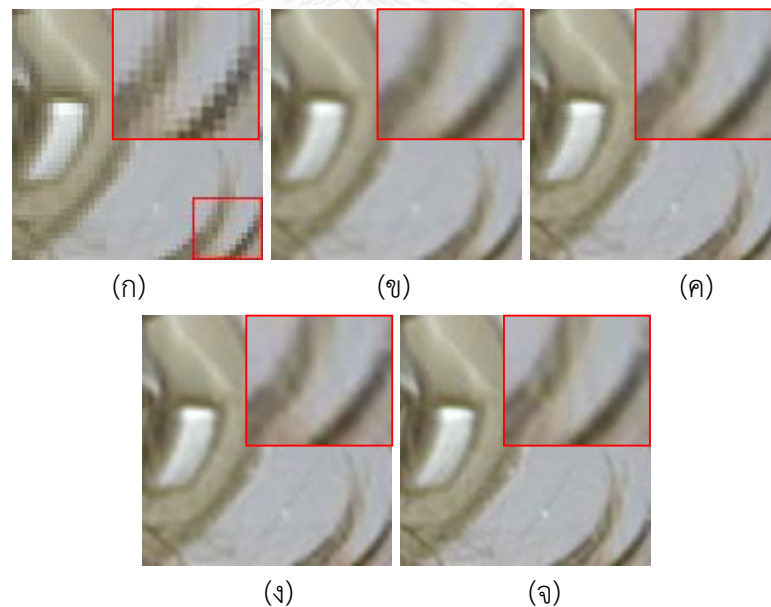
ภาพที่ 4.26 แสดงตัวอย่างบริเวณที่ 1 ของวิดีโอ Foreman โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ (ก) ขนาด Full HD (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ (จ) ขนาด 4K





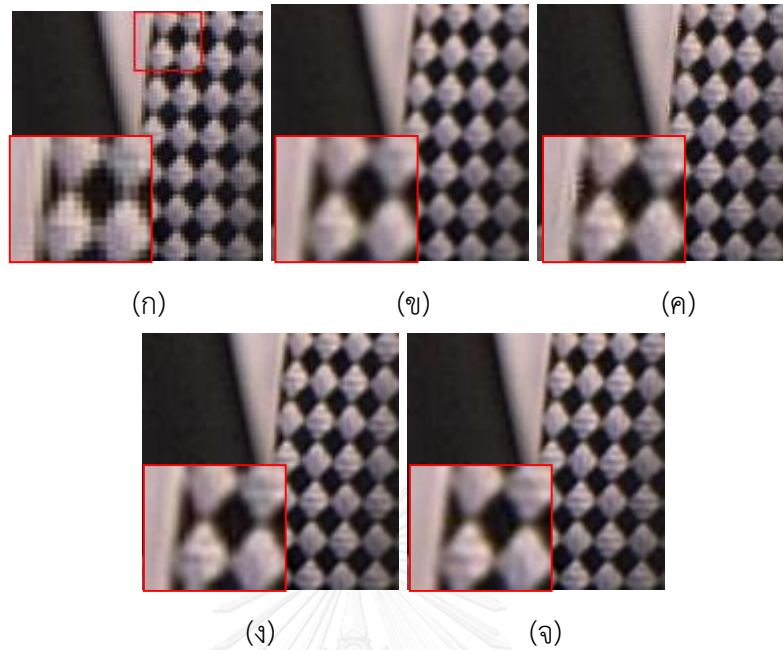
ภาพที่ 4.27 แสดงตัวอย่างบริเวณที่ 2 ของวิดีโอ Foreman

โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ  
(ก) ขนาด Full HD (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ (จ) ขนาด 4K



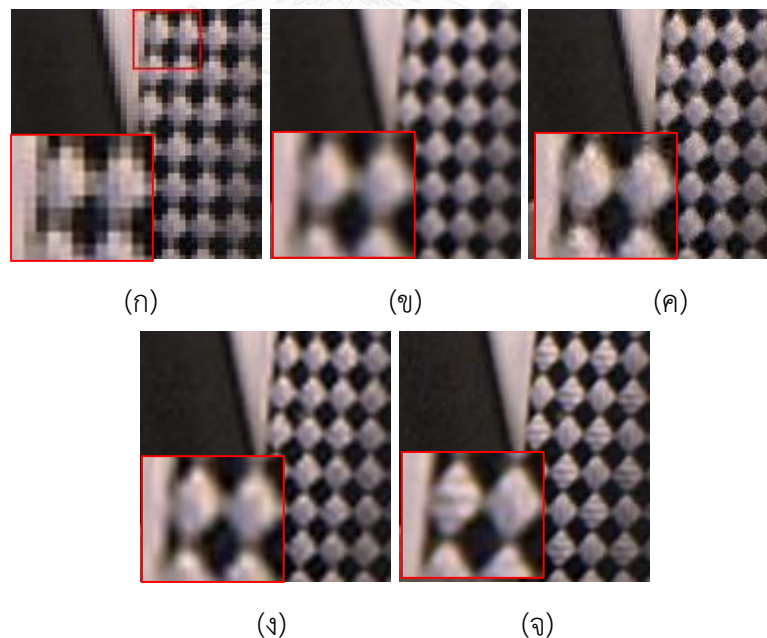
ภาพที่ 4.28 แสดงตัวอย่างบริเวณที่ 2 ของวิดีโอ Foreman

โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ  
(ก) ขนาด Full HD (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ (จ) ขนาด 4K



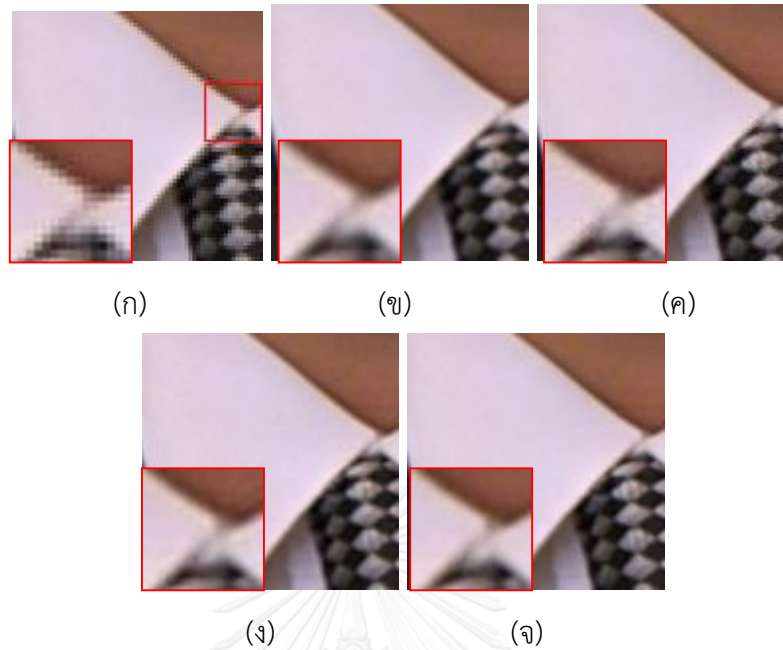
ภาพที่ 4.29 แสดงบริเวณที่ 1 ของวีดิทัศน์ News

โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ  
(ก) ขนาด Full HD (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ (จ) ขนาด 4K



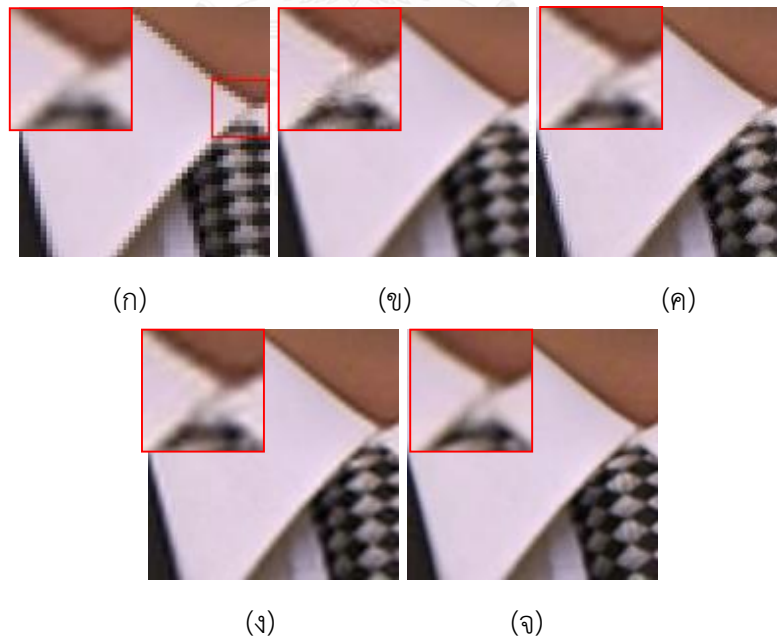
ภาพที่ 4.30 แสดงบริเวณที่ 1 ของวีดิทัศน์ News

โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ  
(ก) ขนาด Full HD (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ (จ) ขนาด 4K



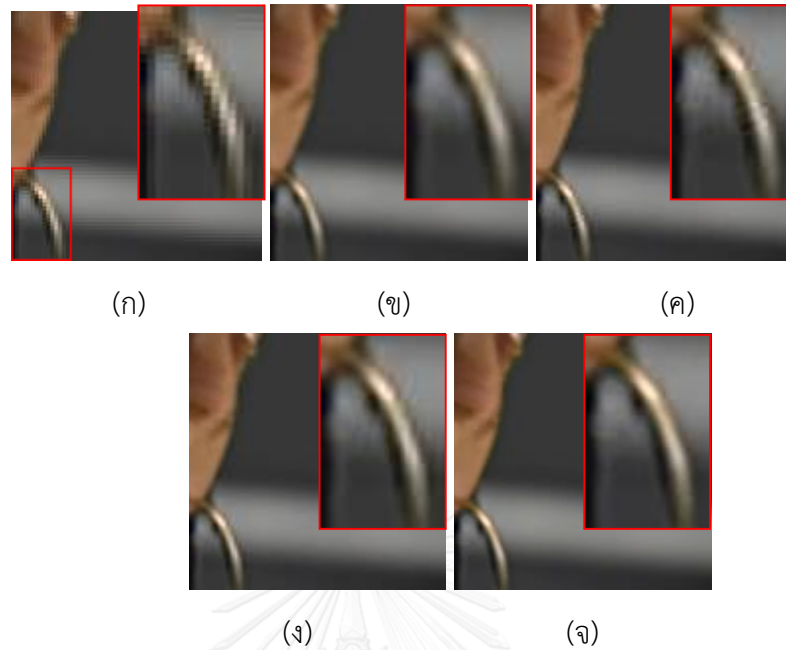
ภาพที่ 4.31 แสดงบริเวณที่ 2 ของวิดีโอ News

โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ  
(ก) ขนาด Full HD (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ (จ) ขนาด 4K



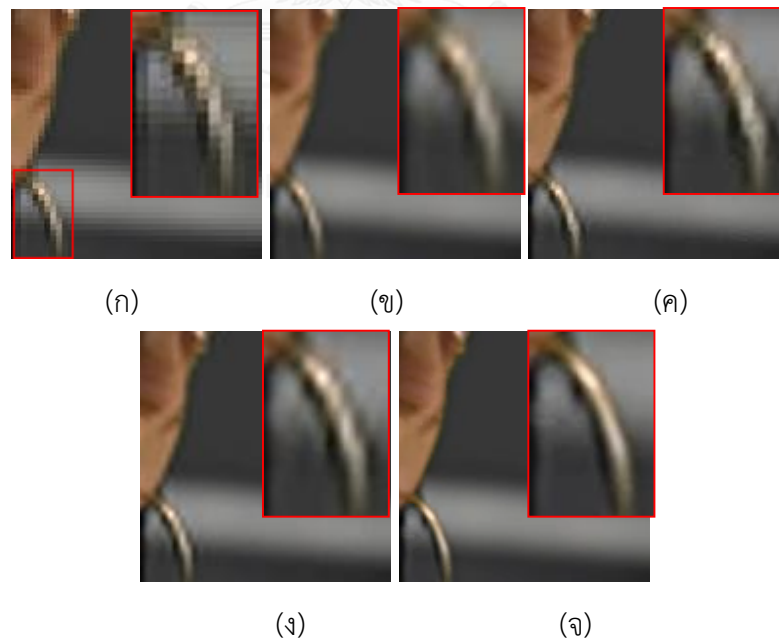
ภาพที่ 4.32 แสดงบริเวณที่ 2 ของวิดีโอ News

โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ  
(ก) ขนาด Full HD (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ (จ) ขนาด 4K



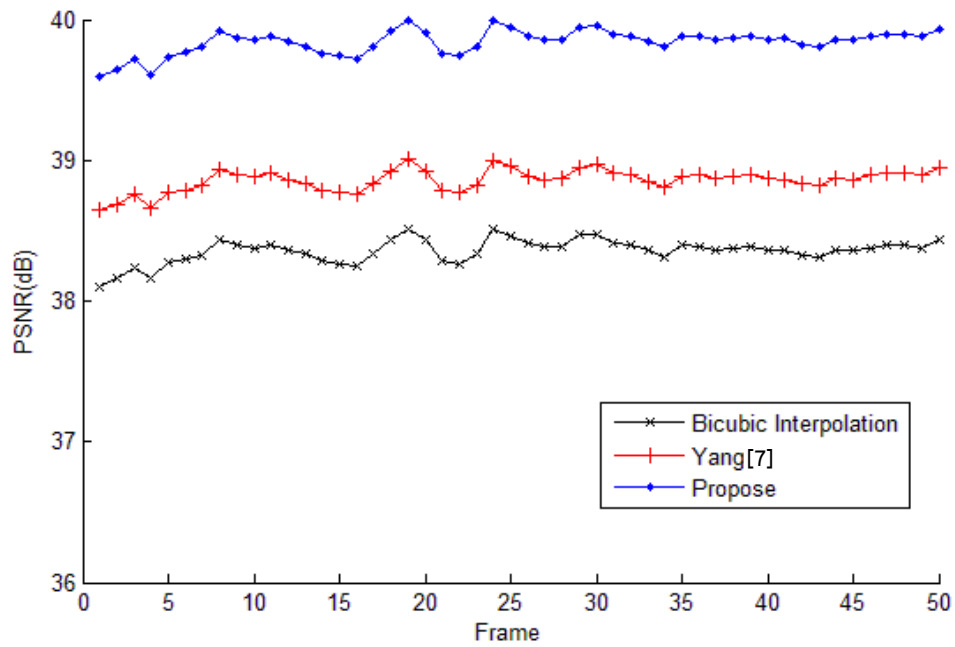
ภาพที่ 4.33 แสดงบริเวณที่ 3 ของวิดีโอทัศน์ News

โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ  
(ก) ขนาด Full HD (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ (จ) ขนาด 4K



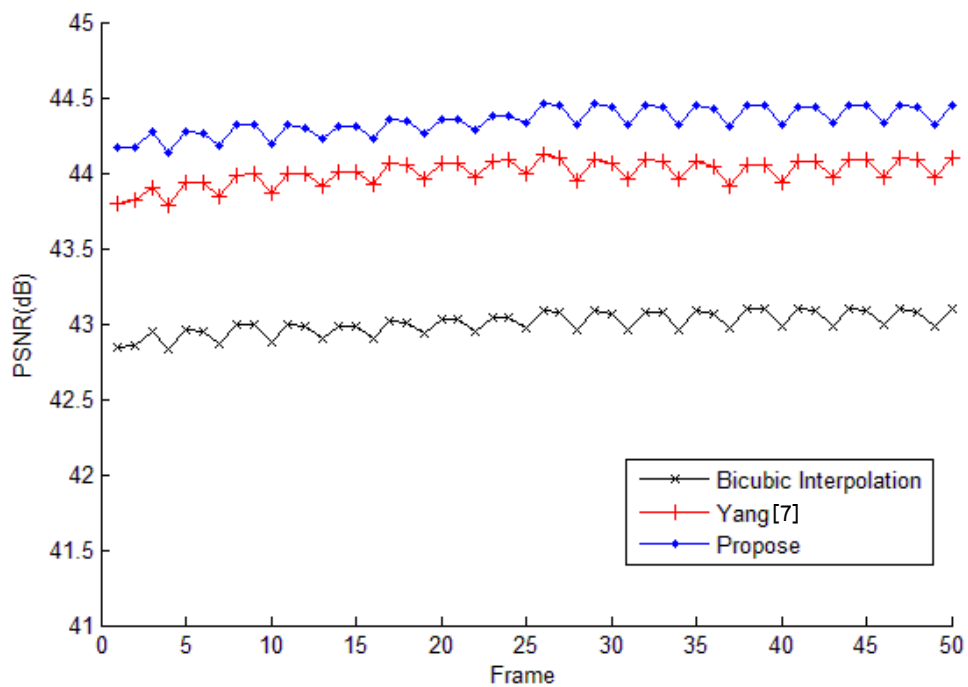
ภาพที่ 4.34 แสดงบริเวณที่ 3 ของวิดีโอทัศน์ News

โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ  
(ก) ขนาด Full HD (ข) Bicubic Interpolation (ค) Yang [7] (ง) วิธีการที่นำเสนอ (จ) ขนาด 4K



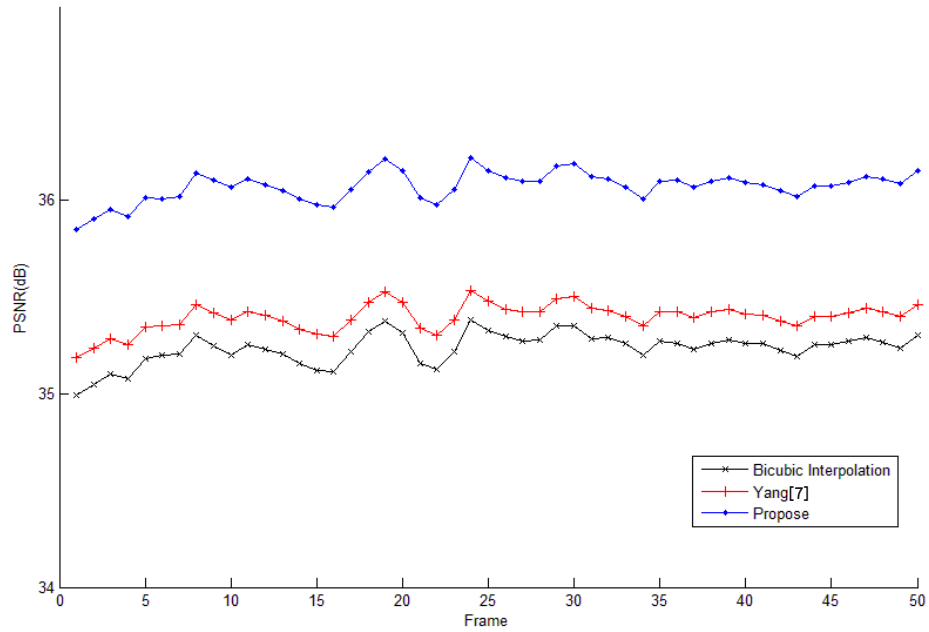
ภาพที่ 4.35 กราฟแสดงค่า PSNR ของวิดีโอ Foreman เฟรมที่ 1-50

โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ

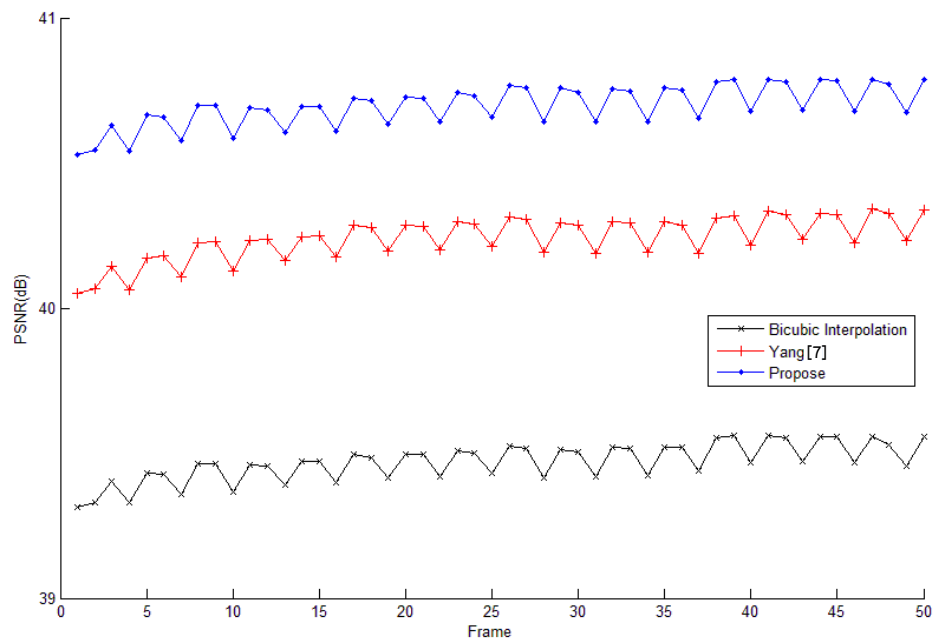


ภาพที่ 4.36 กราฟแสดงค่า PSNR ของวิดีโอ News เฟรมที่ 1-50

โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ



ภาพที่ 4.37 กราฟแสดงค่า PSNR ของวิดีโอ Foreman เฟรมที่ 1-50  
 โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ



ภาพที่ 4.38 กราฟแสดงค่า PSNR ของวิดีโอ News เฟรมที่ 1-50  
 โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก Full HD 1920x1080 จุดภาพ 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของ PSNR ของการทดสอบกับวีดิทัศน์

| PSNR \ วิธีการ                | Bicubic | Yang[7] | วิธีการที่นำเสนอ |
|-------------------------------|---------|---------|------------------|
| <b>วีดิทัศน์ Foreman</b>      |         |         |                  |
| เฟรมที่ 1 (2x)                | 38.416  | 38.834  | <b>40.028</b>    |
| ค่าเฉลี่ยของเฟรมที่ 1-50 (2x) | 38.586  | 39.030  | <b>40.187</b>    |
| เฟรมที่ 1 (3x)                | 34.995  | 35.186  | <b>35.848</b>    |
| ค่าเฉลี่ยของเฟรมที่ 1-50 (3x) | 35.236  | 35.396  | <b>36.072</b>    |
| <b>วีดิทัศน์ News</b>         |         |         |                  |
| เฟรมที่ 38 (2x)               | 43.096  | 44.049  | <b>44.446</b>    |
| ค่าเฉลี่ยของเฟรมที่ 1-50 (2x) | 43.003  | 44.001  | <b>44.343</b>    |
| เฟรมที่ 38 (3x)               | 39.552  | 40.309  | <b>40.780</b>    |
| ค่าเฉลี่ยของเฟรมที่ 1-50 (3x) | 39.469  | 40.240  | <b>40.695</b>    |

ตารางที่ 4.11 ผลของ RMSE ของการทดสอบกับวีดิทัศน์

| RMSE \ วิธีการ                | Bicubic | Yang[7] | วิธีการที่นำเสนอ |
|-------------------------------|---------|---------|------------------|
| <b>วีดิทัศน์ Foreman</b>      |         |         |                  |
| เฟรมที่ 1 (2x)                | 3.059   | 2.916   | <b>2.542</b>     |
| ค่าเฉลี่ยของเฟรมที่ 1-50 (2x) | 3.000   | 2.851   | <b>2.496</b>     |
| เฟรมที่ 1 (3x)                | 4.539   | 4.438   | <b>4.113</b>     |
| ค่าเฉลี่ยของเฟรมที่ 1-50 (3x) | 4.415   | 4.333   | <b>4.008</b>     |
| <b>วีดิทัศน์ News</b>         |         |         |                  |
| เฟรมที่ 38 (2x)               | 1.785   | 1.600   | <b>1.528</b>     |
| ค่าเฉลี่ยของเฟรมที่ 1-50 (2x) | 1.805   | 1.609   | <b>1.547</b>     |
| เฟรมที่ 38 (3x)               | 2.685   | 2.461   | <b>2.331</b>     |
| ค่าเฉลี่ยของเฟรมที่ 1-50 (3x) | 2.711   | 2.481   | <b>2.354</b>     |

จากการแสดงผลการทดสอบกับวีดิทัศน์ Foreman และ News ดังภาพที่ 4.23-4.24 ตามลำดับ วิธีการที่นำเสนอ มีค่า PSNR ที่สูงกว่าในกรณีของเพิ่มความละเอียดจากขนาด HD ซึ่งมีขนาด 720x1280 จุดภาพ (2x) เป็น 4K ซึ่งมีขนาด 3840x2160 จุดภาพ ค่า PSNR จะดีกว่าประมาณ 0.3-1.2 dB และในกรณีการเพิ่มความละเอียดจาก Full HD ซึ่งมีขนาด 1920x1080 จุดภาพ (3x) ค่า PSNR จะดีกว่าประมาณ 0.4-0.7dB เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่นำมาอ้างอิง จะเห็นได้ว่าในกรณีของ

ภาพวีดิทัศน์นี้ การเพิ่มความละเอียดที่น้อยกว่าจะให้ผลที่ดีกว่า อีกทั้งค่าของ RMSE ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับวีดิทัศน์ต้นแบบขนาด 4K วิธีการที่นำเสนอมีค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่า ซึ่งสามารถเห็นได้บริเวณขอบภาพที่มีความคมชัดมากขึ้น

นอกจากนั้นยังมีการขยายภาพให้เห็นบริเวณตัวอย่างของ Foreman และ News ดังภาพที่ 4.25-4.34 เพื่อให้เห็นผลของการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยิ่งยวดที่นำเสนอเปรียบเทียบกับงานวิจัยอ้างอิง [7] ซึ่งจะเห็นได้ว่าในบริเวณของขอบภาพ มีความคมชัดใกล้เคียงกับวีดิทัศน์ต้นแบบมากกว่า อีกทั้งแสดงกราฟของค่า PSNR เพรมที่ 1-50 ของ Foreman และ News ดังภาพที่ 4.35-4.38 อีกด้วย ซึ่งในส่วนต่อไปจะแสดงการเปรียบเทียบการใช้พจนานุกรม และการใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์แบบต่างๆ ดังนี้

#### 4.7. ผลการทดสอบการใช้พจนานุกรม และการใช้การแทนแบบมากเลขศูนย์

ทดสอบการสร้างเมทริกซ์พจนานุกรมโดยใช้ชุดข้อมูลภาพทั่วไป ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2 ซึ่งทดสอบกับภาพและวีดิทัศน์ต่อไปนี้

- ภาพใบไม้ความละเอียดสูง โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจากขนาด 60x56 จุดภาพเป็น 180x168 จุดภาพ
- ภาพแก้วน้ำความละเอียดสูงโดยใช้การเพิ่มความละเอียด จากขนาด 60x60 จุดภาพเป็น 180x180 จุดภาพ
- วีดิทัศน์ Foreman โดยใช้การเพิ่มความละเอียดจาก HD ขนาด 720x1280 จุดภาพเป็น 4K ขนาด 3840x2160 จุดภาพ จำนวน 50 เพรม

##### 4.7.1. การทดสอบโดยใช้วิธีการสร้างเมทริกซ์พจนานุกรมเปรียบเทียบกับงานวิจัยอ้างอิง

โดยจะรายละเอียดของวิธีการสร้างเมทริกซ์พจนานุกรมโดยใช้วิธีการต่างๆ ดังนี้

- [A] สร้างพจนานุกรม และการแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Lasso ในการหาค่าเหมาะสม จากงานวิจัยอ้างอิง [7]
- [B] สร้างพจนานุกรมจากงานวิจัยอ้างอิง [7] และใช้วิธีการที่นำเสนอในการแทนแบบมากเลขศูนย์ โดยใช้ Adaptive Elastic-Net ในการหาค่าเหมาะสม
- [C] สร้างพจนานุกรมโดยวิธีการที่นำเสนอ กับ การแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Lasso ในการหาค่าเหมาะสม จากงานวิจัยอ้างอิง [7]
- [D] สร้างพจนานุกรม และการแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Adaptive Elastic-Net การหาค่าเหมาะสมโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ



ตารางที่ 4.12 ผลของค่า PSNR ของการสร้างพจนานุกรมจากวิธีการต่างๆ

| ภาพวิธีการ                              | [A]    | [B]    | [C]    | [D]    |
|---|--------|--------|--------|--------|
| ภาพใบไม้                                | 31.833 | 31.836 | 32.295 | 32.312 |
| ภาพแก้วน้ำ                              | 30.692 | 30.861 | 31.069 | 31.582 |
| ค่าเฉลี่ยเฟรมที่ 1-50 ของวิดีโอ Foreman | 35.396 | 35.301 | 36.364 | 36.072 |

จากผลของค่า PSNR จากตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า การแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Adaptive Elastic-Net จะมีผลดีกว่าแบบ Lasso โดยค่าของ PSNR ต่างกันเล็กน้อยประมาณ 0.01-0.2 dB สร้างพจนานุกรม และการแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Lasso ในการหาค่าเหมาะสม จากงานวิจัยอ้างอิง [7] ในการทดสอบ [A] เปรียบเทียบกับสร้างพจนานุกรมจากงานวิจัยอ้างอิง [7] และใช้วิธีการที่นำเสนอในการแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Adaptive Elastic-Net ในการหาค่าเหมาะสม ในการทดสอบ [B]

วิธีการสร้างพจนานุกรมจากวิธีการที่นำเสนอ ให้ผลที่ดีกว่าวิธีอ้างอิง [7] โดยผลของค่า PSNR ดีกว่าประมาณ 0.4-1 dB โดยพิจารณาจากการสร้างพจนานุกรมโดยวิธีการที่นำเสนอ กับการแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Lasso ในการหาค่าเหมาะสม จากงานวิจัยอ้างอิง [7] ในการทดสอบแบบ [C] เปรียบเทียบกับสร้างพจนานุกรม และการแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Lasso ในการหาค่าเหมาะสม จากงานวิจัยอ้างอิง [7] ในการทดสอบแบบ [A] ซึ่งใช้ Lasso ในการหาค่าเหมาะสมเหมือนกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้เมทริกซ์พจนานุกรมจากวิธีการที่นำเสนอ มีผลในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงมากกว่า การแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Adaptive Elastic-Net การหาค่าเหมาะสม

วิธีการที่นำเสนอทั้งหมดจะให้ผลดีที่สุด กับการทดสอบกับภาพเมื่อเทียบกับงานวิจัยอ้างอิง [7] โดยค่า PSNR ดีกว่าประมาณ 0.5-0.9 dB โดยพิจารณาจากการสร้างพจนานุกรม และการแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Adaptive Elastic-Net การหาค่าเหมาะสมโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ ในการทดสอบแบบ [D] เปรียบเทียบกับการทดสอบแบบ [A] สร้างพจนานุกรม และการแทนแบบมากเลขศูนย์โดยใช้ Lasso ในการหาค่าเหมาะสม จากงานวิจัยอ้างอิง [7]

#### 4.7.2. การทดสอบโดยใช้วิธีการสร้างเมทริกซ์พจนานุกรมเปรียบเทียบกับงานวิจัยอ้างอิงเพิ่มเติม

โดยจะรายละเอียดของวิธีการสร้างเมทริกซ์พจนานุกรมโดยใช้วิธีการต่างๆ ดังนี้

[E] สร้างพจนานุกรมจากงานวิจัยอ้างอิง [7] และการแทนแบบมัลติสเกลด้วย Elastic-Net ในการหาค่าเหมาะสม จากงานวิจัยอ้างอิง [30]

[F] สร้างพจนานุกรมจากงานวิจัยอ้างอิง [7] และใช้วิธีการที่นำเสนอในการแทนแบบมัลติสเกลด้วย Adaptive Elastic-Net ในการหาค่าเหมาะสม

[G] สร้างพจนานุกรมโดยวิธีการที่นำเสนอ และการแทนแบบมัลติสเกลด้วย Elastic-Net ในการหาค่าเหมาะสม จากงานวิจัยอ้างอิง [30]

[H] สร้างพจนานุกรม และการแทนแบบมัลติสเกลด้วย Adaptive Elastic-Net การหาค่าเหมาะสมโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.13 ผลของค่า PSNR ของการสร้างพจนานุกรมจากวิธีการต่างๆ เพิ่มเติม

| ภาพวิธีการ                              | [E]    | [F]    | [G]    | [H]    |
|---|--------|--------|--------|--------|
| ภาพใบไม้                                | 31.738 | 31.836 | 32.181 | 32.312 |
| ภาพแก้วน้ำ                              | 30.758 | 30.861 | 30.559 | 31.582 |
| ค่าเฉลี่ยเฟรมที่ 1-50 ของวิดีโอ Foreman | 35.232 | 35.301 | 35.715 | 36.072 |

จากผลของค่า PSNR จากตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า การแทนแบบมัลติสเกลด้วย Adaptive Elastic-Net จะมีผลดีกว่าแบบ Elastic-Net โดยค่าของ PSNR ต่างกันเล็กน้อยประมาณ 0.1 dB โดยใช้ในการสร้างพจนานุกรม จากงานวิจัยอ้างอิง [7] ในการทดสอบ [E] ที่นำเสนอในการแทนแบบมัลติสเกลด้วย Elastic-Net จากงานวิจัยอ้างอิง [30] ในการหาค่าเหมาะสมเปรียบเทียบกับ การทดสอบ [F] สร้างพจนานุกรมจากงานวิจัยอ้างอิง [7] และใช้วิธีการที่นำเสนอในการแทนแบบมัลติสเกลด้วย Adaptive Elastic-Net ในการหาค่าเหมาะสม

โดยการใช้วิธีการสร้างพจนานุกรมจากวิธีการที่นำเสนอเหมือนกัน กับการแทนแบบมัลติสเกลด้วย Elastic-Net จากงานวิจัยอ้างอิง [30] ในการทดสอบ [G] เปรียบเทียบกับการทดสอบ [H] โดยการใช้การแทนแบบมัลติสเกลด้วย Adaptive Elastic-Net ผลของการวัดค่า PSNR กับการทดสอบนี้การใช้ Adaptive Elastic-Net ให้ผลดีกว่าประมาณ 0.03-0.3 dB

ซึ่งถ้าเปรียบเทียบทั้งหมดการทดสอบสร้างพจนานุกรมแต่ละชนิด และการแทนแบบมัลติสเกลด้วย Adaptive Elastic-Net การหาค่าเหมาะสมโดยใช้วิธีการที่นำเสนอ จะให้ผลของค่า PSNR ที่ดีกว่าทั้งการทดสอบกับภาพ และวิดีโอ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1. สรุปผลการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอ การสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่งโดยใช้การแทนแบบ  
มากเลขศูนย์ด้วยพจนานุกรมแบบวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูง และนำเสนอ  
การแก้ไขปัญหาของการแทนแบบมากเลขศูนย์ เพื่อหาค่าผิดพลาดที่น้อยลง

ผลของการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอ ได้ปรับปรุงคุณภาพของภาพและวิทัศน์  
ที่นำมาทดสอบ ให้มีความผิดพลาดน้อยลง โดยบริเวณขอบของภาพมีความผิดพลาดที่น้อย เมื่อเทียบกับ  
วิธีการที่อ้างอิง

#### 5.2. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนาการสร้างคืนภาพความละเอียดสูงยวดยิ่ง ด้วยการปรับปรุงการ  
แก้ไขปัญหาคือการแทนแบบมากเลขศูนย์และการสร้างพจนานุกรมนี้ จากผลการทดสอบกับวิทัศน์  
ความละเอียดสูง เห็นได้ว่ามีผลที่ดีขึ้น และในปัจจุบันเทคโนโลยีการแสดงผลของทีวี มีการพัฒนา  
อย่างต่อเนื่อง ความละเอียดเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งถ้ามีวิทัศน์เดิมที่ความละเอียดน้อย เมื่อนำไป  
แสดงผลกับทีวีความละเอียดสูง อาจจะทำให้ชมภาพได้ไม่ชัดเจน โดยอาจจะนำงานวิจัยนี้ ไปใช้กับการ  
เพิ่มความละเอียดของวิทัศน์ นอกจากนั้นวิธีการภายใต้การเรียนรู้เพื่อสร้างค่า พจนานุกรมควรใช้ชุด  
ข้อมูลภาพที่มีจำนวนมากๆ เพื่อให้ได้ลักษณะเด่นในการนำไปใช้ในการสร้างคืนภาพความละเอียดสูง  
ให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

- [1] S. C. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, "Super-resolution image reconstruction: a technical overview," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 20, pp. 21-36, 2003.
- [2] S. Baker and T. Kanade, "Hallucinating faces," in *Automatic Face and Gesture Recognition, 2000. Proceedings. Fourth IEEE International Conference on*, 2000, pp. 83-88.
- [3] C. Liu, H.-Y. Shum, and C.-S. Zhang, "A two-step approach to hallucinating faces: global parametric model and local nonparametric model," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on*, 2001, pp. I-192-I-198 vol. 1.
- [4] X. Wang and X. Tang, "Hallucinating face by eigentransformation," *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, vol. 35, pp. 425-434, 2005.
- [5] C. Liu, H.-Y. Shum, and W. T. Freeman, "Face hallucination: Theory and practice," *International Journal of Computer Vision*, vol. 75, pp. 115-134, 2007.
- [6] Y. Hu, T. Shen, and K. M. Lam, "Region-based Eigentransformation for face image hallucination," in *Circuits and Systems, 2009. ISCAS 2009. IEEE International Symposium on*, 2009, pp. 1421-1424.
- [7] J. Yang, J. Wright, T. S. Huang, and Y. Ma, "Image super-resolution via sparse representation," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 2861-2873, 2010.
- [8] W. T. Freeman, T. R. Jones, and E. C. Pasztor, "Example-based super-resolution," *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 22, pp. 56-65, 2002.
- [9] S. Purnomo, S. Aramvith, and S. Pumrin, "Generalized Image Super Resolution Technique Using Elastic Net," presented at the International Symposium on Communications and Information Technologies, 2010.

- [10] H. Zou and T. Hastie, "Regularization and variable selection via the elastic net," *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, vol. 67, pp. 301-320, 2005.
- [11] J. Friedman, T. Hastie, and R. Tibshirani, "Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent," *Journal of statistical software*, vol. 33, p. 1, 2010.
- [12] S. Purnomo, S. Aramvith, and S. Pumrin, "Elastic Net for Solving Sparse Representation of Face Image Super-Resolution," in *International Symposium on Communications and Information Technologies*, 2010.
- [13] S. Purnomo, S. Aramvith, and S. Pumrin, "Super Resolution Technique for Character Recognition on Low Resolution License Plate Image," presented at the International Symposium in Multimedia and Communication Technology, Sapporo, Japan, 2011.
- [14] D. W. Marquardt and R. D. Snee, "Ridge regression in practice," *The American Statistician*, vol. 29, pp. 3-20, 1975.
- [15] R. Tibshirani, "Regression shrinkage and selection via the lasso," *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, pp. 267-288, 1996.
- [16] H. Zou, "The adaptive lasso and its oracle properties," *Journal of the American statistical association*, vol. 101, pp. 1418-1429, 2006.
- [17] H. Zou and H. H. Zhang, "On the adaptive elastic-net with a diverging number of parameters," *Annals of statistics*, vol. 37, p. 1733, 2009.
- [18] M. Elad and M. Aharon, "Image denoising via sparse and redundant representations over learned dictionaries," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 15, pp. 3736-3745, 2006.
- [19] J. Mairal, G. Sapiro, and M. Elad, "Learning multiscale sparse representations for image and video restoration," DTIC Document 2007.
- [20] M. Aharon, M. Elad, and A. Bruckstein, "K-SVD: An Algorithm for Designing Overcomplete Dictionaries for Sparse Representation," *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 54, pp. 4311-4322, 2006.
- [21] M. Elad, P. Milanfar, and R. Rubinstein, "Analysis versus synthesis in signal priors," *Inverse problems*, vol. 23, p. 947, 2007.

- [22] Y. Liao, Q. Xiao, X. Ding, and D. Guo, "A Novel Dictionary Design Algorithm for Sparse Representations," in *Computational Sciences and Optimization, 2009. CSO 2009. International Joint Conference on*, 2009, pp. 831-834.
- [23] R. Rubinstein, T. Peleg, and M. Elad, "Analysis K-SVD: A dictionary-learning algorithm for the analysis sparse model," *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 61, pp. 661-677, 2013.
- [24] S. S. Chen, D. L. Donoho, and M. A. Saunders, "Atomic decomposition by basis pursuit," *SIAM journal on scientific computing*, vol. 20, pp. 33-61, 1998.
- [25] I. F. Gorodnitsky and B. D. Rao, "Sparse signal reconstruction from limited data using FOCUSS: A re-weighted minimum norm algorithm," *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 45, pp. 600-616, 1997.
- [26] Y. Yang, H. Zou, M. Y. Yang, and D. Matrix, "Package 'gcdnet'," 2012.
- [27] G. Griffin, A. Holub, and P. Perona, "Caltech-256 object category dataset," 2007.
- [28] A. Nefian and A. Nefian, "Georgia tech face database," ed, 2013.
- [29] C. Anagnostopoulos, I. Psoroulas, V. Loumos, E. Kayafas, and C. Anagnostopoulos, "MediaLab LPR Database," *Multimedia Technology Laboratory, National Technical University of Athens*. Available: <http://www.medialab.ntua.gr/research/LPRdatabase.html>.
- [30] S. Purnomo, S. Aramvith, and S. Pumrin, "Generalized image super-resolution technique using elastic net," presented at the International Symposium on Multimedia Communication Technology, 2010.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง : การสร้างคีนภาพความละเอียดสูงยวดยั้งโดยใช้การ  
แทนแบบมากเลขศูนย์ด้วยพจนานุกรมแบบวิเคราะห์

สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์

ชื่อ : นายวัชรระ เรืองสังข์

ประวัติ

เกิดวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ.2531 ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 14/5 หมู่ 4 ตำบลไร่ขิง อำเภอ  
สามพราน จังหวัดนครปฐม 73210 สำเร็จการศึกษาจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2553 และ  
สำเร็จการศึกษาจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใน  
ปีการศึกษา 2557

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

1. W. Ruangsang, S. Aramvith, "Super-Resolution for HD to 4K using  
Analysis K-SVD Dictionary and Adaptive Elastic-Net", 2015 IEEE International  
Conference on Digital Signal Processing (DSP 2015), July 21-24, 2015, Singapore.