บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

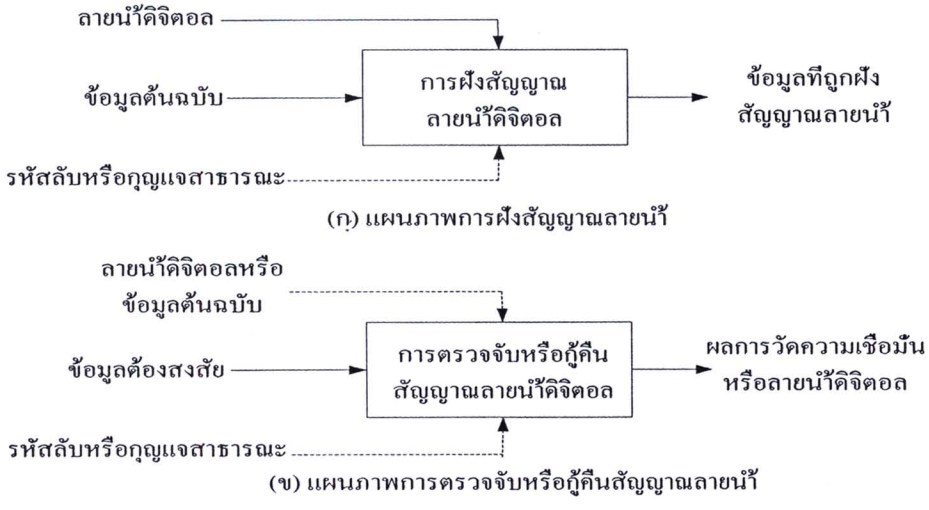
2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการทำลายน้ำดิจิตอล โดยจะได้กล่าวถึงหลักการและการออกแบบการทำลายน้ำดิจิตอล สิ่งที่ต้องการในการทำลายน้ำดิจิตอล เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล และกล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้องเป็นส่วนสุดท้าย

2.2 หลักการและการออกแบบการทำลายน้ำดิจิตอล

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า ลายน้ำ (Watermark) ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ มาเป็นเวลาช้านาน ตัวอย่างเช่น การแทรกลายน้ำลงในธนบัตร แสตมป์หรือเอกสารสำคัญ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือป้องกันการปลอมแปลงหรือลอกเลียนแบบ ในปัจจุบันข้อมูลภาพและเสียงเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บจากแอนาลอกมาเป็นข้อมูลแบบดิจิตอล แนวทางในการป้องกันแบบเดิมก็ถูกนำมาประยุกต์ใช้อีกครั้ง โดยลายน้ำที่ใช้ก็มีการเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นลายน้ำดิจิตอล

กระบวนการในการทำลายน้ำดิจิตอลโดยทั่ว ๆ ไปแสดงได้ดังในรูปที่ 2.1 โดยประกอบด้วยสองส่วนคือ การฝังลายน้ำดิจิตอลและการตรวจจับหรือกู้คืนลายน้ำดิจิตอล



รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำลายน้ำดิจิตอล

การออกแบบวิธีการในการทำลายน้ำดิจิตอลประกอบด้วย การออกแบบสัญญาณลายน้ำ การออกแบบอัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอลและการออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำ

2.2.1 การออกแบบสัญญาณลายน้ำ เป็นวิธีการในการสร้างสัญญาณลายน้ำสำหรับนำมาฝังหรือซ่อนในข้อมูลดิจิตอล โดยปกติแล้วสัญญาณลายน้ำจะเป็นฟังก์ชันของข้อมูลข่าวสารและกุญแจรหัสที่ใช้สร้างสัญญาณลายน้ำ ดังนี้

$$W = f_0(I, K) \tag{2.1}$$

เมื่อ W คือสัญญาณลายน้ำดิจิตอล K คือกุญแจรหัสและ I คือข้อมูลข่าวสารซึ่งใช้แสดงความเป็นเจ้าของในข้อมูลดิจิตอล และในบางครั้งสัญญาณลายน้ำอาจจะเป็นฟังก์ชันของข้อมูลต้นฉบับ X ที่ต้องการจะฝังสัญญาณลายน้ำด้วย คือ

$$W = f_0(I, K, X) \tag{2.2}$$

2.2.2 การออกแบบอัลกอริทึมการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอล เป็นวิธีการในการนำสัญญาณลายน้ำ W มารวมเข้ากับข้อมูลต้นฉบับ X ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำ Y ดังนี้

$$Y = f_1(X, W) \tag{2.3}$$

2.2.3 การออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำ เป็นการพิสูจน์ทราบว่ามีสัญญาณลายน้ำอยู่ในข้อมูลดิจิตอลที่เราสงสัยหรือไม่ หรือเพื่อที่จะกู้ข้อมูลข่าวสารในข้อมูลดิจิตอลที่เราสงสัย $\hat{I}$ กลับคืนมาสำหรับใช้ในการอ้างกรรมสิทธิ์หรือระบุตัวตนที่แท้จริงของเจ้าของข้อมูลดิจิตอลนั้น กระบวนการในการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำอาจทำได้โดยใช้ข้อมูลต้นฉบับ ข้อมูลต้องสงสัยว่ามีสัญญาณลายน้ำ $\hat{Y}$ และกุญแจรหัสดังนี้

$$\hat{I} = g(X, \hat{Y}, K) \tag{2.4}$$

หรืออาจไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับก็ได้ ดังนี้

$$\hat{I} = g(\hat{Y}, K) \tag{2.5}$$

ในทางปฏิบัติ สองข้อแรกนั้นสามารถที่จะทำดำเนินการออกแบบไปพร้อม ๆ กัน โดยเฉพาะเทคนิคในการทำลายน้ำดิจิตอลที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณลายน้ำตามชนิดข้อมูลต้นฉบับ

การทำลายน้ำดิจิตอลในรูปแบบที่เรียกว่า Public watermarking สามารถทำการตรวจจับหรือกู้คืนสัญญาณลายน้ำได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับ ซึ่งในการใช้งานบางอย่างนั้นเราอาจจะไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลต้นฉบับได้ และบางทีข้อมูลต้นฉบับที่ใช้ก็อาจจะไม่ใช่ข้อมูลที่แท้จริงเสมอไป ดังนั้นการตรวจจับสัญญาณลายน้ำโดยที่ไม่ต้องใช้ข้อมูลต้นฉบับจึงมีความโดดเด่นแต่ก็มีความซับซ้อนมากกว่าการตรวจจับที่ต้องอาศัยข้อมูลต้นฉบับหลายเท่าตัว การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในรูปแบบดังกล่าวนี้จึงเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับนักวิจัยในปัจจุบัน

2.3 สิ่งที่ต้องการในการทำลายน้ำดิจิตอล

การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิตอลในงานแต่ละประเภท จะมีรายละเอียดและความต้องการพื้นฐานของการทำลายน้ำดิจิตอลที่แตกต่างกันไป สิ่งที่ต้องการทำลายน้ำดิจิตอลในการประยุกต์ใช้งานทั่ว ๆ ไปมีดังนี้ [3][4]

2.3.1 ความยากลำบากต่อการสังเกต (Imperceptibility) อัลกอริทึมในการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอลจะต้องมีการฝังสัญญาณลายน้ำในลักษณะที่ไม่เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลที่ถูกฝังสัญญาณลายน้ำโดยต้องไม่ทำให้เกิดการสังเกตเห็นได้หรือสามารถบอกความแตกต่างระหว่างข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ฝังสัญญาณลายน้ำ

2.3.2 ความทนทานของสัญญาณลายน้ำ (Robustness) ข้อมูลดิจิตอลที่ฝังสัญญาณลายน้ำแล้ว อาจถูกประมวลผลโดยการประมวลผลสัญญาณแบบต่าง ๆ ซึ่งในระหว่างนั้นสัญญาณลายน้ำอาจถูกเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายทั้งโดยจงใจหรือไม่ก็ตาม ความทนทานของสัญญาณลายน้ำเป็นสิ่งที่ทำให้มั่นใจได้ว่าสัญญาณลายน้ำจะไม่ถูกทำลายไปในระหว่างการประมวลผลสัญญาณเหล่านั้น นอกจากนี้สัญญาณลายน้ำควรจะต้องมีความปลอดภัยจากการคุกคาม (Threat) และการโจมตี (Attack) เพื่อป้องกันไม่ให้บุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตสามารถทำการแก้ไขหรือทำลายสัญญาณลายน้ำ ทั้งนี้เพื่อที่จะขัดขวางการตรวจจับสัญญาณลายน้ำได้ เราเรียกการทำลายน้ำดิจิตอลแบบนี้ว่าการทำลายน้ำแบบทนทาน (Robust watermarking) ตรงกันข้ามกับวิธีการทำลายน้ำดิจิตอลแบบ

เปราะบาง (Fragile watermarking) สัญญาณลายน้ำในวิธีนี้จะถูกออกแบบให้มีความเปราะบางต่อการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งก็จะมีลักษณะการประยุกต์ใช้งานที่ต่างออกไป เช่น ใช้ในการสร้างความเชื่อถือได้ของสัญญาณภาพ (Image integrity) ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลภาพนั้น ๆ เป็นภาพต้นฉบับจริงหรือเป็นภาพที่มีการแก้ไขแต่งเติม (Retouch) ลายน้ำดิจิตอลแบบเปราะบางจะทำให้เกิดความมั่นใจว่าข้อมูลนั้นมีความถูกต้องและไม่ถูกผู้อื่นบิดเบือนไป เป็นต้น

2.3.3 จำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำ (Payload of the watermark) หมายถึงจำนวนของข้อมูลสัญญาณลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในข้อมูลดิจิตอล ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความจุของช่องสัญญาณและขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมในการทำลายน้ำดิจิตอลเป็นอย่างมาก บางอัลกอริทึมสามารถฝังได้แค่เพียงบิตเดียว (One-bit watermarking) แต่บางอัลกอริทึมสามารถฝังได้มากกว่า 1 บิต (Multi-bits watermarking) อย่างไรก็ตามจำนวนบิตดังกล่าวจะถูกออกแบบให้เหมาะสมตามการใช้งาน สำหรับการใช้งานเพื่อการป้องกันการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา (Protection of intellectual property rights, IPR) ดูเหมือนว่า ผู้ใช้งานต้องการที่จะฝังสัญญาณลายน้ำที่เป็นข้อมูลข่าวสารในลักษณะเช่นเดียวกับที่ใช้กันทั่วไป เช่น International standard book numbering (ISBN) International standard recording code (ISRC) นั่นหมายความว่าควรจะมีการฝังสัญญาณลายน้ำที่เป็นข้อมูลข่าวสารประมาณ 60-70 บิต ลงในข้อมูลต้นฉบับ

อย่างไรก็ตามในการทำลายน้ำดิจิตอลนั้น สิ่งที่ต้องการทั้งสามข้อดังกล่าวจะขัดแย้งซึ่งกันและกันเสมอ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อต้องการให้สัญญาณภาพเอาต์พุตมีคุณภาพดีหรือมีความคล้ายกับสัญญาณภาพต้นฉบับมากที่สุด ก็ต้องฝังสัญญาณลายน้ำโดยใช้ค่าความแกร่งของสัญญาณลายน้ำที่ต่ำมาก ซึ่งจะส่งผลให้ความทนทานของสัญญาณลายน้ำลดลง และหากต้องการให้จำนวนบิตของสัญญาณลายน้ำมีมากขึ้นก็ต้องทำการฝังสัญญาณลายน้ำในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งนอกจากจะทำให้ความทนทานของสัญญาณลายน้ำลดต่ำลงแล้วยังทำให้สัญญาณภาพเอาต์พุตมีคุณภาพลดต่ำลงเช่นกัน วิธีการ Trade-off เพื่อให้ได้สิ่งที่ต้องการทั้งสามข้อจึงเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล

2.4 เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล

เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล เมื่อแบ่งตามลักษณะการมองเห็นสัญญาณลายน้ำสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มด้วยกันคือ [3] ลายน้ำดิจิตอลแบบมองเห็นได้ (Visible watermark) และลายน้ำดิจิตอลแบบไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible watermark) ลายน้ำดิจิตอลแบบมองเห็นได้มีข้อดีคือ เมื่อมองดูภาพด้วยสายตาสามารถบอกได้ทันทีว่าภาพนั้นมีลายน้ำดิจิตอลอยู่หรือไม่ ทำให้สามารถระบุถึงเจ้าของของภาพนั้นได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ลายน้ำดิจิตอลในรูปแบบนี้มีข้อเสียคือ มีความทนทานและความปลอดภัยต่ำสามารถถูกทำลายหรือลบออกได้โดยง่ายเพราะทราบตำแหน่งที่แน่นอนของสัญญาณลายน้ำ ในทางตรงกันข้าม ลายน้ำดิจิตอลแบบไม่สามารถมองเห็นได้จะมีความทนทานและความปลอดภัยสูงกว่าเนื่องจากจะไม่สามารถทราบตำแหน่งที่แน่นอนในการฝังสัญญาณลายน้ำ และโดยทั่วไปแล้วสัญญาณลายน้ำจะมีการกระจายอยู่เกือบทุกตำแหน่งในภาพ เมื่อพยายามลบสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการสุ่มจะทำให้คุณภาพของภาพนั้นลดต่ำลงจนทำให้มูลค่าทางการค้าของภาพนั้นเสียไป

เทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลยังสามารถแบ่งได้ตามโดเมนของการประมวลผลสัญญาณภาพ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม [4] กลุ่มแรกเป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในสพาเชียลโดเมน (Spatial domain) และในกลุ่มที่สองเป็นการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในโดเมนของการแปลงสัญญาณ (Transform domain) ซึ่งต้องมีการแปลงโดเมนของสัญญาณภาพก่อนทำการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอล วิธีที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณ เช่น การแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete cosine Transform, DCT) การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier transform, DFT) การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete wavelet transform, DWT) และการแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete multiwavelet transform, DMT) จากผลการวิจัยที่ได้มีการนำเสนอในวรรณกรรมต่าง ๆ พบว่า การทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในโดเมนของการแปลงสัญญาณ จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในสพาเชียลโดเมน ทั้งในด้านคุณภาพของสัญญาณภาพเอาต์พุต ความปลอดภัยและความทนทานของสัญญาณลายน้ำ โดยเฉพาะความทนทานจากการบีบอัดสัญญาณภาพ ซึ่งการบีบอัดสัญญาณภาพนี้เป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับการจัดเก็บข้อมูลภาพและการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

2.5 การทบทวนวรรณกรรม (Reviewed literature) / สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปทฤษฎี หลักการ และ การวิธีดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอล ดังนี้

โดยงานวิจัยของ Cox *et al.* [5] นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในโดเมนของการแปลงสัญญาณโดยใช้หลักการของแผ่กระจายแถบความถี่ (Spread spectrum) ทำการฝังสัญญาณลายน้ำในสัมประสิทธิ์ของการแปลง DCT ที่มีค่ามากที่สุดจำนวน 1,000 ค่าโดยไม่รวมสัมประสิทธิ์ไฟตรง (DC coefficient) สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นจำนวนจริงแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบ Gaussian distribution การตรวจจับสัญญาณลายน้ำในวิธีนี้จะต้องใช้ภาพต้นฉบับด้วยเสมอ วิธีการนี้ให้คุณภาพของภาพเอาต์พุตที่ไม่ดีนัก เนื่องจากสัญญาณลายน้ำถูกฝังอยู่ในสัมประสิทธิ์ที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของภาพเอาต์พุต

ในลำดับต่อมา Piva *et al.* [6] ได้นำงานวิจัยของ Cox *et al.* [5] มาดำเนินการวิจัยต่อยอดโดยใช้เทคนิค Correlation based technique ในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำแต่อย่างใด วิธีการนี้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานสูงต่อการประมวลผลสัญญาณแบบปกติ (Common signal processing)

การนำสัญญาณลายน้ำดิจิตอลมาประยุกต์เพื่อใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์นั้น การฝังสัญญาณลายน้ำในรูปแบบที่เป็นภาพสัญลักษณ์ (Logo) จะมีความสะดวกมากกว่าสัญญาณลายน้ำในลักษณะที่เป็นสัญญาณสุ่ม เนื่องจากสามารถตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณลายน้ำด้วยสายตาได้ทันที โดยมิต้องใช้การคำนวนประกอบการตัดสินใจว่าภาพต้องสงสัยมีสัญญาณลายน้ำที่กำลังค้นหาอยู่หรือไม่

โดยในงานวิจัยของ Wu *et al.* [7] นำเสนอการฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอลที่ใช้หลักซีโรทรี (Zerotree) ของการแปลง DCT โดยทำการจัดรูปแบบของสัมประสิทธิ์ให้อยู่ในรูปแบบของ Pyramid 3 ระดับก่อนทำการหาซีโรทรี สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นภาพสัญลักษณ์ขนาด 32×32 พิกเซล (Pixel) การกู้คืนสัญญาณลายน้ำในวิธีการดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับแต่อย่างใด

เมื่อกระบวนการสำคัญในมาตรฐานการบีบอัดสัญญาณภาพด้วย JPEG มีการเปลี่ยนจากการแปลงสัญญาณภาพด้วย DCT (JPEG Based-line) ไปเป็นการแปลงด้วย DWT (JPEG2000)

ทำให้งานวิจัยการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลด้วยการแปลงเวฟเล็ตได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก หลักการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด (Multiresolutions) และหลักการ Human Visual Systems (HVS) ในโดเมนของเวฟเล็ตจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางโดย Kundur *et al.* [8] ได้นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้การแปลง DWT และทำการฝังสัญญาณลายน้ำโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Multiresolution fusion ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณลายน้ำด้วยการแปลง DWT จำนวน 1 ระดับก่อนทำการสเกล (Scaling) และรวมเข้ากับสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ของภาพต้นฉบับ จากนั้นใช้แบบจำลอง HVS ในการควบคุมความแกร่งของสัญญาณลายน้ำ สัญญาณลายน้ำสามารถกู้กลับคืนมาได้ด้วยเทคนิค Correlation based technique โดยใช้การคำนวณ Normalized correlation เป็นตัววัดความเหมือนระหว่างสัญญาณลายน้ำที่กู้คืนมาได้เทียบกับลายน้ำต้นแบบ

งานวิจัยลำดับต่อมา Dugad *et al.* [9] นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้หลักการกระจายแถบความถี่ (Spread spectrum) โดยทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ที่มากกว่าค่า Threshold ในทุก ๆ แบนด์ย่อย (Subband) ของการแปลง DWT ยกเว้นแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ การตรวจจับสัญญาณลายน้ำใช้เทคนิค Correlation based technique โดยที่ไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ

ในงานวิจัยของ Wang *et al.* [10] นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลในโดเมนของ DWT ด้วยเทคนิคแผนภูมิต้นไม้ของเวฟเล็ต (Wavelet tree) ซึ่งจะทำการจัดสัมประสิทธิ์การแปลง DWT ออกเป็นกลุ่มที่เรียกว่า Super tree โดยสัมประสิทธิ์ในกลุ่มเดียวกันจะมีตำแหน่งทาง Spatial domain เหมือนกันแต่จะมีย่านความถี่ที่แตกต่างกัน สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นจำนวนจริงแบบสุ่มโดยจะถูกฝังด้วยวิธีการทำ Quantization ระดับของการ Quantization ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติใน Super tree ครั้งละสองกลุ่ม การฝังสัญญาณลายน้ำด้วยวิธีการนี้ทำให้สัญญาณลายน้ำกระจายไปยังทุกสัมประสิทธิ์ที่มีผลต่อคุณภาพโดยตรง ทำให้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานสูง

ในลำดับต่อมา Kwon *et al.* [11] นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่ใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ต DMT โดยสัญญาณลายน้ำจะถูกฝังลงในบริเวณที่เรียกว่า JND (Just noticeable differences) ในแต่ละแบนด์ย่อยของสัญญาณภาพที่ได้จากการแปลง DMT จำนวน 4 ระดับ ด้วยเทคนิคดังกล่าวทำให้สัญญาณลายน้ำจะถูกฝังอยู่ในบริเวณที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้และมีความทนทานมากขึ้น สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นสัญญาณแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบ Gaussian distribution

ส่วนการตรวจจับสัญญาณลายน้ำใช้เทคนิค Correlation based technique โดยจำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจจับสัญญาณลายน้ำ

ในงานวิจัยของ Zhao *et al.* [12] ได้นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่ใช้การแปลง DMT โดยใช้หลักการมัลติเวฟเล็ตฟิวชัน (Multiwavelet fusion) วิธีการนี้สัญญาณลายน้ำซึ่งเป็นภาพสัญลักษณ์จะถูกทำการแปลงสัญญาณด้วย DMT และนำไปทำการหลอมรวมกับสัมประสิทธิ์ของภาพต้นฉบับเพื่อซ่อนสัญญาณลายน้ำ ส่วนการถอดสัญญาณลายน้ำก็จะเป็นกระบวนการย้อนกลับซึ่งจำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอดสัญญาณลายน้ำ

ในงานวิจัยของ Ghouti *et al.* [13] ได้นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลโดยใช้เทคนิคการแผ่กระจายแถบความถี่ซึ่งใช้มัลติเวฟเล็ตแบบสมดุล (Balance Multiwavelet) ในการแปลงสัญญาณภาพ และได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับอัลกอริทึมเดิมที่ใช้การแปลง DCT และ DWT ในด้านความจุของช่องสัญญาณในการฝังสัญญาณลายน้ำซึ่งพบว่าวิธีการที่นำเสนอมีความจุสูงกว่า

ในงานวิจัยของ Kumsawat *et al.* [14] ได้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลแบบ One-bit watermarking โดยใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ตเป็นหลัก และใช้จีนเนติกอัลกอริทึมซึ่งเป็นวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพเอาต์พุต และความทนทานของสัญญาณลายน้ำดิจิตอล สัญญาณลายน้ำที่ใช้เป็นจำนวนจริงแบบสุ่มและมีการกระจายแบบ Gaussian distribution และในขั้นตอนการตรวจจับสัญญาณลายน้ำไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับแต่อย่างใด

ในงานวิจัยของ Tang *et al.* [15] ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาความทนทานของสัญญาณลายน้ำต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิตโดยใช้เทคนิคการสกัดลักษณะเด่น (Feature extraction) ของภาพที่เรียกว่า Mexican Hat wavelet scale interaction ลักษณะเด่นในขอบเขตของแต่ละรูปทรงกลม (Disk) ที่สกัดได้จะถูกใช้สำหรับการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยฝังลายน้ำไว้ในย่านความถี่กลางในโดเมนของแปลง DFT ส่วนขั้นตอนของการตรวจจับสัญญาณลายน้ำก็จะทำการสกัดลักษณะเด่นก่อนและทำการคัดแยกเฉพาะในบริเวณของลักษณะเด่นเท่านั้น อย่างไรก็ตามวิธีการนี้สามารถตรวจจับลายน้ำได้ถูกต้องทั้งหมดเมื่อลักษณะเด่นดังกล่าวมีการเคลื่อนของภาพจากการโจมตีเชิงเรขาคณิตเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ลำดับต่อมา Weinheimer และ Xiaojun [16] ได้นำวิธีการทำภาพบรรทัดฐาน (Image normalization method) ซึ่งเป็นหลักการที่ใช้ในการรู้จำรูปแบบ (Pattern recognition) มาใช้ในเลือกบริเวณของฝังสัญญาณลายน้ำดิจิตอลให้มีความทนทานต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต เนื่องจากภาพที่ได้จากวิธีการดังกล่าวไม่ขึ้นกับการหมุนภาพ การใช้เทคนิคดังกล่าวส่งผลให้สัญญาณลายน้ำมีความทนทานสูงต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิต และวิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอดสัญญาณลายน้ำ และในลำดับสุดท้าย Zheng *et al.* [17] นำเสนอการทำภาพพิมพ์ลายน้ำดิจิตอลที่ทนทานต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิตโดยใช้เทคนิคการสกัดลักษณะเด่นของภาพที่ได้จากจากการแปลง DFT (Discrete Fourier transform) และทำการฝังสัญญาณลายน้ำลงในส่วนที่เป็นลายหรือรอยของภาพ (Texture) ที่สกัดได้ ในบทความระบุว่าสัญญาณลายน้ำมีความทนทานสูงต่อการโจมตีเชิงเรขาคณิตโดยไม่ขึ้นอยู่กับการหมุนภาพ การย่อขยายภาพและการเคลื่อนของภาพแต่อย่างใด ส่วนในการถอดสัญญาณลายน้ำก็จะเป็นกระบวนการย้อนกลับซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับในการถอดสัญญาณลายน้ำ