บทที่ 2
ลายน้ำดิจิตอล

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย และพื้นฐานของการสร้างภาพลายน้ำดิจิตอล ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทั่วไปของลายน้ำดิจิตอล การแยกประเภทของภาพลายน้ำดิจิตอล การประยุกต์ใช้ภาพลายน้ำดิจิตอล คุณสมบัติของลายน้ำดิจิตอล การตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล และเทคนิคการฝังภาพลายน้ำดิจิตอลในปัจจุบัน

2.1 ลายน้ำดิจิตอล

ทุกวันนี้สื่อดิจิตอลได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ข้อมูลข่าวสารที่มีอยู่มากมายถูกเก็บอยู่ในรูปแบบดิจิตอล เนื่องจากข้อดีหลายอย่างของสื่อดิจิตอลเมื่อเทียบกับการเก็บข้อมูลในรูปแบบเดิม เช่น ข้อมูลดิจิตอลสามารถทำสำเนาได้โดยง่ายโดยปราศจากการสูญเสียความคมชัด ซึ่งทำให้เหมือนต้นฉบับได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งในปัจจุบันระบบเครือข่ายอินเทอร์เนตยังทำให้การติดต่อสื่อสารและการเผยแพร่สื่อข้อมูลดิจิตอลสามารถกระทำได้อย่างสะดวกและง่ายดาย ผลเสียที่อาจเกิดขึ้นตามมาก็คือ ถ้าหากข้อมูลดิจิตอลนั้นๆ ถูกคัดลอกและเผยแพร่ต่อไปโดยมิได้รับอนุญาตจากเจ้าของข้อมูลเสียก่อน ก็จะทำให้เจ้าของข้อมูลที่แท้จริงเสียผลประโยชน์ที่พึงจะได้รับ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ และการทำธุรกรรมทางอินเทอร์เนตที่มีการพัฒนาอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ดังนั้นเพื่อยับยั้งการละเมิดสิทธิของเจ้าของข้อมูล จึงจำเป็นต้องมีกฎเกณฑ์เพื่อควบคุมการใช้งานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิทธิทางปัญญา มิให้ผู้ที่ไม่ได้เป็นเจ้าของข้อมูลนั้น นำข้อมูลไปใช้โดยมิได้รับอนุญาต เทคโนโลยีหนึ่งที่มีการพัฒนาเพื่อป้องกันปัญหานี้คือ การทำลายน้ำดิจิตอล (Digital Watermarking) ขึ้นมาเพื่อยับยั้งการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญา ข้อมูลที่ได้รับการฝังลายน้ำดิจิตอลสามารถนำออกเผยแพร่และใช้งานได้ตามปกติ แต่ที่พิเศษก็คือเมื่อเกิดข้อถกเถียงในเรื่องลิขสิทธิ์ของข้อมูล ก็สามารถตรวจสอบได้โดยการดึงลายน้ำดิจิตอลที่ฝังอยู่ออกมาแสดง

กล่าวโดยสรุปคือ ลายน้ำดิจิตอลเป็นสัญลักษณ์ดิจิตอลหรือข้อมูลสำคัญ ที่ถูกใส่เข้าไปในสื่อดิจิตอล โดยที่สื่อดิจิตอลเป็นได้ทั้ง รูปภาพ เสียง วิดีโอ เอกสาร ข้อความ หรือ ไฟล์มัลติมิเดีย ซึ่งผู้สร้างสรรค์หรือเจ้าของผลงาน สามารถแสดงสิทธิในการแจกจ่ายทำซ้ำหรือเผยแพร่ผลงานได้อย่างถูกกฎหมาย

2.2 ชนิดของภาพลายน้ำดิจิตอล

การทำภาพลายน้ำสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับวิธีการจำแนก

2.2.1 จำแนกตามโดเมนที่ใช้ในการฝัง

- การฝังลายน้ำในสปาเชียลโดเมน (Spatial Domain)

การฝังลายน้ำในสปาเชียลโดเมนนั้น คือการเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่าความเข้มแสงในภาพโดยตรง ซึ่งค่าที่เปลี่ยนแปลงนั้นคือค่าที่ใช้เป็นตัวแทนของลายน้ำที่ต้องการจะซ่อน ส่วนในการถอดลายน้ำก็จะพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นยังคงอยู่หรือไม่ ตัวอย่างการฝังลายน้ำประเภทนี้คือ การแบ่งบล็อกในภาพต้นฉบับและเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงในแต่ละบล็อกของภาพต้นฉบับให้เป็นตัวแทนของบิตลายน้ำแต่ละบิต เป็นต้น

- การฝังลายน้ำในโดเมนต่างๆ (Other Domains)

การฝังลายน้ำในโดเมนความถี่นั้น ภาพต้นฉบับจะต้องถูกเปลี่ยนแปลงด้วยกระบวนการที่เรียกว่าทรานสฟอร์ม (Transform) แบบต่างๆ เช่น Discrete Fourier Transform (DFT), Wavelet Packet Transform (WPT) [3], Discrete Wavelet Transform (DWT) [4-6] และ Discrete Cosine Transform (DCT) [7] หลังจากนำภาพต้นฉบับผ่านทรานสฟอร์มจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ ในการฝังลายน้ำจะทำการแก้ไขค่าสัมประสิทธิ์ทรานสฟอร์มให้เป็นตัวแทนของบิตลายน้ำ หลังจากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์มาผ่านทรานสฟอร์มย้อนกลับให้กลายเป็นรูปภาพแล้วนำภาพที่ได้ไปเผยแพร่ ในการตรวจสอบก็จะนำภาพที่ต้องการตรวจสอบมาผ่านทรานสฟอร์มแล้วนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปตรวจสอบลายน้ำ เพื่อที่จะบอกได้ว่าภาพนี้เป็นของใคร

2.2.2 จำแนกตามการมองเห็น

- ลายน้ำที่สามารถมองเห็นได้ (Visible Watermark)

เป็นการฝังลายน้ำที่สามารถมองเห็นได้ มีการทำลายน้ำแบบโปร่งแสงและไม่โปร่งแสง ซึ่งในแบบโปร่งแสงนั้นจะพิจารณากับตำแหน่งที่ต้องการจะฝังภาพลายน้ำว่าที่ตำแหน่งนั้นมีค่าความเข้มแสงเป็นอย่างไร ควรจะฝังมากน้อยอย่างไร ส่วนลายน้ำแบบไม่โปร่งแสงนั้นเป็นแบบที่ง่ายที่สุด ในการฝังจะใช้สัญลักษณ์ที่ต้องการฝังทับลงไปบนภาพโดยตรง แต่ข้อเสียก็คือจะทำให้ภาพสูญเสียคุณสมบัติไป การฝังลายน้ำที่สามารถมองเห็นได้นิยมใช้กันมากในการถ่ายทอดโทรทัศน์

- ลายน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible Watermark)

ภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นฉบับ ต้องไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ ข้อดีของวิธีการนี้ก็คือคุณภาพของภาพต้นฉบับไม่ถูกทำลายไปหรือถูกทำลายน้อยมาก แต่จะมีขั้นตอนที่ซับซ้อนกว่าการฝังลายน้ำแบบมองเห็นได้

2.2.3 จำแนกตามการตรวจสอบ

- ตรวจสอบโดยใช้ภาพต้นฉบับ

  วิธีการนี้คือในขั้นตอนการตรวจสอบภาพลายน้ำจะต้องนำภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบร่วมกับกุญแจลับเพื่อตรวจสอบหาลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในภาพ

- ตรวจสอบโดยไม่ใช้ภาพต้นฉบับ

  วิธีการนี้คือในขั้นตอนการตรวจสอบใช้เพียงกุญแจลับเพียงอย่างเดียวในการตรวจสอบหาภาพลายน้ำที่ฝังอยู่ในภาพ

2.3 การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิตอล

การนำเสนอสื่อดิจิตอลที่มีการจดลิขสิทธิ์ เช่น ภาพยนต์ เพลง และภาพถ่ายสำคัญๆ มีข้อได้เปรียบอย่างมาก อย่างไรก็ตามปัญหาการลอกเลียนแบบผลงานโดยผิดกฎหมายมักเกิดขึ้นเสมอ แต่เมื่อมีผู้คิดค้นเทคนิคที่ช่วยในการป้องกันลิขสิทธิ์ข้อมูลของเจ้าของผลงาน โดยวิธีการเข้ารหัสลับปัญหาดังกล่าวก็ดูจะคลี่คลายลงไป แต่ก็ยังคงมีปัญหาอื่นตามมา นั่นคือถ้าข้อมูลที่ได้รับจากการถอดรหัสตกถึงมือผู้กระทำผิด ข้อมูลนั้นก็จะปราศจากการปกป้อง ผู้กระทำผิดนั้นก็จะสามารถนำข้อมูลนั้นไปใช้งานได้โดยไม่สามารถระบุได้ว่าบุคคลใดเป็นเจ้าของ ดังนั้นเทคโนโลยีลายน้ำดิจิตอลจึงได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการซ่อนสัญลักษณ์แสดงความเป็นเจ้าของลงในสื่อดิจิตอลโดยที่สายตาไม่สามารถสังเกตเห็นได้ แต่ตรวจสอบได้ง่ายด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อดีของวิธีการนี้คือแม้ว่าข้อมูลจะถูกแก้ไขดัดแปลงไป แต่ลายน้ำดิจิตอลก็จะยังคงหลงเหลืออยู่เพียงพอที่จะใช้ในการพิสูจน์กรรมสิทธิ์ของเจ้าของได้ การฝังลายน้ำจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างมากมายในด้านต่างๆ

2.3.1 ใช้ตรวจสอบการเป็นเจ้าของผลงาน

ลายน้ำเป็นสิ่งที่พิสูจน์ถึงการเป็นเจ้าของผลงาน ข้อมูลข่าวสารที่ได้รับการฝังลายน้ำสามารถนำมาทำซ้ำได้โดยผู้ที่ได้รับสิทธิที่ถูกต้องทางกฎหมาย หรือตีพิมพ์ผลงานจากการติดต่อกับเจ้าของผลงาน อนาคตลายน้ำอาจจะถูกนำมาใช้ช่วยในการกำหนดข้อโต้แย้งในการแสดงสิทธิการเป็นเจ้าของผลงาน

2.3.2 ใช้ตรวจสอบการเป็นผู้ซื้อผลงาน

ลายน้ำสามารถใช้พิสูจน์หาผู้ซื้อผลงาน ลายน้ำที่ฝังอยู่เป็นของผู้ซื้อผลงาน โดยผู้ซื้อผลงานมีสิทธิในการนำผลงานนั้นไปเผยแพร่ และใช้ช่วยตามรอยแหล่งที่ทำการทำซ้ำผลงานอย่างผิดๆ เช่น ในธุรกิจสิ่งพิมพ์ หากการทำภาพลายน้ำดิจิตอลมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากระบบดิจิตอลเป็นอนาลอก (Digital to Analog) และจากระบบอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital) แล้ว การละเมิดลิขสิทธิ์โดยการพิมพ์หน้าปกหนังสือโดยใช้ภาพที่มีลายน้ำดิจิตอลอยู่ก็จะเป็นไปได้ยาก หรืออาจจะนำมาใช้ในการทำธุรกรรมบนอินเตอร์เน็ต (E-Commerce) เพื่อป้องกันมิ

ให้รูปภาพที่ถูกคัดลอกมีการเผยแพร่หรือจำหน่ายและนำไปใช้อย่างผิดกฎหมาย เพราะบุคคลที่จะทำการคัดลอกก็ย่อมกลัวที่จะถูกติดตามและฟ้องร้อง อันเนื่องมาจากลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในตัวรูปภาพ นอกจากนี้การใช้ภาพที่ไม่ทราบที่มาที่ไปก็จะมีความระมัดระวังมากขึ้นด้วย เพราะถ้าเจ้าของภาพมาพบและพิสูจน์สิทธิ โดยใช้ลายน้ำดิจิตอลที่ซ่อนอยู่ก็จะสามารถฟ้องร้องเรียกค่าเสียหายต่อบุคคลที่นำภาพดังกล่าวมาใช้งานได้

2.3.3 การรับรองความถูกต้อง

ลายน้ำดิจิตอลอาจนำไปใช้ในข้อมูลที่มีความสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น การทำธุรกรรมพาณิชย์อิเล็กทรอนิคส์เกี่ยวกับข้อมูลมัลติมิเดีย ภาพถ่ายทางการแพทย์ ภาพข่าวสำคัญ ถ้าหากมีการปรับเปลี่ยนหรือแต่งเติมรายละเอียดข้อมูลลงไปให้แตกต่างจากต้นฉบับ อาจก่อให้เกิดผลเสียหายอย่างมาก เช่น ภาพตัดต่อของดาราที่มีชื่อเสียง ลายน้ำที่ถูกเข้ารหัสข่าวสารเพื่อใช้รับรองความถูกต้องในเนื้อหาข้อมูล จึงต้องถูกออกแบบให้มีความเปราะบาง (Fragile) สมมุติว่าข้อมูลสำคัญถูกแก้ไขก็จะทำให้ลายน้ำเปลี่ยนแปลง การฝังข้อมูลโดยตรงลงในเนื้อหาทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบ เพราะถ้าลายน้ำไม่ตรงกับรหัสที่ฝังไว้แสดงว่าเกิดความผิดปกติขึ้นในข้อมูล นอกจากนี้ลายน้ำดิจิตอลดังกล่าวยังสามารถใช้ระบุถึงผู้สร้างลายน้ำหรือใช้รับรองสิทธิได้ด้วย

2.3.4 ควบคุมการคัดลอก

ลายน้ำประเภทนี้จะบรรจุข้อมูลเกี่ยวกับกฎเกณฑ์การใช้งาน และการทำซ้ำของเจ้าของผลงานเพื่อบังคับใช้ทั่วไป เช่น “เนื้อหาข้อมูลไม่สามารถทำซ้ำได้อีก” อุปกรณ์ที่มีความสามารถคัดลอกข้อมูลเหล่านี้จะใช้ลายน้ำประเภทนี้เพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ข้อมูลดิจิตอล โดยใช้ฮาร์ดแวร์พิเศษสำหรับทำสำเนาและดูรายละเอียด ซึ่งจะมีรหัสที่แสดงถึงจำนวนครั้งที่อนุญาตให้ทำสำเนา ดังนั้นทุกครั้งเมื่อมีการทำสำเนา ฮาร์ดแวร์ตัวนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงรหัส และเมื่อจำนวนเท่ากับศูนย์ ระบบจะไม่สามารถดูข้อมูลได้อีก ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่มีความสามารถประเภทนี้ได้แก่ เครื่องเล่น DVD (Digital versatile disc)

2.3.5 การสื่อสารข้อมูลลับ

สัญญาณลายน้ำที่ฝังไว้นำมาใช้ส่งข้อมูลลับจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกบุคคลหนึ่ง โดยไม่ทำให้บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องทราบถึงข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งออกไป วิธีนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคสเตโนกราฟที่ใช้การซ่อนข้อมูลข่าวสารส่งไปให้บุคคลอื่น และถูกนำมาประยุกต์ใช้ทางการทหาร

2.4 คุณสมบัติสำคัญของภาพลายน้ำดิจิตอล

ในประเด็นของปัญหาการซ่อนข้อมูลข่าวสารทั่วไป มักจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างความคงทน (Robustness) ความสามารถในการมองเห็น (Invisible) และขนาดความจุของลายน้ำ

(Capacity) โดยภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำดิจิตอลแล้วไม่ควรแตกต่างจากภาพต้นฉบับ ในการออกแบบอัลกอริทึมจึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดที่สำคัญทั้ง 3 ส่วนนี้เป็นอย่างมาก

โดยทั่วไปแล้วการทำลายน้ำดิจิตอลมีข้อกำหนดมากมาย ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานแต่ละชนิด เทคนิคการทำลายน้ำบางเทคนิคอาจจะขาดคุณสมบัติที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดบางข้อ อย่างไรก็ตามการทำลายน้ำภาพดิจิตอลส่วนใหญ่จะมีข้อกำหนดที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

- มีความโปร่งใส (Transparency) อัลกอริทึมการทำลายน้ำต้องฝังลายน้ำโดยไม่มีผลต่อคุณภาพของข้อมูลต้นฉบับหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าลายน้ำไม่ควรจะมองเห็นได้
- มีความคงทน (Robustness) เมื่อภาพที่ถูกฝังลายน้ำถูกโจมตีด้วยวิธีการต่างๆ ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น วิธีการเหล่านี้ต้องไม่สามารถทำให้ภาพลายน้ำหายไปได้
- ความจุของลายน้ำ (Capacity) โดยขนาดของลายน้ำต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถเห็นรายละเอียดได้
- มีความปลอดภัย (Security) เทคนิคการทำลายน้ำในภาพต้องมี “ความปลอดภัย” ถึงแม้ว่าจะรู้อัลกอริทึมที่แท้จริงในการฝังหรือการแยกลายน้ำ บุคคลอื่นที่ไม่ได้รับอนุญาตต้องไม่สามารถลบลายน้ำทิ้งไปได้นอกจากเจ้าของผลงาน

2.5 หลักการทั่วไปของภาพลายน้ำ

การทำภาพลายน้ำดิจิตอลทุกประเภทจะประกอบด้วยขั้นตอนทั่วๆ ไปที่เหมือนกัน คือ

2.5.1 การฝังลายน้ำดิจิตอล (Watermark Embedding)

ในขั้นตอนการใส่ลายน้ำดิจิตอลนั้นจะต้องมีภาพต้นฉบับและกุญแจลับที่ใช้สำหรับใส่ภาพลายน้ำ ข้อมูลภาพที่ต้องการใส่ลายน้ำจะผ่านกระบวนการฝังสัญญาณลายน้ำ โดยสัญญาณที่ใส่เข้าไปจะขึ้นอยู่กับกุญแจลับ (Secret Key) ที่ใช้ในการเข้ารหัส เพื่อว่าจะมีเพียงผู้ที่ถือกุญแจเท่านั้นที่มีสิทธิในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขสัญญาณลายน้ำได้

2.5.2 การตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล (Watermark Detection)

ในขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอลนั้นจะต้องมีภาพที่ต้องการตรวจสอบ กุญแจลับอันเดียวกับที่ใช้ในการฝัง และอาจจะมีภาพต้นฉบับหรือไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการในการตรวจสอบภาพลายน้ำ

2.6 การโจมตีลายน้ำ

การโจมตีลายน้ำนั้นก็คือการทำให้ข้อมูลลายน้ำที่ถูกฝังอยู่นั้นเกิดความเสียหาย โดยอาจจะเกิดจากความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจ รวมถึงในกระบวนการประมวลผลสัญญาณภาพซึ่งข้อมูลลายน้ำในภาพจะถูกกระทำจนทำให้ลายน้ำลบเลือน หรืออาจเกิดจากการโจมตีของผู้ที่ประสงค์ร้าย ลักษณะของการโจมตีแยกได้ดังนี้

2.6.1 การบีบอัดภาพ

กล่าวได้ว่าการประมวลผลสัญญาณที่นิยมใช้กับภาพมากที่สุดได้แก่การบีบอัดภาพแบบ JPEG ซึ่งเป็นตัวทดสอบที่ดีสำหรับการทดสอบความคงทนของลายน้ำ การบีบอัดภาพแบบ JPEG มีระดับการบีบอัดที่ถูกควบคุมโดยแฟกเตอร์คุณภาพ 100, 90, 80, 70, …, 10 % การบีบอัดแบบ JPEG นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายบนอินเทอร์เนต ภาพที่ได้มีขนาดเล็ก และการเผยแพร่บนอินเทอร์เนตเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้การฝังภาพลายน้ำเพื่อการพิสูจน์ลิขสิทธิ์ในภายหลัง จำเป็นต้องคงทนต่อการบีบอัดภาพแบบ JPEG

2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต

มุ่งไปที่การเปลี่ยนแปลงภาพโดยไม่สูญเสียเรื่องคุณภาพ มีดังนี้

การย่อหรือการขยายภาพ (Resizing) ขนาดของภาพเปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับ ซึ่งจะมีผลต่ออัลกอริทึมในการฝังภาพลายน้ำในตำแหน่งที่ตายตัวเพราะจะไม่สามารถตรวจหาลายน้ำได้

การตัดบางส่วนของภาพ (Cropping) เป็นการตัดบางส่วนของภาพออกไป ทำให้มีผลกับอัลกอริทึมที่กระจายลายน้ำออกไปทั่วทั้งภาพ

การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) จะมีผลอย่างมากถ้าหากพิจารณาร่วมกับการตัดบางส่วนของภาพออกไป หากส่วนย่อยของภาพถูกแยกออกจากภาพต้นฉบับและนำไปตัดต่อใช้ร่วมกับภาพอื่นจะทำให้ไม่ทราบว่าเกิดจากการตัดบางส่วนของภาพไปหรือไม่ แต่ถ้ามีภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบในการตรวจสอบหาลายน้ำจะทำให้ทราบตำแหน่งและสามารถพิสูจน์ลายน้ำที่ฝังอยู่ได้

การหมุนภาพ (Rotation) กรณีที่สำคัญที่สุดของการหมุนภาพคือกรณีที่หมุนภาพไป 90 องศา และ 180 องศา ซึ่งในการตรวจสอบลายน้ำต้องทำให้ภาพอยู่ในลักษณะเดิมก่อนทำการตรวจสอบ

การกลับด้านของภาพ (Flipping) คือการสลับด้านซ้ายขวาของภาพ จะมีผลกับอัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว

2.6.3 การประมวลผลสัญญาณ

การแก้ไขด้วยวิธีการนี้มีหลายประเภท ได้แก่

การปรับแต่งความสว่าง (Brightness and contrast enhancement) โดยทั่วไปแล้วจะเกิดปัญหาในการตรวจสอบหาลายน้ำ เพราะเมื่อภาพถูกปรับค่าความเข้มแสงแล้วนำค่าความเข้มแสงนั้นมาตรวจสอบลายน้ำ จะทำให้คุณสมบัติของลายน้ำที่ฝังอยู่เปลี่ยนไป

การปรับความคมชัด การทำให้เลือน และการกรองแบบต่างๆ เช่น (Sharpening, blurring, filtering) การปรับลักษณะนี้ จะทำให้คุณสมบัติของลายน้ำที่ฝังอยู่ลดลงหรือเลือนหายไปได้

การแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลและการแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก (Digital to Analog (D/A) and Analog to Digital (A/D)) เช่น การพิมพ์ การสแกน หรือการบันทึกเทป

2.7 การฝังลายน้ำดิจิตอลในปัจจุบัน

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการฝังลายน้ำดิจิตอลในปัจจุบัน แยกตามโดเมนที่ใช้ในฝังลายน้ำดังนี้

2.7.1 วิธีการฝังลายน้ำบนโดเมนต่างๆ

S. R. Mehul และ P. R. Priti [6] ได้นำเสนอวิธีการฝังภาพลายน้ำ โดยใช้เวปเล็ตทรานสฟอร์มทำการฝังใน Level ที่ 2 ของ DWT ฝังลายน้ำใน LL และ HH แบนด์ ซึ่งภาพต้นฉบับที่ใช้มีขนาด 128x128 พิกเซล และใช้ภาพลายน้ำ 2 ภาพมีขนาด 32x32 พิกเซลทั้ง 2 ภาพ ทำการฝัง 1 ภาพลงใน LL แบนด์และอีก 1 ภาพฝังลงใน HH แบนด์

J. Zhang, T. Anthony และ S. Ho [7] ได้นำเสนอวิธีการฝังภาพลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์ของ Discrete Cosine Transform (DCT) โดยภาพต้นฉบับขนาด 512x512 พิกเซล และขนาดของลายน้ำที่ได้คือ 32x32 พิกเซล ภาพต้นฉบับและภาพลายน้ำจะถูกแปลงเป็นสัมประสิทธิ์ DCT โดยใช้บล็อกขนาด 4x4 พิกเซล จะทำการเลือกบล็อกของภาพต้นฉบับบางบล็อกมาทำการฝังลายน้ำ โดยฝังลงในความถี่ช่วงกลางเท่านั้น จากการเลือกบล็อกบางบล็อกทำให้ได้ขนาดของภาพลายน้ำเล็กกว่าภาพต้นฉบับอย่างมาก

P. Kumhom1, S. On-rit1 and K. Chamnongthai1 [3] ได้นำเสนอวิธีการฝังภาพลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์ของ (Wavelet Packet Transform : WPT) ในวิธีการที่นำเสนอใช้ภาพต้นฉบับขนาด 256x256 พิกเซล และขนาดของลายน้ำที่ได้คือ 64x64 พิกเซล การฝังลายน้ำจะทำการแปลงภาพต้นฉบับเป็น ค่าสัมประสิทธิ์ของ Wavelet Packet Transform และฝังภาพลายน้ำลงใน Level ที่ 2 ของ Wavelet Packet Transform ทำให้ได้ขนาดของภาพลายน้ำเล็กกว่าภาพต้นฉบับมาก

S. P. Maity, P. Nandy, T. S. Das and M. K. Kundu [5] ได้นำเสนอวิธีการฝังภาพลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์ของ DWT โดยใช้ Filter เป็น Daubechies (DB2) [9] ซึ่งในการทดลองใช้ภาพต้นฉบับขนาด 256x256 พิกเซล ทำการฝังลายน้ำลงใน Level ที่ 4 ทำให้ได้ขนาดของลายน้ำ 16x16 พิกเซล

V. Potdar, S. Han และ E. Chang [4] ได้นำเสนอวิธีการฝังภาพลายน้ำลงในสัมประสิทธิ์ของ DWT ซึ่งในการทดลองใช้ภาพต้นฉบับขนาด 1024x1024 พิกเซล ทำการแปลงภาพต้นฉบับให้เป็นสัมประสิทธิ์เวปเล็ต โดยใช้ Haar filter [9] และทำการฝังลายน้ำลงใน LL Sub band โดยแบ่ง LL Sub band เป็นบล็อกแบบไม่ทับซ้อนขนาด 8x8 พิกเซล และฝังลายน้ำ 1 บิตลงไปในบล็อก 8x8 พิกเซล ที่แบ่งไว้ทำให้ได้ขนาดลายน้ำเท่ากับ 64 x 64 พิกเซล

2.7.2 วิธีการฝังลายน้ำบนสปาเชียลโดเมน

L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen [1] เป็นการฝังลายน้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้และต้องใช้ภาพต้นฉบับมาเปรียบเทียบในการตรวจสอบลายน้ำที่ฝัง ในการฝังลายน้ำใช้ภาพต้นฉบับเป็นภาพโทนสีเทา 256 ระดับความเข้มแสง และมีภาพลายน้ำเป็นภาพไบนารี โดยภาพต้นฉบับจะถูกแบ่งเป็นบล็อก จำนวนบล็อกในภาพต้นฉบับจะเท่ากับจำนวนบิตของภาพลายน้ำ เช่น ถ้าภาพต้นฉบับมีขนาด 512x512 พิกเซล และขนาดของบล็อกที่ต้องการแบ่งมีขนาด 4x4 พิกเซล ภาพลายน้ำที่ใช้ฝังจะมีขนาด 128x128 พิกเซล

S. Kimpan, A. Lasakul และ C. Kimpan [8] ได้นำวิธีการของ L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen มาพัฒนาโดยทำการปรับเปลี่ยนขนาดของบล็อก และขั้นตอนอื่นๆยังคงเหมือนเดิม ในการทดลองตัวอย่างใช้ภาพต้นฉบับขนาด 512x512 พิกเซลและ 128x128 พิกเซลตามลำดับ

2.8 สรุป

ปัจจุบันนักวิจัยทั่วโลกได้ให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการทำภาพลายน้ำดิจิตอลหลายๆ เทคนิคได้พัฒนาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดยนำคุณสมบัติของระบบการมองเห็นของมนุษย์ หรือการแทนที่ลายน้ำในพื้นที่ส่วนสำคัญของรูปภาพมาใช้ ทำให้เป็นที่เชื่อว่าเทคโนโลยีดังกล่าวจะถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง รวมไปถึงเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์จะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และในอนาคตการทำลายน้ำจะมีขั้นตอนการทำที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ตราบใดที่การละเมิดลิขสิทธิ์ยังไม่สามารถแก้ไขได้อย่างจริงจัง