

การทำเวฟเลตลายน้ำเสียงที่ทนทานต่อการบีบอัดแบบ MPEG

Wavelet Audio Watermarking Robust Against MPEG Compression

พัชรินทร์ อาตมียะนันท์ และ สรภกฤษ ศรีเกษม

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

ถนนมิตรภาพ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

E-mail: koyka_patcharin@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในสัญญาณเสียงแบบดิจิทัล เพื่อให้มีความทนทานต่อการบีบอัดแบบ MPEG โดยอาศัยหลักการของระบบการได้ยินของมนุษย์ที่เรียกว่า Psychoacoustic model จากระบบนี้พบว่า การได้ยินของมนุษย์จะขึ้นอยู่กับความถี่และกำลังของสัญญาณ ซึ่งหูของมนุษย์จะไม่สามารถแยกความแตกต่างของพลังงานเสียงที่อยู่เหนือ Psychoacoustic model เนื่องจากสาเหตุนี้บทความนี้จึงเสนอการฝังลายน้ำด้วยการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานที่มีค่าสูงกว่าระดับการได้ยิน โดยการแปลงเวฟเลตเพกเกตมาใช้ในการแปลงในโดเมนความถี่และเลือกช่วง 4 kHz-15 kHz เพื่อใช้ในการฝังลายน้ำเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของภาพลายน้ำจึงทำการสลับตำแหน่งอย่างสุ่มเทียบก่อนที่จะทำการฝังลงในสัญญาณเสียง ผลการทดสอบกับเพลงจำนวน 12 เพลง และใช้ภาพไบนารี 3 ภาพ 2 ขนาดคือ 64x64 และ 32x32 พิกเซล ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการอ่านค่าลายน้ำที่ขึ้นร้อยละ 4.98 เมื่อเทียบกับวิธีการเดิม และยังรักษาคุณภาพของสัญญาณได้ดี

Abstract

This paper presents a method of digital image watermarking on digital audio signal that is robust against MPEG compression based on the principle of the human hearing called Psychoacoustic model. Based on the Psychoacoustic model, human hearing depends on both frequency and the power of the signal. Human ears can not detect the signal above the hearing threshold of Psychoacoustic. Hence, this paper proposes to embed the digital image watermark to audio signal by varying the power of the signal at the frequencies, where the power is above the hearing threshold. The Wavelet Packet Transform method is used to transform the signal, the frequency domain and the chosen frequencies within the range of 4kHz-15kHz because it is hard for human's ears to detect the difference in this range. For security, the watermark bits are randomly permuted before being embedded to the signal. Only the owner

knows the key randomization which is implemented by Pseudorandom. In this experiment, 12 different audio songs and 2 types of binary watermarking images of size 64x64 pixels and 32x32 pixels were tested. The results show that the normalized correlation (NC) is improved by 4.98 percent, while the signal-to-noise ratio (SNR) remains the same compared to the traditional method.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการส่งข้อมูลเสียงผ่านระบบเครือข่ายกันอย่างแพร่หลายและมีความง่ายต่อการปลอมแปลงและแก้ไข ดังนั้นจึงต้องหาข้อมูลเพื่อเป็นตัวอ้างอิงในตัวข้อมูลเสียงนั้น จากเหตุนี้จึงต้องมีการทำลายน้ำสัญญาณเสียงเพื่อใช้ในการยืนยันลิขสิทธิ์ในการทำลายน้ำเสียงยังจำเป็นต้องทนทานต่อการบีบอัดข้อมูลแบบ MPEG เนื่องจากการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย ต้องมีการลดขนาดข้อมูลเสียงเพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลเสียง

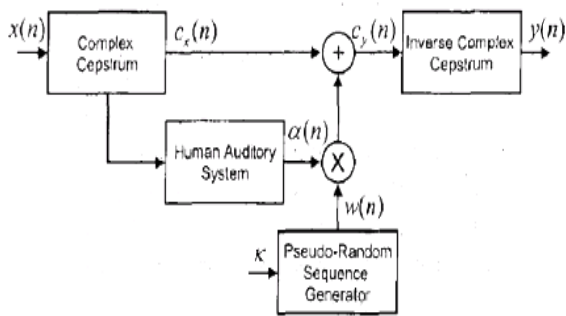
งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาในการทำลายน้ำดิจิทัลสัญญาณเสียงแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ ลายน้ำที่เป็นสัญญาณเสียงและลายน้ำที่เป็นรูปภาพ การแสดงลิขสิทธิ์ที่ดีคือการใช้ภาพเป็นลายน้ำเนื่องจากการรับรู้ทางสายตาเป็นสิ่งที่มนุษย์เชื่อถือได้ดี และเมื่อถอดลายน้ำแล้วสามารถเห็นได้ทันที [1],[2]

ลายน้ำที่เป็นสัญญาณเสียงนั้นมิงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง Seok และ Wooltong [3] นำเสนอการใช้วิธีการ Direct sequence spread spectrum และผลของระบบการได้ยินของมนุษย์ (HAS) เป็นตัวอ้างอิงในการฟัง ใช้

FFT ในการทรานส์ฟอร์ม วิธีการนี้มีข้อดีคือไม่สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณต้นฉบับกับสัญญาณที่ถูกทำลายน้ำ ข้อเสียคือไม่ทนต่อการบีบอัดเนื่องจากไม่ได้เลือกตำแหน่งที่ผ่านการบีบอัด Bassia, Pitas และ Nikolaidis [4] ทำลายน้ำโดยสัญญาณเสียงดิจิทัลเดิมถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยๆในการฟังเพื่อเพิ่มลายน้ำ ขนาดของลายน้ำแต่ละอันสอดคล้องกับขนาดของสัญญาณเดิมที่อยู่บริเวณข้างเคียงโดยใช้ลักษณะของตัวกรองแบบ low-pass การทำลายน้ำในวิธีการนี้ดีคือทนทานต่อการประมวลผล เช่นการกรอง การสุ่มใหม่และการแบ่งระดับสัญญาณใหม่และไม่ต้องใช้สัญญาณเดิมในการถอด ข้อเสียคือไม่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงทางเวลา

การทำลายน้ำที่ใช้ภาพเป็นลายน้ำ (Logo Image) Boney และคณะ [5] นำเสนอลักษณะของลายน้ำเป็นลำดับของบิตโดยใช้ pseudo random sequence เป็นตัวเข้ารหัสลักษณะการฟังนำการแปลง FFT มาใช้ร่วมกับคุณสมบัติการได้ยินของมนุษย์ หรือ Human Auditory System (HAS) เป็นตัวหาตำแหน่งในการฟังโดยเลือกตำแหน่งที่อยู่ภายใต้ Threshold ของการได้ยินของมนุษย์ และมีค่า Scale factor เป็นตัวปรับระดับของระดับการได้ยินข้อดีของวิธีการนี้คือไม่สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณต้นฉบับกับสัญญาณที่ถูกทำลายน้ำ ข้อเสียของวิธีการนี้คือไม่ทนต่อการกรอง (Filter) และการบีบอัด (MPEG Compression) เนื่องจากการฟังในทุกความถี่ การบีบอัดข้อมูลมีการตัดข้อมูลในความถี่สูงทิ้งไป Lee และ Ho [5] กล่าวถึงการฟังลายน้ำใน Cepstrum Domain โดย

การแทรกส่วนประกอบ Cepstral ของสัญญาณโดยวิธีการ เหมือนกับการแยกสเปกตรัมสัญญาณในการสื่อสาร เป็นการซ่อนสัญญาณที่มีแบนด์แคบ (Narrow Band) ไว้ในช่องสัญญาณที่มีแบนด์กว้าง (Wide Band) วิธีนี้ใช้ Pseudo random sequence สำหรับการทำลายน้ำ ดังนั้นลายน้ำเป็นตัวให้น้ำหนักใน cepstrum domain สอดคล้องกับการกระจายสัมประสิทธิ์ Cepstral และ ลักษณะสมบัติของ frequency domain ของระบบการได้ยินของมนุษย์ ลักษณะของวิธีการเป็นดังรูปที่ 1



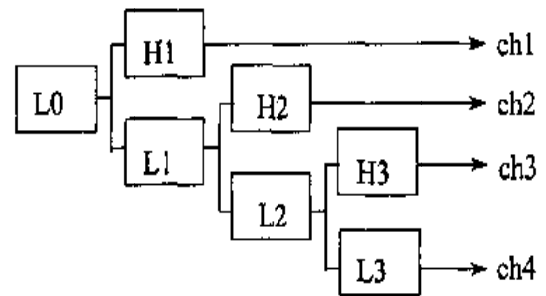
รูปที่ 1 กระบวนการในการฝังลายน้ำใช้การแปลง Cepstrum

ข้อดีของวิธีการนี้คือไม่สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณทั้งสองได้ ข้อเสียคือไม่ทนต่อการบีบอัดเนื่องจากไม่ได้เลือกตำแหน่งที่ผ่านการบีบอัด

การทำลายน้ำที่ใช้ลำดับบิต(Bit Sequences) Saito[6] นำเสนอการทำลายน้ำโดยที่ใช้ลำดับของบิตที่

มีขนาด 100 บิต เสนอวิธีการฝังโดยใช้ Octave band pass filter เนื่องจากเลือกใช้ความถี่ต่ำ

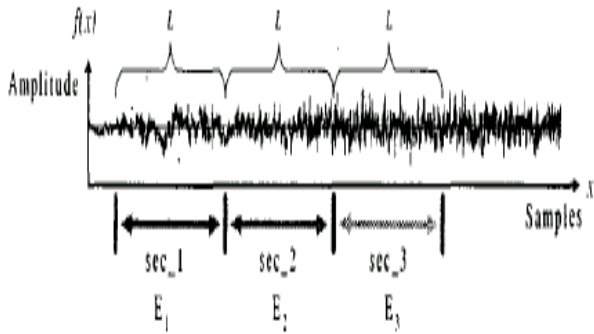
ลักษณะของ Octave band pass filter เป็นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของ Octave band pass filter

ใช้ MDCT transform ข้อดีของวิธีการนี้คือมี SNR สูง ข้อเสียคือสามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณต้นฉบับกับสัญญาณที่ถูกทำลายน้ำและไม่ทนทานต่อการบีบอัดข้อมูล

การทำลายน้ำที่ใช้ภาพเป็นลายน้ำ Lie และ Chang [7] ได้นำเสนอลายน้ำเป็นรูปภาพไบนารี (Binary logo) จำนวนบิต 256 บิต จากบทความนี้ นำเสนอการฝังลายน้ำ โดยอาศัยความแตกต่างของพลังงาน โดยลักษณะการฝังในแต่ละบิต เราจะแบ่งสัญญาณออกเป็นสามส่วนและหาค่าความแตกต่างของพลังงานในแต่ละส่วนมาเปรียบเทียบกันมีลักษณะดังรูปที่ 3



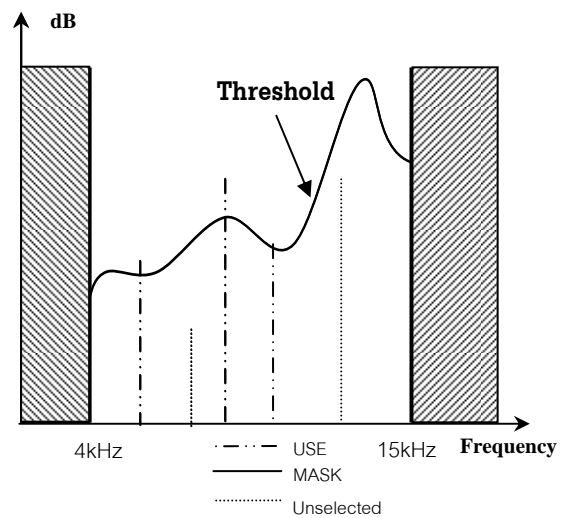
รูปที่ 3 การแบ่งส่วนในการหาค่าพลังงาน

แต่วิธีดังกล่าวมีข้อเสียตรงที่สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณต้นฉบับและสัญญาณที่ถูกทำลายน้ำได้ และไม่ทนทานต่อการบีบอัดข้อมูลจากงานวิจัยในอดีตปัญหาที่พบคือความทนทานต่อการบีบอัดแบบ MPEG เนื่องจากการฝังลายน้ำนั้นไม่ได้คำนึงถึงการบีบอัดของ MPEG ว่าการตัดข้อมูลของ MPEG ตัดที่ใดบ้างและทำการฝังในทุกความถี่ จึงทำให้มีผลต่อคุณภาพของสัญญาณด้วย

2. แนวคิด

ปัญหาที่พบในการทำลายน้ำที่เป็นภาพนั้นคือเรื่องความทนทานของลายน้ำต่อการบีบอัดและเราได้นำคุณสมบัติการได้ยินของมนุษย์คือ Psychoacoustic model [8] ซึ่งเป็นระบบที่อ้างถึงความถี่กับระดับการได้ยินของมนุษย์มาช่วยในการเลือกตำแหน่งในการฝังลายน้ำ โดยเลือกตำแหน่งที่มีค่ามากกว่าระดับของ Psychoacoustic model ทำการปรับระดับของสัญญาณตามค่าของลายน้ำ จากการพิจารณาคุณสมบัติของสัญญาณเสียงพบว่าความถี่ของสัญญาณเสียงอยู่ที่ประมาณ 20Hz-20kHz และช่วงที่หู

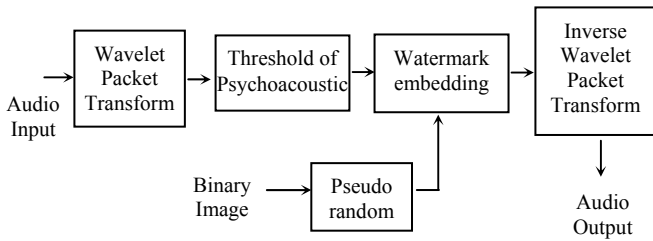
ของมนุษย์รับรู้ได้ดีที่สุดอยู่ในช่วงประมาณ 2kHz-4kHz และช่วงความถี่ที่มากกว่า 15 kHz เป็นต้นไปเป็นช่วงความถี่ที่มนุษย์ส่วนใหญ่ไม่ได้ยินและจะถูกตัดเมื่อผ่านการบีบอัดข้อมูลทำให้เราสามารถเลือกช่วงในการฝังซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 4kHz-15kHz ตามรูปที่ 4



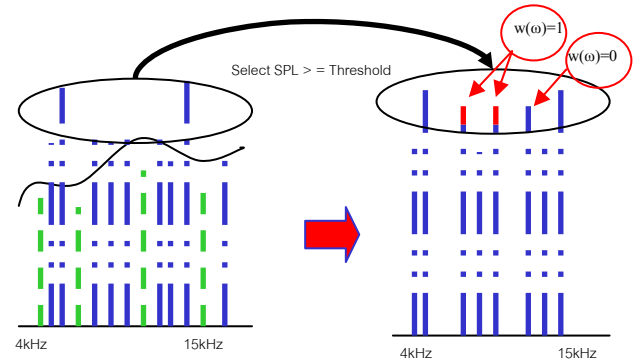
รูปที่ 4 ช่วงที่เลือกใช้ในการฝังลายน้ำช่วง 4kHz-15kHz

เนื่องจากมีการเลือกช่วงความถี่ในการใส่ลายน้ำงานวิจัยนี้จึงเลือกการแปลงเวฟเล็ตแพ็คเกจ (wavelet packet) เข้ามาใช้ เนื่องจากเราเลือกตำแหน่งการฝัง

3. วิธีการฝังลายน้ำ



รูปที่ 5 วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอ



รูปที่ 6 แสดงลักษณะการฝังลายน้ำ

3.1 บล็อกของ Wavelet Packet Transform รับสัญญาณเสียงซึ่งมีอัตราการซีกสัญญาณ 44.1kHz มีความยาวตลอดทั้งเพลงถูกเข้ารหัส 16บิต มาทำการแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่ ใช้การแปลงเวฟเล็ตแพกเกต โดยทำการกระจายเวฟเล็ตแพกเกตในระดับที่ 4 เราเลือกช่วงในการฝังที่ช่วง 4kHz-15kHz

3.2 บล็อกของ Threshold of Psychoacoustic เป็นส่วนของการหาระดับการได้ยินมนุษย์ซึ่งค่าดังกล่าวขึ้นกับความถี่ซึ่งการหาระดับพลังงานขึ้นกับสมการที่ 1

$$T_q(f) = 3.64(f/1000)^{-0.8} - 6.5e^{-0.6(f/1000-3.3)^2} + 10^{-3}(f/1000)^4 \text{ (dB SPL)} \quad (1)$$

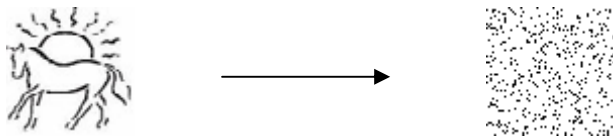
เมื่อ $T_q(f)$ = ระดับการได้ยินของมนุษย์
 f = ความถี่

3.3 บล็อกของ Watermark Embedding ทำการเลือกช่วงความถี่ตั้งแต่ 4 kHz-15kHz เพื่อใช้ในการฝังลายน้ำเราทำการเพิ่มค่าลายน้ำโดยการเพิ่มระดับความดังขึ้นอีกหนึ่งระดับซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6

เราพบว่าเราเลือกตำแหน่งโดยการหาตำแหน่งที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระดับของการได้ยิน (Threshold)

3.4 บล็อกของ Pseudo Random เรากล่าวถึงลายน้ำดิจิทัลโดยการ นำภาพลายน้ำดิจิทัลมาผ่านการทำจำนวนสุ่มเทียม (Pseudo Random) ดังรูปที่ 7 เพื่อเข้ารหัสในการกระจายของภาพลายน้ำดิจิทัล โดยค่าพิกเซลของภาพลายน้ำดิจิทัล (ข้อมูลที่เป็นเพียงบิตเดียวเท่านั้น) จะผ่านการคำนวณ เพื่อสับเปลี่ยนตำแหน่งของข้อมูลจำนวนสุ่มเทียม ซึ่งเราจะได้รูปภาพลายน้ำดิจิทัลแบบใหม่ขึ้นมา การสลับตำแหน่งของข้อมูลจะใช้วิธี Linear Feedback Shift Register โดยการตั้งค่าสถานะของ Shift Register ซึ่งกลุ่มของจำนวนตัวเลขสุ่มเทียมสามารถที่จะสร้างและกู้คืนกลับได้โดยการตั้งค่าสถานะของ Shift Register ให้ตรงกับสถานะเริ่มต้นที่เราตั้งไว้ ซึ่งเปรียบเหมือนรหัสหรือกุญแจที่เราต้องมีเพื่อที่จะกู้ลักษณะลายน้ำดิจิทัลคืนกลับมาวิธีการที่เรานำมาใช้คือการทำการสลับตำแหน่งของข้อมูลในการวาดรูปภาพลายน้ำดิจิทัล เพื่อที่จะสร้างสัญญาณเวกเตอร์ ทางแนวจากรูปภาพลายน้ำดิจิทัลนั้น องค์ประกอบของ

เวกเตอร์ทางแถวนี้ถูกสลับตำแหน่งในลักษณะของการกระจายแบบจำนวนสุ่มเทียม ในเวกเตอร์ทางแถวใหม่ ผ่านจากผลที่ได้ในแต่ละหนึ่งของ Linear Shift Register ซึ่ง Shift Register นี้จะถูกสลับตำแหน่งของบรรทัดของการวาดรูปภาพทางด้านแถวเท่านั้น เวกเตอร์ใหม่ที่ได้จากการวาดรูปภาพลายน้ำดิจิทัลนี้ ถูกสร้างโดยการกำหนดได้จากส่วนประกอบของเวกเตอร์เก่าที่ได้จากการวาดรูปภาพลายน้ำดิจิทัลไปยังตำแหน่งใหม่ของเวกเตอร์ ซึ่งจะได้ค่าบรรทัดที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ ซึ่งการสร้างรูปภาพลายน้ำดิจิทัลที่ผ่านการกระจายจำนวนสุ่มเทียมนี้ สามารถที่จะกระทำกลับกับเวกเตอร์ที่เราวาดจากรูปภาพลายน้ำดิจิทัลที่ผ่านจำนวนสุ่มเทียมนี้



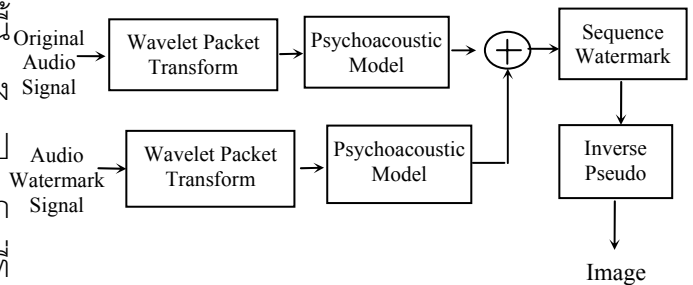
Pseudo random

รูปที่ 7 การเปลี่ยนรูปภาพลายน้ำดิจิทัลโดยวิธีการคำนวณตัวสุ่มเทียม

3.5 บล็อกของ Inverse wavelet transform เมื่อเรานำลายน้ำไปฝังในบล็อกที่ 3 เรานำสัญญาณที่ได้ฝังลายน้ำแล้วนั้นมาทำการแปลงกลับเวฟเล็ต (Inverse wavelet transform) เราจะได้สัญญาณเสียงที่ได้ฝังลายน้ำ

4 วิธีการถอดลายน้ำดิจิทัล

ในส่วนการถอดลายน้ำเพื่อหารูปลายน้ำที่เราฝังไว้ นั้น เราต้องมีสัญญาณต้นฉบับและรหัสเพื่อใช้ในการถอดลายน้ำดิจิทัล



รูปที่ 8 วิธีการถอดลายน้ำที่นำเสนอ

สำหรับขั้นตอนการถอดลายน้ำดิจิทัลสามารถอธิบายได้ดังนี้

- 4.1 บล็อกของ Wavelet Packet Transform นำสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบเพื่อจะทำการหาลายน้ำและสัญญาณก่อนที่จะทำการฝังลายน้ำมาทำการแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต
- 4.2 นำสัญญาณทั้งสองมาทำการหาตำแหน่งที่เราฝังลายน้ำโดยอาศัยระบบการได้ยินของมนุษย์ (Psychoacoustic model) นำค่าที่ได้มาหาผลต่างระดับพลังงานของสัญญาณโดยใช้สมการที่ 2

$$\tilde{W}(n) = O_{-Y_i}(n) - I_{-X_i}(n) \quad (2)$$

เมื่อ $\tilde{W}(n)$ คือ ค่าของลายน้ำที่ได้จากการหาผลต่างของระดับการได้ยิน

$O_{-Y_i}(n)$ คือ ค่าของระดับพลังงานของสัญญาณที่ถูกฝังลายน้ำ

$I_{X_i}(n)$ คือ ค่าของระดับพลังงานของสัญญาณต้นฉบับ เราจะได้ลายน้ำที่มีลักษณะดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ค่าความแตกต่างที่ได้จากการหาค่าความแตกต่างของระดับการได้ยิน

4.3 หลังจากนั้นนำลายน้ำที่ได้มาทำการกลับจำนวนสุ่มเทียมและทำการสร้างลายน้ำดิจิทัลโดยที่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของ $\tilde{W}(m, n)$ มีค่าน้อยกว่า 0 เราจะแทนค่าสัมประสิทธิ์ที่ตำแหน่งนั้นด้วย 1 และเมื่อ $\tilde{W}(m, n)$ มีค่ามากกว่า 0 เราจะแทนค่าสัมประสิทธิ์ที่ตำแหน่งนั้นด้วย 0 ซึ่งเราจะได้ลายน้ำดิจิทัลดังรูปที่ 10 จากนั้นเมื่อเราได้ลักษณะของลายน้ำดิจิทัลแล้วเราจะทำการหาค่าความเหมือนของลายน้ำดิจิทัลที่ถอดได้กับลายน้ำดิจิทัลต้นฉบับโดยใช้สมการที่ 4 ซึ่งถ้าค่า NC (Normalize Correlation) มีค่าเป็น 1 แสดงว่าภาพลายน้ำดิจิทัลที่ถอดได้มีความเหมือนกับภาพลายน้ำต้นฉบับ

$$\tilde{W}(m, n) = \begin{cases} 1 & \tilde{W}(m, n) < 0 \\ 0 & \tilde{W}(m, n) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$NC = \frac{\sum_m \sum_n W(m, n) \tilde{W}(m, n)}{[W(m, n)]^2} \quad (4)$$

ลักษณะของลายน้ำดิจิทัลที่ถอดออกมาจากรูปภาพที่ต้องการทดสอบหาลายน้ำดิจิทัลโดยใช้วิธีการที่นำเสนอตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 ลายน้ำดิจิทัลที่ถอดได้จากรูปภาพที่ต้องการพิสูจน์

5. การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองนี้เราใช้สัญญาณเสียงเพลง 12 เพลง แบ่งเป็น POP ROCK DANCEJAZZ และ CLASSIC แบบละ 2 เพลง และใช้ภาพลายน้ำดิจิทัลขนาด 64x64 และ 32x32

การทดสอบจะใช้วิธีนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการทำลายน้ำดิจิทัลไปทำการผ่านขั้นตอนการบีบอัดแบบ MPEG(MP3) หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้มาหาค่า SNR และนำลายน้ำดิจิทัลที่ถอดได้มาหาค่า NC

การวัดคุณภาพของสัญญาณภายหลังจากการทำลายน้ำเป็นวิธีการพื้นฐานแต่ได้ผลเป็นที่เชื่อถือ โดยใช้การฟังจากผู้ฟังที่ไม่เกี่ยวข้อง และการวัดคุณภาพโดยการหาอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio : SNR) ซึ่งกำหนดโดยสมการที่ 5

$$SNR = 10 \log \frac{\sum_n (x^2(n))}{\sum_n (x(n) - y(n))^2} \quad (5)$$

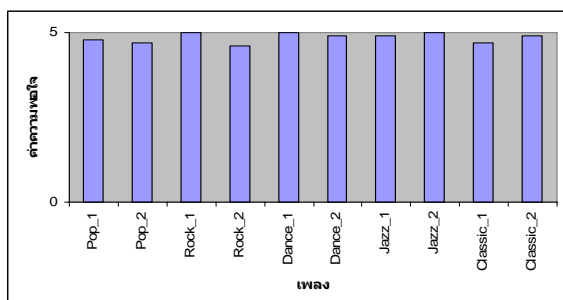
เมื่อ $x(n)$ คือ สัญญาณต้นฉบับ
 $y(n)$ คือ สัญญาณที่ถูกทำลายน้ำ

ในสถานการณ์ประเมินผลโดยใช้บุคคลทั่วไปเป็นผู้ฟัง โดยการให้คะแนนเป็นช่วง ๆ ตามความเห็นของผู้ที่ทำการทดสอบ โดยใช้มาตรฐานตามที่กำหนด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางค่าคะแนนเป็นช่วง ๆ ที่สัมพันธ์กับคุณภาพเสียง

ช่วงคะแนน	ผลการรับรู้จากการฟัง	คุณภาพเสียง
5	ไม่ได้ยินความผิดเพี้ยน	ดีมาก
4	ได้ยินแต่ไม่รบกวน	ดี
3	รบกวนเล็กน้อย	พอใช้
2	รบกวนสัญญาณ	แย่
1	รบกวนอย่างมาก	แย่มาก

การเปรียบเทียบหาความเหมือนของลายน้ำที่ถอดได้ หลังจากนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการฝังลายน้ำไปบีบอัดโดยใช้มาตรฐาน MPEG กับภาพลายน้ำต้นฉบับ เราใช้สมการ Normalize Correlation (NC) เป็นการวัดค่าความเหมือนของลายน้ำระหว่างภาพลายน้ำต้นฉบับกับภาพลายน้ำที่ถอดได้



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ของเพลงและระดับความพอใจ

การทดสอบระดับความพอใจของผู้ฟังตามรูปที่ 11 ความสัมพันธ์ของเพลงและระดับความพอใจพบว่า มีระดับความพอใจมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.8 ในเมื่อฝังลายน้ำรูปม้าขนาด 64x64 การประเมินผลใช้ประชากรจำนวน 20 คน แบ่งเป็นผู้ชาย 10 คน และหญิง 10 คน อายุระหว่าง 18-22 ปี

ตารางที่ 2 ค่า SNR ของสัญญาณลายน้ำรูปม้าหลังผ่านการบีบอัด

สัญญาณที่ใช้ทดสอบ	ค่า SNR เมื่อใช้ลายน้ำรูปม้าขนาด 64x64		ค่า SNR เมื่อใช้ลายน้ำรูปม้าขนาด 32x32	
	วิธีการเดิม	วิธีการที่นำเสนอ	วิธีการเดิม	วิธีการที่นำเสนอ
Pop_1	39.54	40.78	49.32	49.65
Pop_2	38.89	39.75	48.76	49.02
Rock_1	39.34	39.02	48.83	48.67
Rock_2	39.32	40.26	48.43	48.98
Dance_1	40.02	40.65	49.47	48.85
Dance_2	39.65	39.98	49.12	48.49
Jazz_1	38.06	38.23	48.76	49.21
Jazz_2	39.45	39.87	49.68	48.50
Classic_1	39.78	40.45	49.75	49.49
Classic_2	38.67	39.23	49.68	48.46

จากตารางที่ 2 พบว่าค่า SNR ของวิธีการเดิมและวิธีนำเสนอมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ลายน้ำรูปม้าในการฝังและตารางที่ 3 ค่า SNR ของวิธีการเดิมและวิธีนำเสนอมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ลายน้ำรูปตราสัญลักษณ์ในการฝังลายน้ำเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 3 ค่า SNR ของสัญญาณลายน้ำรูปตรามหาวิทยาลัย หลังผ่านการบีบอัด

สัญญาณที่ใช้ทดสอบ	ค่า SNR เมื่อใช้ลายน้ำรูปตรา มหาวิทยาลัยขนาด 64x64		ค่า SNR เมื่อใช้ลายน้ำรูปตรา มหาวิทยาลัยขนาด 32x32	
	วิธีการเดิม	วิธีการที่นำเสนอ	วิธีการเดิม	วิธีการที่นำเสนอ
Pop_1	39.43	40.32	49.12	48.49
Pop_2	38.89	39.34	48.76	49.21
Rock_1	38.34	39.39	49.68	48.50
Rock_2	40.32	40.89	49.75	49.49
Dance_1	39.02	40.06	49.68	48.46
Dance_2	38.65	38.98	49.19	48.49
Jazz_1	38.06	39.23	49.32	49.65
Jazz_2	38.45	39.87	48.76	49.02
Classic_1	39.78	40.45	48.83	48.67
Classic_2	39.67	39.23	48.43	48.98

ตารางที่ 4 ค่า NC เมื่อใช้ลายน้ำรูปม้าขนาด 64x64 หลังจากผ่านการบีบอัดแบบ MPEG

สัญญาณที่ใช้ทดสอบ	ค่า NC เมื่อใช้ลายน้ำรูปม้าขนาด 64x64 หลังจากผ่านการบีบอัดแบบ MPEG					
	วิธีการเดิม			วิธีการที่นำเสนอ		
	12:1	16:1	24:1	12:1	16:1	24:1
Pop_1	0.8024	0.7232	0.6106	0.8867	0.7975	0.6578
Pop_2	0.7995	0.7123	0.6245	0.8532	0.7963	0.6485
Rock_1	0.7862	0.7045	0.6089	0.8745	0.8005	0.6522
Rock_2	0.8012	0.7085	0.6078	0.8802	0.7941	0.6498
Dance_1	0.7945	0.7167	0.6156	0.8762	0.7895	0.6521
Dance_2	0.7856	0.7005	0.6045	0.8669	0.7902	0.6446
Jazz_1	0.8067	0.7213	0.6212	0.8642	0.7890	0.6589
Jazz_2	0.7995	0.7167	0.6179	0.8714	0.7923	0.6567
Classic_1	0.7945	0.7095	0.6067	0.8535	0.7904	0.6492
Classic_2	0.8002	0.7143	0.6135	0.8812	0.7845	0.6590

ในการหาค่าความเหมือนของลายน้ำใช้การหาค่า NC ตามตารางที่ 4 พบว่าค่า NC ในวิธีการที่เรานำเสนอ มีค่าสูงกว่าวิธีการเดิมเมื่อใช้ลายน้ำรูปม้าขนาด 64x64 ในการฝังลายน้ำและตารางที่ 5 ค่า NC ในวิธีการที่เรา

นำเสนอ มีค่าสูงกว่าวิธีการเดิมเมื่อใช้ลายน้ำรูปม้าขนาด 32x32 ในการฝังลายน้ำ

ตารางที่ 5 ค่า NC เมื่อใช้ลายน้ำรูปม้าขนาด 32x32 หลังจากผ่านการบีบอัดแบบ MPEG

สัญญาณที่ใช้ทดสอบ	ค่า NC เมื่อใช้ลายน้ำรูปม้าขนาด 32x32 หลังจากผ่านการบีบอัดแบบ MPEG					
	วิธีการเดิม			วิธีการที่นำเสนอ		
	12:1	16:1	24:1	12:1	16:1	24:1
Pop_1	0.8126	0.7345	0.6205	0.8867	0.7997	0.6778
Pop_2	0.7895	0.7163	0.6245	0.8932	0.7962	0.6485
Rock_1	0.7872	0.7145	0.6589	0.8945	0.8205	0.6922
Rock_2	0.8112	0.7285	0.6078	0.8702	0.8941	0.6698
Dance_1	0.7645	0.7367	0.6156	0.8962	0.7995	0.6521
Dance_2	0.7556	0.7405	0.6145	0.8469	0.8002	0.6946
Jazz_1	0.8167	0.7213	0.6712	0.8572	0.7690	0.6989
Jazz_2	0.7695	0.7167	0.6979	0.8814	0.7823	0.6867
Classic_1	0.7745	0.7295	0.6967	0.8935	0.7504	0.6292
Classic_2	0.8102	0.7843	0.6835	0.8912	0.7945	0.6990

6.สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ นำเสนอวิธีการฝังลายน้ำดิจิตอลบนสัญญาณเสียงแบบดิจิตอล เพื่อให้มีความทนทานต่อการบีบอัดแบบ MPEG วิธีการที่นำเสนอใช้ Psychoacoustic Model เพื่อเป็นระดับการอ้างอิงในการเลือกตำแหน่งฝังลายน้ำและใช้ช่วงความถี่ตั้งแต่ 4kHz-15kHz ในการแปลงความถี่ใช้การแปลงเวฟเลตเพกเกตและลายน้ำเป็นภาพไบนารีขนาด 64x64 พิกเซลและ 32x32 พิกเซล ทำการทดลองกับเพลง 12 เพลง แบ่งออกเป็น POP ROCK DANCEJAZZ และ CLASSIC แบบละ 2 เพลงผลที่ได้จากการทำการทดสอบพบว่าค่าความเหมือนของลายน้ำ NC มีค่าดีขึ้นที่อัตราการบีบอัด 12:1 ดีขึ้น 7.4% อัตราการบีบอัด 16:1 ดีขึ้น 5.45% และที่อัตราการบีบอัด 24:1 ให้ผลดีขึ้น 3.82% ค่าคุณภาพของสัญญาณ

SNR ค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยในอดีต ค่าของความพอใจ
มีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.8

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hatung, F. and Kutter, M., "Multimedia Watermarking Technique", Proceedings of The IEEE, Vol. 87, July 1999, pp. 1079-1107.
- [2] Swason, M.D., Kobayashi, M. and Tewfik, A.H., 1998, "Multimedia Data Embedding and Watermarking Technology", Proceeding of IEEE, Vol. 86, No. 6, June 1998, pp. 1064-1081.
- [3] Lee, S. and Ho, Y., "Digital Audio Watermarking in The Cepstrum Domain", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 46, No. 3, August 2000, pp. 744-749.
- [4] Bassia, P., Pitas, I. and Nikolaidis, N., "Robust Audio Watermarking in the Time Domain", IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 3, No. 2, June 2001, pp. 232-241.
- [5] Laurence, B., Tewfik, A.H., and Hamdy, K.H., "Digital Watermarks for Audio Signals", 1996 IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, 17-23 June 1996, Hiroshima, Japan, pp. 232-241.
- [6] Jong, W.S. and Jin, W.H., "Audio Watermarking for Copyright Protection of Digital Audio Data", Electronics Letters, Vol. 37, No.1, January 2001, pp. 60-61.
- [7] Saito, S., Furukawa, T. and Konishi, K., "A Digital Watermarking for Audio Data Using Division Based on QMF Bank", Proceeding of IEEE, Vol. 87, No. 8, March 2002, pp. 3473-3476.
- [8] Lie, W.N. and Chang, L.C., "Robust and High Quality Time-Domain Audio Watermarking Subject to Psychoacoustic Masking", Proceeding of IEEE, Vol. 75, No. 6, April 2001, pp. 45-48.
- [9] Painter, T. and Spanias, A., 2000, "Perceptual Coding of Digital Audio", Proceedings of The IEEE, Vol. 88, No.4, April 2000, pp. 145-148.
- [10] Bender, W., Gruhl, D. and Morimoto, N., 1996, "Techniques for Data Hiding", IBM Systems Journal, Vol. 35, No.4, July 1996, pp. 313-336.
- [11] Michael, K., 2001, Digital Watermarking Available : <http://pepple.ne.mediaone.net/fpbiii/ECE494/Watermarking.html> [2002, October 5].
- [12] Misiti, M.C., 1996, "Matlab Wavelet Toolbox", User's Guide Version 1, Natick, The Math Works Incorporated, pp. 69-105.
- [13] Pan D., 1995, "A Tutorial on MPEG/Audio Compression", IEEE Multimedia Journal, Vol. 15, No. 3, pp. 60-74.
- [14] Brandenburg, K., 1998, "MP3 and AAC Explained", 1998 AES 17 International

Conference on High Quality Audio Coding,
15-19 December 1998, New York, USA, pp. 1-
11.