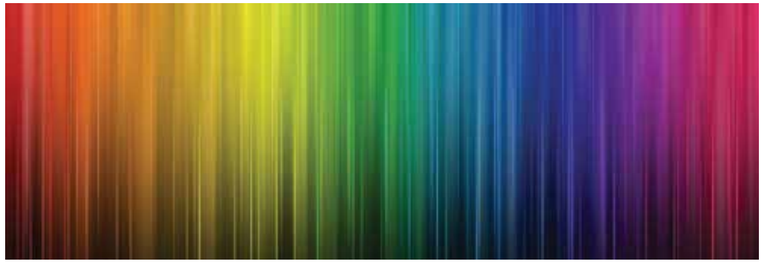
DREAM(HOME)THEATER
• ทพ. ผงศ์ทิพจักร์ เชื้อเจ็ดองค์

SCAN & READ IT ON MOBILE PHONE

CHROMA SUBSAMPLING?



พอพูดคำว่า “Chroma Subsampling” ขึ้นมา หลายท่านที่ไม่ได้อยู่ในแวดวงเกี่ยวกับด้านภาพก็อาจจะงงได้เหมือนกันว่าคืออะไร? มีความสำคัญยังไง ทำไมถึงต้องรู้เรื่องนี้ด้วย แต่ถ้าบอกว่า... คือค่าที่ต้องตั้งใน ทีวี, โปรเจ็กเตอร์, เครื่องเล่นบลูเรย์, เครื่องเล่นไฟล์, Apple TV หรือเครื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสีของภาพ เช่น มีการกำหนดให้ตั้งค่าเป็น 4:4:4, 4:2:2 , 4:2:0 ฯลฯ ค่าพวกนี้แหละที่เรียกกันว่าค่า Chroma Subsampling คราวนี้เริ่มคุ้นกับตัวเลขเหล่านี้บ้างหรือยังครับ

ในฉบับนี้ เราลองมาดูกันว่า ค่าต่างๆ เหล่านี้หมายถึงอะไร? มีความสำคัญยังไง มีที่มาที่ไปเป็นยังไงบ้าง แล้วจะต้องตั้งค่าอะไรในทีวี หรือเครื่องเล่น ลองมาดูกันครับ

ทั้งเครื่องเล่นและจอภาพต้องตั้งค่า Chroma Subsampling ให้สัมพันธ์กันเพื่อให้ภาพออกมามีคุณภาพสูงสุด

ความจริงค่านี้เกี่ยวข้องทั้งในเรื่องของกล้องมือถือ เครื่องเล่นระบบภาพและเสียงต่างๆ แต่ในที่นี้ผมขอเน้นไปที่ใช้ในห้อง Home Theater โดยการตั้งค่านี้ในหลายเครื่องเล่นจะอยู่ในชื่อเมนูที่ต่างกัน บางเครื่องอยู่ในเมนูของ HDMI บ้างก็อยู่ในเมนู Chroma บ้างก็อยู่ในเมนูของ Color space เช่น ในเครื่องเล่นบลูเรย์ Oppo UDP-203, 205 series ก็มีให้เลือกว่าเป็น RGB Video Level, RGB PC Level, YCbCr 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0 เอาเป็นว่า ถ้าตัวไหนที่มีฟังก์ชั่นให้เลือกเป็นตัวเลขชุดสามตัวเหล่านี้ ผมจะเรียกชื่อรวมๆ ไปละกันว่า คือเรื่องของ Chroma Subsampling

เมนูของเครื่องเล่นยอดนิยม Oppo ก็จะมีหัวข้อที่ให้เลือกเกี่ยวกับ Chroma Subsampling

ถ้าจะกล่าวถึงที่มาจริงๆ เรื่องนี้มีมาตั้งแต่สมัยปี ค.ศ. 1952 ยุคการส่งภาพในระบบ NTSC ที่เป็นแบบอะนาล็อก โดยจะเข้ารหัสข้อมูล RGB ที่ต้องใช้การส่งข้อมูลด้านภาพเยอะมาก กลายเป็น YCbCr ทำให้ลดปริมาณการส่งข้อมูลด้านภาพลงถึงครึ่งหนึ่ง โดยภาพที่ส่งออกไปยังมีคุณภาพดีอยู่และสายตามนุษย์จับได้ยาก ซึ่งรากฐานในเรื่องนี้วิศวกรอาศัยความรู้ด้าน Bio/Mechanical Color System ของมนุษย์

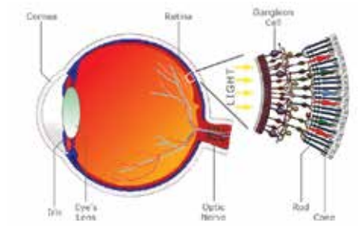
การเข้ารหัสแบบ Chroma Subsampling

ก่อนหน้าที่จะพูดลึกลงไป ลองดูรูปปราสาท 2 รูปที่ผมได้ลองส่งให้เพื่อนๆ หลายคนดูใน social media บ้างแล้ว ใครสนใจก็เข้าไปใน FB ของ Home Theater Pro Thailand แล้ว download ลองเล่นดู เพราะสิ่งนี้แหละที่เป็นพื้นฐานของการใช้ Chroma Subsampling รูปแรกเป็นรูปปราสาทที่มีสีฟ้า สีเหลืองเป็นปี้นๆ ให้เราลองจ้องที่ดาวตรงกลางชักห้าวินาที แล้วก็ให้แตะหรือกดเปลี่ยนรูปเป็นรูปที่สอง รูปปราสาทขาวดำ โดยที่สายตายังคงมองอยู่ที่ดาวตรงกลางอยู่ แต่เวลาเปลี่ยนต้องให้ภาพเปลี่ยนทันทีนะครับ ใช้การปัดภาพ แล้วภาพเลื่อนเปลี่ยนไปไม่ได้ เพราะตาเราจะหลุดจากดาวตรงกลางภาพ แล้วจะทำให้ไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงอะไร ซึ่งถ้าใครทำถูกตามที่บอกจะเห็นได้ว่า ภาพที่สองที่เป็นภาพปราสาทขาวดำในช่วงเสี้ยววินาทีแรก เราจะเห็นภาพนี้เป็นภาพสีที่มีท้องฟ้าเป็นสีฟ้า เมฆเป็นสีขาว ปราสาทเป็นสีน้ำตาลอย่างสวยงาม ก็น่าแปลกใจใช่ไหมครับ ว่าทั้งๆ ที่ภาพนี้เป็นภาพขาวดำ แต่เราก็สามารถมองเห็นสีของภาพที่ถูกต้องในภาพนี้ได้

ลองเพ่งภาพนี้ตรงจุดดาวตรงกลางภาพชักห้าวินาที

แล้วลองเปลี่ยนเป็นภาพขาวดำนี้ โดยที่สายตายังคงอยู่ที่ดาวตรงกลางภาพ แต่ต้องแตะเปลี่ยนในคอมพิวเตอร์ หรือบน smart phone หรือ tablet เพื่อไม่ให้สายตาหลุดจากดาวถึงจะเห็นผล

คำตอบก็เพราะว่า จากลักษณะทางชีววิทยาสายตาของมนุษย์จะตอบสองต่อภาพสีขาว สีดำมากกว่าภาพสี เนื่องจาก rods cell ที่อยู่ในตาทำหน้าที่แยกความสว่างของสีขาว สีดำ (contrast ของภาพ) มีจำนวน rods cel เถิง 120 ล้านเซลในขณะที่ cones cell ทำหน้าที่รับสีนั้นมีอยู่แค่ 6-7ล้านเซลเท่านั้น ดังนั้น ความสำคัญของความเข้มความสว่างของสีขาวสีดำ (contrast) จึงมีบทบาทที่สำคัญมากกว่าสีของภาพ อย่างในภาพปราสาทภาพแรก เมื่อเรามองที่ภาพสีนานๆ cone cell ก็จะเก็บข้อมูลสี แล้วส่งไปที่สมอง แต่เนื่องด้วย cone cell มีจำนวนน้อย เมื่อมองนานเข้าก็จะเริ่มมีอาการขี้เกียจ และเข้าสู่ภาวะหลับ การส่งข้อมูลไปยังสมองจึงลดความเร็วการตอบสนองลง ทำให้ข้อมูลสีเกิดการซ้อนกันกับภาพปราสาทภาพที่สองที่เป็นภาพขาวดำ ทำให้เกิดเป็นภาพปราสาทที่มีสีถูกต้อง และไล่ระดับสีได้เหมือนภาพปกติ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ค่าความสว่างความมืด (Luma) เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการมองเห็นภาพของมนุษย์ ส่วนสี (Chroma) นั้นเป็นสิ่งที่เติมเข้ามาให้ภาพนั้นมีความสมบูรณ์ เช่น ถ้าเราตัดส่วนสีออกจากภาพทั้งหมด ภาพที่ออกมาก็จะกลายเป็นภาพขาวดำ แต่ถ้าเอาค่าความต่างระหว่างความสว่างและความมืดของภาพออกไป หรือที่เรียกกันว่า contrast ของภาพออกไปนั้น เราก็จะไม่เห็นอะไรในภาพเลย ตรงนี้เองจึงอาจจะเรียกได้ว่า ภาพที่มนุษย์เรามองเห็นอยู่นั้นคือ contrast ของภาพ ไม่ใช่สีของภาพ ถ้าให้เรียงลำดับความสำคัญของสิ่งที่มีผลต่อคุณภาพของภาพมากที่สุด ที่หนึ่งก็คือ contrast ของภาพ อันดับสองก็คือ ความเข้มของสี (Color Saturation) อันดับสามคือ ความถูกต้องของสีในภาพ (Color Accuracy) และสิ่งที่มีความสำคัญน้อยที่สุดในสื่อย่างนี้ก็คือ ความละเอียดของภาพ (Resolution) ดังนั้นการมาถึงของภาพแบบ HDR จึงให้ภาพที่ออกมาดูสวยงามสมจริงมากกว่าการที่จอภาพมีรายละเอียดมากขึ้นเป็น 4K เป็น 8K หรือเป็น 10K เพราะคนเรามีข้อจำกัดในการแยกแยะรายละเอียดภาพ เช่น ถ้านั่งดูทีวีระยะเกิน 3เท่าของความสูงของจอภาพ เมื่อเพิ่มความละเอียดภาพเป็น 4K หรือมากกว่าเป็น 8K 10K ก็คงไม่มีผลกระทบอะไรมากมายต่อคุณภาพของภาพแล้ว เพราะไม่สามารถแยกแยะรายละเอียดที่เพิ่มขึ้นมาเหล่านั้นได้



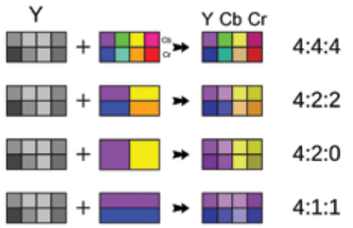
ลักษณะของ Rod เซลที่รับภาพความเข้มของสีขาวสีดำที่มีอยู่ในตาของเรา 120 ล้านเซล ในขณะที่ Cone มีหน้าที่รับข้อมูลสี และมีอยู่แค่ 6-7 ล้านเซลแค่นั้น

ถ้าตัดส่วนสีออกจากภาพทั้งหมด ภาพที่ออกมาก็จะกลายเป็นภาพขาวดำ แต่ถ้าเอา Contrast ของภาพออกไป สายตาของมนุษย์ก็จะไม่เห็นอะไรในภาพเลย

จากหลักการทางชีววิทยาการมองเห็นนี้ วิศวกรก็ได้เอามาประยุกต์ให้สามารถลดข้อมูลด้านสีของภาพลง แต่ไม่ลดข้อมูลความสว่างของสีขาวและสีดำ ก็จะทำให้ภาพที่ออกมายังดีอยู่ ไม่เสียหายมาก และขนาดของข้อมูลก็มีขนาดลดลงด้วย ทำให้สะดวกในการจัดเก็บ การส่งข้อมูล โดยได้เปลี่ยนข้อมูลการส่งภาพแบบ RGB ที่ส่งข้อมูลสีแดง เขียว และ น้ำเงิน พร้อมความความเข้มแต่ละสี แล้วเอามารวมกันให้เกิดเป็น pixel กลายมาเป็นการส่งในรูปแบบ Y Cb Cr (บางทีก็ใช้ตัวย่อเป็น YUV) โดย Y จะส่งข้อมูล luma หรือระดับความเข้มของแสงหรือความสว่างของภาพที่เป็นขาวดำอย่างเดียว (Brightness value) ส่วน Cb (U) และ Cr (V) จะส่งข้อมูล chroma หรือข้อมูลสีเท่านั้น (Color value) โดยถ้ามีการส่งข้อมูลมาเต็มที่ ไม่มีการย่อหรือลดข้อมูลลง จะใช้ตัวเลข 4 (จำนวน Pixel ที่เกี่ยวข้อง) ดังนั้น คิดคร่าวๆ ถ้า YCbCr ส่งข้อมูลมาเต็มที่ไม่มีการบีบอัดข้อมูล เช่นเดียวกับ RGB ก็จะใช้รหัสเป็น 4:4:4 ซึ่งก็คือ full color sampling ส่วน 4:2:2 ก็จะลดขนาดของ Cb และ Cr ลงจาก 4 ส่วนเป็น 2 ส่วน หรือเอาข้อมูลสีมาแค่ครึ่งเดียว ส่วนข้อมูลความสว่างของสีขาวดำไม่ได้ลดข้อมูลลง หรือ 4:2:0 ก็หมายถึง เอาข้อมูลสีมาแค่ ¼ ของข้อมูลสีทั้งหมด และไม่ได้ลดข้อมูลของภาพขาวดำเช่นกัน

เปลี่ยนการส่งข้อมูลภาพแบบ RGB ที่ส่งข้อมูล สีแดง เขียว และ น้ำเงิน พร้อมความความเข้มแต่ละสี กลายมาเป็นการส่งในรูปแบบ Y Cb Cr ทำให้สามารถย่อขนาดไฟล์เล็กลงได้จากการลดข้อมูลในส่วนของสีลง

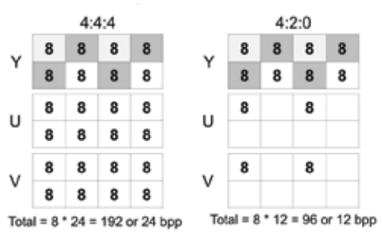
คราวนี้ลองมาดูไดอะแกรมประกอบเพื่อจะได้เข้าใจมากขึ้น จากรูปจะเห็นเป็นช่องสี่เหลี่ยม 4 ช่อง 2 แถว ช่องสี่เหลี่ยมก็หมายถึง pixel ที่เราเกี่ยวข้องด้วยที่มีอยู่ 4 pixel แต่มี 2 แถว ก็เพราะเป็นการ sampling ซ้อนกันของสองเลเยอร์ เลข 4 ตัวแรกหมายถึงค่า Y หรือค่าความสว่างของสีขาวสีดำทั้งสองเลเยอร์ หรือทั้งสองแถว โดยเลข 4 ตัวที่สองหมายถึงข้อมูลค่าสีในแถวบน หรือชั้นสี Cb ส่วนเลข 4 ตัวที่สามก็เป็นค่าสีของแถวล่าง หรือชั้นของสี Cr โดยถ้าไม่มีการลดข้อมูลใดๆ ใส่ข้อมูลมาเต็มทั้งหมด ค่าก็จะเป็น 4:4:4



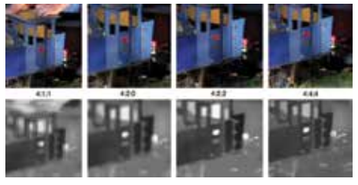
การแยกส่งข้อมูลความสว่างของสีขาวสีดำ (Y) และข้อมูลสีอีกสองชั้น (Cb, Cr) เพื่อทำให้สามารถลดขนาดข้อมูลของสีลงได้

ยังจำภาพปราสาทที่ให้ดูตั้งแต่ตอนแรกได้ไหม นั่นแหละครับเป็นการซ้อนกันของภาพขาวดำที่เป็นความเข้มความอ่อนของแสงสีขาวรวมกับภาพปราสาทที่เป็นสีปิ้นๆ ดูไม่ออกว่าเป็นอะไรแค่รูปเดียวหรือชั้นเดียว เมื่อรวมกันออกมาก็ทำให้เห็นภาพท้องฟ้าสีฟ้า เมฆทีเทาสีขาว ปราสาทสีน้ำตาล โดยที่ไม่ต้องอาศัยข้อมูล RGB ทั้งหมดที่เป็นสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ร่วมกับรายละเอียดความมืดความสว่างของแต่ละสีอยู่ ซึ่งจะใช้ไฟล์ขนาดใหญ่มาก แต่เราใช้ความรู้ที่ว่ามนุษย์ตอบสนองต่อความแตกต่างของความสว่าง (dynamic range) ได้ดีกว่าการตอบสนองต่อสีอย่างที่อธิบายไว้ข้างต้น ก็ทำให้สามารถลดข้อมูลชั้นของสีที่เป็น Cb และ Cr โดยภาพก็ยังสามารถดูได้ ไม่ส่งผลต่อความเสียหายของภาพมากนัก อย่างเช่น 4:2:2 ก็จะเป็นการลดขนาดไฟล์ โดยลดข้อมูลของชั้นสี Cb และ Cr ลงอย่างละครึ่ง โดยข้อมูลของสีที่ลดลงนั้นก็ไปเอาข้อมูลสีจาก pixel ข้างเคียงร่วมกับการใช้หลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์จากค่า Y (Brightness value) ที่มีอยู่ ในสมการที่ว่า Y = 0.990R + 0.5870G + 0.1140B ของภาพแบบ Standard definition (Y = Brightness, R = สีแดง, G = สีเขียว, B = สีน้ำเงิน) หรือถ้าเป็นภาพแบบ High Definition ก็เป็น Y = 0.2126R + 0.7152G + 0.072B ก็จะทำให้ภาพที่ออกมาจากเข้ารหัสแบบ 4:2:2 นั้น ภาพใกล้เคียงกับ 4:4:4 มาก โดยตั้งแต่มีการส่งข้อมูลผ่านสาย HDMI ออกมาการเข้ารหัส YCbCr 4:2:2 ก็ถูกสนับสนุนว่าเป็น Uncompressed (ทั้งๆ ที่มีการ compressed) เพราะว่าภาพที่ออกมานั้นใกล้เคียงกับ 4:4:4 มาก ในขณะที่ลดขนาดไฟล์ได้มาก ทำให้ความจำเป็นในการใช้ Bandwidth สูงๆ ลดลง

เมื่อเปลี่ยน Color space จาก RGB เป็น YCbCr Color space โดยลดขนาดข้อมูลทางด้านสีของภาพลง ในขณะที่ยังคงข้อมูลความสว่างของสีดำสีขาวก็จะลดข้อมูลลงได้มาก เช่น ใน YCbCr แบบ 4:4:4 8-bit ที่ไม่มีการบีบอัดข้อมูลเลยเหมือน RGB ก็ต้องมีการส่งข้อมูลในแต่ละ pixel เป็น 24bpp (bits per pixel) คือจาก 8 ของ Y รวมกับ 8 ของ Cb และ 8 ของ Cr แต่ถ้าดูตารางด้านขวาที่เป็น Subsampling แบบ 4:2:0 ในข้อมูลส่วนของภาพขาวดำก็จะใช้เต็มคือ 8-bit แต่ข้อมูลสีจะลดลง Cb กับ Cr จะเหลือเพียงแค่ 4-bit เท่านั้น ดังนั้นรวมแล้วในแบบ 4:2:0 สามารถลดข้อมูลลงได้กว่า 50% ซึ่งการบันทึกข้อมูลลงในแผ่น Blu-ray หรือแผ่น 4K HDR ก็จะใช้การ Sampling แบบ 4:2:0 นี่แหละครับ แล้วเครื่องเล่นแผ่นถึงจะขยายข้อมูลเป็น 4:2:2 หรือ 4:4:4 เพื่อส่งออกต่อไปยังเครื่องโปรเจ็กเตอร์หรือทีวีอีกที



การใช้ Chroma Subsampling 4:2:0 สามารถลดประมาณของข้อมูลจาก 4:4:4 มากถึงครึ่งหนึ่ง



Chroma Subsampling เมื่อลดข้อมูลของสีลงไปมากๆ ก็อาจจะส่งผลถึงคุณภาพของภาพได้ เช่นกัน ถ้าขยายภาพออกมาดูแบบละเอียด

การลดขนาดของข้อมูลไฟล์ภาพลง โดยเข้ารหัสในรูปของภาพขาวดำ (Luma) และลดข้อมูลของสีลงไป (Chroma)

ตอนนี้ พอระบบภาพกำลังเข้าไปสู่ความละเอียดระดับ 4K HDR ที่มีขนาดของไฟล์ภาพเพิ่มขึ้น เรื่องของ Chroma Subsampling จึงเริ่มมีบทบาทขึ้นมา ลองสังเกตดูตอนนี้ ทั้งเครื่องเล่น จอภาพ อุปกรณ์เกี่ยวกับภาพและเสียง เหล่านี้ต่างให้เราตั้งค่า Chroma Subsampling กันทั้งนั้น แม้กระทั่ง Apple TV 4K ตัวใหม่ที่ออกมาก็ต้องให้ผู้ใช้ตั้งค่านี้ในการติดตั้งด้วย เพราะว่าเมื่อความละเอียดภาพเพิ่มขึ้น ข้อมูล HDR ที่เพิ่มขึ้นจาก 8-bit เป็น 10-bit ใน HDR10, Hybrid Log Gamma หรือ 12-bit ใน Dolby Vision HDR ทำให้ข้อมูลมีปริมาณมากขึ้นมาก อุปกรณ์ที่ใช้ก็อาจจะยังไม่รองรับการส่งข้อมูลจำนวนมากในเวลาน้อยๆ ได้ หรือมี bandwidth ที่ไม่กว้างมากพอ การเข้ารหัส Chroma Subsampling จึงมีความสำคัญ ดังนั้น ถ้าเราตั้งค่า Chroma Subsampling ไม่เหมาะสมก็จะทำให้ภาพหายไป หรือแสดงภาพออกมาในคุณภาพที่ต่ำลงกว่าที่ควรจะเป็นได้

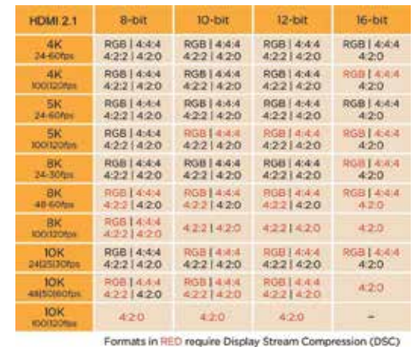
ขนาดความกว้างของช่องทางที่ HDMI แต่ละรุ่นรองรับ

อย่างเช่น สาย HDMI ตอนนี้ส่วนมากที่ใช้ๆ กันตั้งแต่สมัยภาพ 1080p ยังเป็นรุ่น HDMI 1.4 รองรับ bandwidth อยู่ที่ 10.2Gbps ซึ่งถ้าเอาไปใช้ดูหนัง 4K HDR 4:4:4 ก็ไม่ได้ดังที่แสดงตามตาราง ก็ต้องเปลี่ยน Chroma Subsampling เป็น 4:2:2 แต่อ้าว! พอเจอหนังที่เป็น 4K HDR 4:2:2 ที่มี Frame rate เป็น 50 หรือ 60 frame per second อย่างเช่นในภาพยนตร์ 4K HDR เรื่อง Billy Lynn's Long Halftime Walk ก็ไม่ได้อีก ซึ่งภาพยนตร์เรื่องนี้ Ang Lee ผู้กำกับหนังระดับรางวัลออสการ์เลือกใช้การบันทึกภาพแบบ 4K HDR ที่ 60 Frame per second เพื่อให้ภาพออกมามีการเคลื่อนไหวที่ smooth สมจริงเหมือนในธรรมชาติมากขึ้น ดังนั้น หนังแบบนี้ก็ต้องเปลี่ยนสายเป็น HDMI 2.0 ที่สามารถรองรับความเร็วได้ 18Gbps ถึงจะสามารถแสดงภาพแบบ 4K HDR 4:4:4 60p ได้อย่างไม่มีปัญหา แต่ไม่ใช่เฉพาะเรื่องของสาย HDMI อย่างเดียวนะครับ เครื่องเล่นแผ่น, Projector, ทีวี, Scaler ฯลฯ อุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในระบบก็ต้องรองรับการส่งความเร็วแบบ 18Gbps ด้วย ไม่อย่างนั้นก็จะเกิดปัญหาขึ้น

Resolution	Color Sampling	Color Depth	Bandwidth	
1080/60p	4:4:4	8-bit	4.46 Gbps	
1080/60p	4:4:4	10-bit	5.58 Gbps	
1080/60p	4:4:4	12-bit	6.68 Gbps	
1080/60p	4:4:4	16-bit	8.91 Gbps	
2160/30p	4:2:2	8-, 10- or 12-bit	8.91 Gbps	
2160/30p	4:4:4	8-bit	8.91 Gbps	HDMI 1.4b
2160/60p	4:2:0	8-bit	8.91 Gbps	HDMI 2.0
2160/60p	4:2:0	10-bit	11.14 Gbps	
2160/60p	4:2:0	12-bit	13.37 Gbps	
2160/60p	4:2:0	16-bit	17.82 Gbps	
2160/60p	4:2:2	8-, 10- or 12-bit	17.82 Gbps	
2160/60p	4:4:4	8-bit	17.82 Gbps	
4320/60p	4:4:4	12-bit	~72 Gbps	

ตารางแสดงความละเอียดของภาพวิดีโอ, Frame rate, Chroma Subsampling, Color Depth และความเร็วของการส่งผ่านข้อมูลที่สาย HDMI 1.4b และ HDMI 2.0 รองรับ

ตารางแสดงการรองรับของสาย HDMI 1.4 (ตัวหนังสือสีดำ) และ HDMI 2.0 (ตัวหนังสือสีเหลือง) กับภาพ 4K ที่ Chroma Subsampling, Bit Depth, Frame rate แบบต่างๆ



ตารางแสดงความละเอียดของภาพวิดีโอ, Frame rate, Chroma Subsampling, Color Depth และความเร็วของการส่งผ่านข้อมูลที่สาย HDMI 2.1 รองรับ

ภาพยนตร์เรื่อง Billy Lynn's Long Halftime Walk ของ Ang Lee ที่ถ้าจะดูภาพในรายละเอียดแบบ 4K HDR 60 frame per second ตามที่บันทึกมา อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบต้องรองรับ bandwidth ที่ 18Gbps ได้

ความละเอียดของภาพที่กำลังจะเข้ามาในอนาคต

และล่าสุดความละเอียดระดับ 8K กำลังเข้ามาในทีวีแล้ว อีกหน่อยถ้าต้องการดูภาพในระดับความละเอียด 8K หรือความละเอียดระดับ 4320/60p 12-bit HDR 4:4:4 ต้องใช้ bit rate อยู่ที่ประมาณ 72Gbps สายHDMI รุ่นใหม่ล่าสุดแบบ HDMI 2.1 ที่รองรับความเร็ว 48Gbps คงไม่พอแล้ว ก็คงต้องอาศัยการลดค่า Chroma Subsampling หรือเปลี่ยนสาย HDMI อีกที

ต่อไปถ้าจะดูภาพ 4K ได้อย่างเต็มที่โดยไม่มีปัญหา สาย HDMI ราคาแพงๆ ออกแบบสวยงามก็ไม่สำคัญเท่าสายเส้นนั้นรองรับ bandwidth ความเร็วระดับ 18Gbps หรือไม่ และอีกอย่างที่จะเป็นตัววัดสำคัญของสาย HDMI ในห้อง Home Theater ก็คือ... สายเส้นนั้นสามารถส่งผ่านความเร็วระดับ 18Gbps ที่ความยาวเกินสิบเมตรได้หรือไม่ เนื่องจากในความเป็นจริงของห้อง Home Theater โดยทั่วไป เครื่องเล่นต้นทางมักจะอยู่ไกลกับเครื่องโปรเจ็กเตอร์ ต้องมีการลากสาย HDMI ยาวๆ จากเครื่องเล่นมายังโปรเจ็กเตอร์ที่บางทีเพื่อความสวยงามจะต้องลากฝังเข้าไปในฝ้าหรือฝาผนังกว่าสิบห้าเมตร ดังนั้น ผมมีคำแนะนำไว้ว่า ใครที่กำลังทำห้อง Home Theater ก็ควรต้องเช็คให้แน่ใจก่อนว่า สาย HDMI ที่จะฝังเก็บสายให้สวยงามนั้นสามารถส่งผ่านข้อมูล Bandwidth ตามความละเอียด ตาม frame rate, Chroma Subsampling อย่างที่เราต้องการหรือไม่ เพราะภาพระดับ 4K HDR 10-12bit @60p, 50p 4:4:4 ต้องการสาย HDMI และเครื่องเล่นที่รองรับ bandwidth อย่างน้อย 18Gbps และอีกอย่างหนึ่งที่อยากจะฝากไว้ก็คือต้องหาวิธีที่สามารถเปลี่ยนสาย HDMI ได้ในอนาคตได้ง่ายๆ เผื่อเอาไว้ เพราะสายที่ตอนนี้รองรับเทคโนโลยีในขณะนี้ได้ แต่ในอนาคตเมื่อมีเทคโนโลยีใหม่ก็ต้องมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ต่างๆ อุปกรณ์ที่เคยใช้อยู่ก็อาจจะไม่รองรับแล้ว โดยเฉพาะเทคโนโลยีในด้านภาพนั้นไปเร็วจริงๆ ครับ. VDP