

รายงาน

แนวทางมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น

(Visible Light Communication Standard)

คณะทำงาน

รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์

รศ.ดร.อนันต์ สืบสำราญ

ดร.กมล เขมะรังษี

รศ.ดร.ปรีชา กอเจริญ

ธันวาคม 2558

ภายใต้โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี

การพัฒนาศักยภาพด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ

สนับสนุนโดย กสทช.

คำนำ

การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น (VLC: visible light communication) เป็นเทคโนโลยีใหม่ด้านการสื่อสารไร้สายที่ใช้แสงที่อยู่ในช่วงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้เป็นตัวกลางนำพาสัญญาณ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ดังนั้นหลายๆ ประเทศในปัจจุบันนี้ให้ความสนใจในเทคโนโลยีนี้ และได้ออกเป็นมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นของแต่ละองค์กร

รายงานมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ เป็นแนวทางให้ผู้สนใจที่ต้องการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งานได้ทราบถึงข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ต่างๆ ที่จำเป็นที่จะทำให้อุปกรณ์หรือระบบการสื่อสารที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้ แม้ว่าอุปกรณ์หรือระบบจะถูกสร้างขึ้นจากผู้ผลิตหรือผู้พัฒนาที่แตกต่างกัน โดยรายงานฉบับนี้จะเน้นไปที่มาตรฐาน CP-1223 ของประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากเป็นการสื่อสารแบบทิศทางเดียวและสามารถพัฒนาเป็นอุปกรณ์รับส่งได้ง่าย นอกจากนี้ยังกล่าวถึงมาตรฐาน IEEE 802.15.7 ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งจะครอบคลุมการใช้งานในวงกว้าง สุดท้ายจะให้ข้อเสนอแนะในการตัดสินใจเลือกมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นไปใช้งาน

คณะผู้วิจัย

ธันวาคม 2558

สารบัญ

1. มาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นของประเทศญี่ปุ่น	1
1.1 มาตรฐาน JEITA CP-1223	3
2. มาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นของประเทศสหรัฐอเมริกา	6
2.1 ทอพอโลยีเครือข่าย	7
2.2 สเปกตรัมในสถานะการกล้าสัญญาณ	8
2.3 สถาปัตยกรรม	9
2.4 ชั้นควบคุมการเข้าถึงสื่อ	10
2.4.1 การควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณ	10
2.4.2 การเริ่มต้นเครือข่ายการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น	13
2.4.3 การเข้าร่วมและออกจากเครือข่าย	14
2.4.4 การเข้าจังหวะเวลา	14
2.4.5 การรองรับการทำรายการ	15
2.4.6 การส่งผ่าน การรับ และการตอบรับ	15
2.4.7 การจัดการและการจัดสรร GTS	17
2.4.8 การกู้คืนการเชื่อมต่ออย่างรวดเร็ว	18
2.4.9 การกำหนดทรัพยากรหลายช่องสัญญาณ	19
2.4.10 การออกแบบเซลล์การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นและการรองรับการเคลื่อนที่	20
2.4.11 การรองรับฟังก์ชันการแสดงผลสี	23
2.4.12 การรองรับการมองเห็นและการปรับหรี	23
2.5 ชั้นกายภาพ	24
2.5.1 รูปแบบชั้นกายภาพ	24
2.5.2 โหมดการส่งข้อมูล	27
2.5.3 การหรีแสงและการลดผลกระทบจากการกระพริบ	28
3. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น	29
ภาคผนวก มาตรฐาน CP-1223 (ฉบับภาษาญี่ปุ่น)	31
บรรณานุกรม	37

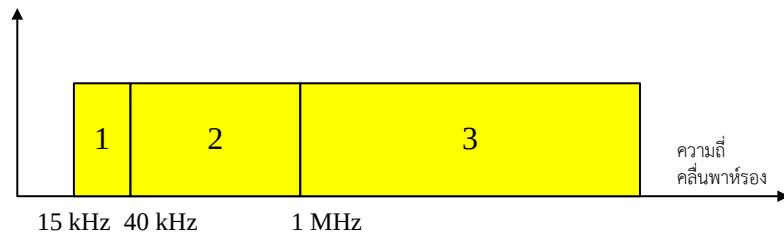
มาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น (VLC) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้อุปกรณ์หรือระบบการสื่อสารที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้ แม้ว่าอุปกรณ์หรือระบบจะถูกสร้างขึ้นจากผู้ผลิตหรือผู้พัฒนาที่แตกต่างกัน อันจะเป็นการพัฒนาและเสริมสร้างอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นและหลอดไฟแอลอีดีให้มีมูลค่าเพิ่ม และจะเสริมความมั่นใจให้กับผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์การสื่อสารต่างๆ ให้ผลิตอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในปริมาณมากขึ้น และจะส่งผลให้ราคาต่อชิ้นถูกลง ผู้บริโภคจะสามารถตัดสินใจซื้ออุปกรณ์การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นรวมถึงหลอดแอลอีดีที่มีฟังก์ชันการสื่อสารได้ง่ายมากยิ่งขึ้น

รายงานฉบับนี้จะให้ความสนใจกับมาตรฐาน CP-1223 ของประเทศญี่ปุ่น เป็นหลัก เนื่องจากสามารถพัฒนาเป็นอุปกรณ์รับส่งข้อมูลได้ง่าย มีความซับซ้อนน้อย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับการสื่อสารแบบทิศทางเดียวได้หลากหลาย เช่น การติดตั้งกับอุปกรณ์ส่องสว่างบนเพดานเพื่อส่งข้อมูลพิกัดหรือชื่อของสถานที่ภายในอาคาร การส่งผ่านข้อมูลภาพหรือสิ่งของที่จัดแสดงในพิพิธภัณฑ์ หรือการนำรหัสสำหรับการเปิดปิดประตูรั้วบ้านติดตั้งในหลอดไฟนํารยยนต์เพื่อการสั่งการเปิดปิดด้วยการควบคุมจากภายในรถยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังกล่าวถึงมาตรฐาน IEEE 802.15.7 ของประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการนำไปใช้งานสำหรับการสื่อสารแบบสองทิศทาง

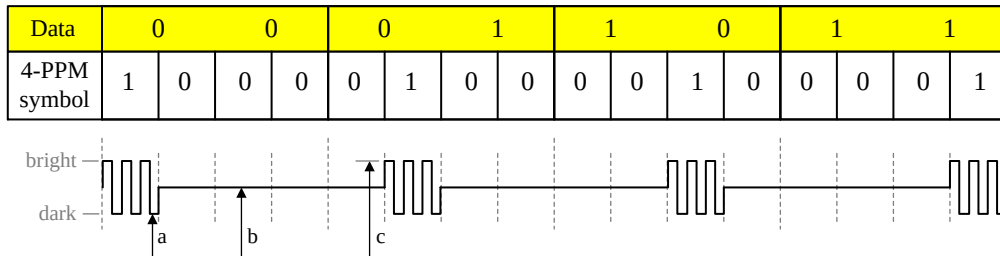
1. มาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นของประเทศญี่ปุ่น

JEITA (Japan Electronics and Information Technology Industries Association) ของประเทศญี่ปุ่น ได้พยายามสร้างความตระหนักให้คนทั่วไปทราบถึงเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น (VLC: visible light communication) และการประยุกต์ใช้งาน ที่เทคโนโลยีการสื่อสารอื่นๆ ที่ใช้ในปัจจุบันไม่สามารถทำงานได้ โดยรายละเอียดของมาตรฐานทั้งสามสรุปได้ดังนี้ [1, 2]

- JEITA CP-1221 ได้ถูกเผยแพร่ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2551 ซึ่งกล่าวถึงข้อกำหนดพื้นฐานต่างๆ ของระบบ VLC โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ
 - นำเสนอตัวชี้วัดน้อยสุดที่จะช่วยป้องกันการแทรกสอด (interference) ระหว่างอุปกรณ์การสื่อสารเชิงแสง
 - นิยามข้อกำหนดที่จำเป็นน้อยสุดในงานประยุกต์ (application) ของการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น
 - กำหนดช่วงความยาวคลื่น (wavelength) ของแสงที่ใช้ในการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น ให้มีค่าระหว่าง 380 – 780 นาโนเมตร และอนุญาตให้ช่วงความยาวคลื่นของแต่ละงานประยุกต์ให้มีความแม่นยำภายใน 1 นาโนเมตร เช่น งานประยุกต์บางงานจะใช้แสงที่มีช่วงความยาวคลื่น 525 – 575 นาโนเมตร (nm: nanometer)
 - กำหนดให้ใช้วิธีการคลื่นพาห้รอง (subcarrier) โดยการกล้ำสัญญาณความเข้มแสงด้วยความถี่เฉพาะ ซึ่งการใช้ความถี่ของคลื่นพาห้รองหลายๆ ความถี่ สามารถช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาการแทรกสอดของสัญญาณได้ รูปที่ 1 แสดงการจัดสรรความถี่ของคลื่นพาห้รองที่ใช้ในมาตรฐานนี้ โดยกำหนดให้

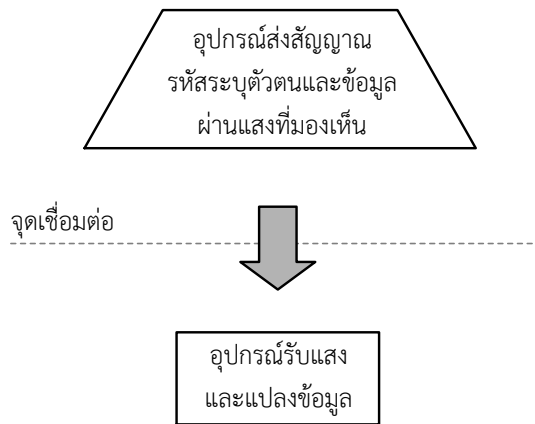


รูปที่ 1 การจัดสรรความถี่ของคลื่นพาห้ร่องที่ใช้ในมาตรฐาน CP-1221



รูปที่ 2 ตัวอย่างการเข้ารหัสข้อมูลแบบ 4-PPM

- ช่วงความถี่ที่หนึ่ง จะอยู่ระหว่างความถี่ 15 กิโลเฮิรตซ์ (kHz) ถึง 40 กิโลเฮิรตซ์ โดยจะใช้กับการสื่อสารของระบบระบุตัวตนด้วยแสงที่มองเห็น (visible light ID system) ของ JEITA
 - ช่วงความถี่ที่สอง จะอยู่ระหว่างความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 1 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่หลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อทำงานเป็นตัวกำเนิดแสงจะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนจำนวนมาก จึงไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้ในระบบ VLC
 - ช่วงความถี่ที่สาม จะมีความถี่มากกว่า 1 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเหมาะสำหรับงานประยุกต์ที่ต้องการการสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็วสูงมาก โดยจำเป็นต้องใช้หลอดแอลอีดีแบบพิเศษ
- JEITA CP-1222 ได้ถูกเผยแพร่ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2551 ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานสำหรับระบบระบุตัวตนด้วยแสงที่มองเห็น โดยมีข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้
 - ความถี่คลื่นพาห้ร่องที่ 28.8 kHz
 - อัตราถ่ายโอนข้อมูลเท่ากับ 4.8 กิโลบิตต่อวินาที (kbps: kilo-bit per second)
 - การกล้ำสัญญาณจะใช้คลื่นพาห้ร่องแบบการกล้ำสัญญาณสี่ตำแหน่งพัลส์ (4PPM: 4 pulse position modulation) ตามที่แสดงในรูปที่ 2 เพื่อป้องกันการกระพริบ (flickering) ของหลอดไฟ
 - วิธีการควบคุมข้อผิดพลาดจะใช้เทคนิคการตรวจสอบด้วยส่วนซ้ำซ้อนแบบวน (CRC: cyclic redundancy check)
 - ข้อมูลที่ถ่ายโอนจะเป็นข้อมูลระบุตัวตน (ID) แบบคงที่ (fixed data) และข้อมูลทั่วไป (non-fixed)
 - JEITA CP-1223 ได้ถูกเผยแพร่ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 โดยเป็นมาตรฐานที่ว่าด้วยการส่งรหัสระบุตัวตนหรือข้อมูลสำหรับอุปกรณ์ด้านมัลติมีเดียด้วยแสงที่มองเห็น (visible light beacon system) ซึ่ง



รูปที่ 3 แบบจำลองของมาตรฐานการสื่อสารแสง CP-1223

มาตรฐานของระบบนี้จะมีรูปแบบการสื่อสารแบบทิศทางเดียวผ่านตัวกลางแสงที่มองเห็น [1] โดยเอกสารฉบับนี้จะให้ความสนใจกับมาตรฐานนี้ เพราะง่ายต่อการทำความเข้าใจและสามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบทิศทางเดียวในระบบ VLC ได้

1.1 มาตรฐาน JEITA CP-1223

มาตรฐาน JEITA CP-1223 เป็นมาตรฐานการส่งข้อมูลในระบบ VLC แบบทิศทางเดียว ซึ่งมีโครงสร้างการทำงานตามรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ส่งแสงและอุปกรณ์รับแสง

- อุปกรณ์ส่งแสง ทำหน้าที่แผ่รหัสระบุตัวตนหรือข้อมูลไปพร้อมกันกับกระจายแสง
- อุปกรณ์รับแสง มีหน้าที่รับแสงและแปลงข้อมูลแสงกลับเป็นรหัสระบุตัวตนหรือข้อมูล

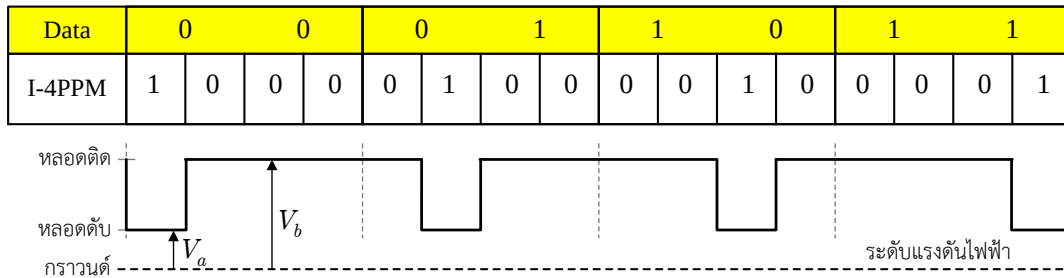
โดยการส่งรหัสหรือข้อมูลจะถูกส่งในรูปแบบเฟรมเบคอน (beacon frame) ที่อยู่ในชั้นล่างของระดับชั้นในแบบจำลองการสื่อสารข้อมูล (lower communication layer) ในขณะที่ชั้นบน (upper communication layer) จะไม่ได้ถูกกำกับด้วยมาตรฐานนี้ แต่จะขึ้นอยู่กับประยุกต์ใช้งานในระบบต่างๆ

โครงสร้างโปรโตคอล (protocol) การสื่อสารข้อมูลในรูปแบบชั้นตามมาตรฐาน CP-1223 แสดงในรูปที่ 4 โดยแบ่งออกเป็นสองระนาบคือ ระนาบรหัสระบุตัวตน (ID plane) และระนาบข้อมูล (data plane) ซึ่งระนาบการสื่อสารข้อมูลทั้งสองนี้มีความแตกต่างกันของโปรโตคอลในชั้นที่ 3 ส่วนชั้นที่ 1 ชั้นกายภาพ (physical layer) และชั้นที่ 2 ชั้นเฟรม (frame layer) จะมีรูปแบบเหมือนกัน สำหรับชั้นที่ 3 จะแบ่งออกเป็นสองรูปแบบคือ การส่งรหัสระบุตัวตนหรือตำแหน่ง และการส่งข้อมูล โดยรูปแบบการส่งข้อมูลทั้งสองสามารถส่งไปพร้อมกันในเฟรมข้อมูลเดียวกันในชั้นที่ 2 ได้

การนำโครงสร้างโปรโตคอลที่ส่งข้อมูลรหัสระบุตัวตนหรือข้อมูลไปใช้ สามารถส่งรหัสระบุตัวตนเพื่อนำไปเป็นรหัสสำหรับดึงรายละเอียดของข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูลออกมาแสดง ซึ่งอาจเป็นข้อมูลตัวอักษร เสียงพูด หรือวิดีโอ หรืออาจส่งเป็นข้อมูลสั้นๆ ที่มีความยาวไม่มากโดยตรงเพื่อการแสดงผลอย่างย่อ ตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้งาน เช่น การส่องสว่างข้อมูลที่ส่งรหัสจำเพาะผลิตภัณฑ์หรือรหัสบาร์โค้ด และการส่งชื่อ



รูปที่ 4 แบบจำลองการสื่อสารข้อมูล



รูปที่ 5 เทคนิคการกล่าสตำแหน่งพัลส์แบบผกผัน (I-4PPM)

ผู้ผลิตหรือรุ่นผลิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถส่งข้อมูลตำแหน่ง โดยหากเป็นภายในอาคาร ข้อมูลที่ส่งอาจใช้แสดงข้อมูลห้องหรือสถานที่ในอาคาร และหากเป็นภายนอกอาคาร อาจเป็นการระบุตำแหน่งจากข้อมูลโคมไพลอน เป็นต้น

การกำหนดโพรโทคอลตามมาตรฐาน CP-1223 มีการกำหนดในสองชั้นคือ ชั้นกายภาพ และชั้นเฟรม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ชั้นกายภาพ มีการกำหนดความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380 nm – 780 nm ณ ความเร็วในการสื่อสารที่ 4.8 kbps โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และใช้เทคนิคการกล่าสัญญาณสตำแหน่งพัลส์แบบผกผัน (I-4PPM) ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจากรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้หลอดติดจะมีระดับแรงดันเท่ากับ V_b และเมื่อหลอดดับจะมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ V_a โดยค่าระดับสัญญาณและดัชนีการกล่าสัญญาณหาได้จาก

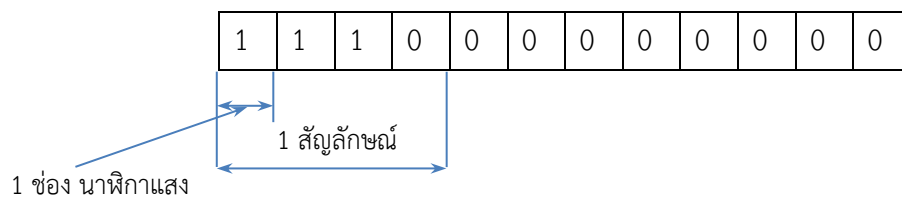
$$\text{ค่าระดับสัญญาณ} = V_b - V_a$$

$$\text{ดัชนีการกล่าสัญญาณ} = (V_b - V_a) / V_b$$

- ชั้นเฟรม มีรูปแบบของเฟรมข้อมูลตามโครงสร้างในรูปที่ 6 ซึ่งประกอบด้วย
 - ส่วนเริ่มต้นเฟรม (SOF: start of frame) มีข้อมูล 2 ส่วนคือ
 - ส่วนเริ่ม (PRE: preamble) จำนวน 6 บิต ซึ่งมีรูปแบบการเข้ารหัสที่แตกต่างจากการกล่าสัญญาณสตำแหน่งพัลส์แบบผกผันที่ใช้ เพื่อให้สามารถจำแนกจุดเริ่มต้นของเฟรมได้ โดยถ้าสมมติว่าส่วนเริ่มมีจำนวน 6 บิต และถูกแบ่งออกเป็น 12 ช่องนาฬิกาแสง การเข้ารหัสส่วนเริ่มจะให้ค่า “1”

ส่วนเริ่มต้นเฟรม (SOF)		ส่วนเพย์โหลด (Payload)	ส่วนจบเฟรม (EOF)
PRE (6 bits)	FTYPE (8 bits)	ID/DATA (128 bits)	CRC-16 (16 bits)

รูปที่ 6 เฟรมข้อมูลตามมาตรฐาน CP-1223



รูปที่ 7 ส่วนเริ่ม (PRE) จำนวน 6 สัญลักษณ์

จำนวน 3 ช่อง และตามด้วย “0” จำนวน 9 ช่อง ซึ่งเมื่อรวมทั้งหมดจะได้ส่วนเริ่มจำนวน 3 สัญลักษณ์ (หรือ 6 บิต) ตามที่แสดงในรูปที่ 7

- ประเภทของเฟรม (FTYPE: frame type) จำนวน 8 บิต เพื่อระบุชนิดของข้อมูลในเพย์โหลด
- ส่วนเพย์โหลด (payload) จำนวน 128 บิต สามารถใช้บรรจุรหัสระบุตัวตนหรือข้อมูลตามชนิดที่ระบุไว้ในประเภทของเฟรม
- ส่วนจบเฟรม (EOF: end of frame) จำนวน 16 บิต ที่มีการส่งรหัสตรวจสอบบิตผิดพลาด โดยใช้อนุกรม CRC-16 ซึ่งสร้างจากพหุนามตัวกำเนิด (generator polynomial) $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ สำหรับเรจิสเตอร์ (register) ในการคำนวณค่ารหัสตรวจสอบบิตผิดพลาดนี้ โดยเริ่มต้นจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 และทำการคำนวณเฉพาะประเภทของเฟรมและเพย์โหลด เท่านั้น

สำหรับการเว้นช่วงการส่งระหว่างเฟรมข้อมูล หากมีระยะเวลาห่างกันมากก็จะทำให้เกิดการกระพริบของแสงจนตามนุษย์รู้สึกได้ ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดการกระพริบของแสงในช่วงเว้นระหว่างเฟรมสามารถป้องกันปัญหาได้สองวิธี คือ

- 1) ส่งข้อมูลด้วยกระบวนการปกติด้วยข้อมูล “1000”
- 2) ปรับค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่ไม่มีการส่งเฟรมที่ค่า $V_b' = V_a + 3V_b / 4$ โวลต์

2. มาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นของประเทศสหรัฐอเมริกา

สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE: The Institute of Electrical and Electronics Engineers) ได้จัดทำมาตรฐานเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPANs: wireless personal area networks) หรือเครือข่ายที่มีระยะทางสั้นๆ ที่เรียกว่ามาตรฐานไอทริปเปิลอี (IEEE) 802.15 ซึ่งเป็นกลุ่มหนึ่งในมาตรฐาน 802 สำหรับเครือข่ายภายใน (LAN: local area network) และเครือข่ายในนครหลวง (MAN: metropolitan area network) [3] โดยมาตรฐาน IEEE 802.15 จะให้ความสนใจไปที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานในระยะทางสั้น พลังงานต่ำ ต้นทุนน้อย และอุปกรณ์สำหรับเครือข่ายไร้สาย เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล อุปกรณ์สื่อสารพกพา และโทรศัพท์มือถือ ดังนั้นการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น (VLC) จึงสามารถจัดอยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15 กลุ่มที่ 7 (IEEE 802.15.7) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายหลักคือ การสร้างมาตรฐานสำหรับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ในชั้นกายภาพและชั้นควบคุมการเข้าถึงสื่อ (MAC: media access control) ของแบบจำลองโอเอสไอ (OSI model)

มาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น ถูกกำหนดขึ้นจากมาตรฐาน IEEE สำหรับเครือข่าย LAN และ MAN Part 15.7 สำหรับการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ด้วยแสงที่มองเห็น (visible light) โดยมาตรฐานนี้จะมีข้อกำหนดในชั้นกายภาพและชั้น MAC โดยใช้แสงที่มองเห็นเป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลบนความถี่แสงที่มองเห็น (ช่วงความยาวคลื่น 380 nm – 780 nm) โดยจะต้องมีขีดความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลที่อัตราความเร็วสูงเพียงพอสำหรับการให้บริการด้านภาพ เสียง และวีดิทัศน์ อีกทั้งยังคำนึงถึงความสามารถของการเคลื่อนย้ายจุดเชื่อมต่อ ความเข้ากันได้ของโครงสร้างพื้นฐานของระบบ VLC ที่ใช้ในการส่องสว่างปกติ การรบกวนสัญญาณจากสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ และแหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ (ambient light) นอกจากนี้ยังคำนึงถึงโพรโทคอลในชั้น MAC ที่จัดการในส่วนการเชื่อมต่อระหว่างจุดด้วย

การสื่อสารแสงที่มองเห็น (VLC) ส่งข้อมูลโดยการกล้ำความเข้มของแสง (intensity modulation) ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ เช่น แอลอีดี (LED: light-emitting diode) และเลเซอร์ไดโอด (LD: laser diode) ที่มีความเร็วมากกว่าการรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของตามนุษย์ ดังนั้นการรวมความสามารถด้านการส่องสว่างและด้านการส่งผ่านข้อมูลไว้ด้วยกันทำให้ VLC สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การส่องสว่างข้อมูลบนพื้นที่หรือบริเวณ ป้ายสัญลักษณ์ หรือป้ายบอกทาง ป้ายโฆษณา ไฟส่องทาง ไฟส่องถนน ไฟสัญญาณ ไฟส่องสว่างในยานพาหนะ และสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น โดยมาตรฐาน IEEE 802.15.7 ได้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล ซึ่งมีการกำหนดคุณลักษณะต่างๆ ของมาตรฐานดังนี้

- ก) ทอพอโลยี (topology) ของเครือข่ายในรูปแบบการส่งผ่านข้อมูลด้วยทอพอโลยีแบบดาว (star), แบบเพียร์ทูเพียร์ (peer-to-peer), หรือแบบการกระจาย (broadcasting)
- ข) แอดเดรส (address) ขนาดสั้น 16 บิต หรือยาว 64 บิต
- ค) การเข้าถึงตัวกลางในลักษณะการกำหนดเวลา (scheduled) หรือแบบสุ่มที่มีกลไกการป้องกันการชนกันของข้อมูล (slotted random access with collision avoidance)

- ง) โพรโทคอลการตอบกลับเมื่อได้รับข้อมูล เพื่อการส่งผ่านข้อมูลที่มีเสถียรภาพน่าเชื่อถือ
- จ) การกำหนดดัชนีชี้วัดคุณภาพ (WQI: wavelength quality indication)
- ฉ) รองรับการปรับค่าความสว่าง (dimming support)
- ช) รองรับการมองเห็นได้ของแสง
- ซ) รองรับการปรับเปลี่ยนสี
- ณ) รองรับความมีเสถียรภาพของสี

2.1 ทอพอโลยีเครือข่าย

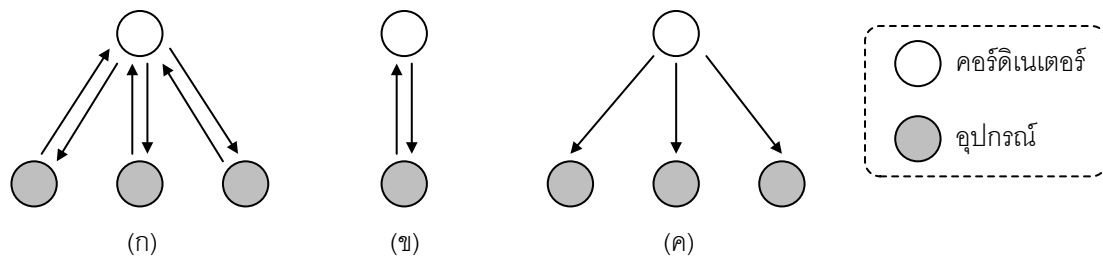
มาตรฐานการสื่อสารแสงที่มองเห็น IEEE 802.15.7 หรือมาตรฐาน IEEE 802.15.7 วิแพน (visible-light communication personal area network : VPAN) จำแนกการประยุกต์ใช้งานทอพอโลยีเครือข่าย (network topology) จำนวน 3 ทอพอโลยี ตามรูปที่ 8 นั่นคือ

- ทอพอโลยีแบบดาว การสื่อสารจะเกิดขึ้นระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ และอุปกรณ์ส่วนกลางที่มีความสามารถในการควบคุมที่เรียกว่า “อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ (coordinator)” โดยเครือข่ายแบบดาวนี้สามารถมีอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ได้หลายตัว ซึ่งแต่ละอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะควบคุมเครือข่ายแบบดาวแยกกันโดยอิสระ
- ทอพอโลยีแบบเพียร์ทูเพียร์ เป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เพียงสองตัวเท่านั้น โดยหนึ่งในนั้นจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ด้วย
- ทอพอโลยีแบบการกระจาย สามารถกำหนดให้อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.7 ทำงานในลักษณะการกระจายข้อมูลเพียงอย่างเดียว โดยไม่จำเป็นต้องเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่าย และมีทิศทางการส่งข้อมูลเพียงทิศทางเดียว ซึ่งก็คือไม่จำเป็นต้องเชื่อมโยงให้อุปกรณ์ตัวนั้นถูกรู้จักในเครือข่าย หรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กระจายข้อมูลก็ไม่จำเป็นต้องทำหน้าที่เชื่อมโยงกับอุปกรณ์ตัวอื่นใด

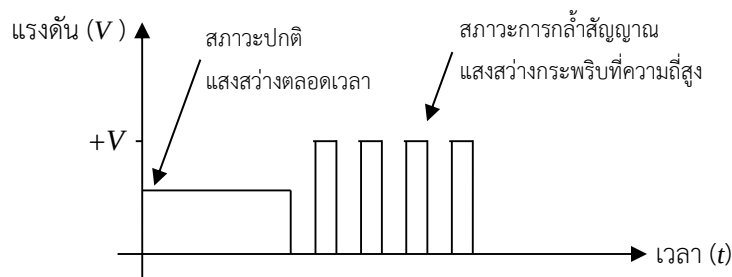
อย่างไรก็ตามในทุกทอพอโลยีเครือข่ายจำเป็นจะต้องรองรับคุณสมบัติการส่องสว่างตลอดเวลา (visibility) ด้วย เพื่อกงค่าการส่องสว่างอย่างต่อเนื่องและไม่กะพริบ ถึงแม้ว่าจะไม่มีการสื่อสารใดๆ หรือขณะอยู่ในสภาวะไม่ทำงาน (idle mode) หรือสภาวะการรับสัญญาณ (receive mode) โดยทั่วไปอุปกรณ์ในเครือข่ายหรืออุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะถูกกำหนดแอดเดรสเฉพาะที่มีความยาว 64 บิต แต่หลังจากที่อุปกรณ์ได้ถูกเชื่อมโยงเข้ากับเครือข่ายที่มีอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ควบคุมแล้ว ก็สามารถกำหนดให้มีแอดเดรสที่มีความยาวเพียง 16 บิตได้

นอกจากการกำหนดทอพอโลยีเครือข่ายแล้ว อุปกรณ์ในเครือข่าย VLC ยังสามารถถูกแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 3 ลักษณะ คือ

- โครงข่ายพื้นฐาน (infrastructure) การใช้งานในลักษณะโครงข่ายพื้นฐานจะถูกติดตั้งในตำแหน่งที่แน่นอน ไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปตำแหน่งอื่น มีพลังงานใช้ไม่จำกัด ไม่ถูกจำกัดด้านขนาดหรือรูปทรง แหล่งกำเนิดแสงสามารถให้ค่าความสว่างได้มาก จึงสามารถนำไปใช้ในการสื่อสารได้ทั้งระยะใกล้และระยะไกล รวมถึงสามารถรองรับความเร็วในการสื่อสารได้ทั้งแบบความเร็วต่ำและแบบความเร็วสูง



รูปที่ 8 ทอพอโลยีเครือข่าย (ก) แบบดาว, (ข) แบบเพียร์ทูเพียร์, และ (ค) แบบการกระจาย

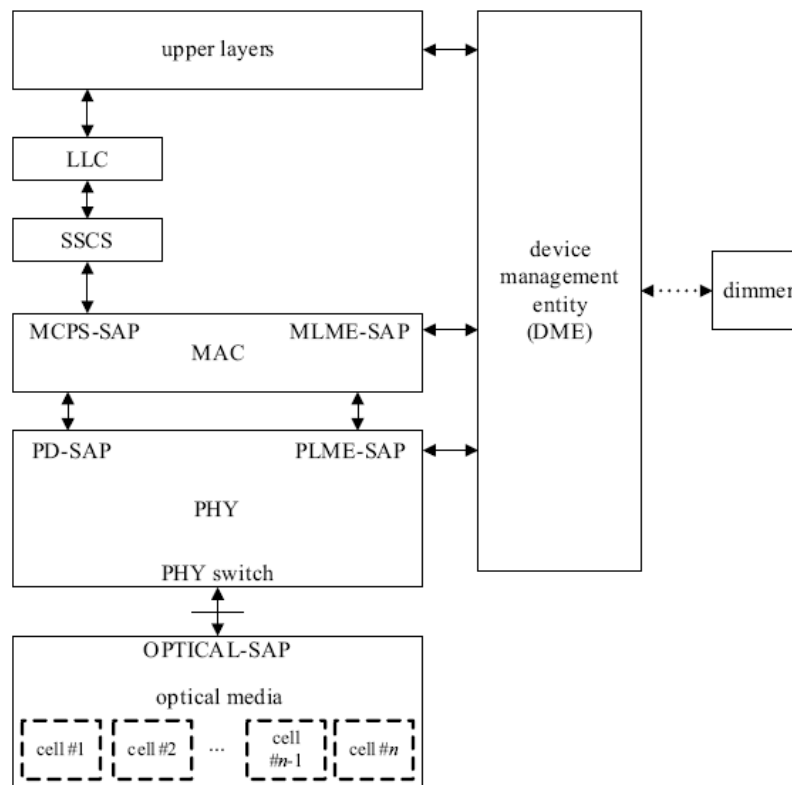


รูปที่ 9 สัญญาณในสภาวะปกติ และสภาวะการกล้ำสัญญาณ [3]

- เคลื่อนที่ได้ (mobile) ในการใช้งานในลักษณะนี้ อุปกรณ์จะไม่ถูกติดตั้งอยู่กับที่ จึงมีข้อจำกัดด้านพลังงาน และขนาดของอุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้แหล่งกำเนิดแสงให้แสงสว่างได้จำกัด ส่งผลต่อระยะทางการสื่อสารที่ไม่ไกล และรองรับได้เฉพาะการสื่อสารแบบความเร็วต่ำ
- ยานพาหนะ (vehicle) การใช้งานในลักษณะยานพาหนะจะมีข้อจำกัดอยู่ระหว่างกลางคือ ตำแหน่งของอุปกรณ์จะเคลื่อนที่ได้ แต่พลังงานยังคงจำกัดอยู่ และจะใช้ในการสื่อสารระยะไกลที่ต้องการความเร็วในการสื่อสารไม่สูงมาก

2.2 สเปกตรัมในสภาวะการกล้ำสัญญาณ

ในสภาวะปกติเมื่อยังไม่มีกรการกล้ำสัญญาณใดๆ แหล่งกำเนิดแสงจะได้รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสตรง แสงที่ถูกกำเนิดขึ้นจะสว่างตลอดเวลาตามการทำงานของไดโอดเปล่งแสง โดยวงจรภาครับจะรับ สเปกตรัมสัญญาณที่มีความถี่ 0 เฮิรตซ์ (Hz) แต่เมื่อทำการกล้ำสัญญาณ แหล่งกำเนิดแสงจะได้รับสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นการปิด/เปิดที่ความถี่สูง แสงที่ได้จากไดโอดเปล่งแสงจะมีการกะพริบที่ความถี่สูง และเมื่อวงจรภาครับนำแสงที่ได้มาประมวลผลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ก็จะได้สเปกตรัมสัญญาณที่มีค่าความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 9 จากหลักการเบื้องต้นของการรับสเปกตรัมสัญญาณทำให้สามารถจำแนกความแตกต่าง ระหว่างสภาวะปกติที่ไม่มีการกล้ำสัญญาณและสภาวะที่มีการกล้ำสัญญาณได้ ซึ่งช่วยทำให้ทราบช่วงเวลา ที่ช่องทางการสื่อสารไม่ถูกใช้งานได้ (CCA: clear channel assessment)



รูปที่ 10 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.7 [3]

2.3 สถาปัตยกรรม

สถาปัตยกรรมของมาตรฐาน IEEE 802.15.7 ถูกกำหนดขึ้นในลักษณะเป็นชั้น (layer) และชั้นย่อย โดยแต่ละชั้นมีหน้าที่ในแต่ละส่วนของมาตรฐาน และมีการเชื่อมโยงข้อมูลบริการระหว่างชั้นที่อยู่ติดกัน โครงสร้างสถาปัตยกรรมที่ IEEE 802.15.7 กำหนด ประกอบด้วยชั้นกายภาพ (PHY: physical layer) และชั้น MAC (medium access control layer) เท่านั้น โดยชั้นกายภาพจะกำหนดมาตรฐานในส่วนประกอบของ อุปกรณ์รับ-ส่งแสง และกลไกการควบคุมทางวงจรต่างๆ ส่วนชั้น MAC จะจัดการการเข้าถึงช่องสัญญาณ สำหรับการส่งผ่านข้อมูล รูปที่ 10 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมของอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.7 โดยจะมีส่วนของ LLC (logical link control) และ SSCS (service-specific convergence sublayer) เพื่อ เชื่อมข้อมูลไปยังชั้นที่อยู่เหนือกว่าคือ ชั้นเครือข่าย (network layer) และชั้นงานประยุกต์ (application layer) ที่เรียกรวมกันว่า ชั้นอัฟเวอร์ (upper layer)

นอกจากนี้ในชั้นกายภาพ สวิตช์กายภาพ (physical switch) จะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับส่วน Optical-SAP โดยจะต่อเข้ากับอุปกรณ์ทางแสง เช่น แหล่งกำเนิดแสง หรืออุปกรณ์รับแสง โดยอาจใช้อุปกรณ์เพียงตัวเดียว หรือจำนวนหลายตัวต่อกันก็ได้ ทั้งนี้การต่ออุปกรณ์ทางแสงจำนวนหลายตัวจะต้องมีมาตรฐานรองรับคือ ชั้นกายภาพแบบที่สาม (PHY III) ที่รองรับการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ VLC ระหว่างเซลล์ (VLC cell mobility) ด้วย การควบคุมการทำงานของการทำงานที่ระหว่างเซลล์จะทำโดยผ่านเอนทิตี PLME (physical layer management entity) และยังคงควบคุมการปรับหรือแสงสว่างของอุปกรณ์ด้วย โดยเอนทิตี PLME-SAP และ

เอนทิตี MLME-SAP (medium-access-control link management entity) ถูกเชื่อมต่อกับเอนทิตี DME (device management entity) จากทั้งสองชั้น

2.4 ชั้นควบคุมการเข้าถึงสื่อ (ชั้น MAC)

การทำงานของสื่อสายไร้สายด้วยแสงที่มองเห็นตามมาตรฐาน IEEE 802.15.7 วิเคราะห์ในชั้น MAC จะควบคุมการเข้าถึงตัวกลางการสื่อสารผ่านชั้นกายภาพ โดยมีหน้าที่หลักคือ การจัดการเบคอน (beacon management) สำหรับอุปกรณ์ที่เป็นคอร์ดิเนเตอร์, การควบคุมการเข้าจังหวะเวลากับเครือข่ายเบคอน (Synchronizing to network beacons), การควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณ (channel access), การจัดการช่องเวลาที่รับประกัน (GTS: guaranteed time slot management), การตรวจสอบเฟรม (frame validation), การตรวจสอบการได้รับเฟรม (acknowledgement), การเชื่อมโยงเครือข่ายและการถอนตัวจากเครือข่าย (association and disassociation) และการแสดงสถานะของอุปกรณ์และคุณภาพของช่องสัญญาณ นอกจากนี้ยังจัดการด้านความปลอดภัยของข้อมูล การควบคุมการแสดงสีของแสง เสถียรภาพของสี กระบวนการลดการกะพริบ การปรับค่าความเข้มของการส่องสว่าง และรองรับการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ โดยเฟรมข้อมูลจะถูกกำหนดให้อยู่ในโครงสร้างของซูเปอร์เฟรม (superframe structure) ซึ่งครอบคลุมรายละเอียดของรูปแบบการส่งผ่านข้อมูล

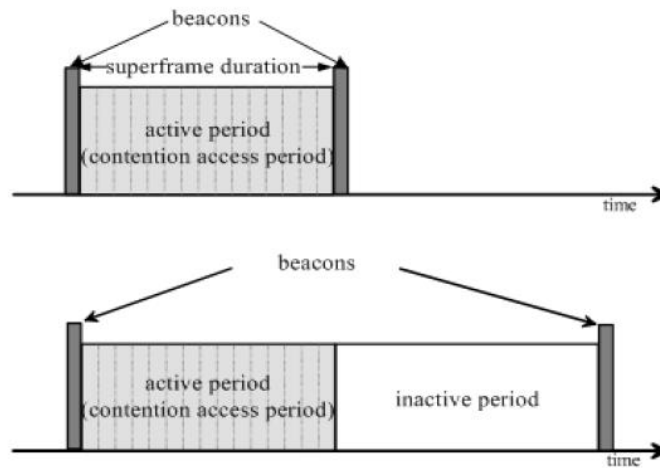
2.4.1 การควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณ

การควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณตามมาตรฐานแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

- 1) การเข้าถึงแบบการแข่งขัน (contention-based access) โดยจะให้อุปกรณ์สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ด้วยการสุ่มช่วงเวลาการเข้าถึง ทำให้การกระจายตัวของเวลาการเข้าใช้ช่องสัญญาณของอุปกรณ์แต่ละตัวมีความแตกต่างกัน หากมีการเข้าใช้ช่องสัญญาณในห้วงเวลาเดียวกัน ก็จะทำให้การถอยการส่งข้อมูล และกลับเข้าไปส่งใหม่ด้วยการสุ่มช่วงเวลาเพื่อหลบหลีกการชนกันอีกครั้ง
- 2) การเข้าถึงแบบปลอดการแข่งขัน (contention-free access) จะควบคุมเวลาการเข้าใช้ช่องสัญญาณด้วยอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ที่มีการแบ่งช่องเวลาที่แน่นอนให้แก่อุปกรณ์แต่ละตัว (GTS)

การควบคุมการใช้งานช่องสัญญาณจะกระทำผ่านกระบวนการของการส่งผ่านข้อมูลด้วยซูเปอร์เฟรม ซึ่งมีโครงสร้างตามรูปที่ 11 โดยรูปแบบของซูเปอร์เฟรมจะถูกกำหนดโดยอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ ภายในซูเปอร์เฟรมจะแบ่งเป็นช่วงเวลา ช่วงละเท่าๆ กัน โดยในช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงเวลาที่อุปกรณ์ในเครือข่ายสามารถแข่งขันกันเข้าไปใช้ช่องสัญญาณได้ นอกจากนี้ซูเปอร์เฟรมยังสามารถแบ่งช่วงเวลาออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ ช่วงเวลาที่พร้อมทำงาน (active portion) และช่วงเวลาที่หยุดทำงาน (inactive portion) ดังแสดงในรูปที่ 11

การเริ่มใช้งานซูเปอร์เฟรม อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ต้องส่งเบคอนก่อน จึงตามด้วยการส่งซูเปอร์เฟรม โดยหากอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ไม่ต้องการสื่อสารด้วยรูปแบบโครงสร้างของซูเปอร์เฟรม ก็จะงดการส่งเบคอน ซึ่งเบคอนนี้มีไว้เพื่อการเข้าจังหวะเวลาระหว่างอุปกรณ์ทุกตัวในเครือข่ายด้วย อุปกรณ์ตัวใดที่อยู่ในเครือข่ายที่ต้องการส่งข้อมูลในช่วงเวลาการเข้าถึงแบบการแข่งขัน (CAP: contention access period) ที่อยู่ระหว่าง

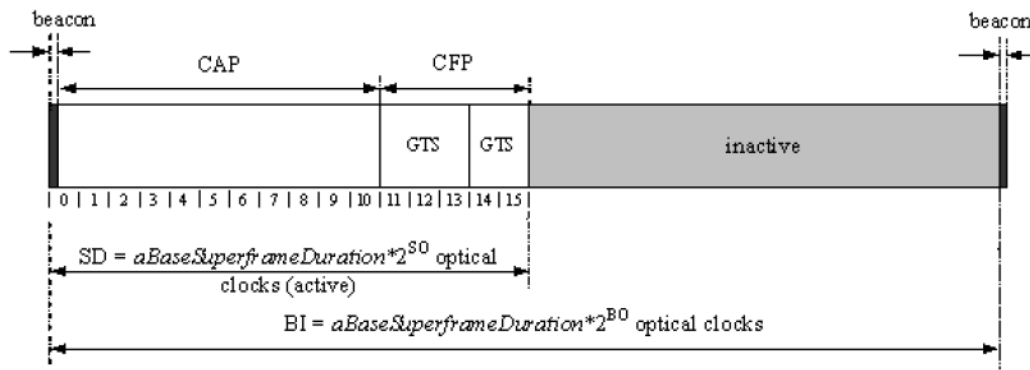


รูปที่ 11 โครงสร้างซูเปอร์เฟรม

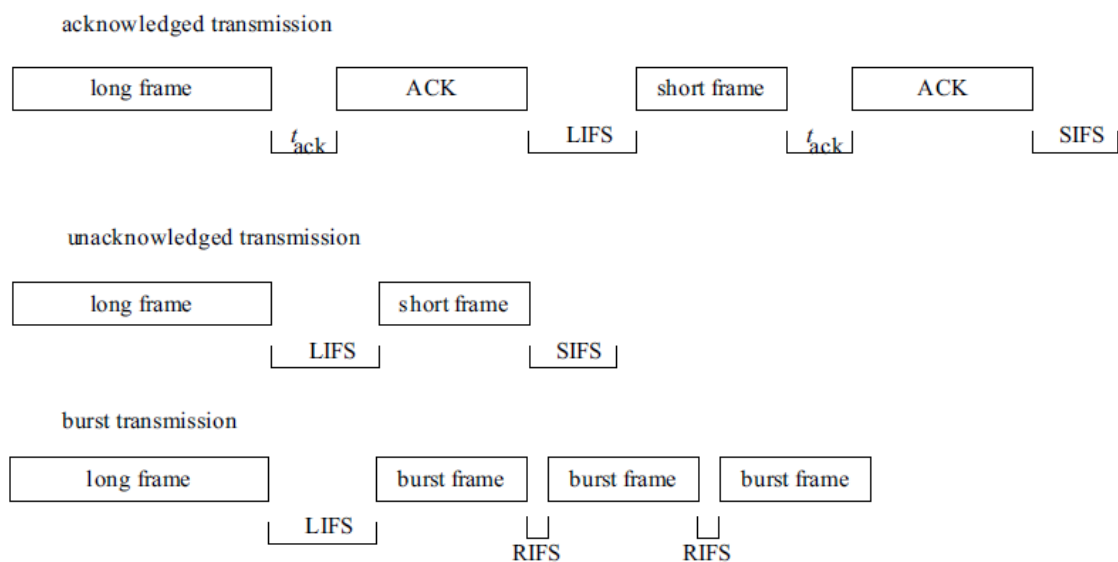
เบคอนสองเบคอน หากซูเปอร์เฟรมใดมีช่วงเวลาปลอดการแข่งขัน (CFP: contention-free period) ช่วงเวลา CAP จะถูกแบ่งบางส่วนสำหรับ CFP การเข้าถึงช่องสัญญาณจะต้องทำการแข่งขันกับอุปกรณ์ตัวอื่นที่อยู่ในเครือข่ายโดยใช้เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบสุ่ม ซึ่งในมาตรฐานได้กำหนดไว้ 4 ลักษณะคือ

- 1) การเข้าถึงแบบสุ่มที่ไม่มีสล็อต (unslotted random access) อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะไม่มีการส่งเบคอน เมื่ออุปกรณ์ในเครือข่ายต้องการใช้ช่องสัญญาณ จะรอช่วงเวลาการถอยแบบสุ่ม เมื่อถึงเวลาการถอยแบบสุ่มเกิดขึ้น อุปกรณ์ที่ต้องการใช้ช่องสัญญาณจะส่งเฟรมข้อมูลออกไปในช่องสัญญาณ โดยไม่มีการคำนึงว่าจะส่งไปซ้ำซ้อนหรือชนกับอุปกรณ์ตัวอื่นหรือไม่
- 2) การเข้าถึงแบบสุ่มที่มีสล็อต (slotted random access) อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะมีการส่งสัญญาณเบคอน โดยอุปกรณ์ในเครือข่ายที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องจองช่วงเวลาปลอดการแข่งขันสำหรับการส่งข้อมูล โดยช่วงเวลาที่ใช้งานได้ในซูเปอร์เฟรมจะถูกแบ่งมาจากช่วงเวลาแข่งขันเข้าใช้ช่องสัญญาณ โดยจะต้องได้รับการจัดสรรจากอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ก่อนทำการส่งข้อมูล
- 3) การเข้าถึงแบบ CSMA/CA ที่ไม่มีสล็อต (unslotted CSMA/CA) มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการเข้าถึงแบบสุ่มที่ไม่มีสล็อต โดยแตกต่างกันเมื่อถึงเวลาการถอยแบบสุ่ม โดยจะทำการตรวจสอบช่องสัญญาณก่อน หากช่องสัญญาณมีการใช้งานอยู่ อุปกรณ์จะรอช่วงเวลาอื่นด้วยการสุ่มเวลาและตรวจสอบการใช้งานช่องสัญญาณอีกครั้งก่อนการส่งข้อมูล
- 4) การเข้าถึงแบบ CSMA/CA ที่มีสล็อต (slotted CSMA/CA) มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการเข้าถึงแบบสุ่มที่มีสล็อต โดยจะเพิ่มกลไกการตรวจสอบการใช้ช่องสัญญาณก่อนการส่งข้อมูล

สำหรับงานประยุกต์ที่ต้องการให้มีการหน่วงเวลาในการสื่อสารน้อย (low-latency) หรืองานประยุกต์ที่ต้องการกำหนดแบนด์วิธเฉพาะสำหรับข้อมูล อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมเครือข่ายจะแบ่งส่วนหนึ่งของซูเปอร์เฟรมในช่วงเวลาที่พร้อมทำงานให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานประยุกต์ดังกล่าว ซึ่งช่วงเวลาของซูเปอร์เฟรมส่วนนั้นจะเรียกว่าช่องเวลาที่แน่นอนที่แบ่งให้แก่อุปกรณ์ ซึ่งก็คือการเข้าถึงแบบปลอดการแข่งขันนั่นเอง โดยช่วงเวลาที่แบ่งในซูเปอร์เฟรมจะถูกจัดไว้ในช่วงท้ายของช่วงเวลาที่พร้อมทำงานดังแสดงใน



รูปที่ 12 โครงสร้างซูเปอร์เฟรมสำหรับการเข้าถึงแบบปลดการแข่งขัน



รูปที่ 13 การเพิ่มช่องว่างระหว่างเฟรม

รูปที่ 12 โดยความยาวของซูเปอร์เฟรม (BI: beacon interval) มีความยาวเป็นสองเท่าของเฟรมช่วงเวลาพร้อมทำงาน (SD: superframe active duration) และเฟรมแบบปลดการแข่งขันจะแบ่งออกเป็นสองช่วง โดยแต่ละช่วงมีการจัดสรรเวลาไม่เท่ากัน

ในช่วงการส่งข้อมูลที่แบ่งออกเป็นเฟรมข้อมูล หากชั้น MAC ได้รับข้อมูลมาจากชั้นกายภาพ ชั้น MAC จำเป็นต้องใช้เวลาบางส่วนในการประมวลผล ซึ่งหากมีการส่งข้อมูลสองเฟรมติดกันก็อาจจะทำให้การประมวลผลเกิดปัญหาได้ วิธีการที่ใช้แยกเฟรมข้อมูลที่ได้รับมาจากอุปกรณ์ที่อาจส่งข้อมูลมาสองเฟรมคือ การเพิ่มช่องว่างระหว่างเฟรม (IFS: interframe spacing) ตามรูปที่ 13 ซึ่งแบ่งออกได้เป็นสามแบบคือ แบบสั้น (SIFS: short interframe spacing), แบบยาว (LIFS: long interframe spacing), และแบบลดทอนพิเศษที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลต่อเนื่อง (BIFS: burst interframe spacing) การเลือกใช้การเพิ่มช่องว่างระหว่างเฟรมขึ้นอยู่กับชนิดของเฟรมข้อมูลที่ส่งมา หากเป็นเฟรมข้อมูลขนาดยาวจะถูกตามด้วยการเพิ่มช่องว่าง LIFS หากเฟรมสั้นหรือเฟรมต่อเนื่องจะการใช้การเพิ่มช่องว่างด้วย SIFS หรือ RIFS ตามลำดับ

2.4.2 การเริ่มต้นเครือข่ายการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น

การเริ่มต้นใช้งานเครือข่ายจะเริ่มต้นจากการสแกน (scan) ทุกช่องสัญญาณที่มีอยู่ โดยสามารถแบ่งการสแกนเป็นสองลักษณะคือ

- แอ็กทีฟสแกน (active scan) มีอยู่เฉพาะในอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ และใช้ในทอพอโลยีการสื่อสารแบบเพียร์ทูเพียร์ โดยการทำแอ็กทีฟสแกนจะสามารถระบุเฟรมเบคอนที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ใดๆ ที่อยู่ในรัศมีการสื่อสารได้ ซึ่งลักษณะพิเศษของการทำแอ็กทีฟสแกนคือ จะมีการส่งคำสั่งเบคอนการร้องขอ (beacon request command) เพื่อให้สามารถเก็บรายละเอียดของข้อมูลต่างๆ ของเครือข่ายที่ทำการสแกน เช่น แอดเดรสโหนดสั้นหรือยาว คาร์รหัสบ่งชี้เครือข่าย (VPAN Identifier) แอดเดรสของคอร์ดิเนเตอร์ของเครือข่าย รูปแบบของซูเปอร์เฟรม และค่าคุณภาพช่องสัญญาณ (WQI) เป็นต้น การทำแอ็กทีฟสแกนจึงสามารถนำมาใช้ในการสร้างกลุ่มเครือข่ายใหม่ได้โดยไม่รบกวนกับเครือข่ายเดิมที่มีอยู่
- พาสซีฟสแกน (passive scan) อุปกรณ์ทุกตัวมีความสามารถนี้และใช้ในทอพอโลยีการสื่อสารแบบดาวหรือและแบบการกระจาย การทำพาสซีฟสแกนจะสามารถระบุเฟรมเบคอนที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ใดๆ ที่อยู่ในรัศมีการสื่อสาร แต่จะไม่มีการส่งคำสั่งเบคอนการร้องขอ การทำพาสซีฟสแกนจึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการขอเข้าร่วมกับเครือข่ายที่มีอยู่ภายในรัศมีการสื่อสาร

การเริ่มต้นเครือข่ายสำหรับแต่ละทอพอโลยีของการสื่อสารจะแตกต่างกัน ดังนี้

- ทอพอโลยีแบบการกระจาย จะไม่มีข้อกำหนดใดๆ ในการเริ่มเครือข่าย
- ทอพอโลยีแบบดาว อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะเริ่มต้นการสร้างเครือข่ายด้วยการส่งเฟรมเบคอน
- ทอพอโลยีแบบเพียร์ทูเพียร์ อุปกรณ์จะเริ่มต้นเครือข่ายด้วยการส่งคำสั่งการเชื่อมต่อหรือคำสั่งแอ็กทีฟสแกนไปยังอุปกรณ์ที่จะเชื่อมต่อด้วย นอกจากนั้นหากอุปกรณ์ในเครือข่ายใช้ช่องทางการสื่อสารด้วยแสงเพียงสีเดียว (Single color channel) จะไม่มีการเลือกใช้ช่องทางอื่นในการสื่อสาร แต่หากอุปกรณ์รองรับการส่งผ่านหลายสี (Multiple transmit mcolor channel) จะมีการส่งผ่านค่าคุณภาพช่องสัญญาณ WQI เพื่อใช้ในการเลือกช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด

เมื่ออุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์เริ่มต้นเครือข่ายด้วยการส่งเฟรมเบคอน ถือเป็นการเริ่มให้อุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในรัศมีการสื่อสารสามารถเริ่มกระบวนการค้นหาและเชื่อมต่อเครือข่ายได้ โดยที่

- อุปกรณ์ที่ใช้ในชั้นกายภาพแบบที่ 1 จะใช้สัญญาณนาฬิกาทางแสง (optical clock) ที่ความถี่ 200 kHz และรองรับความเร็วในการสื่อสารที่ 11.67 kbps
- อุปกรณ์ที่ใช้ในชั้นกายภาพแบบที่ 2 จะใช้สัญญาณนาฬิกาทางแสงที่ความถี่ 3.75 MHz และรองรับความเร็วในการสื่อสารที่ 1.25 Mbps
- อุปกรณ์ที่ใช้ในชั้นกายภาพแบบที่ 3 จะใช้กระบวนการค้นหาเช่นเดียวกันกับอุปกรณ์ที่ใช้ในชั้นกายภาพแบบที่ 2 โดยกระบวนการค้นหานี้จะไม่รองรับทอพอโลยีแบบการกระจาย

โดยเมื่อเครือข่ายการสื่อสารกำลังทำงานอยู่ อาจมีเกิดเหตุการณ์ที่เครือข่ายการสื่อสาร 2 เครือข่ายมีคาร์รหัสบ่งชี้เครือข่ายเดียวกันในพื้นที่บริการเดียวกัน ก็จะทำให้เกิดการขัดแย้งและส่งผลต่อการสื่อสาร ดังนั้นอุปกรณ์

คอร์ติเนเตอร์จะต้องดำเนินการแก้ไขปัญหานี้โดยการสร้างซูปเปอร์เฟรมและปรับค่าพารามิเตอร์ของช่องทางการสื่อสารที่จำเป็นใหม่ เพื่อส่งให้กับอุปกรณ์ทุกตัวในเครือข่ายทำการปรับเปลี่ยนไปยังค่าที่ไม่เกิดความขัดแย้งระหว่างเครือข่ายทั้งสอง

2.4.3 การเข้าร่วมและออกจากเครือข่าย

เมื่ออุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์เริ่มการส่งเฟรมเบคอน อุปกรณ์ที่ต้องการจะร่วมเครือข่ายจะต้องส่งค่ารีเซต MLME-RESET ในชั้น MAC ก่อน จากนั้นจึงจะเริ่มให้อุปกรณ์สแกนช่องทางการสื่อสาร โดยผลของการสแกนจะนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกเครือข่ายที่มีความเหมาะสมต่อไป โดยการเข้าร่วมเครือข่ายของอุปกรณ์นั้นจะต้องได้รับการอนุญาตจากอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ก่อน ซึ่งอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ที่อนุญาตให้อุปกรณ์ตัวอื่นสามารถเข้าร่วมเครือข่ายได้นั้น จะต้องกำหนดให้พารามิเตอร์การอนุญาตมีค่าเป็นจริง (True) แต่ถ้าพารามิเตอร์การอนุญาตมีค่าเป็นเท็จ (False) จะหมายถึงไม่อนุญาตให้มีอุปกรณ์อื่นใดเข้าร่วมเครือข่าย เมื่อสแกนช่องสัญญาณเสร็จสิ้นอุปกรณ์ที่จะเข้าร่วมจะทำการส่งคำสั่งร้องขอการเข้าร่วมไปยังอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ที่อยู่ในเครือข่ายที่มีอยู่เดิม หากอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ได้รับการร้องขอ จะทำการส่งเฟรมตอบรับกลับมา ระหว่างนั้นอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ยังต้องทำการตรวจสอบความพร้อมของทรัพยากรภายในเครือข่าย และตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่ส่งคำร้องขอมา มีอยู่ในเครือข่ายอยู่แล้วหรือไม่ หากมีอยู่แล้วก็จะทำการลบข้อมูลเดิมทิ้ง และหากมีทรัพยากรรองรับเพียงพอ ก็จะส่งคำตอบรับพร้อมกับแอดเดรสให้กับอุปกรณ์ที่ร้องขอ แต่หากทรัพยากรมีไม่เพียงพอ อุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ก็จะส่งคำสั่งปฏิเสธคำร้องขอการเข้าร่วมเครือข่ายกลับไป

เมื่ออุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ต้องการให้อุปกรณ์การสื่อสารบางตัวออกจากเครือข่าย ก็จะส่งคำสั่งแจ้งเตือนการให้ออกจากเครือข่ายไปยังอุปกรณ์นั้น โดยมีการร้องขอให้ส่งเฟรมตอบรับกลับมาด้วย โดยอุปกรณ์ที่ถูกให้ออกจากเครือข่ายเมื่อได้รับคำสั่งการให้ออกจากเครือข่ายแล้ว ก็จะมีการยืนยันการรับคำสั่งด้วยการส่งเฟรมตอบรับกลับมา สำหรับกรณีที่อุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่ายต้องการออกจากเครือข่าย ก็จะส่งคำร้องขอออกจากเครือข่ายไปยังอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ เพื่อให้อุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์รับทราบและลบข้อมูลในรายการที่บันทึกไว้ และส่งเฟรมตอบรับกลับไปยังอุปกรณ์ที่ส่งคำร้องขอมา หากเฟรมตอบรับส่งไปไม่ถึงเมื่อครบเวลาที่กำหนดไว้ อุปกรณ์ที่ส่งคำร้องขอการออกจากเครือข่าย ก็จะตัดสินใจดำเนินการออกจากเครือข่ายโดยอัตโนมัติ

2.4.4 การเข้าจังหวะเวลา

การเข้าจังหวะเวลา (synchronization) ในเครือข่ายแบ่งเป็นสองลักษณะคือ

- การเข้าจังหวะเวลาที่ใช้เฟรมเบคอน อุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์จะสร้างเฟรมเบคอนและส่งออกไปในเครือข่าย โดยอุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่ายจะรับเฟรมเบคอนและทำการถอดรหัสเพื่อการเข้าจังหวะเวลา
- การเข้าจังหวะเวลาที่ไม่ใช้เฟรมเบคอน สำหรับเครือข่ายที่ไม่รองรับการใช้เฟรมเบคอน อุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่ายจะใช้วิธีการส่งคำสั่งการสอบถามมายังอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ เพื่อดำเนินการการเข้าจังหวะเวลา

2.4.5 การรองรับการทำรายการ

อุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์จะทำการส่งแฟล็ก (Flag) ในเฟรมเบคอนเพื่อให้อุปกรณ์ในเครือข่ายทราบว่าข้อมูลคงค้างอยู่ หรืออุปกรณ์ในเครือข่ายสามารถทำการกระตุ้นไปยังอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์เพื่อร้องขอหากมีรายการที่คงค้างอยู่ กระบวนการส่งข้อมูลลักษณะนี้เรียกว่าการส่งผ่านข้อมูลทางอ้อม (indirect transmission) โดยข้อมูลที่บรรจุอยู่ในการส่งผ่านข้อมูลทางอ้อมนั้นจะจัดอยู่ในรูปแบบของการทำรายการ (transaction) อุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์จะต้องมีความสามารถในการจัดเก็บได้อย่างน้อยหนึ่งรายการ และหากอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ได้รับการร้องขอให้ส่งผ่านข้อมูลทางอ้อม แต่มีหน่วยความจำในการจัดเก็บรายการไม่เพียงพอ ก็จะต้องส่งสถานะข้อมูลมากเกินเก็บ (overflow) ออกมา แต่ถ้าอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์มีหน่วยความจำในการจัดเก็บมากกว่าหนึ่งรายการ กระบวนการส่งผ่านรายการไปยังอุปกรณ์เดียวกันจะต้องถูกส่งตามลำดับก่อนหลังด้วย สำหรับรายการที่ถูกเก็บไว้ที่อุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์นานเกินกว่าค่าเวลาการคงอยู่ (persistence time) และไม่มีอุปกรณ์ตัวใดในเครือข่ายดำเนินการร้องขอรายการนั้น ข้อมูลรายการนั้นจะถูกลบทิ้งไป

2.4.6 การส่งผ่าน การรับ และการตอบรับ

2.4.6.1 การส่งผ่าน

ในการส่งผ่านข้อมูล แอดเดรส (address) เป็นส่วนสำคัญในการระบุถึงผู้ส่งและผู้รับ ฟิลด์แอดเดรส (address field) ของผู้ส่งเป็นส่วนระบุแอดเดรสของอุปกรณ์ที่จะทำการส่งเฟรมข้อมูล โดยหากอุปกรณ์ดังกล่าวยังไม่ได้ทำการเข้าร่วมเครือข่าย การระบุแอดเดรสจะต้องใช้แอดเดรสที่มีความยาว 64 บิต แต่ถ้าอุปกรณ์ดังกล่าวได้ทำการเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว จะได้รับอนุญาตให้ใช้แอดเดรสที่มีขนาดสั้น 16 บิต ที่ใช้ได้เฉพาะภายในเครือข่ายที่ได้ทำการเข้าร่วม

- กรณีที่ฟิลด์แอดเดรสของผู้ส่งไม่ได้ระบุข้อมูลไว้ หมายถึงเฟรมข้อมูลนั้นจะถูกส่งมาจากอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ และฟิลด์แอดเดรสของผู้รับ หมายถึงที่อยู่ของอุปกรณ์ผู้รับที่เฟรมข้อมูลนั้นจะต้องถูกนำส่ง ซึ่งอาจใช้ได้ทั้งแอดเดรสแบบ 16 บิตหรือ 64 บิต
- กรณีที่ฟิลด์แอดเดรสของผู้รับไม่ได้ถูกระบุไว้ หมายถึงเฟรมข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ และฟิลด์แอดเดรสของผู้ส่ง หมายถึงแอดเดรสของอุปกรณ์ต้นทางที่ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์
- กรณีที่ฟิลด์แอดเดรสทั้งของผู้รับและผู้ส่งปรากฏในเฟรมชั้น MAC จะต้องทำการเปรียบเทียบค่ารหัสบ่งชี้เครือข่ายของทั้งผู้รับและผู้ส่งว่าตรงกันหรือไม่ หากค่ารหัสบ่งชี้เครือข่ายตรงกันจะมีการระบุแฟล็กในส่วนฟิลด์ควบคุมเฟรมเป็นค่า 1 และค่ารหัสบ่งชี้เครือข่ายก็จะไม่จำเป็นสำหรับการส่งรวมไปในเฟรมข้อมูล แต่ถ้าค่ารหัสบ่งชี้เครือข่ายไม่ตรงกัน ก็จำเป็นจะต้องส่งค่ารหัสบ่งชี้เครือข่ายของทั้งผู้รับและผู้ส่งไปในเฟรมข้อมูลด้วย กรณีที่มีแอดเดรสเพียงค่าเดียวไม่ว่าจะเป็นแอดเดรสของผู้รับหรือแอดเดรสของผู้ส่งจะมีการระบุแฟล็กในส่วนฟิลด์ควบคุมเฟรมเป็นค่า 0 และค่ารหัสบ่งชี้เครือข่ายของแอดเดรสนั้นจะถูกส่งรวมไปในเฟรมข้อมูล

การส่งผ่านเฟรมข้อมูลสำหรับเครือข่ายที่ไม่ใช่เฟรมเบคอน อุปกรณ์ที่จะส่งจะใช้อัลกอริทึมการส่งแบบสุ่มที่ไม่มีสล็อต แต่การส่งผ่านเฟรมข้อมูลสำหรับเครือข่ายที่ใช้เฟรมเบคอน อุปกรณ์ที่จะส่งจำเป็นจะต้องทำ

การค้นหাবেคอนก่อนทำการส่งข้อมูล โดยหากไม่สามารถหাবেคอนได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การส่งจะใช้อัลกอริทึมการส่งแบบสุ่มที่ไม่มีสล็อต และถ้าภายหลังสามารถหাবেคอนพบ เฟรมข้อมูลจะถูกส่งในรูปแบบซูเปอร์เฟรมที่เหมาะสมในลักษณะการเข้าถึงแบบสุ่มที่มีสล็อต นอกจากนี้ในการส่งเฟรมข้อมูล จะมีการบันทึกเลขลำดับข้อมูล (DSN: data-sequence number) ลงในส่วนหัวของเฟรมข้อมูล เพื่อใช้ในการจัดลำดับข้อมูล และใช้ในการตรวจสอบการได้รับเฟรมข้อมูลจากการส่งค้ายืนยันการได้รับเฟรมข้อมูลจากอุปกรณ์ตัวรับ

2.4.6.2 การตอบรับและการปฏิเสธ

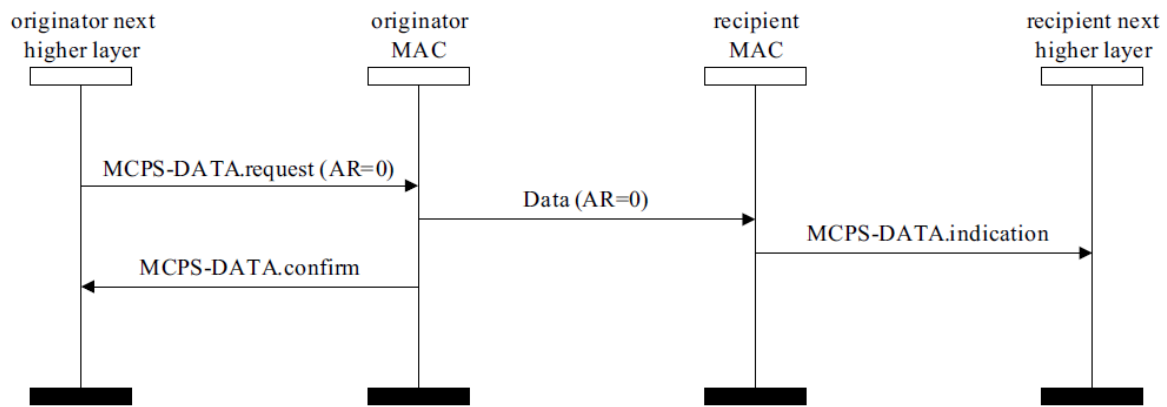
ในช่วงเวลาที่ยังไม่ทำงาน (idle period) อุปกรณ์ตัวรับสัญญาณสามารถเลือกได้ในชั้น MAC ว่าจะให้มีการรับสัญญาณหรือไม่ โดยในชั้น MAC จะมีการติดต่อกับชั้นที่อยู่ด้านบนเพื่อรอรับคำร้องขอต่างๆ เช่น หากมีการร้องขอให้ตอบกลับหากมีข้อมูลส่งมาและอุปกรณ์ตัวรับอยู่ในสภาวะพร้อมรับสัญญาณ อุปกรณ์ตัวรับจะรับและถอดรหัสสัญญาณตามมาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับอุปกรณ์ทุกตัวที่ส่งสัญญาณมาในช่องสัญญาณเดียวกันกับอุปกรณ์ตัวรับ จากนั้นในชั้น MAC จะทำการกรองเฟรมข้อมูลที่ได้รับมาได้ เฟรมข้อมูลที่มีค่าในฟิลด์รหัสตรวจสอบความผิดพลาด (FCS) ไม่ถูกต้องจะถูกทิ้ง และเลือกเพียงเฟรมข้อมูลที่ต้องการเพื่อส่งผ่านไปยังชั้นที่อยู่ด้านบนสำหรับเฟรมข้อมูลที่ได้รับได้แล้วนั้น โดยเฟรมที่ได้รับเป็น

- เฟรมข้อมูลแบบการกระจาย ชั้น MAC จะไม่ส่งค้ายืนยันการได้รับเฟรม
- เฟรมข้อมูลคำสั่งหรือมีการร้องขอการยืนยันการได้รับเฟรม ชั้น MAC จะต้องส่งค้ายืนยันการได้รับเฟรมกลับไปยังอุปกรณ์ตัวส่ง โดยค้ายืนยันการได้รับเฟรมจะมีการบรรจุเลขลำดับข้อมูล (DSN) ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ตัวส่งทราบได้ว่าเฟรมข้อมูลใดที่อุปกรณ์ตัวรับได้รับแล้ว
- เฟรมข้อมูล ชั้น MAC จะทำการส่งต่อเฟรมนั้นไปยังชั้นการสื่อสารถัดไป
- เฟรมคำสั่งหรือเฟรมเบคอน ชั้น MAC จะทำการประมวลผลเฟรมนั้น และอาจส่งการแสดงผลไปยังชั้นการสื่อสารถัดไป

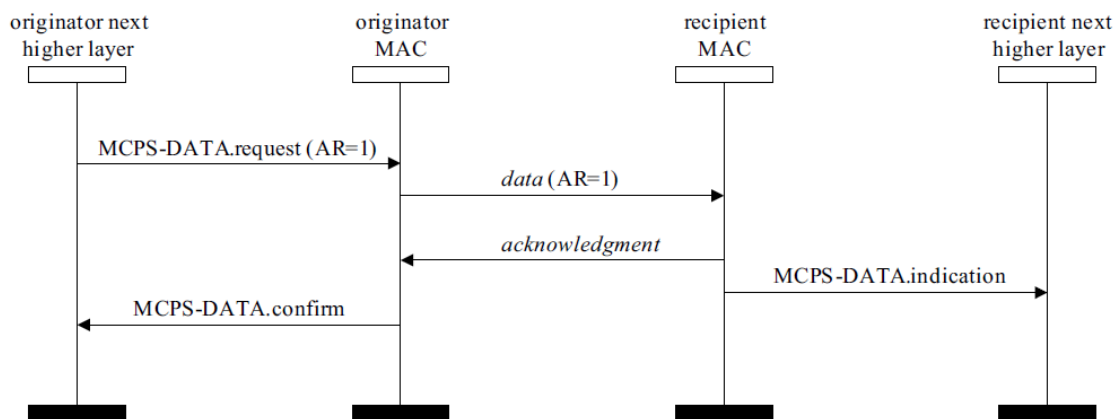
2.4.6.3 การใช้ค้ายืนยันการได้รับเฟรมและการส่งซ้ำ

เฟรมข้อมูลหรือเฟรมคำสั่งในชั้น MAC จะถูกส่งไปพร้อมกับการร้องขอค้ายืนยันการได้รับเฟรมโดยทำการระบุไว้ในส่วนของฟิลด์ควบคุมเฟรม แต่เฟรมเบคอนหรือเฟรมยืนยันการได้รับเฟรมจะถูกส่งไปโดยทำการระบุการร้องขอค้ายืนยันการได้รับเฟรมในส่วนของฟิลด์ควบคุมเฟรมเป็นค่า 0 (MCPS-DATA.request (AR=0)) ในทำนองเดียวกันสำหรับเฟรมใดๆ ที่ถูกส่งในรูปแบบการกระจายจะถูกส่งไปโดยทำการระบุการร้องขอค้ายืนยันการได้รับเฟรมในส่วนของฟิลด์ควบคุมเฟรมเป็นค่า 0 ระบุที่ 14 แสดงรูปแบบการสื่อสารที่มีการส่ง/ไม่ส่งค้ายืนยันการได้รับเฟรม

สำหรับกรณีเฟรมข้อมูลหรือเฟรมคำสั่งในชั้น MAC จะมีการระบุการร้องขอค้ายืนยันการได้รับเฟรมในส่วนของฟิลด์ควบคุมเฟรมให้มีค่าเป็น 1 (MCPS-DATA.request (AR=1)) อุปกรณ์ที่ส่งเฟรมนั้นจะต้องรอการตอบยืนยันการได้รับเฟรมภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ใน macAckWaitDuration ซึ่งหากมีการได้รับค้ายืนยันการได้รับเฟรมในช่วงเวลาที่กำหนด และมีค่าเลขลำดับข้อมูล DSN ที่ถูกต้อง จะถือว่าการส่งเฟรมถูกต้อง



(ก) รูปแบบการสื่อสารที่ไม่มีการส่งคำยืนยันการได้รับเฟรม



(ข) รูปแบบการสื่อสารที่มีการส่งคำยืนยันการได้รับเฟรม

รูปที่ 14 รูปแบบการสื่อสารที่เฟรมถูกส่งสำเร็จ [3]

สมบูรณ์และจะไม่มีดำเนินการใดๆ ต่อ อย่างไรก็ตามถ้าไม่ได้รับคำยืนยันการได้รับเฟรมในช่วงเวลาที่กำหนดหรือคำยืนยันที่ได้รับมีค่าเลขลำดับข้อมูล DNS ไม่ถูกต้อง อุปกรณ์ที่ส่งเฟรมจะพิจารณาว่าการส่งข้อมูลสื่อสารครั้งนี้ล้มเหลว และจะทำการส่งเฟรมซ้ำอีกครั้ง ซึ่งจะต้องทำการส่งในช่วงเวลาการเข้าถึงแบบการแข่งขัน (CAP) หรือช่องเวลาที่แน่นอนที่แบ่งให้แก่อุปกรณ์ ที่ข้อมูลต้นฉบับเคยถูกส่งไปเท่านั้น และหากไม่ได้รับคำยืนยันการได้รับเฟรม หลังจากการส่งซ้ำเท่ากับจำนวนการส่งซ้ำสูงสุดที่ระบุไว้ ชั้น MAC จะพิจารณาว่าการสื่อสารเฟรมไม่ประสบความสำเร็จและจะแจ้งผลการสื่อสารล้มเหลวนี้ไปยังชั้นการสื่อสารชั้นบนต่อไป

2.4.7 การจัดการและการจัดสรร GTS

ช่องเวลาที่แน่นอนที่แบ่งให้แก่อุปกรณ์ GTS เป็นส่วนหนึ่งของช่วงเวลาของซูเปอร์เฟรมที่มีการจัดสรรไว้เป็นพิเศษ อุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์จะเป็นผู้จัดสรรเพื่อใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์และอุปกรณ์ลูกข่ายที่ทำการเชื่อมโยงกับเครือข่ายเท่านั้น ในการจัดสรรช่วงเวลา GTS นั้น อุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์สามารถจัดสรรช่วงเวลา GTS ได้มากกว่าหนึ่งซูเปอร์เฟรม หากข้อมูลที่ต้องทำการสื่อสารมีมากกว่าจำนวนช่วงเวลา GTS ที่จัดสรรไว้ ช่องเวลาที่แน่นอนที่แบ่งให้อุปกรณ์นี้จำเป็นจะต้องจัดสรรไว้ล่วงหน้าก่อนที่จะใช้

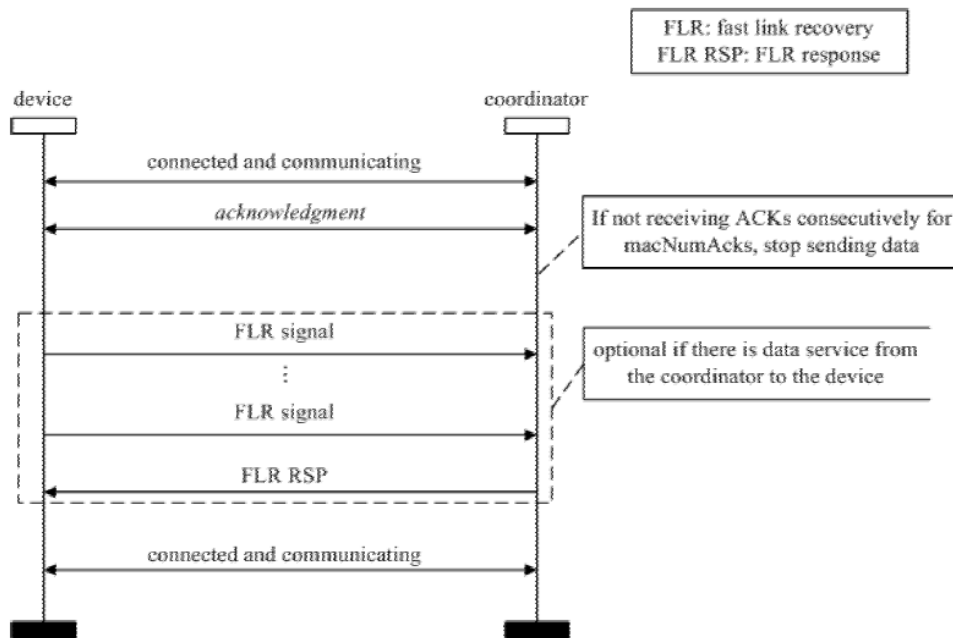
งาน โดยอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์จะพิจารณาจากคำร้องขอของอุปกรณ์ลูกข่าย จากนั้นจึงจัดสรรช่องเวลาที่มียู่ในปัจจุบันที่สามารถใช้งานได้ ในซูเปอร์เฟรม หากมีการร้องขอจากอุปกรณ์ลูกข่ายหลายตัว ก็จะจัดสรรช่องเวลา GTS ให้กับอุปกรณ์ลูกข่ายที่มีการร้องขอก่อน (first-come first-serve) นอกจากนี้ช่องเวลาที่แน่นอนที่แบ่งให้แก่อุปกรณ์นี้ ไม่ได้ถูกจัดสรรในซูเปอร์เฟรมไว้ตลอดเวลา หากไม่มีการร้องขอ อุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ก็จะไม่จัดสรรไว้ในส่วนของแอดเดรสที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ลูกข่ายและอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ สำหรับการสื่อสารในช่องเวลา GTS นั้นจะใช้แอดเดรสแบบสั้นเท่านั้น

การจัดการช่องเวลาที่แน่นอนที่แบ่งให้แก่อุปกรณ์จะทำการจัดการโดยอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์เท่านั้น โดยอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์จะต้องมีทรัพยากรระบบที่เพียงพอสำหรับการจัดการช่องเวลา GTS จำนวน 7 ช่องเวลา GTS โดยแต่ละช่องเวลา GTS จะต้องจัดแบ่งทรัพยากรระบบสำหรับลำดับช่องเริ่มต้น ความยาวช่องเวลาทิศทางการสื่อสารจากอุปกรณ์ลูกข่ายมายังอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ หรือจากอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ไปยังอุปกรณ์ลูกข่าย และแอดเดรสของอุปกรณ์ลูกข่ายที่ทำการสื่อสารในช่องนั้น

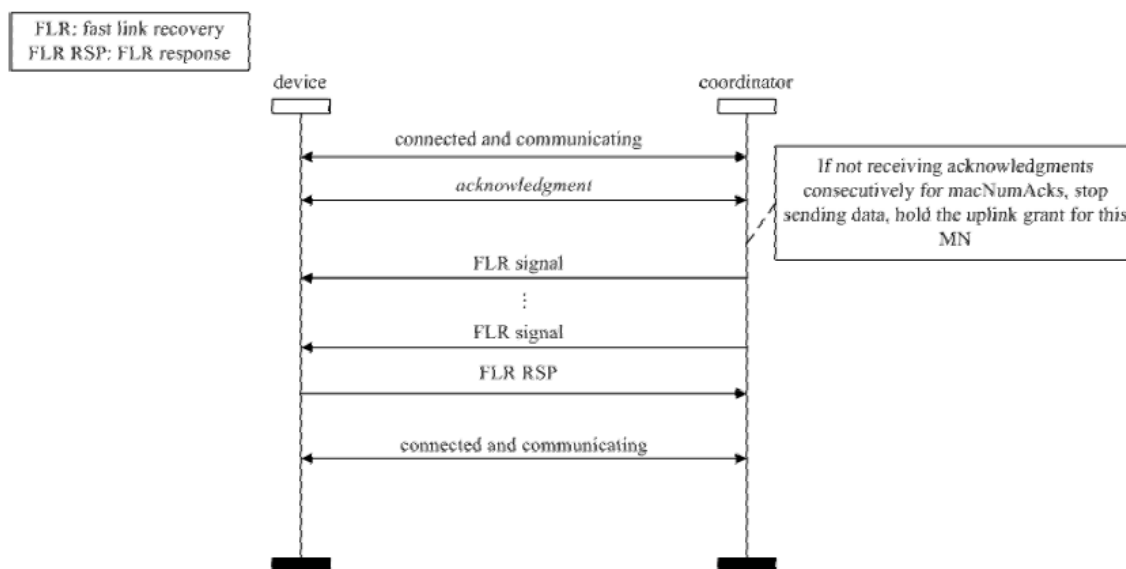
2.4.8 การกู้คืนการเชื่อมต่ออย่างรวดเร็ว

สำหรับการสื่อสารด้วยทอพอโลยีแบบดาว หากการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ลูกข่ายและอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ดำเนินไป โดยอุปกรณ์ลูกข่ายไม่ได้รับคำยืนยันการได้รับเฟรมจากอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์มากกว่าจำนวนครั้งที่กำหนดไว้ใน MAC PIB attribute ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-15 โดยมีค่าตั้งต้นเท่ากับ 3 (macNumAcks = 3) อุปกรณ์ลูกข่ายจะเริ่มกระบวนการการกู้คืนการเชื่อมต่ออย่างรวดเร็ว (FLR: fast link recovery) ซึ่งจะเริ่มด้วยการส่งสัญญาณ FLR ไปยังอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ซ้ำๆ โดยหากอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ได้รับสัญญาณ FLR จากอุปกรณ์ลูกข่าย อุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ก็จะส่งสัญญาณตอบรับกลับไปยังอุปกรณ์ผู้ส่ง และการสื่อสารจะถูกเชื่อมโยงกลับคืนมา โดยในขณะที่กระบวนการ FLR ดำเนินการอยู่ อุปกรณ์ลูกข่ายอาจหยุดส่งเฟรมข้อมูลไปยังอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ และหากอุปกรณ์ลูกข่ายไม่ได้รับสัญญาณตอบสนองจากอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ในเวลาที่กำหนดไว้ใน MAC PIB attribute ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 255 โดยมีค่าตั้งต้นเท่ากับ 63 (macLinkTimeOut = 63) ซึ่งอยู่ระหว่างการไม่ได้รับซูเปอร์เฟรม อุปกรณ์ลูกข่ายจะพิจารณาว่าการเชื่อมต่อนั้นขาดลงและไม่สามารถกู้คืนกลับมาได้ รูปที่ 15 แสดงกระบวนการ FLR และเฟรมที่ใช้ใน FLR จะใช้เฟรมคำสั่งที่กำหนดให้ทำการส่งด้วยอัตราความเร็วการสื่อสารที่น้อยที่สุดที่สามารถใช้งานได้ในระบบ

นอกจากนี้หากอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ไม่ได้รับคำยืนยันการได้รับเฟรมจากอุปกรณ์ลูกข่าย การเริ่มกระบวนการ FLR อาจทำจากอุปกรณ์คอร์ติเนเตอร์ได้เช่นกันดังแสดงในรูปที่ 16 และหากการเชื่อมต่ออยู่ในรูปแบบการสื่อสารแบบหลายความยาวคลื่น การส่งสัญญาณ FLR สามารถส่งเฟรมคำสั่งดังกล่าวในแถบความยาวคลื่นอื่นๆ ที่สามารถทำได้ โดยหากมีการตอบสนองจากความยาวคลื่นใด อุปกรณ์ที่เริ่มต้นกระบวนการจะทำการเชื่อมโยงการสื่อสารกลับคืนมาในแถบความยาวคลื่นที่มีการตอบสนองนั้น



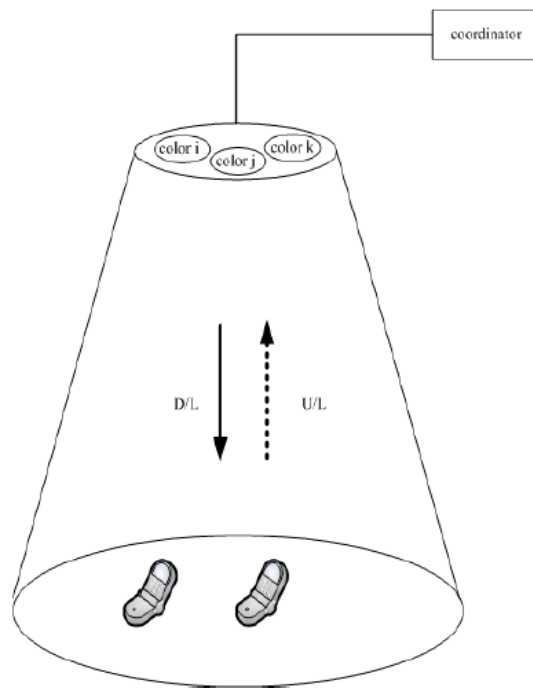
รูปที่ 15 กระบวนการกู้คืนการเชื่อมต่ออย่างรวดเร็วเริ่มต้นจากอุปกรณ์ลูกข่าย [3]



รูปที่ 16 กระบวนการกู้คืนการเชื่อมต่ออย่างรวดเร็วเริ่มต้นจากอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ [3]

2.4.9 การกำหนดทรัพยากรหลายช่องสัญญาณ

ในกรณีที่อุปกรณ์ในเครือข่ายสามารถรองรับการส่งข้อมูลแบบหลายแถบความยาวคลื่น (หรือแบบหลายสี) และอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์มีทรัพยากรไม่เพียงพอสำหรับการให้บริการต่ออุปกรณ์ลูกข่ายใหม่ที่เข้ามาในระบบในเครือข่าย อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์อาจเลือกใช้วิธีการเพิ่มช่องทางการส่งข้อมูลจากแถบความยาวคลื่นเดิมที่ใช้อยู่ไปยังแถบความยาวคลื่นใหม่ได้ ตามที่แสดงในรูปที่ 17 ในทางปฏิบัติแถบความยาวคลื่นที่รองรับตามมาตรฐานมีจำนวน 7 แถบความยาวคลื่น ซึ่งจะถูกระบุความสามารถในการรองรับการใช้งานของอุปกรณ์



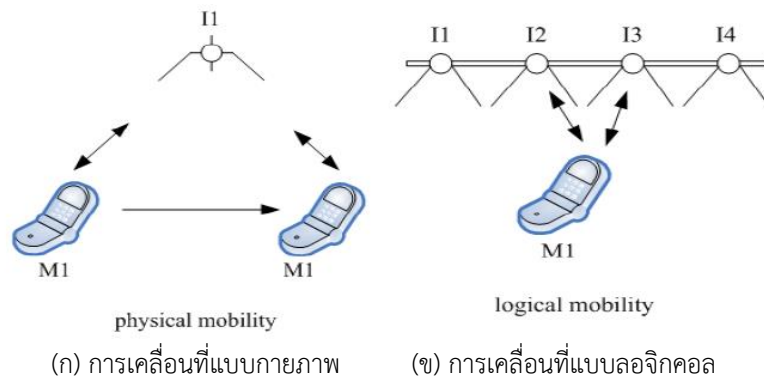
รูปที่ 17 ตัวอย่างอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ที่รองรับการส่งผ่านหลายความยาวคลื่น

ในข้อมูลบิตของคำสั่ง Src_multi_info และ Des_multi_info สำหรับอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์และอุปกรณ์ลูกข่ายตามลำดับ โดยในตำแหน่งบิต 'b0 ... b6' โดยหาค่า '0000000' จะหมายถึงไม่รองรับการส่งผ่านหลายสีหรือหลายแถบความยาวคลื่น แต่หาค่าหนึ่งในบิตใดจะหมายถึงรองรับการส่งผ่านในแถบความยาวคลื่นนั้นๆ เช่น หาค่า '0100001' จะหมายถึงการรองรับแถบความยาวคลื่นที่ 2 และแถบความยาวคลื่นที่ 7 เป็นต้น

การรองรับการส่งผ่านหลายแถบความยาวคลื่นสามารถช่วยหลีกเลี่ยงการแทรกสอด (interference avoidance) ระหว่างอุปกรณ์ได้ โดยใช้เทคนิคการฮอปแถบความถี่ (band hopping) ถ้าอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ตรวจพบการแทรกสอดระหว่างอุปกรณ์ข้างเคียงที่ใช้แถบความถี่เดียวกัน ก็จะสามารถใช้เทคนิคการฮอปแถบความถี่เพื่อลดผลกระทบได้ ซึ่งจะต้องทำการกำหนดรูปแบบการฮอปแถบความถี่ไว้ล่วงหน้า และทำการส่งข้อมูลรูปแบบการฮอปจากอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ไปยังอุปกรณ์ลูกข่ายผ่านเฟรมคำสั่ง MAC แต่หากระบบไม่รองรับการส่งผ่านหลายแถบความยาวคลื่น เทคนิคการฮอปแถบความถี่ก็จะใช้งานไม่ได้ นอกจากนี้รูปแบบการฮอปที่ใช้ต้องไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของแสงจนสามารถสังเกตเห็นได้ เช่นการฮอประหว่างแสงสีขาวที่สร้างจากแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) จะต้องเลือกสัดส่วนเวลาและสีของการฮอปที่เหมาะสมเพื่อให้แสงที่ถูกสร้างขึ้นยังคงเป็นสีขาว

2.4.10 การออกแบบเซลล์การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นและการรองรับการเคลื่อนที่

อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์หนึ่งตัวสามารถรองรับอุปกรณ์การกระจายแสงได้หลายตัว โดยจะเรียกอุปกรณ์การกระจายแสงแต่ละตัวว่าเซลล์ (cell) ซึ่งจะใช้การส่งผ่านข้อมูลการสื่อสารในแต่ละเซลล์เพื่อให้บริการที่ใช้



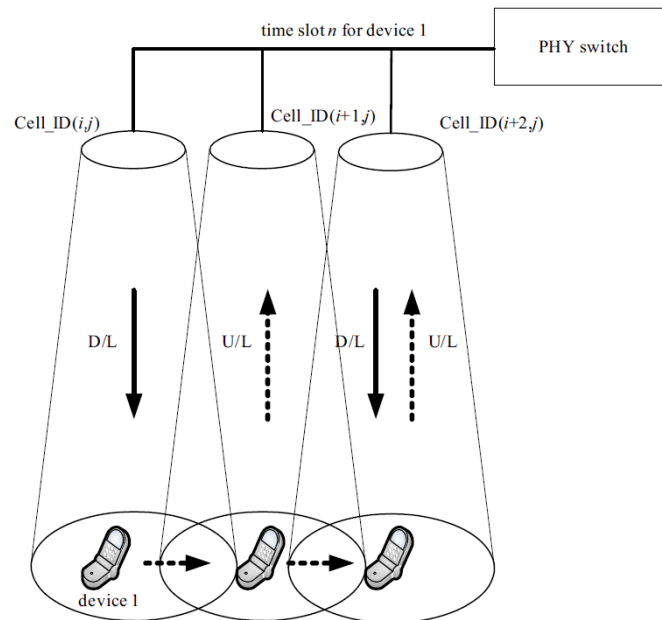
รูปที่ 18 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ลูกข่าย

การอ้างอิงตำแหน่งของอุปกรณ์ลูกข่าย เช่น การระบุตำแหน่งหรือใช้แก้ปัญหาจากการแทรกสอดระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้แสงในแถบความถี่เดียวกันได้ ในการออกแบบเซลล์การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น (VLC) จำเป็นต้องออกแบบให้รองรับการสลับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเซลล์ที่อาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ลูกข่าย โดยการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ลูกข่ายสามารถแยกได้เป็น 2 ลักษณะคือ (ตามรูปที่ 18)

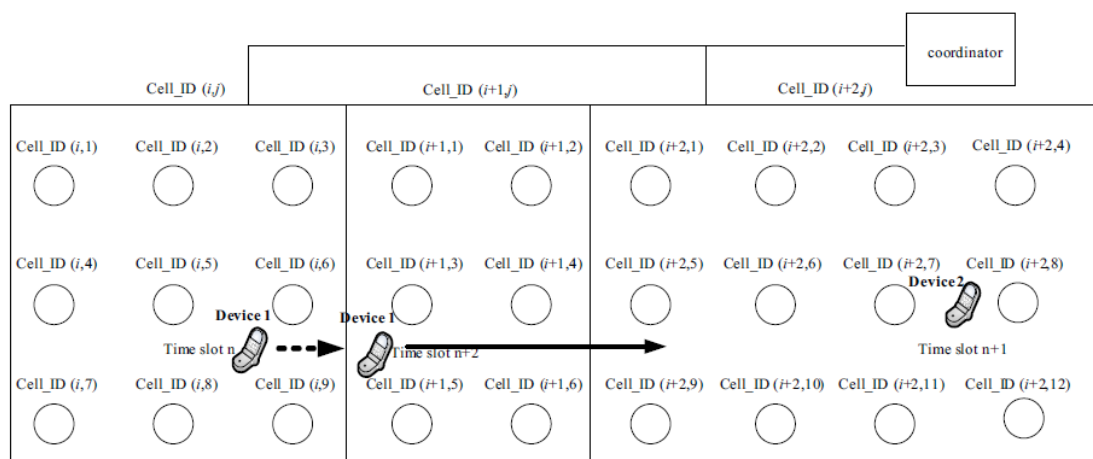
- การเคลื่อนที่แบบกายภาพ (physical mobility) อุปกรณ์ลูกข่ายมีการเปลี่ยนตำแหน่งหรือมีการเคลื่อนที่แต่อยู่ภายในรัศมีการสื่อสารของเซลล์ในอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ตัวเดิม
- การเคลื่อนที่แบบลอจิกคอล (logical mobility) อุปกรณ์ลูกข่ายไม่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง แต่มีการเปลี่ยนการสื่อสารจากเซลล์ในอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์หนึ่งไปยังเซลล์อื่น

ในการจัดการเซลล์ของอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะดำเนินการควบคุมสวิตช์กายภาพ (PHY switch) ผ่านเอนทิตีควบคุมอุปกรณ์ DME ตามรูปที่ 19 โดยอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะระบุอุปกรณ์กำเนิดแสงแต่ละเซลล์ด้วยค่า $cell_ID(i,j)$ โดย j หมายถึงลำดับของอุปกรณ์กำเนิดแสงในเซลล์ i ซึ่งหากอุปกรณ์ลูกข่ายมีการเคลื่อนที่จาก $cell_ID(i,j)$ มายัง $cell_ID(i+1,j)$ อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะสามารถตรวจจับการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ลูกข่ายได้จากสัญญาณที่ส่งจากอุปกรณ์ลูกข่ายมายังเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น เฟรมยืนยันการตอบรับ เป็นต้น

ในส่วนของซูเปอร์เฟรม การสื่อสารของอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะต้องรองรับการสลับระหว่างเซลล์ โดยจะต้องจัดสรรช่องเวลาสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัวด้วย เช่น ตัวอย่างในรูปที่ 20 แสดงอุปกรณ์ลูกข่ายตัวหนึ่งมีการเคลื่อนที่ตำแหน่งจากที่เคยสื่อสารใน $cell_ID(i,j)$ มายัง $cell_ID(i+1,j)$ และอาจเคลื่อนที่ไปยังเซลล์อื่น ก่อนทำการส่งเฟรมข้อมูลสื่อสารกลับไปยังอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ ดังนั้นอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์อาจไม่ได้รับเฟรมยืนยันการได้รับข้อมูลจากลูกข่ายที่เซลล์ $cell_ID(i,j)$ อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะดำเนินการค้นหาลูกข่ายที่ขาดการติดต่อในเซลล์ข้างเคียง เช่น $cell_ID(i-1,j)$ และ $cell_ID(i+1,j)$ โดยใช้ช่องเวลาเดิมที่กำหนดไว้สำหรับอุปกรณ์ลูกข่ายตัวดังกล่าวในซูเปอร์เฟรม ส่วนอุปกรณ์ลูกข่ายตัวอื่นที่อยู่ใน $cell_ID(i,j)$ ยังคงทำการสื่อสารกับอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ผ่านช่องเวลาที่ได้ถูกจัดสรรไว้เดิมในซูเปอร์เฟรม จากผลการค้นหาของอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ หากพบอุปกรณ์ลูกข่ายที่ขาดการติดต่อใน $cell_ID(i+1,j)$ อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์จะกู้คืนการสื่อสารกับอุปกรณ์ลูกข่ายและทำการจัดสรรช่องเวลาในซูเปอร์เฟรมสำหรับ $cell_ID(i+1,j)$ พร้อมทั้งเอนทิตีควบคุม



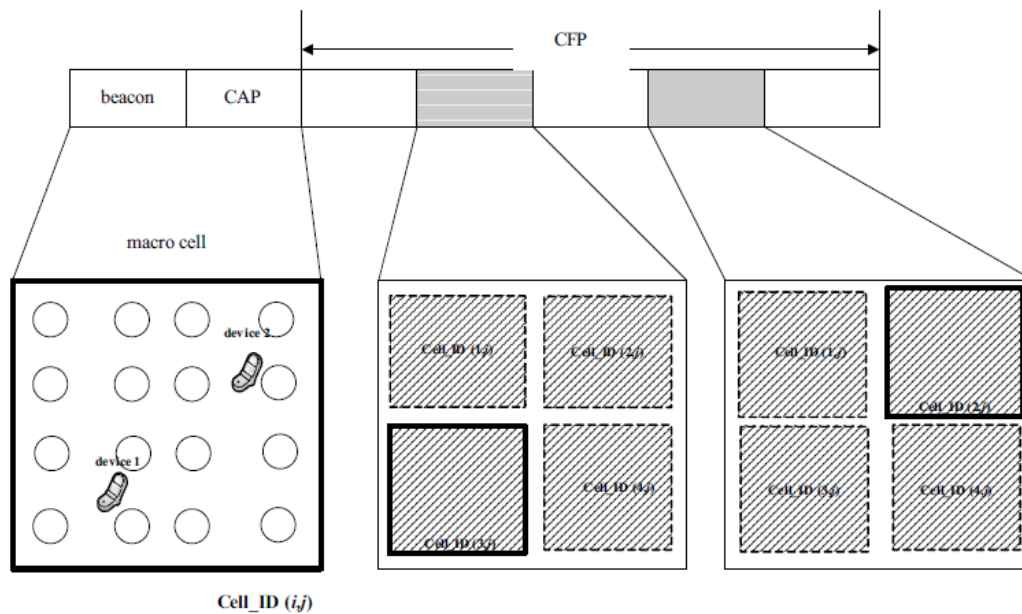
รูปที่ 19 การควบคุมสวิตช์กายภาพผ่านเอนทีที่ควบคุมอุปกรณ์ DME



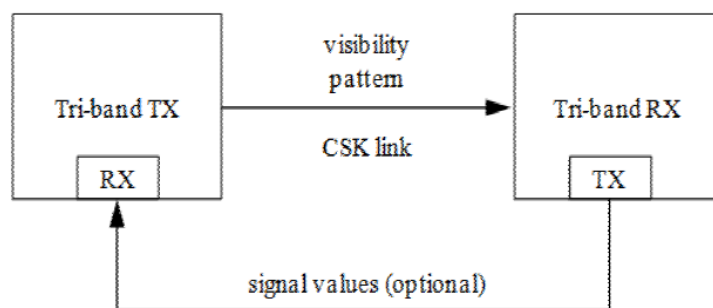
รูปที่ 20 การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ลูกข่ายและการควบคุม

อุปกรณ์ DME จะทำการเลือกสวิตช์กายภาพมายัง $cell_ID(i+1,j)$ สำหรับอุปกรณ์ลูกข่ายที่เคลื่อนที่มาที่เซลล์นี้ จากนั้นจะทำการสวิตช์กลับไปยัง $cell_ID(i,j)$ เพื่อให้บริการแก่อุปกรณ์ลูกข่ายที่ยังทำงานอยู่ในเซลล์ $cell_ID(i,j)$ ในช่วงเวลาอื่นๆ ในซูเปอร์เฟรม แต่หากการค้นหามิพบอุปกรณ์ลูกข่ายในเวลาที่กำหนด อุปกรณ์ลูกข่ายนั้นจะถูกยกเลิกการเชื่อมต่อจากเครือข่ายนั้น

ในการออกแบบให้อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์สามารถรองรับอุปกรณ์ลูกข่ายที่อาจต้องการเข้าร่วมกับเครือข่าย ในช่วงเวลาการส่งเบคอนและช่วงเวลาการเข้าถึงแบบการแข่งขัน (CAP) จะต้องกำหนดให้อุปกรณ์กระจายแสงทุกตัวในทุกเซลล์ทำการส่งสัญญาณเดียวกันทั้งหมด เมื่ออุปกรณ์ลูกข่ายทั้งหมดถูกนำเข้าร่วมเครือข่ายและระบุตำแหน่งในแต่ละเซลล์แล้ว โครงสร้างของช่วงเวลาปลอดการแข่งขัน (CFP) ในซูเปอร์เฟรม จะถูกจัดสรรสำหรับอุปกรณ์ลูกข่ายแต่ละตัวดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 21



รูปที่ 21 การจัดโครงสร้างของซูเปอร์เฟรมเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ลูกข่าย



รูปที่ 22 การส่งสัญญาณข้อมูลสีกลับไปยังอุปกรณ์กำเนิดแสงเพื่อสร้างเสถียรภาพสี

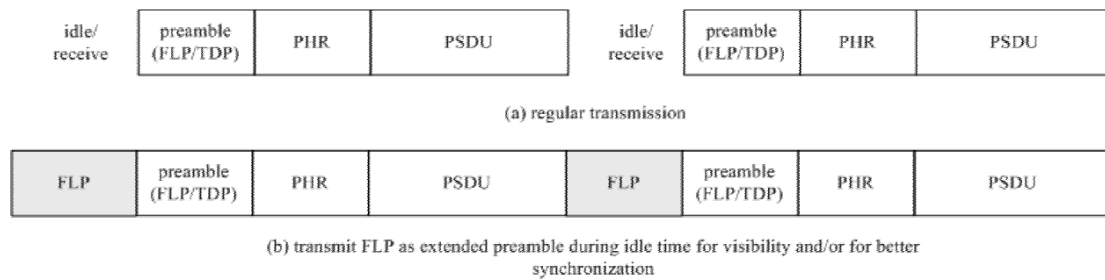
2.4.11 การรองรับฟังก์ชันการแสดงผลสี

นอกจากการส่งเฟรมเพื่อสื่อสารข้อมูลและคำสั่ง การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นยังมีการรองรับฟังก์ชันการแสดงผลสี (color function support) ตามสถานะของอุปกรณ์ด้วย เช่น อุปกรณ์กำเนิดแสงจะแสดงสีที่แตกต่างระหว่างกระบวนการสแกนหาเครือข่าย การขอเข้าร่วมเครือข่าย การออกจากเครือข่าย ในขณะที่ส่งหรือรับข้อมูล หรือแสดงถึงคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับโดยมีความเข้มของสีที่แตกต่างกัน เป็นต้น

อีกประการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการกำเนิดแสงจากแหล่งกำเนิดหลายสีคือ การสร้างเสถียรภาพของสี (color stabilization) โดยอุปกรณ์ในเครือข่ายจะมีการส่งข้อมูลสีที่ได้รับกลับไปยังอุปกรณ์กำเนิดแสงเพื่อปรับให้เกิดเสถียรภาพในการสร้างสี ตามรูปที่ 22

2.4.12 การรองรับการมองเห็นและการปรับหรี่

มาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นรองรับการรองรับการมองเห็นและการปรับหรี่ (visibility and dimming support) เพื่อหลายวัตถุประสงค์ เช่น การค้นหาอุปกรณ์ในเครือข่ายและการสร้างการเชื่อมต่อ การ



รูปที่ 23 การเติมข้อมูลในรูปแบบพิเศษ FLP ในช่วงว่างระหว่างเฟรม

ส่องสว่างพื้นที่ใช้งาน และการกระพริบเพื่อให้ทราบสถานะของการออกจากเครือข่าย เป็นต้น รูปแบบของความเข้มแสงที่มองเห็นจะถูกกำหนดจากค่า PHY PIB attributes *phyDim* โดยจะส่งเป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็มระหว่าง 0 – 1000 โดยค่า 0 หมายถึงไม่มีการส่องสว่างหรือไม่มีค่าความเข้มแสง และค่า 1000 หมายถึงค่าความเข้มแสงสูงสุดของอุปกรณ์กำเนิดแสง

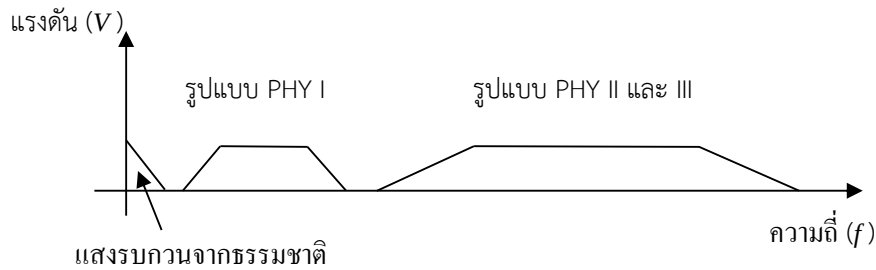
โดยปกติการส่งเฟรมข้อมูลจะมีทั้งการส่ง หยุดส่ง หรืออยู่ในสถานะผู้รับ ค่าความเข้มแสงที่อุปกรณ์กำเนิดแสงสร้างขึ้นอาจมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นการเติมข้อมูลในรูปแบบพิเศษที่เรียกว่า FLP (fast locking pattern) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Preamble (ซึ่งมีรูปแบบข้อมูลคือ 1010...) ในช่วงว่างระหว่างเฟรมตามรูปที่ 23 ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมค่าความเข้มแสงได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้การส่งข้อมูล FLP ในช่วงว่างระหว่างเฟรมของการสื่อสารด้วยทอพอโลยีแบบดาวจะทำให้อุปกรณ์ลูกข่ายสามารถทราบได้ว่า อุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์มีช่องว่างเวลาใดบ้างจากการตรวจจบบรูปแบบของสัญญาณที่ส่งมาจากอุปกรณ์คอร์ดิเนเตอร์ โดยหากตรวจพบรูปแบบที่แสดงว่าเป็นช่วงเวลาว่าง อุปกรณ์ลูกข่ายจะสามารถส่งข้อมูลไปยังช่วงเวลาดังกล่าวได้

นอกเหนือจากการปรับหรือความเข้มแสงของอุปกรณ์กำเนิดแสงจากการกำหนดจากค่า PHY PIB attributes *phyDim* แล้ว หากการสื่อสารมีความจำเป็นต้องปรับค่าความเข้มแสงให้มีค่าสูงสุด จะสามารถทำการเปลี่ยนสิทธิ์การควบคุมการปรับได้โดยกำหนดจากค่า PHY PIB attributes *macDimOverrideRequest* เพื่อสั่งให้อุปกรณ์กำเนิดแสงสร้างค่าความเข้มแสงสูงสุด โดยเมื่อดำเนินการเสร็จสิ้น ก็จะมีการเปลี่ยนสิทธิ์การควบคุมกลับคืน (นั่นคือ การปรับหรือจะสามารถทำได้จาก *phyDim* เช่นเดิม)

2.5 ชั้นกายภาพ

2.5.1 รูปแบบชั้นกายภาพ

การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นตามมาตรฐาน IEEE 802.15.7 มีการกำหนดชั้นกายภาพเป็น 3 รูปแบบและมีสเปกตรัมในสถานะการกล้าสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 24 ทั้งนี้รูปแบบกายภาพทั้งสามไม่สามารถที่จะทำงานร่วมกันได้ การเลือกใช้งานต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม เนื่องจากการใช้แถบสเปกตรัมที่ต่างกัน และมีการกำหนดอัตราความเร็วในการสื่อสารและอัตราความเร็วของสัญญาณนาฬิกาทางแสง (optical clock rate) ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 24 สเปกตรัมในสถานะการกล้าสัญญาณของชั้นกายภาพสามรูปแบบ [3]

- รูปแบบ PHY I ใช้กับงานประยุกต์ภายนอกอาคารที่ต้องการความเร็วในการสื่อสารไม่สูงนัก (ประมาณหลักร้อย kbps) รูปแบบนี้จะใช้เทคนิคการกล้าสัญญาณแบบ OOK (on-off keying) และเทคนิคการกล้าสัญญาณแบบ VPPM (variable pulse position modulation) โดยมีการกำหนดมาตรฐานตามที่แสดงในตารางที่ 1
- รูปแบบ PHY II ใช้กับงานประยุกต์ภายนอกอาคารที่ต้องการความเร็วในการสื่อสารระดับกลาง (ประมาณหลักสิบ Mbps) รูปแบบนี้จะใช้เทคนิคการกล้าสัญญาณแบบ OOK และเทคนิคการกล้าสัญญาณแบบ VPPM เช่นกัน โดยมีการกำหนดมาตรฐาน ตามตารางที่ 2
- รูปแบบ PHY III ใช้กับงานประยุกต์ที่มีจำนวนตัวรับและตัวส่งหลายตัว และความเร็วของการสื่อสารอยู่ในช่วงประมาณหลักสิบ Mbps รูปแบบนี้จะใช้เทคนิคการกล้าสัญญาณแบบ CSK (color-shift keying) โดยมีการกำหนดมาตรฐาน ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 1 มาตรฐานชั้นกายภาพในรูปแบบที่ 1 (PHY I)

Modulation	RLL code	Optical clock rate	FEC		Data rate
			Outer code (RS)	Inner code (CC)	
OOK	Manchester	200 kHz	(15,7)	1/4	11.67 kb/s
			(15,11)	1/3	24.44 kb/s
			(15,11)	2/3	48.89 kb/s
			(15,11)	none	73.3 kb/s
			none	none	100 kb/s
VPPM	4B6B	400 kHz	(15,2)	none	35.56 kb/s
			(15,4)	none	71.11 kb/s
			(15,7)	none	124.4 kb/s
			none	none	266.6 kb/s

ตารางที่ 2 มาตรฐานชั้นกายภาพในรูปแบบที่ 2 (PHY II)

Modulation	RLL code	Optical clock rate	FEC	Data rate
VPPM	4B6B	3.75 MHz	RS(64,32)	1.25 Mb/s
			RS(160,128)	2 Mb/s
		7.5 MHz	RS(64,32)	2.5 Mb/s
			RS(160,128)	4 Mb/s
			none	5 Mb/s
OOK	8B10B	15 MHz	RS(64,32)	6 Mb/s
			RS(160,128)	9.6 Mb/s
		30 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
			RS(160,128)	19.2 Mb/s
		60 MHz	RS(64,32)	24 Mb/s
			RS(160,128)	38.4 Mb/s
		120 MHz	RS(64,32)	48 Mb/s
			RS(160,128)	76.8 Mb/s
			none	96 Mb/s

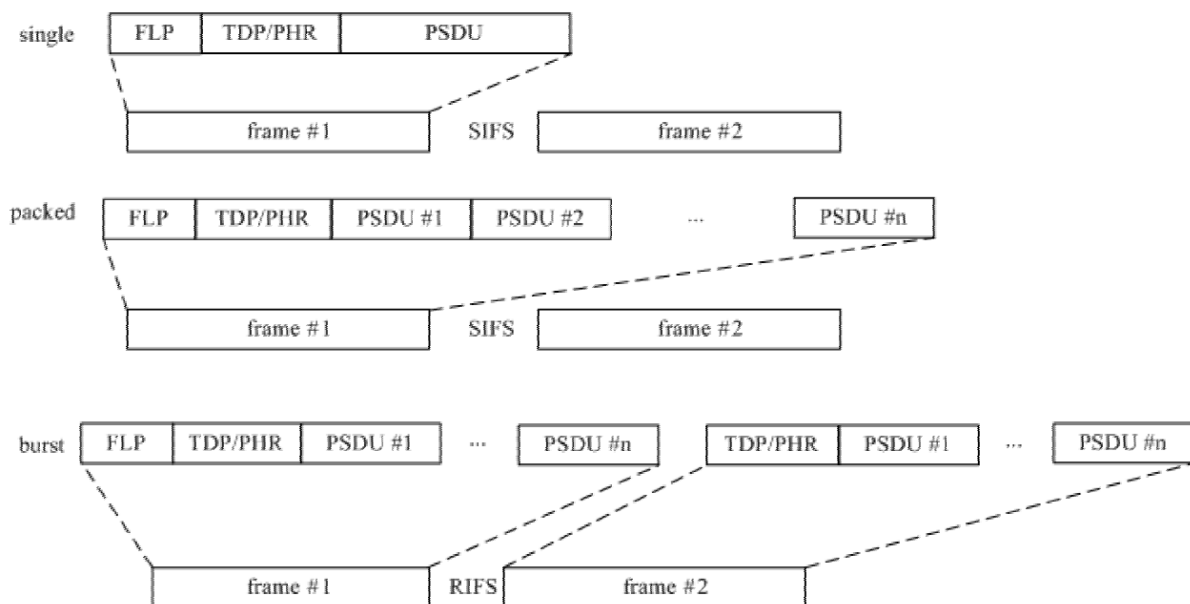
ตารางที่ 3 มาตรฐานชั้นกายภาพในรูปแบบที่ 3 (PHY III)

Modulation	Optical clock rate	FEC	Data rate
4-CSK	12 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	18 Mb/s
4-CSK	24 MHz	RS(64,32)	24 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	36 Mb/s
16-CSK		RS(64,32)	48 Mb/s
8-CSK		none	72 Mb/s
16-CSK		none	96 Mb/s

ในการกำหนดการใช้แถบความยาวคลื่นสำหรับการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 380 – 780 nm และมีการกำหนดรหัสแถบความยาวคลื่นและความกว้างของสเปกตรัมไว้จำนวน 7 แถบ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งรหัสแถบความยาวคลื่นจะถูกระบุไว้ที่ส่วนหัวของเฟรม เพื่อระบุคุณสมบัติของช่องทางการสื่อสารด้วย

ตารางที่ 4 รหัสแถบความยาวคลื่นและความกว้างของสเปกตรัม

Wavelength (nm)		Spectral width (nm)	Code
380	478	98	000
478	540	62	001
540	588	48	010
588	633	45	011
633	679	46	100
679	726	47	101
726	780	54	110
Reserved			111

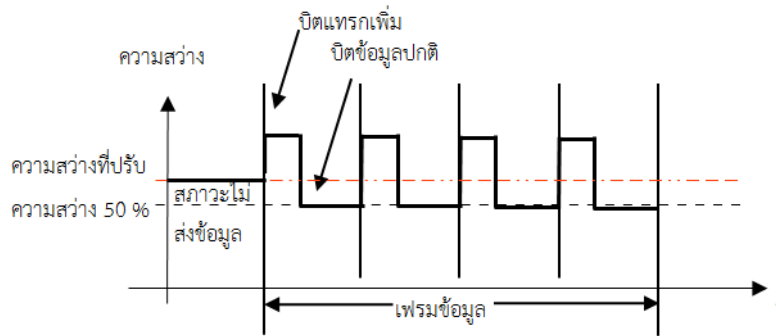


รูปที่ 25 โหมดการสื่อสารข้อมูลแบบ (ก) ซิงเกิล, (ข) แพ็กเก็ต, และ (3) เบิร์สต์

2.5.2 โหมดการส่งข้อมูล

ชั้นกายภาพสามารถรองรับการส่งผ่านข้อมูลสามรูปแบบหลักคือ

- 1) ซิงเกิลโหมด (single mode) จะส่งข้อมูลเพียงหน่วยเดียวต่อเฟรมข้อมูล
- 2) แพ็กเก็ตโหมด (packet mode) จะส่งข้อมูลหลายหน่วยภายในเฟรมข้อมูลเดียว โดยการส่งรูปแบบนี้จะได้ค่าทราฟฟิค (throughput) มากกว่าการส่งแบบซิงเกิลโหมด
- 3) เบิร์สต์โหมด (burst mode) จะส่งข้อมูลหลายหน่วยภายในเฟรมข้อมูลเดียว และส่งหลายเฟรมติดต่อกัน โดยจะลดระยะเวลาการเว้นระหว่างเฟรมให้ลดลงกว่าการส่งแบบแพ็กเก็ตโหมด รูปแบบการส่งข้อมูลทั้งสามโหมดแสดงในรูปที่ 25



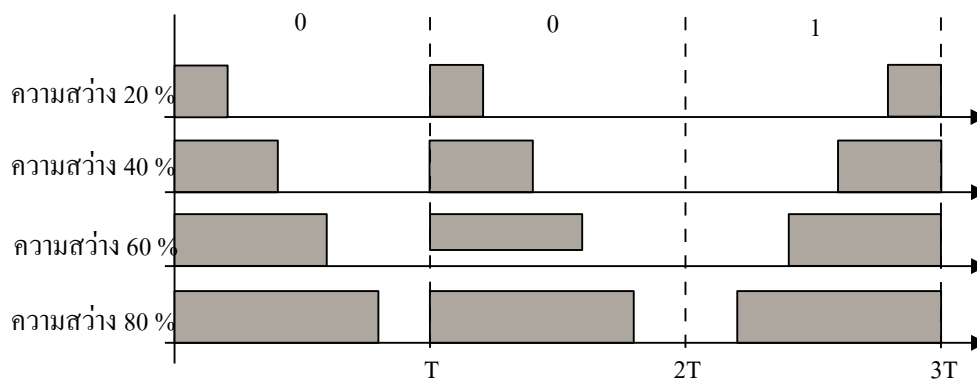
รูปที่ 26 การปรับค่าความสว่างสำหรับใช้ในกรณีทีกล้ำ OOK [3]

2.5.3 การหรี่แสงและการลดผลกระทบจากการกระพริบ

ในทางปฏิบัติถ้าใช้การกล้ำสัญญาณแบบเดียวกันทั้งในสภาวะทำงานและสภาวะไม่ทำงาน ก็จะทำให้เกิดการกระพริบของแหล่งกำเนิดแสงได้ เนื่องจากพลังงานที่ป้อนให้แก่แหล่งกำเนิดแสงจะมีค่าผันผวนมาก ดังนั้นเพื่อลดการกระพริบและสามารถปรับค่าความสว่างได้ จำเป็นต้องมีการส่งเฟรมรูปแบบเฉพาะสำหรับสภาวะไม่ทำงาน (idle Pattern) ให้ในช่วงที่อยู่ในสภาวะการรับสัญญาณหรือสภาวะไม่ทำงานสำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ส่องสว่างภายในอาคาร โดยเมื่อข้อมูลถูกส่ง คลื่นแสงจะถูกกล้ำส่งเป็นคลื่นสัญญาณพัลส์ แต่ในช่วงสภาวะไม่ทำงานคลื่นแสงจะไม่ถูกกล้ำด้วยข้อมูลข่าวสาร ช่วงสภาวะไม่ทำงานนี้จะถูกแทนที่ด้วยเฟรมรูปแบบเฉพาะสำหรับสภาวะไม่ทำงาน เพื่อให้คลื่นแสงมีรูปแบบต่อเนื่อง เหมือนถูกกล้ำเป็นคลื่นสัญญาณพัลส์ หรืออาจแทนที่ด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะทำให้มีการกระพริบน้อย และเมื่อต้องการลดความสว่างลง ก็จะสามารถทำได้โดยการลดค่า duty cycle (duty cycle) หรือความกว้างของพัลส์ส่ง ทั้งในส่วนข้อมูลและในเฟรมรูปแบบเฉพาะ สำหรับสภาวะไม่ทำงานเพื่อให้มีการกระพริบน้อยสุด

ในกรณีที่เทคนิคการกล้ำสัญญาณแบบ OOK ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่า duty cycle หรือความกว้างของพัลส์ได้ เนื่องจากการกล้ำสัญญาณแบบ OOK จะส่งรหัสพัลส์แบบแมนเชสเตอร์ (Manchester coding) ซึ่งจะมีค่า duty cycle ของสัญญาณแบบสมมาตร การปรับค่าความสว่างจึงต้องใช้เทคนิคการแทรกบิตเพิ่มเติมลงในแต่ละช่วงเฟรมข้อมูล โดยหากต้องการเพิ่มค่าความสว่าง จะสามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดของบิตที่เพิ่มเติมเข้ามานั้นให้มีความมากกว่าค่าเฉลี่ยดังแสดงในรูปที่ 26

การปรับค่าความสว่างเมื่อใช้เทคนิคการกล้ำสัญญาณแบบ VPPM สามารถแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นจากสภาวะที่อาจเปลี่ยนไปของแหล่งกำเนิดแสงได้ หากมีการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของสัญญาณ เทคนิคการกล้ำสัญญาณแบบ VPPM จะไม่เปลี่ยนแปลงค่าขนาดของรูปคลื่น แต่จะทำการเปลี่ยนตำแหน่งของพัลส์ และปรับค่าความสว่างด้วยการเปลี่ยนแปลงความกว้างพัลส์ เช่น ตัวอย่างการกล้ำ VPPM ชนิด 2-PPM จะแสดงค่าของบิต 0 และบิต 1 ด้วยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งพัลส์ โดยยังคงมีค่าความกว้างของพัลส์เท่ากัน และเมื่อต้องการปรับเปลี่ยนค่าความสว่างให้มากขึ้น ก็สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนค่าความกว้างของพัลส์ให้มีความกว้างมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 การปรับค่าความสว่างเมื่อใช้เทคนิคการกล้ำสัญญาณแบบ VPPM

3. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น

ในทางปฏิบัติมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นที่ถูกกำหนดขึ้นมีหลายมาตรฐาน เช่น IEEE 802.15.7 [3], ISO/IEC 17417 [6], และ CP-1223 [1] เป็นต้น โดยแต่ละมาตรฐานมีวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งานและมีการกำหนดรูปแบบโปรโทคอลที่แตกต่างกัน เช่น

- มาตรฐาน CP-1223 จะมุ่งเน้นการสื่อสารที่ใช้ความเร็วต่ำ มีความซับซ้อนน้อย โดยมีการกำหนดความเร็วสัญญาณนาฬิกาแสงที่ 9.6 kHz เพื่อส่งผ่านข้อมูลที่มีความเร็ว 4.8 kbps ด้วยการเข้ารหัสแบบการกล้ำสัญญาณสี่ตำแหน่งพัลส์แบบผกผัน (I-4PPM: inverted 4 pulse position modulation) ก่อนทำการกล้ำสัญญาณแบบ OOK
- มาตรฐาน IEEE 802.15.7 ถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลที่มีความเร็วสูงเพียงพอสำหรับการให้บริการด้านภาพ เสียง และมัลติมีเดียวิดิทัศน์ โดยมีการกำหนดให้สามารถรองรับได้มากกว่าหนึ่งความยาวคลื่น (wavelength) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายทอพอโลยีเครือข่าย (แบบเพียร์ทูเพียร์ แบบสตาร์ และแบบการกระจาย) รวมถึงมีการกำหนดความสามารถให้รองรับการเคลื่อนย้ายจุดเชื่อมต่อ และมีความเข้ากันได้กับโครงสร้างของระบบพื้นฐานการส่องสว่างปกติ คือสามารถทำการปรับลดค่าความสว่างได้โดยไม่เกิดการกระพริบ และมีเสถียรภาพของสีที่ถูกสร้างขึ้นจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีหลายความยาวคลื่น มีโหมดการเข้ารหัสสามโหมดคือ แมนเชสเตอร์ 4B6B และ 8B10B รวมถึงรองรับการกล้ำสัญญาณหลายแบบ เช่น แบบ OOK (on-off keying), แบบปรับเปลี่ยนตำแหน่งพัลส์ (VPPM: variable pulse position modulation), และแบบ CSK (color shift keying)
- มาตรฐาน ISO/IEC 17417 ถูกกำหนดขึ้นให้มีความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลความเร็วสูงเช่นเดียวกับมาตรฐาน IEEE แต่มีระยะทางการสื่อสารในระยะไม่เกิน 10 เซนติเมตรเท่านั้น โดยมีโหมดการเข้ารหัสเพียงสองโหมด คือ
 - โหมด 8B/10B จะกำหนดให้มีค่าดิวิตีไซเคิลที่ 50% ซึ่งจะทำให้การส่องสว่างไม่สามารถปรับค่าความเข้มได้ แต่จะมีความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลสูงกว่า

- โหมด 2B/4B จะสามารถปรับค่าความเข้มแสงได้สามระดับคือ 25%, 50% และ 75% ส่วนการกล้าสัญญาณจะใช้กล้าสัญญาณแบบ OOK เท่านั้น โดยสามารถรองรับความเร็วสัญญาณนาฬิกาแสงที่ 120 MHz และรองรับทอพอโลยีเครือข่ายแบบเพียร์ทูเพียร์

ในส่วนต่อไปนี้จะเสนอแนะในการเลือกมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นไปใช้งาน โดยจะพิจารณาจากความซับซ้อนและประสิทธิภาพของการส่งผ่านข้อมูล ดังนี้

- มาตรฐาน CP-1223 เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับการสื่อสารทิศทางเดียว มีความซับซ้อนต่ำ เช่น การติดตั้งกับอุปกรณ์ส่องสว่างบนเพดานเพื่อส่งข้อมูลพิกัดหรือชื่อของสถานที่ภายในอาคาร การส่งผ่านข้อมูลภาพหรือสิ่งของที่จัดแสดงในพิพิธภัณฑ์ หรือการนำรหัสสำหรับการเปิดปิดประตูบ้านติดตั้งในหลอดไฟหน้ารถยนต์เพื่อการสั่งการเปิดปิดด้วยการควบคุมจากภายในรถยนต์ เป็นต้น
- มาตรฐาน IEEE 802.15.7 มีความซับซ้อนสูงกว่ามาตรฐาน CP-1223 และ ISO/IEC 17417 แต่มีความยืดหยุ่นมากกว่า โดยสามารถส่งผ่านข้อมูลแบบกระจายไปยังหลายตัวรับจากแหล่งกำเนิดแสงเดียวได้ โดยที่อุปกรณ์ตัวรับไม่จำเป็นต้องเข้าร่วมเครือข่ายกับอุปกรณ์ตัวส่ง หรือหากอุปกรณ์เข้าร่วมเครือข่ายแล้วสามารถส่งผ่านข้อมูลได้ทั้งในรูปแบบเพียร์ทูเพียร์และแบบดาว นอกจากนี้ยังรองรับการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ จึงสามารถนำไปใช้ในการเสริมเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลที่มีอยู่ เพื่อให้มีความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลมากยิ่งขึ้นได้ โดยทำการติดตั้งในแหล่งกำเนิดแสงบนเพดาน (โดยยังคงใช้ส่องสว่างได้เช่นเดิม)
- มาตรฐาน ISO/IEC 17417 เหมาะสำหรับการสื่อสารที่มีความเร็วสูง สำหรับการส่งผ่านข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ เช่น การส่งผ่านข้อมูลระหว่างโทรศัพท์มือถือที่ติดตั้งอุปกรณ์การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทำการวางอุปกรณ์ที่ต้องการส่งผ่านข้อมูลไว้ใกล้กัน หรือการส่งผ่านข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมลภาวะทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสูง หรือในเครื่องจักรที่มีการหมุนเคลื่อนไหวดตลอดเวลาที่ไม่เหมาะสำหรับการใช้สายนำสัญญาณ เป็นต้น

ภาคผนวก

มาตรฐาน CP-1223 ของประเทศญี่ปุ่น

JEITA

電子情報技術産業協会規格

Standard of Japan Electronics and Information Technology Industries Association

JEITA CP-1223

可視光ビーコンシステム

Visible Light Beacon System

2013 年 5 月制定

作 成

AV&IT 標準化委員会

AV & IT Standardization Committee

発 行

一般社団法人 電子情報技術産業協会

Japan Electronics and Information Technology Industries Association

目 次

まえがき	1
1 適用範囲	1
2 引用規格及び文書	1
3 用語及び定義	2
4 システム概要	3
4.1 インタフェース点とプロトコル規定	3
4.2 機能	4
5 物理層	5
5.1 搬送波	5
5.2 データ速度	5
5.3 伝送方式	5
5.4 スプリアス	6
5.5 伝送距離	6
5.6 サービスエリア	6
6 フレーム層	6
7 測定方法	8
解説	
1 前記の趣旨	9
2 応用例	9
3 安全性	10
4 フレーム・タイプ、ID、メッセージ・コードの管理	10
5 工業所有権	10
6 審議委員	10

電子情報技術産業協会規格

可視光ビーコンシステム

Visible Light Beacon System

まえがき

この規格は、一般社団法人 電子情報技術産業協会規格 JEITA CP-1221 で規定されている通信方式に基づく、単方向の可視光ビーコンシステムの通信方式について規定するもので一般社団法人 電子情報技術産業協会 AV&IT 標準化委員会の中にある可視光通信対応プロジェクトグループが作成したものである。

可視光ビーコンシステムは身の回りにユビキタスに存在する可視光線から簡単な情報やその可視光線に固有な ID 情報を放射送信させることで、物の識別、位置情報の提供、各種案内システムの構築など、様々な応用を図るものである。本規格はこれらの応用に共通な低位通信レイヤに関する統一規格を制定、共通に利用することを目的とし、個々の応用に依存する上位通信レイヤに関しては取り上げない。

1 適用範囲

本規格は、可視光を媒体とした単方向の通信システム（以下、可視光ビーコンシステムと略称。）について規定するものである。特に図 1 における、可視光ビーコンシステムの中の IF-a（インタフェース点 a）の部分に関する規格を定める。

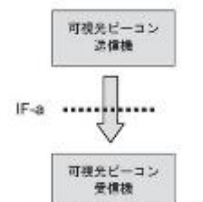


図 1 可視光ビーコンシステム

2 引用規格及び文書

次に挙げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格のうちで、発行年〔日本工業規格（以下、JIS という。）の場合は、発効年〕を付記してあるものは、記載の年の版だけがこの規格の規定を構成するものであって、その後の改正版、Amendment 又は追補には適用しない。発行年（又は発効年）を付記していない引用規格は、その最新版（Amendment・追補を含む）を適用する。

a) JEITA 規格

CP-1221：可視光通信システム

CP-1222：可視光 ID システム

- b) JIS 規格
JIS C7550 : Photobiological safety of lamps and lamp systems
- c) IEC 規格
IEC 62471 : Photobiological safety of lamps and lamp systems
IEC TR 62471-2 : Photobiological safety of lamps and lamp systems
Part2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety

3 用語及び定義

この規格で使用する用語の定義は次のとおりである。

可視光

人間目で見える波長の光で、通信情報の伝送に利用する。

可視光ビーコン送信機

可視光通信規格の可視光信号による ID などの送信機。

可視光ビーコン受信機

可視光通信規格の可視光信号による ID などの受信機。

可視光ビーコンシステム

可視光を搬送波として利用した単方向の通信システム。

ID 解決

ID からその ID に関連付けられた情報の存在を引き出すこと。

ID 解決サーバ

問い合わせられた ID から ID 解決ができるサーバ。

搬送波

通信媒体（有線、無線）を介して情報を伝送するための信号（可変光通信の場合は光）。

変調

通信媒体を介して情報を効率的、速速に伝送できるよう搬送波を情報に応じて加工・変換すること。

復調

受信変調信号からもとの情報を復元すること。

パルス位置変調 (PPM: Pulse Position Modulation)

パルスの存在する時間位置で情報を表す変調方式。

フレーム

一定時間長の連続したパルス挿入位置の繰り返し集合。

ブリアンブル

受信側に受信開始の準備や受信開始の時間位置を知らせる信号。

ペイロード

通信フレーム中でブリアンブル、フレーム形式表示、CRC 等の付加情報の搭載部分を除いた正味データ伝送のために使用できるフレーム部分。

サイクリック・リダンダンシー・チェック (CRC)

送信情報から生成される巡回符号 (cyclic code) を伝送誤り検出のため冗長付加する誤り検出方式。

通信プロトコル

送・受信機器の相互で通信を行う上で決めた約束事（通信手順、通信規則）。

ブレーション

特定の通信サービスを実現するために必要な下位層から上位層までのプロトコル構成の集合。

フラグ

メッセージ情報の開始等、区切り位置を示すための識別ビット列。

エンコード

データを一定の規則に基づいて符号化すること。送信したいデータ列を一定の規則に基づいて伝送に適した形式に変換符号化すること。

4 システム概要

4.1 インタフェース点とプロトコル規定

図 2(a), (b), (c), (d)は、可視光ビーコンシステムのシステム構成図と要素システム間のインタフェース規定点である。

図 2(a)は最も一般的な可視光ビーコンシステム全体の構成（標準構成）である。可視光ビーコン受信機は可視光ビーコン送信機から受信した ID を ID 解決サーバへ送り、目的情報の存在する情報提供サーバのアドレスを取得。これにより情報提供サーバから目的情報を取得する。

図 2(b)は、可視光ビーコン受信機に内蔵する ID 解決表を参照し受信機内で ID 解決を行い、その結果に基づいて情報提供サーバへ直接アクセスし、目的情報を取得するシステム構成（簡易システム構成-1）である。

図 2(c)は、ID 解決表に加えて目的情報をも可視光ビーコン受信機内にあらかじめキャッシングしておき、受信した ID をもとに目的情報を直接選択表示するシステム構成（簡易システム構成-2）である。

図 2(d)は、可視光ビーコン受信機が可視光ビーコン送信機から DATA の配信を直接受けるシステム構成である。

ID は、送信機固有の番号（コード）で、送信機を含む器具の使用期間において基本的に変化しないのに対して、DATA は、送信したい情報により変化する信号で、同一送信機でも変換することがある。

本規定は、これらに共通なインタフェース点 a) について規定するものである。

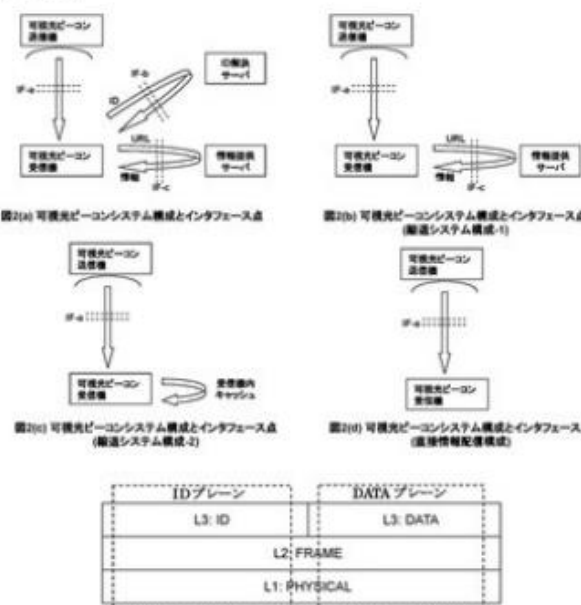


図3—インタフェース点a (IF-a) のプロトコル構成

図3は本規格で規定する上記インタフェース点aのプロトコル構成である。プロトコル構成は、IDを配信するIDブレイクと、IDによらず直接情報を配信するDATAブレイクの2つのブレイクからなる。

このうち、第1層の物理層 (L1: PHYSICAL)、第2層のフレーム層 (L2: FRAME) はIDブレイクとDATAブレイクの両者に共通のレイヤである。第3層は、IDブレイクの場合と直接情報配信を行う場合とで異なる。なお、IDとDATAは同一フレーム内で併送することもできる。

4.2 機能

4.2.1 ID送信機能

可視光ビーコン送信機は、IDを送信することができる。使用するIDのコード体系は選択可能であり、ID解決 (IDからそのIDに関連付けられた情報を引き出す) により、様々なサービスを提供あるいは享受することができる。例として以下のような使い方が想定される。

(1) 機器識別

可視光ビーコン送信機はIDとして、当該機器の商品コード (シリアル番号等も包含可能) を送信する。受信機はID解決により機器を識別し、その機器に関する情報の入手が可能となる。情報としては、メーカー名、製品名、機器の仕様書やマニュアル、消耗品情報、使用履歴等がある。

(2) 位置情報

可視光ビーコン送信機はIDとして、当該機器が設置された場所におけるコード化された地理情報 (位置情報ID) を送信する。受信機はIDの解決により、自分の位置を知ることができる。GPSの利用が困難な建物内や地下街で、現在位置を元にした周辺サービス検索、緊急通報時の発信位置通報機能等を実現できる。また、ロボットが自分の位置を検出する手段としても利用できる。

5 物理層

5.1 搬送波

本システムの搬送波は、JEITA CP-1221 (可視光通信システム規格) に基づき原則としてピーク波長 380 ~ 780 [nm] の可視光線とする。

5.2 データ速度

データ速度は、4.8 [kb/s] とする。

データ速度の公差は0.5%以下とする。

5.3 伝送方式

搬送波である可視光線を強度変調する符号化方式としては、論理反転した4PPM (4-Value Pulse Position Modulation) を使用する。このような変調方式をI-4PPM (Inverted 4PPM) と呼ぶ。図4にI-4PPM光信号波形を示す (注: 図では信号波形を矩形波で記述しているが実際には個々の電子機器としてスプリアス規定等を遵守するため波形整形が必要。図5、7も同様)。図4に示すように、波形の強度各値a、bを定義して、

信号振幅 = $b - a$

変調度 = $(b - a) / b$

とする。

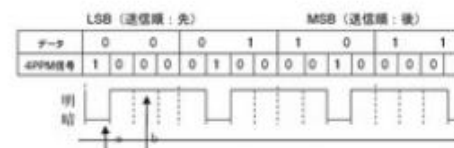


図4—I-4PPM光信号波形

4PPM符号方式について、以下のとおり規定する。

(1) 符号化規則

4PPM符号方式は、シンボル時間 (DT) として定義される一定の時間を4つのスロット (CT) に等分し、1シンボル時間に1つのスロット幅のパルスを送信し、そのパルスの存在スロット時間位置に

割り当てた 2 ビットの情報を送信する。スロット時間位置の符号化規則を図 5 に規定する。ちなみに、
シンボル時間 $D1 = 2^4(1/4800) = 0.416 \text{ [ms]}$
スロット時間 $C1 = D1/4 = 0.104 \text{ [ms]}$
である。

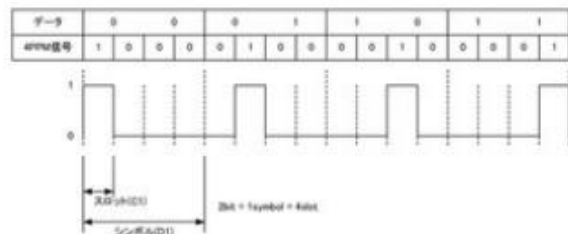


図 5—4PPM

5.4 スプリアス

本項目についての詳細は各応用規格にて規定する。

5.5 伝送距離

本項目についての詳細は各応用規格にて規定する。

5.6 サービスエリア

本項目についての詳細は各応用規格にて規定する。

6 フレーム層

6.1 フレーム構造

フレーム構造を図 6 に示す。各形式のフレームは、共通にフレーム先頭を示すスタート部 (SOF) と情報部 (ペイロード (Payload))、及び終端部 (EOF) から構成される。さらに、スタート部はプリアンブル (PRE)、フレーム・タイプ (F-TYPE)、終端部はサイクリック・リダンダント・チェック (CRC-16) となっている。

SOF (Start of Frame)		Payload	EOF (End of Frame)
PRE (5-bit)	F-TYPE (8-bit)	ID / DATA (125-bit)	CRC-16 (16-bit)

図 6—フレーム構造

6.1.1 プリアンブル (PRE)

データを 4PPM エンコードしても発生しない、3 スロット連続の 1、9 スロット連続の 0 のパターン (12

スロット = 3 シンボル) をプリアンブルとし、フレームの開始位置とする。

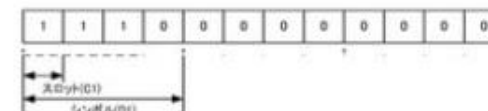


図 7—プリアンブル構造 (4PPM の符号化規則による)

6.1.2 フレーム・タイプ (F-TYPE)

異なる複数体系の ID やコードの使用、又は DATA 送信等を可能とするため、ペイロードの種類を示すコードを 8 ビットで示す。フレーム・タイプのアサインを表 1 に示す。表 1 において「ペイロード自由使用」とは、任意データのペイロード収容を許容するものであり、同じ利用環境においては商用におけるペイロード自由使用も可能である。フレーム・タイプの発行と管理は別に定める (解説参照)。

表 1—フレーム・タイプ

F-TYPE		ペイロード搭載情報
MSB	LSB	
0 0 0 0 0 0 0 0	0	ペイロード自由使用 (試験・開発用)
0 0 0 0 0 0 0 0	1	ペイロード自由使用 (商用)
0 0 0 0 0 0 0 1	0	DATA のみ (予約)
0 0 0 0 0 0 0 1	1	DATA のみ (予約)
0 0 0 0 0 0 1 0	0	DATA のみ (予約)
0 0 0 0 0 0 1 0	1	DATA のみ (予約)
0 0 0 0 0 0 1 1	0	DATA のみ (予約)
0 0 0 0 0 0 1 1	1	DATA のみ (予約)
0 1 1 1 0 1 0 1	1	mode 使用 (ITU-T H.642)、照明器具 (定義: IEC 60950-845, JIS Z 8113)、サーバアクセスによる情報配信、位置情報との紐付けがされている
1 1 1 1 1 1 1 0	0	
1 1 1 1 1 1 1 0	1	
1 1 1 1 1 1 1 1	0	
1 1 1 1 1 1 1 1	1	

6.1.3 ペイロード

128 ビットで構成され ID、DATA、もしくは自由利用の任意データが収容される。

6.1.4 CRC フィールド

CRC フィールド長は 16 ビットとする。受信側でフレーム・データが正しく受け取れたかを判別する。可視光 ID システムは単方向通信であり、再送要求等は行えないため、エラーを検出すると受信データを破棄する。CRC フィールドには、CRC の演算結果を格納する。CRC-16 は次の生成多項式で与えられる。

$$X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$$

CRC の演算範囲はフレーム・タイプとペイロードである。CRC 演算器のレジスタは、送信データ列の CRC 演算前にあらかじめすべて「1」に設定する。

6.1.5 データ送信手順

送信はフレーム単位でフレーム内では時間的に途切れることなく送信する。フレームの送信順序はプリアンプル (PRE)、フレーム・タイプ (F-TYPE)、ペイロード (ID / DATA)、CRC の順で送信する。

データ送信順及び CRC 計算順を図 8 に示す。CRC 演算器には、フレーム・タイプ (F-TYPE) 及びペイロードそれぞれのフィールドの最下位バイトの最下位ビット (LSB) から入力する。図 8 ではそのデータを左から入力する。また、CRC 演算結果はフレーム・タイプとペイロードの出力完了後、16 ビットシフトレジスタにコピーし、出力を 16 ビットシフトレジスタ・シリアル出力に切り替えて出力する。この 16 ビットシフトレジスタは、図 8 において左から出力する。

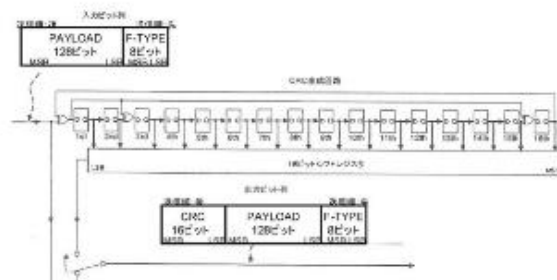


図 8 データ送信順及び CRC 演算順

フレーム間の休止時間は自由である。ただし、端末を人が保持する場合は情報取得時間を短くすることが好ましく、1つのフレームを繰り返した場合、フレームあたり約 0.03 秒で受信することができる。また、フレーム間に休止を設けて断続的な送信を行う場合は、光線のちらつきを防止するためにフレーム送信休止時間においては、L4PPM 形式で“1000”データを挿入するか、信号レベルをフレーム送信時間の信号レベルの平均値

$$b' = a + 3b / 4$$

とすることを推奨する (信号波形の a、b レベルについては 5.3 を参照)。

7 測定方法

可視光通信において、発光素子及び受光素子の特性値を定めるため、あるいは所定の要件を満足しているかどうかを確認するために、あらかじめ決められた測定条件の下で測定を行うことが必要である。具体的な測定条件は、各応用規格にて定める。

一般社団法人 電子情報技術産業協会が発行している規格類は、工業所有権 (特許、実用新案など) に関する抵触の有無に関係なく制定されています。

一般社団法人 電子情報技術産業協会は、この規格類の内容に関する工業所有権に係る確認について、責任はもちません。

JEITA CP-1223

2013 年 6 月発行

発行 一般社団法人 電子情報技術産業協会
コンシューマ・プロダクツ部
〒100-0064 東京都千代田区大手町 1-1-3
TEL 03-5218-1058 FAX 03-5218-1077

印刷 株式会社 オガタ印刷
〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 1-5-6
TEL 03-3264-3155

禁 無 断 転 載

(この規格類の全部又は一部を転載しようとする場合は、発行者の許可を得てください。)

บรรณานุกรม

- [1] JEITA, JEITA visible light communication standards [Retrieved on June 26, 2015 at http://www.jeita.or.jp/cgi-bin/standard_e/list.cgi?ateid=1&subcateid=50].
- [2] S. Haruyama, Japan's visible light communications consortium and its standardization activities [Retrieved on June 26, 2015 at <https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/08/15-08-0061-00-0vlc-japan-s-visible-light-communications-consortium-and-its.pdf>].
- [3] IEEE Computer Society, IEEE standard for Local and metropolitan area networks—Part 15.7: short-range wireless optical communication using visible light (IEEE Std 802.15.7TM-2011). New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011.
- [4] J. P. Holdren and E. Lander, Report to the president realizing the full potential of government-held spectrum to spur economic growth [Retrieved on July 12, 2014 at http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast_spectrum_report_final_july_20_2012.pdf].
- [5] PracTel, Progress in optical wireless communications – VLC and FSO technologies, applications and markets [Retrieved on July 5, 2014 at <http://www.researchandmarkets.com/reports/2813840/progress-in-optical-wireless-communications-vlc>].
- [6] ISO/IEC 2011, International Standard ISO/IEC 17417:2011(E). Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — short distance visible light communication, Geneva: Switzerland.