เทคนิคผลตอบสนองบางส่วนควรจะเป็นมากสุด สำหรับระบบการสื่อสารไร้สายด้วยแสงที่มองเห็นภายในอาคาร

MR. ADISORN KAEWPUKDEE

TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING

FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

NAKHON PATHOM RAJABHAT UNIVERSITY

OUTLINES

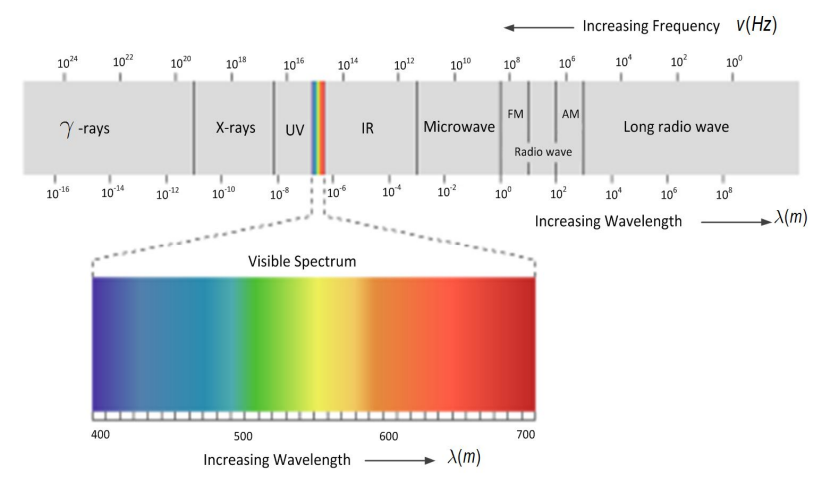
- **Introduction**
- **Visible light communication system**
- **Channel response**
- **LED response**
- **Equalizer Design**
- **Results**
- **Conclusion**

INTRODUCTION

ปัจจุบันเทคโนโลยีการให้แสงสว่างจากแอลอีดี (LED: light emitting diode) เริ่มถูกนำมาแทนหลอดฟูออเรสเซนต์ (florescent lamp) และหลอดอินแคนเดสเซนต์ (incandescent lamp) ที่ให้แสงสว่างภายในอาคาร เนื่องจากมีข้อดีมากมายเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการให้แสงสว่างแบบที่ใช้กันทั่วไป เช่น ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย มีอายุการที่ใช้งานที่ยาวนาน มีขนาดที่เล็ก สามารถตอบสนองความถี่สูงได้ดี และระบายความร้อนได้ดี เป็นต้น

หลอดแอลอีดีสีขาว (white LED) จะกลายเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ นำมาใช้เพื่อให้แสงสว่างภายในอาคารอย่างแพร่หลาย ซึ่งนอกจากให้ความสว่างแล้วยังสามารถนำมาเป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลของการสื่อสารไร้สายด้วยแสงในรูปแบบข้อมูลต่าง ๆ อาทิเช่น ส่งสัญญาณแอนะล็อก ส่งสัญญาณดิจิทัล เป็นต้น รูปแบบการส่งข้อมูลด้วยแสงนี้มีชื่อเรียกว่า การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น (VLC: visible light communication) โดยใช้แอลอีดีสีขาว

INTRODUCTION



- สเปคตรัมแสงที่สามารถมองเห็น มีความยาวคลื่น ประมาณ 400 – 700 นาโนเมตร

นอกจากนี้ยังพบว่าวงจรภาครับแบบที่ใช้กันทั่วไป (conventional receiver) ในระบบ VLC มีลักษณะเป็นแบบแอนะล็อก ซึ่งทำให้การตรวจหาข้อมูลมีสมรรถนะไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบวงจรภาครับโดยใช้เทคนิคผลตอบสนองบางส่วนควรจะเป็นมากสุด (PRML: partial-response maximum-likelihood) ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบดิจิทัล สำหรับระบบการสื่อสารไร้สายด้วยแสงที่มองเห็นภายในอาคาร ซึ่งจากการทดลองในระบบ VLC ภายในอาคารที่ติดตั้งตัวส่งไว้บนเพดานเพื่อแพร่กระจายแสงสว่างให้ทั่วพื้นที่ของห้อง และตัวรับสัญญาณ (โฟโตไอโอด) วางอยู่บนโต๊ะ ณ อัตราการส่งข้อมูลแบบต่าง ๆ พบว่าวงจรภาครับที่นำเสนอมีสมรรถนะดีกว่าวงจรภาครับแบบที่ใช้กันทั่วไป

VLC SYSTEM

- แสดงแบบจำลองของห้องที่มีขนาด 5 x 5 x 3 เมตร โดยตัวส่ง (transmitter) จะใช้หลอดแอลอีดีแบบอาร์เรย์ติดตั้งบนเพดานห้องเพื่อแพร่กระจายแสงสว่างไปบริเวณรอบ ๆ ห้อง และตัวรับ (receiver) จะใช้โฟโตไดโอดที่วางบนโต๊ะทำงานที่สูงจากพื้น 0.85 เมตร

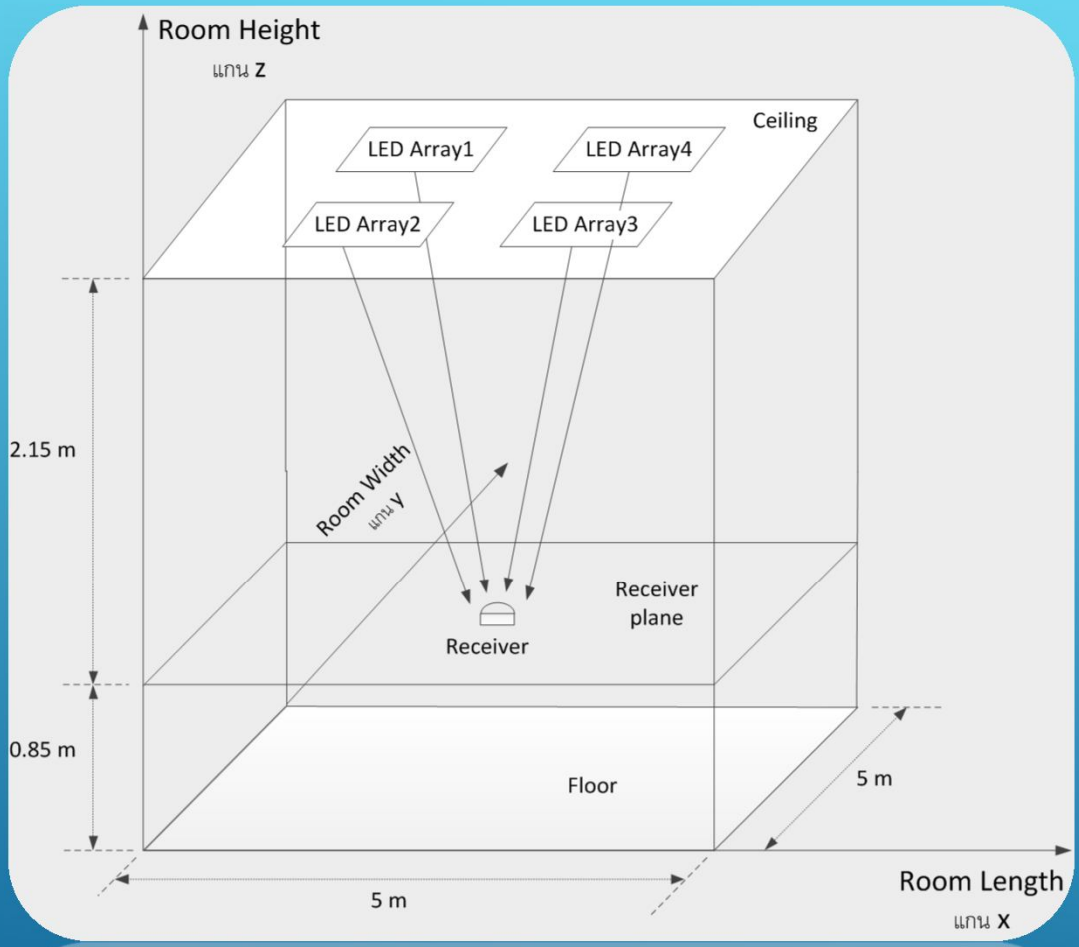
$$I(\phi) = I(0)\cos^{m}(\phi) \qquad (1)$$

- กำหนดให้มีรูปแบบการแพร่กระจายแบบแลมเบอร์เซียน (Lambertian radiation), m คือเลขลำดับการแพร่ของแสงแบบแลมเบอร์เซียนซึ่งนิยามโดย

$$m = -\ln(2) / \ln(\cos \Phi_{1/2}) \qquad (2)$$

- นอกจากนี้ค่าความเข้มแสงที่ได้รับจะเปลี่ยนแปลงไปตามมุมระหว่างตัวรับแสงกับตัวส่งแสง โดยค่าความสว่างในแนวขนานกับพื้นห้องหาได้จากสมการที่ (5)

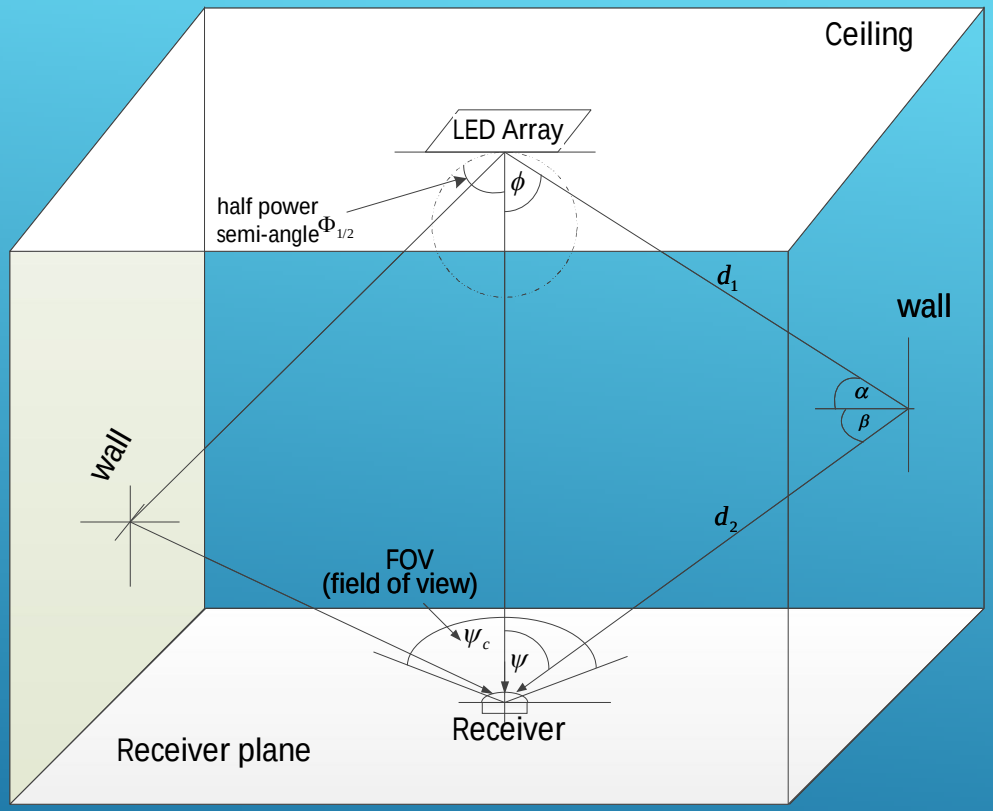
ตัวรับสัญญาณได้รับแสงจากแอลอีดีโดยตรง (direct light)



Direct Light.

$$H(0)_{LOS} = \begin{cases} \frac{A_{rx}}{d^2} R_o(\phi)\cos(\psi) & ;0 \le \psi \le \psi_c \\ 0 & ;\psi > \psi_c \end{cases} \quad (3)$$

ตัวรับสัญญาณได้รับแสงจากแอลอีดีที่ผ่านการสะท้อนจากผนังห้อง (reflection light)



Reflection light.

$$dH(0)_{reflection} = \begin{cases} \dfrac{A_{rx}}{d_1^2 d_2^2} R_o(\phi)(\rho)(dA_{wall})\cos(\alpha) \\ \qquad \times \cos(\beta) T_s(\psi) \mathrm{g}(\psi) \cos(\psi) \quad ; 0 \le \psi \le \psi_c \\ 0 \qquad\qquad ; \psi > \psi_c \end{cases} \tag{4}$$

VLC SYSTEM

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ VLC

พารามิเตอร์	ขนาด	พารามิเตอร์	ขนาด
Room size	5 x 5 x 3 m^3	Wall reflectivity	0.7
Desk height from the ceiling	2.15 m	FOV at the receiver	120°
Single LED power PLED	30 mW	Detector physical area of PD	1.0 cm^2
LED response time	150 ns	Transmission coefficient of optical filter	1.0
Semi-angle at half power	70°	Refractive index of lens at PD	1.5
Number of LEDs arrays	4	Photodiode responsivity (R)	0.4
Number of LEDs per array	25 (5 x 5)	Turning Parameter (P)	2
LED pitch	1 cm	Amplifier noise density	5 pA
Floor reflectivity	0.15	Ambient light photocurrent	5840 uA
Ceiling reflectivity	0.8	Noise-bandwidth factor (I_2)	0.562

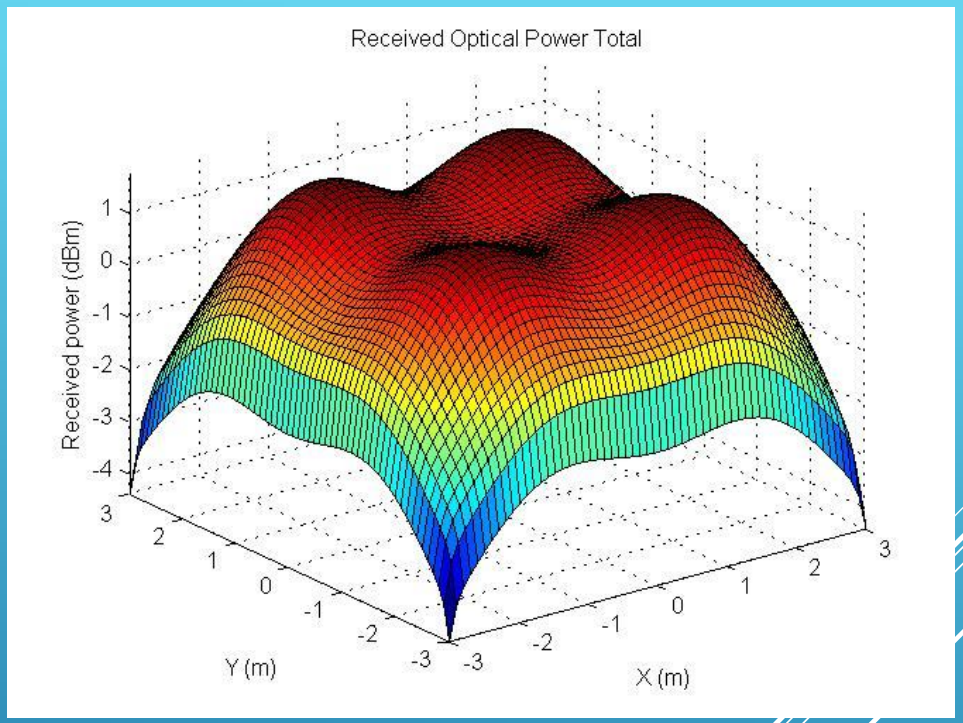
VLC SYSTEM

ความเข้มแสงในแนวราบ ของห้องที่ออกแบบ

$$E_{hor}(x,y,z) = \frac{I(\phi)}{d^2 \cos(\psi)} \qquad (5)$$

ค่ากำลังงานที่ได้รับทั้งหมด รวมแสงที่ได้รับโดยตรง และแสงที่สะท้อนจากผนังห้อง

$$P_{rx,total} = \sum_{i=1}^{LEDs} \left[P_{tx} H_{LOS}^{i}(0) + \sum^{reflections} P_{tx}.H_{ref}(0) \right] \qquad (6)$$

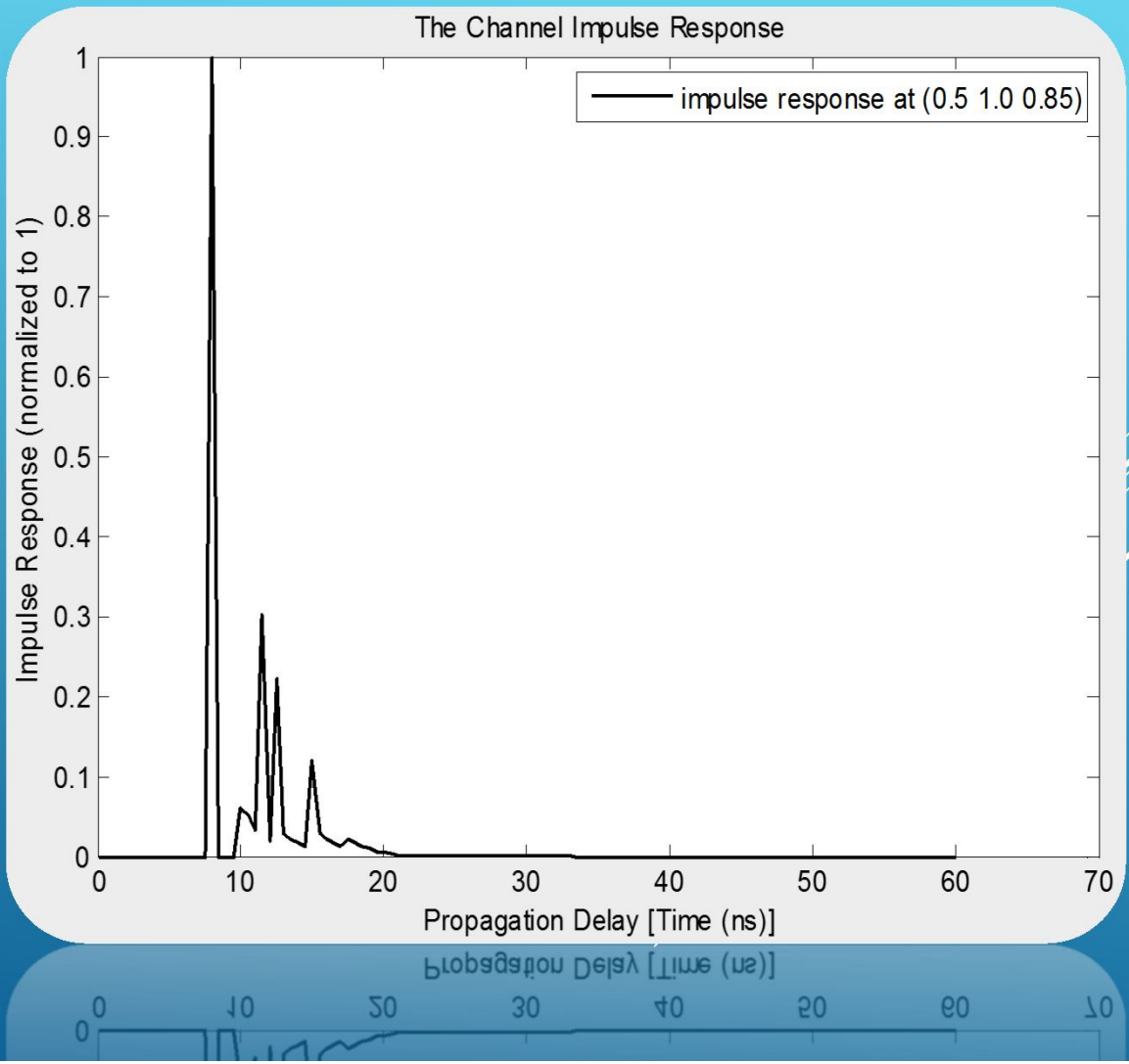


CHANNEL RESPONSE

$$P_{rx,total} = \sum_{i=1}^{LEDs}\left[P_{tx}H_{LOS}^{i}(0) + \sum^{reflections} P_{tx}.H_{ref}(0)\right]$$

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-j2\pi ft}dt \qquad (7)$$

ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ VLC เมื่อตัวรับวางอยู่ ณ ตำแหน่งตามแนวแกน x เท่ากับ 0.5 เมตร ตามแนวแกน y เท่ากับ 1.0 เมตร และสูงจากพื้นเป็น 0.85 เมตร และใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางด้านบน ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ส่งจะมาถึงตัวรับภายใน 10 นาโนวินาที จากนั้นในช่วงเวลา 10 – 20 นาโนวินาที จะเป็นสัญญาณที่สะท้อนจากผนังมาถึงตัวรับ



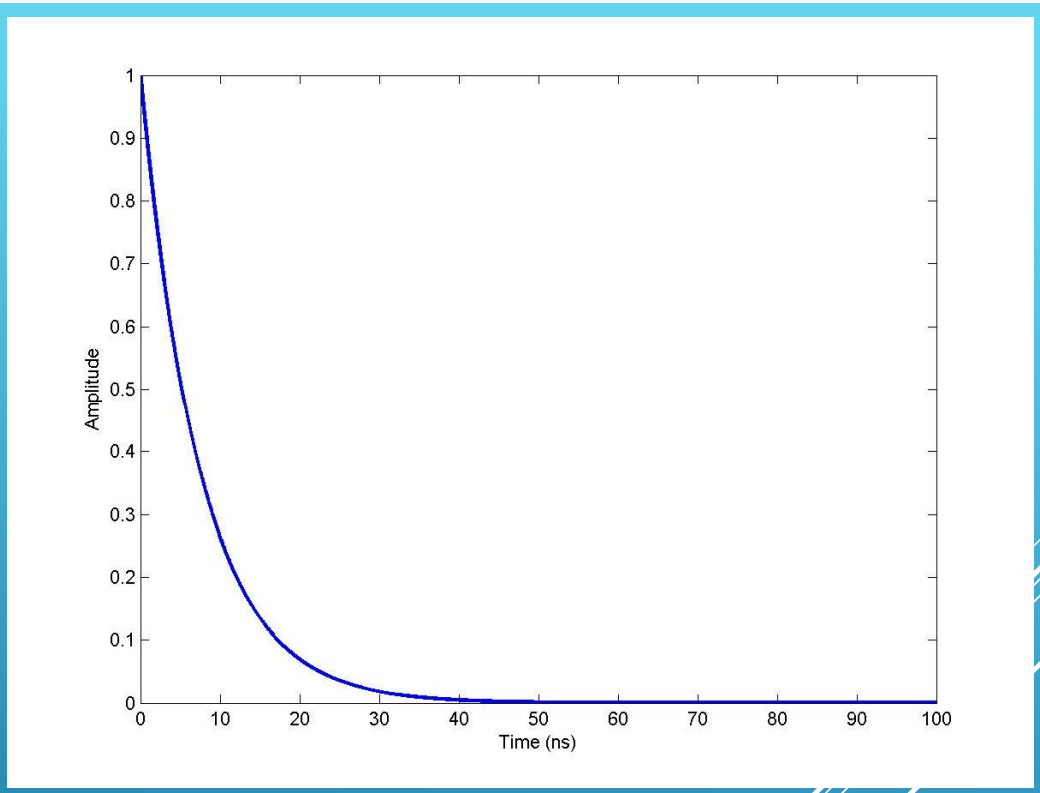
LED RESPONSE

$$h_{LED}(t) = e^{-\omega t} \qquad (8)$$

ผลตอบสนองอิมพัลส์ของแอลอีดี (LED response) เหมือนกับวงจรกรองอันดับแรกของ RC filter.

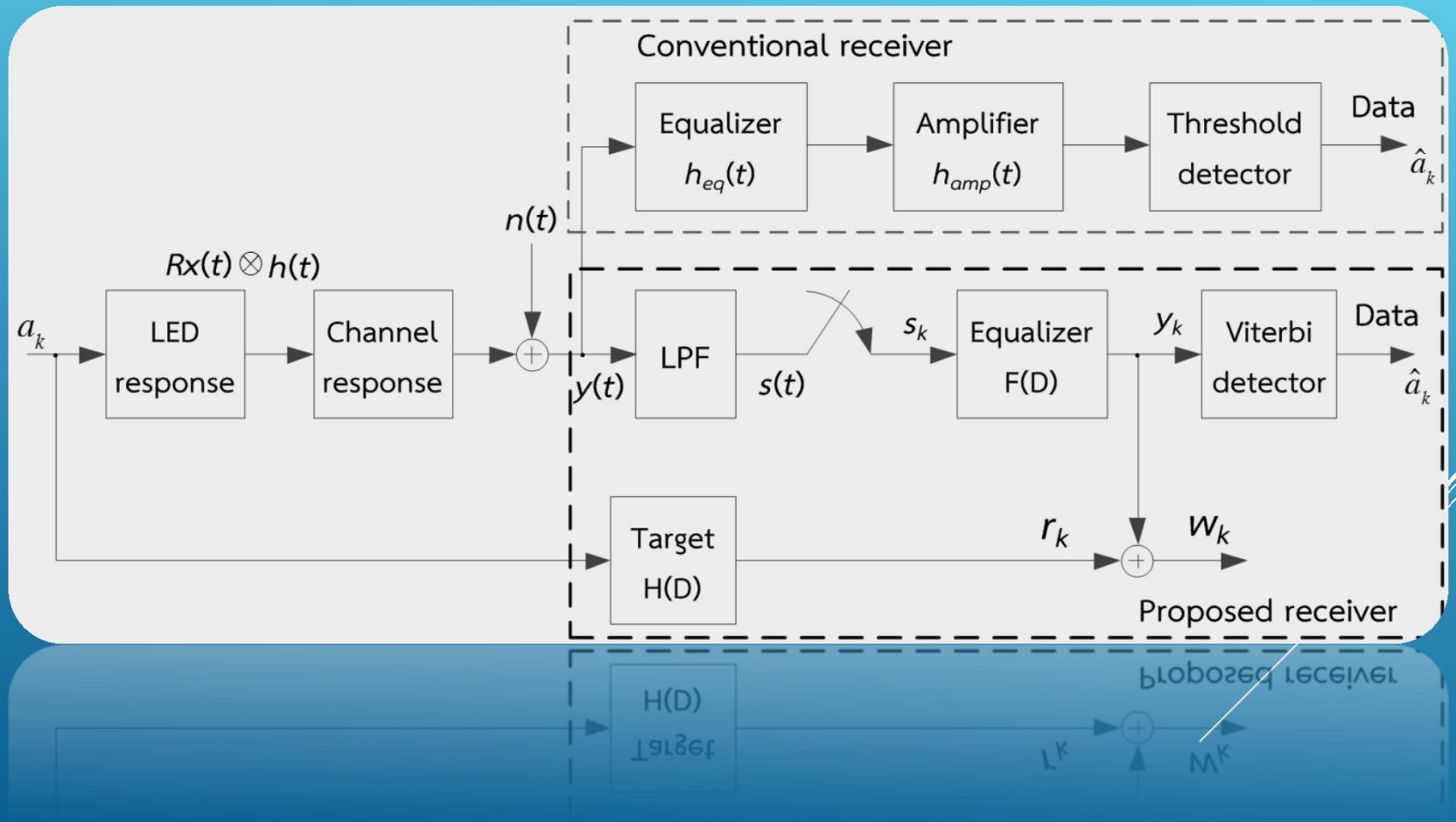
$$\omega = \frac{p}{T_r + T_f}$$

p คือพารามิเตอร์ปรับแต่ง, T_r คือเวลาไต่ขึ้น rise time และ T_f คือเวลาขาลง fall time



EQUALIZER DESIGN

แบบจำลองช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายด้วยแสงที่มองเห็น (VLC) แบบ Conventional & Proposed receiver.



EQUALIZER DESIGN

$$y(t) = Rx(t) \otimes h(t) + n(t) \qquad (9)$$

สำหรับวงจรภาครับระบบที่ใช้กันทั่วไป สัญญาณที่รับได้จากไฟโตไอโอดจะถูกส่งผ่านวงจรอีควอไลเซอร์ที่เป็นวงจรกรองแบบแอนะล็อก จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณ (amplifier) ก่อนส่งต่อไปยังวงจรตรวจหาขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold detector)

อย่างไรก็ตามสำหรับวงจรภาครับที่ใช้เทคนิคผลตอบสนองบางส่วนควรจะเป็นมากสุด (PRML) สัญญาณ $y(t)$ จะถูกส่งไปยังวงจรกรองผ่านต่ำ (LPF: low-pass filter) และวงจรชักตัวอย่าง (sampler) ทำให้ได้เป็นลำดับข้อมูลตัวอย่าง s_k และถูกส่งไปยังวงจรตรวจหาเพื่อหาค่าประมาณของลำดับข้อมูลอินพุต $\hat{a}_k$ เทคนิคผลตอบสนองบางส่วนควรจะเป็นมากสุดเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างอีควอไลเซอร์และวงจรตรวจหาวีเทอร์บิ (Viterbi detector) โดยจะต้องทำการออกแบบอีควอไลเซอร์และทาร์เก็ต (target) ให้เหมาะสมกับระบบ VLC ดังนั้นถ้าให้อีควอไลเซอร์มีรูปสมการคณิตศาสตร์ในโดเมน D คือ

EQUALIZER DESIGN

$$F(D) = \sum_{k=-K}^{K} f_k D^k \qquad (10)$$

- เมื่อ D คือตัวดำเนินการหน่วงเวลาหนึ่งหน่วย, K คือเลขจำนวนเต็มบวก, และ 2K + 1 คือจำนวนแท็ปหรือสัมประสิทธิ์ของอีควอไลเซอร์ ในทำนองเดียวกันกำหนดให้ทาร์เก็ตที่มีจำนวนแท็ปเท่ากับ L แท็ป ก็สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการคณิตศาสตร์ในโดเมน D

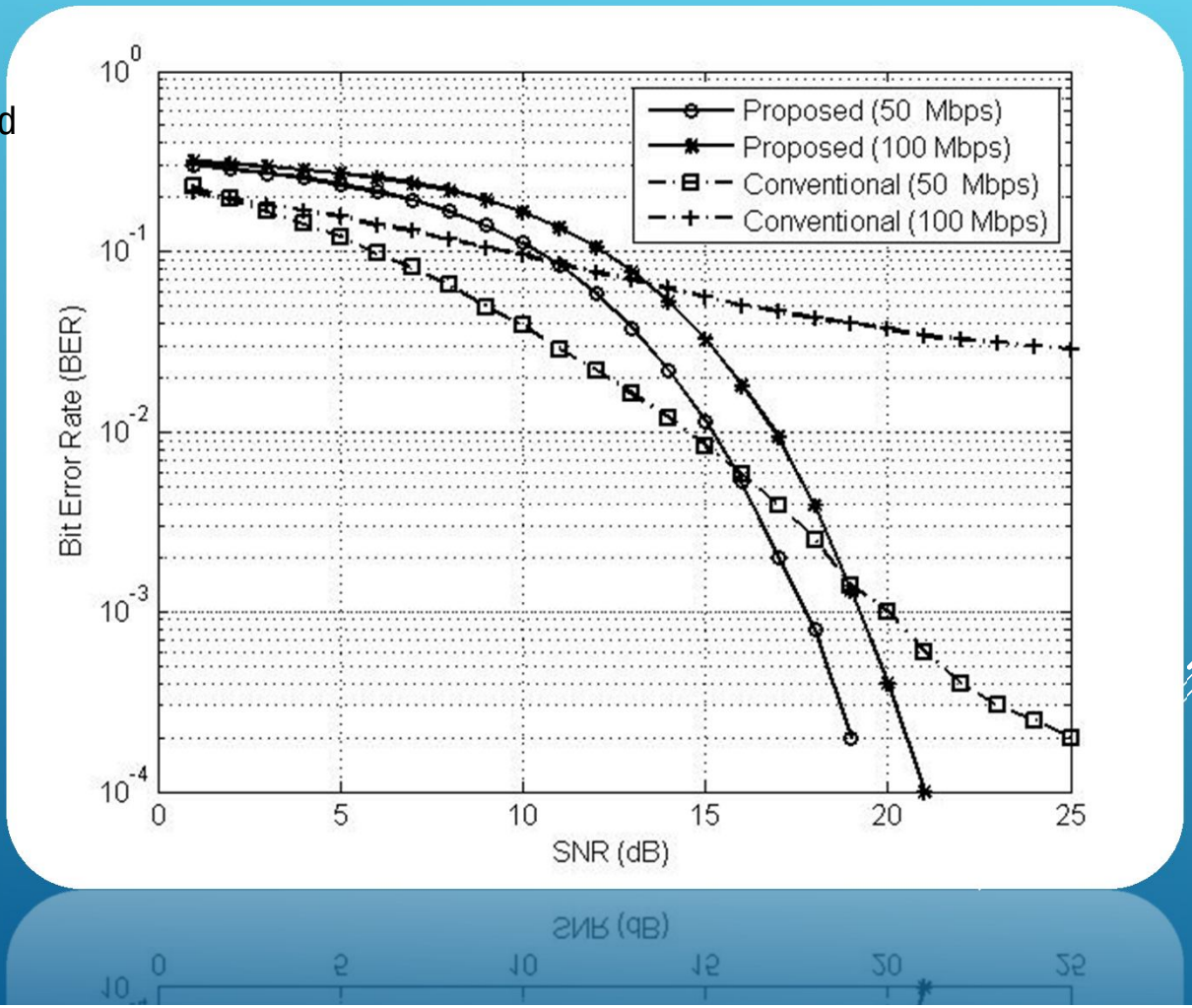
$$H(D) = \sum_{k=0}^{L-1} h_k D^k \qquad (11)$$

ข้อผิดพลาดที่ได้จากการออกแบบทาร์เก็ต

$$E\left[w_k^2\right] = E\left[\left\{(s_k \otimes f_k) - (a_k \otimes h_k)\right\}^2\right] \qquad (12)$$

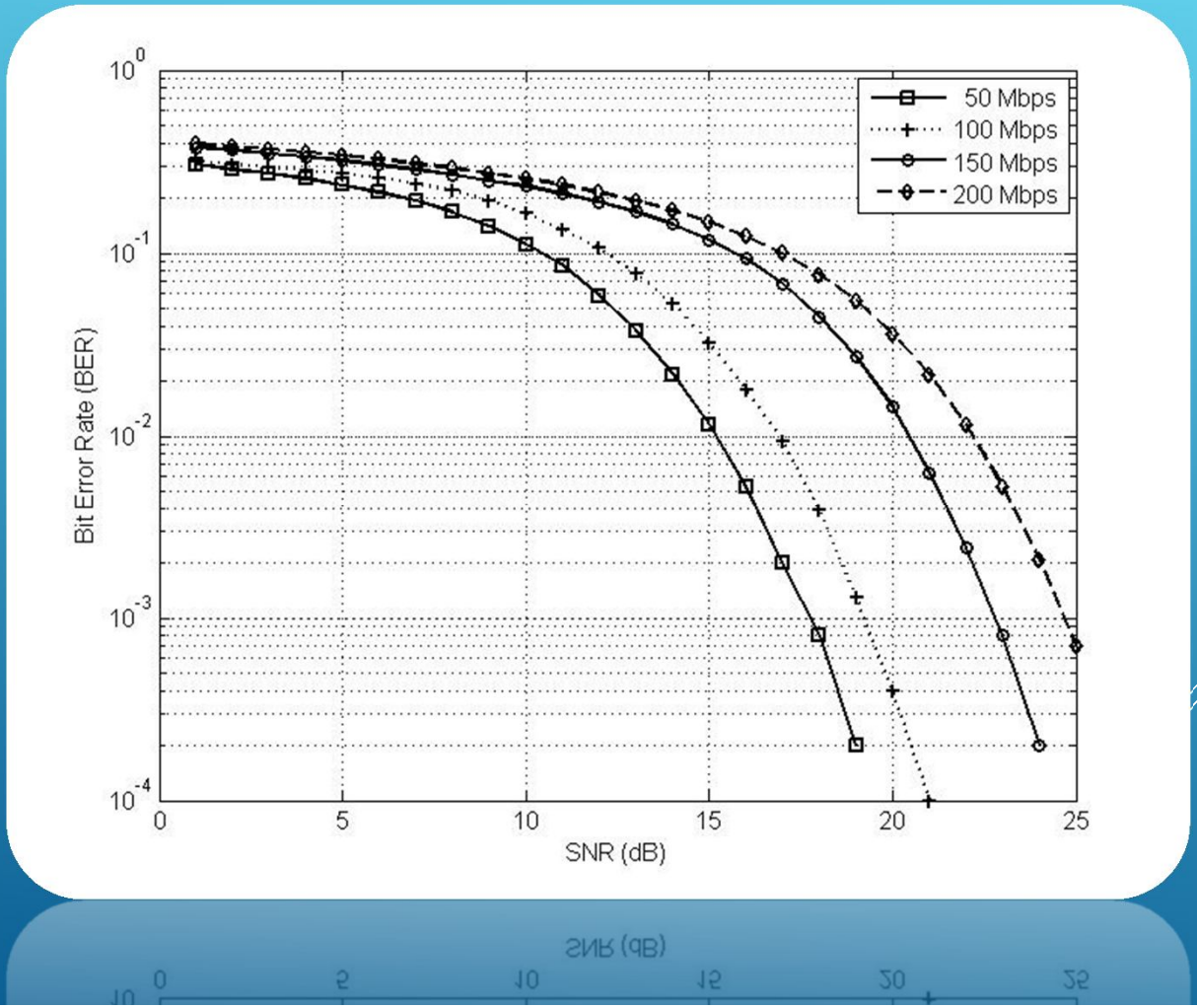
RESULTS

เปรียบเทียบสมรรถนะระบบ VLC
ระหว่าง Conventional กับที่ Proposed
ด้วยอัตราการข้อมูลที่ 50
และ 100 เมกะบิตต่อวินาที



RESULTS

เปรียบเทียบสมรรถนะระบบ VLC ด้วยอัตราการข้อมูลที่ 50 , 100, 150 และ 200 เมกะบิตต่อวินาที



CONCLUSION

ระบบการสื่อสารไร้สายด้วยแสงที่มองเห็น (VLC) ภายในอาคารจะมีผลกระทบที่เกิดขึ้นกับช่องสัญญาณจำนวนมาก โดยเฉพาะการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ ซึ่งทำให้ระบบ VLC ที่ใช้วงจรภาครับแบบที่ใช้กันทั่วไป (แบบแอนะล็อก) ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวงจรภาครับแบบดิจิทัลที่ใช้เทคนิคผลตอบสนองบางส่วนควรจะเป็นมากสุดในการออกแบบอีควอไลเซอร์และทาร์เก็ต ซึ่งจากการทดลองพบว่าวงจรภาครับแบบที่นำเสนอมีสมรรถนะดีกว่าวงจรภาครับแบบที่ใช้กันทั่วไป ณ อัตราการส่งข้อมูลต่าง ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าระบบ VLC จะมีสมรรถนะด้อยลง เมื่อระบบใช้อัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น

- ต่อไปจะทำการออกแบบวงจรภาครับ การมอดูเลทสัญญาณแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับระบบ VLC.

THANK YOU FOR ATTENTION

Q&A