

แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นสำหรับ เครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11b : กรณีศึกษา ณ อาคารวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บงการ หอมนาน

**มรินทร์ บุญรุ่ง

**และปรัชญา ศรีชาย

บทความนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นสำหรับเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network, WLAN) IEEE 802.11b ด้วยเหตุที่การติดต่อสื่อสารในระดับ WLAN มีการใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความสะดวก อุปกรณ์สื่อสารสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายและไม่ต้องคอยกังวลกับจุดเชื่อมต่อใช้สายดังเช่นอุปกรณ์สื่อสารในเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบใช้สาย (Local Area Network, LAN) อย่างไรก็ตามระยะทางและสิ่งกีดขวางมีผลกระทบต่อคุณภาพการเชื่อมต่อสำหรับ WLAN จึงเป็นเหตุผลที่สำคัญในการนำมาศึกษา วิเคราะห์ และการสร้างแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นสำหรับ WLAN IEEE 802.11b แบบจำลองที่นำเสนอมีประโยชน์ดังนี้คือ สามารถนำไปปรับปรุงสมรรถนะการเชื่อมต่อระบบ WLAN ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สามารถทำนายการแพร่กระจายคลื่นเพื่อนำไปหาตำแหน่งติดตั้งตำแหน่งของจุดเข้าถึงเครือข่าย (Access Point) และยังสามารถใช้ในการทำนายพื้นที่ครอบคลุม ผลการทดลองพบว่า สมการที่นำเสนอสำหรับแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น ณ อาคารวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังเฉลี่ยจากค่าที่วัดจริงไม่เกิน 15 dB

ในสภาวะปัจจุบันเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network, WLAN) มีความสำคัญต่อการติดต่อสื่อสารในระดับท้องถิ่น เนื่องจากการใช้งานอย่างแพร่หลายมีความสะดวก และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายโดยไม่ต้องคอยกังวลกับจุดเชื่อมต่อดังเช่นเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบใช้สาย (Local Area Network, LAN) ซึ่งใช้ได้เฉพาะบริเวณที่มีจุดเชื่อมต่อเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามระยะทางและสิ่งกีดขวางมีผลกระทบต่อการเชื่อมต่อของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย จึงเป็นเหตุผลที่สำคัญใน

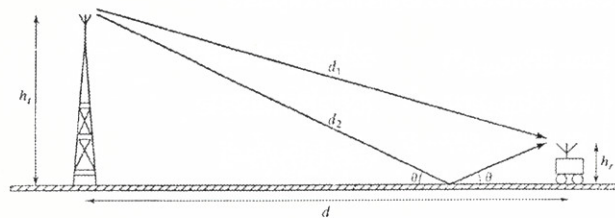
*รักษาการคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต : วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**บัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

การนำมาศึกษาวิเคราะห์ และนำไปสู่การค้นหาวิธีการคำนวณแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นสำหรับเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่น ไร้สาย IEEE 802.11b เพื่อที่จะนำไปปรับปรุงการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ใช้งานอยู่ ณ อาคารวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เนื้อหาต่อไปนี้จะแสดงหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นที่นำมาประยุกต์กับแบบจำลองที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3 ส่วนหัวข้อที่ 4 เป็นการแสดงผลการทดลอง และหัวข้อที่ 5 เป็นการสรุป

โดยทั่วไปแล้วการแพร่กระจายคลื่นไม่ได้ขึ้นอยู่กับระยะทางและความยาวคลื่นเท่านั้น แต่ต้องคำนึงถึงความสูงของเสาอากาศของสถานีเคลื่อนที่ รวมถึงการพิจารณาสถานีฐาน และภูมิประเทศเฉพาะท้องถิ่น เช่น ดึก หรือเนินเขา เป็นต้น แบบจำลองสองเส้นทางแบบง่ายสามารถมีลักษณะเชิงเรขาคณิตใช้แสดงให้เห็นผลกระทบของความสูงของเสาอากาศในการส่งและการรับสัญญาณ เมื่อพิจารณาการส่งสัญญาณบนพื้นราบดังรูปที่ 1 จะสังเกตเห็นระยะทางการแพร่กระจายคลื่นของเส้นทางโดยตรงระหว่างสายอากาศ (d_1) คำนวณได้ดังสมการที่ (1) และระยะทางการแพร่กระจายคลื่นของเส้นทางที่สะท้อน (d_2) คำนวณได้ดังสมการที่ (2)



รูปที่ 1 การแพร่กระจายแบบสองทิศทางบนพื้นราบ

$$d_1 = \sqrt{d^2 + (h_t - h_r)^2} \quad (1)$$

$$d_2 = \sqrt{d^2 + (h_t + h_r)^2} \quad (2)$$

ด้วยเหตุที่ผู้ใช้สถานีเคลื่อนที่เคลื่อนที่ออกห่างจากสถานีฐาน สัญญาณที่ได้รับก็จะอ่อนลง เพราะว่า การลดทอนของการแพร่กระจายเกิดขึ้นตามระยะทาง เมื่อกำหนดให้ $\bar{L}_p(d)$ แทนการสูญเสียตามระยะทาง ซึ่ง $\bar{L}_p(d)$ เป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) ในการรับส่งสัญญาณ ดังนั้นจะได้

$$\bar{L}_p(d) \propto \left(\frac{d}{d_o} \right)^k, \quad d \geq d_o \quad (3)$$

หรือเขียนได้ในรูปลอการิทึม รวมกับการบังคับที่มีการแจกแจงปกติแบบลอการิทึมได้ดังนี้

$$\bar{L}_p(d) = \bar{L}_p(d_o) + 10k \log_{10} \left(\frac{d}{d_o} \right) + \epsilon \text{ (dB)}, \quad d \geq d_o \quad (4)$$

เมื่อ k คือ ส่วนประกอบการสูญเสียกำลัง (Path Loss Exponent), d_0 คือระยะทางอ้างอิงเริ่มต้นโดยมีการกำหนดให้ d_0 มีค่า 1 km สำหรับเซลล์ขนาดใหญ่ (Macrocells), มีค่า 100 m สำหรับเซลล์ขนาดใหญ่ภายนอกอาคาร (Outdoor Microcells) และ ϵ (dB) มีค่า 1 m สำหรับเซลล์ขนาดเล็กภายในอาคาร (Indoor Picocells) และ คือการบดบังที่มีการแจกแจงปกติแบบลอการิทึม นอกจากนี้ค่าของ $\bar{L}_p(d)$ ขึ้นอยู่กับความถี่คลื่นพาห์ ความสูงของเสาอากาศ อัตราขยายของเสาอากาศและตัวประกอบอื่นๆ

แบบจำลองการสูญเสียตามเส้นทางของ Okumura-Hara ถูกพัฒนาโดยรูปกราฟที่เหมาะสมจากกลุ่มข้อมูลที่วัดได้ใน Tokyo ประเทศญี่ปุ่น แบบจำลองนี้เหมาะสำหรับเซลล์ขนาดใหญ่ภายนอกอาคาร (Outdoor macrocells) การสูญเสียตามเส้นทางสามารถแทนด้วยฟังก์ชันของ

(ก) ความถี่คลื่นพาห์ (f_c) ในช่วง 150-1000 MHz

(ข) ความสูงเสาอากาศของสถานีฐาน (h_b) ในช่วง 30-200 m

และ ความสูงเสาอากาศของสถานีเคลื่อนที่ (h_m) ในช่วง 1-10 m

(ค) ระยะทางระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่ (d) ในช่วง 1-20 km

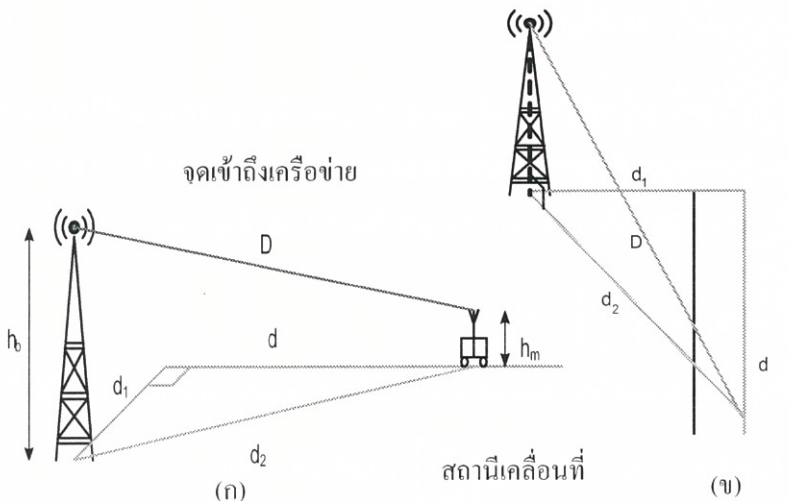
การสูญเสียเส้นทางในหน่วย dB กำหนดได้โดย

$$L_p(d) = \begin{cases} A + B \log_{10}(d) & \text{(เมื่ออยู่ในตัวเมือง)} \\ A + B \log_{10}(d) - C & \text{(เมื่ออยู่นอกเมือง)} \\ A + B \log_{10}(d) - D & \text{(เมื่ออยู่ในพื้นที่)} \end{cases} \quad (5)$$

เมื่อ A, B, C และ D เป็นค่าที่ขึ้นกับพารามิเตอร์ใน (ก)-(ค)

3. การออกแบบและการสร้างสมการแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ

3.1 การกำหนดค่าตัวแปรที่นำไปใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 2 (ก) มุมมองด้านข้าง (ข) มุมมองด้านบนของแบบรูปเชิงเรขาคณิตของแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ

แบบจำลองที่นำเสนอมีการกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้

d คือ ระยะที่ทำการวัดกำลังสัญญาณ (โดยวัดออกไปทีละ 1 m)

d_1 คือ ระยะจากฐานของจุดเข้าถึงเครือข่าย ตั้งฉากกับ d (m)

d_2 คือ ระยะที่คำนวณได้จาก $\sqrt{(d^2 + d_1^2)}$ (m)

h_b คือ ความสูงของจุดเข้าถึงเครือข่าย (m)

h_m คือ ความสูงของสถานีเคลื่อนที่ (m)

D คือ ระยะที่คำนวณได้จาก $\sqrt{(d_2^2 + (h_b - h_m)^2)}$ (m)

P_t คือ กำลังส่งสัญญาณของจุดเข้าถึงเครือข่าย (dBm)

P_{r_m} คือ กำลังสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่รับได้ (dBm)

นอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์อื่นที่จะได้อธิบายตามขั้นตอนต่อไปนี้ การคำนวณกำลังส่งของจุดเข้าถึงเครือข่าย (เนื่องจากกำลังส่งของจุดเข้าถึงเครือข่ายมีหน่วยเป็น mW ต้องแปลงให้มีหน่วยเป็น dBm โดยใช้สมการที่ (6) โดย P คือ กำลังส่งที่มีหน่วยเป็น mW

$$P_t = 10 \log \left(\frac{P}{1mW} \right) \text{ dBm} \quad (6)$$

การคำนวณค่า k โดยใช้สมการที่ (7) ซึ่งได้มาจากสมการที่ (4) แต่ไม่นำส่วนของการสูญเสียกำลังที่ระยะอ้างอิงเริ่มต้น $\bar{L}_p(d_o)$ และการบังคับที่มีการแจกแจงปกติแบบลอการิทึม ϵ (dB) มาประกอบเนื่องจากจะได้

$$k = \frac{P_t - P_{r_m}}{\log D} \quad (7)$$

และเมื่อนำค่า k ที่คำนวณได้ 1 จุด จุดละ 15 ตำแหน่งโดยในแต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 เมตรมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่า k เฉลี่ย ($\bar{k}$) แล้วนำไปคำนวณกำลังที่ตัวสถานีเคลื่อนที่รับได้ (P_{r_k}) โดยใช้สมการที่

$$P_{r_k} = P_t - \bar{k} \log D \quad (8)$$

หากให้ Δ_1 คือผลต่างระหว่างกำลังที่วัดได้ (P_{r_m}) กับ กำลังที่คำนวณได้ (P_{r_k}) ซึ่งเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย โดยใช้สมการที่ (9)

$$\bar{\Delta}_1 = \sqrt{\frac{\Sigma (P_{r_m} - P_{r_k})^2}{N}} \quad (9)$$

เมื่อคำนวณค่ากำลังที่ตัวสถานีเคลื่อนที่รับได้โดยใช้ $\bar{\Delta}_1 (P_{r_{\Delta_1}})$ เนื่องจากเส้นกราฟ P_{r_k} มีความชันมาก ซึ่งเบี่ยงเบนไปจากความชันของเส้นกราฟ P_{r_m} จึงต้องการปรับความชันของ P_{r_k} ให้อยู่ในระดับเดียวกันกับ P_{r_m} จึงทำการนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย ($\bar{\Delta}_1$) มาใช้ในการคำนวณใหม่ จากการทดลองพบว่าความชันของเส้นกราฟ P_{r_k} ลดลงมีความชันอยู่ในระดับเดียวกับความชันของเส้นกราฟ P_{r_k} ดังนั้นจึงได้สมการที่ (10)

$$P_{r_{\Delta_1}} = P_t - \bar{\Delta}_1 \log D \quad (10)$$

เนื่องจากความชันของเส้นกราฟ $P_{r_{\Delta_1}}$ อยู่ในระดับเดียวกันกับความชันของเส้นกราฟ P_{r_m} แต่ยังมีผลต่างของกำลังยังอยู่จึงปรับค่าให้ใกล้เคียงกับเส้นกราฟ P_{r_m} โดยการลบด้วยค่าคงที่ (c) ดังสมการที่ (11) อ้างถึงแบบจำลองการสูญเสียเส้นทางของ Okumura-Hata (สมการที่ (5))

$$P_{r_{\Delta_1(c=?)}} = P_t - (\bar{\Delta}_1 \log D) - c \quad (11)$$

โดยค่าคงที่ (c) ที่ได้มาจากค่าเฉลี่ยผลต่างของกำลังของทุก ๆ สถานีที่และทุก ๆ กำลังส่ง ทั้ง 3 จุดเข้าถึงเครือข่าย โดยค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ 58 ซึ่งเป็นค่าจากการทดลองที่ทำให้มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย ($\bar{\Delta}_2$) น้อยที่สุดตัวอย่างเช่น ณ อาคาร 8 ชั้นลอย ที่กำลังส่ง 1 mw ($\bar{\Delta}_1 = 15.51, \bar{\Delta}_2 = 11.94$) ที่คำนวณได้จากสมการที่ (12)

$$\bar{\Delta}_2 = \sqrt{\frac{(P_{r_m} - P_{r_{\Delta_1(c=58)}})^2}{N}} \quad (12)$$

ดังนั้นจะได้สมการแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอเป็น

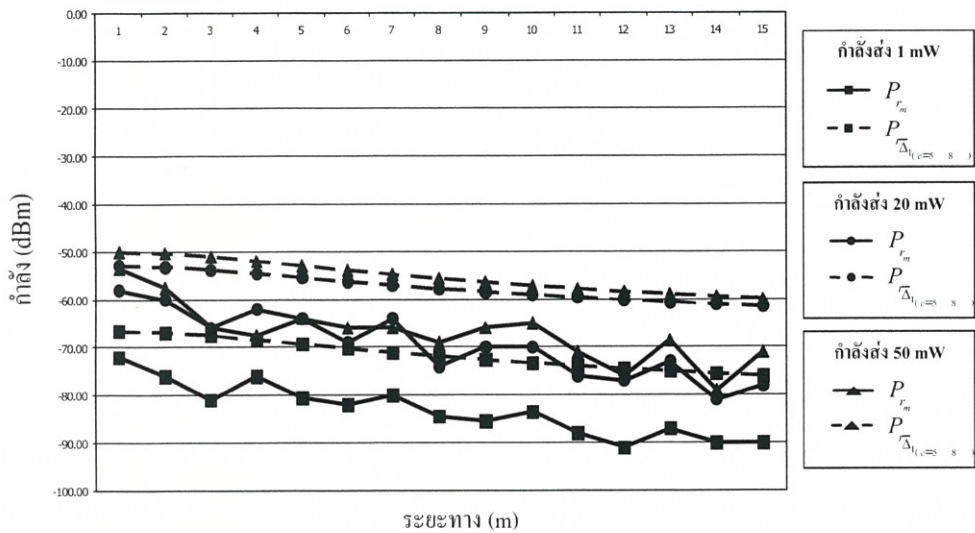
$$P_{r_{\Delta_1(c=?)}} = P_t - (\bar{\Delta}_1 \log D) - c \quad (13)$$

จากผลที่คำนวณค่า $P_{r_{\Delta_1(c=58)}}$ ได้ทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดสัญญาณจริง (P_{r_m}) จากสถานที่ทั้งหมด 3 สถานที่โดยมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันคือ อาคาร 8 ชั้นลอย, อาคาร 8 ชั้น 2 และอาคาร 9 ชั้นลอย จุดละ 15 ตำแหน่งโดยในแต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 เมตร

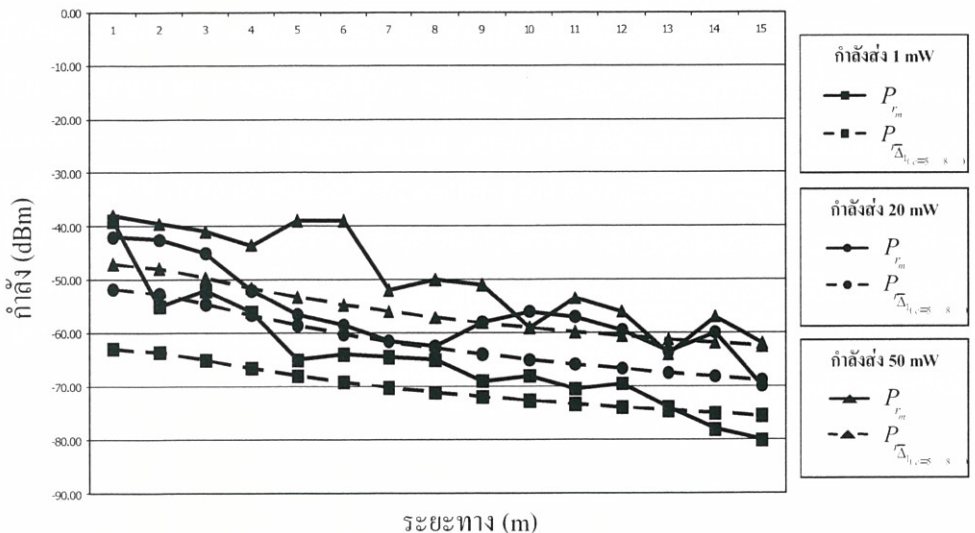
จากรูปที่ 3, 4 และ 5 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองที่นำเสนอ บริเวณอาคาร 8 ชั้นลอยมีส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังเฉลี่ย $(\bar{\Delta}_2) \pm 12.476$ dB ส่วนบริเวณอาคารบริเวณอาคาร 8 ชั้น 2 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังเฉลี่ย $(\bar{\Delta}_2) \pm 8.058$ dB และบริเวณอาคารบริเวณอาคาร 9 ชั้นลอยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังเฉลี่ย $(\bar{\Delta}_2) \pm 13.67$ dB ซึ่งเมื่อนำค่าความผิดพลาดเฉลี่ย $(\bar{\Delta}_2)$ ของทุกจุดมาเฉลี่ยจะได้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย ± 11.4 dB

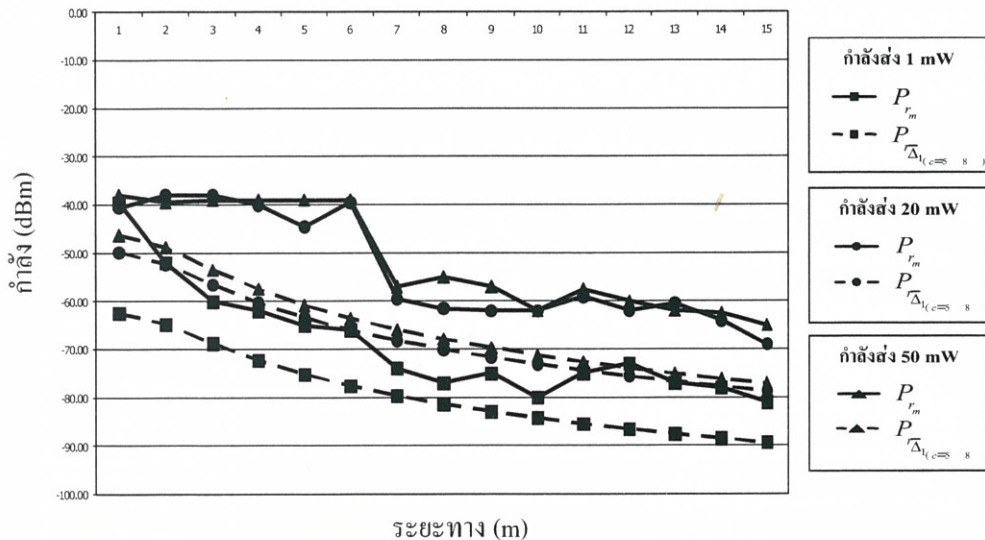
แบบจำลองในการทำนายการแพร่กระจายคลื่นสำหรับเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย IEEE



รูปที่ 3 การสูญเสียตามเส้นทางจากจุดเข้าถึงเครื่องข่าย (อาคาร 8 ชั้นลอย)



รูปที่ 4 การสูญเสียตามเส้นทางจากจุดเข้าถึงเครื่องข่าย (อาคาร 8 ชั้น 2)



รูปที่ 5 การสูญเสียกำลังเส้นทางจากจุดเข้าถึงเครือข่าย (อาคาร 9 ชั้นลอย)

802.11b สรุปแล้วสามารถแสดงได้ดังสมการ $P_{r(c=8)} = P_t - (\bar{\Delta}_l \log D) - c$ ซึ่งทำให้ทราบว่าคุณสมบัติต่างๆ ที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอประกอบไปด้วยกำลังส่งของจุดเข้าถึงเครือข่าย (P_t) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่คำนวณกับที่วัดได้ ($\bar{\Delta}_l$) ระยะทางระหว่างสถานีเคลื่อนที่กับจุดเข้าถึงเครือข่าย (D) และค่าคงที่ (c) นั้นขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม

ข้อดีของการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอนี้ก็คือเมื่อต้องการที่จะทราบค่าพื้นที่ครอบคลุมในการส่งสัญญาณของจุดเข้าถึงเครือข่ายสามารถทำได้โดยทำการวัดกำลังของสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่รับได้เพียงกำลังส่งเดียวเท่านั้น เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ $\bar{\Delta}_l$, D และ c ที่ได้จากการคำนวณสามารถนำไปใช้กับกำลังส่งของจุดเข้าถึงเครือข่ายค่าอื่นได้โดยง่ายตาม สภาพแวดล้อม สิ่งกีดขวางต่าง ๆ เช่นผนัง คอนกรีต ผนังกระจก ความสูงของสถานีฐาน ความสูงของสถานีเคลื่อนที่ ระยะทางระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่ และความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์ ส่งผลให้ในการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอนี้เป็นเพียงการประมาณและยังมีความผิดพลาด ในอนาคตจะมีการพัฒนาแบบจำลองในการทำนายการแพร่กระจายคลื่นให้สามารถทำนายการแพร่กระจายคลื่นที่มีความผิดพลาดเล็กน้อยลง และสามารถทำนายผลโดยที่มีการวัดระดับสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่น้อยที่สุด ในลำดับต่อไป

บรรณานุกรม

- Lee, William C.Y. (1993). **Mobile communication design fundamentals**. (2nd ed.) New York : Wiley.
- Mark, Jon W. and Zhuang, Weihua. (2003). **Wireless communications and networking**. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall.
- Pahlavan, Kaveh and Levesque, Allen H. (1995). **Wireless information networks**. New York [NY] : John Wiley & Sons.
- Prasad, Neeli and Prasad, Anand. (editors). (2001). **WLAN systems and wireless IP for next generation communication**. Norwood [MA] : Artech house.