บทที่ 4 การออกแบบตำแหน่งโหนดที่เหมาะสม

4.1 กล่าวนำ

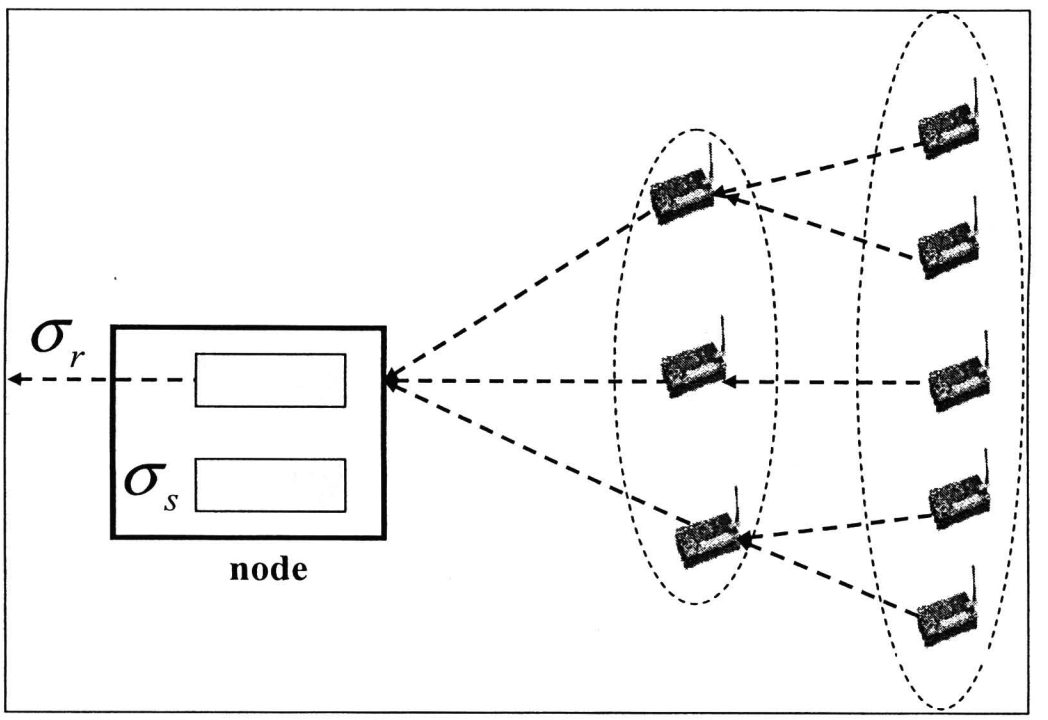
เนื้อหาในบทที่แล้วได้เสนอการวิเคราะห์หาปริมาณงานและศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบเครือข่ายเมชไร้สายโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการหาปริมาณงาน สิ่งที่เห็นได้ชัดคือค่าปริมาณงานที่ได้ในแต่ละโหนดมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาวิธีการออกแบบเพื่อให้ทุกตำแหน่งโหนดในเครือข่ายมีปริมาณงานที่ใกล้เคียงกันได้ ดังนั้นสิ่งแรกของการออกแบบโหนดที่เหมาะสมคือการออกแบบการหาตำแหน่งที่คำนึงถึงหลักการของความเท่าเทียมกันของปริมาณงานที่ได้ จากนั้นจะนำเสนอวิธีในการวิเคราะห์ถึงการออกแบบในการวางตำแหน่งของโหนดต่อไป

จากกระบวนการทางสมการที่อยู่ในบทที่ 3 จะพบว่าปัจจัยในการออกแบบเป็นไปตามสมการหลัก ซึ่งสามารถจะปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จได้จากปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งมีผลกระทบ 2 ด้าน คือ ตัวแปรซึ่งปรับจากระยะทาง ตัวแปรที่ปรับทางด้านอัตราการส่งข้อมูล จากผลการทดสอบการหาปริมาณงานที่เท่าเทียมกันนั้นทำให้สามารถวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จได้แต่ในการออกแบบจริงๆนั้นทำได้ยาก ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ได้คำนึงถึงแนวทางในการนำไปปฏิบัติจริง ซึ่งได้คำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้และนำมาใช้ในการทดสอบ

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณงานที่เท่าเทียมกันของแต่ละโหนด

ในบทที่แล้วได้แสดงถึงสมการคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบหาตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมในเครือข่ายเมชไร้สาย และหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงการนำสมการคณิตศาสตร์ มาทดสอบเพื่อหาคำตอบและวิเคราะห์ผลที่ได้โดยคำนึงถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากปริมาณงานที่ได้จากเครือข่ายเมชไร้สายนั้นจะลดลงตามระยะห่างจากโหนดถึงตัวปล่อยสัญญาณ คือโหนดที่อยู่ใกล้ตัวปล่อยสัญญาณปริมาณงานที่ได้จะมีค่ามากกว่าโหนดที่อยู่ไกลจากตัวปล่อยสัญญาณตามลำดับ ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการหาปริมาณงานในแต่ละโหนดนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ได้เริ่มต้นพิจารณาจากการหาค่าของ ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จในแต่ละโหนดซึ่งพิจารณาผลกระทบจากสิ่งกีดขวาง ซึ่งก่อให้เกิดความไม่เท่าเทียมกันของปริมาณงานในแต่ละโหนด ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงได้มีการวิเคราะห์ หาสมการทางคณิตศาสตร์

เพื่อนำมาสู่การคำนวณถึงความเท่าเทียมกันของปริมาณงานในทุก ๆ ตำแหน่งของโหนดโดยเริ่มพิจารณาว่าในแต่ละโหนดประกอบไปด้วย σ_s และ σ_r ตัวอย่างดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 ประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูลของ Q_r และประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูลของ Q_s

ในแต่ละตำแหน่งของโหนด เพื่อให้ได้ปริมาณงานที่มีความเท่าเทียมกันนั้นสามารถพิจารณาได้จากปริมาณงานของ σ_r ที่เข้ามาจาก จำนวนอินพุทจากจำนวนโหลดทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับปริมาณงานของ σ_s ของโหนดนั้น ๆ จากรูปที่ 4.4 สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ดังสมการ

$$\frac{\sigma_r(x_1, x_2, \ldots x_{l-1})}{\sum_{i=l}^{H} N(x_1, x_2, \ldots x_i)} = \sigma_s(x_1, x_2, \ldots x_{l-1}) \qquad (4\text{-}1)$$

เมื่อ

$N(x_1, x_2, \ldots x_i)$ คือ จำนวณโหนดทั้งหมดในชั้นที่ $(x_1, x_2, \ldots x_i)$

เมื่อในทุก ๆ ตำแหน่งของโหนดมีปริมาณงานที่เท่าเทียมกัน ดังนั้นจะพิจารณาวิเคราะห์หาปริมาณ

$$\sigma_r(x_1,x_2,..x_{l-1}) = \sum_{i=l}^{H} N(x_1,x_2,...x_i)\cdot\sigma_s(x_1,x_2,..x_{l-1}) \qquad (4\text{-}2)$$

แทนค่า $\sigma_r(x_1,x_2,..x_{l-1})$ และ $\sigma_s(x_1,x_2,..x_{l-1})$ ลงในสมการที่ 4-2 จะได้

$$\begin{aligned}&\mu_r(x_1,x_2,..x_{l-1}).[1-P_{0r}(x_1,x_2,..x_{l-1})] = \sum_{i=l}^{H} N(x_1,x_2,..x_i)\\ &\mu_s(x_1,x_2,..x_{l-1}).[1-P_{0s}(x_1,x_2,..x_{l-1})]\end{aligned} \qquad (4\text{-}3)$$

เมื่อแทนค่า $P_{0r}(x_1,x_2,..x_l)$ และ $P_{0s}(x_1,x_2,..x_l)$ ลงในสมการที่ 4-3 และสมมุติให้ K มีค่ามาก ๆ ทำให้ $P_{0r}(x_1,x_2,..x_l) \approx 1-\rho_r(x_1,x_2,..x_{l+1})$ และ $P_{0s}(x_1,x_2,..x_{l-1}) \approx 1-\rho_s(x_1,x_2,..x_{l-1})$ ดังนั้นสามารถจัดรูปสมการได้ดังนี้

$$\rho_r(x_1,x_2,..x_{l-1}) = \frac{\sum_{i=l}^{H} N(x_1,x_2,..x_i)(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{l-1})}{q} \qquad (4\text{-}4)$$

เริ่มต้นพิจารณาที่ตำแหน่ง $H-1$

กรณีที่ $l = H-1$ จากสมการที่ 4-4 สามารถเขียนได้ว่า

$$\begin{aligned}\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-1}) &= \frac{\sum_{i=H}^{H} N(x_1,x_2,..x_i).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-1})}{q}\\ &= \frac{N(x_1,x_2,..x_H).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-1})}{q}\end{aligned} \qquad (4\text{-}5)$$

หรือเขียนได้ว่า

$$\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-1}) = \frac{\lambda_r(x_1,x_2,..x_{H-1})}{\mu_r(x_1,x_2,..x_{H-1})} \qquad (4\text{-}6)$$

สามารถหา $\lambda_r(x_1,x_2,..x_{H-1})$ ได้จากสมการ

$$\lambda_r(x_1,x_2,..x_{H-1}) = \sum_{x_i=1}^{N(x_1,x_2,..x_H)} \sigma_s(x_1,x_2,..x_i) \tag{4-7}$$

ถ้า $\sigma_s(x_1,x_2,..x_i)$ ในทุก ๆ ตำแหน่งของโหนด มีค่าเท่ากัน และแทนค่าจากสมการที่ 4-7 ลงในสมการที่ 4-6 จะได้

$$\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-1}) = \frac{N(x_1,x_2,..x_H)\mu(x_1,x_2,..x_H).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_H)}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-1}).q} \tag{4-8}$$

แทนค่าจากสมการที่ 4-8 ลงในสมการที่ 4-5 จะได้

$$\begin{aligned} &\frac{N(x_1,x_2,..x_H)\mu(x_1,x_2,..x_H).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_H)}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-1}).q} \\ &= \frac{N(x_1,x_2,..x_H).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-1})}{q} \end{aligned} \tag{4-9}$$

สามารถแก้สมการได้ดังนี้

$$\frac{\mu(x_1,x_2,..x_H)}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-1})} = 1 \tag{4-10}$$

กรณีที่ $l = H-2$ จากสมการที่ 4-3 จะได้ว่า

$$\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-2}) = \frac{\sum_{i=H-1}^{H} N(x_1,x_2,..x_i).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-2})}{q} \tag{4-11}$$

หรือเขียนได้ว่า

$$\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-2}) = \frac{\lambda_r(x_1,x_2,..x_{H-2})}{\mu_r(x_1,x_2,..x_{H-2})} \quad (4\text{-}12)$$

สามารถหา $\lambda_r(x_1,x_2,..x_{H-2})$ ได้จากสมการ

$$\lambda_r(x_1,x_2,..x_{H-2}) = \sum_{x_i=1}^{N(x_1,x_2,..x_{H-1})} \left(\sigma_r(x_1,x_2,..x_i) + \sigma_s(x_1,x_2,..x_i)\right) \quad (4\text{-}13)$$

สามารถหา $\sum_{x_i=1}^{N(x_1,x_2,..x_{H-1})} \sigma_r(x_1,x_2,..x_i)$ ได้ดังสมการ

$$\sum_{x_i=1}^{N(x_1,x_2,..x_{H-1})} \sigma_r(x_1,x_2,..x_i) = N(x_1,x_2,..x_{H-1}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-1}).q.\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-1}) \quad (4\text{-}14)$$

แทนค่า $\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-1})$ จากสมการที่ 4-8 ลงในสมการที่ 4-14 จะเขียนได้ดังสมการ

$$\sum_{i=H-1}^{H} \sigma_r(x_1,x_2,..x_i) = N(x_1,x_2,..x_{H-1}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-1}).q. \left(\frac{N(x_1,x_2,..x_H).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_H)}{.q}\right) \quad (4\text{-}15)$$

$$= N(x_1,x_2,..x_{H-1}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-1}).N(x_1,x_2,..x_H).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_H)$$

แทนค่า $\sigma_s(x_1,x_2,..x_{H-1})$ และสมการที่ 4.32 ลงในสมการที่ 4.29 จะได้สมการ

$$\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-2}) = \frac{\begin{array}{l} N(x_1,x_2,..x_{H-1}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-1}).N(x_1,x_2,..x_H).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_H) \\ +N(x_1,x_2,..x_{H-1}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-1}).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-1}) \end{array}}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-2}).q} \quad (4\text{-}16)$$

และแทนค่า $\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-2})$ ลงในสมการที่ 4-11 จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$\frac{\begin{array}{l}N(x_1,x_2,..x_{H-1}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-1}).N(x_1,x_2,..x_H).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_H)\\+N(x_1,x_2,..x_{H-1}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-1}).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-1})\end{array}}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-2}).q} = \frac{\sum_{i=H-1}^{H} N(x_1,x_2,..x_i).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-2})}{q} \quad (4\text{-}17)$$

สามารถแก้สมการได้ดังนี้

$$\frac{\begin{array}{l}N(x_1,x_2,..x_{H-1}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-1}).N(x_1,x_2,..x_H)\\+N(x_1,x_2,..x_{H-1}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-1})\end{array}}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-2})} = \sum_{i=H-1}^{H} N(x_1,x_2,..x_i)$$

ดังนั้นจะได้สมการ

$$\frac{\mu(x_1,x_2,..x_{H-1})}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-2})} = \frac{\sum_{i=H-1}^{H} N(x_1,x_2,..x_i)}{\left[N(x_1,x_2,..x_{H-1}).N(x_1,x_2,..x_H)\right]+N(x_1,x_2,..x_{H-1})} \quad (4\text{-}18)$$

กรณีที่ $l = H-3$ จากสมการที่ 4-4 จะได้ว่า

$$\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-3}) = \frac{\sum_{i=H-2}^{H} N(x_1,x_2,..x_i).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-3})}{q} \quad (4\text{-}19)$$

หรือเขียนได้ว่า

$$\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-3}) = \frac{\lambda_r(x_1,x_2,..x_{H-3})}{\mu_r(x_1,x_2,..x_{H-3})} \quad (4\text{-}20)$$

สามารถหา $\lambda_r(x_1,x_2,..x_{H-3})$ ได้จากสมการ

$$\lambda_r(x_1,x_2,..x_{H-3}) = \sum_{x_i=1}^{N(x_1,x_2,..x_{H-2})} \left(\sigma_r(x_1,x_2,..x_i)+\sigma_s(x_1,x_2,..x_i)\right) \quad (4\text{-}21)$$

สามารถหา $\sum_{x_i=1}^{N(x_1,x_2,..x_{H-2})} \sigma_r(x_1,x_2,..x_i)$ ได้ดังสมการ

$$\sum_{x_i=1}^{N(x_1,x_2,..x_{H-2})} \sigma_r(x_1,x_2,..x_i) = N(x_1,x_2,..x_{H-2}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-2}).q.\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-2}) \quad (4\text{-}22)$$

เมื่อแทนค่า $\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-2})$ จากสมการที่ 4-16 ลงในสมการที่ 4-22 จะได้สมการ

$$\sum_{x_i=1}^{N(x_1,x_2,..x_{H-2})} \sigma_r(x_1,x_2,..x_i) = N(x_1,x_2,..x_{H-2}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-2}).q. \left(\frac{\sum_{i=H-1}^{H} N(x_1,x_2,..x_i).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-2})}{q} \right) \quad (4\text{-}23)$$

$$= N(x_1,x_2,..x_{H-2}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-2}).\sum_{i=H-1}^{H} N(x_1,x_2,..x_i).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-2})$$

แทนค่า $\sigma_s(x_1,x_2,..x_{H-2})$ และสมการที่ 4-23 ลงในสมการที่ 4-20 จะเขียนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\rho_r(x_1,x_2,..x_{H-3}) = \frac{N(x_1,x_2,..x_{H-2}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-2}).\sum_{i=H-1}^{H} N(x_1,x_2,..x_i).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-2}) + N(x_1,x_2,..x_{H-2}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-2})(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-2})}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-3}).q} \quad (4\text{-}24)$$

แทนค่าจากสมการที่ 4-24 ลงในสมการที่ 4-19 จะเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{N(x_1,x_2,..x_{H-2}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-2}).\sum_{i=H-1}^{H}N(x_1,x_2,..x_i).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-2}) + N(x_1,x_2,..x_{H-2}).\mu(x_1,x_2,..x_{H-2})(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-2})}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-3}).q} = \frac{\sum_{i=H-2}^{H}N(x_1,x_2,..x_i).(1-q).\rho_s(x_1,x_2,..x_{H-3})}{q} \quad (4\text{-}25)$$

สามารถแก้สมการได้ดังนี้

$$\frac{\mu(x_1,x_2,..x_{H-2})\left(N(x_1,x_2,..x_{H-2}).\sum_{i=H-1}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)+N(x_1,x_2,..x_{H-2})\right)}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-3})} = \sum_{i=H-2}^{H}N(x_1,x_2,..x_i) \quad (4\text{-}26)$$

ดังนั้นจะได้สมการ

$$\frac{\mu(x_1,x_2,..x_{H-2})}{\mu(x_1,x_2,..x_{H-3})} = \frac{\sum_{i=H-2}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)}{\left(N(x_1,x_2,..x_{H-2}).\sum_{i=H-1}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)+N(x_1,x_2,..x_{H-2})\right)} \quad (4\text{-}27)$$

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กรณี $l <= H-1$

$$\frac{\mu(x_1,x_2,..x_l)}{\mu(x_1,x_2,..x_{l-1})} = \frac{\sum_{i=l}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)}{\left(N(x_1,x_2,..x_l).\sum_{i=l+1}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)+N(x_1,x_2,..x_l)\right)} \quad (4\text{-}28)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ 4-28 สามารถจัดรูปสมการ ได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{\ln(1-p(x_1,x_2,..x_l))}{\ln(1-p(x_1,x_2,..x_{l-1}))}=\frac{\sum_{i=l}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)}{\left(N(x_1,x_2,..x_l).\sum_{i=l+1}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)+N(x_1,x_2,..x_l)\right)} \quad (4\text{-}29)$$

และเมื่อเรากำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลได้สำเร็จมีค่าน้อยมาก ๆ ดังนั้นทำให้ $\ln(1-p(x_1,x_2...x_l))\approx -p(x_1,x_2...x_l)$ และเมื่อแทนค่าจากสมการที่ 4-29 จะได้ความสัมพันธ์ของอัตราการส่งข้อมูลแปรผันตรงกับค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จดังสมการ

$$\frac{\mu(x_1,x_2,...,x_l)}{\mu(x_1,x_2...x_{l-1})}=\frac{p(x_1,x_2,...,x_l)}{p(x_1,x_2...x_{l-1})} \quad (4\text{-}30)$$

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่ทำให้ปริมาณงานในแต่ละโหนดมีความเท่าเทียมกัน หาได้จากสมการ

$$\frac{p(x_1,x_2,...,x_l)}{p(x_1,x_2...x_{l-1})}=\frac{\sum_{i=l}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)}{\left(N(x_1,x_2,..x_l).\sum_{i=l+1}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)+N(x_1,x_2,..x_l)\right)} \quad (4\text{-}31)$$

เมื่อได้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จตามสมการที่ 4-31 แล้วสามารถหาสมการความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่ทำให้ปริมาณงานเท่าเทียมกันและนำสิ่งกีดขวางมาพิจารณาหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{p(x_1,x_2,...,x_l)}{p(x_1,x_2...x_{l-1})}=\left(\frac{\sum_{i=l}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)}{\left(N(x_1,x_2,..x_l).\sum_{i=l+1}^{H}N(x_1,x_2,..x_i)+N(x_1,x_2,..x_l)\right)}\right) \quad (4\text{-}32)$$
$$\left(\frac{1-A(x_1,x_2,...,x_l)}{1-A(x_1,x_2,...,x_{l-1})}\right)$$

4.2.1 การทดสอบเพื่อหาปริมาณงานที่เท่าเทียมกันของแต่ละโหนด

เราสามารถนำสมการที่ 4-32 ไปคำนวนหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณงานที่เท่าเทียมกันของแต่ละโหนดได้ โดยมีการทดสอบและวิธีการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนในการทดลอง

1.กำหนดพื้นที่และเลือกเส้นทางในการส่งข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4-2

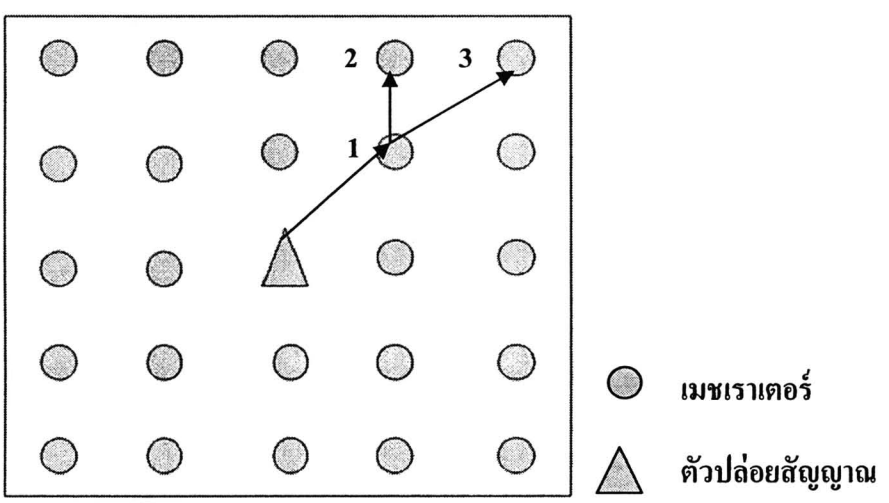
2.ใช้สมการที่ 4-17 ในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ

3.นำค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่ได้ไปคำนวณบนโปรแกรมแมท แลบเพื่อคำนวณหาปริมาณงานที่ได้

4. นำผลการทดลองที่ได้จากข้อ 3 มาแสดงผลค่าเฉลี่ยของปริมาณงานที่เท่าเทียมกันและไม่เท่าเทียมกันดังรูปที่ 4-13

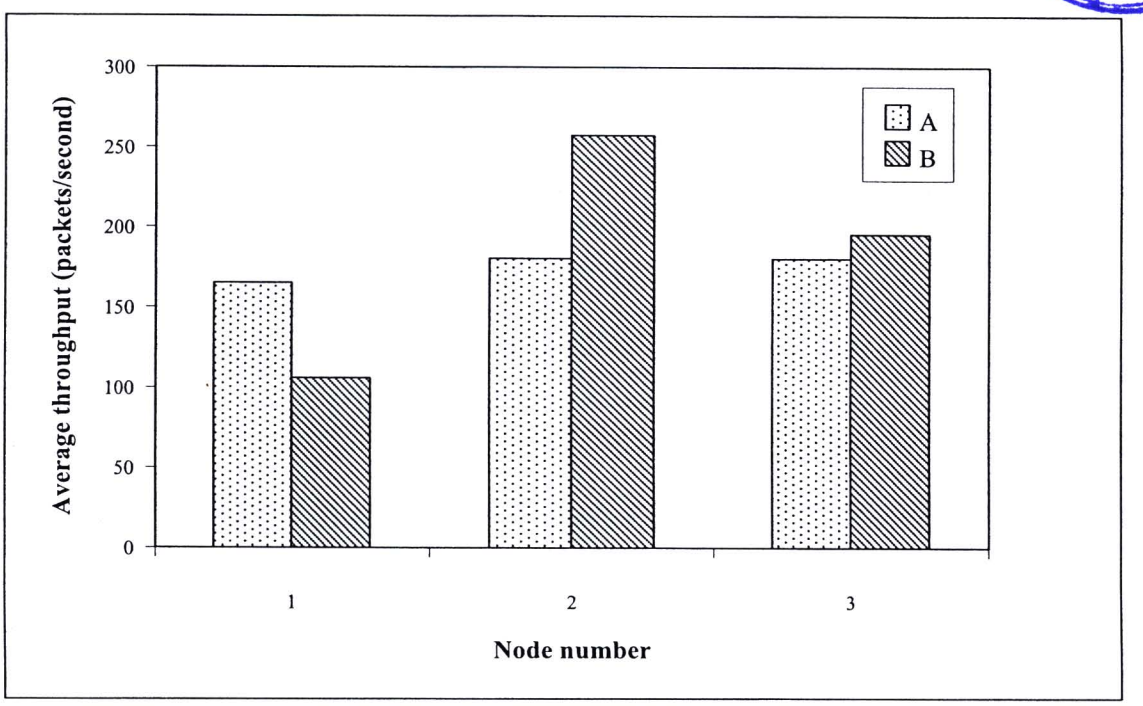
ตารางที่ 4-1 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้จากงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
กำลังที่ใช้ในการส่งข้อมูล	18 dBm
ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกต ใน Q_r จะถูกส่งต่อออกไป	0.7
ขนาดของคิวในระบบ	64



รูปที่ 4-2 ตัวอย่างการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดและเส้นทางในการส่งข้อมูล

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยของปริมาณงานที่เท่าเทียมกันและไม่เท่าเทียมกัน

จากผลการทดลอง กราฟ A แสดงให้เห็นผลของปริมาณงานที่คำนวณได้จากความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยคำนวณจากความเท่าเทียมกันของปริมาณงาน ตามสมการที่ 4-17 ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนว่าปริมาณงานที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนกราฟ B นั้นเป็นการคำนวณหาปริมาณงานจากสมการปกติในบทที่ 3 ซึ่งคำนวณโดยใช้ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยไม่คำนึงถึงความเท่าเทียมกัน ดังนั้น ในการออกแบบการหาตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมนั้นควรคำนึงถึงหลักการของความเท่าเทียมกันของปริมาณงานที่ได้

4.3 การออกแบบโหนดโดยพิจารณาระยะห่างระหว่างโหนด

จากรูปที่ 3-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นความสูญเสียของข้อมูล และความแรงของสัญญาณ สามารถนำมาสู่ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จกับความแรงของสัญญาณดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{p(x_1,x_2,...,x_l)}{p(x_1,x_2...x_{l+1})}=\frac{1-A(x_1,x_2,...,x_l)}{1-A(x_1,x_2...x_{l+1})} \quad (4\text{-}33)$$

นำความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของสัญญาณและการสูญเสียกำลังสัญญาณ แทนลงในสมการที่ 4-33

$$\frac{p(x_1,x_2,...,x_l)}{p(x_1,x_2...x_{l+1})}=\frac{1-\left[0.184*\exp\left((-0.358)P_r(x_1,x_2,...,x_l)\right)\right]}{1-\left[0.184*\exp\left((-0.358)P_r(x_1,x_2...x_{l+1})\right)\right]} \quad (4\text{-}34)$$

สามารถแก้สมการเพื่อจะนำไปสู่การคำนวณหาค่าของ $P_r(x_1,x_2...x_{l+1})$ ได้ดังต่อไปนี้

$$\exp((-0.0358)P_r(x_1,x_2...x_{l+1}))=\frac{1}{0.184}$$
$$-\left[\frac{p(x_1,x_2,...,x_l)}{(0.184)p(x_1,x_2...x_{l+1})}\left(1-0.184*\exp((-0.0358)P_r(x_1,x_2...x_l))\right)\right] \quad (4\text{-}35)$$

$$P_r(x_1,x_2...x_{l+1})=-\frac{1}{0.0358}$$
$$\ln\left[\frac{p(x_1,x_2,...,x_l)-p(x_1,x_2...x_{l+1})\left(\left(1-0.184*\exp((-0.0358)P_r(x_1,x_2...x_l))\right)\right)}{0.184p(x_1,x_2,...,x_l)}\right] \quad (4\text{-}36)$$

จากนั้นจะแก้สมการเพื่อหาค่า $d(x_1,x_2...x_{l+1})$

โดยแทนค่า $P_r(x_1,x_2,...x_l)=P_t-L_0-Loss-20\log\left(\frac{d(x_1,x_2,...x_l)}{d_0}\right)$

และ $P_r(x_1,x_2...x_{l+1})=P_t-L_0-Loss-20\log\left(\frac{d(x_1,x_2...x_{l+1})}{d_0}\right)$

เมื่อ L_0 คือ ความสูญเสียที่เกิดจากระยะทางที่ระยะ 1 เมตร

d_0 คือ ระยะทางของความสูญเสียที่เกิดจากระยะทางที่ระยะ 1 เมตร

สามารถแก้สมการเพื่อนำไปสู่การคำนวณหาระยะทางได้ดังนี้

$$-20\log d(x_1,x_2...x_{l+1}) = L_0 + Loss - P_t + (\frac{1}{0.0358}$$
$$\ln\left[\frac{p(x_1,x_2,...,x_l) - p(x_1,x_2...x_{l+1})((1-0.184*\exp((-0.0358)P_r(x_1,x_2...x_l))))}{0.184p(x_1,x_2,...,x_l)}\right]) \quad (4\text{-}37)$$

เมื่อกำหนดให้

$$B = (\frac{1}{0.0358}\ln\left[\frac{p(x_1,x_2,...,x_l) - p(x_1,x_2...x_{l+1})((1-0.184*\exp((-0.0358)P_r(x_1,x_2...x_l))))}{0.184p(x_1,x_2,...,x_l)}\right])$$

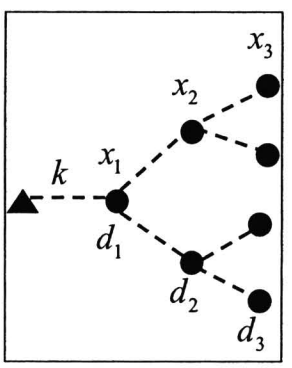
$$B = 27.93\left[\begin{array}{l} 1.69 - \ln\dfrac{p(x_1,x_2...x_{l+1})}{0.184p(x_1,x_2,...,x_l)} \\ -0.358(P_t - L_0 - Loss - 20\log\left(\dfrac{d(x_1,x_2...x_l)}{d_0}\right))\ln\dfrac{p(x_1,x_2...x_{l+1})}{p(x_1,x_2,...,x_l)} \end{array}\right] \quad (4\text{-}38)$$

แทนสมการที่ 4-38 ลงในสมการที่ 4-37 จะสามารถคำนวณหา $d(x_1,x_2...x_{l+1})$ ได้ดังสมการ

$$d(x_1,x_2...x_{l+1}) = 10^{\left(\frac{L_0+Loss-P_t+B}{-20}\right)} \quad (4\text{-}39)$$

4.3.1 ตัวอย่างการทดสอบด้านระยะทาง

สามารถคำนวณหา d_1 d_2 และ d_3 ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ที่ 4-37 และใช้หลักการความเท่าเทียมกันเพื่อจัดวางหาตำแหน่งเส้นทางในการส่งข้อมูลและนำมาคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูล สามารถคำนวณหาระยะทางได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-4 แสดงตังอย่างในการออกแบบวางตำแหน่งของโหนด

ขั้นตอนในการทดสอบ

1.ออกแบบการวางตำแหน่งดังรูปที่ 4-4

2.คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ โดยวิเคราะห์จากสมการที่ 4-34

พิจารณาในชั้นที่ไกลสุด คือชั้นที่ H ในที่นี้คือชั้นที่ x_3 สามารถหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จได้จากสมการ

$$\frac{p(x_1, x_2, ..x_H)}{p(x_1, x_2, ..x_{H-1})} = 1$$

กำหนดให้ ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ ที่ $x_3 = k$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ p_{x_3} และค่าความน่าจะเป็นรวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาตัวแปรต่างๆได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{p_{x_3}}{p_{x_2}} = 1$$

$$p_{x_2} = \frac{k}{1} = k$$

แก้สมการเพื่อหาค่า p_{x_1} ได้จากสมการที่ 4-32 ดังนี้

$$\frac{p_{x_1}}{p_{x_2}} = \frac{6}{(1\times 6)+1}$$

$$p_{x_1} = 0.86k$$

เมื่อได้ค่า p ของทุกโหนดแล้ว สามารถที่จะหาค่า k ได้ จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sum p(x_1, x_2 ..., x_l) = 1$$

$$k + 2k + 4(0.86)k = 1$$
$$k = 0.155$$

ซึ่งเมื่อได้ค่า $p_{x_3} = k = 0.155$ แล้ว นำค่า k ไปแทนในสมการข้างต้นเพื่อ หาค่า p_{x_1} p_{x_2} และ p_{x_3} ได้ดังนี้

$$p_{x_1} = 0.133$$

$$p_{x_2} = 0.155$$

$$p_{x_3} = 0.155$$

3. คำนวณหาระยะทาง จากสมการที่ 4-37

ตัวอย่างการคำนวณทีระยะทาง d_1 เท่ากับ 1 เมตร และสามารถคำนวณหา d_2 และ d_3 ได้จากสมการที่ 4-39 และทำการแก้สมการได้ดังต่อไปนี้

$$d_2 = 10^{\left[\frac{-35.65-18-22.67}{-20}\right]}$$

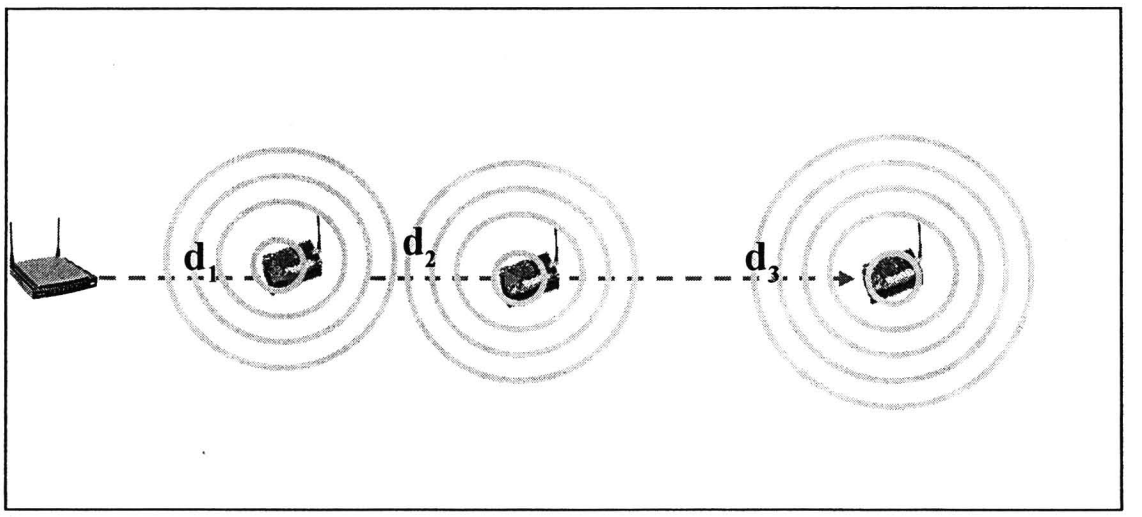
$$d_2 = 34.3$$

ทำการแก้สมการเพื่อหา ระยะทาง d_3 ได้ดังต่อไปนี้

$$d_3 = 10^{\left[\frac{-35.65-18-0.08}{-20}\right]}$$

$$d_3 = 477$$

จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อกำหนดให้ d_1 เท่ากับ 1 เมตร ดังนั้นค่า $d_2 = 34.3$ เมตร และ $d_3 = 477$ เมตร จะสังเกตได้ว่าระยะทางที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 การกระจายสัญญาณของจุดเข้าถึงสัญญาณ d_1 d_2 และ d_3

ตัวอย่างการคำนวณที่ระยะทาง d_1 เท่ากับ 100 เมตรและกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จมีค่าน้อยมาก ๆ

$$p_{x_1} = 0.133\times10^{-3}$$

$$p_{x_2} = 0.155\times10^{-3}$$

$$p_{x_3} = 0.155\times10^{-3}$$

สามารถคำนวณหา d_2 และ d_3 ได้จากสมการที่ 4-39 และทำการแก้สมการได้ดังต่อไปนี้

$$d_2 = 10^{\left[\frac{-35.65-18-148.95}{-20}\right]}$$

$$d_2 = 1.34\times10^{10}$$

ทำการแก้สมการเพื่อหา ระยะทาง d_3 ได้ดังต่อไปนี้

$$d_3 = 10^{\left[\frac{-35.65-18-279}{-20}\right]}$$

$$d_3 = 4.26\times10^{16}$$

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อกำหนดให้ d_1 เท่ากับ 100 เมตรดังนั้นค่า $d_2 = 1.34\times10^{10}$ เมตร และ $d_3 = 4.26\times10^{16}$ เมตร จะสังเกตได้ว่าระยะทางที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าออกแบบโดยใช้ ระยะทางในการกำหนดการวางตำแหน่งของโหนดนั้น อาจจะก่อให้เกิดปัญหาพื้นที่ที่สัญญาณครอบคลุมไม่ถึงเนื่องจากระยะทางที่ได้นั้นมีค่าห่างกันทำให้การติดตั้ง จุดเข้าถึงสัญญาณ ไกลกันเกินไป ดังรูปที่ 4-5 ดังนั้นจึงไม่ควรนำปัจจัยทางด้านระยะทางมาพิจารณาในการจัดวางหาตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมได้

4.4 การออกแบบโหนดโดยพิจารณาอัตราการส่งข้อมูล

จากการวิเคราะห์ผลทางด้านระยะทางที่ได้นั้นไม่สามารถนำวิธีการนี้มาใช้ในการออกแบบได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูล ด้วยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยการปรับอัตราการส่งข้อมูลตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4-37 และสามารถปรับได้ที่ตัวอุปกรณ์ โดยอัตราการส่งข้อมูลจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ

$$\mu(x_1, x_2, ..., x_l) \propto p(x_1, x_2, ..., x_l) \tag{4-40}$$

และเมื่อคิดรวมผลกระทบจากสิ่งกีดขวางแล้ว จะได้สมการของค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการส่งข้อมูล ดังสมการที่ 4-39

$$\frac{p(x_1, x_2, ..., x_l)}{p(x_1, x_2 ... x_{l+1})} = \left[\frac{\mu(x_1, x_2, ..., x_l)}{\mu(x_1, x_2 ... x_{l+1})}\right]\left[\frac{1 - A(x_1, x_2, ..., x_l)}{1 - A(x_1, x_2 ... x_{l+1})}\right] \tag{4-41}$$

ถึงแม้ว่าจะสามารถวิเคราะห์หาปริมาณที่เท่าเทียมกันได้แล้วนั้น ซึ่งคำนวณจากค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ จากการทดสอบวางตำแหน่งของโหนดและใช้วิธีการเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่แตกต่างกันออกไปผลของปริมาณงานรวมที่ได้นั้นก็จะแตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการออกแบบจริงนั้นควรคำนึงถึงการเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้ในการส่งข้อมูล ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ถึงผลของปริมาณงานรวมที่ได้โดยเริ่มต้น กำหนดพื้นที่ จัดเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้ ตัวอย่างการเลือกวางตำแหน่งที่เป็นไปได้ของโหนดดังรูปที่ 4-6 จากนั้นจะคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยใช้สมการที่ 4-32 และเพื่อนำไปวิเคราะห์ทดสอบเลือกหาปริมาณงานที่ได้สูงที่สุด

4.5 การหาวิธีการออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสม

จากการทดสอบด้านระยะทางผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถนำแนวความคิดการออกแบบในด้านระยะทางมาใช้ในการออกแบบจริงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดในเรื่องการควบคุมในส่วนของอัตราการส่งข้อมูลซึ่งควบคุมได้จากอุปกรณ์โดยตรง

4.5.1 การทดสอบเพื่อหาวิธีการออกแบบการวางตำแหน่งของโหนด

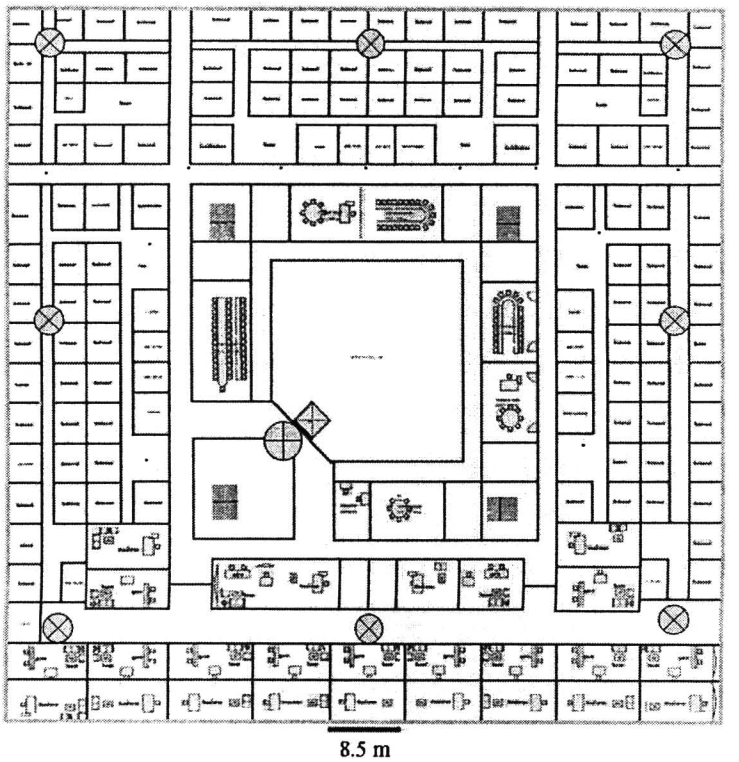
ในงานวิจัยนี้ได้มีแนวคิดที่จะออกแบบหาการวางตำแหน่งของโหนด โดยนำผลกระทบจากปัจจัยภายนอกมาพิจารณาและหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จได้เพื่อนำไปคำนวณหาการเท่าเทียมกันของปริมาณงาน

ขั้นตอนในการออกแบบ

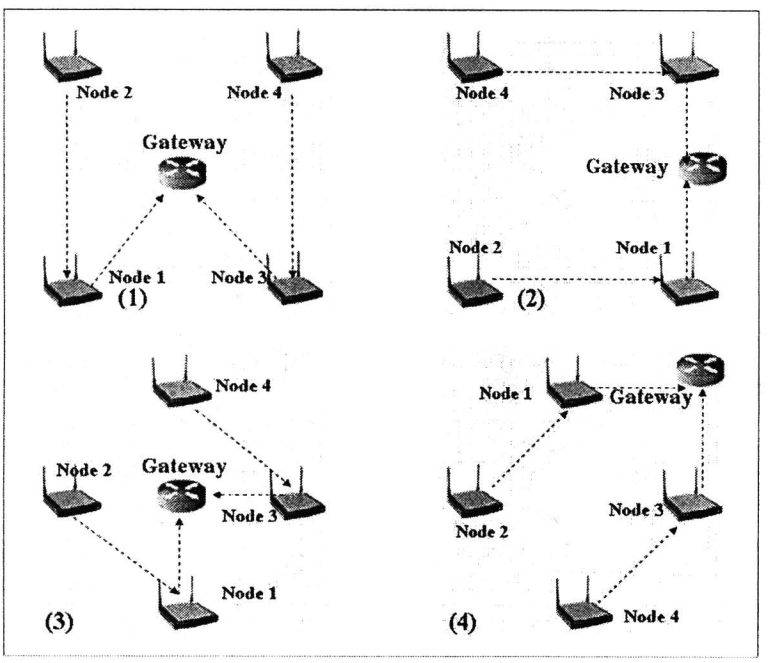
1.กำหนดพื้นที่ในการออกแบบ ยกตัวอย่างการทดสอบในอาคารวิชาการ ชั้น 4 ดังรูปที่ 4-6 ซึ่งสามารถติดอุปกรณ์เมชเราเตอร์ได้ทั้งหมด 9 จุด โดยมีรัศมีการส่งที่เท่า ๆ กัน

2.ติดตั้งวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้ตามความเหมาะสมโดยวางให้ระยะทางเท่า ๆ กัน ซึ่งมีความเป็นไปได้อยู่ 4 แบบด้วยกัน ดังรูปที่ 4-7

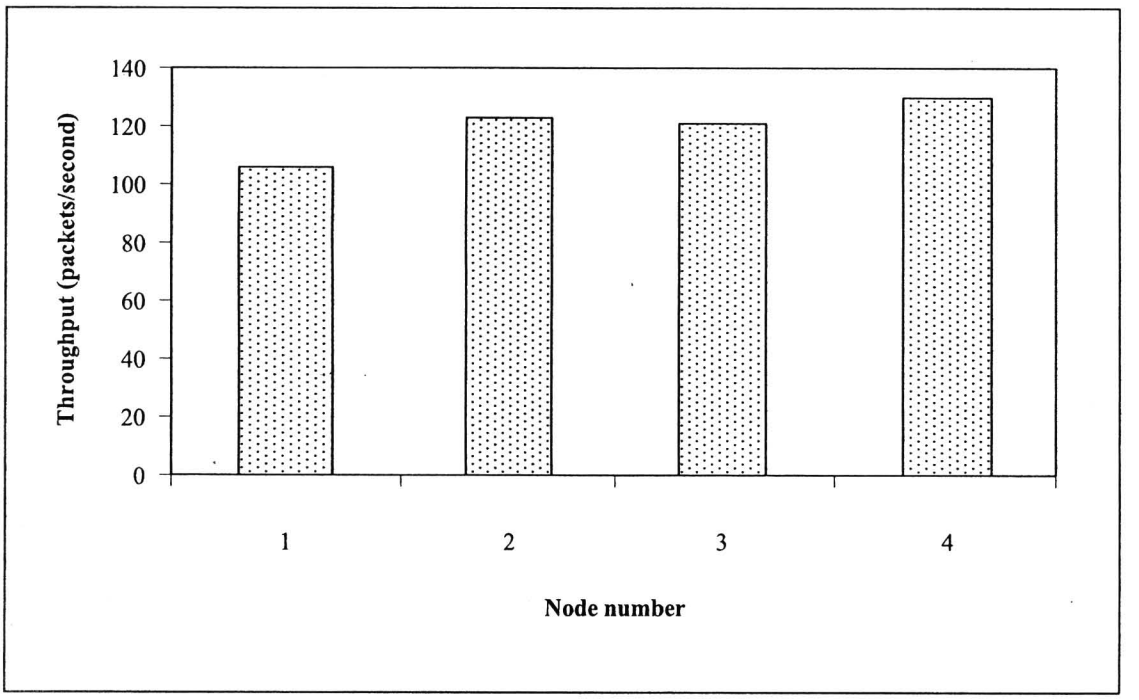
3.ใช้สมการที่ 4-32 ในการหาความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณงานที่ได้ต่อไป



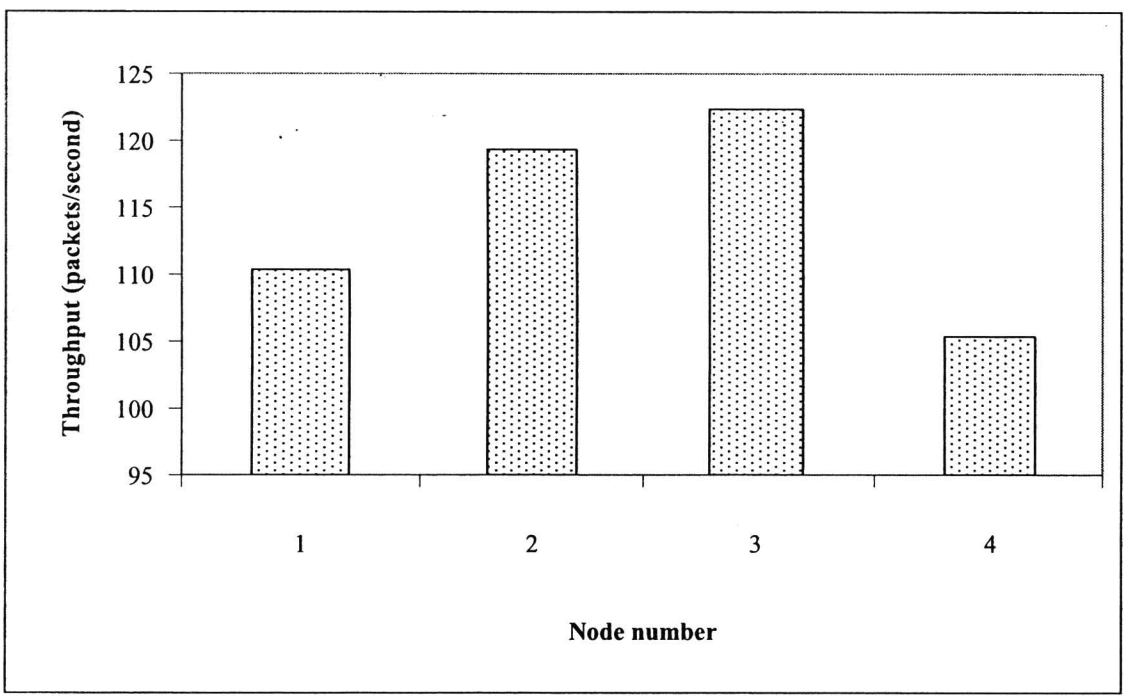
รูปที่ 4-6 อาคารวิชาการชั้น 4 ที่ใช้ในการทดสอบ



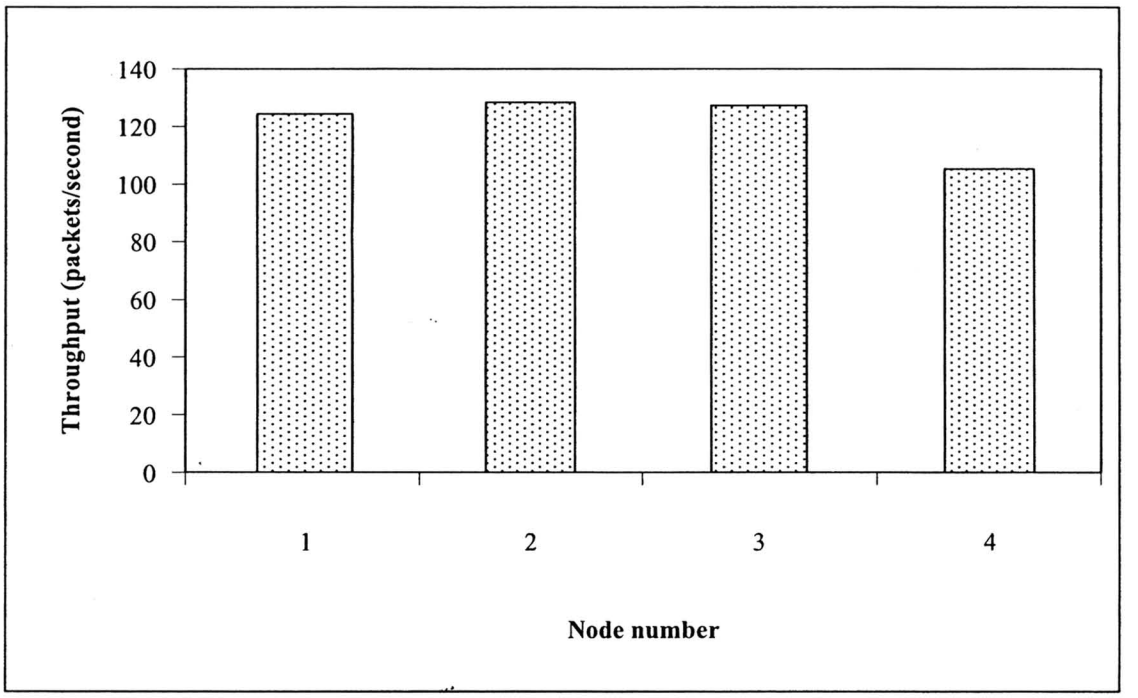
รูปที่ 4-7 รูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดและแสดงเส้นทางในการส่งข้อมูล



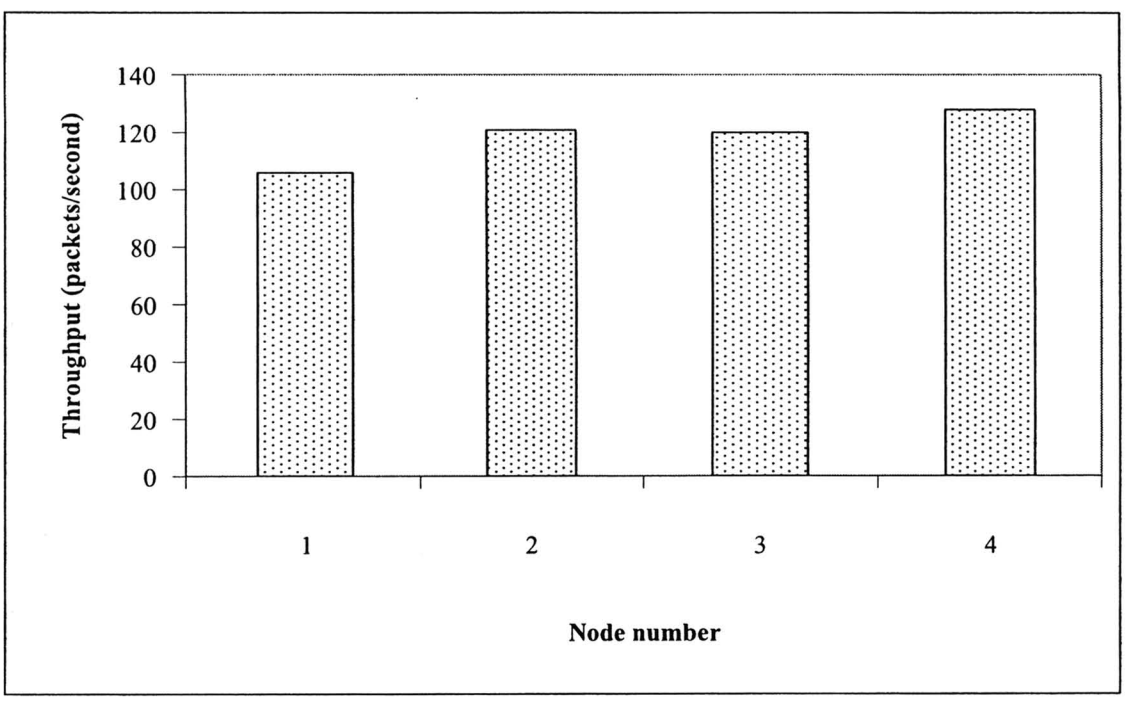
รูปที่ 4-8 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 1



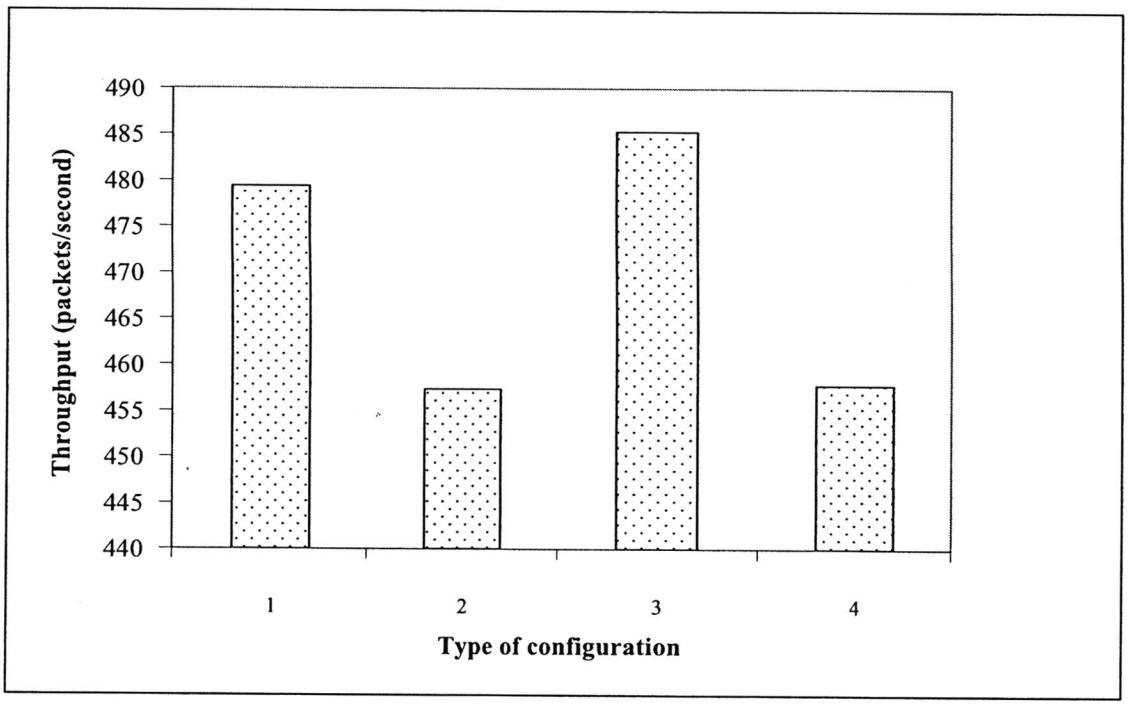
รูปที่ 4-9 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 2



รูปที่ 4-10 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 3



รูปที่ 4-11 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 4



รูปที่ 4-12 ปริมาณงานรวมของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 1 2 3 และ 4

ตารางที่ 4-2 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองหาปริมาณงานที่ของการเลือกวางตำแหน่งแบบที่ 1 2 3 และ 4

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
กำลังที่ใช้ในการส่ง	18 dBm
ความน่าจะเป็นที่ข้อมูล ใน Q_r จะถูกส่งต่อออกไป	0.7
ขนาดของผู้ใช้งานในระบบ	64

จากรูปที่ 4-12 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาปริมาณงานรวมที่ได้จากรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบ ที่ 1 2 3 และ 4 จะพบว่าปริมาณงานในการจำลองแบบที่ 3 มีค่าสูงที่สุด ดังนั้นในการเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมที่สุด สามารถพิจารณาได้จากปริมาณงานที่ได้ที่มีค่าสูงที่สุดซึ่งในการทดลองนี้ เราจะเลือกการวางตำแหน่งของโหนดในแบบที่ 3

4.5.2 การออกแบบและติดตั้งเครือข่ายเมชไร้สายให้มีประสิทธิภาพ

เทคนิคในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อให้การออกแบบและติดตั้งระบบให้มีคุณภาพ หรือ ประสิทธิภาพการให้บริการดีที่สุด

1. จุดที่เหมาะสมสำหรับติดตั้ง จุดเข้าถึงสัญญาณ คือ จุดศูนย์กลางของพื้นที่ที่ต้องการให้บริการระบบเครือข่ายไร้สาย
2. จุดใดที่เป็นจุดอับสัญญาณควรติดตั้ง จุดเข้าถึงสัญญาณเพิ่มเพื่อให้มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมมากขึ้น
3. การปรับทิศทางสายอากาศของ จุดเข้าถึงสัญญาณ ควรจะปรับให้เป็นแนวตั้งฉากกับพื้น

ผู้ใช้งานระบบเครือข่ายเมชไร้สายสามารถเคลื่อนย้ายไปทำงานยังจุดใด ๆ ได้ซึ่งอยู่ในรัศมีการให้บริการของ จุดเข้าถึงสัญญาณทุกตัว โดยที่การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับระบบจะไม่ขาดช่วง และ จุดเข้าถึงสัญญาณยังสามารถเป็นการสำรองข้อมูลหากเกิดกรณีที่มี จุดเข้าถึงสัญญาณ ตัวใดเกิดการเสียหาย ระบบยังสามารถให้บริการได้อย่างต่อเนื่อง

4.6 กล่าวท้ายบท

ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบ ในงานวิจัยได้คำนึงถึงค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ปริมาณงานที่ได้ของทุกโหนดมีค่าเท่าเทียมกันแต่ในทางปฏิบัตินั้นเราสามารถออกแบบหาค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จโดยมีพารามิเตอร์ที่ควรคำนึงมากที่สุดคือ ปัจจัยในด้าน ระยะทาง และปัจจัยทางด้านอัตราการส่งข้อมูลที่สามารถปรับได้ที่ตัวอุปกรณ์เมชเราเตอร์ ซึ่งในเรื่องปัจจัยด้านระยะทางจะพบว่าระยะทางมีลดลงซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณ ดังนั้นไม่ควรนำปัจจัยในด้านระยะทางมาพิจารณา จากนั้นจึงได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูลกับอัตราการส่งข้อมูล ดังนั้นควรเลือกปัจจัยในด้านอัตราการส่งข้อมูล โดยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จจากการปรับอัตราการส่งข้อมูลที่ตัวอุปกรณ์เมชเราเตอร์ และในการวิเคราะห์ตามแนวทางหลักการความเท่าเทียมกันนั้น ถึงแม้ว่าจะได้สมการที่สามารถนำไปคำนวณหาปริมาณที่เท่าเทียมกันได้ จากการทดสอบออกแบบจำลองเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้ที่แตกต่างกันผลที่ได้ของปริมาณงานนั้นก้แตกต่างกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าในการออกแบบจริงนั้น จำเป็นต้องมีการคำนึงถึงการเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้และคำนวณหาปริมาณงานรวมที่ได้ ซึ่งในการออกแบบใดที่มีปริมาณงานสูงที่สุด เราควรจะเลือกการออกแบบการวางตำแหน่งโหนดที่เหมาะด้วยวิธีการนั้น