

# การหาค่าสมรรถนะของระบบ MIMO แบบขยายแล้วส่งต่อ บนช่องสัญญาณรีเลย์ที่มีข้อมูลสถานะช่องสัญญาณไม่สมบูรณ์

## Performance of Amplify-and-Forward MIMO

### Relay Channels with Imperfect Channel State Information

อนุชิต วิชาเป็ง เศรษฐกร กาเมือง สุวิพล สิริชิวภาค

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### บทคัดย่อ

ระบบการส่งและรับแบบหลายช่องทาง Multiple Input Multiple Output (MIMO) ให้อัตราการส่งข้อมูลในปริมาณที่มาก เมื่อเทียบกับการรับส่งแบบช่องทางเดียว Single Input Single Output (SISO) งานวิจัยส่วนใหญ่ตั้งสมมุติฐานที่สำคัญประการหนึ่งคือสมมุติให้เครื่องส่งข้อมูลสามารถรู้ข้อมูลข่าวสารของช่องสัญญาณ Channel State Information (CSI) ได้อย่างสมบูรณ์ ในบทความนี้เราจะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน กรณีการประมาณช่องสัญญาณที่สมบูรณ์ กับกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีการประมาณช่องสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ โดยใช้การจำลองแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการหาค่าสมรรถนะของระบบ ดังนั้นการศึกษาสมรรถนะที่แท้จริงของระบบ MIMO ในสถานะที่ทราบข้อมูลของช่องสัญญาณแบบไม่สมบูรณ์จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องศึกษา

คำสำคัญ : MIMO, การประมาณช่องสัญญาณ, การขยายแล้วส่งต่อ

#### Abstract

Multiple Input Multiple Output (MIMO) system yields higher data transmission rate comparing to the Single Input Single Output (SISO) system. Most researches in this area deploy the key hypothesis that the transmitter is able to detect a Channel State Information (CSI) perfectly. In this study, the relationship between the signal-to-noise ratio on the perfect Channel State Information and that on imperfect Channel State Information using programming simulation to find out the system efficiency figure, is considered. As a result, the real system efficiency of MIMO with detected imperfect Channel State Information is an essential.

Keywords : MIMO, Imperfect CSI, PDF, Amplify-and-Forward

#### 1. บทนำ

เทคโนโลยี Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) เป็นระบบที่มีการกระจายสัญญาณออกเป็นหลายๆ ส่วน

(Multipath propagation) โดยอาศัย MIMO encoder เป็นตัวเข้ารหัสสัญญาณ และทำการส่งต่อมายัง MIMO transmitter ซึ่งจะมีเสาอากาศเป็นตัวส่งกระจายสัญญาณ ไปยังเครื่องรับ

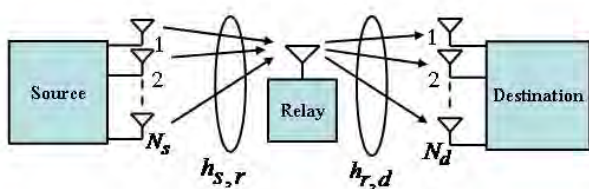
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ MIMO receiver และที่เครื่องรับจะทำการรวมสัญญาณกลับเข้ามาใหม่ได้ ด้วยเหตุนี้ทำให้อุปกรณ์ที่สนับสนุน MIMO มีสมรรถนะที่ดีกว่าระบบ single-input single-output (SISO) ที่มีการส่ง-รับสัญญาณที่ช่องทางเดียว เสาอากาศที่มากกว่าจะรับสัญญาณได้มากกว่าและสามารถแก้ไขในเรื่องของจุดอับของสัญญาณได้ เมื่อใช้เสาอากาศหลายๆอันหากมีเสาอากาศใดเสาหนึ่งอยู่ในจุดอับสัญญาณ ก็ยังใช้เสาอากาศอื่นในการส่งสัญญาณได้

หาก MIMO transmitter และ MIMO receiver ไม่สามารถส่งสัญญาณสื่อสารกันได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้ตัวกลางในการเชื่อมต่อ ในที่นี้จะเรียกว่า Relay transmissions จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณมาจาก MIMO transmitter และทำการขยายสัญญาณแล้วส่งต่อไปให้กับ MIMO receiver ต่อไป ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า Amplify-and-Forward (AF)

การวิเคราะห์หาค่าสมรรถนะของระบบ 2-hop AF Relay Network ซึ่งใช้ relay 1 ตัวสามารถดูได้จาก[1] ส่วนการหาค่า SER ของระบบ 2-hop AF Relay network โดยใช้หลายเสาอากาศสามารถดูได้จาก[2] งานวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวนี้ตั้งสมมุติฐานที่สำคัญประการหนึ่งคือสมมุติให้เครื่องส่งข้อมูลสามารถรู้ข้อมูลข่าวสารของช่องสัญญาณได้อย่างสมบูรณ์ แต่ในบทความนี้เน้นกล่าวถึงในสภาวะที่ไม่สามารถรับรู้ช่องสัญญาณได้อย่างสมบูรณ์ที่จะทำให้สมรรถนะของระบบเปลี่ยนไป

## 2. โครงสร้างระบบ AF MIMO Relay



รูปที่ 1 AF MIMO relays system

จากรูปที่ 1 แสดงระบบ MIMO relay โดยมี  $N_s$  แขนงเสาอากาศด้านต้นทาง (source) และ  $N_d$  แขนงเสาอากาศด้านปลายทาง (destination) ในที่นี้เราสมมุติให้ source และ destination ไม่สามารถติดต่อกันโดยตรงได้ จะมีการส่ง

สัญญาณผ่านรีเลย์ (Relay) แบบเสาเดียวที่ใช้ protocol แบบ Amplify-and-Forward (AF) เราจะแบ่งการติดต่อสื่อสารของระบบออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นการส่งสัญญาณจากต้นทางมายังรีเลย์ โดยที่ต้นทางจะส่งสัญญาณออกจากเสาอากาศแต่ละต้นมายังรีเลย์ ในส่วนที่สองเมื่อรีเลย์รับสัญญาณเข้ามาแล้วก็ทำการขยายสัญญาณแล้วส่งต่อไปให้กับปลายทาง เมื่อปลายทางรับสัญญาณเข้ามาแล้วก็ทำการรวมสัญญาณกลับเข้ามาใหม่ โดยที่  $h_{s,r} = [h_{s,r}^i]_{1 \times N_s}$  แทนช่องสัญญาณระหว่าง source - relay และ  $h_{r,d} = [h_{r,d}^i]_{N_d \times 1}$  แทนช่องสัญญาณระหว่าง relay - destination

สัญญาณที่รีเลย์รับเข้ามาสามารถเขียนในรูปสมการซึ่งได้จาก[2] ดังนี้

$$y_r = \sqrt{c_1} h_{s,r}^i s + n_r \quad (1)$$

โดยให้  $s$  คือสัญญาณที่ถูกใช้ส่งจาก source,  $c_1$  คือระยะทางระหว่าง source กับ relay และ  $n_r$  คือค่าสัญญาณรบกวน additive white Gaussian noise (AWGN) สัญญาณที่รับเข้ามาจะถูกขยายโดยคูณกับค่าอัตราขยาย  $G$  ของ relay และส่งต่อไปยัง destination ส่วนค่าของสัญญาณที่ destination สามารถเขียนได้จาก[2] ดังนี้

$$y_d = \sqrt{c_2} \mathbf{h}_{r,d} G y_r + \mathbf{n}_d \quad (2)$$

โดยให้  $c_2$  คือระยะทางระหว่าง relay กับ destination  $\mathbf{n}_d$  คือสัญญาณรบกวน  $N_d \times 1$  ที่พิจารณาแบบ AWGN

$$E[\mathbf{n}_d \mathbf{n}_d^H] = \mathbf{I}_{N_d} N_0$$

สัญญาณที่รับได้จะคูณกับเวกเตอร์  $\mathbf{w}^H$

$$\begin{aligned} r_d &= \mathbf{w}^H \mathbf{y}_d \\ &= \sqrt{c_2} \mathbf{w}^H \mathbf{h}_{r,d} G y_r + \mathbf{w}^H \mathbf{n}_d \\ &= G \sqrt{c_1 c_2} \mathbf{w}^H \mathbf{h}_{r,d} h_{s,r}^i s_d \\ &\quad + G \sqrt{c_2} \mathbf{w}^H \mathbf{h}_{r,d} n_r + \mathbf{w}^H \mathbf{n} \end{aligned} \quad (3)$$

ค่า Signal-to-Noise Ratio (SNR)  $\gamma$  ของทั้งระบบสามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma = \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\frac{1}{G^2 N_0} + \gamma_2} \quad (4)$$

โดยที่  $\gamma_1 = \frac{c_1}{N_0} |h_{s,r}^i|^2 = \overline{\gamma_1} |h_{s,r}^i|^2$

คือค่า SNR ช่วงแรก

$$\gamma_2 = \frac{c_2}{N_0} |\mathbf{w}^H \mathbf{h}_{r,d}|^2 = \overline{\gamma_2} |\mathbf{w}^H \mathbf{h}_{r,d}|^2$$

คือค่า SNR ของช่วงแรกและช่วงที่สองค่าของอัตราขยาย G ของรีเลย์ ได้มาจาก [3]

$$G^2 = \frac{1}{C_1 |h_{s,r}^i|^2 + N_0} \quad (5)$$

แทนค่า (5) ลงใน (4) จะได้

$$\gamma^{eq1} = \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2 + 1} \quad (6)$$

อัตราการขยายของรีเลย์ได้จากการอินเวิร์สอัตราการขยายของช่องสัญญาณได้มาจาก [4]

$$G^2 = \frac{1}{C_1 |h_{s,r}^i|^2} \quad (7)$$

เมื่อแทนค่า (7) ลงใน (4) จะได้

$$\gamma^{eq2} = \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2} \quad (8)$$

ซึ่งค่าประมาณช่องสัญญาณ MRC จะได้จาก

$$\mathbf{w} = \frac{\mathbf{h}_{r,d}}{\sqrt{\|\mathbf{h}_{r,d}\|_F^2}} \quad (9)$$

เมื่อมีการประมาณค่าช่องสัญญาณที่ผิดพลาด (Channel Estimation Error) จะทำให้มีผลต่อสมรรถนะของระบบโดยตรง ดังนั้นที่ด้านรับ ซึ่งใช้วิธี Maximal Ratio Combining (MRC) จะผิดพลาดจากเดิมด้วย เราสามารถแสดงสมการในกรณีนี้ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= \overline{\gamma_2} |\mathbf{w}^H \mathbf{h}_{r,d}|^2; \mathbf{w} = \frac{\hat{\mathbf{h}}_{r,d}}{\sqrt{\|\hat{\mathbf{h}}_{r,d}\|_F^2}} \\ &= \overline{\gamma_2} |\mathbf{w}^H \mathbf{h}_{r,d}|^2 = \overline{\gamma_2} \left\{ \frac{\hat{\mathbf{h}}_{r,d}^H \mathbf{h}_{r,d}}{\|\hat{\mathbf{h}}_{r,d}\|_F^2} \right\} \\ &= \overline{\gamma_2} \left\{ \frac{\mathbf{h}_{r,d}^H (\mathbf{h}_{r,d} + \boldsymbol{\varepsilon}_{r,d})}{\|\hat{\mathbf{h}}_{r,d}\|_F^2} \right\} \end{aligned}$$

$$= \overline{\gamma_2} \left\{ \frac{(\mathbf{h}_{r,d}^H \mathbf{h}_{r,d} + \mathbf{h}_{r,d}^H \boldsymbol{\varepsilon}_{r,d})}{\|\hat{\mathbf{h}}_{r,d}\|_F^2} \right\} \quad (10)$$

เมื่อเราพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนกำลังงาน สัญญาณ ต่อสัญญาณรบกวนกรณีการประมาณช่องสัญญาณที่สมบูรณ์ กับกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีการประมาณช่องสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ จะได้

$$\overline{\gamma_2} \left\{ \frac{(\mathbf{h}_{r,d}^H \mathbf{h}_{r,d} + \mathbf{h}_{r,d}^H \boldsymbol{\varepsilon}_{r,d})}{\|\hat{\mathbf{h}}_{r,d}\|_F^2} \right\} = \overline{\gamma_2^{(im)}} \frac{|\mathbf{h}_{r,d}|^2}{\|\mathbf{h}_{r,d}\|_F^2}$$

$$\overline{\gamma_2} \sigma_{hh}^2 (\mathbf{h}_{r,d}^H \mathbf{h}_{r,d} + \mathbf{h}_{r,d}^H \boldsymbol{\varepsilon}_{r,d}) = \overline{\gamma_2^{(im)}} |\mathbf{h}_{r,d}|^2$$

โดยที่  $\sigma_{hh}^2 = \frac{\|\mathbf{h}_{r,d}\|_F^2}{\|\hat{\mathbf{h}}_{r,d}\|_F^2}$

$$\begin{aligned} \overline{\gamma_2^{(im)}} &= \overline{\gamma_2} \sigma_{hh}^2 \left\{ \frac{\mathbf{h}_{r,d}^H \mathbf{h}_{r,d} + \mathbf{h}_{r,d}^H \boldsymbol{\varepsilon}_{r,d}}{|\mathbf{h}_{r,d}|^2} \right\} \\ &= \overline{\gamma_2} \sigma_{hh}^2 \left\{ \mathbf{1} + \frac{\mathbf{h}_{r,d}^H \boldsymbol{\varepsilon}_{r,d}}{|\mathbf{h}_{r,d}|^2} \right\} \quad (11) \end{aligned}$$

ค่า  $\overline{\gamma_2^{(im)}}$  คืออัตราส่วนของกำลังงานต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่มีการประมาณช่องสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ และเมื่อ  $\boldsymbol{\varepsilon}_{r,d}$  มีค่าน้อยมากๆ จะทำให้  $\sigma_{hh}^2 \approx 1$  และทำให้  $\overline{\gamma_2^{(im)}} \approx \overline{\gamma_2}$  ซึ่งเป็นกรณีของการประมาณค่าช่องสัญญาณที่เข้าใกล้ค่าที่สมบูรณ์มากที่สุดนั่นเอง

### 3.การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพ

ในหัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ AF MIMO บนช่องสัญญาณรีเลย์ด้วย MRC โดยอันดับแรกจะเป็นเรื่อง SNR รวมของระบบ และการวิเคราะห์ Symbol Error Rate (SER)

#### 3.1 Signal-to-Noise Ratio

จากสมการของ Cumulative distribution function(CDF) ของ SNR  $\gamma$  สำหรับ AF MIMO บนช่องสัญญาณรีเลย์ด้วย MRC แทนค่า  $\tau=1$  และ  $\tau=0$  ลงในสมการจาก[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_\gamma(\gamma) = 1 + \frac{2e^{-\frac{\gamma}{\gamma_2}}}{(N_d-1)! \gamma_2^{-N_d}} \sum_{k=1}^{N_s} \sum_{j=0}^{N_d-1} C_{N_s}^k C_{N_d-1}^j (-1)^k \gamma^{N_d-j-1} e^{-\frac{k\gamma}{\gamma_1}} \times \left( \frac{\bar{\gamma}}{\gamma_1} \right)^{\frac{j+1}{2}} K_{j+1} \left( 2\sqrt{\frac{\bar{\gamma}}{\gamma_1 \gamma_2}} \right) \quad (12)$$

เมื่อ  $\hat{\gamma} = \gamma^2 + \gamma\tau$ ,  $C_N^n = \frac{N!}{(N-n)!n!}$  และ  $K_n(x)$  โดยที่  $n$  เป็นลำดับเบสเซลฟังก์ชัน (Bessel function) [5]

จากสมการของ CDF เราสามารถหาค่าของ Probability density function (PDF) ได้ดังนี้

$$F_\gamma(\gamma) = \frac{2e^{-\frac{\gamma}{\gamma_2}}}{(N_d-1)! \gamma_2^{-N_d}} \sum_{k=1}^{N_s} \sum_{j=0}^{N_d-1} C_{N_s}^k C_{N_d-1}^j (-1)^k \gamma^{N_d-j-1} e^{-\frac{k\gamma}{\gamma_1}} \times \left( \frac{\bar{\gamma}}{\gamma_1} \right)^{\frac{j+1}{2}} \left[ \left( \frac{N_d-j-1}{\gamma} - \frac{k}{\gamma_1} - \frac{1}{\gamma_2} \right) K_{j+1} \left( 2\sqrt{\frac{\bar{\gamma}}{\gamma_1 \gamma_2}} \right) - \sqrt{\frac{k}{\gamma_1 \gamma_2}} (2\gamma + \tau) K_j \left( 2\sqrt{\frac{\bar{\gamma}}{\gamma_1 \gamma_2}} \right) \right] \quad (13)$$

### 3.2 Symbol Error Rate (SER)

จากสมการของ CDF ของ  $\gamma$  เราสามารถหาค่า Symbol Error Rate (SER) ได้มาจาก [6]

$$P_s(E) = aQ(\sqrt{b\gamma}) \quad (14)$$

โดย  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ ,  $a$  และ  $b$  เป็น

พารามิเตอร์ที่ระบุค่าตามวิธีของการมอดูเลต ดังนี้

$$\text{BPSK } (a=1, b=2)$$

$$\text{BFSK } (a=1, b=1)$$

$$\text{M-AM } (a=2(M-1)/M, b=6/(M^2-1))$$

ส่วนการมอดูเลตแบบอื่นก็จะใช้ค่าคล้ายๆกัน เช่น

$$\text{M-PSK } (a=2, b=2 \sin^2(\pi/M)) \text{ และ}$$

$$\text{M-ray (M-QAM) } (a=4, b=3/(M-1))$$

$$P_s(E) = \varepsilon_\gamma [aQ(\sqrt{b\gamma})] = a\varepsilon_\gamma [\Pr(X > \sqrt{b\gamma})]$$

$$= a\varepsilon_x \left[ \Pr\left(\gamma < \frac{x^2}{b}\right) \right] = a\varepsilon_x \left[ Fr\left(\frac{x^2}{b}\right) \right] \quad (15)$$

โดย  $x$  เป็นตัวแปรแบบสุ่มด้วย PDF  $F_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$

และ  $\tau = 0$  ค่าเฉลี่ยของ SER สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P_s(E) = a \int_0^\infty \left[ 1 + \frac{2e^{-\frac{x^2}{b\gamma_2}} \left(\frac{x^2}{b}\right)^{N_d}}{(N_d-1)! \gamma_2^{-N_d}} \sum_{k=1}^{N_s} \sum_{j=0}^{N_d-1} C_{N_s}^k C_{N_d-1}^j (-1)^k e^{-\frac{kx^2}{b\gamma_1}} \times \left( \frac{\bar{\gamma}}{\gamma_1} \right)^{\frac{j+1}{2}} K_{j+1} \left( \frac{2x^2}{b} \sqrt{\frac{\bar{\gamma}}{\gamma_1 \gamma_2}} \right) \right] \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

$$= \frac{a}{2} + \frac{2a}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{(N_d-1)! \gamma_2^{-N_d} b^{N_d}} \sum_{k=1}^{N_s} \sum_{j=0}^{N_d-1} C_{N_s}^k C_{N_d-1}^j (-1)^k \times \left( \frac{\bar{\gamma}}{\gamma_1} \right)^{\frac{j+1}{2}} \int_0^\infty e^{-\left(\frac{1}{b\gamma_2} + \frac{k}{b\gamma_1} - \frac{1}{2}\right)x^2} x^{2N_d} K_{j+1} \left( \frac{2x^2}{b} \sqrt{\frac{\bar{\gamma}}{\gamma_1 \gamma_2}} \right) dx$$

ทำการอินทิเกรต โดยให้  $t = x^2$  เราจะได้  $P_s(E)$  ใหม่ดังนี้

$$P_s(E) = \frac{a}{2} + \sqrt{\frac{b}{2}} \frac{a}{(N_d-1)! \gamma_2^{-N_d}} \sum_{k=1}^{N_s} \sum_{j=0}^{N_d-1} C_{N_s}^k C_{N_d-1}^j (-1)^k \left( \frac{\bar{\gamma}}{\gamma_1} \right)^{\frac{j+1}{2}} \times \frac{(4k)^{j+1} \bar{\gamma}^{-N_s + \frac{j+1}{2}} \Gamma\left(N_d + j + \frac{3}{2}\right) \Gamma\left(N_d - j - \frac{1}{2}\right)}{\left(\bar{\gamma}_1 + k\bar{\gamma}_2 + \frac{b}{2}\bar{\gamma} + 2\sqrt{k\bar{\gamma}}\right)^{N_d + j + \frac{3}{2}} \Gamma(N_d + 1)}$$

$$\times F\left[N_d + j + \frac{3}{2}, j + \frac{3}{2}; N_d + 1; \frac{\bar{\gamma}_1 + k\bar{\gamma}_2 + \frac{b}{2}\bar{\gamma} - 2\sqrt{k\bar{\gamma}}}{\bar{\gamma}_1 + k\bar{\gamma}_2 + \frac{b}{2}\bar{\gamma} + 2\sqrt{k\bar{\gamma}}}\right] \quad (16)$$

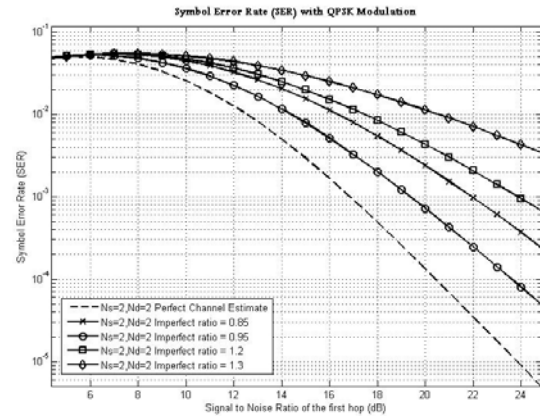
โดยที่  $\bar{\gamma} = \bar{\gamma}_1 \bar{\gamma}_2$  และ  $F(a, b; c; z)$  คือฟังก์ชันของเกาส์ไฮเปอร์จีโอเมตริก (Gauss' hyper-geometric) [6, eq. 15.1.1]

### 4. ผลการจำลองการทำงาน

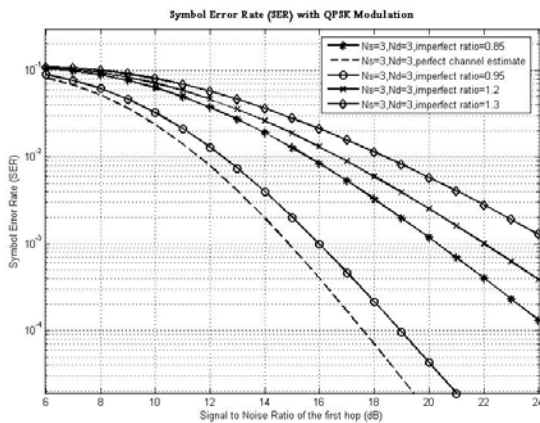
ในการจำลองเราจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการคำนวณเพื่อหาค่า SER และนำมาเปรียบเทียบกับ SNR โดยเราจะใช้การ Modulation ใน 2 รูปแบบคือ การ modulate แบบ 4-PSK ( $a=2, b=2\sin^2(\pi/4)$ ), 8-PSK ( $a=2, b=2\sin^2(\pi/8)$ ) และมีการกำหนดจำนวนของเสาอากาศของทางด้านต้นทาง  $N_s$  และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

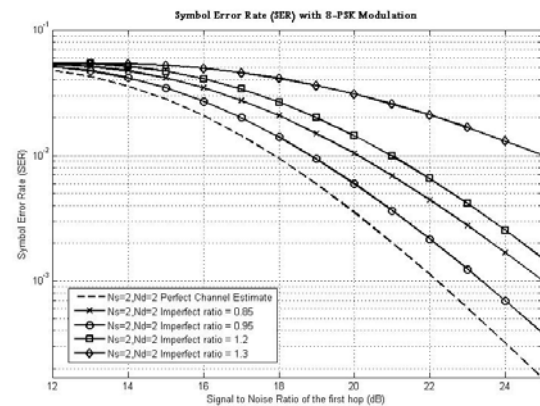
เสาอากาศทางด้านปลายทาง  $N_d$  ให้มีจำนวนเท่ากันและต่างกันดังนี้คือ ( $N_s=1, N_d=2$ ) ( $N_s=2, N_d=2$ ) ( $N_s=3, N_d=3$ ) โดย SER ที่ได้จะนำมาเขียนเป็นกราฟเทียบกับค่าของ SNR ของระบบ ในการจำลองเราจะให้คอมพิวเตอร์คำนวณค่าของ SER ในสภาวะที่มีการประมาณการช่องสัญญาณที่สมบูรณ์ก่อน และทำการคำนวณ SER เมื่อมีการประมาณการช่องสัญญาณที่ผิดพลาดที่คิดเป็นอัตราส่วนดังต่อไปนี้คือ 0.85, 0.95, 1.2, 1.3 ได้ผลการจำลองดังรูปกราฟต่อไปนี้



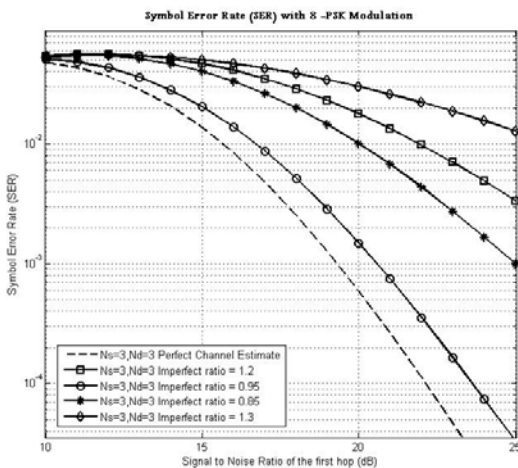
รูปที่ 4 SER ของ AF MIMO ด้วยการ Modulation แบบ 4-PSK โดยใช้  $N_s=2, N_d=2$



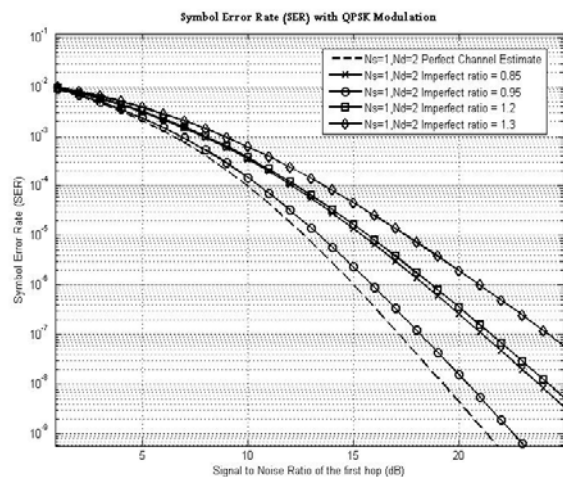
รูปที่ 2 SER ของ AF MIMO ด้วยการ Modulation แบบ 4-PSK โดยใช้  $N_s=3, N_d=3$



รูปที่ 5 SER ของ AF MIMO ด้วยการ Modulation แบบ 8-PSK โดยใช้  $N_s=2, N_d=2$

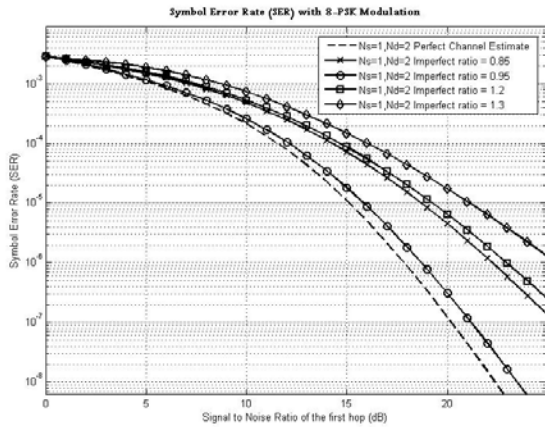


รูปที่ 3 SER ของ AF MIMO ด้วยการ Modulation แบบ 8-PSK โดยใช้  $N_s=3, N_d=3$



รูปที่ 6 SER ของ AF MIMO ด้วยการ Modulation แบบ 4-PSK โดยใช้  $N_s=1, N_d=2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 SER ของ AF MIMO ด้วยการ Modulation แบบ 8-PSK โดยใช้  $N_s=1, N_d=2$

จากกราฟทั้งหมดจะเป็นการแสดงค่าสมรรถนะของระบบบนช่องสัญญาณที่สมบูรณ์(เส้นไขว้ปลา) เทียบกับช่องสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ กราฟรูปที่ 2 เป็นการใส่เสาอากาศทั้งด้านส่งและรับเท่ากัน คือ 3 ต้นและใช้การ modulate แบบ 4-PSK จะเห็นว่าหากค่าของ SNR มีค่ามาก จะเป็นผลมาจากที่ SER มีค่าน้อยๆ นั่นเอง นั่นคืออัตราส่วนกำลังงานของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนก็จะดี และเมื่อค่าของ SNR มีค่าน้อยลงก็จะเห็นว่า SER มากขึ้น แสดงว่าสัญญาณรบกวนมากก็ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงไปด้วย โดยเส้นกราฟของช่องสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์จะมีค่าห่างออกไปจากเส้นไขว้ปลาขึ้นอยู่กับอัตราส่วนที่มีค่าต่างกัน(0.85, 0.95, 1.2, 1.3) ทำการเปลี่ยนค่าการ modulate เป็น 8-PSK ผลที่ได้ดังกราฟรูปที่ 3 จะเห็นว่าเมื่อเทียบกับกราฟรูปที่ 2 ที่ค่า SNR เท่ากันแต่จะมี SER ที่มากกว่า เมื่อทำการลดจำนวนเสาอากาศทั้งด้านส่งและรับลงเป็น 2 ต้น และ modulate แบบ 4-PSK ได้ผลดังกราฟรูปที่ 4 เมื่อเทียบกับกราฟรูปที่ 2 จะเห็นว่าที่ SER เท่ากันแต่จะได้ค่าของ SNR ที่ลดลง

## 5. สรุปผล

จากการจำลองระบบการหาค่าสมรรถนะของระบบ MIMO โดยใช้การจำลองแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะเห็นว่าค่าของช่องสัญญาณรีเลย์ที่มีสถานะที่ไม่สมบูรณ์เทียบกับช่องสัญญาณรีเลย์ที่มีสถานะสมบูรณ์ จะมีค่าที่ต่างออกไปขึ้นอยู่กับสัญญาณรบกวนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของสัญญาณจริงที่เข้าสู่ระบบ โดยที่ค่าสมรรถนะของระบบก็ยังขึ้นอยู่กับจำนวน

ของเสาอากาศ  $N_s$  และ  $N_d$  ด้วย กล่าวคือเมื่อจำนวนของเสาอากาศเพิ่มขึ้น จะทำให้ SNR ของระบบดีขึ้นตามไปด้วย ซึ่งตามทฤษฎีแล้วเพิ่มขึ้นยิ่งมากยิ่งดี แต่ในทางปฏิบัติจะมีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ในการติดตั้งเสาอากาศเองที่ตัวอุปกรณ์ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อเราใช้การ Modulate แบบต่างๆ ในขณะที่ใช้เสาอากาศเท่ากันจะให้ผล SNR ที่ต่างกันออกไปด้วยเช่นกัน โดยดูจากค่า SNR ของกราฟรูปที่ 1 4-PSK จะได้ค่าของ SNR ให้ผลที่มากกว่าระบบ 8-PSK ในกราฟรูปที่ 2 ในขณะที่ค่า SER เท่ากัน

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. O. Hasna and M. S. Alouini, "End-to-end performance of transmission systems with relay over Rayleigh fading channels," IEEE Trans. Wireless Communications., vol. 2, pp. 1126-1131, Nov. 2003.
- [2] R. H. Y. Louie, Y. Li, and B. Vucetic, "Performance analysis of beamforming in two hop amplify and forward relay network," in Proc. of ICC 2008, pp. 4311-4315, May 2008.
- [3] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocol and outage behavior," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 50, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [4] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Energy-efficient antenna sharing and relaying for wireless networks," in Proc. of IEEE WCNC, Chicago, pp. 7-12, Sep. 2000.
- [5] M. Abramowitz and I. A. Stegun, Handbook of Mathematical Functions, 9<sup>th</sup> ed. New York: Dover, 1970.
- [6] M. K. Simon and M. S. Alouini, Digital Communication Over Fading Channels. New York: Wiley, 2000.