บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

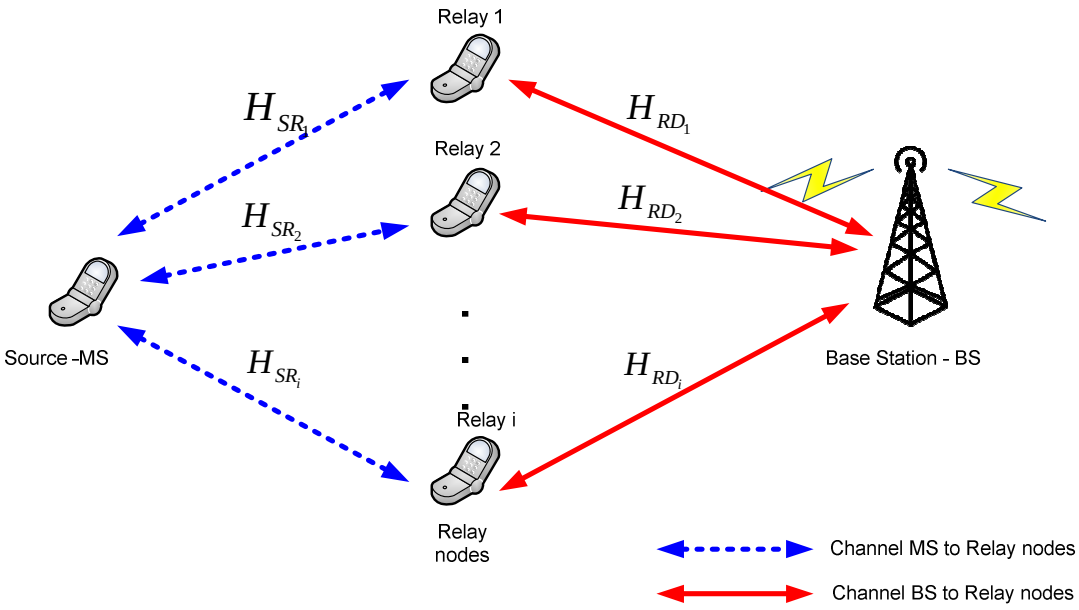
3.1 การออกแบบของระบบที่นำเสนอ

ระบบสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่แบบร่วมมือที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยจำนวนผู้ใช้งานในโครงข่ายทั้งหมด 5 คนและมีสถานีฐาน (Base station) 1 เครื่องโดยกำหนดให้ผู้ใช้งานคนที่ 1 ทำหน้าที่เป็นเครื่องส่ง (Source) ผู้ใช้งานอื่นๆทำหน้าที่เป็นรีเลย์ (Relay) ซึ่งในการส่งต่อสัญญาณจากรีเลย์ไปยังเครื่องรับจะพิจารณาการส่งต่อสัญญาณแบบ Amplify-and-Forward ผ่านช่องสัญญาณที่มีการจางหายแนวราบแบบเรย์ลี(Rayleigh fading)ในการสื่อสารแบบร่วมนัยซึ่งมีการมอดูเลตแบบ BPSK

โดยกำหนดให้แต่ละโหนดมีสายอากาศสำหรับรับ/ส่งสัญญาณเพียงสายเดียว (Single Antenna) และ ผู้ใช้งานคนที่ 1 ที่เป็นเครื่องส่งที่อยู่นอกขอบเขตสัญญาณของสถานีฐานแต่สามารถตรวจจับความแรงของสัญญาณและเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานอื่น ๆ ที่เป็นรีเลย์จำนวน 4โหนดได้จากข้อมูลสถานะช่องสัญญาณ (Channel State Information : CSI) และรีเลย์แต่ละโหนดได้รับข้อมูลสถานะช่องสัญญาณจากสถานีฐานเช่นเดียวกัน

สำหรับช่องสัญญาณแบ่งเป็นสองช่วง ได้แก่ ช่องสัญญาณจากผู้ใช้งานไปยังรีเลย์ (Source-to-Relay) และช่องสัญญาณจากรีเลย์ไปยังสถานีฐาน(Relay-to-Base Station)เมื่อ $H_{SR,i}$ เป็นเมทริกซ์คุณสมบัติของช่องสัญญาณจากแหล่งกำเนิดถึงรีเลย์ตัวที่ i และ $H_{RD,i}$ เป็นเมทริกซ์คุณสมบัติของช่องสัญญาณจากรีเลย์ตัวที่ i ถึงสถานีฐาน โดยในช่องสัญญาณแต่ละช่วงมีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์สีขาวแบบบวก(AWGN) ที่มีความหนาแน่นของกำลังส่ง (PSD) เท่ากับ N_0 ตามรูปที่ 3.1

ในการทวนสัญญาณ ผู้ใช้ที่ทำหน้าที่เป็นรีเลย์(Relay)จะทำการขยายสัญญาณที่รับได้ให้มีขนาดแอมพลิจูดสูงขึ้นตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้วใช้การส่งต่อสัญญาณไปยังเครื่องรับปลายทางแบบ Amplify-and-Forward (AF) และที่สถานีฐานจะมีการรวมลำดับของบิต(Combine bit sequence) และจากหลายๆ รีเลย์โดยใช้วิธี Maximum Likelihood Detector (ML)เนื่องจากลำดับการส่งผ่านในแต่ละเส้นทางเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 3.1 การส่งสัญญาณผ่านรีเลย์แบบ 2-hop ในระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่นำเสนอ

3.2 ขั้นตอนการส่งสัญญาณระหว่างโหนดใดๆ ในระบบเครือข่ายเคลื่อนที่

ก่อนที่จะมีการเลือกเส้นทางระหว่างแต่ละโหนดจะมีการส่งสัญญาณเพื่อรับรู้ระดับของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR) ตามรูปที่ 3.2และ 3.3โดยทำการปรับปรุงมาจาก IEEE 802.16j MMR Network Protocol [1]เพื่อให้สอดคล้องและสามารถใช้งานได้กับระบบเครือข่ายเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 : สถานีฐานจะกระจายสัญญาณโดยการส่งแพคเก็ตอ้างอิง (Reference packet) ไปยังผู้ใช้งานที่เป็นรีเลย์แต่ละโหนดที่อยู่ในรัศมีพื้นที่ครอบคลุม และรีเลย์ที่อยู่ในรัศมีการส่งสัญญาณจะรับแพคเก็ตอ้างอิงและตรวจจับค่าข้อมูลสถานะช่องสัญญาณ (Channel State Information, CSI)ที่ได้จากสถานีฐาน

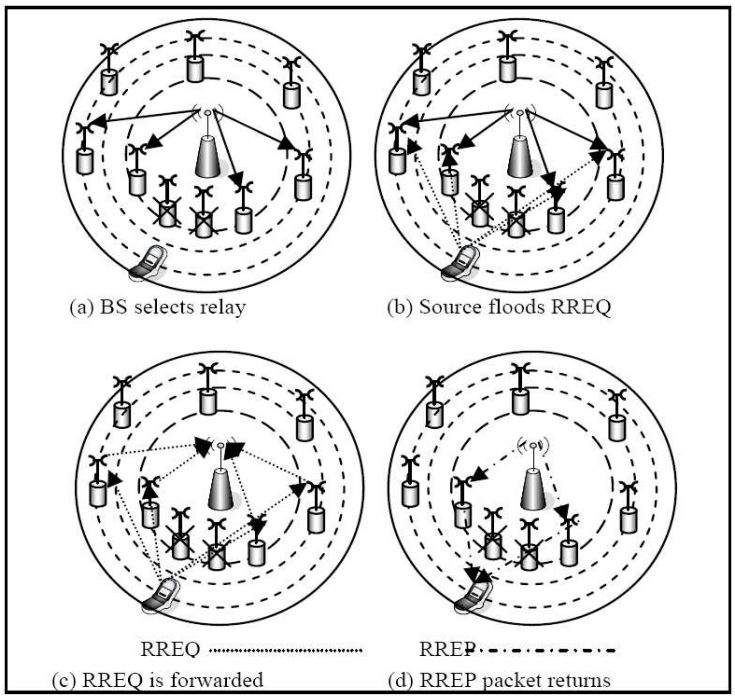
ขั้นที่ 2 : ผู้ใช้งานที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องส่ง(Source) ที่อยู่นอกรัศมีการส่งสัญญาณของสถานีฐานจะร้องขอการเชื่อมต่อไปยังสถานีฐานโดยผ่านรีเลย์โหนดที่สามารถใช้งานได้จากการตรวจจับค่า CSI ที่ได้จากรีเลย์โหนดอื่นและทำการกระจายแพคเก็ตการร้องขอรีเลย์ (Relay request

[1] Bongkyoung Kwon, Yusun Chang, and John A. Copeland, “A Network Entry Protocol and an OFDMA Symbol Allocation Scheme for Non-Transparent Relay Stations in IEEE 802.16j MMR Networks,” IEEE 2008.

packet : RREQ) ไปยังรีเลย์โหนดนั้นๆ และเมื่อรีเลย์โหนดได้รับแพคเก็ตการร้องขอรีเลย์แล้วจะส่งต่อไปยังสถานีฐาน

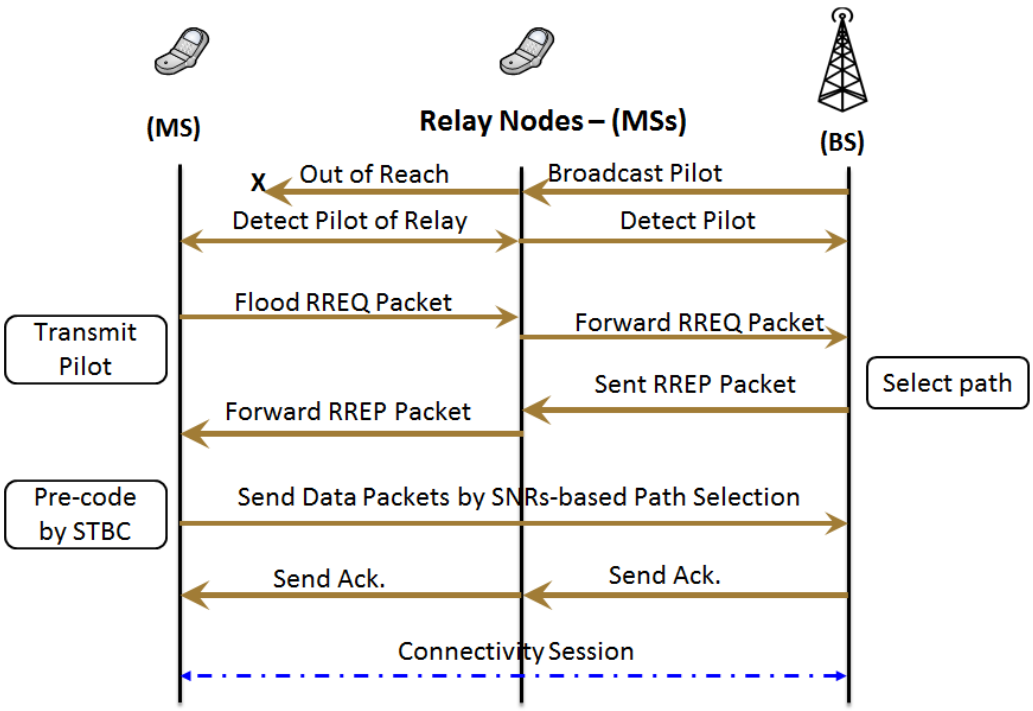
ขั้นที่ 3 : เมื่อสถานีฐานได้รับแพคเก็ตการร้องขอรีเลย์แล้วสถานีฐานจะทำการวัดคุณสมบัติของช่องสัญญาณจากทุกเส้นทาง และจะส่งแพคเก็ตการตอบรับเส้นทาง(Route reply packet : RREP) ไปยังผู้ใช้งานที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งโดยผ่านทางรีเลย์โหนดที่ส่งมาให้

ขั้นที่ 4 : หลังจากผู้ใช้งานที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องส่ง ได้รับแพคเก็ตการตอบรับรีเลย์จากสถานีฐานแล้ว จะทำการคำนวณการเลือกเส้นทางที่สถานีฐานส่งมาให้และส่งแพคเก็ตข้อมูล (Data packet) ไปยังสถานีฐานได้โดยตรงผ่านเส้นทางที่มีลำดับความแรงของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน(SNR) สองลำดับแรก และสถานีฐานจะส่งแพคเก็ตการรับรู้ (Acknowledgement packet) หรืออนุญาตให้ทำการเชื่อมต่อกลับมาเพื่อเริ่มการส่งข้อมูล



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการส่งสัญญาณเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการส่งข้อมูล[2]

[2]Kaiser, M.S., Khan, I., Adachi, F. and Ahmed, K.M, "Fuzzy Logic Based Relay Search Algorithm for Cooperative Systems," Communication Systems and Networks and Workshops, 2009, pp. 1-7.



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการส่งสัญญาณระหว่างโหนดใดๆ ในระบบเครือข่ายเคลื่อนที่

ตามรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าระหว่างสถานีฐานถึงรีเลย์โหนด(BS-Relays : Downlink) คือมีการรับรู้สัญญาณซึ่งกันและกันได้จาก Clear-to-send โดยที่รีเลย์แต่ละตัวจะทำการอัพเดทข้อมูลกับสถานีฐานจากข้อมูลสถานะช่องสัญญาณ (CSI) อยู่ตลอดเวลา ทำให้สถานีฐานรู้ข้อมูลของช่องสัญญาณ

และระหว่างแหล่งกำเนิดถึงรีเลย์โหนด(Source-Relays : Uplink) มีการรับรู้สัญญาณซึ่งกันและกันได้จาก Ready-to-send โดยแหล่งกำเนิดสามารถรับรู้รีเลย์แต่ละตัวจากข้อมูลสถานะช่องสัญญาณ (CSI) และเมื่อต้องการส่งข้อมูลแหล่งกำเนิดจะทำการส่งแพคเก็ตการร้องขอเส้นทาง (RREQ) ไปที่รีเลย์และรีเลย์จะทำการส่งการร้องขอไปยังสถานีฐาน ซึ่งสถานีฐานจะทำการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์หาเส้นทางที่ดีที่สุดสองเส้นทางจากค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) แล้วจึงทำการส่งเส้นทางที่เลือกกลับไปให้แหล่งกำเนิดผ่านแพคเก็ตการตอบรับเส้นทาง (RREP)จากนั้นแหล่งกำเนิดที่ทำการ Pre-coding แบบ STBC แล้วจึงจะทำการส่งข้อมูลตามเส้นทางที่เลือก ซึ่งกำหนดให้แหล่งกำเนิดจะทำการเลือกเส้นทางทุก ๆ การส่งข้อมูล 10 kbit

3.3 หลักการพิจารณาเลือกเส้นทางด้วยค่า SNR

การพิจารณาเลือกเส้นทางในการส่งผ่านข้อมูล (Path Selection) ด้วยการพิจาณาค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน(SNR) ที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ จะเริ่มต้นจากการสุ่มระยะทาง (*d*) ระหว่างแหล่งกำเนิดไปยังรีเลย์ ($MS \rightarrow R_i$) และจากรีเลย์ไปยังสถานีฐาน ($R_i \rightarrow BS$) และพิจารณารีเลย์ในโครงข่ายไร้สายของระบบที่นำเสนอมีจำนวน *i*ตัว โดยสมการที่ใช้ในการหาค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน(SNR) ของแต่ละเส้นทางแบบสองฮอบสามารถหาได้จากสมการที่ 3.1[3]

$$SNR_{two-hop,i} = \frac{SNR_{SR,i} SNR_{RD,i}}{1 + SNR_{SR,i} + SNR_{RD,i}} \tag{3.1}$$

โดยค่า *SNR*ในสมการที่ 3.1 มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ช่องสัญญาณ $|h|^2$, กำลังส่งโดยเฉลี่ยจากแต่ละโหนด(*P*), ค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (Power Spectrum Density) ของสัญญาณรบกวน N_0 , แบนด์วิดธ์การส่งสัญญาณ (*W*), และ Path Loss $\left(d^{-\alpha}\right)$, ดังแสดงในสมการที่ 3.2[4]

$$SNR = \frac{|h|^2 P}{N_0 W} = \frac{d^{-\alpha} P}{N_0 W} \tag{3.2}$$

ซึ่งหลังจากได้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน(SNR)ของทุกเส้นทางแล้วนำมาจัดเรียงลำดับตามสมการที่ 3.2เพื่อเลือกค่า SNR ที่ดีที่สุดสองค่าเพื่อใช้ในการเลือกเส้นทางในการส่งข้อมูลที่มีการเข้ารหัสเชิงปริภูมิ-เวลาต่อไป

$$Path_{sel} = \arg\max_i \left(SNR_{two-hop,1}, \ldots, SNR_{two-hop,i} \right) \tag{3.3}$$

---

[3] Kaiser, M.S., Khan, I., Adachi, F. and Ahmed, K.M, "Fuzzy Logic Based Relay Search Algorithm for Cooperative Systems," Communication Systems and Networks and Workshops, 2009, pp. 1-7.

[4] กำพลวรดิษฐ์. (2552). พฤติกรรมสัญญาณขาดหายของแผนการสัญญาณซ้ำแบบร่วมมือพร้อมด้วยการเลือกรีเลย์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

3.4 การเข้ารหัสเชิงปริภูมิ-เวลาแบบบล็อก (Space-Time Block Coding: STBC)

โดยทั่วไปในระบบการส่งสัญญาณจะต้องมีสองสายอากาศเพื่อที่จะใช้การเข้ารหัสเชิงปริภูมิ-เวลา (2,2)หรือเรียกว่าAlamouti's STBC และโดย Ho-Jung An [5]และไพฑูรย์ พูลสวัสดิ์[6]ได้เสนอวิธีการเข้ารหัสก่อนการส่ง (Pre-coding) สำหรับการเข้ารหัสเชิงปริภูมิ-เวลา ซึ่งทำให้สามารถใช้สายอากาศเพียงเสาเดียวในการส่งสัญญาณ ทั้งยังสามารถใช้กระบวนการนี้ในเครื่องส่ง (Source node) เพื่อเป็นการสื่อสารแบบ Up-link

ลำดับของบิตจากเครื่องส่งในรูปของ Alamouti's STBC แสดงในสมการที่ 3.4

$$\begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

ซึ่งลำดับแรกของการเข้ารหัสก่อนการส่ง (Pre-coding) คือการนำค่าช่องสัญญาณ H_i ไปคูณและรวมกันเป็นสัญลักษณ์ (Symbol, z_i)โดยมีลำดับสัญลักษณ์ในการส่งในสมการที่ 3.5 – 3.8 โดยที่ H_i^+ เป็นส่วนกลับ(Pseudo inverse) ของ H_i และ $H^+ = (H^H H)^{-1} H^H$ และ $(.)^*$ เป็น การสังยุคของจำนวนเชิงซ้อน

$$z_1 = H_1^+ s_1 + H_2^+ s_2 \tag{3.5}$$

$$z_2 = -H_1^+ s_2^* + H_2^+ s_1^* \tag{3.6}$$

$$z_3 = H_3^+ s_1 + H_4^+ s_2 \tag{3.7}$$

$$z_4 = -H_3^+ s_2^* + H_4^+ s_1^* \tag{3.8}$$

วิธีการส่งต่อสัญญาณจากรีเลย์ไปยังสถานีฐานใช้วิธีการส่งแบบ Amplify-and-Forward (AF) โดยรีเลย์จะรับข้อมูลตามลำดับจากแหล่งกำเนิด แล้วทำการขยายและส่งต่อไปยังสถานีฐาน และสถานีฐานจะทำการรวมข้อมูลที่ได้รับตามลำดับจากรีเลย์แต่ละตัว

---

[5] Ho-Jung An, Jee-Hoon Kim, and Hyoung-Kyu Song, "Cooperative Transmission Scheme to Increase Gain by STBC," Engineering Letters, 2007.

[6] PaitoonPoonsawatt and PunyawiJamjareekul,"Improving Dual-Hop Amplify-and-Forward Cooperative Mobile Network Based on Path selection and STBC with Pre-Coding Scheme" Proceeding of 2011 Eighth International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), May 2011, Mahidol University Thailand, pp 409-413.

พิจารณาที่รีเลย์คู่ที่ถูกเลือก (Selected pair of relays) ในช่วงเวลาแรก (T1) :

เครื่องส่ง(Source) จะทำการส่งสัญญาณ $z_1 = H_1^+ s_1 + H_2^+ s_2$ ผ่านช่องสัญญาณ H_1 และช่องสัญญาณ H_2 ไปยังรีเลย์ที่ถูกเลือกและสัญญาณที่ส่งออกมาจากเครื่องส่งและรับได้โดยรีเลย์ตัวที่ 1 และรีเลย์ตัวที่ 2 แสดงในสมการที่ 3.9 – 3.10โดยที่ *N*คือระยะเวลาของสัญลักษณ์ (Symbol duration) ,*m = 0,1,..., N-1*เป็นลำดับเวลาในการส่งแต่ละครั้ง และ r_{S,R_i} เป็นสัญญาณข้อมูลบิตแต่ละลำดับที่จากแหล่งกำเนิดที่รีเลย์แต่ละตัวรับได้

$$\begin{aligned} r_{S,R_1}[m] &= H_1 z_1 + n_1 \\ &= H_1(H_1^+ s_1 + H_2^+ s_2) + n_1 \\ &= s_1 + H_1 H_2^+ s_2 + n_1 \end{aligned} \tag{3.9}$$

$$\begin{aligned} r_{S,R_2}[m] &= H_2 z_1 + n_2 \\ &= H_2(H_1^+ s_1 + H_2^+ s_2) + n_2 \\ &= H_1^+ H_2 s_1 + s_2 + n_2 \end{aligned} \tag{3.10}$$

สัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน (Destination, BS) จะรับได้จากรีเลย์ตัวที่ 1 และรีเลย์ตัวที่ 2 ผ่านช่องสัญญาณ H_5 และช่องสัญญาณ H_6 แสดงในสมการที่ 3.11 – 3.14 โดยที่ β_{R_i} เป็นอัตราการขยายสัญญาณที่รีเลย์แต่ละตัวและ $r_{R_i,D}$ เป็นสัญญาณข้อมูลบิตแต่ละลำดับที่จากรีเลย์แต่ละตัวที่สถานีฐานรับได้

$$r_{R_1,D}[m+N] = H_5 \beta_{R_1} r_{S,R_1}[m] + n_5 \tag{3.11}$$

แทนค่าสมการ 3.9ในสมการที่ 3.11จะได้

$$\begin{aligned} r_{R_1,D}[m+N] &= \beta_{R_1} H_5(s_1 + H_1 H_2^+ s_2 + n_1) + n_5 \\ &= \beta_{R_1} H_5 s_1 + \beta_{R_1} H_5 H_1 H_2^+ s_2 + n_5^{'} \end{aligned} \tag{3.12}$$

$$r_{R_2,D}[m+N] = H_6 \beta_{R_2} r_{S,R_2}[m] + n_6 \tag{3.13}$$

แทนค่าสมการ 3.10ในสมการที่ 3.13จะได้

$$\begin{aligned} r_{R_2,D}[m+N] &= \beta_{R_2} H_6(H_1^+ H_2 s_1 + s_2 + n_2) + n_6 \\ &= \beta_{R_2} H_6 H_1^+ H_2 s_1 + \beta_{R_2} H_6 s_2 + n_6^{'} \end{aligned} \tag{3.14}$$

พิจารณาที่รีเลย์คู่ที่ถูกเลือก (Selected pair of relays)ในช่วงเวลาแรก (T2) :

เครื่องส่ง (Source) จะทำการส่งสัญญาณ $z_2 = -H_1^+ s_2^* + H_2^+ s_1^*$ ผ่านช่องสัญญาณ H_1 และช่องสัญญาณ H_2 ไปยังรีเลย์ที่ถูกเลือกและสัญญาณที่ส่งออกมาจากเครื่องส่งและรับได้โดยรีเลย์ตัวที่ 1 และรีเลย์ตัวที่ 2 แสดงในสมการที่ 3.15 – 3.16

$$r_{S,R_1}\left[m+2N\right] = H_1 z_2 + n_1 \tag{3.15}$$

$$r_{S,R_2}\left[m+2N\right] = H_2 z_2 + n_2 \tag{3.16}$$

สัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน (Destination, BS) จะรับได้จากรีเลย์ตัวที่ 1 และรีเลย์ตัวที่ 2 ผ่านช่องสัญญาณ H_5 และช่องสัญญาณ H_6 แสดงในสมการที่ 3.17 – 3.18

$$r_{R_1,D}\left[m+3N\right] = H_5 \beta_{R_1} r_{S,R_1}\left[m+2N\right] + n_5 \tag{3.17}$$

$$r_{R_2,D}\left[m+3N\right] = H_6 \beta_{R_2} r_{S,R_2}\left[m+2N\right] + n_6 \tag{3.18}$$

และสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน (Destination, BS) จะรับได้จากรีเลย์ตัวที่ 3 และรีเลย์ตัวที่ 4 ผ่านช่องสัญญาณ H_7 และช่องสัญญาณ H_8 แสดงในสมการที่ 3.19 – 3.20

$$r_{R_3,D}\left[m+3N\right] = H_7 \beta_{R_3} r_{S,R_3}\left[m+2N\right] + n_7 \tag{3.19}$$

$$r_{R_4,D}\left[m+3N\right] = H_8 \beta_{R_4} r_{S,R_4}\left[m+2N\right] + n_8 \tag{3.20}$$

เพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ สามารถสมมติตัวแปรตามสมการที่ 3.21 – 3.24

$$G = H_1 H_2^+ \tag{3.21}$$

$$K = H_2 H_1^+ \tag{3.22}$$

$$W = H_3 H_4^+ \tag{3.23}$$

$$Y = H_4 H_3^+ \tag{3.24}$$

ที่สถานีฐานหรือปลายทางลำดับของบิตสัญญาณที่รับได้จากทั้งสี่รีเลย์สามารถนำมารวมกันแบบ Maximum Likelihood (ML) โดยลำดับของบิตที่รวมกันได้(Combined bit sequence) จากรีเลย์ตัวที่ 1 เป็นไปตามสมการที่ 3.25 – 3.26

$$\tilde{c}_1 = H_5^* . r_{R_1,D}\left(m+N\right) + H_5 . G . r_{R_1,D}^*\left(m+3N\right) \tag{3.25}$$

$$\tilde{c}_2 = \left(H_5 . G\right)^* r_{R_1,D}\left(m+N\right) - H_5 . r_{R_1,D}^*\left(m+3N\right) \tag{3.26}$$

ลำดับของบิตที่รวมกันได้ (Combined bit sequence)จากรีเลย์ตัวที่ 2 เป็นไปตามสมการที่ 3.27 – 3.28

$$\tilde{c}_1 = (H_6.K)^* r_{R_2,D}(m+N) + H_6.r^*_{R_2,D}(m+3N) \quad (3.27)$$

$$\tilde{c}_2 = H^*_6 r_{R_2,D}(m+N) - (H_6.K) r^*_{R_2,D}(m+3N) \quad (3.28)$$

ลำดับของบิตที่รวมกันได้(Combined bit sequence)จากรีเลย์ตัวที่ 3 เป็นไปตามสมการที่ 3.29– 3.30

$$\tilde{c}_1 = H^*_7 r_{R_3,D}(m+N) + (H_7.W) r^*_{R_2,D}(m+3N) \quad (3.29)$$

$$\tilde{c}_2 = (H_7.W)^* r_{R_3,D}(m+N) - H_7 r^*_{R_3,D}(m+3N) \quad (3.30)$$

ลำดับของบิตที่รวมกันได้(Combined bit sequence)จากรีเลย์ตัวที่ 4 เป็นไปตามสมการที่ 3.31 – 3.32

$$\tilde{c}_1 = (H_8.Y)^* r_{R_4,D}(m+N) + H_8.r^*_{R_4,D}(m+3N) \quad (3.31)$$

$$\tilde{c}_2 = H^*_8 r_{R_4,D}(m+N) - (H_8.Y) r^*_{R_4,D}(m+3N) \quad (3.32)$$

3.5 การพิจารณาความไม่สมบูรณ์ของช่องสัญญาณ[7]

เพื่อให้แบบจำลองระบบเป็นไปด้วยความเสมือนจริงในทางปฏิบัติ ในการพิจารณาค่าข้อมูลสถานะช่องสัญญาณ (CSI) จึงต้องประมาณค่าความไม่สมบูรณ์ของช่องสัญญาณ(Imperfect channel estimation) มาใช้ในช่องสัญญาณที่จะส่งด้วย โดยปกติความไม่สมบูรณ์ของช่องสัญญาณจะเกิดจากการประมาณค่าช่องสัญญาณ (Channel estimation) ซึ่งช่องสัญญาณที่ประกอบด้วยสัญญาณรบกวนจะทำให้เกิดการแทรกสอดแบบสุ่มในทิศทางที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้และการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Feedback)ทำให้เกิดความล่าช้า (Delay) และความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล โดยการประมาณช่องสัญญาณที่เป็นไปตามสมการที่ 3.33

$$\hat{H} = H + \Xi \quad (3.33)$$

เมื่อ $\hat{H}$ คือ ช่องสัญญาณจากการประมาณ

H คือ เมทริกซ์ของช่องสัญญาณที่ใช้จริง

---

[7] Jin Liang Huang,'Adaptive MIMO Systems with Channel State Information at Transmitter', KTH School of Information and Communication Technology, 2009.

Ξ คือ ค่าประมาณสัญญาณรบกวนเชิงซ้อนปกติ (Complex Gaussian)
และ $[\Xi]_{i,j} \cong CN(0,\sigma_{\varepsilon}^{2})$

โดยสมการที่ประกอบด้วยความไม่สมบูรณ์ของช่องสัญญาณเป็นไปตามสมการที่ 3.34

$$H = \eta\hat{H} + \sqrt{1-\eta}\,\mathrm{W} \tag{3.34}$$

เมื่อ $\eta = \dfrac{1}{1+\sigma_{\varepsilon}^{2}}$, เมื่อหาก $\eta = 1$ หมายถึงช่องสัญญาณที่สมบูรณ์
W คือ สัญญาณรบกวนแบบเกาส์สีขาวแบบบวก(AWGN)
และ $[\mathrm{W}]_{i,j} \cong CN(0,1)$

3.6 ขั้นตอนวิธีการทำงานของโปรแกรมจำลองการเลือกเส้นทาง (Path Selection)

1) สร้างข้อมูลบิตสัญลักษณ์สำหรับการส่งผ่านข้อมูลที่มีการมอดูเลทแบบ BPSK

2) สร้างช่องสัญญาณแบบ Rayleigh Fading Channel และสัญญาณรบกวนแบบ AWGN

3) คำนวณและเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่รับได้ในเวลาหนึ่ง ของทุกเส้นทางจากรีเลย์จำนวน *i*ตัวตามสมการที่ 3.1

4) เลือกเส้นทาง 2เส้นทางผ่านคู่รีเลย์จากค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนดีที่สุดสองลำดับแรกตามสมการที่ 3.3

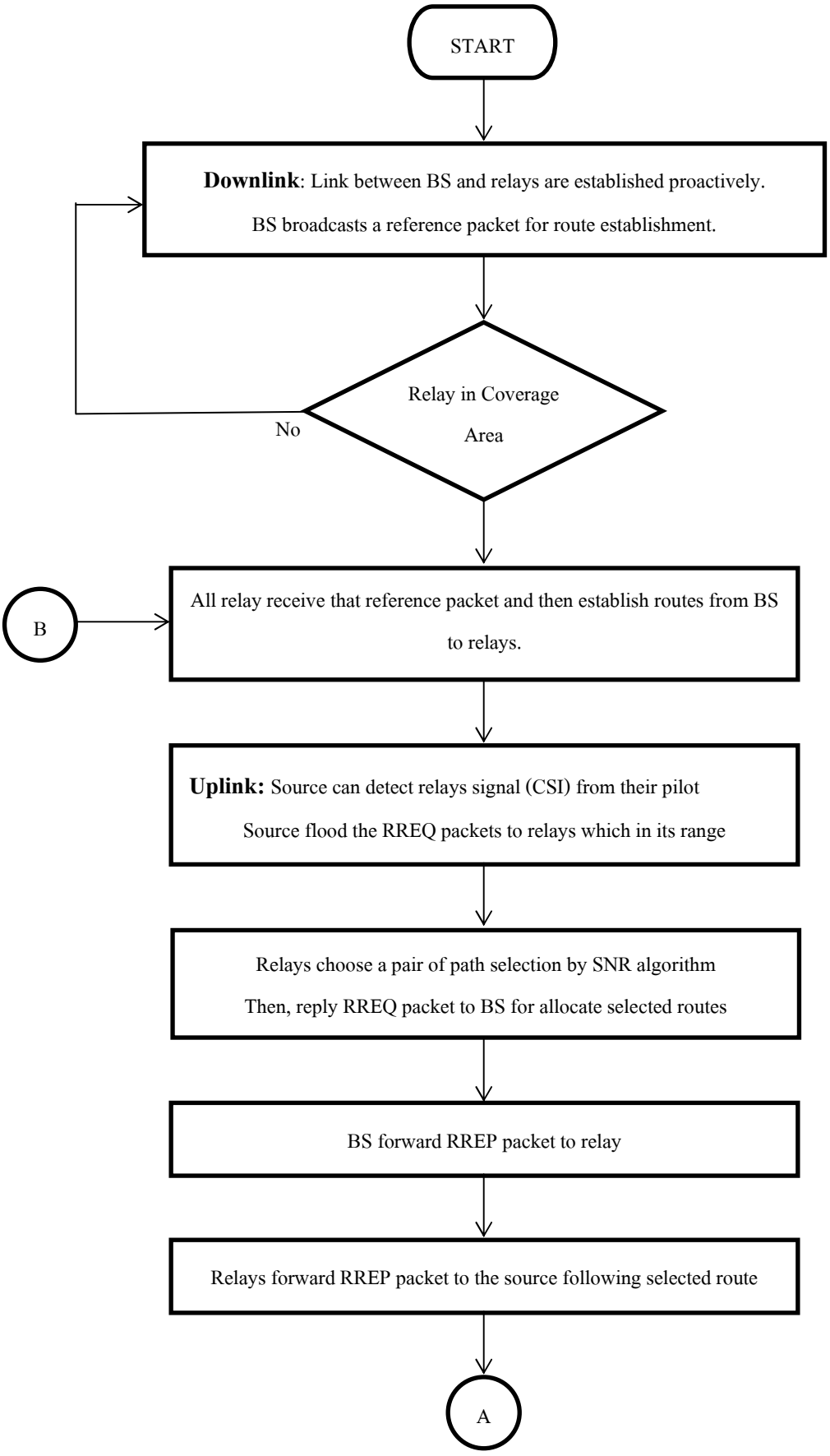
5) ให้นำข้อมูลบิตสัญลักษณ์ที่ผ่านการมอดูเลทมาแล้วนั้น มาทำการเข้ารหัสก่อนการส่ง (Pre-coding)โดยจัดลำดับของบิตสัญลักษณ์และคูณช่องสัญญาณในรูปของ Alamouti's STBCตามสมการที่ 3.5ถึง 3.8

6) ที่สถานีฐานทำการรวมสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเวลาของการส่งข้อมูลตามลำดับจากแต่ละเส้นทางโดยใช้วิธีตรวจจับลำดับของบิตสัญลักษณ์แบบ Maximum Likelihood

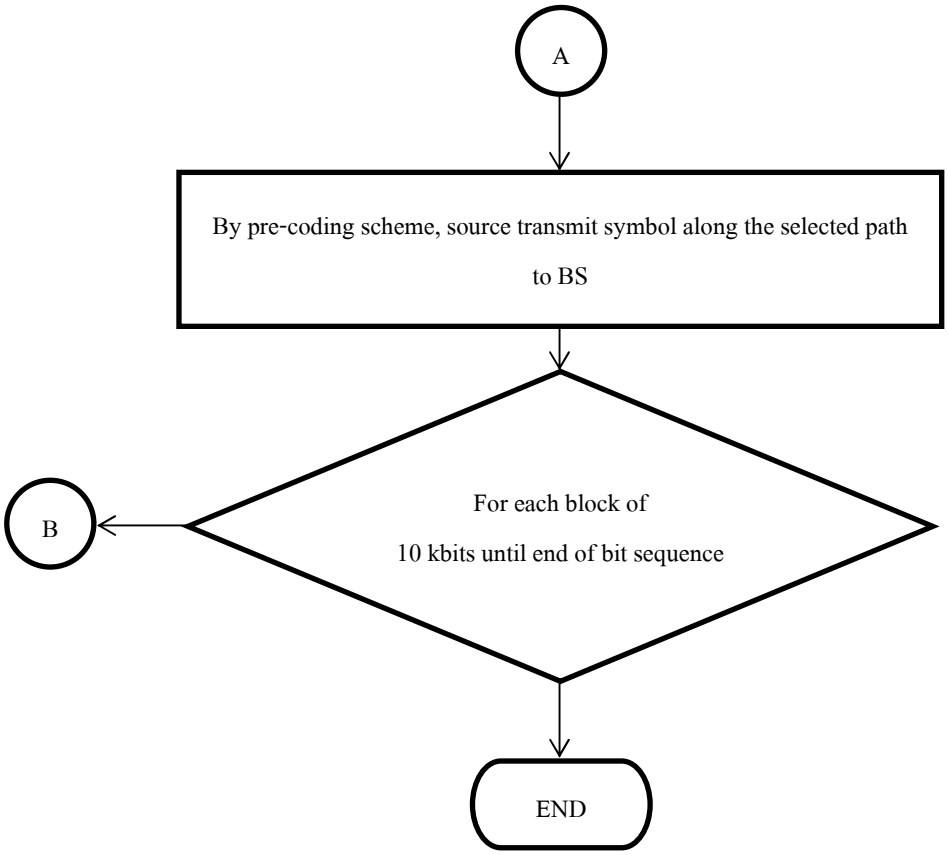
7) ทำการนับบิตผิดพลาดและคำนวณอัตราความผิดพลาดบิต (BER)

8) ทำการพล๊อตข้อมูลระหว่างอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูล(BER) กับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน(SNR)

9) เก็บผลข้อมูลที่ได้เมื่อเปลี่ยนค่า Path Loss Exponent (α) และจำนวนรีเลย์ที่มีในระบบแล้วนำมาวิเคราะห์ผลที่ได้



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำการของแบบจำลองวิธีการเลือกเส้นทางด้วยค่า SNR


A
By pre-coding scheme, source transmit symbol along the selected path to BS
For each block of 10 kbits until end of bit sequence
B
END

รูปที่ 3.4 (ต่อ)