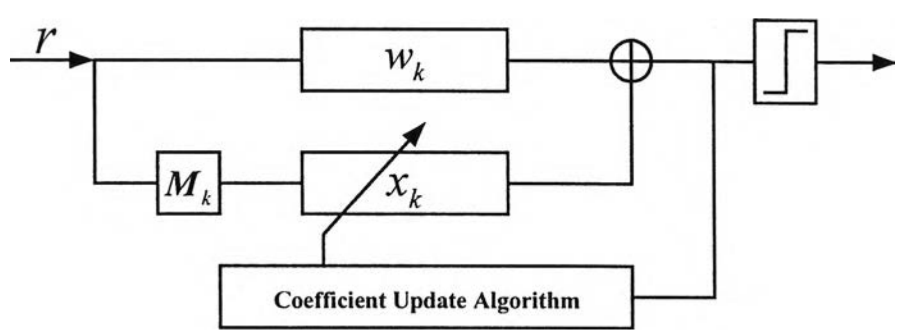
บทที่ 3

เทคนิคการลดความซับซ้อนในเครื่องรับที่ใช้การปรับตัวแบบบอดด้วยขั้นตอนลิเนียร์ลีคอนเสตรนคอนแสตนต์มอดุลัส

เครื่องรับ LCCMA blind adaptive detector เป็นเครื่องรับที่ใช้การปรับตัวแบบบอด โดยใช้อัลกอริทึม CMA ร่วมกับโครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรน วงจรกรองปรับตัวได้ที่ใช้กับเครื่องรับชนิดนี้มีจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงเท่ากับจำนวนชิปของสเปรดดิงโค้ด ทำให้มีความซับซ้อนของเครื่องรับสูง เหมือนดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอเทคนิคการลดความซับซ้อนของเครื่องรับชนิดนี้ ด้วยการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้ซึ่งเป็นส่วนที่มีผลต่อความซับซ้อนของเครื่องรับโดยรวมอย่างมาก

3.1 โครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรนและการหักล้างสัญญาณแทรกสอด

พิจารณาโครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรนดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรนสำหรับผู้ใช้ลำดับที่ k

โครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรนนี้สามารถพิจารณาเป็นโครงสร้างสำหรับหักล้างสัญญาณแทรกสอด โดยวงจรในส่วนล่างของโครงสร้างนี้ ได้แก่ บล็อกกิงเมทริกซ์ และวงจรกรองปรับตัวได้ จะทำหน้าที่ประมาณสัญญาณแทรกสอดที่ปะปนมาในสัญญาณออกของวงจรกรองคงที่ในส่วนบนของโครงสร้างนี้ ฟังก์ชันจุดประสงค์ในรูปแบบทั่วไปสำหรับหักล้างสัญญาณแทรกสอดสามารถแสดงได้โดย

$$J = E[|\chi(i) - (\boldsymbol{M}_k^H \boldsymbol{x}_k(i))^H \boldsymbol{r}(i)|^2] \qquad (3\text{-}1)$$

โดย $\chi(i)$ คือสัญญาณแทรกสอดที่ปะปนมาในสัญญาณออกของวงจรกรองคงที่ในส่วนบนของเครื่องรับในช่วงบิตข้อมูลที่ i

จากฟังก์ชันจุดประสงค์ในสมการ (3-1) เนื่องจากค่า $\chi(i)$ ไม่ขึ้นอยู่กับผลตอบของวงจรในส่วนล่างของโครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรนนี้ ดังนั้นเวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้ที่เหมาะสมที่สุด จึงสามารถหาได้โดยการหาคำตอบของ Weiner-Hopf equations ดังนี้

$$E[\boldsymbol{r}(i)\boldsymbol{r}^H(i)]\boldsymbol{M}_k^H\boldsymbol{x}_{opt-k} = E[\boldsymbol{r}(i)\chi(i)^H] \tag{3-2}$$

$$\boldsymbol{M}_k E[\boldsymbol{r}(i)\boldsymbol{r}^H(i)]\boldsymbol{M}_k^H\boldsymbol{x}_{opt-k} = \boldsymbol{M}_k E[\boldsymbol{r}(i)\chi(i)^H] \tag{3-3}$$

$$\boldsymbol{x}_{opt-k} = \boldsymbol{R}_{MM}^{-1}\boldsymbol{r}_{M\chi} \tag{3-4}$$

โดย $\boldsymbol{x}_{opt-k}$ คือ เวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผู้ใช้ลำดับที่ k,

$\boldsymbol{R}_{MM} = E[\boldsymbol{M}_k\boldsymbol{r}(i)(\boldsymbol{M}_k\boldsymbol{r}(i))^H]$

และ $r_{M\chi} = E[\boldsymbol{M}_k\boldsymbol{r}(i)\chi(i)^H]$

ถึงแม้ว่าแรกเริ่มโครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรนนี้จะถูกนำมาเพื่อใช้สำหรับการปรับตัวแบบบอด แต่โดยความเป็นจริงแล้วโครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรนนี้ไม่ได้จำกัดใช้ได้กับเฉพาะกระบวนการปรับตัวแบบบอดเท่านั้น มันสามารถใช้ได้กับการปรับตัวด้วยวิธีใดก็ได้ และไม่ว่าจะใช้การปรับตัวด้วยวิธีการใด เวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้ที่เหมาะสมจะอยู่ในรูปแบบของสมการ (3-4) โดยสิ่งที่แตกต่างกันคือรูปแบบการประมาณสัญญาณแทรกสอดที่ปะปนมาในสัญญาณออกของวงจรกรองคงที่ในส่วนบนของเครื่องรับ $\chi(i)$ รูปแบบการประมาณ $\chi(i)$ สำหรับกระบวนการปรับตัวด้วยวิธีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1.1

ตาราง 3.1.1 รูปแบบการประมาณ $\chi(i)$ สำหรับกระบวนการปรับตัวด้วยวิธีต่างๆ

	กระบวนการปรับตัว	$\chi(i)$
1.	MMSE	$\boldsymbol{w}_k^H\boldsymbol{r}(i) - a_k b_k(i)$
2.	MMOE	$\boldsymbol{w}_k^H\boldsymbol{r}(i)$
3.	Upper Path Decision Direct	$\begin{cases}\boldsymbol{w}_k^H\boldsymbol{r}(i) - a_k & ;\boldsymbol{w}_k^H\boldsymbol{r}(i) \ge 0 \\ \boldsymbol{w}_k^H\boldsymbol{r}(i) + a_k & ;\boldsymbol{w}_k^H\boldsymbol{r}(i) < 0\end{cases}$

วิธีตัดสินใจโดยตรงจากวงจรในส่วนบนของโครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรน (Upper Path Decision Direct) จะนำสัญญาณออกของวงจรในส่วนบนของโครงสร้างมาประมาณบิตข้อมูลของผู้ใช้คนที่สนใจ เพื่อนำไปประมาณ $\chi(i)$ โดยตรง

สำหรับอัลกอริทึม CMA ซึ่งไม่สามารถหาเวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองที่เหมาะสมที่สุดได้ เมื่อนำมาใช้ร่วมกับโครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรน หรือที่เรียกกันว่า LCCMA แล้วเวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ในรูปสมการ (3-4) เช่นกัน โดย $\chi(i)$ จะเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมของสัญญาณ และการกำหนดค่าเริ่มต้น ความรู้นี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์เครื่องรับ LCCMA นี้ต่อไป

3.2 แนวคิดในการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้โดยใช้เวกเตอร์เจาะจง

เมทริกซ์ $\boldsymbol{R}_{MM}$ เป็นเมทริกซ์สมมาตรและสามารถแสดงในรูปของเวกเตอร์เจาะจงและค่าเจาะจงได้ดังนี้

$$\boldsymbol{R}_{MM} = \boldsymbol{V}_{MM}\boldsymbol{\lambda}_{MM}\boldsymbol{V}_{MM}^{H} \tag{3-5}$$

โดย $\boldsymbol{V}_{MM}$ คือเมทริกซ์ขนาด $L_c \times J$ ซึ่งคอลัมน์เป็นเวกเตอร์เจาะจง ($\boldsymbol{v}_j$) ของ $\boldsymbol{R}_{MM}$ ที่มีค่าเจาะจงไม่เท่ากับ 0

$$\boldsymbol{V}_{MM} = \begin{bmatrix} v_1(1) & v_2(1) & v_3(1) & \cdots & v_J(1) \\ v_1(2) & v_2(2) & v_3(2) & \cdots & v_J(2) \\ v_1(3) & v_2(3) & v_3(3) & \cdots & v_J(3) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_1(L_c) & v_2(L_c) & v_3(L_c) & \cdots & v_J(L_c) \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{V}_{MM} = [\boldsymbol{v}_1 \quad \boldsymbol{v}_2 \quad \boldsymbol{v}_3 \quad \cdots \quad \boldsymbol{v}_J]$$

$$\boldsymbol{v}_j = \begin{bmatrix} v_J(1) \\ v_J(2) \\ v_J(3) \\ \vdots \\ v_J(L_c) \end{bmatrix}$$

และ $\boldsymbol{\lambda}_{MM}$ คือเมทริกซ์ในแนวทแยงมุมขนาด $J \times J$ ที่มีค่าในแนวทแยงมุมเป็นค่าเจาะจง

$$\boldsymbol{\lambda}_{MM} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \lambda_J \end{bmatrix}$$

จากคุณสมบัติของเวกเตอร์เจาะจง $\boldsymbol{v}_j$ ซึ่ง

$$\boldsymbol{v}_i^H \boldsymbol{v}_j = \begin{cases} 1 & ; i = j \\ 0 & ; i \neq j \end{cases} \tag{3-6}$$

จะได้ว่า

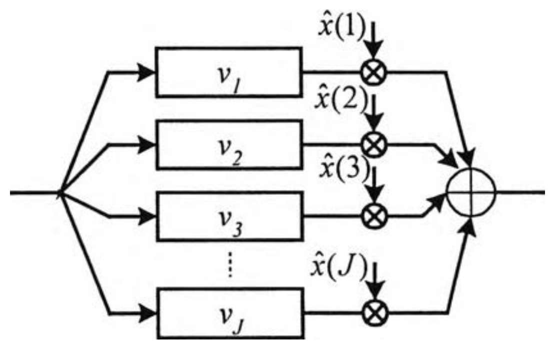
$$\boldsymbol{R}_{MM}^{-1} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{v}_1 & \boldsymbol{v}_2 & \boldsymbol{v}_3 & \cdots & \boldsymbol{v}_J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\lambda_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1/\lambda_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1/\lambda_3 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1/\lambda_J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{v}_1^H \\ \boldsymbol{v}_2^H \\ \boldsymbol{v}_3^H \\ \vdots \\ \boldsymbol{v}_J^H \end{bmatrix} \tag{3-7}$$

$$\boldsymbol{R}_{MM}^{-1} = \sum_{j=1}^{J} \boldsymbol{v}_j \left(\frac{\boldsymbol{v}_j^H}{\lambda_j} \right) \tag{3-8}$$

จากสมการ (3-8) เวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผู้ใช้ลำดับที่ k ในสมการ (3-4) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\boldsymbol{x}_{opt-k} = \sum_{j=1}^{J} \boldsymbol{v}_j \left(\frac{\boldsymbol{v}_j^H \boldsymbol{r}_{M\chi}}{\lambda_j} \right) \tag{3-9}$$

พิจารณาสมการ (3-9) จะพบว่า $\boldsymbol{x}_{opt-k}$ เกิดจากผลรวมเชิงเส้นของเวกเตอร์เจาะจงของเมทริกซ์ $\boldsymbol{R}_{MM}$ ที่มีค่าเจาะจงไม่เท่ากับ 0 ดังนั้นวงจรกรองปรับตัวได้จึงสามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างโดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับเวกเตอร์เจาะจงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของวงจรกรองปรับตัวได้ที่ใช้เวกเตอร์เจาะจง

สำหรับโครงสร้างของวงจรกรองปรับตัวได้ที่ใช้เวกเตอร์เจาะจงดังรูปที่ 3.2 จะพบว่าจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงที่จำเป็นต้องใช้เพื่อที่จะได้รับสมรรถนะเท่าเทียมวงจรกรองปรับตัวได้ที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับจำนวนเวกเตอร์เจาะจงที่มีค่าเจาะจงไม่เท่ากับ 0 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงที่ใช้ในวงจรกรองปรับตัวได้ทั่วไป จำนวนของเวกเตอร์เจาะจงที่มีค่าเจาะจงไม่เท่ากับ 0 ขึ้นอยู่กับปริภูมิของสัญญาณว่าถูกกระจายโดยเวกเตอร์เบซิส (basis) จำนวนเท่าใด ในกรณีที่ไม่คำนึงถึงผลของสัญญาณรบกวน สัญญาณในระบบ DS-CDMA ที่รับมาได้จะถูกกระจาย

โดยสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่สนใจและคนอื่นๆ ในระบบ แต่สัญญาณที่ออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์จะไม่มีผลของผู้ใช้คนที่สนใจ ดังนั้นปริภูมิของมันจะมีจำนวนเวกเตอร์เบซิสน้อยกว่าสัญญาณที่รับมาได้จึงเป็นผลให้จำนวนเวกเตอร์เจาะจงของ $\boldsymbol{R}_{MM} = E[\boldsymbol{M}_k \boldsymbol{r}(i)(\boldsymbol{M}_k \boldsymbol{r}(i))^H]$ จะมีค่าน้อยกว่าเวกเตอร์เจาะจงของ $\boldsymbol{R}_{rr} = E[\boldsymbol{r}(i)\boldsymbol{r}(i)^H]$ อยู่เท่ากับหนึ่ง คุณสมบัตินี้ทำให้โครงสร้างที่มีการใช้บล็อกกิงเมทริกซ์มีความเหมาะสมในการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้มากกว่าโครงสร้างที่ไม่มีการใช้บล็อกกิงเมทริกซ์ ในกรณีที่ต้องการจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงจำกัดที่ค่าใดค่าหนึ่งที่ไม่เท่ากับจำนวนเวกเตอร์เจาะจงที่มีค่าเจาะจงไม่เท่ากับ 0 การเลือกเวกเตอร์เจาะจงจะใช้หลักการดังต่อไปนี้

พิจารณาฟังก์ชันจุดประสงค์ในรูปแบบทั่วไปสำหรับหักล้างสัญญาณแทรกสอดในสมการ (3-1) ค่า MMSE ของฟังก์ชันจุดประสงค์นี้จะได้รับเมื่อวงจรกรองปรับตัวได้เป็นวงจรกรองที่เหมาะสมที่สุดดังในสมการ (3-4)

$$\begin{aligned} MMSE &= E[(\chi(i) - (\mathbf{M}_k^H \mathbf{x}_{opt\_k})^H \mathbf{r}(i))(\chi(i) - \mathbf{M}_k^H \mathbf{x}_{opt\_k})^H \mathbf{r}(i)] \\ &= E[\chi(i)\chi(i)^H] - E[(\mathbf{M}_k^H \mathbf{x}_{opt\_k})^H \mathbf{r}(i)\chi(i)] \\ &\quad - E[\chi(i)\mathbf{r}(i)^H \mathbf{M}_k^H \mathbf{x}_{opt\_k}] + E[(\mathbf{M}_k^H \mathbf{x}_{opt\_k})^H \mathbf{r}(i)\mathbf{r}(i)^H \mathbf{M}_k^H \mathbf{x}_{opt\_k}] \end{aligned} \tag{3-10}$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$MMSE = \delta_i - \mathbf{r}_{M\chi}^H \mathbf{x}_{opt\_k} \tag{3-11}$$

โดย $\delta_i = E[\chi(i)\chi(i)^H]$ คือกำลังของสัญญาณแทรกสอดที่ปะปนมาในสัญญาณออกของวงจรกรองคงที่ในส่วนบน

แทนค่า $\mathbf{x}_{opt\_k} = \mathbf{R}_{MM}^{-1}\mathbf{r}_{M\chi}$ ลงในสมการ (3-11) จะได้

$$MMSE = \delta_i - \boldsymbol{r}_{M\chi}^H \boldsymbol{R}_{MM}^{-1} \boldsymbol{r}_{M\chi} \tag{3-12}$$

ใช้ผลจากสมการ (3-9) มาแทนลงในสมการ (3-12) จะได้

$$MMSE = \delta_i - \sum_{j=1}^{J} \frac{\left|\boldsymbol{r}_{M\chi}^H \boldsymbol{v}_j\right|^2}{\lambda_j} \tag{3-12}$$

ดังนั้นการเลือกเวกเตอร์เจาะจงจึงเลือกเวกเตอร์เจาะจงจำนวนที่ต้องการที่สามารถทำให้ฟังก์ชันต่อไปนี้มีค่ามากที่สุด

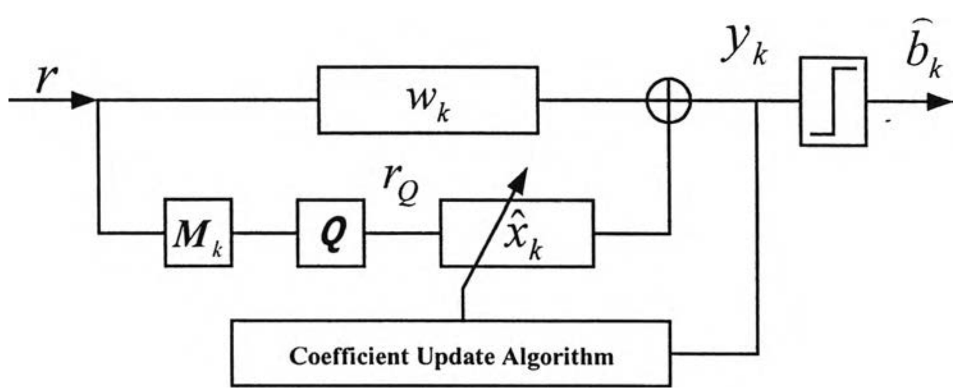
$$\frac{\left|\boldsymbol{r}_{M\chi}^H \boldsymbol{v}_j\right|^2}{\lambda_j} \tag{3-13}$$

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการใช้เวกเตอร์เจาะจงคือ ในทางปฏิบัตินั้นค่าเฉลี่ยทางสถิติจะถูกแทนด้วยค่าเฉลี่ยในทางเวลา ดังนั้นการคำนวณค่าตัวแปรบางอย่าง เช่น $\boldsymbol{R}_{MM}$ จะมีความถูกต้องมากขึ้น

เมื่อจำนวนตัวอย่างสำหรับคำนวณค่าเฉลี่ยมีค่ามากขึ้น ซึ่งความถูกต้องนี้จะส่งผลต่อไปยังการคำนวณหาเวกเตอร์เจาะจง

3.3 โครงสร้างสำหรับลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้สำหรับเครื่องรับ LCCMA blind adaptive detector

โครงสร้างทั่วไปสำหรับลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้สำหรับเครื่องรับ LCCMA blind adaptive detector สำหรับผู้ใช้ลำดับที่ k แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งมีโครงสร้างเดียวกับที่ J.B.Schodorf [26] ได้เสนอใช้สำหรับลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของเครื่องรับแบบ MMOE blind adaptive detector หรือที่เรียกกันว่า MMOE partially blind adaptive detector การลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้ทำได้โดยการลดมิติของสัญญาณออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์ด้วยเมทริกซ์ลดมิติ $\boldsymbol{Q}$



รูปที่ 3.3 โครงสร้างทั่วไปสำหรับลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเรียกโครงสร้างของเครื่องรับ LCCMA blind adaptive detector ที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงดังรูปที่ 3.3 ว่า LCCMA partially blind adaptive detector สมการปรับค่าน้ำหนักถ่วงของเครื่องรับชนิดนี้สำหรับผู้ใช้ลำดับที่ k ด้วยอัลกอริทึม LMS สามารถเขียนได้ดังนี้

$$y_k(i) = (\boldsymbol{w}_k - \boldsymbol{M}_k^H \boldsymbol{Q}\hat{\boldsymbol{x}}_k(i))^H \boldsymbol{r}(i) \tag{3-14}$$

$$\boldsymbol{r}_Q(i) = \boldsymbol{Q}^H \boldsymbol{M}_k \boldsymbol{r}(i) \tag{3-15}$$

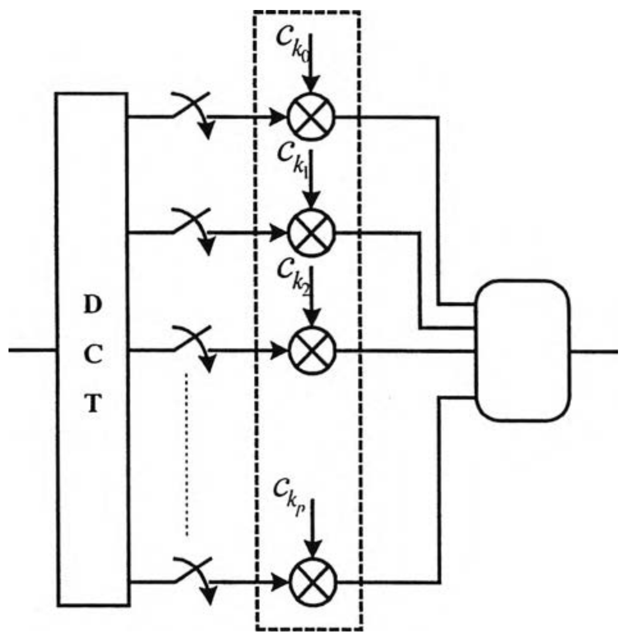
$$\hat{\boldsymbol{x}}_k(i+1) = \hat{\boldsymbol{x}}_k(i) + \mu(|y_k(i)|^2 - \xi) y_k^*(i) \boldsymbol{r}_Q(i) \tag{3-16}$$

โดยค่าคงที่ ξ กำหนดให้เท่ากับกำลังของผู้ใช้คนที่สนใจ สำหรับการลดมิติโดยใช้เวกเตอร์เจาะจง แต่ละคอลัมน์ของเมทริกซ์ลดมิติ $\boldsymbol{Q}$ จะแทนด้วยเวกเตอร์เจาะจง โดยใช้การเลือกเวกเตอร์เจาะจงดังแสดงในหัวข้อ 3.2 ถึงแม้ว่าการใช้เวกเตอร์เจาะจงจะมีสมรรถนะในแง่ของค่าเฉลี่ยของ

กำลังสองของค่าผิดพลาดที่ดีกว่ามันมีความซับซ้อนในการคำนวณสูงมาก ดังนั้นแต่ละคอลัมน์ของเมทริกซ์ลดมิติ $\boldsymbol{Q}$ จะแทนด้วยเวกเตอร์การแปลงแบบอื่นๆ ดังนี้

3.3.1 Discrete Cosine Transform (DCT)

วิธีนี้คล้ายกับที่ J.B.Schodorf เสนอใช้ในเครื่องรับ MMOE partially blind adaptive detector โดยคอลัมน์ของเมทริกซ์ลดมิติ $\boldsymbol{Q}$ จะแทนด้วยคอลัมน์ของเมทริกซ์ DCT หรืออาจกล่าวว่าเมทริกซ์ลดมิติ $\boldsymbol{Q}$ ถูกแทนด้วยการแปลง DCT แล้วเลือกสัญญาณออกของการแปลง DCT จำนวนเท่าที่ต้องการป้อนเข้าสู่วงจรกรองปรับตัวได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การใช้การแปลง DCT แทนเมทริกซ์ลดมิติ $\boldsymbol{Q}$

สำหรับการเลือกคอลัมน์ของเมทริกซ์ DCT หรือสัญญาณออกจากการแปลง DCT ใช้การเลือกคอลัมน์ของเมทริกซ์ DCT ที่ทำให้ค่าสมการต่อไปนี้มากที่สุด

$$\frac{\left|\boldsymbol{r}_{M\chi}^{H}\boldsymbol{d}_{j}\right|^{2}}{\sigma_{d_j}} \tag{3-17}$$

สมการ (3-17) นี้เกิดจากสมการ (3-13) ที่แทนเวกเตอร์เจาะจงด้วยคอลัมน์ของเมทริกซ์ DCT ($\boldsymbol{d}_j$) และแทนค่าเจาะจงที่สัมพันธ์กันด้วยค่าพลังงานเฉลี่ยของสัญญาณออกจากคอลัมน์ของเมทริกซ์ DCT นั้น (σ_{d_j}) เนื่องจากเครื่องรับ LCCMA blind adaptive detector ไม่มีรูปแบบของสัญญาณแทรกสอดที่ปะปนมาในสัญญาณออกของวงจรกรองคงที่ในส่วนบนของเครื่องรับ $\chi(i)$ โดยตรง ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ $\chi(i) = \boldsymbol{w}_k^H \boldsymbol{r}(i)$ ซึ่งเป็นรูปแบบของเครื่องรับที่มี

ฟังก์ชันจุดประสงค์แบบ MMOE แทน ทั้งนี้เพราะว่าเป็นรูปแบบที่ง่าย และใช้กับการปรับตัวแบบบอดอยู่แล้ว

3.3.2 Hadamard Transform (HT)

วิธีการนี้คอลัมน์แต่ละคอลัมน์ของเมทริกซ์ลดมิติ $\boldsymbol{Q}$ จะแทนด้วยคอลัมน์ของเมทริกซ์ Hadamard เนื่องจากองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของเมทริกซ์ Hadamard จะมีค่าเป็น 1 หรือ –1 เท่านั้น การแปลงนี้จึงมีการคำนวณในรูปการบวกหรือลบเท่านั้นทำให้มีความซับซ้อนน้อย สำหรับการเลือกคอลัมน์ของเมทริกซ์ Hadamard นั้นทำได้ด้วยหลักการเดียวกับวิธี DCT โดยแทนคอลัมน์ของเมทริกซ์ DCT ด้วยคอลัมน์ของเมทริกซ์ Hadamard

3.3.3 Cyclically Shifted Matched Filter (CSMF)

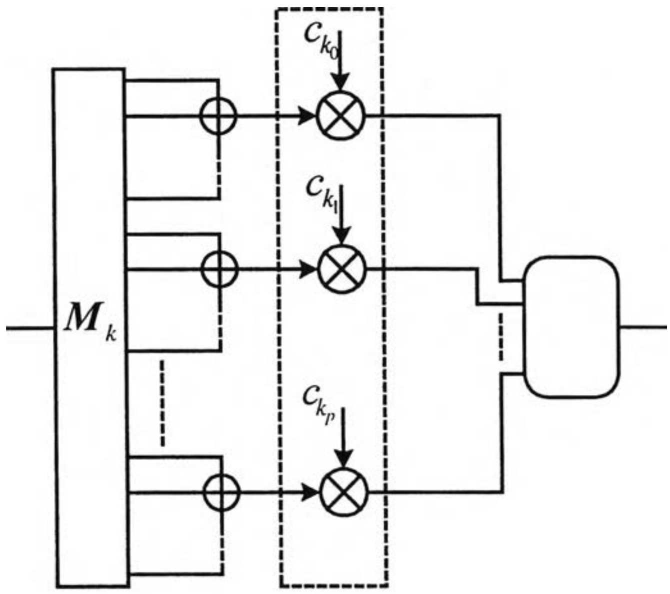
วิธี CSMF นี้เป็นวิธีที่เคยถูกเสนอใช้กับการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงสำหรับเครื่องแบบ MMSE adaptive detector วิธี CSMF นี้คอลัมน์แต่ละคอลัมน์ของเมทริกซ์ลดมิติ $\boldsymbol{Q}$ จะเป็นเวกเตอร์ซึ่งเกิดจากการเลื่อนสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่สนใจไปแบบเป็นวงรอบด้วยค่าต่างๆ กำหนด $\Lambda^i(\ )$ เป็นตัวดำเนินการเลื่อนเวกเตอร์ในเครื่องหมายวงเล็บไปเป็นวงรอบโดยเลื่อนไปเท่ากับ i บิต การเลื่อนแบบเป็นวงรอบสามารถแสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$\boldsymbol{s}=\begin{bmatrix}1\\-1\\1\\-1\\-1\\1\\1\end{bmatrix}\quad \Lambda^1(\boldsymbol{s})=\begin{bmatrix}-1\\1\\-1\\-1\\1\\1\\1\end{bmatrix}\quad \Lambda^2(\boldsymbol{s})=\begin{bmatrix}1\\-1\\-1\\1\\1\\1\\-1\end{bmatrix}\quad \Lambda^3(\boldsymbol{s})=\begin{bmatrix}-1\\-1\\1\\1\\1\\-1\\1\end{bmatrix}\quad \Lambda^4(\boldsymbol{s})=\begin{bmatrix}-1\\1\\1\\1\\-1\\1\\-1\end{bmatrix}$$

การเลือกค่าขนาดการเลื่อนนั้นทำได้ด้วยหลักการเดียวกับวิธี DCT โดยแทนคอลัมน์ของเมทริกซ์ DCT ด้วยเวกเตอร์ซึ่งเกิดจากการเลื่อนไปแบบเป็นวงรอบด้วยค่าต่างๆ สำหรับวิธี CSMF ที่ใช้กับเครื่องรับแบบ MMSE adaptive detector นั้นจะต้องมีการเลือกเวกเตอร์ซึ่งเกิดจากการเลื่อนไปเป็นวงรอบด้วยค่า 0 หรือเท่ากับสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่สนใจเสมอ เพื่อรับประกันสมรรถนะอย่างต่ำในระดับของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ แต่สำหรับเครื่องรับที่ใช้โครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรนนั้นไม่จำเป็นต้องเลือกเวกเตอร์ดังกล่าว ทั้งนี้เพราะว่าสมรรถนะในระดับของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ถูกรับประกันโดยวงจรกรองคงที่ในส่วนบนของเครื่องรับอยู่แล้ว

3.3.4 Summing Block

โครงสร้างของการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงด้วยวิธีการนี้แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โครงสร้างการใช้วิธี Summing Block

วิธีการนี้คล้ายกับวิธี SDR ซึ่งถูกเสนอใช้กับการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงสำหรับเครื่องแบบ MMSE adaptive detector ต่างกันที่วิธี SDR เป็นการหาผลบวกบางส่วนของแมตช์ฟิลเตอร์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองตรงกับสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่สนใจ (ดูรูปที่ 2.14) แต่วิธีการนี้จะหาผลบวกบางส่วนของสัญญาณออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์โดยตรง การที่วิธี SDR ต้องหาผลบวกบางส่วนของแมตช์ฟิลเตอร์แทนที่การหาผลบวกบางส่วนของสัญญาณที่รับมาได้โดยตรงก็เพื่อรับประกันสมรรถนะในระดับของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ไม่จำเป็นสำหรับเครื่องรับที่ใช้โครงสร้างแบบลิเนียร์ลีคอนเสตรนที่สมรรถนะในระดับของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ถูกรับประกันโดยวงจรกรองคงที่ในส่วนบนของเครื่องรับ

วิธี Summing Block นี้จะหาผลบวกบางส่วนจากสัญญาณออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์จำนวน $L_p = \frac{L_c}{p}$ โดย L_c คือจำนวนบิตทั้งหมดของสัญญาณออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์ และ p คือจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้ที่ต้องการ วิธีการนี้สามารถเขียนเมทริกซ์ลดมิติ $\boldsymbol{Q}$ ได้ดังนี้

$$Q=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \vdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \tag{3-18}$$

3.3.5 ข้อดีข้อเสียของวิธีการต่างๆ

ข้อดีข้อเสียของวิธีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงที่ได้นำเสนอไปแล้วมีดังนี้

1) Discrete Cosine Transform

ข้อดี - วิธีนี้สามารถใช้กับระบบ DS-CDMA ที่ใช้สเปรดดิงโค้ดที่มีจำนวนชิปค่าต่างๆ ได้โดยง่ายเนื่องจากสามารถหาเมทริกซ์ DCT ที่มีมิติเท่าใดก็ได้

- วิธี DCT เป็นการแปลงแบบ unitary transform ดังนั้นคอลัมน์แต่ละคอลัมน์ของเมทริกซ์ DCT จะตั้งฉาก (orthogonal) ซึ่งกันและกัน ส่งผลให้คอลัมน์แต่ละคอลัมน์มีความอิสระเชิงเส้นซึ่งกันและกัน (คอลัมน์หนึ่งไม่สามารถเขียนในรูปผลรวมเชิงเส้นของคอลัมน์อื่นๆ ได้) จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถเลือกคอลัมน์ใดของเมทริกซ์ DCT ได้โดยไม่ต้องกังวลว่ามันอาจจะเกิดจากผลรวมของคอลัมน์อื่นๆ ซึ่งจะทำให้การเลือกคอลัมน์นั้นเป็นการเลือกสูญเปล่า
- วิธี DCT นี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานต่างๆ ดังนั้นจึงมีความสะดวกในด้านฮาร์ดแวร์มาก

ข้อเสีย - มีความซับซ้อนในกระบวนการแปลงสูงกว่าวิธีอื่นๆ

2) Hadamard Transform

ข้อดี - มีความซับซ้อนในกระบวนการแปลงน้อย เนื่องจากตัวดำเนินการอยู่ในรูปการบวกและลบเท่านั้น

- เป็นการแปลงแบบ unitary transform เช่นเดียวกับการแปลง DCT

ข้อเสีย - เมทริกซ์ Hadamard มีความจำกัดทางด้านขนาดของเมทริกซ์ ไม่สามารถหา

เมทริกซ์ Hadamard ที่ขนาดใดได้ ทำให้บางกรณีไม่สามารถหาเมทริกซ์ที่มีขนาดที่ต้องการในการแปลงได้ ตัวอย่างเช่น ระบบที่ใช้ Gold Code ที่มีจำนวนชิปเท่ากับ 31 ชิป ไม่สามารถหาเมทริกซ์ Hadamard ขนาด 31×31 ได้

3) Cyclically Shifted Matched Filter

ข้อดี - เวกเตอร์ที่เกิดจากการหมุนรอบสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่สนใจจะมีขนาดเหมาะสมกับการแปลงสัญญาณออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์อยู่แล้ว

- มีความซับซ้อนในกระบวนการแปลงน้อย เนื่องจากตัวดำเนินการอยู่ในรูปการบวกและลบเท่านั้น

ข้อเสีย - เป็นการแปลงที่ไม่เป็น unitary transform ดังนั้นจึงอาจจะส่งผลให้เกิดการเลือกสูญเปล่าได้ในกรณีที่เลือกเวกเตอร์ที่สามารถเขียนในรูปผลรวมเชิงเส้นของเวกเตอร์อื่นๆ ที่ถูกเลือกเช่นกันได้

4) Summing Block

ข้อดี - มีความซับซ้อนในกระบวนการแปลงน้อยมาก

ข้อเสีย - มีรูปแบบจำกัดทำให้ไม่สามารถเลือกได้ (ไม่มีรูปแบบมากมายให้เลือกเหมือนอย่างวิธีการอื่นๆ เช่น เมทริกซ์ DCT หรือเมทริกซ์ Hadamard ซึ่งมีคอลัมน์ให้เลือกหลายคอมลัมน์ เป็นต้น)

- จำนวนของสัญญาณเข้าที่จะนำมารวมกันกำหนดโดยผลหารระหว่างจำนวนบิตทั้งหมดของสัญญาณเข้าและจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงที่ต้องการ ในกรณีที่ผลหารไม่ลงตัวจะไม่สามารถหาจำนวนที่จะนำมารวมกันได้ ตัวอย่างเช่น ระบบที่ใช้ Random Code ที่มีจำนวนชิปเท่ากับ 30 ชิป ซึ่งสัญญาณออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์จะมี 30 บิตเท่ากัน ถ้าต้องการให้มีจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงเท่ากับ 10 จะต้องรวมสัญญาณออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์ทีละ 3 บิตพอดี แต่ถ้าต้องการจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงเท่ากับ 11 จะต้องรวมสัญญาณออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์ทีละ 2 บิต ทั้งหมด 22 บิต และเหลือสัญญาณออกจากบล็อกกิงเมทริกซ์ที่ไม่ได้ใช้อีก 8 บิต ทำให้สมรรถนะของเครื่องรับลดลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ระบบใช้สเปรดดิงโค้ดที่มีจำนวนชิปเป็นเลขจำนวนเฉพาะ เช่น Gold Code ที่มีจำนวนชิปเท่ากับ 31 จะไม่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหานี้ได้

Unitary Transform คือการแปลงโดยใช้เมทริกซ์ที่มีคุณสมบัติ Unitary กล่าวคือเป็นเมทริกซ์ที่ complex conjugate transpose ของมันเท่ากับ inverse ของมัน ดังนี้

$$A^{H} \bullet A = A \bullet A^{H} = \mathbf{I}$$

วิธีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงด้วยวิธี DCT, Hadamard Transform และ CSMF ใช้วิธีการเลือกโดยเลือกเวกเตอร์การแปลงที่ทำให้ผลลัพธ์ของสมการที่ (3-14) มีค่ามากที่สุด การเลือกด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ค่าพารามิเตอร์บางตัว เช่น ค่ากำลังของสัญญาณออกจากเวกเตอร์การแปลง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นการเลือกด้วยวิธีนี้จึงต้องเก็บข้อมูลของสัญญาณที่รับมาได้ไว้จำนวนหนึ่งแล้วเลือกเวกเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนั้น ทำให้ไม่สามารถตัดสินใจบิตทันทีได้ รวมทั้งต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บชุดข้อมูลเหล่านั้นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังต้องคำนวณค่ากำลังของสัญญาณออกจากเวกเตอร์ทุกตัวเพื่อเอาไว้เป็นข้อมูลในการเลือกการแปลงที่เหมาะสม ซึ่งเป็นการทำงานที่สิ้นเปลือง การแก้ปัญหาเรื่องที่ไม่สามารถตัดสินใจบิตทันทีได้ รวมทั้งต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บชุดข้อมูลเหล่านั้นจำนวนมาก ทำได้โดยการพิจารณาว่าสภาวะแวดล้อมในช่วงข้อมูลปัจจุบันมีความแตกต่างจากช่วงข้อมูลต่อไปน้อย ดังนั้นการเลือกเวกเตอร์การแปลงจะทำโดยคำนวณสมการที่ (3-14) ในช่วงบิตข้อมูลปัจจุบันเพื่อใช้กับช่วงบิตข้อมูลต่อไป วิธีการเช่นนี้ถึงแม้จะช่วยแก้ปัญหาได้บางส่วนแต่ก็จะเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมของระบบ รวมทั้งการเปลี่ยนเวกเตอร์การแปลงในแต่ละช่วงของบิตข้อมูล ทำให้ต้องเริ่มต้นการปรับตัวใหม่ ซึ่งไม่เป็นผลดีนัก

3.4 ระเบียบวิธีค้นหาการแปลง (Transformation Searching Algorithm)

เนื่องจากเทคนิคในการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงสำหรับใช้กับเครื่องรับ LCCMA blind adaptive detector ที่ได้นำเสนอมาทั้งหมด ซึ่งเป็นเทคนิคที่เกิดจากการนำเทคนิคที่เสนอใช้ในเครื่องรับ MMOE blind adaptive detector มาปรับใช้นั้น มีข้อด้อยมากมายดังที่ได้นำเสนอในหัวข้อข้างต้น ในหัวข้อนี้จะนำเสนอวิธีการใหม่สำหรับลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงของเครื่องรับ LCCMA blind adaptive detector เพื่อแก้ปัญหาข้อด้อยต่างๆ ของวิธีการที่ได้นำเสนอไปแล้ว

แนวความคิดในการแก้ปัญหาข้อด้อยต่างๆ อันเป็นจุดเริ่มต้นของวิธีการที่จะนำเสนอนี้ มีดังต่อไปนี้

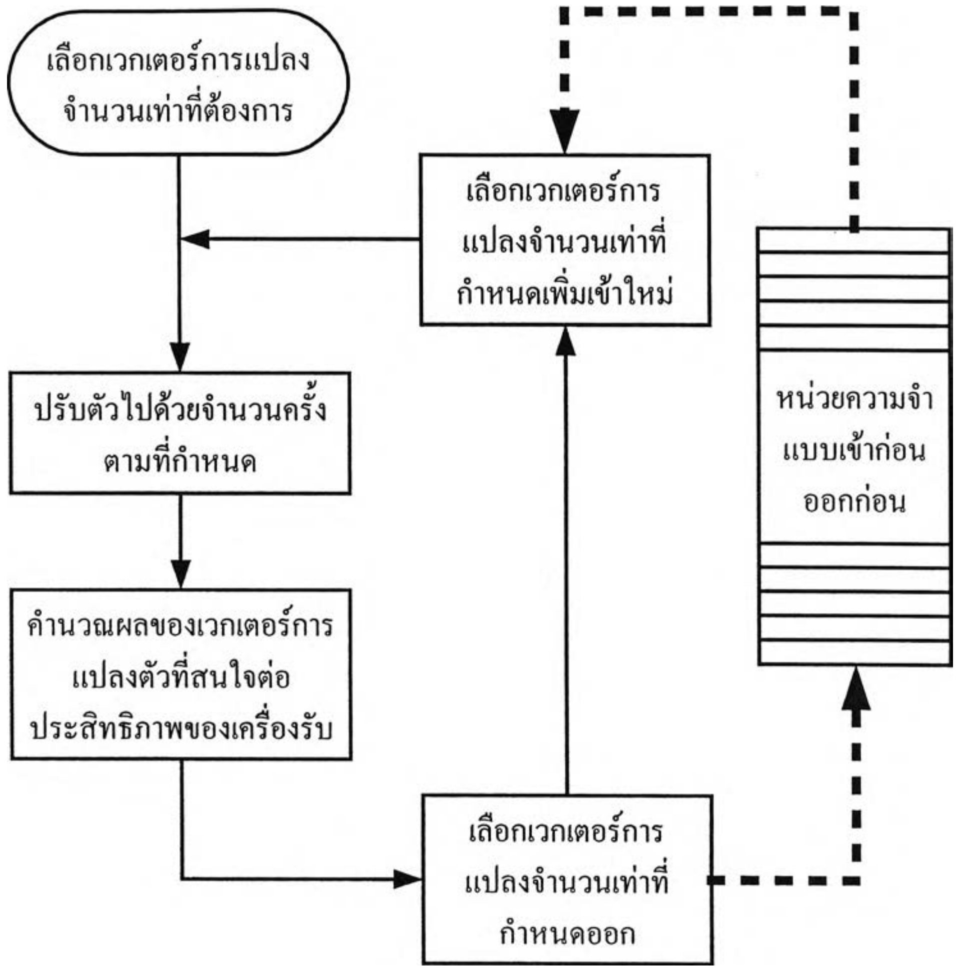
1. ตั้งสมมุติฐานว่าสภาวะแวดล้อมของระบบมีความเปลี่ยนแปลงทีละน้อย ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่ต้องใช้การหาค่าเฉลี่ย จะเกิดจากการหาค่าเฉลี่ยในช่วงบิตข้อมูลในอดีตจำนวนหนึ่ง และนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาใช้คำนวณในช่วงเวลาปัจจุบัน

2. การเลือกเวกเตอร์การแปลงที่เหมาะสมสำหรับช่วงบิตข้อมูลในปัจจุบัน จะเลือกจากเวกเตอร์การแปลงในช่วงบิตข้อมูลในอดีตจำนวนหนึ่ง และคงค่าน้ำหนักถ่วงที่สัมพันธ์กับเวกเตอร์การแปลงนั้นเอาไว้ ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องรับไม่ต้องเริ่มต้นการปรับตัวใหม่ทั้งหมด

3. ไม่พิจารณาสมการที่ใช้เวกเตอร์เจาะจงและนำเวกเตอร์การแปลงอื่นๆ มาแทนที่เวกเตอร์เจาะจง แต่จะพิจารณาสมการที่เกิดจากเวกเตอร์การแปลงอื่นๆ โดยตรง

การทำงานของเทคนิคที่จะนำเสนอนี้แสดงดังรูปที่ 3.6 กำหนดให้เครื่องรับมีจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงที่ต้องการเท่ากับ p เริ่มต้นเครื่องรับจะเลือกเวกเตอร์การแปลงลำดับที่ 1 ถึง p จากเวกเตอร์การแปลงที่เป็นไปได้ทั้งหมด N_q ตัว โดยตัวเลขแสดงลำดับที่ $p+1$ ถึง N_q จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำแบบเข้าก่อนออกก่อน (First In First Out) จากนั้นเครื่องรับจะทำการปรับตัวไปด้วยจำนวนครั้งตามที่กำหนด เมื่อเครื่องรับปรับตัวไปด้วยจำนวนครั้งที่กำหนดแล้ว เครื่องรับจะเลือกเวกเตอร์การแปลงออกจำนวน N_r ตัว ($1 < N_r < p$) แล้วนำเลขที่แสดงลำดับของเวกเตอร์การแปลงที่ถูกเลือกออกดังกล่าวไปเก็บในหน่วยความจำแบบเข้าก่อนออกก่อน จากนั้นจึงนำเวกเตอร์การแปลงจำนวน N_r ตัวเข้ามาแทนที่ โดยเลือกเวกเตอร์ตามลำดับที่เก็บไว้ในหน่วยความจำแบบเข้าก่อนออกก่อน ในขั้นตอนนี้ค่าน้ำหนักถ่วงที่สัมพันธ์กับเวกเตอร์การแปลงที่ไม่ถูกเลือกออกจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ค่าน้ำหนักถ่วงสำหรับเวกเตอร์การแปลงที่ถูกเลือกเข้าไปใหม่จะถูกกำหนดให้เท่ากับศูนย์ หลังจากนั้น เครื่องรับจะปรับตัวต่อไปด้วยจำนวนครั้งตามที่กำหนด (จำนวนครั้งในการปรับตัวที่กำหนดมีค่าคงที่) แล้วจึงทำการเลือกเวกเตอร์การแปลงออก ทำวนรอบเช่นนี้ไปเรื่อยๆ สำหรับการเลือกเวกเตอร์การแปลงออกนั้น จะเลือกเวกเตอร์การแปลงที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องรับน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับเวกเตอร์การแปลงอื่น ๆ ออกเสมอ วิธีนี้เรียกว่าระเบียบวิธีค้นหาการแปลง (Transformation Searching Algorithm)

การแปลงที่สามารถนำมาใช้กับระเบียบวิธีค้นหาการแปลงนี้ได้แก่ การแปลง DCT, Hadamard transform และ CSMF



รูปที่ 3.6 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของระเบียบวิธีค้นหาการแปลง

ตัวอย่างการทำงานของเครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงโดยการใช้ระเบียบวิธีค้นหาการแปลง แสดงในภาคผนวก ข

พิจารณาโครงสร้างของเครื่องรับที่มีการลดจำนวนค่าน้ำหนักถ่วงดังรูปที่ 3.3 ฟังก์ชันจุดประสงค์ในรูปแบบทั่วไปสำหรับหักล้างสัญญาณแทรกสอดสามารถแสดงได้โดย

$$J = E[|\chi(i) - (\boldsymbol{M}_k^H \boldsymbol{Q}\hat{\mathbf{x}}_k(i))^H \boldsymbol{r}(i)|^2] \tag{3-19}$$

โดย $\chi(i)$ คือสัญญาณแทรกสอดที่ปะปนมาในสัญญาณออกของวงจรกรองคงที่ในส่วนบนของเครื่องรับในช่วงบิตข้อมูลที่ i

จากฟังก์ชันจุดประสงค์ในสมการ (3-19) เนื่องจากค่า $\chi(i)$ ไม่ขึ้นอยู่กับผลตอบของวงจรในส่วนล่างของโครงสร้างนี้ ดังนั้นเวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้ที่เหมาะสมที่สุด จึงสามารถหาได้โดยการหาคำตอบของ Weiner-Hopf equations ดังนี้

$$E[\mathbf{r}(i)\mathbf{r}^{H}(i)]\mathbf{M}_{k}^{H}\mathbf{Q}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k} = E[\mathbf{r}(i)\chi(i)^{H}] \tag{3-20}$$

$$\mathbf{Q}^{H}\mathbf{M}_{k}E[\mathbf{r}(i)\mathbf{r}^{H}(i)]\mathbf{M}_{k}^{H}\mathbf{Q}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k} = \mathbf{Q}^{H}\mathbf{M}_{k}E[\mathbf{r}(i)\chi(i)^{H}] \tag{3-21}$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k} = \mathbf{R}_{QQ}^{-1}\mathbf{r}_{Q\chi} \tag{3-22}$$

โดย $\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k}$ คือ เวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผู้ใช้ลำดับที่ k,

$R_{QQ} = E[Q^{H}M_{k}r(i)(Q^{H}M_{k}r(i))^{H}]$

และ $r_{Q\chi} = E[Q^{H}M_{k}r(i)\chi(i)^{H}]$

พิจารณาฟังก์ชันจุดประสงค์ในรูปแบบทั่วไปสำหรับหักล้างสัญญาณแทรกสอดในสมการ (3-19) ค่า MMSE ของฟังก์ชันจุดประสงค์นี้จะได้รับเมื่อวงจรกรองปรับตัวได้เป็นวงจรกรองที่เหมาะสมที่สุดดังในสมการ (3-20)

$$\begin{aligned} MMSE &= E[(\chi(i)-(\mathbf{M}_{k}^{H}\mathbf{Q}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k})^{H}\mathbf{r}(i))(\chi(i)-\mathbf{M}_{k}^{H}\mathbf{Q}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k})^{H}\mathbf{r}(i)] \\ &= E[\chi(i)\chi(i)^{H}] - E[(\mathbf{M}_{k}^{H}\mathbf{Q}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k})^{H}\mathbf{r}(i)\chi(i)] \\ &\quad - E[\chi(i)\mathbf{r}(i)^{H}\mathbf{M}_{k}^{H}\mathbf{Q}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k}] + E[(\mathbf{M}_{k}^{H}\mathbf{Q}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k})^{H}\mathbf{r}(i)\mathbf{r}(i)^{H}\mathbf{M}_{k}^{H}\mathbf{Q}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k}] \end{aligned} \tag{3-23}$$

แทนค่า $\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k} = \mathbf{R}_{QQ}^{-1}\mathbf{r}_{Q\chi}$ ดังสมการ (3-22) ลงในสมการ (3-23) แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$MMSE = \delta_{i} - \mathbf{r}_{M\chi}^{H}\mathbf{Q}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k} \tag{3-24}$$

$$MMSE = \delta_{i} - \sum_{j=1}^{p}\mathbf{r}_{M\chi}^{H}\mathbf{q}_{j}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k}(j) \tag{3-25}$$

โดย $\boldsymbol{q}_{j}$ คือเวกเตอร์การแปลงลำดับที่ j (คอลัมน์ที่ j ของเมทริกซ์ลดมิติ $\boldsymbol{Q}$),
$\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k}(j)$ คือบิตที่ j ของเวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วง (ค่าน้ำหนักถ่วงที่สัมพันธ์กับเวกเตอร์การแปลงลำดับที่ j)

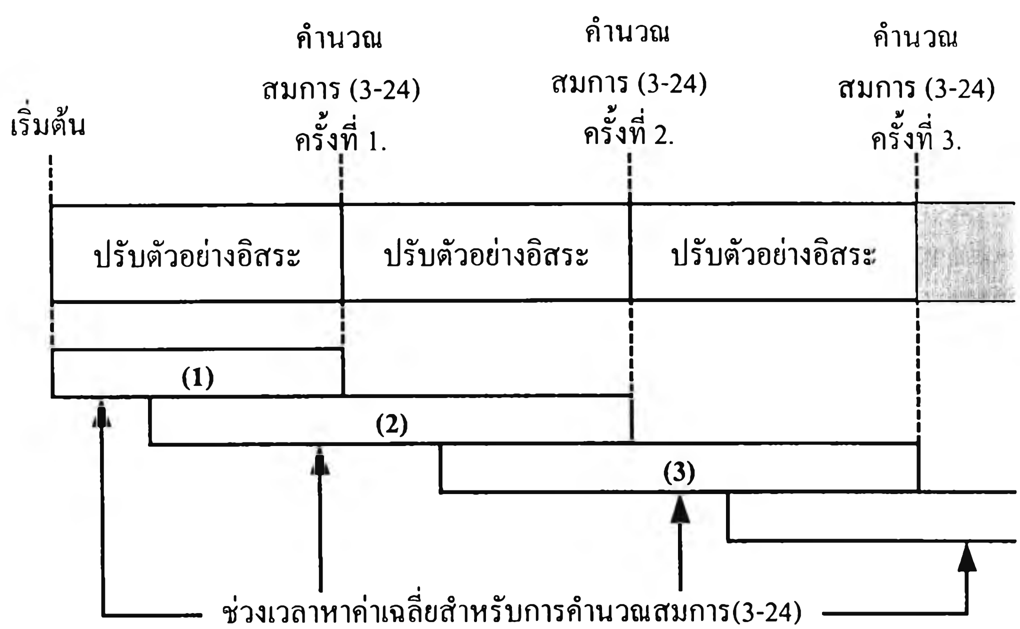
จากสมการ (3-25) ผลของเวกเตอร์การแปลงลำดับที่ j ต่อสมรรถนะของเครื่องรับในแง่ของ MMSE เท่ากับ

$$\mathbf{r}_{M\chi}^{H}\mathbf{q}_{j}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k}(j) \tag{3-26}$$

สำหรับระเบียบวิธีค้นหาการแปลง เวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงที่เหมาะสมที่สุด $\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k}$ จะถูกแทนที่ด้วยค่าน้ำหนักถ่วงหลังจากเครื่องรับมีการปรับตัวไปเป็นจำนวนครั้งตามที่กำหนด เนื่องจากการใช้ค่าน้ำหนักถ่วงหลังจากเครื่องรับมีการปรับตัวไปเป็นจำนวนครั้งตามที่กำหนดมาแทนเวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ผลลัพธ์ของสมการ (3-26) อาจมีค่าติดลบก็เป็นได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าสัมบูรณ์ของผลลัพธ์ของสมการ (3-26) ในการพิจารณาเลือกเวกเตอร์การแปลงออกดังสมการ (3-27)

$$\left|\mathbf{r}_{M\chi}^{H}\mathbf{q}_{j}\hat{\mathbf{x}}_{opt\_k}(j)\right| \tag{3-27}$$

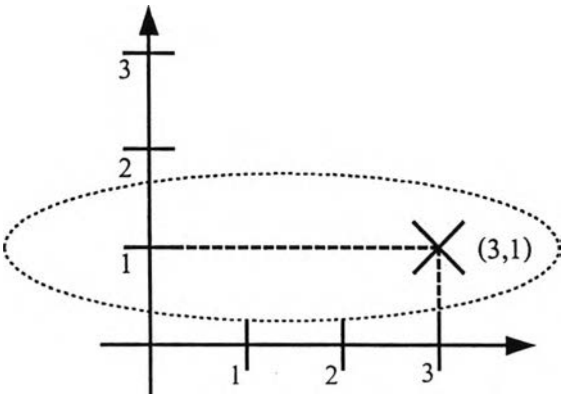
การคำนวณสมการที่ (3-27) จำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์ $r_{M\chi}$ ที่อยู่ในรูปแบบค่าเฉลี่ยทางสถิติ ในทางปฏิบัติจะต้องคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวโดยใช้ค่าเฉลี่ยทางเวลามาแทน โดยจะหาค่าเฉลี่ยในช่วงบิตก่อนที่จะทำการคำนวณสมการ (3-27) โดยทั่วไปการคำนวณสมการ (3-27) จะเกิดขึ้นหลังจากเครื่องรับมีการปรับตัวอย่างอิสระไปด้วยจำนวนครั้งที่กำหนด เพื่อที่จะทำการเลือกเวกเตอร์การแปลงที่มีผลต่อสมรรถนะโดยรวมน้อยที่สุดออก การคำนวณพารามิเตอร์ $r_{M\chi}$ ไม่จำเป็นที่จะต้องทำในช่วงที่เครื่องรับมีการปรับตัวอย่างอิสระไปด้วยจำนวนครั้งที่กำหนดที่ผ่านมาเท่านั้น มันอาจจะทำในช่วงหลายๆ บิตก่อนหน้านั้นก็ได้ ดังรูปที่ 3.7 ในความเป็นจริงแล้วการคำนวณตามสมการ (3-24) หนึ่งครั้ง ไม่จำเป็นต้องใช้ค่าพารามิเตอร์ $r_{M\chi}$ ใหม่ทุกๆ ครั้ง ดังนั้นอาจจะคำนวณพารามิเตอร์ $r_{M\chi}$ เป็นคาบอย่างสม่ำเสมอโดยที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งคาบนั้นอาจจะมีการคำนวณสมการ (3-27) หลายๆ ครั้งก็ได้ โดยในการคำนวณสมการ (3-27) แต่ละครั้งจะใช้ค่าพารามิเตอร์ $r_{M\chi}$ ที่ได้คำนวณเสร็จไปแล้วจากคาบเวลาช่วงที่แล้วเสมอ



รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงช่วงเวลาในการหาค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ $r_{M\chi}$ สำหรับใช้ในการคำนวณสมการ (3-24)

การพิจารณาว่าเวกเตอร์การแปลงลำดับใดมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องรับในแง่ของ MMSE นั้นนอกจากจะพิจารณาตามสมการ (3-27) แล้วยังอาจจะพิจารณาอย่างหยาบๆ โดยการพิจารณาว่าเวกเตอร์การแปลงตัวที่มีค่าสัมบูรณ์ของค่าน้ำหนักถ่วงที่สัมพันธ์กับมันน้อยที่สุด จะมี

ผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องรับโดยรวมน้อยที่สุด ซึ่งการพิจารณาอย่างหยาบๆ นี้เป็นการพิจารณาว่าเวกเตอร์การแปลงใดมีระยะทางห่างจากจุดที่เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดมากที่สุด จะเป็นเวกเตอร์การแปลงที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องรับน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น มีเวกเตอร์การแปลง 2 ตัวได้แก่ [1 0] และ [0 1] ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยเวกเตอร์ตามแนวแกน x และแกน y ในรูปที่ 3.8 ตามลำดับ กำหนดให้เวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงที่เหมาะสมที่สุดเป็น (3,1)



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างตำแหน่งของเวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงที่เหมาะสมที่สุด

จากรูปที่ 3.8 จะพบว่าเวกเตอร์ [1 0] จะอยู่ใกล้กับจุด (3,1) มากกว่าเวกเตอร์ [0 1] ดังนั้นสำหรับการพิจารณาอย่างหยาบจะพิจารณาว่าเวกเตอร์ [1 0] มีผลต่อสมรรถนะโดยรวมมากกว่าเวกเตอร์ [0 1] อย่างไรก็ดีในความเป็นจริงแล้วการพิจารณาอย่างหยาบอาจไม่เป็นจริงเสมอไป ถ้ากำหนดให้ในบริเวณวงรียกเว้นที่จุด (3,1) เป็นบริเวณที่มีค่า MSE เท่ากัน แต่มากกว่าที่จุด (3,1) (เนื่องจากที่จุด (3,1) เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด) และบริเวณอื่นๆ นอกวงรีมีค่า MSE สูงกว่าบริเวณในวงรี ในกรณีนี้จะพบว่าเวกเตอร์ [0 1] จะมีผลต่อสมรรถนะโดยรวมมากกว่า โดยหากเลือกใช้เวกเตอร์ [0 1] ก็จะได้รับค่า MSE ของบริเวณในวงรียกเว้นที่จุด (3,1) แต่ถ้าหากเลือกเวกเตอร์ [1 0] ก็จะได้รับค่า MSE ของบริเวณอื่นซึ่งมีค่าสูงกว่าของบริเวณในวงรี อย่างไรก็ดีการพิจารณาอย่างหยาบๆ ก็มีความซับซ้อนที่ต่ำมาก รวมทั้งไม่จำเป็นต้องใช้ค่าทางสถิติ เช่น $r_{\Lambda l\chi}$ เป็นต้น

ระเบียบวิธีค้นหาการแปลงนี้เป็นวิธีการสำหรับแก้ปัญหาของวิธีการอื่นๆ ดังที่ได้เสนอไปแล้วข้างต้น ได้แก่ ไม่ต้องการหน่วยความจำจำนวนมากสำหรับเก็บสัญญาณที่รับมาได้เพื่อใช้ในการเลือกเวกเตอร์การแปลง ไม่ต้องเริ่มต้นการปรับตัวใหม่ทั้งหมดเพราะมีการเลือกเวกเตอร์การแปลงออกบางส่วนเท่านั้น และเนื่องจากวิธีการนี้ไม่ได้เริ่มต้นจากการใช้เวกเตอร์เจาะจง และนำเวกเตอร์การแปลงอื่นๆ มาใช้เพื่อแทนที่เวกเตอร์เจาะจงเท่านั้น หากแต่พิจารณาจากการใช้เวกเตอร์การแปลงอื่นๆ โดยตรงระเบียบวิธีค้นหาการแปลงนี้จึงมีความถูกต้องมากกว่า อย่างไรก็ตามเนื่องจากระเบียบวิธีค้นหาการแปลงนี้ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงหลังจากเครื่องรับมีการปรับตัวไปแล้วด้วยจำนวนครั้งที่กำหนดมาแทนเวกเตอร์ค่าน้ำหนักถ่วงที่เหมาะสมที่สุดจึงอาจทำให้การคำนวณผลของ

เวกเตอร์การแปลงลำดับที่สนใจต่อสมรรถนะของเครื่องรับผิดพลาดไปบ้าง รวมทั้งเวลาในการปรับตัวที่จำกัดทำให้ค่าน้ำหนักถ่วงที่ได้รับอาจจะยังห่างจากค่าที่เหมาะสมที่สุดอยู่มากก็เป็นได้