

# ตัวปรับแต่งสัญญาณโครงสร้างลาแกร์ปรับตัวได้สำหรับระบบดีเอสซีดีเอ็มเอ โดยใช้อัลกอริทึมไลเนอร์แบบใหม่

## A New Signed-algorithm for Adaptive Laguerre Equalizer in DS-CDMA Systems

มยุรี เลิศเวชกุล<sup>1</sup> รินฤดี เบญจางคประเสริฐ<sup>2</sup> และ ชวลิต เบญจางคประเสริฐ<sup>3</sup>

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กทม. 10520

E-mail: chawalit.be@kmitl.ac.th<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องรับสัญญาณสำหรับระบบสื่อสารดีเอสซีดีเอ็มเอ โดยใช้ตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้แบบใหม่โครงสร้างแบบลาแกร์ อัลกอริทึมที่นำเสนอนี้พัฒนาจากอัลกอริทึมไลเนอร์เกรเซอร์ หรือ SR จากผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่า สมรรถนะของระบบโดยพิจารณาในรูปของอัตราความผิดพลาดบิตและส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณที่มีการสะท้อนของคลื่นหลายวิถี เครื่องรับสัญญาณที่ใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอจะมีสมรรถนะสูงกว่าเครื่องรับสัญญาณที่ใช้อัลกอริทึม SR และอัลกอริทึม RLS ตัวปรับแต่งสัญญาณแบบปรับตัวได้ที่นำเสนอ นอกจากสามารถลดผลกระทบการแทรกสอดระหว่างสัญญาณลักษณะและการแทรกสอดจากผู้ใช้หลายอื่นแล้ว ยังสามารถลดความซับซ้อนของอัลกอริทึมเมื่อเทียบกับอัลกอริทึม RLS อีกด้วย

**คำสำคัญ:** ระบบดีเอสซีดีเอ็มเอ ตัวปรับแต่งสัญญาณโครงสร้างลาแกร์ อัลกอริทึมแบบ RLS อัลกอริทึมแบบ SR

### Abstract

This paper aims to improve the performance of direct-sequence code division multiple access (DS-CDMA) receiver by using a new adaptive equalizer with a modified sign-algorithm based on Laguerre filter structure. The proposed algorithm is modified version of the conventional signed-regressor algorithm for a Laguerre filter. By the simulation result, the BER performance of the proposed algorithm is shown to be better than the classical signed-regressor (SR) algorithm and the recursive least square (RLS) algorithm in multipath channel. This adaptive equalizer not only reduce the effected of ISI, MAI and the implementation cost, but also minimizes the computational complexity when compared to the attractive RLS algorithm and supports the long impulse response system.

**Keywords:** DS-CDMA system, Laguerre equalizer, RLS algorithm, Signed-regressor LMS algorithm

## 1. บทนำ

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดีเอสซีดีเอ็มเอที่มีการรบกวนของคลื่นหลายวิถีในช่องสัญญาณและสัญญาณรบกวนแบบขาวนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดคือการถูกทำลายคุณสมบัติการตั้งฉากของรหัสของช่องสัญญาณที่เกิดจากการแทรกสอดสัญญาณลักษณะในช่องสัญญาณเนื่องจากคลื่นหลายวิถี และผลกระทบที่เกิดจากการแทรกสอดของผู้ใช้รายอื่น มีผลกระทบและจำกัดสมรรถนะของระบบสื่อสาร [1-11] อย่างไรก็ตาม การแทรกสอดเชิงสัญญาณลักษณะอย่างรุนแรงรวมทั้งสัญญาณรบกวนอื่น ๆ จะทำให้ระบบมีการตอบสนองอิมพัลส์แบบยาว การใช้การปรับแต่งสัญญาณแบบปรับตัวได้ที่ระดับชิป สามารถกู้คืนคุณสมบัติการตั้งฉากของรหัสของช่องสัญญาณและลดผลกระทบจากการแทรกสอดจากผู้ใช้รายอื่นได้อีกด้วย

โครงสร้างพื้นฐานของตัวปรับแต่งสัญญาณแบบปรับตัวได้ ประกอบด้วย ตัวกรองดิจิทัลทำงานร่วมกับอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ ตัวกรองดิจิทัลแบบลาแกรี [2] นั้น เป็นการรวมเอาข้อดีของตัวกรองดิจิทัลแบบมีผลตอบสนองอิมพัลส์แบบจำกัดและตัวกรองดิจิทัลแบบมีผลตอบสนองอิมพัลส์แบบไม่จำกัดเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งช่วยลดปัญหาในการออกแบบระบบที่รองรับการตอบสนองอิมพัลส์แบบยาวและยังมีเสถียรภาพในการทำงาน

อัลกอริทึมแบบปรับตัวได้นั้นมีหลายชนิดด้วยกัน [2, 3] อัลกอริทึมแบบ LMS (Least mean square algorithm) และอัลกอริทึมแบบ SR (Signed-regressor algorithm) ทั้งสองอัลกอริทึมเป็นที่นิยมใช้ในการประมาณผลตอบสนองของช่องสัญญาณมาก

ที่สุด เนื่องจากมีความซับซ้อนต่ำ แต่ยังมีความเร็วในการลู่เข้าที่ต่ำกว่าอัลกอริทึมแบบ RLS (Recursive least square algorithm) แม้ว่าอัลกอริทึม RLS นั้นจะมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีกว่า แต่ก็มีความซับซ้อนในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์มากกว่าเช่นกัน

ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ชนิดใหม่ที่ใช้อัลกอริทึมที่ดัดแปลงจากอัลกอริทึม SR โดยเพิ่มอัตราสัมพัทธ์ของสัญญาณความผิดพลาดร่วมกับตัวกรองแบบลาแกรี ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้งานในระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดีเอสซีดีเอ็มเอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะในสภาวะที่มีผลตอบสนองอิมพัลส์แบบยาว โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการแทรกสอดระหว่างสัญญาณและการแทรกสอดจากผู้ใช้รายอื่น

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบ

พิจารณาระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดีเอสซีดีเอ็มเอที่มีผู้ใช้งาน  $K$  ราย [4] ที่ใช้การมอดูเลตแบบบีพีเอสเค (Binary Phase Shift Keying : BPSK) ผู้ใช้รายที่  $k$  จะส่งสัญญาณได้ดังนี้

$$x_k(n) = \sum_i A_k d_k(i) s_k(n - iT) \quad (1)$$

โดยที่

$d_k(i)$  คือ สัญญาณที่ส่งโดยผู้ใช้รายที่  $k$  ณ เวลา  $i$

$s_k(n)$  คือ รหัสแอมพลิจูด

$A_k$  คือ แอมพลิจูดที่ใช้ส่ง โดยใช้สัญญาณที่ส่งแบบไบนารี และ

$d_k(i) \in \{-1, +1\}$  เป็นแบบสุ่มที่มีความเป็นอิสระและการกระจายตัว

ลำดับแฝงของผู้ใช้รายที่  $K$  สามารถเขียนได้ดังนี้

$$s_k(n) = \sum_{i=0}^{N-1} c_{k,i} P_{T_c}(n - iT_c) \quad (2)$$

โดยที่

$$P_{T_c}(n) = \begin{cases} 1, & 0 < n < T_c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

และ  $c_{k,i} \in \{\pm 1/\sqrt{N}\}$  อัตราการขยายได้จาก  $N = T/T_c$

$T_c$  คือ คาบเวลาของชิป (Chip Period) และ

$T$  คือ คาบเวลาของสัญลักษณ์ (Symbol Period)

สมมติให้ในระบบดีเอสซีดีเอ็มเอลำดับชิป

$P_{T_c}(t)$  นั้น คือ ค่าคงที่

ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณที่มี  $M$  เส้นทาง ระหว่างสถานีฐาน และผู้ใช้ลำดับที่  $K$  แสดงได้ดังนี้

$$h_k(n) = \sum_{m=0}^{M-1} a_{k,m} \delta(n - \tau_{k,m}) \quad (3)$$

โดยที่

$\tau_{k,m}$  คือ ค่าหน่วงเวลาสำหรับเส้นทางที่  $m$  ของผู้ใช้รายที่  $K$

กำหนดให้  $\tau_{k,m}$  คือ คลื่นหลายวิถี (Multipath) ของ  $T_c$

สัมประสิทธิ์การลดทอนของแต่ละเส้นทาง

$a_{k,m}$  สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [2]

$$a_{k,m} = \begin{cases} 0.5 \left\{ 1 + \cos\left(\frac{2\pi}{B}(m-2)\right) \right\}, & m = 1, 2, 3, \dots \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

โดยที่พารามิเตอร์  $B$  ในสมการที่ (4) หมายถึงค่าที่ใช้สำหรับควบคุมการจำลองผลกระทบของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์หรือ ISI

สัญญาณที่รับได้ที่อัตราชิป (Chip rate)  $1/T_c$  สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$r(n) = \sum_{k=1}^K \sum_j g_k(n - jN) d_k(j) + b(n) \quad (5)$$

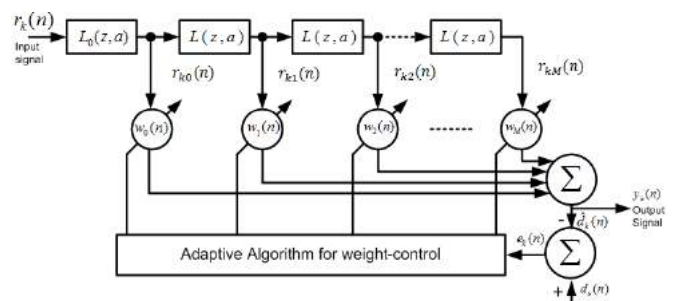
โดยที่  $b(n)$  แทนสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว (AWGN) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 เมื่อพิจารณาในรูปแบบ  $g_k(n) = s_k(n)h_k(n)$  จะได้คอนโวลูชันของผู้ใช้รายที่  $K$  ที่มีการแผ่รหัสสัญญาณด้วยผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณและแสดงรูปแบบเฉพาะของสัญญาณของผู้ใช้รายที่  $K$

## 2.2 ตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้โดยใช้โครงสร้างลาแกร์

โครงสร้างของตัวปรับแต่งสัญญาณแบบลาแกร์ [2] แสดงได้ดังรูปที่ 1

สมการฟังก์ชันลาแกร์โดยทั่วไป สามารถเขียนอยู่ในรูปของ Z-transform ได้ดังนี้

$$L_i(z, \alpha) = \sqrt{1 - \alpha^2} \frac{(z^{-1} - \alpha)^i}{(1 - \alpha z^{-1})^{i+1}} \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$



รูปที่ 1 วงจรปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ที่มีโครงสร้างแบบลาแกร์

กำหนดให้วงจรรองความถี่ด้านหน้าสุดเป็นวงจรรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง สามารถเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$L_0(z, \alpha) = \frac{\sqrt{1-\alpha^2}}{1-\alpha z^{-1}} \quad (7)$$

ต่อจากนั้นนำมาต่ออนุกรมกับวงจรรองความถี่ผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่ง โดยวงจรรองผ่านทุกความถี่นั้นสามารถเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$L(z, \alpha) = \frac{z^{-1}-\alpha}{1-\alpha z^{-1}} \quad \text{สำหรับ } |\alpha| < 1 \quad (8)$$

อาจเขียนสมการฟังก์ชันลาแกร์ (Laguerre Function) ได้ดังนี้

$$L_i(z, \alpha) = L_0(z, \alpha)(L(z, \alpha))^i, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

เมื่อกำหนดให้  $\alpha$  มีค่าเท่ากับ 0 จะได้ว่า

$$L_0(z, \alpha) = 1 \quad (10)$$

และ

$$L(z, \alpha) = z^{-i} \quad \text{สำหรับ } i \geq 1 \quad (11)$$

การทำงานของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้นำเสนอจะเริ่มจากการตัดสินใจเลือกค่าโพลที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปใช้กับวงจรรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรรองผ่านทุกความถี่ และตั้งค่าเริ่มต้นของสัมประสิทธิ์การคูณของตัวปรับแต่งสัญญาณที่ใช้โครงสร้างแบบลาแกร์ โดยกำหนดให้เป็น  $w_i(-1)$

จากรูปที่ 1 กำหนดให้  $n$  คือ ดัชนีเวลาใด ๆ และสัญญาณตามจุดต่าง ๆ คือสัญญาณต่อไปนี้

$r(n)$  คือ อินพุตของลาแกร์ฟิลเตอร์

$\hat{d}(n)$  หรือ  $y(n)$  คือ เอาต์พุตของลาแกร์ฟิลเตอร์

$d(n)$  คือ สัญญาณที่ได้จากชุดลำดับการฝึกฝน

$e(n) = d(n) - \hat{d}(n)$  คือ ค่าความผิดพลาดของการปรับค่าสัมประสิทธิ์การคูณ

## 2.3 อัลกอริทึมแบบปรับตัวได้

### 2.3.1 อัลกอริทึม LMS (Least mean square algorithm)

อัลกอริทึม LMS [2, 3] เป็นอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อนน้อย จึงเป็นที่นิยมใช้ในการประเมินผลตอบสนองของช่องสัญญาณ และตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของอัลกอริทึม คือ ค่าช่วงก้าว ( $\mu$ ) อัลกอริทึม LMS มีการปรับตัวของสัมประสิทธิ์การคูณ ( $w_k(n)$ ) เพื่อให้ได้สัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวปรับแต่งสัญญาณ ดังสมการต่อไปนี้

$$\hat{d}(n) = w^T(n)r(n) \quad (12)$$

$$w(n+1) = w(n) - \mu r(n)e(n) \quad (13)$$

โดยที่

$\hat{d}(n)$  คือ สัญญาณเอาต์พุตของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้

$r(n)$  คือ สัญญาณอินพุตของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้

$e(n)$  คือ สัญญาณความผิดพลาดของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้

### 2.3.2 อัลกอริทึม SR (Signed-regressor algorithm)

อัลกอริทึม SR [3] เป็นอีกหนึ่งอัลกอริทึมที่นิยมใช้ในการประเมินผลตอบสนองของช่องสัญญาณ เนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าอัลกอริทึม LMS โดยที่สมรรถนะของอัลกอริทึม LMS กับ SR จะใกล้เคียงกัน สมการที่ใช้สำหรับปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้กำหนดได้ดังนี้

$$w(n+1) = w(n) - \mu \text{sign}(r(n))e(n) \quad (14)$$

โดยที่

$\text{sign}(r(n))$  คือ ฟังก์ชัน  $\text{signum}(r(n))$  มีค่าเท่ากับ  $(r(n))/|r(n)|$

### 2.3.3 อัลกอริทึม RLS (Recursive least square algorithm)

อัลกอริทึม RLS [2, 3] ทำงานได้เร็วกว่าอัลกอริทึม LMS จึงเป็นอีกอัลกอริทึมที่นิยมใช้มาก เนื่องจากอัลกอริทึมนี้ สามารถแก้จุดด้อยของอัลกอริทึม LMS ที่ทำงานช้า ในส่วนของการปรับสัมประสิทธิ์ของอัลกอริทึมเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมที่สุดนั้น อัลกอริทึม RLS ใช้ค่าเฉลี่ยทางเวลาแทนการใช้ค่าเฉลี่ยทางสถิติ สมการที่ใช้สำหรับปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้สรุปได้ดังนี้

$$\hat{d}(n) = w^T(n-1)r(n) \quad (15)$$

$$k(n) = \frac{R^{-1}(n-1)r(n)}{\lambda + r^T(n)R^{-1}(n-1)r(n)} \quad (16)$$

$$R^{-1}(n) = \frac{1}{\lambda} [R^{-1}(n-1) - k(n)r^T(n)R^{-1}(n-1)] \quad (17)$$

$$w(n) = w(n-1) + k(n)e^*(n) \quad (18)$$

$e^*(n)$  คือ ค่าคอนจูเกตเชิงซ้อนของ  $e(n)$  และต้องกำหนดค่าตั้งต้นของการคำนวณเป็นดังนี้

$$w(0) = k(0) = \hat{d}(0) = 0 \quad (19)$$

$$R^{-1}(0) = \delta I \quad (20)$$

เมื่อ

$I$  คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด  $M \times M$

$\delta$  คือ จำนวนจริงที่มีค่าน้อยกว่า 1

### 3. อัลกอริทึมใหม่ที่เสนอในบทความ

อัลกอริทึมใหม่ที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำเสนอในบทความนี้ ใช้หลักการการทำงานของอัลกอริทึม SR ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3.2 คือ ใช้ฟังก์ชันซิกนัม (Signum function) หรือฟังก์ชันไซน์ที่ตำแหน่งสัญญาณอินพุต  $r(n)$  ของตัวปรับแต่งสัญญาณร่วมกับอัตราสัมพันธ์ของสัญญาณความผิดพลาดที่ได้จากตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดความซับซ้อนของการคำนวณของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ เน้นเทียบกับอัลกอริทึม RLS แต่สมรรถนะโดยรวมดีกว่า ซึ่งสมการที่ใช้สำหรับปรับสัมประสิทธิ์ของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ใหม่ กำหนดได้ดังนี้

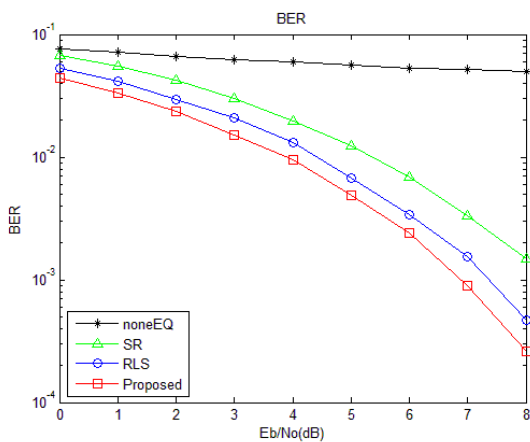
$$w(n) = w(n-1) + \mu \text{sign}(x(n))e(n) \left[ \frac{1-A(n)}{1+A(n)} \right] \quad (21)$$

โดยที่

$$A(n) = 1 - \mu e(n-1) \quad (22)$$



รูปที่ 2 แสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ที่ใช้รหัสแรมขนาด 4 บิตและ 8 บิต ตามลำดับ จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า อัตราความผิดพลาดบิตที่ได้จะแปรค่าโดยตรงตามความยาวของรหัสแรมหรือค่าอัตราขยายการประมวลผล และสมรรถนะของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึมใหม่ที่เสนอในบทความนี้จะมีค่าสูงสุด

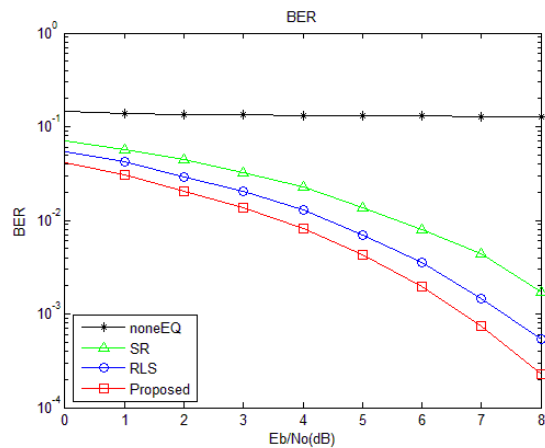


รูปที่ 3 สมรรถนะของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ในกรณีที่ มีคลื่นหลายวิถีจำนวน 5 เส้นทาง

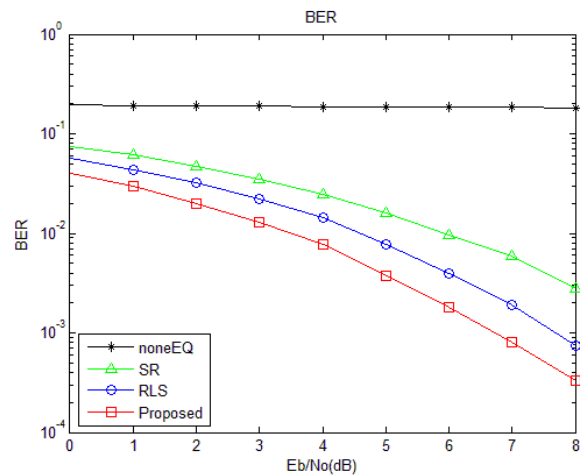
รูปที่ 3 แสดงถึงสมรรถนะของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ในกรณีที่มีการรบกวนของคลื่นหลายวิถี กำหนดให้มีจำนวน 5 เส้นทาง จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราความผิดพลาดบิตของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึมใหม่ มีสมรรถนะดีกว่าตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึมทั่วไป คือ อัลกอริทึม SR และ RLS

ในรูปที่ 4 และ 5 เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราความผิดพลาดบิตโดยเน้นที่ผลตอบสนองอิมพัลส์แบบยาว ซึ่งมีการรบกวนของคลื่นหลายวิถีจำนวน 15 และ 25 เส้นทาง ตามลำดับ ของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึมทั่วไปและตัวปรับแต่งสัญญาณ

ปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึมใหม่ จากผลการจำลองการทำงานที่ได้ แสดงให้เห็นว่าตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้แบบใหม่ที่นำเสนอนี้ ให้อัตราความผิดพลาดบิตที่ต่ำกว่าตัวปรับแต่งสัญญาณแบบปกติทั่วไป เช่นกัน



รูปที่ 4 สมรรถนะของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ในกรณีที่ มีคลื่นหลายวิถีจำนวน 15 เส้นทาง



รูปที่ 5 สมรรถนะของตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ในกรณีที่ มีคลื่นหลายวิถีจำนวน 25 เส้นทาง

ดังนั้น สรุปได้ว่าอัลกอริทึมปรับตัวได้แบบใหม่ที่นำเสนอนี้ มีความเหมาะสมที่จะทำงานร่วมกับตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ที่ใช้โครงสร้างลาแกร์

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะการตอบสนองของอิมพัลส์แบบยาว

## 5. สรุป

บทวิจัยนี้นำเสนอตัวปรับแต่งสัญญาณแบบปรับตัวได้ โดยใช้อัลกอริทึมที่ประยุกต์จากอัลกอริทึมแบบไฮน์ร่วมกับโครงสร้างแบบลาแกร์ สำหรับระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้วิธีการรับส่งแบบดีเอสซีดีเอ็มเอ สมรรถนะของระบบวัดภายใต้สภาวะที่ระบบมีผลกระทบจากคลื่นหลายวิถีรุนแรง จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของตัวปรับแต่งสัญญาณที่นำเสนอสูงกว่าตัวปรับแต่งสัญญาณทั่วไป นอกจากนี้จากตารางที่ 1 ยังแสดงให้เห็นว่าตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึมใหม่ มีความซับซ้อนน้อยกว่าตัวปรับแต่งสัญญาณปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึม RLS อีกด้วย

## เอกสารอ้างอิง

[1] M. A. C. Fernandes, D. S. Arantes, "Chip-level adaptive equalization supervised by a time-multiplexed common pilot sequence in CDMA systems", Proceedings in IEEE International Conference in Microwave and Optoelectronics, pp. 161-165, Oct. 2011.

[2] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, 4th edition, Prentice-Hall, 2002.

[3] B. Farhang-Boroujeny, Adaptive Filters Theory and Applications, John Wiley and sons, New York, 1999.

[4] C. Santhi Rani<sup>1</sup>, P. V. Subbaiah<sup>2</sup>, K. Chennakesava Reddy and S. Sudha Rani, "LMS and RLS algorithms for smart antennas in a W-CDMA mobile communication", in Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 4, No. 6, pp. 78-88, Aug. 2009.

[5] R. Michael Buehre, Code Division Multiple Access (CDMA), Morgan & Claypool, 2006.

[6] F. B. Ueng, and L. D. Jeng, "Adaptive receiver for DS/CDMA multiuser communications", Proceedings in 14<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 2139-2142, Sept. 2003.

[7] A. Charoenphol, T. Inchan and C. Benjangkaprasert, "Adaptive forgetting factor RLS algorithm equalizer for DS-CDMA system based on adaptive Laguerre lattice filter", Proceedings in 8<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2011.

[8] C. Paleologu, and C. Vladeanu, "On the behavior of LMS adaptive algorithm in MMSE receivers for DS-CDMA systems", Proceedings in International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, pp. 12-17, Mar. 2007.



- [9] S. He, and X. Shan, "Adaptive equalization for multipath fading channels using Laguerre filters", Proceedings in IEEE International Conference on Communications, Computers and Signal Processing, vol. 1, pp.450-453, Aug. 2003.
- [10] D. Ogawa. T. Dataki and H. Furukawa, "Evaluation of new NLMS and RLS chip equalizers using tentative decision data for HSDPA systems", Proceedings in IEEE 63<sup>rd</sup> Vehicular Technology Conference, Spring, vol. 5, pp. 2499-2433, May 2006.
- [11] A. Charoenphol and C. Benjangkprasert, "Variable forgetting factor RLS adaptive equalizer for DS-CDMA system", Proceedings in IEEE Symposium on Computers and Informatics, pp. 167-170, Mar. 2011.