

ผลกระทบของตัวทวนสัญญาณต่อค่าความจุ ในระบบเซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอ*

ประพันธ์ มณี¹⁾ พิทักษ์ แก้วบุญส่ง²⁾ และ รศ.พิพัฒน์ เลหาสงคราม³⁾

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²⁾ วิศวกร ศูนย์วิศวกรรมภาคใต้ อสมท จ.สุราษฎร์ธานี บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)

³⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงด้านช่องสัญญาณขาขึ้นของระบบเซลลูลาร์ CDMA กรณีตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ เพื่อให้พื้นที่บริการภายในเซลล์สามารถใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ทุกพื้นที่ การประมาณค่าใช้วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและล็อกนอมอล ตามลำดับ ผลลัพธ์เชิงเลขแสดงความเปลี่ยนแปลงค่าความจุเออร์แลงที่ลดลงเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนตัวทวนสัญญาณ การใช้งาน AOS (Automatic ON/OFF Switching) ของตัวทวนสัญญาณเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : ความจุเออร์แลง ความน่าจะเป็นการติดขัดตัวทวนสัญญาณระบบ AOS

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 26 มกราคม 2548 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2548

The impact of Repeater on the Erlang Capacity of a CDMA Cellular System^{*}

Prapan Munee¹⁾ Pitak Keawboonsong²⁾ and Phipat Laowhasongkram³⁾

¹⁾ Graduate Student, Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang.

²⁾ Engineer, Surattani MCOT South Engineering Center, MCOT Public Company Limited.

³⁾ Associate Professor, Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang.

Abstract

This paper presents an evaluation of the Erlang capacity of a CDMA cellular system on the reverse link channel which employs repeater for all mobile within cell. The approximation methods will be based on Gaussian and Lognormal respectively. Numerical results show a decrease of the Erlang capacity as the number of repeaters increase. The Automatic On-Off Switching (AOS) repeater improvement increase the Erlang capacity.

Keywords : Erlang capacity, blocking probability of AOS repeater

* Original manuscript submitted: January 26, 2005 and Final manuscript received: February 22, 20045

บทนำ

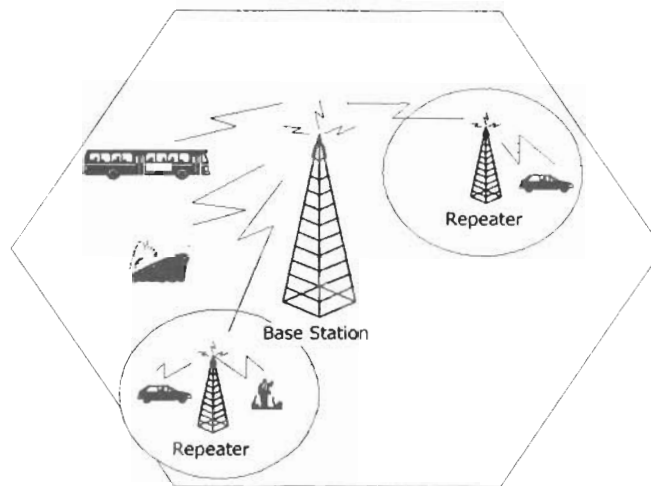
เมื่อระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ CDMA มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ เทคนิคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านความจุของระบบ ได้ถูกคิดค้นและพัฒนาโดยนักวิจัยอย่างต่อเนื่องด้วยข้อจำกัดของ CDMA คือ การแทรกสอดจากจำนวนผู้ใช้งานในระบบ หมายความว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้งานในระบบเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ค่าความจุของระบบลดลง เนื่องจากระบบ CDMA ใช้วิธีการแผ่กว้างทางสเปกตรัม (Spread Spectrum) โดยผู้ใช้งานจะได้รับลำดับรหัส (Code Sequence) ที่แตกต่างกัน สามารถใช้งานที่ความถี่และช่องเวลาเดียวกันได้ (A.M. Viterbi and A.J. Viterbi. 1993) ตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ เพื่อแก้ปัญหาพื้นที่การให้บริการภายในเซลบางพื้นที่ที่เป็นจุดอับสัญญาณ (Dead Spot) เช่น ภายในตึกสูง อุโมงค์หรือบริเวณสถานีรถไฟใต้ดิน เป็นต้น ให้จำนวนผู้ใช้งานในบริเวณดังกล่าวสามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ (W. Choi, B.Y. Cho, T.W. Ban. 2001)

บทความนี้นำเสนอ การวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลลูลาร์ CDMA จากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด (Blocking Probability) โดยใช้วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและล็อกนอโมล กรณีตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ และศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อค่าความจุการใช้งาน AOS ของตัวทวนสัญญาณเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้น

รูปแบบระบบ

ตัวทวนสัญญาณ

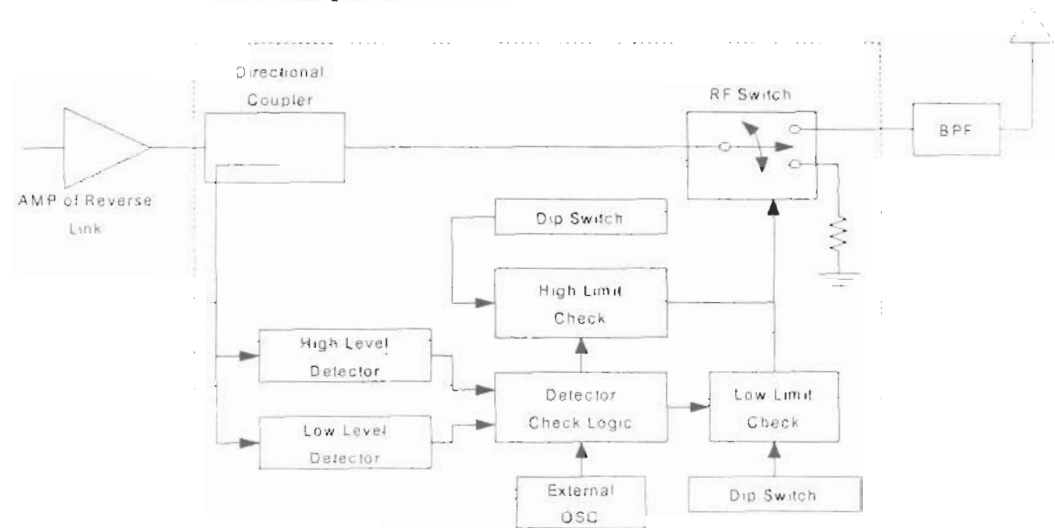
เมื่อตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบเซลลูลาร์ CDMA เพื่อแก้ปัญหาพื้นที่การให้บริการภายในเซลบางพื้นที่ที่เป็นจุดอับสัญญาณให้สามารถใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้มีข้อดีคือ 1) ช่วยลดกำลังส่งของสถานีฐาน เนื่องจากหากไม่มีตัวทวนสัญญาณสถานีฐานจะต้องส่งกำลังส่งในระดับที่สูงเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่จุดอับสัญญาณนั้น 2) ในระบบไม่เกิดการแฮนด์ออฟ (Handoffs) เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่จากสถานีฐานไปยังพื้นที่ของตัวทวนสัญญาณ โดยหน้าที่ของตัวทวนสัญญาณด้านช่องสัญญาณขาลง (Forward Link) ตัวทวนสัญญาณจะรับสัญญาณจากสถานีฐานและขยายสัญญาณส่งต่อไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้านช่องสัญญาณขาขึ้น (Reverse Link) ตัวทวนสัญญาณจะรับสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่และขยายสัญญาณส่งต่อไปยังสถานีฐาน (M.R. Bavafa and H.H. Xia. 1998) (W.C.Y. Lee and D.J.Y. Lee. 2000) มีรูปแบบระบบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบระบบของสถานีฐานและตัวทวนสัญญาณ

ระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณ

ระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณ จะทำหน้าที่ตรวจสอบระดับกำลังสัญญาณที่ได้รับบนช่องสัญญาณขาขึ้นที่ตัวทวนสัญญาณ เพื่อที่จะทำการ OFF เส้นทาง การเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐานกับตัวทวนสัญญาณ หากไม่มีจำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่ครอบคลุมของตัวทวนสัญญาณ ซึ่งเป็นการลดการขยายสัญญาณรบกวนในระบบ รูปแบบระบบ AOS จาก (W. Choi, B.Y. Cho, T.W. Ban. 2001) มีหลักการทำงานบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงรูปแบบระบบ AOS

สมการรูปแบบระบบ

พิจารณาด้านช่องสัญญาณขาขึ้นที่สถานีฐาน เมื่อ S คือ พลังงานที่รับได้ที่สถานีฐาน E_b/I_t คือ พลังงานบิตที่รับได้ต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดรวม R_b คือ อัตราการส่งบิตข้อมูล จะได้ E_b/I_t ที่รับได้ที่สถานีฐาน คือ (W. Choi, B.Y. Cho, T.W. Ban. 2001)

$$\frac{E_b}{I_t} = \frac{(S/R_b)}{I_t} \quad (1)$$

โดยทั่วไปสมมติให้ E_b/I_t เป็นตัวแปรสุ่ม ที่มีค่าเฉลี่ยใช้สำหรับการประมาณความจุระบบ เมื่อระบบเซลลูลาร์ CDMA ใช้งานตัวทวนสัญญาณ และตัวทวนสัญญาณประยุกต์ใช้งานระบบ AOS สามารถเขียนสมการค่าเฉลี่ย E_b/I_t ได้เป็น (W. Choi, B.Y. Cho, T.W. Ban. 2001)

$$E[E_b/I_t] = \frac{(S/R_b)}{N_{th}F_b + \sum_{i=1}^{N_r} \alpha G_b G_r^{ix} L_{r,b} N_{th} F_{r_i} + \frac{(1+f)vS(N_b + v_r N_{rm} \alpha N_r - 1)}{W}} \quad (2)$$

โดย N_{th} คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณรบกวนเทอร์มอล (Thermal Noise) F_b คือ สัญญาณน้อยสีกเกอร์ (Noise Figures) ของสถานีฐาน α คือ ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ (Repeater Activity) G_b คือ อัตราขยายด้านรับของสถานีฐาน G_r^{ix} คือ อัตราขยายของสายอากาศด้านส่งและวงจรขยายของตัวทวนสัญญาณ $L_{r,b}$ คือ การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss) ระหว่างตัวทวนสัญญาณลำดับที่ i กับสถานีฐาน F_{r_i} คือ สัญญาณน้อยสีกเกอร์ของตัวทวนสัญญาณ f คือ อัตราสัญญาณแทรกสอดภายนอกเซลล์ต่อภายในเซลล์ v คือ ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF เสียงพูดของผู้ใช้งาน (Voice Activity) ที่สามารถติดต่อกับสถานีฐานได้โดยตรง N_b คือ จำนวนของผู้ใช้งานที่ติดต่อกับสถานีฐานโดยตรง N_r คือ จำนวนของตัวทวนสัญญาณที่เชื่อมต่อกับสถานีฐาน N_{rm} คือ จำนวนของผู้ใช้งานที่ติดต่อกับตัวทวนสัญญาณ v_r คือ ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF เสียงพูดของผู้ใช้งานภายในพื้นที่ครอบคลุมของตัวทวนสัญญาณ และ W คือ แบนด์วิทการแผ่กว้างทางสเปกตรัมของระบบ

จากสมการที่ (2) และ (W. Choi, B.Y. Cho, T.W. Ban. 2001) สามารถหาความจุด้านช่องสัญญาณขาขึ้นเป็นสัดส่วนกับจำนวนตัวทวนสัญญาณได้ดังสมการ

$$C \equiv N_b + \alpha N_r v_r N_{rm} = \frac{W}{1+f} \cdot \frac{1}{v} \cdot \left\{ \frac{1}{R_b} \left(\frac{E_b}{I_t} \right)^{-1} - \frac{N_{th} F_b}{S} - \sum_{i=1}^{N_r} \frac{\alpha G_b G_r^{ix} L_{r,b} N_{th} F_{r_i}}{S} \right\} + 1 \quad (3)$$

เมื่อ C คือ ค่าความจุรวมของระบบ และหากเปรียบเทียบให้ C คือ ค่าความจุเออร์แลงของระบบ $C = (\lambda/\mu)_i$ λ คือ อัตราการเรียกเข้าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ $1/\mu$ คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้งานช่องสัญญาณ (J.S. Lee and L.E. Miller. 1998) ดังนั้นสมการที่ (3) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_i = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_{BS} + \alpha N_r v_r \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_{repeater} \quad (4)$$

โดย $(\lambda/\mu)_{BS}$ หมายถึง ค่าความจุเออร์แลงจากจำนวนผู้ใช้งานที่สามารถติดต่อกับสถานีฐานได้โดยตรง และ $(\lambda/\mu)_{repeater}$ หมายถึง ค่าความจุเออร์แลงจากจำนวนผู้ใช้งานที่อยู่ภายในพื้นที่ครอบคลุมของตัวทวนสัญญาณ หากกำหนดให้ $(\lambda/\mu)_{BS}$ มีค่ามากกว่า $(\lambda/\mu)_{repeater}$ เป็นจำนวน x เท่า จะได้ $(\lambda/\mu)_{BS} = x \cdot (\lambda/\mu)_{repeater}$ นำไปแทนค่าในสมการที่ (4) ได้

$$\begin{aligned} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_i &= \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_{BS} + \alpha N_r v_r \frac{1}{x} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)_{BS} \\ &= \frac{\lambda}{\mu} \left(1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

นำสมการที่ (5) ไปวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงจากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและล็อกนอโมล ตามลำดับ

ความจุเออร์แลงและความน่าจะเป็นการติดขัด

พิจารณากำลังของสัญญาณที่รับได้บนช่องสัญญาณขาขึ้นในระบบแบบเซลล์เดี่ยว (Single Cell) จะได้ค่าสัญญาณแทรกสอดรวมทั้งหมดเป็น (J.S. Lee and L.E. Miller. 1998)

$$Z = \sum_{i=1}^N v_i \rho_i \leq \frac{W}{R_b} (1 - \eta) \quad (6)$$

เมื่อ Z คือ ผลรวมของตัวแปรสุ่ม N คือ จำนวนผู้ใช้งานในระบบมีลักษณะฟังก์ชันการกระจายแบบพิวซองและมีค่าเฉลี่ย λ/μ v_i คือ แฟกเตอร์การ ON/OFF เสียงพูดของผู้ใช้งาน i มีค่าเฉลี่ย $\bar{v}$ $\rho_i = E_{b(i)}/I_o$ ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนพลังงานบิตที่รับได้ต่อความหนาแน่นสัญญาณแทรกสอด และ η

คือ พารามิเตอร์แสดงภาระ (Loading) ของระบบ ดังนั้นความน่าจะเป็นการติดขัดจะเป็นค่าของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีค่ามากกว่าค่าของจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) Z_0 สำหรับผู้ใช้งานที่ $N + 1$ จะถูกปฏิเสธการให้บริการ มีสมการความน่าจะเป็นการติดขัด (J.S. Lee and L.E. Miller, 1998) คือ

$$P_{\text{Blocking}} = P_r[Z > Z_0 = \frac{W}{R_b}(1 - \eta)] \quad (7)$$

วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน

เมื่อ Z เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน และพิจารณาระบบรูปแบบหลายเซลล์ (Multi Cell) ตัวทวนสัญญาณถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบ สามารถหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มได้ (J.S. Lee and L.E. Miller, 1998)

$$E[Z] = \frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}) \bar{v} (1 + f) e^{\beta m + \frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2} \quad (8)$$

$$Var(Z) = \frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}) \bar{v} (1 + f) e^{2\beta m + 2\beta^2 \sigma^2} \quad (9)$$

เมื่อ $\beta = \frac{\ln 10}{10}$ และ m, σ เป็นค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของฟังก์ชันการกระจายเกาส์เซียนตามลำดับ มีสมการความน่าจะเป็นการติดขัด คือ

$$P_{\text{Blocking}} = Q\left(\frac{Z_0 - E[Z]}{\sqrt{Var(Z)}}\right) \quad (10)$$

โดยฟังก์ชัน $Q(x) = 1/\sqrt{2\pi} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$ นำสมการที่ (8) และ (9) แทนในสมการที่ (10) เพื่อวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แรงโดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน

วิธีการประมาณแบบล็อกนออมอล

เมื่อกำหนดให้ Z เป็นตัวแปรสุ่มแบบล็อกนออมอล มีฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกนออมอล Z' โดยที่ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของฟังก์ชันเป็นไปตามสมการ (J.S. Lee and L.E. Miller, 1998)

$$E[Z'] = e^{m + \frac{1}{2} \sigma^2} \quad (11)$$

$$Var(Z') = e^{2m_N + \sigma_N^2} (e^{\sigma_N^2} - 1) \quad (12)$$

เมื่อ m_N , σ_N^2 หมายถึงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอโมลประยุกต์ใช้วิธีการ Wilkinson (J.S. Lee and L.E. Miller, 1998) โดยกำหนดให้ $E[Z] = E[Z']$ และ $Var(Z) = Var(Z')$ จะได้

$$\frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}) \bar{v}(1+f) e^{\beta m + \frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2} = e^{m_N + \frac{1}{2} \sigma_N^2} \quad (13)$$

$$\frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}) \bar{v}(1+f) e^{2\beta m + 2\beta^2 \sigma^2} = e^{2m_N + \sigma_N^2} (e^{\sigma_N^2} - 1) \quad (14)$$

แก้สมการหาค่า m_N และ σ_N^2 ได้

$$\sigma_N^2 = \ln \left[\frac{e^{\beta^2 \sigma^2}}{\frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}) \bar{v}(1+f)} + 1 \right] \quad (15)$$

$$m_N = \ln \left[\frac{\lambda}{\mu} (1 + \alpha v_r N_r \frac{1}{x}) \bar{v}(1+f) e^{\beta m + \frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2} \right] - \frac{1}{2} \sigma_N^2 \quad (16)$$

มีสมการความน่าจะเป็นการติดขัด คือ

$$P_{Blocking} = Q \left(\frac{\ln(Z_o) - m_N}{\sigma_N} \right) \quad (17)$$

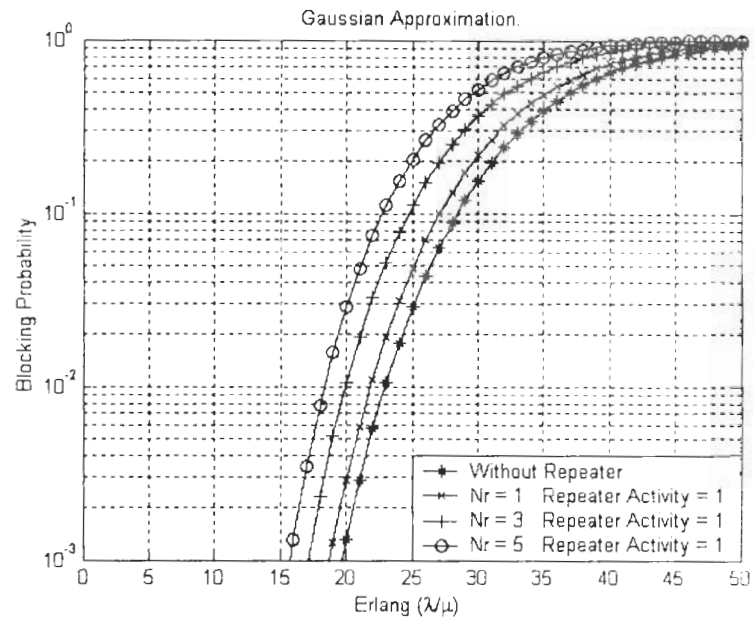
นำสมการที่ (15) และ (16) แทนในสมการที่ (17) เพื่อวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงโดยวิธีการประมาณแบบล็อกนอโมล

ผลลัพธ์เชิงเลข

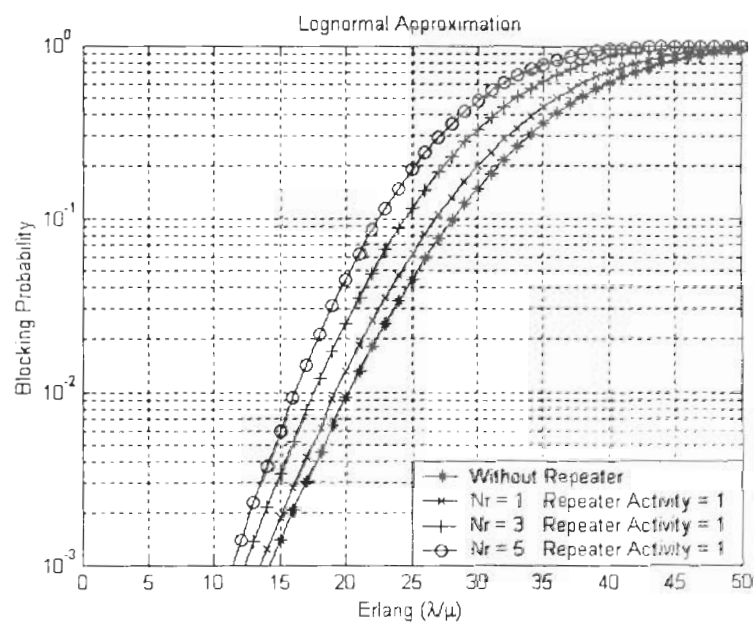
เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่อ้างอิงมาตรฐาน IS-95 $W = 1.2288$ MHz $R_b = 9.6$ Kbps $\bar{\nu} = 0.4$ $\eta = 0.1$ $f = 0.55$ $m = 7$ dB $\nu_r = 0.1$ และกำหนดให้ $(\lambda/\mu)_{BS}$ มีค่ามากกว่า $(\lambda/\mu)_{repeater}$ เป็นจำนวน 2 เท่า ($x=2$) พิจารณารูปผลลัพธ์เชิงเลขที่ความน่าจะเป็นการติดขัด 1% (10^{-2}) (A.M. Viterbi and A.J. Viterbi. 1993) รูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงในระบบเซลลูลาร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและล็อกนอโมล ตามลำดับ ระบบมีการควบคุมกำลังที่สมบูรณ์ ($\sigma=0$) เปรียบเทียบกรณีตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ ที่มีการเชื่อมต่อกับสถานีฐานตลอดเวลา (ไม่มีการประยุกต์ใช้งานระบบ AOS) ซึ่งจะมีค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ($\alpha=1$) และกรณีตัวทวนสัญญาณไม่มีการใช้งานในระบบ จะเห็นว่าค่าความจุเออร์แลงกรณีตัวทวนสัญญาณไม่มีการใช้งานในระบบ ($N_r=0$) มีค่ามากกว่าค่าความจุเออร์แลง กรณีตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ ($N_r=1, 3, 5$) และจะเห็นว่าเมื่อจำนวนตัวทวนสัญญาณเพิ่มขึ้น ค่าความจุเออร์แลงของระบบมีค่าลดลง รูปที่ 5 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงในระบบเซลลูลาร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน เมื่อตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ ($N_r=5$) และระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณต่างๆ ($\alpha=0.8, 0.6, 0.4$) จะเห็นว่าเมื่อค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณมีค่าลดลงเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้น รูปที่ 6 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงในระบบเซลลูลาร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน เมื่อตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ ($N_r=1, 5, 10, 15$) และระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ($\alpha=0.4$)

สรุป

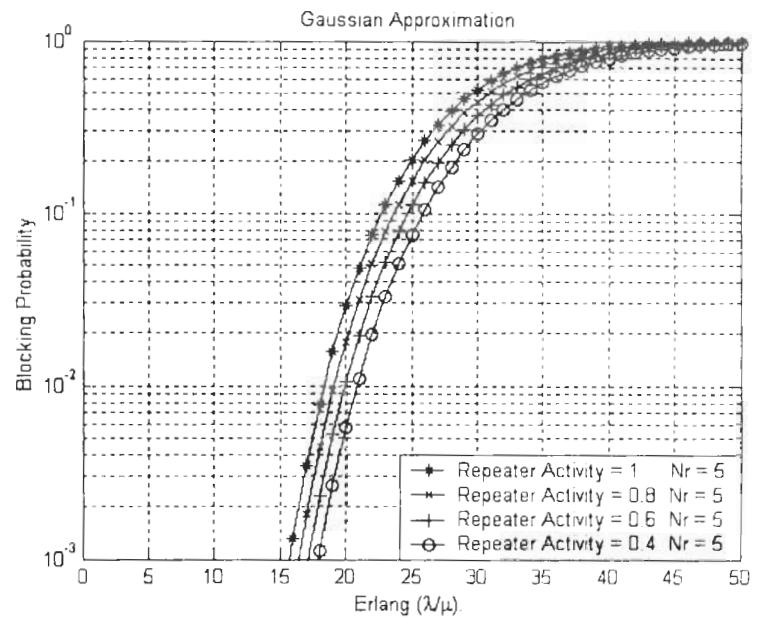
บทความนี้นำเสนอ การวิเคราะห์ค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลลูลาร์ CDMA จากสมการความน่าจะเป็นการติดขัด โดยใช้วิธีการประมาณแบบเกาส์เซียนและล็อกนอโมล ตามลำดับ กรณีตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบ เมื่อตัวทวนสัญญาณถูกประยุกต์ใช้งานในระบบเป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบลดลง หากจำนวนตัวทวนสัญญาณในระบบเพิ่มขึ้นค่าความจุเออร์แลงของระบบก็จะยิ่งลดลง ดังนั้นสรุปได้ว่า ค่าความจุเออร์แลงของระบบเป็นสัดส่วนผกผันกับจำนวนตัวทวนสัญญาณในระบบ การใช้งานระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณ เป็นผลให้ค่าความจุเออร์แลงของระบบเพิ่มขึ้นคือ เมื่อค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณมีค่าลดลงจะได้ค่าความจุเออร์แลงเพิ่มขึ้น



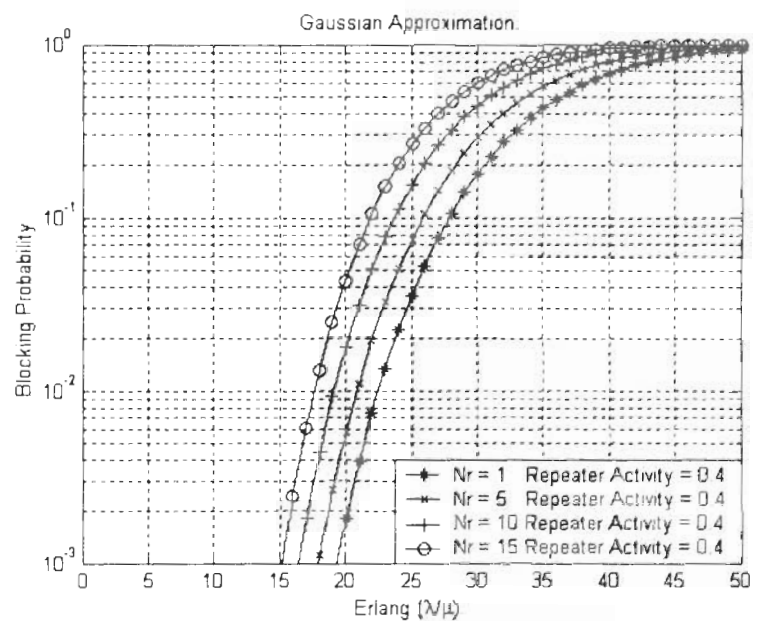
รูปที่ 3 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลลูลาร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน เปรียบเทียบค่าความจุกรณีตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานและไม่ใช้งานในระบบ



รูปที่ 4 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลลูลาร์ CDMA รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มอล เปรียบเทียบค่าความจุกรณีตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งานและไม่ใช้งานในระบบ



รูปที่ 5 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์ลาร์ซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน กรณีระบบ AOS ของตัวทวนสัญญาณมีการประยุกต์ใช้งาน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ($\alpha = 0.8, 0.6, 0.4$) และ ($N_r = 5$)



รูปที่ 6 แสดงผลลัพธ์เชิงเลขค่าความจุเออร์แลงของระบบเซลล์ลาร์ซีดีเอ็มเอ รูปแบบหลายเซลล์ โดยวิธีการประมาณแบบเกาส์เซียน ที่ค่าเฉลี่ยการ ON/OFF ตัวทวนสัญญาณ ($\alpha = 0.4$) และ ($N_r = 1, 5, 10, 15$)

เอกสารอ้างอิง

- A.M. Viterbi and A.J. Viterbi. 1993. "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System". **IEEE Journal on Selected Area in Communications**. 11, 6(August) : 892-899.
- W. Choi, B.Y. Cho, T.W. Ban. 2001. "Automatic On-Off Switching Repeater for DS/CDMA Reverse Link Capacity Improvement". **IEEE Communications Letters**. 5, 4(April): 138-141.
- M.R. Bavafa and H.H. Xia. 1998. "Repeaters for CDMA Systems". **Proc. IEEE VTC'98**, Ottawa, Canada, May 18-21 : 1161-1165.
- W.C.Y. Lee and D.J.Y. Lee. "The Impact of Repeater on CDMA System Performance". **Proc. IEEE VTC'2000 Spring**, Tokyo, Japan, May 15-18 : 1763-1767.
- J.S. Lee and L.E. Miller. 1998. **CDMA Systems Engineering Handbook**, Boston, Artech House.