

ชื่อเรื่อง ผลกระทบของฝนต่อสัญญาณดาวเทียม iP-Star ในประเทศไทย

Title IP-STAR Effect due to Rain In Thailand

ชื่อผู้เขียน อาจารย์เอกวิทย์ นักพูน
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

Abstract

The merging of telecommunication and computer technologies has led to a high demand for data communication to support various services such as the internet and multimedia. Recently, the increasing interest of broadband satellite multimedia system has led to the consideration of higher bands operator, Ka-Band (30/20GHz) because of congestion of lower frequency bands such as C and Ku Bands. Propagation impairments have many factors for attenuation of signal. Rain is the main of effect to attenuation of signal.

According to the need for telecommunication in Asia, Ka-Band and Millimeter wave are the latest beneficial frequency used in satellite communication. However, as a result from their qualification which is sensitive with rainfall condition commonly occurred in tropical zone and high cost of their equipments, Ka-Band frequency was limited in use for telecommunication system in this continent. As another country, there are highly attempt to use Ka-Band in telecommunication system in Thailand that is absolutely located in tropical zone, High rain rate is the significant factor for frequency attenuation. Therefore, it is very importance to study impact for signal from IP-Star to Gateway in any country for control and sending in system

IP-Star is the commercial satellite and has with a high power complement of Ku-band and Ka-band frequency transponders, IP-star can reach customers in at least 14 nations across Asia and the Pacific. Eighty-four Ku-band sport beams can be aimed toward population centers, which 10 shaped and regional beams can provide more general coverage to rural area. The spot beans offer 20 times more bandwidth than traditional Ku-band systems. The Ka-band payload operated 18 feeder and use gateway to connect to external network such as the Internet backbone and telephone lines.

This paper presents analytical results of rain attenuation in Ka-band IP-STAR beacon at Ladlumkraw Station Prathumthani, Thailand (Lat 14.09 degree N, Long 100.43 degree E) which represent for the tropical zone. During four months from September2005 to December 2005 is the

rainy season in Thailand. These stations is a gateway and have service the Internet backbone in Thailand. From analysis have swing of signal from -59.34 dBm to -89.96 dBm in cloud rain condition and high reduce signal in began raining. The maximum in attenuation due to rain have 12 dB in rain rate 120 mm/hr.

Keywords : Ka-Band , Broadband satellite , rain attenuation, channel modeling

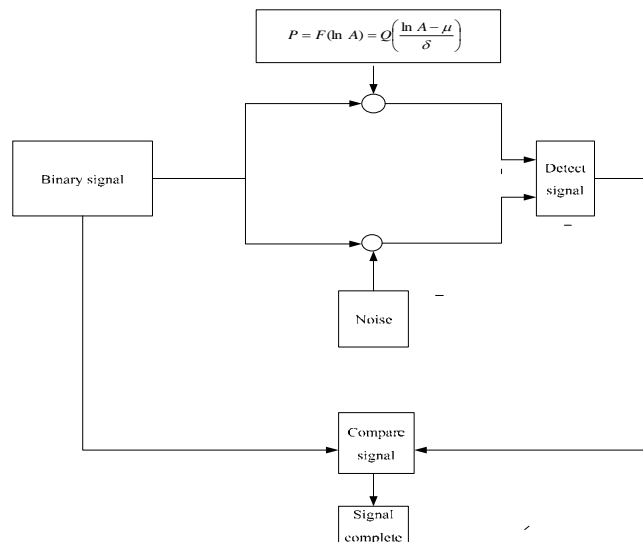
บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารผ่านดาวเทียมเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อสื่อสารในรูปแบบของการกระจายสัญญาณภาพและเสียง หรือการถ่ายทอดสัญญาณเสียง (Voice) ในระบบโทรศัพท์ หรือการส่งข้อมูล (Data) ในการสื่อสารผ่านดาวเทียม ที่อาศัยความถี่ต่าง ๆ ในการส่งสัญญาณตั้งแต่ความถี่ C-Band (6/4GHz) หรือ Ku-Band (14/12GHz) แต่รูปแบบการสื่อสารแบบใหม่ได้เข้ามา มีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น คือ การส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ต (TCP/IP) ผ่านระบบสัญญาณดาวเทียม ซึ่งจะอาศัยสัญญาณบรอดแบนด์ความถี่ย่าน Ka-Band (30/20GHz) เป็นพาหนะในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในรูปแบบใหม่ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในดาวเทียม IP-Star ซึ่งเป็นดาวเทียมแบบบรอดแบนด์ (Broadband Satellite) มีการให้บริการรับส่งข้อมูล ลักษณะแบบบรอดแบนด์และมีขอบเขตการให้บริการในทวีปเอเชีย ออสเตรเลีย และ บางส่วนของทวีปยุโรป เป็นทางเลือกใหม่ในการเชื่อมต่อสัญญาณ นอกเหนือจากการเชื่อมต่อในเส้นใยแก้วนำแสง หรือ สายโคแอกเชียล และจะมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่าเทคโนโลยี ADSL ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้มีความคล่องตัวในการทำงานสูงขึ้น แต่สำหรับการอาศัยคลื่นความถี่สูงเป็นคลื่นพาหนะ (carrier wave) ในการส่งข้อมูลนั้น จะมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เข้ามาบรบกวนคลื่นความถี่สูงทำให้การส่งข้อมูลอาจเกิดการผิดพลาดขึ้นได้ ซึ่งในบทความนี้มุ่งเน้นความสนใจปัจจัยที่เข้ามาบรบกวนคลื่นสัญญาณดาวเทียมบรอดแบนด์ที่ความถี่ Ka-Band (30/20GHz) โดยจำลองสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในระบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งสัญญาณรบกวนที่นำมาเข้ามานั้นจะเป็นปัจจัยหลัก ๆ ที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุดังต่อไปนี้

1. การลดทอนของสัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดจากสภาวะภูมิอากาศ เช่น การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากการตกของฝน การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากปริมาณไอน้ำที่สูงที่มีผลต่อความถี่ หรือ การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงของโพลาริเซชันของคลื่นความถี่
2. การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เกิดจากภูมิประเทศ เนื่องจากสัญญาณในย่าน Ka-Band มีความไวต่อการบรบกวน ดังนั้นจึงสามารถเกิดปรากฏการณ์การหักเห การสะท้อน และการแทรกสอดได้ง่าย และจะมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อระดับสัญญาณ
3. การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากอุปกรณ์ในระบบที่ไม่ได้มาตรฐานและการเชื่อมต่อระบบที่ก่อให้เกิดการสูญเสีย (Loss) มากจนเกินไป อาจทำให้อัตราการขยาย (Gain) ของระบบต่ำลงได้

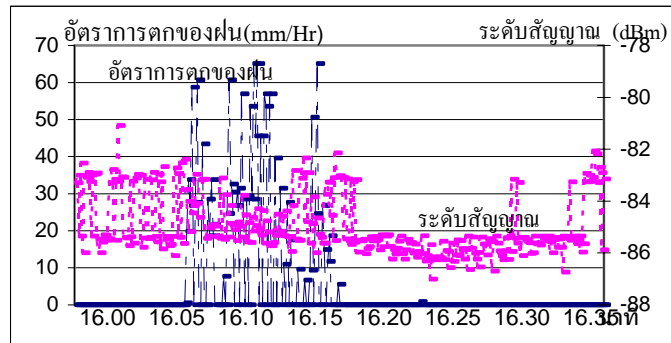
ทฤษฎี

การเกิดฝนตก เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณที่ความถี่สูง ซึ่งเมื่อคลื่นสัญญาณเคลื่อนที่ผ่านเม็ดฝนจะเกิดการหักเหและดูดกลืนพลังงานของสัญญาณเข้าไปในเม็ดฝน ทำให้พลังงานของสัญญาณลดลงและจะมีผลกระทบมากขึ้นเมื่อมีอัตราการตกของฝนที่เพิ่มมากขึ้น อาจมีผลถึงระดับการสูญเสียการติดต่อสื่อสารได้ ดังนั้นในบทความนี้จึงจำลองรูปแบบของการส่งสัญญาณโดยอาศัยการจำลองการส่งสัญญาณดาวเทียมแบบบรอดแบนด์และได้นำสัญญาณรบกวนแบบ AWGN ที่เป็นรูปแบบการลดทอนของสัญญาณที่มีอิทธิพลจากการฝนตก เข้ามารบกวนในระบบ และเมื่อถึงภาครับสัญญาณแล้ว จะทำการเปรียบเทียบอัตราการผิดพลาดของข้อมูลกับสัญญาณบรอดแบนด์เริ่มต้นว่ามีระดับการผิดพลาดของข้อมูลเป็นอย่างไร และทำการคำนวณหาจำนวนครั้งที่ต้องส่งใหม่จนกว่าการส่งข้อมูลจะสมบูรณ์



รูปที่ 1 แบบจำลองของระบบการส่งสัญญาณ

จากรูปที่ 1 เป็นแบบจำลองสัญญาณไบนารีที่มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณบรอดแบนด์ ทำการส่งสัญญาณในระดับบิตสูงและบิตต่ำ (บิตที่มีคาบเวลาเป็นบวกและลบ) นอกจากนั้นยังได้เพิ่มสัญญาณ AWGN ที่มีอิทธิพลจากการเกิดฝนตกเข้าไปรบกวนในระบบ ซึ่งเมื่อสัญญาณบรอดแบนด์ถูกรบกวนด้วย AWGN แล้วสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงออกเป็น 2 รูปแบบคือ รูปแบบการเสริมกันระหว่างสัญญาณบรอดแบนด์กับ AWGN และ รูปแบบการหักล้างกันของสัญญาณบรอดแบนด์กับ AWGN จะเกิดขึ้นทั้งในบิตสูงและบิตต่ำของแบบจำลอง และเมื่อทำการตีเทคสัญญาณกลับคืน พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณบรอดแบนด์เดิมว่ามีอัตราการส่งข้อมูลผิดพลาดในระดับใด นอกจากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าจำนวนรอบ(N) การส่งข้อมูลที่ทำให้การส่งข้อมูลไม่เกิดการผิดพลาด ซึ่งสัญญาณ AWGN ที่มีอิทธิพลมาจากการเกิดฝนตกนั้น เราจะพิจารณารูปแบบการลดทอนที่เกิดจาก DSD (Drop size distribution) ซึ่งจะพิจารณาจากขนาดของเม็ดฝนและความหนาแน่นของการตกของฝนที่มีผลต่อสัญญาณรบกวนที่เข้าไปรบกวนสัญญาณบรอดแบนด์



รูปที่ 2 แสดงระดับสัญญาณ IP-Star เมื่อเทียบกับอัตราการตกของฝน

ที่สัญญาณกลาง 20 GHz ณ สถานีลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี

จากรูปที่ 2 เป็นการแสดงระดับสัญญาณ เมื่อมีผลกระทบต่อเกิดการเกิดฝนตก ณ จังหวัด ปทุมธานี จะสังเกตได้ว่าเมื่อมีการเกิดฝนตกระดับของสัญญาณจะเกิดความไม่แน่นอน และต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียในการสื่อสาร ซึ่งอัตราการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นกับอัตราการตกของฝนมีแนวโน้มจะเป็นสัดส่วนโดยตรง

AWGN (Additive White Gauss ion Noise)

เราสามารถหาค่า AWGN จากกระบวนการวิธีของ Shannon's Expression ซึ่งจะได้ว่า

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (\text{b/s}) \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้ B เป็นความกว้างของช่องสัญญาณ (Hz) และ S/N เป็นอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนแล้ว เราสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{C}{B} = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (\text{b/s/Hz}) \quad (2)$$

เราสามารถเปลี่ยนรูปแบบของ $\frac{C}{B}$ ที่อยู่ในรูปของ PDF เป็นค่า $\frac{S}{N}$ โดยอาศัยค่าตัวแปรพื้นฐานจากการสุ่ม

[2-4]

$$\left(\frac{S}{N} \right) = \left[\frac{S}{N} \right]_0 - A \quad (\text{dBw}) \quad (3)$$

$\left[\frac{S}{N}\right]_0$ เป็นค่าอัตราการส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสภาวะปกติ

A เป็นค่าอัตราการลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากฝน

เราสามารถเขียนในรูปของ CDF ได้ดังนี้

$$F_{\frac{C}{B}}(Y) = F_{\frac{C}{A}}(X) = \Pr ob\left\{\frac{C}{B} \leq Y\right\} = \Pr ob\left\{\frac{S}{N} \leq f^{-1}(y)\right\} \quad (4)$$

$$= \Pr ob\left\{A \geq \left(\frac{S}{N}\right)_0 - f^{-1}(y)\right\} \quad (5)$$

$$= F_{\frac{C}{A}}\left[\left(\frac{S}{N}\right)_0 - f^{-1}(y)\right] \quad (6)$$

เมื่อกำหนด $y = \frac{C}{B}$

$$f^{-1}(y) = 10 \text{Log}(2^y - 1) \quad (7)$$

จะได้

$$F_{\frac{C}{X}}(X) = P\{A > X\} = \int_X^\alpha P_A(a) da \quad (8)$$

$$X = \left(\frac{S}{N}\right)_0 - 10 \text{Log}(2^y - 1) \quad (9)$$

เราสามารถหาค่า Log-term ของ PDF ของการลดทอนของสัญญาณอันเนื่องมาจากฝนได้จาก

$$P_A = \begin{cases} \frac{1}{a\delta\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{-\frac{(\ln a - \mu)^2}{2\delta^2}\right\} & a > 0 \\ 0 & a < 0 \end{cases} \quad (10)$$

เมื่อนำค่าจาก(10) ลงใน (12) แล้วจะเขียนได้เป็น

$$F_{\frac{C}{B}}(Y) = F_{\frac{C}{A}}(X) = \int_X^\alpha P_A da = Q\left(\frac{\ln x - \mu}{\delta}\right) \quad (11)$$

เมื่อกำหนดค่า

$$Q = \int_{\varphi}^{\alpha} \left(1/\sqrt{2\pi}\right) e^{-t^2/2} dt$$

สำหรับการกระจายค่าแบบ Log-normal distribution เราจะได้

$$P = F(\ln A) = \int \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}\right] dx = Q\left(\frac{\ln A - \mu}{\delta}\right) \quad (12)$$

หรือ

$$\frac{\ln A - \mu}{\delta} = Q^{-1}(P) = \alpha \ln A + \beta \quad (13)$$

โดยที่ $\mu = \frac{-\beta}{\alpha}$ (14)

และ $\delta = \frac{1}{\alpha}$ (15)

จากสมการที่ (14) และ (15) เป็นค่า mean และ standard deviation ที่ได้มาจาก Linear regression โดยค่า δ เป็นค่าความชันและค่า β เป็นจุดตัดของ Linear regression และจากสมการที่ (12) เราจะพบว่าค่าของ A ที่เป็นอัตราการลดทอนของสัญญาณอันเนื่องมาจากฝนที่อยู่ในสมการและจากการคำนวณหาค่า A ที่ Rain Drop Size Distribution จะได้

$$A = 4.343 \int Q(D, \lambda, m) N(D) dD \quad (16)$$

โดยที่ N(D) ในการกระจายแบบ Gamma Distribution สามารถหาค่าได้จาก

$$N(D) = N_T A^{n+1} D^n \exp[-AD/\Gamma(n+1)] \quad (m^{-3} \cdot mm^{-1}) \quad (17)$$

และ N(D) ในการกระจายแบบ Log Normal Distribution สามารถหาค่าได้จาก

$$N(D) = \frac{N_T}{\sigma D \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D) - \mu^2}{\sigma}\right)^2\right] \quad (m^{-3} \cdot mm^{-1}) \quad (18)$$

ในบทความนี้เราจะพิจารณารูปแบบการกระจายแบบ Log normal Distribution ดั้งนั้นจากสมการ (12)

$$P = F(\ln A) = \int_{\ln A}^{\alpha} \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-\mu^2)}{2\delta^2}\right] dx = Q\left(\frac{\ln A - \mu}{\delta}\right)$$

และจากสมการ (16) และ (18) จะได้

$$A = 4.343 \int Q(D, \lambda, m) \cdot N(D) dD$$

เมื่อ

$$Q(D, \lambda, m) = \frac{\lambda^2}{2\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\alpha} (2n+1) \operatorname{Re}[a_n + b_n]$$

$$A = (4.343) \left(\frac{\lambda^2}{2\pi} \right) \cdot \sum_{n=1}^{\alpha} (2n+1) \operatorname{Re}[a_n + b_n] \cdot \frac{N_T}{\sigma D \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln D - \mu^2}{\delta} \right)^2 \right] \quad (19)$$

จากสมการ (19) เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณอันเนื่องมาจากฝนเมื่อพิจารณาในส่วนของ Rain Drop Size Distribution ที่มีรูปแบบการกระจายข้อมูลเป็นแบบ Log normal distribution โดยที่ค่า a_n และ b_n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของ Mie's Scattering ซึ่งอยู่ในรูปแบบการกระจายของ Bessel function หรือสามารถหาได้จากตารางการหาค่าคุณลักษณะเฉพาะ (specific coefficient) จากตาราง ITU-R ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน (D) นอกจากนั้น $N(D)$ ในสมการ (18) ซึ่งเป็นการกระจายแบบ Log normal distribution จะมีค่าเป็นตามแบบจำลองของ Fang และ Che ดังมีค่าต่อไปนี้

$$N(D) = \frac{N_T}{D(2\pi)^{\frac{1}{2}} \ln \sigma} \cdot e^{-\left[\ln \left(\frac{D}{D_M} \right) / 2 \ln \sigma \right]^2}$$

กรณีที่ 1 (Showers) $5 \langle R \rangle < 50 \text{ mm/hr}$

$$N_T = 40R^{0.64}$$

$$D_M = 1.14 + 0.18 \ln R$$

$$\sigma = e^{0.29 - 0.001R}$$

กรณีที่ 2 (Thunderstorms) $5 \langle R \rangle > 50 \text{ mm/hr}$

$$N_T = 46R^{0.55}$$

$$D_M = 0.222 + 0.397 \ln R$$

$$\sigma = e^{0.5 - 0.0035R}$$

กรณีที่ 3 (Thunderstorms) $50 < R < 200 \text{ mm/hr}$

$$N_T = 8.8^R$$

$$D_M = 1.76 + (7.33 * 10^{-4}) \cdot \ln R$$

$$\sigma = 1.37$$

โดยในบทความนี้เรากำหนดที่อัตราการตกของฝนที่ 50 mm/hr และขนาดของเม็ดฝน $D=10$ [1] ดังนั้นจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

กรณีที่ 1 $N_T = 489.1035$

$$D_M = 1.8442$$

$$\sigma = 1.2712$$

$$N_D = -239.4082$$

กรณีที่ 2 $N_T = 395.5408$

$$D_M = 1.4230$$

$$\sigma = 0.2865$$

$$N_D = -235.2528$$

กรณีที่ 3 $N_T = 440$

$$D_M = 1.7629$$

$$\sigma = 1.37$$

$$N_D = -220.4840$$

เมื่อนำ $N(D)$ ที่ได้แทนลงในสมการ (19) และจาก

$$\gamma_r = kR^\alpha \quad (20)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับ

$$A = a_n R^{b_n} \quad (21)$$

และจากตารางของ ITU-R ที่ ความถี่ 20 GHz

$$a_n = K_H = 0.0751 \text{ (Horizontal Polarization)}$$

$$a_n = K_V = 0.0691 \text{ (Vertical Polarization)}$$

และ

$$b_n = \alpha_H = 1.099 \text{ (Horizontal Polarization)}$$

$$b_n = \alpha_V = 1.065 \text{ (Vertical Polarization)}$$

และเมื่อแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ (19) เราจะได้ค่า A ที่เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณอันเนื่องมาจากอิทธิพลฝนที่อัตราการตกของฝน 50 mm/hr และขนาดของเม็ดฝน D=10 จะได้ค่าดังนี้

กรณีที่ 1 (Showers) $5(R < 50 \text{ mm/hr}$

$$A = -3.7369 \text{ dB/km}$$

กรณีที่ 2 (Showers) $5(R < 50 \text{ mm/hr}$

$$A = -3.186 \text{ dB/km}$$

กรณีที่ 3 (Thunderstorms) $50(R < 200 \text{ mm/hr}$

$$A = -3,4852 \text{ dB/km}$$

เมื่อเราสามารถหาค่า A ได้แล้วจึงต้องหาค่า mean และ standard deviation เพื่อที่จะได้หาค่าการลดทอนที่อยู่ในรูปของ PDF และมีการกระจายแบบ Log normal distribution ถ้าเราพิจารณาสมการ

$$\dot{A} = \alpha R^\beta$$

และ

$$\frac{\ln A - \mu}{\delta} = \delta \ln A + \beta$$

จะได้

$$\mu = \frac{\beta}{\alpha} \quad \text{และ} \quad \delta = \frac{1}{\alpha}$$

เมื่อทำการคำนวณทางด้าน Horizontal แล้วจะได้

$$\mu = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{1.099}{0.0751} = 14.633821$$

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0.0751} = 13.31557927$$

เมื่อทำการคำนวณทางด้าน Vertical แล้วจะได้

$$\mu = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{1.065}{0.069} = 15.4347826$$

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0.069} = 14.4927536$$

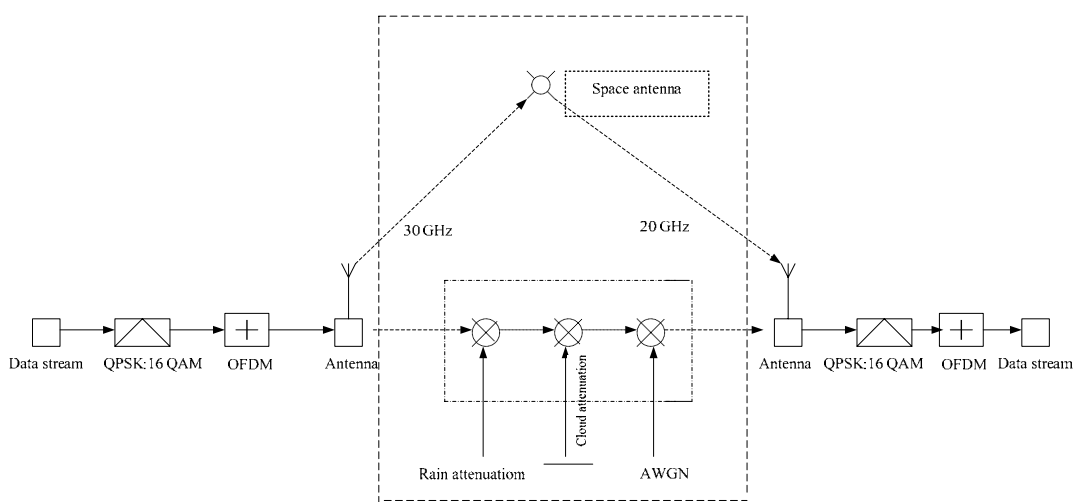
สำหรับทางด้าน Horizontal จะได้ $\mu_H = 14.633821$, $\delta_H = 13.31557921$

สำหรับทางด้าน Vertical จะได้ $\mu_V = 15.4347821$, $\delta_V = 14.4927536$

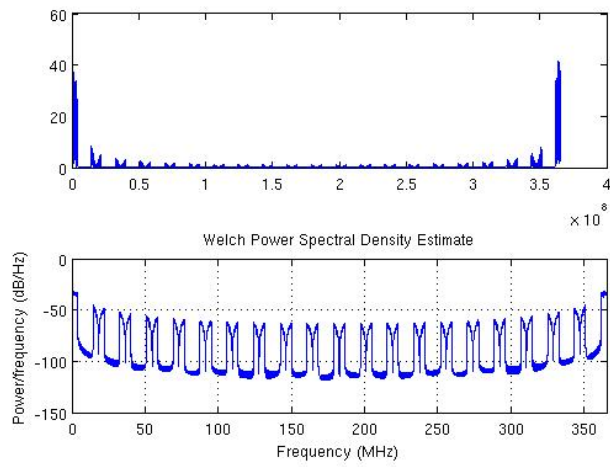
ดังนั้นจากสมการ $P = F(\ln A) = Q\left(\frac{\ln A - \mu}{\delta}\right)$ เราสามารถหาค่าการลดทอนจากอิทธิพลการตกของฝน ในรูปของ PDF ที่มีลักษณะการกระจายแบบ Log normal distribution

จากรูปที่ 1 เมื่อทำการใส่ AWGN ที่เป็นค่า $P = F(\ln A) = Q\left(\frac{\ln A - \mu}{\delta}\right)$ แล้ว ซึ่งค่าดังกล่าวทำการพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่ทำให้สัญญาณบรอดแบนด์ถูกลดทอนลงอันเนื่องมาจากอิทธิพลจากฝนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังมีปัจจัยอีกหลายประการที่รบกวนสัญญาณดาวเทียมบรอดแบนด์ซึ่งจะพิจารณาภายหลัง และเมื่อทำการใส่ AWGN ที่เป็นค่า $P = F(\ln A) = Q\left(\frac{\ln A - \mu}{\delta}\right)$ แล้ว ซึ่งค่าดังกล่าวทำการพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่ทำให้สัญญาณบรอดแบนด์ถูกลดทอนลงอันเนื่องมาจากอิทธิพลจากฝนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

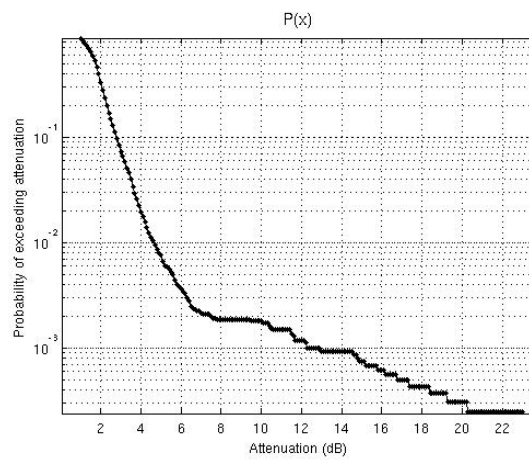
การวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหา



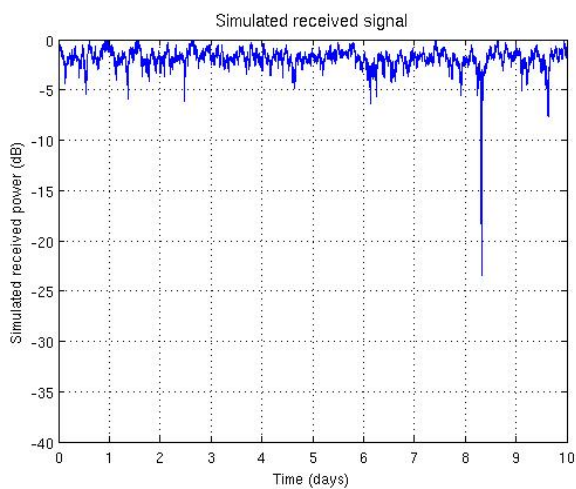
รูปที่ 3 รูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณ



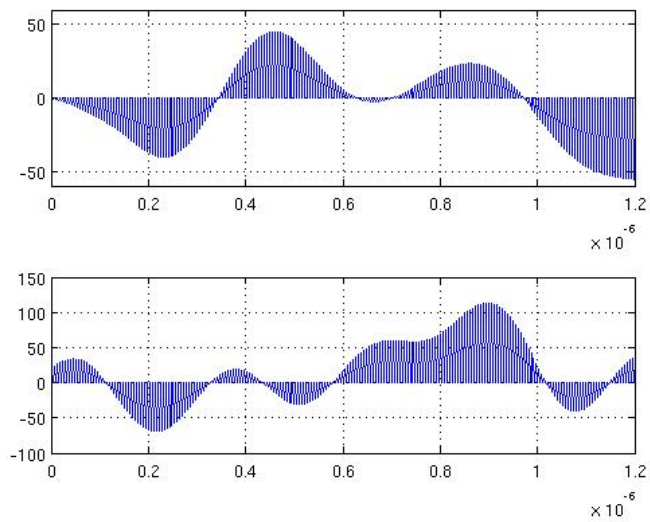
รูปที่ 4 สเปกตรัมของการทำงานของ OFDM ทางด้านภาคส่ง



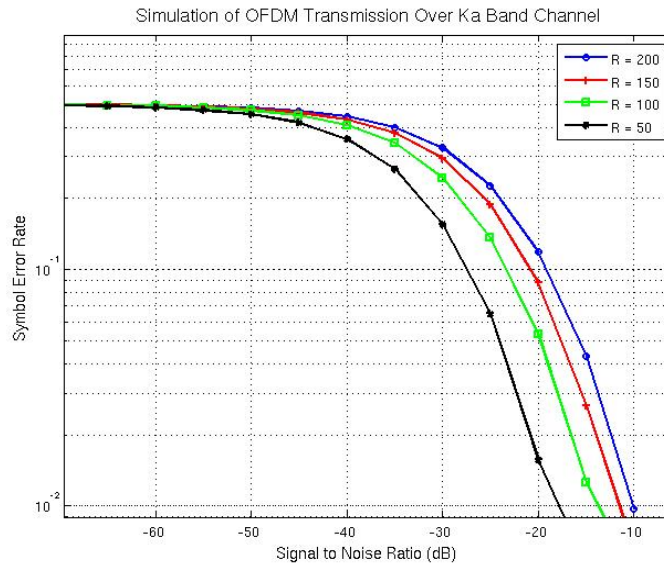
รูปที่ 5 แสดงการลดทอนสะสมสัมพัทธ์



รูปที่ 6 แสดงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทางด้านภาครับ



รูปที่ 7 แสดงค่าอินพุตการมอดิเฟอเลชั่นทางด้านภาครับ



รูปที่ 8 Symbol Error Rate เปรียบเทียบกับ

S/N ที่อัตราการตกของฝนที่แตกต่างกัน

สรุปผลได้รับ

จากการที่ได้ค่าของการลดทอนของสัญญาณที่ความถี่ 20 GHz พบเกิดการลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้นในอัตราที่สูงเมื่อเกิดฝนตกเกิดขึ้น ดังนั้น จึงได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบจำลองพร้อมกับการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ Rain drop size distribution พบว่ากราฟที่ได้ในรูปที่ 9 ณ อัตราการฝนตกที่ 200 mm/hr เกิดค่าลดทอนในระดับที่สูงมาก และกราฟที่ได้สอดคล้องกับแบบจำลองอื่น ๆ ของ ITU-R

บรรณานุกรม

A.Maitra "Three-Parameter Rain Drop Size Distribution Modeling at Tropical Location" Electronics Letters 11th May 2000, Vol36, No10

Boris Gremont, Miodrag Filip, Paul Gallois and Stephen Bate "Comparative Analysis and Performance of Two Predictive Fade Detection Schemes for Ka-Band Fade Countermeasures" IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No2, February 1999

Chih-Yuan Chu and K.S.Chen. "Effects of Rain Fading on the Efficiency of the Ka-Band LMDS System in the Taiwan Area" IEEE Transactions on vehicular Technology, Vol.54, No.1, January, 2005

- Dusan Cermak, Onderj Fiser and Vladiimir Schejbal "Electromagnetic Scattering by rain drops"
Cost 280
- G.Hendrantoros, R.J.C. Bultitude and D.D.Falconer "Use of cell-site diversity in millimeter-wave fixed cellular systems to combat the effects of rain attenuation" IEEE Journal on Selected Areas in Communications ,Vol .20, No3, March 2002
- ITU-R Recommendation 838 P-series "Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods"
- K.Karimi and H.Helmken. "A study of satellite channel utilization in the presence of rain attenuation in Florida" Proceedings IEEE South-eastcon'94 Creative Technology Transfer –A global Affair, 1994, pp196-200
- Matsuo Sekine, Chii-Dong Chen and Toshimitsu Musha " Rain Attenuation from Log-Normal and Weibull Rain Drop Size Distributions" IEEE Transactions on Antenna and Propagation, Vol AP-35, No3, March 1987
- M.A.Awang and J.Din " Comparison of the Rain Drop Size Distribution Model in Tropical Zone" 2004 RF and Microwave Conference, October 2004
- Miodrag Filip and Enric Vilar "Optimum Utilization of the Channel Capacity of a Satellite Link in the Presence of Amplitude Scintillation and Rain Attenuation"
IEEE Transactions on Communications, Vol.38 .No11 November, 1990
- Mohamed-Slim Alouini, Scott A.Borgsmiller and Paul G.Steffes "Channel Characterization and Modeling for Ka-Band Very Small Aperture Terminals" Proceedings of The IEEE, Vol.85., No 6, June 1997
- Paraboni, G.Masini and A.Elia "The effect of precipitation on microwave LMDS networks- performance analysis using a physics raincell model" IEEE Journal on Selected Areas in Communications ,Vol .20, No3, March 2002
- V.K.Bhargava, D.Haccoun, R.Matayas and P.P.Nuspl, Digital Communications by Satellite :Modulation, Multiple Access and Coding. New York: Wiley, 1981