

โครงการวิจัยย่อยลำดับที่ 5

เรื่อง ระบบโทรคมนาคมไร้สายยุคต่อไปปีที่ 4 : การสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างมาก (Ultra wideband)

1. ผู้รับผิดชอบโครงการ รศ.ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. สรุป และตีพิมพ์งานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องรับในระบบ MC-CDMA
2. ศึกษาข้อดีข้อเสีย ข้อได้เปรียบเสียเปรียบของเทคโนโลยี Ultra Wideband
3. ศึกษารูปแบบต่าง ๆ ของเทคโนโลยี Ultra Wideband
4. ศึกษาความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและในทางธุรกิจของเทคโนโลยี Ultra Wideband
5. พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับจำลองระบบการสื่อสารแบบ Ultra Wideband

แนวเหตุผล

จากการวิจัยในระยะก่อนหน้า กลุ่มวิจัยได้ประสบความสำเร็จในการวิจัยระบบการสื่อสารไร้สายแบบ MC-CDMA (Multicarrier Code Division Multiple Access) เป็นอย่างดี ดังนั้นตั้งแต่ช่วงปลายของงานวิจัยในระยะก่อนหน้าจนถึงช่วงต้นของงานวิจัยในระยะนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การสรุปงานวิจัยที่ได้ทำมาเขียนรายงานวิจัย และตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ สำหรับงานวิจัยในระยะปัจจุบันกลุ่มวิจัยยังคงมีงานวิจัยต่อเนื่องสำหรับระบบ MC-CDMA ในบางหัวข้อที่ยังทำงานวิจัยไม่เสร็จสิ้น แต่ได้เปลี่ยนเป้าหมายหลักไปมุ่งเน้นระบบการสื่อสารไร้สายประเภทใหม่คือระบบแถบความถี่กว้างมาก (Ultra-Wideband; UWB)

ระบบ UWB ไม่ได้เป็นระบบที่เกิดขึ้นมาใหม่แต่อย่างใด ทว่าตั้งแต่ที่ FCC ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้อนุญาตการใช้งานระบบ UWB ซึ่งใช้แถบความถี่กว้างมากโดยมีกำลังส่งสัญญาณต่ำ (ตามที่ FCC กำหนด) โดยไม่จำเป็นต้องได้รับใบอนุญาต ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2002 เป็นต้นมา ระบบ UWB ก็ได้รับความสนใจอย่างมากจากหลาย ๆ ฝ่าย ทั้งงานวิจัยในมหาวิทยาลัย และภาคเอกชน กลุ่มวิจัยของเราจึงตัดสินใจตามคิดระบบ UWB นี้เพื่อให้สามารถตามทันเทคโนโลยีใหม่ที่คาดว่าจะมีผลกระทบอย่างมากต่อธุรกิจในอนาคตอันใกล้

ระบบ UWB คือการระบบรับส่งสัญญาณแบบไร้สายที่ใช้แถบความถี่ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 500 MHz หรือมี Fractional Bandwidth ไม่น้อยกว่า 20% ค่า Fractional Bandwidth คือ อัตราส่วนระหว่าง -10 dB Bandwidth กับค่าความถี่กลาง (Central Frequency) จากคำจำกัดความดังกล่าว ถ้าหากความถี่กลางมีค่ามากกว่า 2.5 GHz แล้ว ค่า Fractional Bandwidth จะมีค่ามากกว่า 500 MHz ระบบส่ง UWB มีพื้นฐานอยู่บนรูปคลื่นที่มีช่วงเวลาสั้นมาก (Ultra Short Waveform) ในระดับของ nanosecond ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาห้

รูปไซน์ (Sine-Wave Carriers) ดังนั้นระบบ UWB จึงไม่ต้องการกระบวนการ IF และทำงานที่ Baseband โดยตรง

กลุ่มงานวิจัยย่อย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็นกลุ่มงานวิจัยย่อย เพื่อศึกษารายละเอียดในแต่ละรายละเอียดย่อย ๆ ที่สำคัญ ได้แก่

1. งานวิจัยด้านแก้ปัญหา Frequency offset ในช่องสัญญาณขากลับของระบบ MC-CDMA (นายสุวิทย์ คุณรัตน์พฤกษ์)
2. งานวิจัยด้านการออกแบบเครื่องรับส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นใน MC-CDMA หลายผู้ใช้ (นายประจักษ์ แซ่ตั้ง)
3. งานวิจัยศึกษาระบบ Ultra Wideband (นายสุวิทย์ คุณรัตน์พฤกษ์ นส.วิไลพร แซ่ลี นายนที เรืองจิระฐพร นายกนกพล ชัยวรวิทย์กุล นาย โชติวิทย์ เตชะบัญญัติ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. งานวิจัยด้านแก้ปัญหา Frequency Offset ในช่องสัญญาณขากลับของระบบ MC-CDMA

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยย่อย

1. ศึกษาปัญหาในทางปฏิบัติ รูปแบบการกำหนดความถี่ย่อย สำหรับแต่ละสัญลักษณ์ข้อมูลขนาน
2. เปรียบเทียบเครื่องรับที่นำเสนอกับเครื่องรับชนิดอื่นที่มีผู้เสนอมาในอดีต
3. ตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

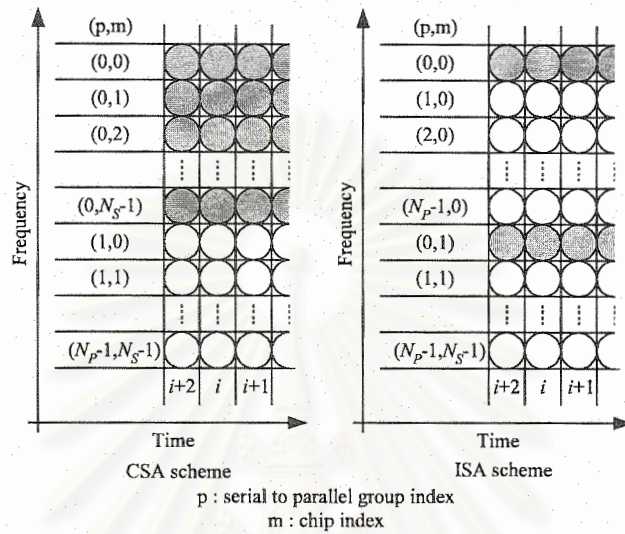
1.2 การศึกษางานวิจัยในอดีต

ในอดีต งานวิจัยเกี่ยวกับช่องสัญญาณขากลับของระบบ MC-CDMA ภายใต้สภาวะที่มี Frequency Offset นั้นมีน้อยมาก งานที่เกี่ยวข้องส่วนมากจะพิจารณาระบบ Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) เป็นหลัก ทั้งนี้ระบบ MC-CDMA มีความแตกต่างจากระบบ OFDM ในหลายแง่มุม ยกตัวอย่างเช่น ในระบบ OFDM ผู้ใช้แต่ละคนจะใช้คลื่นพาห้ย่อยแตกต่างกัน การแบ่งแยกสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนใช้หลักการของการแบ่งแยกทางความถี่เป็นหลัก ในขณะที่ระบบ MC-CDMA นั้นผู้ใช้ทุกคนใช้แถบความถี่ร่วมกัน การแบ่งแยกผู้ใช้แต่ละคนทำโดยใช้รหัสแผ่

การแก้ปัญหา Frequency Offset ในฝั่งขาไปมีงานวิจัยมาเป็นเวลาช้านาน และสามารถแก้ปัญหาก็ได้ง่ายเพราะสัญญาณของผู้ใช้ทุกคนมีค่า Frequency Offset เท่ากัน ในช่องสัญญาณฝั่งขากลับ สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนจะมี Frequency Offset ไม่เท่ากัน การแก้ไข Frequency Offset สำหรับผู้ใช้คนหนึ่งในระบบ MC-CDMA อาจจะไปทำให้สัญญาณของผู้ใช้คนอื่นที่ไม่มี Frequency Offset เกิดมี Frequency Offset ขึ้น สำหรับระบบ OFDM นั้น การแก้ปัญหาในฝั่งขากลับสามารถทำได้โดยง่าย เพราะสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนแบ่งแยกกันทางความถี่อย่างชัดเจน เมื่อแบ่งแยกสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนแล้ว สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคที่มีผู้เสนอในอดีตสำหรับฝั่งขาไปได้โดยง่าย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจริง ๆ มีเพียงงานของ Takyu ซึ่งได้นำเสนอในงานประชุมเมื่อปี ค.ศ. 2003 (O. Takyu, T. Ohtsuki, and M. Nakagawa, "Frequency offset compensation with MMSE-MUD for multi-carrier CDMA in quasi-synchronous uplink," IEEE ICC 2003, vol. 4, pp.2485-2489, May 2003) และได้ตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการในปี ค.ศ. 2004 (O. Takyu, T. Ohtsuki, and M. Nakagawa, "Frequency offset compensation with MMSE-MUD for multi-carrier CDMA in quasi-synchronous uplink," IEICE Trans. Commun., vol. W87-B, no. 6, pp. 1495-1504, June 2004) งานดังกล่าวพิจารณาเพียงแบบจำลองช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบอิสระ (Independent Fading Channel) ซึ่งต่างจากช่องสัญญาณในความเป็นจริง และพิจารณาการจัดสรรช่องความถี่ย่อยแบบต่อเนื่อง (Continuous Subcarrier Assignment; CS) เท่านั้น ในขณะที่ระบบทั่วไปในทางปฏิบัตินั้นใช้การจัดสรรความถี่ย่อยแบบสลับ (Interleaved Subcarrier Scheme; IM) เพื่อให้ได้ความหลากหลาย (Diversity) ทางความถี่สูงที่สุด นอกจากนี้งานดังกล่าวยังพิจารณาเฉพาะเครื่องรับแบบเชิงเส้น และนำเสนอการลดความซับซ้อนของเครื่องรับแบบเชิงเส้น ด้วยการให้เครื่องรับ

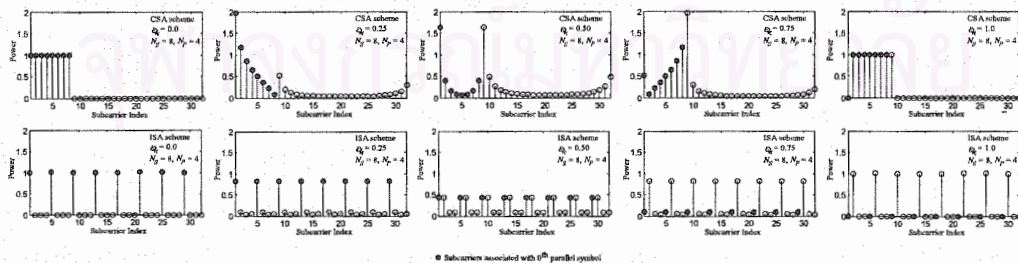
สำหรับสัญลักษณ์ข้อมูลหนึ่ง ๆ สนใจเฉพาะช่องความถี่ย่อยที่สัมพันธ์กับสัญลักษณ์ข้อมูลนั้น ๆ เท่านั้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวไม่สามารถนำมาประยุกต์กับระบบที่มีการจัดสรรความถี่ย่อยแบบสลับได้



รูปที่ 1.1 การจัดสรรคลื่นพาห่อยแบบ CSA และ ISA

1.3 ผลกระทบจาก Frequency Offset และการจัดสรรคลื่นพาห่อย

กลุ่มวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ระบบที่พิจารณาในทางคณิตศาสตร์ พบว่า Frequency Offset ทำให้เกิดการกระจายของพลังงานในแต่ละคลื่นพาห่อยไปยังคลื่นพาห่อยอื่น ๆ โดยเมื่อแบ่ง Frequency Offset ออกเป็นส่วนจำนวนเต็ม และส่วนย่อย ส่วนที่เป็นจำนวนเต็มจะทำให้เกิดการหมุนของคลื่นพาห่อย แต่ส่วนย่อยจะทำให้เกิดการกระจายไปในทุก ๆ คลื่นพาห่อย เช่น Frequency Offset 1.0 จะทำให้เกิดการหมุนของคลื่นพาห่อยไป 1 หน่วย โดยไม่เกิดการกระจายไปยังคลื่นพาห่อยอื่น ๆ ในขณะที่ Frequency Offset 1.6 จะทำให้เกิดทั้งการหมุนและการกระจายของพลังงานไปยังคลื่นพาห่อยอื่น ๆ



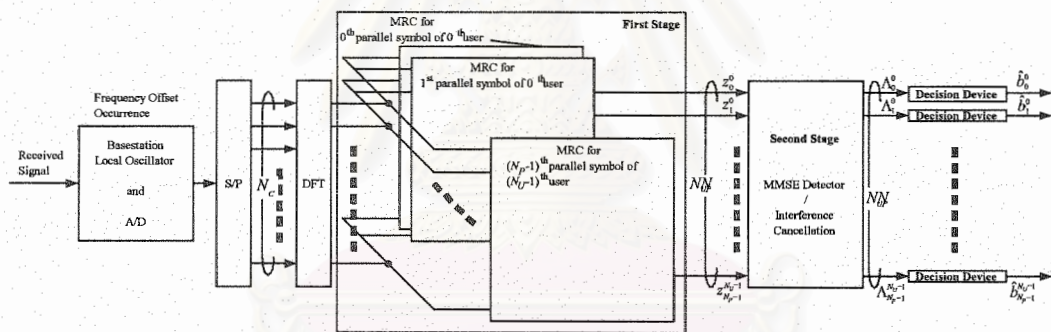
รูปที่ 1.2 การกระจายของพลังงานเนื่องจาก Frequency Offset

จากรูปที่ 1.2 จะสังเกตเห็นได้ว่าการกำหนดคลื่นพาห่อย่อยแบบ CS พลังงานของแต่ละสัญลักษณ์ข้อมูล จะกระเจิงไปอยู่ในคลื่นพาห่อย่อยของสัญลักษณ์ข้อมูลอื่น น้อยกว่าการกำหนดคลื่นพาห่อย่อยแบบ IM ทั้งนี้ เป็นเพราะว่าคลื่นพาห่อย่อยของแต่ละสัญลักษณ์ข้อมูลจะอยู่ติดกันในแบบ CS ดังนั้นงานของ Takyu ในอดีต จึงเสนอใช้วิธี CS และกระจายการกระจายของพลังงานไปยังคลื่นพาห่อย่อยอื่น ๆ เพื่อลดความซับซ้อนของ เครื่องรับ

1.4 แนวความคิดใหม่

จากการศึกษาผลกระทบของ Frequency Offset ที่ทำให้เกิดการกระจายของพลังงานไปยังคลื่นพาห่อย่อยอื่น ๆ ทำให้เห็นถึงจุดอ่อนของเครื่องรับที่ถูกนำเสนอมาในอดีตที่ละเลยพลังงานที่กระจัดกระจายไป ทำให้สูญเสียอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio; SNR) เป็นผลให้ สมรรถนะต่ำลง ในงานวิจัยของกลุ่มวิจัยจึงได้มุ่งเน้นพัฒนาเครื่องรับชนิดใหม่ที่มีความซับซ้อนใกล้เคียง หรือน้อยกว่าเครื่องรับในอดีต และสามารถรวบรวมพลังงานที่กระจัดกระจายออกไปได้ดีกว่า

กลุ่มวิจัยจึงได้นำเสนอเครื่องรับชนิดใหม่ ที่มีโครงสร้างแบบ 2 ส่วน ดังรูปที่ 1.3 โดยส่วนแรกทำหน้าที่รวบรวมพลังงานที่กระจัดกระจายไปทั้งหมด และส่วนที่สองทำหน้าที่ลดสัญญาณแทรกสอดแบบหลาย ผู้ใช้ (Multiple Access Interference; MAI)



รูป 1.3 โครงสร้างเครื่องรับที่นำเสนอใหม่

โครงสร้างดังกล่าวนอกจากจะมีสมรรถนะในการรวบรวมพลังงานที่กระจัดกระจายไปได้ดีกว่าแล้ว มันยัง ทำให้สามารถนำเทคนิค Multi User Detection (MUD) ที่มีผู้เสนอในอดีตมาใช้ได้อย่างหลากหลาย ทั้งแบบ ที่เป็นเชิงเส้น และแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น การที่สามารถนำเทคนิคแบบไม่เป็นเชิงเส้นมาใช้ได้ ทำให้สามารถ ลดความซับซ้อนของเครื่องรับไปได้อย่างมากในขณะที่ยังคงสมรรถนะในระดับเดิม

1.5 การลดความซับซ้อนของเครื่องรับที่นำเสนอใหม่

ในกรณีที่ใช้เทคนิคแบบไม่เป็นเชิงเส้น เครื่องรับที่นำเสนอใหม่จะมีความซับซ้อนน้อย แต่กรณีที่ ใช้เครื่องรับแบบเชิงเส้นประเภท MMSE การประมวลผลแบบเต็มรูปแบบจะทำให้เครื่องรับที่นำเสนอใหม่

มีความซับซ้อนสูง ดังนั้นกลุ่มวิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการลดความซับซ้อนในลักษณะคล้ายกับเครื่องรับแบบเดิม โดยในส่วนของที่ทำหน้าที่ลดสัญญาณแทรกสอด จะแบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ หลาย ๆ ส่วน แต่ละส่วนจะทำหน้าที่รับข้อมูลของ 1 สัญลักษณ์ขนาน (Parallel Symbol) เท่านั้น กลุ่มวิจัยตั้งชื่อโครงสร้างใหม่นี้ว่า Per Parallel Symbol MMSE (PPS-MMSE) นอกจากนี้กลุ่มวิจัยยังเสนอวิธีลดความซับซ้อนเพิ่มเติม โดยการละเลยพจน์ที่มีผลกระทบไม่มากแต่ต้องการการคำนวณสูง กลุ่มวิจัยเรียกโครงสร้างหลังนี้ว่า Simplified PPS-MMSE

เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างลดความซับซ้อนของเครื่องรับที่นำเสนอใหม่กับเครื่องรับแบบเดิมแล้วพบว่า โครงสร้าง Simplified PPS-MMSE จะมีความซับซ้อน น้อยกว่าหรือเท่ากับเครื่องรับแบบเดิม สำหรับโครงสร้างแบบ PPS-MMSE นั้นกรณีที่มีการใช้งานเต็มความจุของเครือข่ายจะมีความซับซ้อนสูงกว่าเครื่องรับแบบเดิมเล็กน้อย แต่ในกรณีที่ใช้งานเพียงบางส่วนจะมีความซับซ้อนน้อยกว่ามาก ทั้งนี้ในสภาวะการทำงานจริง ระบบเครือข่ายโดยปกติจะไม่ถูกใช้เต็มความจุ เนื่องจากข้อจำกัดเกี่ยวกับการประกันคุณภาพการรับส่งสัญญาณ ดังนั้นเครื่องรับที่นำเสนอใหม่จึงมีแนวโน้มสูงที่จะมีความซับซ้อนน้อยกว่าเครื่องรับแบบเดิม

1.6 การวิเคราะห์อัตราความผิดพลาดบิตของเครื่องรับที่นำเสนอใหม่

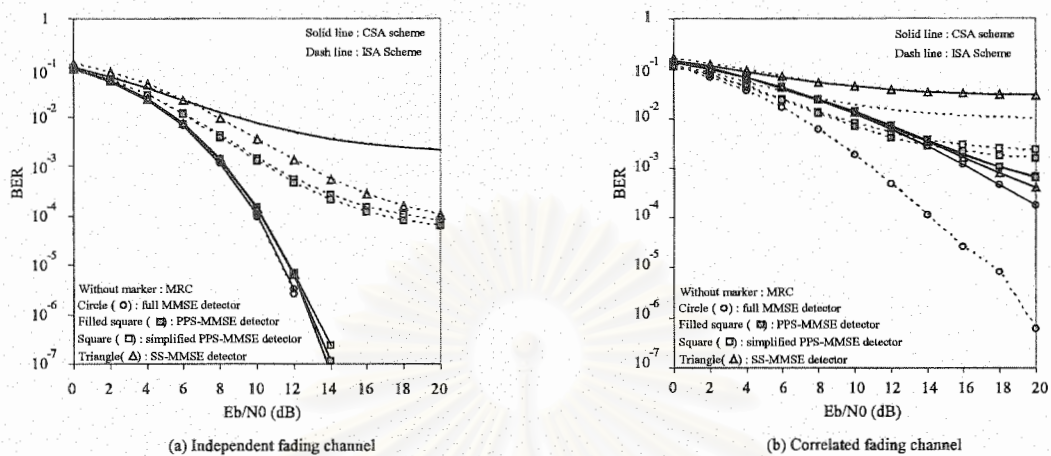
กลุ่มวิจัยได้ศึกษาวิเคราะห์อัตราความผิดพลาดบิตของเครื่องรับที่นำเสนอใหม่ โดยการวิเคราะห์ทางทฤษฎี ควบคู่ไปกับการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ สำหรับการวิเคราะห์ทางทฤษฎีพบว่า การประมาณด้วยวิธีเกาส์เซียนจะได้ผลดีกับเครื่องรับที่ไม่มีการลดความซับซ้อน ส่วนเครื่องรับที่มีการลดความซับซ้อนจะมีความถูกต้องพอใช้ได้เฉพาะในย่าน SNR ต่ำเท่านั้น

1.7 ผลการจำลองระบบ

กลุ่มวิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องรับที่ได้นำเสนอ ในสภาวะการผันแปรต่าง ๆ โดยการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบเดิมที่อยู่บนพื้นฐานของเทคนิคแบบเชิงเส้น กลุ่มวิจัยจึงได้ทดสอบเครื่องรับที่นำเสนอใหม่ที่ใช้เทคนิคแบบเชิงเส้นในการลดสัญญาณแทรกสอดก่อน ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค MMSE แบบไม่มีการลดความซับซ้อนจะทำให้ได้สมรรถนะที่ดีมาก ทว่าจะต้องแลกกับความซับซ้อนที่สูงมากเช่นกัน ในช่องสัญญาณแบบ Independent Fading Channel การกำหนดคลื่นพาห่อย่อยแบบ CSA และ ISA ให้ผลเหมือนกัน แต่ในช่องสัญญาณแบบ Correlated Fading Channel ซึ่งเป็นช่องสัญญาณจริงที่พบในทางปฏิบัติ การกำหนดคลื่นพาห่อย่อยแบบ ISA จะทำให้ได้อัตราความผิดพลาดบิตที่ต่ำกว่า

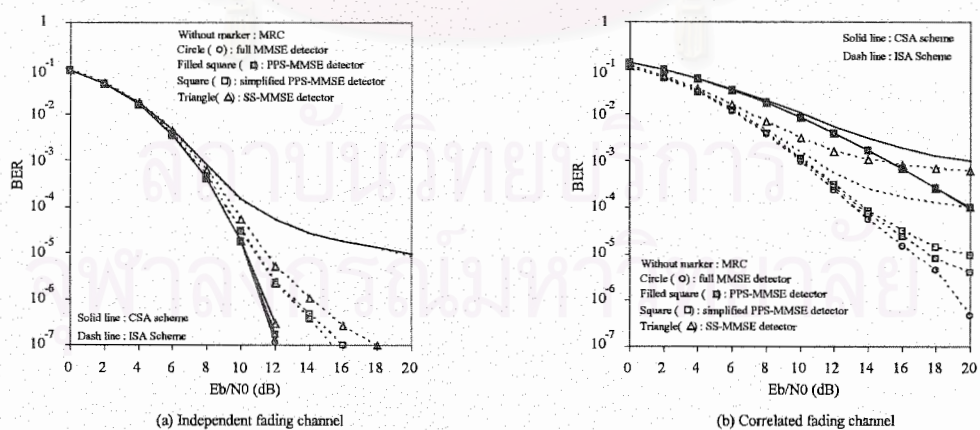
สำหรับเครื่องรับ MMSE แบบที่มีการลดความซับซ้อน ในช่องสัญญาณแบบ Independent Fading Channel การกำหนดคลื่นพาห่อย่อยแบบ CSA จะให้ผลที่ดีกว่าแบบ ISA ทั้งนี้เป็นเพราะการกำหนดคลื่นพาห่อย่อยแบบ CSA ทำให้มีการกระจายพลังงานไปครอบคลุมสัญลักษณ์ขนานอื่น ๆ น้อยกว่าแบบ ISA (พลังงานส่วนมากที่กระจายไปยังคงอยู่ในคลื่นพาห่อย่อยของสัญลักษณ์ขนานเดิม) สำหรับช่องสัญญาณ

แบบ Correlated Fading Channel การกำหนดคลื่นพาย้อยแบบ ISA จะให้ผลดีกว่าในสภาวะที่ระบบถูกจำกัดด้วยสัญญาณรบกวน (ค่า SNR ต่ำ) แต่ในสภาวะที่ระบบถูกจำกัดด้วยสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ (ค่า SNR สูง) การกำหนดคลื่นพาย้อยแบบ CSA จะให้สมรรถนะที่ดีกว่า



รูป 1.4 ค่าอัตราความผิดพลาดบิตของเครื่องรับแบบต่าง ๆ ในช่องสัญญาณแบบอิสระและไม่อิสระ

กลุ่มวิจัยได้ทดสอบระบบที่ใช้เทคนิคแบบไม่เป็นเชิงเส้น คือเทคนิคการหักล้างสัญญาณรบกวน (Interference Cancellation; IC) เพื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบเชิงเส้น นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบระบบที่ใช้เทคนิคแบบ MMSE เพื่อเพิ่มสมรรถนะของเทคนิค IC ด้วย จากผลการจำลองระบบพบว่า เมื่อใช้เทคนิค Interference Cancellation แทนเทคนิค MMSE ทำให้ได้สมรรถนะที่ดีขึ้นในขณะที่มีความซับซ้อนน้อยลง ในช่องสัญญาณแบบไม่เป็นอิสระ การกำหนดคลื่นพาย้อยแบบ ISA จะให้ผลดีกว่าการกำหนดคลื่นพาย้อยแบบ CSA ในแทบทุกช่วงค่า SNR



รูป 1.5 ค่าอัตราความผิดพลาดบิตของระบบที่ใช้เทคนิคแบบไม่เป็นเชิงเส้น

([2] S. Verdu, Multiuser Detection, Cambridge University Press, U.K., 1998.) ซึ่งเครื่องรับชนิดนี้เป็นเครื่องรับชนิดหนึ่งที่มีใช้ในระบบ uplink MC-CDMA

เนื่องจากเครื่องรับแบบ MMSE ดังที่ได้กล่าวมานั้นในงานวิจัยที่ผ่านมาจะเป็นการออกแบบโดยที่ภาคส่งไม่ทราบค่าสถานะของช่องสัญญาณ (CSI : Channel State Information) หรือค่า Channel impulse response การออกแบบเครื่องรับแบบ MMSE จึงเป็นการออกแบบที่ภาครับเพียงอย่างเดียวโดยกำหนดให้พลังงานในทุก subcarrier มีค่าเท่ากันหมด แต่เนื่องจากระบบ MC-CDMA นั้นเป็นระบบที่ผู้ใช้ทุกคนใช้ความถี่ร่วมกัน ดังนั้นการที่กำหนดให้ผู้ใช้แต่ละคนใช้พลังงานเท่ากันหมดในทุก subcarrier ในกรณีที่ทางภาคส่งทราบค่าสถานะของช่องสัญญาณนั้นจะทำให้ไม่ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด เนื่องจาก 2 ลักษณะที่สำคัญคือ ผลของช่องสัญญาณที่ทำให้ในแต่ละ subcarrier ถูกผลกระทบที่แตกต่างกัน และผลของผู้ใช้รายอื่นที่ใช้ความถี่ร่วมกันทำให้เกิด MAI ในระบบ Multiuser เนื่องจากรหัสแพร่ที่ใช้สูญเสียความถี่จากกันอันเนื่องมาจากผลกระทบของช่องสัญญาณดังที่กล่าวในระบบ uplink Multiuser MC-CDMA

งานที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น ในระบบ CDMA ([3] F. Horlin and L. Vandendorpe, "CA-CDMA : channel-adapted CDMA for MAI/ISI-free burst transmission," IEEE Trans. Commun., Vol. 51, pp. 275-283, Feb.2003.)

ในระบบ OFDM ([4] C.Y. Wong, R.S. Cheng, K.B. Letaief and R.D. Murch, "Multiuser OFDM with adaptive Subcarrier, Bit and Power allocation," IEEE Journal on selected areas in Com., Vol. 17, No.10, Oct. 1999.)

2.3 แนวความคิดใหม่

การแก้ปัญหาจะนำผลของกระทบของช่องสัญญาณในแต่ละ subcarrier และรหัสแพร่ของผู้ใช้ทุกรายมาพิจารณาเพื่อหาค่าพลังงานที่จะใช้ในแต่ละ subcarrier ของผู้ใช้แต่ละราย เพื่อแก้ปัญหาดังที่กล่าวมาโดยการนำเทคนิค optimization มาใช้เพื่อหาค่าพลังงานที่จะใช้ที่ภาคส่งในแต่ละ subcarrier ของผู้ใช้แต่ละราย โดยมี (Objective) ให้ได้ค่า MMSE ของระบบต่ำที่สุด ซึ่งเป็นการทำให้ได้ค่า SINR มากที่สุด โดยมีเงื่อนไขบังคับ (Constranint) คือ พลังงานรวมของผู้ใช้แต่ละคนในทุก subcarrier ยังคงมีค่าคงที่เท่ากับระบบที่ใช้เครื่องรับแบบ MMSE เดิม

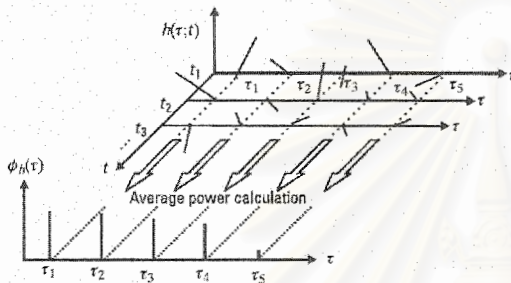
ช่องสัญญาณที่ใช้เป็นแบบ multipath ซึ่งเป็นโมเดลของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นและนิยมใช้ในการจำลองผลเพื่อดูประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารไร้สาย

ค่า channel impulse response ของโมเดลของช่องสัญญาณแบบ multipath เมื่อช่องสัญญาณเป็นแบบ WSSUS และมีทั้งหมด L path เขียนได้ดังสมการ

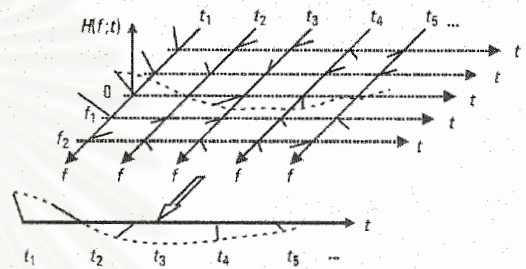
$$h(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_l(t) \delta(t - \tau_l T_s / M)$$

ทำให้สามารถพิจารณาในทางความถี่ได้เช่นเดียวกัน เมื่อมี cyclic prefix เพียงพอและไม่มี ICI โดยทำการแปลงค่า channel impulse response ทางเวลาเป็น channel transfer function ทางความถี่ในแต่ละ subcarrier ได้ดังสมการ

$$H(n) = \sum_{l=1}^L \alpha_l \delta(nT_s / M - \tau_l T_s / M)$$



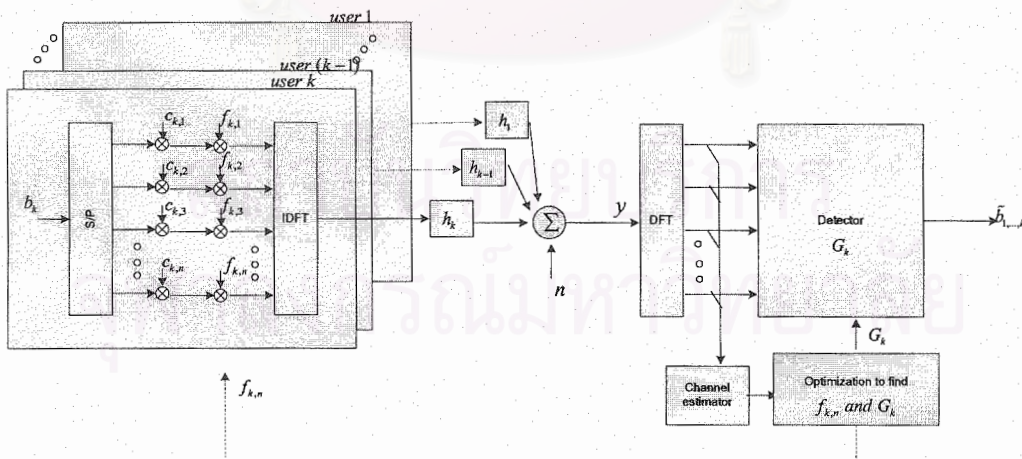
ก. channel impulse response



ข. Channel transfer function

รูป 2.1 ช่องสัญญาณแบบMultipath ที่ใช้ในระบบ

ระบบที่นำเสนอแสดงได้ดังรูปที่ 2 โดยการหาจะทำที่ภาครับ คือที่สถานีฐานเพื่อหาค่าพลังงานที่จะใช้ที่ภาคส่ง กับคิเทกเตอร์ที่ใช้ที่ภาครับซึ่งสัมพันธ์กันเพื่อให้ได้ค่า MSE ของระบบต่ำที่สุด



รูป 2.2 โครงสร้างของระบบที่นำเสนอ

สมการสัญญาณที่รับได้ที่ภาครับ

$$y = \sum_{j=1}^m H_j C_j F_j b_j + n$$

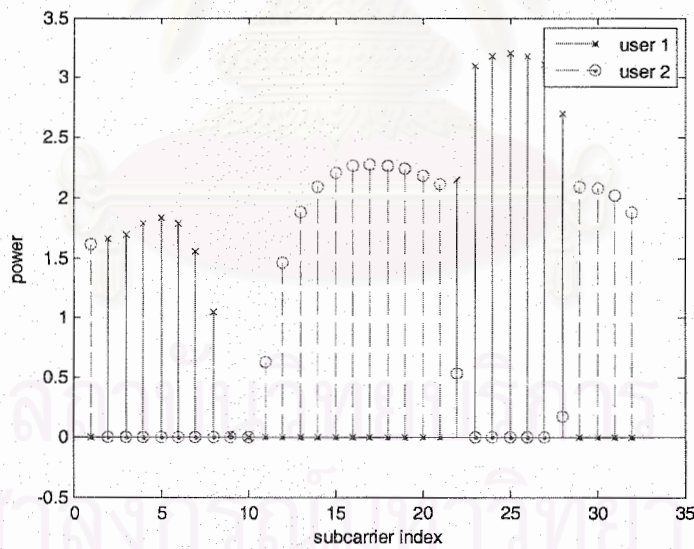
สรุปสมการที่ใช้ในการหาค่าด้วยวิธีการ optimize เพื่อหาค่าพลังงานที่จะใช้ในแต่ละ subcarrier ของผู้ใช้แต่ละคน ดังสมการ

Minimize	$\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 w[i]$
Subject to	$\sum_{i=1}^n u_j[i] \leq p_j, \quad j=1,2,\dots,m$ $w[i] \left(H_1[i] \cdot C_1[i] ^2 u_1[i] + \dots + H_m[i] \cdot C_m[i] ^2 u_m[i] + \sigma_i^2 \right) \geq 1$ $u_j[i] \geq 0, \quad i=1,2,\dots,n$ $j=1,2,\dots,m$

จะได้ค่าพลังงานที่จะใช้ที่ภาคส่งและค่าที่จะใช้สำหรับคิเทกสัญญาณที่ภาครับซึ่งสัมพันธ์กัน โดยจะทำให้ได้ค่า MSE ของระบบต่ำที่สุด

2.4 ผลการจำลองระบบ

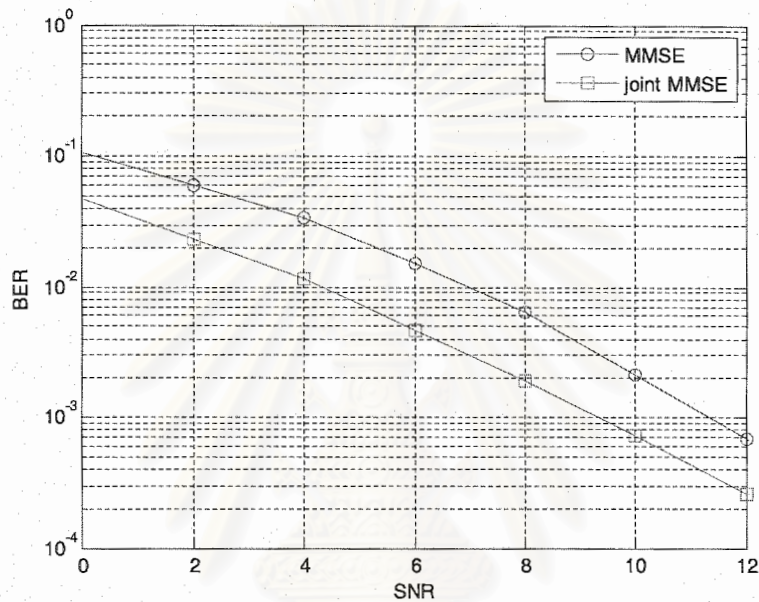
ได้ทำการหาค่าพลังงานที่จะใช้ด้วยการจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยเทคนิค optimization ดังที่ได้กล่าวมา โดยได้ค่าพลังงานที่จะใช้ของในแต่ละ subcarrier ของผู้ใช้แต่ละคน ดังรูป



รูป 2.3 ค่าพลังงานที่ได้จากวิธีที่นำเสนอเพื่อใช้ที่ภาคส่ง

จากรูปแสดงพลังงานที่หาค่าได้จากเทคนิค optimization ที่จะใช้ในแต่ละ subcarrier ของผู้ใช้แต่ละคน จะเห็นว่ามีการเลือกใช้ subcarrier และให้ค่าพลังงานที่แตกต่างกันทั้งในแต่ละ subcarrier และผู้ใช้แต่ละคน

ได้ทำการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลเปรียบเทียบกับวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการดั้งเดิม



รูป 2.4 ค่าอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลของระบบที่นำเสนอกับระบบดั้งเดิม

จากรูปจะเห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลที่ต่ำกว่าประมาณ 3 dB ตลอดช่วง SNR ผลจากการจำลองระบบ สรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น

3. งานวิจัยศึกษาระบบ Ultra Wideband

3.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยย่อย

1. เพื่อศึกษาความรู้ของระบบ Ultra wideband
2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับจำลองระบบการสื่อสารแบบ Impulse Based Ultra wideband
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของการมอดูเลตสัญญาณหลายรูปแบบ

3.2 การศึกษางานวิจัยในอดีต

Ultra Wideband (UWB) Radio เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจอย่างรวดเร็วในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 2002 เป็นต้นมา สืบเนื่องมาจากการอนุญาตการใช้งานแถบความถี่ขนาดใหญ่ถึง 7.5 GHz ในย่านความถี่ 3.1 - 10.6 GHz ของ Federal Communications Commission (FCC) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยระบบใหม่ จะมีแถบความถี่กว้างมาก แต่จะมีพลังงานอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวน (Noise Floor) คือประมาณ -41.3 dBm ในย่านความถี่เป้าหมาย (3.1 - 10.6 GHz) แถบความถี่ของระบบ UWB จะไปซ้อนทับกับระบบที่มีอยู่เดิม เช่น Wireless Local Area Network (Wireless LAN) เป็นต้น

UWB คือการส่งสัญญาณที่มีแถบความถี่ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 500 MHz หรือมี Fractional Bandwidth ไม่น้อยกว่า 20% ค่า Fractional Bandwidth คือ อัตราส่วนระหว่าง -10 dB Bandwidth กับค่าความถี่กลาง (Central Frequency) จากคำจำกัดความดังกล่าว ถ้าความถี่กลางมีค่ามากกว่า 2.5 GHz แล้ว ค่า Fractional Bandwidth จะมีค่ามากกว่า 500 MHz ระบบส่ง UWB มีพื้นฐานอยู่บนรูปคลื่นที่มีช่วงเวลาสั้นมาก (Ultra Short Waveform) ในระดับของ nanosecond ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหุรูปไซน์ (Sine-Wave Carriers) ดังนั้นระบบ UWB จึงไม่ต้องการกระบวนการ IF และทำงานที่ Baseband โดยตรง

ข้อดีของ UWB

- ระบบ UWB มีช่วงเวลาของรูปคลื่นแบบพัลส์ที่สั้นมาก จนกระทั่งสั้นกว่าระยะห่างระหว่างแต่ละ Multipath Components ส่งผลให้มันมี Fine Time Resolution กล่าวคือไม่เกิดการบิดเบี้ยวของรูปคลื่น เนื่องจากการซ้อนทับกันของแต่ละ Multipath Components จึงสามารถนำ Multipath Propagation มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากสามารถ Resolve Multipath ได้ดี
- ย่านความถี่ต่ำของรูปคลื่น UWB สามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น อิฐ ซีเมนต์ ได้เป็นอย่างดี
- ระบบ UWB มีแถบความถี่กว้างมาก ทำให้สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราที่สูงมากได้ (High Data Rate)
- เครื่องส่ง และเครื่องรับของระบบ UWB ไม่ต้องมีส่วนประกอบขนาดใหญ่ และราคาแพง เช่น Modulator, Demodulator และส่วนประมวลผล IF ทำให้ระบบ UWB มีราคา ขนาด น้ำหนัก และใช้พลังงาน น้อยกว่าระบบสื่อสารแถบความถี่แคบทั่วไป

3.3 การจำลองช่องสัญญาณระบบ Ultra wideband

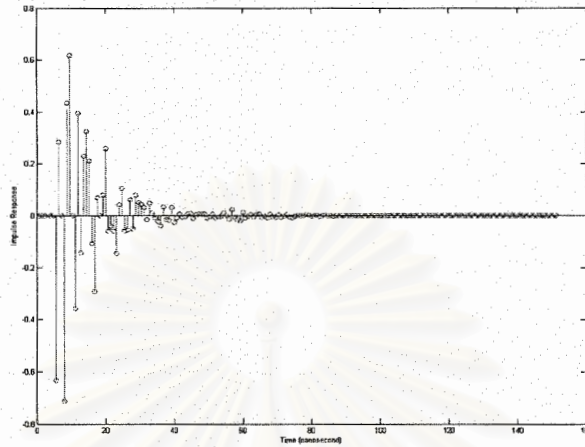
กลุ่มวิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีการจำลองช่องสัญญาณการสื่อสารระบบ UWB ของแบบจำลอง SV ที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของชนิดช่องสัญญาณที่ต้องการตามมาตรฐานของ IEEE802.15.13a ดังตารางต่อไปนี้

Target Channel Characteristics	CM 1	CM 2	CM 3	CM 4
Mean excess delay (nsec) ($\bar{\tau}$)	5.05	10.38	14.18	
RMS delay Spread (nsec) (σ_{τ})	5.28	8.03	14.28	25
NP _{10dB} (number of paths within 10dB of the strongest path)			35	
NP(85%) (number of paths capture 85% of channel energy)	24	36.1	61.54	
Model Parameters				
Λ (1/nsec) (Cluster arrival rate)	0.0233	0.4	0.0667	0.0667
λ (1/nsec) (Ray arrival rate)	2.5	0.5	2.1	2.1
Γ (Cluster decay factor)	7.1	5.5	14.00	24.00
γ (Ray decay factor)	4.3	6.7	7.9	12
σ_1 (dB) (stand. dev. Of Cluster lognormal fading term in dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
σ_2 (dB) (stand. dev. Of Ray lognormal fading term in dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
σ_x (dB) (stand. dev. Of lognormal fading term for total multipath realizations in dB)	3	3	3	3
Model Characteristics				
$\bar{\tau}$	5.0	9.9	15.9	30.1
σ_{τ}	5	8	15	25
NP 10dB	12.5	15.8	24.9	41.2
NP (85%)	20.8	33.9	24.7	123.3
Channel energy mean (dB)	-0.4	-0.5	0.0	0.3
Channel energy std (dB)	2.9	3.1	3.1	2.7

โดยกลุ่มวิจัยได้ทำการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้ในการจำลองช่องสัญญาณการสื่อสารระบบ UWB ซึ่งแบ่งผลการจำลองช่องสัญญาณที่ได้ทำการศึกษา ได้เป็น 5 แบบดังต่อไปนี้

1. ผลการจำลองช่องสัญญาณ CM1 ที่มีค่า parameter ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.13a
2. ผลการจำลองช่องสัญญาณ CM2 ที่มีค่า parameter ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.13a
3. ผลการจำลองช่องสัญญาณ CM3 ที่มีค่า parameter ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.13a

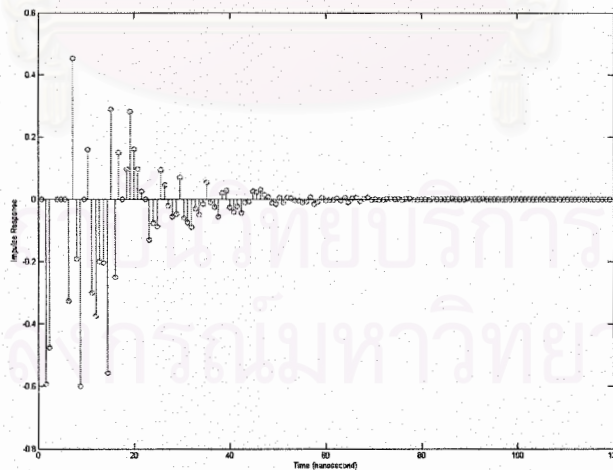
4. ผลการจำลองช่องสัญญาณ CM4 ที่มีค่า parameter ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.13a
 5. ทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อดูผลกระทบต่อแบบจำลองช่องสัญญาณ
1. ผลการจำลองช่องสัญญาณ CM1 ที่มีค่า parameter ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.13a



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของช่องสัญญาณระบบ UWB ชนิด CM1 ที่จำลองได้

จากรูปการจำลองข้างต้น วัดค่า RMS Delay Spread ได้เท่ากับ 5.5093 ns. และ เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของ RMS Delay Spread จากการจำลองช่องสัญญาณ 1000 ครั้ง พบว่า ค่า RMS Delay Spread มีค่าเท่ากับ 5.2005 ns. ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

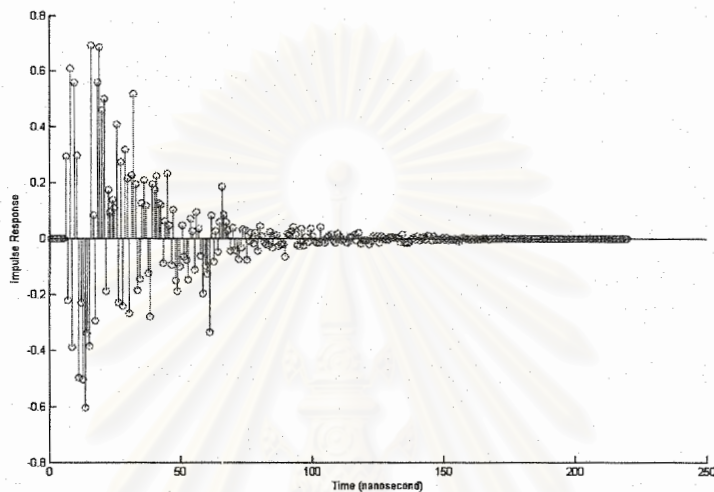
2. ผลการจำลองช่องสัญญาณ CM2 ที่มีค่า parameter ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.13a



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของช่องสัญญาณระบบ UWB ชนิด CM2 ที่จำลองได้

จากรูปการจำลองข้างต้น วัดค่า RMS Delay Spread ได้เท่ากับ 8.2826 ns. และ เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของ RMS Delay Spread จากการจำลองช่องสัญญาณ 1000 ครั้ง พบว่า ค่า RMS Delay Spread มีค่าเท่ากับ 8.4537 ns. ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

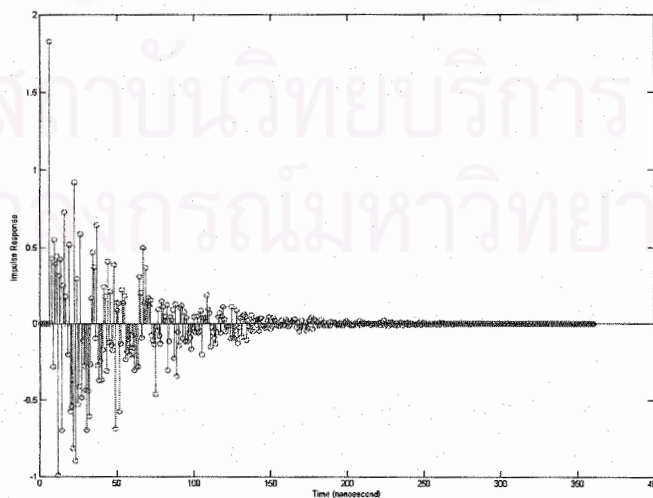
3. ผลการจำลองช่องสัญญาณ CM3



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของช่องสัญญาณระบบ UWB ชนิด CM3 ที่จำลองได้

จากรูปการจำลองข้างต้น วัดค่า RMS Delay Spread ได้เท่ากับ 14.755 ns. และ เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของ RMS Delay Spread จากการจำลองช่องสัญญาณ 1000 ครั้ง พบว่า ค่า RMS Delay Spread มีค่าเท่ากับ 14.325 ns. ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้.

4. ผลการจำลองช่องสัญญาณ CM4



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของช่องสัญญาณระบบ UWB ชนิด CM4 ที่จำลองได้

จากรูปการจำลองข้างต้น วัดค่า RMS Delay Spread ได้เท่ากับ 26.6027 ns. และ เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของ RMS Delay Spread จากการจำลองช่องสัญญาณ 1000 ครั้ง พบว่า ค่า RMS Delay Spread มีค่าเท่ากับ 25.1299 ns. ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

5. ทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อดูผลกระทบต่อแบบจำลองช่องสัญญาณ

5.1. Cluster arrival rate การปรับค่าพารามิเตอร์นี้ มีผลกระทบทำให้ช่องสัญญาณที่จำลองได้มีค่า Delay วิธีแรกของแต่ละ Cluster เปลี่ยนไป โดยหากเพิ่มค่าขึ้น จะทำให้ Delay วิธีแรกของแต่ละ Cluster ลดลง ลักษณะของช่องสัญญาณจะซัดติดกันมากขึ้น ส่วนการลดค่าลงจะให้ผลในทางตรงข้าม

5.2. Ray arrival rate การปรับค่าพารามิเตอร์นี้ มีผลกระทบทำให้ช่องสัญญาณที่จำลองได้มีค่า Delay ของวิธีใน แต่ละ Cluster เปลี่ยนไป โดยหากเพิ่มค่าขึ้น จะทำให้ Delay ของวิธีใน แต่ละ Cluster ลดลง แต่จะไม่เห็นผลที่แตกต่างจากเดิมมากนัก เนื่องจากตำแหน่งของวิธีแรกของแต่ละ Cluster ยังคงที่เดิม และ จำนวนของวิธีใน แต่ละ Cluster มีจำนวนมาก การที่ Delay ของแต่ละวิธีใน Cluster มีการเปลี่ยนแปลงไปจึงไม่ส่งผลกระทบต่อมากนัก

5.3. Cluster exponential decay การปรับค่าพารามิเตอร์นี้ ทำให้แอมพลิจูดของวิธีแรกใน แต่ละ Cluster มีค่าเปลี่ยนแปลงไป การเพิ่มค่าจะทำให้เห็นลักษณะของ Cluster ชัดเจน เนื่องจากวิธีแรกจะสูงขึ้น มากกว่าปกติดังรูปที่ 4.9 นอกจากนี้ ยังทำให้จำนวน Cluster ในช่องสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนในการลดค่า พารามิเตอร์นี้ จะให้ผลตรงกันข้ามกับการเพิ่มค่า คือ จำนวน Cluster จะลดลง และค่าแอมพลิจูดของวิธีแรก ของแต่ละ Cluster จะลดลง

5.4. Ray exponential decay การปรับค่าพารามิเตอร์นี้ ทำให้แอมพลิจูดของแต่ละวิธีใน Cluster มีค่าเปลี่ยนแปลงไป หากเพิ่มค่า ก็จะเห็นลักษณะของ Cluster ไม่ชัดเนื่องจาก วิธีใน Cluster จะมีแอมพลิจูด ใกล้เคียงกับวิธีแรกมากขึ้น แต่หากลดค่าพารามิเตอร์นี้ ก็จะทำให้มีแอมพลิจูดน้อยกว่าวิธีแรกมากขึ้น ทำให้ เป็นลักษณะของ Cluster ชัดเจนขึ้น

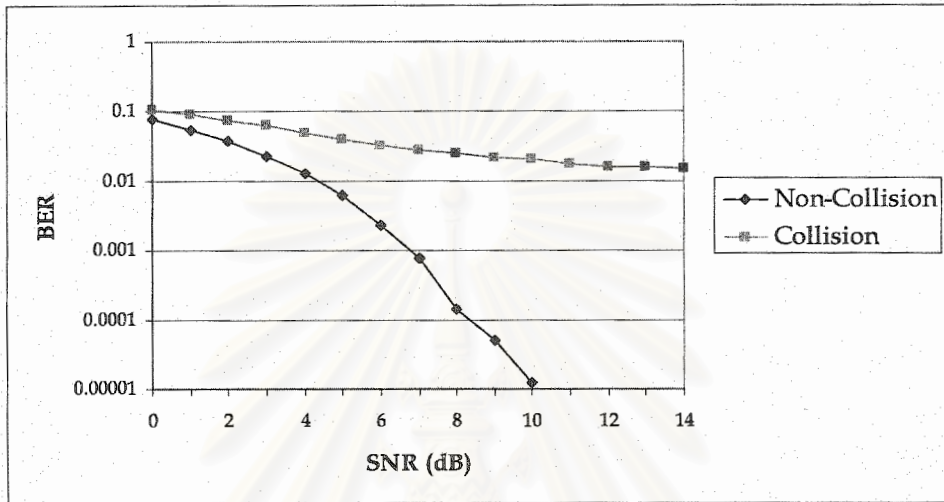
3.4 ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของการมอดูเลตสัญญาณหลายรูปแบบ

ในหัวข้อนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการมอดูเลตสัญญาณ 2 แบบ คือ การมอดูเลตแบบ PPM (Pulse Position Modulation) และ การมอดูเลตแบบ PAM (Pulse Amplitude Modulation) โดยระบบที่ทำการศึกษา ได้เลือกการทำ Multiple Access แบบ Time Hopping ที่ TH-Code ทั้งแบบที่มีและไม่มี การชนกันของผู้ใช้ แต่ละคน ส่วนที่ภาครับได้มีการศึกษาผลกระทบในกรณีที่ Template มีการเลื่อนทางเวลาไม่ตรงกับสัญญาณ ที่รับเข้ามาทางด้านรับของระบบ ทั้งนี้ยังได้ศึกษาการส่งข้อมูลทางฝั่งส่งที่มีการส่งข้อมูลซ้ำเพื่อเพิ่ม redundancy พร้อมทั้งพิจารณาสเปกตรัมของรูปพัลส์ในกรณีต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นพร้อมศึกษา หาทางแก้ไขต่อไป

3.4.1 การศึกษารูปแบบวิธีการส่งสัญญาณ UWB แบบ Pulse Position Modulation (PPM)

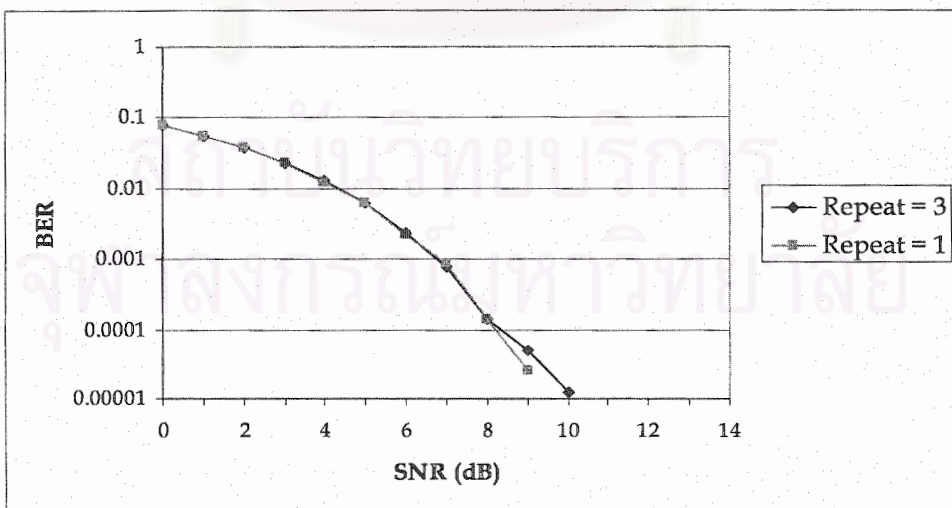
3.4.1.1. กรณีที่ Template ไม่มี การเลื่อนทางเวลา

1. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Monocycle, Additional Shift (γ) = 0.1 * ความกว้างของพัลส์, Offset Time (δ) = ความกว้างของพัลส์, มีการส่งซ้ำ 3 ครั้ง (Repeating = 3) โดยจะทำการเปรียบเทียบ PN code แบบ Non-Collision กับแบบ Collision



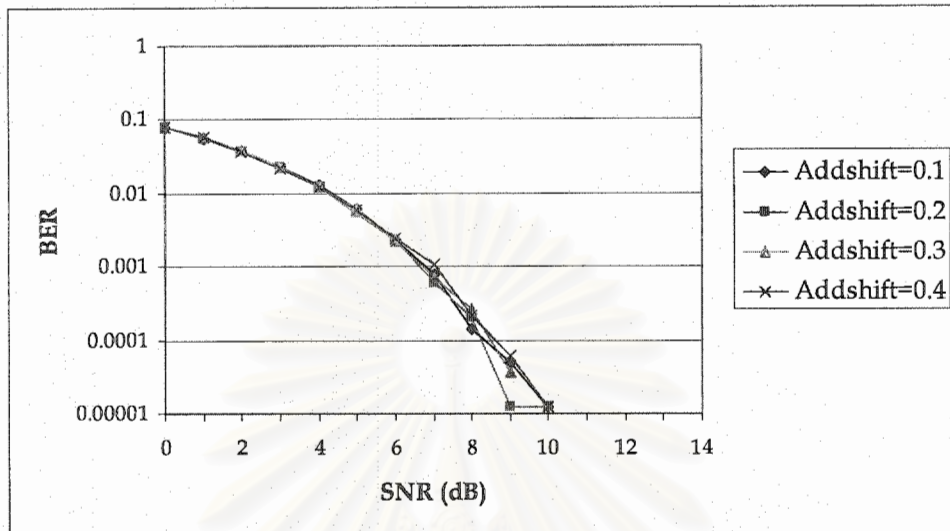
รูปที่ 3.5 ค่า BER ของระบบที่ใช้ชุดของ PN code ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า SNR

2. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Monocycle, Additional Shift (γ) = 0.1 * ความกว้างของพัลส์, Offset Time (δ) = ความกว้างของพัลส์, ใช้ PN code แบบ Non-Collision โดยจะทำการเปรียบเทียบกรณี Repeating = 1 และ Repeating = 3



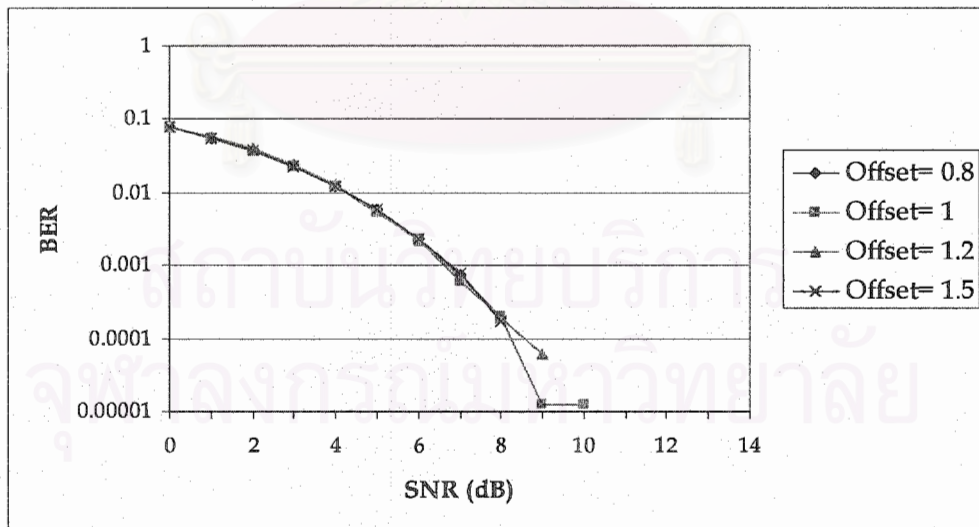
รูปที่ 3.6 ค่า BER ของระบบที่ใช้จำนวนการส่งซ้ำที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า SNR

3. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Monocycle, Offset Time (δ) = ความกว้างของพัลส์, มีการส่งซ้ำ 3 ครั้ง (Repeating = 3), PN code แบบ Non-Collision โดยจะทำการเปรียบเทียบกรณีใช้ค่า AddShift เป็น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เท่าของความกว้างของพัลส์



รูปที่ 3.7 ค่า BER ของระบบที่ใช้ค่า Addshift ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า SNR

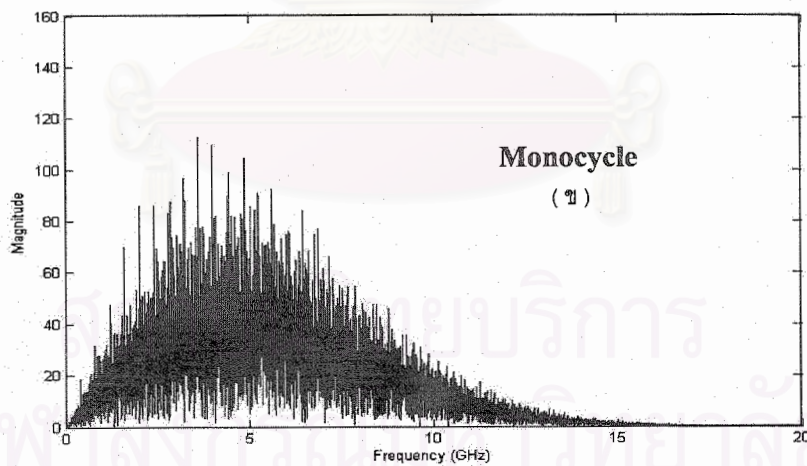
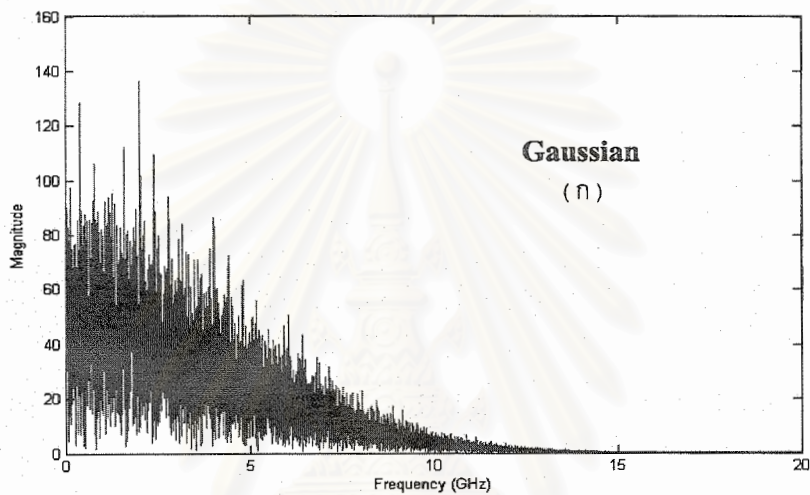
4. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Monocycle, Additional Shift (γ) = 0.2*ความกว้างของพัลส์, มีการส่งซ้ำ 3 ครั้ง (Repeating = 3), PN code แบบ Non-Collision โดยจะทำการเปรียบเทียบกรณีใช้ค่า Offset Time (δ) = 0.8, 1, 1.2 และ 1.5 เท่าของความกว้างของพัลส์

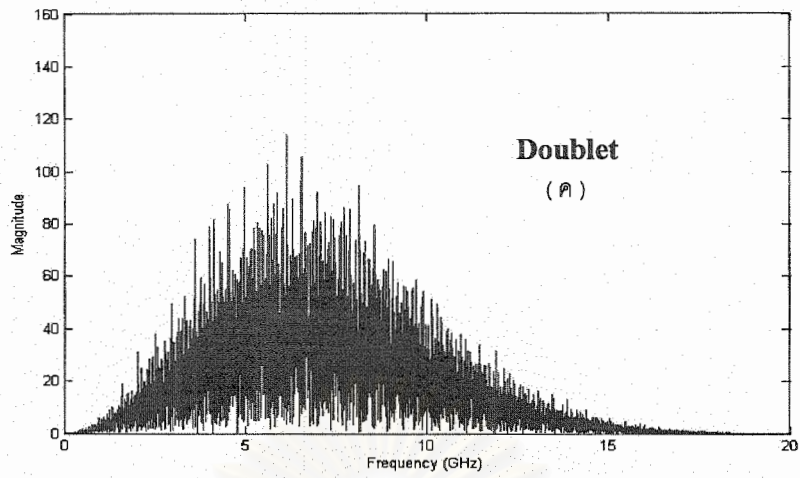


รูปที่ 3.8 ค่า BER ของระบบที่ใช้ค่า Offset ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า SNR

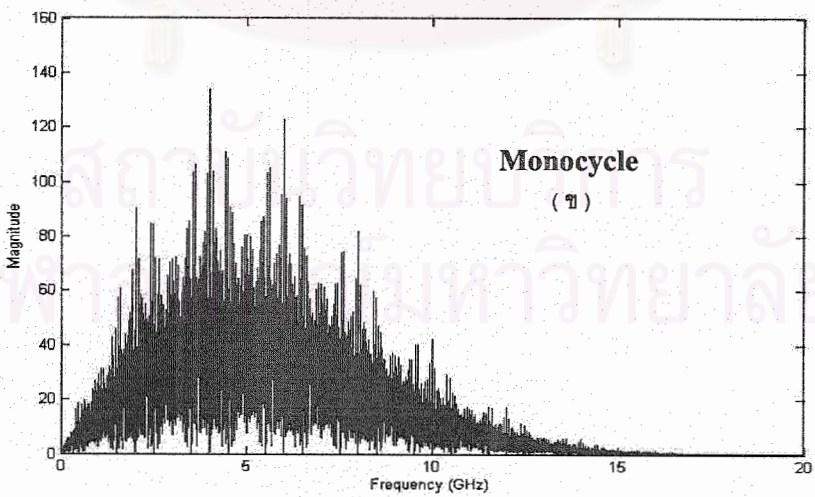
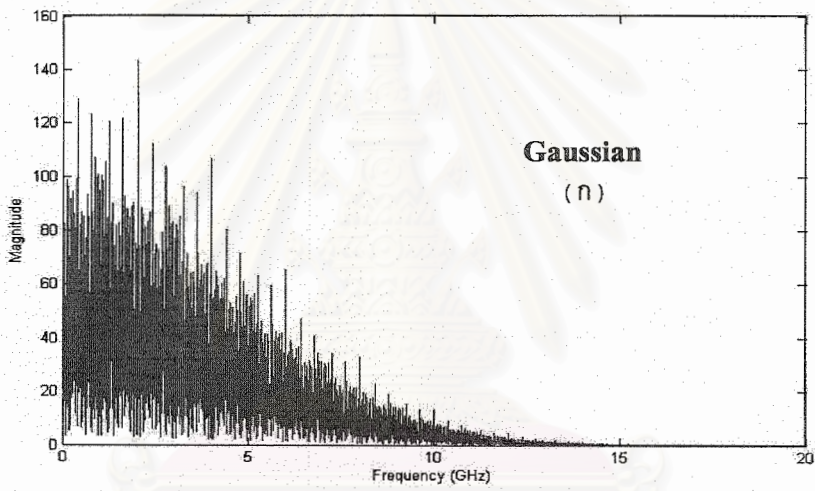
สเปกตรัมของสัญญาณ

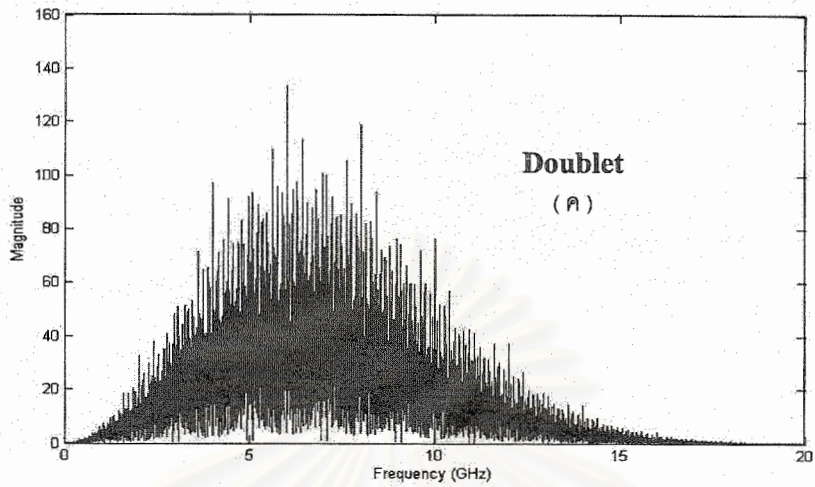
เนื่องจากในระบบการสื่อสารแบบ Impulse Based UWB มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ แถบความถี่ที่ใช้ในการสื่อสาร มีขนาดกว้างมากจึงจำเป็นต้องพิจารณารูปแบบของสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้ให้มีลักษณะที่เหมาะสม คือ ไม่เกิดลักษณะของ line peak มากนัก อันจะเป็นผลให้ระบบ UWB ไปรบกวนกับระบบสื่อสารเดิมที่มีอยู่เดิม ในโครงการนี้จึงมีการพิจารณาสเปกตรัมของสัญญาณโดยผ่าน โปรแกรม MATLAB โดยพิจารณากรณีต่าง ๆ ที่แตกต่างกันดังนี้





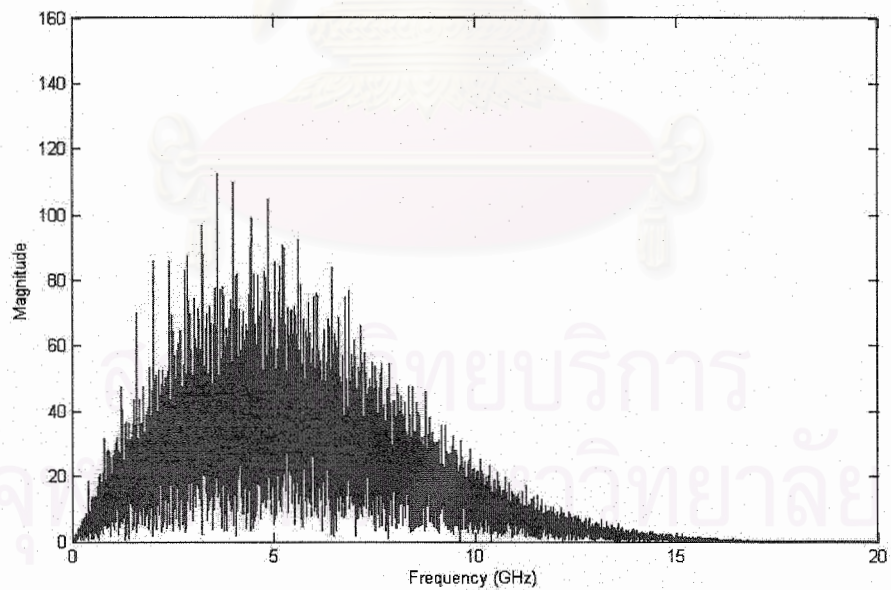
รูปที่ 3.9 สเปกตรัมของพัลส์ชนิดต่างๆ เมื่อมีการใส่ค่า Additional Shift = 0.1



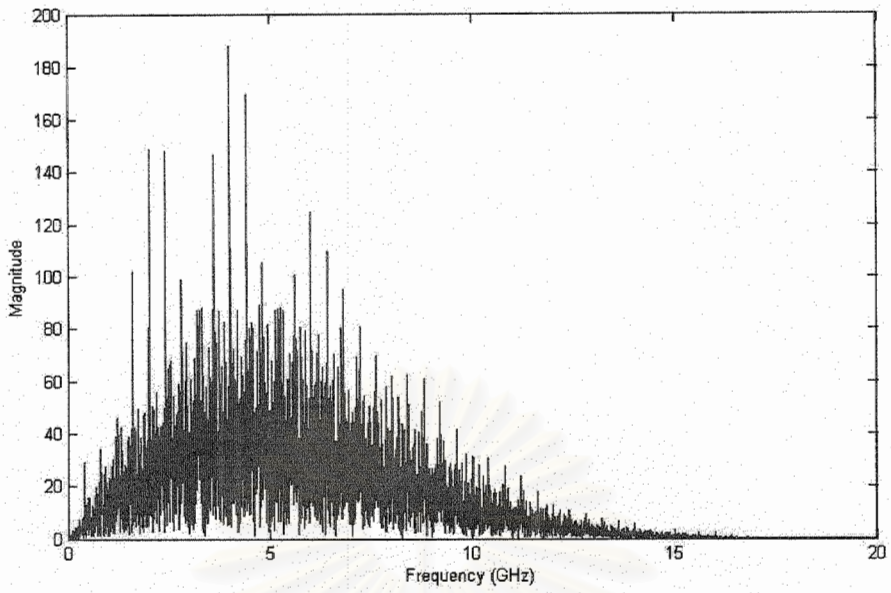


รูปที่ 3.10 สเปกตรัมของพัลส์ชนิดต่างๆ เมื่อไม่มีการใส่ค่า Additional Shift

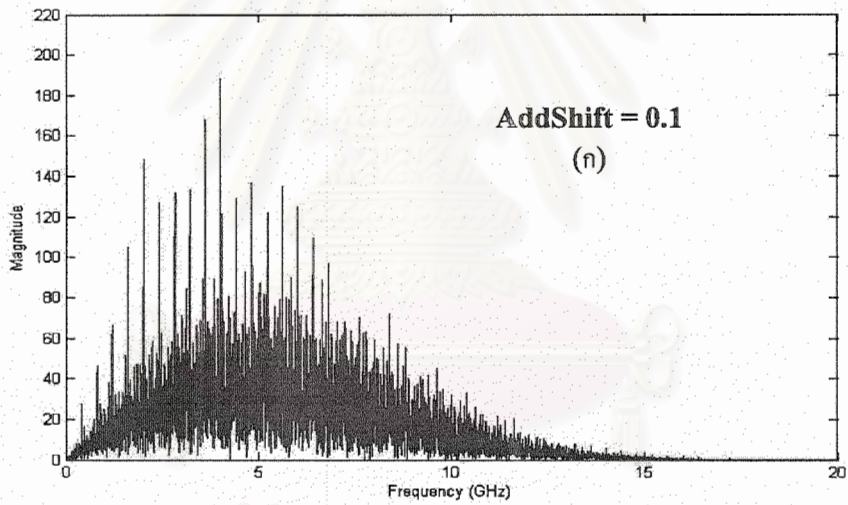
เปรียบเทียบรูปลักษณ์ของสเปกตรัม กรณีมีการส่งซ้ำเท่ากับ 3 (Repeating = 3) กับกรณีไม่มีการส่งซ้ำ (Repeating = 0) ของระบบที่ 4



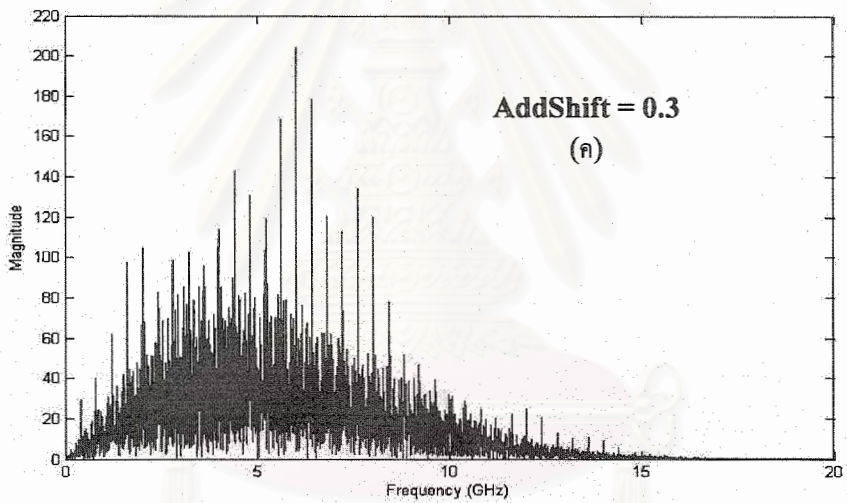
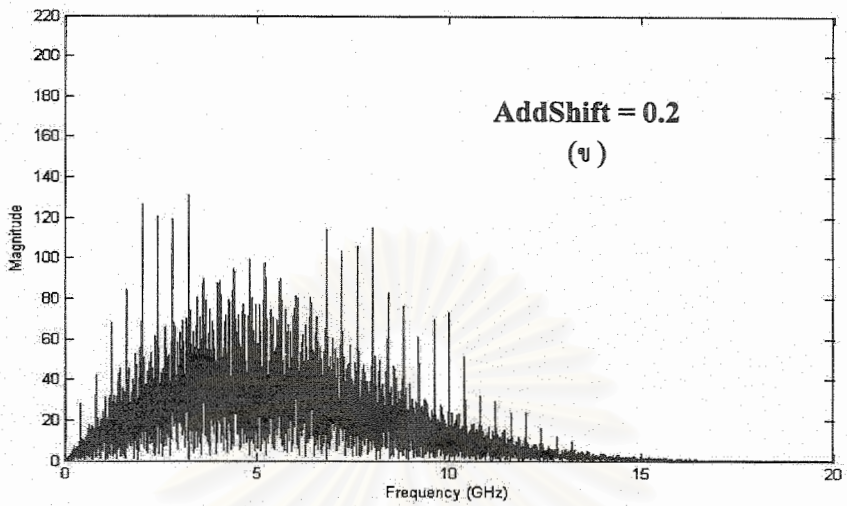
รูปที่ 3.11 สเปกตรัม เมื่อไม่มีการส่งซ้ำ (Repeating = 0)



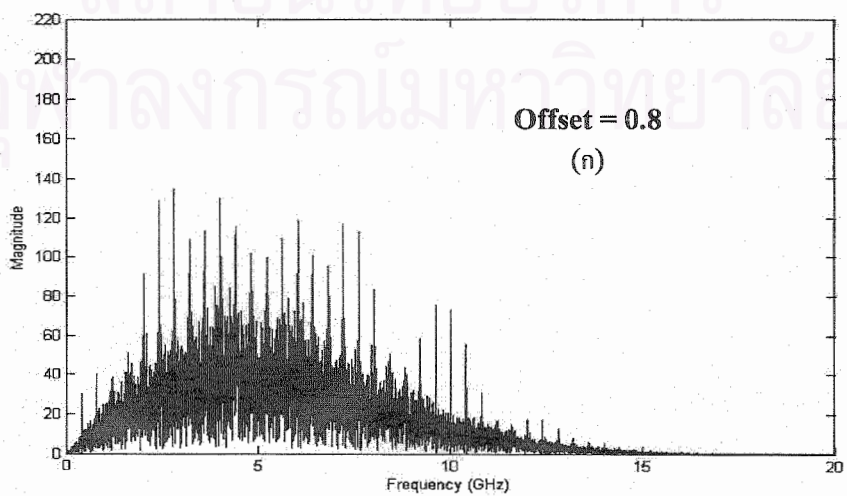
รูปที่ 3.12 สเปกตรัม เมื่อมีการส่งซ้ำ (Repeating = 3)

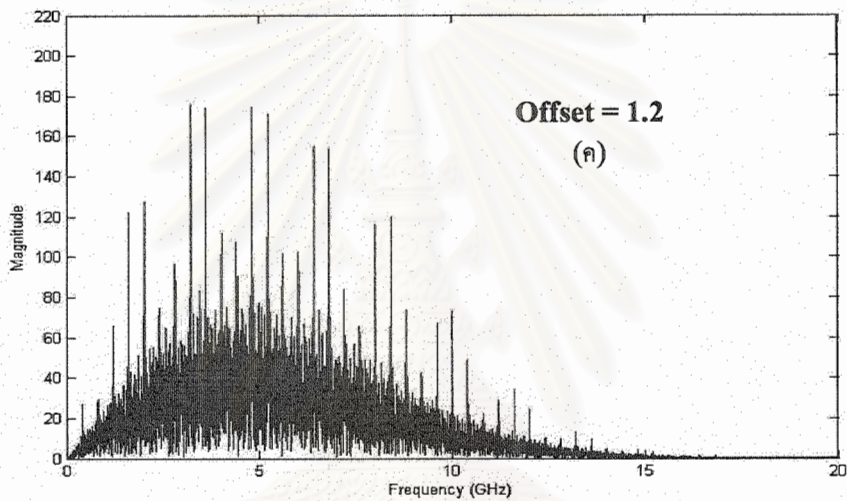
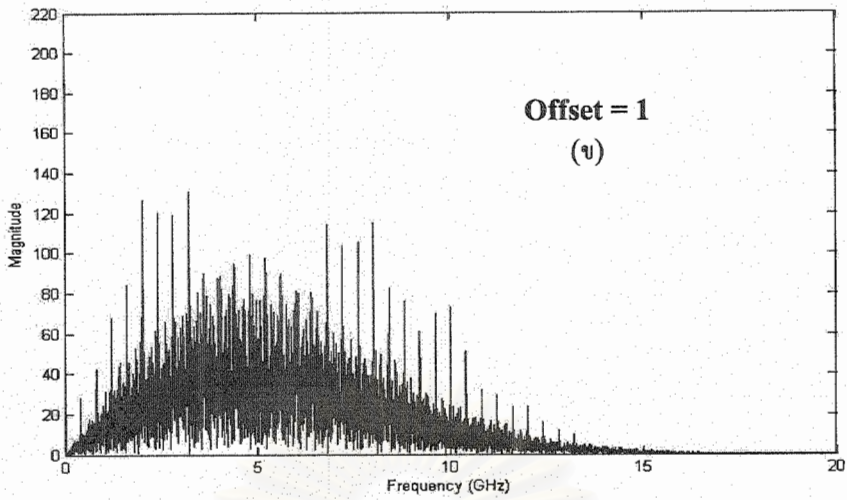


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 สเปกตรัมสัญญาณ เมื่อเปลี่ยนค่า AddShift เป็น 0.1, 0.2 และ 0.3 เท่าของความกว้างของพัลส์





รูปที่ 3.14 สเปกตรัมสัญญาณ เมื่อทำการเปลี่ยนค่า Offset Time (δ) = 0.8, 1 และ 1.2 เท่าของความกว้างของพัลส์

จากการจำลองระบบกรณีทีภาครับและภาคส่ง Synchronous กัน เมื่อพิจารณาในระบบในกรณีที่มีการใช้หรือไม่ใช้ Additional Shift นั้นค่า BER ที่ได้มีค่าเท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาที่รูปสเปกตรัมของสัญญาณของระบบที่มีค่า Additional Shift แตกต่างกันพบว่า สเปกตรัมในกรณีที่มีค่า Additional Shift มาก มีค่า line peak ต่ำกว่ากรณีที่มีค่า Additional Shift น้อย ๆ เกิดขึ้นน้อยกว่าและเมื่อพิจารณาสเปกตรัมของพัลส์ชนิดต่าง ๆ พบว่าชนิดพัลส์ที่ต่างกันก็ให้สเปกตรัมที่แตกต่างกันด้วย แสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10 โดย Gaussian pulse จะให้รูปสเปกตรัมที่มีความถี่กลางประมาณ 1 GHz และการเพิ่มลำดับของพัลส์จะให้สเปกตรัมที่มีความถี่กลางสูงขึ้น โดย Monocycle และ Doublet จะให้รูปสเปกตรัมที่มีความถี่กลางประมาณ 4 และ 7 GHz ตามลำดับ ดังนั้นการเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับการออกแบบว่าต้องการระบบการสื่อสารแบบใด

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเมื่อใช้ PN code เป็นแบบ Non-Collision ซึ่งไม่เกิดการชนของพัลส์ระหว่างผู้ใช้ในระบบเลย กับแบบ Collision ซึ่งอาจเกิดการชนกันของพัลส์ระหว่างผู้ใช้ใน

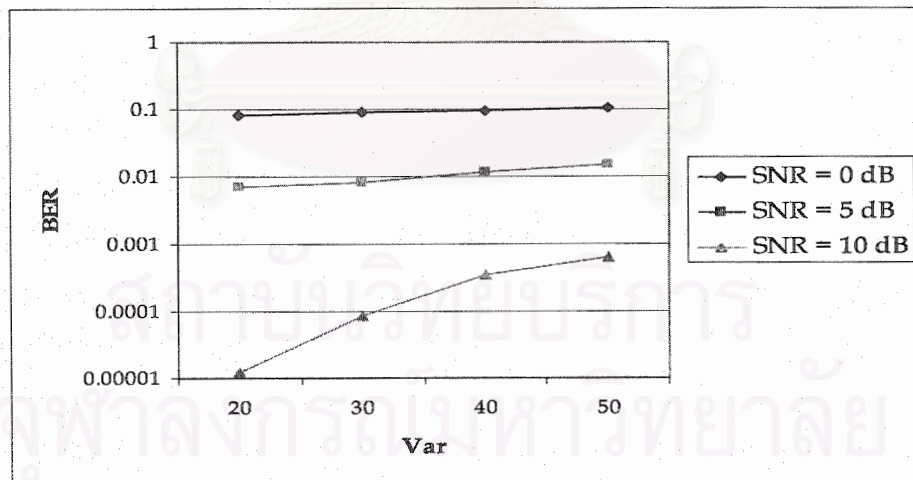
ระบบได้ ซึ่งพบว่า ระบบที่ใช้ code แบบ Non-Collision ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และเมื่อพิจารณาผลของ Repeating พบว่าการเพิ่มจำนวนการส่งซ้ำ (Repeating) เป็น 3 ครั้ง ให้ค่า BER เท่ากับกรณีที่ไม่มีการส่งซ้ำเลย ดังรูป 3.6 และเมื่อพิจารณาลักษณะของสเปกตรัม พบว่า การเพิ่มจำนวน Repeating จะทำให้เกิด line peak มากขึ้นดังปรากฏในรูปที่ 3.11 และ 3.12 ฉะนั้น จึงต้องพิจารณาให้เหมาะสมในการออกแบบ

ในการจำลองระบบเพื่อพิจารณาถึงผลของพารามิเตอร์ Additional Shift และ Offset Time พบว่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ไม่ได้ส่งผลต่อค่า BER ของระบบเลยแต่ในโดเมนเชิงความถี่พบว่า ที่ค่า AddShift เท่ากับ 0.2 เท่าของความกว้างของพัลส์ ให้ลักษณะสเปกตรัมที่ดีคือ มีลักษณะเรียบกว่าเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ ในรูปที่ 3.13 และที่ค่า Offset Time เท่ากับ ความกว้างของพัลส์ก็ให้ลักษณะสเปกตรัมที่เหมาะสมเช่นกัน ดังรูป 3.14

3.4.1.2. กรณีที่ Template มีการเลื่อนทางเวลา

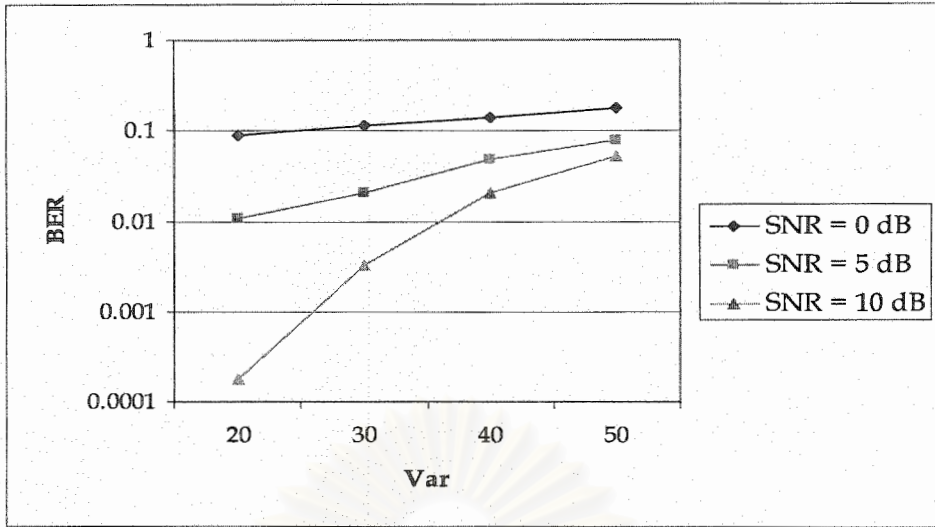
ในส่วนนี้จะใช้ Additional Shift (γ) = 0.2 * ความกว้างของพัลส์, Offset Time (δ) = ความกว้างของพัลส์, มีการส่งซ้ำ 3 ครั้ง (Repeating = 3), PN code แบบ Non-Collision และ ค่า Var ที่แสดงถึงความคลาดเคลื่อนของเวลาที่ภาครับกับภาควัดในกราฟ 20 sample เท่ากับ 10 ps ,30 sample เท่ากับ 15 ps ,40 sample เท่ากับ 20 ps และ 50 sample เท่ากับ 25 ps

1. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Gaussian



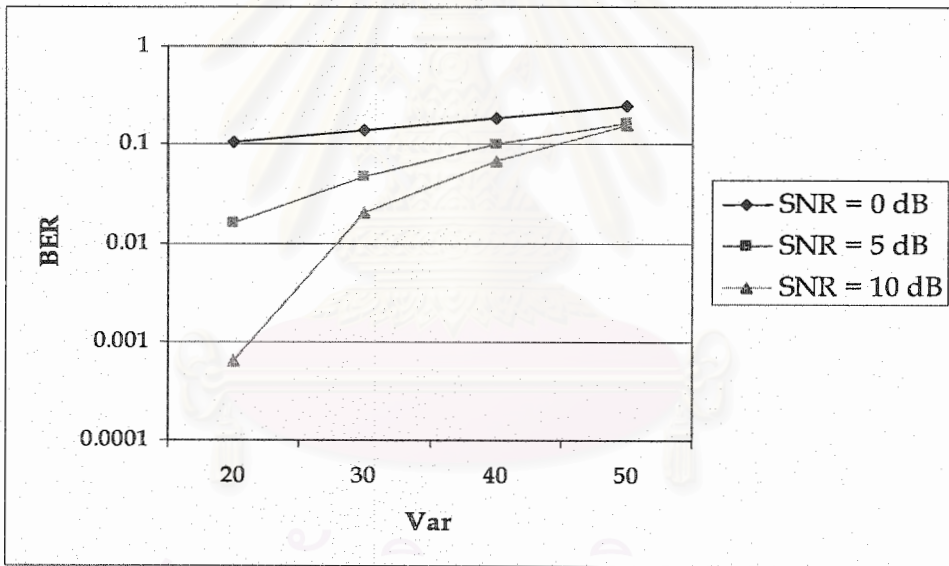
รูปที่ 3.15 ค่า BER ของระบบที่ใช้ค่า SNR ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า Var

2. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Monocycle



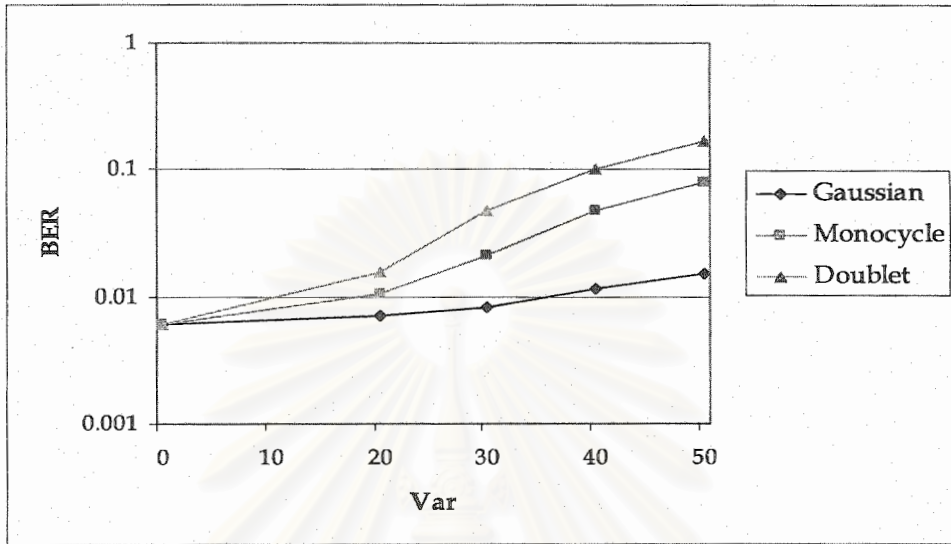
รูปที่ 3.16 ค่า BER ของระบบที่ใช้ค่า SNR ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า Var

3. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Doublet



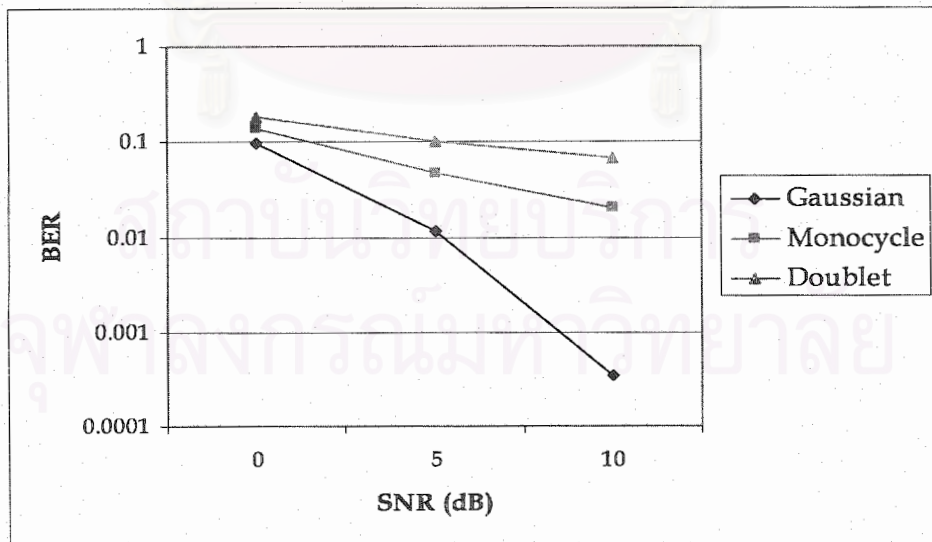
รูปที่ 3.17 ค่า BER ของระบบที่ใช้ค่า SNR ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า Var

4. การจำลองระบบกรณี มีค่า SNR = 5 dB พิจารณาผลของรูปพัลส์ที่ต่างกันที่ค่า Var ค่าต่างๆ



รูปที่ 3.18 ค่า BER ของระบบที่ใช้ชนิดพัลส์ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า Var

5. การจำลองระบบกรณี nonsync มีค่า var = 40 sample (20 ps) พิจารณาผลของรูปพัลส์ที่ต่าง ๆ กันที่ค่า SNR ต่างๆ



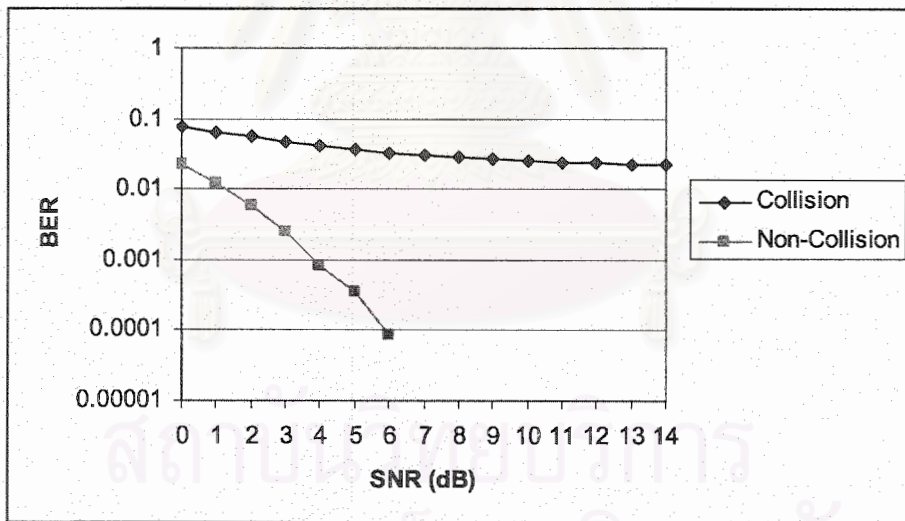
รูปที่ 3.19 ค่า BER ของระบบที่ใช้ชนิดพัลส์ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า SNR

จากการจำลองระบบกรณีสี่ที่มีภาครับและภาคส่งไม่ Synchronous กันพบว่า ที่ค่า SNR ค่าหนึ่ง เมื่อเพิ่มค่าความแปรปรวนของระยะเวลาที่ไม่ตรงกันระหว่างภาครับและภาคส่งมากขึ้น จะทำให้ BER ของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อค่า Var มีค่ามากขึ้น ดังแสดงในรูป 3.15, 3.16 และ 3.17 ที่ค่า SNR = 10 dB ในกรณีที่ใช้พัลส์ชนิด Gaussian จะเพิ่มขึ้นประมาณ 50 เท่า, กรณี Monocycle และกรณี Doublet เพิ่มขึ้นเกือบ 300 เท่า เราจึงสามารถใช้คุณสมบัตินี้ในการแก้ไขปัญหาความไม่ตรงกันของภาครับและภาคส่งได้โดยการเลือกใช้ชนิดของพัลส์ เมื่อพิจารณารูป 3.18 ที่ค่า SNR = 5 dB ที่ค่า Var ต่างๆ พบว่ารูปพัลส์ชนิด Gaussian ให้ประสิทธิภาพ BER ที่ดีกว่า พัลส์แบบ Monocycle และ Doublet ตามลำดับ และผลนี้จะยิ่งเด่นชัดเมื่อค่าความแปรปรวนของเวลาคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น หากพิจารณาที่ค่าความแปรปรวนของเวลาคลาดเคลื่อนเป็น 20 ps Gaussian จะให้ BER ที่ดีขึ้นมากกว่ารูปพัลส์ชนิดอื่นๆ เมื่อเพิ่มค่า SNR จาก 0 dB เป็น 10 dB ดังรูป 3.19

3.4.2 การศึกษารูปแบบวิธีการส่งสัญญาณ UWB แบบ Pulse Position Modulation (PPM)

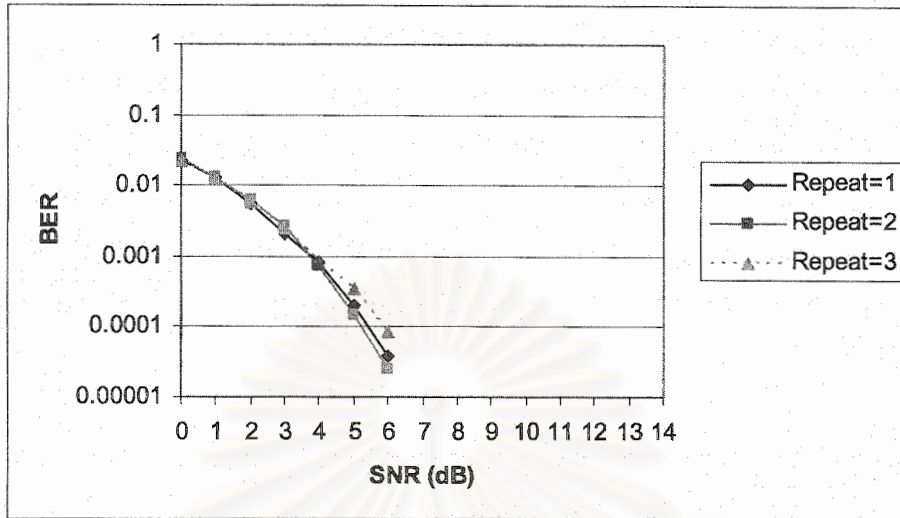
3.4.2.1. กรณีที่ Template ไม่มีการเลื่อนทางเวลา

1. การจำลองระบบกรณีสี่ มีการใช้พัลส์ชนิด Gaussian Pulse, Additional Shift (γ) = 0.1* ความกว้างของพัลส์, มีการส่งซ้ำ 3 ครั้ง (RepeatingPerFrame = 3) โดยจะทำการเปรียบเทียบ PN code แบบ Non-Collision กับแบบ Collision



รูปที่ 3.20 ค่า BER ของระบบที่ใช้ชุดของ PN code ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า SNR

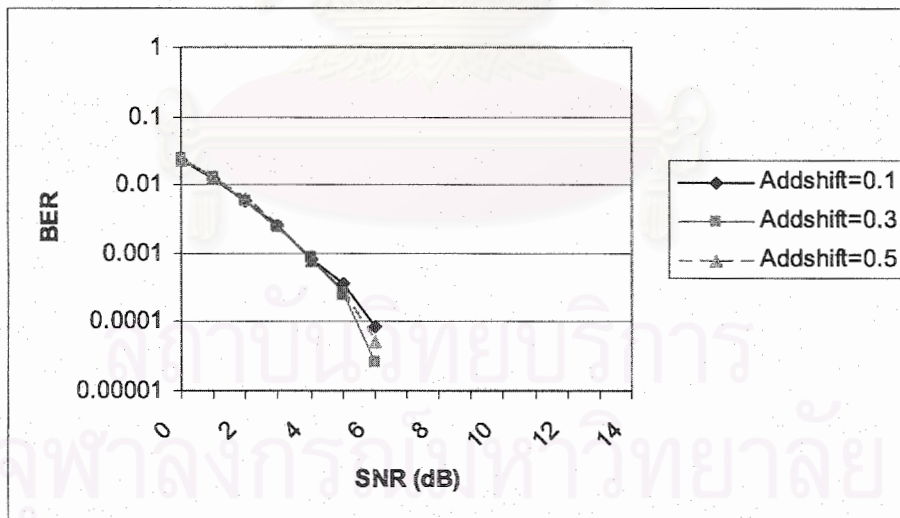
2. การจำลองระบบกรณีสี่ มีการใช้พัลส์ชนิด Gaussian Pulse, Additional Shift (γ) = 0.1* ความกว้างของพัลส์, ใช้ PN code แบบ Non-Collision โดยจะทำการเปรียบเทียบกรณี RepeatingPerFrame เท่ากับ 1,2 และ 3



รูปที่ 3.21 ค่า BER ของระบบที่ใช้จำนวนการส่งซ้ำที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า SNR

3. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Gaussian Pulse, มีการส่งซ้ำ 3 ครั้ง

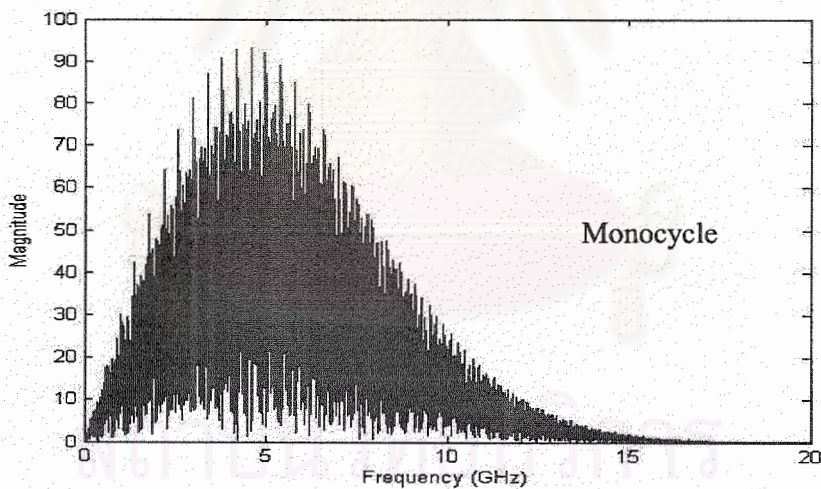
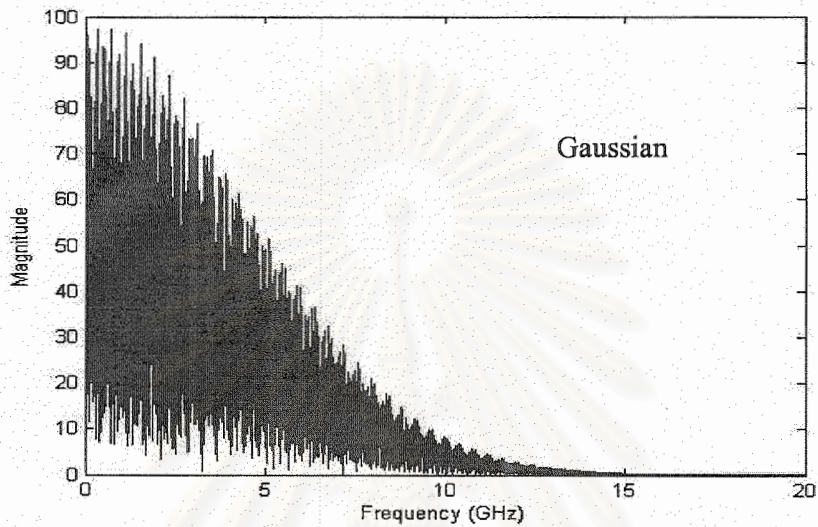
(RepeatingPerFrame = 3), PN code แบบ Non-Collision โดยจะทำการเปรียบเทียบกรณีใช้ค่า AddShift เป็น 0.1, 0.3 และ 0.5 เท่าของความกว้างของพัลส์

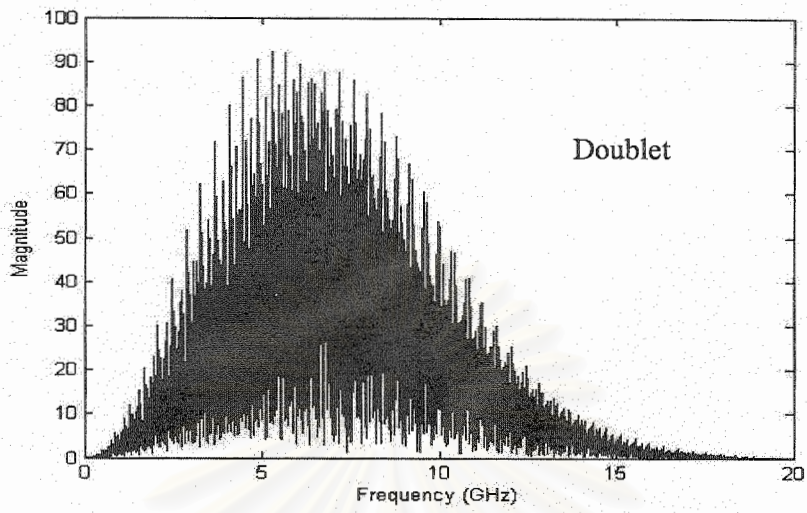


รูปที่ 3.22 ค่า BER ของระบบที่ใช้ค่า Addshift ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า SNR

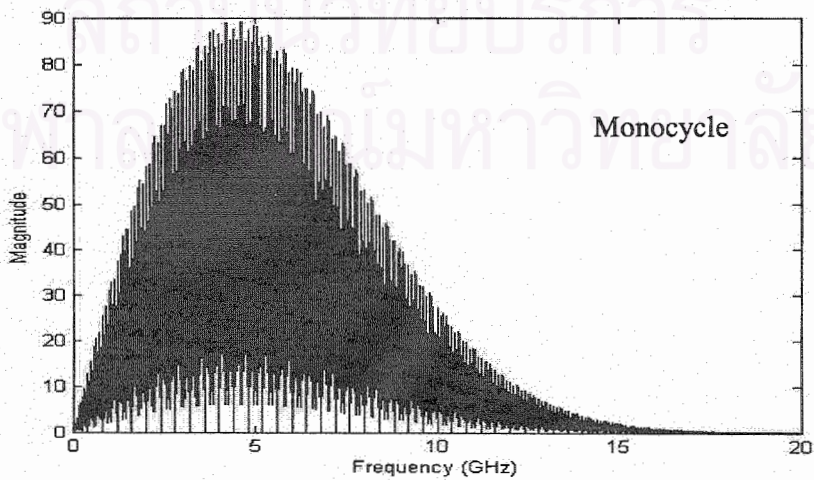
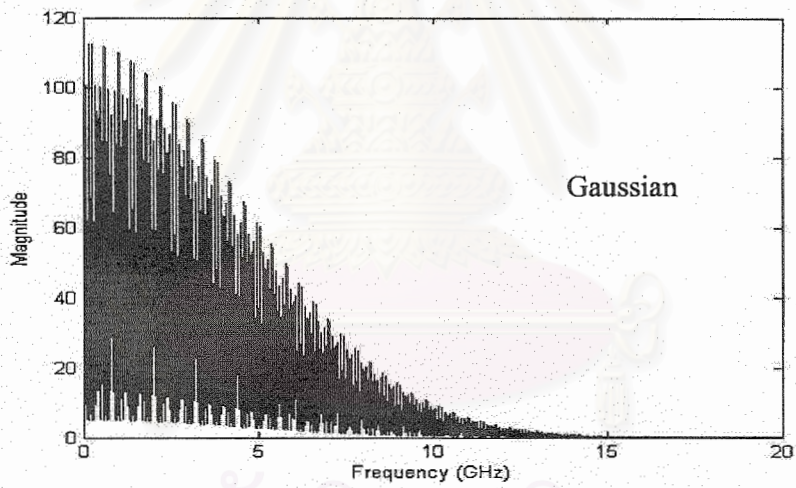
สเปกตรัมของสัญญาณ

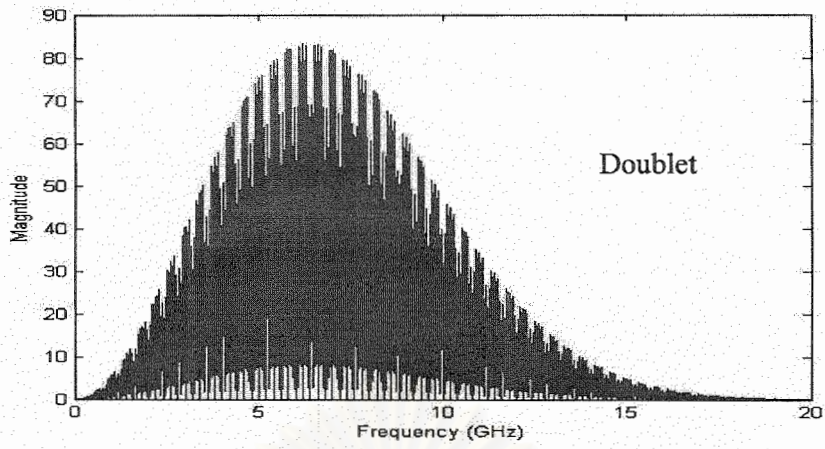
เนื่องจากในระบบการสื่อสารแบบ Impulse Based UWB มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ แถบความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีขนาดกว้างมากจึงจำเป็นต้องพิจารณารูปแบบของสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้ให้มิลักษณะที่เหมาะสม คือ ไม่เกิดลักษณะของ line peak มากนัก อันจะเป็นผลให้ระบบ UWB ไปรบกวนกับระบบสื่อสารเดิมที่มีอยู่เดิม ในโครงการนี้จึงมีการพิจารณาสเปกตรัมของสัญญาณโดยผ่านโปรแกรม MATLAB



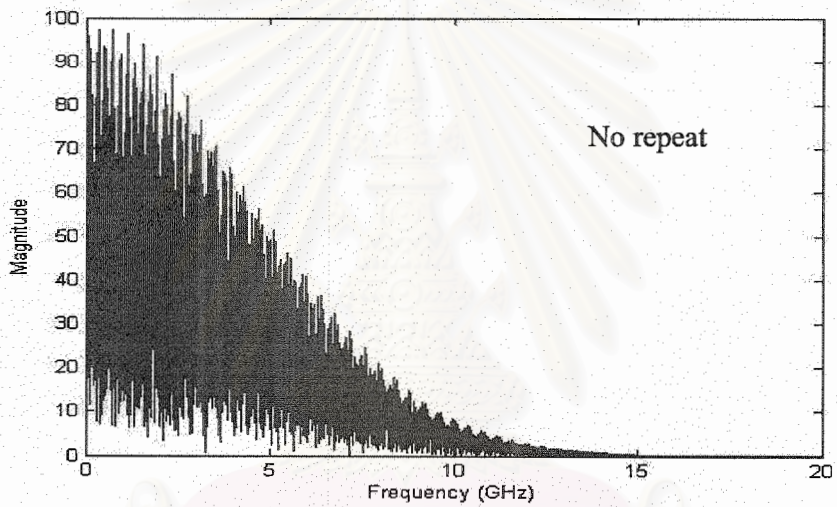


รูปที่ 3.23 สเปกตรัมของพัลส์ชนิดต่างๆ เมื่อมีการใส่ค่า Additional Shift = 0.1



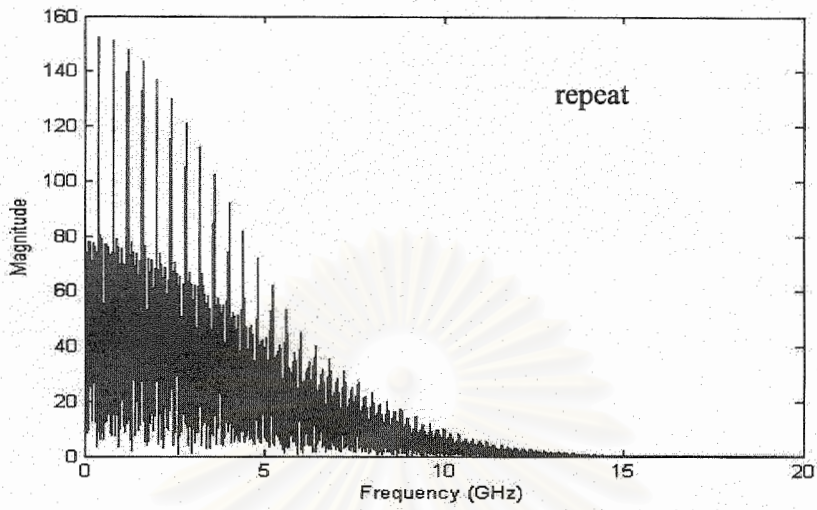


รูปที่ 3.24 สเปกตรัมของพัลส์ชนิดต่างๆ เมื่อไม่มีการใส่ค่า Additional Shift

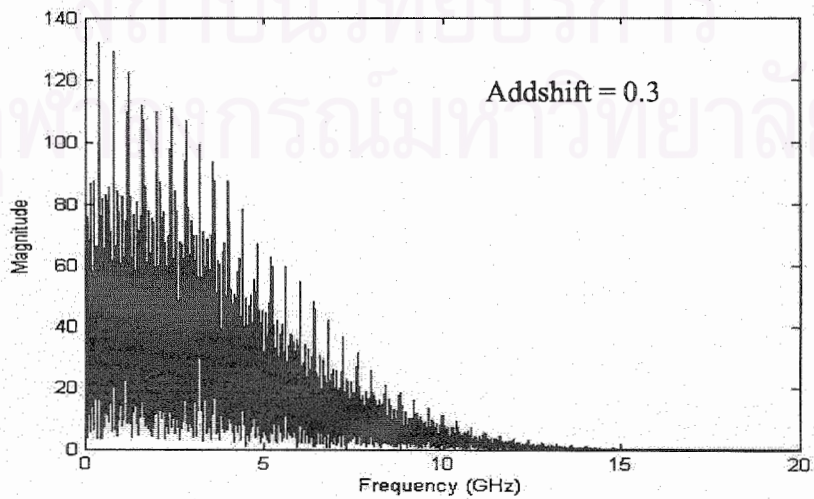
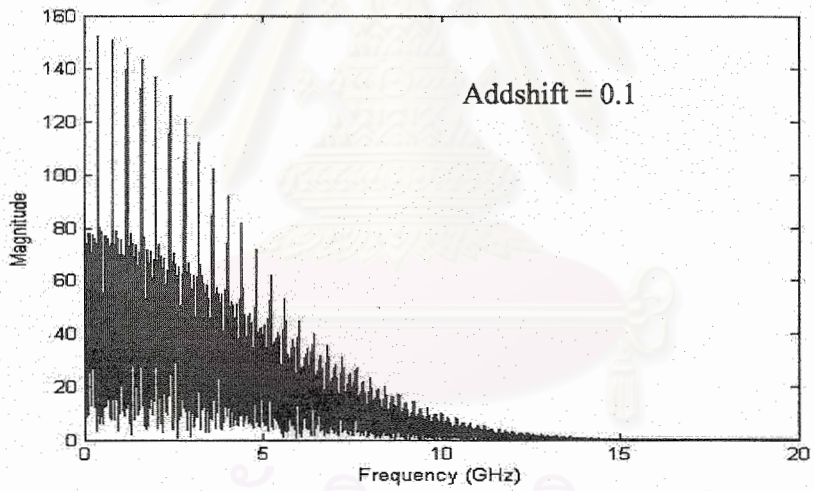


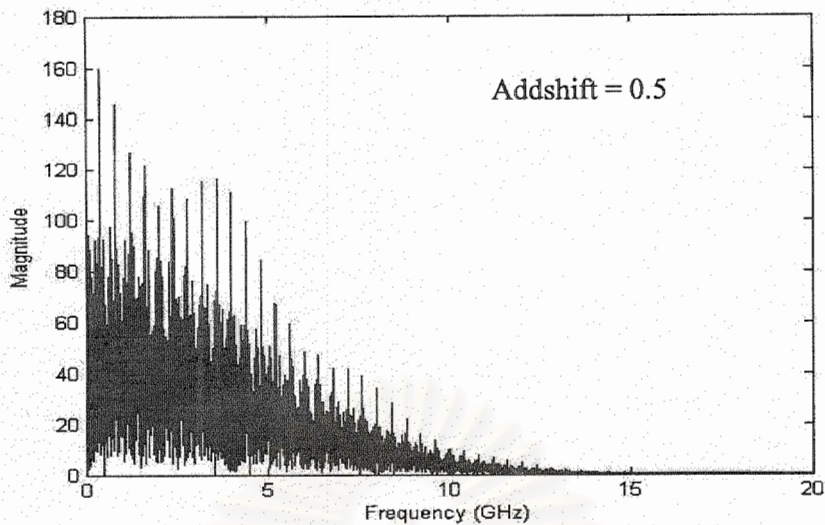
รูปที่ 3.25 สเปกตรัมสัญญาณ เมื่อไม่มีการส่งซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.26 สเปกตรัมสัญญาณ เมื่อมีการส่งซ้ำ





รูปที่ 3.27 สเปกตรัมสัญญาณ เมื่อใช้ค่า Addshift เป็น 0.1, 0.3 และ 0.5 เท่าของความกว้างของพัลส์ จากการจำลองระบบกรณีทีภาครับและภาคส่ง Synchronous เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของสัญญาณจะพบว่า ไม่ว่ารูปคลื่นนั้นจะเป็นชนิดใด ก็ให้ค่า Magnitude ที่ใกล้เคียงกัน แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าความถี่กลางที่เกิดขึ้นของรูปคลื่นแต่ละชนิดนั้น เกิดขึ้นที่คนละความถี่กัน เช่น Gaussian pulse จะให้สเปกตรัมที่มีความถี่กลางประมาณ 1 GHz และ Monocycle และ Doublet นั้นจะมีความถี่กลางที่ประมาณ 4 และ 7 GHz ตามลำดับ และสำหรับระบบที่มี Addshift นั้นจะเห็นได้ชัดเจนว่าจะมี peak line เกิดขึ้นน้อยกว่า รวมทั้งการเปรียบเทียบรูปคลื่นที่ใช้ในแต่ละชนิดในแต่ละรูปด้วยเช่นกัน

สำหรับในรูปที่ 3.20 นั้นเป็นการเปรียบเทียบสถานการณ์ที่มีการชนกันของสัญญาณที่ส่งออกมาจากผู้ใช้ที่ต่างกัน ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นได้อย่างชัดเจนยิ่งว่า การชนกันนั้น มีผลกระทบอย่างมากต่อค่า BER ดังนั้น การชนกันของสัญญาณจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งปัจจัยหนึ่งในการรับส่งข้อมูล

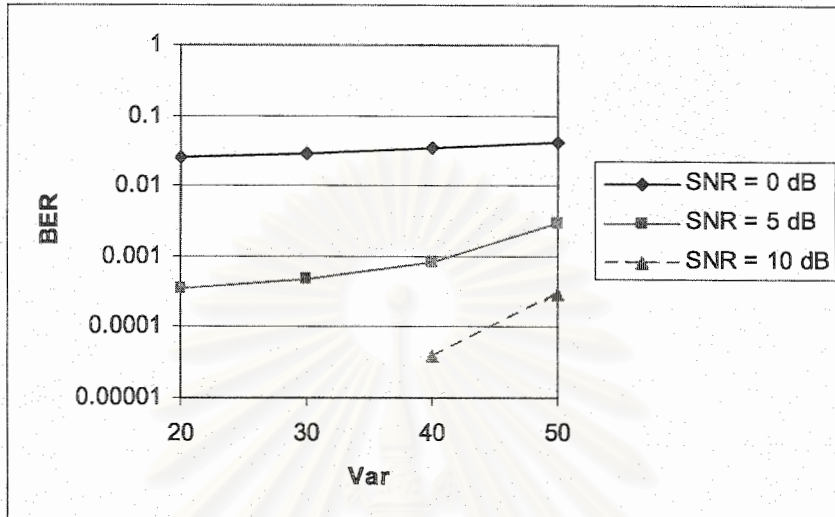
การเพิ่ม Repeating นั้นไม่ให้สเปกตรัมของสัญญาณเกิด line peak มากขึ้นจาก 100 เป็น 160 ดังนั้น การทำ Repeating จะต้องคำนึงถึงเรื่อง line peak ด้วย

สำหรับกรณีที่ใช้ค่า Addshift ต่างๆ กัน ซึ่งเป็นการจำลองระบบในรูปที่ 3.22 นั้น จะเห็นว่าค่า BER ในการเปลี่ยนขนาดของ Addshift นั้นไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของสัญญาณจะเห็นว่า ขนาด Addshift = 0.3 จะทำให้สเปกตรัมมีความราบเรียบที่สุด ดังนั้น ไม่จำเป็นที่ค่า Addshift น้อยๆ จึงจะมีผลดี

3.4.2.2. กรณีที่ Template มีการเลื่อนทางเวลา

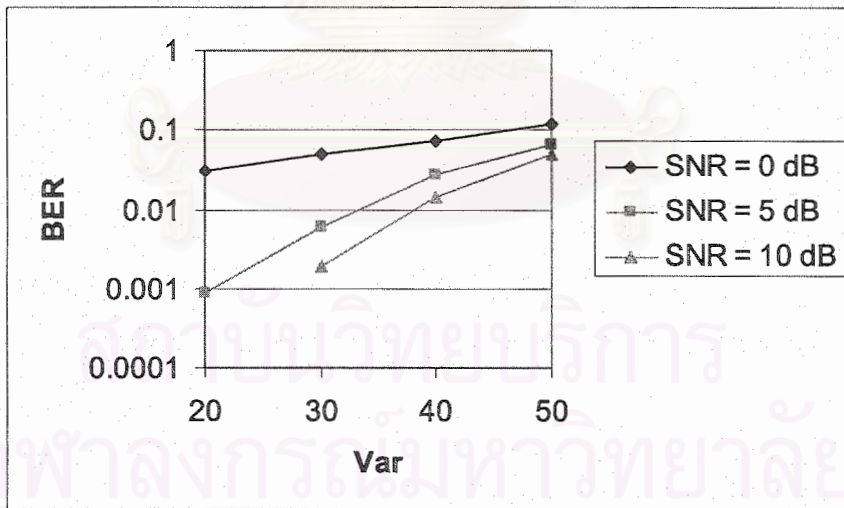
ในส่วนนี้จะใช้ Additional Shift (γ) = 0.2 * ความกว้างของพัลส์, Offset Time (δ) = ความกว้างของพัลส์, มีการส่งซ้ำ 3 ครั้ง (Repeating = 3), PN code แบบ Non-Collision และ ค่า Var ที่แสดงถึงความคลาดเคลื่อนของเวลาที่ภาครับกับภาคส่งในกราฟ 20 sample เท่ากับ 10 ps ,30 sample เท่ากับ 15 ps ,40 sample เท่ากับ 20 ps และ 50 sample เท่ากับ 25 ps

1. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Gaussian



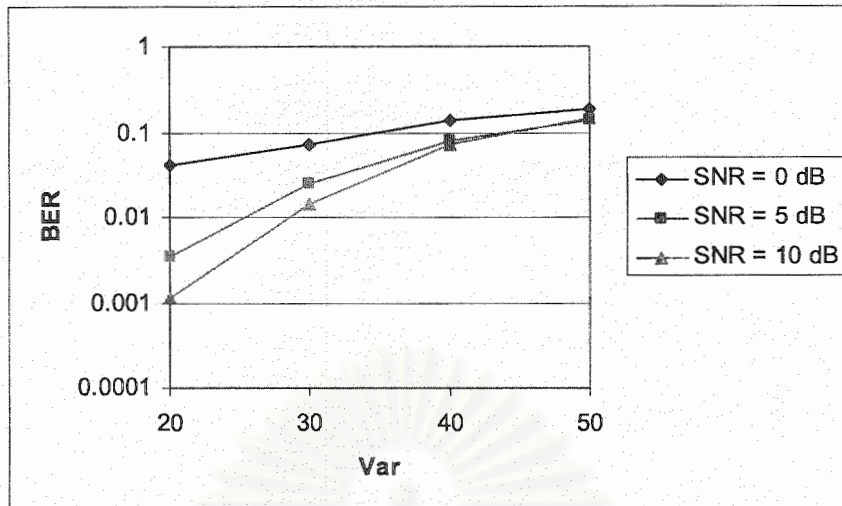
รูปที่ 3.28 ค่า BER ของระบบที่ใช้ค่า SNR ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า Var

2. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Monocycle



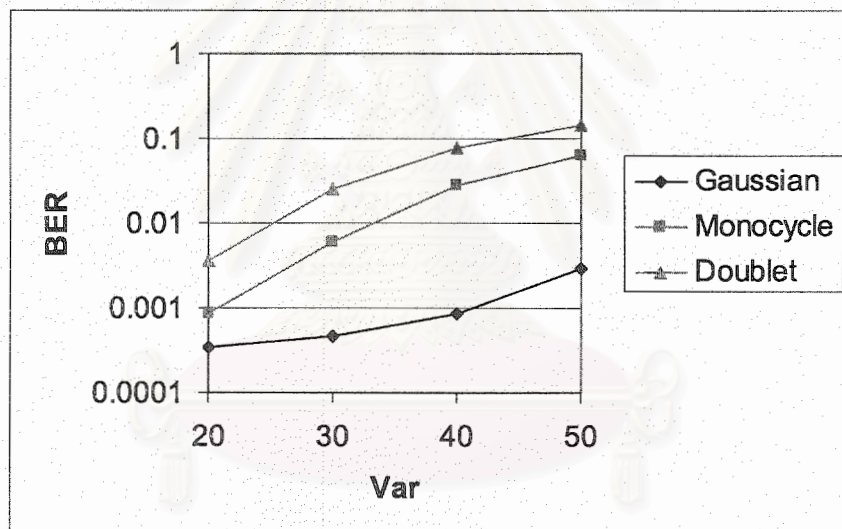
รูปที่ 3.29 ค่า BER ของระบบที่ใช้ค่า SNR ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า Var

3. การจำลองระบบกรณี มีการใช้พัลส์ชนิด Doublet



รูปที่ 3.30 ค่า BER ของระบบที่ใช้ค่า SNR ที่แตกต่างกันที่แต่ละค่า Var

4. การจำลองระบบกรณี มีค่า SNR = 5 dB พิจารณาผลของรูปพัลส์ที่ต่างกันที่ค่า Var ค่าต่างๆ



รูปที่ 3.31 ค่า BER ของระบบที่ใช้ชนิดพัลส์ที่ต่างกันที่แต่ละค่า Var

จากการจำลองระบบกรณีที่มีภาครับและภาคส่งไม่ Synchronous พบว่า ที่ค่า SNR ใดๆ เมื่อเกิดการคลาดเคลื่อนของจังหวะการรับส่งกันมากขึ้น (ค่า Var สูงขึ้นนั่นเอง) มีผลทำให้ค่า BER ของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นได้ชัดที่ค่า SNR = 10 dB ในทุกรูปคลื่น จะเห็นว่าค่า Var นั้นเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบระบบ