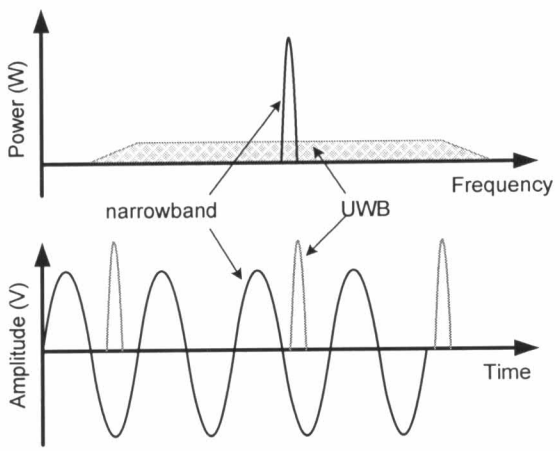
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของการสื่อสารแบบ UWB คุณลักษณะของช่องสัญญาณ รวมทั้งมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสื่อสารแบบ UWB ด้วยสัญญาณอิมพัลส์

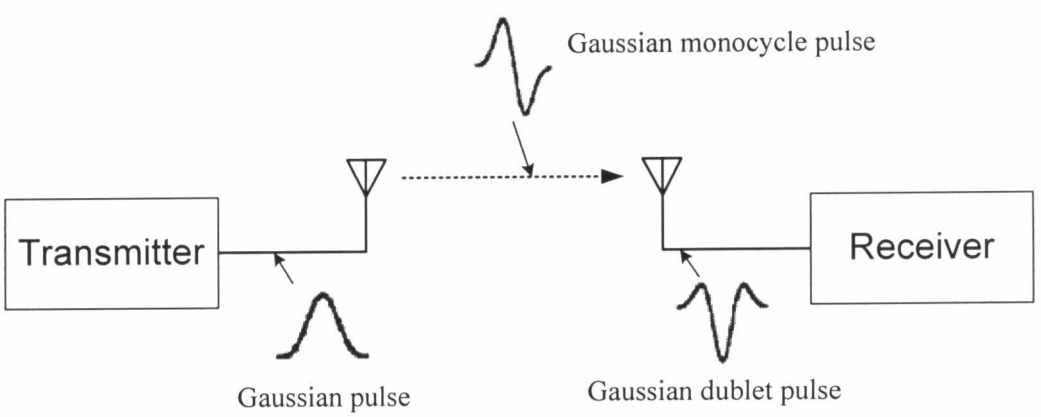
ข้อแตกต่างระหว่างการสื่อสารที่ใช้สัญญาณ UWB กับการสื่อสารที่ใช้สัญญาณแบนด์วิดท์แคบ (narrow band) ซึ่งเป็นที่คุ้นเคยและใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบสื่อสารทั่วๆ ไป ได้แก่ คุณสมบัติของคลื่นพาห์ที่ใช้ในการส่งข้อมูล โดยสัญญาณคลื่นพาห์ของการสื่อสารแบบแบนด์วิดท์แคบจะมีลักษณะเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องและมีแบนด์วิดท์แคบดังรูปที่ 2.1 ส่วนสัญญาณคลื่นพาห์ของการสื่อสารแบบ UWB นั้นจะมีลักษณะเป็นพัลส์แคบที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งบางครั้งจะถูกเรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ โดยช่วงสเปกตรัมของสัญญาณอิมพัลส์นั้นจะกว้างมาก อย่างไรก็ตามการสื่อสารแบบที่ใช้สัญญาณอิมพัลส์นั้นจะส่งสัญญาณที่มีกำลังต่ำมากซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดขององค์กร FCC โดยจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป



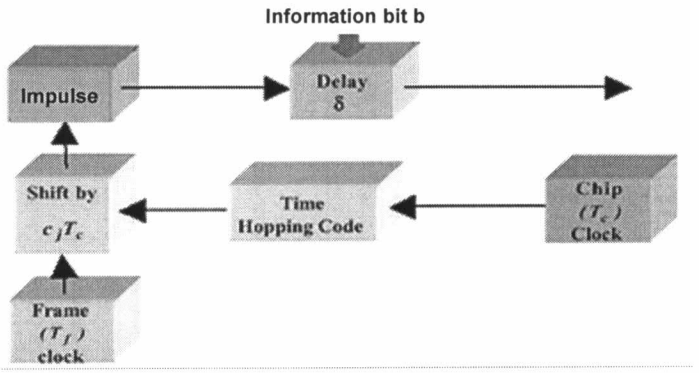
รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบสัญญาณและสเปกตรัมระหว่างการสื่อสารแบบ UWB กับการสื่อสารแบบแบนด์วิดท์แคบ

สัญญาณอิมพัลส์นั้นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในกิจการทางด้านการทหารมาก่อน โดยองค์กร DARPA [10] ได้ให้คำนิยามของสัญญาณอิมพัลส์สำหรับ UWB ว่าเป็นสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์อย่างน้อย 1.5 GHz เมื่อคิดจากจุดตัดที่ -20 dB ของความถี่สูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณ ซึ่งการประยุกต์ใช้งานสัญญาณอิมพัลส์ในช่วงแรกถูกนำไปใช้ในระบบเรดาร์ร่วมกับการใช้ DSP เพื่อตรวจหาวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตที่ถูกปิดบังอยู่ [11] เช่น การตรวจหารถถังหรือทหารที่หลบอยู่ในป่าหรือการสร้างภาพบุคคลที่หลบอยู่หลังกำแพง

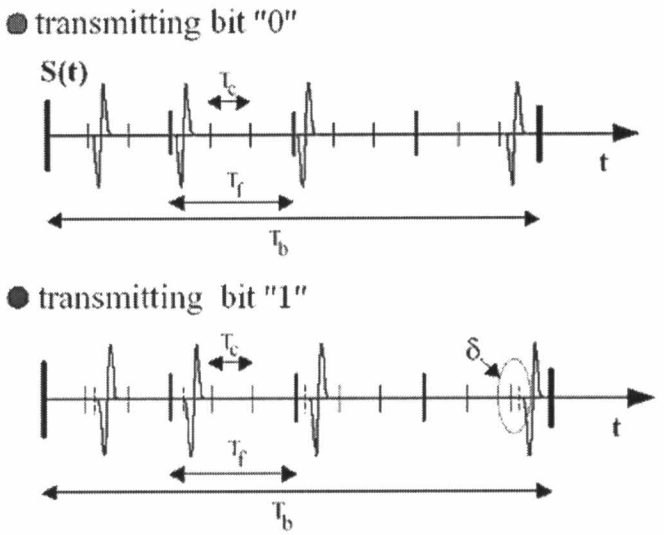
ต่อมา M. Z. Win และ R. A. Scholtz [3] ได้เสนอแบบจำลองของการสื่อสารโดยใช้สัญญาณอิมพัลส์ ซึ่งจะเรียกว่าเครื่องส่งแบบ TH-PPM UWB สำหรับการส่งข้อมูลที่มีอัตราการส่ง 19.2 kbps ผ่านช่องสัญญาณ AWGN ในระยะใกล้ สัญญาณที่ใช้นั้นจะมีลักษณะเป็นสัญญาณอิมพัลส์ โดยกำหนดให้สัญญาณอิมพัลส์ที่ป้อนให้กับสายอากาศส่งนั้นเป็นสัญญาณพัลส์เกาส์ (Gaussian pulse signal) และกำหนดให้สายอากาศส่งมีคุณสมบัติการทรานส์ฟอร์มที่สมบูรณ์แบบ ทำให้สัญญาณอิมพัลส์ที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่ง ซึ่งจะเดินทางในอากาศนั้นเป็นสัญญาณเกาส์โมโนไซเคิ้ล (Gaussian monocycle signal) และเป็นอนุพันธ์อันดับที่ 1 (1st order derivative) ของสัญญาณพัลส์เกาส์ โดยที่สายอากาศรับของเครื่องรับก็ถูกสมมติให้มีคุณสมบัติของการทรานส์ฟอร์มที่สมบูรณ์แบบเช่นเดียวกัน ทำให้สัญญาณอิมพัลส์ที่ได้จากสายอากาศรับเป็นสัญญาณเกาส์ดับเล็ต (Gaussian dublet signal) ซึ่งเป็นอนุพันธ์อันดับที่ 2 (2nd order derivative) ของสัญญาณพัลส์เกาส์นั่นเอง สัญญาณเกาส์แบบต่างๆ และลักษณะการเกิดสัญญาณเกาส์แบบต่างๆ ที่กล่าวไปแสดงตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเกิดสัญญาณพัลส์เกาส์แบบต่างๆ



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 (ก)โครงสร้างของเครื่องส่งแบบ TH-PPM UWB
(ข) ตัวอย่างสัญญาณที่ส่งออกมาจากเครื่องส่งของการสื่อสารแบบ TH-PPM UWB

เครื่องส่งสัญญาณนั้นจะใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณพัลส์เกาส์แบบ PPM ซึ่งจะตำแหน่งของสัญญาณพัลส์เกาส์นั้นจะใช้แทนค่าของข้อมูลที่ถูกส่ง ในการทำ MA สำหรับระบบผู้ใช้งานหลายคนจะใช้การแผ่สเปกตรัมด้วยวิธี TH โดยข้อมูลหนึ่งบิตนั้นจะใช้สัญญาณอิมพัลส์จำนวน N_s อิมพัลส์ สัญญาณอิมพัลส์แต่ละสัญญาณจะถูกจัดวางไว้ในเฟรม ซึ่งมีระยะเวลาเท่ากับ T_f วินาที และในแต่ละเฟรมถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ที่เรียกว่าชิป (chip) จำนวน N_h ชิป ซึ่งแต่ละชิปนั้นจะมีระยะเวลาเท่ากับ T_c วินาที โดยใช้รหัส PN เป็นตัวกำหนดลำดับของชิปที่ใช้ส่งสัญญาณอิมพัลส์ในแต่ละเฟรม รหัส PN นี้เป็นรหัสที่รู้กันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ สำหรับค่าของบิตข้อมูลที่ถูกส่งออกไปนั้นจะใช้การมอดูเลตแบบ PPM เป็นตัวกำหนดตำแหน่งที่เลื่อนไปของ

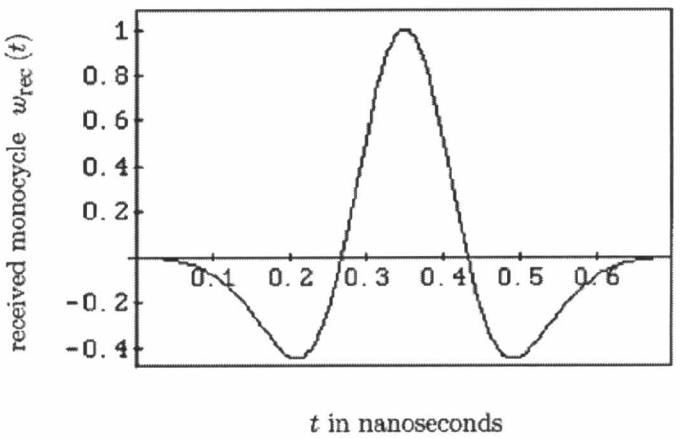
สัญญาณอิมพัลส์ที่อยู่ในแต่ละชิป รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของการส่งบิตข้อมูลที่มีค่าเป็น "0" และ "1" โดยมีจำนวนสัญญาณอิมพัลส์ $N_s = 4$ และจำนวนชิป $N_h = 4$ ชิป ซึ่งบิตข้อมูลที่มีค่าเป็น "0" นั้นจะส่งสัญญาณอิมพัลส์ที่ตำแหน่งจุดเริ่มต้นของชิป ส่วนบิตข้อมูลที่มีค่าเป็น "1" นั้นจะส่งสัญญาณอิมพัลส์ที่มีตำแหน่งเลื่อนห่างจากจุดเริ่มต้นของชิปเป็นระยะเวลา δ วินาที ดังนั้น

$$T_c \geq T_p + \delta \tag{2-1}$$

เมื่อ T_p คือคาบเวลาของสัญญาณอิมพัลส์ กำหนดให้ T_b คือคาบเวลาของบิตข้อมูลขนาด 1 บิต เพราะฉะนั้นสัญญาณที่ส่งออกมาจากเครื่องส่งระหว่าง $0 \leq t \leq T_b$ มีค่าเท่ากับ

$$s(t) = \sum_{j=0}^{N_s-1} g(t - jT_f - c_j T_c - \delta b) \tag{2-2}$$

เมื่อ $g(t)$ คือฟังก์ชันของสัญญาณเกาส์โมโนไซเคิ้ล, c คือลำดับการหน่วงเวลาที่เกิดจากรหัสการแผ่สเปกตรัมแบบ TH และ b คือค่าของบิตข้อมูล สัญญาณอิมพัลส์ที่รับได้จากสายอากาศรับนั้นเป็นสัญญาณเกาส์ดับเล็ตตามรูปที่ 2.4 ซึ่งคาบเวลาของสัญญาณเกาส์ดับเล็ตจะมีค่าประมาณ 0.7 ns กำหนดให้เครื่องรับสัญญาณเป็นแบบโคฮีเรนต์ดีเทคชั่น และรู้คุณลักษณะของสัญญาณอิมพัลส์ (สัญญาณพัลส์เกาส์ดับเล็ต) ที่รับได้ทุกประการ ดังนั้นสัญญาณที่เอาต์พุตของสายอากาศของเครื่องรับจะมีค่าดังนี้



รูปที่ 2.4 สัญญาณเอาต์พุตของเสาอากาศรับจากเครื่องรับสัญญาณ
สำหรับการสื่อสารแบบ TH-PPM UWB

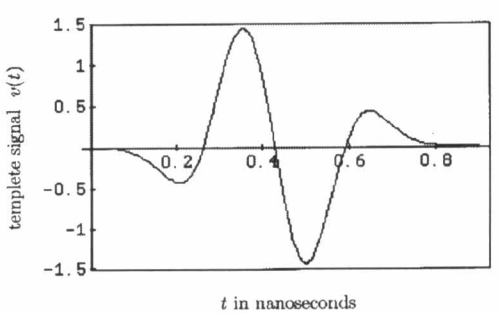
$$s_{rec}(t) = \sum_{j=0}^{N_s-1} w_{rec}(t - \tau_1 - jT_f - c_j T_c - \delta b) + n(t) \qquad (2\text{-}3)$$

เมื่อ $w_{rec}(t)$ คือสัญญาณเกาส์ดับเล็ต, τ_1 คือตัวแปรสุ่มของคาบเวลาการซิงโครไนซ์ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ ซึ่งเกิดจากการหน่วงเวลาของสัญญาณที่ใช้ในการเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับนั่นเอง และ $n(t)$ คือสัญญาณรบกวน AWGN การตรวจวัดข้อมูลที่รับได้ของเครื่องรับนั้นจะใช้สัญญาณเทมเพลต (template signal) ตามรูปที่ 2.5 เป็นสัญญาณท้องถิ่นของเครื่องรับในการหาสหสัมพันธ์กับสัญญาณที่รับได้ สัญญาณเทมเพลตนี้สามารถหาได้ดังนี้

$$v(t) = w_{rec}(t) - w_{rec}(t - \delta) \qquad (2\text{-}4)$$

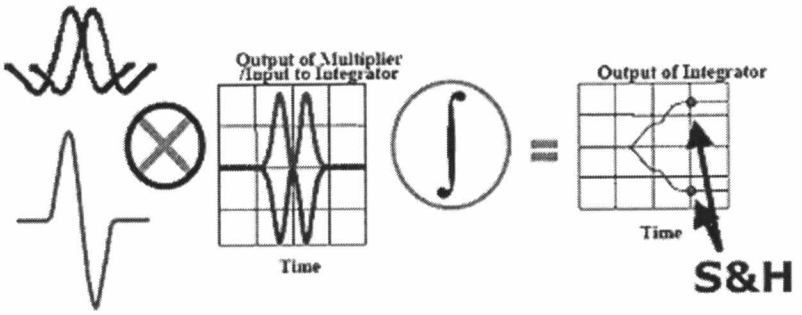
การสร้างสัญญาณเกาส์ดับเลต $w_{rec}(t)$ ที่เครื่องรับนั้นจะใช้สัญญาณพัลส์เกาส์ ซึ่งสร้างด้วยวงจรสร้างสัญญาณอิมพัลส์ สัญญาณพัลส์เกาส์นี้จะมีคาบเวลาของสัญญาณเท่ากับคาบเวลาของสัญญาณพัลส์เกาส์ของเครื่องส่ง แล้วจึงนำสัญญาณพัลส์เกาส์นี้ไปผ่านวงจรกรองสัญญาณ ซึ่งมีคุณสมบัติในการหาอนุพันธ์อันดับที่ 2 ทำให้ได้สัญญาณเกาส์ดับเล็ต แล้วจึงนำมาสร้างสัญญาณเทมเพลตตามสมการที่ (2-4) ซึ่งการสร้างสัญญาณพัลส์เกาส์แบบต่างๆ ศึกษาได้จาก [12] และ [13]

(ก)



(ข)

รูปที่ 2.5 (ก) วิธีการสร้างสัญญาณเทมเพลตของเครื่องรับแบบ TH-PPM UWB
(ข) สัญญาณเทมเพลตที่ใช้ในเครื่องรับแบบ TH-PPM UWB



รูปที่ 2.6 การตรวจวัดสัญญาณที่รับได้ของเครื่องรับสัญญาณแบบคอร์รีเลเตอร์
สำหรับการสื่อสารแบบ TH-PPM UWB

อย่างไรก็ตามสัญญาณเทมเพลตนี้จะถูกแผ่ด้วยรหัสการแผ่เดียวกันกับที่เครื่องส่งใช้ แล้วจึงนำไปหาสหสัมพันธ์กับสัญญาณที่รับได้ โดยใช้เครื่องรับแบบคอรีเลเตอร์ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานตามรูปที่ 2.6 สัญญาณที่ได้จากอินทรีเกรเตอร์จะถูกสุ่มและคงค่า (sample and hold : S&H) ก่อนนำไปตัดสินบิตข้อมูลที่รับได้ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2-5) ดังนี้

$$\text{"decide } d_0^{(1)} = 0\text{"} \Leftrightarrow \underbrace{\sum_{j=0}^{N_s-1} \overbrace{\int_{\tau_1+jT_f}^{\tau_1+(j+1)T_f} s_{rec}(t)v(t-\tau_1-jT_f-c_j^{(1)}T_c dt}^{\text{pulse correlator output}} > 0}_{\text{test statitic}} \qquad (2\text{-}5)$$

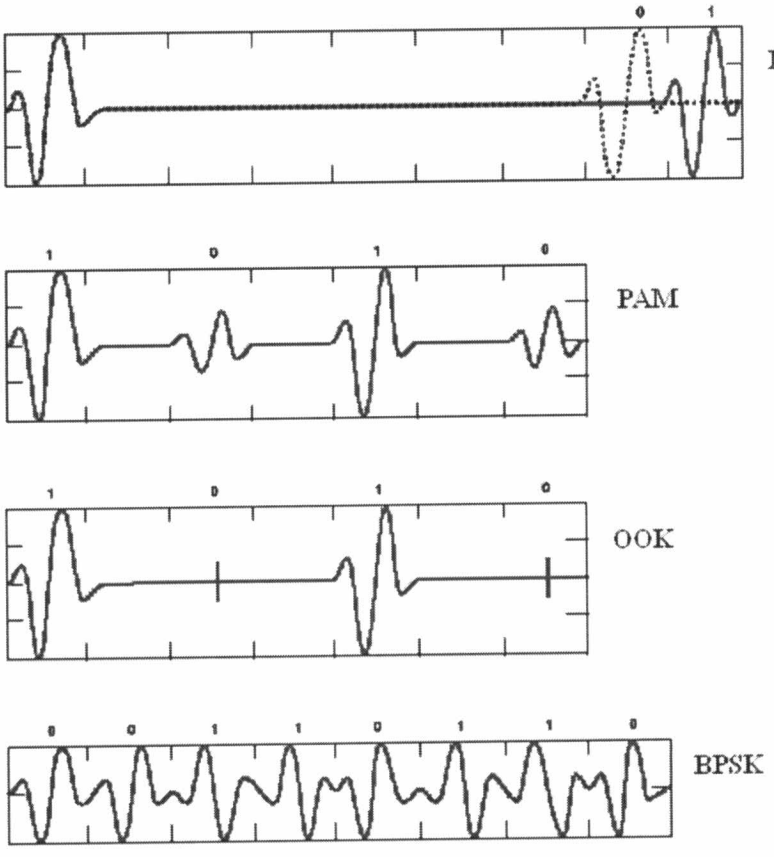
ตารางที่ 2.1 ผลการศึกษาการสื่อสารแบบ TH-PPM UWB ผ่านช่องสัญญาณ AWGN

Parameters		Values
K_{max} เมื่อ R_b = 19.2 kbps	BER = 10^{-3}	27488
	BER = 10^{-4}	19017
	BER = 10^{-5}	14426
R_{max} เมื่อ K = 49 คน	BER = 10^{-3}	9.1 Mbps
	BER = 10^{-4}	6.29 Mbps
	BER = 10^{-5}	4.77 Mbps

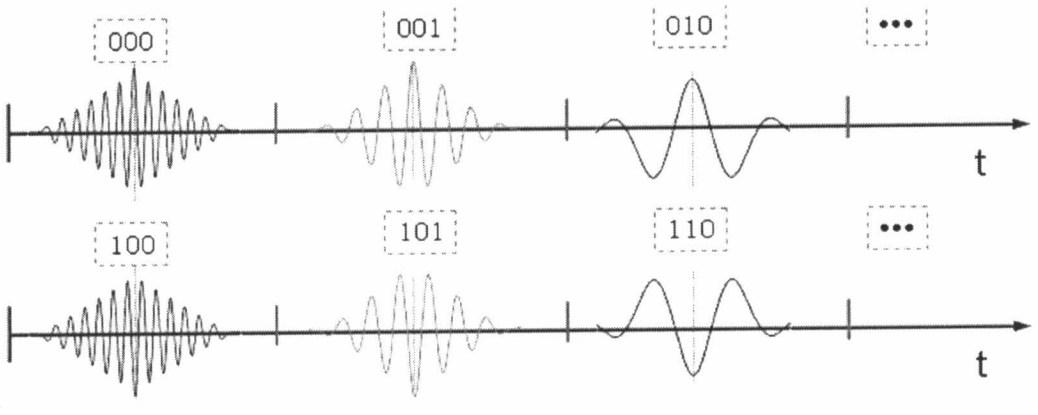
ผลการศึกษาจากแบบจำลองของการสื่อสารแบบ TH-PPM UWB ผ่านช่องสัญญาณ AWGN โดย M. Z. Win และ R. A. Scholtz [3] นั้นเป็นไปตามตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าการสื่อสารแบบ TH-PPM UWB นั้นสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากสุด (K_{max}) ถึง 27488 คนพร้อมกัน ที่อัตราการส่งข้อมูลที่ 19.2 kbps และมี BER = 10^{-3} หรือถ้ามีผู้ใช้งาน 49 คน ก็สามารถส่งข้อมูลได้ที่อัตราสูงสุด (R_{max}) ได้ถึง 9.1 Mbps ที่ BER = 10^{-3}

นอกจากการมอดูเลตสัญญาณอิมพัลส์แบบ PPM แล้วยังมีผู้เสนอการสื่อสารแบบ UWB ที่ใช้สัญญาณอิมพัลส์ที่มีวิธีการมอดูเลตแบบต่างๆ [5]-[9] ดังรูปที่ 2.7 เช่นการมอดูเลตแบบ PAM ซึ่งจะแทนข้อมูลด้วยขนาดของสัญญาณอิมพัลส์, การมอดูเลตแบบ OOK ซึ่งจะแทนข้อมูลด้วยการมีหรือไม่มีสัญญาณอิมพัลส์ และการมอดูเลตแบบ BPSK ซึ่งจะใช้เฟสของสัญญาณอิมพัลส์แทนค่าของข้อมูล อย่างไรก็ตามการสื่อสารแบบ UWB ที่ใช้สัญญาณอิมพัลส์นั้นยังมีปัญหาในการทำให้สเปกตรัมของสัญญาณอิมพัลส์เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้มีผู้ศึกษาหาอนุพันธ์ของสัญญาณเกาส์ที่ลำดับต่างๆ เพื่อสร้างสัญญาณอิมพัลส์ให้ได้ตามข้อกำหนดของ FCC แต่การสร้างสัญญาณอนุพันธ์ลำดับสูงๆ ของสัญญาณเกาส์ในทางปฏิบัตินั้นจำเป็นต้องใช้วงจรหาอนุพันธ์หรือวงจรกรองสัญญาณช่วย [12] นอกจากนี้ได้มีผู้เสนอให้ใช้สัญญาณพัลส์ที่มีการแต่งรูปร่าง (shaping) แบบต่างๆ เพื่อสร้างสัญญาณอิมพัลส์ที่สามารถกำหนดคุณลักษณะของสเปกตรัมของสัญญาณได้ง่ายและมีการใช้งานสเปกตรัมที่มีประสิทธิภาพกว่า [14] ซึ่งเรียกว่าการมอดูเลตแบบ soft spectrum โดยจะแทนลำดับของข้อมูลหนึ่งๆ ด้วยสัญญาณอิมพัลส์ที่ความถี่และเฟสต่างๆ ดังรูปที่ 2.8

นอกจากนี้ยังมีผู้เสนอการมอดูเลตสัญญาณอิมพัลส์สำหรับการสื่อสารแบบ UWB ด้วยวิธีการส่งสัญญาณอ้างอิงไปก่อน แล้วจึงมอดูเลตสัญญาณอิมพัลส์ด้วยค่าผลต่างของเฟสระหว่างสัญญาณอิมพัลส์ก่อนหน้ากับสัญญาณอิมพัลส์ปัจจุบัน โดยเครื่องส่งจะส่งสัญญาณอิมพัลส์อ้างอิงซึ่งเครื่องรับสัญญาณจะรู้เฟสของสัญญาณอิมพัลส์อ้างอิงนี้แน่นอน จากนั้นบิตข้อมูลในลำดับที่ 1 จะถูกนำมาใช้กำหนดค่าผลต่างของเฟสระหว่างสัญญาณอิมพัลส์ที่จะส่งถัดไปกับสัญญาณอิมพัลส์อ้างอิงก่อนหน้านี้ และในกรณีที่เป็นบิตข้อมูลลำดับอื่นๆ ถัดไปนั้น จะใช้ผลต่างของเฟสระหว่างสัญญาณอิมพัลส์ปัจจุบันกับสัญญาณอิมพัลส์ของบิตข้อมูลก่อนหน้า ซึ่งจะเรียกวิธีการสื่อสารแบบ UWB นี้ว่าการสื่อสารแบบ UWB Transmitted Reference [15]



รูปที่ 2.7 การมอดูเลตสัญญาณอิมพัลส์แบบต่างๆ



รูปที่ 2.8 การมอดูเลตแบบ soft spectrum ด้วยสัญญาณอิมพัลส์
ที่มีการแต่งรูปร่างด้วยสัญญาณสามเหลี่ยม

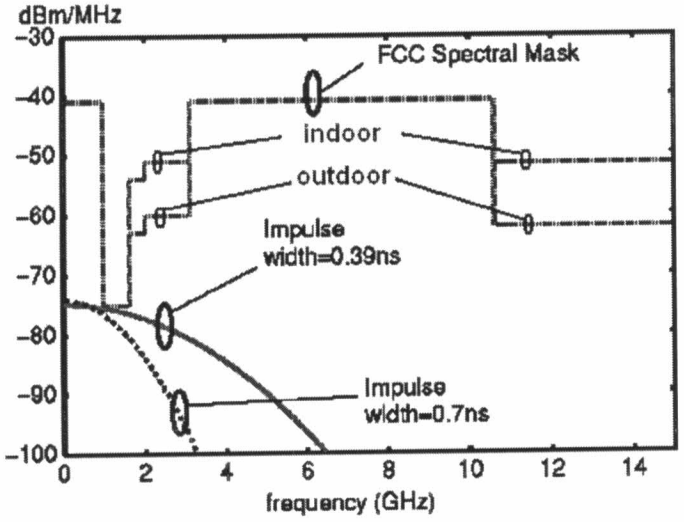
2.2 ข้อกำหนดสเปกตรัมกำลังของสัญญาณ UWB โดย FCC

เริ่มแรก DAPRA ได้ให้คำนิยามของสัญญาณ UWB [10] สำหรับใช้ในกิจการทางทหารว่าเป็นสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์ไม่น้อยกว่า 1.5 GHz เมื่อคิดจากจุดตัดที่ -20 dB ของความถี่สูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณ อย่างไรก็ตามได้มีการพัฒนานำสัญญาณ UWB ไปใช้ในการสื่อสารเพื่อการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย การรับส่งข้อมูลด้วยการสื่อสารที่ใช้สัญญาณ UWB นี้จะใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ทำให้พลังงานของสัญญาณที่เกิดจากการสื่อสารแบบ UWB อาจไปรบกวนระบบสื่อสารแบบอื่นๆ ได้ โดยเฉพาะระบบระบุพิกัดด้วยดาวเทียม GPS ดังนั้นองค์กร FCC ซึ่งควบคุมอัตราการแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ได้กำหนดค่าความเข้มและแถบสเปกตรัมที่การสื่อสารแบบ UWB สามารถใช้งานได้ [4] โดยกำหนดว่าสัญญาณ UWB สำหรับการสื่อสารนั้นจะต้องมีแบนด์วิดท์ไม่น้อยกว่า 500 MHz หรือมี fractional bandwidth มากกว่า 0.2 ดังนี้

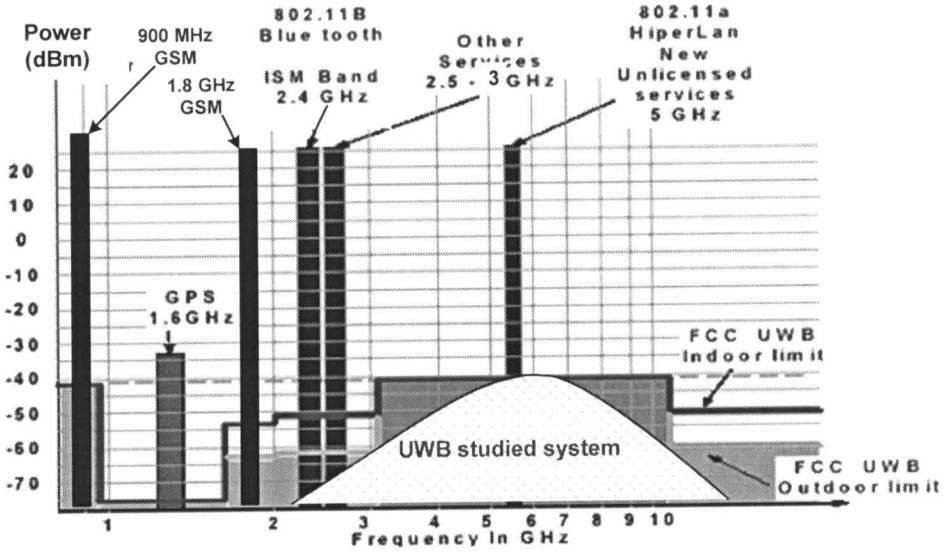
$$2B_f = 2(f_H - f_L)/(f_H + f_L) > 0.2 \quad \text{or} \quad 2B_f > 500\ \text{MHz} \tag{2-6}$$

เมื่อ B_f คือ one-sided fractional bandwidth, f_H และ f_L คือความถี่ตัดด้านบน (upper cutoff frequency) และความถี่ตัดด้านล่าง (lower cutoff frequency) ที่มีขนาดที่ -10dB ตามลำดับ โดยปกติแล้วแบนด์วิดท์ของสัญญาณใดๆ จะหมายถึงช่วงสเปกตรัมของสัญญาณที่มีพลังงานรวมกันมากกว่า 90% หรือสัญญาณที่มีช่วงสเปกตรัมตั้งแต่ความถี่ตัดด้านล่างถึงความถี่ด้านบนที่มีขนาด -3 dB ส่วน fractional bandwidth คืออัตราส่วนระหว่างพลังงานของสัญญาณหรือแบนด์วิดท์ของสัญญาณ $(f_H - f_L)$ ต่อความถี่กึ่งกลางของสัญญาณ $(f_H + f_L)/2$

นอกจากนี้ทาง FCC ยังกำหนดให้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่ใช้สัญญาณ UWB สามารถแผ่กระจายสัญญาณ UWB ได้ 2 ช่วงความถี่ แบ่งเป็นความถี่ช่วงล่างตั้งแต่ 0 ถึง 900 MHz และความถี่ช่วงบนตั้ง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งค่าความเข้มของพลังงานสูงสุดที่สัญญาณ UWB สามารถแผ่กระจายออกมาได้นั้นจะมีค่าไม่เกิน -41.3 dBm/MHz ตามรูปที่ 2.9 ความถี่ช่วงล่างนั้นได้ถูกนำไปใช้ในกิจการทางทหารมานานแล้ว รวมทั้งถูกพัฒนาใช้กับการสื่อสารแบบ UWB ที่มีอัตราการส่งข้อมูลไม่สูงมาก สำหรับความถี่ช่วงบนนั้นยังแบ่งเป็นการใช้งานแบบภายใน (indoor) และภายนอก (outdoor) อาคารอีกด้วย ซึ่งสถาบัน IEEE ได้พยายามจัดทำร่างมาตรฐานการสื่อสารแบบ UWB สำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย WPAN ที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงถึงสูงมาก ที่ใช้ช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 ถึง 10.6 GHz นี้ อย่างไรก็ตามการสร้างสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์กว้างมากนั้นจะต้องใช้สัญญาณที่มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณอิมพัลส์ที่มีคาบเวลาสั้นมากๆ และไม่ต่อเนื่องเป็น



รูปที่ 2.9 ข้อกำหนดสเปกตรัมของสัญญาณ UWB โดย FCC เปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณอิมพัลส์ TH-PPM UWB



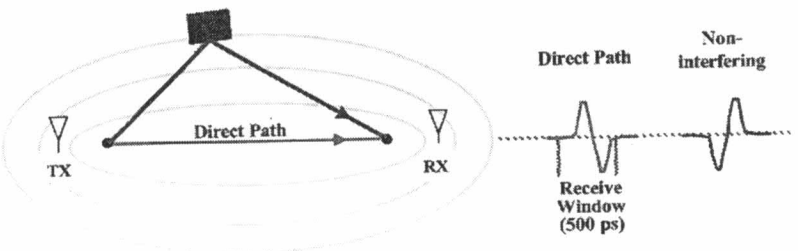
รูปที่ 2.10 สเปกตรัมของการสื่อสารแบบ UWB ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบกับข้อกำหนดสเปกตรัมของ FCC และสเปกตรัมของระบบสื่อสารอื่นๆ

สัญญาณคลื่นพาห์ ทำให้สัญญาณ UWB ที่ได้แตกต่างจากสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารแบบแบนด์วิดท์แคบ (narrowband communication) ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความต่อเนื่อง และการทำให้สเปกตรัมของสัญญาณ UWB ที่แผ่กระจายออกมาจากเครื่องส่งให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC

นั้นค่อนข้างลำบากถ้าใช้สัญญาณอิมพัลส์ตามที่เสนอโดย M. Z. Win และ R. A. Scholtz [3] ซึ่งจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบในรูปที่ 2.9 สำหรับสเปกตรัมของการสื่อสารแบบ UWB ที่ศึกษาวิจัยเปรียบเทียบกับข้อกำหนดสเปกตรัมของ FCC และสเปกตรัมของระบบสื่อสารที่ใช้กันทั่วไปแบบอื่นๆ นั้นแสดงดังรูปที่ 2.10 จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ช่วงสเปกตรัมที่กำหนดโดย FCC พยายามลดการรบกวนที่เกิดจากสัญญาณของระบบสื่อสารแบบ UWB ที่มีต่อระบบ GPS มากที่สุด

2.3 คุณลักษณะของช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารแบบ UWB

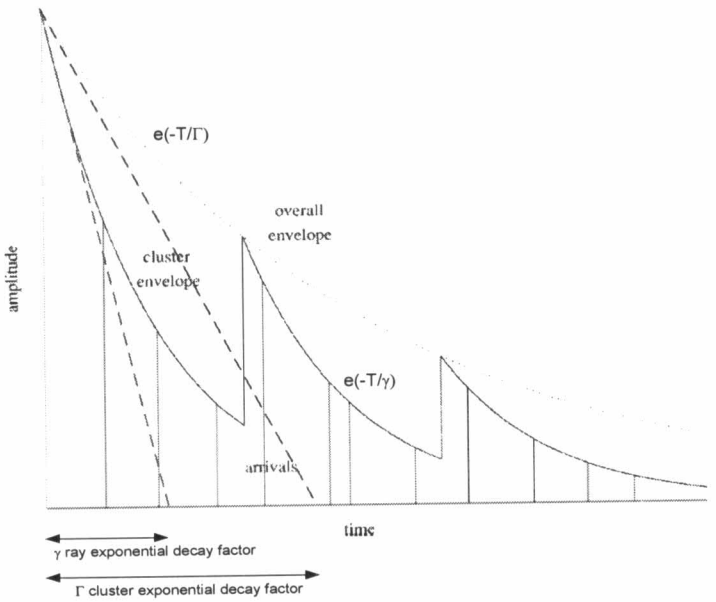
เนื่องจากคุณลักษณะของการสื่อสารแบบ UWB นั้นสัญญาณคลื่นพาห์ที่เป็นสัญญาณอิมพัลส์นั้นจะมีคาบเวลาที่สั้นมากในระดับนาโนวินาที กอปรกับระยะทางการใช้งานที่มีรัศมีใกล้ ทำให้สัญญาณอิมพัลส์ที่เครื่องรับรับได้นั้นไม่มีเกิดการเฟดดิงแบบเรย์ลี (Rayleigh) ขึ้น ทั้งนี้เพราะระยะเวลาที่สัญญาณอิมพัลส์ที่ถูกสะท้อนมาจากวัตถุรอบข้างแล้วเดินทางมาถึงเครื่องรับจะมากกว่าคาบเวลาของสัญญาณอิมพัลส์ที่เดินทางในวิถีตรง (direct path) ดังรูปที่ 2.11 แต่จากการศึกษาและวัดช่องสัญญาณในทางปฏิบัติ [16] พบว่าสัญญาณอิมพัลส์ที่รับได้จะมีการลดทอนเนื่องจากการเกิดเฟดดิงแบบ lognormal แทน ซึ่งเกิดจากสัญญาณอิมพัลส์ที่สะท้อนจากวัตถุรอบข้างนี้มีผลกระทบต่อสัญญาณอิมพัลส์ที่ถูกส่งในช่วงเวลาถัดมา ทำให้เกิดการแทรกสอดข้ามสัญลักษณ์หรือ ISI ได้ ดังนั้นการสื่อสารแบบ UWB สำหรับโครงข่าย WPAN นี้จะต้องพิจารณาข้อกำหนดสเปกตรัมกำลังที่กำหนดโดย FCC ร่วมกับช่องสัญญาณที่มีการสูญเสียพลังงานจากระยะทาง (path loss), AWGN และคุณลักษณะของพหุวิถีด้วย



รูปที่ 2.11 การเดินทางของสัญญาณอิมพัลส์ของการสื่อสารแบบ UWB

นอกจากสัญญาณรบกวน AWGN แล้ว การสื่อสารด้วย UWB ยังมีปัญหาการเดินทางของสัญญาณในช่องสัญญาณพหุวิถีอีกด้วย ทั้งนี้กลุ่มจัดทำร่างมาตรฐาน IEEE802.15.3 ได้ศึกษาและกำหนดแบบจำลองของช่องสัญญาณแบบพหุวิถี [16] สำหรับใช้เป็นแบบจำลองเพื่อการศึกษาวิจัย

โดยทั่วไป โดยแบบจำลองนี้ได้ดัดแปลงมาจากแบบจำลอง S-V [17] ซึ่งใช้กับช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารภายในที่มีการสะท้อนของสัญญาณต่อวัตถุที่อยู่โดยรอบ ซึ่งสัญญาณอิมพัลส์ที่เครื่องรับรับได้นอกจากจะแบ่งเป็นสัญญาณในแต่ละวิถีแล้ว สัญญาณในแต่ละวิถียังจัดเป็นกลุ่มของสัญญาณ (cluster) อีกด้วย ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 ลักษณะของผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของช่องสัญญาณตามแบบจำลอง S-V

โดยลักษณะของช่องสัญญาณพหุวิถีที่แนะนำโดย IEEE สำหรับการสื่อสารแบบ UWB สำหรับโครงข่าย WPAN สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ ได้แก่

1. CM1 ใช้พารามิเตอร์จากช่องสัญญาณที่วัดได้ระยะทาง 0 ถึง 4 เมตร และมี LOS
2. CM2 ใช้พารามิเตอร์จากช่องสัญญาณที่วัดได้ระยะทาง 0 ถึง 4 เมตร และไม่มี LOS
3. CM3 ใช้พารามิเตอร์จากช่องสัญญาณที่วัดได้ระยะทาง 4 ถึง 10 เมตร และไม่มี LOS
4. CM4 จำลองให้เกิดค่า RMS ของ delay spread ที่ 25 ns เพื่อใช้แทนช่องสัญญาณพหุวิถีในกรณีที่แย่ที่สุดและไม่มี LOS

สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของช่องสัญญาณพหุวิถีแบบต่างๆ ที่แนะนำโดยกลุ่มศึกษา IEE802.15.3a แสดงตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ของช่องสัญญาณพหุวิถีที่กำหนดโดย IEEE สำหรับโครงข่าย WPAN

พารามิเตอร์ที่ต้องการ	CM 1	CM 2	CM 3	CM 4
Mean excess delay (nsec) (τ_m)	5.05	10.38	14.18	
RMS delay (nsec) (τ_{rms})	5.28	8.03	14.28	25
NP 10dB			35	
NP (85%)	24	36.1	61.54	
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง				
Λ (1/nsec)	0.0233	0.4	0.0667	0.0667
λ (1/nsec)	2.5	0.5	2.1	2.1
Γ	7.1	5.5	14.00	24.00
γ	4.3	6.7	7.9	12
σ_1 (dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
σ_2 (dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
σ_x (dB)	3	3	3	3
พารามิเตอร์ที่จำลองได้				
Mean excess delay (nsec) (τ_m)	4.9	9.4	13.8	26.8
RMS delay (nsec) (τ_{rms})	5	8	14	26
NP 10dB	13.3	18.2	25.3	41.4
NP (85%)	21.4	37.2	62.7	122.8
Channel energy mean (dB)	-0.5	0.1	0.2	0.1
Channel energy std (dB)	2.9	3.3	3.4	3.2

ทั้งนี้คาบเวลาของการสุ่มสัญญาณที่ใช้ในแบบจำลองตามข้อแนะนำของ IEEE802.15.3a นี้มีค่าเท่ากับ 0.167 ps ค่าที่ปรากฏในตารางที่ 2.2 นั้นพารามิเตอร์ที่จำลองได้มาจากการจำลอง 100 ช่องสัญญาณ อย่างไรก็ตามค่าพารามิเตอร์ที่จำลองได้ในแต่ละครั้งจะเปลี่ยนไปบ้างเล็กน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนช่องสัญญาณและค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการสุ่มข้อมูล

พารามิเตอร์ต่างๆ ในตารางที่ 2.2 มีรายละเอียดดังนี้

Λ คือค่าเฉลี่ยการมาถึงของกลุ่มสัญญาณ (cluster)

λ คือค่าเฉลี่ยการมาถึงของสัญญาณในแต่ละวิถีที่อยู่ในแต่ละกลุ่มสัญญาณ

Γ คือค่า decay factor ของกลุ่มสัญญาณ

γ คือค่า decay factor ของสัญญาณ

σ_1 คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเฟดดิงแบบ log normal ของกลุ่มสัญญาณ (dB)

σ_2 คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเฟดดิงแบบ log normal ของสัญญาณ (dB)

σ_x คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเกิด shadowing แบบ log normal ของสัญญาณที่รับได้โดยรวม (dB)

NP 10dB คือจำนวนวิถีที่สัญญาณมีความพลังงานมากที่สุดในช่วง 10 dB เมื่อคิดจากสัญญาณในวิถีที่มีพลังงานมากที่สุด

NP (85%) คือจำนวนวิถีที่มีความแรงที่สุดและให้พลังงานรวมกันประมาณ 85% ของพลังงานที่ได้จากสัญญาณในทุกวิถีรวมกัน

τ_m คือค่าเฉลี่ยของค่าการหน่วงเวลาส่วนเกิน (excess delay)

τ_{rms} คือค่า RMS ของการหน่วงเวลา

ผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้งานที่ k จะมีค่า

$$h^{(k)}(t) = X\sum_{l=0}^{L}\sum_{h=0}^{H}\alpha_{h,l}^{(k)}\delta(t - T_l^{(k)} - \tau_{h,l}^{(k)}) \qquad (2\text{-}7)$$

เมื่อ X คือตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบ lognormal, $\alpha_{h,l}^{(k)}$ คือสัมประสิทธิ์ค่าการขยายของแต่ละวิถี, $T_l^{(k)}$ แสดงค่าการหน่วงเวลาของกลุ่มสัญญาณที่ l, และ $\tau_{h,l}^{(k)}$ คือการหน่วงเวลาของสัญญาณในวิถีที่ h ซึ่งสัมพันธ์กับกลุ่มสัญญาณที่ l โดยที่

$$\alpha_{h,l} = p_{h,l}\xi_l\beta_{h,l} \qquad (2\text{-}8)$$

เมื่อ $p_{h,l}$ คือค่าตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบ uniform และมีค่า +1/-1 โดยที่

$$20\log 10(\xi_l\beta_{h,l}) \propto \text{Normal}(\mu_{h,l}, \sigma_1^2 + \sigma_2^2) \qquad (2\text{-}9)$$

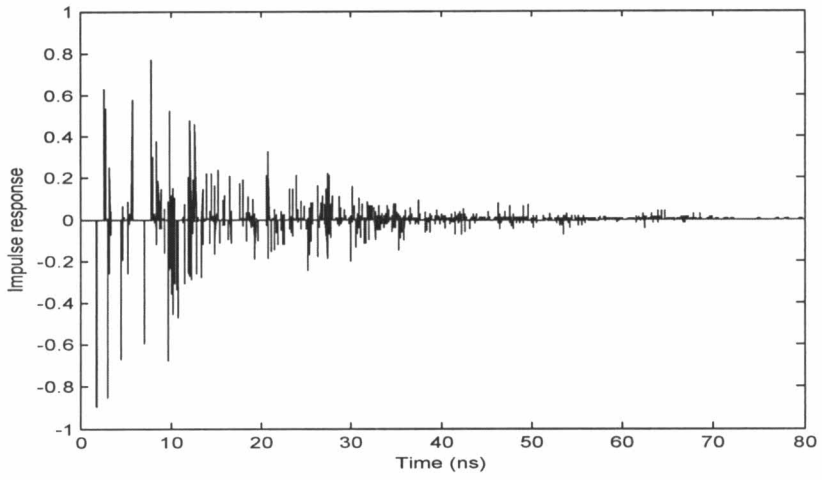
และ

$$n_1 \propto \text{Normal}(0,\sigma_1^2) \quad \text{and} \quad n_2 \propto \text{Normal}(0,\sigma_2^2) \tag{2-10}$$

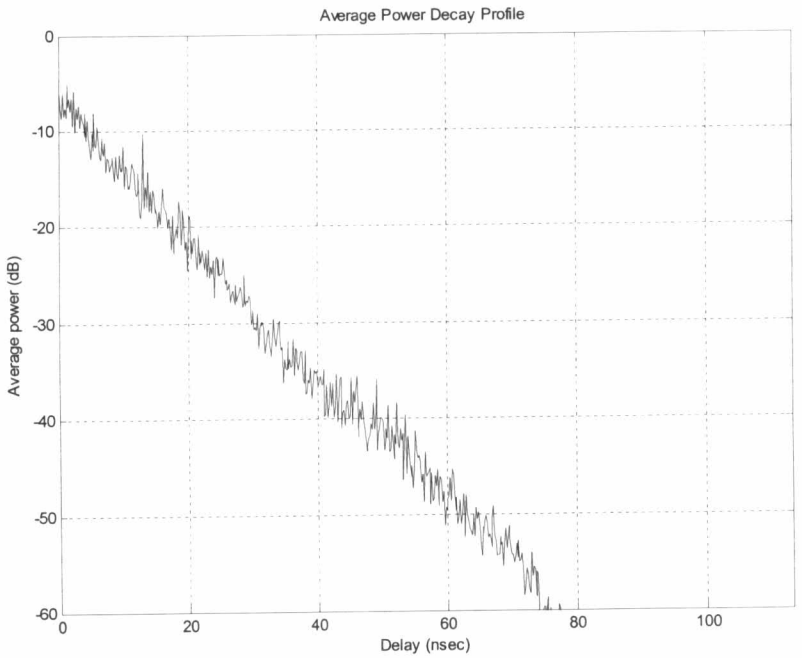
อัตราการมาถึงของสัญญาณในแต่ละวิถีและแต่ละกลุ่มสัญญาณนั้นอธิบายได้ด้วยค่าการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential distribution) ดังนี้

$$\begin{aligned} p\left(T_l \middle| T_{l-1}\right) &= \Lambda \exp\left[-\Lambda\left(T_l - T_{l-1}\right)\right], \quad l > 0 \\ p\left(\tau_{h,l} \middle| \tau_{(h-1),l}\right) &= \lambda \exp\left[-\lambda\left(\tau_{h,l} - \tau_{(h-1)l}\right)\right], \quad h > 0 \end{aligned} \tag{2-11}$$

ดังนั้นแบบจำลองช่องสัญญาณที่มีรัศมีระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับตั้งแต่ 0 ถึง 4 เมตร และมีวิถีของสัญญาณในแนวเส้นสายตาหรือ LOS ตามคำแนะนำโดยกลุ่มทำงาน IEEE802.15.3a จะถูกใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ สำหรับตัวอย่างของการจำลองช่องสัญญาณพหุวิถีตามแบบจำลองดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.13 และค่าเฉลี่ยของกำลังของการตอบสนองต่ออิมพัลส์ของช่องสัญญาณจำนวน 100 ช่องที่เป็นอิสระต่อกันแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างของผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของช่องสัญญาณที่จำลองขึ้นมา



รูปที่ 2.14 ค่าเฉลี่ยกำลังของการตอบสนองต่ออิมพัลส์
จำนวน 100 ช่องสัญญาณ