

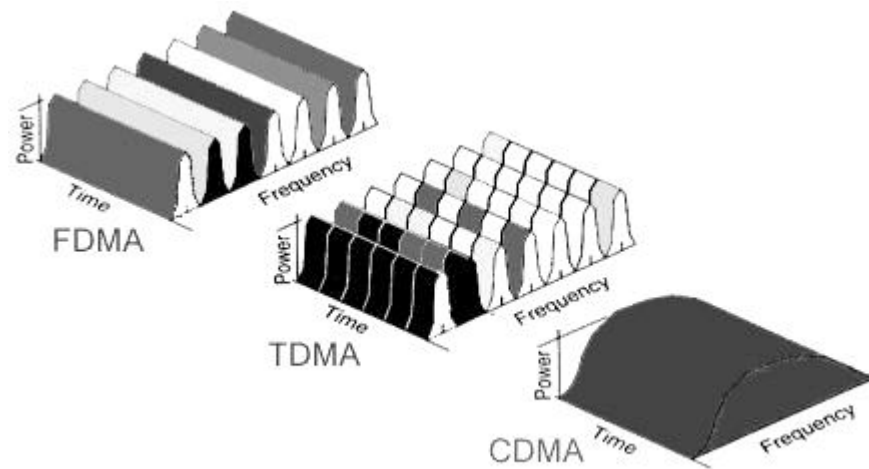
บทที่ 2

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA

การวิจัยและพัฒนา ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ CDMA เริ่มขึ้นอย่างจริงจังเมื่อประมาณต้นปี ค.ศ. 1989 และเพียงไม่กี่ปีต่อมาก็ในปลายปี ค.ศ. 1992 ผลงานวิจัยและพัฒนาเหล่านี้ก็ได้รับการเสนอและยอมรับให้เป็นมาตรฐานที่เรียกว่า IS-95 ในปัจจุบันได้มีการนำระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ CDMA ใช้งานจริงกันในหลายประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ยังใช้ในการสื่อสารแบบต่าง ๆ เช่นระบบ LAN (Local Area Network) แบบไร้สาย สำหรับในประเทศไทยนั้น การสื่อสารแห่งประเทศไทยได้นำระบบนี้เข้ามาให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในราวเดือนเมษายนปี ค.ศ. 1998 หลักการเบื้องต้นของระบบ CDMA ได้จัดแบ่งความถี่ที่มีอยู่ทั้งหมดออกเป็นช่วง โดยแต่ละช่วงมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.25 MHz สังเกตได้ว่าคลื่นพาห์หนึ่งความถี่ มีขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าของระบบอื่น ๆ มาก ด้วยขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างขนาดนี้ CDMA อนุญาตให้ผู้ใช้โทรศัพท์จำนวนมากส่งข้อมูล (สัญญาณเสียง) ลงบนคลื่นความถี่เดียวกันได้ ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้ทุก ๆ คนที่ใช้คลื่นพาห์เดียวกันจะรบกวนกันในเรื่องความถี่ตลอดเวลาการใช้งาน หากแต่ว่าโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะสามารถแยกแยะว่าสัญญาณส่วนใดที่เป็นของตนเองได้โดยอาศัยชุดรหัสที่แตกต่างกันในการรับและส่งข้อมูลซึ่งชุดรหัสแต่ละชุดที่ใช้จะมีคุณสมบัติตั้งฉากกัน (Orthogonal) กับชุดรหัสอื่นๆ ทั้งหมด

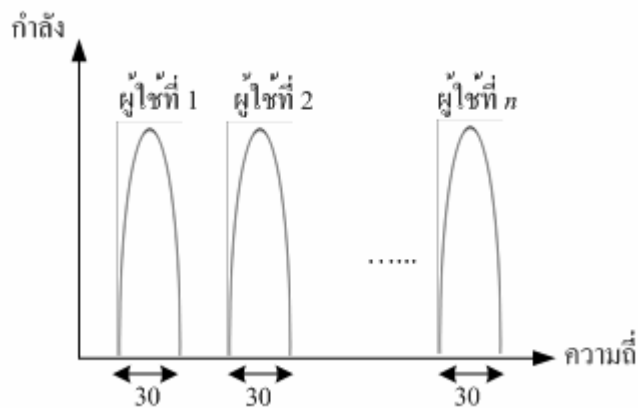
2.1 พื้นฐานระบบ DS/CDMA

เมื่อเราพิจารณาถึงหลักการจัดสรรช่องสัญญาณในระบบ FDMA ผู้ใช้จะได้รับช่วงความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบ TDMA ผู้ใช้จะได้รับช่วงความถี่และใช้ช่วงเวลาที่กำหนดในการส่งข้อมูล และสำหรับระบบ CDMA ผู้ใช้จะใช้ช่วงความถี่ทั้งหมดและไม่จำกัดช่วงเวลา

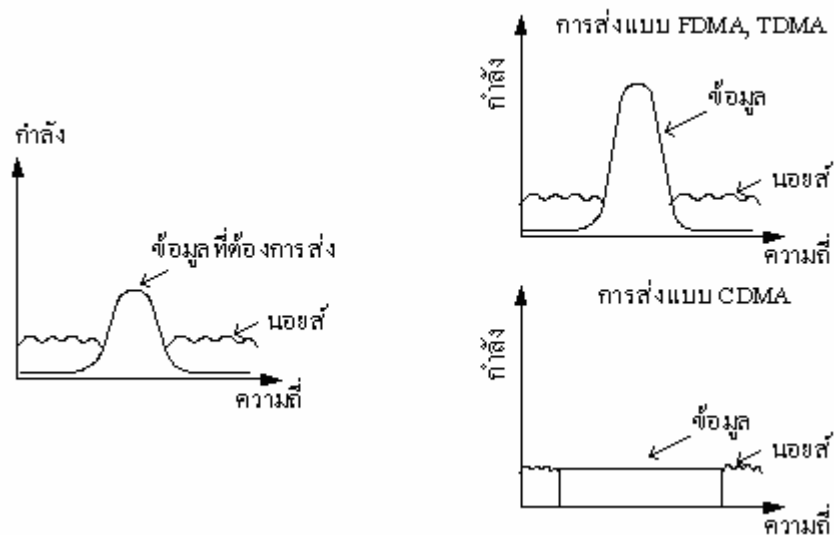


รูปที่ 2.1 การจัดการความถี่ของระบบ FDMA, TDMA และ CDMA [4]

ในระบบ FDMA ผู้ใช้เข้าใช้ช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน โดยจะมีการจัดสรรความถี่ที่แตกต่างกันไปสำหรับแต่ละช่องสัญญาณ ระบบ TDMA ผู้ใช้ถูกกำหนดให้ใช้ช่องสัญญาณที่เวลาต่างกัน โดยช่องสัญญาณแต่ละช่องจะถูกกำหนดช่วงความถี่ใช้งานเอาไว้ ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งสองระบบแรก จะแบ่งพื้นที่การใช้งาน ออกเป็นบริเวณขนาดหนึ่งหรือที่เรียกว่าเซลล์ โดยเซลล์ที่ติดกันจะใช้ความถี่ไม่เหมือนกันจึงมีข้อจำกัดในส่วนของแบนด์วิดท์ จึงอาจเรียกว่าเป็นระบบจำกัดแบนด์วิดท์ (bandwidth limited system) ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งอาศัยกำลังในการส่งมาก ในการแก้ปัญหาสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวน และจะต้องมีการจัดการในส่วนของแบนด์วิดท์ที่แม่นยำ เพื่อลดปัญหาการแทรกสอดของเซลล์ที่อยู่ติดกัน ขณะที่ระบบ CDMA ทุกเซลล์จะใช้ความถี่ทั้งหมดเหมือนกัน จึงไม่มีปัญหาในเรื่องการจำกัดแบนด์วิดท์ ทำให้มีความจุของผู้ใช้งานมากกว่าสองระบบแรก แต่ต้องมีการควบคุมกำลังในการส่งที่แม่นยำ เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันระหว่างผู้ใช้เนื่องจากใช้ความถี่เดียวกัน และลดการแทรกสอดระหว่างเซลล์ที่อยู่ติดกัน เราจึงอาจเรียกระบบ CDMA ว่าเป็นระบบจำกัดกำลัง (power limited system)



รูปที่ 2.2 ระบบจำกัดแบนด์วิดท์ (bandwidth limited system)



รูปที่ 2.3 กำลังที่ใช้ในการส่งสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างระบบ CDMA, FDMA และ TDMA

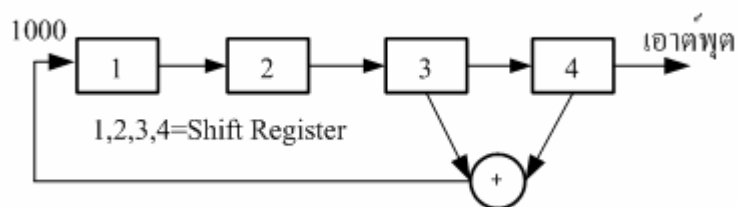
2.2 สเปกตรัมแผ่กระจาย (Spread Spectrum)

การทำสเปกตรัมแผ่กระจายในยุคแรกๆ นั้นมีจุดมุ่งหมายในทางทหาร สำหรับป้องกันการรบกวนของข้าศึกต่อการรับส่งสัญญาณ แต่ในปัจจุบันนำมาใช้ในด้านสื่อสารไร้สาย เนื่องจากเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลได้มากกว่าระบบ TDMA และ FDMA

ระบบ TDMA และ FDMA จะใช้วิธีการจัดสรรคลื่นความถี่เป็นช่วงความถี่แคบๆสำหรับผู้ใช้แต่ละคนในขณะที่ระบบ CDMA ข้อมูลจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณที่กว้างมาก พร้อม ๆ กับผู้ใช้คนอื่น ๆ โดยเมื่อพิจารณาที่ผู้ใช้แต่ละคนจะถือว่าสัญญาณของผู้ใช้คนอื่น เป็นสัญญาณแทรกสอด ดังนั้นจึงไม่จำกัดจำนวนเครื่องลูกข่าย แต่ขึ้นอยู่กับความต้องการคุณภาพในการสื่อสารเท่าใด การทำสเปกตรัมที่นิยมในปัจจุบันมี 2 วิธีคือ Frequency Hopping และ Direct-sequence แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี Direct-sequence ซึ่งเป็นมาตรฐานของระบบ IS-95 ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันในด้านหลักการทำงาน หากแต่ว่าทั้งคู่อาศัยรหัสชนิดเดียวกันที่มีชื่อเรียกว่ารหัส PN (Pseudorandom Noise) เป็นส่วนสำคัญ

รหัส PN ก็คือ ลำดับของสัญญาณ ที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยวิธีการลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน หากแต่รหัสที่ได้ มีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสัญญาณสุ่ม วิธีสร้างรหัสนี้สามารถทำได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งที่มีความนิยมมากเป็นพิเศษคือ วิธี Binary m-sequence หรือ Binary maximal sequence ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกับสัญญาณสุ่ม แต่จริง ๆ แล้วเป็นสัญญาณรายคาบ เนื่องจากมีการซ้ำกันเมื่อผ่านไปเป็นเวลานาน

คุณสมบัติอัตโนมัติสหสัมพันธ์ (auto-correlation) ของรหัส m-sequence มีประโยชน์มากกับระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA เพราะลำดับสัญญาณชุดหนึ่งที่มีความยาวมากเพียงพอสามารถนำมาใช้ในการระบุหมายเลขประจำตัวของสถานีฐานได้เป็นจำนวนมาก โดยอาศัยการเลื่อนชิปส์ (Chips) ของสัญญาณไปด้วยจำนวนที่แตกต่างกัน เช่น ในมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA (IS-95) ใช้ชิฟต์รีจิสเตอร์ จำนวน 15 ตัว ในการสร้างรหัสที่มีความยาวเท่ากับ $2^{15}-1 = 32,768$ ชิปส์ สถานีฐานแต่ละแห่งจะใช้วงจรสร้างรหัสแบบเดียวกัน แต่จะมีการเลื่อนชิปส์ของลำดับสัญญาณออกไปทีละ 64 ชิปส์ เพราะฉะนั้นจะมีรหัสที่แตกต่างกันสำหรับการใช้งานได้ทั้งหมด $32,768/64 = 512$ ชุด สำหรับใช้ระบุหมายเลขประจำตัวของสถานีฐานได้ 512 สถานี

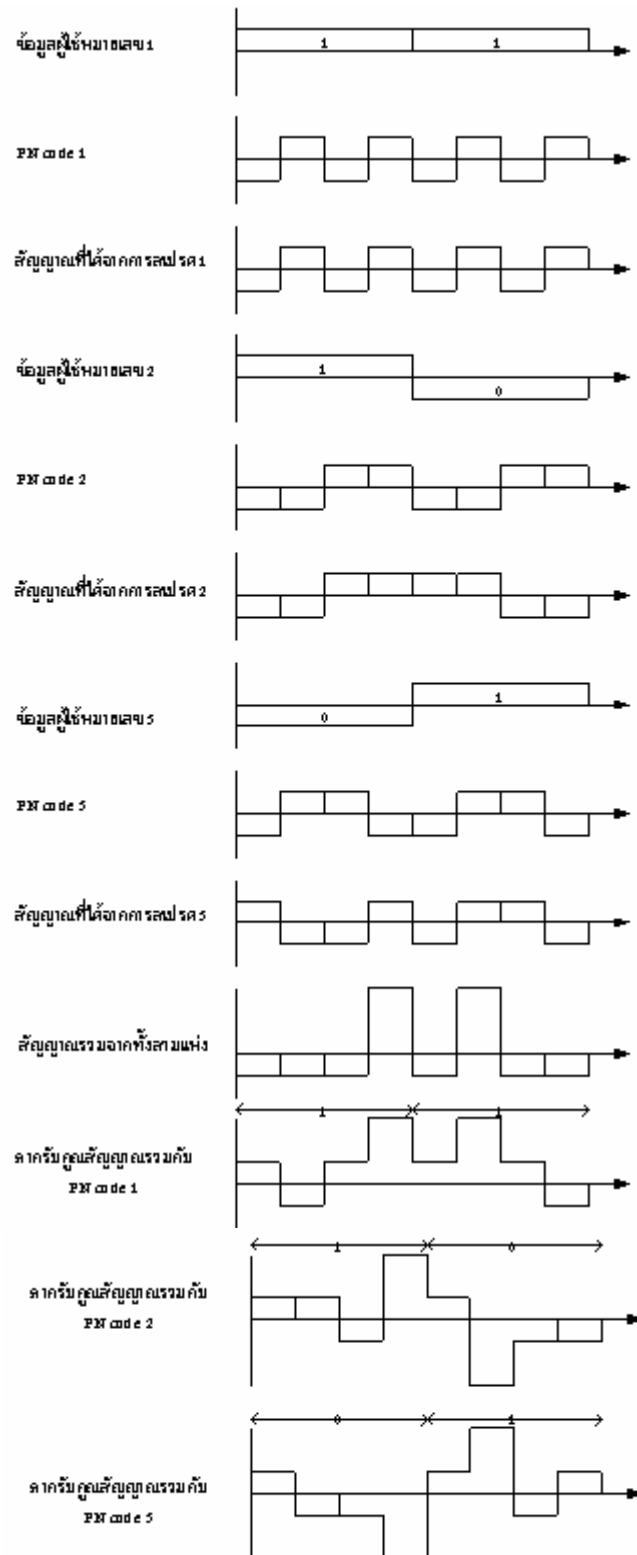


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการสร้างรหัส PN ที่ใช้ชิฟต์รีจิสเตอร์จำนวน 4 ตัว ลำดับอินพุตเป็น 0,0,0,1

จากรูปที่ 2.4 เป็นตัวอย่างการสร้างรหัส PN ที่ใช้ชิพรีจิตเตอร์จำนวน 4 ตัว วงจรนี้จะสามารถสร้างลำดับสัญญาณที่มีความยาวเท่ากับ $2^4 - 1 = 15$ ชิปส์ ซึ่งจะได้เอาต์พุตเป็น 000100110101111

จากรูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างง่ายๆ สำหรับใช้ในการบรรยายถึงกรรมวิธีการทำสเปกตรัมแบบลำดับโดยตรง (direct-sequence) ในแต่ละขั้นตอน สมมติว่าในระบบที่เราสนใจมีจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดสามคน ซึ่งแต่ละคนก็จะได้รับรหัส PN ที่แตกต่างกัน ก่อนที่ผู้ใช้แต่ละคนจะส่งข้อมูลออก จะนำบิตข้อมูลเหล่านั้นไปทำการสเปกตรัม โดยการนำบิตข้อมูลไปคูณกับรหัส PN ของตนเอง ซึ่งจะทำให้อัตราบิตมีขนาดสูงขึ้น ซึ่งเราจะเรียกว่าเป็นอัตราชิปส์ (Chip Rate) โดย 1 อัตราชิปส์ จะเท่ากับ 1.288 Mbps (มาตรฐาน IS-95) ซึ่งในตัวอย่างนี้อัตราชิปส์มีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าตัวของอัตราบิตข้อมูลของผู้ใช้ สำหรับตัวอย่างนี้เราสมมติให้ผู้ใช้หมายเลข 1, 2 และ 3 ต้องการส่งข้อมูล 11, 10 และ 01 ตามลำดับ สัญญาณที่ผ่าน การสเปกตรัมแล้วจะมีลักษณะดังที่แสดงในรูป สังเกตว่าสัญญาณ 1 จะแทนด้วยแรงดันเป็น 1 และสัญญาณ 0 จะแทนด้วยแรงดันเป็น -1 สัญญาณที่ทำการสเปกตรัมแล้วทั้ง 3 สัญญาณนี้จะถูกส่งออกไปพร้อมกันบนคลื่นความถี่เดียวกัน นั่นหมายความว่าที่ภาครับจะได้รับสัญญาณที่เป็นผลรวมของ 3 สัญญาณรวมกัน ซึ่งดูเหมือนว่าสัญญาณเหล่านี้รบกวนซึ่งกันและกันอยู่ และยากต่อการแยกสัญญาณ

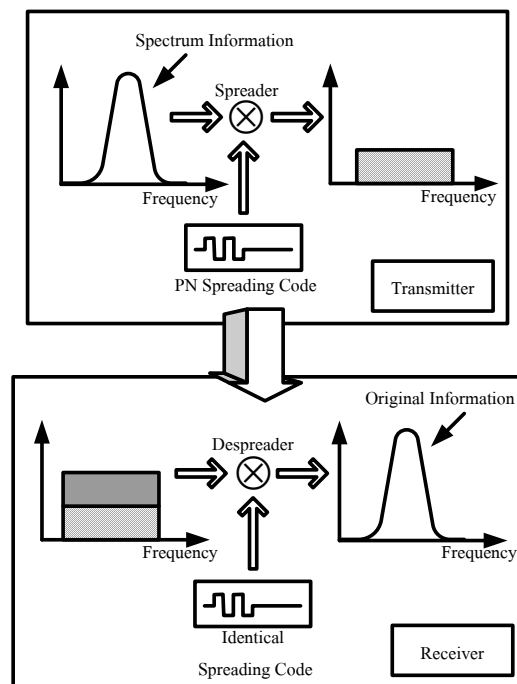
สำหรับขั้นตอนการแยกสัญญาณของแต่ละคนออกมานั้น ก็สามารถทำได้โดยการนำรหัส PN ของตนเองไปคูณกับสัญญาณที่รับได้ และทำการบวกผลคูณเหล่านั้นทีละ 4 บิต หรือเท่ากับความยาวหนึ่งของบิตข้อมูลนั่นเอง ค่าที่คำนวณได้เหล่านี้จะนำไปใช้ในการตัดสินใจต่อไป ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเรานำรหัสของผู้ใช้หมายเลข 1 ไปคูณกับสัญญาณรวม จะได้ผลรวมของผลคูณออกมาเป็น 4 สำหรับข้อมูลทั้งสองบิต ในขณะที่ถ้าผู้ใช้หมายเลข 2 กระทำการในลักษณะเดียวกัน จะได้ผลออกมาเป็น 4 และ -4 จะเห็นว่าถ้าผลลัพธ์ที่ออกมามีค่าเท่ากับ 4 แสดงว่าบิตข้อมูลที่ส่งออกมามีค่าเป็น 1 และถ้าผลลัพธ์ที่ได้เป็น -4 แสดงว่าบิตข้อมูลนั้นมีค่าเป็น 0 [1]



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการทำสเปกตรัมแบบ Direct-sequence ของผู้ใช้งาน 3 คน

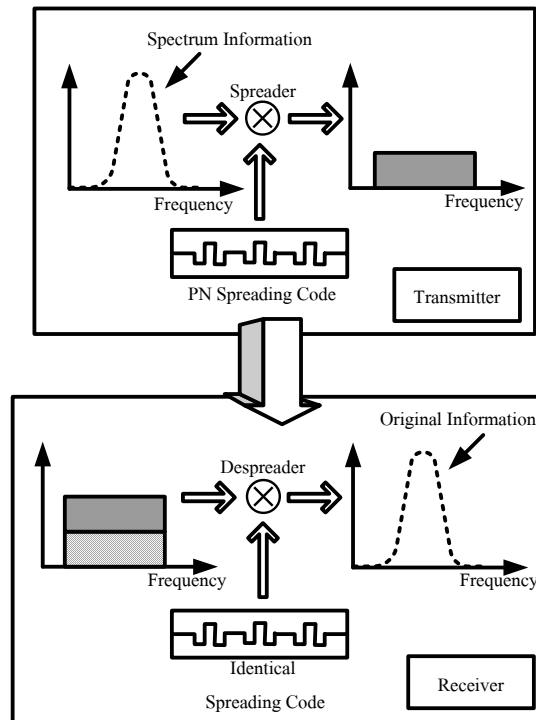
สังเกตว่าการที่ผู้ใช้แต่ละคนสามารถจะดึงสัญญาณข้อมูลของตนเองออกมาจากสัญญาณรวมได้ก็เพราะว่า เมื่อนำรหัส PN ของผู้ใช้คนหนึ่งไปคูณกับส่วนสัญญาณที่สเปรคออกโดยผู้ใช้คนอื่นหนึ่ง เช่นถ้าเรานำรหัส PN ของผู้ใช้หมายเลข 1 ไปคูณกับส่วนของสัญญาณที่สเปรคออกโดยผู้ใช้หมายเลข 2 จะพบว่าค่าผลรวมของการคูณในทุกๆ 4 บิต จะได้ค่าที่เป็น 0 หมด ซึ่งจริงๆ แล้วถ้าหากทำการทดสอบกับทุกกรณี จะได้ผลที่เหมือนกันคือ ค่าผลรวมที่ได้มีค่าเป็น 0 เสมอ ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่า สัญญาณที่สเปรคออกด้วยรหัส PN ชุดหนึ่ง จะไม่สามารถดีสเปรค (despread) ออกด้วยรหัส PN ชุดอื่น ซึ่งทำให้เราสามารถส่งสัญญาณของผู้ใช้หลายๆ คนลงบนคลื่นพาห้ความถี่เดียวกันได้

แบบจำลองของภาคส่งและภาครับ ที่ใช้ระบบ CDMA ในรูปที่ 2.6(ก) เป็นภาคส่ง และภาครับที่ใช้รหัส PN เดียวกัน ทำให้ภาครับสามารถแยกสัญญาณของภาคส่งได้ ในขณะที่สัญญาณของผู้ใช้คนอื่น จะมีลักษณะเป็นสัญญาณรบกวน เช่นเดียวกับรูปที่ 2.6(ข) ในขณะที่รูปที่ 2.6(ค) แสดงให้เห็นว่า ถ้ามีผู้ใช้หลายๆ คนส่งสัญญาณออกมาพร้อมๆ กัน แต่ภาครับยังคงสามารถแยกสัญญาณของผู้ใช้ที่ต้องการ ออกมาได้ เนื่องจากมีรหัส PN เดียวกัน

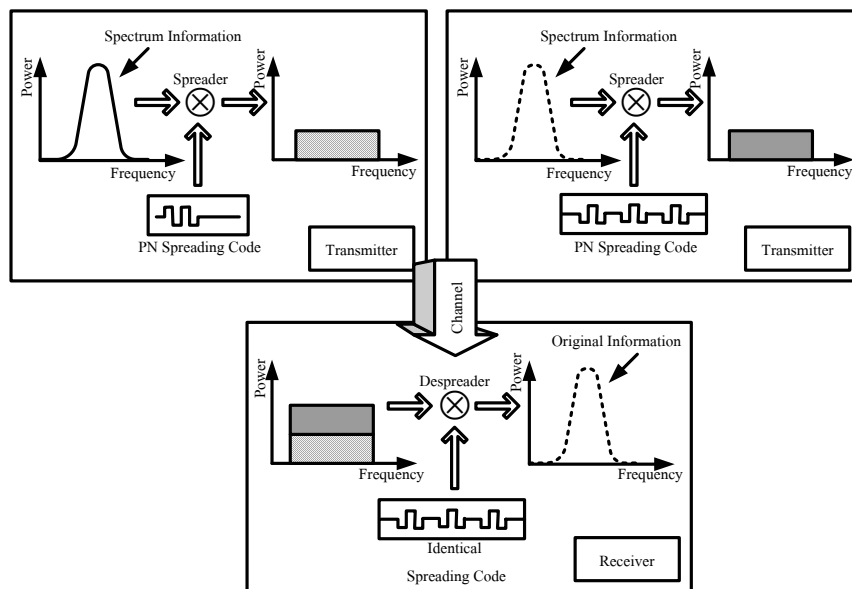


(ก) การรับและส่งสัญญาณโดยใช้รหัส PN ชุดที่ 1

รูปที่ 2.6 (ก), (ข) และ (ค) หลักการเข้ารหัส และถอดรหัสโดยใช้รหัส PN



(ข) การรับและส่งสัญญาณโดยใช้รหัส PN ชุดที่ 2



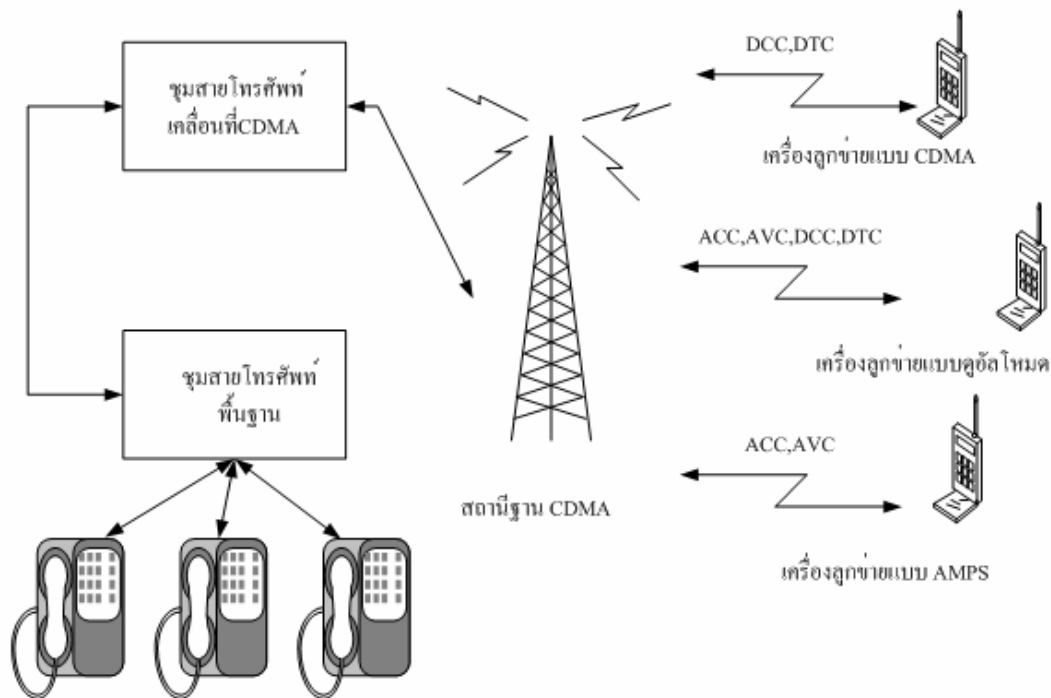
(ค) การรับสัญญาณจากผู้ส่งหลายคน

รูปที่ 2.6 (ก), (ข) และ (ค) หลักการเข้ารหัส และถอดรหัสโดยใช้รหัส PN (ต่อ)

2.3 มาตรฐาน IS-95 ของเครือข่ายไร้สายที่ใช้ระบบ CDMA

มาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ IS-95 นั้นมีจุดกำเนิดจากเทคโนโลยี CDMA (Code Division Multiple Access) เริ่มจากสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยกองทัพบกของสหรัฐอเมริกาในยุคนั้นมีความต้องการพัฒนาระบบสื่อสารของกองทัพ ให้สามารถทำการส่งสัญญาณสื่อสารได้ในย่านความถี่กว้างมากๆ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการถูกกวนเฉพาะย่านความถี่จากฝ่ายตรงข้าม ขาดต่อการดักจับ และถูกแทรกสอดด้วยสัญญาณรบกวนต่างๆ

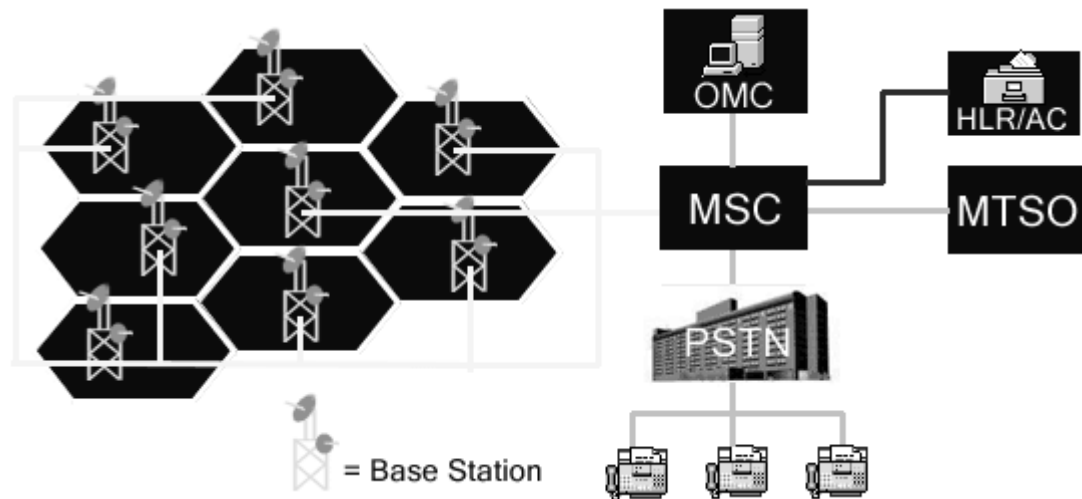
มาตรฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA มีแนวคิดในการใช้งานคือ สถานีฐานจะต้องสามารถให้บริการได้ทั้งกับเครื่องลูกข่าย CDMA เองและเครื่องลูกข่ายระบบ AMPS รวมไปถึงเครื่องลูกข่ายแบบดูอัลโหมด (CDMA/AMPS)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA และประเภทของช่องสัญญาณ

สำหรับโครงสร้างของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 ประกอบด้วยสถานีฐาน กระจายอยู่ตามพื้นที่ต่างๆ สถานีฐานทั่วไปมักจะมีอุปกรณ์พื้นฐานสื่อสารทั้งแบบ AMPS และแบบ CDMA สถานีฐานจะเชื่อมต่อเข้ากับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA ซึ่งเป็นชุมสายที่มีขีดความสามารถในการให้บริการเสริมพิเศษต่างๆ ได้เป็นจำนวนมาก

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ (PSTN-Public Switched Telephone Network))



รูปที่ 2.8 ระบบเครือข่าย CDMA และส่วนประกอบของชุมสาย [4]

สถานีฐานของเซลล์จะทำหน้าที่ดูแลเซลล์ โดยที่สถานีฐานถูกควบคุมโดยตัวควบคุมสถานีฐาน BSC (Base Station Controller) จาก BSC ก็จะไปเชื่อมต่อกับส่วนที่เรียกว่า MSC (Mobile Switching Center) ซึ่งดูแลการสวิตช์ ทั้งหมด ทำหน้าที่เชื่อมต่อคู่สายระหว่างผู้ใช้โทรศัพท์ 2 คน เข้าด้วยกัน โดยเชื่อมระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2 เครื่อง หรือเชื่อมระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ โทรศัพท์บ้าน MSC จะมีฐานข้อมูลอยู่เรียกว่า HLR/AC (Home Location Register/Authentication Center) โดย HLR จะเก็บข้อมูลของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหมดขณะที่ AC จะทำหน้าที่เกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล สำหรับ OMC (Operation and Maintenance Center) จะควบคุม และดูแลการประสานงานโครงข่ายทั้งหมด และหากเป็นการติดต่อไปยังโทรศัพท์พื้นฐาน MSC จะติดต่อผ่านทางเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ

1) ประเภทรหัสที่ใช้ในระบบ CDMA

ในระบบ CDMA ตามมาตรฐาน IS-95 มีการใช้รหัสทั้งหมด 3 ประเภท คือ Walsh Code, Long PN Code และ Short PN Code

รหัสแต่ละประเภทได้ถูกนำมาใช้งานในระบบ IS-95 ในลักษณะที่แตกต่างกัน คุณสมบัติและรายละเอียดของรหัสทั้ง 3 ประเภท มีดังนี้

1.1) รหัส Walsh (Walsh Code)

รหัส Walsh มีชื่อเรียกอีกอย่างว่ารหัส Hadamard ประกอบด้วยรหัสที่มีคุณสมบัติตั้งฉากกัน คือมีค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross Correlation) ระหว่างรหัสทั้งสองเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\sum x_i y_i = 0$$

โดยที่ $x_i, y_i = -1$ เมื่อค่าของบิตที่ i ของรหัสมีค่าเป็นศูนย์ และ $x_i, y_i = 1$ เมื่อค่าของบิตที่ i มีค่าเป็นหนึ่ง ยกตัวอย่างรหัสที่ตั้งฉากกัน เช่น $X = 0011$ และ $Y = 0110$

รหัส Walsh ทั้งหมดมี 64 ชุด โดยที่รหัสแต่ละชุด มีความยาวเท่ากับ 64 บิต รหัสประเภทนี้ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับการสเปคช่องสัญญาณที่มีอัตราการส่งข้อมูล 1.228 Mbps การสร้างรหัสชนิดนี้ได้มาจากการหาเมตริกซ์ Hadamard H_{2^m} โดยที่ m คือค่า 2^n เมื่อ $n = 0, 1, 2, \dots$ เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น กำหนดให้ค่าเริ่มต้นของเมตริกซ์ Hadamard ที่ $m = 1$ เป็น

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

และค่า H_{2^m} อื่นๆ สร้างจากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$H_{2^m} = \begin{bmatrix} H_m & H_m \\ H_m & \overline{H_m} \end{bmatrix}$$

เมื่อสมาชิกใน $\overline{H_m}$ เป็นคอมพลิเมนต์ (complement) กับสมาชิกใน H_m ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่ $m = 2$ เราจะได้ H_4 ดังนี้

$$H_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

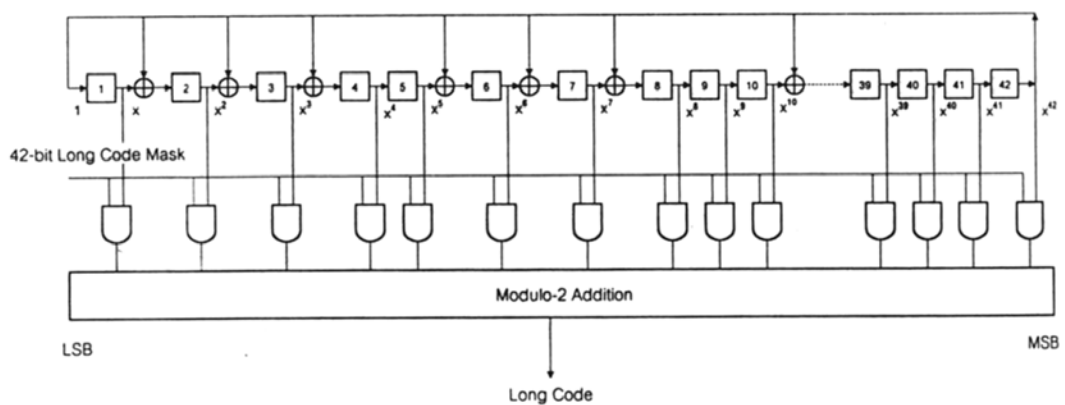
ในระบบ CDMA ใช้รหัส Hadamard H_{64} แสดงดังภาคผนวก ก

1.2) รหัส PN แบบยาว (Long PN Code)

รหัสชนิดนี้ สร้างจากซีฟริจิสเตอร์ขนาด 42 บิต ต่อเชื่อมกันให้มีโครงสร้างต่อกันแบบใช้ความยาวสูงสุด (maximum length) โดยใช้โพลิโนเมียลต่อไปนี้ [1]

$$p(x) = 1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^6 + x^7 + x^{10} + x^{16} + x^{17} + x^{18} + x^{19} \\ + x^{21} + x^{22} + x^{25} + x^{26} + x^{27} + x^{31} + x^{33} + x^{35} + x^{42}$$

ผลที่ได้คือ รหัสที่มีความยาวถึง $2^{42}-1 \approx 4.398 \times 10^{12}$ เนื่องจากอัตราการสร้างรหัสนี้มีค่าเท่ากับ 1.228 Mbps ดังนั้นรหัสนี้จะมีการซ้ำกันทุกๆ 41.425 วัน วงจรสร้างรหัสชนิดนี้มีลักษณะดังรูปที่ 2.9 ที่เหลี่ยมใช้แทนซีฟริจิสเตอร์ และวงกลมใช้แทนการบวก (adder)



รูปที่ 2.9 วงจรสร้างรหัส PN แบบยาวที่มีโครงสร้างเป็นแบบใช้ความยาวสูงสุด [1]

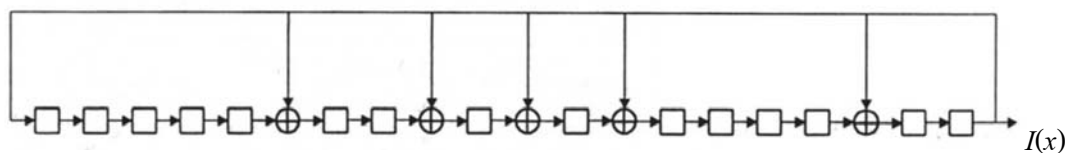
1.3) รหัส PN แบบสั้น (Short PN Code)

รหัสชนิดนี้มีอยู่ 2 ชุด คือ I และ Q โดยแต่ละชุดจะสร้างจากการใช้พีริจิสเตอร์ขนาด 15 บิต โดยต่อเชื่อมกันให้มีโครงสร้างเป็นแบบใช้ความยาวสูงสุด และใช้โพลิโนเมียล 2 ชุดต่อไปนี้

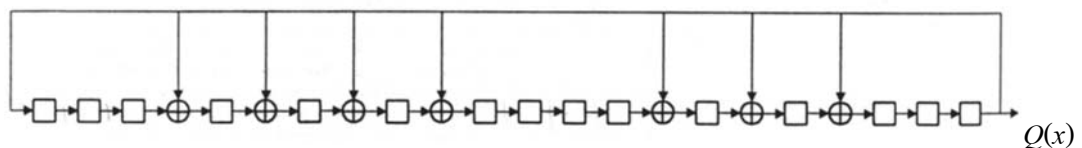
$$I(x) = 1 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{13} + x^{15}$$

$$Q(x) = 1 + x^3 + x^4 + x^5 + x^6 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{15}$$

โครงสร้างของวงจรสร้างชุดรหัสชนิดนี้มีลักษณะดังรูปที่ 2.10 และ 2.12 วงจรทั้งสองสามารถสร้างชุดรหัสที่มีความยาวเท่ากับ $2^{15} - 1 = 32,767$ จากนั้นจะมีการเพิ่มบิต 0 อีกหนึ่งบิตเข้าไปเมื่อพบรหัสที่มีค่า 0 ติดต่อกัน 14 ตัว เพื่อให้ได้รหัสที่มีความยาวเท่ากับ 32,758 เนื่องจากอัตราการสร้างรหัสนี้มีค่าเท่ากับ 1.288 Mbps ดังนั้นรหัสนี้จะมีการซ้ำกันทุกๆ 26.66 msec



รูปที่ 2.10 วงจรสร้างรหัสชุด I ที่มีโครงสร้างต่อกันแบบใช้ความยาวสูงสุด [1]

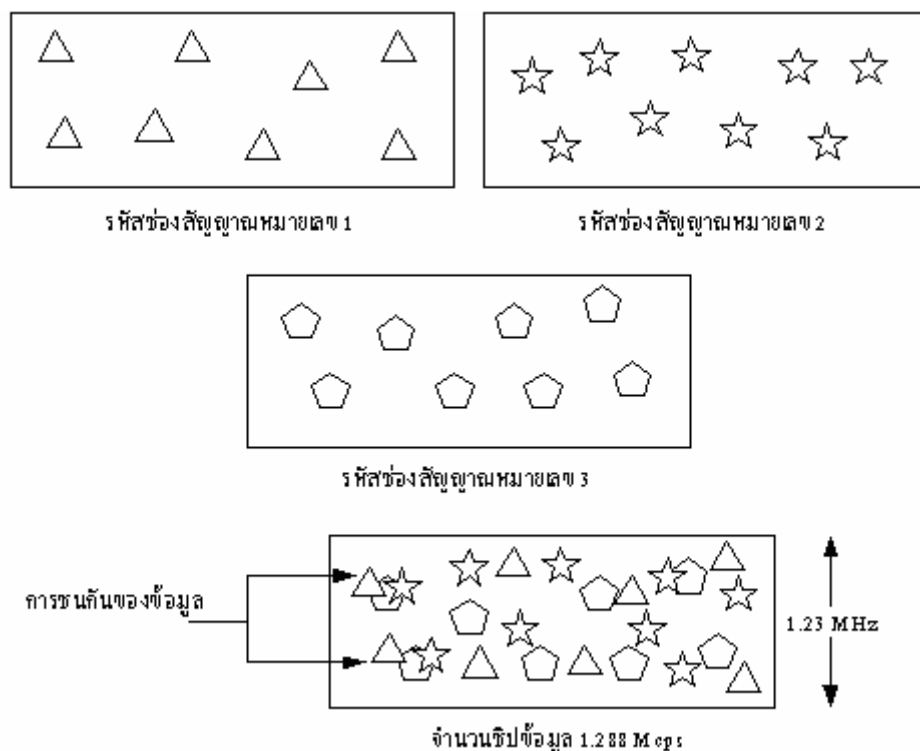


รูปที่ 2.11 วงจรสร้างรหัสชุด Q ที่มีโครงสร้างต่อกันแบบใช้ความยาวสูงสุด [1]

2) รหัส PN กับการรับส่งสัญญาณในระบบ CDMA

รูปที่ 2.23 แสดงถึงสิ่งที่เกิดขึ้นบนช่องสัญญาณวิทยุแต่ละช่อง แบนด์วิดท์ในระบบ CDMA ได้กำหนดไว้เป็น 1.25 MHz ความแตกต่างกันระหว่างระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละระบบคือรูปแบบการจัดสรรแบนด์วิดท์ ในระบบ CDMA ข้อมูลของผู้ใช้งานจำนวนหลายๆ คน จะถูกนำมา รวมกันและส่งไปบนช่องสัญญาณเดียวกัน โดยไม่มีการกำหนดช่วงเวลาในการส่ง

ข้อกำหนดมาตรฐาน IS-95 กำหนดวิธีในการแยกแยะวงจรใช้งานต่างๆ ออกจากกันโดยนำสัญญาณของผู้ใช้งานหรือสัญญาณควบคุมต่างๆ ที่ต้องการจะส่งออกจากสถานีฐาน และในทางกลับกัน มาผ่านกระบวนการคูณกับรหัสชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกกันว่า รหัสสัญญาณรบกวนเทียม (pseudo noise) เรียกว่ารหัส PN สัญญาณก่อนผ่านกระบวนการคูณจะเป็นสัญญาณที่ต้องการแบนด์วิดท์ในการส่งไม่มากนัก เมื่อผ่านกระบวนการคูณกับรหัส PN แล้วสัญญาณดังกล่าวจะถูกกระจายตัวออกไปตลอดความกว้างของช่องความถี่ใช้งาน



รูปที่ 2.12 รหัสข้อมูล และการชนกันของข้อมูล

รูปแบบองค์ประกอบของข้อมูลเปรียบคล้ายๆ กับฝุ่นที่กระจายคลุ้งไปทั่วห้องแต่ละองค์ประกอบย่อยๆ มีชื่อเรียกว่า ชิป (chip) ข้อมูลของผู้ใช้งานหรือสัญญาณควบคุมต่างๆ แต่ละบิต เมื่อผ่านกระบวนการคูณกับรหัส PN แล้วจะถูกแทนที่ด้วยชิปเป็นจำนวนนับร้อยบิตกระจายส่งไปตลอดแบนด์วิดท์ของช่องความถี่ใช้งาน ที่สำคัญมากก็คือรหัสชิปของแต่ละวงจรสื่อสารจะมี

คุณลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งวงจรภาครับปลายทางสามารถแยกแยะความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละวงจรสื่อสารออกจากกันได้ ทั้งนี้ก็เพราะรหัส PN ที่ถูกกำหนดให้กำกับวงจรสื่อสารแต่ละวงจรมันจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันนั่นเอง การที่บิตข้อมูลของผู้ใช้งานถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นรหัสชิปจำนวนมากกระจายตัวอยู่ตลอดย่านความถี่นั้นมีประโยชน์ต่อการป้องกันการรบกวนของปัจจัยภายนอกได้มาก

จากรูปที่ 2.13 ซึ่งแสดงตัวอย่างง่ายๆ ของการแยกข้อมูลออกจากช่องสัญญาณใช้งานจำนวน 3 ช่องออกจากกันด้วยการกำหนดรหัสชิปให้แตกต่างกัน โอกาสที่รหัสชิปของช่องสัญญาณต่างช่องกันจะชนกันก็ยังคงมีอยู่ หากแต่ว่า ผลที่เกิดจากการชนกันของรหัสชิปเพียงบางส่วนจะไม่ส่งผลกระทบต่อข้อมูลใช้งานแต่อย่างใด ทั้งนี้เพราะบิตข้อมูลหนึ่งบิตจะถูกแทนด้วยรหัสชิปเป็นจำนวนมาก หากการชนกันไม่มากและบังเอิญจนถึงขั้นทำให้รหัสชิปที่ใช้แทนข้อมูลบิตเดียวกันถูกทำลายจนหมดซึ่งแทบไม่มีทางเกิดขึ้นได้ในทางปฏิบัติ ก็ถือว่าคุณภาพของการรับส่งข้อมูลในมาตรฐาน IS-95 มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับที่ใช้แทนข้อมูลให้มีอยู่ตลอดย่านความถี่ของช่องความถี่ใช้งานก็ยิ่งเป็นการเพิ่มความปลอดภัยต่อการถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอกได้อย่างดีอีกประการหนึ่ง

3) การจัดสรรความถี่ใช้งาน

การกำหนดจัดสรรความถี่สำหรับใช้งานกับมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA ก็ยังคงตั้งอยู่บนพื้นฐานของมาตรฐาน AMPS ต่างกันเพียงว่าแบนด์วิดท์ของช่องความถี่ใช้งานในระบบ CDMA มีความกว้างมากจึงต้องมีการระบุย่านความถี่อนุญาตใช้งานที่ชัดเจนขึ้น โดยกำหนดใช้งานความถี่ได้ตั้งแต่ช่วงที่ตรงกับช่องที่ 1 ถึง 777 และช่องที่ 1013 ถึง 1023 ของระบบ AMPS เท่านั้น ช่วงห่างระหว่างค่าความถี่ช่องเดียวกันที่ใช้เป็นช่องสัญญาณขาไปและช่องสัญญาณขากลับจะมีค่าเท่ากับ 45 MHz ดังเช่นในมาตรฐาน AMPS สรุปได้ว่าผู้ออกแบบระบบสามารถทำการกำหนดช่องสัญญาณขาไปให้ใช้ความถี่ได้ในช่วงตั้งแต่ 869 - 894 MHz และสำหรับช่องสัญญาณขากลับจะมีค่าอยู่ในช่วง 824 - 849 MHz

4) เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณ

มาตรฐาน IS-95 ได้กำหนดให้เครื่องส่งสัญญาณวิทยุของสถานีฐาน (ส่งสัญญาณด้านขาไป) และของเครื่องลูกข่าย (สัญญาณด้านย้อนกลับ) ใช้เทคนิคในการมอดูเลตสัญญาณต่างกัน

สำหรับเครื่องส่งของสถานีฐานจะใช้การมอดูเลตสัญญาณแบบ QPSK (quadrature phase shift keying)

กลุ่มบิตข้อมูลของผู้ใช้งานรายหนึ่งๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 1,200 ถึง 9,600 บิตต่อวินาทีจะถูกนำมาผ่านกระบวนการคูณกับรหัส PN ข้อมูลที่ผ่านการคูณออกมาจะมีอัตราเร็วของการส่งจำนวนรหัสชีพสูงถึง 1.228 ล้านรหัสต่อวินาทีต่อช่องสัญญาณหนึ่งช่อง สัญญาณรหัสชีพที่ได้จะถูกนำมาแยกออกเป็นสัญญาณ I และ Q ในช่วงนี้สัญญาณ I และ Q ยังคงมีความเหมือนกันอยู่ทุกประการ จากนั้นแต่ละส่วนจะถูกส่งผ่านวงจรจัดรูปสัญญาณ (shaper) เพื่อปรับแต่งขอบของสัญญาณให้องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณมีขนาดลดลง ก่อนที่จะต่อไปยังวงจรมัลติเพล็กซ์ ซึ่งสัญญาณ I และ Q จะถูกคูณกับสัญญาณอ้างอิงมาตรฐานความถี่เดียวกันเพียงแต่สัญญาณอ้างอิงที่ผ่านไปยังวงจรคูณของสัญญาณ Q จะมีเฟสตามหลังสัญญาณอ้างอิงที่ถูกส่งไปทำการมัลติเพล็กซ์กับสัญญาณ I เท่ากับ 90 องศา สัญญาณทั้งสองเมื่อผ่านการมัลติเพล็กซ์แล้วจะถูกนำมารวมกันอีกครั้งเพื่อทำการออกอากาศไปยังอุปกรณ์ปลายทาง

5) การจัดใช้งานความถี่ซ้ำ

การวางแผนออกแบบเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในทุกๆระบบ ต้องกำหนดความถี่ใช้งานแก่สถานีฐานแต่ละแห่งให้มีความเหมาะสม เนื่องจากจำนวนช่องความถี่ใช้งานของแต่ละเครือข่ายมีอยู่เป็นจำนวนจำกัด การเลือกจัดความถี่ให้แต่ละสถานีฐานต้องอยู่บนเงื่อนไขที่ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานความถี่เป็นไปอย่างคุ้มค่าที่สุด และหลีกเลี่ยงการรบกวนทางความถี่ระหว่างเซลล์ที่อยู่ใกล้กัน แต่สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA แนวความคิดดังกล่าวได้ถูกทำลายลงอย่างสิ้นเชิง เพราะผู้ออกแบบระบบสามารถกำหนดให้เซลล์ที่อยู่ติดกันใช้ความถี่ค่าเดียวกันได้โดยไม่ต้องกังวลในเรื่องของความถี่รบกวนกัน

สถานีฐาน 1 และสถานีฐาน 2 อาจได้รับการกำหนดความถี่ใช้งานเป็น f_1 เช่นเดียวกัน เนื่องจากแนวคิดของการแบ่งแยกช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการแต่ละคนในรูปของรหัสชีพจึงไม่ทำให้สัญญาณคลื่นวิทยุจากสถานีฐานทั้งสองกวนกันแต่อย่างใด สำหรับพื้นที่ซึ่งได้รับสัญญาณจากทั้งสองสถานีฐานจะก่อให้เกิดผลเพียงทำให้อัตราการชนของรหัสชีพ จากทั้งสองสถานีฐานมีสูงขึ้นซึ่งก็หมายความว่าจำนวนผู้ใช้บริการจะลดลงจากปกติเท่านั้น มิได้ถึงขั้นที่ว่าสัญญาณรบกวนกันเองจนไม่มีผู้ใดใช้งานได้

6) การควบคุมกำลังส่ง

เนื่องจากพฤติกรรมในการร่วมใช้ช่องความถี่ของช่องสัญญาณสนทนาแต่ละวงจรในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA นั้นเป็นไปในลักษณะของการจัดสรรรหัสชิปของแต่ละช่องสัญญาณในความเป็นจริงนั้นจะพบว่าเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องซึ่งติดต่อกับสถานีฐานเดียวกันนั้น จะมีตำแหน่งที่อยู่กระจายกระจายห่างจากสถานีฐานในระยะทางที่แตกต่างกัน หากไม่มีการควบคุมกำลังส่งของเครื่องลูกข่าย ผลที่เกิดขึ้นก็คือวงจรภาครับของสถานีฐานจะได้รับรหัสชิปจากเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องด้วยระดับความแรงที่แตกต่างกัน สัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ห่างออกไปจะมีระดับความแรงต่ำกว่าสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้สถานีฐานกว่า และเนื่องจากสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายทุกเครื่องมาถึงสถานีฐานโดยไม่มีการแบ่งช่วงเวลาในการแยกรับแต่ละช่องสัญญาณออกจากกัน วงจรภาครับของสถานีฐานจึงสามารถขยายความแรงของสัญญาณแต่ละช่องสัญญาณด้วยอัตราขยายเดียวกัน ทำให้เกิดปัญหากับสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ไกลสถานีฐาน เพราะสัญญาณถูกขยายด้วยอัตราขยายเดียวกัน สัญญาณจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ไกลจึงมีกำลังน้อยกว่าสัญญาณจากเครื่องที่อยู่ใกล้กว่าอยู่ดี

เพื่อเป็นการสร้างความเสมอภาคในการรับส่งสัญญาณ มาตรฐาน CDMA จึงกำหนดให้มีมาตรการควบคุมกำลังการส่งของเครื่องลูกข่ายขึ้น ทั้งนี้เพื่อประกันว่าไม่ว่าเครื่องลูกข่ายจะอยู่ห่างจากสถานีฐานเพียงใด สัญญาณที่มาถึงสถานีฐานจะมีค่าใกล้เคียงกันเสมอ เทคนิคในการควบคุมกำลังส่งของเครื่องลูกข่ายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ การควบคุมระดับกำลังส่งแบบวงเปิด (open-loop RF power control) และการควบคุมระดับกำลังส่งแบบวงปิด (closed-loop RF power control)

สำหรับการควบคุมระดับกำลังส่งแบบวงเปิดนั้นจะเป็นหน้าที่ของเครื่องลูกข่าย โดยเครื่องลูกข่ายจะคอยตรวจสอบระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานซึ่งติดต่อใช้งานอยู่ในขณะนั้นยิ่งเครื่องลูกข่ายอยู่ห่างจากสถานีฐานมากเท่าใด ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานก็จะต่ำลง ในกรณีนี้เครื่องลูกข่ายจะเพิ่มกำลังส่งโดยคำนวณหาค่ากำลังที่จะต้องเพิ่มขึ้นจากค่าความสูญเสียของสัญญาณที่ถูกส่งมาจากสถานีฐาน ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความสูญเสียของตัวกลาง(dB)} &= \text{ระดับความแรงของสัญญาณที่ส่งจากสถานีฐาน(dB)} & (2.1) \\ &- \text{ระดับความแรงของสัญญาณที่เครื่องลูกข่ายได้รับ(dB)} \end{aligned}$$

และในทางกลับกันหากเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เข้าใกล้สถานีฐานมากขึ้น ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ในกรณีนี้เครื่องลูกข่ายก็จะลดกำลังส่งลง วิธีควบคุมระดับกำลังส่งแบบลูบเปิดนี้มีประสิทธิภาพไม่สูงมากนัก กล่าวคือสามารถปรับระดับความแรงของกำลังส่งได้อย่างหยابๆ ทั้งนี้เพราะอัตราเร็วในการปรับเพิ่มหรือลดกำลังส่งนั้นขึ้นอยู่กับเครื่องลูกข่ายเป็นสำคัญ หากเครื่องลูกข่ายใช้เวลาในการตรวจสอบสัญญาณที่ได้รับไม่บ่อยมากนัก อัตราการปรับระดับกำลังส่งก็อาจจะไม่เร็วตามที่ควรจะเป็น

การควบคุมระดับกำลังส่งแบบลูบปิดเป็นการร่วมกันควบคุมระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย โดยสถานีฐานจะทำหน้าที่คอยวัดระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องทุกๆ ช่วงเวลา 1.25 msec จากนั้นจึงนำผลการวัดที่ได้มาวิเคราะห์ดูว่าสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องลูกข่ายนั้นมีค่าสูงหรือต่ำเกินไปกว่าที่ควรจะเป็น ในกรณีที่สัญญาณที่ได้รับมีค่าสูงเกินกว่าค่าเฉลี่ยของสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายทุกเครื่อง สถานีฐานจะทำการส่งสัญญาณไปให้เครื่องลูกข่ายทำการลดกำลังส่งลง และในทางกลับกันสถานีฐานจะทำการส่งสัญญาณแจ้งไปยังเครื่องลูกข่ายให้ทำการเพิ่มกำลังส่งขึ้นหากตรวจพบว่าระดับความแรงที่ได้รับจากเครื่องลูกข่ายนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของระดับความแรงรวมที่ได้รับ การควบคุมระดับกำลังส่งแบบนี้มีความเที่ยงตรงมากกว่าแบบลูบเปิด โดยสถานีฐานสามารถปรับเพิ่มและลดกำลังของเครื่องลูกข่ายได้สูงสุดและต่ำสุดถึง ± 24 dB อย่างไรก็ตามในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA บางระบบก็ได้มีการนำเทคนิคการปรับควบคุมระดับกำลังส่งทั้งสองชนิดนี้มาใช้งานร่วมกัน

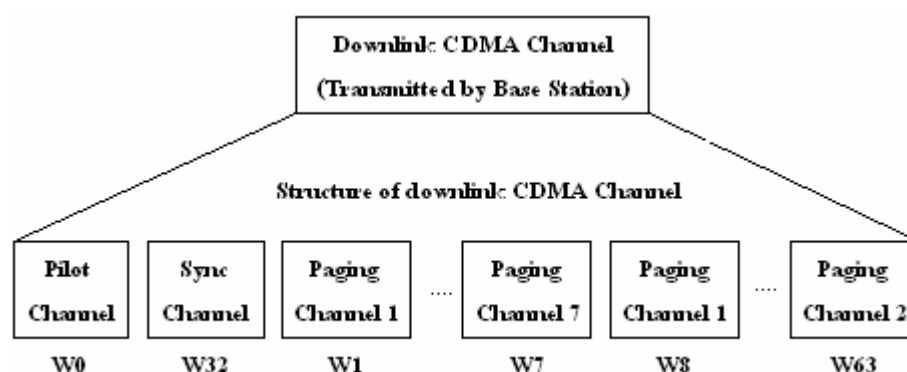
2.4 การส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์ (Forward Link)

การส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ ประกอบด้วยช่องสัญญาณ 4 ประเภทคือ

- 1) ช่องสัญญาณไพลอต (forward pilot channel)
- 2) ช่องสัญญาณซิงโครไนเซชัน (forward synchronization channel)
- 3) ช่องสัญญาณเพจจิง (forward paging channel)
- 4) ช่องสัญญาณทราฟฟิก (forward traffic channel)

สำหรับคลื่นพาห์หนึ่งความถี่ สามารถใช้ส่งสัญญาณรวมกันได้ทั้งหมดไม่เกิน 64 ช่องสัญญาณ โดยมีช่องสัญญาณไพลอตหนึ่งช่องเสมอ ช่องสัญญาณซิงโครไนเซชันไม่เกินหนึ่ง

ช่อง ช่องสัญญาณเพจจึงไม่เกิน 7 ช่อง และ ช่องสัญญาณทราฟฟิก อีกจำนวนหนึ่ง ช่องสัญญาณทั้งหมดสามารถแยกจากกันได้โดยรหัส Walsh 64 ชุด ตัวอย่างการแบ่งช่องสัญญาณที่มักมีการใช้งานตามปกติ ในรูปที่ 2.13 สังเกตว่าช่องสัญญาณไพลอต จะใช้รหัส Walsh ชุดที่ 0 (W0) เสมอ แต่ถ้าหากเป็นช่องสัญญาณเพจจึงก็จะมีการใช้รหัส Walsh ชุดที่ 1-7 (W1-W7) เรียงตามลำดับ ส่วนช่องสัญญาณซิงโครไนเซชัน ถ้ามีการใช้งานก็จะใช้ชุดที่ 32 (W32) เสมอ และสำหรับช่องสัญญาณทราฟฟิกจะใช้ W8-W31 และ W33-W64



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของช่องสัญญาณด้านขาลง (forward link channel หรือ down link channel)

1) ช่องสัญญาณไพลอต

โดยปกติสถานีฐานของแต่ละเซลล์จะทำการส่งสัญญาณไพลอตออกไปให้เครื่องลูกข่ายที่อยู่รอบๆ ตลอดเวลา เพื่อใช้เป็นสัญญาณคลื่นพาห์อ้างอิง (reference carrier) สำหรับการดีมอดูเลตแบบโคฮีเรนต์ (coherent) โดยไม่มีข้อมูลจากผู้ใช้งานมอดูเลตด้วยเลย และเพื่อให้เครื่องลูกข่ายตรวจจับสัญญาณได้ง่าย จึงต้องใช้กำลังในการส่งสัญญาณไพลอตมาก และใช้รหัส Walsh ชุดที่เป็นศูนย์ 64 บิต (W0) ดังนั้นข้อมูลของสัญญาณนี้จะมีอย่างเดียวกักรหัส PN แบบสั้น (short PN code) ของ I และ Q ทำให้สามารถแยกแยะได้ว่าสัญญาณไพลอตนี้ส่งออกมาจากสถานีฐานใด โดยทุกสถานีฐานจะใช้รหัส PN แบบสั้น ชุดเดียวกัน เพียงแต่จะมีการเลื่อนชิปออกไปเป็นจำนวนที่แตกต่างกันเท่านั้น ปกติแล้วเมื่อเปิดเครื่องลูกข่าย ตัวเครื่องจะทำการวัดระดับสัญญาณไพลอตก่อนเป็นอันดับแรกและจะเลือกติดต่อกับสถานีฐานที่มีระดับสัญญาณแรงที่สุด นอกจากนี้ทุกสถานีฐานจะใช้รหัส PN แบบสั้น ชุดเดียวกันหมดแต่จะมีการเลื่อนชิปออกไปทีละ 64 ชิป ดังนั้นจะมีรหัสใช้งานทั้งหมด

$32,768/64 = 512$ ชุด รหัสชุดหนึ่งสามารถนำมาใช้ซ้ำในหลายเซลล์ได้ หากเซลล์เหล่านั้นอยู่ห่างกันมากพอที่สัญญาณจะไม่รบกวนซึ่งกันและกัน

นอกจากนี้สัญญาณไหลอดยังมีประโยชน์ต่อการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ โดยเมื่อเครื่องลูกข่ายได้รับสัญญาณไหลอด จะทำการคำนวณกำลังเฉลี่ย เพื่อประมาณกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง ซึ่งค่านี้จะนำมาใช้ประมาณการส่งกำลังออกไปของเครื่องลูกข่าย

2) ช่องสัญญาณซิงโครไนเซชัน

เมื่อเครื่องลูกข่ายตรวจพบสัญญาณไหลอดแล้ว ก็จะตรวจหาสัญญาณซิงโครไนเซชันเป็นลำดับที่สอง โดยที่ช่องสัญญาณซิงโครไนเซชันใช้รหัส Walsh ชุดที่ 32 และใช้รหัส PN ชุดเดียวกับช่องสัญญาณไหลอด ช่องสัญญาณนี้มีไว้เพื่อส่งข้อมูลที่จำเป็นต่อการติดต่อในช่วงแรก เพื่อให้เครื่องลูกข่ายสามารถรับข้อมูลที่ตรงกับสัญญาณที่ส่งออกจากสถานีฐานได้อย่างถูกต้อง โดยข้อมูลนี้จะประกอบด้วยหมายเลขประจำตัวของเซลล์ที่เครื่องลูกข่ายกำลังติดต่ออยู่ (cell site identification), กำลังส่งสัญญาณไหลอด, จังหวะเวลาในการส่งสัญญาณ และกำลังสัญญาณที่ควรส่งในระยะแรกได้ ช่องสัญญาณซิงโครไนเซชัน มีลักษณะเหมือนช่องสัญญาณไหลอดคือ ไม่มีการใช้รหัส PN แบบยาว เนื่องจากการส่งสัญญาณให้เครื่องลูกข่ายทุกเครื่องที่อยู่ในเซลล์

3) ช่องสัญญาณเพจจิง

เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ตรวจพบสัญญาณซิงโครไนเซชันแล้ว ก็จะตรวจหาสัญญาณเพจจิงเป็นลำดับที่สาม ช่องสัญญาณเพจจิงมีไว้สำหรับให้สถานีฐานใช้ในการค้นหาตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายที่ต้องการจะติดต่อด้วย และหลังจากที่สถานีฐานสามารถติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์ที่ต้องการได้แล้ว ก็จะจัดสรรช่องสัญญาณทราฟฟิกสำหรับใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลต่อไป โดยปกติหากไม่ใช่ช่องสัญญาณเพจ ก็จะจัดสรรช่องสัญญาณนั้นให้เป็นช่องสัญญาณทราฟฟิกแทน รหัส Walsh ที่ใช้คือ W1-W7

4) ช่องสัญญาณทราฟฟิก

ช่องสัญญาณนี้มีไว้สำหรับส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณอื่นๆ ตลอดช่วงเวลาที่มีการติดต่อสื่อสาร โดยรหัส Walsh ชุดที่สามารถนำมาใช้ได้คือ W8-W31, W33-W63 และ W1-W7 ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนจะได้รับการแบ่งช่องสัญญาณไม่ซ้ำกัน คือรหัส Walsh ต่างกันนั่นเอง การสร้าง

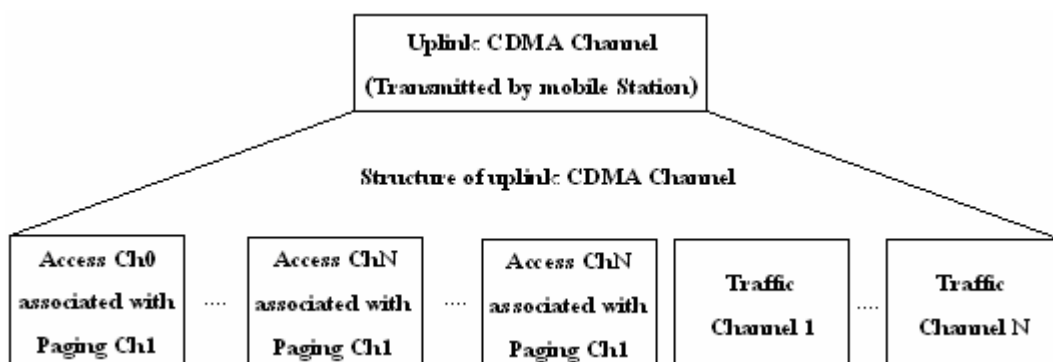
สัญญาณนี้เริ่มจาก การทำคอนไวลูชัน การส่งข้อมูลซ้ำ (symbol repetition) การทำอินเตอร์ลีฟวิ่ง (Interleaving) จากนั้นจึงนำมาทำการสลับข้อมูล (data scrambling) เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้ เหมือนกรณีช่องสัญญาณเพจจิง แต่จะใช้รหัสที่ต่างกันออกไป นอกจากนี้ยังมีการควบคุมกำลัง โดยเพิ่มบิตพิเศษ คือดึงเอาข้อมูลออก 1 บิตจากทุก 800 บิต แล้วแทรกบิตพิเศษลงไปแทน โดยที่ 0 แสดงถึงให้โทรศัพท์เพิ่มกำลังส่งและ 1 แสดงว่าให้ลดกำลังส่งลง

2.5 การส่งสัญญาณจากโทรศัพท์ไปยังสถานีฐาน (Reverse Link หรือ Up Link)

เป็นการส่งสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน การส่งในทิศทางนี้จะมีความซับซ้อนกว่าด้านขาไป เพราะกำลังของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์ส่งออกมีขนาดอ่อนกว่าเมื่อเทียบกับกำลังของสัญญาณที่ส่งออกจากสถานีฐาน ดังนั้นจึงต้องมีการเข้ารหัสช่องสัญญาณที่ซับซ้อนกว่า อีกทั้งที่สถานีฐานยังมีการใช้สายอากาศหลายชุดเพื่อช่วยเพิ่มสมรรถภาพในการรับสัญญาณ การส่งสัญญาณในทิศทางนี้มี 2 ช่องสัญญาณคือ

- 1) ช่องสัญญาณแอกเซส (access channel)
- 2) ช่องสัญญาณทราฟฟิกขากลับ (reverse traffic channel)

ในการส่งสัญญาณในด้านย้อนกลับ จะใช้ชุดรหัส PN แบบยาว (long PN code) ในการระบุประเภทของช่องสัญญาณแชนเนลรหัส Walsh ที่ใช้ในด้านขาไป รูปที่ 2.14 แสดงการจัดสรรช่องสัญญาณของช่องสัญญาณด้านย้อนกลับ



รูปที่ 2.14 การจัดช่องสัญญาณที่ส่งออกโดยเครื่องลูกข่ายในด้านย้อนกลับ

ช่องสัญญาณแอกเซส มีหน้าที่หลักคือ ใช้ส่งสัญญาณออกไปยังสถานีฐานเพื่อขอเริ่มการติดต่อในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการจะโทรออก และใช้ช่องสัญญาณนี้ในการโต้ตอบกับสัญญาณที่ส่งออกมาจากสถานีฐานผ่านทางช่องสัญญาณเพจจิง

ส่วนช่องสัญญาณทราฟฟิกขากลับ มีหน้าที่ส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณอื่นๆ ตลอดช่วงเวลาที่มีการติดต่อสื่อสารกัน

2.6 แบบจำลองการลดทอนของ Hata

ในการวิเคราะห์และจำลองหาค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการสูญเสียจากการเดินทางในระบบจริงมีความซับซ้อนมาก เพราะมีองค์ประกอบต่าง ๆ มาก โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมที่สัญญาณส่งผ่านที่ต้องนำมาคำนวณด้วย ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมักใช้ค่าที่ได้จากการวัดในสภาพการใช้งานจริงเพื่อนำมาใช้ในการจำลองการลดทอนของสัญญาณของระบบ โดยแบบจำลองหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษคือ แบบจำลองของ Okumura ซึ่งเป็นการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในเมืองโตเกียว แล้วนำค่าที่ได้นี้มาหาค่าเฉลี่ยแล้ววาดเป็นกราฟ ใช้จำลองการลดทอนของสัญญาณที่ส่งผ่านในเมืองใหญ่ ซึ่งค่าเหล่านี้ถูกใช้เป็นค่ามาตรฐานกลาง และหากต้องการหาการลดทอนของสัญญาณในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมต่างออกไป ก็จะสามารถปรับแก้ไข (correction factor)

แบบจำลองของ Okumura มีประโยชน์และนำมาใช้ในการประมาณค่าการลดทอนสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากแต่การนำมาใช้งานค่อนข้างจะยุ่งยากและไม่ค่อยสะดวกนักเนื่องจากต้องอ่านค่าจากกราฟ ด้วยเหตุนี้ Hata จึงได้ทำการหาสูตรสมการที่สามารถนำมาจำลองและใช้แทนกราฟของ Okumura ซึ่งสมการของ Hata ได้แบ่งแบบจำลองออกเป็น 3 แบบตามสภาพแวดล้อมคือ ในเมือง บริเวณชานเมืองรอบนอก และ เขตชนบท ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองของสภาพแวดล้อมในเมือง เนื่องจากมีการลดทอนมากที่สุด ซึ่งมีการลดทอนของสัญญาณเป็นดังสมการต่อไปนี้ [1]

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(d) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) \quad (2.2)$$

โดย L_p คือ การสูญเสียสัญญาณที่เกิดจากการเดินทาง (dB)

f	คือ ค่าความถี่ของคลื่นพาห้ (MHz)
d	คือ ระยะระหว่างสถานีฐานและเครื่องโทรศัพท์ (km)
h_b	คือ ความสูงของเสาอากาศของสถานีฐาน (m)
h_m	คือ ความสูงของเสาอากาศของเครื่องโทรศัพท์ (m)
$a(h_m)$	คือ ตัวประกอบแก้ไขสำหรับความสูงของเสาอากาศของเครื่องโทรศัพท์

$a(h_m)$ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองของเมืองขนาดใหญ่ ซึ่งคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$a(h_m) = \begin{cases} 8.29[\log_{10}(1.54h_m)]^2 - 1.1 & f \leq 200\text{MHz} \\ 3.2[\log_{10}(11.75h_m)]^2 - 4.97 & f \geq 400\text{MHz} \end{cases} \quad (2.3)$$

ชุดสมการของ Hata มีประโยชน์อย่างมากในทางปฏิบัติ เพราะสามารถให้ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองของ Okumura ที่ระยะทางที่มากกว่า 1 km จึงเหมาะสมกับการนำมาใช้งานในระบบที่ใช้เซลล์ขนาดใหญ่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้พื้นที่เซลล์เท่ากับ 4 km ซึ่งเราจะหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่และ รัศมีของเซลล์ได้จากสูตร

$$\text{Area} = 2.6R^2 \quad (2.4)$$

เมื่อ	R	คือ รัศมีของเซลล์ที่วัดจากจุดกึ่งกลางเซลล์ไปยังมุมของพื้นที่หกเหลี่ยม (km)
	Area	คือ พื้นที่ของเซลล์ (km ²)

ในงานวิจัยนี้ ใช้ค่าความสูงของเสาอากาศของสถานีฐานเป็น 40 m ซึ่งได้มาจากค่าเฉลี่ยของความสูงของเสาสถานีฐานในเขตภาคเหนือ และใช้ค่าความสูงของเสาอากาศของโทรศัพท์มือถือเป็น 3 m โดยเฉลี่ย ซึ่งทำให้ได้สมการการลดทอนของ Hata เป็นดังนี้

$$L_p = 116.5032 + 31.8\log_{10}(d) \quad (2.5)$$

สัญญาณที่ส่งออกจากโทรศัพท์มือถือที่อยู่ในเซลล์เดียวกัน และนอกเซลล์ จะถูกลดทอนลง เนื่องจากการสูญเสียจากการเดินทาง และถูกลดทอนเนื่องจากการเกิดเฟดดิ้ง ดังนั้นสัญญาณที่สถานีฐานจะได้รับจากโทรศัพท์มือถือแต่ละเครื่องจะมีกำลังลดลงเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$P_r = P_F - L_p \quad (2.6)$$

โดยที่ P_r เป็นกำลังที่สถานีฐานได้รับ (dB)
 P_F เป็นกำลังที่โทรศัพท์มือถือส่งออกมา (dB) ได้มาจากแบบจำลองการส่งสัญญาณ ของระบบ DS/CDMA ในด้านย้อนกลับ คูณด้วยสัญญาณเฟดดิ้ง
 L_p เป็นกำลังสูญเสียเนื่องจากการเดินทาง (dB) คำนวณได้จากสมการ (2.5)

กำลังของสัญญาณที่สูญเสียเนื่องจากการเฟดดิ้ง ในงานวิจัยนี้จะใช้การจำลอง โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อสร้างสัญญาณที่มีลักษณะคล้ายกับเฟดดิ้ง ซึ่งได้มาจากการสุ่ม