

ตัวอย่างที่ 3 มีข้อมูลที่มีความถี่ทั้งในแกนตั้งและในแกนนอน ถึงแม้ผลลัพธ์ทั้ง 64 จะไม่เหมือนกัน แต่ข้อมูลที่ความถี่สูงส่วนใหญ่เป็นศูนย์และค่าข้อมูลภายในบล็อกจะใกล้เคียงกัน

$$\begin{bmatrix} 1568 & -47 & 0 & -21 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 31 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

$$\begin{bmatrix} 190 & 195 & 200 & 202 & 201 & 202 & 208 & 213 \\ 189 & 194 & 200 & 201 & 200 & 202 & 207 & 212 \\ 188 & 193 & 198 & 199 & 199 & 200 & 205 & 210 \\ 186 & 191 & 196 & 198 & 197 & 198 & 203 & 208 \\ 184 & 189 & 194 & 195 & 194 & 196 & 201 & 206 \\ 182 & 187 & 192 & 193 & 193 & 194 & 199 & 204 \\ 180 & 185 & 190 & 192 & 191 & 192 & 198 & 203 \\ 179 & 184 & 190 & 191 & 190 & 192 & 197 & 202 \end{bmatrix}$$

ผลลัพธ์จากวงจรคำนวณ MAC

$$\begin{bmatrix} 191 & 197 & 202 & 203 & 202 & 204 & 209 & 215 \\ 190 & 196 & 201 & 203 & 202 & 203 & 208 & 214 \\ 189 & 194 & 200 & 201 & 200 & 201 & 207 & 212 \\ 187 & 192 & 198 & 199 & 198 & 199 & 205 & 210 \\ 185 & 190 & 196 & 197 & 196 & 197 & 203 & 208 \\ 183 & 188 & 194 & 195 & 194 & 195 & 201 & 206 \\ 181 & 187 & 192 & 193 & 192 & 194 & 199 & 205 \\ 180 & 186 & 191 & 193 & 192 & 193 & 198 & 204 \end{bmatrix}$$

ผลลัพธ์จากวงจรคำนวณแบบโครงสร้างมีสี่อ

$$\begin{bmatrix} 189 & 194 & 200 & 201 & 200 & 202 & 208 & 213 \\ 188 & 193 & 199 & 200 & 199 & 201 & 207 & 212 \\ 187 & 192 & 198 & 199 & 198 & 200 & 206 & 211 \\ 185 & 190 & 196 & 197 & 196 & 198 & 204 & 209 \\ 185 & 188 & 194 & 195 & 194 & 196 & 202 & 207 \\ 180 & 185 & 191 & 193 & 192 & 193 & 199 & 204 \\ 179 & 184 & 190 & 192 & 191 & 192 & 198 & 203 \\ 178 & 183 & 189 & 191 & 190 & 191 & 197 & 202 \end{bmatrix}$$

ตัวอย่างที่ 4 มีข้อมูลความถี่ทั้งในแกนตั้งและในแกนนอน โดยข้อมูลส่วนใหญ่ไม่เป็นค่าศูนย์ แล้วผลลัพธ์แต่ละค่าภายในบล็อกจะมีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งข้อมูลแบบนี้จะพบได้น้อยในแฟ้มข้อมูล MPEG

1168	-303	-133	-197	-25	0	57	-67
79	0	-43	95	-53	-87	-101	73
-75	21	-25	-107	0	169	101	0
-43	21	-25	27	29	-101	73	0
21	-77	81	87	-31	-35	-119	0
-25	27	-57	-63	35	39	47	-57
25	0	-29	-33	0	45	0	0
-27	0	69	75	-45	-55	-69	0

ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

24	95	163	167	163	181	169	174
48	98	209	161	185	174	175	184
44	153	168	199	170	169	220	179
33	152	119	207	199	193	200	234
57	231	15	29	229	212	208	230
36	39	234	229	137	179	50	232
37	15	206	227	28	148	43	209
50	14	182	232	10	127	229	230

ผลลัพธ์จากวงจรคำนวณ MAC

24	97	164	168	164	183	171	175
48	100	210	162	186	175	176	185
43	155	170	210	171	171	222	180
33	154	120	208	201	194	202	236
55	232	16	30	229	214	208	231
35	40	236	231	138	180	49	233
36	17	207	229	29	148	44	210
49	15	183	232	10	128	231	231

ผลลัพธ์จากวงจรคำนวณแบบโครงสร้างผีเสื้อ

21	94	162	168	163	182	168	174
44	96	208	162	185	174	174	184
43	153	167	199	171	170	220	179
31	151	118	207	199	194	199	234
57	231	13	28	229	213	209	229
35	38	234	229	136	181	49	231
37	15	204	225	29	148	41	209
48	13	181	232	9	127	227	230

เนื่องจากวงจรคำนวณที่ได้ออกแบบขึ้นเป็นการคำนวณในระบบจำนวนเต็ม จะต้องมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น จึงได้ทำการทดสอบกับข้อมูลภาพ 1 ภาพจากแฟ้มข้อมูล MPEG จำนวน 10 แฟ้มข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 6.1 จำนวนบล็อกคือ จำนวนบล็อกของรูปภาพที่นำมาทดสอบ Max Diff. คือ ค่าความแตกต่างสูงสุดของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยวงจรเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่คำนวณโดยโปรแกรมที่คำนวณตามสูตรของ 2-D IDCT โดยใช้การคำนวณในระบบจำนวนจริงกรณีนี้ rms คือ การคำนวณรากที่สองของผลรวมของความแตกต่างยกกำลังสองหารด้วยจำนวนค่าที่ทำการทดสอบ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาด

รูปภาพที่นำมาทดสอบ		MAC		Butterfly	
คำอธิบาย	จำนวนบล็อก	Max Diff.	rms	Max Diff.	rms
ภาพนักบินอวกาศจากสารคดี One Small Step on the Moon	1182	3	0.943	6	0.942
ฉากยานอวกาศ จากภาพยนตร์เรื่อง Star Trek	474	2	0.671	3	0.504
ภาพโฆษณาบนจอโทรทัศน์	1182	3	0.705	5	0.677
ภาพห้องฟ้าสร้างโดยคอมพิวเตอร์กราฟฟิก	1554	2	0.594	5	0.613
รูปอวกาศสร้างจากคอมพิวเตอร์กราฟฟิก	1554	3	0.539	6	0.636
ฉากการต่อสู้จากภาพยนตร์เรื่อง High Lander	2586	3	0.625	6	0.676
ฉากฝึกดาบจากภาพยนตร์เรื่อง High Lander	2586	3	0.642	5	0.533
Close Up หน้าคน	474	3	0.816	6	0.868
ภาพการปล่อยยานอวกาศ	474	3	0.912	5	0.668
ภาพการหมุนของโลก	1554	3	0.554	5	0.624
ค่าเฉลี่ย		2.8	0.606	5.8	0.580

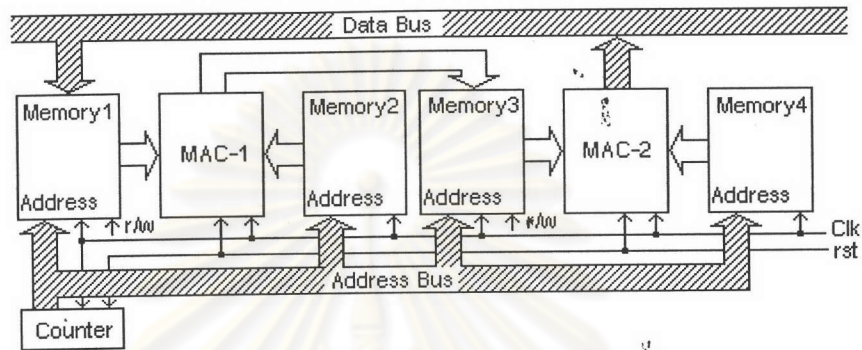
ตารางที่ 6.1 ผลการคำนวณจากวงจร MAC และวงจรคำนวณแบบโครงสร้างมีลื้อ เปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากโปรแกรมคำนวณ Floating Point

ผลจากตารางที่ 6.1 แสดงให้เห็นว่าค่าความแตกต่างสูงสุดของวงจร MAC นั้นเป็น 3 และของวงจรคำนวณแบบโครงสร้างมีลื้อเป็น 6 นับเป็นค่าที่น้อยเมื่อเทียบกับเลขจำนวน 8 บิต ค่าความแตกต่างสูงสุดจะเกิดกับข้อมูลบล็อกที่ข้อมูลภาพในบล็อกมีความแตกต่างสูง และจากการหาค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดของวงจรคำนวณทั้งสองมีค่าน้อยมากจนไม่เห็นความแตกต่างเมื่อนำออกแสดงเป็นภาพ

6.2 ขนาดของวงจร

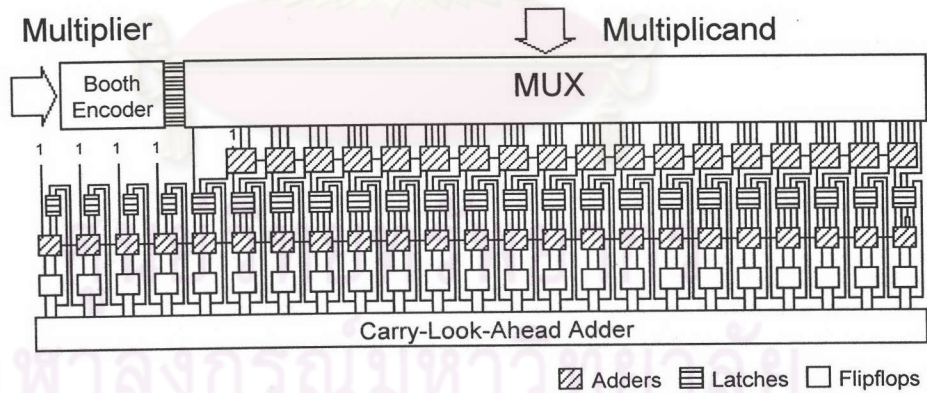
การเปรียบเทียบขนาดของวงจรที่ออกแบบนั้น จะวัดจากจำนวนเกตที่ใช้

6.2.1 วงจร Multiply Accumulator



รูปที่ 6.1 การเชื่อมต่อทางตรรกะของ 2-D IDCT โดยใช้ MAC 2 ตัว

วงจร 2-D IDCT ที่ออกแบบนี้จะใช้วงจร MAC อย่างน้อย 2 วงจรด้วยกัน ซึ่งวงจร MAC ประกอบด้วย วงจรเข้ารหัสบูธ วงจรตัวมัลติเพลกซ์ ส่วนคำนวณผลรวมผลบวกย่อยและตัวสะสมผลการคูณ รายละเอียด จำนวนเกตที่ใช้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2 และตารางที่ 6.3



รูปที่ 6.2 วงจร Multiply Accumulator สำหรับคำนวณ 1-D IDCT

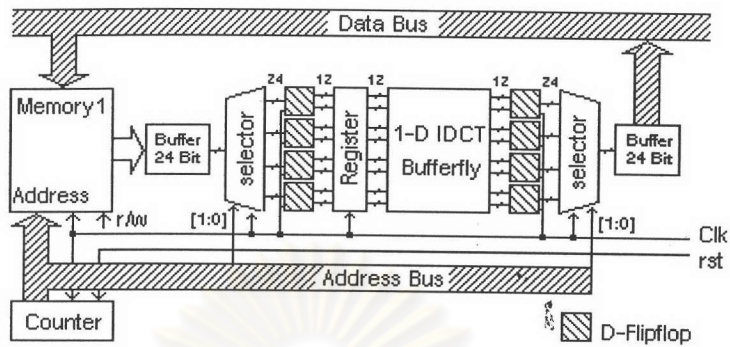
ส่วนวงจรหลัก	องค์ประกอบของวงจรหลัก	จำนวนวงจร
ส่วนถอดรหัสและเลือกผลคูณย่อย	ตัวเข้ารหัสอนุขนาด 2 บิต	1
	ตัวเข้ารหัสอนุขนาด 3 บิต	3
	ตัวมัลติเพลกซ์ 4 ตัวเลือก	1
	ตัวมัลติเพลกซ์ 5 ตัวเลือก	3
ส่วนคำนวณการบวกผลคูณย่อย	3-2 Adder	2
	4-2 Adder	15
	Latch	84
ส่วนคำนวณสะสมผลคูณ	3-2 Adder	4
	4-2 Adder	19
	D Flip-flop	54
	วงจรวก CLA ขนาด 24 บิต	1

ตารางที่ 6.2 องค์ประกอบของวงจร MAC

วงจร	จำนวนเกตที่ใช้	จำนวนวงจร	ผลรวมจำนวนเกต
ตัวเข้ารหัสอนุขนาด 2 บิต	6	1	6
ตัวเข้ารหัสอนุขนาด 3 บิต	11	3	33
ตัวมัลติเพลกซ์ 4 ตัวเลือก	67	1	67
ตัวมัลติเพลกซ์ 5 ตัวเลือก	92	3	276
3-2 Adder	9	6	54
4-2 Adder	12	34	408
Latch	6	84	504
D Flip-flop	9	54	504
วงจรวก CLA ขนาด 24 บิต	306	1	306
รวมจำนวนเกตที่ใช้ทั้งสิ้น			2158

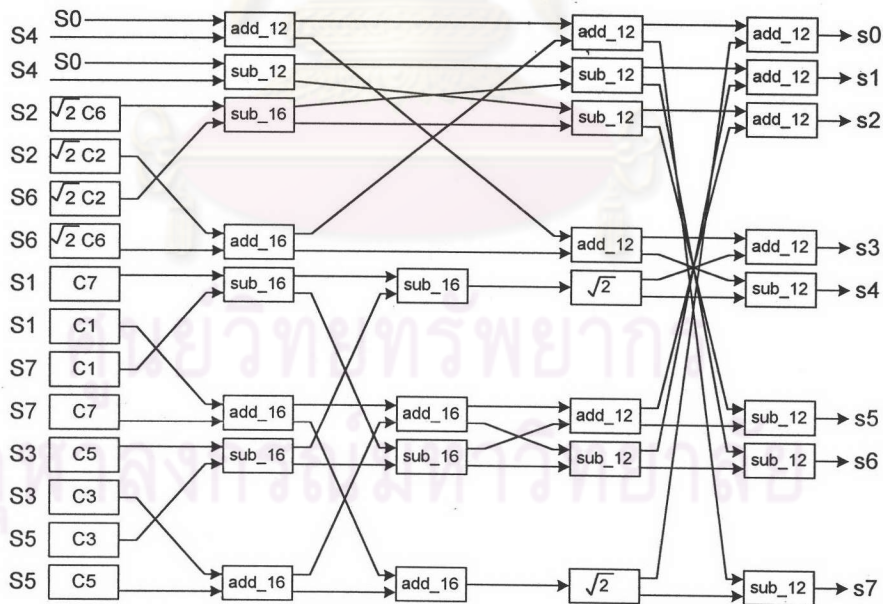
ตารางที่ 6.3 จำนวนเกตที่ใช้ในวงจร MAC

6.2.2 วงจรคำนวณ 1-D IDCT แบบโครงสร้างมีเส้น



รูปที่ 6.3 การเชื่อมต่อทางตรรกะของ 2-D IDCT โดยใช้วงจรคำนวณแบบโครงสร้างมีเส้น

วงจร 2-D IDCT ที่ออกแบบนี้จะใช้วงจรคำนวณแบบโครงสร้างมีเส้นเพียง 1 วงจร ซึ่งวงจรมีประกอบด้วย วงจรบวก CLA ขนาด 12 บิตจำนวน 8 วงจร วงจรลบ CLA ขนาด 12 บิตจำนวน 8 วงจร วงจรบวก CLA ขนาด 16 บิตจำนวน 5 วงจร วงจรลบ CLA ขนาด 16 บิตจำนวน 5 วงจร และวงจรคูณอีก 14 วงจร ซึ่งวงจรมีคูณแต่ละตัวจะใช้จำนวนเกตไม่เท่ากัน ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.4 และ 6.5



รูปที่ 6.4 รายละเอียดวงจรคำนวณ 1-D IDCT แบบโครงสร้างมีเส้น

ส่วนวงจรหลัก	จำนวน	องค์ประกอบของวงจรหลัก	จำนวนวงจร
วงจรคูณด้วย $\sqrt{2}$	2	Full Adder	4
		3-2 Adder	1
		4-2 Adder	10
		วงจรวกขนาด 16 บิต	1
		Misc. (unit gate)	16
วงจรคูณด้วย C1	2	วงจรวกขนาด 16 บิต	1
		Misc. (unit gate)	12
วงจรคูณด้วย $\sqrt{2}$ C2	2	Full Adder	9
		วงจรวกขนาด 16 บิต	1
		Misc. (unit gate)	12
วงจรคูณด้วย C3	2	Full Adder	1
		3-2 Adder	7
		4-2 Adder	7
		วงจรวกขนาด 16 บิต	1
		Misc. (unit gate)	12
วงจรคูณด้วย $\sqrt{2}$ C6	4	Full Adder	8
		วงจรวกขนาด 16 บิต	1
วงจรคูณด้วย C7	2	วงจรวกขนาด 12 บิต	1
วงจรวก/ลบ	1	วงจรวกขนาด 12 บิต	8
		วงจรวกขนาด 12 บิต	8
		วงจรวกขนาด 16 บิต	5
		วงจรวกขนาด 16 บิต	5

ตารางที่ 6.4 องค์ประกอบของวงจรคำนวณแบบโครงสร้างมีเสื่อ

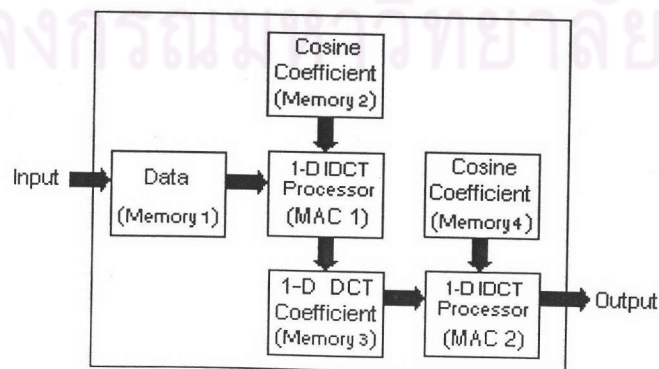
วงจร	จำนวนเกตที่ใช้	จำนวนวงจร	ผลรวมจำนวนเกต
Full Adder	6	60	360
3-2 Adder	9	16	144
4-2 Adder	12	34	408
วงจรวกขนาด 12 บิต	150	9	1350
วงจรถขนาด 12 บิต	164	8	1312
วงจรวกขนาด 16 บิต	202	16	3232
วงจรถขนาด 16 บิต	219	5	1095
Misc. (unit gate)	104	-	104
รวมจำนวนเกตที่ใช้ทั้งสิ้น			8005

ตารางที่ 6.5 จำนวนเกตที่ใช้ในวงจรถคำนวณแบบโครงสร้างมีเสื่อ

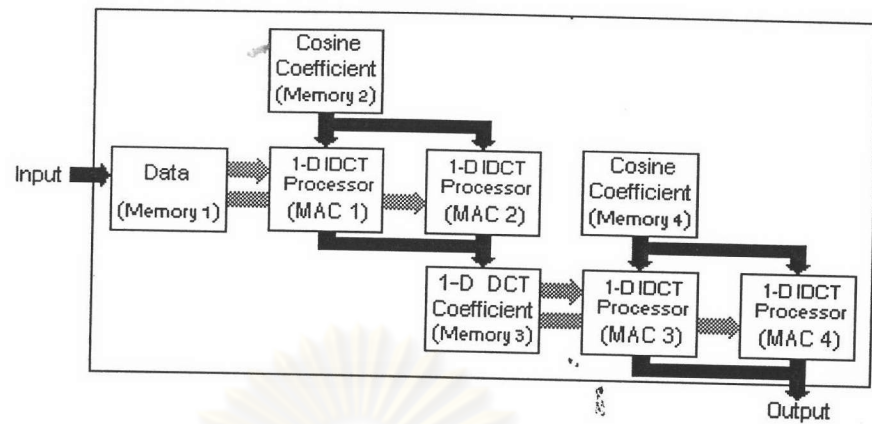
6.3 เวลาในการคำนวณของวงจรถ

6.3.1 วงจรถ Multiply Accumulator

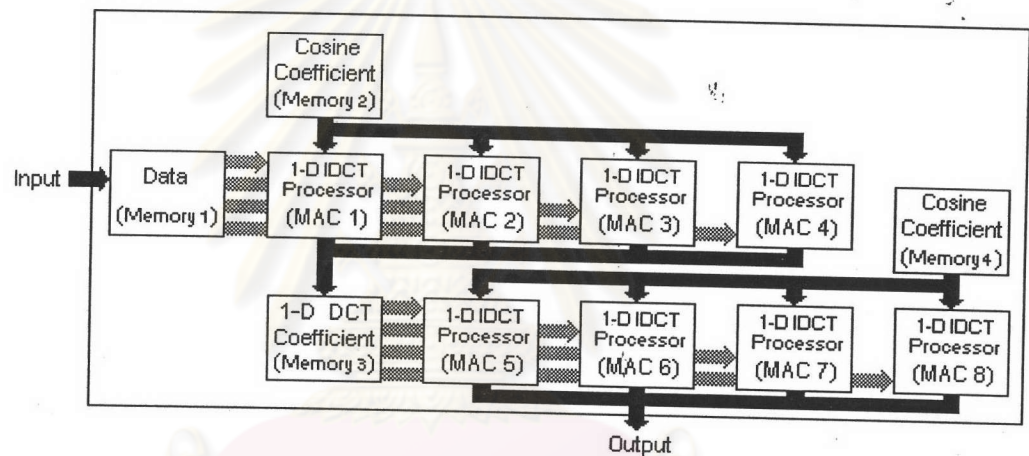
ลักษณะการคำนวณของวงจรถ MAC คือ การคำนวณทีละจุดของ 8×8 เมตริกซ์ ในการคำนวณแต่ครั้ง จะต้องมีการคูณกัน 8 คู่และการบวก 7 ครั้งด้วยกัน แต่เราออกแบบเป็นสถาปัตยกรรมแบบไพป์ไลน์ จึงสามารถ บวกและคูณไปได้พร้อมๆ กัน ดังนั้นแต่ละจุดจะเพียงใช้ 8 คาบสัญญาณนาฬิกา ด้วยกัน ถ้าคำนวณทั้งเมตริกซ์ ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 64 จุดจะต้องใช้เวลาเท่ากับ 512 คาบสัญญาณนาฬิกา สำหรับการคำนวณ 1-D IDCT แต่ เราต้องการคำนวณ 2-D IDCT จึงต้องใช้เวลาคำนวณ 2 เท่าคือ 1024 คาบสัญญาณนาฬิกา เราสามารถลด เวลาในการคำนวณ 2-D IDCT โดยใช้ MAC หลายตัวแบ่งการคำนวณแบบขนาน โดยถ้าใช้ MAC จำนวน 2 ตัว จะลดเวลาการคำนวณไปได้ครึ่งหนึ่งเหลือเพียง 512 คาบสัญญาณนาฬิกา ถ้าใช้ MAC จำนวน 4 ตัวจะใช้เวลา การคำนวณ 256 คาบสัญญาณนาฬิกา และถ้าใช้ MAC จำนวน 16 ตัวจะใช้เวลา 128 คาบสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 6.5 แผนภาพบล็อก 2-D IDCT โดยใช้ MAC 2 ตัว



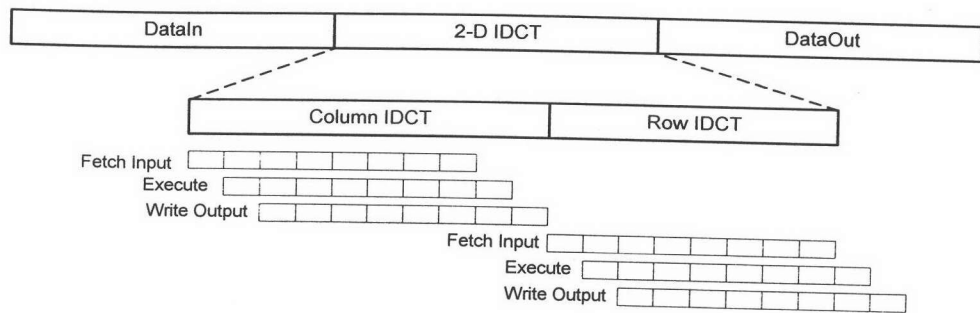
รูปที่ 6.6 แผนภาพบล็อก 2-D IDCT โดยใช้ MAC 4 ตัว



รูปที่ 6.7 แผนภาพบล็อก 2-D IDCT โดยใช้ MAC 8 ตัว

6.3.2 วงจรคำนวณ 1-D IDCT แบบโครงสร้างผีเสื้อ

วงจรมีต้องการข้อมูลเข้าทั้งสิ้น 8 ค่า จึงใช้วิธีอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำทีละ 2 ค่า (24 บิต) เก็บลงบัฟเฟอร์ก่อนเมื่ออ่านได้ครบ 8 ค่า ในเวลา 4 คาบสัญญาณนาฬิกา วงจรจึงเริ่มทำงาน วงจรคำนวณผ่านการคำนวณภายในเวลา 4 คาบสัญญาณนาฬิกา และจะต้องนำเอาผลลัพธ์ไปเก็บในหน่วยความจำ ผลลัพธ์จะออกมาพร้อมกัน 8 ค่า การเขียนข้อมูลจะเขียนทีละ 2 ค่าจากผลลัพธ์ที่เก็บไว้ในบัฟเฟอร์ จะใช้เวลา 4 คาบสัญญาณนาฬิกา เช่นเดียวกันกับการอ่าน สรุปได้ว่าข้อมูล 8 ค่าใช้เวลาคำนวณ 12 คาบสัญญาณนาฬิกา แต่เราสามารถย่อระยะเวลาคำนวณด้วยสถาปัตยกรรมไพป์ไลน์ดังแสดงในรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 ฝั่งเวลาในการคำนวณ 2-D IDCT ของวงจรคำนวณแบบโครงสร้างมีเสื่อ

จากรูปที่ 6.8 การอ่าน การคำนวณ และการเขียนสามารถทำได้พร้อมๆกัน แต่ก่อนที่จะเริ่มการคำนวณ Row 1-D IDCT จะต้องรอให้การเขียนข้อมูลผลลัพธ์เสร็จสิ้นเสียก่อนจึงต้องใช้เวลาทั้งสิ้น 10 บล็อกต่อการคำนวณ 1-D IDCT และแต่ละบล็อกเล็กๆ ใช้เวลา 4 คาบสัญญาณนาฬิกา แต่ในการคำนวณ Column 1-D IDCT นั้นใช้เพียง 8 บล็อก เพราะถือว่ากระบวนการคำนวณและการเขียนข้อมูลชุดสุดท้ายสามารถทำไปพร้อมๆกันกับการอ่านข้อมูลชุดใหม่ ดังนั้นเวลาที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 72 คาบสัญญาณนาฬิกา

6.4 สรุป

ในบทนี้เป็นผลการวิจัยซึ่งแสดงถึงความถูกต้องในการคำนวณโดยวงจรที่ออกแบบขึ้นเปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยโปรแกรม และการวัดขนาดของวงจร MAC และวงจรคำนวณแบบโครงสร้างมีเสื่อโดยวัดเป็นจำนวนเกตที่ใช้ในวงจร และเวลาที่ใช้ในการคำนวณหน่วยเป็นจำนวนคาบสัญญาณนาฬิกาที่ใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย