



## รายการอ้างอิง

- [1] Aker, S. B. Binary decision diagrams. IEEE Transactions on Computer. Vol.C-27 No.6 (June 1978): 509-516.
- [2] Bryant, R. E. Graph-based algorithms for Boolean function manipulation. IEEE Transactions on Computer. Vol.C-35 No.8 (August 1986): 677-691.
- [3] Bryant, R. E. Symbolic Boolean manipulation with ordered binary decision diagrams. ACM Computing Surveys Vol.24 No.3 (September 1992): 293-318.
- [4] Fujita, M.; Fujisawa, H. and Kawato, N. Evaluations and improvements of Boolean comparison method based on binary decision diagrams. Proceedings of the IEEE Conference on Computer-Aided Design. (November 1988): 2-5.
- [5] Malik, S.; Wang, A. R.; Brayton, R. K. and Sangiovanni-Vincentelli, A. Logic verification using binary decision diagrams in a logic synthesis environment. Proceedings of the IEEE Conference on Computer-Aided Design. (November 1988): 6-9.
- [6] Ishiura, N.; Sawada, H. and Yajima, S. Minimization of binary decision diagrams based on exchanges of variables. Proceedings of the IEEE Conference on Computer-Aided Design (November 1991): 472-475.
- [7] Rudell, R. Dynamic variable ordering for ordered binary decision diagrams. Proceedings of the IEEE Conference on Computer-Aided Design (November 1993): 42-47.
- [8] Friedman, S. J. and Supowit, K. J. Finding the optimal variable ordering for binary decision diagrams. IEEE Transactions on Computer Vol.39 No.5 (May 1990): 710-713.
- [9] Goldberg, D. E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley 1989.
- [10] Drechsler, R.; Becker, B. and Göckel, N. Genetic algorithm for variable ordering of OBDDs. IEE Proceedings. Vol. 143, No. 6 (November 1996): 364-368.
- [11] Zhuang, N.; Bente, M. S. T. and Cheung, P. Y. K. Improved variable ordering of BDDs with novel genetic algorithm. IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Vol. 3 (1996): 414-417.

- [12] Gomez Pulido, Juan A. and Sanchez Perez, Juan M. An application of genetic algorithm to the ROBDD optimization. IEE Conference Publication. No. 446 (September 1997): 290-295.
- [13] Rich, E. and Knight, K. Artificial Intelligence. 2<sup>nd</sup> ed. Singapore: McGraw-Hill, 1991.
- [14] Mitchell, T. M. Machine Learning. Massachusetts: McGraw-Hill, 1994.
- [15] Pham, D.T. and Karaboga, D. Intelligent Optimisation Techniques. 2<sup>nd</sup> ed. Springer-Verlag London Limited. 2000.
- [16] Göckel, N.; Drechsler, R. and Becker, B. Learning heuristics for OKFDD minization by evolutionary algorithms. In ASP Design Automation Conf. (1997): 469-472.
- [17] MCNC Benchmark Circuits. [Online], Available from : <ftp://ftp.mcnc.org>., [1994, March].
- [18] MCNC Benchmark Circuits. [Online], Available from : <http://www.cbl.ncsu.edu>., [1994, March].
- [19] ศิริพรรณ วิญญูนันท์กุล, บุญเสริม กิจศิริกุล และ อาทิตย์ ทองทักษ์. การปรับปรุงวิธีการสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 22 (2542).
- [20] ศิริพรรณ วิญญูนันท์กุล การสร้างแผนภาพตัดสินใจทวิภาคโดยเทคนิคการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสินใจ วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2542 ISBN 947-333-051-8.
- [21] Vinyoonuntakul, S.; Kijirikul, B. and Thongtak, A. Binary decision diagrams minimization based on decision tree learning. Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication System (1999).

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### ขนาดของแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้จากการทดลอง

เมื่อทำการทดลองตามวิธีการที่กล่าวในบทที่ 4 โดยการเปลี่ยนยาวของโครโมโซมเป็น 20 อักขระ และ 10 อักขระ สามารถหาขนาดของแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคได้ดังนี้

ก.1 การทดลองโดยใช้ความยาวสายโครโมโซม 20 ตัวอักขระ

ตอนที่ 1 การเรียนรู้จากตัวอย่างชุดที่ 1

ตอนที่ 2 การเรียนรู้จากตัวอย่างชุดที่ 2

ตอนที่ 3 การเรียนรู้จากตัวอย่างชุดที่ 3

ก.2 การทดลองโดยใช้ความยาวสายโครโมโซม 10 ตัวอักขระ

ตอนที่ 1 การเรียนรู้จากตัวอย่างชุดที่ 1

ตอนที่ 2 การเรียนรู้จากตัวอย่างชุดที่ 2

ตอนที่ 3 การเรียนรู้จากตัวอย่างชุดที่ 3

โดยในแต่ละตอนการทดลองจะประกอบด้วย

- ตารางขนาดของแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคของวงจรถูกได้เรียนรู้และรูปสรุปผลรวมของขนาด
- ตารางขนาดของแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคของวงจรถูกไม่ได้เรียนรู้และรูปสรุปผลรวมของขนาด

ก.3 ค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคของแต่ละวงจรถูกตัวอย่าง

เป็นค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคของแต่ละวงจรถูกที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ตอนรวมกัน โดยแบ่งตามความยาวโครโมโซมที่ใช้ทดลองได้เป็น

1. ค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคเมื่อใช้ความยาวโครโมโซม 20 อักขระ
2. ค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคเมื่อใช้ความยาวโครโมโซม 10 อักขระ

#### หมายเหตุ

in คือ จำนวนตัวแปร

out คือ จำนวนฟังก์ชัน

DTL คือ การสร้างแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคเริ่มต้นด้วยวิธีการเรียนรู้ต้นไม้ตัดสีนใจ

SIFT คือ การลดขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคด้วยวิธี SIFTING

GA1 คือ การลดขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคด้วยวิธี GA1

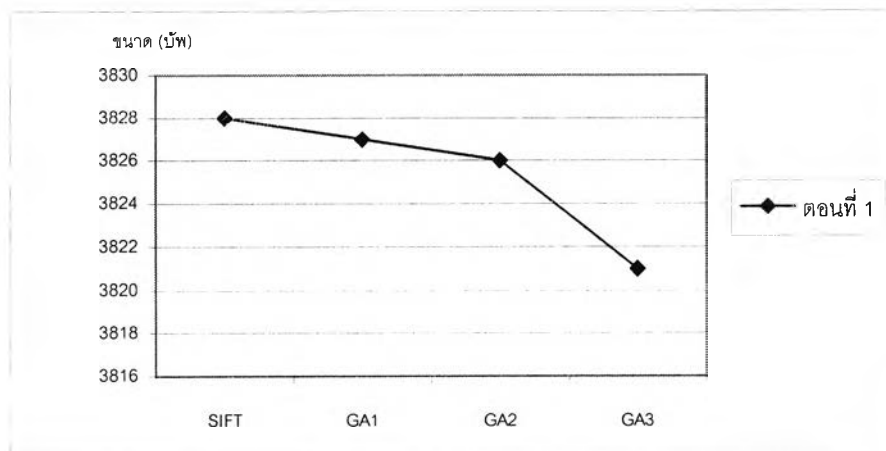
GA2 คือ การลดขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคด้วยวิธี GA2

GA3 คือ การลดขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคด้วยวิธี GA3

การทดลองโดยใช้ความยาวสายโครโมโซม 20 ตัวอักษร

ตารางที่ ก.1 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสีนใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างเรียนรู้)

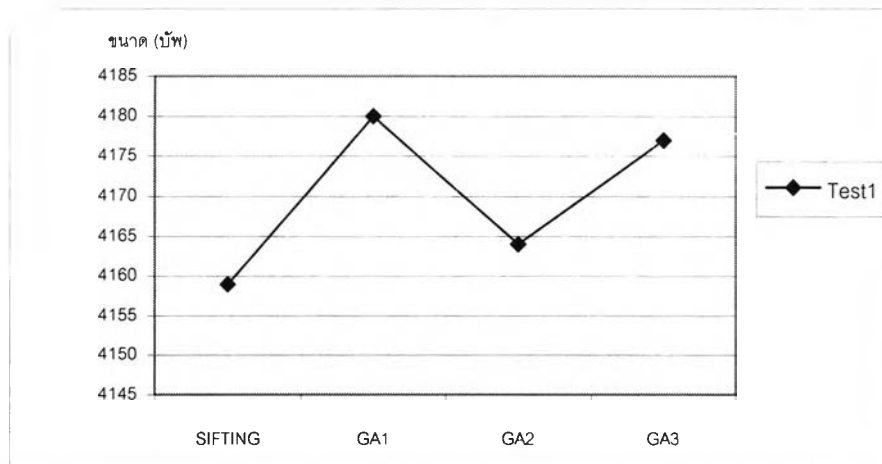
วงจร	In	Out	DTL	DTL+Sift	DTL+GA1	DTL+GA2	DTL+GA3
Xor5	5	1	9	9	9	9	9
Rd53	5	3	23	23	23	23	23
Squar5	5	8	38	37	37	37	37
Bw	5	28	115	100	100	101	100
Con1	7	2	19	15	15	16	15
Rd73	7	3	43	43	43	43	43
Inc	7	9	107	80	75	75	75
5xp1	7	10	68	68	68	68	68
Z5xp1	7	10	68	68	68	68	68
Rd84	8	4	59	59	59	59	59
Sqrt8	8	4	34	33	33	33	33
Misex1	8	7	42	36	38	36	36
Ex5p	8	63	280	278	278	278	278
9sym	9	1	33	33	33	33	33
Z9sym	9	1	35	35	35	35	35
Clip	9	5	96	93	93	94	93
Apex4	9	19	970	970	970	970	970
Sao2	10	4	99	85	85	85	85
Ex1010	10	10	1074	1060	1062	1060	1058
Alu4	14	8	736	703	703	703	703
<b>รวม</b>	<b>157</b>	<b>200</b>	<b>3948</b>	<b>3828</b>	<b>3827</b>	<b>3826</b>	<b>3821</b>



รูปที่ ก.1 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสีนใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างเรียนรู้)

ตารางที่ ก.1 (b) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างทดสอบ)

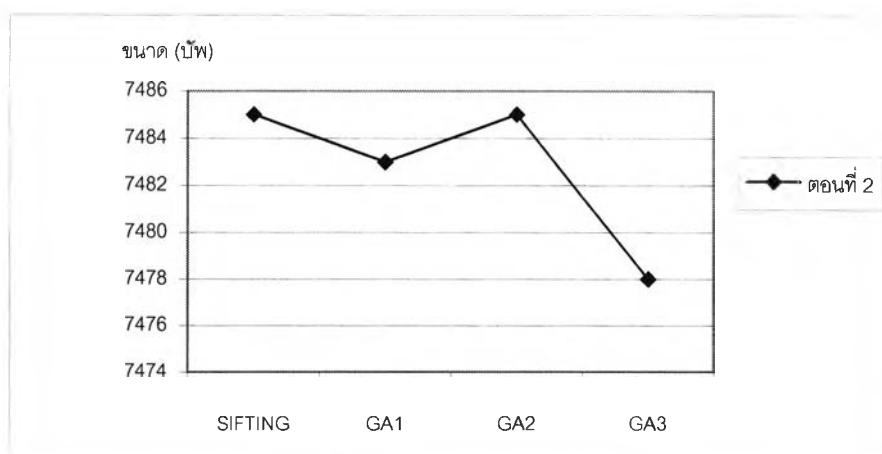
วงจร	In	Out	DTL	DTL+Sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Misex3	14	14	855	585	585	586	585
Misex3c	14	14	508	451	453	454	451
Table3	14	14	812	754	754	754	751
B12	15	9	73	60	60	61	60
T481	16	1	32	32	32	32	32
Pdc	16	40	687	605	604	604	604
Spla	16	46	687	592	592	592	592
Table5	17	15	756	669	668	669	668
Duke2	22	29	622	336	357	336	359
Cordic	23	2	76	75	75	76	75
<b>รวม</b>	<b>167</b>	<b>184</b>	<b>5108</b>	<b>4159</b>	<b>4180</b>	<b>4164</b>	<b>4177</b>



รูปที่ ก.1 (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างทดสอบ)

ตารางที่ ก.2 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างเรียนรู้)

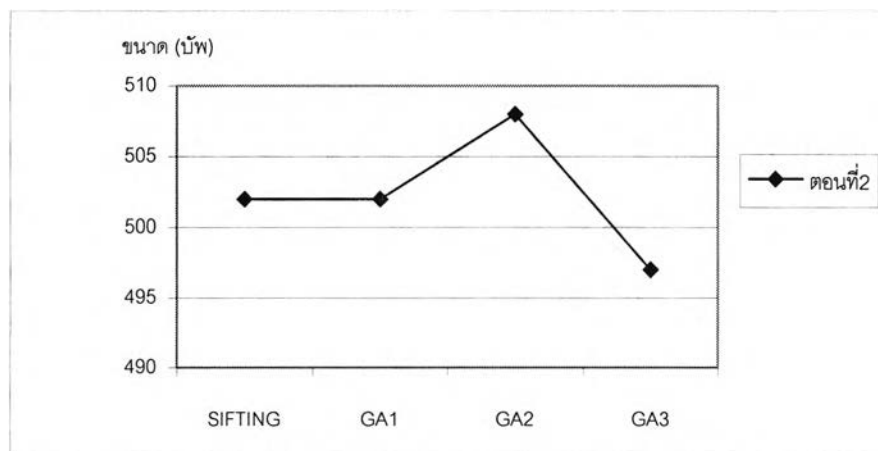
วงจร	In	Out	DTL	DTL+sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Sqrt8	8	4	34	33	33	33	33
Misex1	8	7	42	36	36	36	36
Ex5p	8	63	280	278	278	278	278
9sym	9	1	33	33	33	33	33
Z9sym	9	1	35	35	35	35	35
Clip	9	5	96	93	93	93	93
Apex4	9	19	970	970	970	970	970
Sao2	10	4	99	85	85	85	85
Ex1010	10	10	1074	1060	1060	1060	1058
Alu4	14	8	736	703	703	703	703
Misex3	14	14	855	585	585	585	585
Misex3c	14	14	508	451	451	453	451
Table3	14	14	812	754	754	754	751
B12	15	9	73	60	60	60	60
T481	16	1	32	32	32	32	32
Pdc	16	40	687	605	603	604	604
Spla	16	46	687	592	592	592	592
Table5	17	15	756	669	669	668	668
Duke2	22	29	622	336	336	336	336
Cordic	23	2	76	75	75	75	75
รวม	261	306	8507	7485	7483	7485	7478



รูปที่ ก.2 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างเรียนรู้)

ตารางที่ ก.2 (b) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างทดสอบ)

วงจร	In	Out	DTL	DTL+Sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Xor5	5	1	9	9	9	9	9
Rd53	5	3	23	23	23	23	23
Squar5	5	8	38	37	37	37	37
Bw	5	28	115	100	100	100	100
Con1	7	2	19	15	15	15	15
Rd73	7	3	43	43	43	43	43
Inc	7	9	107	80	80	86	75
5xp1	7	10	68	68	68	68	68
Z5xp1	7	10	68	68	68	68	68
Rd84	8	4	59	59	59	59	59
รวม	63	78	549	502	502	508	497

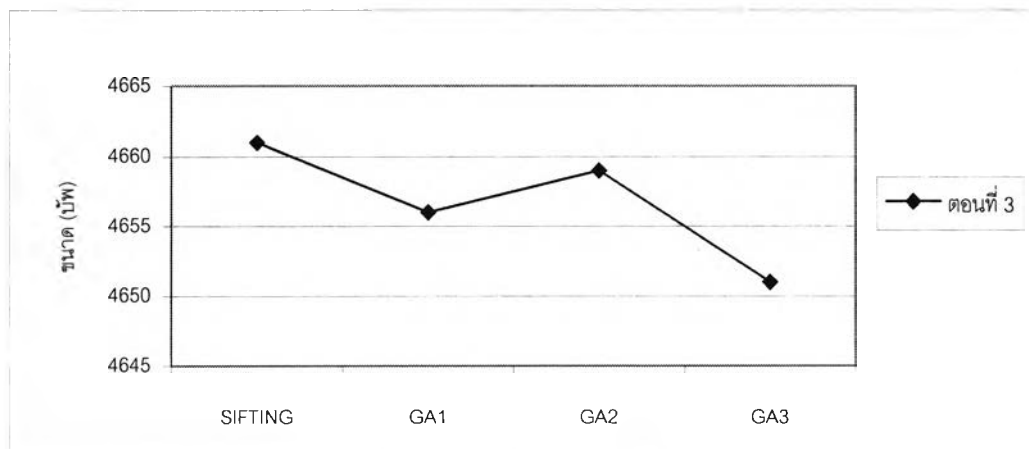


รูปที่ ก.2 (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างทดสอบ)



ตารางที่ ก.3 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างเรียนรู้)

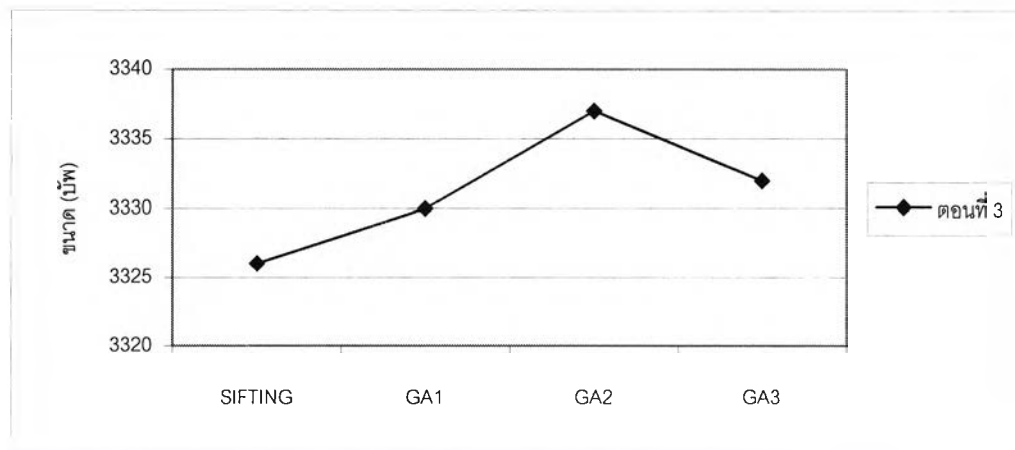
วงจร	In	Out	DTL	DTL+Sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Xor5	5	1	9	9	9	9	9
Rd53	5	3	23	23	23	23	23
Squar5	5	8	38	37	37	37	37
Bw	5	28	115	100	100	100	100
Con1	7	2	19	15	15	15	15
Rd73	7	3	43	43	43	43	43
Inc	7	9	107	80	75	75	75
5xp1	7	10	68	68	68	69	68
Z5xp1	7	10	68	68	68	69	68
Rd84	8	4	59	59	59	59	59
Misex3	14	14	855	585	585	585	585
Misex3c	14	14	508	451	453	453	451
Table3	14	14	812	754	754	754	751
B12	15	9	73	60	60	60	60
T481	16	1	32	32	32	33	32
Pdc	16	40	687	605	604	604	604
Spla	16	46	687	592	592	592	592
Table5	17	15	756	669	668	668	668
Duke2	22	29	622	336	336	336	336
Cordic	23	2	76	75	75	75	75
รวม	230	262	5657	4661	4656	4659	4651



รูปที่ ก.3 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างเรียนรู้)

ตารางที่ ก.3 (b) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างทดสอบ)

วงจร	In	Out	DTL	DTL+Sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Sqrt8	8	4	34	33	33	34	33
Misex1	8	7	42	36	38	38	38
Ex5p	8	63	280	278	278	278	278
9sym	9	1	33	33	33	33	33
Z9sym	9	1	35	35	35	36	35
Clip	9	5	96	93	93	93	93
Apex4	9	19	970	970	970	973	976
Sao2	10	4	99	85	85	85	85
Ex1010	10	10	1074	1060	1062	1064	1058
Alu4	14	8	736	703	703	703	703
รวม	94	122	3399	3326	3330	3337	3332

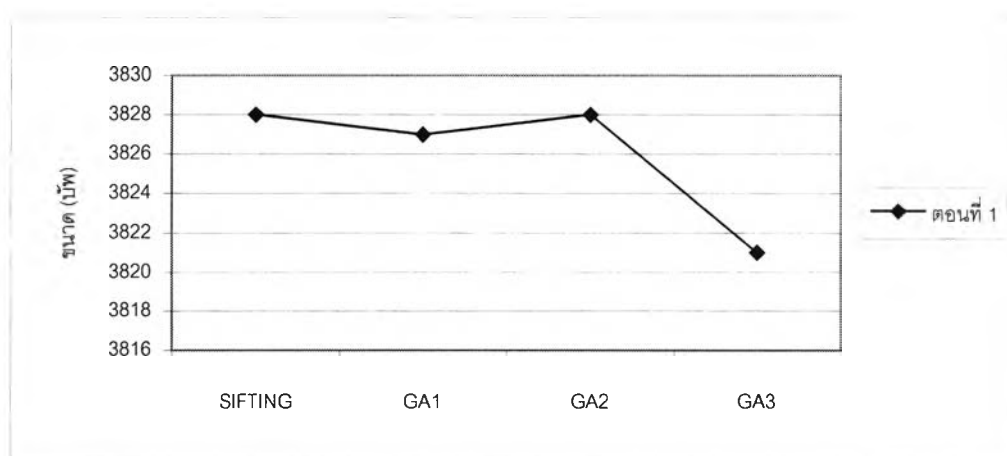


รูปที่ ก.3 (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างทดสอบ)

การทดลองโดยใช้ความยาวสายโครโมโซม 10 ตัวอักษร

ตารางที่ ก.4 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างเรียนรู้)

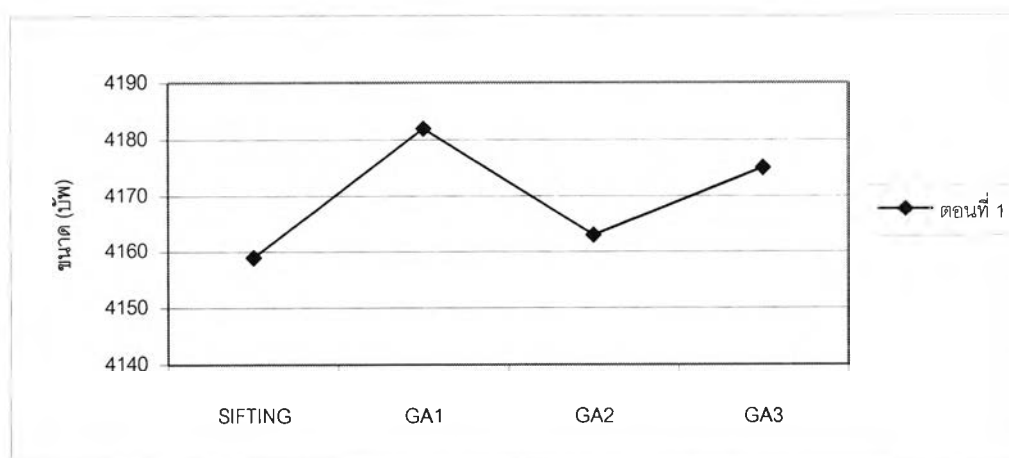
วงจร	In	Out	DTL	DTL+Sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Xor5	5	1	9	9	9	9	9
Rd53	5	3	23	23	23	23	23
Squar5	5	8	38	37	37	37	37
Bw	5	28	115	100	100	101	100
Con1	7	2	19	15	15	16	15
Rd73	7	3	43	43	43	43	43
Inc	7	9	107	80	75	75	75
5xp1	7	10	68	68	68	68	68
Z5xp1	7	10	68	68	68	68	68
Rd84	8	4	59	59	59	59	59
Sqrt8	8	4	34	33	33	33	33
Misex1	8	7	42	36	38	38	36
Ex5p	8	63	280	278	278	278	278
9sym	9	1	33	33	33	33	33
Z9sym	9	1	35	35	35	35	35
Clip	9	5	96	93	93	94	93
Apex4	9	19	970	970	970	970	970
Sao2	10	4	99	85	85	85	85
Ex1010	10	10	1074	1060	1062	1060	1058
Alu4	14	8	736	703	703	703	703
รวม	157	200	3948	3828	3827	3828	3821



รูปที่ ก.4 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างเรียนรู้)

ตารางที่ ก.4 (b) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างทดสอบ)

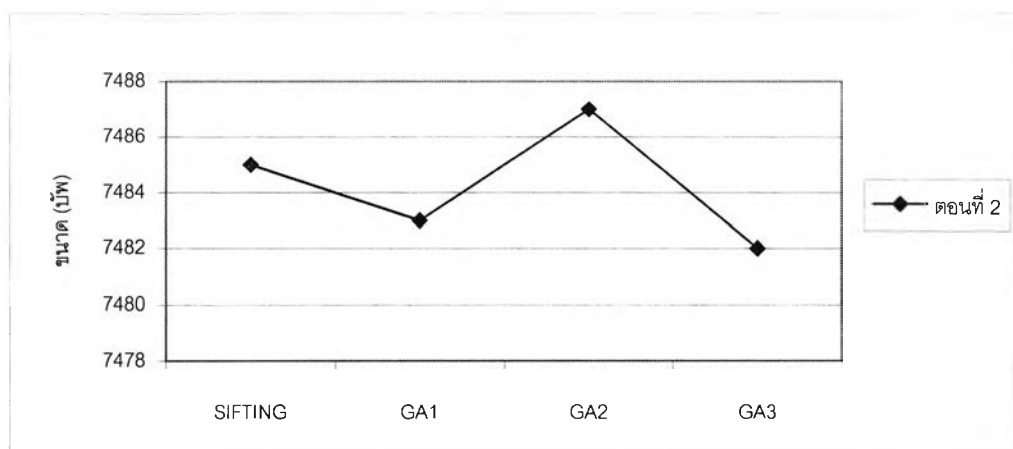
วงจร	In	Out	DTL	DTL+Sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Misex3	14	14	855	585	585	586	585
Misex3c	14	14	508	451	453	454	451
Table3	14	14	812	754	754	754	751
B12	15	9	73	60	60	61	60
T481	16	1	32	32	32	32	32
Pdc	16	40	687	605	606	604	604
Spla	16	46	687	592	592	592	592
Table5	17	15	756	669	668	669	668
Duke2	22	29	622	336	357	336	357
Cordic	23	2	76	75	75	75	75
รวม	167	184	5108	4159	4182	4163	4175



รูปที่ ก.4 (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 (ตัวอย่างทดสอบ)

ตารางที่ ก.5 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างเรียนรู้)

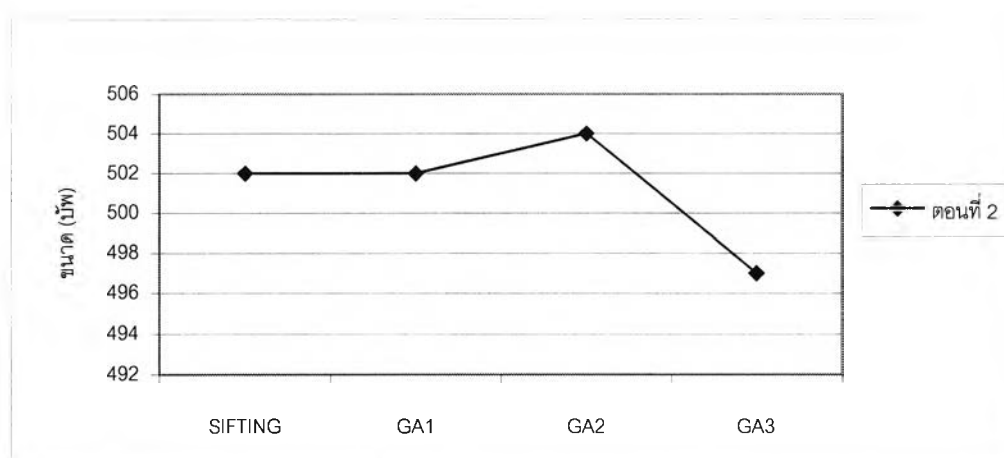
วงจร	In	Out	DTL	DTL+sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Sqrt8	8	4	34	33	33	33	33
Misex1	8	7	42	36	36	36	36
Ex5p	8	63	280	278	278	278	278
9sym	9	1	33	33	33	33	33
Z9sym	9	1	35	35	35	36	35
Clip	9	5	96	93	93	93	93
Apex4	9	19	970	970	970	973	970
Sao2	10	4	99	85	85	85	85
Ex1010	10	10	1074	1060	1060	1060	1058
Alu4	14	8	736	703	703	703	703
Misex3	14	14	855	585	585	585	585
Misex3c	14	14	508	451	451	451	451
Table3	14	14	812	754	754	754	751
B12	15	9	73	60	60	60	60
T481	16	1	32	32	32	33	32
Pdc	16	40	687	605	603	603	604
Spla	16	46	687	592	592	592	592
Table5	17	15	756	669	669	668	668
Duke2	22	29	622	336	336	336	340
Cordic	23	2	76	75	75	75	75
<b>รวม</b>	<b>261</b>	<b>306</b>	<b>8507</b>	<b>7485</b>	<b>7483</b>	<b>7487</b>	<b>7482</b>



รูปที่ ก.5 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างเรียนรู้)

ตารางที่ ก.5 (b) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างทดสอบ)

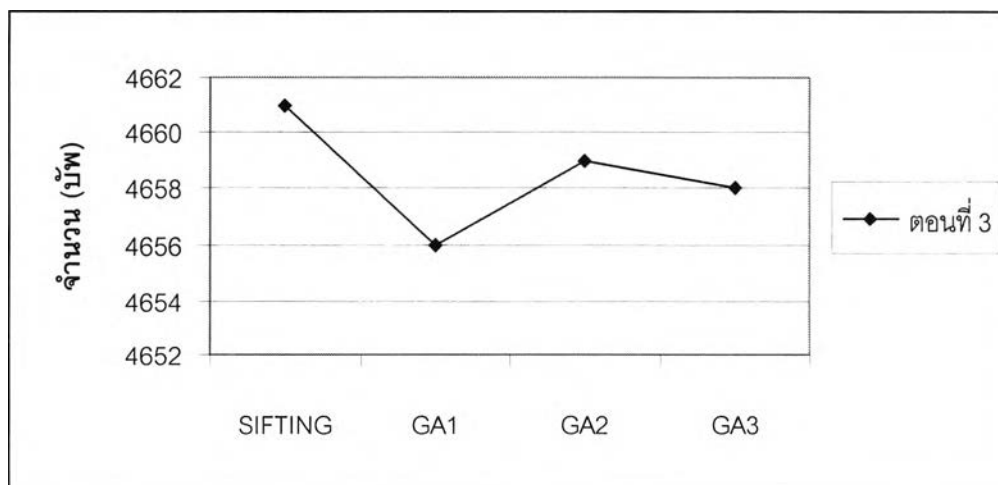
วงจร	In	Out	DTL	DTL+Sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Xor5	5	1	9	9	9	9	9
Rd53	5	3	23	23	23	23	23
Squar5	5	8	38	37	37	37	37
Bw	5	28	115	100	100	100	100
Con1	7	2	19	15	15	15	15
Rd73	7	3	43	43	43	43	43
Inc	7	9	107	80	80	80	75
5xp1	7	10	68	68	68	69	68
Z5xp1	7	10	68	68	68	69	68
Rd84	8	4	59	59	59	59	59
รวม	63	78	549	502	502	504	497



รูปที่ ก.5 (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 (ตัวอย่างทดสอบ)

ตารางที่ ก.6 (a) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างเรียนรู้)

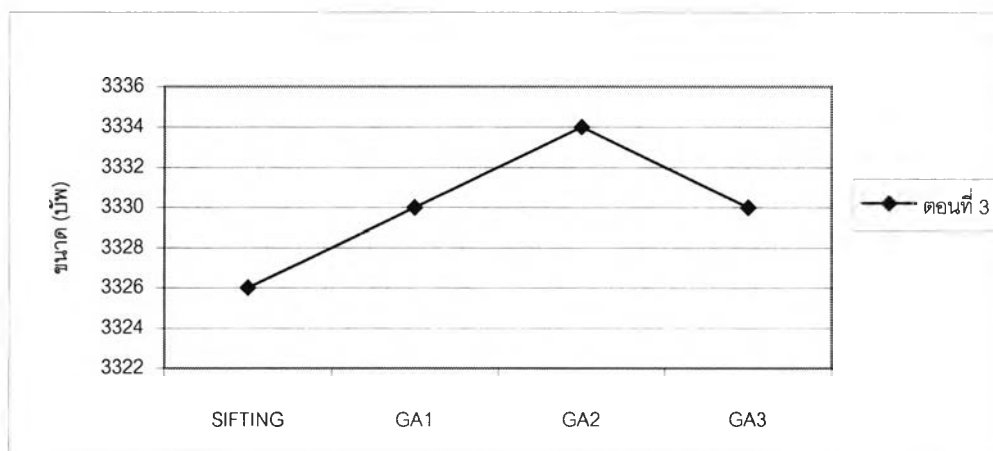
วงจร	In	Out	DTL	DTL+Sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Xor5	5	1	9	9	9	9	9
Rd53	5	3	23	23	23	23	23
Squar5	5	8	38	37	37	37	37
Bw	5	28	115	100	100	100	100
Con1	7	2	19	15	15	15	15
Rd73	7	3	43	43	43	43	43
Inc	7	9	107	80	75	75	75
5xp1	7	10	68	68	68	69	68
Z5xp1	7	10	68	68	68	69	68
Rd84	8	4	59	59	59	59	59
Misex3	14	14	855	585	585	585	585
Misex3c	14	14	508	451	453	453	453
Table3	14	14	812	754	754	754	754
B12	15	9	73	60	60	60	60
T481	16	1	32	32	32	33	32
Pdc	16	40	687	605	604	604	604
Spla	16	46	687	592	592	592	592
Table5	17	15	756	669	668	668	668
Duke2	22	29	622	336	336	336	338
Cordic	23	2	76	75	75	75	75
รวม	230	262	5657	4661	4656	4659	4658



รูปที่ ก.6 (a) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างเรียนรู้)

ตารางที่ ก.6 (b) ขนาดของแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างทดสอบ)

วงจร	In	Out	DTL	DTL+Sift	DTL+ GA1	DTL+ GA2	DTL+GA3
Sqrt8	8	4	34	33	33	33	33
Misex1	8	7	42	36	38	38	38
Ex5p	8	63	280	278	278	278	278
9sym	9	1	33	33	33	33	33
Z9sym	9	1	35	35	35	36	35
Clip	9	5	96	93	93	93	93
Apex4	9	19	970	970	970	973	970
Sao2	10	4	99	85	85	85	85
Ex1010	10	10	1074	1060	1062	1062	1062
Alu4	14	8	736	703	703	703	703
รวม	94	122	3399	3326	3330	3334	3330



รูปที่ ก.6 (b) ผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 (ตัวอย่างทดสอบ)



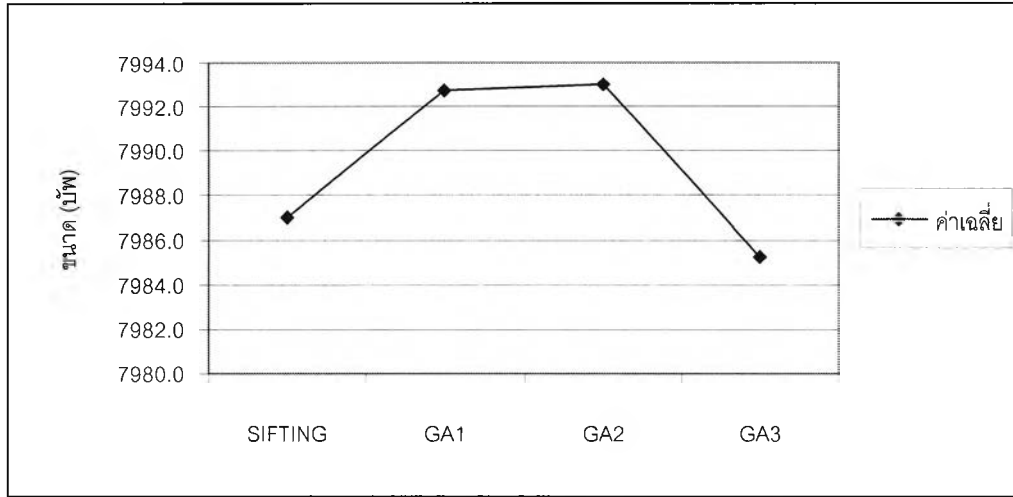
ก.3 ค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคของแต่ละวงจรตัวอย่าง

ตารางที่ ก.7 ค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคเมื่อใช้ความยาวโครโมโซม 20 อักขระ

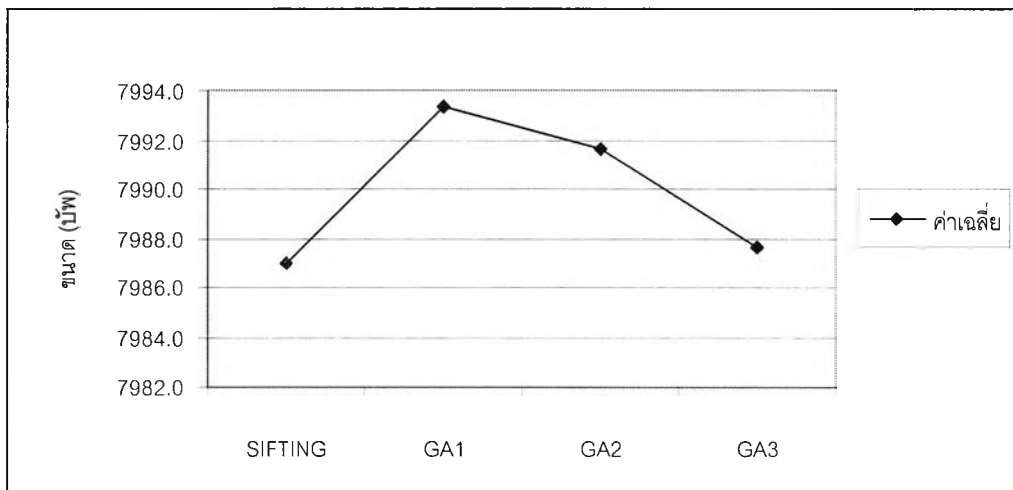
วงจร	SIFTING	GA1	GA2	GA3
Xor5	9.0	9.0	9.0	9.0
Rd53	23.0	23.0	23.0	23.0
Squar5	37.0	37.0	37.0	37.0
Bw	100.0	100.0	100.3	100.0
Con1	15.0	15.0	15.3	15.0
Rd73	43.0	43.0	43.0	43.0
Inc	80.0	76.7	78.7	75.0
5xp1	68.0	68.0	68.3	68.0
Z5xp1	68.0	68.0	68.3	68.0
Rd84	59.0	59.0	59.0	59.0
Sqrt8	33.0	33.0	33.3	33.0
Misex1	36.0	37.3	36.7	36.7
Ex5p	278.0	278.0	278.0	278.0
9sym	33.0	33.0	33.0	33.0
Z9sym	35.0	35.0	35.3	35.0
Clip	93.0	93.0	93.3	93.0
Apex4	970.0	970.0	971.0	972.0
Sao2	85.0	85.0	85.0	85.0
Ex1010	1060.0	1061.3	1061.3	1058.0
Alu4	703.0	703.0	703.0	703.0
Misex3	585.0	585.0	585.3	585.0
Misex3c	451.0	452.3	453.3	451.0
Table3	754.0	754.0	754.0	751.0
B12	60.0	60.0	60.3	60.0
T481	32.0	32.0	32.3	32.0
Pdc	605.0	603.7	604.0	604.0
Spla	592.0	592.0	592.0	592.0
Table5	669.0	668.3	668.3	668.0
Duke2	336.0	343.0	336.0	343.7
Cordic	75.0	75.0	75.3	75.0
รวม	7987.0	7992.7	7993.0	7985.3

ตารางที่ ก.8 ค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดดินในจังหวัดเมื่อใช้ความยาวโครโมโซม 10 อักขระ

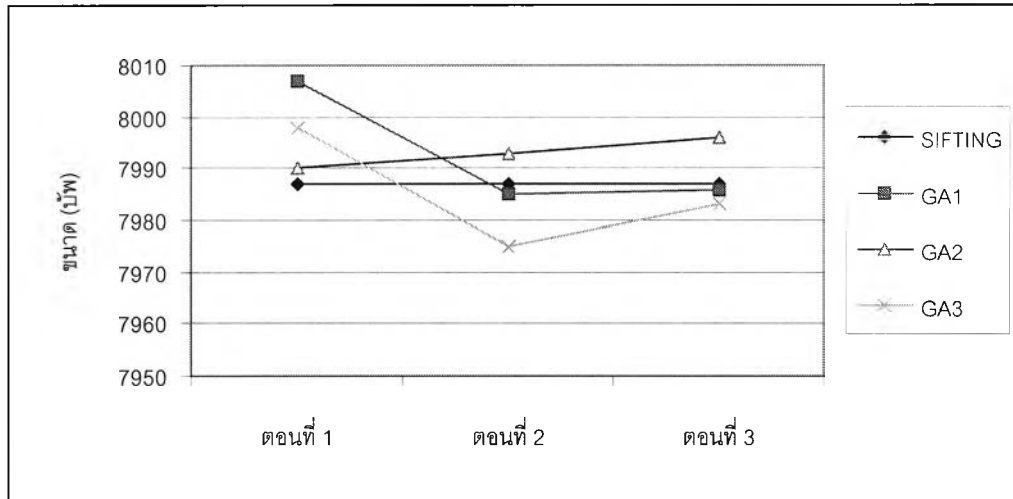
วงจร	SIFTING	GA1	GA2	GA3
Xor5	9.0	9.0	9.0	9.0
Rd53	23.0	23.0	23.0	23.0
Squar5	37.0	37.0	37.0	37.0
Bw	100.0	100.0	100.3	100.0
Con1	15.0	15.0	15.3	15.0
Rd73	43.0	43.0	43.0	43.0
Inc	80.0	76.7	76.7	75.0
5xp1	68.0	68.0	68.7	68.0
Z5xp1	68.0	68.0	68.7	68.0
Rd84	59.0	59.0	59.0	59.0
Sqrt8	33.0	33.0	33.0	33.0
Misex1	36.0	37.3	37.3	36.7
Ex5p	278.0	278.0	278.0	278.0
9sym	33.0	33.0	33.0	33.0
Z9sym	35.0	35.0	35.7	35.0
Clip	93.0	93.0	93.3	93.0
Apex4	970.0	970.0	972.0	970.0
Sao2	85.0	85.0	85.0	85.0
Ex1010	1060.0	1061.3	1060.7	1059.3
Alu4	703.0	703.0	703.0	703.0
Misex3	585.0	585.0	585.3	585.0
Misex3c	451.0	452.3	452.7	451.7
Table3	754.0	754.0	754.0	752.0
B12	60.0	60.0	60.3	60.0
T481	32.0	32.0	32.7	32.0
Pdc	605.0	604.3	603.7	604.0
Spla	592.0	592.0	592.0	592.0
Table5	669.0	668.3	668.3	668.0
Duke2	336.0	343.0	336.0	345.0
Cordic	75.0	75.0	75.0	75.0
รวม	7987.0	7993.3	7991.7	7987.7



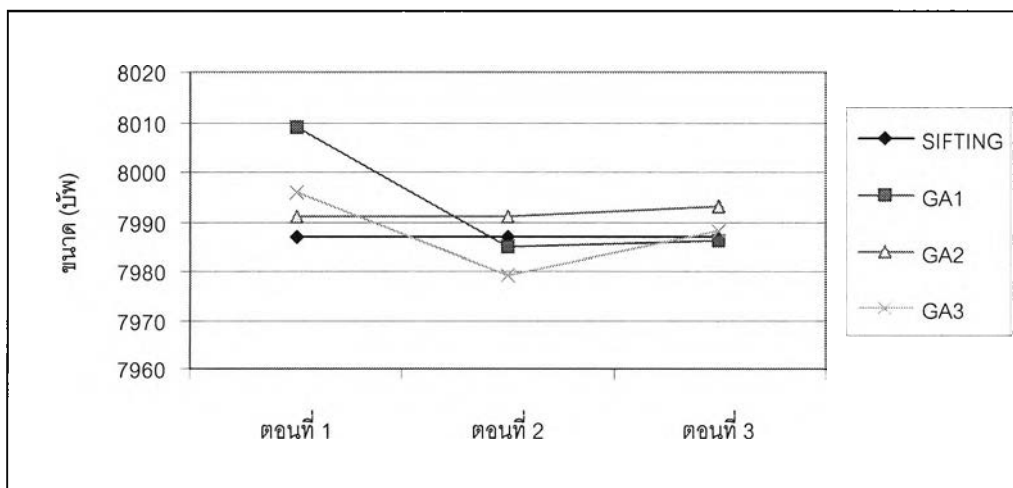
รูปที่ ก.7 (a) ผลรวมค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาค (ความยาวโครโมโซม 20 อักขระ)



รูปที่ ก.7 (b) ผลรวมค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาค (ความยาวโครโมโซม 10 อักขระ)



รูปที่ ก.8 (a) เปรียบเทียบขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคจากการทดลองทั้ง 3 ตอน เมื่อใช้ความยาวโครโมโซม 20 อักขระ



รูปที่ ก.8 (b) เปรียบเทียบขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคจากการทดลองทั้ง 3 ตอน เมื่อใช้ความยาวโครโมโซม 10 อักขระ

## ภาคผนวก ข

### ผลการหาลำดับวิธีพัฒนาที่ละชั้นสำหรับวงจรตัวอย่างแต่ละวงจร

เมื่อนำขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมาหาลำดับวิธีการพัฒนาที่ละชั้นเฉพาะแต่ละวงจรไป ด้วยการใช้วิธีการ GA3 สามารถหาขนาดของแผนภาพตัดสินใจทวิภาค ได้ดังตารางที่ ข.1 จะเห็นว่าผลรวมของขนาดแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ใช้วิธี GA3 จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อใช้วิธี DTL+SIFT และไม่มีแผนภาพใดเลยที่ใช้วิธี GA3 แล้วจะมีขนาดแผนภาพใหญ่กว่าเมื่อใช้วิธี DTL+SIFT

ตารางที่ ข.1 ขนาดของแผนภาพตัดสินใจทวิภาคที่ได้จากลำดับวิธีการพัฒนาที่ละชั้นเฉพาะวงจร

วงจร	Input	Output	DTL	DTL+Sift	DTL+GA3
Xor5	5	1	9	9	9
Rd53	5	3	23	23	23
Squar5	5	8	38	37	37
Bw	5	28	115	100	100
Con1	7	2	19	15	15
Rd73	7	3	43	43	43
Inc	7	9	107	80	75
5xp1	7	10	68	68	68
Z5xp1	7	10	68	68	68
Rd84	8	4	59	59	59
Sqrt8	8	4	34	33	33
Misex1	8	7	42	36	36
Ex5p	8	63	280	278	278
9sym	9	1	33	33	33
Z9sym	9	1	35	35	35
Clip	9	5	96	93	93
Apex4	9	19	970	970	970
Sao2	10	4	99	85	85
Ex1010	10	10	1074	1060	1058
Alu4	14	8	736	703	686
Misex3	14	14	855	585	585
Misex3c	14	14	508	451	451
Table3	14	14	812	754	751
B12	15	9	73	60	56
T481	16	1	32	32	32
Pdc	16	40	687	605	603
Spla	16	46	687	592	592
Table5	17	15	756	669	668
Duke2	22	29	622	336	336
Cordic	23	2	76	75	75
Total	324	384	9056	7987	7953

## ภาคผนวก ค

### วงจรวัดเปรียบเทียบสมรรถนะของ MCNC

จากรูปแบบเพิ่มข้อมูลของวงจรวัดเปรียบเทียบสมรรถนะ MCNC ในรูปที่ ก.1 สามารถแปลงไปเป็นตารางค่าความจริงได้ดังนี้

# this is adr2 circuit		→	หมายเหตุ
.i 4		→	จำนวนตัวแปร = 4
.o 3		→	จำนวนฟังก์ชัน = 3
.p 11		→	จำนวนพจน์ = 11
0101	100	→	พจน์ที่ 1
1111	100	→	พจน์ที่ 2
1-00	100	→	พจน์ที่ 3
0-10	100	→	พจน์ที่ 4
100-	100	→	พจน์ที่ 5
001-	100	→	พจน์ที่ 6
-111	001	→	พจน์ที่ 7
11-1	001	→	พจน์ที่ 8
-1-0	010	→	พจน์ที่ 9
-0-1	010	→	พจน์ที่ 10
1-1-	001	→	พจน์ที่ 11
.e		→	จบไฟล์

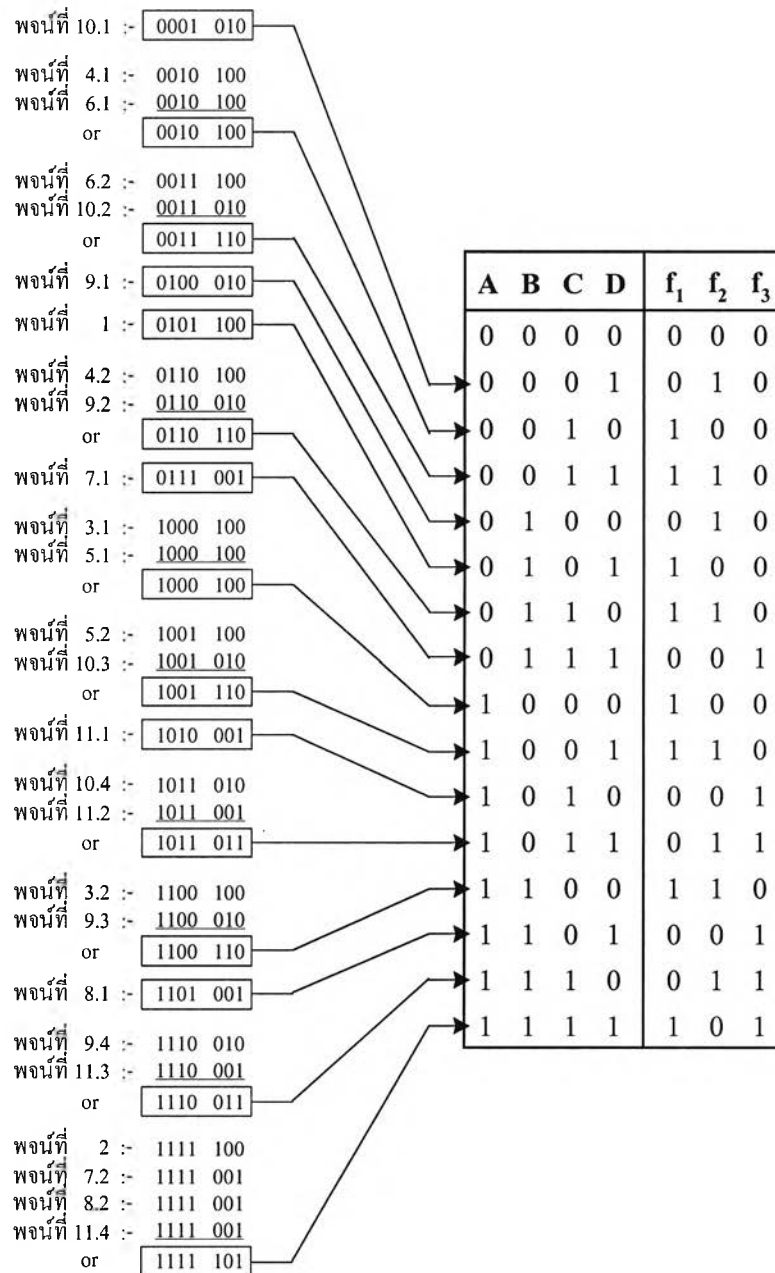
รูปที่ ค.1 รูปแบบเพิ่มข้อมูลของวงจร adr2

ขั้นตอนที่ 1 การแยกพจน์ที่ถูกลดรูปให้เป็นพจน์ย่อยๆ จะได้

พจน์ที่ 3 : 1-00	100	สามารถแยกได้ 2 พจน์ย่อย คือ	1000	100	(พจน์ที่ 3.1)
			1100	100	(พจน์ที่ 3.2)
พจน์ที่ 4 : 0-10	100	สามารถแยกได้ 2 พจน์ย่อย คือ	0010	100	(พจน์ที่ 4.1)
			0110	100	(พจน์ที่ 4.2)
พจน์ที่ 5 : 100-	100	สามารถแยกได้ 2 พจน์ย่อย คือ	1000	100	(พจน์ที่ 5.1)
			1001	100	(พจน์ที่ 5.2)

พจนานุกรมที่ 6 : 001-	100	สามารถแยกได้ 2 พจนานุกรม คือ	0010	100	(พจนานุกรมที่ 6.1)
			0011	100	(พจนานุกรมที่ 6.2)
พจนานุกรมที่ 7 : -111	001	สามารถแยกได้ 2 พจนานุกรม คือ	0111	001	(พจนานุกรมที่ 7.1)
			1111	001	(พจนานุกรมที่ 7.2)
พจนานุกรมที่ 8 : 11-1	001	สามารถแยกได้ 2 พจนานุกรม คือ	1101	001	(พจนานุกรมที่ 8.1)
			1111	001	(พจนานุกรมที่ 8.2)
พจนานุกรมที่ 9 : -1-0	010	สามารถแยกได้ 4 พจนานุกรม คือ	0100	010	(พจนานุกรมที่ 9.1)
			0110	010	(พจนานุกรมที่ 9.2)
			1100	010	(พจนานุกรมที่ 9.3)
			1110	010	(พจนานุกรมที่ 9.4)
พจนานุกรมที่ 10 : -0-1	010	สามารถแยกได้ 4 พจนานุกรม คือ	0001	010	(พจนานุกรมที่ 10.1)
			0011	010	(พจนานุกรมที่ 10.2)
			1001	010	(พจนานุกรมที่ 10.3)
			1011	010	(พจนานุกรมที่ 10.4)
พจนานุกรมที่ 11 : 1-1-	001	สามารถแยกได้ 4 พจนานุกรม คือ	1010	001	(พจนานุกรมที่ 11.1)
			1011	001	(พจนานุกรมที่ 11.2)
			1110	001	(พจนานุกรมที่ 11.3)
			1111	001	(พจนานุกรมที่ 11.4)

ขั้นตอนที่ 2 การรวมพจน์ย่อยๆ ที่มีค่าของตัวแปรเดียวกันได้ด้วยกัน ดังรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.2 การรวมพจน์ย่อยของวงจรวัดเปรียบเทียบสมรรถนะ MCNC ไปเป็นตารางค่าความจริง



## ภาคผนวก ง

### ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาค

ภาคผนวกนี้ได้แสดง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้ จากวิธี GA3 โดยนำวิธี GA3 มาทดลองทั้ง 3 ตอนการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง ในแต่ละครั้งจะทำการหาค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสีนใจที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ตอน จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสีนใจแต่ละวงจรมีทั้งหมด 5 ค่า นั้นมาหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ ง.1 (ขนาดแผนภาพตัดสีนใจวัดจากจำนวนบัพของแผนภาพ)

โดยที่ AVER คือ ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยขนาดแผนภาพตัดสีนใจ

STDEV คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยขนาดแผนภาพตัดสีนใจ

นอกจากนี้ได้ทำการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดแผนภาพตัดสีนใจทวิภาคที่ได้ จากวิธี GA3 ในแต่ละตอนการทดลอง ดังแสดงไว้ในตารางที่ ง.2 ถึง ง.4

โดยที่ AVER คือ ค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสีนใจ

STDEV คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดแผนภาพตัดสีนใจ

รหัสโครโมโซมประกอบด้วย

S = Sub SIFTING, 4 = AD4, 3 = AD3, 2 = AD2, 1 = Sub Invert AD4 และ N = None

ตารางที่ ง.1 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการ  
ทดลองทั้ง 3 ตอนโดยใช้วิธี GA3

ชื่อวงจร	ค่าเฉลี่ยของขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคทั้ง 3 ตอนการทดลองครั้งที่					AVER	STDEV
	1	2	3	4	5		
Xor5	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	0.0000
Rd53	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	0.0000
Squar5	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	0.0000
Bw	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0000
Con1	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	0.0000
Rd73	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	0.0000
Inc	75.0	75.0	75.0	76.7	75.0	75.3	0.7454
5xp1	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	0.0000
Z5xp1	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	0.0000
Rd84	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	0.0000
Sqrt8	34.3	33.0	34.3	33.0	33.0	33.8	1.1926
Misex1	36.0	37.0	36.0	36.0	36.0	36.2	0.4472
Ex5p	278.0	278.0	278.0	278.0	278.0	278.0	0.0000
9sym	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	0.0000
Z9sym	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	0.0000
Clip	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	0.0000
Apex4	972.0	972.0	970.0	972.0	970.0	971.2	1.0954
Sao2	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	0.0000
Ex1010	1059.7	1058.7	1059.3	1058.7	1058.0	1059.0	0.8165
Alu4	697.3	703.0	697.3	697.3	703.0	698.5	4.7411
Misex3	585.0	585.0	585.0	585.0	585.0	585.0	0.0000
Misex3c	451.0	451.7	451.0	451.0	451.0	451.1	0.2982
Table3	751.0	751.0	751.0	751.0	752.0	751.4	0.5477
B12	60.0	60.0	58.7	60.3	60.0	59.8	0.6498
T481	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	0.0000
Pdc	604.0	604.0	604.0	604.0	604.0	604.0	0.0000
Spla	592.0	592.0	592.0	606.3	592.0	594.9	6.4100
Table5	668.0	668.0	668.0	668.0	668.0	668.0	0.0000
Duke2	343.0	336.0	344.3	345.3	343.0	340.8	4.1939
Cordic	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	0.0000
รวม	7981.3	7979.3	7979.0	7997.7	7983.0	7982.0	10.3897

ตารางที่ ง.2 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยขนาดแผนภาพตัดสินค้าวิภาคที่ได้จากการ  
ทดลองตอนที่ 1 โดยใช้วิธี GA3

ชื่อวงจร	ขนาดแผนภาพตัดสินค้าจากการทดลองตอนที่ 1 ครั้งที่					AVER	STDEV
	1	2	3	4	5		
Xor5	9	9	9	9	9	9.0	0
Rd53	23	23	23	23	23	23.0	0
Squar5	37	37	37	37	37	37.0	0
Bw	100	100	100	100	100	100.0	0
Con1	15	15	15	15	15	15.0	0
Rd73	43	43	43	43	43	43.0	0
Inc	75	75	75	75	75	75.0	0
5xp1	68	68	68	68	68	68.0	0
Z5xp1	68	68	68	68	68	68.0	0
Rd84	59	59	59	59	59	59.0	0
Sqrt8	33	33	37	33	33	33.8	1.788854
Misex1	36	36	36	36	36	36.0	0
Ex5p	278	278	278	278	278	278.0	0
9sym	33	33	33	33	33	33.0	0
Z9sym	35	35	35	35	35	35.0	0
Clip	93	93	93	93	93	93.0	0
Apex4	970	970	970	970	970	970.0	0
Sao2	85	85	85	85	85	85.0	0
Ex1010	1058	1058	1060	1058	1058	1058.4	0.894427
Alu4	703	703	686	686	703	696.2	9.311283
Misex3	585	585	585	585	585	585.0	0
Misex3c	451	453	451	451	451	451.4	0.894427
Table3	751	751	754	751	754	752.2	1.643168
B12	60	60	60	61	60	60.2	0.447214
T481	32	32	32	32	32	32.0	0
Pdc	604	604	604	604	604	604.0	0
Spla	592	592	592	635	592	600.6	19.23018
Table5	668	668	668	668	668	668.0	0
Duke2	357	336	336	362	357	349.6	12.58173
Cordic	75	75	75	75	75	75.0	0
รวม	7996	7977	7967	8028	7999	7993.4	23.45847

สายโครโมโซมที่เป็นผลเฉลยที่ได้จากการทดลอง 5 ครั้ง

1) 3 4 4 2 N S I S N S 4 4 4 3 4 S I 3 2 S N 4 S 2 N N 2 4 S N

2) I 2 3 3 4 3 N N 3 4 N N 2 I S S 3 N S N 3 2 2 2 N N 3 S 3 S

3) N 2 N I N N 2 I I I 2 N 4 S 2 3 S I S 2 3 4 S N 2 2 4 3 3 S

4) N 2 2 I N N N I I S S N I S S 2 4 S I I 4 2 I N I 2 3 4 I 4

5) 3 4 2 S N 3 3 3 N N S 3 2 3 I S S N 4 3 N S I S S 3 N 4 3 S

ตารางที่ ง.3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยขนาดแผนภาพตัดสินใจวิภาคที่ได้จากการ  
ทดลองตอนที่ 2 โดยใช้วิธี GA3

ชื่อวงจร	ขนาดแผนภาพตัดสินใจจากการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่					AVER	STDEV
	1	2	3	4	5		
Xor5	9	9	9	9	9	9.0	0
Rd53	23	23	23	23	23	23.0	0
Squar5	37	37	37	37	37	37.0	0
Bw	100	100	100	100	100	100.0	0
Con1	15	15	15	15	15	15.0	0
Rd73	43	43	43	43	43	43.0	0
Inc	75	75	75	80	75	76.0	2.236068
5xp1	68	68	68	68	68	68.0	0
Z5xp1	68	68	68	68	68	68.0	0
Rd84	59	59	59	59	59	59.0	0
Sqrt8	37	33	37	33	33	34.6	2.19089
Misex1	36	36	36	36	36	36.0	0
Ex5p	278	278	278	278	278	278.0	0
9sym	33	33	33	33	33	33.0	0
Z9sym	35	35	35	35	35	35.0	0
Clip	93	93	93	93	93	93.0	0
Apex4	970	970	970	970	970	970.0	0
Sao2	85	85	85	85	85	85.0	0
Ex1010	1060	1058	1060	1058	1058	1058.8	1.095445
Alu4	686	703	686	703	703	696.2	9.311283
Misex3	585	585	585	585	585	585.0	0
Misex3c	451	451	451	451	451	451.0	0
Table3	751	751	751	751	751	751.0	0
B12	60	60	60	60	60	60.0	0
T481	32	32	32	32	32	32.0	0
Pdc	604	604	604	604	604	604.0	0
Spla	592	592	592	592	592	592.0	0
Table5	668	668	668	668	668	668.0	0
Duke2	336	336	336	338	336	336.4	0.894427
Cordic	75	75	75	75	75	75.0	0
รวม	7964	7975	7964	7982	7975	7972.0	7.842194

สายโครโมโซมที่เป็นผลเฉลยที่ได้จากการทดลอง 5 ครั้ง

- 1) IIII2I244IINNSNN33I23S44S322SNS3
- 2) I2444ISS4234I22S222N3443N33N4S
- 3) IINI24N2234NIS3I24ISSS2N3S2442
- 4) 2I3N2424IN2N4NN4NSS444NINSSSS4
- 5) 322344N3ISS2424334SS4I32424S3S

ตารางที่ ง.4 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยขนาดแผนภาพตัดสินค้าวิภาคที่ได้จากการ  
ทดลองตอนที่ 3 โดยใช้วิธี GA3

ชื่อวงจร	ขนาดแผนภาพตัดสินค้าจากการทดลองตอนที่ 3 ครั้งที่					AVER	STDEV
	1	2	3	4	5		
Xor5	9	9	9	9	9	9.0	0
Rd53	23	23	23	23	23	23.0	0
Squar5	37	37	37	37	37	37.0	0
Bw	100	100	100	100	100	100.0	0
Con1	15	15	15	15	15	15.0	0
Rd73	43	43	43	43	43	43.0	0
Inc	75	75	75	75	75	75.0	0
5xp1	68	68	68	68	68	68.0	0
Z5xp1	68	68	68	68	68	68.0	0
Rd84	59	59	59	59	59	59.0	0
Sqrt8	33	33	33	33	33	33.0	0
Misex1	36	39	36	36	36	36.6	1.341641
Ex5p	278	278	278	278	278	278.0	0
9sym	33	33	33	33	33	33.0	0
Z9sym	35	35	35	35	35	35.0	0
Clip	93	93	93	93	93	93.0	0
Apex4	976	976	970	976	970	973.6	3.286335
Sao2	85	85	85	85	85	85.0	0
Ex1010	1061	1060	1060	1060	1058	1059.8	1.095445
Alu4	703	703	703	703	703	703.0	0
Misex3	585	585	585	585	585	585.0	0
Misex3c	451	451	451	451	451	451.0	0
Table3	751	751	751	751	751	751.0	0
B12	60	60	56	60	60	59.2	1.788854
T481	32	32	32	32	32	32.0	0
Pdc	604	604	604	604	604	604.0	0
Spla	592	592	592	592	592	592.0	0
Table5	668	668	668	668	668	668.0	0
Duke2	336	336	338	336	336	336.4	0.894427
Cordic	75	75	75	75	75	75.0	0
รวม	7984	7986	7975	7983	7975	7980.6	5.22494

สายโครโมโซมที่เป็นผลเฉลยที่ได้จากการทดลอง 5 ครั้ง

- 1) 2SNIS3I14I14INSS2NS244N4234S24
- 2) N234SNINSNS3N4SII4SN224S2NS243
- 3) SS3N3S323IS2442N4S2ISS44N33S22
- 4) 2I34I3ISS4S4SS23ISNNSSNS3N44SN
- 5) N24ISS4SNSI23NIIN2SNS3SN3NN4SN

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์



นายจิตติ เมตตาเมธา เกิดเมื่อวันที่ 4 มิถุนายน พ.ศ. 2514 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2536 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541