คู่มือการใช้งาน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบและสังเคราะห์เครือข่าย

User Manual

CAD Tool for Network Design and Optimization

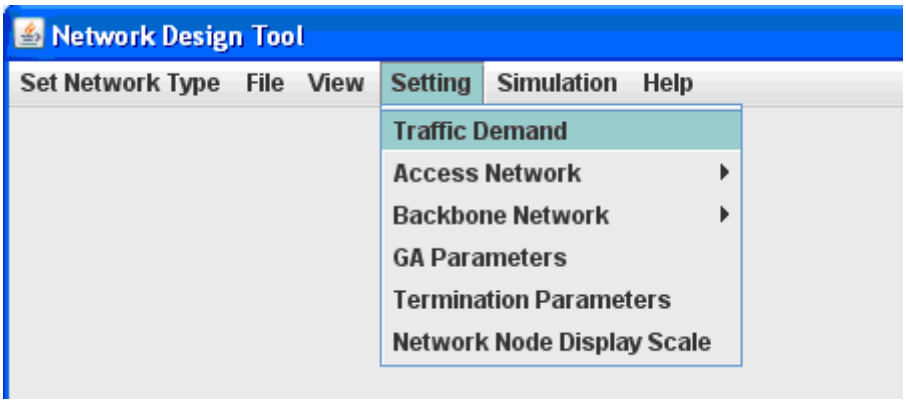
Table of Contents

1. How do you simulate the network design tool? 3
ถ้าต้องการรันโปรแกรมต้องทำอย่างไร
2. What is the input file format? 6
รูปแบบของไฟล์อินพุตเป็นอย่างไร
3. What are the network design types? 23
ประเภทของการออกแบบมีอะไรบ้าง
4. How do you select the network design type? 25
จะเลือกประเภทการออกแบบอย่างไร
5. What is the meaning of each configuration parameter? 27
ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรมแต่ละตัวมีความหมายอย่างไร
6. How do you see the output information from the Graphic User Interface (GUI)? 41
การเรียกดูผลที่ได้จากการรันทาง GUI

1. How do you simulate the network design tool? ถ้าต้องการรันโปรแกรมต้องทำอย่างไร

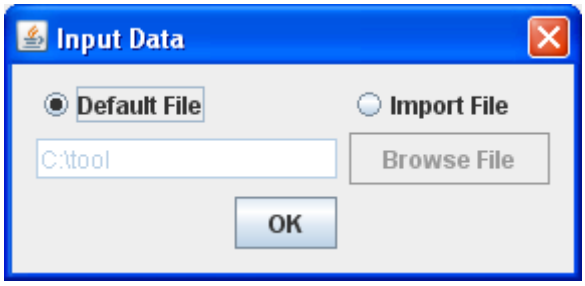
1.1. Prepare the input file following by the given format
เตรียม อินพุตไฟล์ ตามรูปแบบที่กำหนดไว้

1.2. Set the input file path
ระบุตำแหน่งพาทที่ไฟล์อินพุตอยู่

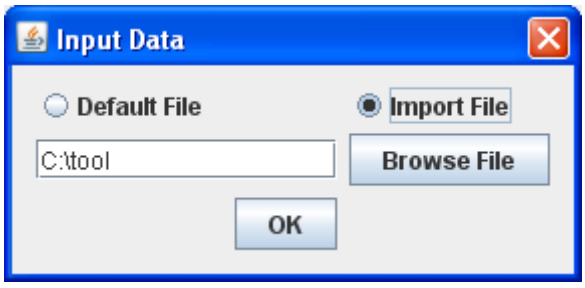


โดยไฟล์อินพุตมีสองรูปแบบให้เลือก คือ

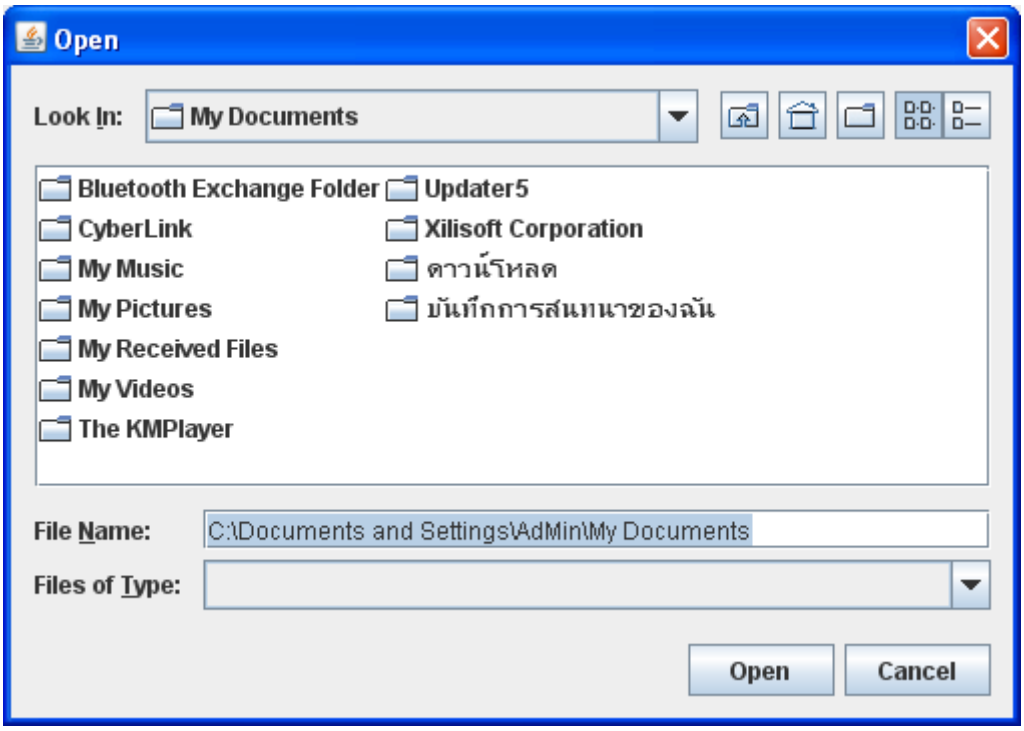
1) เลือกจากไฟล์ default โดยเลือกที่ radio button “Default File”



2) ระบุไฟล์ตำแหน่งที่อยู่ของไฟล์อินพุต โดยเลือกที่ radio button “Import File”



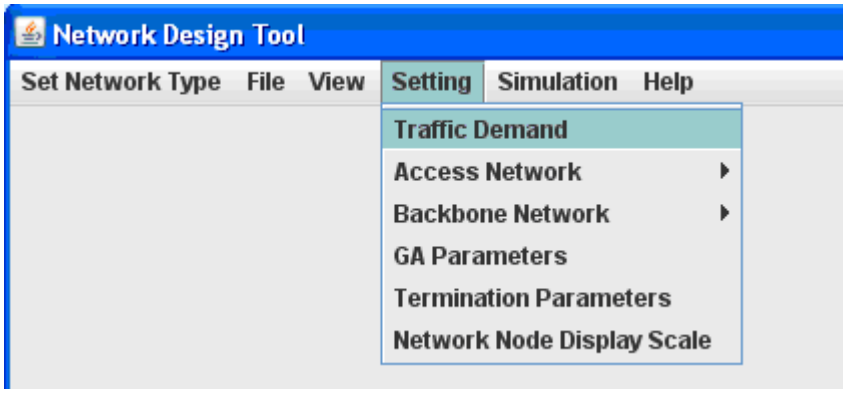
จากนั้น คลิกที่ ปุ่ม “Browse File” จะปรากฏรายการโฟล์เดอร์ให้เลือก



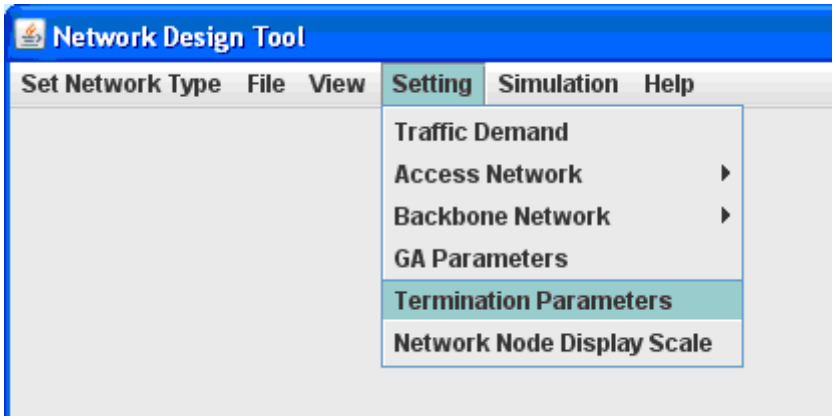
1.3. Fix the configuration parameters

ตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในโปรแกรม ตัวอย่าง เช่น

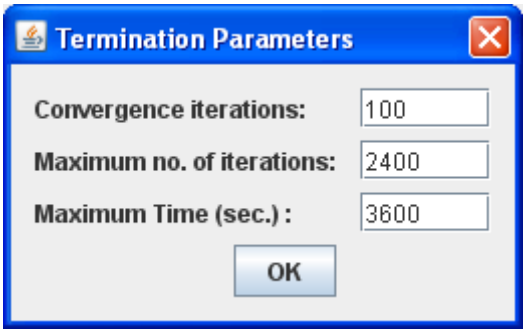
- ระบุค่าพาทผ่านทางเมนู “Traffic Demand”



- กำหนดการสิ้นสุดของโปรแกรมที่ “Termination Parameters”

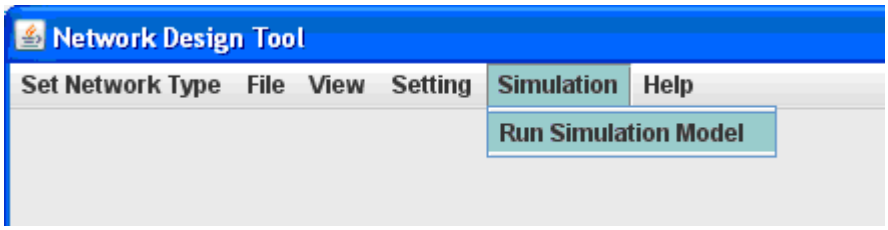


เมื่อคลิกที่ “Termination Parameters” แล้วจะปรากฏหน้าต่าง แสดงผลดังรูป

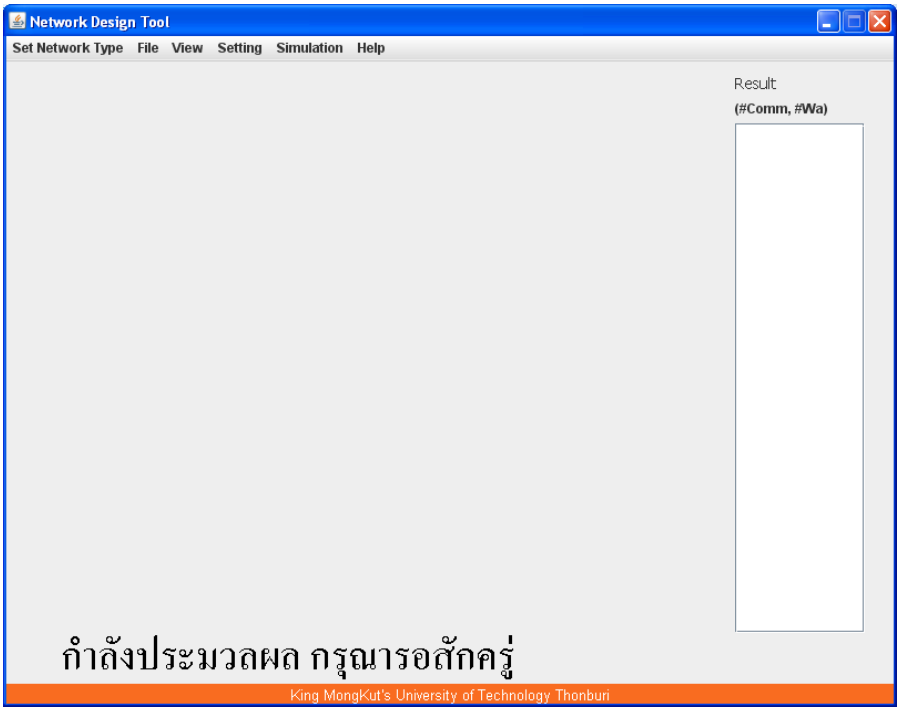


ค่า “**Convergence iterations**” คือ จำนวนรอบที่สมการวัตถุประสงค์ซ้ำกันแล้วอัลกอลิทึมจะสิ้นสุด
ค่า “**Maximum number of iterations**” คือ จำนวนรอบมากที่สุดที่อัลกอลิทึมจะรัน เมื่อถึงค่าที่กำหนดอัลกอลิทึมจะสิ้นสุด
ค่า “**Maximum time (sec.)**” คือ จำนวนเวลาที่มากที่สุดที่อัลกอลิทึมจะรัน เมื่อเวลาที่ใช้รันเกินเวลาที่กำหนดอัลกอลิทึมจะสิ้นสุด

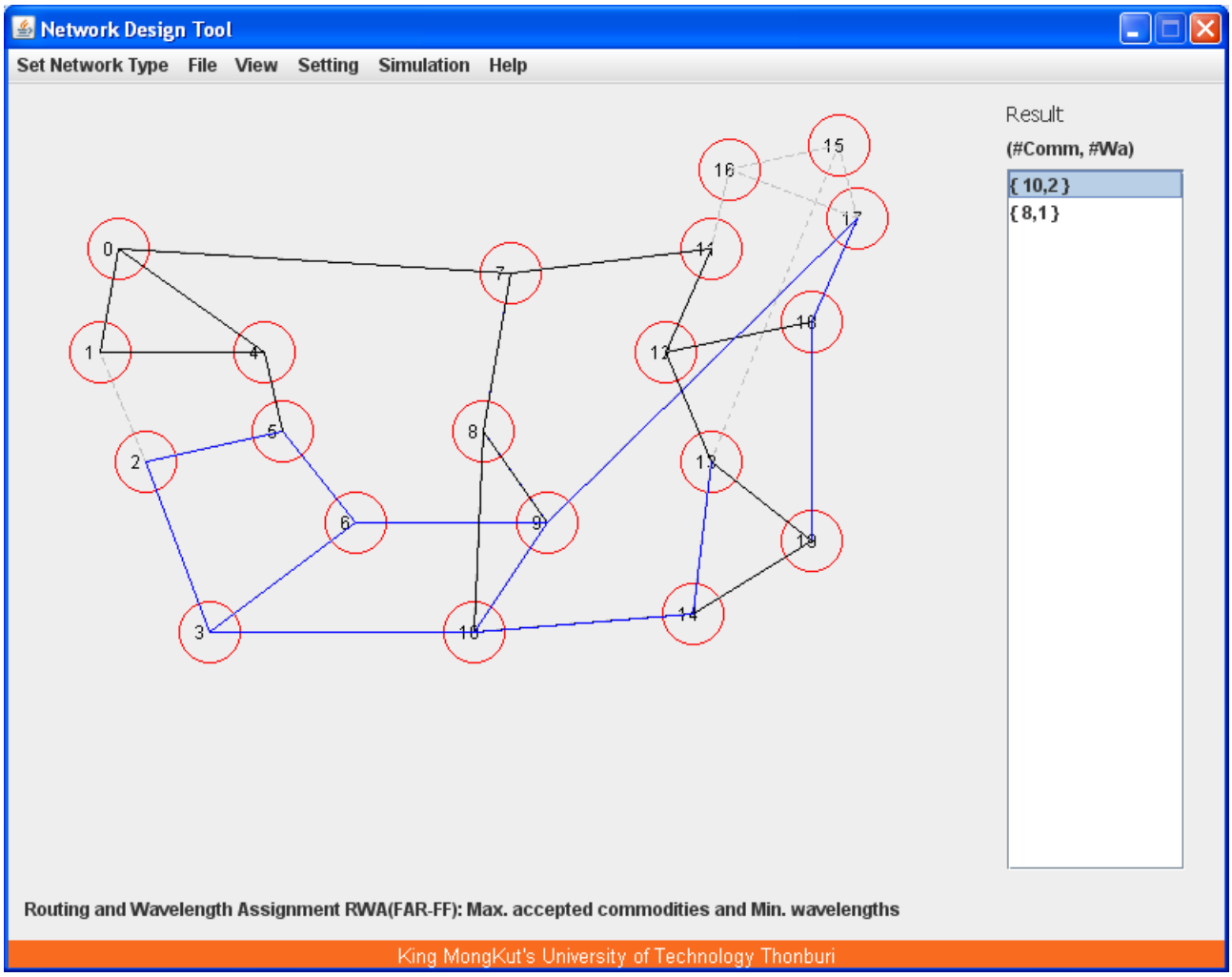
1.4. Click the menu “Simulation → Run Simulation Model”
คลิกที่ เมนู “Simulation → Run Simulation Model”



หลังจากคลิกที่ “Run Simulation Model” แล้ว จะปรากฏ ข้อความ “กำลังประมวลผล กรุณารอสักครู่”



หลังจากรันแล้วจะปรากฏผลดังรูป



2. What is the input file format? รูปแบบของไฟล์อินพุตเป็นอย่างไร

ไฟล์อินพุต จะคั่นด้วย Comma หรือมีรูปแบบที่เรียกว่า "Comma Separated File" และมีพิกัดตามแกน x และ y โดยพิกัดตามแกน x ที่ศูนย์ และพิกัดตามแกน y ที่ศูนย์เริ่มจากมุมล่างซ้าย โดยมีรูปแบบตามประเภทของการออกแบบดังนี้

1. Access Network เป็นการออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายในระบบเครือข่ายแบบเข้าถึง

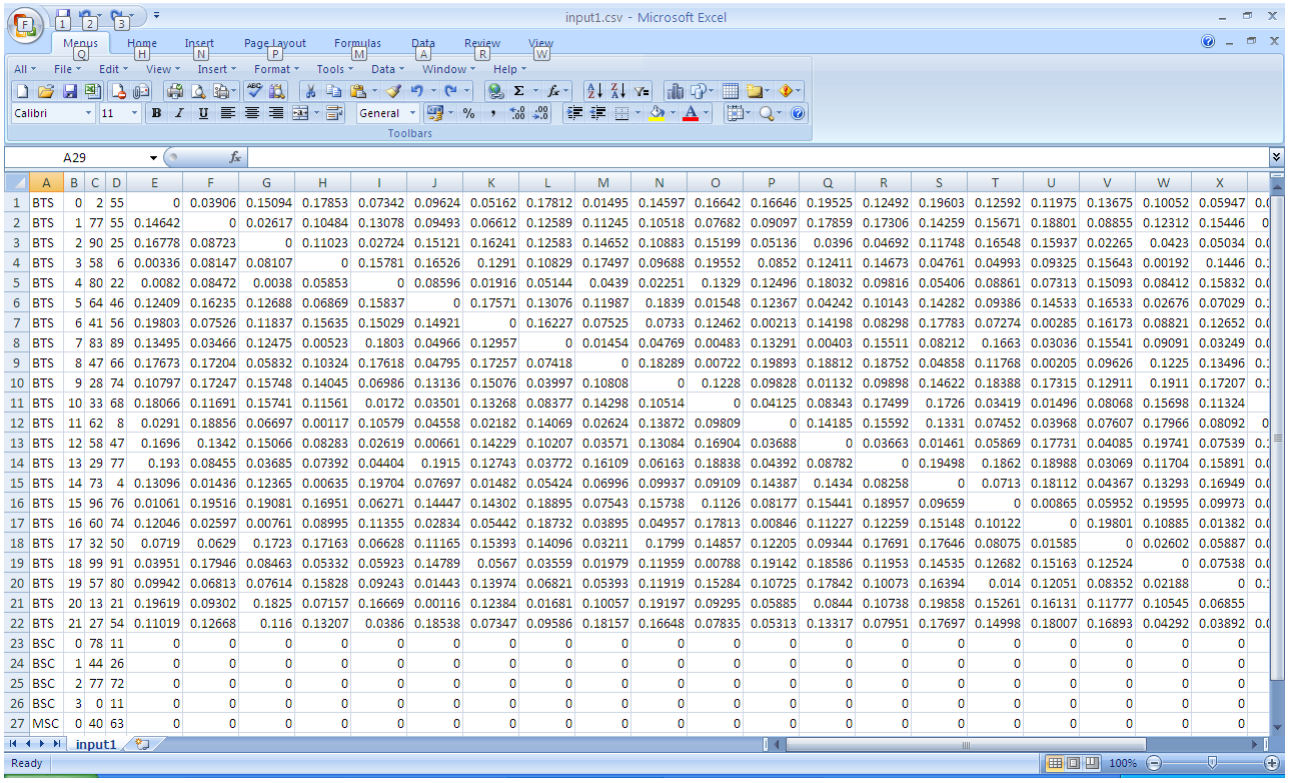
มีอินพุต คือ ตำแหน่งที่ตั้งและปริมาณความจุของสถานีฐาน ศูนย์ควบคุมสถานีฐาน และชุมสาย โดยโปรแกรมจะคำนวณหาโครงสร้างของเครือข่ายที่รองรับปริมาณความจุของสถานีฐานที่ต้องการออกแบบ ซึ่งศูนย์ควบคุมสถานีฐาน และชุมสายอาจไม่ได้ถูกเลือกใช้ทั้งหมด มีวัตถุประสงค์เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด

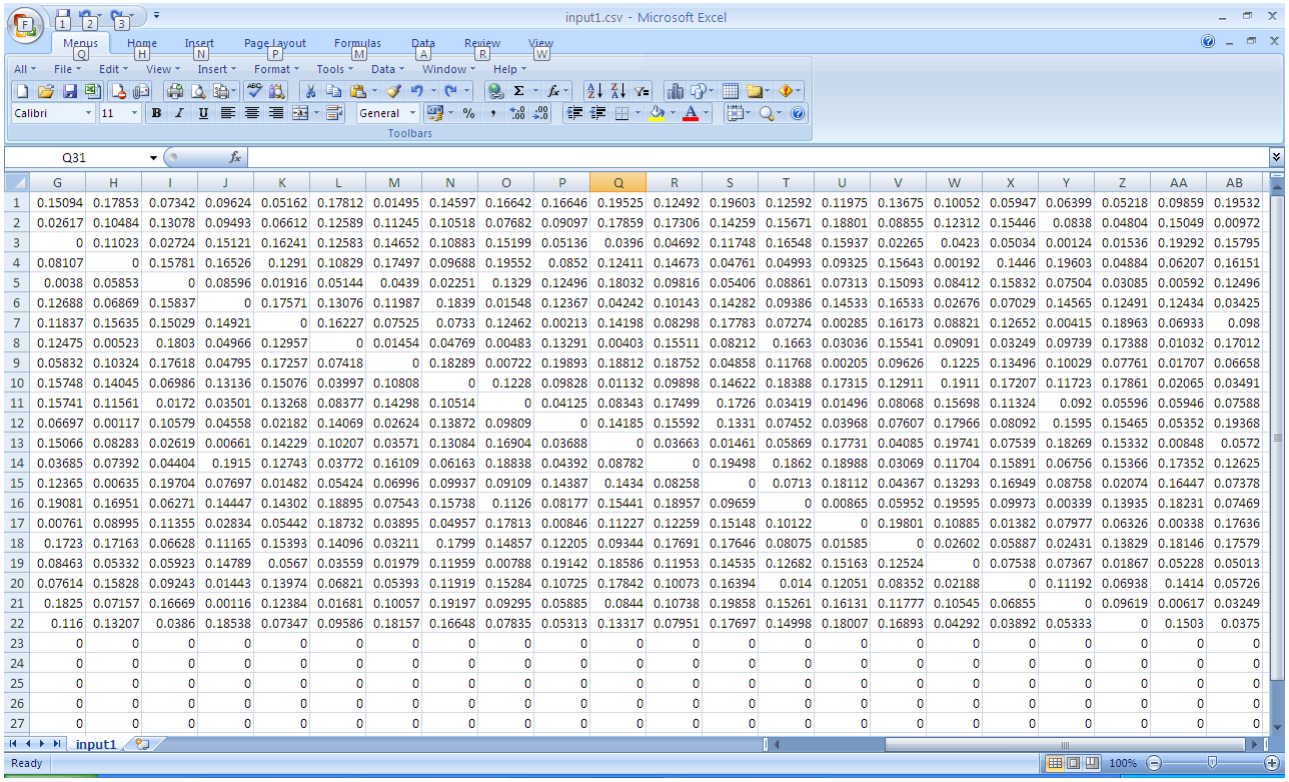
1.1. Minimum Cost Network Design using GA
การหาโครงสร้างของเครือข่ายแบบต้นไม้ที่ประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุดโดยใช้จีนีติกอัลกอลิทึม

มีไฟล์อินพุต 1 ไฟล์ โดยใช้ชื่อว่า “Input1.csv” โดยมีรูปแบบดังนี้

ประเภทที่ตั้ง	หมายเลข ID	พิกัดตามแกน x	พิกัดตามแกน y	Traffic demand (Erlang) จาก BTS หนึ่งไปยังอีก BTS หนึ่ง								Traffic demand (Erlang) จาก BTS ไปยัง PSTN	Traffic demand (Erlang) จาก PSTN ไปยัง BTS
BTS	0			0	BTS0 ไป BTS1	BTS0 ไป BTS2	BTS0 ไป BTS3	BTS0 ไป BTS4	BTS0 ไป BTS5	BTS0 ไป BTS6	BTS0 ไป BTS7	BTS0 ไป PSTN	PSTN ไป BTS0
BTS	1			BTS1 ไป BTS0	0	BTS1 ไป BTS2	BTS1 ไป BTS3	BTS1 ไป BTS4	BTS1 ไป BTS5	BTS1 ไป BTS6	BTS1 ไป BTS7	BTS1 ไป PSTN	PSTN ไป BTS1
BTS	2					0							
BTS	3						0						
BTS	4							0					
BTS	5								0				
BTS	6									0			
BTS	7										0		
BSC	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BSC	1			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BSC	2			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BSC	3			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MSC	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตัวอย่างเช่น ไฟล์อินพุตของ 22BTS, 4BSC และ 1MSC





	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1	0.15094	0.17853	0.07342	0.09624	0.05162	0.17812	0.01495	0.14597	0.16642	0.16646	0.19525	0.12492	0.19603	0.12592	0.11975	0.13675	0.10052	0.05947	0.06399	0.05218	0.09859	0.19532
2	0.02617	0.10484	0.13078	0.09493	0.06612	0.12589	0.11245	0.10518	0.07682	0.09097	0.17859	0.17306	0.14259	0.15671	0.18801	0.08855	0.12312	0.15446	0.0838	0.04804	0.15049	0.00972
3	0	0.11023	0.02724	0.15121	0.16241	0.12583	0.14652	0.10883	0.15199	0.05136	0.0396	0.04692	0.11748	0.16548	0.15937	0.02265	0.0423	0.05034	0.00124	0.01536	0.19292	0.15795
4	0.08107	0	0.15781	0.16526	0.1291	0.10829	0.17497	0.09688	0.19552	0.0852	0.12411	0.14673	0.04761	0.04993	0.09325	0.15643	0.00192	0.1446	0.19603	0.04884	0.06207	0.16151
5	0.0038	0.05853	0	0.08596	0.01916	0.05144	0.0439	0.02251	0.1329	0.12496	0.18032	0.09816	0.05406	0.08861	0.07313	0.15093	0.08412	0.15832	0.07504	0.03085	0.00592	0.12496
6	0.12688	0.06869	0.15837	0	0.17571	0.13076	0.11987	0.1839	0.01548	0.12367	0.04242	0.10143	0.14282	0.09386	0.14533	0.16533	0.02676	0.07029	0.14565	0.12491	0.12434	0.03425
7	0.11837	0.15635	0.15029	0.14921	0	0.16227	0.07525	0.0733	0.12462	0.00213	0.14198	0.08298	0.17783	0.07274	0.00285	0.16173	0.08821	0.12652	0.00415	0.18963	0.06933	0.098
8	0.12475	0.00523	0.1803	0.04966	0.12957	0	0.01454	0.04769	0.00483	0.13291	0.00403	0.15511	0.08212	0.1663	0.03036	0.15541	0.09091	0.03249	0.09739	0.17388	0.01032	0.17012
9	0.05832	0.10324	0.17618	0.04795	0.17257	0.07418	0	0.18289	0.00722	0.19893	0.18812	0.18752	0.04858	0.11768	0.00205	0.09626	0.1225	0.13496	0.10029	0.07761	0.01707	0.06658
10	0.15748	0.14045	0.06986	0.13136	0.15076	0.03997	0.10808	0	0.1228	0.09828	0.01132	0.09898	0.14622	0.18388	0.17315	0.12911	0.1911	0.17207	0.11723	0.17861	0.02065	0.03491
11	0.15741	0.11561	0.0172	0.03501	0.13268	0.08377	0.14298	0.10514	0	0.04125	0.08343	0.17499	0.1726	0.03419	0.01496	0.08068	0.15698	0.11324	0.092	0.05596	0.05946	0.07588
12	0.06697	0.00117	0.10579	0.04558	0.02182	0.14069	0.02624	0.13872	0.09809	0	0.14185	0.15592	0.1331	0.07452	0.03968	0.07607	0.17966	0.08092	0.1595	0.15465	0.05352	0.19368
13	0.15066	0.08283	0.02619	0.00661	0.14229	0.10207	0.03571	0.13084	0.16904	0.03688	0	0.03663	0.01461	0.05869	0.17731	0.04085	0.19741	0.07539	0.18269	0.15332	0.00848	0.0572
14	0.03685	0.07392	0.04404	0.1915	0.12743	0.03772	0.16109	0.06163	0.18838	0.04392	0.08782	0	0.19498	0.1862	0.18988	0.03069	0.11704	0.15891	0.06756	0.15366	0.17352	0.12625
15	0.12365	0.00635	0.19704	0.07697	0.01482	0.05424	0.06996	0.09937	0.09109	0.14387	0.1434	0.08258	0	0.0713	0.18112	0.04367	0.13293	0.16949	0.08758	0.02074	0.16447	0.07378
16	0.19081	0.16951	0.06271	0.14447	0.14302	0.18895	0.07543	0.15738	0.1126	0.08177	0.15441	0.18957	0.09659	0	0.00865	0.05952	0.19595	0.09973	0.00339	0.13935	0.18231	0.07469
17	0.00761	0.08995	0.11355	0.02834	0.05442	0.18732	0.03895	0.04957	0.17813	0.00846	0.11227	0.12259	0.15148	0.10122	0	0.19801	0.10885	0.01382	0.07977	0.06326	0.00338	0.17636
18	0.1723	0.17163	0.06628	0.11165	0.15393	0.14096	0.03211	0.1799	0.14857	0.12205	0.09344	0.17691	0.17646	0.08075	0.01585	0	0.02602	0.05887	0.02431	0.13829	0.18146	0.17579
19	0.08463	0.05332	0.05923	0.14789	0.0567	0.03559	0.01979	0.11959	0.00788	0.19142	0.18586	0.11953	0.14535	0.12682	0.15163	0.12524	0	0.07538	0.07367	0.01867	0.05228	0.05013
20	0.07614	0.15828	0.09243	0.01443	0.13974	0.06821	0.05393	0.11919	0.15284	0.10725	0.17842	0.10073	0.16394	0.014	0.12051	0.08352	0.02188	0	0.11192	0.06938	0.1414	0.05726
21	0.1825	0.07157	0.16669	0.00116	0.12384	0.01681	0.10057	0.19197	0.09295	0.05885	0.0844	0.10738	0.19858	0.15261	0.16131	0.11777	0.10545	0.06855	0	0.09619	0.00617	0.03249
22	0.116	0.13207	0.0386	0.18538	0.07347	0.09586	0.18157	0.16648	0.07835	0.05313	0.13317	0.07951	0.17697	0.14998	0.18007	0.16893	0.04292	0.03892	0.05333	0	0.1503	0.0375
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หลังจากรันโปรแกรมจะให้ไฟล์เอาท์พุต สองไฟล์คือ

- ConvergedFile.csv
- OutputDataFile.csv

ไฟล์ ConvergedFile.csv

แสดงค่าใช้จ่าย (cost) ที่เปลี่ยนไปเมื่อ iteration มากขึ้น เพื่อแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของอัลกอลิทึมว่ามีการลู่เข้าสู่คำตอบได้ไวเพียงใด

No. of iterations	Cost
1	2593194
10	2109751
20	1906365
30	1848825
...	...

โดยเมื่อ Iteration ที่รันมีค่ามากขึ้น ค่าใช้จ่ายจะลดลง

ไฟล์ OutputDataFile.csv

แสดงโครงสร้างของเครือข่ายแบบต้นไม้ ทางไฟล์เอาท์พุต ซึ่งได้แสดงผลเป็นรูปทาง GUI โดยไฟล์เอาท์พุตมีรูปแบบดังนี้

BTS0	BTS1	BTS2	BTS3	BTS4	BTS5	BTS6	BTS7	BSC0	BSC1	BSC2	BSC3
หมายเลข BSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข BSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข BSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข BSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข BSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข BSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข BSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข BSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข MSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข MSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข MSC ที่เชื่อมต่อ	หมายเลข MSC ที่เชื่อมต่อ

ตัวอย่างเช่น

สำหรับ 22 BTS, 4 BSC และ 1 MSC มีไฟล์เอาท์พุตซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1 2 0 0 0 1 1 2 2 2 1 0 1 2 0 2 2 1 2 2 1 1 | 0 0 0 -1 => 1642999.72
GENERATION: 197 Time: 66

หมายถึง BTS ที่ 0 เชื่อมต่อกับ BSC ที่ 1
BTS ที่ 1 เชื่อมต่อกับ BSC ที่ 2
BTS ที่ 2 เชื่อมต่อกับ BSC ที่ 0
...
BTS ที่ 21 เชื่อมต่อกับ BSC ที่ 1
BSC ที่ 0 เชื่อมต่อกับ MSC ที่ 0
BSC ที่ 1 เชื่อมต่อกับ MSC ที่ 0
BSC ที่ 2 เชื่อมต่อกับ MSC ที่ 0
BSC ที่ 3 ไม่ถูกเลือกใช้ (ซึ่งแทนด้วย -1)
มีค่าใช้จ่าย 1,642,999.72
ใช้จำนวนรอบหรือ iteration ในการรัน = 197 iterations
ใช้เวลาในการรัน = 66 วินาที

1.2. Survivable Network Design (Link Restoration) using GA และ Survivable Network Design (Path Restoration) using GA

มีไฟล์อินพุต 1 ไฟล์ โดยใช้ชื่อว่า "input2.csv" โดยมีรูปแบบดังนี้

ประเภทที่ตั้ง	หมายเลข ID	พิกัดตามแกน x	พิกัดตามแกน y	ชนิดของที่ตั้ง	จำนวนอุปกรณ์ติดต่อวงจรสัญญาณ	จำนวนความจุในหน่วย Erlang	จำนวนสถานีฐาน BTS ภายใต้การควบคุม	ศูนย์ควบคุม/ชุมสาย ที่เชื่อมต่อ
BTS	2	25	82	A	17	9.974481	1	3
BTS	15	23	51	A	17	9.860659	1	3
BTS	26	54	49	A	19	11.51031	1	4
BTS	27	68	64	A	16	9.824421	1	4
BTS	35	28	49	A	17	10.02969	1	3
BTS	37	54	39	A	17	9.852564	1	4
BTS	38	52	46	A	17	10.56846	1	4
BTS	43	27	74	A	16	9.71573	1	3
BTS	45	64	46	A	16	9.411461	1	4
BSC	3	26	66	A	67	0	4	0
BSC	4	64	54	A	85	0	5	0
MSC	0	38	71	A	152	0	9	-1

ให้ไฟล์เอาท์พุต สองไฟล์คือ

- ConvergedFile.csv
- OutputDataFile.csv

ไฟล์ ConvergedFile.csv

แสดงค่าใช้จ่าย (cost) ที่เปลี่ยนไปเมื่อ iteration มากขึ้น เพื่อแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของอัลกอลิทึมว่ามีการลู่เข้าสู่คำตอบได้ไวเพียงใด

No. of iterations	Cost
1	2593194
10	2109751
20	1906365
30	1848825
…	…

โดยเมื่อ Iteration ที่รันมีค่ามากขึ้น ค่าใช้จ่ายจะลดลง

ไฟล์ OutputDataFile.csv

แสดงเซตของเส้นทางสำรองของโครงสร้างเครือข่ายแบบต้นไม้ ทางไฟล์เอาท์พุต ซึ่งได้แสดงผลเป็นรูปทาง GUI โดยไฟล์เอาท์พุตมีรูปแบบดังนี้

สำหรับการฟื้นคืนวงจรแบบเชื่อมต่อระหว่างจุด Link Restoration

เส้นทางสำรองสำหรับ BTS0	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS1	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS2	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS3	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS4	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS5	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS6	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS7	เส้นทางสำรองสำหรับ BSC0	เส้นทางสำรองสำหรับ BSC1	เส้นทางสำรองสำหรับ BSC2	เส้นทางสำรองสำหรับ BSC3

สำหรับการฟื้นคืนวงจรแบบเส้นทาง Path Restoration

เส้นทางสำรองสำหรับ BTS0	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS1	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS2	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS3	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS4	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS5	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS6	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS7

โดยเส้นทางสำรองคั่นด้วย เครื่องหมาย ":"

ตัวอย่างเช่น

สำหรับ 22 BTS, 4 BSC และ 1 MSC ซึ่งมีการฟื้นคืนวงจรแบบเชื่อมต่อระหว่างจุด มีไฟล์เอาท์พุตซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

0 17 22 : 1 19 23 : 2 11 23 : 3 11 23 : 4 25 23 : 5 21 24 : 6 8 24 : 7 3 23 : 8 6 24 : 9 18 23 : 10 21 24 : 11 2 23 : 12 17 22 : 13 9 23 : 14 25 24 : 15 4 23 : 16 2 23 : 17 0 22 : 18 9 23 : 19 1 23 : 20 25 24 : 21 10 24 : 22 17 25 : 23 4 25 : 24 20 25 : => 2036348.8 GENERATION : 2 Time : 1

หมายถึง BTS ที่ 0 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 0 (BTS0) ไปยัง Node ที่ 17 (BTS17) ไปยัง Node ที่ 22 (คือ BSC ที่ 0)

BTS ที่ 1 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 1 (BTS1) ไปยัง Node ที่ 19

(BTS19) ไปยัง Node ที่ 23 (คือ BSC ที่ 1)
BTS ที่ 2 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 2 (BTS2) ไปยัง Node ที่ 11 (BTS11) ไปยัง Node ที่ 23 (คือ BSC ที่ 1)
...
BTS ที่ 21 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 21 (BTS21) ไปยัง Node ที่ 10 (BTS10) ไปยัง Node ที่ 24 (คือ BSC ที่ 2)
BSC ที่ 0 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 22 (BSC0) ไปยัง Node ที่ 17 (BTS17) ไปยัง Node ที่ 25 (คือ MSC ที่ 0)
BSC ที่ 1 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 23 (BSC1) ไปยัง Node ที่ 4 (BTS4) ไปยัง Node ที่ 25 (คือ MSC ที่ 0)
BSC ที่ 2 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 24 (BSC2) ไปยัง Node ที่ 20 (BTS20) ไปยัง Node ที่ 25 (คือ MSC ที่ 0)

มีค่าใช้จ่าย 2,036,348.8
ใช้จำนวนรอบหรือ iteration ในการรัน = 2 iterations
ใช้เวลาในการรัน = 1 วินาที

1.3. Survivable Network Design (Link Restoration) using Shortest Path และ Survivable Network Design (Path Restoration) using Shortest Path

มีไฟล์อินพุต 1 ไฟล์ โดยใช้ชื่อว่า "input3.csv" โดยมีรูปแบบดังนี้

ประเภทที่ตั้ง	หมายเลข ID	พิกัดตามแกน x	พิกัดตามแกน y	ชนิดของที่ตั้ง	จำนวนอุปกรณ์ติดต่อวงจรสัญญาณ	จำนวนความจุในหน่วย Erlang	จำนวนสถานีฐาน BTS ภายใต้การควบคุม	ศูนย์ควบคุม/ชุมสาย ที่เชื่อมต่อ	จำนวนสถานีฐาน BTS ที่อยู่ภายใต้ศูนย์ควบคุมเดียวกัน
BTS	0	4	30	A	9	4.16883	1	1	3
BTS	1	31	66	A	10	4.85813	1	7	12
BTS	2	63	99	A	9	4.09832	1	7	12
BTS	3	52	97	A	9	4.297979	1	7	12
BTS	4	61	68	A	9	3.91394	1	7	12
BTS	5	92	25	A	10	4.36664	1	8	7
BTS	...								
BTS	21	86	12	A	10	4.40042	1	8	7
BSC	1	1	47	A	27	0	3	1	3
BSC	7	66	69	A	111	0	12	1	12
BSC	8	59	35	A	66	0	7	1	7
MSC	1	34	40	A	204	0	22	-1	0

ให้ไฟล์เอาท์พุต สองไฟล์คือ

- ConvergedFile.csv
- OutputDataFile.csv

ไฟล์ ConvergedFile.csv

แสดงค่าใช้จ่าย (cost) ที่เปลี่ยนไปเมื่อ iteration มากขึ้น เพื่อแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของอัลกอลิทึมว่ามีการลู่เข้าสู่คำตอบได้ไวเพียงใด

No. of iterations	Cost
1	2593194
10	2109751
20	1906365
30	1848825
…	…

โดยเมื่อ Iteration ที่รันมีค่ามากขึ้น ค่าใช้จ่ายจะลดลง

ไฟล์ OutputDataFile.csv

แสดงเซตของเส้นทางสำรองของโครงสร้างเครือข่ายแบบต้นไม้ ทางไฟล์เอาท์พุต ซึ่งได้แสดงผลเป็นรูปทาง GUI โดยไฟล์เอาท์พุตมีรูปแบบดังนี้

สำหรับการฟื้นคืนวงจรแบบเชื่อมต่อระหว่างจุด Link Restoration

เส้นทางสำรองสำหรับ BTS0	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS1	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS2	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS3	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS4	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS5	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS6	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS7	เส้นทางสำรองสำหรับ BSC0	เส้นทางสำรองสำหรับ BSC1	เส้นทางสำรองสำหรับ BSC2	เส้นทางสำรองสำหรับ BSC3

สำหรับการฟื้นคืนวงจรแบบเส้นทาง Path Restoration

เส้นทางสำรองสำหรับ BTS0	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS1	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS2	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS3	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS4	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS5	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS6	เส้นทางสำรองสำหรับ BTS7

โดยเส้นทางสำรองคั่นด้วย เครื่องหมาย ":"

ตัวอย่างเช่น

สำหรับ 22 BTS, 4 BSC และ 1 MSC ซึ่งมีการฟื้นคืนวงจรแบบเชื่อมต่อระหว่างจุด มีไฟล์เอาท์พุตซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

0 17 22 : 1 19 23 : 2 11 23 : 3 11 23 : 4 25 23 : 5 21 24 : 6 8 24 : 7 3 23 : 8 6 24 : 9 18 23 : 10 21 24 : 11 2 23 : 12 17 22 : 13 9 23 : 14 25 24 : 15 4 23 : 16 2 23 : 17 0 22 : 18 9 23 : 19 1 23 : 20 25 24 : 21 10 24 : 22 17 25 : 23 4 25 : 24 20 25 : => 2036348.8 GENERATION : 2 Time : 1

หมายถึง BTS ที่ 0 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 0 (BTS0) ไปยัง Node ที่ 17 (BTS17) ไปยัง Node ที่ 22 (คือ BSC ที่ 0)

BTS ที่ 1 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 1 (BTS1) ไปยัง Node ที่ 19

(BTS19) ไปยัง Node ที่ 23 (คือ BSC ที่ 1)
BTS ที่ 2 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 2 (BTS2) ไปยัง Node ที่ 11 (BTS11) ไปยัง Node ที่ 23 (คือ BSC ที่ 1)
...
BTS ที่ 21 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 21 (BTS21) ไปยัง Node ที่ 10 (BTS10) ไปยัง Node ที่ 24 (คือ BSC ที่ 2)
BSC ที่ 0 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 22 (BSC0) ไปยัง Node ที่ 17 (BTS17) ไปยัง Node ที่ 25 (คือ MSC ที่ 0)
BSC ที่ 1 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 23 (BSC1) ไปยัง Node ที่ 4 (BTS4) ไปยัง Node ที่ 25 (คือ MSC ที่ 0)
BSC ที่ 2 มีเส้นทางสำรอง คือ จาก Node ที่ 24 (BSC2) ไปยัง Node ที่ 20 (BTS20) ไปยัง Node ที่ 25 (คือ MSC ที่ 0)

มีค่าใช้จ่าย 2,036,348.8
ใช้จำนวนรอบหรือ iteration ในการรัน = 2 iterations
ใช้เวลาในการรัน = 1 วินาที

2. Backbone Network

2.1. Routing and Wavelength Assignment (RWA)

2.1.1. GA-MinDF: Genetic Algorithm for Routing and Minimum Degree First Wavelength Assignment

2.1.2. FAR-FF: Fixed Alternate Routing and First Fit Wavelength Assignment

มีไฟล์อินพุต 4 ไฟล์ โดยมีชื่อและรูปแบบดังนี้

1. Commodity_rwa.csv
2. ConnectionTable.csv
3. Node.csv
4. Edge.csv

1. ไฟล์ Commodity_rwa.csv

หมายเลข ID ของการเชื่อมต่อ Commodity ID	จุดเริ่มต้นของการเชื่อมต่อ Source Node	จุดสิ้นสุดของการเชื่อมต่อ Destination Node
0	4	8
1	12	7
2	1	5
3	13	7
4	3	9
5	6	0
6	8	13
7	13	6
8	9	5
9	9	6

ตัวอย่างเช่น มี 10 การเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อที่ 0 จาก ที่ตั้ง Node ที่ 4 ไปที่ตั้ง Node ที่ 8
การเชื่อมต่อที่ 1 จาก ที่ตั้ง Node ที่ 12 ไปที่ตั้ง Node ที่ 7
การเชื่อมต่อที่ 2 จาก ที่ตั้ง Node ที่ 1 ไปที่ตั้ง Node ที่ 5
...
การเชื่อมต่อที่ 9 จาก ที่ตั้ง Node ที่ 9 ไปที่ตั้ง Node ที่ 6

2. ไฟล์ ConnectionTable.csv

หมายเลข ID ที่ตั้ง Node ID	ที่ตั้ง Node ข้างเคียงที่มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อ Neighbor Node	ที่ตั้ง Node ข้างเคียงที่มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อ Neighbor Node	ที่ตั้ง Node ข้างเคียงที่มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อ Neighbor Node	ที่ตั้ง Node ข้างเคียงที่มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อ Neighbor Node
0	1	4	7	
1	0	2	4	
2	1	3	5	
3	2	6	10	
4	0	1	5	
5	2	4	6	
6	3	5	9	
7	0	8	11	
8	7	9	10	
9	6	8	10	17
10	3	8	9	14
11	7	12	16	
12	11	13	18	
13	12	14	15	19
14	10	13	19	
15	13	16	17	
16	11	15	17	
17	9	15	16	18
18	12	17	19	
19	13	14	18	

มี 20 Nodes

Node ที่ 0 มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อกับ Node ที่ 1, Node ที่ 4 และ Node ที่ 7
Node ที่ 1 มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อกับ Node ที่ 0, Node ที่ 2 และ Node ที่ 4
Node ที่ 2 มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อกับ Node ที่ 1, Node ที่ 3 และ Node ที่ 5
...
Node ที่ 19 มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อกับ Node ที่ 13, Node ที่ 14 และ Node ที่ 18

3. ไฟล์ Edge.csv

หมายเลข ID วงจรสัญญาณ Edge ID	จาก หมายเลขที่ตั้ง Node ID	ถึง หมายเลขที่ตั้ง Node ID	ระยะทางในหน่วยกิโลเมตร Edge Distance (km.)
0	0	1	50
1	0	4	65
2	0	7	100
3	1	0	50
4	1	2	60
...			
62	19	14	55
63	19	18	80

มี 64 วงจรสัญญาณที่มีทิศทาง (Directional Edge)

วงจรสัญญาณที่ 0 เชื่อมต่อจากหมายเลขที่ตัง Node ID 0 ไปยังหมายเลขที่ตั้ง Node ID 1 มีระยะทาง 50 กิโลเมตร

วงจรสัญญาณที่ 1 เชื่อมต่อจากหมายเลขที่ตัง Node ID 0 ไปยังหมายเลขที่ตั้ง Node ID 4 มีระยะทาง 65 กิโลเมตร

วงจรสัญญาณที่ 2 เชื่อมต่อจากหมายเลขที่ตัง Node ID 0 ไปยังหมายเลขที่ตั้ง Node ID 7 มีระยะทาง 100 กิโลเมตร

...

วงจรสัญญาณที่ 63 เชื่อมต่อจากหมายเลขที่ตัง Node ID 19 ไปยังหมายเลขที่ตั้ง Node ID 18 มีระยะทาง 80 กิโลเมตร

4. ไฟล์ Node.csv

โดยมุมล่างซ้ายมีพิกัดตามแกน x และ แกน y ที่ (0, 0)

หมายเลข ID ที่ตั้ง Node ID	พิกัดตามแกน x	พิกัดตามแกน y
0	12	73
1	10	56
2	15	38
3	22	10
4	28	56
5	30	43
...		
19	88	25

มี 20 ที่ตั้ง

ที่ตั้งหมายเลข 0 มีพิกัดตามแกน x = 12 และพิกัดตามแกน y = 73 หรือ (12, 73)

ที่ตั้งหมายเลข 1 มีพิกัดตามแกน x = 10 และพิกัดตามแกน y = 56 หรือ (10, 56)

ที่ตั้งหมายเลข 2 มีพิกัดตามแกน x = 15 และพิกัดตามแกน y = 38 หรือ (15, 38)

...

ที่ตั้งหมายเลข 19 มีพิกัดตามแกน x = 88 และพิกัดตามแกน y = 25 หรือ (88, 25)

ให้ไฟล์เอาท์พุตสองไฟล์ คือ

- NonDominated.txt
- NonDominatedDetail.txt

ไฟล์ NonDominated.txt

เนื่องจากคำตอบจาก Multi-objective optimization คำตอบที่ได้มีหลายคำตอบ โดยอยู่ในรูปเซตของ objective value ที่แตกต่างกัน คำตอบที่ได้จึงมีหลายบรรทัด โดย 1 บรรทัด คือ 1 คำตอบ เช่น ในไฟล์ NonDominated.txt มีสองบรรทัด คือ

10,2
8,1

โดย "10,2" หมายถึง มีการเชื่อมต่อ 10 การเชื่อมต่อที่สำเร็จ
ต้องการจำนวนช่องสัญญาณจำนวน 2 ช่องสัญญาณ

ไฟล์ NonDominatedDetail.txt

คำตอบที่อยู่ในไฟล์ NonDominatedDetail.txt มีความสัมพันธ์กับคำตอบในไฟล์ NonDominated.txt โดยคำตอบในบรรทัดเดียวกัน คือ รายละเอียดของไฟล์จาก NonDominated.txt ได้แก่

- จำนวนรอบ iteration ที่ใช้ในการรัน
- จำนวนเวลาที่ใช้ในการรันมีหน่วยเป็นวินาที
- จำนวนการเชื่อมต่อที่สำเร็จ
- จำนวนช่องสัญญาณที่ต้องการ
- เส้นทางสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อเรียงลำดับตามหมายเลขการเชื่อมต่อ
- ช่องสัญญาณสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อเรียงลำดับตามหมายเลขการเชื่อมต่อ

ตัวอย่างเช่น มีสองบรรทัด คือ

ITERATION20,CPU_time(sec)1,ACC_COM_f110.0,WCH_f22.0FRONT1,CROWDING_DISTANCE2.147483647E9,ENCODING_STRING4,5,2,3,10,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,12,13,15,16,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,4,5,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,13,12,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,3,10,9,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,6,5,4,0,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,8,9,17,15,13,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,13,14,10,9,6,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,9,10,3,6,5,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,9,6,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,WAVELENGTH_CHANNEL1,1,0,0,0,0,0,1,1,0,

ITERATION20,CPU_time(sec)1,ACC_COM_f18.0,WCH_f21.0FRONT1,CROWDING_DISTANCE2.147483647E9,ENCODING_STRING4,1,0,7,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,12,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,2,5,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,13,12,18,17,9,10,8,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,3,6,9,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,6,5,4,0,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,8,10,14,13,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,13,14,10,3,6,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,9,10,8,7,0,1,4,5,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,9,6,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,WAVELENGTH_CHANNEL0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,

ที่บรรทัดแรก หรือ คำตอบแรก

- ใช้รอบ หรือ iteration ในการรัน 20 iterations
- ใช้จำนวนเวลาในการประมวลผล 1 วินาที
- มีการเชื่อมต่อที่สำเร็จ (ACC_COM_f1) 10 การเชื่อมต่อ
- มีจำนวนช่องสัญญาณที่ต้องการ (WCH_f2) 2 ช่องสัญญาณ
- มีเซตของเส้นทางสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อ (ENCODING_STRING)
  โดยแสดงหมายเลขที่ตั้ง Node ID จากที่ตั้งหนึ่งไปยังที่ตั้งถัดไป เรื่อย ๆ โดยเส้นทางมีความยาวสูงสุดเท่ากับ จำนวน node ในไฟล์ "Node.csv" เส้นทางสำหรับการเชื่อมต่อที่ 0 ต่อด้วยเส้นทางสำหรับการเชื่อมต่อที่ 1 ต่อด้วยเส้นทางสำหรับการเชื่อมต่อที่ 2 ตามลำดับ ไปเรื่อย ๆ จนถึงการเชื่อมต่อที่ 9 สำหรับเซตของการเชื่อมต่อ 10 การเชื่อมต่อ หากเส้นทางที่หาได้ถึงที่หมายหรือจุดหมายแล้วจะตามด้วย -1

  ตัวอย่างเช่น

  การเชื่อมต่อที่ 0. 4,5,2,3,10,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
  การเชื่อมต่อที่ 1. 12,13,15,16,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,
  การเชื่อมต่อที่ 2. 4,5,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
  การเชื่อมต่อที่ 3. 13,12,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
  การเชื่อมต่อที่ 4. 3,10,9,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
  การเชื่อมต่อที่ 5. 6,5,4,0,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
  การเชื่อมต่อที่ 6. 8,9,17,15,13,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
  การเชื่อมต่อที่ 7. 13,14,10,9,6,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
  การเชื่อมต่อที่ 8. 9,10,3,6,5,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
  การเชื่อมต่อที่ 9. 9,6,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,

  หมายถึง

  การเชื่อมต่อที่ 0 มี เส้นทางจาก ที่ตั้ง Node ที่ 4 ไป 5 ไป 2 ไป 3 ไป 10 ไป 8
  การเชื่อมต่อที่ 1 มี เส้นทางจาก ที่ตั้ง Node ที่ 12 ไป 13 ไป 15 ไป 16 ไป 11 ไป 7
  การเชื่อมต่อที่ 2 มี เส้นทางจาก ที่ตั้ง Node ที่ 4 ไป 5
  ...
  การเชื่อมต่อที่ 9 มี เส้นทางจาก ที่ตั้ง Node ที่ 9 ไป 6

- มีช่องสัญญาณสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อ (WAVELENGTH_CHANNEL) ดังนี้

  1,1,0,0,0,0,0,1,1,0,

  หมายถึง การเชื่อมต่อที่ 0 มีช่องสัญญาณที่ 1
  การเชื่อมต่อที่ 1 มีช่องสัญญาณที่ 1
  การเชื่อมต่อที่ 2 มีช่องสัญญาณที่ 0
  ...
  การเชื่อมต่อที่ 9 มีช่องสัญญาณที่ 0

  * ซึ่งมีช่องสัญญาณที่ยอมรับทั้งหมด 2 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณที่ 0 และช่องสัญญาณที่ 1 หมายความว่า ทุกการเชื่อมต่อที่ยอมรับหรือสำเร็จทั้งหมด 10 การเชื่อมต่อ

2.2. Grooming, Routing and Wavelength Assignment (GRWA)

2.2.1. GA-ETG-MaxDF: Genetic Algorithm for Routing and Extended Traffic Grooming and Maximum Degree First Wavelength Assignment

2.2.2. GA-MST-FF: Genetic Algorithm for Routing and Maximizing Single-hop Traffic and First Fit Wavelength Assignment

2.2.3. GA-MRU-FF: Genetic Algorithm for Routing and Maximizing Resource Utilization and First Fit Wavelength Assignment

มีไฟล์อินพุต 4 ไฟล์ โดยมีชื่อและรูปแบบดังนี้

1. Commodity_grwa.csv
2. ConnectionTable.csv
3. Node.csv
4. Edge.csv

1. ไฟล์ Commodity_grwa.csv

หมายเลข ID ของการเชื่อมต่อ Commodity ID	จุดเริ่มต้นของการเชื่อมต่อ Source Node	จุดสิ้นสุดของการเชื่อมต่อ Destination Node	ปริมาณการรับส่งข้อมูลที่ต้องการในหนึ่งหน่วยช่องสัญญาณ	ความต้องการเส้นทางสำรอง
0	18	2	0.15	0
1	4	19	0.3	0
2	19	8	1	0
3	4	12	0.4	0
4	18	6	0.2	0
5	1	10	0.8	0
6	11	7	0.6	0
7	13	14	0.55	0
8	15	1	0.25	0
9	5	8	0.85	0
10	19	7	0.8	0
11	0	12	0.15	0
12	6	14	0.7	0
13	13	0	0.6	0
14	9	15	0.2	0
15	2	14	0.6	0
16	11	14	0.9	0
17	18	9	0.45	0
18	18	7	0.4	0
19	1	12	0.95	0

ตัวอย่างเช่น มี 20 การเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อที่ 0 จาก ที่ตั้ง Node ที่ 18 ไปที่ตั้ง Node ที่ 2 ต้องการ 0.15 ช่องสัญญาณ
การเชื่อมต่อที่ 1 จาก ที่ตั้ง Node ที่ 4 ไปที่ตั้ง Node ที่ 19 ต้องการ 0.3 ช่องสัญญาณ
การเชื่อมต่อที่ 2 จาก ที่ตั้ง Node ที่ 19 ไปที่ตั้ง Node ที่ 8 ต้องการ 1 ช่องสัญญาณ
...
การเชื่อมต่อที่ 19 จาก ที่ตั้ง Node ที่ 1 ไปที่ตั้ง Node ที่ 12 ต้องการ 0.95 ช่องสัญญาณ

2. ไฟล์ ConnectionTable.csv

หมายเลข ID ที่ตั้ง Node ID	ที่ตั้ง Node ข้างเคียงที่มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อ Neighbor Node	ที่ตั้ง Node ข้างเคียงที่มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อ Neighbor Node	ที่ตั้ง Node ข้างเคียงที่มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อ Neighbor Node	ที่ตั้ง Node ข้างเคียงที่มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อ Neighbor Node
0	1	4	7	
1	0	2	4	
2	1	3	5	
3	2	6	10	
4	0	1	5	
5	2	4	6	
6	3	5	9	
7	0	8	11	
8	7	9	10	
9	6	8	10	17
10	3	8	9	14
11	7	12	16	
12	11	13	18	
13	12	14	15	19
14	10	13	19	
15	13	16	17	
16	11	15	17	
17	9	15	16	18
18	12	17	19	
19	13	14	18	

มี 20 Nodes

Node ที่ 0 มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อกับ Node ที่ 1, Node ที่ 4 และ Node ที่ 7
Node ที่ 1 มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อกับ Node ที่ 0, Node ที่ 2 และ Node ที่ 4
Node ที่ 2 มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อกับ Node ที่ 1, Node ที่ 3 และ Node ที่ 5
...
Node ที่ 19 มีวงจรสัญญาณเชื่อมต่อกับ Node ที่ 13, Node ที่ 14 และ Node ที่ 18

3. ไฟล์ Edge.csv

หมายเลข ID วงจรสัญญาณ Edge ID	จาก หมายเลขที่ตั้ง Node ID	ถึง หมายเลขที่ตั้ง Node ID	ระยะทางในหน่วยกิโลเมตร Edge Distance (km.)
0	0	1	50
1	0	4	65
2	0	7	100
3	1	0	50
4	1	2	60
...			
62	19	14	55
63	19	18	80

มี 64 วงจรสัญญาณที่มีทิศทาง (Directional Edge)

วงจรสัญญาณที่ 0 เชื่อมต่อจากหมายเลขที่ตัง Node ID 0 ไปยังหมายเลขที่ตั้ง Node ID 1 มีระยะทาง 50 กิโลเมตร

วงจรสัญญาณที่ 1 เชื่อมต่อจากหมายเลขที่ตัง Node ID 0 ไปยังหมายเลขที่ตั้ง Node ID 4 มีระยะทาง 65 กิโลเมตร

วงจรสัญญาณที่ 2 เชื่อมต่อจากหมายเลขที่ตัง Node ID 0 ไปยังหมายเลขที่ตั้ง Node ID 7 มีระยะทาง 100 กิโลเมตร

...

วงจรสัญญาณที่ 63 เชื่อมต่อจากหมายเลขที่ตัง Node ID 19 ไปยังหมายเลขที่ตั้ง Node ID 18 มีระยะทาง 80 กิโลเมตร

4. ไฟล์ Node.csv

โดยมุมล่างซ้ายมีพิกัดตามแกน x และ แกน y ที่ (0, 0)

หมายเลข ID ที่ตั้ง Node ID	พิกัดตามแกน x	พิกัดตามแกน y
0	12	73
1	10	56
2	15	38
3	22	10
4	28	56
5	30	43
6	38	28
7	55	69
8	52	43
9	59	28
10	51	10
11	77	73
12	72	56
13	77	38
14	75	13
15	91	90
16	79	86
17	93	78
18	88	61
19	88	25

มี 20 ที่ตั้ง

ที่ตั้งหมายเลข 0 มีพิกัดตามแกน x = 12 และพิกัดตามแกน y = 73 หรือ (12, 73)

ที่ตั้งหมายเลข 1 มีพิกัดตามแกน x = 10 และพิกัดตามแกน y = 56 หรือ (10, 56)

ที่ตั้งหมายเลข 2 มีพิกัดตามแกน x = 15 และพิกัดตามแกน y = 38 หรือ (15, 38)

...

ที่ตั้งหมายเลข 19 มีพิกัดตามแกน x = 88 และพิกัดตามแกน y = 25 หรือ (88, 25)

ให้ไฟล์เอาท์พุตสองไฟล์ คือ

- NonDominated.txt
- NonDominatedDetail.txt

ไฟล์ NonDominated.txt

เนื่องจากคำตอบจาก Multi-objective optimization คำตอบที่ได้มีหลายคำตอบ โดยอยู่ในรูปเซต ของ objective value ที่แตกต่างกัน คำตอบที่ได้จึงมีหลายบรรทัด โดย 1 บรรทัด คือ 1 คำตอบ เช่น ในไฟล์ NonDominated.txt มีสามบรรทัด คือ

19,150,2
20,152,3
20,160,2

โดย "19,150,2" หมายถึง มีการเชื่อมต่อ 19 การเชื่อมต่อที่สำเร็จ
ต้องการจำนวนพอร์ตรับส่งข้อมูลหรืออุปกรณ์รับส่งข้อมูลจำนวน 150 พอร์ต
ต้องการจำนวนช่องสัญญาณจำนวน 2 ช่องสัญญาณ

ไฟล์ NonDominatedDetail.txt

คำตอบที่อยู่ในไฟล์ NonDominatedDetail.txt มีความสัมพันธ์กับคำตอบในไฟล์ NonDominated.txt โดยคำตอบในบรรทัดเดียวกัน คือ รายละเอียดของไฟล์จาก NonDominated.txt ได้แก่

- จำนวนรอบ iteration ที่ใช้ในการรัน
- จำนวนเวลาที่ใช้ในการรันมีหน่วยเป็นวินาที
- จำนวนการเชื่อมต่อที่สำเร็จ
- จำนวนพอร์ตรับส่งข้อมูลหรืออุปกรณ์รับส่งข้อมูลที่ต้องการ
- จำนวนช่องสัญญาณที่ต้องการ
- เส้นทางสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อเรียงลำดับตามหมายเลขการเชื่อมต่อ
- ช่องสัญญาณสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อเรียงลำดับตามหมายเลขการเชื่อมต่อ

ตัวอย่างเช่น มีสามบรรทัด คือ

ITERATION20,CPU_time(sec)4,ACC_COM_f119,PORT_f2150, CHN_f32,
FRONT1,CROWDING_DISTANCE2.147483647E9,ENCODING_STRING18,17,9,6,5,2,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,4,5,6,9,10,14,19,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,19,14,10,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,4,0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,18,17,9,6,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,2,3,10,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,13,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,15,16,11,7,0,1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,5,6,9,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,19,14,10,8,7,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,6,9,10,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,13,12,11,7,0,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,9,17,15,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,2,3,10,14,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,11,12,13,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,18,17,9,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,18,12,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,WAVELENGTH_CHANNEL0,0,1,0,0,0,1,0,0,1,0,0,0,0,0,1,1,0,0,2,

ITERATION20,CPU_time(sec)4,ACC_COM_f120,PORT_f2152, CHN_f33,
FRONT1,CROWDING_DISTANCE0.34632034632034636,ENCODING_STRING18,17,9,6,5,2,
-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,4,5,6,9,10,14,19,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,19,14,10,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,4,0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-

1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,18,17,9,6,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,2,3,10,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,13,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,15,16,11,7,0,1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,5,6,3,10,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,19,14,10,8,7,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,6,9,10,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,13,12,11,7,0,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,9,17,15,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,2,3,10,14,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,11,12,13,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,18,17,9,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,18,12,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,WAVELENGTH_CHANNEL0,2,2,0,0,2,1,0,0,0,1,0,2,0,0,1,1,0,0,2,

ITERATION20,CPU_time(sec)4,ACC_COM_f120,PORT_f2160, CHN_f32,
FRONT1,CROWDING_DISTANCE0.01298701298701291,ENCODING_STRING18,17,9,6,5,2,
-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,4,5,6,9,10,14,19,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,19,18,17,9,10,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,4,0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,18,17,9,6,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,2,3,10,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,13,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,15,16,11,7,0,1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,5,6,9,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,19,14,10,8,7,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,6,9,10,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,13,12,11,7,0,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,9,17,15,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,2,3,10,14,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,11,16,15,17,18,19,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,18,17,9,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,18,19,13,12,11,7,-1,-1,-1,-
1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-
1,WAVELENGTH_CHANNEL0,0,1,1,0,0,1,0,0,1,0,1,0,0,0,1,1,0,0,0,

ที่บรรทัดแรก หรือ คำตอบแรก

- ใช้รอบ หรือ iteration ในการรัน 20 iterations
- ใช้จำนวนเวลาในการประมวลผล 4 วินาที
- มีการเชื่อมต่อที่สำเร็จ (ACC_COM_f1) 19 การเชื่อมต่อ
- มีจำนวนพอร์ตที่ต้องการ (PORT_f2) 150 พอร์ต
- มีจำนวนช่องสัญญาณที่ต้องการ (CHN_f3) 2 ช่องสัญญาณ
- มีเซตของเส้นทางสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อ (ENCODING_STRING) โดยแสดงหมายเลขที่ตั้ง Node ID จากที่ตั้งหนึ่งไปยังที่ตั้งถัดไป เรื่อย ๆ โดยเส้นทางมีความยาวสูงสุดเท่ากับ จำนวน node ในไฟล์ "Node.csv" เส้นทางสำหรับการเชื่อมต่อที่ 0 ต่อด้วยเส้นทางสำหรับการเชื่อมต่อที่ 1 ต่อด้วยเส้นทางสำหรับการเชื่อมต่อที่ 2 ตามลำดับ ไปเรื่อย ๆ จนถึงการเชื่อมต่อที่ 19 สำหรับเซตของการเชื่อมต่อ 20 การเชื่อมต่อ หากเส้นทางที่หาได้ถึงที่หมายหรือจุดหมายแล้วจะตามด้วย -1

ตัวอย่างเช่น

การเชื่อมต่อที่ 0.	18,17,9,6,5,2,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 1.	4,5,6,9,10,14,19,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 2.	19,14,10,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 3.	4,0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 4.	18,17,9,6,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,
การเชื่อมต่อที่ 5.	2,3,10,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,

การเชื่อมต่อที่ 6. 11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 7. 13,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 8. 15,16,11,7,0,1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 9. 5,6,9,8,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 10. 19,14,10,8,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 11. 0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 12. 6,9,10,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 13. 13,12,11,7,0,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 14. 9,17,15,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 15. 2,3,10,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 16. 11,12,13,14,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 17. 18,17,9,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,
การเชื่อมต่อที่ 18. 18,12,11,7,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,
การเชื่อมต่อที่ 19. 0,7,11,12,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,

หมายถึง

การเชื่อมต่อที่ 0 มี เส้นทางจาก ที่ตั้ง Node ที่ 18 ไป 17 ไป 9 ไป 6 ไป 5 ไป 2
การเชื่อมต่อที่ 1 มี เส้นทางจาก ที่ตั้ง Node ที่ 4 ไป 5 ไป 6 ไป 9 ไป 10 ไป 14 ไป 19
การเชื่อมต่อที่ 2 มี เส้นทางจาก ที่ตั้ง Node ที่ 19 ไป 14 ไป 10 ไป 8
...
การเชื่อมต่อที่ 19 มี เส้นทางจาก ที่ตั้ง Node ที่ 0 ไป 7 ไป 11 ไป 12

- มีช่องสัญญาณสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อ (WAVELENGTH_CHANNEL) ดังนี้

0,0,1,0,0,0,1,0,0,1,0,0,0,0,0,1,1,0,0,2,

หมายถึง การเชื่อมต่อที่ 0 มีช่องสัญญาณที่ 0
การเชื่อมต่อที่ 1 มีช่องสัญญาณที่ 0
การเชื่อมต่อที่ 2 มีช่องสัญญาณที่ 1
...
การเชื่อมต่อที่ 19 มีช่องสัญญาณที่ 2

* ซึ่งมีช่องสัญญาณที่ยอมรับทั้งหมด 2 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณที่ 0 และช่องสัญญาณที่ 1 หมายความว่า ช่องสัญญาณที่ 19 ถูกปฏิเสธ จึงมีการเชื่อมต่อที่ยอมรับหรือสำเร็จทั้งหมด 19 การเชื่อมต่อ

3. What are the network design types? ประเภทของการออกแบบมีอะไรบ้าง

ประเภทของการออกแบบ มีดังนี้

1. Access Network

1.1. Minimum Cost Network Design using GA
เป็นการออกแบบเครือข่ายให้มีโครงสร้างแบบต้นไม้ให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด
ผลที่ได้จะเป็น โครงสร้างเครือข่ายแบบต้นไม้พร้อมระบุอุปกรณ์ที่ใช้

1.2. Survivable Network Design (Link Restoration) using GA
เป็นการออกแบบเครือข่าย ให้มีการฟื้นคืนวงจรแบบเชื่อมต่อระหว่างจุด จากโครงสร้างแบบต้นไม้ที่มีอยู่ให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยใช้จีนีติกอัลกอลิทึม
ผลที่ได้จะเป็น เซตของเส้นทางสำรองที่จะถูกใช้ เมื่อวงจรสัญญาณบนเส้นทางหลักจากโครงสร้างเครือข่ายแบบต้นไม้ชำรุด

1.3. Survivable Network Design (Path Restoration) using GA
เป็นการออกแบบเครือข่าย ให้มีการฟื้นคืนวงจรแบบเส้นทาง จากโครงสร้างแบบต้นไม้ที่มีอยู่ให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยใช้จีนีติกอัลกอลิทึม
ผลที่ได้จะเป็น เซตของเส้นทางสำรองที่จะถูกใช้ เมื่อเส้นทางหลักจากโครงสร้างเครือข่ายแบบต้นไม้ชำรุด

1.4. Survivable Network Design (Link Restoration) using Shortest Path
เป็นการออกแบบเครือข่าย ให้มีการฟื้นคืนวงจรแบบเชื่อมต่อระหว่างจุด จากโครงสร้างแบบต้นไม้ที่มีอยู่ให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยประยุกต์ใช้ อัลกอลิทึมสำหรับหาเส้นทางที่สั้นที่สุด
ผลที่ได้จะเป็น เซตของเส้นทางสำรองที่จะถูกใช้ เมื่อวงจรสัญญาณบนเส้นทางหลักจากโครงสร้างเครือข่ายแบบต้นไม้ชำรุด

1.5. Survivable Network Design (Path Restoration) using Shortest Path
เป็นการออกแบบเครือข่าย ให้มีการฟื้นคืนวงจรแบบเส้นทาง จากโครงสร้างแบบต้นไม้ที่มีอยู่ให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยประยุกต์ใช้ อัลกอลิทึมสำหรับหาเส้นทางที่สั้นที่สุด
ผลที่ได้จะเป็น เซตของเส้นทางสำรองที่จะถูกใช้ เมื่อเส้นทางหลักจากโครงสร้างเครือข่ายแบบต้นไม้ชำรุด

2. Backbone Network

2.1. Routing and Wavelength Assignment (RWA)

2.1.1. GA-MinDF
เป็นการหาเส้นทางและช่องสัญญาณให้กับ การเชื่อมต่อหลาย ๆ การเชื่อมต่อพร้อมกัน เพื่อให้รองรับการเชื่อมต่อมากที่สุด และใช้จำนวนวงจรสัญญาณน้อยที่สุด โดยใช้อัลกอลิทึมที่เรียกว่า “Genetic Algorithm for Routing and Minimum Degree First Wavelength Assignment (GA-MinDF)”

2.1.2. FAR-FF
เป็นการหาเส้นทางและช่องสัญญาณให้กับ การเชื่อมต่อหลาย ๆ การเชื่อมต่อพร้อมกัน เพื่อให้รองรับการเชื่อมต่อมากที่สุด และใช้จำนวนวงจรสัญญาณน้อยที่สุด โดยใช้อัลกอลิทึมที่เรียกว่า “Fixed Alternated Routing and First Fit Wavelength Assignment (FAR-FF)”

2.2. Grooming, Routing and Wavelength Assignment (GRWA)

2.2.1. GA-ETG-MaxDF
เป็นการหาเส้นทางและช่องสัญญาณให้กับ การเชื่อมต่อหลาย ๆ การเชื่อมต่อพร้อมกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การเชื่อมต่อต้องการปริมาณการรับส่งข้อมูลน้อย ๆ และต้องการปริมาณช่องสัญญาณไม่ถึงปริมาณการรับส่งข้อมูลที่หนึ่งช่องสัญญาณรองรับได้ การออกแบบมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้รองรับการเชื่อมต่อมากที่สุด ใช้จำนวนพอร์ตรับส่งข้อมูลหรืออุปกรณ์รับส่งข้อมูลน้อยที่สุด และใช้จำนวนวงจรสัญญาณน้อยที่สุด โดยใช้อัลกอลิทึมที่เรียกว่า

"Genetic Algorithm for Routing, Extended Traffic Grooming and Maximum Degree First Wavelength Assignment (GA-ETG-MaxDF)"

2.2.2. GA-MST-FF

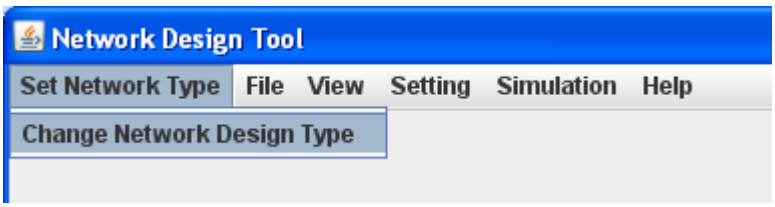
เป็นการหาเส้นทางและช่องสัญญาณให้กับ การเชื่อมต่อหลาย ๆ การเชื่อมต่อพร้อมกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการเชื่อมต่อต้องการปริมาณการรับส่งข้อมูลน้อย ๆ และต้องการปริมาณช่องสัญญาณไม่ถึงปริมาณการรับส่งข้อมูลที่หนึ่งช่องสัญญาณรองรับได้ การออกแบบมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้รองรับการเชื่อมต่อมากที่สุด ใช้จำนวนพอร์ตรับส่งข้อมูลหรืออุปกรณ์รับส่งข้อมูลน้อยที่สุด และใช้จำนวนวงจรสัญญาณน้อยที่สุด โดยใช้อัลกอลิทึมที่เรียกว่า "Genetic Algorithm for Routing, Maximizing Single-hop Traffic and First Fit Wavelength Assignment (GA-MST-FF)"

2.2.3. GA-MRU-FF

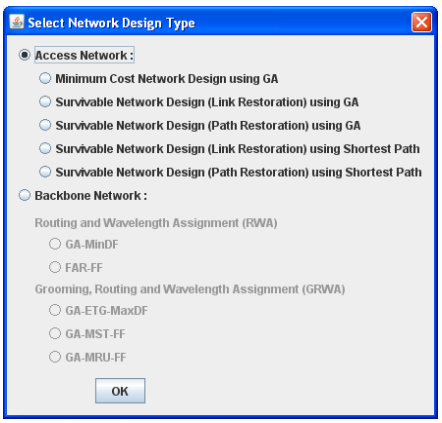
เป็นการหาเส้นทางและช่องสัญญาณให้กับ การเชื่อมต่อหลาย ๆ การเชื่อมต่อพร้อมกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการเชื่อมต่อต้องการปริมาณการรับส่งข้อมูลน้อย ๆ และต้องการปริมาณช่องสัญญาณไม่ถึงปริมาณการรับส่งข้อมูลที่หนึ่งช่องสัญญาณรองรับได้ การออกแบบมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้รองรับการเชื่อมต่อมากที่สุด ใช้จำนวนพอร์ตรับส่งข้อมูลหรืออุปกรณ์รับส่งข้อมูลน้อยที่สุด และใช้จำนวนวงจรสัญญาณน้อยที่สุด โดยใช้อัลกอลิทึมที่เรียกว่า "Genetic Algorithm for Routing, Maximizing Resource Utilization and First Fit Wavelength Assignment (GA-MRU-FF)"

4. How do you select the network design type? จะเลือกประเภทการออกแบบอย่างไร

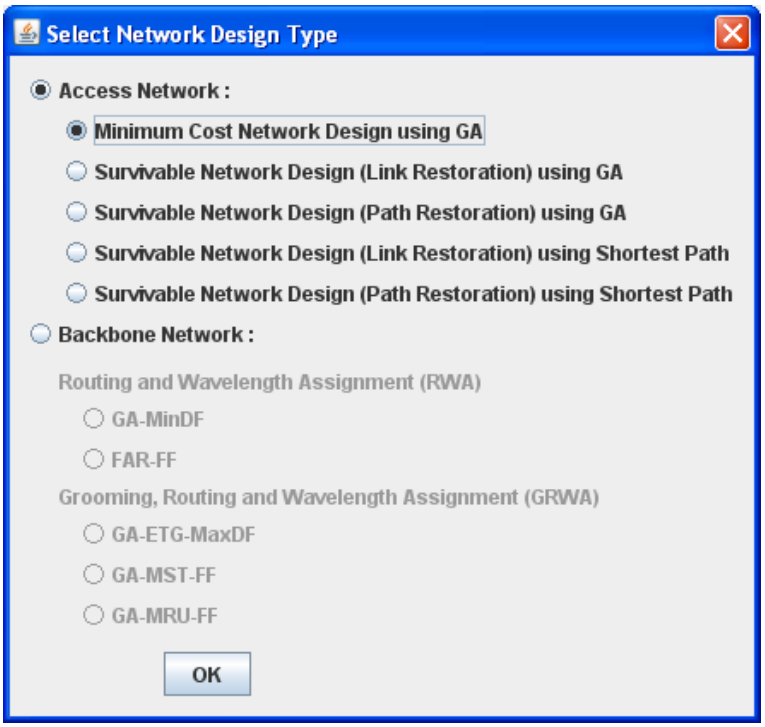
1. คลิกที่ เมนู "Set Network Type → Change Network Design Type"



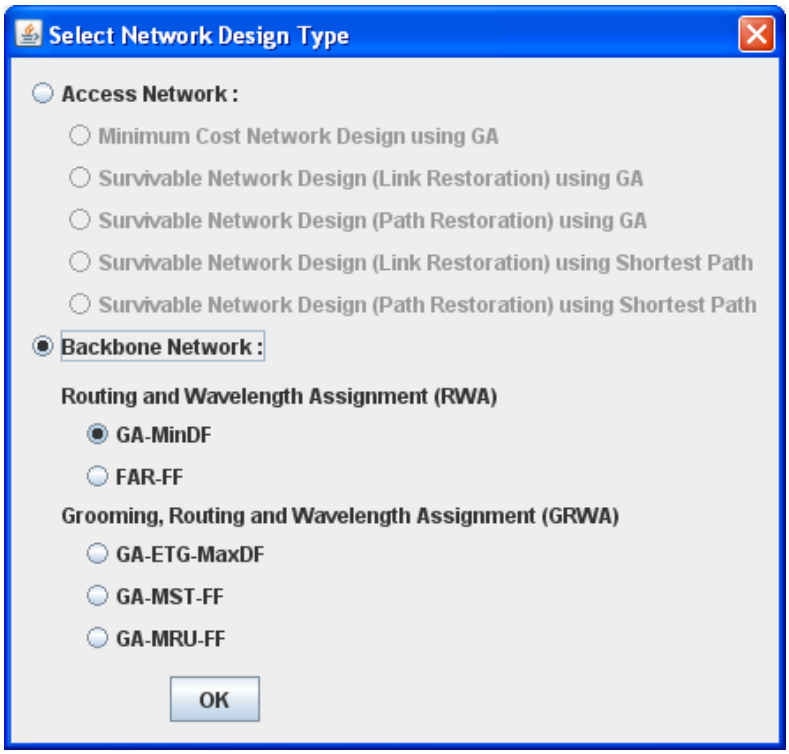
จะปรากฏหน้าต่างดังรูป โดยโปรแกรมจะแบ่งการออกแบบออกเป็นสองหมวด คือ "Access Network" และ "Backbone Network" โดยสามารถเลือกการออกแบบได้เพียงหมวดใดหมวดหนึ่งเท่านั้น ซึ่งโปรแกรมมีค่าตั้งต้นอยู่ที่ การออกแบบประเภท "Access Network"



หลังจากนั้น คลิกเลือกที่ประเภทการออกแบบที่ต้องการ เช่น “Minimum Cost Network Design using GA”



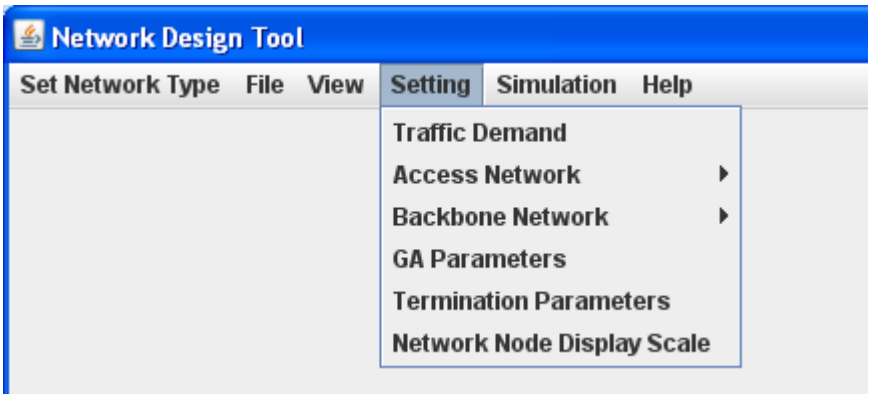
หากต้องการ เปลี่ยนประเภทการออกแบบเป็น “Backbone Network” ให้คลิกที่ “Backbone Network” หลังจากนั้นเลือกประเภทการออกแบบที่ต้องการ เช่น “Genetic Algorithm for Routing and Minimum Degree First Wavelength Assignment (GA-MinDF)”



5. What is the meaning of each configuration parameter? ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรมแต่ละตัวมีความหมายอย่างไร

ที่เมนู “Setting” จะมีการตัวแปรที่สามารถกำหนดค่าได้ แบ่งเป็นหลายกลุ่มดังนี้

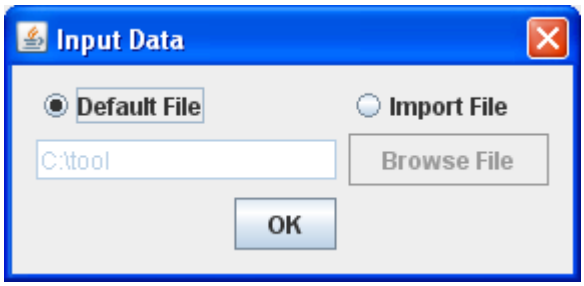
1) Traffic Demand
2) Access Network
3) Backbone Network
4) GA Parameters
5) Termination Parameters
6) Network Node Display Scale



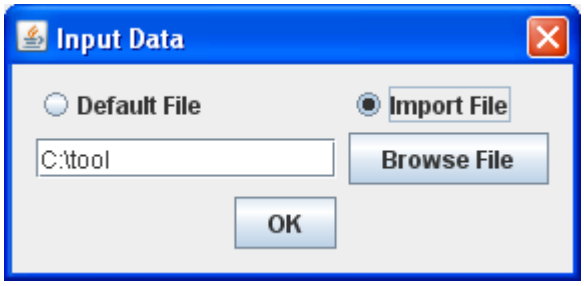
กลุ่มที่ 1) Traffic Demand

เป็นการเซตค่าพาทที่อยู่ของไฟล์อินพุต

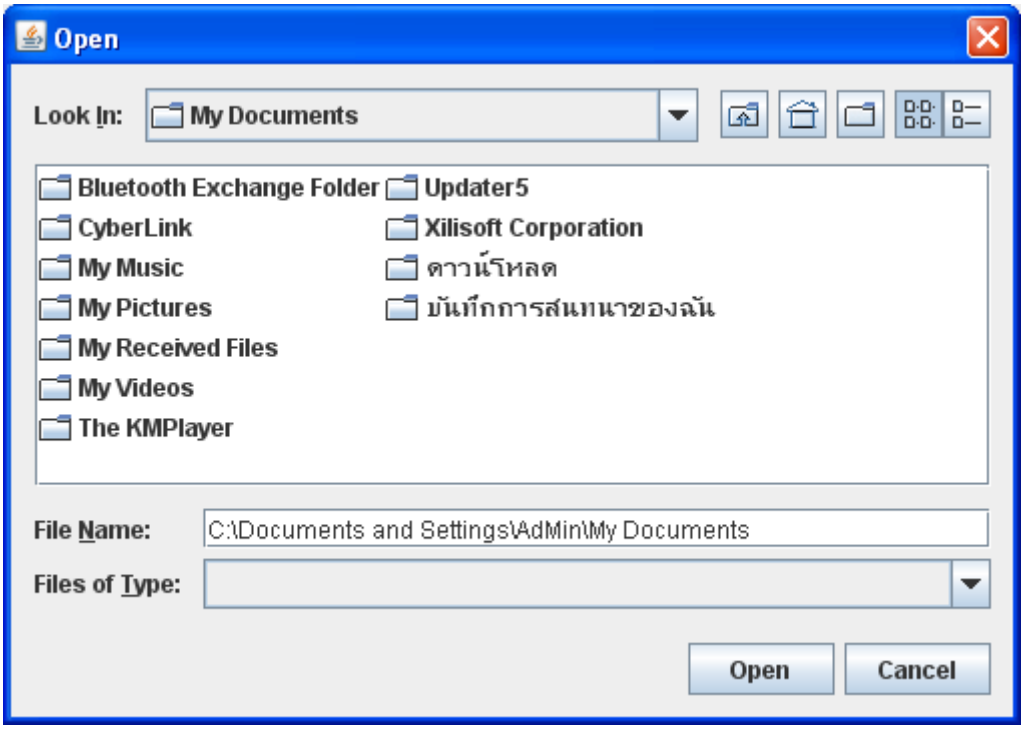
โดย หากเลือกที่ "Default File" จะใช้อินพุตเป็นไฟล์ตั้งต้นที่กำหนดไว้



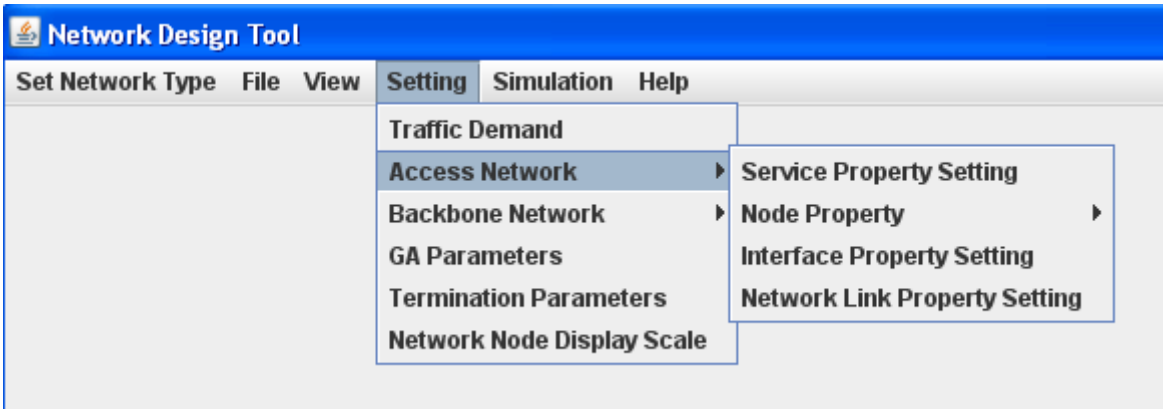
แต่ หากเลือกที่ "Import File" จะเป็นการระบุค่าพาทที่อยู่ของไฟล์อินพุต



เมื่อคลิกที่ "Browse File" จะปรากฏหน้าต่าง ให้เลือกโฟร์เดอร์ที่อยู่ของไฟล์อินพุต จากนั้นคลิกที่ปุ่ม "Open"

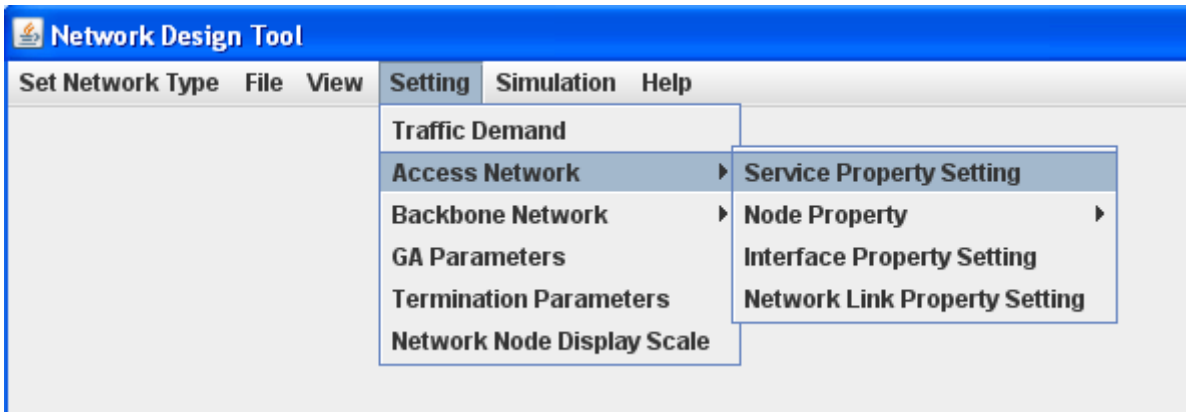


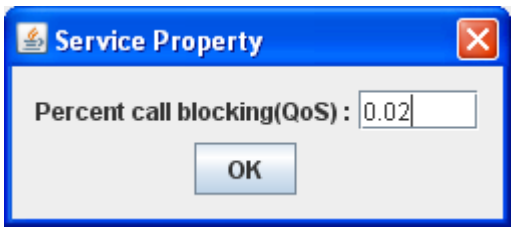
กลุ่มที่ 2) Access Network



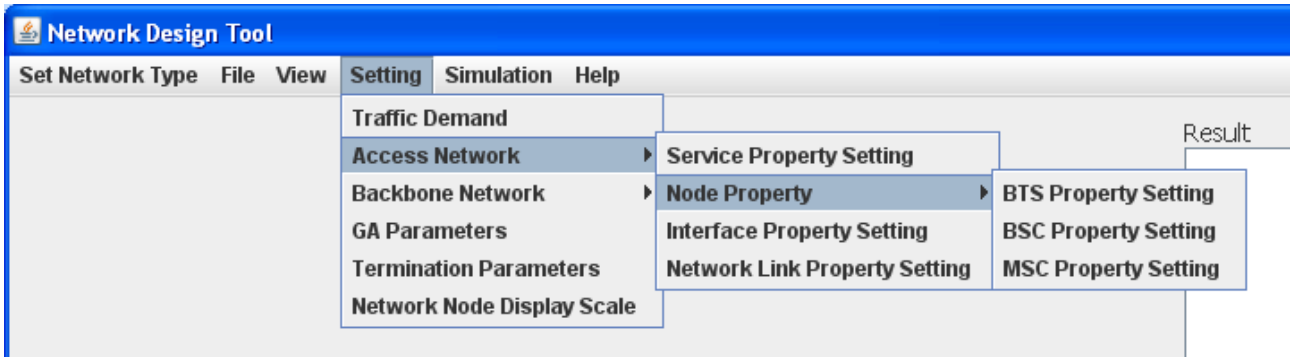
เป็นการตั้งค่าตัวแปรเกี่ยวกับการออกแบบประเภท Access Network โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) Service Property Setting
เป็นการตั้งค่า เกี่ยวกับคุณสมบัติในการให้บริการ ใน Version นี้ มีคุณสมบัติ เกี่ยวกับการให้บริการอยู่ 1 ค่าคือ "Percent Call Blocking (QoS)" โดยเป็นค่าความน่าจะเป็นที่การเชื่อมต่อจะถูกปฏิเสธ โดยค่านี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ค่านี้ยิ่งน้อยระบบจะมีคุณภาพในการให้บริการสูง

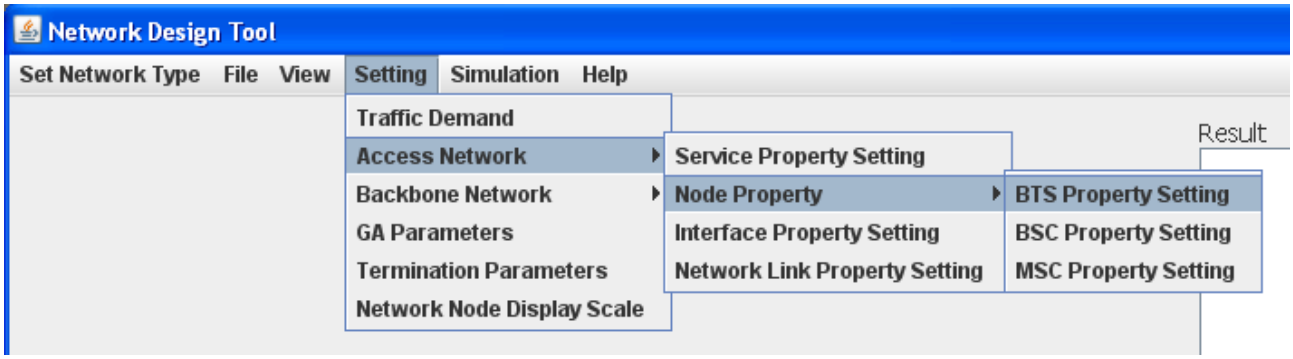


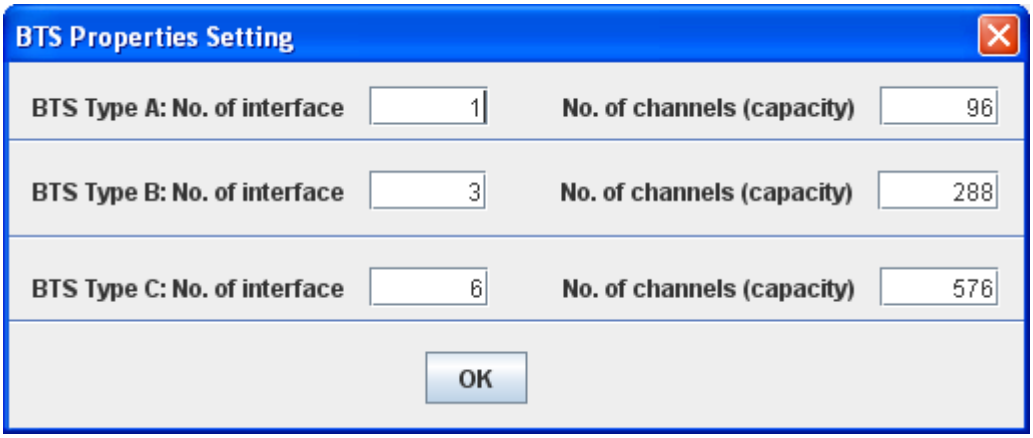


2) กลุ่มของ Node Property
เป็นการตั้งค่าเกี่ยวกับคุณสมบัติของที่ตั้ง หรือ Node ซึ่งในการออกแบบประเภท Access Network กำหนดให้ Node มีสามประเภท คือ สถานีฐาน BTS, ศูนย์ควบคุมสถานีฐาน BSC และ ชุมสาย MSC



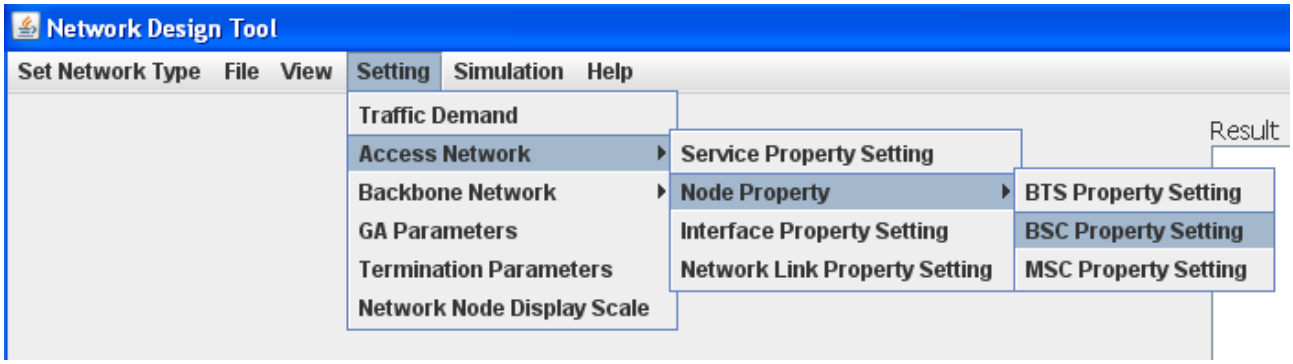
2.1) BTS Property Setting
สถานีฐาน มีสามประเภท คือ ประเภท A, B และ C โดยกำหนดให้ประเภท A มีความจุน้อยที่สุด และ ประเภท C มีความจุมากที่สุด ในแต่ละประเภทของสถานีฐาน มีคุณสมบัติสองค่า คือ จำนวนอุปกรณ์ติดต่อ และจำนวนวงจรสัญญาณที่รองรับได้ ในระดับสถานีฐานนี้จะไม่มีการกำหนดให้มีค่าใช้จ่าย เนื่องจากอัลกอลิทึมจะคำนวณหาค่าโครงสร้างการเชื่อมต่อที่รองรับการเชื่อมต่อของสถานีฐานทั้งหมด

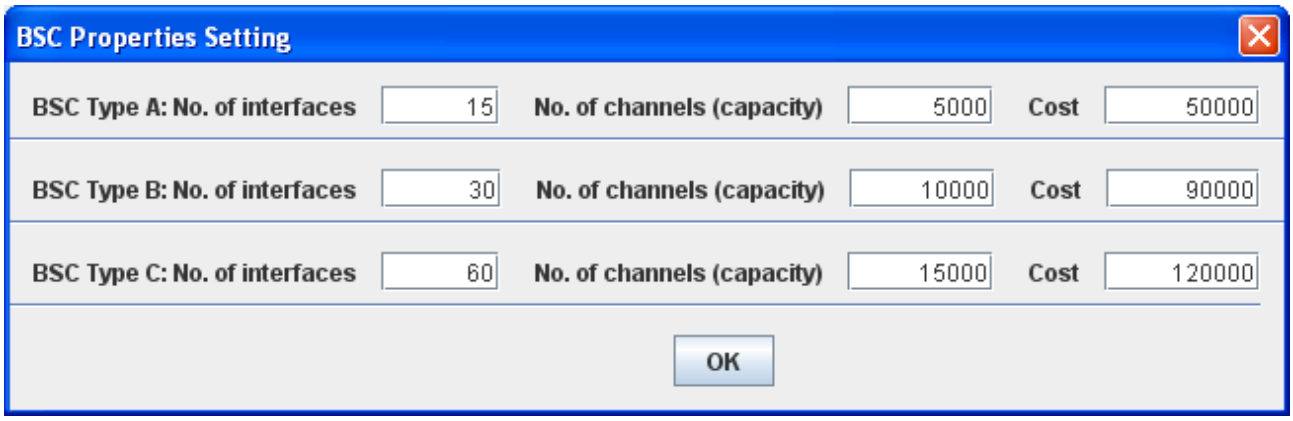




2.2) BSC Property Setting

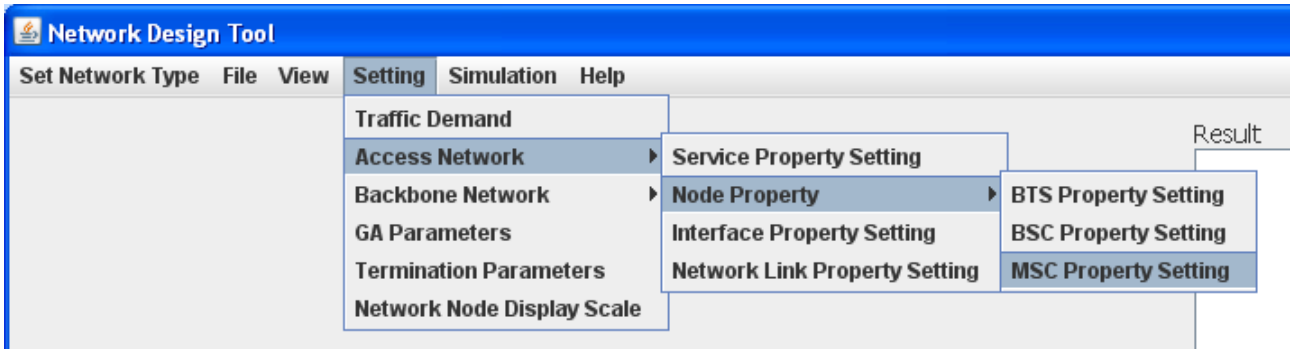
ศูนย์ควบคุมสถานีฐาน มีสามประเภท คือ ประเภท A, B และ C โดยกำหนดให้ประเภท A มีความจุน้อยที่สุด และ ประเภท C มีความจุมากที่สุด ในแต่ละประเภทของศูนย์ควบคุมสถานีฐาน มีคุณสมบัติสามค่า คือ จำนวนอุปกรณ์ติดต่อ, จำนวนวงจรสัญญาณที่รองรับได้ และค่าใช้จ่ายเมื่อศูนย์ควบคุมประเภทนั้น ๆ ถูกติดตั้ง

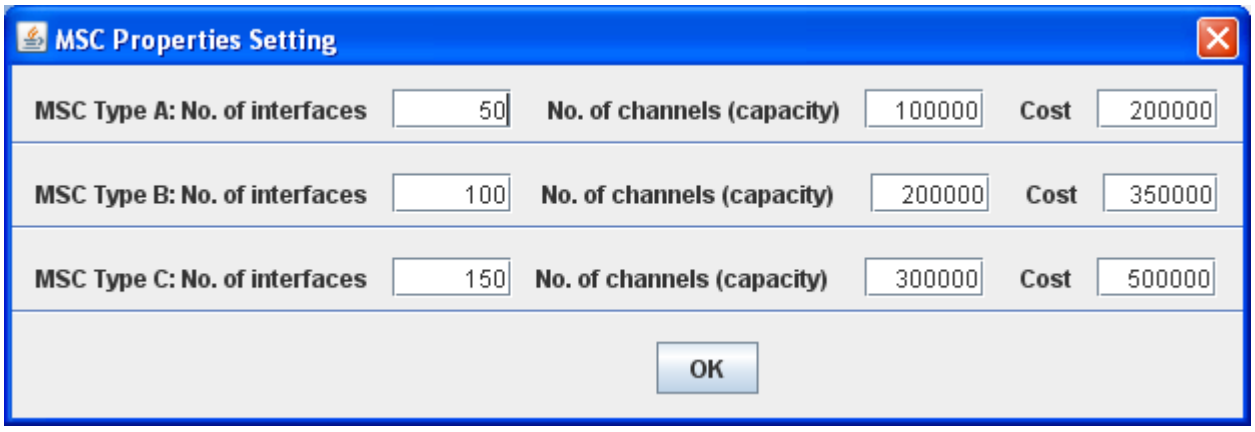




2.3) MSC Property Setting

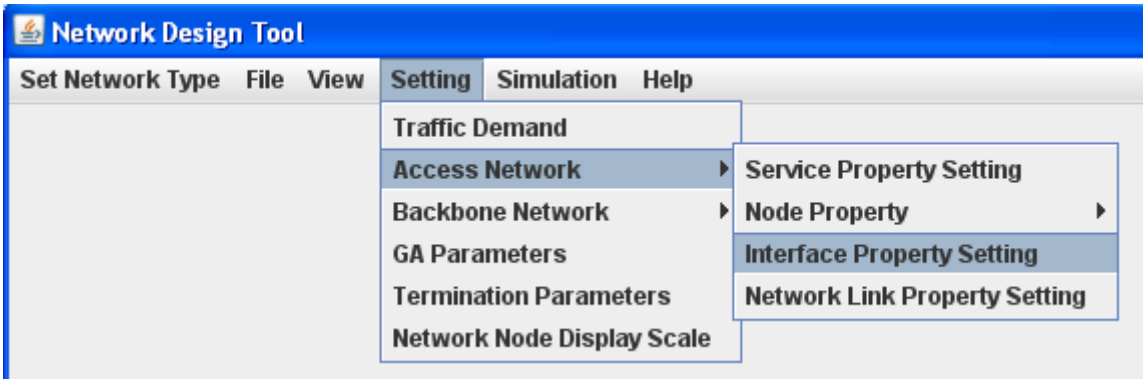
ชุมสาย มีสามประเภท คือ ประเภท A, B และ C โดยกำหนดให้ประเภท A มีความจุน้อยที่สุด และ ประเภท C มีความจุมากที่สุด ในแต่ละประเภทของชุมสาย มีคุณสมบัติสามค่า คือ จำนวนอุปกรณ์ติดต่อ, จำนวนวงจรสัญญาณที่รองรับได้ และ ค่าใช้จ่ายเมื่อชุมสายประเภทนั้น ๆ ถูกติดตั้ง

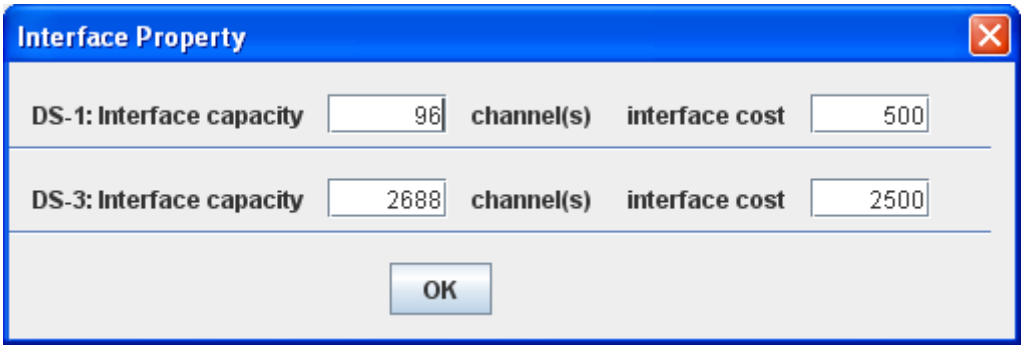




3) Interface Property Setting

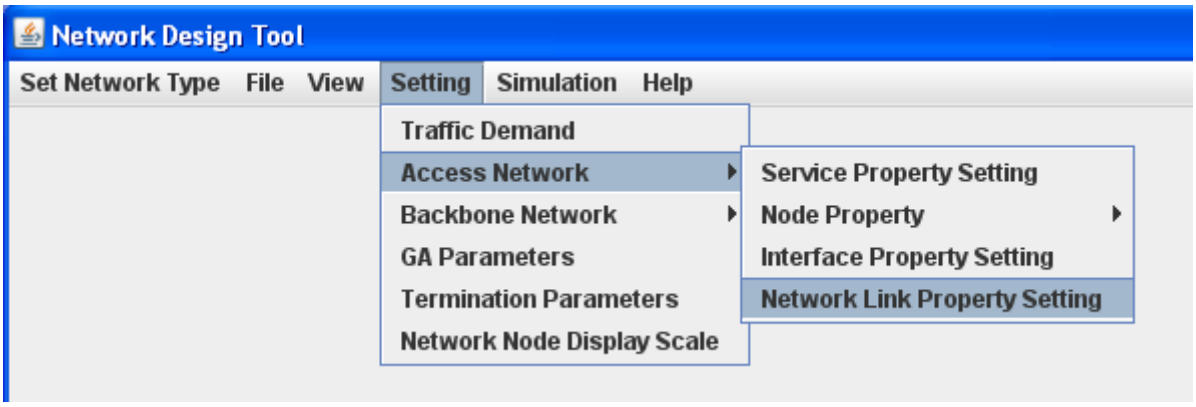
เป็นการตั้งค่าเกี่ยวกับคุณสมบัติของอุปกรณ์ติดต่อวงจรสัญญาณ โดยกำหนดให้อุปกรณ์ติดต่อวงจรสัญญาณมีสองประเภท คือ DS-1 และ DS-3 โดย อุปกรณ์ติดต่อ ประเภท DS-1 รองรับจำนวนความจุของวงจรสัญญาณได้น้อยกว่า และมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่า อุปกรณ์ติดต่อประเภท DS-3

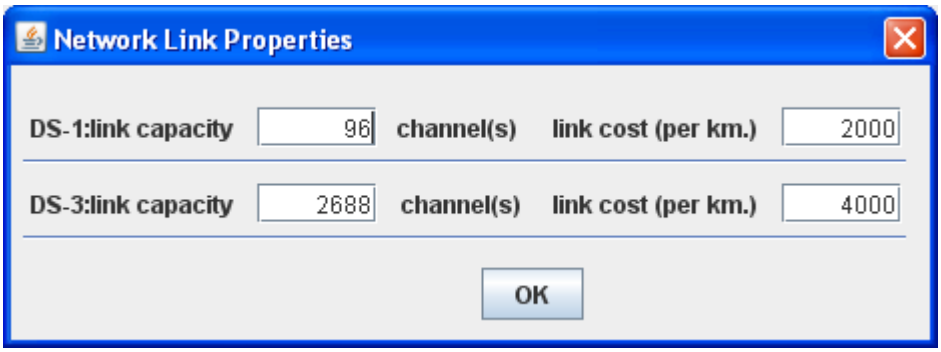




4) Network Link Property Setting

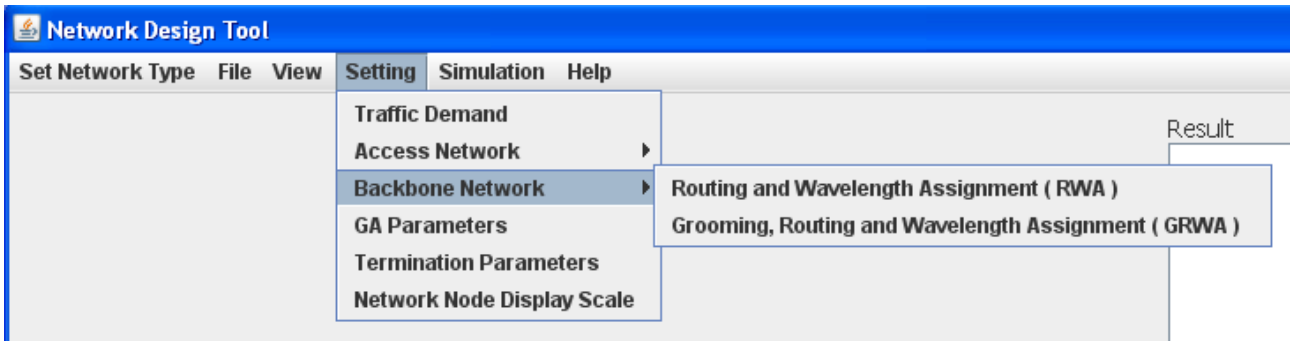
เป็นการตั้งค่าเกี่ยวกับคุณสมบัติของวงจรสัญญาณ โดยกำหนดให้วงจรสัญญาณมีสองประเภท คือ DS-1 และ DS-3 โดย วงจรสัญญาณประเภท DS-1 มีความจุของวงจรสัญญาณได้น้อยกว่า และมีค่าใช้จ่ายต่อหนึ่งกิโลเมตรที่น้อยกว่า วงจรสัญญาณประเภท DS-3



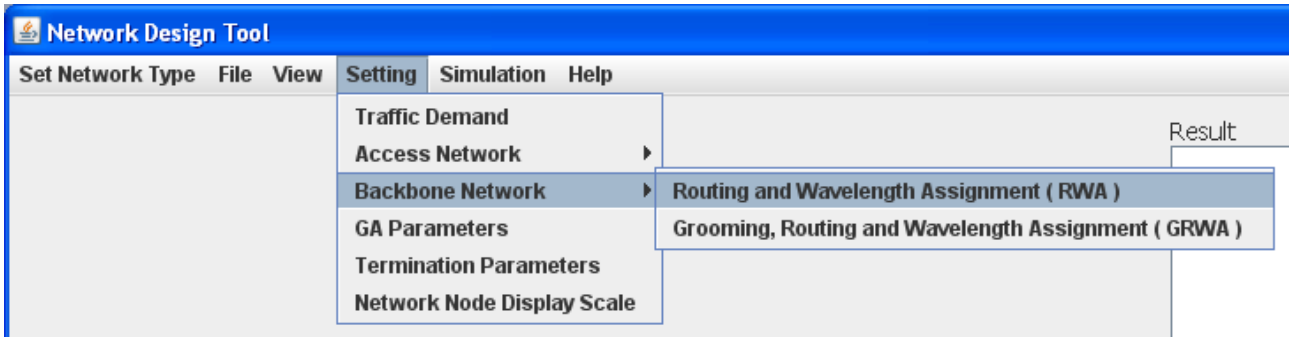


กลุ่มที่ 3) Backbone Network

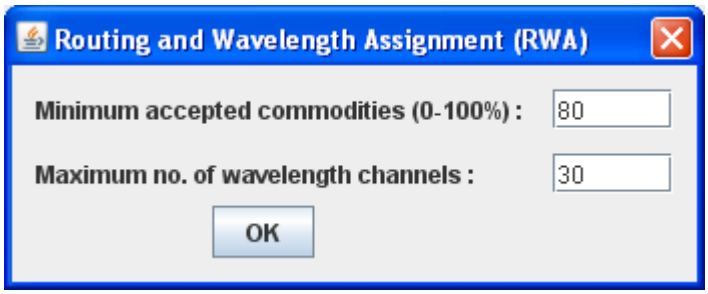
เป็นการตั้งค่าเกี่ยวกับคุณสมบัติของ Backbone Network ซึ่งในการออกแบบประเภท Backbone Network แบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ 1) การออกแบบเส้นทางและกำหนดวงจรสัญญาณ (RWA) และ 2) การออกแบบการรวมเส้นทางและกำหนดวงจรสัญญาณ (GRWA)



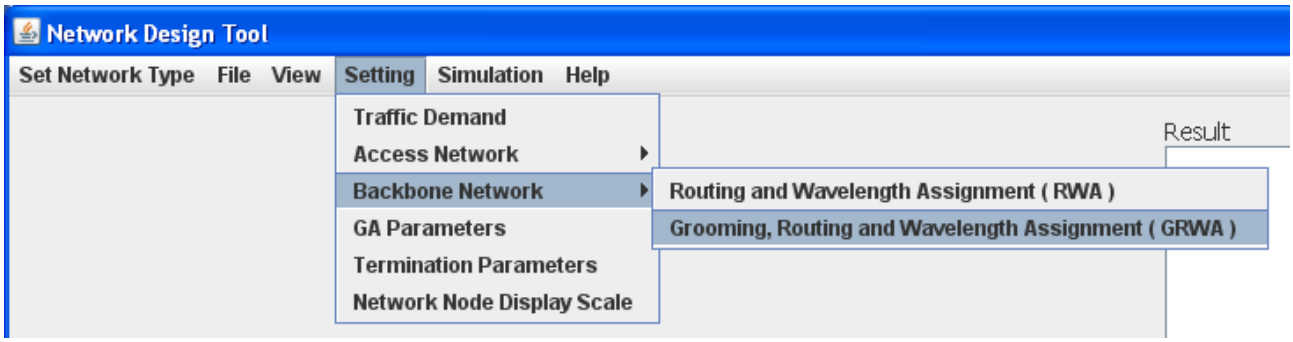
1) การออกแบบเส้นทางและกำหนดวงจรสัญญาณ (RWA)



ในการออกแบบเส้นทางและกำหนดวงจรสัญญาณนั้น มีค่าตัวแปรอยู่สองค่า คือ ปริมาณการเชื่อมต่อน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ และจำนวนช่องสัญญาณมากที่สุดในแต่ละวงจรสัญญาณ โดยกำหนดให้ปริมาณการเชื่อมต่อน้อยที่สุดมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 80 หมายถึง อย่างน้อยร้อยละ 80 ของการเชื่อมต่อทั้งหมดต้องถูกหากำหนดเส้นทางและมีช่องสัญญาณรองรับ ส่วนจำนวนช่องสัญญาณมีหน่วยเป็นช่องสัญญาณ เช่น 30 หมายถึง มีช่องสัญญาณในแต่ละวงจรสัญญาณเท่ากับ 30 ช่องสัญญาณ



2) การออกแบบการรวมเส้นทางและกำหนดวงจรสัญญาณ (GRWA)



ในการออกแบบการรวมเส้นทางและกำหนดวงจรสัญญาณนั้น มีค่าตัวแปรอยู่ห้าค่า คือ

2.1) ปริมาณการเชื่อมต่อน้อยที่สุดที่ยอมรับได้
2.2) จำนวนช่องสัญญาณมากที่สุดในแต่ละวงจรสัญญาณ
2.3) จำนวนพอร์ตรับส่งข้อมูลหรืออุปกรณ์รับส่งข้อมูลมากที่สุด
2.4) ค่าความคงอยู่ได้ของวงจรสัญญาณ
2.5) ค่าความเชื่อถือได้ของเส้นทางอย่างน้อยที่สุดที่ยอมรับได้

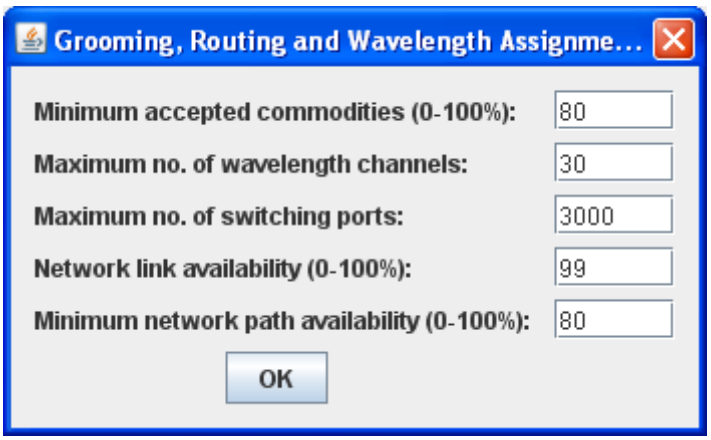
2.1) ปริมาณการเชื่อมต่อน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 80 หมายถึง อย่างน้อยร้อยละ 80 ของการเชื่อมต่อทั้งหมดต้องถูกกำหนดเส้นทางและมีช่องสัญญาณรองรับ

2.2) จำนวนช่องสัญญาณมากที่สุดในแต่ละวงจรสัญญาณ มีหน่วยเป็นช่องสัญญาณ เช่น 30 หมายถึง มีช่องสัญญาณในแต่ละวงจรสัญญาณเท่ากับ 30 ช่องสัญญาณ

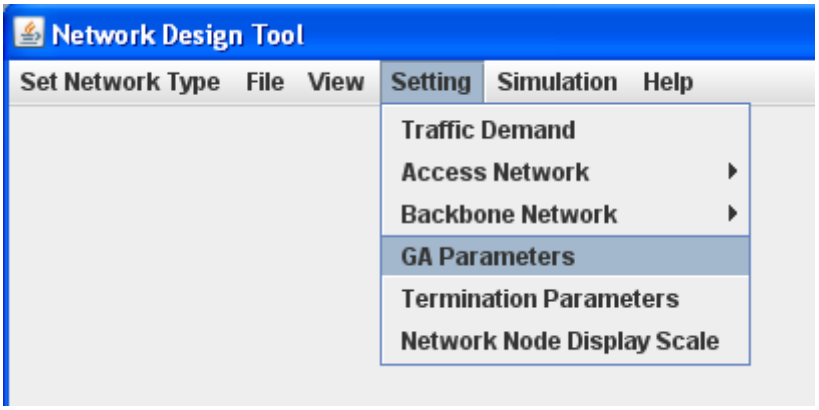
2.3) จำนวนพอร์ตรับส่งข้อมูลหรืออุปกรณ์รับส่งข้อมูลมากที่สุด คือ จำนวนพอร์ตทั้งหมดที่ต้องการใช้ในเครือข่ายรวมกัน เช่น 3,000 หมายถึง 3,000 พอร์ต

2.4) ค่าความคงอยู่ได้ของวงจรสัญญาณ คือ ค่าความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่วงจรสัญญาณจะคงอยู่ได้หรือทำงานได้มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 99 คือมีความคงอยู่ได้ร้อยละ 99 หรือมีโอกาสชำรุดเสียหายร้อยละ 1

2.5) ค่าความเชื่อถือได้ของเส้นทางอย่างน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ หมายถึง ค่าความเชื่อถือได้ของเส้นทางการเชื่อมต่อ โดยหนึ่งเส้นทางอาจใช้งานได้หลายวงจรสัญญาณ ค่าความเชื่อถือได้เกิดจากการนำค่าความคงอยู่ได้ที่กำหนดให้แต่ละวงจรสัญญาณมาคูณกัน โดยค่าที่กรอกคือค่าความเชื่อถือได้ หรือค่าความคงอยู่ได้น้อยที่สุดที่ยอมรับได้มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 80 หมายถึง ค่าความเชื่อถือได้ของเส้นทาง ในแต่ละการเชื่อมต่อ ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 หากค่าความเชื่อถือได้ของเส้นทางในการเชื่อมต่อใดน้อยกว่า 80 การเชื่อมต่อนั้นจะถูกยกเลิกหรือไม่ยอมรับ

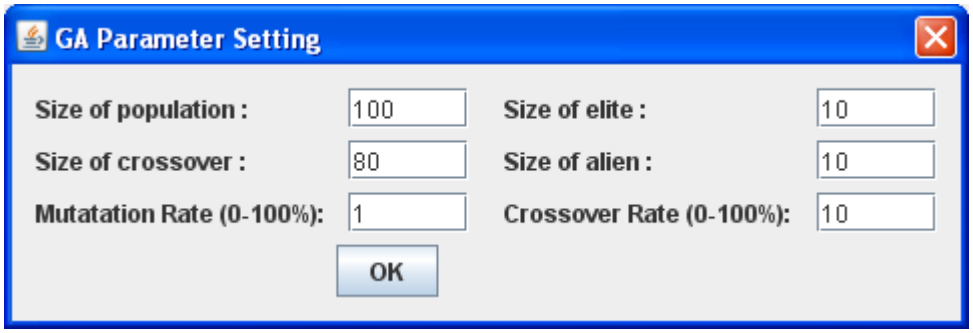


กลุ่มที่ 4) GA Parameters



ค่าตัวแปรในส่วนนี้ เป็นค่าตัวแปรเกี่ยวกับ จีนีติกอัลกอลิทึม หรือ GA โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) Size of Population
2) Size of Elite
3) Size of Crossover
4) Size of Alien
5) Mutation Rate
6) Crossover Rate



1) Size of Population คือ ค่าจำนวนประชากร หรือ chromosome ทั้งหมดใน 1 รุ่น generation หรือ iteration โดย chromosome ก็คือค่า encoding string 1 ชุดนั้นเอง โครโมโซม 1 ชุดจะให้ค่าคำตอบ 1 ค่า ตัวอย่างเช่น ค่า Size of Population เท่ากับ 100 หมายถึง มีประชากรต่อ 1 รุ่นเท่ากับ 100 หรือ มีคำตอบ 100 คำตอบที่แตกต่างกันในแต่ละรุ่นนั่นเอง

โดย Size of Population = Size of Elite + Size of Crossover + Size of Alien

2) Size of Elite คือ จำนวนประชากรที่ถูกสงวนไว้สู่รุ่น หรือ iteration ถัดไป

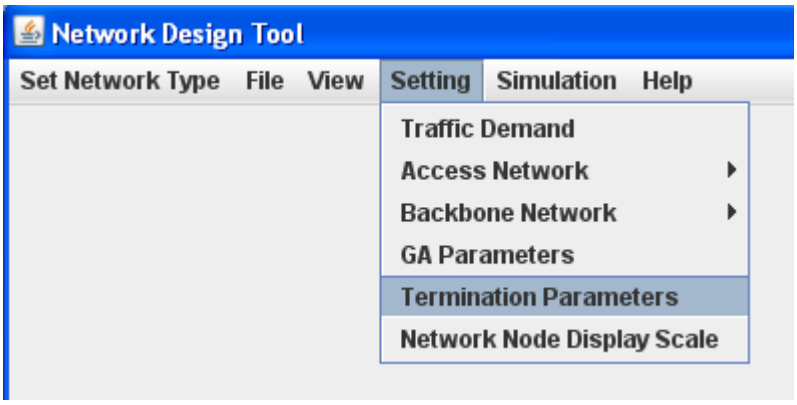
3) Size of Crossover คือ สัดส่วนจำนวนประชากรที่ถูกสลับสับเปลี่ยน (Crossover และ Mutation) เพื่อให้เกิดคำตอบใหม่ ๆ

4) Size of Alien คือ สัดส่วนจำนวนประชากรที่ถูกสุ่มขึ้นมาใหม่ในแต่ละรุ่น

5) Mutation Rate คือ อัตราที่โครโมโซมในส่วนที่ถูกสลับสับเปลี่ยนจะถูก mutate หรือ ทำให้กลายพันธุ์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 1 หมายถึงร้อยละ 1 ของความยาวโครโมโซมถูกทำให้กลายพันธุ์ โดยทุกโครโมโซมในสัดส่วนของประชากรที่ถูกสับเปลี่ยน จะถูกทำให้กลายพันธุ์ทั้งหมด

6) Crossover Rate คือ อัตราที่โครโมโซมในส่วนที่ถูกสลับสับเปลี่ยนจะถูก crossover หรือแลกเปลี่ยนกับโครโมโซมอื่น มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 10 หมายถึงร้อยละ 10 ของความยาวโครโมโซมถูกแลกเปลี่ยนกับโครโมโซมอื่น โดยทุกโครโมโซมในสัดส่วนของประชากรที่ถูกสับเปลี่ยน จะถูกแลกเปลี่ยนกับโครโมโซมอื่นทั้งหมด

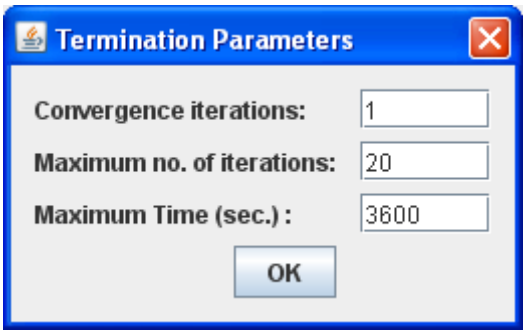
กลุ่มที่ 5) Termination Parameters



เป็นตัวแปรที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการสิ้นสุดโปรแกรม ประกอบด้วย

1) Convergence iterations
2) Maximum number of iterations
3) Maximum Time (second)

โดยหากเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งในสามเงื่อนไขเป็นจริง โปรแกรมจะสิ้นสุดการประมวลผล

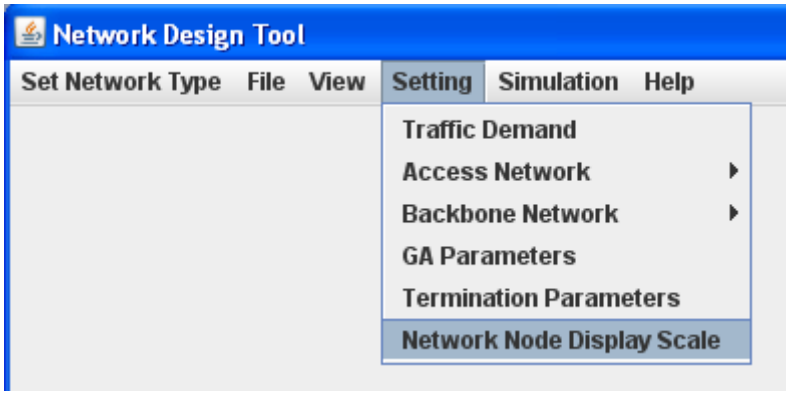


1) Convergence iterations คือ จำนวนรอบที่ค่า objective ไม่เปลี่ยนแปลง โดยโครโมโซมชุดหนึ่งจะมีค่า objective ได้ 1 ค่า หรือ 1 ชุดเท่านั้น หากค่า objective ที่ได้จากแต่ละรอบ หรือ iteration ของการรันไม่เปลี่ยนแปลงเป็นจำนวนเท่าที่ระบุไว้โปรแกรมจะสิ้นสุดการประมวลผล

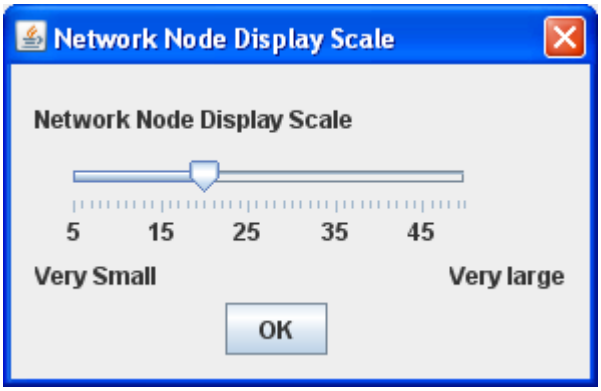
2) Maximum number of iterations คือ จำนวนรอบของการรันมากที่สุด ถ้าจำนวน iteration หรือ รอบของการรันครบตามจำนวนที่ระบุ โปรแกรมจะสิ้นสุดการประมวลผล เช่น 20 หมายถึง ให้โปรแกรมรันไป 20 iterations หรือ 20 รอบ

3) Maximum Time (second) คือ จำนวนเวลาที่มากที่สุดในการประมวลผล หากโปรแกรมใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าเวลาที่ระบุไว้ โปรแกรมจะสิ้นสุดการประมวลผล เช่น 3600 หมายถึง ให้ใช้เวลาในการประมวลผลมากที่สุด 3600 วินาที หรือ 1 ชั่วโมง

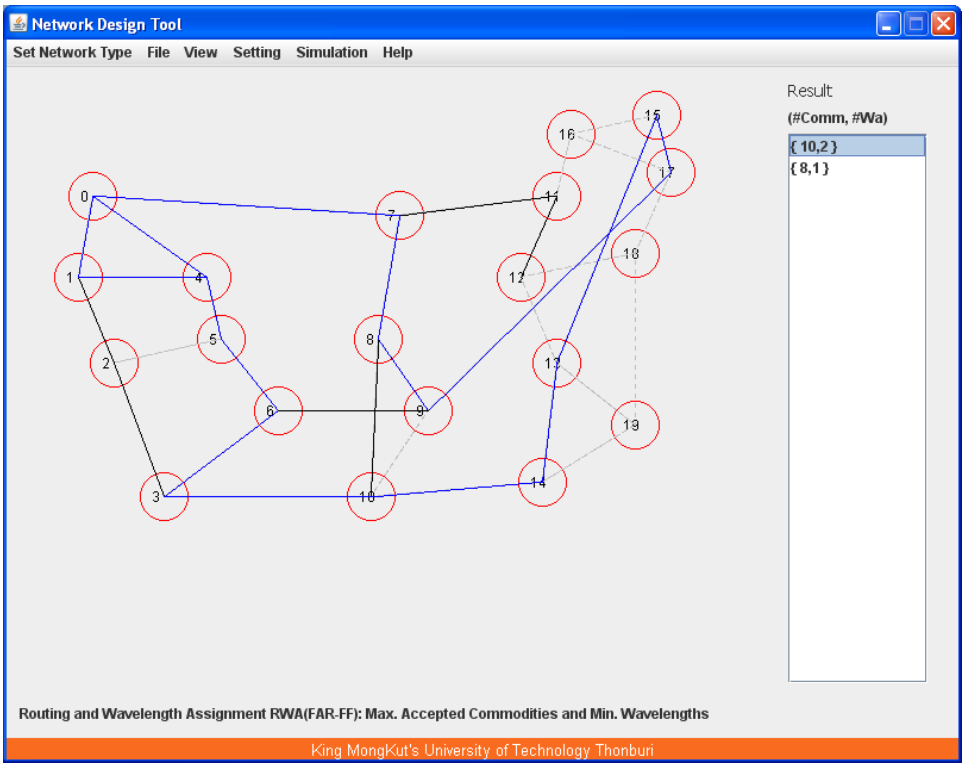
กลุ่มที่ 6) Network Node Display Scale



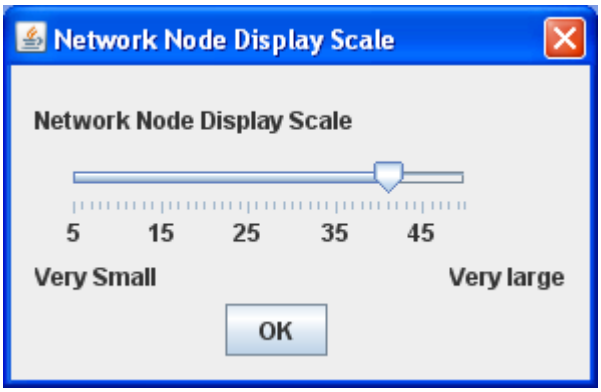
เป็นการตั้งค่าเกี่ยวกับการแสดงผลของขนาดที่ตั้งอุปกรณ์ หรือ ขนาดของ Node โดยค่าน้อยแทนขนาดเล็ก และค่ามากแทนขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น ตั้งค่าเป็น 20 ดังรูป



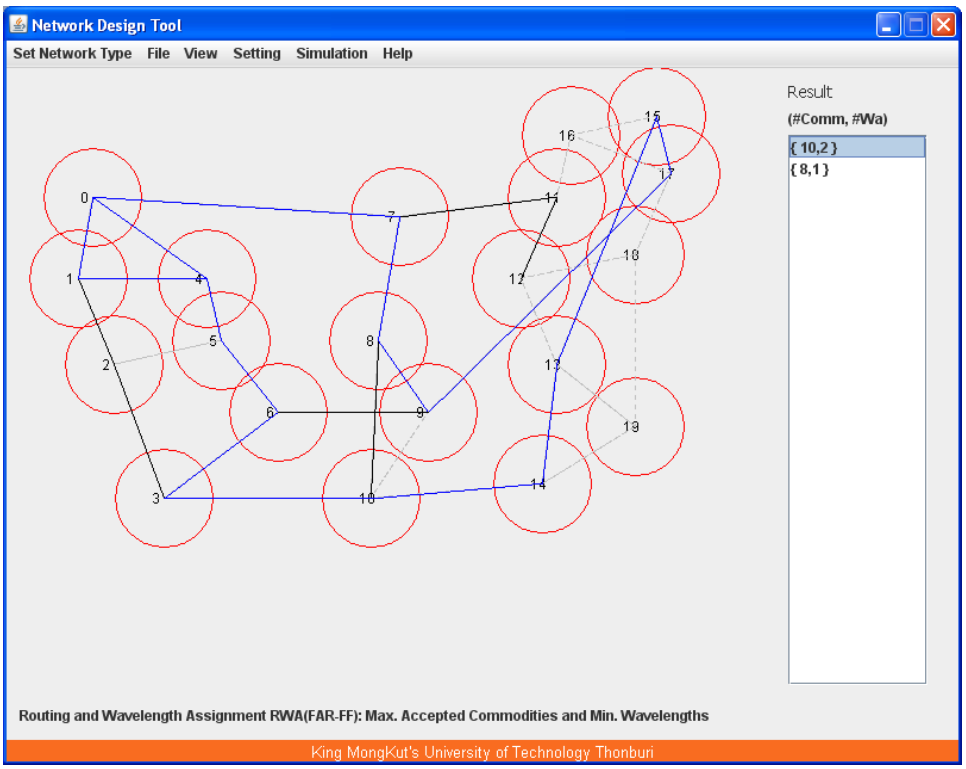
จะแสดงผลขนาดของ Node ที่ตั้งดังรูป



เมื่อตั้งค่าให้มีขนาดมากขึ้น



ขนาดของ Node จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูป



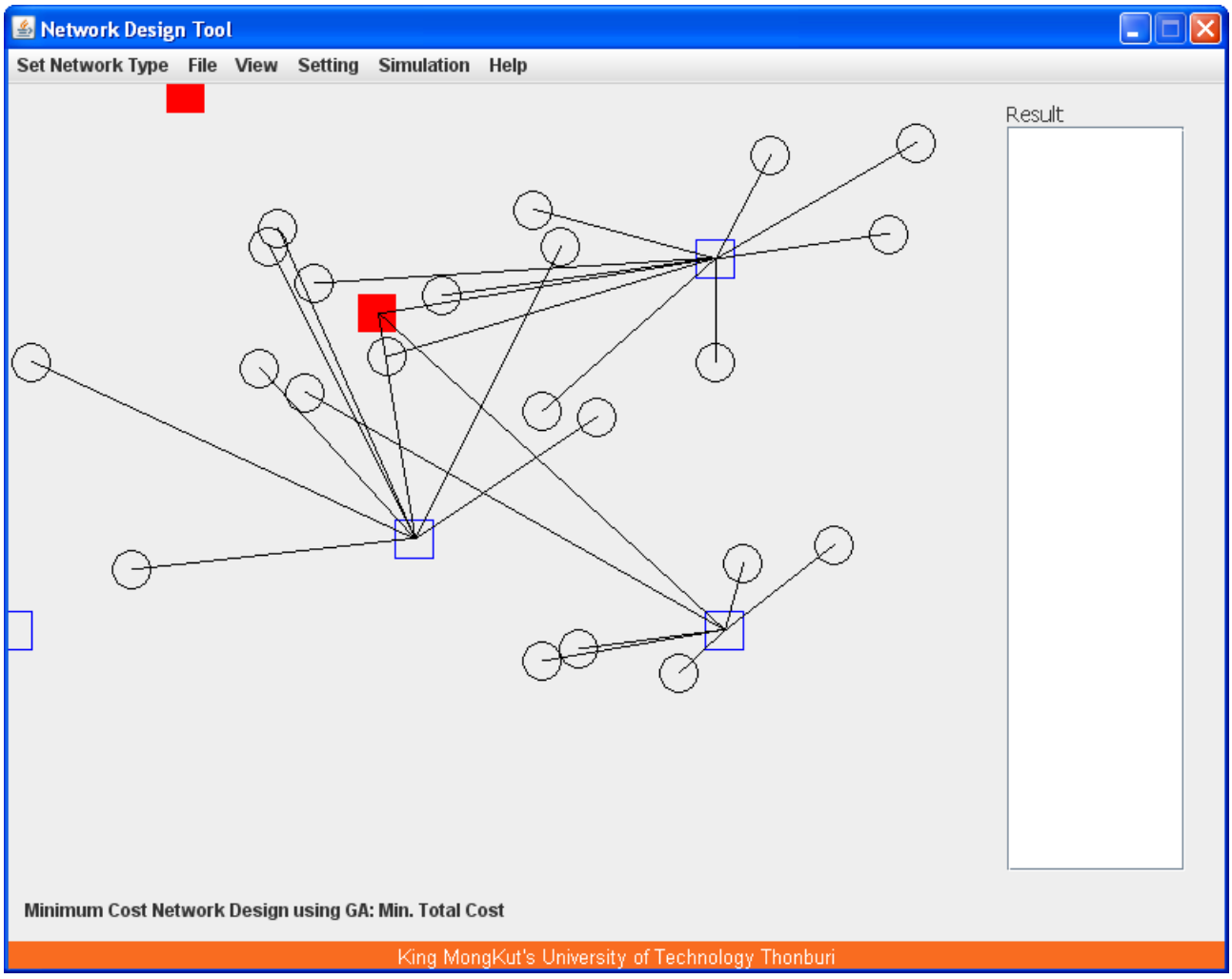
6. How do you see the output information from the Graphic User Interface (GUI)? การเรียกดูผลที่ได้จากการรันทาง GUI

การแสดงผลแบ่งออกเป็นสี่กลุ่ม คือ
1) การแสดงผลของ Access Network ในการออกแบบระยะที่ 1: Minimum Cost Network Design
2) การแสดงผลของ Access Network ในการออกแบบ Survivable Network Design
3) การแสดงผลของ Backbone Network ในการออกแบบเส้นทางและกำหนดวงจรสัญญาณ
4) การแสดงผลของ Backbone Network ในการออกแบบการรวมเส้นทางและกำหนดวงจรสัญญาณ

1) การแสดงผลของ Access Network ในการออกแบบระยะที่ 1: Minimum Cost Network Design

เป็นการแสดงผลโครงสร้างของเครือข่ายแบบต้นไม้ โดย

สี่เหลี่ยมสีแดง	แทน ชุมสาย
สี่เหลี่ยมสีน้ำเงิน	แทน ศูนย์ควบคุมสถานีฐาน
วงกลมสีดำ	แทน สถานีฐาน

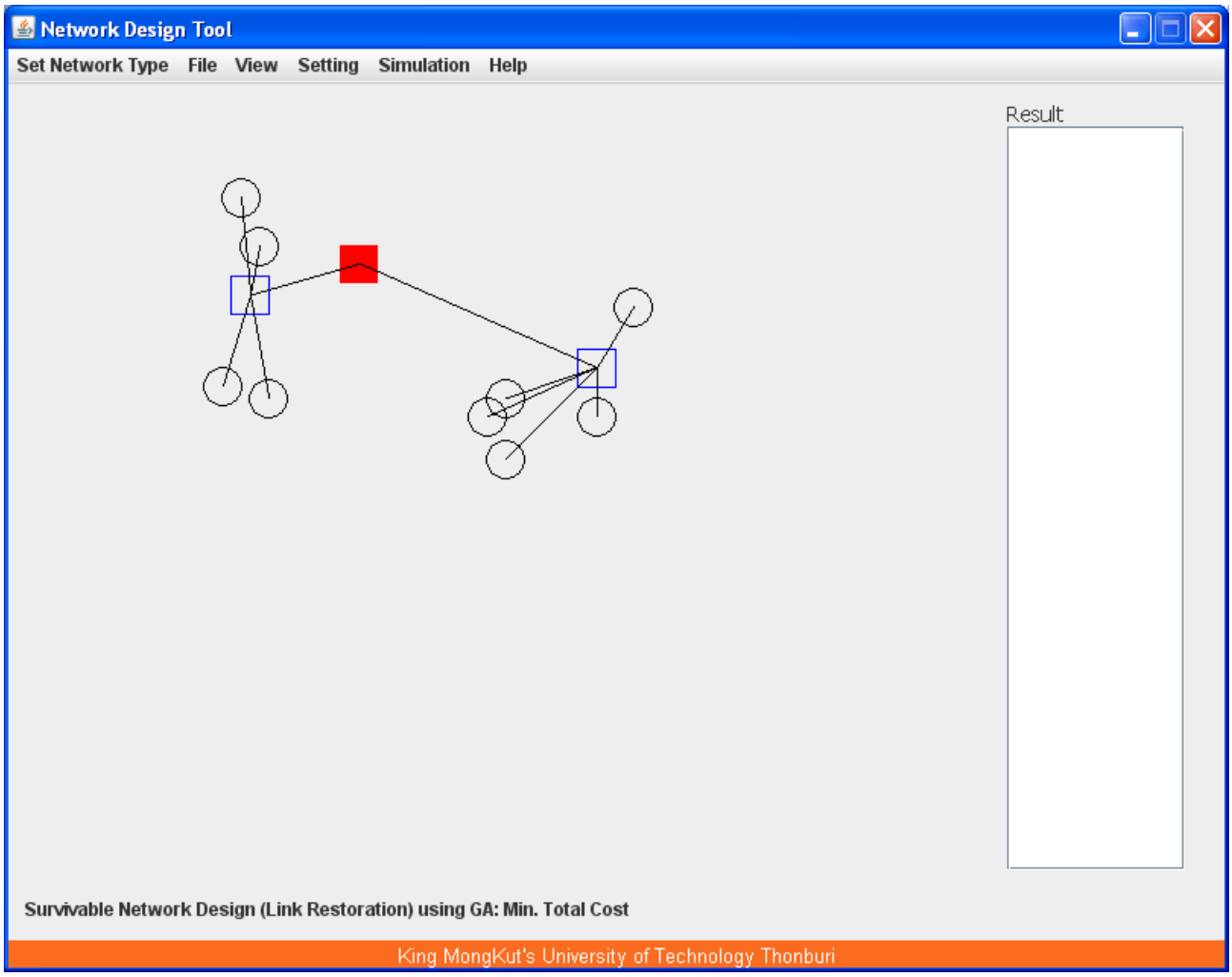


2) การแสดงผลของ Access Network ในการออกแบบ Survivable Network Design

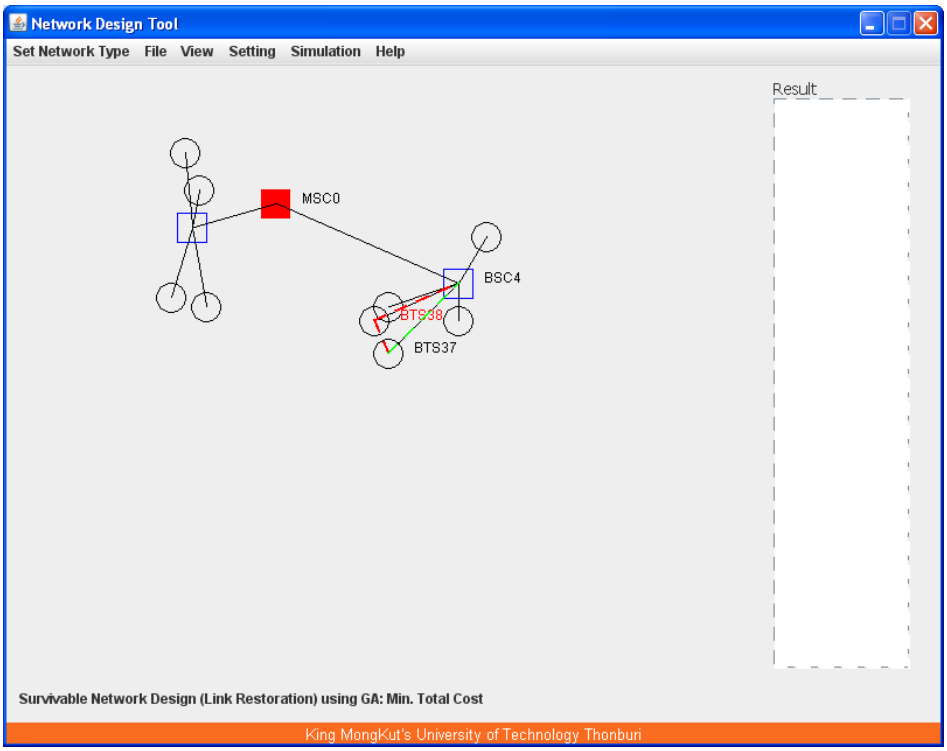
มีสี่แบบ คือ

- Survivable Network Design (Link Restoration) using GA
- Survivable Network Design (Path Restoration) using GA
- Survivable Network Design (Link Restoration) using Shortest Path
- Survivable Network Design (Path Restoration) using Shortest Path

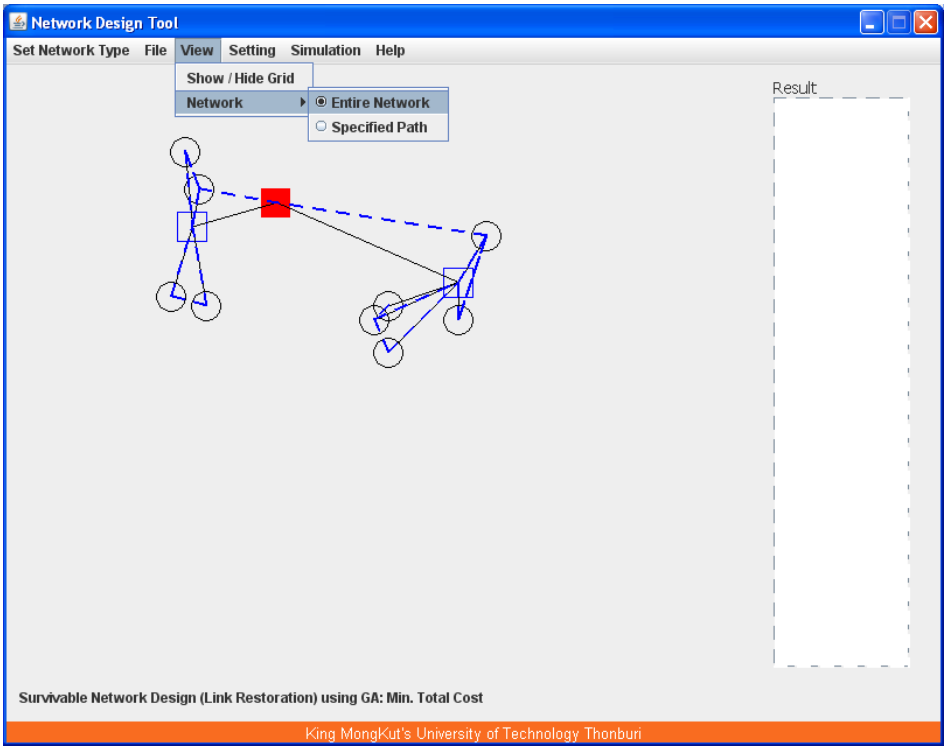
เมื่อรันผลเสร็จแล้วจะปรากฏ โครงสร้างเครือข่ายแบบต้นไม้ ซึ่งเป็นชุดของวงจรสัญญาณหลักดังรูป



เมื่อลากเมาส์ไปวางที่ตรงกลางวงกลม จะปรากฏเส้นทางสำรองหรือชุดของวงจรสัญญาณสำรองดังรูป จากรูปแสดงผลเมื่อนำเมาส์ไปวางที่กึ่งกลางวงกลม “BTS37”

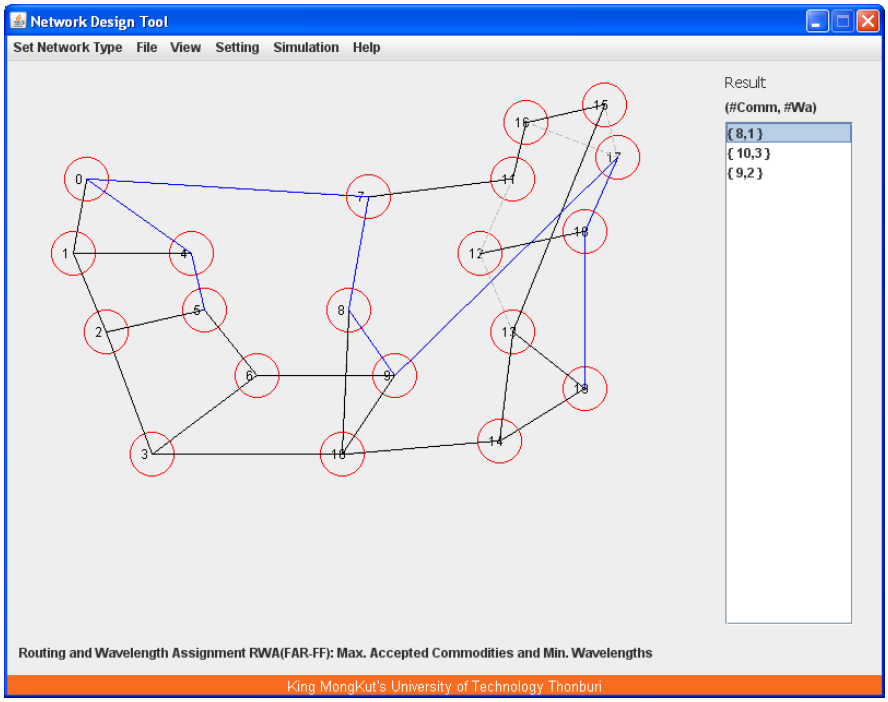


หากต้องการดูเส้นทางสำรองทั้งหมด ให้คลิกที่ “View → Network → Entire Network” จะปรากฏชุดของเส้นทางสำรองทั้งหมดดังรูป

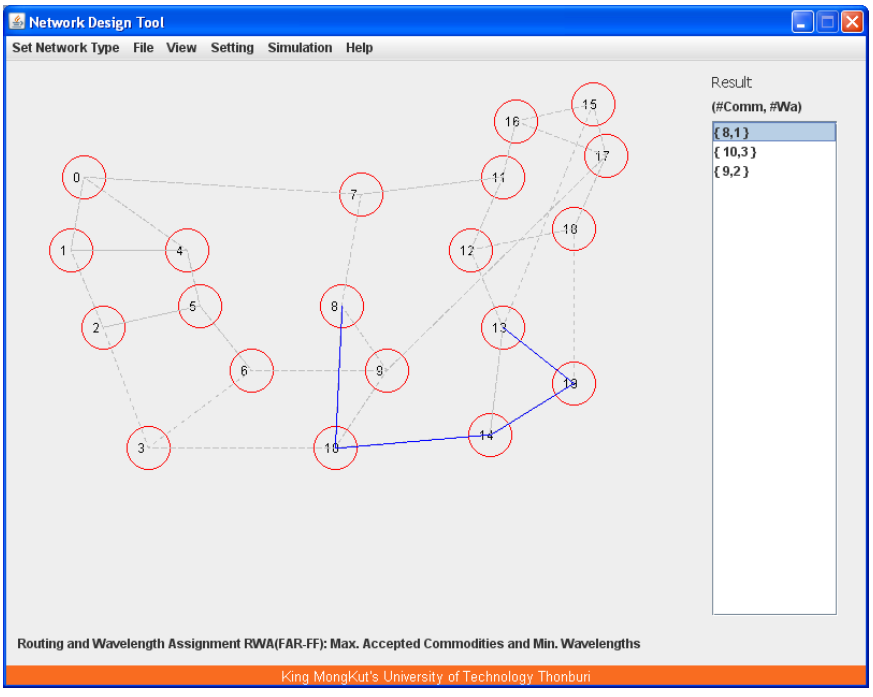


3) การแสดงผลของ Backbone Network ในการออกแบบเส้นทางและกำหนดวงจรสัญญาณ

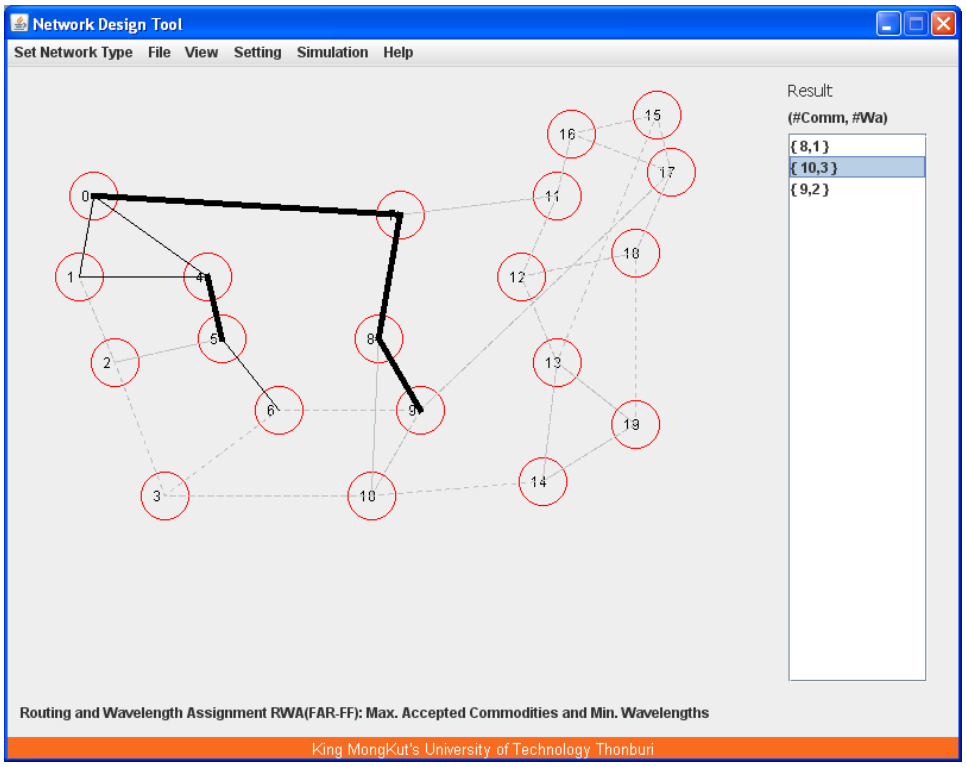
หลังจากรันผลแล้ว จะปรากฏเส้นทางของการเชื่อมต่อทั้งหมด ตามตัวเลือกด้านขวาที่เลือกดังรูป โดย "{8, 1}" หมายถึง มีการเชื่อมต่อที่สำเร็จทั้งหมด 8 การเชื่อมต่อ และมีช่องสัญญาณที่ต้องการ 1 ช่องสัญญาณ เมื่อเลือกตัวเลือกอื่น เซตของการเชื่อมต่อทั้งหมดที่แสดงผลจะเปลี่ยนไป



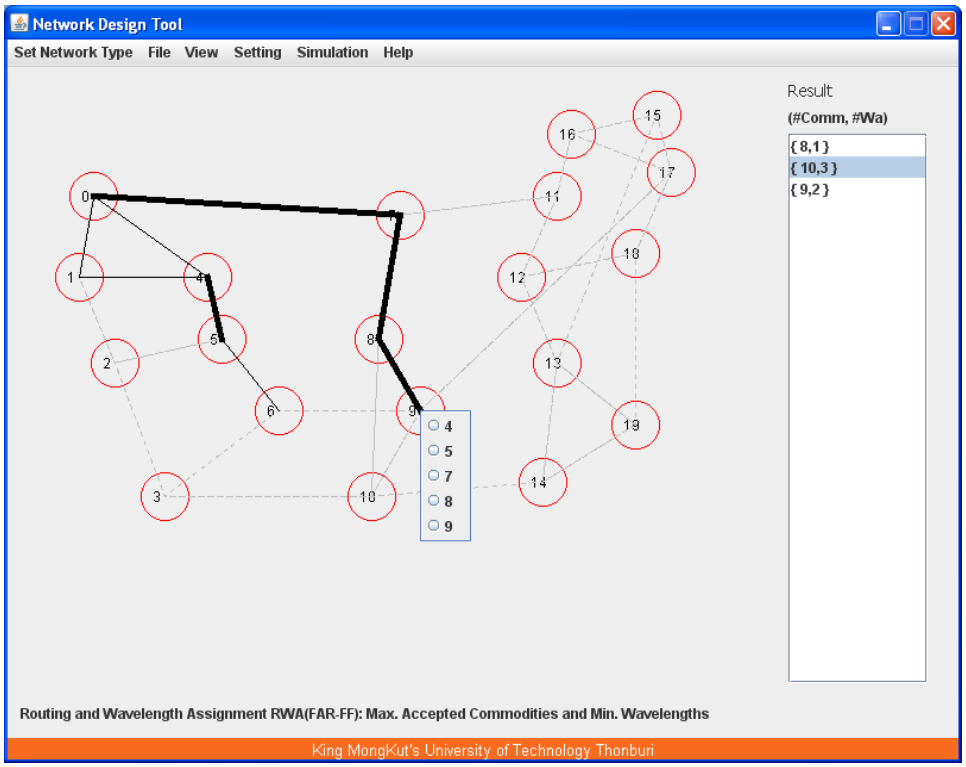
หลังจากนำเมาส์ไปวางที่ Node ใด จะแสดงเส้นทางที่ออกจาก Node นั้น ตัวอย่างเช่น เมื่อนำเมาส์ไปวางที่ Node ที่ 8 จะแสดงเส้นทางที่ออกจาก Node ที่ 8 ดังรูป หากไปวางที่ Node ใดแล้ว ไม่ปรากฏเส้นทางแสดงว่า ไม่มีเส้นทางที่ออกจาก Node นั้น



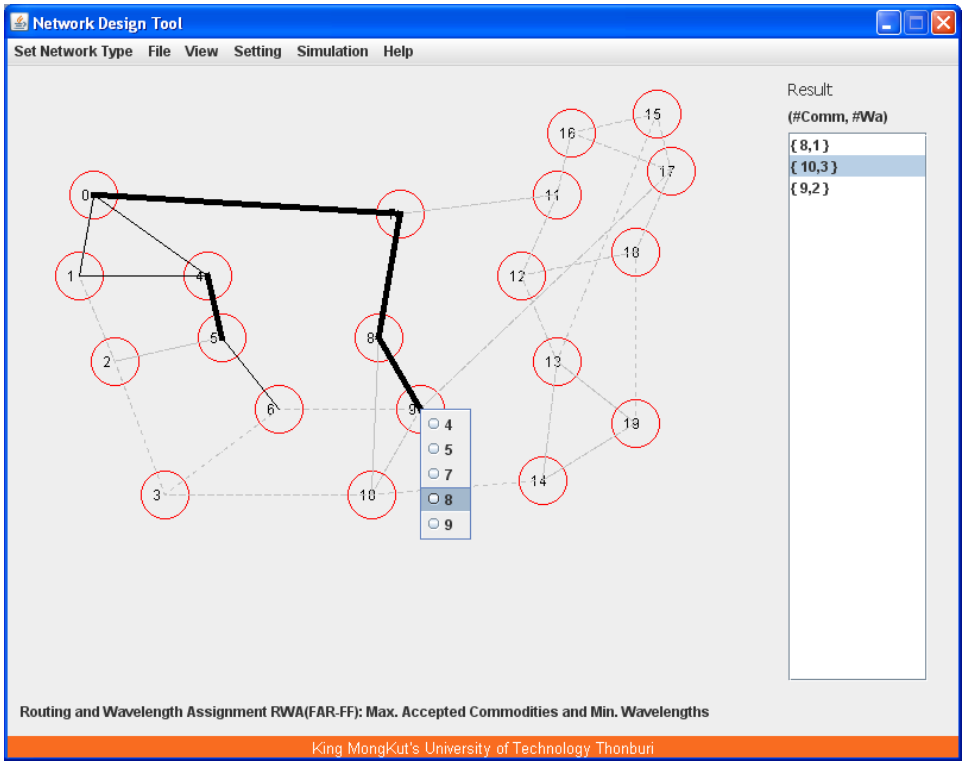
แต่หากนำเมาส์ไปวางที่ Node ใดแล้วมีเส้นหนาทึบ แสดงว่า มีมากกว่าหนึ่งการเชื่อมต่อผ่านเส้นทางนั้น



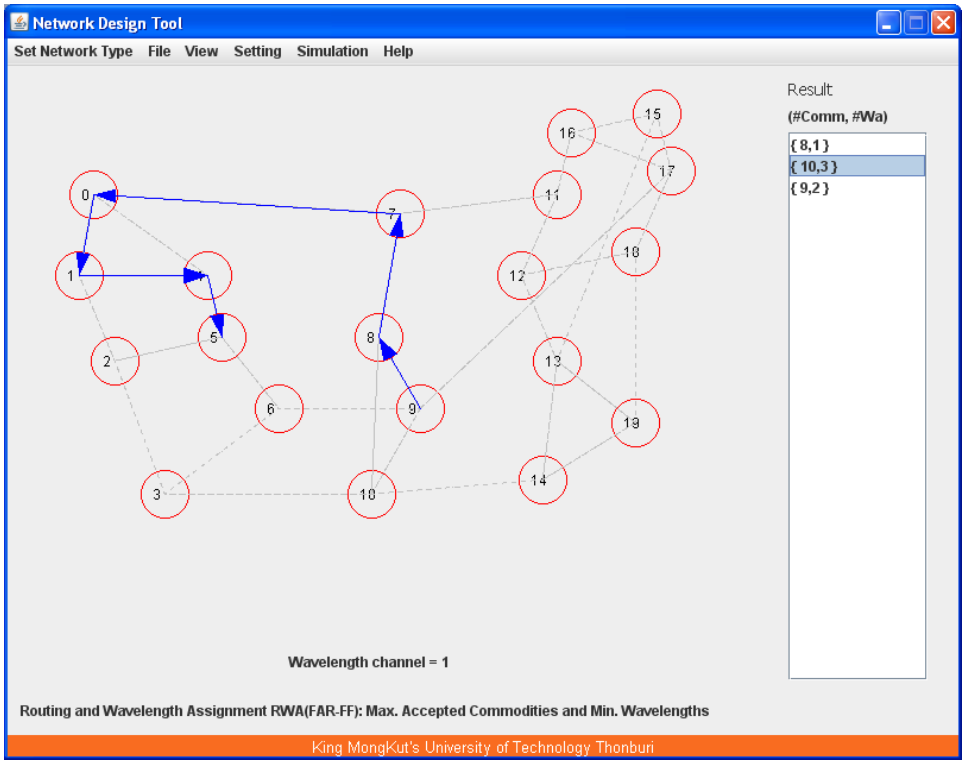
หากต้องการดูเส้นทางที่ผ่าน Node ใด ให้คลิกซ้ายที่ Node นั้น เช่น คลิกที่ Node ที่ 9 จะปรากฏตัวเลือก ดังรูป โดยตัวเลข คือ หมายเลข ID ของการเชื่อมต่อ



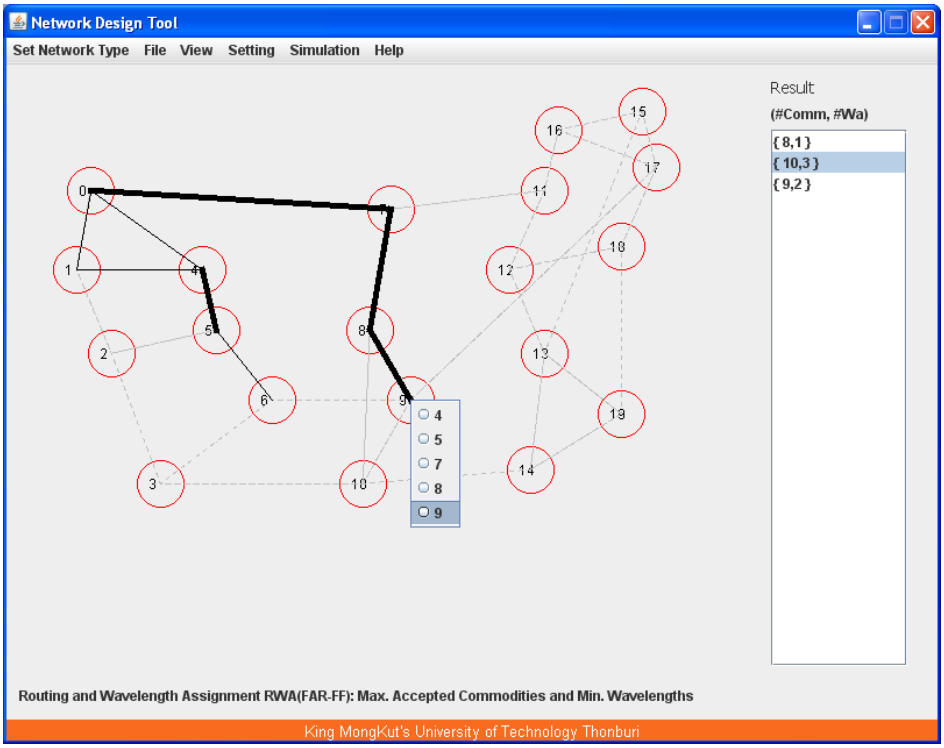
เมื่อเลือกดูการเชื่อมต่อที่ 8 แล้วคลิกเลือก



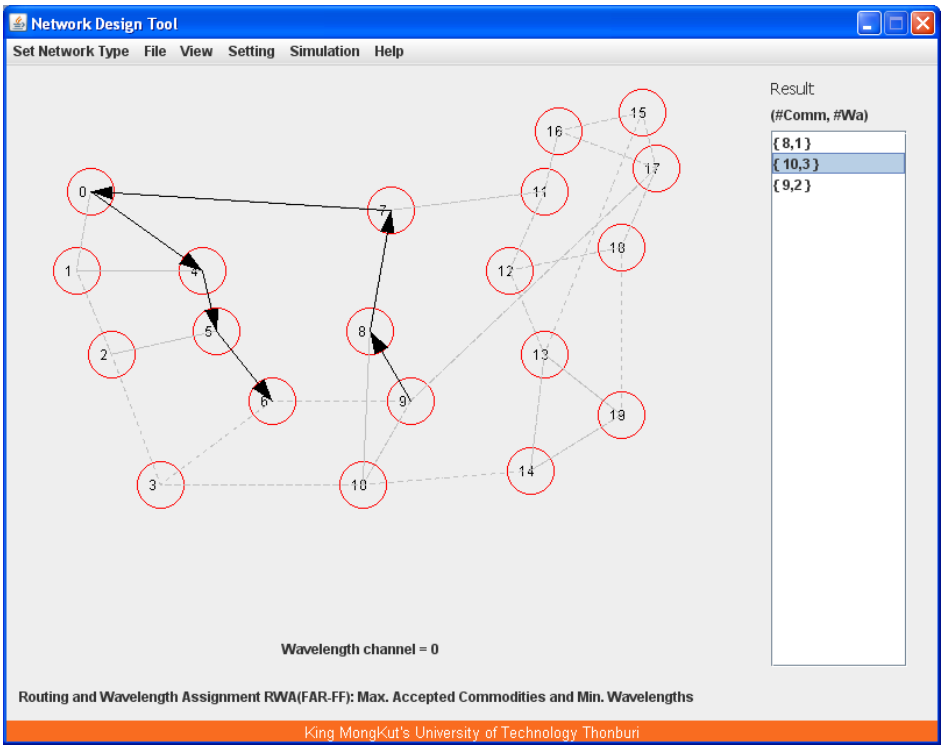
จะปรากฏเส้นทางสำหรับการเชื่อมต่อที่ 8 ดังรูป



เมื่อเลือกดูการเชื่อมต่อที่ 9 แล้วคลิกเลือก



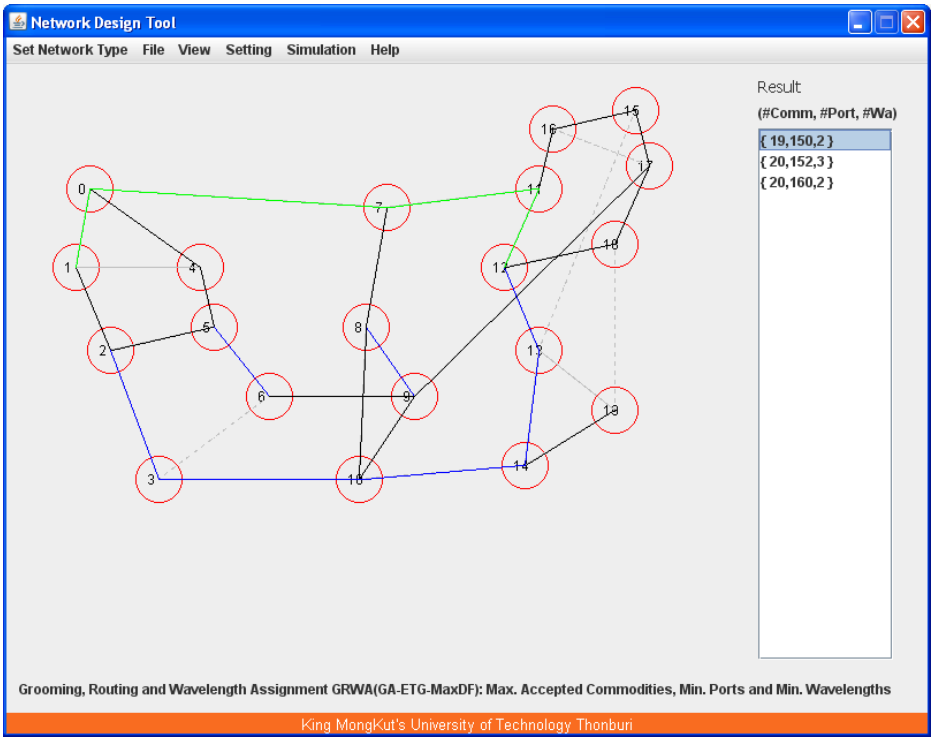
จะปรากฏเส้นทางสำหรับการเชื่อมต่อที่ 9 ดังรูป จะเห็นว่า สีของเส้นทางที่แสดงผลแตกต่างจากการเชื่อมต่อที่ 8 เพราะถูกกำหนดให้ใช้ช่องสัญญาณต่างกัน โดยการเชื่อมต่อที่ 9 ใช้ช่องสัญญาณที่ 0 ดังแสดงผลด้านล่างของส่วนแสดงผล

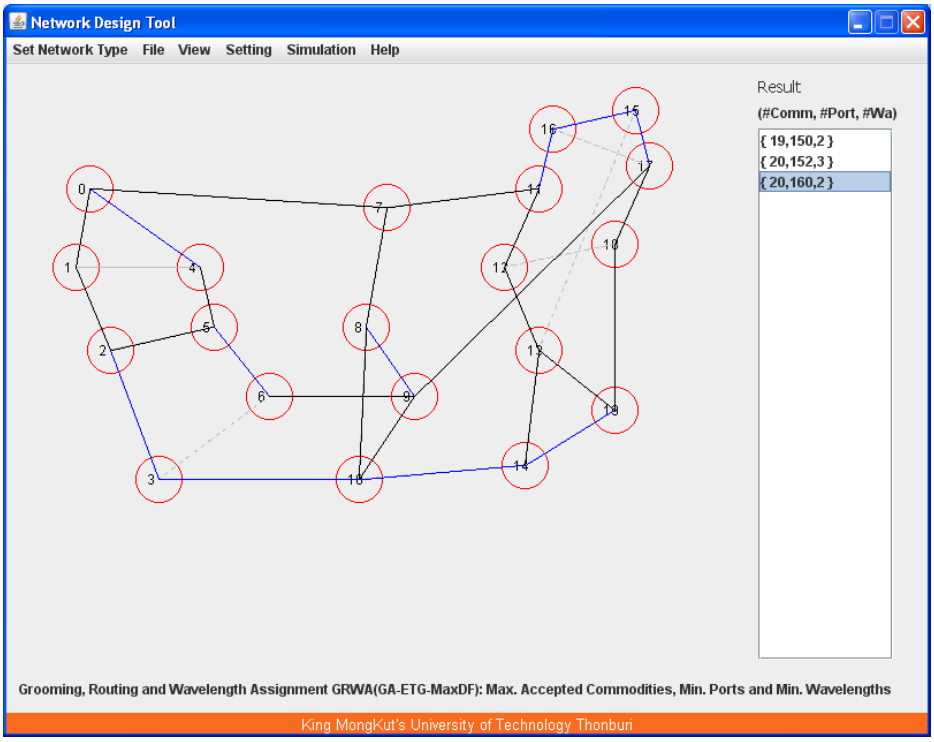


เมื่อต้องการยกเลิกการแสดงผล เฉพาะการเชื่อมต่อใดการเชื่อมต่อหนึ่ง ให้คลิกขวาบน Panel แสดงผล

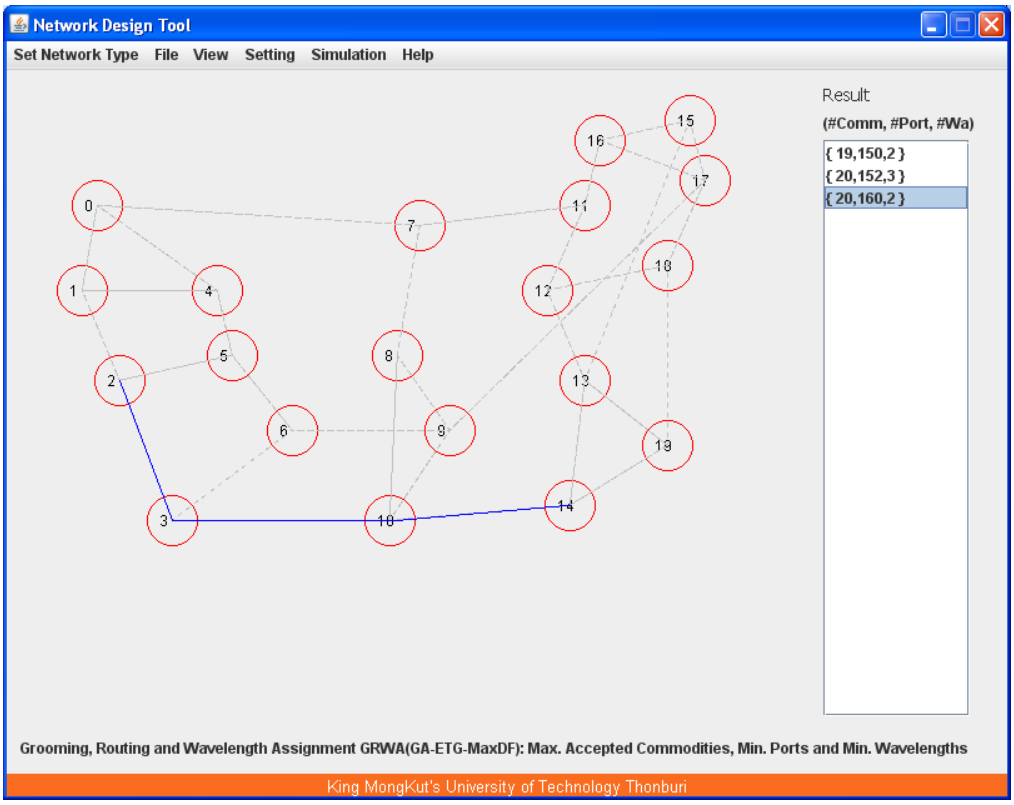
4) การแสดงผลของ Backbone Network ในการออกแบบการรวมเส้นทางและกำหนดวงจรสัญญาณ

หลังจากรันผลแล้ว จะปรากฏเส้นทางของการเชื่อมต่อทั้งหมด ตามตัวเลือกด้านขวาที่เลือกดังรูป โดย “{19, 150, 2}” หมายถึง มีการเชื่อมต่อที่สำเร็จทั้งหมด 19 การเชื่อมต่อ ใช้พอร์ตรับส่งข้อมูลหรืออุปกรณ์รับส่งข้อมูล 150 พอร์ต และมีช่องสัญญาณที่ต้องการ 2 ช่องสัญญาณ เมื่อเลือกตัวเลือกอื่นเซตของการเชื่อมต่อก็ทั้งหมดที่แสดงผลจะเปลี่ยนไป

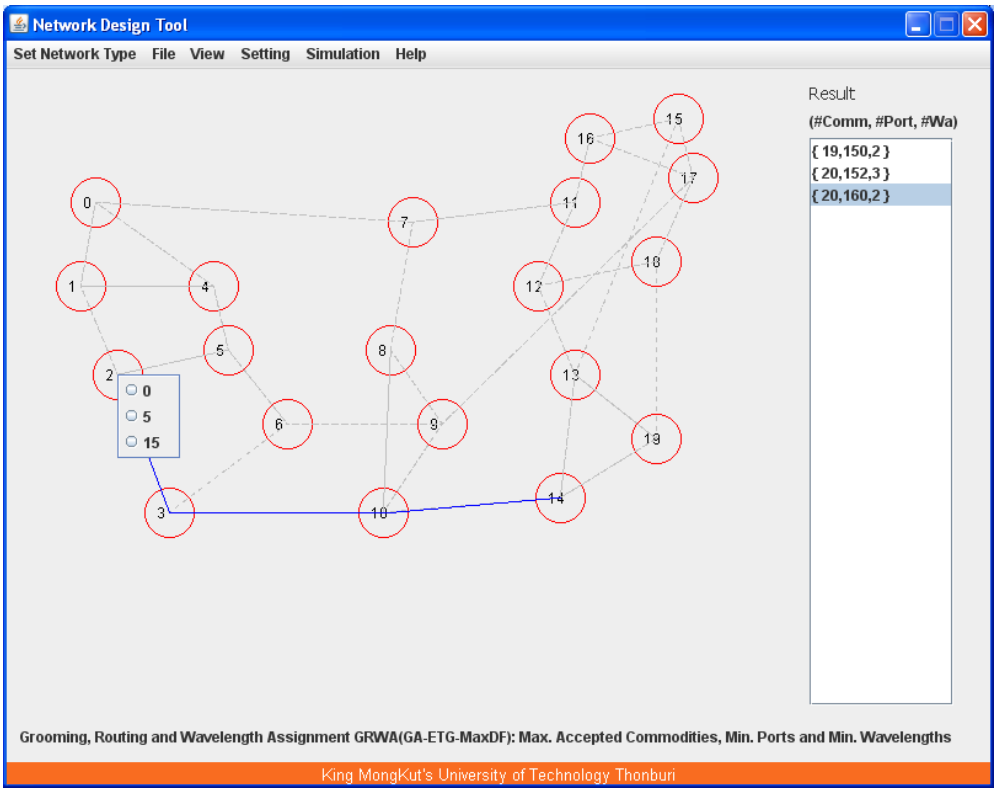




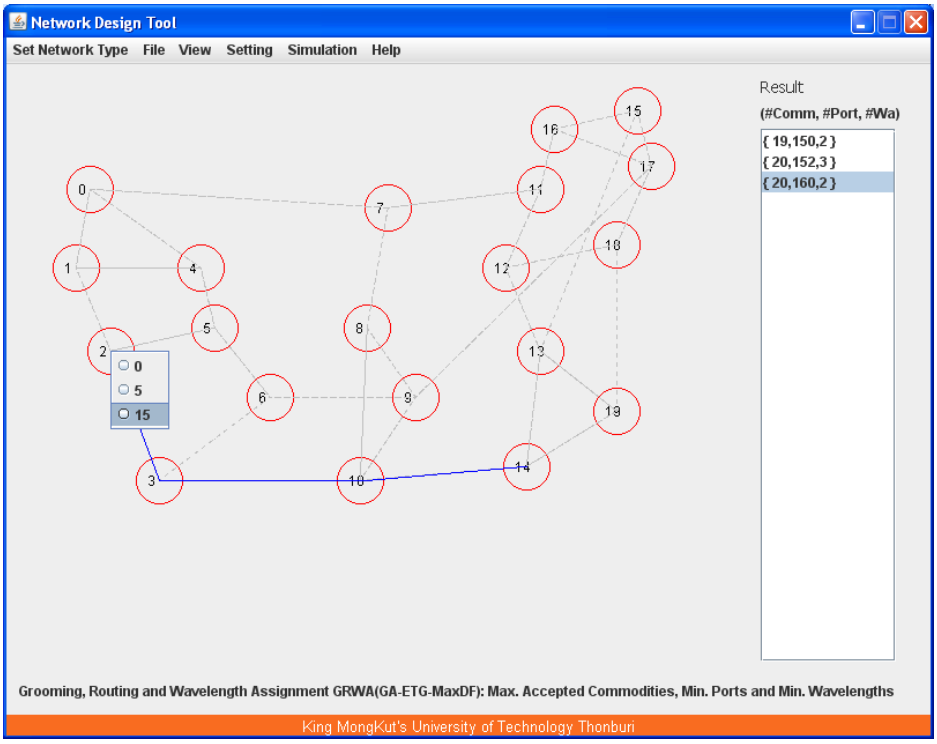
เมื่อเอาเมาส์ไปวางที่ Node 2 จะแสดงเส้นทางออกจาก Node ที่ 2 ดังรูป



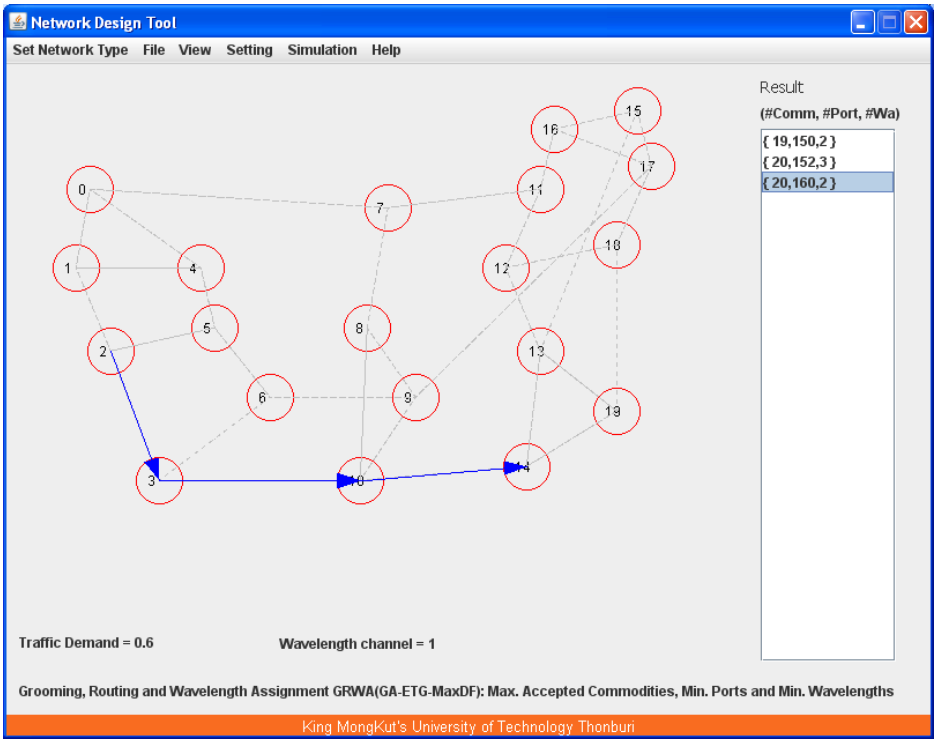
เมื่อเอาเมาส์ไปคลิกซ้ายที่ Node ที่ 2 จะแสดงการเชื่อมต่อที่ผ่าน Node ที่ 2 ทั้งหมด คือ การเชื่อมต่อที่ 0, การเชื่อมต่อที่ 5 และการเชื่อมต่อที่ 15



หลังจากเลือกที่การเชื่อมต่อที่ 15 ตามรูป



หลังจากเลือกการเชื่อมต่อที่ 15 แล้ว จะแสดงเส้นทางการเชื่อมต่อดังรูป โดยมีปริมาณความต้องการรับส่งข้อมูล 0.6 ของปริมาณการรับส่งของมูลที่หนึ่งช่องสัญญาณรองรับได้ และถูกกำหนดให้ใช้ช่องสัญญาณที่ 1



เมื่อต้องการยกเลิกการแสดงผล เฉพาะเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง หรือ ต้องการดูเส้นทางรวมทั้งหมด ให้คลิกขวาที่ Panel แสดงผล