การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของหัวฉีดเชื้อเพลิง

Development of User Interface for LPG-Simulator Software

พงศ์ยันต์ อิรชุดา

จิตกมล ตำรงทีปี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับ
ซอฟต์แวร์จำลองการทำงานแอลทีอีซิมูเลเตอร์

Development of User Interface for LTE-Simulator Software

ยศวัฒน์ ถิรชุดา

ชิตกมล ดำรงศักดิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับซอฟต์แวร์จำลองการทำงานแอลทีอีซิมูเลเตอร์

Development of User Interface for LTE-Simulator Software

ผู้จัดทำ

1. นายยศวัฒน์ ถิรชุดา รหัสนักศึกษา 53010343
2. นางสาวชิตกมล ดำรงศักดิ์ รหัสนักศึกษา 53010363

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ชัย ทิพย์จักษุรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับ ซอฟต์แวร์จำลองการทำงานแอลทีอีซิมูเลเตอร์

นาย ยศวัฒน์	ถิรชุดา	53010343
นางสาว ชิตกมล	ดำรงศักดิ์	53010363
ผศ.ดร. ศักดิ์ชัย	ทิพย์จักษุรัตน์	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

แอลทีอีซิมูเลเตอร์เป็นซอฟต์แวร์จำลองการทำงานสำหรับเครือข่ายแอลทีอี ถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษาซีพลัสพลัสบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ ที่มีนักวิจัยทางด้านระบบเครือข่ายสื่อสารไร้สายและเคลื่อนที่ ใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ในการใช้งานแอลทีอีซิมผู้ใช้งานต้องมีความรู้ภาษาซีพลัสพลัส เข้าใจโครงสร้างของเทรซไฟล์ และการเขียนออคสคริปต์ รวมถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการจำลองการทำงานเพียงหนึ่งสถานการณ์เท่านั้น ถ้าผู้ใช้งานต้องการผลการจำลองการทำงานหลายสถานการณ์ ผู้ใช้งานต้องทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ใหม่สำหรับสถานการณ์นั้นๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งาน การต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นกว่าจะได้ผลการจำลองการทำงานของทุกสถานการณ์และข้อผิดพลาดระหว่างการกำหนดพารามิเตอร์ รวมถึงข้อผิดพลาดในการเขียนออคสคริปต์ เราจึงเกิดแรงบันดาลใจให้เราทำการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับซอฟต์แวร์จำลองการทำงานแอลทีอีซิมูเลเตอร์เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้สะดวกขึ้น ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องรู้ภาษาซีพลัสพลัส สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับหลายสถานการณ์ได้ผ่านซอฟต์แวร์ที่เราพัฒนาขึ้น หลังจากนั้นซอฟต์แวร์ที่เราพัฒนาขึ้นจะทำการจำลองการทำงานและแสดงผลการจำลองการทำงานในรูปแบบของกราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบที่ผู้ใช้งานต้องการ เราเรียกซอฟต์แวร์ที่เราพัฒนาขึ้นว่า ส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับซอฟต์แวร์จำลองการทำงานแอลทีอีซิมูเลเตอร์ หรือ ยูไอฟอร์แอลทีอีซิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of User Interface for LTE-Simulator Software

Mr. Yodsawat	Thirachuda	53010343
Ms. Chittakamol	Dumrongsak	53010363
Asst. Prof. Dr. Sakchai	Thipchaksurat	Advisor

Academic Year 2012

ABSTRACT

LTE Simulator is a simulation software for LTE networks which is developed using C++ on the Linux platform. Several researchers have used LTE-Sim as a tool for evaluation the system performances. For using LTE-Sim, the knowledge of C++, structure of Trace file, and AWK script writing are needed for the user. Before running LTE-Sim, user has to set some parameters and preparing AWK script for filtering the Trace file according to performance metrics which are used for simulating only one situation limited by simulation time. In order to evaluate the system performance, we have to simulate the several situations. Therefore, the user has to repeat the same process again starting from setting parameters which may increase the time for obtaining the simulation results of all situations and error during setting parameter, and error in AWK script. We consider that the usage of LTE-Sim may be more easily if the user can do everything explained above through the user interface and this is the motivation of our project. In this project, we develop the user interface for LTE-Simulator software called UI4LTESim. The user can set the parameters of all situations and select the performance metrics through the user interface. Then, UI4LTESim will run LTE-Sim automatically. The simulation results of selected performance metrics will be shown in the form of graph.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับซอฟต์แวร์จำลองการทำงานแอลทีอีซิมูเลเตอร์ สามารถสำเร็จสมบูรณ์และลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยคำปรึกษาการพัฒนาโครงการ จาก ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย ทิพย์จักษุรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของโครงงานนี้ ที่ได้คอยให้การดูแลรวมถึงคำแนะนำพร้อมทั้งมีการจัดสัมมนาเพื่อตรวจดูความก้าวหน้าของโครงงานอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้กรุณาช่วยวิจารณ์โครงงานเพื่อนำไปพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโทและเอกทุกท่าน รวมถึงเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำและสนับสนุนการทำโครงงานในด้านต่างๆ

ขอบคุณห้องวิจัย Multi Media Laboratory และห้องวิจัย Network Laboratory ที่เป็นแหล่งสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการพัฒนาโครงงานได้อย่างสะดวก

ขอบคุณสมาชิกกลุ่มโครงงานนี้ ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุนเกื้อกูลกันในการทำงานตลอดที่ผ่านมา จนสามารถทำให้โครงงานลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และบุคคลภายในครอบครัวที่ให้กำลังใจและการสนันสนุนในทุกๆด้าน

ด้วยคุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากโครงงานนี้ เราขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นาย ยศวัฒน์ ถิรชุดา

นางสาว ชิตกมล ดำรงศักดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง X

สารบัญรูป XI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 วิธีการดำเนินการ 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.6 ส่วนประกอบของปริญญานิพนธ์ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 วิวัฒนาการของระบบสื่อสารและเทคโนโลยี 5

2.1.1 เครื่องโทรพิมพ์ 5

2.1.2 วิวัฒนาการของระบบสื่อสาร 6

2.1.3 วิวัฒนาการของเส้นใยนำแสง 10

2.1.4 การใช้งานของการสื่อสารโทรคมนาคม 11

2.1.5 องค์ประกอบของการสื่อสาร 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.1.6 ชนิดของสัญญาณข้อมูล 13

2.1.6.1 สัญญาณอนาล็อก 13

2.1.6.2 สัญญาณดิจิตอล 13

2.1.7 ทิศทางการสื่อสาร 14

2.1.7.1 สื่อสารแบบทางเดียว (Simplex) 14

2.1.7.2 สื่อสารแบบสองทิศทาง (Full-Duplex) 14

2.1.7.3 สื่อสารแบบทางใดทางหนึ่ง (Half-Duplex) 15

2.1.8 ตัวกลางการสื่อสาร 15

2.1.8.1 สื่อนำข้อมูลแบบมีสาย (Wired Media) 16

2.1.8.2 สื่อนำข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless Media) 18

2.2 ระบบโทรศัพท์ 21

2.2.1 วิวัฒนาการของโทรศัพท์ 21

2.2.2 วิวัฒนาการของโทรศัพท์ในประเทศไทย 23

2.2.3 หลักการทำงานของโทรศัพท์ 25

2.3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 27

2.3.1 ประวัติความเป็นมา 27

2.3.2 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 28

2.3.3 หลักการเบื้องต้นในการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 32

2.3.3.1 องค์ประกอบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 32

2.3.3.2 การจัดระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ 34

2.3.3.3 หลักการทำงานของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ 36

2.4 เทคโนโลยี LTE (Long Term Evolution) 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.4.1 สถาปัตยกรรม LTE 38

2.4.2 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง 39

2.4.2.1 ประเภทของ Duplexing 39

2.4.2.2 เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ 40

2.4.2.3 เทคนิค Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) 42

2.5 LTE-Simulator 44

2.5.1 ส่วนประกอบของซอฟต์แวร์ 44

2.5.2 โครงสร้างพื้นฐานของเน็ตเวิร์ค 48

2.5.3 การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ของผู้ใช้ (Users Mobility) 49

2.5.4 แอพพลิเคชันของอุปกรณ์ผู้ใช้ (Application of User Equipment) 51

2.5.5 การใช้งานเบื้องต้น 52

2.6 AWK Script 53

2.7 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบ Simulation 55

2.7.1 Computer Simulation Fundamental 55

2.7.2 Computer Simulation Taxonomy 57

2.7.3 Parallel / Distributed Simulation 59

2.7.4 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของ Parallel กับ Distributed Simulation 60

2.7.5 ความจำเป็นที่จะต้องนำระบบ Distributed Simulation มาใช้งาน 61

2.8 Java programming 62

2.8.1 ประวัติจาวา 62

2.8.2 จุดมุ่งหมายของการพัฒนาภาษาจาวา 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.8.3 องค์ประกอบของจาวา 63

2.8.3.1 Java virtual machine (JVM) 63

2.8.3.2 Java runtime environment (JRE) 63

2.8.3.3 Java 2 software developer kit (J2SDK) 63

2.8.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมภาษาจาวา 63

2.8.5 Java Platform 64

2.8.6 ตัวอย่างชุดพัฒนาโปรแกรมภาษาจาวา 65

2.8.7 ชุดพัฒนาโปรแกรมภาษาจาวาที่ใช้พัฒนาซอฟต์แวร์โครงงานนี้ 65

2.8.7.1 ข้อดีของเน็ตบีนส์ 67

บทที่ 3 การออกแบบและการพัฒนาซอฟต์แวร์ 66

3.1 แนวคิดในการพัฒนา 66

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา 70

3.2.1 ระบบปฏิบัติการ 70

3.2.2 ภาษาโปรแกรมที่ใช้ 70

3.2.3 เครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์ (Integrated Development Environment) 70

3.2.4 LTE-Sim 70

3.3 รายละเอียดการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) 71

3.3.1 หน้าต่างหลักของซอฟต์แวร์ 71

3.3.2 หน้าต่างเลือกโหมดการซิมมูเลชัน (Mode Selection) 71

3.3.3 หน้าต่างเลือกสถานการณ์ (Scenario Selection) 72

3.3.4 หน้าต่างสร้างสถานการณ์การจำลองแบบ Maual Mode 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.3.5 หน้าต่างตั้งค่าพารามิเตอร์ (Simulation Parameter Setting) 73

3.3.6 หน้าต่างเลือกกราฟที่แสดงผล (Graph Setting) 74

3.3.7 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ (Output Display) 75

3.3.8 หน้าต่างแสดงส่วนคู่มือผู้ใช้งาน 75

3.4 โครงสร้างของซอฟต์แวร์ 76

3.4.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) 77

3.4.2 ส่วนคู่มือผู้ใช้งาน (User Guide) 77

3.4.3 ส่วนการสร้าง AWK Script (AWK Script Generator) 77

3.4.4 ส่วนสร้างกราฟ (Graph Generator) 78

3.5 แผนภาพ UML (Unified Modeling Language Diagram) 78

3.5.1 Use Case Diagram 78

3.5.2 Class Diagram 79

3.6 ขอบเขตและข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ที่พัฒนา 80

บทที่ 4 การทดสอบซอฟต์แวร์ 85

4.1 การทดสอบซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม 85

4.2 การทดสอบซอฟต์แวร์ UI4LTESim 89

4.2.1 การทดสอบซอฟต์แวร์ในสถานการณ์จำลองที่ 1 89

4.2.1 การทดสอบซอฟต์แวร์ในสถานการณ์จำลองที่ 2 94

บทที่ 5 บทสรุป 98

5.1 ผลที่ได้จากการทำโครงงาน 98

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดจากการทำโครงงาน 99

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ... ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ... ที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ 99

บรรณานุกรม 100

ภาคผนวก ก 101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 1.1 การดำเนินการในภาคเรียนที่ 1 3

ตารางที่ 1.2 การดำเนินการในภาคเรียนที่ 2 3

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักของ LTE-Sim 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป **หน้า**

รูปที่ 2.1 แถบรหัสมอร์ส 6

รูปที่ 2.2 เครื่องโทรพิมพ์ 6

รูปที่ 2.3 ดาวเทียมสื่อสาร 9

รูปที่ 2.4 เส้นใยนำแสง 11

รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของการสื่อสาร 13

รูปที่ 2.6 รูปสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล 14

รูปที่ 2.7 สื่อสารแบบทางเดียว (Simplex) 14

รูปที่ 2.8 สื่อสารแบบสองทิศทาง (Full-Duplex) 15

รูปที่ 2.9 สื่อสารแบบทางใดทางหนึ่ง (Half-Duplex) 15

รูปที่ 2.10 สายคู่ตีเกลียวทั้งแบบ UTP และ STP 16

รูปที่ 2.11 สายโคแอกเชียล 17

รูปที่ 2.12 สายไฟเบอร์ออปติก 17

รูปที่ 2.13 การส่งแบบคลื่นวิทยุ 18

รูปที่ 2.14 การส่งแบบคลื่นไมโครเวฟ 19

รูปที่ 2.15 การส่งแบบดาวเทียม 20

รูปที่ 2.16 การส่งแบบบลูทูธ 21

รูปที่ 2.17 หลักการโทรศัพท์ของเบลล์ 22

รูปที่ 2.18 ลักษณะของทรานสมิทเตอร์(Transmitter) 22

รูปที่ 2.19 ลักษณะของ AC ที่อยู่บนยอดของ DC 23

รูปที่ 2.20 เครื่องโทรศัพท์สมัยแรกๆ 25

รูปที่ 2.21 วงจรโทรศัพท์เบื้องต้น 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 2.22 ชุมสายโทรศัพท์แบบเครือข่ายดาว 26
รูปที่ 2.23 เครือข่ายโทรศัพท์ต่อเชื่อมชุมสายท้องถิ่น 27
รูปที่ 2.24 โทรศัพท์มือถือในยุคแรกๆ 28
รูปที่ 2.25 วิวัฒนาการของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย 31
รูปที่ 2.26 องค์ประกอบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 32
รูปที่ 2.27 สถานีฐานแบบต่างๆ 34
รูปที่ 2.28 การจัดเซลล์ที่มีความถี่ต่างกันในแต่ละช่องสัญญาณ 35
รูปที่ 2.29 การ Handover ของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ 37
รูปที่ 2.30 โครงสร้างของสถาปัตยกรรม LTE 38
รูปที่ 2.31 โครงสร้างของสถาปัตยกรรม LTE และ Femto cells 39
รูปที่ 2.32 เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ FDMA 41
รูปที่ 2.33 เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ TDMA 41
รูปที่ 2.34 เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ CDMA 42
รูปที่ 2.35 แสดงเทคนิค OFDM และเทคนิค OFDMA 44
รูปที่ 2.36 คลาสไดอะแกรมของ LTE-Sim 45
รูปที่ 2.37 การซิมมูเลชันของสภาพแวดล้อมต่างๆ 48
รูปที่ 2.38 โมเดลแสดงตัวอย่างรูปแบบการเคลื่อนที่แบบ Random Direction 50
รูปที่ 2.39 โมเดลแสดงตัวอย่างรูปแบบการเคลื่อนที่แบบ Random Walk 50
รูปที่ 2.40 ผลลัพธ์ของการสั่งรันโปรแกรม LTE-Sim ในสถานการณ์พื้นฐาน 52
รูปที่ 2.41 แผนภาพ Computer Simulation Taxonomy 57
รูปที่ 2.42 แผนภาพแสดงลักษณะการทำงานแบบ Event stepped 58
รูปที่ 2.43 แผนภาพแสดงลักษณะการทำงานแบบ Time stepped 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 2.44 ลักษณะการทำงานแบบ Share Memory Multiprocessors 59
รูปที่ 2.45 ลักษณะการทำงานแบบ Distributed memory multi-computers 60
รูปที่ 2.46 องค์ประกอบภาษาจาวา 63
รูปที่ 2.47 ขั้นตอนการทำงานของภาษาจาวา 64
รูปที่ 2.48 Java Platform 65
รูปที่ 2.49 NetBeans IDE startup 66
รูปที่ 2.50 หน้าต่างการทำงานของเน็ตบีนส์ 66
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนจำลองการทำงานของแอลทีอีซิมูเลเตอร์ 67
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจำลองการทำงานของยูไอฟอร์แอลทีอีซิม (UI4LTESim) 69
รูปที่ 3.3 หน้าต่างหลักของซอฟต์แวร์ UI4LTESim 71
รูปที่ 3.4 หน้าต่างเลือกโหมดในการซิมมูเลชัน 72
รูปที่ 3.5 หน้าต่างเลือกสถานการณ์การจำลอง 72
รูปที่ 3.6 หน้าต่างเลือกสถานการณ์การจำลองแบบ Manual Mode 73
รูปที่ 3.7 ก. หน้าต่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ของ Single Macrocell แบบ Auto Mode 73
รูปที่ 3.7 ข. หน้าต่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ของ Multiple Macrocell แบบ Manual Mode 74
รูปที่ 3.8 หน้าต่างเลือกกราฟที่แสดงผล 74
รูปที่ 3.9 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ 75
รูปที่ 3.10 หน้าต่างแสดงส่วนคู่มือผู้ใช้(1) 75
รูปที่ 3.11 หน้าต่างแสดงส่วนคู่มือผู้ใช้(2) 76
รูปที่ 3.12 หน้าต่างแสดงส่วนคู่มือผู้ใช้(3) 76
รูปที่ 3.13 โครงสร้างและการทำงานของ UI4LTESim 77
รูปที่ 3.14 แผนภาพ Use Case ของ UI4LTESim 79

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.15 แผนภาพ Class Diagram ของ UI4LTESim 80
รูปที่ 4.1 หน้าต่างระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ที่ติดตั้งใน VMware 85
รูปที่ 4.2 หน้าต่างซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมที่เปิดในซอฟต์แวร์ Eclipse 86
รูปที่ 4.3 หน้าต่าง GUI ที่ใช้ซอฟต์แวร์ Netbeans ในการพัฒนา 86
รูปที่ 4.4 หน้าต่าง Terminal ที่ใช้สำหรับรันซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม 87
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างคำสั่งของซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม 88
รูปที่ 4.6 พารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้กับสภาพแวดล้อมแบบมัลติเซลล์ 88
รูปที่ 4.7 แสดงไฟล์ผลลัพธ์หลังจากที่สั่งรันซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมแบบมัลติเซลล์ 89
รูปที่ 4.8 หน้าต่างหลักของซอฟต์แวร์ 90
รูปที่ 4.9 ขั้นตอนที่หนึ่ง Start Scenario 90
รูปที่ 4.10 ขั้นตอนที่สอง Network Environment Setting 91
รูปที่ 4.11 ขั้นตอนที่สาม Simulation Setting 92
รูปที่ 4.12 ขั้นตอนที่สี่ Simulation Setting 92
รูปที่ 4.13 กราฟผลลัพธ์ของสถานการณ์ที่ 1 93
รูปที่ 4.14 กราฟผลลัพธ์ของสถานการณ์ที่ 1 แบบขยาย 93
รูปที่ 4.15 ขั้นตอนที่หนึ่ง Start Scenario 94
รูปที่ 4.16 ขั้นตอนที่สอง Network Environment Setting 95
รูปที่ 4.17 ขั้นตอนที่สาม Simulation Setting(1) 95
รูปที่ 4.18 ขั้นตอนที่สาม Simulation Setting(2) 96
รูปที่ 4.19 ขั้นตอนที่สี่ Grpah Setting 96
รูปที่ 4.20 กราฟผลลัพธ์ของสถานการณ์ที่ 2 97

เอกสารนี้มีไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

บทนำจะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของโครงงาน วัตถุประสงค์ของโครงงาน ขอบเขตของโครงงาน วิธีดำเนินการพัฒนา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับซอฟต์แวร์จำลองการทำงานแอลทีอีซิมูเลเตอร์

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน

แอลทีอีซิมูเลเตอร์ (LTE-SIMULATOR) เป็นซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งนิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักวิจัยทางด้านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ถูกพัฒนาขึ้นจากภาษาซีพลัสพลัสบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ นอกจากนี้แอลทีอีซิมูเลเตอร์ยังสามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย แต่เนื่องจากแอลทีอีซิมูเลเตอร์เป็นซอฟต์แวร์ที่ค่อนข้างซับซ้อนในการใช้งาน อีกทั้งยังมีหลายฟังก์ชัน ดังนั้นผู้พัฒนาจึงได้ทำการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับซอฟต์แวร์จำลองการทำงานแอลทีอีซิมูเลเตอร์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจและทำงานได้สะดวก ซึ่งต่อไปเราจะขอเรียกซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมูเลเตอร์ว่า แอลทีอีซิม และเรียกซอฟต์แวร์ที่เราพัฒนาขึ้นว่า UI4LTESim

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยใช้งานผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้แบบกราฟิก (Graphic User Interface) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ทางผู้จัดทำได้พัฒนาขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมมาก่อน
2) เพื่อศึกษาการทำงานของแอลทีอีซิมูเลเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือในการจำลองการทำงานของเครือข่ายเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยด้านเครือข่าย
3) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดูผลประสิทธิภาพการทำงาน และทำการเปรียบเทียบวัดผลในด้านต่างๆในรูปแบบของกราฟ
4) เพื่อให้ผู้ใช้งานเข้าใจการทำงานของเครือข่ายแอลทีอี เพราะเป็นเครือข่ายในยุคที่ 4 และยังมีข้อมูลไม่กว้างขวางมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น... และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) ศึกษาการจำลองการทำงานของซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม
2) ซอฟต์แวร์สามารถทำงานโดยเป็นเดสก์ท็อปแอพพลิเคชัน (Desktop Application)
3) ใช้ Netbeans IDE 6.9 เป็นเครื่องมือในการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยภาษาจาวา (Java)
4) ซอฟต์แวร์สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) โดยทำการทดสอบบนระบบปฏิบัติการอูบุนตู (Ubuntu) 12.04
5) ซอฟต์แวร์สามารถจำลองการทำงานตามสถานการณ์ (Scenario) ต่างๆดังนี้ SingleCell, SingleCellWithFemto, MultiCellWithInterference และ MultiCellwithoutInterferrence
6) ซอฟต์แวร์สามารถประเมินประสิทธิภาพการจำลองการทำงานตามสถานการณ์ต่างๆของเครือข่ายแอลทีอีในรูปของ Packet Loss Rate (PLR), Throughput, Packet Delay, Packet Loss ได้

1.4 วิธีการดำเนินการ

เพื่อให้โครงงานนี้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง และเสร็จตามกำหนด เราได้วางแผนการทำงานล่วงหน้า โดยกำหนดช่วงเวลาการดำเนินงานตามตารางแผนการดำเนินงานไว้ดังนี้

ID	Task Name	มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ศึกษาการทำงานของ LTE-Sim																
2	ศึกษาการใช้งานระบบปฏิบัติการลินุกซ์เบื้องต้น และติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์																
3	ติดตั้งซอฟแวร์ LTE-Sim, Netbeans IDE 6.9 และทดสอบการใช้งานเบื้องต้น																
4	ศึกษาโครงงานที่มีความเกี่ยวข้องกัน พร้อมทั้งวิเคราะห์หาข้อบกพร่อง เพื่อที่จะทำการปรับปรุงและพัฒนา																

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทำงานของตัวแปรต่างๆ ที่จะนำมาใช้ใน GUI																
6	วิเคราะห์และออกแบบ GUI ที่ครบถ้วนและง่ายต่อการใช้งาน พร้อมทั้งศึกษาวิธีการเขียน GUI																
7	เขียนและสร้างโครงร่างของ GUI ตามที่ได้ออกแบบไว้																

ตารางที่ 1.1 การดำเนินการในภาคเรียนที่ 1

ID	Task Name	พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ศึกษาการเขียน AWK Script																
2	ออกแบบและสร้าง GUI ให้สมบูรณ์																
3	ศึกษาและสร้าง Graph โดยรวมซอฟต์แวร์ Plot Graph เข้ากับ GUI																
4	ทดสอบการใช้งานของแต่ละองค์ประกอบและรวมองค์ประกอบทั้งหมดเข้ากับ GUI																
5	สร้าง User Guide																
6	ทดสอบการทำงานโดยรวมของซอฟต์แวร์ทั้งหมดที่ได้เขียนขึ้น																
7	วิเคราะห์หาข้อผิดพลาดและทำการปรับปรุงแก้ไข																

ตารางที่ 1.2 การดำเนินการในภาคเรียนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ผู้ใช้งานสามารถใช้งานซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม ได้อย่างสะดวกและง่ายขึ้น ผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้แบบกราฟิก (Graphic User Interface) ที่ผู้จัดทำพัฒนาขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมหรือการทำงานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับซอฟต์แวร์เลย
2) ผู้ใช้งานสามารถดูผลการทำงานและประสิทธิภาพของการจำลองการทำงานของแอลทีอีซิมในรูปแบบของกราฟได้
3) เหมาะสำหรับใช้เป็นสื่อการสอนในวิชาทางด้านเครือข่ายไร้สายและทางด้านโทรคมนาคม

1.6 ส่วนประกอบของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วย 5 บทซึ่งประกอบไปด้วย บทนำ, ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง, การออกแบบและพัฒนา, การทดลองและผลการทดลอง และบทสรุป โดยมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึง ความสำคัญและที่มาของโครงงาน วัตถุประสงค์ของโครงงาน ขอบเขตของโครงงาน วิธีการดำเนินการ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโครงงาน ประกอบด้วยวิวัฒนาการของระบบสื่อสารและเทคโนโลยี ระบบโทรศัพท์ เทคโนโลยี LTE หลักการทำงานของ LTE Simulation และภาษาจาวา

บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนา กล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา ภาพรวมของซอฟต์แวร์ กระบวนการทำงานของซอฟต์แวร์

บทที่ 4 การทดสอบซอฟต์แวร์ กล่าวถึงรายละเอียดของการทดสอบการจำลองการทำงานของซอฟต์แวร์และผลลัพธ์จากการจำลองในสถานการณ์ตัวอย่าง

บทที่ 5 บทสรุป กล่าวถึงบทสรุปของโครงงาน ผลที่ได้จากการทำโครงงาน ปัญหาและอุปสรรคที่พบ แนวทางการแก้ไขปัญหา และแนวทางการพัฒนาต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน ประกอบไปด้วยวิวัฒนาการของระบบสื่อสารและเทคโนโลยี ระบบโทรศัพท์ สถาปัตยกรรมโครงสร้างเทคโนโลยี LTE หลักการทำงานของ LTE Simulation และภาษาจาวา

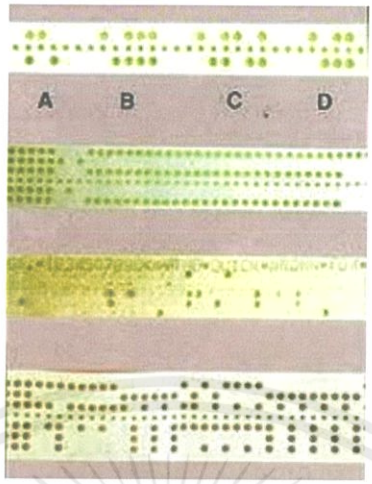
2.1 วิวัฒนาการของระบบสื่อสารและเทคโนโลยี

ในปัจจุบันนี้เราสามารถติดต่อสื่อสารกับคนทั่วโลกได้สะดวกมากเมื่อเทียบกับสมัยก่อน การสื่อสารได้มีวิวัฒนาการมาหลายยุคหลายสมัย วิวัฒนาการของการสื่อสารตั้งแต่ยุคแรกของมนุษย์ดังนี้ เชื่อกันว่าการสื่อสารระยะไกลของมนุษย์ในยุคแรกๆน่าจะเป็นการการตีเกราะ เคาะไม้ การส่งเสียงต่อเป็นทอดๆ และการส่งสัญญาณควัน ต่อมาเมื่อมนุษย์รู้จักวิธีการเขียนหนังสือ ก็มีการคิดค้นวิธีการสื่อสารแบบใหม่ โดยการฝากข้อความไปกับนกพิราบ หรือส่งไปกับม้าเร็ว จะเห็นว่าการสื่อสารถือเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำรงชีวิตอยู่ของมนุษย์โลก โดยเฉพาะในปัจจุบันซึ่งเป็นยุคของโลกไร้พรมแดน (Globalization) หากมีการติดต่อสื่อสารที่สะดวก รวดเร็ว ย่อมทำให้การพัฒนาประเทศชาติในทุกๆด้าน เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว

2.1.1 เครื่องโทรพิมพ์

เนื่องจากการสื่อสารกันด้วยโทรเลขค่อนข้างยุ่งยากและต้องใช้ผู้ที่ชำนาญเป็นอย่างมากและใช้เวลาฝึกฝนเป็นเวลานานจึงจะสามารถรับหรือส่งข้อความต่างๆได้ เนื่องจากผู้รับหรือผู้ส่งจะต้องจำรหัสให้ได้ทุกตัวตั้งแต่ ก ไก่ จนถึง ฮ นกฮูก และสระทุกตัว หรือถึงแม้เจ้าหน้าที่บางคนจะจำรหัสได้ทุกตัว แต่บางคนก็ไม่สามารถรับข้อความได้ เนื่องจากสัญญาณเหล่านี้จะมาอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ถ้าไม่ชำนาญจะไม่สามารถรับข้อความเหล่านี้ได้ ต่อมาเมื่อวิทยาการก้าวหน้าขึ้น ได้มีการประดิษฐ์เครื่องโทรพิมพ์เพื่อทำหน้าที่ในการส่งและรับโทรเลขแทนคนเครื่องโทรพิมพ์นี้ก็ใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกับโทรเลขแต่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องจำรหัสตัวอักษรต่างๆ ในการส่งโทรเลขด้วยเครื่องโทรพิมพ์ ผู้ส่งก็เพียงแต่พิมพ์ตัวอักษรที่ต้องการส่งลงไปในเครื่องโทรพิมพ์ เครื่องโทรพิมพ์ก็จะเจาะรูบนแถบกระดาษให้เป็นรหัสมอร์ส ในการส่งโทรเลขด้วยเครื่องโทรพิมพ์ก็เพียงแต่นำแถบกระดาษที่เจาะรูแล้วไปป้อนให้กับเครื่องส่งโทรพิมพ์ เครื่องส่งโทรพิมพ์ก็จะส่งเป็นสัญญาณโทรเลขออกไปเครื่องพิมพ์โทรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แถบรหัสมอร์ส

รูปที่ 2.2 เครื่องโทรพิมพ์

2.1.2 วิวัฒนาการของระบบสื่อสาร

การสื่อสารถือเป็นส่วนสำคัญในการติดต่อข่าวสารถึงกัน การพัฒนาทางด้านการสื่อสารขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการส่งข่าวสารมากขึ้น ติดต่อสื่อสารได้ไกลมากขึ้น สิ่งที่นักวิทยาศาสตร์สนใจในจุดเริ่มต้นของการสื่อสารคือตั้งความมุ่งหมายที่จะกระจายข่าวสารจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดอื่นๆ ที่อยู่ไกลได้อย่างรวดเร็ว และแผ่กว้างออก การสื่อสารด้วยสัญญาณไฟฟ้าเป็นการสื่อสารที่สามารถพัฒนาได้อย่างกว้างขวาง มีนักวิทยาศาสตร์หลายต่อหลายคนได้คิดค้นพัฒนาระบบสื่อสารด้วยสัญญาณไฟฟ้าต่อเนื่องเรื่อยมาจากอดีตจนถึงปัจจุบัน กล่าวได้สรุปดังนี้

พ.ศ. 2375 แซมมวลมอร์ส (Samuel F.B. Morse) ได้ประดิษฐ์โทรเลขขึ้นมา โดยใช้จุด (Dots) และขีด (Dashes) เป็นรหัสในการส่งข่าวสาร จนถึงวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2386 แซมมวลมอร์สได้รับอนุญาตจากรัฐสภาอเมริกา ให้ติดตั้งเสาโทรเลขระหว่างวอชิงตันกับบัลติมอร์เพื่อใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่า “What hath God wrought” (อะไรต่างๆ เป็นสิ่งที่พระเจ้าสร้างขึ้น) จากวอชิงตันไปบัลติมอร์ เป็นการเปิดทำการสื่อสารและขยายเครือเพิ่มขึ้นมากมาย

พ.ศ. 2419 อเล็กซานเดอร์ เกรแฮมเบลล์ (Alexander Graham Bell) และผู้ช่วยของเขา โทมัส เอ วัตสัน (Thomas A. Watson) ได้ประดิษฐ์โทรศัพท์ขึ้นมาเมื่อวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2419 ขณะที่เบลล์อยู่ในบ้านและวัตสันอยู่บนเตียงนอนอีกห้องหนึ่งพร้อมหูฟังอันหนึ่ง เบลได้ทำถ้วยบรรจุน้ำกรดสำหรับใส่แบตเตอรี่หกรดเสื้อ เบลล์ได้ใช้คำพูดประวัติศาสตร์ว่า “ Mr. Watson come hear I want you” (คุณวัตสันโปรดมาที่นี่ผมต้องการคุณ) จากเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้ วัตสันได้ยินเสียงพูดของเบลล์อย่างชัดเจน โทรศัพท์ที่เบลล์ประดิษฐ์ขึ้นในการทดลองครั้งนี้ยังไม่เหมาะสมในการใช้งานจริง จนกระทั่งปี พ.ศ. 2420 บริษัทเวสเทรินยูเนียน (Western Union Company) ได้ให้บริการโทรศัพท์คู่สายแรกระหว่างซัมเมอร์วิลลีกับบอสตัน และได้มีการเปิดชุมสายโทรศัพท์ขึ้นบริการเป็นครั้งแรกที่นิวฮาเวน หลังจากนั้นโทรศัพท์ก็แพร่หลายขึ้นอย่างรวดเร็ว

การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุมีนักวิทยาศาสตร์ 3 ท่านได้ชื่อว่าเป็นผู้เริ่มต้น ได้ชื่อว่าเป็นผู้เริ่มต้นในการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุคือ เจนส์ ซี แมกเวลล์ (James C. Maxwell) ในปี พ.ศ. 2407 ได้นำเอาทฤษฎีและสมมติฐานของไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) โจเซฟ เฮนรี่ (Joseph Henry) และ ฮาน คริสเตียน เออสเตด (Hans Cristian Oersted) มารวมกันเข้าเป็นพื้นฐานเบื้องต้นของหลักการวิทยุ และยังพบการแพร่กระจายคลื่นของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถเดินทางไปในอากาศและสูญญากาศได้ความเร็วแสงคือ 3 x 108 เมตรต่อวินาที ไฮน์ริช เฮิรตซ์ (Heinrich Hertz) ในปี พ.ศ. 2423 ได้นำเอาทฤษฎีของแมกเวลล์มาทำการทดลองโดยการสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวงจรออสซิลเลเตอร์ ที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (C) และตัวเหนี่ยวนำ (L) เพื่อทำการรับและส่งคลื่นวิทยุเฮิรตซ์และสามารถวัดความยาวคลื่น (l) และความถี่ช่องคลื่น (¦) ที่กำเนิดขึ้นมา ทำให้นำมาคำนวณความเร็ว (V) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

กูกลิเอลโม มาโคนี (Guglielmo Marconi) ในปีพ.ศ. 2438 ได้ประดิษฐ์ระบบสื่อสารแบบโทรเลขไร้สายชุดแรกขึ้นมาสามารถส่งข่าวสารได้ไกลถึงประมาณ 3.2 กม. ต่อมาปี พ.ศ. 2442 ได้มีการส่งวิทยุโทรเลขข้ามช่องแคบอังกฤษเป็นครั้งแรกไปยังอาณานิคม และในวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ.2444 มาโคนีได้ส่งรหัสมอร์สโดยใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวพาสัญญาณไป ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกจากคอร์นเวลล์ประเทศอังกฤษไปยังเซนต์จอห์น ประเทศสหรัฐอเมริกา ประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรก

ปี พ.ศ. 2448 เซอร์ แอมโบรส เฟรมมิง (Sir Ambrose Fleming) ได้สร้างหลอดอิเล็กตรอนไดโอดสำเร็จ สามารถใช้จับคลื่นวิทยุความถี่สูงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี พ. ศ. 2450 ลี เดอ ฟอเรส (Lee De Forest) ได้ประดิษฐ์หลอดสูญญากาศ (Vacuum Tube) ชนิดหลอดไทรโอด (Triode) ขึ้นมา สามารถใช้ขยายสัญญาณคลื่นวิทยุและคลื่นเสียงได้ใช้ในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโทรเลข

ปี พ.ศ. 2460 ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีกลุ่มบุคคลวิทยุสมัครเล่นทดลองเปลี่ยนสัญญาณสื่อสารจากจุดและขีด มาใช้เป็นสัญญาณเสียงพูดผ่านสายอากาศไป และประดิษฐ์เครื่องรับเพื่อช่วยในการกระจายเสียงให้ดังมากขึ้น

วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2463 ได้เปิดการสื่อสารทางไกลในทางการค้า โดยใช้การสื่อสารทางวิทยุระหว่างสหรัฐอเมริกากับต่างประเทศ ข่าวชิ้นแรกที่ส่งข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกเป็นการส่งสารระหว่างนิวยอร์คกับลอนดอน ปลายปี พ.ศ. 2463 บริการทางด้านสื่อสารมีขึ้นในอังกฤษ ฝรั่งเศส นอร์เวย์ ฮาวาย ญี่ปุ่น และเยอรมัน

ปี พ.ศ. 2446 มีการเปิดสถานีวิทยุกระจายเสียงหลายสถานี เช่น WSZ, KYW, WGY แล WEAF เป็นต้น ให้บริการข่าวสารต่างๆ มีการโฆษณาสินค้า มีการออกอากาศการแข่งขันกีฬา และมีการหาเสียงเลือกตั้งของสหรัฐอเมริกา

ปี พ.ศ. 2468 ได้มีการวิจัยทางด้านโทรทัศน์ในห้องทดลอง ต่อมาปี พ.ศ. 2471 สถานี W2 X BS ในนิวยอร์ค ให้บริษัท RCA จัดตั้งเครื่องส่งโทรทัศน์ โดยใช้ไอโอโนสโคป (Iconoscope) เป็นกล้องโทรทัศน์และปรับปรุงแก้ไขเป็นกล้องแบบใช้ไคนสโคป (Kinescope) ต่อมาปี พ.ศ.2474 สถานีโทรทัศน์ได้ถูกตั้งขึ้นที่ตึกเอ็มไพร์สเตท โดยสถานี RCA – NBC ทำการทดลองส่งเป็นครั้งแรกเมื่อเดือนกรกฎาคม

ปี พ.ศ. 2475 สถานี RCA ทำการส่งโทรทัศน์ด้วยขนาดเส้นภาพ 120 เส้น ส่งออกอากาศโดยใช้คลื่นวิทยุ มีการทดลองส่งภาพออกอากาศแบบใหม่ด้วยวิธีอัตโนมัติปี พ.ศ. 2497 FCC ได้อนุญาตการส่งโทรทัศน์แบบการค้า มีสถานี NBC ในกรุงนิวยอร์ค ส่งออกอากาศเป็นสถานีแรก ต่อมาเดือนตุลาคม พ.ศ. 2489 บริษัท RCA แสดงระบบต่างๆ ทางอิเล็กทรอนิกส์ของโทรทัศน์สี มีการปรับปรุงแก้ไขระบบโทรทัศน์สีเรื่อยมา จนกระทั่งถึง พ.ศ. 2492 บริษัท RCA สามารถปรับปรุงระบบการทำงานของโทรทัศน์สีให้สอดคล้องกับโทรทัศน์ขาวดำ โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงเครื่องโทรทัศน์ขาวดำ เครื่องรับโทรทัศน์ขาวดำสามารถรับรายการของโทรทัศน์สีได้

ปี พ.ศ. 2497 บริษัทโซนี่ได้เสนอเครื่องรับวิทยุแบบทรานซิสเตอร์เครื่องแรกออกมาให้คนรู้จักและเป็นที่นิยมแพร่หลายเรื่อยมา

ปี พ.ศ. 2500 รัสเซียส่งดาวเทียมดวงแรกชื่อสปุตนิก (Sputnik) ขึ้นสู่อวกาศ หลังจากนั้นก็มีดาวเทียมถูกส่งขึ้นสู่อากาศอีกจำนวนมากเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 ดาวเทียมสื่อสาร

ปี พ.ศ. 2503 บริษัท AT & T ติดตั้งระบบชุมสายโทรทัศน์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นครั้งแรกและพัฒนาระบบสื่อสารเป็นระบบเครือข่ายบริการสื่อสารร่วมแบบดิจิตอลหรือ ISDN (Integrated Service Digital Network)

ปี พ.ศ. 2512 เริ่มมีการพัฒนาอินเทอร์เน็ตใช้ในการสื่อสารข้อมูลต่างๆ

ปี พ.ศ. 2524 บริษัท ฮาเยส (Hayes) ได้เสนอโมเด็ม (Modem) ความเร็ว 300 บิตต่อวินาที (Kbps) ออกสู่ตลาด ส่วนบริษัท IBM ได้เสนอเครื่องคอมคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และมีการเริ่มให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ในสวีเดน

ปี พ.ศ. 2535 มีการกำเนิดเวิลด์ ไวด์ เวป หรือ WWW. (Word Wide Web) ใช้เชื่อมโยงอินเทอร์เน็ตทั่วโลก

ปี พ.ศ. 2539 บริษัทร็อกเวลล์ (Rockwell) เสนอโมเด็มความเร็ว 56 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) ออกสู่ตลาด

ปี พ.ศ. 2544 เริ่มให้บริการระบบโทรคมนาคมเคลื่อนที่ยุคที่ 3 หรือ 3G (3rd Generation) เพื่อให้สถานีเคลื่อนที่ใดๆ มีมาตรฐานเดียวกันสามารถใช้ได้ทั่วโลกมีความต้องการที่จะให้มีการรับส่งข้อมูลที่เร็วขึ้นเพียงพอกับการใช้งานมัลติมีเดีย (Multimedia) โดยคุณภาพทัดเทียมกับระบบโทรคมนาคมมีสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 วิวัฒนาการของเส้นใยนำแสง

การสื่อสารทางแสง เริ่มต้นใน ปี พ.ศ. 2164 วิลเลบรอรีด สเนลล์ (Willebroed Snell) ได้คิดค้นสูตรการคำนวณการหักเหของแสง รู้จักกันดีในชื่อของสเนลล์ (Snell's Law) ซึ่งใช้ในการอธิบายการหักเหของแสงที่เกิดขึ้นตรงรอยต่อของตัวกลาง 2 ชนิด

ปี พ.ศ. 2473 วิลลิส แลมป์ (Willis Lamb) ค้นพบว่าเส้นใยแสง สามารถนำแสงได้ระยะทางไกลๆ โดยที่แสงจะเคลื่อนที่อยู่เฉพาะเส้นใยแสง และยังสามารถวิ่งเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งได้ตามการโค้งงอของเส้นใยแสง

ปี พ.ศ. 2494 นักวิจัยกลุ่มหนึ่งในประเทศสหรัฐอมเริกาได้ทดสอบการส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง พบว่าเส้นใยแสงหลายๆ เส้นที่นำมามัดรวมกันสามารถส่งสัญญาณภาพได้ นิยมนำไปใช้ในการดูภาพของวัตถุที่บริเวณมุมอับต่างๆ เช่นในร่างกายมนุษย์ จุดโค้งงอในท่อ และบริเวณจุดแคบๆ ที่มองไม่เห็น เป็นต้น

ปี พ.ศ. 2496 นารินเดอร์ ชิง คาปานี (Nnarinder Singh Kapany) ได้พัฒนาเส้นใยแสงชนิดใหม่มีประสิทธิภาพการนำแสงได้ดีกว่าเดิมมาก เป็นเส้นใยแสงมี 2 ชั้น คือชั้นในเรียกว่าคอร์ ทำหน้าที่นำแสง ชั้นนอกเรียกว่าแคลดดิง ห่อหุ้มคอร์โดยรอบ

ปี พ.ศ. 2505 ทีโอดอร์ เมนแนน (Theadore Mainan) ประดิษฐ์เลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เป็นการกำเนิดแสงที่เหมาะสมกับการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง

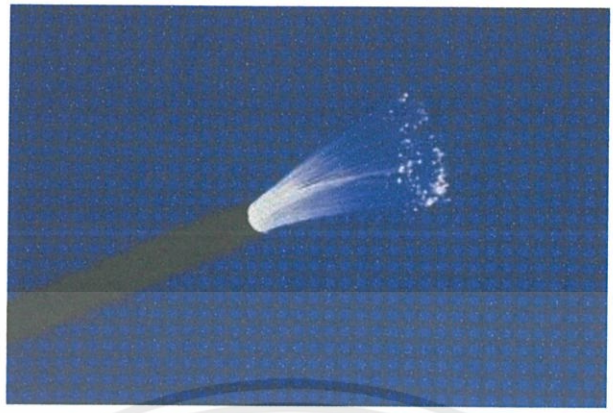
ปี พ.ศ. 2509 ชาร์เลส คาวและชาร์เลส ฮอคแมน (Charles Kao & Charles Hockman) ได้เสนอว่าระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสง น่าจะเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารทางไกล เช่น ระหว่างเมือง ระหว่างประเทศ และระหว่างทวีป เป็นปี พ.ศ. 2513 โรเบอร์ต มัวเรอร์ (Robert Maurer) และคณะวิจัยของบริษัทคอร์นิง แกลส (Corning Glass Company) ได้ผลิตเส้นใยแสงที่มีการดูดกลืนแสงต่ำ ทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงไปได้ระยะหลายกิโลเมตร

ปี พ.ศ. 2523 บริษัท AT&T ได้เริ่มติดตั้งระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแสงเชื่อมต่อระหว่างเมืองบอสตัน รัฐแมสซาชูเซ็ตส์กับเมืองริชมอนด์ รัฐเวอร์จิเนีย

ปี พ.ศ. 2525 บริษัทคอร์นิง แกลส ได้เริ่มผลิตเส้นใยแสงแบบโหมดเดียวเพื่อการพานิชย์ เส้นใยแสงแบบโหมดเดียวสามารถส่งผ่านข้อมูลด้วยความเร็วสูงกว่าเส้นใยแสงแบบเดิมที่มีหลายโหมดเท่าตัว

ปี พ.ศ. 2526 บริษัทต่างๆ เช่น AT&T และ MCI ได้เริ่มติดตั้งระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสงโดยใช้เส้นใยแสงแบบโหมดเดียว จนถึงปัจจุบันการสื่อสารผ่านเส้นใยแสงมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นและเส้นใยแสงถูกนำไปใช้ในระบบสื่อสารอย่างกว้างขวางมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เส้นใยนำแสง

2.1.4 การใช้งานของการสื่อสารโทรคมนาคม

การใช้งานของการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Communications) จะถูกขยายเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนของการสื่อสาร เช่นการเชื่อมโยงระหว่างศูนย์ควบคุมคอมพิวเตอร์ กลไกบอกข่าวอัตโนมัติ วิทยุโทรศัพท์ และสื่อสารดาวเทียม เป็นต้น ชนิดของการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์แบ่งออกได้ตามลักษณะการติดต่อถึงกันได้หลายลักษณะดังนี้

1. ระหว่างบุคคลถึงบุคคล (Person to Person) ข่าวสารและข้อมูลถูกส่งติดต่อกันโดย สัญญาณเสียงปกติใช้โทรศัพท์หรือวิทยุ ถูกเรียกว่าการสื่อสารด้วยเสียง (Voice Communication) การติดต่อถึงกันทำได้โดยเชื่อมต่อเลขหมายไปยังปลายทาง และสามารถพูดคุยสนทนากันได้ที่หน้าเครื่องของตัวเอง สามารถแลกเปลี่ยนข่าวสารกันได้ 2 ทาง ด้วยการพูดสนทนาหรือพิมพ์ข้อมูลส่งไปให้ผู้รับอ่าน

2. ระหว่างคอมพิวเตอร์ถึงอุปกรณ์ที่อยู่รอบนอก (Computer System to Peripheral Device) ในระบบนี้ระบบคอมพิวเตอร์เป็นตัวส่งข้อมูลโดยการรายงานส่งไปยังเครื่องพิมพ์ ซึ่งเป็นการติดต่อกันตามปกติโดยตรงถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ ข่าวสารต่างๆ เป็นข้อมูลสำหรับเครื่องพิมพ์และความต้องการสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์สามารถหาข้อมูลและอ่านข้อมูลสำหรับการพิมพ์ก่อน

3. ระหว่างคอมพิวเตอร์ถึงคอมพิวเตอร์ (Computer to Computer) ตัวอย่างเช่นในปัจจุบันมีการใช้คอมพิวเตอร์ทำเป็นหนังสือพิมพ์นานาชาติ คอมพิวเตอร์สำนักงานหลักถูกใช้เป็นทางเข้าของบทความ ใช้แก้ไขและเตรียมการออกแบบแต่ละหน้าของหนังสือพิมพ์ การพิมพ์ทำได้ง่ายในเมือง มีความแน่นอนในการจัดส่งให้ผู้อ่านในทุกๆ เช้าถัดไป คอมพิวเตอร์สำนักงานหลักจะจัดส่งสารบัญของหนังสือพิมพ์ไปให้คอมพิวเตอร์ท้องถิ่นทุกๆ แห่งโดยพิมพ์แสดงไว้ การใช้งานถูกกำเนิดขึ้นมาจากการสร้างอย่างแน่นอนในแต่ละหน้าของหนังสือพิมพ์จากสำนักงานหลัก การสร้างใหม่ทุกครั้งถูกทำขึ้นโดย

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิมพ์เก็บไว้ในบริเวณที่กำหนดเครื่องคอมพิมเตอร์จะส่งข้อมูลออกไป หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่สามารถหาข้อมูลให้ได้ในระหว่างการพิมพ์

4. ระบบกระจาย (Distributed Systems) เป็นระบบที่ใช้งานเฉพาะงาน มีกล่องข้อมูลที่ฉลาดสามารถจัดการเบื้องต้นกับข่าวสาร กล่องข้อมูลนี้จะส่งข่าวสารที่สำคัญไปที่คอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง กล่องข้อมูลที่ฉลาดนี้ถูกเรียกว่า โลคอล ฟรอนต์เอนด์ (Local Front End) หรือตัวควบคุม (Controllers) เพราะว่ากล่องข้อมูลนี้อยู่ใกล้แหล่งข้อมูลตัวอย่างการสื่อสารระบบกระจาย

5. การสื่อสารภายในคอมพิวเตอร์ (Intracomputer Communication) การสื่อสารลักษณะนี้มีความจำเป็นมากในการส่งผ่านข้อมูล จากส่วนหนึ่งของระบบไปยังส่วนอื่นๆ หรือแม้ภายในโครงสร้างเดียวกัน บ่อยครั้งทีเดียวที่นักออกแบบระบบจะแบ่งระบบทั้งหมดออกเป็น ส่วนย่อยๆ ด้วยวงจรถึงส่วนประกอบของวงจรประยุกต์ทั้งหมด ระบบย่อยต่างๆ ต้องการส่งผ่านข้อมูลในระหว่างตัวเอง

2.1.5 องค์ประกอบของการสื่อสาร

หลักการเบื้องต้นของระบบสื่อสารที่ปลายด้านหนึ่งหรือด้านผู้ส่งข่าวสาร อาจเป็นได้ทั้งบุคคล คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์อื่นๆ ข่าวสารถูกส่งไปให้เครื่องส่งคอมพิวเตอร์ถูกออกแบบให้ส่งผ่านข่าวสาร หรืออาจเป็นวงจรเบื้องต้นบางชนิดภายในระบบ ข่าวสารส่งออกไปในระบบสื่อสารโดยการเชื่อมต่อไปยังปลายทางจากผู้ส่งไปยังผู้รับ ที่ปลายด้านรับมีอุปกรณ์ที่รับข่าวสารแยกออกจากการเชื่อมต่อและส่งผ่านข่าวสารไปยังผู้ใช้ เป็นได้ทั้งบุคคล คอมพิวเตอร์ หรือส่วนประกอบอื่นๆของวงจร การออกแบบที่ถูกต้องและการทำหน้าที่ของระบบสื่อสารจำต้องรวบรวมส่วนประกอบของข่าวสารทั้งหมดจากการส่งผ่านเตรื่องส่ง ผ่านระบบเชื่อมต่อ เข้ากับอุปกรณ์เครื่องรับและส่งถึงผู้รับข่าวสาร ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

1. ผู้ส่งข้อมูล (Sender) สิ่งที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูล ไปยังจุดหมายที่ต้องการ

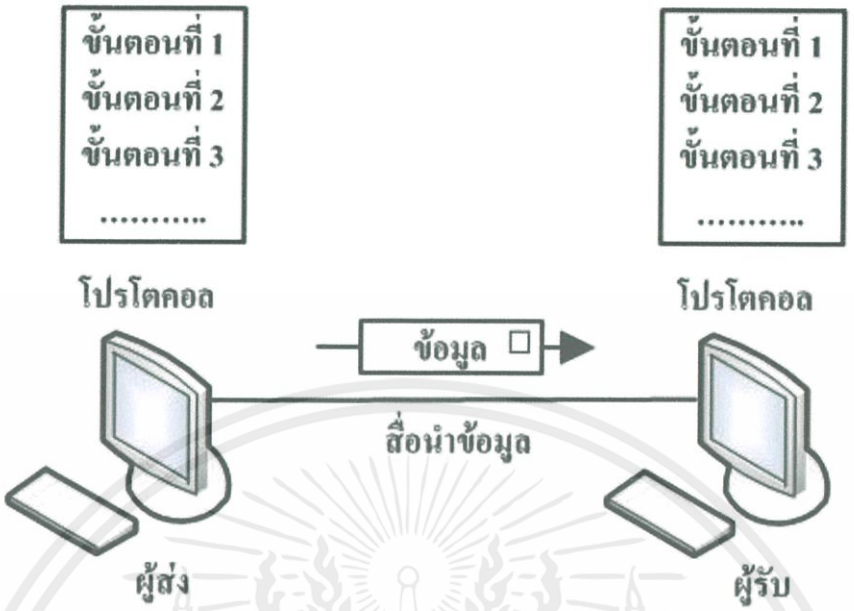
2. ผู้รับข้อมูล (Receiver) คือ สิ่งที่ทำหน้าที่รับข้อมูลที่ถูกส่งมาให้

3. ข้อมูล (Data) คือ ข้อมูลที่ผู้ส่งข้อมูลต้องการส่งไปยังผู้รับข้อมูล ข้อมูลอาจอยู่ในรูปของข้อความ เสียง ภาพเคลื่อนไหว และอื่นๆ

4. สื่อนำข้อมูล (Medium) คือ สิ่งที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการขนถ่ายข้อมูลจากผู้ส่งข้อมูลไปยังผู้รับข้อมูล

5. โปรโตคอล (Protocol) คือ กฎหรือวิธีที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อการสื่อสารข้อมูลซึ่งผู้ส่งข้อมูลจะต้องส่งข้อมูลในรูปแบบตามวิธีการสื่อสารที่ตกลงไว้กับผู้รับข้อมูล จึงจะสามารถสื่อสารข้อมูลกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง ทำซ้ำ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของการสื่อสาร

2.1.6 ชนิดของสัญญาณข้อมูล

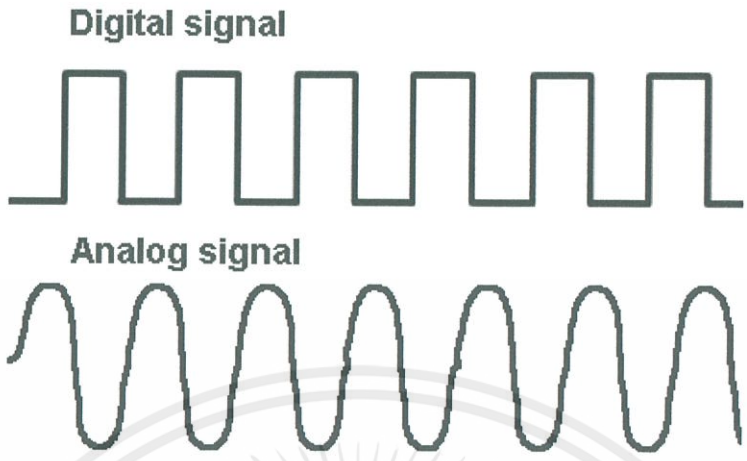
2.1.6.1 สัญญาณอนาล็อก

สัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณแบบต่อเนื่อง มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine Wave) โดยที่แต่ละคลื่นจะมีความถี่และความเข้มของสัญญาณที่ต่างกัน เมื่อนำสัญญาณข้อมูลเหล่านี้มาผ่านอุปกรณ์รับสัญญาณและแปลงสัญญาณก็จะได้ข้อมูลที่ต้องการได้ ตัวอย่าง คือ การส่งข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์ เฮิรตซ์ (Hz) คือ หน่วยวัดความถี่ของสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อกวิธีวัดความถี่จะนับจำนวนรอบของสัญญาณที่เกิดขึ้นภายใน 1 วินาที เช่น สัญญาณข้อมูลที่มีความถี่ 60 Hz หมายถึง 1 วินาทีสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ 60 รอบ (ขึ้นและลงนับเป็น 1 รอบ)

2.1.6.2 สัญญาณดิจิตอล

สัญญาณดิจิตอล เป็นสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง รูปแบบของสัญญาณมีความเปลี่ยนแปลงที่ไม่ปะติดต่ออย่างสัญญาณอนาล็อกในการสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิตอล ข้อมูลในคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นเลขฐานสอง (0และ1) จะถูกแทนสัญญาณดิจิตอล เป็นวิธีแทนบิตข้อมูล 0 ด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นกลางและบิตข้อมูล 1 ด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นบวก Bit Rate เป็นอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลแบบดิจิตอล วิธีวัดความเร็วจะนับจำนวนบิตข้อมูลที่ส่งได้ในช่วงระยะเวลา 1 วินาที เช่น 14,400 bps หมายถึง มีความเร็วในการส่งข้อมูลจำนวน14,400 บิตในระยะเวลา 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



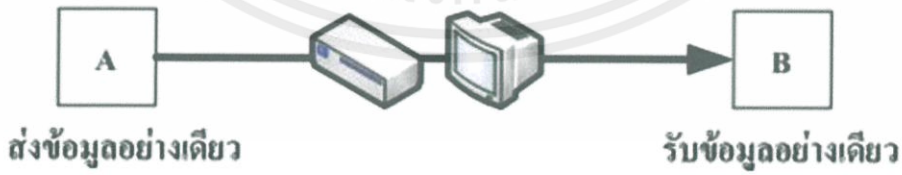
รูปที่ 2.6 รูปสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล

2.1.7 ทิศทางการสื่อสาร

ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างผู้ส่งและผู้รับนั้น จะทำได้ 3 วิธีด้วยกันคือ

2.1.7.1 สื่อสารแบบทางเดียว (Simplex)

สื่อสารแบบทางเดียว โครงสร้างประกอบด้วย เครื่องส่งหนึ่งเครื่องและเครื่องรับหนึ่งเครื่อง ตัวอย่างการเชื่อมต่อแบบทางเดียว เช่น ระบบเคเบิลทีวี (TV Cable System) โดยการส่งภาพไปยังจอโทรทัศน์ซึ่งถูกส่งมาจากห้องส่งของระบบส่งไปยังแต่ละบ้านผู้เช่าด้วยสายเคเบิล ตัวอย่างอื่นๆ เช่น ระบบส่งเสียงตามสาย (Public Address System) ข่าวสารสามารถกระจายไปยังส่วนต่างๆ ครอบคลุมพื้นที่ หรือการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ในรูปข้อความไปให้เครื่องพิมพ์พิมพ์ข้อความออกมา มีทิศทางการทำงานในทิศทางเดียว เป็นต้น



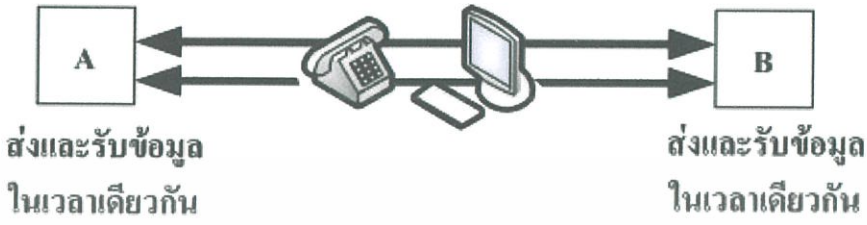
รูปที่ 2.7 สื่อสารแบบทางเดียว (Simplex)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7.2 สื่อสารแบบสองทิศทาง (Full-Duplex)

เป็นการส่งข้อมูลเชื่อมต่อถึงกันได้ในสองทิศทางพร้อมๆกันในแต่ละปลายทางประกอบด้วยเครื่องส่งและเครื่องรับและสามารถใช้งานได้พร้อมกัน ตัวอย่างการเชื่อมต่อสองทิศทางเช่นระบบ

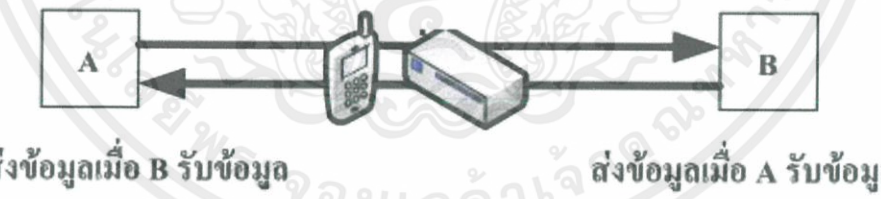
โทรศัพท์ คู่สนทนาทั้งสองสามารถพูดคุยกันได้พร้อมกันในเวลาเดียวกันถ้าต้องการ ไม่ได้เสมอไปที่ระบบสื่อสารสองทิศทางต้องการวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อที่สามารถเข้าใจและสนทนากันได้พร้อมกัน



รูปที่ 2.8 สื่อสารแบบสองทิศทาง (Full-Duplex)

2.1.7.3 สื่อสารแบบทางใดทางหนึ่ง (Half-Duplex)

การเชื่อมต่อแบบแบบทางใดทางหนึ่งนั้นปลายแต่ละด้านสามารถรับส่งได้ แต่ต้องเป็นด้านใดด้านหนึ่งในเวลานั้น ที่ปลายทั้งสองด้านสามารถส่งหรือรับข่าวสารได้เหมือนกัน โดยการเชื่อมต่อระหว่างปลายทั้งสองต้องแบ่งเวลากัน การเชื่อมต่อเพื่อสื่อสารถึงกันไม่สามารถส่งพร้อมกันหรือรับพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน การจะทำได้พร้อมกันโดยปลายด้านหนึ่งเป็นตัวส่ง ปลายด้านหนึ่งต้องเป็นตัวรับ มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานช่วยทำหน้าที่ในการทำงานตัวอย่างการเชื่อมต่อการสื่อสารแบบทางใดทางหนึ่ง เช่นวิทยุสื่อสารย่านประชาชนหรือ CB (CitizensBand) หรือวิทยุสมัครเล่น(Radio Amateur) ช่องความถี่ถูกแบ่งออกเป็นช่องๆ การติดต่อสื่อสารถึงกันต้องปรับช่องความถี่ให้ตรงกัน การพูดคุยกันจะมีสวิตช์เป็นตัวปรับเปลี่ยนสภาวะการส่งหรือรับ



รูปที่ 2.9 สื่อสารแบบทางใดทางหนึ่ง (Half-Duplex)

2.1.8 ตัวกลางการสื่อสาร

ตัวกลางการสื่อสาร เป็นสื่อที่ใช้ต่อเชื่อมการสื่อสารระหว่างผู้ส่งและผู้รับข้อมูล ตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

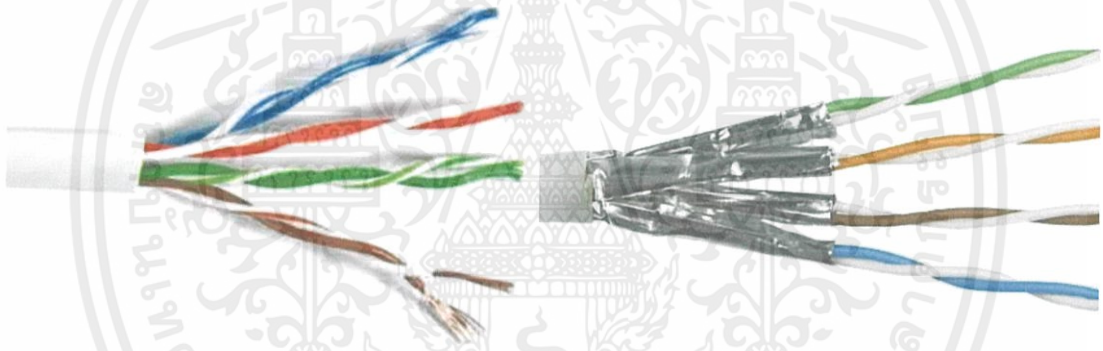
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8.1 สื่อนำข้อมูลแบบมีสาย (Wired Media)

สื่อนำข้อมูลแบบมีสายที่นิยมใช้กันมี 3 ชนิด

1) สายคู่ตีเกลียว (Twisted-Pair Cable)

สายคู่บิดเกลียว เป็นสายสัญญาณนำข้อมูลไฟฟ้า สายแต่ละเส้นมีลักษณะคล้ายสายไฟทั่วไป จำนวนสายจะมีเป็นคู่ เช่น 2, 4 หรือ 6 เส้น แต่ละคู่จะมีการพันบิดกันเป็นเกลียว การบิดเกลียวนี้จะช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูล ทำให้ส่งข้อมูลได้ไกลกว่าปกติ และยังมีความถี่ในการส่งข้อมูลประมาณ 100 Hz ถึง 5 MHz อีกทั้งคุณภาพของสายชนิดนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของการพันกันด้วย ยิ่งสายมีการพันกันถี่มากเท่าไหร่ คุณภาพของการส่งข้อมูลก็จะดีขึ้นเท่านั้น ลักษณะของสายสัญญาณชนิดนี้มี 2 ลักษณะ คือ สายคู่บิดเกลียวแบบไม่มีชั้นโลหะห่อหุ้ม (Unshielded Twisted-Pair หรือ UTP) และ สายคู่บิดเกลียวแบบมีชั้นโลหะห่อหุ้ม (Shielded Twisted-Pair หรือ STP)



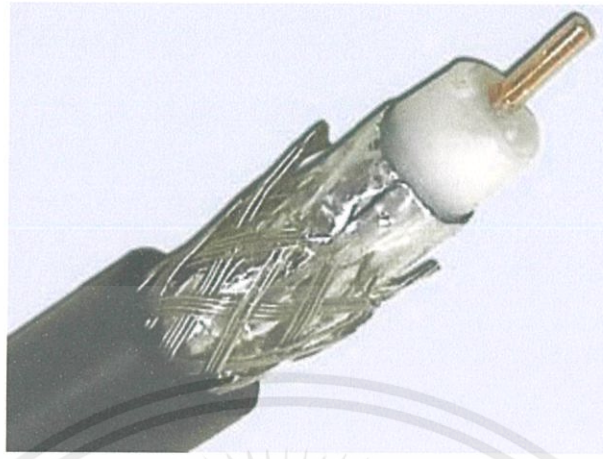
(ก) UTP (ข) STP

รูปที่ 2.10 สายคู่ตีเกลียวทั้งแบบ UTP และ STP

2) สายโคแอกเชียล (Coaxial Cable)

สายโคแอกเชียล เป็นสายสัญญาณนำข้อมูลไฟฟ้า มีความถี่ในการส่งข้อมูลประมาณ 100 MHz ถึง 500 MHz สายโคแอกเชียลมีความเร็วในการส่งข้อมูลและราคาสูงกว่าสายคู่บิดเกลียว ลักษณะของสายโคแอกเชียลเป็นสายนำสัญญาณที่มีฉนวนหุ้มเป็นชั้นๆ หลายชั้นสลับกับตัวนำโลหะ ตัวนำโลหะชั้นในทำหน้าที่ส่งสัญญาณ ส่วนตัวนำโลหะชั้นนอกทำหน้าที่เป็นสายดิน และเป็นเกราะป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก ทำให้สัญญาณรบกวนตัวนำชั้นในน้อย จึงส่งข้อมูลได้ในระยะไกล

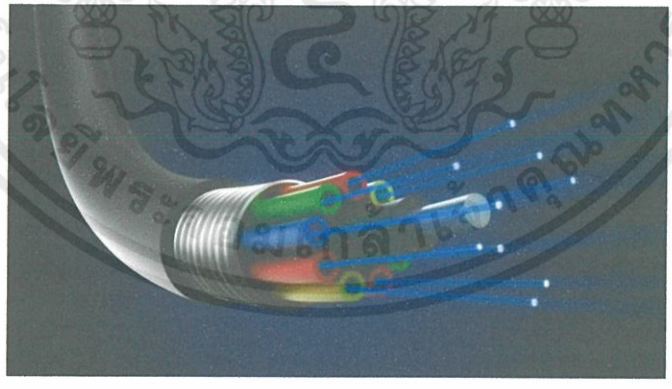
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 สายโคแอกเชียล

3) สายไฟเบอร์ออปติก (Fiber Optic Cable)

สายสัญญาณทำจากใยแก้วหรือสารนำแสงห่อหุ้มด้วยวัสดุป้องกันแสง มีความเร็วในการส่งสูงเท่ากับความเร็วแสง สามารถใช้ในการส่งข้อมูลที่มีความถี่สูงได้ สัญญาณที่ส่งผ่านสายใยแก้วนำแสงคือแสง และสัญญาณรบกวนจากภายนอกมีเพียงอย่างเดียว คือแสงจากภายนอก ดังนั้นสายใยแก้วนำแสงที่มีสภาพดีจะมีสัญญาณรบกวนน้อยมาก สายใยแก้วนำแสงมีราคาค่อนข้างสูงและดูแลรักษายาก จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมสำหรับการใช้งานสื่อสารทั่วๆ ไปในองค์การขนาดเล็ก หรือในการสื่อสารที่ไม่ต้องการความเร็วสูง



รูปที่ 2.12 สายไฟเบอร์ออปติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8.2 สื่อนำข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless Media)

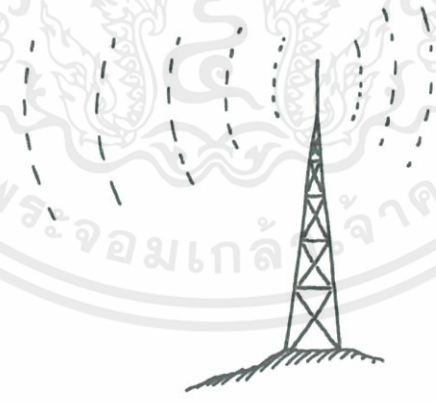
การสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย จะใช้อากาศเป็นตัวกลางของการสื่อสาร ลักษณะของการสื่อสารข้อมูลประเภทนี้เช่น

1) แสงอินฟราเรด (Infrared)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 10^{11} - 10^{14} เฮิรตซ์ หรือความยาวคลื่น 10^{-3} - 10^{-6} เมตร เรียกว่า รังสีอินฟราเรด หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คลื่นความถี่สั้น (Millimeter waves) ซึ่งจะมีย่านความถี่คาบเกี่ยวกับย่านความถี่ของคลื่นไมโครเวฟอยู่บ้าง วัตถุร้อน จะแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 10^{-4} เมตรออกมา ประสาทสัมผัสทางผิวหนังของมนุษย์สามารถรับรังสีอินฟราเรด ลำแสงอินฟราเรดเดินทางเป็นเส้นตรง ไม่สามารถผ่านวัตถุทึบแสง และสามารถสะท้อนแสงในวัสดุผิวเรียบได้เหมือนกับแสงทั่วไปใช้มากในการสื่อสาร ระยะใกล้ ตัวอย่างอุปกรณ์ที่นิยมใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลระยะใกล้นี้เช่น เมาส์ เครื่องพิมพ์ กล้องดิจิตอล เป็นต้น

2) คลื่นวิทยุ (Radio Wave)

การสื่อสารประเภทนี้จะใช้การส่งคลื่นไปในอากาศ เพื่อส่งไปยังเครื่องรับวิทยุโดยรวมกับคลื่นเสียงมีความถี่เสียงที่เป็นรูป แบบของคลื่นไฟฟ้า ดังนั้นการส่งวิทยุกระจายเสียงจึงไม่ต้องใช้สายส่งข้อมูล และยังสามารถส่งคลื่นสัญญาณไปได้ระยะไกล ซึ่งจะอยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 10^{4} - 10^{9} เฮิรตซ์ ดังนั้น เครื่องรับวิทยุจะต้องปรับช่องความถี่ให้กับคลื่นวิทยุที่ส่งมา ทำให้สามารถรับข้อมูลได้อย่างชัดเจน



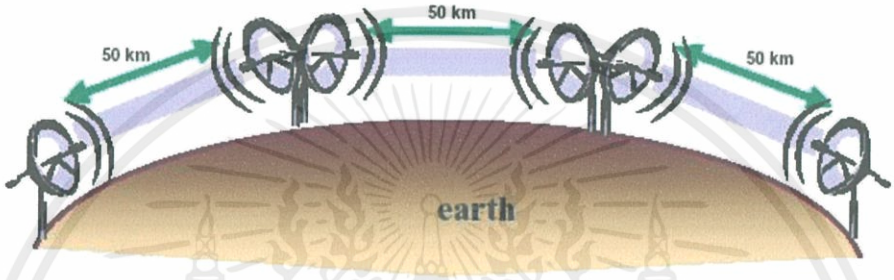
รูปที่ 2.13 การส่งแบบคลื่นวิทยุ

3) ไมโครเวฟ (Microwave)

เป็นสื่อกลางในการสื่อสารที่มีความเร็วสูง ส่งข้อมูลโดยอาศัยสัญญาณไมโครเวฟ ซึ่งเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศพร้อมกับข้อมูลที่ต้องการส่ง และจะต้องมีสถานีที่ทำหน้าที่ส่งและรับข้อมูล และเนื่องจากสัญญาณไมโครเวฟจะเดินทางเป็นเส้นตรง ไม่สามารถเลี้ยวหรือโค้งตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบโลกที่มีความโค้งได้ จึงต้องมีการตั้งสถานีรับส่งข้อมูลเป็นระยะๆ และส่งข้อมูลต่อกันเป็นทอดๆ ระหว่างสถานีต่อสถานีจนกว่าจะถึงสถานีปลายทาง ในกรณีที่ระยะทางห่างกันมาก หรือมีสิ่งกีดขวางสัญญาณ จะต้องใช้สถานีทวนสัญญาณ (Repeater Station) เพื่อส่งสัญญาณต่อเป็นช่วงๆ การสื่อสารประเภทนี้สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากได้ แต่ในบางครั้งอาจถูกสภาพแวดล้อมรบกวนได้เช่นกัน โดยเฉพาะช่วงฝนตกหรือมีพายุ จะทำให้การส่งข้อมูลทำได้ไม่ดีนัก และแต่ละสถานีจะตั้งอยู่ในที่สูง ซึ่งจะอยู่ในช่วงความถี่ 10^8 - 10^{12} เฮิรตซ์



รูปที่ 2.14 การส่งแบบคลื่นไมโครเวฟ

4) ดาวเทียม (Satellite)

ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดของสถานีรับส่งไมโครเวฟบนผิวโลกวัตถุประสงค์ในการสร้างดาวเทียมเพื่อเป็นสถานีรับส่งสัญญาณไมโครเวฟบนอวกาศ และทวนสัญญาณในแนวโคจรของโลก ในการส่งสัญญาณดาวเทียมจะต้องมีสถานีภาคพื้นดินคอยทำหน้าที่รับ และส่งสัญญาณขึ้นไปบนดาวเทียมที่โคจรอยู่สูงจากพื้นโลก 22,000 ไมล์ โดยดาวเทียมเหล่านั้น จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เท่ากับการหมุนของโลก จึงเสมือนกับดาวเทียมนั้นอยู่นิ่งอยู่กับที่ ขณะที่โลกหมุนรอบตัวเอง ทำให้การส่งสัญญาณไมโครเวฟจากสถานีหนึ่งขึ้นไปบนดาวเทียมและการกระจายสัญญาณ จากดาวเทียมลงมายังสถานีตามจุดต่างๆ บนผิวโลกเป็นไปอย่างแม่นยำ ดาวเทียมสามารถโคจรอยู่ได้ โดยอาศัยพลังงานที่ได้มาจากการเปลี่ยน พลังงานแสงอาทิตย์ ด้วย แผงโซลาร์ (solar panel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 การส่งแบบดาวเทียม

5) บลูทูธ (Bluetooth)

ระบบสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์แบบสองทาง ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) โดยปราศจากการใช้สายเคเบิล หรือ สายสัญญาณเชื่อมต่อ และไม่จำเป็นจะต้องใช้การเดินทางแบบเส้นตรงเหมือนกับอินฟราเรด ซึ่งถือว่าเพิ่มความสะดวกมากกว่าการเชื่อมต่อแบบอินฟราเรด ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือ กับอุปกรณ์ ในโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นก่อนๆ และในการวิจัย ไม่ได้มุ่งเฉพาะการส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ยังศึกษาถึงการส่งข้อมูลที่เป็นเสียง เพื่อใช้สำหรับ Headset บนโทรศัพท์มือถือด้วย เนื่องจาก เทคโนโลยี บลูทูธ มีราคาถูก ใช้พลังงานน้อย และใช้เทคโนโลยี short – range ซึ่งในอนาคต จะถูกนำมาใช้ในการพัฒนา เพื่อนำไปสู่การแทนที่อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สาย เคเบิล เช่น Headset สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น เทคโนโลยีการเชื่อมโยงหรือการสื่อสารแบบใหม่ที่ถูกคิดค้นขึ้น เป็นเทคโนโลยีของอินเตอร์เฟซทางคลื่นวิทยุ ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการสื่อสารระยะใกล้ที่ปลอดภัยผ่านช่องสัญญาณความถี่ 2.4 GHz โดยที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดของการใช้สายเคเบิลในการเชื่อมโยงโดยมีความเร็วในการเชื่อมโยงสูงสุดที่ 1 Mbps ระยะครอบคลุม 10 เมตร เทคโนโลยีการส่งคลื่นวิทยุของบลูทูธจะใช้การกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency hop) เพราะว่าเทคโนโลยีนี้เหมาะที่จะใช้กับการส่งคลื่นวิทยุที่มีกำลังส่งต่ำและราคาถูก โดยจะแบ่งออกเป็นหลายช่องความถี่ขนาดเล็ก ในระหว่างที่มีการเปลี่ยนช่องความถี่ที่ไม่แน่นอนทำให้สามารถหลีกหนีสัญญาณรบกวนที่เข้ามาแทรกแซงได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่จะได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีบลูทูธ ต้องผ่านการทดสอบจาก Bluetooth SIG (Special Interest Group) เสียก่อนเพื่อยืนยันว่ามันสามารถที่จะทำงานร่วมกับอุปกรณ์บลูทูธตัวอื่นๆ และอินเตอร์เน็ตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 การส่งแบบบลูทูธ

2.2 ระบบโทรศัพท์

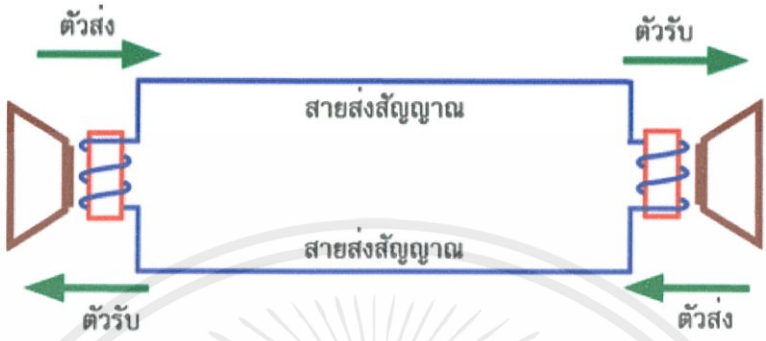
2.2.1 วิวัฒนาการของโทรศัพท์

โทรศัพท์หรือ Telephone เป็นคำมาจากภาษากรีก หมายถึง ระยะทางและการสนทนา ดังนั้นการใช้โทรศัพท์จึงเป็นการส่งสัญญาณเสียงพูดจากแห่งหนึ่งไปยังที่อีกแห่งหนึ่งที่อยู่ห่างไกลกัน ปัจจุบันมีการใช้โทรศัพท์อย่างแพร่หลาย จึงจำเป็นต้องมีชุมสายโทรศัพท์เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการต่อเชื่อมเลขหมายโทรศัพท์ที่ต้องการและควบคุมการทำงานของระบบให้ถูกต้องแม่นยำ

โทรศัพท์ได้ถูกคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นมาในปีพ.ศ.2419 โดยนักประดิษฐ์ ชื่อ ALEXANDER GRAHAM BELL หลักการของโทรศัพท์ที่ Alexander ประดิษฐ์ก็คือ ตัวส่ง (Transmitter) และตัวรับ (Receiver) ซึ่งมีโครงสร้างเหมือนลำโพงในปัจจุบัน กล่าวคือ มีแผ่น ไดอะแฟรม (Diaphragm) ติดอยู่กับขดลวด ซึ่งวางอยู่ใกล้ๆ แม่เหล็กถาวร เมื่อมีเสียงมากระทบแผ่น ไดอะแฟรม ก็จะสั่นทำให้ขดลวดสั่นหรือเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก เกิดกระแสขึ้นมา ในขดลวด กระแสไฟฟ้านี้ จะวิ่งตามสายไฟถึงตัวรับซึ่งตัวรับก็จะมีโครงสร้างเหมือนกับ ตัวส่ง เมื่อกระแสไฟฟ้ามาถึงก็จะ เข้าไปในขดลวด เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่มานี้ เป็น AC มีการเปลี่ยนแปลงขั้วบวกและลบอยู่ตลอดเวลา ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ขดลวดของ ตัวรับ สนามแม่เหล็กนี้จะไปผลัก หรือดูดกับสนามแม่เหล็กถาวรของตัวรับ แต่เนื่องจาก แม่เหล็กถาวร ที่ตัวรับนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ขดลวดและแผ่นไดอะแฟรม จึงเป็นฝ่ายที่ถูกผลักและดูดให้เคลื่อนที่ การที่ ไดอะแฟรม เคลื่อนที่ จึงเป็นการตีอากาศตามจังหวะของกระแสไฟฟ้าที่ส่งมา นั่นคือ เกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้นมาในอากาศ ทำให้ได้ยิน แต่อย่างไรก็ตาม กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากตัวส่งนี้มี ขนาดเล็กมาก ถ้าหากใช้สายส่งยาวมาก จะไม่สามารถได้ยิน เสียง

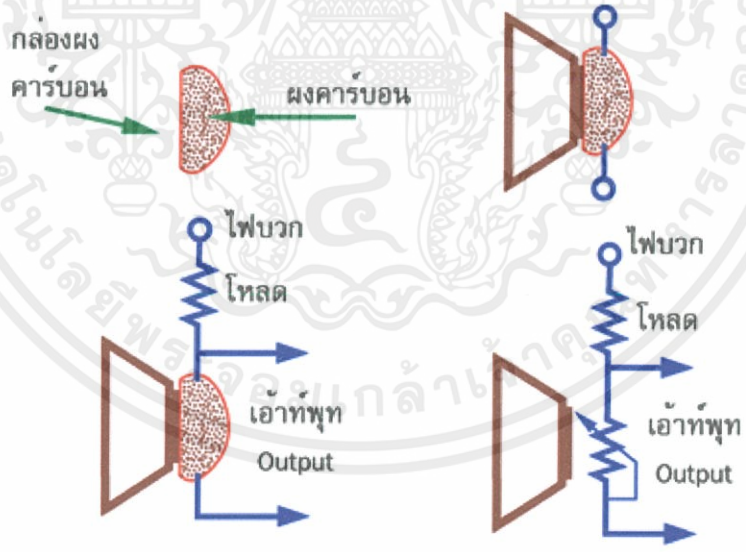
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผู้ ที่ส่งมา วิธีการของ ALEXANDER GRAHAM BELL จึงไม่ประสบผลสำเร็จเท่าใดนัก แต่ก็เป็นเครื่องต้นแบบ ให้มีการพัฒนา



รูปที่ 2.17 หลักการโทรศัพท์ของเบลล์

ต่อมาในปี พ.ศ. 2420 THOMAS ALVA EDISON ได้ประดิษฐ์ ตัวส่งขึ้นมาใหม่ให้สามารถ ส่งได้ไกล ขึ้นกว่าเดิมซึ่ง ตัวส่งที่ Edison ประดิษฐ์ขึ้นมา มีชื่อว่า คาร์บอน ทรานสมิทเตอร์ (Carbon Transmitter) คาร์บอนทรานสมิทเตอร์ ให้กระแสไฟฟ้าออกมาแรงมาก

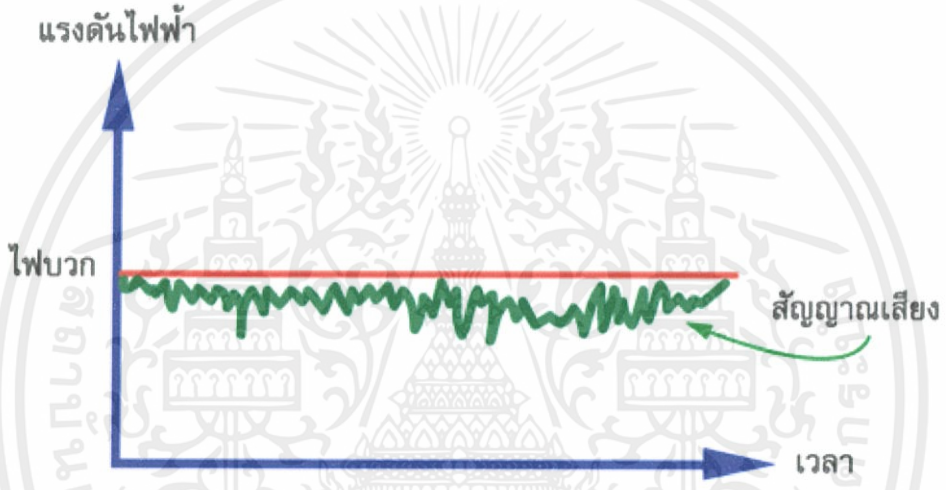


รูปที่ 2.18 ลักษณะของทรานสมิทเตอร์(Transmitter)

เนื่องจากเมื่อมีเสียงมากระทบแผ่นไดอะแฟรม แผ่นไดอะแฟรมจะไปกดผงคาร์บอน (Carbon) ทำให้ค่าความต้านทานของ ผงคาร์บอน เปลี่ยนแปลงไปตามแรงกด ดังนั้นแรงเคลื่อน ตกคร่อมผงคาร์บอนจะเปลี่ยนแปลงด้วย เนื่องจากแรงเคลื่อน ที่จ่ายให้ คาร์บอน มีค่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอสมควร การเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน จึงมีมากตามไปด้วย และการเปลี่ยนแปลงนี้ เป็นการเปลี่ยนแปลง ยอดของ DC ที่จ่ายให้คาร์บอน ซึ่งเราอาจกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ก็คือ AC ที่ขี่อยู่บนยอดของ DC ดังนั้น เมื่อ DC ไปถึงไหน AC ก็ไปถึงนั่นเช่นกัน แต่ DC มีค่าประมาณ 6-12 Volts (ค่าแรงเคลื่อนเลี้ยงสายโทรศัพท์ ขณะยกหู) ซึ่งมากพอที่จะวิ่งไปได้ระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร นั่นคือ AC ที่เป็นสัญญาณเสียงก็ไปได้เช่นกัน หลังจากนี้ ก็ได้มีการพัฒนาโทรศัพท์ขึ้นมาใช้งานมากมายหลายระบบ ตามเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าขึ้นไปเรื่อยๆ ซึ่งมีการพัฒนาทั้งระบบชุมสาย (Exchange) และ ตัวเครื่องโทรศัพท์ ใช้งานได้สะดวกสบาย และมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.19 ลักษณะของ AC ที่อยู่บนยอดของ DC

2.2.2 วิวัฒนาการของโทรศัพท์ในประเทศไทย

" ตำนานไปรษณีย์โทรเลขสยาม" พ.ศ. 2429 ถึง พ.ศ. 2468 ได้บันทึกเรื่องราวเกี่ยวกับโทรศัพท์ในประเทศไทยไว้ว่า ประเทศไทยได้นำเอาโทรศัพท์มาใช้เป็นครั้งแรก เมื่อ พ.ศ. 2424 ตรงกับรัชกาลที่ 5 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ โดยกรมกลาโหม (กระทรวงกลาโหมในปัจจุบัน) ได้สั่งเข้ามาใช้งานในกิจการเพื่อความมั่นคงแห่งชาติ โดยติดตั้งที่กรมอู่ทหารเรือกรุงเทพฯ 1 เครื่อง และป้อมยามปากน้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการอีก 1 เครื่อง รวม 2 เครื่อง เพื่อจะได้แจ้งข่าวเรือ เข้าออกในแม่น้ำเจ้าพระยาให้ทางกรุงเทพฯทราบ

ปี พ.ศ. 2429 กิจการโทรศัพท์ได้เจริญรุ่งเรืองขึ้น จำนวนเลขหมายและบุคลากร ก็เพิ่มมากขึ้น ยุ่งยากแก่การบริหารงาน ของกรมกลาโหม ดังนั้น กรมกลาโหม จึงได้โอนกิจการของโทรศัพท์ ให้ไปอยู่ใน การ ดูแลและดำเนินการ ของกรมไปรษณีย์ โทรเลข ต่อมากรมไปรษณีย์โทรเลขก็ได้ขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิจการโทรศัพท์จากภาครัฐสู่เอกชน โดยให้ ประชาชน มีโอกาสใช้โทรศัพท์ได้ ในระยะนี้เครื่องที่ใช้จะเป็น ระบบแม็กนีโต (Magneto) หรือระบบ โลคอลแบตเตอรี่ (Local Battery)

ปี พ.ศ. 2450 กรมไปรษณีย์โทรเลขได้สั่งโทรศัพท์ ระบบคอมมอนแบตเตอรี่ (Common Battery) หรือ เซ็นทรัล แบตเตอรี่ (Central Battery) มาใช้ซึ่งสะดวกและประหยัดกว่าระบบแม็กนีโตมาก

ปี พ.ศ. 2479 กรมไปรษณีย์โทรเลขได้สั่งซื้อชุมสายระบบสเต็บบายสเต็บ (Step by Step) ซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติ สามารถหมุนเลขหมายถึงกันโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านพนักงานต่อสาย (Operator) เหมือน โลคอลแบตเตอรี่ หรือ เซ็นทรัล แบตเตอรี่

ปี พ.ศ. 2497 เนื่องจากกิจการโทรศัพท์ได้เจริญก้าวหน้ามาก ประชาชนนิยมใช้ แพร่หลายไปทั่วประเทศ กิจการใหญ่ โตขึ้นมากทำให้การบริหารงานลำบากมากขึ้น เพราะกรมไปรษณีย์โทรเลขต้องดูแลเรื่องอื่นอีกมาก ดังนั้นเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2497 จึงได้มีพระบรมราชโองการโปรดเกล้าฯ ให้ตราพระราชบัญญัติตั้งองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยขึ้น โดยแยก กองช่างโทรศัพท์ กรมไปรษณีย์โทรเลขมาตั้งเป็นองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยขึ้น มีฐานะเป็นรัฐวิสาหกิจ สังกัดกระทรวง คมนาคมมาจนถึงปัจจุบัน องค์การโทรศัพท์หลังจากที่ได้รับการจัดตั้งขึ้นแล้ว ก็ได้รับโอนงานกิจการโทรศัพท์มาดูแล

ปี พ.ศ. 2517 องค์การโทรศัพท์ก็สั่งซื้อชุมสายโทรศัพท์ระบบคอสบาร์ (Cross Bar) มาใช้งาน ระบบคอสบาร์ เป็นระบบอัตโนมัติเหมือนระบบสเต็บบายสเต็บแต่ทันสมัยกว่าทำงานได้เร็วกว่า มีวงจรพูดได้มากกว่า และขนาดเล็กกว่า

ปี พ.ศ. 2526 องค์การโทรศัพท์ได้นำระบบชุมสาย SPC (Storage Program Control) มาใช้งาน ระบบ SPC เป็นระบบที่ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer) ทำงานได้รวดเร็วมาก ขนาดเล็ก กินไฟน้อย และยังให้ บริการ เสริมด้าน อื่นๆ ได้อีกด้วย

ในปัจจุบันชุมสายโทรศัพท์ที่ติดตั้งใหม่ๆ จะเป็นระบบ SPC ทั้งหมด ระบบอื่นๆ เลิกผลิตแล้ว ประเทศไทยเรากำลัง เร่งติดตั้งโทรศัพท์เพื่อให้พอใช้กับประชาชน ดังจะเห็นจากโครงการ 3 ล้านเลขหมายในแผนพัฒนา เศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 และโครงการอื่นๆ ต่อไป รวมทั้งวิทยุโทรศัพท์อีกด้วย เพื่อเสริมให้ระบบสื่อสารในประเทศไทยมีประสิทธิภาพ เอื้ออำนวย ต่อการพัฒนาประเทศให้เจริญรุ่งเรืองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 เครื่องโทรศัพท์สมัยแรกๆ

2.2.3 หลักการทำงานของโทรศัพท์

โทรศัพท์เป็นระบบสื่อสารที่ถูกพัฒนามาจากโทรเลข โดยใช้ไมโครโฟนแทนสวิตช์เคาะหรือแป้นพิมพ์ของโทรเลข ใช้ลำโพงเล็กๆ เป็นหูฟังแทนซาวเดอร์หรือกลไกพิมพ์อักษร การติดต่อสื่อสารถึงกันใช้สัญญาณเสียงส่งออกไปจากด้านส่ง แปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เดินทางไปตามสายส่งสัญญาณ ถึงด้านรับทำการแปลงกลับจากสัญญาณเสียงตามเดิมวงจรโทรศัพท์เบื้องต้น

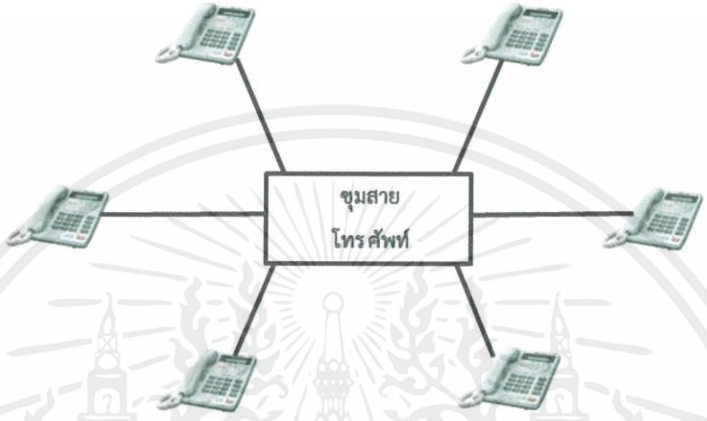
รูปที่ 2.21 วงจรโทรศัพท์เบื้องต้น

วงจรประกอบด้วยเครื่องโทรศัพท์เครื่อง A และเครื่อง B ที่ทำการโทรศัพท์ และสายส่งสัญญาณ เครื่องโทรศัพท์(Telephone Set) ประกอบด้วยเครื่องส่งอยู่ในรูปของไมโครโฟนทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เครื่องรับอยู่ในรูปของลำโพงทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณเสียง และอุปกรณ์ต่อเชื่อมระบบสื่อสาร ที่ทำการโทรศัพท์ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้า VS เลี้ยงระบบโทรศัพท์ทั้งหมด และอุปกรณ์ควบคุมระบบต่อเชื่อมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถือเป็นวงจรเบื้องต้นที่มีคู่สายโทรศัพท์เพียง 1 คู่สาย มีผู้เช่าโทรศัพท์ 1 คู่ ในการติดต่อถึงกัน การให้บริการสื่อสารโทรศัพท์ที่ใช้งานจริงจะมีจำนวนคู่สายโทรศัพท์และผู้ใช้โทรศัพท์เป็นจำนวน

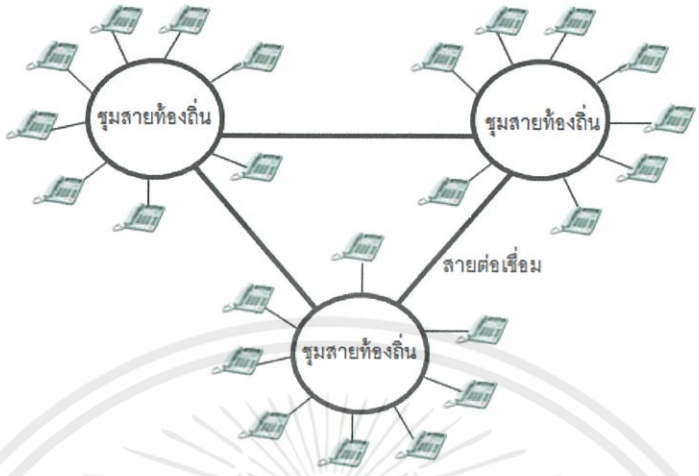
มากๆ ในการติดต่อถึง กันตามหมายเลขที่ต้องการจะมีความยุ่งยาก สับสน และวุ่นวาย การควบคุมให้ระบบการทำงานมีความถูกต้องและเกิดความสะดวกจำเป็นต้องมีชุมสายโทรศัพท์ (Telephone Exchange) ช่วยอำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อเลขหมายที่ต้องการถึงกัน ตลอดจนควบคุมการทำงานของระบบให้ถูกต้องแม่นยำ ลักษณะชุมสายโทรศัพท์แบบเครือข่ายดาว



รูปที่ 2.22 ชุมสายโทรศัพท์แบบเครือข่ายดาว

การให้บริการโทรศัพท์ในรูปชุมสายโทรศัพท์แบบเครือข่ายดาวจะมีขีดจำกัดในการให้บริการแก่ผู้เช่าโทรศัพท์ได้ในพื้นที่จำกัด ด้วยขีดจำกัดของราคาสายเคเบิลโทรศัพท์และขนาดของเลขหมายโทรศัพท์ที่บรรจุในชุมสายโทรศัพท์ถ้าหากใช้ชุมสายโทรศัพท์ขนาดใหญ่เพียงชุมสายเดียวในการให้บริการโทรศัพท์ จะทำให้ใช้สายส่งสัญญาณยาวมากขึ้น เกิดผลเสียต่อผู้เช่าโทรศัพท์ที่อยู่ห่างไกล การสร้างเครือข่ายชุมสายที่ถูกต้องควรแบ่งชุมสายโทรศัพท์ออกเป็นชุมสายท้องถิ่น(Local Exchange) กระจายไปตามท้องถิ่นต่างๆ ให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดโดยแต่ละชุมสายท้องถิ่นจะให้บริการผู้เช่าโทรศัพท์ตามขีดความสามารถที่ทำได้ การเชื่อมต่อชุมสายท้องถิ่นแต่ละแห่งเข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายรวม ทำได้โดยใช้สายต่อเชื่อม (Junction Line) เชื่อมต่อชุมสายท้องถิ่นให้ถึงกันทั้งหมดเพื่อให้การติดต่อสื่อสารถึงกันทั้งหมดได้ในทุกๆ ท้องถิ่น ลักษณะเครือข่ายโทรศัพท์ต่อเชื่อมชุมสายท้องถิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 เครือข่ายโทรศัพท์ต่อเชื่อมชุมสายท้องถิ่น

2.3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.3.1 ประวัติความเป็นมา

วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Radiotelephone) เป็นวิทยุโทรศัพท์แบบหนึ่งที่ใช้คลื่นวิทยุช่วยนำข่าวสารข้อมูลจากต้นทางไปยังไกลๆ ปลายทางพร้อมกับสามารถพกพาเครื่องวิทยุโทรศัพท์ติดตัวไปด้วย ในขอบเขตพื้นที่ทำการที่คลื่นวิทยุเดินทางไปได้ถึง การทดลองวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เริ่มต้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2483 มีการทดลองเรื่อยมาจนถึงปี พ.ศ. 2489 บริษัท AT&T ได้เปิดให้บริการวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นรายแรก ในเวลานั้นวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ ยังใช้งานได้เฉพาะกลุ่มเท่านั้น ในขณะนั้นจะมีช่องสัญญาณให้ใช้งานเพียง 6 ช่องสัญญาณเท่านั้น การรับส่งข่าวสารข้อมูลในการผสมคลื่นแบบ AM เครือข่ายของการสื่อสารถูกจำกัดอย่างมากเพราะช่องสัญญาณแต่ละช่องอนุญาติให้ผู้ใช้บริการใช้ได้เพียงคนเดียว และการติดต่อเลขหมายปลายทางต้องเรียกผ่านศูนย์ควบคุมให้พนักงานเป็นผู้เชื่อมต่อสัญญาณให้วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบนี้มีข้อเสียหลายประการ ประการสำคัญคือ มีข้อจำกัดในเรื่องของความจุของช่องสัญญาณต่ำ ทำให้ระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้ต้องหยุดทำการไป แต่เนื่องจากความต้องการใช้วิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่มีมากขึ้น จึงจำเป็นต้องพัฒนาระบบเพื่อให้ระบบมีความจุของสัญญาณสูงขึ้น โดยการพัฒนาเทคโนโลยีการผสมคลื่นแบบ FM ใหม่ ให้มีแถบกว้างของช่องสัญญาณสื่อสารลดลงจากเดิม 120 kHz เหลือเพียง 25 kHz ช่วยให้จำนวนช่องสัญญาณใช้ในการติดต่อสื่อสารเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นในพื้นที่บริการยังได้แบ่งช่องว่างความถี่ใช้งานหลายช่องความถี่ และได้มีการนำเอาความถี่ที่ใช้งานแล้วในพื้นที่หนึ่งกลับมาใช้งานใหม่ในอีกพื้นที่หนึ่ง สามารถใช้ช่องสัญญาณเพื่อติดต่อสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลักษณะวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ สมัยแรกๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี พ.ศ. 2490 ห้องทดลองเบลล์(Bell Laboratory)ได้จดสิทธิบัตรของระบบนี้ และได้พัฒนาระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ กลายมาเป็นโทรศัพท์แบบรวงผึ้ง (Cellular Mobile Telephone System) หรือเรียกสั้นๆ ว่าโทรศัพท์เซลลูลาร์ (Cellular Telephone) โครงสร้างของระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ทวนสัญญาณจำนวนมากประกอบกันเครือข่าย แต่ระบบยังไม่สามารถนำมาใช้งานในทางธุรกิจได้ จนการะทั้งถึงปี พ.ศ. 2526 ระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ได้ถูกติดตั้งและเปิดให้บริการ โดยพื้นที่ให้บริการทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็กๆ เรียกว่า เซลล์ (Cell) แต่ละเซลล์จะมีรัศมีและจัดสรรความถี่ใช้งานเฉพาะเซลล์ แต่ละเซลล์จะมีขนาดเล็กพ่วงต่อกันเป็นแบบรวงผึ้ง เนื่องจากพื้นที่ให้บริการมีขนาดเล็กจึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องส่งที่กำลังส่งสูงๆ สามารถนำความถี่ซ้ำๆ ไปใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 2.24 โทรศัพท์มือถือในยุคแรกๆ

2.3.2 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

1) ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 1 (First Generation : 1G)

ยุคที่ 1 หรือ 1G (First Generation) เกิดขึ้นในปี 1980 เป็นยุคของโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ (Cellular Phone) เน้นการให้บริการสื่อสารด้วยเสียงพูดคุยเพียงอย่างเดียว คือ โทรออก-รับสายเท่านั้น ไม่สามารถส่งข้อมูลในรูปแบบอื่นๆ ได้ เทคโนโลยีการสื่อสารจะใช้สัญญาณอนาล็อก (Analog signal) คือ ใช้สัญญาณวิทยุเป็นตัวส่งคลื่นเสียง โดยใช้คลื่นความถี่ที่ 824-894 MHz ใช้หลักการการส่งสัญญาณพื้นฐานแบบ Frequency Division Multiple Access (FDMA) คือใช้วิธีการแบ่งความถี่ออกมาเป็นช่องความถี่ย่อยหลายๆ ช่อง ซึ่งผู้ใช้บริการจะได้รับสิทธิ์ในการเข้าถึงช่องสัญญาณเฉพาะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าง จึงทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนช่องสัญญาณ การขยายจำนวนเลขหมายทำไม่ได้มาก ตัวอย่างบริการสื่อสารไร้สายยุค 1G คือโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ Advanced Mobile Phone Service (AMPS) ความถี่ที่ใช้คือ 800 MHz เป็นต้นด้วยข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีที่ไม่สามารถขยายตัวรองรับผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้น จึงได้เริ่มมีการพัฒนาเข้าสู่การสื่อสารไร้สายยุคที่ 2 หรือ 2G (Second Generation)

2) ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 (Second Generation : 2G)

ยุคที่ 2 หรือ 2G (Second Generation) เริ่มใช้งานครั้งแรกในปี 1991 ที่ประเทศฟินแลนด์ โดยมีการนำเทคโนโลยีระบบดิจิตอล (Digital Cellular) เข้ามาใช้ โดยมีการบีบอัดสัญญาณเสียงในรูปแบบดิจิตอลให้มีขนาดข้อมูลที่น้อยลงเหลือเพียง 9 กิโลบิตต่อวินาที (kbit/Sec) ต่อช่องสัญญาณ และส่งทางคลื่นไมโครเวฟการติดต่อระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และช่องสัญญาณมีหลายวิธี เช่น เทคนิค Time Division Multiple Access (TDMA) เป็นการนำช่องความถี่มาแบ่งออกเป็นช่องเล็กๆ และมีการสลับกันใช้ช่องสัญญาณในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นช่องสื่อสารวิทยุจะมีการแบ่งช่วงเวลาในการใช้งานออกเป็นหลายช่องสลับกันไป ทำให้ “ช่องเวลา” (time slot) จึงทำให้ขยายช่องสัญญาณความถี่ได้มากขึ้น โดยมีการติดต่อกับสถานีเบส (Base Station) ที่ช่วงความถี่ 890-960 MHz ซึ่งระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ชนิด ดิจิตอลเซลลูลาร์ที่ใช้เทคนิคนี้ คือ Global System for Mobile Communication หรือระบบ GSM นอกจากนี้ยังมีเทคนิคที่ชื่อว่า Code Division Multiple Access (CDMA) ซึ่งระบบนี้จะไม่มีการแบ่งช่องความถี่ออกเป็นช่องเวลาเหมือน TDMA แต่ใช้วิธีการแบ่งช่องสัญญาณด้วยรหัส (Code Division) คือผู้ใช้โทรศัพท์จะมีรหัสที่แตกต่างกัน และรหัสจะทำการถอดสัญญาณที่ถูกส่งมาจากสถานีฐาน ทำให้ผู้ใช้แต่ละคนได้รับข้อมูลของตนเอง เทคนิคนี้ทำให้ผู้ใช้บริการเข้าช่องความถี่ได้พร้อมๆ กัน รองรับผู้ใช้บริการจำนวนหลายๆ รายพร้อมกันในเวลาเดียวกัน

การสื่อสารไร้สายยุค 2G นั้น นอกจากจะแก้ปัญหาข้อจำกัดการขยายตัวของผู้บริโภคที่มีความต้องการใช้บริการเพิ่มมากขึ้นแล้ว ยุค 2G นี้ยังถือเป็นจุดเริ่มต้นความเฟื่องฟูในการใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็ว่าได้ เพราะว่าผู้ใช้งานสามารถนำโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปใช้งานที่ใดก็ได้ในโลกด้วยระบบโทรข้ามประเทศ หรือ International Roaming และที่สำคัญคือการสื่อสารในรูปแบบดิจิตอลยังทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่มีรูปแบบการทำงานที่มากกว่าการสื่อสารด้วยเสียง เพียงโทรเข้าหรือโทรออก แต่ยังพัฒนาให้มีระบบการรองรับการสื่อสารทางข้อมูล (Data) เช่น การส่งข้อความตัวอักษรแบบสั้น (Short Message Service : SMS) ด้วยความเร็วในระดับ 64 กิโลบิตต่อวินาที (Kbit/Sec) นอกจากนั้นในช่วงปลายของยุค 2G ก็ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้สามารถเชื่อมต่อกับโลกอินเทอร์เน็ตได้ เช่น เทคโนโลยี Generic Package Radio Service (GPRS) สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุด 171 กิโลบิตต่อวินาที (Kbit/Sec)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยี Enhance Data Rates for Global Evolution (EDGE) สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุด 384 กิโลบิตต่อวินาที (Kbit/Sec) ซึ่งทั้ง GPRS และ EDGE ต่างก็เป็นการพัฒนาบนฐานเทคโนโลยีเดิมทำให้การใช้งานบนอินเทอร์เน็ตยังค่อนข้างช้า ถือเป็นแรงผลักดันให้ผู้ประกอบการหันมาพัฒนาเทคโนโลยีที่ทำให้การใช้งานด้านข้อมูลเป็นไปอย่างสะดวกรวดเร็ว และเป็นการก้าวเข้าสู่ยุคที่ 3 หรือ 3G (Third Generation)

3) ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 (Third Generation : 3G)

ยุคที่ 3 หรือ 3G (Third Generation) เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อเนื่องจากยุคที่ 2 และ 2.5 ซึ่งเป็นยุคที่มีการให้บริการระบบเสียง และการส่งข้อมูลในขั้นต้น ทั้งยังมีข้อจำกัดอยู่มาก การพัฒนาของ 3G เป็นการพัฒนาการสื่อสารไร้สายที่มุ่งเน้นการบริการแบบผสมผสาน ผู้ใช้บริการสามารถใช้บริการด้านเสียงและข้อมูลได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ พูดง่ายๆ ก็คือ ผู้ใช้บริการสามารถคุยโทรศัพท์ด้วยเสียงที่คมชัด ทั้งยังใช้บริการด้านมัลติมีเดีย และอินเทอร์เน็ตได้อย่างสมบูรณ์แบบด้วยความเร็วที่สูงขึ้น เพื่อให้มีความสามารถในการใช้เครือข่ายทั่วโลก (Global Roaming)สำหรับเครื่องมือสื่อสารไร้สายไม่ว่าจะเป็น โทรศัพท์เคลื่อนที่อัจฉริยะ (Smart Phone) อุปกรณ์ไร้สายประเภท Personal Digital Assistant (PDA) Laptop และกล้องถ่ายรูป ที่จะเข้าข่ายเรียกได้ว่าเป็นเทคโนโลยี 3G นั้น จะต้องมีองค์ประกอบที่ตรงตามหลักเกณฑ์ที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union หรือ ITU) ได้กำหนดมาตรฐานไว้ใน มาตรฐาน IMT-2000 (International Mobile Telecommunications.-2000โดยข้อมูลจากวิกิพีเดีย ระบุว่า มาตรฐาน IMT-2000 ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สาม นิยามว่า “ต้องมีแพลทฟอร์ม (Platform) สำหรับการหลอมรวมของบริการต่างๆ เช่น Fixed Service, Mobile Service, บริการสื่อสารเสียง ข้อมูลอินเทอร์เน็ต และ Multimedia เป็นไปในทิศทางเดียวกัน” คือ สามารถถ่ายเท ส่งต่อข้อมูล ดิจิตอลไปยังอุปกรณ์โทรคมนาคมประเภทต่างๆ ให้สามารถรับส่งข้อมูลได้

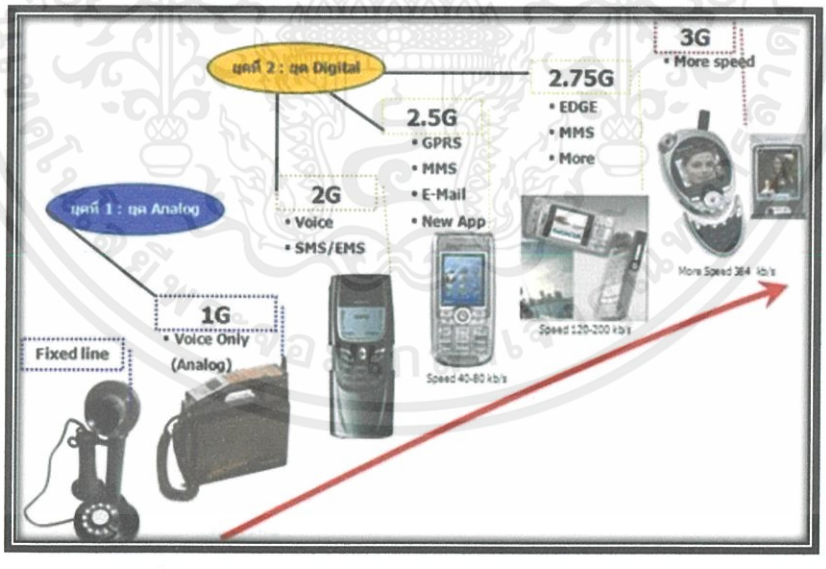
เทคโนโลยีอุปกรณ์การสื่อสารไร้สายในโลกปัจจุบันพัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก โทรศัพท์เคลื่อนที่ทุกวันนี้ไม่ได้เป็นเพียงเครื่องมือสื่อสารด้วยเสียงเท่านั้น แต่ยังสามารถสื่อสารข้อมูลรูปแบบใหม่ๆ ทั้งการส่งข้อความการส่งข้อมูลแบบมัลติมีเดีย การส่งอีเมล์ หรือแม้แต่การท่องโลกอินเทอร์เน็ตที่สะดวก รวดเร็ว เปรียบเสมือนคอมพิวเตอร์แบบพกพาขนาดเล็กเลยทีเดียวเทคโนโลยีไร้สายยุค 3G ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีส่วนช่วยให้การทำงานและการใช้ชีวิตประจำวันมีความสะดวกสบายมากขึ้น ด้วยระบบการสื่อสารที่รวดเร็ว ฉับไว โดย 3G ใช้เป็นสัญญาณแบบ Wireless ใช้อินเทอร์เน็ตได้เร็วสูงสุด 14.4 Mbps ที่สำคัญยังเป็นการ Always On คือมีการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายของ 3G ตลอดเวลาที่เปิดเครื่องโทรศัพท์ จึงสามารถใช้บริการต่างๆ ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น ตรวจสอบอีเมล์ ค้นหาข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตได้ทุกที่ ทุกเวลา ทั้งยังรับ-ส่งข้อมูล เสียงภาพและวิดีโอ ของไฟล์ขนาดใหญ่ได้พร้อมกัน จึงทำให้ไม่พลาดการติดตามข้อมูล ข่าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ อีกต่อไปนอกจากนี้ 3G ยังมีจุดเด่นในเรื่องของความคมชัดและความสมจริงทั้งในเรื่องของเสียง สี การแสดงภาพและมีแอพพลิเคชั่นรูปแบบใหม่ๆ เช่น เครื่องเล่น mp3 เครื่องเล่นวีดีโอ การดาวน์โหลดเกม การแสดงกราฟฟิก ทำให้การสื่อสารเป็นแบบอินเตอร์แอคทีฟ (interactive) ที่จะสร้างความสนุกสนานและเพลิดเพลินได้ตลอดเวลาเทคโนโลยี 3G จึงจับเป็นย่างก้าวสำคัญของการพลิกโฉมหน้าการสื่อสารไร้สายยุคใหม่ที่ไม่ได้จำกัดอยู่แค่การสื่อสารด้านเสียงเท่านั้น แต่ยังทำหน้าที่เป็นคอมพิวเตอร์แบบพกพา วิทยุส่วนตัว และกล้องถ่ายรูปในอุปกรณ์เดียว ที่จะทำให้ชีวิตผู้คนมีความสะดวกสบายและคล่องตัวมากยิ่งขึ้น

4) ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 (Fourth Generation : 4G)

ยุคที่ 4 หรือ 4G (Fourth Generation) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ Long Term Evolution (LTE) เป็นเทคโนโลยีที่ต่อยอดจาก 3G จะสามารถรับข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 100 Mbps และส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 50 Mbps โดยเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี 3G นั้น LTE มีความเร็วมากกว่า 7 เท่า และยังเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานมัลติมีเดียที่ดีขึ้น ลื่นไหลกว่า ในต่างประเทศที่ทดสอบ 4G แล้วส่วนใหญ่อยู่ในแถบทวีปยุโรป เช่นสวีเดน (ประเทศแรกของโลกที่ทดสอบ 4G) ญี่ปุ่น สวิสเซอร์แลนด์ โปแลนด์ จีน สิงคโปร์ และในประเทศไทยที่เพิ่งมีการเปิดตัว 4G อย่างเป็นทางการโดยผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ TRUE เป็นรายแรกของประเทศไทย



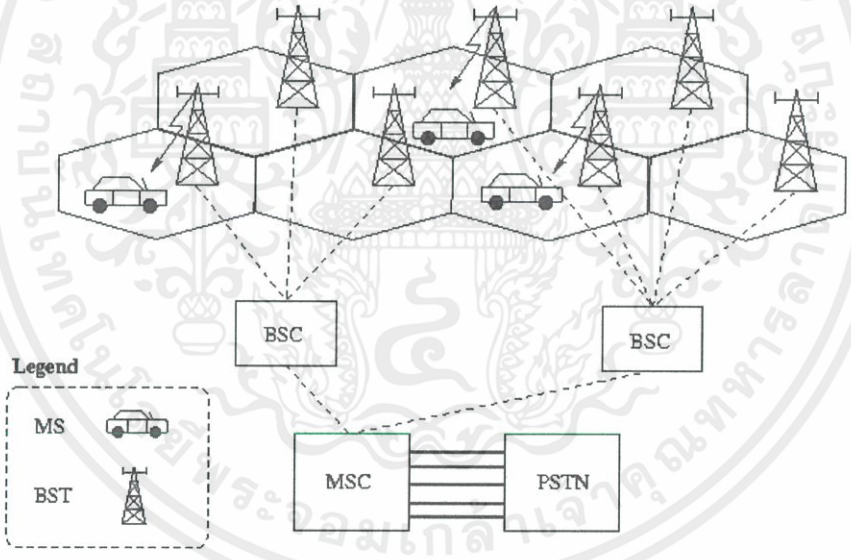
รูปที่ 2.25 วิวัฒนาการของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 หลักการเบื้องต้นในการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.3.3.1 องค์ประกอบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบการสื่อสารเซลลูลาร์เคลื่อนที่จะมีพื้นที่การครอบคลุมแบ่งออกเป็นจำนวนพื้นที่ขนาดเล็กที่เรียกว่า เซลล์ (Cell) ซึ่งในแต่ละเซลล์จะมีสถานีหลัก (Base station) ที่มีสัญญาณการสื่อสารครอบคลุมในแต่ละพื้นที่ของแต่ละเซลล์ แต่ละสถานีหลักจะถูกเชื่อมต่อเส้นทางด้วย Fixed link ไปยัง Mobile Service Switching Center (MSC) ซึ่งโดยทั่วไปชุมสายโทรศัพท์จะมีซอฟต์แวร์เป็นตัวจัดการให้บริการทั้งหมดแก่ผู้ใช้บริการเน็ตเวิร์คโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนมากประกอบด้วยจำนวนของ MSCs ซึ่งแต่ละ MSCs จะมีสถานีหลัก (BSS) เป็นของตัวเองเป็นจำนวนมากและเชื่อมต่อกันด้วย Fixed link MSCs จะต่ออยู่ระหว่าง Public Switching Telephone Network (PSTN) เพื่อเป็นเส้นทางออก(Outgoing) และเส้นทางเข้า(Incoming) จากโทรศัพท์ที่อยู่กับที่ เช่น โทรศัพท์ตามบ้านหรือตามสำนักงาน เป็นต้น



รูปที่ 2.26 องค์ประกอบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

จากรูปที่ 2.26 องค์ประกอบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่ละเซลล์จะเชื่อมต่อถึงกัน ซึ่งแต่ละเซลล์มีรัศมีทำการกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการใช้โทรศัพท์เซลลูลาร์ ถ้าการใช้โทรศัพท์เซลลูลาร์มีความหนาแน่นมากจำนวนเซลจะเพิ่มขึ้นรัศมีของแต่ละเซลล์จะใหญ่ขึ้น มาตรฐานทั่วไปที่นิยมใช้ขนาดของเซลล์มีรัศมีตั้งแต่ 250 เมตร ถึง 30 กิโลเมตร แต่ละเซลล์ที่ถูกแบ่งออกจะต้องเพิ่มสถานีฐานเข้าไปทุกเซลล์ เครื่องรับเครื่องส่งแต่ละเซลล์สามารถทำงานได้ที่กำลังส่งซึ่งครอบครุมอยู่เฉพาะพื้นที่เล็กๆ ของเซลล์ตัวเองเท่านั้น ทำให้เครื่องรับส่งที่ใช้งานมีขนาดเล็กลง

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณี ... การค้า

1) สถานีฐาน (Base Station System)

Base Station System (BSS) เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อโดยตรงกับ MSC กับ Mobile Station (MS) ด้วยการส่งข้อมูลหลายๆแบบ เช่น คลื่นไมโครเวฟ สายเคเบิล หรือสายไฟเบอร์ออปติก เป็นต้น BSS สามารถติดตั้งทั้งในอาคารหรือตู้คอนเทนเนอร์ และสามารถกำหนดให้ใช้งานได้ทั้งแบบ Omnidirectional หรือ Sector cells ได้

BSS เป็นระบบที่ประกอบด้วย Base Station Controller (BSC) และ Base Transceiver Station (BTS) ซึ่งอาจมีได้หลายตัวรวมทั้งส่วนของ Transcoder หน้าที่หลักๆของ BSS มีดังนี้

1) จัดการเกี่ยวกับ Radio Frequency link
2) กำหนดช่องสัญญาณสำหรับ MS ในการติดต่อกันและบอกกำลังงานที่จะใช้ในการติดต่อ
3) รอรับคำสั่งจาก MSC ในการที่จะยกเลิกการใช้ช่องสัญญาณกับ MS ซึ่งอาจเกิดได้จาก 2 กรณี คือ มีการทำ Handover หรือ เลิกติดต่อกัน
4) ควบคุมประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละ Cell
5) กำหนดรูปแบบของช่องสัญญาณทั้งแบบ Traffic และ Signaling
6) สะสมข้อมูลต่างๆ เช่น ความแรงของสัญญาณจาก Cell ติดกันและทำรายการของ Cell ต่างๆที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำ Handover รวมทั้งส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยัง MSC

(ก) (ข)

(ค) (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ[illegible]ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ[illegible]ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.27 สถานีฐานแบบต่างๆ
(ก) สถานีฐานแบบ Self Support
(ข) สถานีฐานแบบ Guye Support
(ค) สถานีฐานที่ติดตั้งในตู้คอนเทนเนอร์
(ง) สถานีฐานแบบติดตั้งอาคาร

2) ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Service Switching Center)

Mobile Service Switching Center (MSC) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุมสายทั้งหมด ทั้งตัดต่อค้นหาเลขหมาย เลือกเส้นทาง ชุมสายโทรศัพท์เป็นศูนย์กลางควบคุมและประสานการทำงานของส่วนควบคุมสถานีฐาน มีตัวประมวลผลของระบบเซลลูล่าร์และสวิตช์สำหรับระบบเซลลูล่าร์ มีการเชื่อมต่อกับชุมสายโทรศัพท์อื่นๆรวมทั้งชุมสายโทรศัพท์สาธารณะด้วย ในบางระบบอาจมีฐานข้อมูลบันทึกข้อมูลของลูกข่ายไว้ในชุมสายด้วย และอาจมีระบบฐานข้อมูลเก็บข้อมูลของกลุ่มหมายเลขต่างๆ ใช้สำหรับอ้างอิงในการเรียกเข้าหาเครื่องโทรศัพท์หมายเลขที่ต้องการ กล่าวโดยรวมคือทำหน้าที่ควบคุมขั้นตอนการโทรศัพท์และเก็บข้อมูลการโทรศัพท์เพื่อที่จะนำไปเรียกเก็บค่าใช้จ่ายอีกทีหนึ่ง ชุมสายโทรศัพท์จะมีการเชื่อมต่อหลักๆ อยู่สองด้านด้วยกัน คือ ด้านแรกจะต่อเข้ากับส่วนควบคุมสถานีฐานเพื่อทำงานร่วมกันในการส่งผ่านข้อมูลหรือเสียงพูดของคู่สนทนา ด้านที่สองจะทำการเชื่อมต่อกับชุมสายอื่น (ทั้งในระบบเซลลูล่าร์และระบบสาธารณะ) เพื่อเป็นทางผ่านต่อไปยังคู่สนทนา

3) โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station)

Mobile Station (MS) โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้งานทั่วไป ประกอบด้วย หน่วยควบคุม ตัวรับส่งคลื่นวิทยุ ระบบสายอากาศ และแบตเตอรี่ ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถตรวจสอบระบบสัญญาณในบริเวณที่เครื่องอยู่ได้ มีโปรแกรมติดต่อกับสถานีฐานและชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

4) เครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ (Public Switch Telephone Network)

Public Switch Telephone Network (PSTN) หรือเรียกง่ายๆว่าเครือข่ายโทรศัพท์บ้าน เป็นเครือข่ายที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายต่างๆ ทั้งในพื้นที่เดียวกัน, ทางไกลต่างจังหวัด, ทางไกลต่างประเทศ, และเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ จำเป็นที่จะต้องเชื่อมต่อกับ PSTN เพื่อจะได้ติดต่อกับ เครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน และ เครือข่ายโทรศัพท์อื่นๆได้

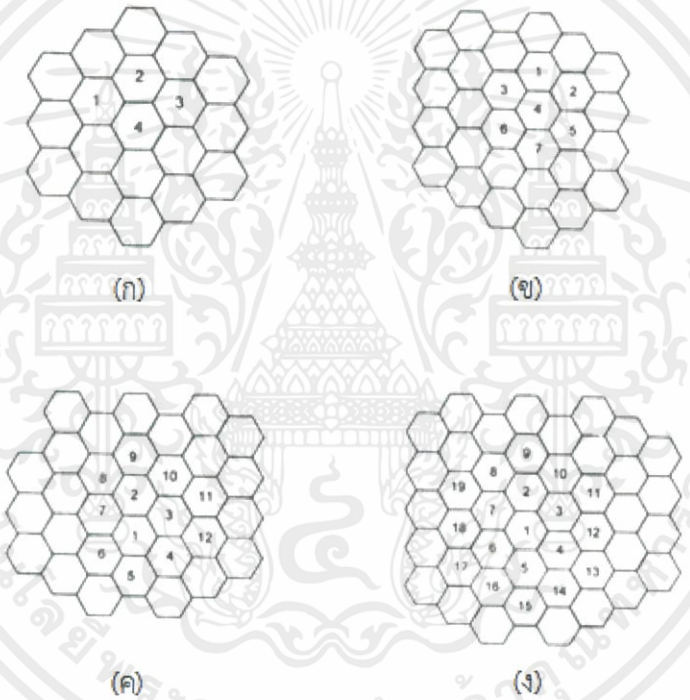
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 การจัดระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์

ระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์นั้นต้องนำความถี่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีกในเซลล์ต่างๆ ที่อยู่ห่างไกลออกไป จำนวนช่องสัญญาณมากน้อยขึ้นอยู่กับแถบคลื่นความถี่ที่จัดสรรให้โดยองค์กรที่รับผิดชอบ

และช่วงห่างของช่องสัญญาณที่เป็นมาตรฐานใช้กันอยู่เป็นเครือข่ายช่องสัญญาณ ในกลุ่มเซลล์ที่ติดกันจะต้องใช้ความถี่ที่แตกต่างกัน ระบบทำงานของโทรศัพท์เซลลูลาร์ต้องระมัดระวังการสอดแทรกของสัญญาณที่ใช้ความถี่เดียวกันในบริเวณที่ใกล้เคียง (Co-Channel Interference) ต้องให้อยู่ในขีดจำกัดที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานการสื่อสารในระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์

ในการนำความถี่เดิมมาใช้ใหม่ต้องเลือกจำนวนช่องเซลล์ที่แตกต่างกัน (K) ควรให้มีมากที่สุดที่จะจัดได้เท่าที่จำเป็นจะต้องไม่ให้เกิดการทับกันหรือเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์จำนวนช่องเซลล์ที่แตกต่าง (K) ที่ยอมรับได้และนิยมใช้งานคือ K = 4, 7, 12, และ 19 เซลล์เป็นต้น ลักษณะการวางเซลล์สัญญาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.28 การจัดเซลล์ที่มีความถี่ต่างกันในแต่ละช่องสัญญาณ

การใช้งานของโทรศัพท์เซลล์ที่นิยมใช้ค่า K น้อยค่า เพราะค่า K น้อยค่านั้นทำให้จำนวนช่องสัญญาณสื่อสารของแต่ละเซลล์มีจำนวนมากขึ้น สามารถให้บริการผู้ใช้โทรศัพท์เซลลูลาร์ภายในเซลล์มากหลายเลข แต่ถ้าค่า K เพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนช่องสัญญาณสื่อสารของแต่ละเซลล์มีจำนวนน้อยลง ให้บริการผู้ใช้โทรศัพท์เซลลูลาร์ภายในเซลล์น้อยหมายเลขลง ตัวอย่างเช่นถ้าระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์มีจำนวนช่องสัญญาณรวม 280 ช่อง ใช้จำนวนเซลล์สัญญาณที่แตกต่างกัน K=4ในแต่ละเซลล์มีช่องสัญญาณสื่อสาร 70 ช่อง หรือถ้าใช้จำนวนช่องเซลล์สัญญาณที่แตกต่างกัน K =7 ในแต่ละเซลล์มีช่องสัญญาณสื่อสาร 40 ช่อง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้

2.3.3.3 หลักการทำงานของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์

การทำงานของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์จะต้องมีการทำงานพร้อมตัวเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ สถานีฐาน และชุมสายโทรศัพท์เซลลูลาร์ ซึ่งทั้งหมดถูกต่อกันเป็นเครือข่ายโทรศัพท์เซลลูลาร์ ขั้นตอนการทำงานดั้งนี้

1. เมื่อเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์เริ่มเปิดเครื่อง เครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์จะตรวจสอบหาสัญญาณจากช่องสัญญาณที่มีอยู่ในบริเวณนั้นเองอย่างอัตโนมัติ ปรับความถี่เข้าหาช่องสัญญาณที่มีคามแรงมากที่สุดของสถานีฐานที่อยู่ใกล้ที่สุด และคงไว้ชั่วขณะหรือจนกว่าตัวเครื่องโทรศัพท์จะเคลื่อนที่ไปยังเครื่องอื่นที่มีความแรงสัญญาณแรงกว่าเซลล์เดิม

2. เมื่อผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ต้องการติดต่อเลขหมายปลายทางหลังจากกดเลขหมายปลายทางเรียบร้อยและกดส่ง การหาช่องสัญญาณและความถี่ตัวสถานีฐานจะทำหน้าที่เลือกช่องสัญญาณโดยอัตโนมัติ ข้อมูลของสัญญาณควบคุมและสัญญาณเรียกถูกส่งในคลื่นวิทยุในระดับกำลังส่งต่ำออกจากเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ขึ้นไปในอากาศส่งไปยังสถานีฐานที่มีสายอากาศติดตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้ที่สุด สถานีฐานจะเชื่อมต่ออยู่กับชุมสายโทรศัพท์เซลลูลาร์ ที่เป็นตัวควบคุมและสลับสายชิ่งสัญญาณสนทนา ซึ่งต่อกันเป็นระบบเครือข่ายโทรศัพท์เซลลูลาร์สัญญาณเรียกเข้าจะถูกส่งต่อเข้าไปยังชุมสายโทรศัพท์ขององค์การโทรศัพท์ หากผู้รับปลายทางเป็นโทรศัพท์บ้าน หรือต่อไปยังชุมสายเซลลูลาร์ระบบอื่นหรือระบบเดียวกัน เมื่อผู้รับปลายทางเป็นโทรศัพท์เซลลูลาร์ สัญญาณเรียกนี้ต้องส่งผ่านช่องปรับแต่ง (Setup Channel)

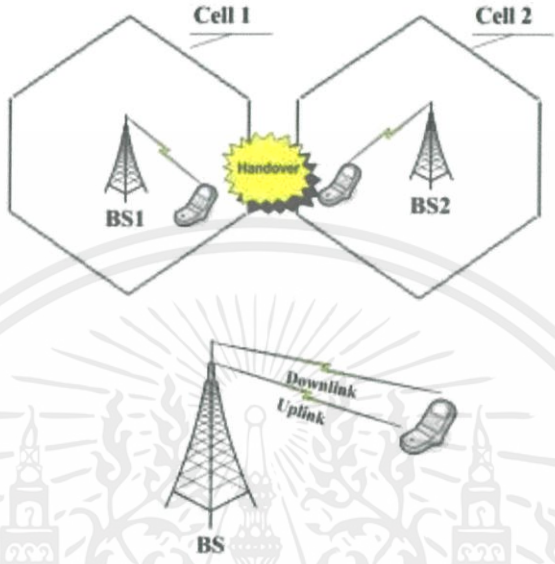
3. กรณีใช้โทรศัพท์เรียกเข้าหาเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ ชุมสายโทรศัพท์ธรรมดา สามารถแยกได้ว่าเป็ตนการเรียกไปยังปลายทางชนิดใดจากกลุ่มรหัสเลขหมายนำหน้า ซึ่งถ้าเป็นเครื่องโทรศัพท์ต้องขึ้นต้นด้วยเลข 01 หรือ 09 ตามด้วยเลขหมายโทรศัพท์ ชุมสายโทรศัพท์เซลลูลาร์ต้องส่งข้อมูลสั้นๆ เข้าหาเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ตามข้อมูลของหมายเลขนั้นในการค้นหาเครื่องงลูกข่าย แต่ละสถานีฐานทำการส่งข้อความเรียกผ่านทางช่องปรับแต่ง เมื่อเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์รับทราบว่ามีผู้เรียกเข้าหาตัวเองจะทำการติดต่อกลับผ่านทางบช่องปรับแต่ง สถานีฐานจัดการหาช่องสัญญาณที่ว่างให้สามารถเชื่อมต่อการสนทนาได้ เครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ทำการจูนหาความถี่ของช่องสัญญาณตามคำสั่งของสถานีฐาน

4. การเคลื่อนที่เปลี่ยนเซลล์ของเครื่องเซลลูลาร์ ระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์สามารถทราบได้ว่าสัญญาณการติดต่อของเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ที่กำลังใช้งานอยู่ไปยังเซลล์ถัดไปโดยอัตโนมัติในทิศทางที่เครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์เดินทางไป เรียกวิธีการนี้ว่า Handoff หรือ Handover

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การสิ้นสุดการสนทนา เมื่อใช้เครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์กดปุ่มสิ้นสุดการสนทนา มีสัญญาณสิ้นสุดการสนทนาส่งไปยังสถานีฐาน สัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังชุมสายโทรศัพท์เซลลูลาร์

ชุมสายโทรศัพท์เซลลูลาร์ทำการยกเลิกใช้ช่องสัญญาณดังกล่าว และสถานีฐานก็ยกเลิกการใช้ช่องสัญญาณเช่น เครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์จะกลับไปวัดสัญญาณช่องปรับแต่งตามเดิม



รูปที่ 2.29 การ Handover ของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์

จากรูปที่ 2.29 เมื่อเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ที่รับสัญญาณอยู่ที่ BS 1 มีการเคลื่อนที่ออกนอกบริเวณ Cell 1 ไปยัง Cell 2 ความแรงของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์รับจาก Cell 1 จะค่อยๆลดลง ทำให้เครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์จะทำการ Handover ไปบริเวณ Cell 2 ซึ่งมีความแรงของสัญญาณมากกว่า

2.4 เทคโนโลยี LTE (Long Term Evolution)

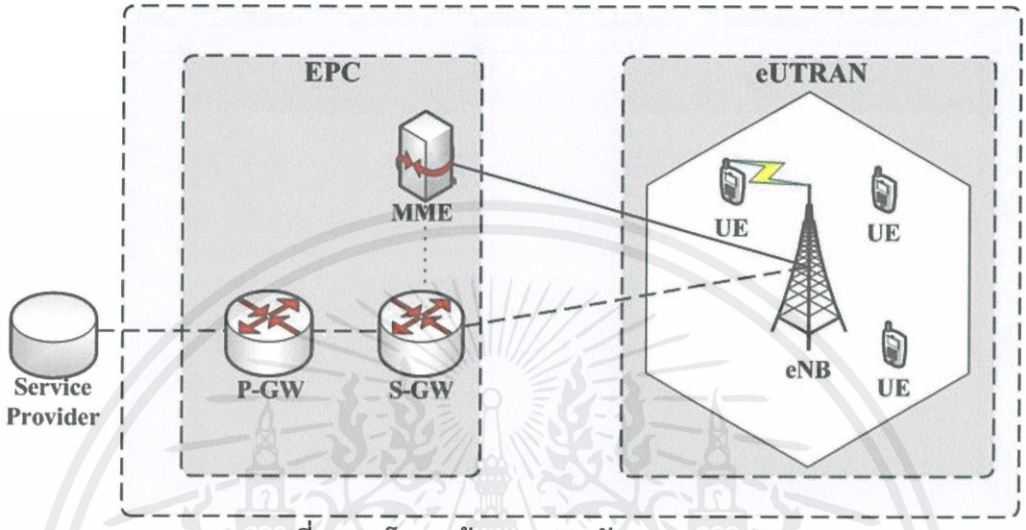
เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารไร้สายของข้อมูลความเร็วสูงสำหรับโทรศัพท์มือถือ โดยมีพื้นฐานมาจากระบบ GSM/EDGE และ UMT/HSPA เพื่อเพิ่มความสามารถในด้านความเร็วและการรองรับจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายได้มาก โดยใช้เทคนิค Digital Signal Processing (DSP) LTE ไม่สามารถใช้ร่วมกับเครือข่าย 2G และ 3G ได้ เพราะมีการใช้คลื่นความถี่ที่ต่างกัน เปิดตัวครั้งแรกโดย TeliaSonera ในกรุงออสโลประเทศสตอกโฮล์ม ในวันที่ 14 ธันวาคม 2552

4G LTE มีความสามารถในการดาวน์โหลดสูงถึง 100 Mbps และความเร็วในการอัพโหลดสูงถึง 50 Mbps สามารถรองรับการให้บริการถึง 200 Active Users ในเซลล์เดียวกัน โดยมีแบนด์วิทธ์อยู่ในช่วง 1.4-20 MHz หรือคลื่นความถี่ 2100 MHz และใช้เทคนิคทั้ง frequency division duplexing (FDD) and time-division duplexing (TDD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 สถาปัตยกรรม LTE

โครงสร้างสถาปัตยกรรม LTE แสดงดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 โครงสร้างของสถาปัตยกรรม LTE

จากรูปข้างต้นประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆดังนี้

1. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRAN)

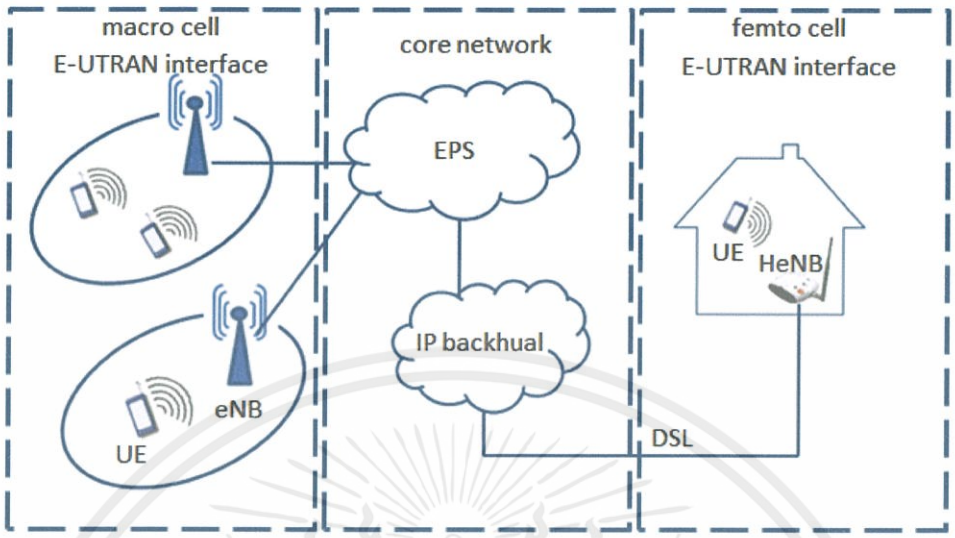
ส่วนนี้ประกอบด้วย User Equipment (UE) คืออุปกรณ์รับสัญญาณของผู้ใช้ทั่วไปและ evolved Node B (eNB) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้กับ UE ซึ่งมีพื้นฐานคล้ายๆกับ Base Station ของระบบ GSM

2. Evolved Packet System (EPS) หรือ Evolved Packet Core (EPC)

ประกอบด้วย Mobility Management Entity (MME) ทำหน้าที่เป็นส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของ UE ภายในเครือข่าย LTE รวมทั้งสัญญาณต่างๆในระบบและรวมถึงการทำงานร่วมกันของเครือข่าย 2G,3G กับ LTE ด้วย Serving Gateway (S-GW) และ Packet Data Network Gateway (P-GW) ซึ่งทำหน้าที่รับส่งข้อมูลต่างๆจากภายนอกเครือข่ายหรือผู้ให้บริการอินเตอร์เน็ต

นอกจากนี้ยังมีส่วนของเฟมโตเซลล์ที่เอาไว้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณที่ส่งมาจาก eNB สู่อาคารบ้านเรือน โดยใช้อุปกรณ์ Home evolved Node B (HeNB) ซึ่งก็คล้ายๆกับ access point ตัวหนึ่ง ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับเน็ตเวิร์คผ่าน Digital Subscriber Line (DSL) และส่งสัญญาณให้กับตัวอุปกรณ์รับสัญญาณ ทำให้อุปกรณ์รับสัญญาณที่มีพื้นที่จำกัดเช่น อาคาร สำนักงาน บ้านเรือน สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และลดปัญหาจากการเชื่อมต่อ เนื่องจากตัวอาคารมีสิ่งกีดขวางมากมายเช่นกำแพง ผนังห้อง ซึ่งมีส่วนทำให้สัญญาณมีการลดทอนสูงทำให้อุปกรณ์รับสัญญาณได้ไม่เต็มที่ โดยมีโครงสร้างสถาปัตยกรรมแสดงได้ดังรูปที่ 2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 โครงสร้างของสถาปัตยกรรม LTE และ Femto cells

2.4.2 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

เทคนิคการเข้าถึงหลายทางสำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย(Multiple Access Techniques for Wireless Communication) คือ การอนุญาตให้ผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ (mobile users) สามารถใช้งานย่านความถี่วิทยุ (radio spectrum) ที่มีอย่างจำกัดในเวลาเดียวกันเพื่อให้มีจำนวนผู้ใช้บริการสูงสุดที่สามารถเข้าใช้งานย่านความถี่วิทยุนี้ โดยการแบ่งแถบความถี่ (bandwidth) ออกเป็นหลายช่องสัญญาณ (channel) โดยการสื่อสารส่วนใหญ่แล้วจะมีการสื่อสารข้อมูลแบบสองทาง (full duplex) ในเวลาเดียวกันหมายความว่าลูกค้าสามารถจะส่งข้อมูลให้แก่สถานีฐาน (base station) และรับข้อมูลจากสถานีฐานได้ในเวลาพร้อมกันหรือที่เรียกว่า duplexing ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้งานมากในระบบโทรศัพท์แบบไร้สายโดยสามารถจะพูดและรับฟังเสียงของคู่สนทนาในเวลาเดียวกัน เพื่อให้เกิดความเข้าใจยิ่งขึ้นจะขยายความหมายและเทคนิคเกี่ยวกับการ duplex ข้อมูลที่ใช้ในปัจจุบัน

2.4.2.1 ประเภทของ Duplexing

การทำ Duplexing มีเทคนิคการจัดทำ 2 วิธีดังนี้

1) เทคนิค Frequency Division Duplexing (FDD)

เทคนิค Frequency Division Duplexing (FDD) คือ เทคนิคการ duplex ในรูปแบบของความถี่ (frequency) ซึ่งจัดเตรียมแถบของความถี่รองรับการใช้งานของแต่ละผู้ใช้แบ่งออกเป็น 2 แถบของความถี่อย่างชัดเจน โดยแถบของความถี่ที่ใช้ส่งข้อมูล (traffic) มีทิศทางการส่งข้อมูลจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย (mobile) จะเรียกว่า forward band และ แถบของความถี่ใช้ส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีทิศทางการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐานจะเรียกว่า reverse band ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณของ duplex นั้นจะประกอบไปด้วยช่องสัญญาณที่เรียกว่า simplex channel 2 ช่องสัญญาณทำหน้าที่ทั้ง forward channel และ reverse channel แยกกันโดยมี อุปกรณ์ที่เรียกว่า duplexer ที่อยู่ภายในแต่ละเครื่องลูกข่ายและสถานีฐานจะคอยกำกับทิศทางการรับและส่งข้อมูลให้เกิดการรับและส่งข้อมูลได้ทั้งสองทิศทางในเวลาเดียวกันบนคู่ช่องสัญญาณ duplex

2) Time division duplexing (TDD)

Time division duplexing (TDD) คือ เทคนิคการ duplex ในรูปแบบของเวลา(time) ซึ่งจัดเตรียมแถบของเวลารองรับการใช้งานของแต่ละผู้ใช้แบ่งออกเป็น 2 แถบของเวลาอย่างชัดเจนหรือที่เรียกว่า time slots โดยมีทิศทางการส่งข้อมูลแบบสองทิศทาง(bidirectional) เช่นเดียวกับ FDD ซึ่งถ้ามีทิศทางการส่งข้อมูลจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย (mobile) จะเรียกว่า forward time slot และ แถบของเวลาใช้ส่งข้อมูลที่มีทิศทางการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐานจะเรียกว่า reverse time slot โดยจะต้องมีระยะคั่นของเวลาระหว่าง forward time slot และ reverse time slot มากพอเพื่อไม่ให้เกิดการรับและส่งข้อมูลชุดเดียวกันพร้อมกันทั้งเครื่องลูกข่ายและที่สถานีฐาน

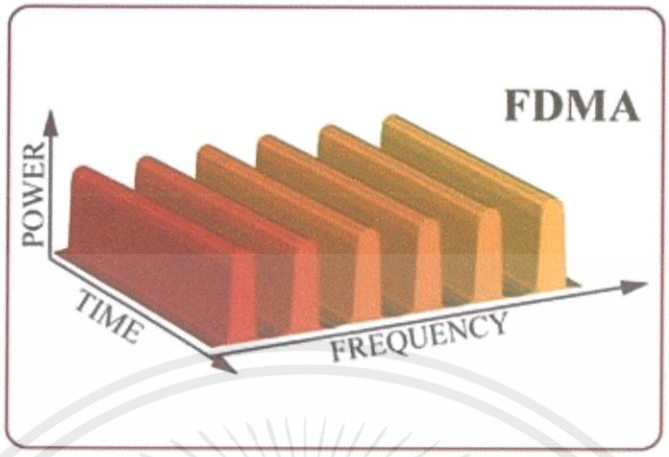
2.4.2.2 เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ

เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณในระบบสื่อสารไร้สายสามารถทำได้ 3 วิธีการดังนี้

1) Frequency Division Multiple Access (FDMA)

เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณในรูปแบบของความถี่โดยกำหนดแต่ละช่องสัญญาณเฉพาะเจาะจงกับผู้ใช้งานแต่ละคนอย่างชัดเจนซึ่งแต่ละผู้ใช้งานจะใช้ความถี่ใดความถี่หนึ่งหรือช่องสัญญาณใดช่องสัญญาณหนึ่งเท่านั้นตามความต้องการในการขอใช้บริการ ซึ่งขณะที่มีการสนทนากันนั้นจะไม่สามารถให้ผู้ใช้บริการรายอื่นมาใช้ช่องสัญญาณนั้นได้ ในระบบ FDD จะกำหนดความถี่ใช้งานออกเป็นสองชุดโดยชุดแรกจะใช้เป็นช่องสัญญาณ forward และอีกหนึ่งความถี่ใช้เป็นช่องสัญญาณ reverse

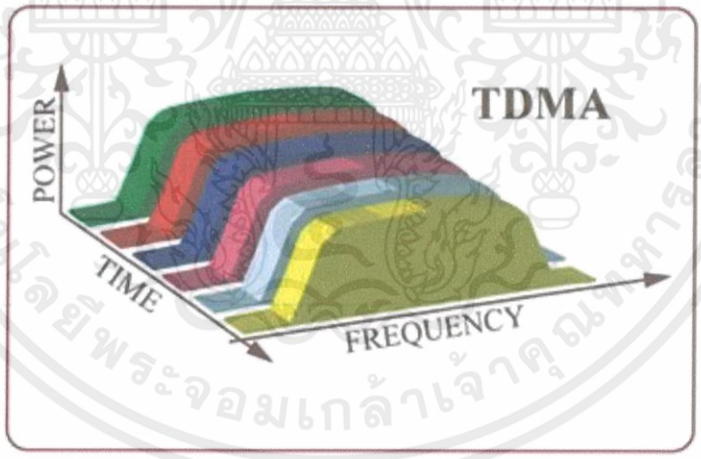
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ FDMA

2) Time Division Multiple Access (TDMA)

เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณในรูปแบบของเวลา โดยแบ่งแถบความถี่วิทยุออกเป็น time slot ซึ่งกำหนดให้ผู้ใช้งานทีละคนสามารถทั้งรับและส่งข้อมูลในแต่ละ time slot นั้นๆ

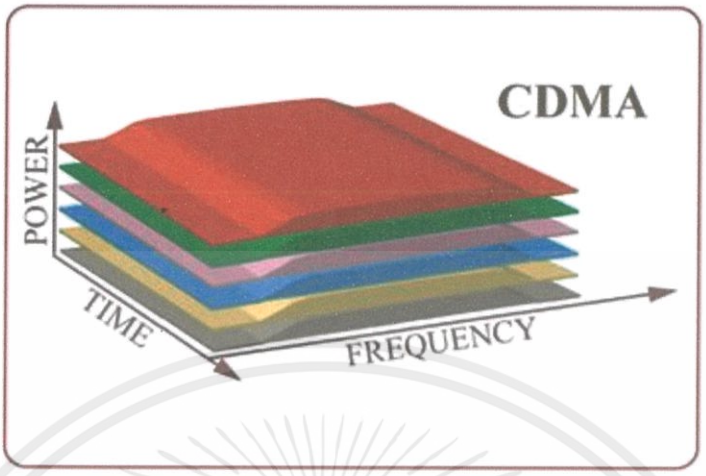


รูปที่ 2.33 เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ TDMA

3) Code Division Multiple Access (CDMA)

เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณด้วยการใช้รหัสในการรับส่งข้อมูลเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นวิธีการสื่อสารที่รองรับกับผู้ใช้บริการหลายๆ รายในเวลาเดียวกัน ในระบบ CDMA นี้ ผู้ใช้บริการทุกรายจะร่วมกันใช้ช่องสื่อสารวิทยุเดียวกัน โดยช่องความถี่มีลักษณะเป็นแบบ Band กว้าง ซึ่งมี Bandwidth ประมาณ 1.25 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ CDMA

2.4.2.3 เทคนิค Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

เทคโนโลยีใหม่ด้านความถี่คลื่นวิทยุที่นำเข้ามาใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารสมัยใหม่ต่างๆ เช่น WiMAX และ LTE ซึ่งสำหรับเทคโนโลยี WiMAX ใช้งาน OFDMA ทั้งในส่วนของดาวน์ลิงก์และอัพลิงก์ แต่ LTE ได้เลือกใช้เทคโนโลยี OFDMA สำหรับด้านดาวน์ลิงก์เท่านั้น

OFDMA มาจากเทคโนโลยี OFDM ที่มีพื้นฐานของ FDM ซึ่งแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มีการรบกวนกัน และทำการรับส่งข้อมูลกันได้อย่างราบรื่น แต่การที่จะทำให้มันไม่รบกวนกันนั้นไม่ได้ใช้วิธีการใช้ Guard Band เพื่อแยกแต่ละความถี่ออกจากกัน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองความถี่โดยใช่เหตุ แต่จะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการทำให้มันเป็นอิสระต่อกันหรือ Orthogonal

สัญญาณที่ Orthogonal กันนั้นเมื่อผ่านการโมดูเลชั่นที่ทำให้เกิดสัญญาณ Sideband รอบข้างขึ้นนั้นจะไม่มีผลต่อช่องสัญญาณข้างๆ ซึ่งจะสังเกตได้จากความถี่กลางของช่องสัญญาณนั้นจะไม่มีสัญญาณรบกวนใด เนื่องจากช่องสัญญาณนั้นเป็น Orthogonal ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ Guard Band มาช่วยป้องและทำให้สูญเสียสเปกตรัมความถี่ไปบางส่วนไปอย่างเปล่าประโยชน์ ทำให้การรับส่งสัญญาณความถี่นี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้อัตรา Throughput ที่สูงกว่า

เมื่อได้หลักการสร้างสัญญาณ OFDM มาแล้ว เราก็สามารถที่จะทำการสร้างสัญญาณที่แต่ละช่องสัญญาณเป็นอิสระต่อกันขึ้นได้ และโดยทั่วไปแล้วการใช้งาน OFDM ที่เกิดขึ้นจะเป็นลักษณะของ Multi-carrier Communication ซึ่งจะช่วยในเรื่องของสัญญาณรบกวนต่างๆ ได้ดีกว่า โดยจะทำการกระจายสัญญาณออกเป็นหลายๆ สายและส่งเข้าไปในแต่ละช่องสัญญาณเพื่อส่งออกอากาศอีกทีหนึ่ง ทำให้สัญญาณที่ออกไปมีคุณภาพดี และยังประหยัดความถี่จากประสิทธิภาพของ OFDM อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในทางปฏิบัตินั้น หากเราพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการสร้างสัญญาณ OFDM นั้น จำเป็นที่จะต้องใช้ความถี่หลายๆ ชุดด้วยกัน ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ Oscillator หลายชุด วิธีนี้เรียกว่า Discrete Technology เป็นวิธีที่ค่อนข้างสิ้นเปลืองและมีขนาดใหญ่ ยากที่จะนำมาใช้งานในอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่หรือการ์ด PCMCIA ได้ หากใช้วิธีนี้โอกาสที่จะเห็นอุปกรณ์การสื่อสารขนาดเล็ก เช่น LTE หรือ WiMAX 802.16e ที่สามารถจะพกพาไปไหนได้สะดวกก็ยากที่จะเกิดขึ้น

ดังนั้นจึงได้ค้นหาวิธีที่จะทำให้การใช้ OFDM เป็นจริงขึ้นมาได้ และวิธีที่ว่านั้นก็คือการใช้งาน IFFT หรือ Inverse Fast Fourier Transform ซึ่งเป็นการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ กระทั่งได้ Sampling สัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ที่ Orthogonal กันออกมา จากนั้นจึงค่อยส่งออกอากาศไป ซึ่งวิธีนี้จะประหยัดทั้งพลังงาน ขนาดเล็ก และง่ายต่อการออกแบบมากกว่า ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้งานมีขนาดเล็กและประหยัดพลังงานมากกว่า จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้งานกันในปัจจุบัน

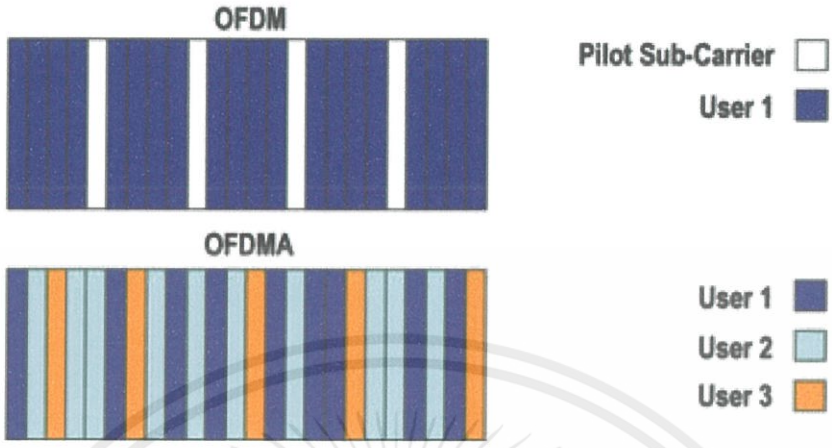
เมื่อเราต้องการที่จะใช้งาน OFDM สำหรับการรับส่งคลื่นวิทยุสำหรับหลายๆ ยูสเซอร์ เช่นเดียวกับที่ FDM ที่เคยกล่าวมาแล้ว นั่นคือ FDM ก็กลายเป็น FDMA

ฉะนั้น OFDM ก็กลายเป็น OFDMA ลักษณะของ OFDMA จะเป็นการแบ่งช่องสัญญาณย่อยหรือ Subcarrier ให้กับแต่ละยูสเซอร์ หากแต่การแบ่งนั้นจะเป็นลักษณะเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณความถี่ย่อยตามเวลาที่เปลี่ยนไป โดยจำนวนของช่องสัญญาณแต่ละยูสเซอร์นั้นจะขึ้นกับคุณภาพการให้บริการหรือ QoS ที่ให้บริการนั้น

ข้อดีของการทำเช่นนี้ก็คือมันจะช่วยกระจายความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน โดยเฉพาะสัญญาณรบกวนแบบ Narrow Band Interference ได้ดี หากเกิดการรบกวนขึ้นสัญญาณที่หายไปก็จะเป็นเพียงแค่ส่วนย่อยและชั่วคราวเท่านั้น สามารถที่จะแก้ไขได้ด้วยวิธีการอื่น เช่น การใช้ Error Coding เป็นต้น ทำให้คุณภาพสัญญาณที่มีนั้นดีขึ้น อีกทั้งทำให้สามารถที่จะใช้ทรัพยากรความถี่ร่วมกันหลายๆ ยูสเซอร์ได้

ข้อดีของเทคโนโลยี OFDMA ก็คือประสิทธิภาพที่ดีทั้งเรื่องการใช้ความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนได้ดี อีกทั้งยังสามารถที่จะเลือกใช้ความถี่ต่างๆ ได้อย่างยืดหยุ่นมากกว่า แต่ก็จะมีข้อเสียก็คือค่า PAPR (Peak to Average Power Ratio) ที่สูง ซึ่งส่งผลต่อการกินไฟที่มากกว่าปกติ มีประสิทธิภาพด้านพลังงานที่ลดลง และนั่นทำให้นั้นเหมาะกับการใช้งานด้านดาวน์ลิงก์มากกว่า ซึ่งเป็นสิ่งที่ LTE ได้เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 แสดงเทคนิค OFDM และเทคนิค OFDMA

2.5 LTE-Simulator

แอลทีอีซิมูเลเตอร์(LTE-Simulator) เป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Giuseppe Piro ด้วยภาษาซีพลัสพลัสบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ สามารถทำงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ Linux และ Windows ซึ่งแอลทีอีซิมเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานสำหรับเครือข่ายแอลทีอี ภายในซอฟต์แวร์ประกอบด้วยคลาสทั้งหมด 90 คลาสจำนวนไฟล์ทั้งหมด 220 ไฟล์ และมีจำนวนบรรทัดของโค้ดประมาณ 23,000 บรรทัด

2.5.1 ส่วนประกอบของซอฟต์แวร์

ส่วนประกอบหลักของซอฟต์แวร์มีอยู่ 4 ส่วนได้แก่

1. Simulator

เป็นส่วนควบคุมหลักของการซิมมูเลชัน ทำหน้าที่สร้าง จัดการ และจบการทำงาน

2. NetworkManager

เป็นส่วนในการสร้างและจัดการตำแหน่งของอุปกรณ์ การทำ Handover และรวมถึงเทคนิคการทำ Frequency reuse

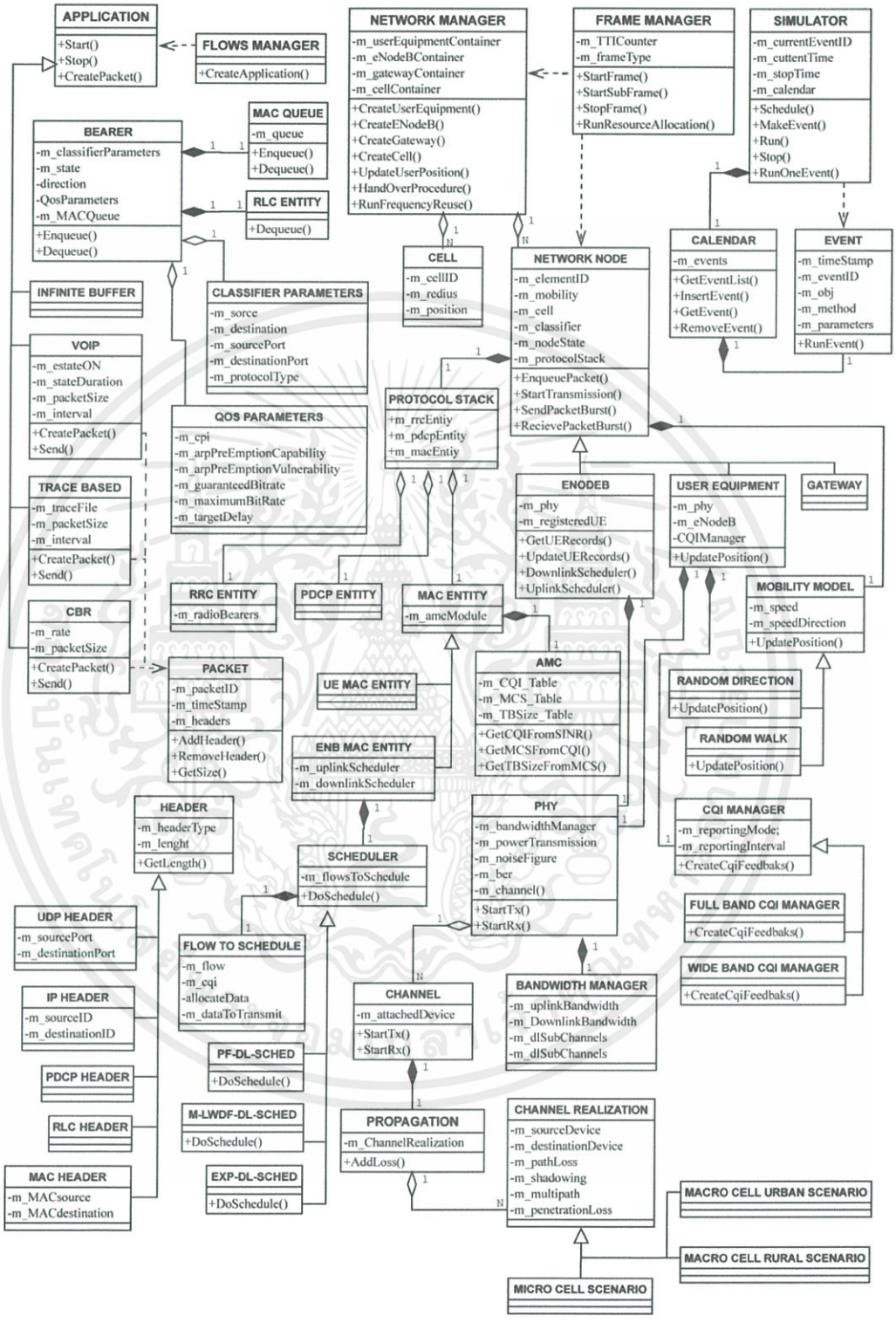
3. FlowsManager

เป็นส่วนจัดการแอพพลิเคชัน และสร้างแอพพลิเคชันต่างๆ

4. FrameManager

เป็นส่วนกำหนดลักษณะโครงสร้างของเฟรม จัดการเกี่ยวกับการเริ่มและจบของแอลทีอีเฟรมและซับเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 คลาสไดอะแกรมของ LTE-Sim

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเริ่มทำการซิมมูเลชัน คลาสหลักทั้งสี่จะถูกสร้างขึ้น ส่วนฟังก์ชันที่สำคัญของคลาสดังกล่าวได้ถูกนำมาแสดงดังตารางต่อไปนี้

คลาส	รายละเอียดคลาส	เมธอดที่สำคัญ	อธิบายเมธอด
Simulator	- สร้าง จัดการและสิ้นสุดเหตุการณ์ต่างๆ	Schedule()	สร้างเหตุการณ์และเพิ่มไปยังปฏิทิน
		RunOneEvent()	ประมวลผลเหตุการณ์ต่างๆ
		Run() / Stop()	เริ่มและสิ้นสุดการซิมมูเลชัน
FrameManager	- กำหนดลักษณะโครงสร้างของเฟรม - กำหนดเฟรมและเฟรมย่อย	StartFrame() StopFrame()	จัดการเกี่ยวกับการเริ่มและจบของเฟรม
		StartSubFrame() StopSubFrame()	จัดการเกี่ยวกับการเริ่มและจบของเฟรมย่อย
FlowManager	- จัดการแอพพลิเคชั่น	CreateApplication()	สร้างแอพพลิเคชั่นต่างๆ
NetworkManager	- สร้างอุปกรณ์ต่างๆ - จัดการตำแหน่งอุปกรณ์ของผู้ใช้ - ควบคุมการแฮนด์โอเวอร์ - จัดสรรการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่	CreateUserEquipment()	สร้างอุปกรณ์ของผู้ใช้
		CreateCell()	สร้างแอลทีอีเซลล์
		UpdateUserPosition()	อัพเดตตำแหน่งอุปกรณ์ของผู้ใช้
		HandOverProcedure()	จัดการการแฮนด์โอเวอร์
		RunFrequencyReuse()	จัดสรรการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักของ LTE-Sim

ในสถานการณ์ของการซิมมูเลชันนั้นเป็นการนำเอาหลายๆออปเจกต์มารวมกันจนเป็นระบบหนึ่งของแอลทีอี โดยในการสร้างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมาใหม่นั้น จะใช้เมธอด Schedule() ที่อยู่ในคลาส Simulator สร้างความสัมพันธ์ระหว่างโหนดต่างๆ มีการเก็บเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นตามลำดับเวลาไว้ในปฏิทิน (Calendar) รวมถึงการจัดลำดับเหตุการณ์ต่างๆก็จะถูกจัดการโดยคลาสนี้เช่นกัน ปฏิทินจะถูกเพิ่มด้วย 3 เหตุการณ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เริ่มการซิมมูเลชัน โดยใช้เมธอด Run() ในคลาส Simulator

2. เริ่มกำหนดคุณลักษณะของเฟรมและเฟรมย่อย โดยใช้เมธอด StartFrame() ในคลาส FrameManager

3. สิ้นสุดการซิมมูเลชัน โดยใช้เมธอด Stop() ในคลาส Simulator

ในส่วนของอุปกรณ์ของผู้ใช้ โหนดของเซลล์และเกตเวย์ จะถูกสร้าง ทำลายรวมถึงถูกจัดการโดยคลาส

NetworkManager แต่ละโหนดสามารถเป็นได้ทั้งต้นทางและปลายทางในการส่ง-รับข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้จะถูกกำหนดรายละเอียดต่างๆดังนี้ ไอพีแอดเดรสต้นทาง (Source IP Address) และปลายทาง (Destination IP Address) พอร์ทของผู้ส่งและผู้รับ และชนิดของโพรโทคอลชั้นทรานสปอร์ต

แอลทีอีซิมสามารถรองรับทั้งการจัดสรรทรัพยากรที่แบ่งตามเวลาและตามความถี่ ในการจัดสรรทรัพยากรแบบแบ่งตามเวลานั้น จะมีการกระจายทรัพยากรทุกๆ TTI หรือคิดเป็น 0.5 มิลลิวินาที ในการจัดสรรทรัพยากรแบบแบ่งตามความถี่ จะมีการแบ่งแบนด์วิธทั้งหมดออกเป็นช่วงละ 180 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับในระบบอื่นที่มีการตั้งแบนด์วิธที่ต่างจากนี้ จะมีการกำหนดเป็นค่าคงที่ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามความเหมาะสม

ทรัพยากรแบบแบ่งตามเวลาจะมีช่วงเท่ากับ 0.5 มิลลิวินาทีในหนึ่งไทม์สลอต (Time Slot) ส่วนทรัพยากรแบบแบ่งตามความถี่จะมีช่วงเท่ากับหนึ่งแชนแนลย่อย (Sub Channel) ซึ่งเรียกว่า RB และเป็นทรัพยากรที่ถือว่าเล็กที่สุดที่สามารถมอบให้กับอุปกรณ์ของผู้ใช้ในการส่งข้อมูล

การดำเนินงานของโครงสร้างเฟรมในแอลทีอีถูกรับรองโดย FrameManager ซึ่งจะดูแลในส่วนของการจัดการตารางเวลาที่ถูกต้องของเฟรมและเฟรมย่อยเช่น TTI รวมถึงการจัดการตารางเวลาที่ถูกต้องของการรวมโหนดของเซลล์ต่างๆเข้าด้วยกัน

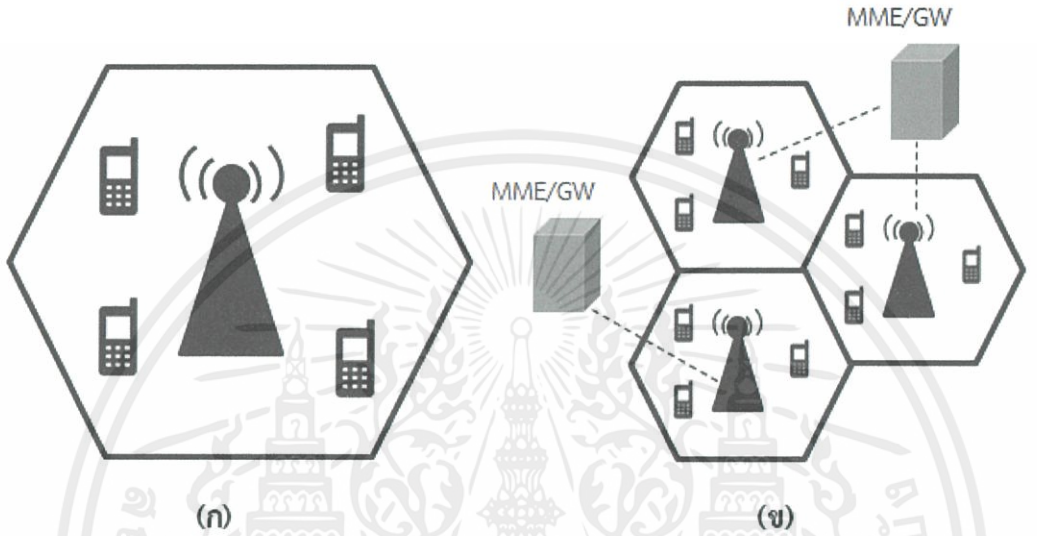
ลักษณะของ PHY-Layer เป็นการจัดการของทั้งอุปกรณ์ของผู้ใช้และโหนดของเซลล์ต่างๆ โดยปกติแล้ว PHY จะเป็นเหมือนออบเจ็กต์ที่เก็บพารามิเตอร์ของ PHY ส่วนรูปแบบของช่องสัญญาณวิทยุจะถูกเชื่อมต่อไปยังแต่ละอุปกรณ์ ข้อมูลของ PHY เช่น ช่องของความถี่, แบนด์วิธที่สามารถใช้ได้, รายการของ RB ที่สามารถใช้ได้สำหรับ Downlink และ Uplink, พารามิเตอร์ของความถี่ที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกเก็บในออบเจ็กต์ของคลาส BandwithManager สุดท้ายการสร้างทราฟฟิกซึ่งมี 4 ชนิดที่แตกต่างกันดังนี้ TraceBase, ON-OFF, Constant Bit Rate และ Infinite Buffer ทราฟฟิกต่างๆเหล่านี้จะถูกสร้างใน Application layer

ในแอลทีอีซิมยังมีสถานการณ์ต่างๆกำหนดไว้ ซึ่งจะถูกสร้างเป็นฟังก์ชันแบบสแตติก ที่สวนหัวของไฟล์ C++ การอ้างถึงฟังก์ชั่นของสถานการณ์ต่างๆนี้สามารถอ้างได้จากในส่วนหลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 โครงสร้างพื้นฐานของเน็ตเวิร์ค

ในการซิมมูเลชันมีทั้งแบบซิงเกิลเซลล์ (Single-cell) และมัลติเซลล์ (Multicell) สามารถทำงานได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.37 การซิมมูเลชันของสภาพแวดล้อมต่างๆ
(ก)สภาพแวดล้อมแบบซิงเกิลเซลล์
(ข)สภาพแวดล้อมแบบมัลติเซลล์

ในเครือข่ายเน็ตเวิร์กประกอบด้วยเซตของเซลล์และโหนดต่างๆ ที่รวมทั้ง eNB และ MME/GW และอุปกรณ์ของผู้ใช้ ซึ่งกระจายอยู่ระหว่างเซลล์ต่างๆ วิธีทั้งหมดที่มีไว้สำหรับการสร้างและจัดการเครือข่ายเน็ตเวิร์กนั้น จะถูกจัดการโดยคลาส NetworkManager

แอลทีอีเซลล์ซึ่งถูกจัดการโดยคลาสชื่อ Cell ในแต่ละเซลล์จะมีการกำหนดหมายเลขที่ไม่ซ้ำกัน และมีแอททริบิวท์ของเซลล์คือ รัศมีและตำแหน่งที่ตั้งของเซลล์แต่ละเซลล์

สำหรับโหนดต่างๆซึ่งมีดังนี้ ENodeB (eNB), UserEquipment (UE), และ MME/GW จะแยกเป็นคลาส ถูกระบุอยู่ในคลาสที่ชื่อ NetworkNode ซึ่งแต่ละโหนดก็จะถูกกำหนดหมายเลขที่ไม่ซ้ำกันเช่นเดียวกับเซลล์

ในส่วนของ User plane protocol stack และ Control plane protocol stack ถูกจัดเตรียมโดยคลาสที่ชื่อ ProtocolStack ซึ่งมีการบรรจุ RRC, PDCP และ Media Access Control (MAC) ไว้อยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

eNB มีหน้าที่คือบริหารจัดการทรัพยากรของคลื่นวิทยุ ทั้งใน Downlink และ Uplink โดยปกติแล้ว Downlink กับ Uplink จะถูกกำหนดลักษณะในตัวแปรชื่อ m_downlinkScheduler และ m_uplinkScheduler

สำหรับ eNB และ อุปกรณ์ของผู้ใช้ จะมีการกำหนดรายละเอียดของ PHY object, namely, m_phy ไว้ใน PHY object และนำไปเพิ่มในช่องสัญญาณซึ่งเป็นรูปแบบที่อยู่ในคลาส Channel ในคลาสนี้จะควบคุมการติดต่อสื่อสารผ่าน PHY channel รวมถึงจัดการเกี่ยวกับรูปแบบของ loss แบบต่างๆ

PHY object ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับจัดการอินเตอร์เฟสระหว่างอุปกรณ์และช่องสัญญาณ เพื่อการจัดเก็บบันทึกและจัดการข้อมูลเกี่ยวกับช่องสัญญาณ เช่น จัดเก็บแบนด์วิธ และเก็บรายการของแชนแนลย่อยทั้ง Downlink และ Uplink และเพื่อการเชื่อมต่อไปยังช่องสัญญาณ

ตัววัดคุณภาพของแชนแนล (Channel Quality Indicator: CQI) เป็นรายงานผลหนึ่งที่สำคัญที่ถูกแสดงโดยอุปกรณ์ของผู้ใช้ โดยปกติแอลทีอีซิมจะสนับสนุนคุณลักษณะการรายงาน CQI เช่น การประเมินคุณภาพแชนแนลของอุปกรณ์ผู้ใช้และจะแปลงกลับไปเป็นเซตของ CQI รายงานไปยัง eNB

ตัวซิมมูเลเตอร์นี้สนับสนุนทั้งโหมดรายงานผลแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง และโหมดรายงานผลแบบ Full-band และ Wide-band ในระหว่างที่ทำการซิมมูเลชัน แต่ละ eNB จะเก็บรายการของอุปกรณ์ของผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องเอาไว้

2.5.3 การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ของผู้ใช้ (Users Mobility)

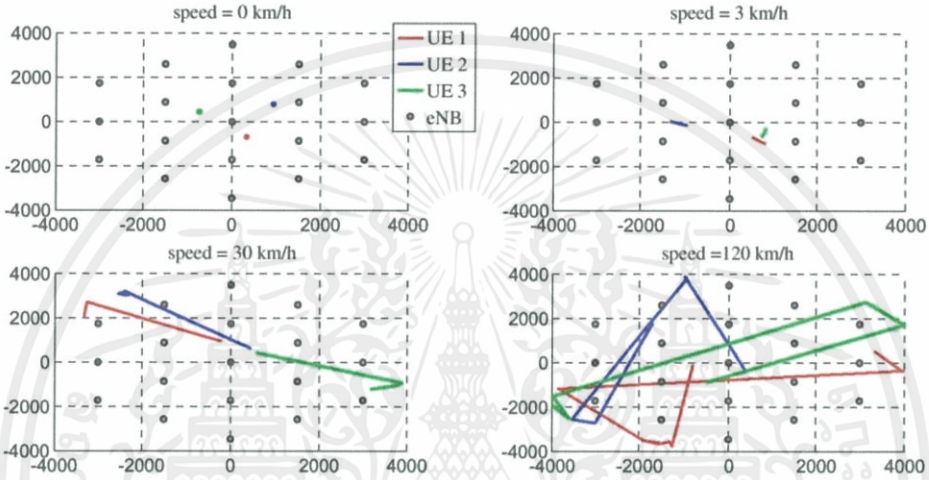
ในการสนับสนุนการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ผู้ใช้ มีโมเดลอยู่ 2 รูปแบบ คือคลาสที่ชื่อ Random Direction และคลาส Random Walk ซึ่งเป็นส่วนขยายของคลาสที่ชื่อว่า MobilityModel ในคลาส MobilityModel มีตัวแปรคือ m_speed กำหนดความเร็ว และ m_speedDirection กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ สำหรับอุปกรณ์ของผู้ใช้แต่ละตัว m_mobility ถูกสร้างขึ้นเพื่อบริการจัดการการเคลื่อนที่ โดยความเร็วของอุปกรณ์ของผู้ใช้ควรมีค่าดังที่กำหนดไว้คือ 0, 3, 30 และ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเทียบได้กับความเร็วของการเดิน และความเร็วของยานพาหนะ

เมื่อมีการใช้งานแบบ Random Direction อุปกรณ์ของผู้ใช้จะเลือกความเร็วแบบสุ่มตามค่าที่กำหนดไว้ และเคลื่อนที่อยู่ในช่วงเวลาและพื้นที่ที่กำหนดไว้ ในระหว่างที่ซิมมูเลชันเมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่ไปถึงจุดหนึ่งก็จะเลือกความเร็วใหม่

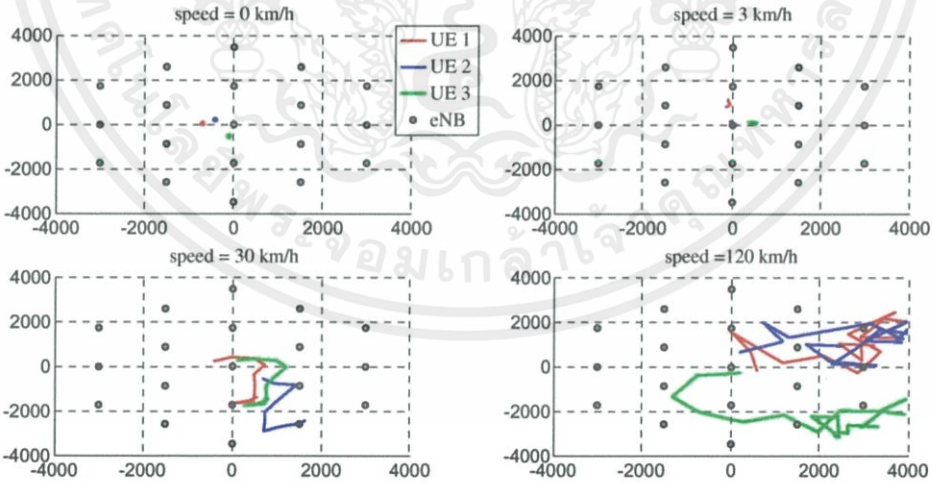
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการใช้งานแบบ Random Walk อุปกรณ์ของผู้ใช้จะเลือกความเร็วและเคลื่อนที่ที่สอดคล้องกับระยะทาง หมายถึงระยะทางขึ้นอยู่กับความเร็ว ถ้าระยะทางมากความเร็วของอุปกรณ์

ของผู้ใช้ก็จะมาก ถ้าระยะทางน้อยความเร็วของอุปกรณ์ของผู้ใช้ก็จะน้อย โดยอุปกรณ์ของผู้ใช้จะเปลี่ยนความเร็วหลังจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ไปถึงจุดอีกจุดหนึ่ง และอีกกรณีหนึ่งที่จะเปลี่ยนความเร็วก็คือเมื่อเคลื่อนที่ไปจนสุดขอบเขตของพื้นที่ โดยค่าตั้งต้นระยะทางที่จะเคลื่อนที่มีค่าเป็นดังนี้คือ 200 เมตร ความเร็วที่จะใช้คือ 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, 400 เมตร ความเร็วที่จะใช้คือ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 1000 เมตร สำหรับความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 2.38 และ รูปที่ 2.39



รูปที่ 2.38 โมเดลแสดงตัวอย่างรูปแบบการเคลื่อนที่แบบ Random Direction



รูปที่ 2.39 โมเดลแสดงตัวอย่างรูปแบบการเคลื่อนที่แบบ Random Walk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.38 และ 2.39 แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบดังที่กล่าวมา ในโครงสร้างจะประกอบไปด้วย 19 เซลล์ รัศมีเท่ากันคือ 1 กิโลเมตร

การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ของผู้ใช้ ถูกบริหารจัดการโดยคลาสที่ชื่อว่า NetworkManager ซึ่งในทุกๆการอัพเดทของ TTI ตำแหน่งของอุปกรณ์ของผู้ใช้จะเป็นไปตามโมเดลที่เลือกผ่านเมธอด HandOverProcedure() ในคลาส NetworkManager และการตัดสินใจในการแฮนด์โอเวอร์จะดำเนินการโดย HandOverManager ซึ่งจะถูกกำหนดให้สำหรับอุปกรณ์แต่ละตัวของผู้ใช้

การจัดการ Hard Handover ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1) สำหรับอุปกรณ์ของผู้ใช้ที่เรียกการแฮนด์โอเวอร์ จะต้องเป็นตัวเลือกโหนดของเซลล์ใหม่จากโหนดทั้งหมดที่จะย้ายไป โดยเลือกโหนดที่มีสัญญาณแรงที่สุด
2) ข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับอุปกรณ์ของผู้ใช้จะถูกส่งจากโหนดเก่าไปยังโหนดใหม่
3) ระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้และโหนดใหม่ ช่องสัญญาณใหม่จะถูกสร้างขึ้น
4) อุปกรณ์ของผู้ใช้จะอัพเดทรายการของแชนแนลย่อยในการอัพโหลดและดาวน์โหลดถูกกำหนดไปยังโหนดใหม่

ระหว่างที่ทำการแฮนด์โอเวอร์นั้น อุปกรณ์ของผู้ใช้จะทำการย้ายไปพักอยู่ในอีกสเตทหนึ่งในช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อที่ว่าจะไม่มีการย้ายไปอยู่ในที่อื่น ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวคือเวลาในการซิมมูเลเตอร์และค่านี้สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ โดยค่าพื้นฐานเท่ากับ 30 มิลลิวินาที

2.5.4 แอพพลิเคชันของอุปกรณ์ผู้ใช้ (Application of User Equipment)

การส่งแพ็กเกตผ่านช่องสัญญาณวิทยุจะถูกสร้างที่ชั้นแอพพลิเคชัน (Application Layer) โดยจะมีแอพพลิเคชัน 4 แอพพลิเคชันที่จะถูกสร้าง ได้แก่ trace based, voice over IP (VoIP), constant bit rate (CBR) และ infinite buffer

แอพพลิเคชัน Trace based มีการส่งแพ็กเกตโดยพื้นฐานมาจากการส่งข้อมูลของวีดีโอ

แอพพลิเคชัน VoIP สร้างเฉพาะการส่งของสัญญาณเสียงเท่านั้น การส่งของสัญญาณเสียงจะมีช่วงที่ส่งและหยุดส่ง (ON/OFF) เมื่อมีการส่งแบบกระจายค่าอย่างสม่ำเสมอโดยค่าจะใกล้เคียง 3 วินาที และช่วงหยุดส่งจะมีการกระจายแบบสุ่มโดยค่าสูงสุดที่เป็นได้คือ 6.9 วินาที และค่าเฉลี่ยไม่เกิน 3 วินาที ระหว่างช่วงการส่งแพ็กเกตจะถูกส่งเป็นขนาด 20 ไบต์ทุกๆ 20 วินาที ในขณะช่วงหยุดส่งอัตราการส่งจะเป็น 0

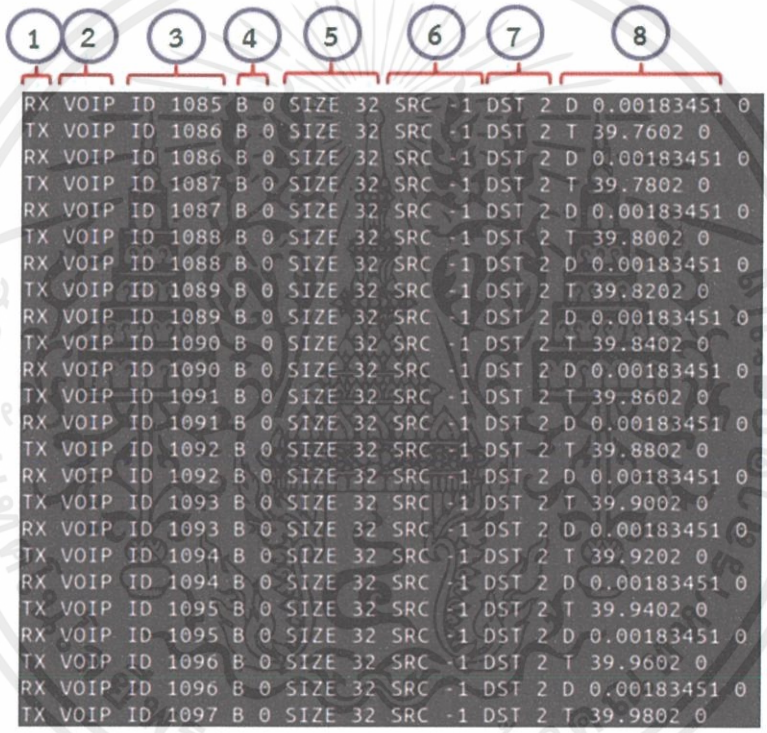
แอพพลิเคชัน CBR แพ็กเกตจะถูกส่งไปในอัตราที่คงที่ ขนาดของแพ็กเกตและช่วงระยะเวลาการส่งจะต้องถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า และขึ้นอยู่กับความคับคั่งของเครือข่าย (Traffic)

แอพพลิเคชัน Infinite-Buffer เป็นการส่งแบบอุดมคติโดยจะมีการส่งแพ็กเกตอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 การใช้งานเบื้องต้น

ภายในโปรแกรมนี้ จะมีสถานการณ์จำลองมาให้เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทดลองทดสอบโปรแกรมได้ โดยสถานการณ์พื้นฐานนี้มีการสร้างพารามิเตอร์ต่างๆเช่น Cell, ENodeB, UE, Application รวมถึงเวลาเริ่ม (Start Time) และยกเลิก (Stop Time) ในการซิมมูเลชันมาให้เรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้เพียงกำหนดจำนวน Cell, UE, จำนวน Application, ความเร็วของ UE, ค่า Delay สูงสุด และ VideoBitRate แล้วสั่งรัน โปรแกรมก็จะแสดงผลลัพธ์ออกมาดังรูปที่ 2.40 ส่วนรายละเอียดการใช้งานโปรแกรมอย่างละเอียดจะกล่าวในบทที่ 4



รูปที่ 2.40 ผลลัพธ์ของการสั่งรันโปรแกรม LTE-Sim ในสถานการณ์พื้นฐาน

จากรูปที่ 2.40 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. บอกถึงสถานะ ซึ่งประกอบด้วย ส่ง (TX), รับ (RX), ทิ้ง (DROP)
2. Packet Type หรือ ชนิดของ Application
3. Packet ID
4. Bearer ID
5. Packet size
6. Source ID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Destination ID

8. เวลาในการส่ง Packet หรือ Delay ของแพ็กเกตที่ได้รับ

2.6 AWK Script

AWK Script เป็นไฟล์ซึ่งเขียนด้วยภาษา AWK ทำหน้าที่เป็นข้อกำหนดในการ คัดกรอง แยกแยะ Trace file เพื่อหาค่าประสิทธิภาพต่างๆของการจำลอง เช่น Throughput, Delay, Loss และ PLR โดยที่

PLR (Packet Loss Rate) คือ เปอร์เซ็นต์อัตราข้อมูลที่หายไประหว่างการส่งข้อมูล

Delay คือ เวลาที่เสียไปในขณะที่ข้อมูลเดินทางจากต้นทางไปถึงปลายทาง

Loss คือ ปริมาณข้อมูลที่หายไปในระหว่างการส่งข้อมูล

Throughput คือ สัดส่วนของปริมาณข้อมูลที่ปลายทางรับได้สำเร็จทั้งหมดต่อเวลาที่ใช้ในการซิมมูเลชัน

ซึ่งตัวอย่างโปรแกรมของ AWK Script สำหรับคัดกรอง Trace file มีดังนี้

โปรแกรม 2.6.1 AWK Script Throughput สำหรับกรอง Trace file

```
BEGIN{
 sumSize = 0;
 simtime = 500;
}
{
 if($1 == "RX")
        sumSize = sumSize + $8;
}
END{
        throughput = sumSize/simtime*(8/1000);
        printf("%.4f", throughput);
}//หน่วยเป็น kbps
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม 2.6.2 AWK Script Delay สำหรับกรอง Trace file

```
BEGIN{
 sumDelay = 0;
 lineDelay = 0;
}
{
 if($1=="RX" && $13 == "D"){
            sumDelay = sumDelay + $14;
            lineDelay = lineDelay + 1;
 }
}
END{
          Delay = (sumDelay/lineDelay)*1000;
          printf("%.4f", Delay);
}//หน่วยเป็น มิลลิวินาที
```

โปรแกรม 2.6.3 AWK Script Loss สำหรับกรอง Trace file

```
BEGIN{
 sendPKT = 0;
 recievePKT = 0;
}
{
 if($1 == "TX")
            sendPKT = sendPKT + 1;
 if($1 == "RX")
            recievePKT = recievePKT + 1;
}
END{
          Loss = (sendPKT-recievePKT)*1000;
          printf("%.4f", Loss);
}//กิโลแพ็กเกต
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม 2.6.4 AWK Script PLR สำหรับกรอง Trace file

```
BEGIN{
 sendPKT = 0;
 recievePKT = 0;
}
{
 if($1 == "TX")
            sendPKT = sendPKT + 1;
 if($1 == "RX")
            recievePKT = recievePKT + 1;
}
END{
            PLR = ((sendPKT-recievePKT)/sendPKT)*100;
            printf("%.4f", PLR);
}//หน่วยเป็นเปอร์เซนต์
```

2.7 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบ Simulation

Simulation คือ การนำเสนอหรือการจำลองลักษณะของระบบอื่นๆตลอดช่วงเวลาที่สนใจ ซึ่งในกรณีที่กล่าวถึง Computer simulation จะหมายถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำลองการทำงานของระบบที่สนใจ

2.7.1 Computer Simulation Fundamental

1. Computer Simulation คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำลองลักษณะการทำงานของโปรแกรมที่สนใจตลอดเวลาหรือเฉพาะช่วงเวลาที่ให้ความสนใจ

2 .Program variables หรือ State variables เป็นตัวแปรซึ่งใช้เป็นสื่อกลางในการแสดงถึงสถานะปัจจุบันของระบบที่จำลอง

3. Simulation Program จะปรับเปลี่ยนค่าของ state variable เพื่อที่จะพัฒนาแบบจำลองไปตามช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ

4. รูปแบบของเวลาที่มีการใช้งานในระบบ Simulation

1) เวลาที่ระบบต้นแบบใช้ในการทำงาน (Physical Time) คือ เวลาที่ระบบต้นแบบหรือระบบจริงใช้ในการทำงานดังกล่าวที่จะนำมาทำเป็นแบบจำลองจริง เช่น การทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองเพื่อแสดงการขึ้น-ลงของเครื่องบินตั้งแต่เวลาเที่ยงวันที่ 14 มกราคม 2545 จนกระทั่งถึงเวลาเที่ยงของวันที่ 15 มกราคม 2545 จะได้ว่า ช่วงเวลาตั้งแต่เวลาเที่ยงวันที่ 14 มกราคม 2545 จนกระทั่งถึงเวลาเที่ยงของวันที่ 15 มกราคม 2545 เป็นเวลาของ Physical Time

2) เวลาที่เลื่อนไปในแบบจำลอง (Simulation Time) คือ เวลาที่แบบจำลองใช้ในการทำงานเพื่อจำลองระบบ ซึ่งเวลาดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ระบบต้นแบบใช้ในการทำงานจริง (Physical Time) เช่น เวลาในแบบจำลองเป็น 9.0 จะหมายถึงเวลา 9.00 น. ในระบบจริง และหนึ่งหน่วย (1.0) ของเวลาที่เลื่อนไปในแบบจำลองจะหมายถึงเวลา 1 ชั่วโมงที่เลื่อนไปในระบบจริง

3) เวลาที่เลื่อนไปในความเป็นจริง (Wallclock Time) คือ เวลาที่เลื่อนไปในความเป็นจริง (เหมือนกับเวลาที่แสดงโดยนาฬิกา) ในระหว่างที่แบบจำลองมีกำลังทำงาน เช่น แบบจำลองเริ่มต้นทำงานที่เวลา 10.00 น. จนกระทั่งถึงเวลา 12.00 น. ในวันที่ 10 มกราคม 2545

5. ลักษณะการทำงานของระบบ Simulation เมื่อแบ่งตามเวลาในการทำงาน จะมี 3 รูปแบบ คือ

1) As-fast-as-possible execution คือ การทำงานของแบบจำลองจะทำงานไปด้วยความเร็วสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยไม่สัมพันธ์เวลาที่เลื่อนไปในโลกของความเป็นจริง หรือ การทำงานจะไม่ขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการทำงาน (แต่ยังคงสัมพันธ์กับเวลาที่ระบบต้นแบบใช้ในการทำงาน)

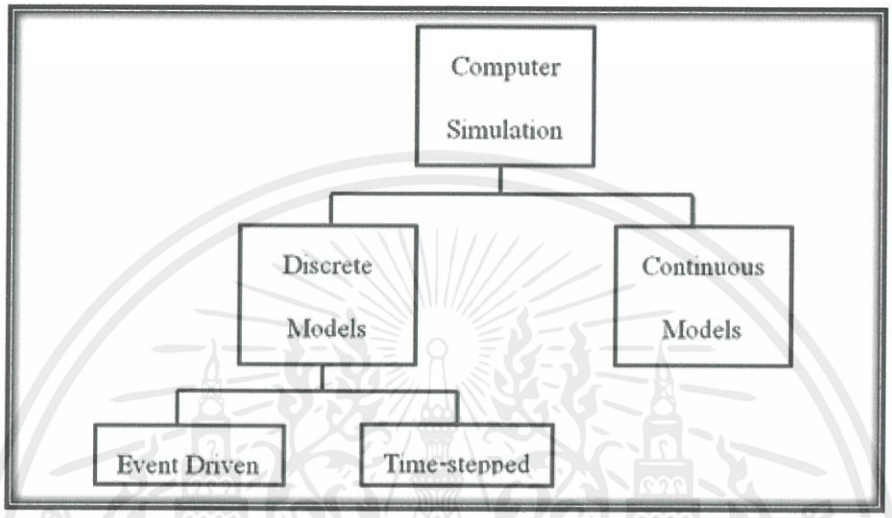
2) Real time execution คือ การทำงานของแบบจำลองจะมีความสัมพันธ์กับเวลาจริงที่ใช้ในการทำงานของแบบจำลอง เช่น โปรแกรมหรือแบบจำลองใช้เวลาในการทำงานตามความเป็นจริงไปเป็นเวลา 15 นาที ดังนั้นเวลาที่เลื่อนไปในแบบจำลองก็จะเท่ากับ 15 นาทีด้วย

3) Scalable real-time execution คือ การทำงานจะมีความสัมพันธ์กับเวลาจริงที่ใช้ในการทำงานในลักษณะที่เป็นอัตราส่วนต่อกัน ในกรณีที่อัตราส่วนมีค่ามากกว่าหนึ่ง แบบจำลองก็จะทำงานได้เร็วกว่าระบบจริง , ในกรณีที่อัตราส่วนมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง (อัตราส่วนจะไม่ต่ำกว่า 0) แบบจำลองจะทำงานได้ช้ากว่าระบบจริง และในกรณีที่อัตราส่วนเท่ากับหนึ่งระบบจะทำงานแบบ Real-time execution เช่น อัตราส่วนในการทำงานเท่ากับ 2 ดังนั้นเมื่อแบบจำลองทำงานไปเป็นเวลา 15 นาที เวลาที่ถูกเลื่อนไปในแบบจำลองก็จะเท่ากับ 2 x 15 หรือ 30 นาที เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 Computer Simulation Taxonomy

Computer Simulation Taxonomy เป็นการกล่าวถึงลักษณะการทำงานของ Computer Simulation ซึ่งสามารถที่จะแบ่งการทำงานออกมาเป็นลักษณะหรือวิธีการทำงานย่อยได้ดังรูปที่ 2.41



รูปที่ 2.41 แผนภาพ Computer Simulation Taxonomy

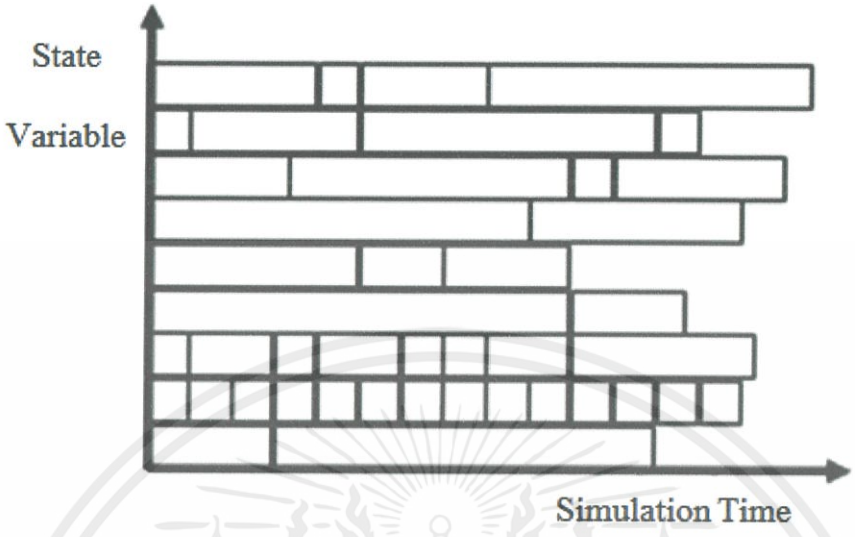
จากรูป วิธีการหรือลักษณะการทำงานของ Computer Simulation สามารถที่จะอธิบายได้ดังนี้คือ

1. Continuous time simulation เป็นระบบที่จำลองโดยการให้ความสนใจการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มต้นทำงานจนสิ้นสุดการทำงาน ไม่ว่าระหว่างการทำงานของแบบจำลองจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้นก็ตาม ซึ่งลักษณะของแบบจำลองที่ได้มักจะขึ้นกับสมการที่จะนำมาใช้ในการอธิบายแบบจำลอง แบบจำลองที่เหมาะสมกับการทำงานแบบนี้มักจะเป็นแบบจำลองที่ต้องการความต่อเนื่องในการทำงาน เช่น แบบจำลองของเครื่องบินที่ใช้แสดงการบินของเครื่องบิน

2. Discrete time simulation เป็นระบบที่การจำลองโดยการให้ความสนใจการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเป็นช่วงของเวลาที่ไม่ต่อเนื่อง คือไม่ต้องเก็บข้อมูลตลอดเวลาที่จำลองการทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งเป็นรูปแบบย่อยๆได้ 2 รูปแบบ คือ

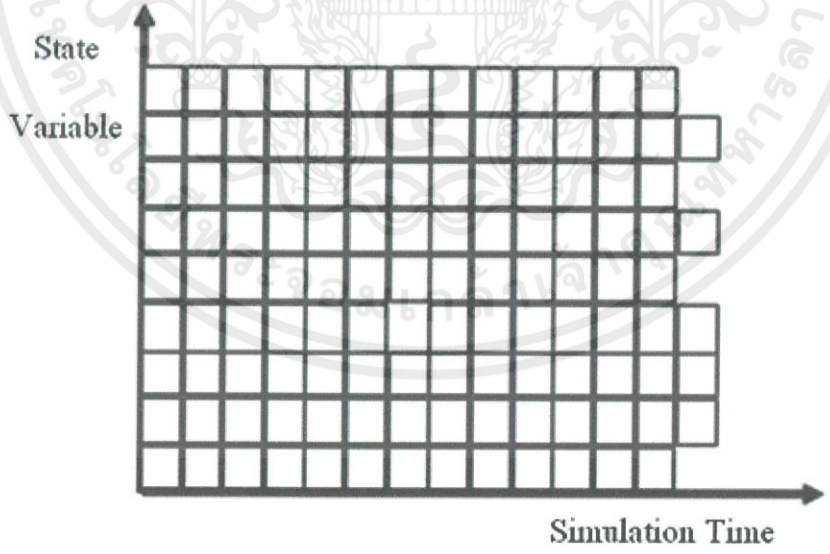
2.1 Event stepped เป็นแบบจำลองที่จะสนใจต่อเหตุการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการเลื่อนไปของเวลาที่ใช้ในแบบจำลองจะขึ้นอยู่กับการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ หากมีเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้นจึงจะมีการเลื่อนไปของเวลา แบบจำลองที่มีความเหมาะสม เช่น แบบจำลองของสนามบินอย่างง่ายซึ่งจะสนใจการขึ้นและลงของเครื่องบิน นั่นคือจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเครื่องบันมีการบินขึ้นและบินลงในสนามบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.42 แผนภาพแสดงลักษณะการทำงานแบบ Event stepped

2.2 Time stepped เป็นแบบจำลองที่จะเก็บข้อมูลเป็นช่วงๆของเวลา ดังนั้นเวลาที่จะใช้ในการทำงานจะมีการเลื่อนไปด้วยอัตราคงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการกำหนดของแบบจำลอง เช่น แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำของทะเล ซึ่งจะเก็บการเปลี่ยนแปลงทุกๆครึ่งชั่วโมง



รูปที่ 2.43 แผนภาพแสดงลักษณะการทำงานแบบ Time stepped

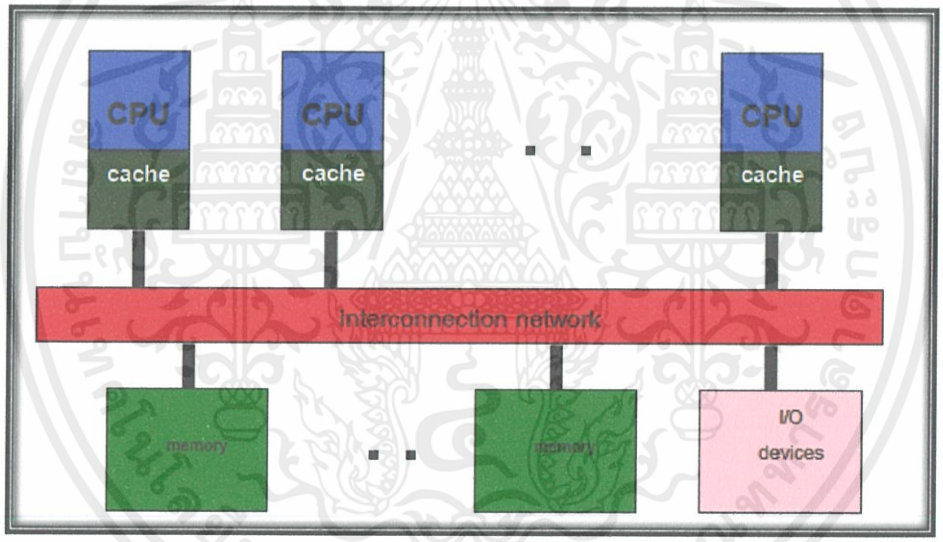
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 Parallel / Distributed Simulation

Parallel/Distributed Simulation คือ เทคโนโลยีที่ทำให้สามารถที่จะสร้างแบบจำลองเพื่อที่จะนำมาทำงานโดยใช้ระบบ Multiprocessors หรือการใช้หน่วยประมวลผลหลายตัวมาทำงานร่วมกันได้ ซึ่งการทำงานในรูปแบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1. Tightly Coupled Multiprocessors System เป็นระบบที่ทำงานแบบ Parallel Simulation ซึ่งจะมีการเชื่อมต่อกันของหน่วยประมวลผลอย่างใกล้ชิดกัน การทำงานในรูปแบบนี้สามารถที่จะแบ่งแยกเป็น 2 รูปแบบย่อยๆ ตามลักษณะการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำได้ดังนี้คือ

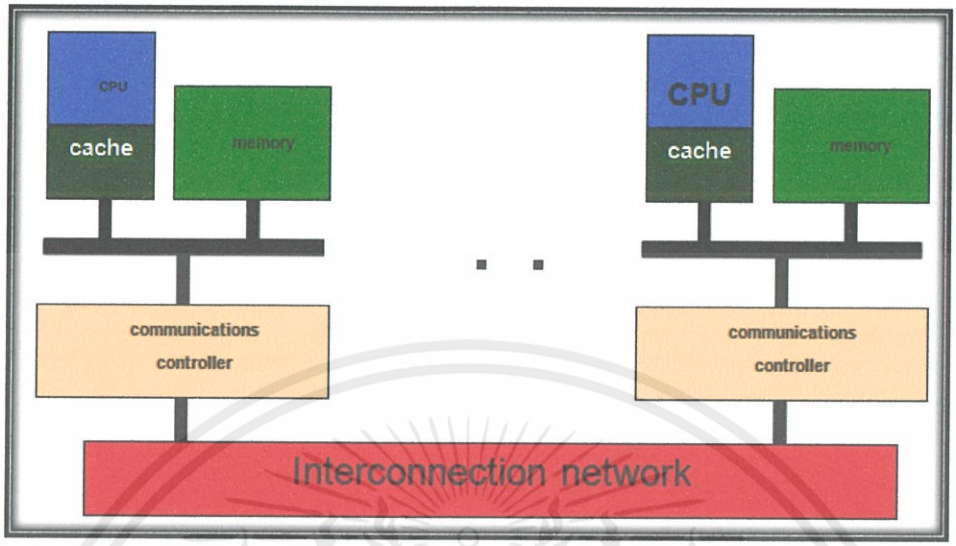
1.1 Share Memory Multiprocessors เป็นระบบที่จะแบ่งส่วนของ memory มาเพื่อใช้งานร่วมกันโดยหน่วยประมวลผลหลายตัว ดังนั้นส่วนของ memory จึงเป็นทรัพยากรของส่วนกลางที่จะนำมาแบ่งใช้งานร่วมกัน ไม่ได้เป็นของหน่วยประมวลผลตัวใดตัวหนึ่งโดยเฉพาะ



รูปที่ 2.44 ลักษณะการทำงานแบบ Share Memory Multiprocessors

1.2 Distributed memory multi-computers เป็นระบบที่จะแบ่งการทำงานไปให้หน่วยประมวลผลต่างๆช่วยกันทำงานโดยที่หน่วยประมวลผลแต่ละตัวจะมี Memory เป็นของตัวเอง ไม่ได้แบ่งกันใช้งานร่วมกัน แต่ว่าหน่วยประมวลผลตัวอื่นๆก็ยังสามารถที่จะเข้ามาขอข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ใน Memory ได้โดยการขอข้อมูลผ่านหน่วยประมวลผลได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.45 ลักษณะการทำงานแบบ Distributed memory multi-computers

2. Loosely coupled multiprocessors system เป็นระบบที่ทำงานแบบ Distributed simulation ซึ่งจะมีการเชื่อมต่อของหน่วยประมวลผลที่สามารถตั้งอยู่ในที่ต่างๆกระจายกันได้ โดยจะเชื่อมต่อกันผ่านระบบเครือข่ายเช่น Internet เป็นต้น

2.7.4 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของ Parallel กับ Distributed Simulation

ลักษณะทางกายภาพของระบบ Parallel และ Distributed Simulation มีความแตกต่างกันดังนี้ คือ

1. Physical extent หรือพื้นที่ในการทำงาน

1.1 สำหรับ Parallel simulation มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบ Machine room คือ สามารถทำงานได้เฉพาะในห้องที่ติดตั้งระบบ ซึ่งระบบทั้งหมดจะต้องติดตั้งในห้องเดียวกัน ดังนั้นจึงมีพื้นที่ในการทำงานที่แคบและจำกัด เนื่องจากความสามารถของระบบเชื่อมต่อที่ใช้งาน

1.2 สำหรับ Distributed simulation มีพื้นที่ในการทำงานเป็นแบบ Global คือ สามารถทำงานได้ในบริเวณที่กว้างขวาง เนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้งานสามารถแยกกระจายกันอยู่ได้ โดยใช้ระบบเชื่อมต่อที่รองรับการทำงานในระยะไกล ดังนั้นจึงสามารถทำงานได้แม้ว่าจะห่างไกลกันมากแค่ไหนก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Processors หรือหน่วยประมวลผลที่นำมาใช้งาน

2.1 สำหรับ Parallel simulation มีหน่วยประมวลผลเป็นแบบ Homogenous คือ หน่วยประมวลผลที่นำมาใช้งานร่วมกันจะต้องเป็นหน่วยประมวลผลที่มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ นั้นคือต้องเป็นหน่วยประมวลรุ่นเดียวกันทั้งหมดในการทำงาน

2.2 สำหรับ Distributed simulation จะมีหน่วยประมวลผลเป็นแบบ Heterogeneous คือ หน่วยประมวลผลที่นำมาใช้งานสามารถมีความแตกต่างกันได้ ไม่จำเป็นต้องเป็นรุ่นเดียว หรือผลิตจากบริษัทเดียวกัน

3. Communication Network หรือตัวกลางในการเชื่อมต่อระบบ

3.1 สำหรับ Parallel simulation ใช้ตัวกลางในการเชื่อมต่อแบบ Custom switch คือ Switch ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานโดยเฉพาะ สำหรับระบบคอมพิวเตอร์นั้นๆ

3.2 สำหรับ Distributed simulation ใช้ตัวกลางในการเชื่อมต่อแบบ Commercial LAN/WAN คือ สามารถที่จะนำมาใช้งานได้โดยระบบเน็ตเวิร์คที่มีการใช้งานอยู่โดยทั่วไป

4. Communication Latency หรือเวลาที่สูญเสียไปเพื่อใช้ในการติดต่อระหว่างกัน

4.1 สำหรับ Parallel simulation ใช้เวลาในการติดต่อน้อยมากเนื่องการการเชื่อมต่อของหน่วยประมวลผลอยู่ในพื้นที่จำกัด ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการติดต่อจะอยู่ในระดับไม่กี่มิลลิวินาทีจนถึงระดับสิบมิลลิวินาที

4.2 สำหรับ Distributed simulation ใช้เวลาในการติดต่อนานซึ่งจะอยู่ในระดับตั้งแต่หลายร้อยมิลลิวินาทีจนถึงระดับวินาที เนื่องจากการติดต่อจะมีระยะทางที่ห่างไกลกัน (สาเหตุที่ถือว่าใช้เวลานานเนื่องจากหน่วยประมวลผลมีความรวดเร็วในการทำงานสูงดังนั้นเวลาเพียงเล็กน้อยก็สามารถที่จะทำงานได้มาก)

2.7.5 ความจำเป็นที่จะต้องนำระบบ Distributed Simulation มาใช้งาน

ความจำเป็นที่จะต้องนำระบบ Distributed Simulation มาใช้งานเนื่องจากเหตุผลต่างๆ ดังนี้ คือ

1. ลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (Reduce model execution time) เนื่องจากสามารถที่จะแบ่งย่อยงานไปให้หน่วยประมวลผลหลายๆตัวช่วยกันทำงาน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสามารถลดลงได้ถึง N เท่า สำหรับการใช้งานหน่วยประมวลผล N ตัว

2. มีประสิทธิภาพที่ดีในเรื่องของขนาดของงาน (Scalable Performance) คือสามารถที่จะทำงานได้ด้วยความเร็วในระดับที่คงที่ถึงแม้ว่างานที่ทำจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเนื่องจากสามารถที่จะแบ่งย่อยงานไปให้หน่วยประมวลผลหลายๆตัวช่วยกันทำงานได้ (เพิ่มจำนวนของหน่วยประมวลผลที่จะนำมาใช้งาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถที่จะใช้งานทรัพยากรต่างๆหรือทำงานร่วมกับผู้ใช้งานอื่นๆในสถานที่ที่ห่างไกลกันได้ในเวลาเดียวกัน เนื่องจากสามารถที่จะกระจายการทำงานไปยังสถานที่ต่างๆได้โดยไม่จำกัด ถ้าสถานที่นั้นเชื่อมต่อระบบเน็ตเวิร์คได้

4. สามารถที่นำมาใช้งานบน Platform ของ OS ที่แตกต่างกันได้ ทำให้เกิดความสะดวกเนื่องจากไม่ต้องนำข้อมูลมาเปลี่ยนแปลงรูปแบบของ Platform ใหม่เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้

5. มีระบบในการป้องกันความเสียหาย (Fault Tolerance) ซึ่งทำให้สามารถที่จะทำงานต่อได้ถึงแม้ว่าจะมีเครื่องใดเครื่องหนึ่งที่ทำงานร่วมกันเกิดความเสียหาย

2.8 Java programming

2.8.1 ประวัติจาวา

ภาษาจาวา (Java programming language) เป็นภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุ พัฒนาโดยเจมส์ กอสลิง และวิศวกรคนอื่นๆ ที่ ซัน ไมโครซิสเต็มส์ ภาษาจาวาถูกพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2534 (ค.ศ. 1991) โดยเป็นส่วนหนึ่งของ โครงการกรีน (the Green Project) และสำเร็จออกสู่สาธารณะในปี พ.ศ. 2538 (ค.ศ. 1995) ซึ่งภาษานี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้แทนภาษา C++ โดยรูปแบบที่เพิ่มเติมขึ้นคล้ายกับภาษาอ็อบเจกต์ทีฟซี (Objective-C) แต่เดิมภาษานี้เรียกว่า ภาษาโอ๊ก (Oak) ซึ่งตั้งชื่อตามต้นโอ๊กใกล้ที่ทำงานของ เจมส์ กอสลิง แต่ว่ามีปัญหาทางลิขสิทธิ์ จึงเปลี่ยนไปใช้ชื่อ "จาวา" ซึ่งเป็นชื่อกาแฟแทน

ภาษาจาวาถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท ซันไมโครซิสเต็มส์ (Sun Microsystems Inc.) เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมภาษาหนึ่ง มีลักษณะสนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (OOP : Object-Oriented Programming) ที่ชัดเจน โปรแกรมต่างๆ ถูกสร้างภายใน Class โปรแกรมเหล่านั้นถูกเรียกว่า Method หรือ Behavior โดยปกติจะเรียกแต่ละคลาสว่าวัตถุ โดยแต่ละวัตถุมีพฤติกรรมมากมาย โปรแกรมที่สมบูรณ์จะเกิดจากหลายวัตถุ หรือหลายคลาสมารวมกัน โดยแต่ละคลาสจะมี Method หรือพฤติกรรมแตกต่างกันไป

2.8.2 จุดมุ่งหมายของการพัฒนาภาษาจาวา

1.ใช้ภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุ

2.ไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม (สถาปัตยกรรม และ ระบบปฏิบัติการ)

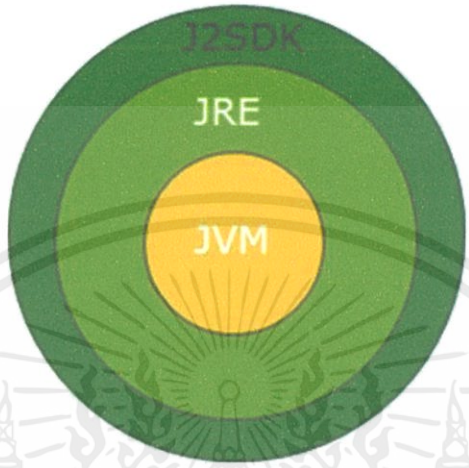
3.เหมาะกับการใช้ในระบบเครือข่าย พร้อมมีไลบรารีสนับสนุน

4.เรียกใช้งานจากระยะไกลได้อย่างปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 องค์ประกอบของจาวา

ภาษาจาวามีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังรูป 2.46 ซึ่งแต่ละส่วนมีความสำคัญคือ



รูปที่ 2.46 องค์ประกอบภาษาจาวา

2.8.3.1 Java virtual machine (JVM)

คือ Software program ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งอยู่ใน JRE ซึ่งมีหน้าที่จำลองคอมพิวเตอร์เสมือน (Virtual machine) ขึ้นบนเครื่องคอมพิวเตอร์จริงๆ ของเรา คอมพิวเตอร์เสมือนนี้จะทำหน้าที่ในการแปลไบต์โค้ด (Bytecode) ไปเป็นภาษาเครื่องที่เหมาะสมกับแพลตฟอร์มจริงๆ ของแต่ละเครื่อง หลักการนี้ทำให้ java เป็นภาษาที่สามารถทำงานได้ทุกระบบปฏิบัติการดังแนวคิดเริ่มต้น “Write Once Run Anywhere”

2.8.3.2 Java runtime environment (JRE)

เป็นเทคโนโลยีจาวาที่ใช้ในการรันโปรแกรมภาษาจาวา ที่จะรวบรวม Class และ Interface ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานของโปรแกรมภาษาจาวา

2.8.3.3 Java 2 software developer kit (J2SDK)

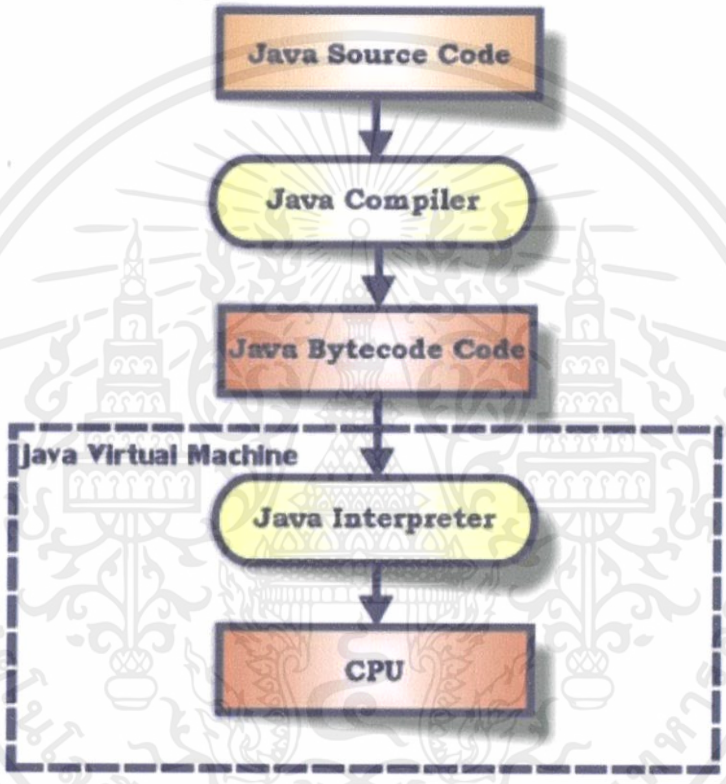
เป็นชุดพัฒนาโปรแกรมประกอบด้วยคอมไพเลอร์ (Compiler) และดีบักเกอร์ (Debugger)

2.8.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมภาษาจาวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของภาษาจาวาเริ่มจากโปรแกรมเมอร์เขียนโปรแกรมภาษาจาวา (Java source code *.java) เมื่อเขียนโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว จะนำโปรแกรมภาษาจาวา ทำการคอมไพล์โดยจาวา

คอมไพล์เลอร์ (Java compiler) ผลลัพธ์ออกมาจะเป็นไบต์โค้ด (Java byte code *.class) ลักษณะเป็นโค้ดที่จะกำหนดรูปแบบการติดต่อกับ จาวาเวอร์ชัวแมชชีน (Java virtual machine)ซึ่งจุดนี้เองทำให้จาวาสามารถรันได้ทุกแพตฟอร์มที่ติดตั้งจาวาเวอร์ชัวแมชชีน เมื่อไบต์โค้ดถูกส่งไปให้เวอร์ชัวแมชชีน ในเวอร์ชัวแมชชีนจะมีตัวแปลภาษา(Java interpreter) ซึ่งจะแปลจากไบต์โค้ดให้เป็นภาษาเครื่อง (Assembly) และส่งให้ซีพียูประมวลผลต่อไป ดังรูปที่ 2.47



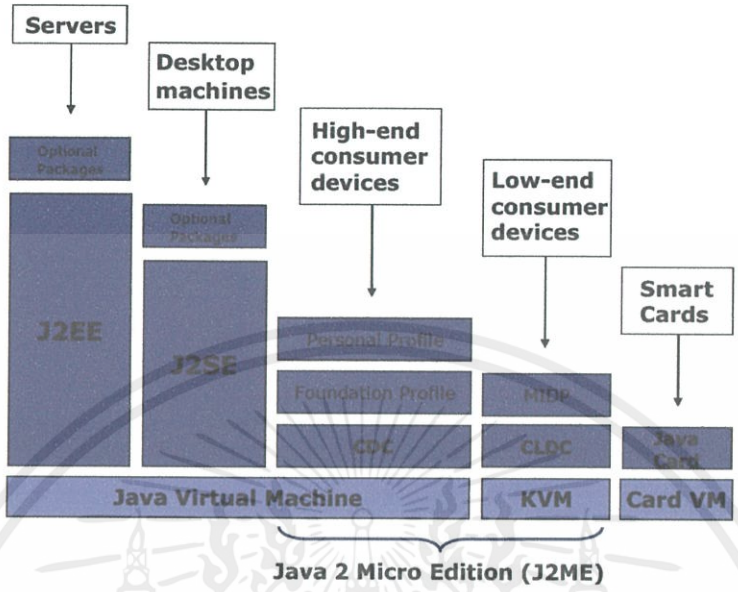
รูปที่ 2.47 ขั้นตอนการทำงานของภาษาจาวา

2.8.5 Java Platform

Java Platform ก็คือ Platform หรือสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการรันโปรแกรมจาวา โปรแกรมจาวาจะทำงานบน Java Platform เท่านั้น Java platform จะประกอบไปด้วยสองอย่าง คือ Java virtual machine (JVM) และ Runtime library โปรแกรมจาวาที่เราเขียนขึ้นจะทำงานบน Platform ใดก็ได้ที่มี Java Platform ทำงานอยู่ ซึ่งบริษัทซันไมโครซิสเต็มส์ได้กำหนด Platform ของ Java 2 เอาไว้ 3 รูปแบบดังรูปที่ 2.48 ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Java 2 PlatForm, Standard Edition (J2SE)
2. Java 2 PlatForm, Enterpriise Edition (J2EE)
3. Java 2 PlatForm, Micro Edition (J2ME)



รูปที่ 2.48 Java Platform

2.8.6 ตัวอย่างชุดพัฒนาโปรแกรมภาษาจาวา

Netbeans version 7.01 ของบริษัท Sun Microsystems (http://www.netbeans.org)

Eclipse version 3.7 ของบริษัท IBM (http://eclipse.org)

JBuilder version 2008 R2 ของบริษัท Borland (http://www.borland.com/jbuilder)

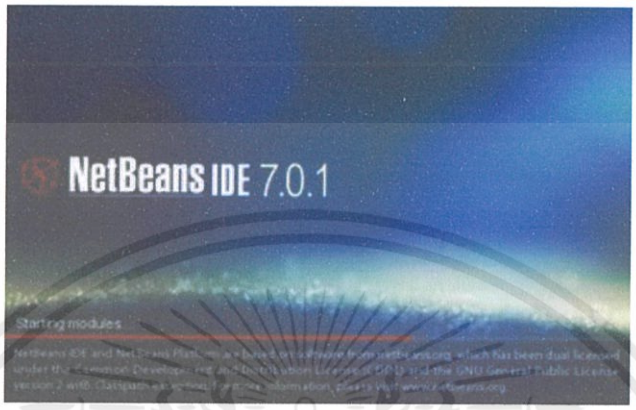
JDeveloper version 11g ของบริษัท Oracle (http://www.oracle.com)

2.8.7 ชุดพัฒนาโปรแกรมภาษาจาวาที่ใช้พัฒนาซอฟต์แวร์โครงงานนี้

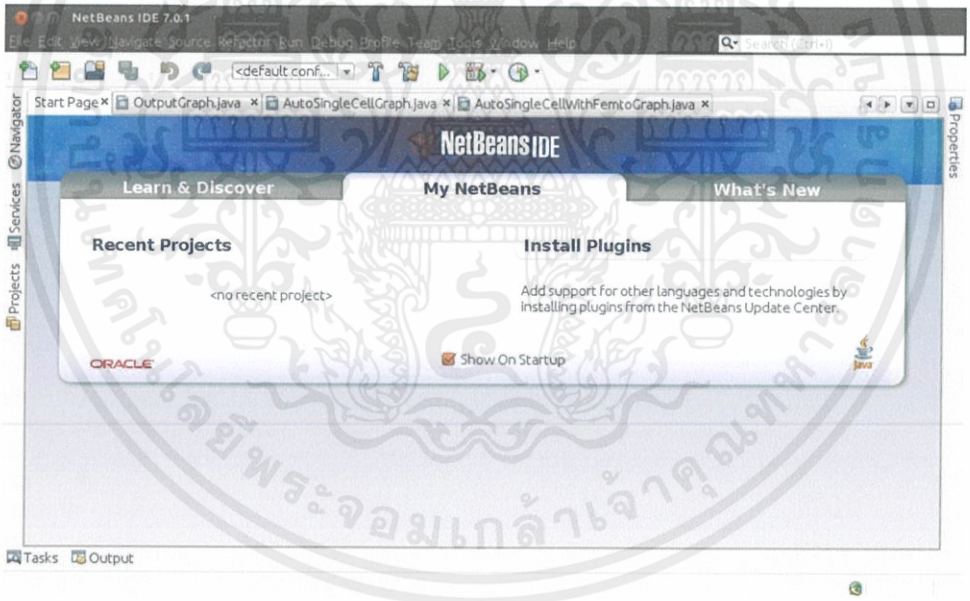
เน็ตบีนส์ (NetBeans) เป็นเครื่องมือสำหรับนักโปรแกรมเมอร์ที่จะใช้พัฒนา Application ด้วยภาษาจาวา เกิดขึ้นมาจากกลุ่มโปรแกรมเมอร์ "Rock Solid Software" ได้พัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นมาตัวหนึ่ง ที่จะใช้ในการพัฒนา Application ด้วยภาษาจาวา โดยตั้งชื่อว่าเน็ตบีนส์และได้เผยแพร่ให้โปรแกรมเมอร์และบุคคลทั่วไปนำไปใช้งานได้ฟรี ผู้พัฒนาภาษาจาวา ได้เข้ามาเป็นผู้สนับสนุนหลักในการพัฒนาเน็ตบีนส์และได้ทำออกมาในรูปของ Opensource software โดยผู้ใช้งานไม่จำเป็นที่จะต้องเสียเงิน เพื่อซื้อมาใช้งาน และยังได้เปิดเผย Soure code ให้ผู้สนใจและนักพัฒนานำไปดัดแปลง แก้ไข ตามกฎของ Opensource ปัจจุบัน NetBeans IDE ได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้น และได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถสูงยิ่งขึ้นเรื่อยๆ นอกจากจะใช้ในการพัฒนา Application ด้วยภาษาจาวาแล้ว ยังสามารถพัฒนาอื่นๆได้อีกหลากหลายโดยติดตั้งโปรแกรมเสริม (Add-on) ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้

เว็บไซต์ http://www.netbeans.org ซึ่งรูปที่ 2.49 และ 2.50 เป็นหน้าจอต้อนรับ และ User interface ของเน็ตบีนส์ตามลำดับ



รูปที่ 2.49 NetBeans IDE startup



รูปที่ 2.50 หน้าต่างการทำงานของเน็ตบีนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.7.1 ข้อดีของเน็ตบีนส์

1. เป็นชุดพัฒนาโปรแกรมที่ผู้พัฒนาภาษาจาวามีส่วนสนับสนุน จึงมีโมดูลสำเร็จทุกอย่างในตัวเน็ตบีนส์เอง จนแทบไม่ต้องหา Plugin มาลงเพิ่มอีก

2. ส่วนติดต่อประสานผู้ใช้แบ่งได้เป็นสัดส่วน เข้าใจง่าย ทำให้โปรแกรมเมอร์สามารถสร้างสรรค์งานได้ตรงกับความต้องการได้มากกว่า และงานมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

3. สามารถติดตั้งได้ทั้ง Windows, Linux, Solaris, SUN Spark และ Mac OS X ซึ่งทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมบน Windows และทดสอบโปรแกรมบน Linux ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการพัฒนาซอฟต์แวร์

ในบทที่แล้วกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับซอฟต์แวร์ไปแล้ว ในบทนี้เราจะกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนา ซึ่งกล่าวถึงรายละเอียดของซอฟต์แวร์และเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา ภาพรวมของโครงสร้างซอฟต์แวร์ และกระบวนการทำงานของซอฟต์แวร์

3.1 แนวคิดในการพัฒนา

แอลทีอีซิมูเลเตอร์ (LTE Simulator) เป็นซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งนิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักวิจัย สำหรับการใช้งานแอลทีอีซิมูเลเตอร์นั้นผู้ใช้จะลงระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ในที่นี้กลุ่มของเราได้ใช้ ระบบปฏิบัติการอูบุนตู จากนั้นผู้ใช้ต้องดาวน์โหลดซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมูเลเตอร์มาทำการติดตั้งลงบนอูบุนตู ซึ่งซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมูเลเตอร์มีการสร้างสถานการณ์จำลองพื้นฐานมาให้แล้ว ถ้าผู้ใช้อยากสร้างสถานการณ์เองก็สามารถทำได้ แต่ผู้ใช้ต้องเขียนสคริปต์ภาษาซีพลัสพลัสเอง การรันซอฟต์แวร์สามารถทำได้โดยผู้ใช้ต้องใช้ Terminal ในอูบุนตูในการรัน โดยซอฟต์แวร์มีตัวอย่างการรันคำสั่งให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้สะดวกมากขึ้น ในการรันแต่ละครั้งผู้ใช้ต้องระบุฟังก์ชันซึ่งก็คือชื่อสถานการณ์ที่ซอฟต์แวร์สร้างมาให้แล้ว เช่น SingleCell, MultiCell, SingleCellWithFemto เป็นต้น แล้วตามด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น จำนวนเซลล์ จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้ แอพพลิเคชันที่อุปกรณ์ใช้ ความเร็วของอุปกรณ์ เป็นต้น โปรแกรมก็จะทำการรันซอฟต์แวร์ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลดิบ (Trace file) ไฟล์ข้อมูลดิบนี้ยังไม่สามารถนำไปสรุปผลอะไรได้ ผู้ใช้จะต้องเขียน AWK Script ในการคัดกรองค่าที่ต้องการเพื่อสรุปหาค่าประสิทธิภาพของเครือข่าย เช่น PLR, Packet Delay, Packet Loss และ Throughput จากนั้นผู้ใช้ต้องทำการรัน AWK Script จนได้ผลลัพธ์ออกมาซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ผ่านการกรองแล้ว (Result file) ในขั้นตอนสุดท้ายผู้ใช้จะต้องนำผลลัพธ์ของการจำลองที่ผ่านการกรองแล้วไปเขียนกราฟของการทดลองได้ 1 จุด ผู้ใช้ต้องทำกระบวนการทั้งหมดนี้ซ้ำอีกจนกว่าจะได้กราฟเส้นที่สมบูรณ์ จะเห็นว่าการใช้งานแอลทีอีซิมูเลเตอร์มีความซับซ้อน เวลาในการรันแต่ละครั้งก็ใช้เวลานาน อีกทั้งการเริ่มต้นใช้งานก็ค่อนข้างยากสำหรับผู้ที่ไม่คุ้นเคย โดยสคริปต์และไฟล์ต่างๆนั้นผู้ใช้ต้องเขียนเองและสั่งรันเองด้วยคำสั่งภาษายูนิกซ์ ซึ่งการจำลองแต่ละครั้งผลลัพธ์ของการจำลองจะได้ผลลัพธ์ไม่เหมือนกันอีกด้วย อาจทำให้เกิดการหลงลืม สับสน และการจะดูแนวโน้มของประสิทธิภาพที่ต้องการประเมินนั้นจะดูได้จากกราฟเส้นและควรจะมีมากกว่า 2 จุดขึ้นไป เช่นนั้นผู้ใช้งานต้องทำกระบวนการเดิมซ้ำใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

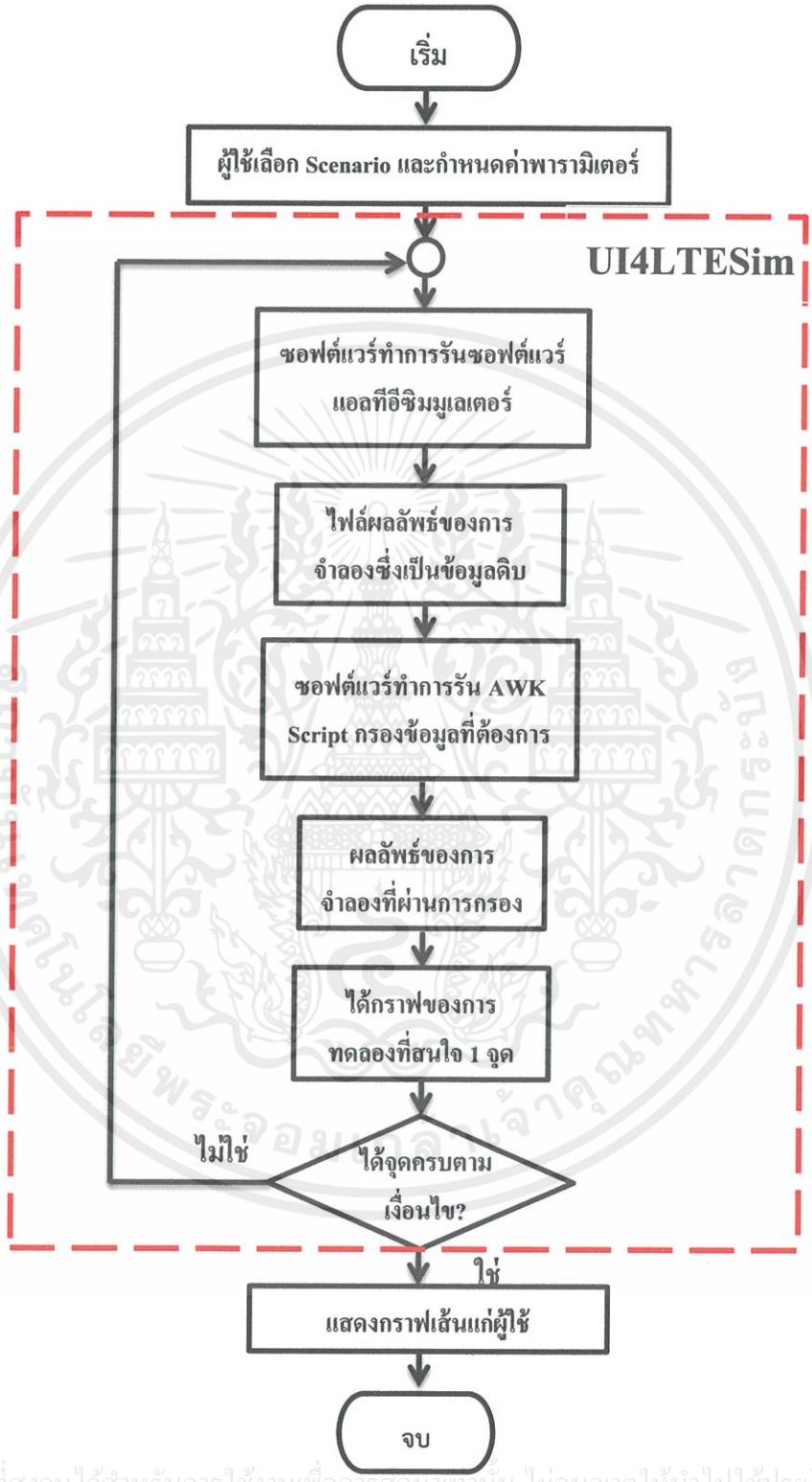
ไปเรื่อยๆจนกว่าจะเห็นแนวโน้มของกราฟเส้นตามที่ตั้งสมมติฐานไว้ในตอนแรก ซึ่งผังการทำงานได้แสดงดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนจำลองการทำงานของแอลทีอีซิมูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความซับซ้อนของการใช้งานแอลทีอีซิมูเลเตอร์ในการจำลองการทำงานของเครือข่ายแอลทีอี เราจึงได้เสนอซอฟต์แวร์ซึ่งทำครอบในส่วนที่ซับซ้อนและยุ่งยากในการใช้งานไว้ เพียงแค่ให้ผู้ใช้งานเลือกสถานการณ์และค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการเช่น จำนวนเซลล์ จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้ แอพพลิเคชันที่อุปกรณ์ใช้ ความเร็วของอุปกรณ์ เป็นต้นผ่านทางส่วนติดต่อผู้ใช้ที่ได้พัฒนาขึ้น จากนั้นก็เป็นหน้าที่ของซอฟต์แวร์ยูไอฟอร์แอลทีอีซิมในการวนรอบ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่สร้างสร้าง Trace file ของข้อมูลดิบ และกรองผลลัพธ์ผ่าน AWK Script ซึ่งจะได้ข้อมูลประสิทธิภาพของเครือข่ายสำหรับ 1 จุด จากนั้นซอฟต์แวร์จะตรวจสอบเงื่อนไขว่าได้จุดของกราฟมากพอที่จะเป็นกราฟเส้นหรือไม่ ถ้าไม่ซอฟต์แวร์จะกลับไปเริ่มขั้นตอนเดิมตั้งแต่สร้าง Trace file จนสุดท้ายได้จุดที่เหมาะจะไปทำกราฟเส้นที่สมบูรณ์แล้ว ซอฟต์แวร์จะนำจุดที่ได้ทั้งหมดไปเขียนเป็นกราฟเส้นแสดงประสิทธิภาพของเครือข่ายแอลทีอีทั้ง 4 กราฟคือ PLR, Packet Delay, Packet Loss และ Throughput พร้อมแสดงแก่ผู้ใช้งาน เป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอน ซึ่งการทำงานที่กล่าวมาทั้งหมดนี้แสดงดังแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจำลองการทำงานของยูไอฟอร์แอลทีอีซิม (UI4LTESim)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้มีการกำหนดเครื่องมือและภาษาที่ใช้ในการพัฒนาเพื่อให้มีความเหมาะสมกับระบบและความต้องการใช้งาน ดังนี้

3.2.1 ระบบปฏิบัติการ

ซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมสามารถติดตั้งเพื่อใช้งานได้ทั้งระบบปฏิบัติการวินโดว์หรือระบบปฏิบัติการลินุกซ์ แต่ในโครงงานนี้กลุ่มของเราได้เลือกใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ในการพัฒนาและทดสอบ โดยระบบปฏิบัติการลินุกซ์ที่ได้เลือกใช้งานคืออูบุนตู 12.04 เนื่องจากสามารถติดตั้งซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมได้ง่ายและสมบูรณ์ อีกทั้งเป็นระบบปฏิบัติการที่ค่อนข้างมีข้อผิดพลาดน้อย ในการพัฒนาโปรแกรมจะพัฒนาในระบบปฏิบัติการวินโดว์ 7 โดยใช้ซอฟต์แวร์วีเอ็มแวร์ (VMware) เพื่อจำลองการทำงานของระบบปฏิบัติการอูบุนตู

3.2.2 ภาษาโปรแกรมที่ใช้

ใช้ภาษาจาวา (Java) ในการพัฒนาซึ่งเป็นภาษาเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming) เหมาะกับระบบที่มีความซับซ้อน สามารถใช้ได้หลายแพลตฟอร์มโดยไม่จำเป็นต้องแก้ไขหรือคอมไพล์ใหม่ และเนื่องจากภาษาจาวาเป็นภาษาที่ได้รับความนิยมสูงจึงมีผู้สร้างไลบรารีมาให้ใช้เป็นจำนวนมากได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ทำให้ช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการพัฒนาโปรแกรม รวมถึงภาษาจาวามีไวยากรณ์ของภาษาที่ถูกออกแบบมาเป็นอย่างดีอีกด้วย

3.2.3 เครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์ (Integrated Development Environment)

เครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์ (IDE) เป็นเครื่องมือที่ช่วยอานวยความสะดวกต่างๆ โดยจะรวมฟังก์ชันการทางานต่างๆ คาสั่ง เมนู รวมถึงส่วนติดต่อผู้ใช้งานแบบกราฟิก (Graphical User Interface : GUI) ต่างๆ มาสร้างเป็นซอฟต์แวร์ที่รวมคอมไพเลอร์ไปในตัว ซึ่งเครื่องมือพัฒนาที่ผู้จัดทาเลือกใช้คือ Netbeans IDE 6.9 เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่นามาใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และค่อนข้างจะมีความเสถียรสูง สามารถติดตั้งและใช้งานได้ง่ายกับทุกระบบปฏิบัติการได้อย่างไม่มีปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 LTE-Sim

เป็นซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในการจำลองเครือข่าย ซึ่งในโครงงานนี้พวกเราได้เลือกซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมเวอร์ชัน 5 เนื่องจากมีการปรับปรุงพัฒนาให้มีความเสถียร และแก้ปัญหาข้อผิดพลาด

3.3 รายละเอียดการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface)

3.3.1 หน้าต่างหลักของซอฟต์แวร์

ในส่วนนี้เราได้ออกแบบหน้าต่างหลักของซอฟต์แวร์ซึ่งเป็นแค่ส่วนหนึ่งของการออกแบบ แสดงดังรูปที่ 3.3 เป็นหน้าต่างแรกที่ผู้ใช้งานต้องเจอเมื่อเปิดซอฟต์แวร์ขึ้นมา โดยจะมีปุ่มหลัก 2 ปุ่ม หลักได้แก่

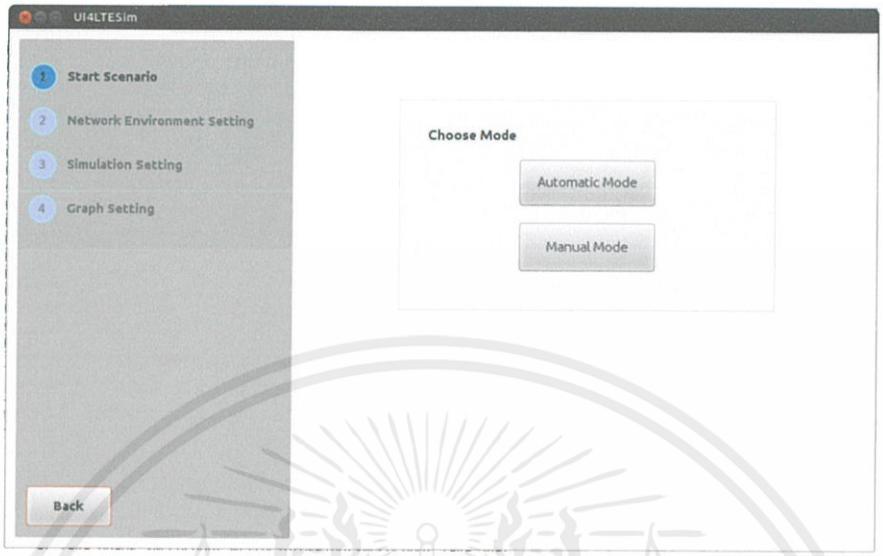
1. New Simulation เข้าสู่ส่วนจำลองการทำงานของเครือข่ายแอลทีอี
2. User Guide เป็นส่วนคู่มือการใช้งานซอฟต์แวร์

รูปที่ 3.3 หน้าต่างหลักของซอฟต์แวร์ UI4LTESim

3.3.2 หน้าต่างเลือกโหมดการซิมมูเลชัน (Mode Selection)

ในหน้านี้จะเป็นการเริ่มเข้าสู่การซิมมูเลชัน โดยจะมีขั้นตอนระบุไว้ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง เพื่อให้ผู้ใช้รู้ว่าตอนนี้ทำอยู่ที่ขั้นตอนใด ส่วนขวามือผู้ใช้จะต้องเลือกโหมดในการซิมมูเลชัน มีทั้งแบบ Autometic Mode และ Manual Mode

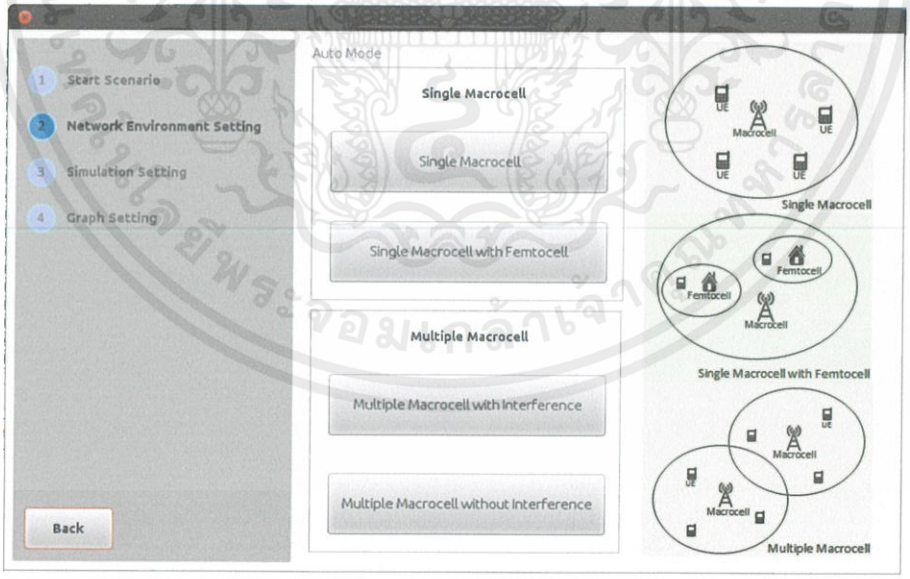
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 หน้าต่างเลือกโหมดในการซิมมูเลชัน

3.3.3 หน้าต่างเลือกสถานการณ์ (Scenario Selection)

หน้านี้จะเป็นส่วนการเลือกสภาพแวดล้อมของการซิมมูเลชันโดยมีให้เลือกสภาพแวดล้อมทั้งแบบ Single Macrocell และ Multiple Macrocell

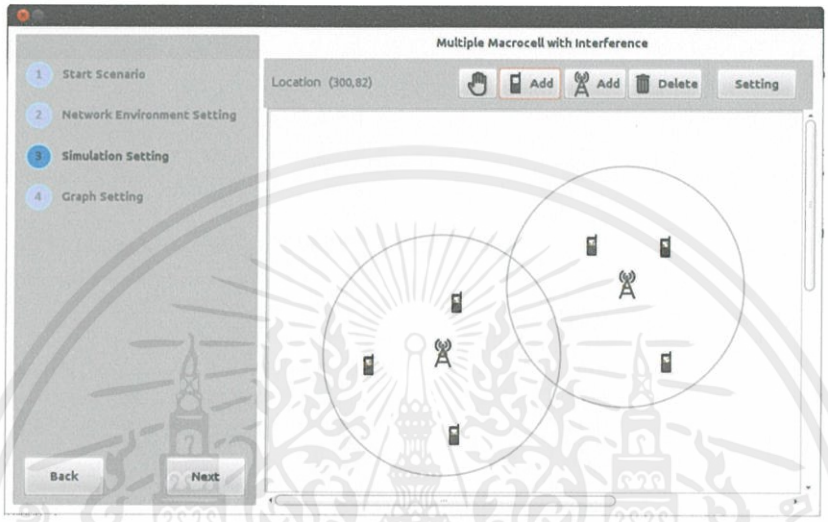


รูปที่ 3.5 หน้าต่างเลือกสถานการณ์การจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 หน้าต่างสร้างสถานการณ์การจำลองแบบ Maual Mode

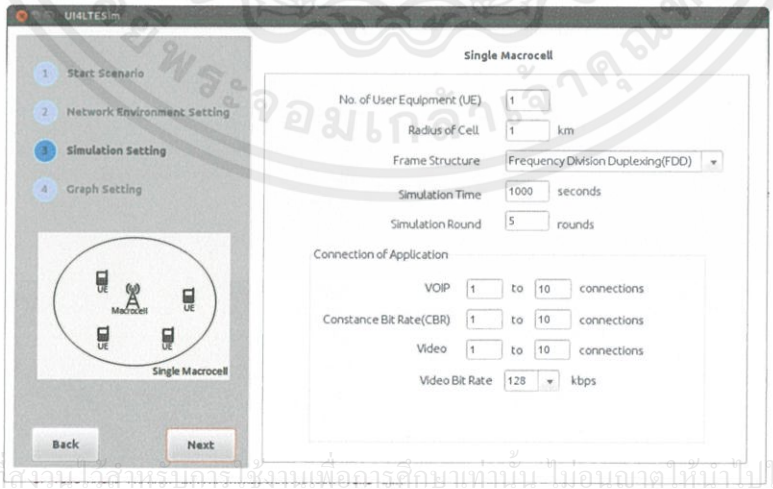
หน้าต่างนี้จะเป็นหน้าที่ผู้ใช้งานสามารถสร้างหรือลบเซลและวางอุปกรณ์ของผู้ใช้ ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานเห็นภาพโดยรวมของระบบ ทำให้เข้าใจง่าย



รูปที่ 3.6 หน้าต่างเลือกสถานการณ์การจำลองแบบ Manual Mode

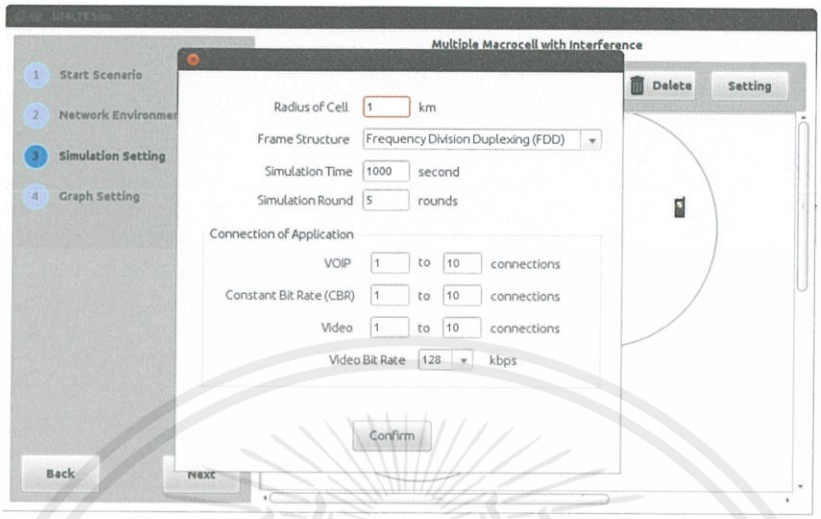
3.3.5 หน้าต่างตั้งค่าพารามิเตอร์ (Simulation Parameter Setting)

เมื่อผู้ใช้เลือกสถานการณ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นต่อไปที่ผู้ใช้ต้องตั้งค่าพารามิเตอร์ในสถานการณ์ที่ผู้ใช้เลือกซึ่งแต่ละสถานการณ์ส่วนใหญ่จะมีพารามิเตอร์ที่ให้ผู้ใช้ทำการเลือกการตั้งค่าคล้ายๆกันดังรูปที่ 3.7 ก. และ 3.7 ข.



รูปที่ 3.7 ก. หน้าต่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ของ Single Macrocell แบบ Auto Mode

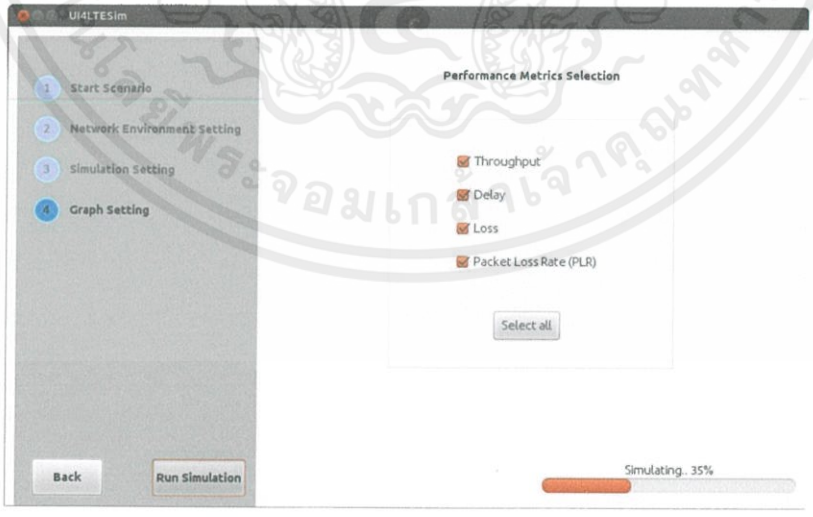
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ข. หน้าต่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ของ Multiple Macrocell แบบ Manual Mode

3.3.6 หน้าต่างเลือกกราฟที่แสดงผล (Graph Setting)

ส่วนนี้เป็นส่วนสุดท้ายของการตั้งค่าต่างๆในการซิมมูเลชัน ซึ่งในส่วนนี้ผู้ใช้สามารถเลือกกราฟที่ต้องการจะดูผลลัพธ์ของการประสิทธิภาพการจำลองเครือข่าย ได้แก่ Packet Delay, Throughput, Packet Loss และ Packet Loss Rate (PLR) เมื่อผู้ใช้งานคลิกที่ปุ่ม Run Simualtion โปรแกรมจะมีแถบบอกโปรเซสการทำงานว่าตอนนี้โปรแกรมทำงานได้กี่เปอร์เซ็นต์แล้ว ดังรูป

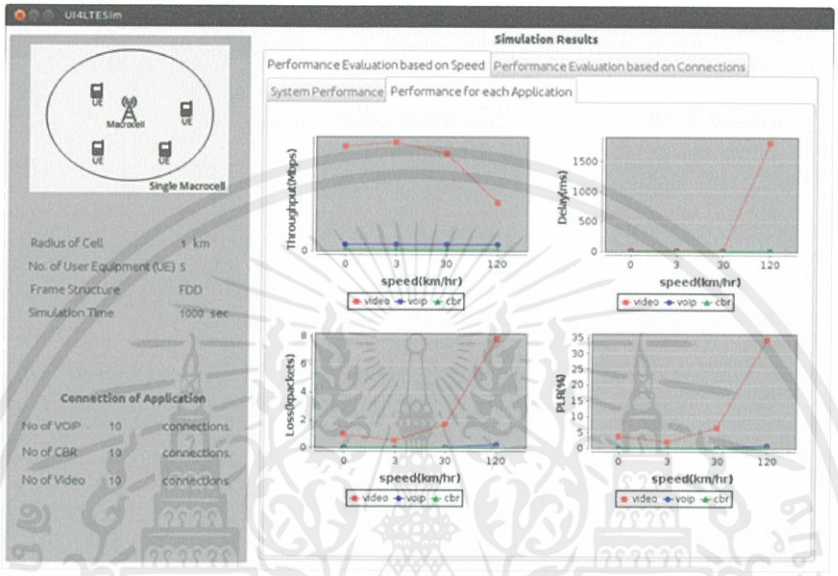


รูปที่ 3.8 หน้าต่างเลือกกราฟที่แสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ (Output Display)

หน้านี้จะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการชิมมูเลชันในสถานการณ์ที่ผู้ใช้เลือกซึ่งจะสรุปออกมาในรูปแบบของกราฟเส้นวัดประสิทธิภาพ พร้อมทั้งรายละเอียดการตั้งค่าที่ผู้ใช้ตั้งค่ามาแล้วก่อนหน้านี้



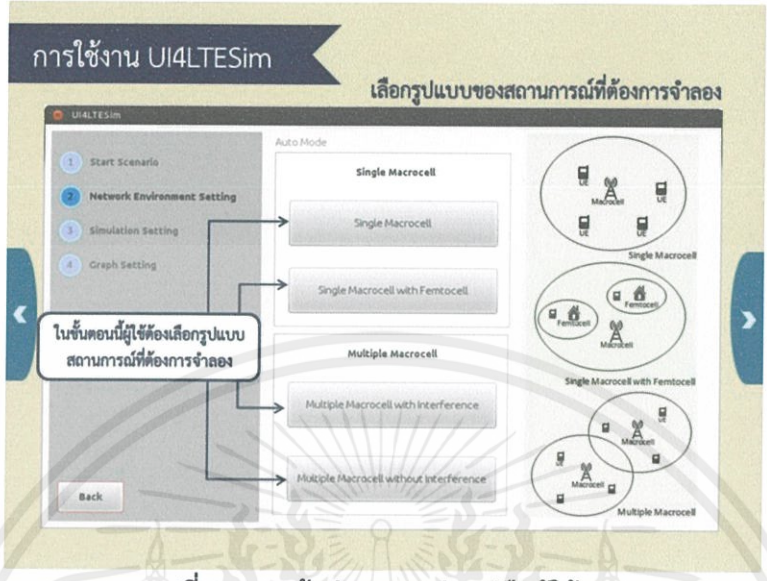
รูปที่ 3.9 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์

3.3.8 หน้าต่างแสดงส่วนคู่มือผู้ใช้งาน

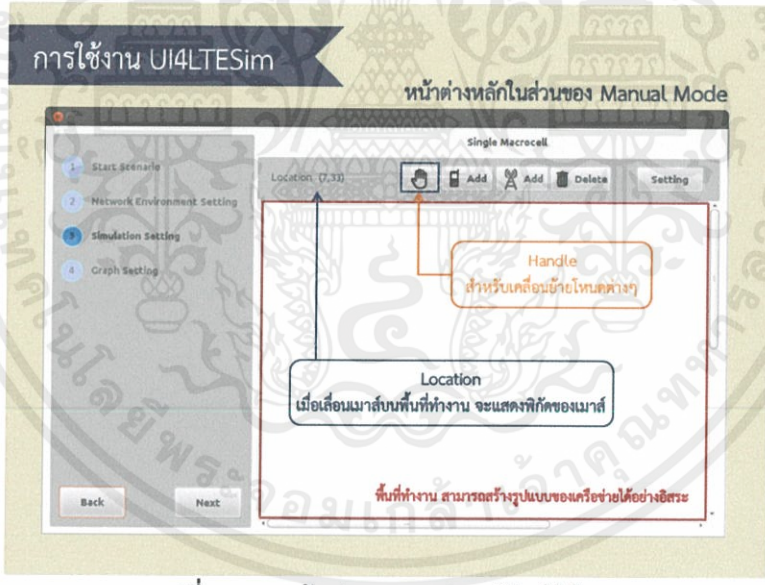
หน้าต่างนี้จะเป็นส่วนคู่มือผู้ใช้งานซอฟต์แวร์ UI4LTESim ที่ให้ผู้ใช้สามารถศึกษาการใช้งานการทำงานของซอฟต์แวร์ เพื่อช่วยเหลือและลดเวลา ความยุ่งยาก ในการใช้งานของผู้ใช้

รูปที่ 3.10 หน้าต่างแสดงส่วนคู่มือผู้ใช้(1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 หน้าต่างแสดงส่วนคู่มือผู้ใช้(2)

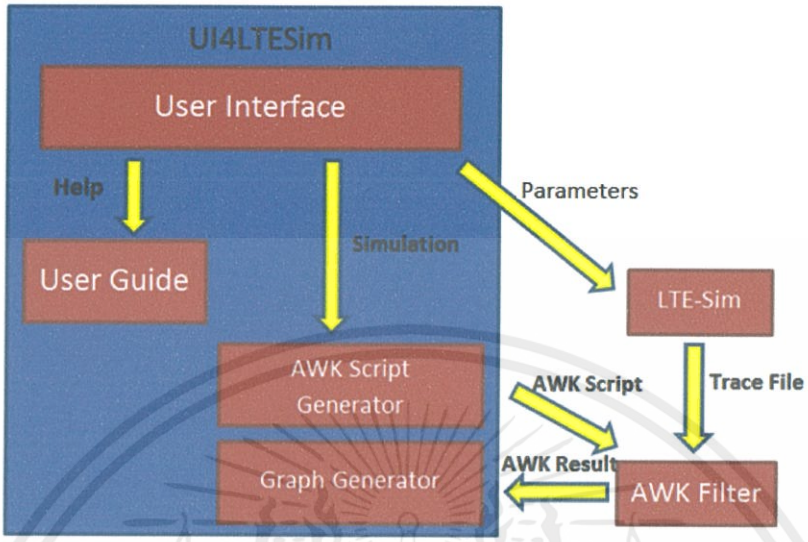


รูปที่ 3.12 หน้าต่างแสดงส่วนคู่มือผู้ใช้(3)

3.4 โครงสร้างของซอฟต์แวร์

โครงสร้างหลักของซอฟต์แวร์และกระบวนการทำงานของซอฟต์แวร์แสดงในภาพรวมได้ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 โครงสร้างและการทำงานของ UI4LTESim

จากรูปจะเห็นว่าแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆคือส่วนของซอฟต์แวร์ที่เราพัฒนาอยู่ทางซ้ายมือและด้านขวามือคือส่วนของซอฟต์แวร์แอลทีอีที่ถูกติดตั้งลงบนระบบปฏิบัติการอูบุนตู 12.04 ซอฟต์แวร์ที่ทางผู้จัดทำถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักๆได้แก่ ส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface), ส่วนคู่มือผู้ใช้งาน (User Guide), ส่วนการสร้าง AWK Script (AWK Script Generator) และส่วนสร้างกราฟ (Graph Generator) โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

3.4.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface)

เป็นส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้งาน โดยผู้ใช้สามารถกำหนดการทำงานโดยเลือกสถานการณ์ที่ต้องการจะจำลอง กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยมีขั้นตอนแต่ละขั้นบอกว่าผู้ใช้กำลังอยู่ในขั้นตอนใดและผู้ใช้ยังสามารถเก็บไฟล์ที่ผ่านการซิมมูเลชันแล้วลงในฮาร์ดดิสก์ได้

3.4.2 ส่วนคู่มือผู้ใช้งาน (User Guide)

ส่วนนี้จะเป็นคู่มือการใช้งานซึ่งจะรวบรวมวิธีการใช้งานเบื้องต้นทั้งหมด เพื่อให้ผู้ใช้มีความเข้าใจในการใช้ซอฟต์แวร์มากยิ่งขึ้น

3.4.3 ส่วนการสร้าง AWK Script (AWK Script Generator)

หลังจากที่ผู้ใช้งานทำการเลือกสถานการณ์จำลอง และเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆจนครบ ซอฟต์แวร์แอลทีอีจะนำเอาพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ผู้ใช้ป้อนไปประมวลผลซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Trace file เพื่อให้นำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาจุดแต่ละจุดของกราฟประสิทธิภาพโดยมีการใช้งานร่วมกับ AWK Script ผ่าน AWK Filter

3.4.4 ส่วนสร้างกราฟ (Graph Generator)

หลังจากที่ AWK Filter นำ Trace file และ AWK Script ไปประมวลผลแล้ว จะได้กราฟหนึ่งจุดและส่งไปยังส่วนการสร้างกราฟเพื่อให้ซอฟต์แวร์ได้ทำการวาดกราฟเส้นขึ้นมา การทำงานในส่วนนี้จะทำในลักษณะวนลูปเพื่อให้ได้เส้นกราฟที่สมบูรณ์

3.5 แผนภาพ UML (Unified Modeling Language Diagram)

3.5.1 Use Case Diagram

ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบของซอฟต์แวร์ได้ทั้งหมดสี่ส่วนหลัก ได้แก่

1) เลือกสถานการณ์การจำลอง (Select Scenario)
2) เรียกดูกราฟ (View Graph)
3) เรียกดูคู่มือผู้ใช้งาน (View User Guide)

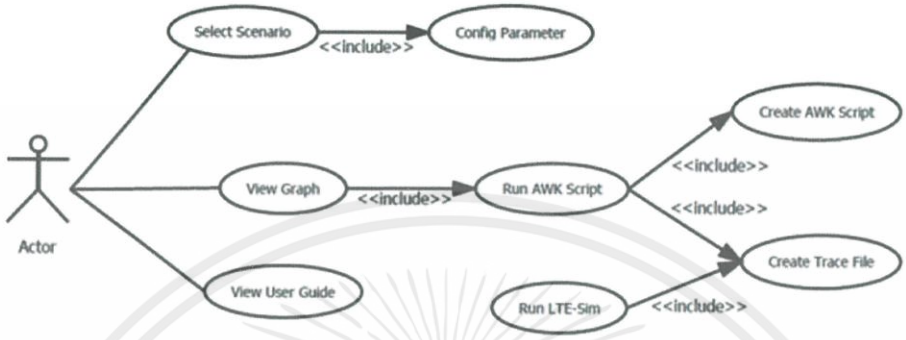
โดยระบบหลักทั้งหมดนี้ จะมีการเรียกใช้งาน (include) ระบบอื่นๆอีกได้แก่

เลือกสถานการณ์จำลอง เป็นการเลือกสถานการณ์ที่จำลองเครือข่ายแอลทีอี ที่มีมาให้อยู่แล้ว เช่น SingleCell, SingleCellWithFemto, MultiCellWithInterference , MultiCellWithoutInterference เป็นต้น โดยจะมีการเรียกใช้การตั้งค่าพารามิเตอร์ (Config Parameters) เพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการจำลองเครือข่ายแอลทีอี

ในการเรียกดูกราฟ จะมีการรันแอลทีอีซิมเพื่อสร้าง Trace file เมื่อได้มาแล้วจะส่ง Trace file ไปยัง Run AWK Script รวมทั้งมีการสร้าง AWK Script ส่งไปยัง Run AWK Script ด้วย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำไปสร้างกราฟได้ ดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UI4LTESim



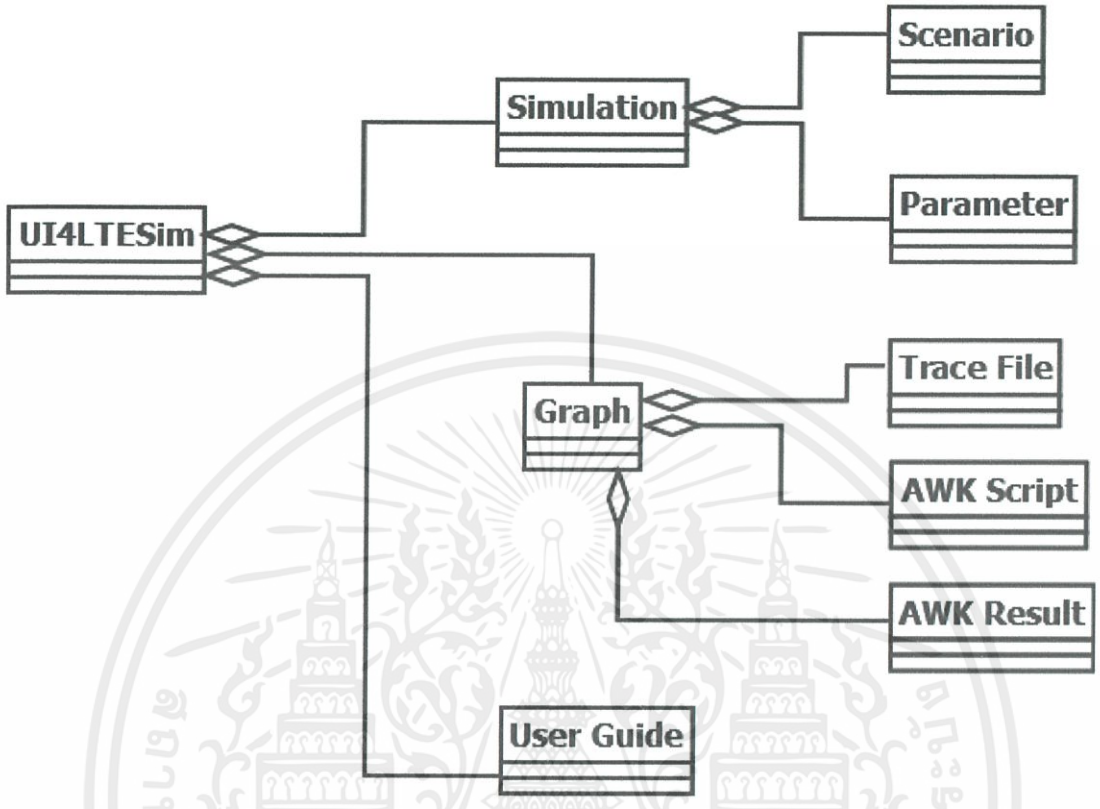
รูปที่ 3.14 แผนภาพ Use Case ของ UI4LTESim

3.5.2 Class Diagram

รูปที่ 3.15 อธิบายการทำงานของซอฟต์แวร์ในรูปแบบของคลาสไดอะแกรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) Class UI4LTESim ส่วนติดต่อผู้ใช้
2) Class Simulation การสร้างการจำลองเครือข่ายแอลทีอี
3) Class Scenario รายระเอียดของสถานการณ์ต่างๆในเครือข่าย
4) Class Parameter รายละเอียดของพารามิเตอร์ที่ใช้
5) Class Graph กราฟแสดงประสิทธิภาพของเครือข่าย
6) Class Trace file รายละเอียดของ Trace file ที่ได้จากกการรันแอลทีอีซิม
7) Class AWK Script รายละเอียดของ AWK Script
8) Class AWK Result รายละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้จากการรัน AWK Filter
9) Class User Guide รายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แผนภาพ Class Diagram ของ UI4LTESim

3.6 ขอบเขตและข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ที่พัฒนา

1) ซอฟต์แวร์ทำงานเป็นลักษณะของเดสก์ทอปแอพพลิเคชัน
2) ซอฟต์แวร์สามารถใช้งานได้เฉพาะบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ที่ติดตั้งซอฟต์แวร์แอลทีอีแล้วเท่านั้น
3) ซอฟต์แวร์ไม่สามารถสร้างสถานการณ์เองได้ แต่สามารถเลือกสถานการณ์ที่มีมาให้แล้วเท่านั้น และกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆตามที่ผู้ใช้งานต้องการ
4) เนื่องจากฟังก์ชันต่างๆ ในแอลทีอีซิมมีความหลากหลายมาก ผู้จัดทำจึงได้นำมาพัฒนาเพียงบางส่วนเท่านั้น
5) ซอฟต์แวร์ไม่สามารถตรวจสอบข้อผิดพลาดทางตรรกะได้

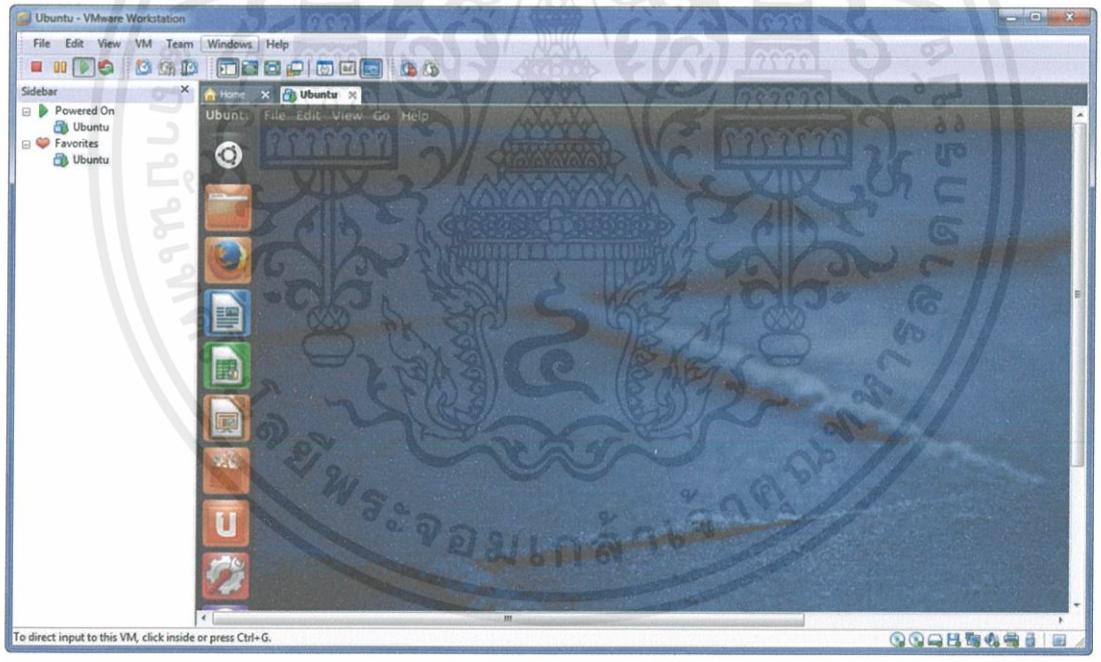
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบซอฟต์แวร์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบซอฟต์แวร์ รายละเอียดของการทดสอบการจำลองการทำงานของซอฟต์แวร์และผลลัพธ์จากการจำลองในสถานการณ์ตัวอย่าง

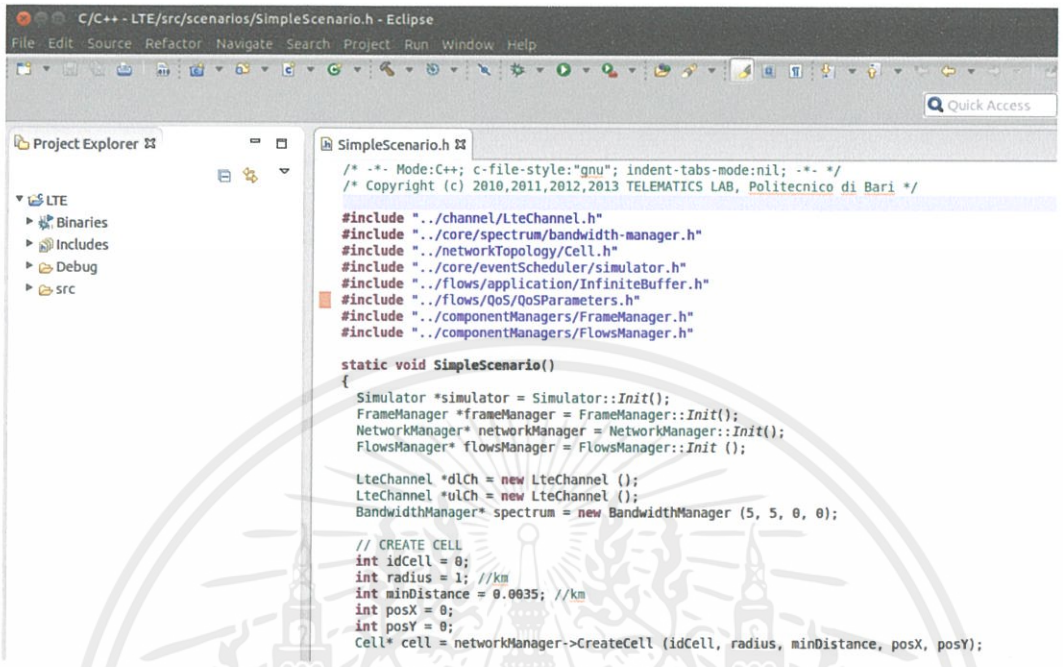
4.1 การทดสอบซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม

ซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมนั้นเราได้ทำการติดตั้งซอฟต์แวร์บนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์โดยใช้อูบุนตูเวอร์ชัน 12.04 และใช้ซอฟต์แวร์ Eclipse ในการสร้างและปรับปรุงแก้ไขโค้ดด้วยภาษา C++ แล้วสั่งรันใน Terminal

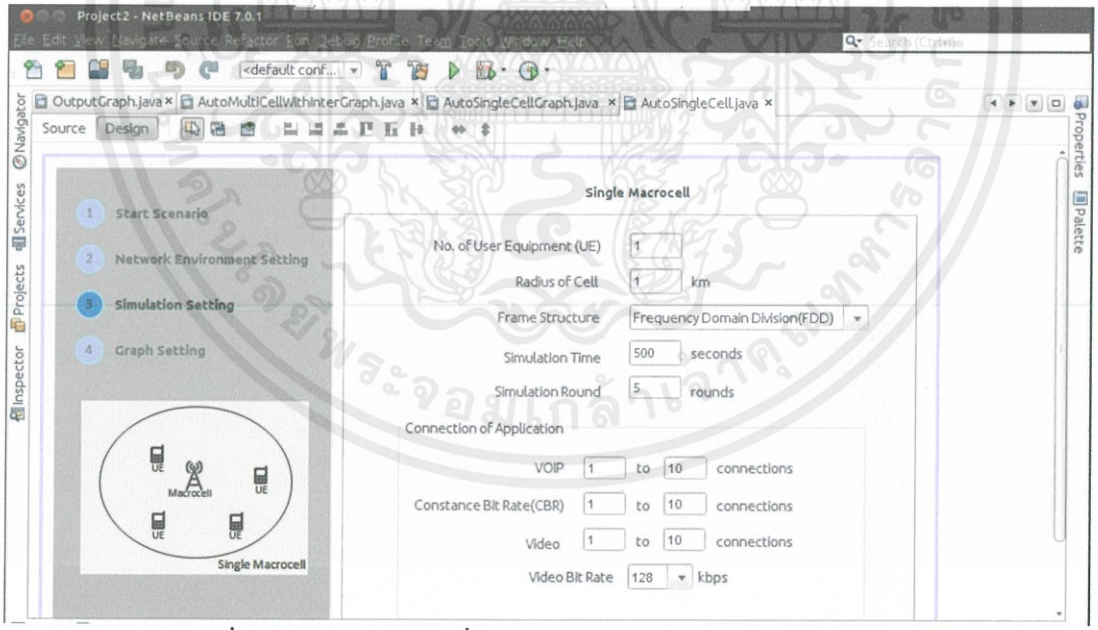


รูปที่ 4.1 หน้าต่างระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ที่ติดตั้งใน VMware

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 หน้าต่างซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมที่เปิดในซอฟต์แวร์ Eclipse



รูปที่ 4.3 หน้าต่าง GUI ที่ใช้ซอฟต์แวร์ Netbeans ในการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 หน้าต่าง Terminal ที่ใช้สำหรับรันซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม

นอกจากนี้ซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม มีตัวอย่างการใช้งานในสถานการณ์ต่างๆให้แก่ผู้ใช้ เพื่อไว้เป็นแนวทางในการจำลองสถานการณ์เครือข่ายแอลทีอีดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
run test suites:
        ./LTE-Sim test

run examples:
        ./LTE-Sim SingleCell radius nbUE nbVoip nbVideo nbBE nbCBR sched_type f
rame_struct speed maxDelay videoBitRate seed(optional)
                --> ./LTE-Sim SingleCell 1 1 0 0 1 0 1 1 3 0.1 128
        ./LTE-Sim SingleCellWithI nbCells radius nbUE nbVoip nbVideo nbBE nbCBR
 sched_type frame_struct speed maxDelay videoBitRate seed(optional)
                --> ./LTE-Sim SingleCellWithI 7 1 1 0 0 1 0 1 1 3 0.1 128
        ./LTE-Sim MultiCell nbCells radius nbUE nbVoip nbVideo nbBE nbCBR sched
_type frame_struct speed maxDelay videoBitRate seed(optional)
                --> ./LTE-Sim MultiCell 7 1 1 0 0 1 0 1 1 3 0.1 128
        ./LTE-Sim SingleCellWithFemto radius nbBuildings BuildingType activityR
atio nbMacroUE nbFemtoUE nbVoip nbVideo nbBE nbCBR sched_type frame_struct speed
 accessPolicy maxDelay videoBitRate seed(optional)
                --> ./LTE-Sim SingleCellWithFemto 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 3 0 0
.1 128



        legend:
                schd_type: 1-> PF, 2-> M-LWDF, 3-> EXP, 4-> FLS, 5 -> Optimize
EXP Rule, 6 -> Optimized LOG Rule
                frame_struct: 1-> FDD, 2-> TDD
                available video bit rate: 128, 242, 440 kbps
                BuildingType: 0 -> 5x5 grid, 1 -> dualStripe
                accessPolicy : 0 -> Open Access, 1 -> close Access (requires su
bscriber list filling)
```

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างคำสั่งของซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม

เบื้องต้นเราได้ทำการทดสอบซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม ในสถานการณ์ที่ซอฟต์แวร์มีมาให้แล้วซึ่งเราได้เลือกสภาพแวดล้อมแบบ MultiCell โดยใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากนั้นสั่งเก็บไฟล์ผลลัพธ์ในรูปของ Trace file ชื่อว่า out.trace ดังรูปที่ 4.6

```
./LTE MultiCell 7 1 1 1 1 1 1 1 1 3 0.1 128 >out.trace
```

รูปที่ 4.6 พารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้กับสภาพแวดล้อมแบบมัลติเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

trace0_0.out

```
TX VIDEO ID 17 B 10 SIZE 198 SRC -1 DST 5 T 0.66 0
TX CBR ID 18 B 11 SIZE 10 SRC -1 DST 5 T 0.66 0
TX VOIP ID 19 B 9 SIZE 32 SRC -1 DST 5 T 0.66 0
RX VOIP ID 19 B 9 SIZE 32 SRC -1 DST 5 D 0.001 0
RX VIDEO ID 17 B 10 SIZE 198 SRC -1 DST 5 D 0.001 0
RX CBR ID 18 B 11 SIZE 5 SRC -1 DST 5 D 0.001 0
TX VOIP ID 20 B 9 SIZE 32 SRC -1 DST 5 T 0.68 0
RX VOIP ID 20 B 9 SIZE 32 SRC -1 DST 5 D 0.001 0
TX VIDEO ID 21 B 10 SIZE 474 SRC -1 DST 5 T 0.7 0
TX CBR ID 22 B 11 SIZE 10 SRC -1 DST 5 T 0.7 0
TX VOIP ID 23 B 9 SIZE 32 SRC -1 DST 5 T 0.7 0
TX VOIP ID 24 B 9 SIZE 32 SRC -1 DST 5 T 0.72 0
RX VOIP ID 23 B 9 SIZE 32 SRC -1 DST 5 D 0.02 0
RX VIDEO ID 21 B 10 SIZE 474 SRC -1 DST 5 D 0.02 0
```

รูปที่ 4.7 แสดงไฟล์ผลลัพธ์หลังจากที่สั่งรันซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมแบบมัลติเซลล์

รูปที่ 4.7 แสดงไฟล์ผลลัพธ์ (Trace file) หลังจากที่สั่งรันซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมแบบมัลติเซลล์ โดยรายละเอียดของแต่ละคอลัมน์อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5.4 การใช้งานเบื้องต้น จะเห็นว่า Trace file ที่ได้นั้นยังไม่สามารถนำมาใช้ประเมินประสิทธิภาพต่างๆได้ เนื่องจากข้อมูลยังเป็นข้อมูลดิบ ยังไม่ได้กรองข้อมูลส่วนสำคัญมา ดังนั้นจึงต้องสร้าง AWK Script มากรองข้อมูลดิบก่อนซึ่งส่วนของการสร้าง AWK Script ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.6 AWK Script

4.2 การทดสอบซอฟต์แวร์ UI4LTESim

4.2.1 การทดสอบซอฟต์แวร์ในสถานการณ์จำลองที่ 1

สถานการณ์จำลองที่ 1 กำหนดให้ใช้สถานการณ์จำลองแบบ Single Macrocell ในรูปแบบของโหมดอัตโนมัติ โดยกำหนด จำนวนอุปกรณ์ผู้ใช้งาน 5 เครื่อง รัศมีเซล 1 กิโลเมตร กำหนดลักษณะของเฟรมข้อมูล เป็น FDD เวลาในการจำลอง 1,000 วินาที และจำนวนรอบของการจำลองเป็น 5 รอบ จำนวนแอพพลิเคชันที่ใช้ได้แก่ VOIP CBR และ VIDEO โดยใช้จำนวนคอนเน็กชันตั้งแต่ 1 คอนเน็กชันจนถึง 10 คอนเน็กชันและกำหนดอัตราการส่งข้อมูลของแอพพลิเคชัน VIDEO เป็น 128 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.8 จนถึงรูปที่ 4.14

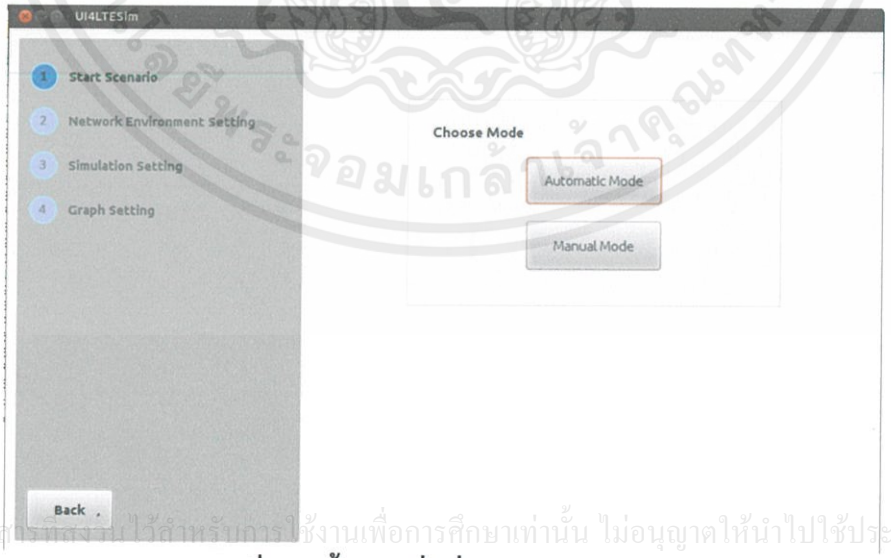
หน้าต่างหลักของซอฟต์แวร์ เมื่อผู้ใช้งานดับเบิ้ลคลิกที่ซอฟต์แวร์ UI4LTESim จะปรากฏหน้าต่างหลัก โดยจะแสดงรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับซอฟต์แวร์ เช่น ชื่อซอฟต์แวร์ ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นต้น โดยในหน้าต่างนี้จะมีทางเลือกอยู่สองทางได้แก่ New Simulation คือสร้างการจำลอง และ User Guide ส่วนคู่มือผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 หน้าต่างหลักของซอฟต์แวร์

ขั้นตอนที่หนึ่ง (Start Scenario) การเลือกโหมดในการสร้างการจำลองเครือข่ายแอลทีอี จะมีสองโหมดให้ผู้ใช้เลือกใช้งานคือ โหมดการใช้งานแบบอัตโนมัติ (Automatic Mode) ซึ่งเป็นโหมดที่มีการตั้งค่าพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆ ไว้อยู่แล้ว และผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตามต้องการได้อีกด้วย และโหมดการใช้งานที่ผู้ใช้กำหนดเอง (Manual Mode) คือผู้ใช้จะต้องกำหนดค่าเบื้องต้นพื้นฐานเอง เช่นการวางโทโปโลจีเครือข่าย

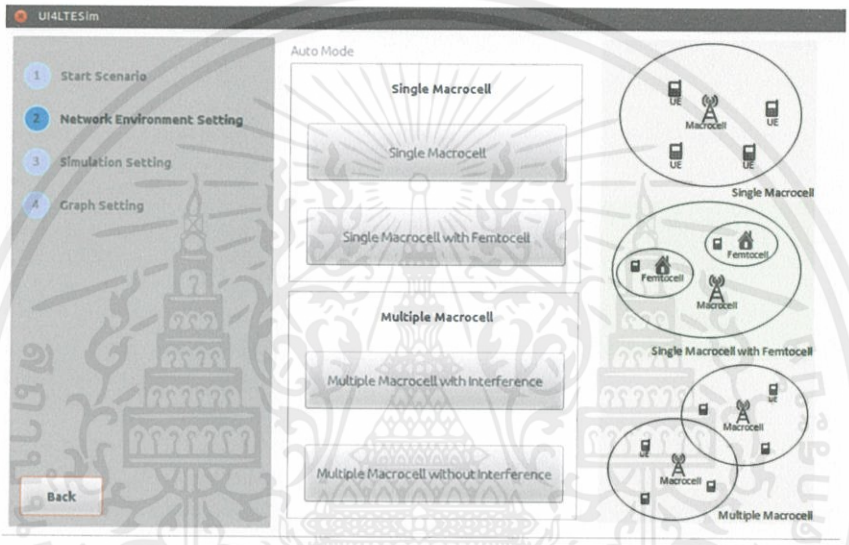
ในสถานการณ์จำลองที่ 1 นี้ทางผู้จัดทำได้เลือกการจำลองเครือข่ายแบบโหมดอัตโนมัติ



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนที่หนึ่ง Start Scenario

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

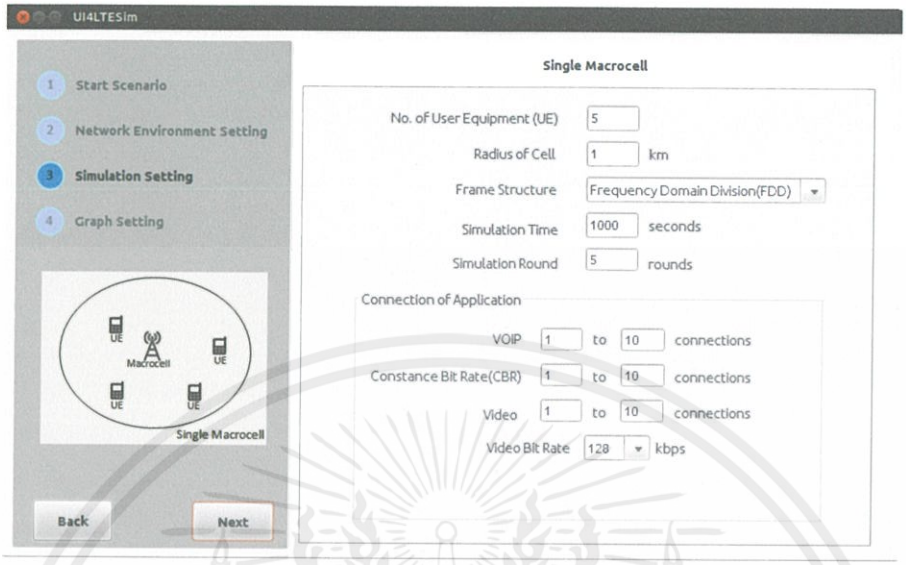
ขั้นตอนที่สอง (Network Environment Setting) การเลือกสถานการณ์การจำลอง หน้าต่างนี้จะแสดงสถานการณ์การจำลองทั้งหมด 4 สถานการณ์จำลองแบ่งเป็นสองประเภทได้แก่ แบบเซลเดียว (Single Macrocell) ซึ่งแบ่งออกเป็นอีกสองสถานการณ์คือ Single Macrocell และ Single Macrocell with Femtocell และแบบหลายเซล (Multiple Macrocell) แบ่งออกเป็นอีกสองสถานการณ์คือ Multiple Macrocell with Interference และ Multiple macrocell without Interferrence



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนที่สอง Network Environment Setting

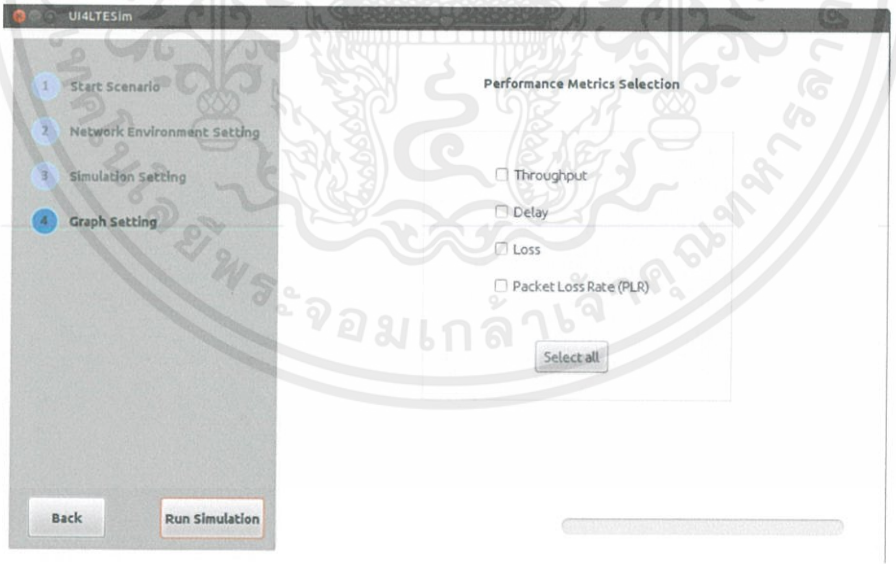
ขั้นตอนที่สาม (Simulation Setting) การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับการจำลองของแต่ละสถานการณ์ รูปที่ 4.11 เป็นการตั้งค่าพารามิเตอร์ของสถานการณ์จำลองแบบ Single Macrocell ผู้ใช้งานจะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้ต้องการ หรือสามารถเลือกค่าพื้นฐานที่กำหนดมาให้แล้วก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ขั้นตอนที่สาม Simulation Setting

ขั้นตอนที่สี่ (Simulation Setting) การตั้งค่ากราฟ ส่วนนี้จะให้ผู้ใช้งานเลือกกราฟผลลัพธ์ที่จะให้แสดงตามประสิทธิภาพที่ผู้ใช้งานต้องการ เมื่อผู้ใช้งานเลือกปุ่ม Run Simulation โปรแกรมจะทำการจำลองการทำงาน

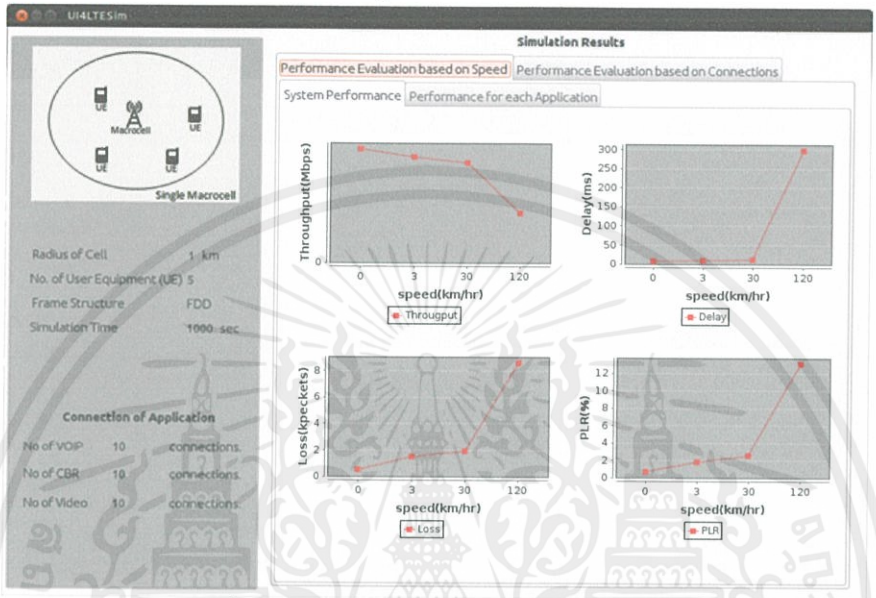


รูปที่ 4.12 ขั้นตอนที่สี่ Simulation Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

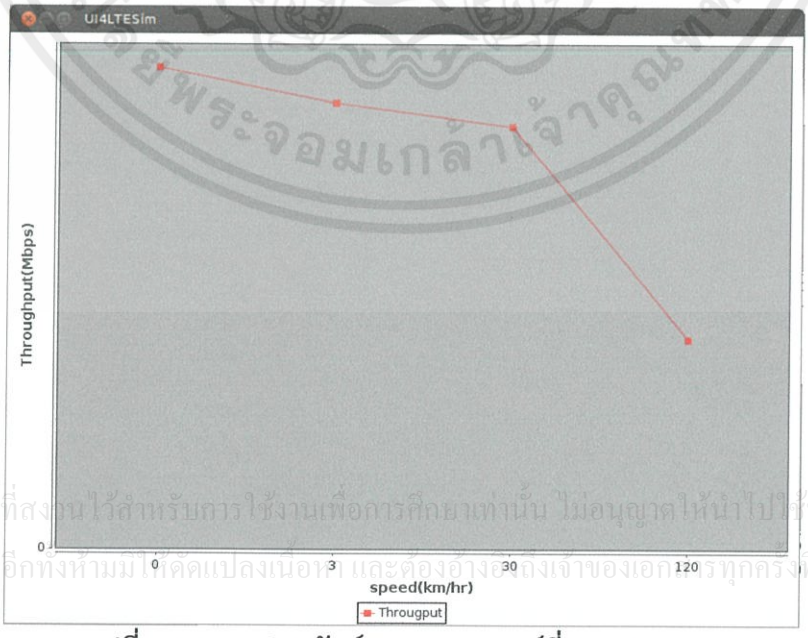
เมื่อซอฟต์แวร์รันเสร็จเรียบร้อยแล้วจะขึ้นหน้าต่างแสดงกราฟผลลัพธ์ต่างๆโดยผลลัพธ์แยกเป็นสองส่วนหลักๆคือ ประสิทธิภาพโดยวัดจากค่าความเร็วต่างกัน (Performance Evaluation based on Speed) และประสิทธิภาพวัดจากค่าจำนวนการเชื่อมต่อของแอพพลิเคชัน

(Performance Evaluation based on Connections) ซึ่งแต่ละส่วนก็จะแยกอีกสองส่วนคือ ประสิทธิภาพของทั้งระบบ (System Performance) และประสิทธิภาพของแต่ละแอพพลิเคชัน (Performance for each Application) ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟผลลัพธ์ของสถานการณ์ที่ 1

ผู้ใช้งานสามารถขยายขนาดของกราฟได้โดยการคลิกที่กราฟที่ต้องการขยาย ซอฟต์แวร์ก็จะสร้างหน้าต่างกราฟใหม่ให้แก่ผู้ใช้โดย ผู้ใช้สามารถอ่านค่ากราฟได้จากการเลื่อนเมาส์ไปที่จุดที่ต้องการอยากทราบค่า ค่าที่จุดๆนั้นก็จะแสดงให้แก่ผู้ใช้งานดังรูป



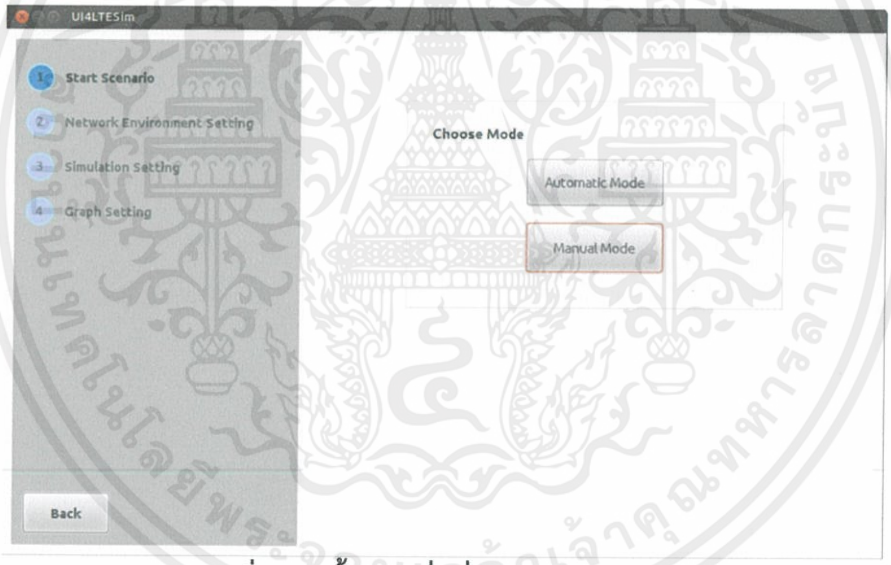
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 กราฟผลลัพธ์ของสถานการณ์ที่ 1 แบบขยาย

4.2.1 การทดสอบซอฟต์แวร์ในสถานการณ์จำลองที่ 2

สถานการณ์จำลองที่ 2 กำหนดให้ใช้สถานการณ์จำลองแบบ Multiple Macrocell without Interferrence ในรูปแบบของโหมดกำหนดโดยผู้ใช้ ทางผู้จัดทำได้วางเซลจำนวน 3 เซล จำนวนอุปกรณ์ผู้ใช้งาน 5 เครื่อง รัศมีเซล 1 กิโลเมตร กำหนดลักษณะของเฟรมข้อมูล เป็น FDD เวลาในการจำลอง 500 วินาที และจำนวนรอบของการจำลองเป็น 5 รอบ จำนวนแอพพลิเคชันที่ใช้ได้แก่ VOIP CBR และ VIDEO โดยใช้จำนวนคอนเน็กชันตั้งแต่ 1 คอนเน็กชันจนถึง 10 คอนเน็กชันและกำหนดอัตราการส่งข้อมูลของแอพพลิเคชัน VIDEO เป็น 128 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.15 จนถึงรูปที่ 4.20

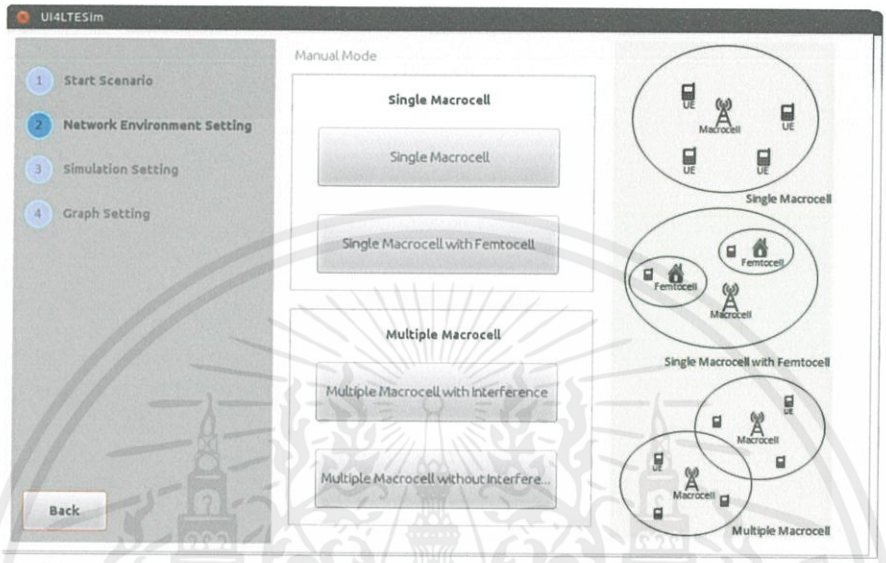
ขั้นตอนที่หนึ่ง (Start Scenario) การเลือกโหมดในการสร้างการจำลองเครือข่ายแอลทีอีจะมีสองโหมดให้ผู้ใช้เลือกใช้งานในสถานการณ์จำลองที่ 2 นี้ทางผู้จัดทำได้เลือกการจำลองเครือข่ายแบบโหมดกำหนดโดยผู้ใช้



รูปที่ 4.15 ขั้นตอนที่หนึ่ง Start Scenario

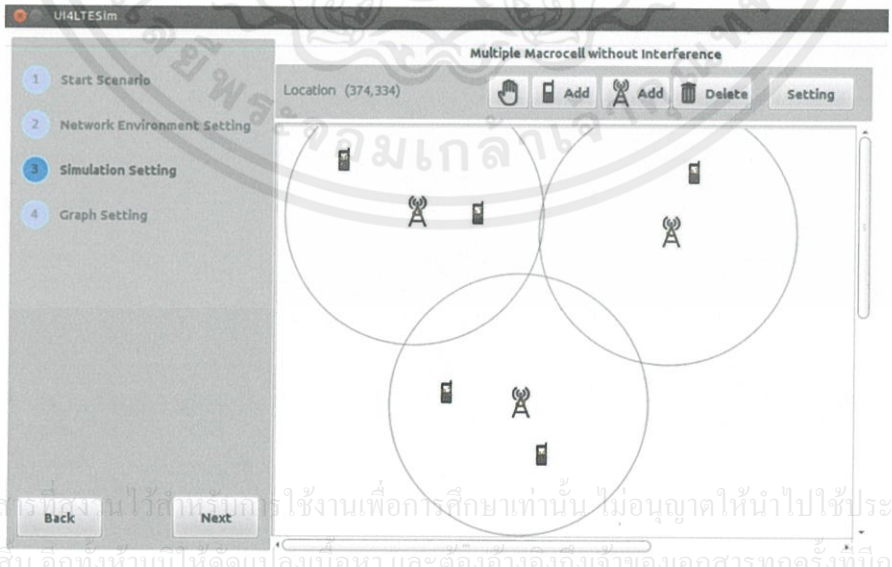
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่สอง (Network Environment Setting) การเลือกสถานการณ์การจำลอง ซึ่งทางผู้จัดทำได้เลือกสถานการณ์จำลองแบบ Multiple macrocell without Interferrence



รูปที่ 4.16 ขั้นตอนที่สอง Network Environment Setting

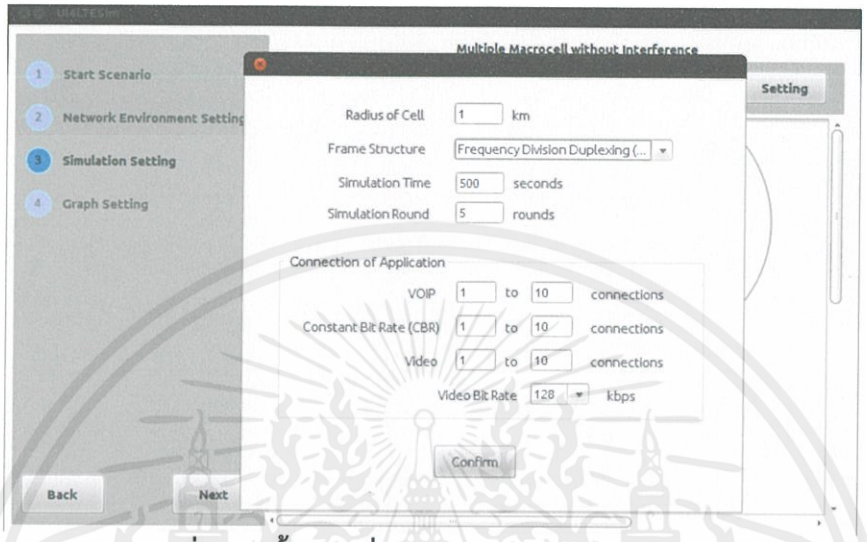
ขั้นตอนที่สาม (Simulation Setting) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการจำลองในรูปที่ 4.17 เป็นการจำลองของสถานการณ์ Multiple Macrocell without Interferrence โดยที่ผู้ใช้สามารถมองเห็นภาพโดยรวมของระบบ ซึ่งผู้ใช้สามารถวางเซล อุปกรณ์ของผู้ใช้ ได้ตามต้องการ สามารถลบ หรือเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ต่างๆในหน้านี้ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

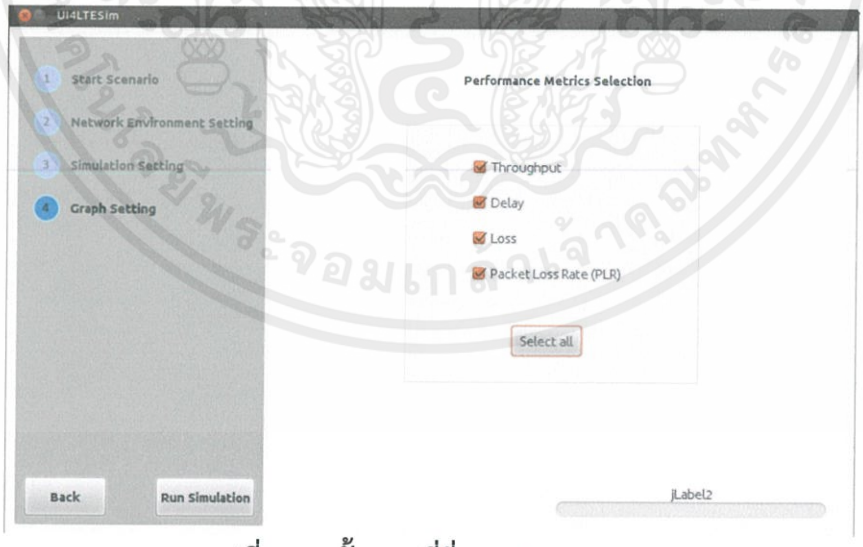
รูปที่ 4.17 ขั้นตอนที่สาม Simulation Setting(1)

ในขั้นตอนที่สามนี้เมื่อผู้ใช้สร้างโทโปโลจีเสร็จตามต้องการแล้ว ผู้ใช้ต้องทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ขั้นตอนที่สาม Simulation Setting(2)

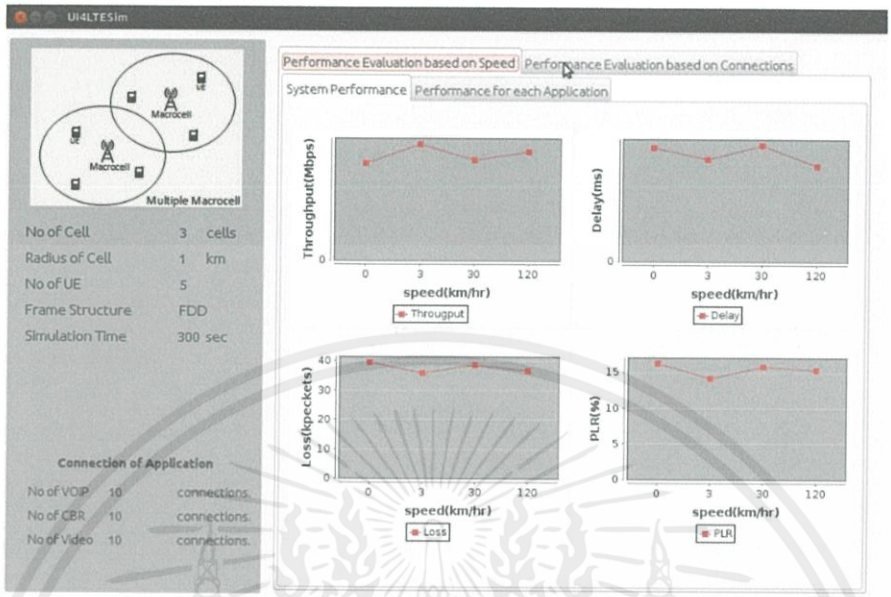
ขั้นตอนที่สี่ (Simulation Setting) การตั้งค่ากราฟ ส่วนนี้จะให้ผู้ใช้งานเลือกกราฟผลลัพธ์ที่จะให้แสดงตามประสิทธิภาพที่ผู้ใช้งานต้องการ ซึ่งทุกสถานการณ์การจำลองจะมีรูปแบบที่คล้ายๆกัน เมื่อผู้ใช้งานเลือกปุ่ม Run Simulation โปรแกรมจะทำการจำลองการทำงาน



รูปที่ 4.19 ขั้นตอนที่สี่ Grpah Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อซอฟต์แวร์รันเสร็จเรียบร้อยแล้วจะขึ้นหน้าต่างแสดงกราฟผลลัพธ์ต่างๆ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 กราฟผลลัพธ์ของสถานการณ์ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

แอลทีอีซิมูเลเตอร์ เป็นซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของเครือข่ายแอลทีอีที่มีประสิทธิภาพ แต่การใช้งานของซอฟต์แวร์มีความซับซ้อน เนื่องจากถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษาซีพลัสพลัสบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ ผู้ใช้ต้องมีความเข้าใจถึงของโครงสร้างต่างๆ ในการจำลองการทำงานผู้ใช้ต้องกำหนดค่าตัวแปรและสภาพแวดล้อมต่างๆ สำหรับการจำลองการทำงานเพียงหนึ่งสถานกาณ์เท่านั้น ผลจากการจำลองการทำงานที่ได้จะเป็นผลของสถานการณ์เพียงสถานการณ์เดียวเท่านั้น ซึ่งถ้านำผลที่ได้ไปเขียนกราฟก็จะได้กราฟเพียง 1 จุด ตามปกติในการจำลองการทำงานเรามักจะจำลองการทำงานในหลายๆ สถานการณ์ เพื่อให้ได้กราฟที่แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบในสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งมักจะแสดงผลในรูปของกราฟเส้นดังนั้น ผู้ใช้งานก็ต้องทำการกำหนดค่าตัวแปรและสภาพแวดล้อมต่างๆ ใหม่ ก่อให้เกิดการทำงานที่ยุ่งยาก ซ้ำซ้อน ซึ่งเหล่านี้เป็นแรงบันดาลใจให้เราทำการการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับซอฟต์แวร์จำลองการทำงานแอลทีอีซิมูเลเตอร์เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้สะดวกขึ้น ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์และสภาพแวดล้อมต่างๆ สำหรับหลายสถานการณ์ได้ผ่านซอฟต์แวร์ที่เราพัฒนาขึ้น หลังจากนั้นซอฟต์แวร์ที่เราพัฒนาขึ้นจะทำการจำลองการทำงานและแสดงผลการจำลองการทำงานตามที่ผู้ใช้งานต้องการ

5.1 ผลที่ได้จากการทำโครงงาน

1) มีการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ของซอฟต์แวร์ที่ชัดเจน เข้าใจง่าย
2) ผู้ใช้งานสามารถใช้ส่วนติดต่อผู้ใช้ซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมที่ทางผู้จัดทำได้พัฒนาขึ้น ทำการจำลองเครือข่าย และได้ผลลัพธ์เป็นประสิทธิภาพของเครือข่ายซึ่งแสดงในรูปของกราฟเส้น
3) ผู้จัดทำได้รับความรู้ ความเข้าใจในเรื่องระบบเครือข่ายแอลทีอีมากยิ่งขึ้น และรวมถึงสามารถใช้งานซอฟต์แวร์แอลทีอีได้ดีระดับหนึ่ง นอกจากนี้ผู้จัดทำยังได้ฝึกฝนความสามารถทางด้านซอฟต์แวร์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดจากการทำโครงงาน

1) แอลทีอีซิม มีฟังก์ชันการทำงานต่างๆเป็นจำนวนมาก บางฟังก์ชันไม่มีคำอธิบายการใช้งานมาให้ ผู้จัดทำจึงต้องหาความรู้เอง
2) การศึกษาโครงสร้างของแอลทีอีซิมและการเขียน AWK Script ค่อนข้างใช้เวลานาน เนื่องจากผู้จัดทำไม่มีความรู้ด้านนี้มาก่อน อีกทั้งเทคโนโลยีแอลทีอีเป็นเทคโนโลยีใหม่ ข้อมูลมีค่อนข้างน้อย ทำให้เกิดความล่าช้าในการพัฒนาซอฟต์แวร์ ซึ่งผู้จัดทำก็สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยตรงโดยการปรึกษารุ่นพี่ที่มีความรู้ด้านนี้ เพื่อย่นระยะเวลาในการศึกษาลง
3) รายละเอียดของการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ในการจำลองการทำงานของเครือข่ายแอลทีอี มีความยากเนื่องจากมีคำอธิบายรายละเอียดน้อย
4) การพัฒนาซอฟต์แวร์ที่มีลักษณะนี้ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานเฉพาะกลุ่ม ทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากข้อมูล หรือแนวทางในการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ลักษณะนี้ค่อนข้างมีน้อย อีกทั้งทำให้เมื่อเวลาเกิดปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานซอฟต์แวร์ดังกล่าวจะต้องใช้เวลามากในการหาสาเหตุของปัญหา และแก้ไขปัญหาด้วยตัวเองโดยการลองผิดลองถูก

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ

1) เพิ่มความสามารถซอฟต์แวร์โดยการให้มีการติดตั้งซอฟต์แวร์อัตโนมัติ ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่มีซอฟต์แวร์ติดตั้งอยู่ในเครื่อง
2) พัฒนาซอฟต์แวร์ให้สามารถใช้งานได้ทุกระบบปฏิบัติการ
3) ปรับแต่งในส่วนของ User Interface ให้มีรูปแบบที่สวยงาม เหมาะแก่การนำไปใช้งานและใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Giuseppe Piro, Luigi Alfredo Grieco, Gennaro Boggia, Francesco Capozzi and Pietro Camarda. **Simulating LTE Cellular Systems: An Open-Source Framework.** IEEE Transactions on vehicular technology, vol. 60. No.2, February 2011.

[2] Francesco Capozzi et al. **On accurate simulation of LTE femtocells using an open source simulator.** EURASIP Journal on Wireless Comunications and Networking 2012.

[3] Anulorm Sripin. **เรื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่**. [Online]. Available : https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_electronics/wiki/59e6f/.

[4] Ajith Jose. install CDT/C++ plugin for eclipse. [Online]. Available : http://www.youtube.com/watch?v=QhvXCg2CY4Q.

[5] UltraMod(นามแฝง). 2552. **ความรู้เบื้องต้นของภาษาจาวา**. [Online]. Available : http://happyeverytime.exteen.com/20090608/entry.

[6] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2554. **ภาษาจาวา**. [Online]. Available : http://th.wikipedia.org/wiki/ภาษาจาวา.

[7] Eureka(นามแฝง). **JAVA.** [Online]. Available : http://reocities.com/Eureka/6668/internet-java.htm.

[8] Jakob Jenkov.[Online].Available : http://tutorials.jenkov.com/java-itext/paragraph.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Giuseppe Piro, Luigi Alfredo Grieco, Gennaro Boggia, Francesco Capozzi and Pietro Camarda. **Simulating LTE Cellular Systems: An Open-Source Framework.** IEEE Transactions on vehicular technology, vol. 60. No.2, February 2011.

[2] Francesco Capozzi et al. **On accurate simulation of LTE femtocells using an open source simulator.** EURASIP Journal on Wireless Comunications and Networking 2012.

[3] Anulorm Sripin. **เรื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่**. [Online]. Available : https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_electronics/wiki/59e6f/.

[4] Ajith Jose. install CDT/C++ plugin for eclipse. [Online]. Available : http://www.youtube.com/watch?v=QhvXCg2CY4Q.

[5] UltraMod(นามแฝง). 2552. **ความรู้เบื้องต้นของภาษาจาวา**. [Online]. Available : http://happyeverytime.exteen.com/20090608/entry.

[6] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2554. **ภาษาจาวา**. [Online]. Available : http://th.wikipedia.org/wiki/ภาษาจาวา.

[7] Eureka(นามแฝง). **JAVA.** [Online]. Available : http://reocities.com/Eureka/6668/internet-java.htm.

[8] Jakob Jenkov.[Online].Available : http://tutorials.jenkov.com/java-itext/paragraph.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การติดตั้งโปรแกรม

ก.1 การติดตั้งซอฟต์แวร์แอลทีอีซิม

ขั้นตอนการติดตั้งซอฟต์แวร์แอลทีอีซิมมีดังนี้

[1] ลงโปรแกรม VMware

[2] ติดตั้งระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ใน VMware โดยใช้ระบบปฏิบัติการอูบุนตู 12.04 ซึ่งดาวน์โหลดได้จาก http://www.ubuntu.com/download/desktop

[3] ดาวน์โหลด LTE-Sim จาก http://telematics.poliba.it/index.php/en/?option=com_content&view=article&id=158&itemid%253

[4] ดาวน์โหลด Eclipse จาก http://www.eclipse.org/downloads/

[5] ทำการติดตั้งไลบารี่ g++ โดยพิมพ์คำสั่งใน Terminal $sudo apt-get install g++

[6] ติดตั้ง JRE (Java Runtime Environment) จาก http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jdk7-downloads-1880260.html

[7] ติดตั้งซอฟต์แวร์ Netbeans IDE 7.0.1 จาก https://netbeans.org/downloads/

[8] สร้างโปรเจค

[9] คัดลอกไฟล์ lte-sim ที่ดาวน์โหลดมาไปไว้ในไดเรกทอรี่ของโปรเจคเน็ตบีนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้