

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์               | แบบจำลองการลดทอนสัญญาณคลื่นวิทยุสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ความถี่ 1800 MHz โดยวิธีนิวโรฟัซซี |
| นักศึกษา                        | นายศุภชัย ไพบูลย์  |
| รหัสนักศึกษา                    | 42060012   |
| ปริญญา                          | วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต   |
| สาขาวิชา                        | วิศวกรรมไฟฟ้า  |
| พ.ศ.                            | 2550   |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์     | รศ.ดร.สุริภณ สมควรพานิชย์  |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | ผศ.ดร.พิศิษฐ์ โภคารัตน์กุล   |

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการทำนายการลดทอนสัญญาณคลื่นวิทยุ โดยใช้นิวโรฟัซซี (Neuro-Fuzzy) สำหรับใช้ในการออกแบบเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในอาคาร โดยลักษณะเด่นของวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์เล่มนี้คือ การกำหนดฟัซซีเซตของตัวแปรที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่น และนำข้อมูลการแพร่กระจายคลื่น ไปทำกระบวนการเรียนรู้ด้วยนิวโรฟัซซี ทำให้แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่ได้มีความถูกต้องสูงสำหรับอาคารที่ไม่มีวัตถุที่เคลื่อนไหวภายในอาคาร อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่เกิดการเคลื่อนไหวของวัตถุภายในอาคาร ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอแบบจำลองการลดทอนสัญญาณคลื่นวิทยุโดยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบฟัซซี ( Fuzzy Linear Regression ) แบบจำลองการลดทอนสัญญาณคลื่นวิทยุนี้มีขอบเขตบนและขอบเขตล่าง ( Upper and Lower Bounds Path Loss Model ) ทำให้สามารถทำนายการสูญเสียตามวิถีคลื่นในสภาวะที่เกิดผลกระทบแปรเปลี่ยนตามเวลา จากการเคลื่อนไหวของคนภายในอาคาร หรือ การเคลื่อนที่ของรถยนต์ภายในอาคารจอดรถ ซึ่งผลกระทบดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายคลื่นภายในอาคารเป็นอย่างมาก ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ได้แสดงผลการทำนายการสูญเสียตามวิถีภายในอาคารสำนักงานและอาคารจอดรถ ในสภาวะที่มีการใช้งานของอาคารอย่างหนาแน่น เปรียบเทียบกับวิธีการแบบเดิม

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Thesis Title</b>      | Propagation Path Loss Model for 1800 MHz Mobile Communication<br>Using Neuro-Fuzzy |
| <b>Student</b>           | Mr. Supachai Phaiboon  |
| <b>Student ID.</b>       | 42060012   |
| <b>Degree</b>            | Doctor of Engineering  |
| <b>Program</b>           | Electrical Engineering   |
| <b>Year</b>              | 2007   |
| <b>Thesis Advisor</b>    | Assoc. Prof. Dr. Suripon Somkuarnpanit   |
| <b>Thesis Co-Advisor</b> | Asst. Prof. Dr. Pisit Phokharatkul   |

### **ABSTRACT**

This thesis proposes a method to predict propagation path loss in buildings using Neuro-Fuzzy for indoor mobile telephone system network designing. The salient feature of the proposed method is to determine fuzzy set inputs which influence on wave propagation and train propagation data with a Neuro-Fuzzy. These make the model provided high accuracy used for buildings without time-variant effects. However in case of buildings with time-variant effects, this thesis proposes a path loss model using Fuzzy linear regression. This model uses upper and lower bounds path loss model, which enables path loss prediction in situation of time-variant effects from human moving in the office building or car moving in the parking building. These influence reasonably on wave propagation. This thesis presents the results of path loss prediction in the office building and the parking building at high traffic hours. Comparing with conventional models is included in this thesis.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาที่มีคุณค่าจาก รศ.ดร.สุริภณ  
สมควรพาณิชย์ และ ผศ.ดร. พิศิษฎ์ โภคารัตน์กุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึก  
ซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ทั้งสองท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่อง  
ต่าง ๆ

ขอบคุณ ผศ. อติรักษ์ กาญจนหลัทย จากมหาวิทยาลัยรังสิต ที่ช่วยในการทำบทความโดยใช้  
โปรแกรม LATEX

ขอขอบคุณอาจารย์ Graham Rogers มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ช่วยตรวจทานข้อความวิจัย  
ภาษาอังกฤษ

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. Jun-ichi Takada สถาบันเทคโนโลยีโตเกียว ประเทศญี่ปุ่นที่  
ได้ช่วยให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ในการทำวิจัย

ขอบคุณ ดร.เสรี ปานซาง และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ช่วยแนะนำสิ่งที่มีประโยชน์ต่อการศึกษาในครั้ง  
นี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ขอขอบคุณญาติพี่น้อง ครอบครัวของข้าพเจ้า  
ตลอดจนเพื่อนร่วมงานที่ทำให้เกิดแรงบันดาลใจและกำลังใจ ที่ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับ  
นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุภชัย ไพบูลย์

# สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                              | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                           | II   |
| กิตติกรรมประกาศ.....                              | III  |
| สารบัญ.....                                       | IV   |
| สารบัญตาราง.....                                  | VII  |
| สารบัญรูป.....                                    | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ.....                                 | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....           | 2    |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....   | 2    |
| 1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....                      | 2    |
| 1.4 ทฤษฎีหรือแนวทางการคิดที่ใช้ในการวิจัย.....    | 3    |
| 1.5 ขอบเขตการวิจัย.....                           | 3    |
| 1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....                          | 3    |
| บทที่ 2 การแพร่กระจายคลื่นภายในอาคาร.....         | 5    |
| 2.1 กลไกพื้นฐานในการแพร่กระจายคลื่น.....          | 5    |
| 2.2 การสะท้อน.....                                | 6    |
| 2.2.1 การสะท้อนจากไดอิเล็กตริก.....               | 6    |
| 2.2.2 มุมบรีวสเตอร์(Brewster Angle).....          | 9    |
| 2.2.3 การสะท้อนจากตัวนำสมบูรณ์.....               | 11   |
| 2.2.4 แบบจำลองการสะท้อนพื้นดิน (สองแนวคลื่น)..... | 12   |
| 2.3 การเลี้ยวเบน.....                             | 16   |
| 2.4 การกระจัดกระจาย.....                          | 17   |
| 2.5 แบบจำลองคลื่นสองรังสี (Two-Ray Model).....    | 19   |
| 2.6 ผลกระทบจากเขตFresnel.....                     | 20   |
| 2.7 การพิสูจน์ทฤษฎีเขตFresnel.....                | 22   |
| 2.8 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุภายในอาคาร.....        | 24   |
| 2.8.1 เครื่องส่งอยู่ภายนอกอาคาร.....              | 24   |

## สารบัญ(ต่อ)

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 2.8.2      | เครื่องส่งและเครื่องรับอยู่ภายในอาคาร.....                     | 25 |
| บทที่ 3    | การถดถอยเชิงเส้นแบบฟัซซี.....                                  | 28 |
| 3.1        | คริสป์เซตและฟัซซีเซต.....                                      | 28 |
| 3.1.1      | รูปสามเหลี่ยม.....   | 29 |
| 3.1.2      | รูปสี่เหลี่ยมคางหมู.....                                       | 30 |
| 3.1.3      | เส้นโค้งรูปตัว S.....  | 31 |
| 3.1.4      | รูประฆังคว่ำ $\pi$ -ฟังก์ชัน.....                              | 32 |
| 3.2        | การวิเคราะห์แบบฟัซซี.....                                      | 33 |
| 3.3        | การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น.....                              | 34 |
| 3.4        | การทำนายข้อมูลด้วยช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval)..... | 36 |
| 3.5        | การถดถอยเชิงเส้นแบบฟัซซี (Fuzzy Linear Regression, FLR).....   | 38 |
| 3.6        | ระบบนิวโรฟัซซี.....  | 42 |
| บทที่ 4    | เทคนิคการวัดสัญญาณ และการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น.....         | 44 |
| 4.1        | ขั้นตอนการวัดสัญญาณ.....                                       | 45 |
| 4.2        | สถานที่วัดสัญญาณ.....  | 46 |
| 4.3        | แบบจำลองการลดทอนสัญญาณคลื่นด้วยการใช้การถดถอยเชิงเส้น.....     | 48 |
| 4.4        | แบบจำลองการลดทอนสัญญาณคลื่นด้วย ANFIS.....                     | 53 |
| บทที่ 5    | แบบจำลองการลดทอนสัญญาณคลื่นโดยใช้การถดถอยเชิงเส้นแบบฟัซซี..... | 58 |
| 5.1        | แบบจำลองการสูญเสียตามวิถีด้วยพารามิเตอร์ฟัซซี.....             | 58 |
| 5.1.1      | อาคารเรียนคอนกรีต.....   | 58 |
| 5.1.2      | อาคารจอดรถในศูนย์การค้า.....                                   | 59 |
| 5.2        | การทดสอบแบบจำลองที่ได้.....                                    | 60 |
| บทที่ 6    | สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....                              | 62 |
| บรรณานุกรม | .....  | 64 |

## สารบัญ(ต่อ)

ภาคผนวก

|  |     |
|--|-----|
| ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่..... | 67  |
| ภาคผนวก ข. ตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดสัญญาณ .....      | 116 |
| ประวัติผู้เขียน.....                                 | 138 |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของวัตถุที่มีความถี่ต่าง ๆ .....             | 8    |
| 3.1 ข้อมูลตัวเลข.....  | 41   |
| 4.1 ค่ากำลังการสูญเสียตามวิถีและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์..... | 53   |
| 5.1 พารามิเตอร์สำหรับการวัดสัญญาณเพื่อทดสอบแบบจำลอง.....       | 60   |

# สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 กลไกการแพร่กระจายคลื่น.....   | 5    |
| 2.2 แนวทางเดินของคลื่นสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างไดอิเล็กตริกทั้งสอง.....  | 7    |
| 2.3 ขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกับมุมตกกระทบ.....  | 10   |
| 2.4 แบบจำลองการสะท้อนพื้นดินแนวสองคลื่น.....  | 11   |
| 2.5 วิธีเชิงเงาใช้ในการหาผลต่างของระยะทางเดินคลื่นทั้งสองแนว.....   | 12   |
| 2.6 แผนภาพเฟสเซอร์แสดงการรวมกันขององค์ประกอบสนามคลื่นทั้งสอง.....   | 14   |
| 2.7 หลักการของHuygen.....   | 16   |
| 2.8 การเลี้ยวเบนของคลื่นที่เหลี่ยมคมของสิ่งกีดขวาง.....   | 17   |
| 2.9 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกับมุมตกกระทบของผนังหินขรุขระ.....   | 18   |
| 2.10 แบบจำลองคลื่นสองรังสี.....   | 19   |
| 2.11 เขตFresnel.....  | 21   |
| 2.12 ก) สัญญาณความถี่สูงกว่าแพร่กระจายไปได้ระยะทางไกลกว่าก่อนที่เขตFresnelแรกสัมผัสพื้นดิน<br>ข) การแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศที่สูงกว่าไปได้ระยะทางไกลกว่าก่อนที่เขตFresnelแรก<br>สัมผัสพื้นดิน..... | 22   |
| 2.13 แสดงจุดเปลี่ยนเขตFresnel.....  | 22   |
| 2.14 ระดับสัญญาณคลื่นที่รับได้ตามระยะทางจากเครื่องส่งที่แสดงให้เป็นจุดเปลี่ยน $d_0$<br>(กำลังเครื่องส่ง 1W).....  | 24   |
| 2.15 รัศมีการให้บริการระบบสื่อสารภายในอาคารที่อยู่ภายในและภายนอกเขตFresnelแรก.....  | 25   |
| 2.16 แบบจำลองคลื่นสามแนวภายในอาคาร.....   | 26   |
| 3.1 คริสต์ปเซตอายุของคนเรา.....   | 28   |
| 3.2 พืชซีเซตของอายุคนเรา.....   | 29   |
| 3.3 แสดงกราฟรูปสามเหลี่ยม.....  | 30   |
| 3.4 แสดงกราฟรูปสามเหลี่ยมคางหมู.....  | 31   |
| 3.5 แสดงฟังก์ชันกราฟรูปตัว S.....   | 31   |
| 3.6 แสดงฟังก์ชันกราฟรูป $\pi$ .....   | 32   |
| 3.7 พืชซีเซตรูปสามเหลี่ยมของอายุ.....   | 33   |
| 3.8 แสดงแผนผังการทำงานของระบบพืชซี.....   | 33   |
| 3.9 กราฟความแรงของสัญญาณที่รับได้และระยะทาง.....  | 35   |
| 3.10 ช่วงความเชื่อมั่น.....   | 36   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.11 การแจกแจงปกติด้วยค่าเฉลี่ย $\overline{RSL}=0$ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\sigma$ .....          | 37   |
| 3.12 การแจกแจงปกติด้วยค่า $\overline{RSL}=1$ และ $\overline{RSL}=-1$ ที่ค่า $\sigma$ ต่าง ๆ ..... | 37   |
| 3.13 การแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานปกติ.....                                    | 38   |
| 3.14 จำนวนฟิชชีในรูปแบบทรงสามเหลี่ยม.....   | 39   |
| 3.15 แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น.....  | 41   |
| 3.16 แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นแบบฟิชชี.....  | 41   |
| 3.17 ระบบนิเวศโรฟิชชี.....  | 42   |
| 4.1 ระบบการวัดสัญญาณ.....   | 44   |
| 4.2 แผนผังสถานที่วัดสัญญาณภายในอาคารเรียนคอนกรีต.....   | 46   |
| 4.3 ภาพถ่ายภายในอาคารเรียนคอนกรีต.....  | 47   |
| 4.4 แผนผังสถานที่วัดสัญญาณภายในอาคารจอดรถในศูนย์การค้า.....                                       | 47   |
| 4.5 ภาพถ่ายภายในอาคารจอดรถในศูนย์การค้า.....  | 47   |
| 4.6 แบบจำลองสามวิถีคลื่น.....   | 48   |
| 4.7 กราฟการสูญเสียตามวิถีคลื่นที่ได้ตรวจวัดและเส้นถดถอยสำหรับอาคารเรียนคอนกรีต.....               | 49   |
| 4.8 กราฟการสูญเสียตามวิถีคลื่นที่ได้ตรวจวัดและเส้นถดถอยสำหรับอาคารจอดรถในศูนย์การค้า.....         | 50   |
| 4.9 จำนวนคนเดินในแนวทางเดินตรงภายในอาคารเรียนคอนกรีต.....   | 51   |
| 4.10 จำนวนรถยนต์แล่นผ่านและคนเดินระหว่างเครื่องรับ-ส่งภายในอาคารจอดรถในศูนย์การค้า.....           | 51   |
| 4.11 ผลการวัดการจางหายภายในอาคาร.....   | 52   |
| 4.12 สัญญาณเข้าฟิชชีก่อนทำกระบวนการเรียนรู้.....  | 54   |
| 4.13 สัญญาณเข้าฟิชชีหลังทำกระบวนการเรียนรู้.....  | 55   |
| 4.14 กราฟ RMSE สำหรับ ANFIS.....  | 55   |
| 4.15 ผลทำนายการลดทอนด้วยวิธีนิเวศโรฟิชชี.....   | 56   |
| 5.1 ข้อมูลการวัดสัญญาณและแบบจำลองที่นำเสนอของอาคารสองประเภท.....                                  | 61   |