รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ดัชนีแมคดีกับเส้นสัญญาณดัดแปลงและการอนุมานค่าน้ำหนักการซื้อขายด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือและการประยุกต์ในการวิเคราะห์การซื้อขายหุ้นกลุ่มปันผลสูง 30

MACD INDICATOR WITH THE MODIFIED SIGNAL LINE AND TRADING WEIGHT INFERENCE AND APPLICATION TO ANALYSIS TRADING SET-HIGH DIVIDEND 30 STOCKS

นายวิชัย วิทยาเกียรติเลิศ

ได้รับทุนสนับสนุนงานสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณเงินแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ดัชนีแมคดีกับเส้นสัญญาณดัดแปลงและการอนุมานค่าน้ำหนักการซื้อขายด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือและการประยุกต์ในการวิเคราะห์การซื้อขายหุ้นกลุ่มปันผลสูง 30

MACD INDICATOR WITH THE MODIFIED SIGNAL LINE AND TRADING WEIGHT INFERENCE AND APPLICATION TO ANALYSIS TRADING SET-HIGH DIVIDEND 30 STOCKS

นายวิชัย วิทยาเกียรติเลิศ

ได้รับทุนสนับสนุนงานสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณเงินแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ
เลขทะเบียน 145206
รับเดือน ปี 31 ส.ค. 2560

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)

ดัชนีแมคดีกับเส้นสัญญาณดัดแปลงและการอนุมานค่าน้ำหนักการซื้อขายด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือและการประยุกต์ในการวิเคราะห์การซื้อขายหุ้นกลุ่มปันผลสูง 30

แหล่งเงิน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 250,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2558 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2559

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ

วิชัย วิทยาเกียรติเลิศ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีปรับปรุงดัชนี MACD โดยปรับปรุงเส้นสัญญาณ และให้ชื่อว่า MACDP โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ดัชนี MACD สามารถส่งสัญญาณซื้อขายก่อนสัญญาณเดิม โดยการประยุกต์ใช้ระดับความมั่นใจที่นิยามขึ้นในการตีความว่า จุดเวลาหนึ่งๆ เป็นจุดที่ MACD มีค่าต่ำสุดหรือสูงสุดในคาบหนึ่งๆ นอกจากนี้ ได้เสนอแนวทางการซื้อขายด้วยค่าน้ำหนักการซื้อขายที่อนุมานจากโดยใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซีซึ่งสามารถปรับปรุงให้วิธีที่ใช้เส้นสัญญาณดัดแปลงมีประสิทธิภาพดีขึ้น

ในงานวิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพของดัชนี MACD ที่พัฒนาขึ้น กับข้อมูลราคาหุ้นในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยในดัชนี กลุ่มปันผลสูง 30

คำสำคัญ : MACD ตรรกศาสตร์ฟัซซี ระบบซื้อขาย การวิเคราะห์เชิงเทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: MACD indicator with the modified Signal Line and trading weight inference and Application to Analysis trading SET-high dividend 30 stocks

Researcher: Wichai Witayakiatilerd

Faculty: Science **Department:** Mathematics

ABSTRACT

This research presents a method to improve MACD indicator by modifying a signal line. The MACD indicator with the modified signal line is named MACDP. It will be an alternative indicator for selection a stock into portfolio. In addition, an improvement of the proposed method is developed by using fuzzy logic to infer the trading weight for each buy/sell signal.

By testing the proposed method with the stock prices data in SET-high dividend30 and comparing with the original MACD and some existing methods, the result yields the higher success rate and profit rate than the original MACD, and outperforms some existing methods in term of profit rate.

Keywords : MACD, Fuzzy Logic, Trading System, Technical Analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้บรรลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณการสนับสนุนและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในทุกๆ ด้านจากคณะวิทยาศาสตร์ ฝ่ายกองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนุนสนุนเงินวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีประมาณ 2559

นาย วิชัย วิทยาเกียรติเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของปัญหา 2

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน 2

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน 3

1.6 แผนการดำเนินการ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 จำนวนฟัซซี 6

2.2 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 14

2.3 ดัชชี MACD 18

บทที่ 3 การกำหนดเงื่อนไขและวิธีการซื้อขาย 21

3.1 คาบการซื้อขาย 21

3.2 เงื่อนไขของการซื้อขาย 23

3.3 อัตราความสำเร็จและอัตรากำไรเฉลี่ย 23

3.4 เงื่อนไขการซื้อขายเพิ่มเติม 24

3.5 วิธีการซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิม 26

3.6 วิธีการซื้อขาย MACDR1 28

3.7 วิธีการซื้อขาย MACDR2 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 เส้นสัญญาณดัดแปลง 31
4.1 บทนำ 31
4.2 เส้นสัญญาณดัดแปลง 32
4.3 วิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง 35
บทที่ 5 การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก 38
5.1 ค่าความมั่นใจสัญญาณจริง 38
5.2 ข้อมูลที่ใช้ในการอนุมานค่าความมั่นใจสัญญาณจริง 39
5.3 กฎฟัซซี 44
5.4 การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก 44
5.5 ตัวอย่างการอนุมานค่าความมั่นใจสัญญาณจริงและการแปลงค่าความมั่นใจสัญญาณจริงเป็นค่าน้ำหนักการซื้อขาย 45
บทที่ 6 ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล 53
6.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง 53
6.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงโดยใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก 54
บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 56
7.1 สรุปผลการวิจัย 56
7.2 ข้อเสนอแนะ 56
เอกสารอ้างอิง 57
ภาคผนวก 58
ประวัตินักวิจัย 117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การลงทุนซื้อขายหุ้นเป็นการลงทุนที่มีความเสี่ยงสูง ความเสี่ยงในที่นี้หมายถึงความเสี่ยงที่จะสูญเสียเงินต้นหรือได้รับผลตอบแทนต่ำกว่าที่คาดการณ์เอาไว้ ความเสี่ยงสำหรับการซื้อขายหุ้นเกิดจากความผันผวนของราคาซึ่งได้รับผลกระทบมาจากปัจจัยหลายประการเช่น ภาวะเศรษฐกิจ ผลประกอบการของบริษัท และปัจจัยอื่นๆอีกมากมายที่เราไม่สามารถคาดการณ์ได้ ปัจจัยเหล่านี้ ส่งผลกระทบต่อราคาหุ้นในแต่ละวันทำให้เกิดความผันผวนของราคา ดังนั้นนักลงทุนจำเป็นต้องมีเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และตัดสินใจในการเลือกหุ้นที่มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการทำกำไร

MACD (Moving Average Convergence Divergence) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์หุ้นเชิงเทคนิคซึ่งใช้ชี้วัดแนวโน้มของราคาหุ้นและกำหนดสัญญาณซื้อขายที่มีความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีหลักการที่เข้าใจง่าย ใช้งานง่าย และมีการพัฒนาเป็นซอฟแวร์ที่มีประสิทธิภาพต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามดัชนี MACD ยังมีข้อด้อยประการหนึ่งคือ การส่งสัญญาณซื้อขายล่าช้าซึ่งสาเหตุทำให้มีอัตราความสำเร็จของการซื้อขายเพื่อให้ได้กำไรต่ำเพียง 32.73% [1] ด้วยเหตุนี้จึงมีการวิจัยพัฒนา MACD เพื่อให้มีอัตราความสำเร็จของการซื้อขายเพื่อให้ได้กำไรสูงขึ้น โดยที่ผ่านมา Gunter Meissner ได้นำเสนอการปรับปรุง MACD โดยเพิ่มเงื่อนไขในการซื้อโดยจะทำการซื้อหุ้นเมื่อหุ้นเส้น MACD ตัดขึ้นเหนือเส้นสัญญาณ(Signal line)ไประยะเวลาหนึ่งและให้ชื่อว่า MACDR1 ต่อมาได้ปรับปรุง MACD อีกโดยเพิ่มเงื่อนไขทั้งการซื้อและการขายหุ้นโดยใช้เงื่อนไขการซื้อเช่นเดียวกับ MACDR1 และเพิ่มเงื่อนไขในการขายจะขายเมื่อมีกำไรระดับหนึ่งและให้ชื่อว่า MACDR2 [1]

จากการศึกษา MACD พบว่า MACD นั้นเป็นดัชนีที่สร้างมาจากข้อมูลราคาย้อนหลัง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงราคาของหุ้นจะเกิดขึ้นนำหรือเร็วกว่าการส่งสัญญาณการเปลี่ยนแปลงราคาของ MACD ซึ่งจะส่งผลต่อการส่งสัญญาณซื้อขายที่ยึดหลักการตัดขึ้น-ลงเส้นสัญญาณของเส้น MACD ซึ่งหากเราสามารถเร่งให้เส้น MACD ตัดขึ้น-ลง เร็วขึ้น ก็จะทำให้สามารถส่วนต่างของราคาซื้อและราคาขายมีช่องว่าง(cap) ห่างกันมากขึ้น ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจศึกษาและเป็นเหตุจูงใจสำหรับผู้วิจัย โดยงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซีในการปรับปรุงและพัฒนาปรับปรุง เนื่องจากตรรกศาสตร์ฟัซซีเป็นเครื่องมือที่มีความยืดหยุ่นสูง คือยอมรับข้อมูลที่ขอบเขตของของข้อมูลขาดความชัด ทิศทางการเคลื่อนไหวไม่ชัดเจนเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ปรับปรุง MACD โดยประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องตรรกศาสตร์ฟัซซี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และส่งสัญญาณซื้อขายของหุ้นโดยใช้ อัตราสำเร็จในการซื้อขายและอัตรากำไร เป็นตัวชี้วัด

1.3 ขอบเขตของปัญหา

1.3.1 ในงานวิจัยนี้พัฒนาและปรับปรุงดัชนี MACD โดยการปรับปรุงเฉพาะเส้นสัญญาณเท่านั้น โดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงเส้น MACD

1.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพกับหุ้นแต่ละตัวในกลุ่ม SET-100 ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 โดยเปรียบเทียบกับวิธี MACD แบบดั้งเดิม และ MACDR1-MACDR2 ของ Gunter Meissner และคณะ [1]

1.3.3 การวัดประสิทธิภาพของ MACD แต่ละชนิดจะวัดด้วยอัตราความสำเร็จและอัตรากำไรเฉลี่ย

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษานิยาม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับMACDหรือMACDดังเดิม MACDR1 และ MACDR2

1.4.2 ศึกษานิยาม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของหลักทรัพย์

1.4.3 คัดกรองหุ้นในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 10 ปี ด้วย การวิเคราะห์เชิงปริมาณของหลักทรัพย์ และคัดเลือกหลักทรัพย์ชั้นดี 50 หลักทรัพย์ ซึ่งเรียกว่า *หุ้นกลุ่มปันผลสูง 50*

1.4.4 วิเคราะห์หุ้นและจำลองการซื้อขายด้วยด้วยเงินสมมติตามสัญญาณการซื้อขายจากการวิเคราะห์ด้วยดัชนีMACDแบบดั้งเดิม MACDR1 และMACDR2 พร้อมทั้งพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งบ่งชี้ ข้อดี ข้อด้อยของดัชชีดังกล่าว กับกลุ่มหลักทรัพย์ปันผลสูง 30

1.4.5 ศึกษาและปรับปรุงเส้นสัญญาณใหม่เพื่อลดข้อด้อยของดัชนีMACDแบบดั้งเดิม MACDR1 และMACDR2 ซึ่งเส้นสัญญาณใหม่ที่ปรับปรุงนี้จะเรียกว่า *MACDP*

1.4.6 เขียนโปรแกรมการวิเคราะห์เชิงเทคนิคโดยใช้ *MACDP*

1.4.7 วิเคราะห์หุ้นและจำลองการซื้อขายด้วยเงินสมมติตามสัญญาณการซื้อขายจากการวิเคราะห์ด้วย*MACDP* พร้อมทั้งพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งบ่งชี้ ข้อดี ข้อด้อยของดัชชี

1.4.8 อนุมานน้ำหนักการซื้อ ณ จุดสัญญาณการซื้อ จากการประยุกต์ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือของMACDแบบดั้งเดิม MACDR1, MACDR2 และ *MACDP*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.9 เปรียบเทียบผลลัพธ์ (อัตรากำไร) และความสำเร็จจากการซื้อขาย ตามสัญญาณการซื้อขายจากการวิเคราะห์ด้วย *MACDP* กับ MACD แบบดั้งเดิม MACDR1 MACDR2 และ *MACDP* ทั้งกรณีที่ซื้อขายปกติ กับกรณีที่ซื้อขายด้วยค่าน้ำหนักที่ได้จากการอนุมานด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ

1.4.10 สรุปผลงานวิจัยและเขียนรายงานวิจัย

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

โครงการวิจัยนี้ใช้เวลาดำเนินการทั้งสิ้น 1 ปีตั้งแต่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2559

1.6 แผนการดำเนินการ

สำหรับแผนการดำเนินการในงานวิจัยในแต่ละช่วงเวลาเป็นไปดังตารางต่อไปนี้

การดำเนินงาน	ระยะเวลา											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1) ศึกษานิยาม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับMACD หรือMACDดังเดิม MACDR1และ MACDR 2	←→	←→										
2) ศึกษานิยาม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของหลักทรัพย์	←→	←→										
3) คัดกรองหุ้นในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 10 ปี ด้วย การวิเคราะห์เชิงปริมาณของหลักทรัพย์		←→										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และคัดเลือกหลักทรัพย์ชั้นดี 50 หลักทรัพย์ ซึ่งเรียกว่า *หุ้นกลุ่มปันผลสูง 50*												
4) วิเคราะห์หุ้นและจำลองการซื้อขายด้วยด้วยเงินสมมติตามสัญญาณการซื้อขายจากการวิเคราะห์ด้วยดัชนีMACDแบบดั้งเดิม MACDR1 และ MACDR2 พร้อมทั้งพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งบ่งชี้ข้อดี ข้อด้อยของดัชนีดังกล่าว กับกลุ่มหลักทรัพย์ปันผลสูง 50			←	→								
5) ศึกษาและปรับปรุงเส้นสัญญาณใหม่เพื่อลดข้อด้อยของดัชนี MACDแบบดั้งเดิม MACDR1 และ MACDR2 ซึ่งเส้นสัญญาณใหม่ที่ปรับปรุงนี้จะเรียกว่า *MACDP*				←	→							
1.4.6 เขียนโปรแกรมการวิเคราะห์เชิงเทคนิคโดยใช้ *MACDP*							←	→				
7) วิเคราะห์หุ้นและจำลองการซื้อขายด้วย									←	→		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงินสมมติตามสัญญาณการซื้อขายจากการวิเคราะห์ด้วย*MACDP* พร้อมทั้งพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งบ่งชี้ ข้อดี ข้อด้อยของดัชชี											
8) อนุมานน้ำหนักการซื้อ ณ จุดสัญญาณการซื้อ จากการประยุกต์ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือของMACD แบบดั้งเดิม MACDR1 MACDR2 และ *MACDP*										⟷	
9) เปรียบเทียบผลลัพธ์ (อัตรากำไร) และความสำเร็จจากการซื้อขาย ตามสัญญาณการซื้อขายจากการวิเคราะห์ด้วย *MACDP* กับ MACDแบบดั้งเดิม MACDR1 MACDR2 และ *MACDP* ทั้งกรณีที่ซื้อขายปกติ กับกรณีที่ซื้อขายด้วยค่าน้ำหนักที่ได้จากการอนุมานด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ										⟷	
10) สรุปผลงานวิจัยและเขียนรายงานวิจัย											⟷

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย ได้แก่ ตรรกศาสตร์ฟัซซี และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

2.1 จำนวนฟัซซี

ในปี คศ.1965 Zadeh เสนอแนวคิดในการนิยามเซตฟัซซีจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ในทำนองเดียวกับการกล่าวถึงเซตดั้งเดิมด้วยฟังก์ชันบ่งชี้เฉพาะโดยใส่เงื่อนไขเพิ่มเติม คือ ค่าความเป็นสมาชิกสามารถเป็นได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 แทนที่จะมีค่าเพียง 0 กับ 1 อย่างเซตดั้งเดิม

นิยามที่ 2.1 กำหนดให้ A เป็นเซตดั้งเดิมของเอกภพสัมพัทธ์ เซตฟัซซี $\mathcal{A}$ บนเซตดั้งเดิม A นิยามโดย

$$\mathcal{A}=\{(x,\mu_A(x))\,|\,x\in A \text{ และ } \mu_A(x)\in[0,1]\} \tag{2.1}$$

โดยที่ $\mu_A : A\to[0,1]$ เรียกว่า *ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก* ของเซตฟัซซี $\mathcal{A}$

หมายเหตุ ถ้าจะกล่าวถึงเซตฟัซซี $\mathcal{A}$ บนเซตดั้งเดิม A จะกล่าวโดยย่อว่า "เซตฟัซซี $\mathcal{A}$"

ต่อไปจะนิยามจำนวนฟัซซีซึ่งเป็นเซตฟัซซีที่ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนิยามบนเอกภพสัมพัทธ์ $\mathbb{R}$ โดยมีสมบัติต่างๆตามนิยามต่อไปนี้

นิยามที่ 2.2 กำหนดให้ $\mathcal{A}$ เป็นเซตฟัซซีภายใต้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก μ_A

1. เซตฟัซซี $\mathcal{A}$ *เป็นนอร์มอล* (Normalized) ก็ต่อเมื่อ $\exists x\in A$ ซึ่ง $\mu_A(x)=1$
2. เซตฟัซซี $\mathcal{A}$ *เป็นนอนนอร์มอล* (Nonnormalized) ก็ต่อเมื่อ $\forall x\in A$ ซึ่ง $\mu_A(x)\neq 1$

นิยามที่ 2.3 กำหนดให้ $\mathcal{A}$ เป็นเซตฟัซซีภายใต้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก μ_A *เซตระดับ* α (α - cut or α -level) ของเซตฟัซซี $\mathcal{A}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $[\mu_A]^\alpha$ นิยามโดย

$$[\mu_A]^\alpha=\begin{cases}\{x\in A\,|\,\mu_A(x)\geq\alpha\} & ;\alpha>0\\ \overline{\{x\in A\,|\,\mu_A(x)>0\}} & ;\alpha=0\end{cases} \tag{2.2}$$

เมื่อ $\overline{A}$ แทนโคลสเซอร์ (Closure) ของเซต A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 2.4 กำหนดให้ A เป็นเซตฟัซซีภายใต้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก μ_A เรียก A ว่า *เซตฟัซซีนูน* (Convex fuzzy set) นิยามโดย

$$\mu_A(\lambda x_1+(1-\lambda)x_2 \geq \min\{\mu_A(x_1),\mu_A(x_2)\} \ ;\forall x_1,x_2 \in A \text{ และ } \lambda \in [0,1] \qquad (2.3)$$

นิยามที่ 2.5 กำหนดให้ $\hat{a}$ เป็นเซตฟัซซีนอร์มอลภายใต้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_{\hat{a}}:\mathbb{R}\rightarrow 0,1$ จะเรียก $\hat{a}$ ว่า *จำนวนฟัซซี* (Fuzzy number) ก็ต่อเมื่อ

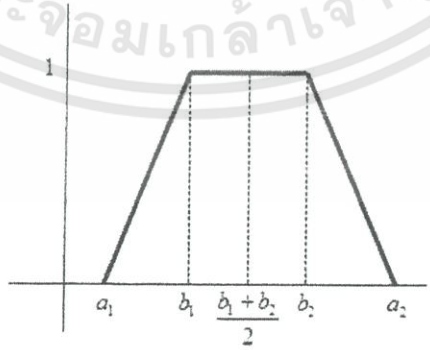
1. $\hat{a}$ เป็นเซตฟัซซีนูน (Convex fuzzy set)
2. เซตระดับแอลฟา $[\mu_A]^{\alpha}=[a,b]$; $\forall \alpha \in [0,1]$ สำหรับบางช่วงปิด $[a,b]$

ตัวอย่างของจำนวนฟัซซีที่น่าสนใจซึ่งได้แก่ จำนวนฟัซซีสามเหลี่ยม (Triangular fuzzy-number) จำนวนฟัซซีสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal fuzzy number) และจำนวนฟัซซีพีซไวส์คอวดดราติค (Piecewise-quadratic fuzzy number) สำหรับในที่นี้จะยกตัวอย่างจำนวนฟัซซีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่านั้นเท่านั้น ซึ่งได้แก่ จำนวนฟัซซีสี่เหลี่ยมคางหมู และ จำนวนฟัซซีสามเหลี่ยม

นิยามที่ 2.6 กำหนดให้ $a_1,b_1,b_2,a_2 \in \mathbb{R}$ ซึ่ง $a_1 \leq b_1 \leq b_2 \leq a_2$ และ ให้ $\hat{\tau}$ เป็นจำนวนฟัซซีภายใต้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_{\hat{\tau}}:\mathbb{R}\rightarrow 0,1$ เรียก $\hat{\tau}$ ว่า *จำนวนฟัซซีสี่เหลี่ยมคางหมู* ถ้า $\mu_{\hat{\tau}}$ กำหนดโดย

$$\mu_{\hat{\tau}}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-a_1}{b_1-a_1} & ; a_1 \leq x \leq b_1 \\ 1 & ; b_1 \leq x \leq b_2 \\ \dfrac{x-a_2}{b_2-a_2} & ; b_2 \leq x \leq a_2 \\ 0 & ; \text{otherwise}\end{cases} \qquad (2.4)$$

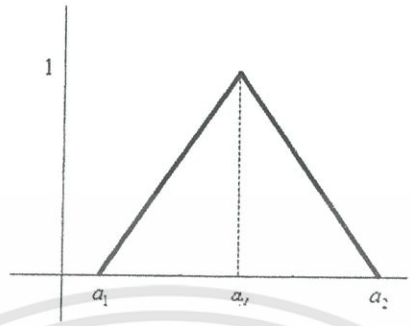
เขียนแทนจำนวนฟัซซีสี่เหลี่ยมคางหมู $\hat{\tau}$ ด้วยสัญลักษณ์ $<a_1,b_1,b_2,a_2>$



รูปที่ 2.5 แสดงจำนวนฟัซซีสี่เหลี่ยมคางหมู $<a_1,b_1,b_2,a_2>$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนิยาม 2.7 เรียกจำนวนฟัซซีสี่เหลี่ยมคางหมู $< a_1, a_M, a_M, a_2 >$ ว่า*จำนวนฟัซซีสามเหลี่ยม* (Triangular fuzzy number) และเขียนแทนด้วย $< a_1, a_M, a_2 >$



รูปที่ 2.6 แสดงจำนวนฟัซซีสามเหลี่ยม $< a_1, a_M, a_2 >$

2.2.1 ตัวแปรภาษา

พจน์ภาษา (Linguistic term) เป็นองค์ประกอบที่ถ่ายทอดความรู้สึกนึกคิด แนวคิดและองค์ความรู้ของมนุษย์

ตัวแปรภาษา (Linguistic variable) คือ เซตฟัซซีที่กำหนดคำในภาษาธรรมชาติที่สื่อความหมายของเซตตามที่มนุษย์เข้าใจ ซึ่งให้ความหมายในลักษณะเชิงประมาณของปรากฏการณ์ต่างๆตัวแปรภาษาจะเป็นตัวแปรที่อยู่ในรูปอันดับที่สูงกว่าตัวแปรฟัซซีคืออยู่ในรูป $(x, T(x), \mathcal{U}, G, M)$

เมื่อ x แทน ชื่อตัวแปรภาษา

$T(x)$ แทน เซตพจน์ภาษาของตัวแปรภาษา

$\mathcal{U}$ แทน เอกภพสัมพัทธ์

G แทน กฎการสร้างชื่อของพจน์ภาษา ซึ่งแต่ละพจน์ภาษาถูกกำหนดค่าด้วยตัวแปรฟัซซีที่สัมพันธ์กัน

M แทน กฎการกำหนดค่าหรือความหมายที่สัมพันธ์กันกับแต่ละพจน์ภาษา

ยกตัวอย่างเช่น การแสดงอุณหภูมิในห้องโดยให้ตัวแปรภาษาคือ “อุณหภูมิ (Temperature)” จะมีค่าเป็น {หนาว,เย็น,ร้อน,ร้อนมาก} ซึ่งคำว่า “อุณหภูมิ” เป็นคำที่ใช้แสดงสภาพอากาศ เรียกว่า ตัวแปรภาษา และคำที่แสดงสภาพอากาศ ได้แก่ หนาว,เย็น,ร้อน,ร้อนมาก เรียกว่า พจน์ภาษา ซึ่งแต่ละพจน์สามารถกำหนดได้ด้วยฟังก์ชันสมาชิกของเซตฟัซซีบนเอกภพสัมพัทธ์ $\mathbb{R}$ ซึ่งเรียก $\mathcal{U} \subset \mathbb{R}^+$ ว่า *โดเมนของการดำเนินการ*(Operating domain) และถ้า

กำหนดให้ $x =$ “อุณหภูมิ”, $T(x) = \{$หนาว, เย็น, ร้อน, ร้อนมาก$\}$, $\mathcal{U} = [0,100]$, $G = \{G_1, G_2, G_3, G_4\}$ สามารถสร้างเป็นกฎได้ดังนี้

G_1 : พจน์ภาษา “หนาว” คืออุณหภูมิที่ไม่เกิน 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G_2 : พจน์ภาษา “เย็น” คืออุณหภูมิที่มากกว่า 15 องศา แต่ไม่เกิน 25 องศา

G_3 : พจน์ภาษา “ร้อน” คืออุณหภูมิที่มากกว่า 25 องศา แต่ไม่เกิน 35 องศา

G_4 : พจน์ภาษา “ร้อนมาก” คืออุณหภูมิที่มากกว่า 35 องศา

โดยปกติเมื่อ

2.2.2 ประพจน์แบบฟัซซีและการอนุมาน

นิยามที่ 2.8 ให้ A เป็นเซตที่ไม่เป็นเซตว่าง โดยที่ $x \in A$ และให้ $\mathcal{A}$ เป็นฟัซซีเซตใดๆ บน A ของตัวแปรภาษา เรียกประโยคที่อยู่ในรูป

$$x \text{ is } \mathcal{A} \tag{2.5}$$

ว่า *ประพจน์แบบฟัซซี*

เราสามารถสร้างประโยคเชิงซ้อนที่เกิดจากประโยคในรูป (2.5) มากกว่าหนึ่งประโยคได้โดยใช้ตัวเชื่อม and , or, implication เป็นต้น โดยประโยคเชิงซ้อน ดังกล่าวยังคงเรียกประพจน์แบบฟัซซี

นิยามที่ 2.9 ให้ A และ B เป็นเซตที่ไม่ว่าง และให้ $\mathcal{A}$ และ $\mathcal{B}$ เป็นฟัซซีเซตบน A และ B ตามลำดับ โดยที่ $x \in A$ และ $y \in B$ ประพจน์ในรูปแบบต่อไปนี้ *มีค่าความจริง* นิยามดังนี้

(1) ประพจน์แบบฟัซซีในรูป x is $\mathcal{A}$ มีค่าความจริงเท่ากับ $\mu_{\mathrm{A}}(x)$

(2) ประพจน์แบบฟัซซีในรูป x is $\mathcal{A}$ and y is $\mathcal{B}$ มีค่าความจริงเท่ากับ $\min\{\mu_{\mathrm{A}}(x), \mu_{\mathrm{B}}(y)\}$

(3) ประพจน์แบบฟัซซีในรูป x is $\mathcal{A}$ or y is $\mathcal{B}$ มีค่าความจริงเท่ากับ $\max\{\mu_{\mathrm{A}}(x), \mu_{\mathrm{B}}(y)\}$

นิยามที่ 2.10 ให้ $\mathcal{C}$ เป็นฟัซซีเซตบนเซตดั้งเดิม Z โดยที่ $z \in Z$ ให้ q เป็นประพจน์แบบฟัซซีใดๆ จะเรียกประโยคในรูป

$$\text{If } q \text{ then } z \text{ is } \mathcal{C}$$

ว่า*ประพจน์เงื่อนไขแบบฟัซซี* โดยเรียก q ว่า*ประพจน์เหตุ* และเรียก z is $\mathcal{C}$ ว่า*ประพจน์ผล*

การอนุมานตรรกศาสตร์ฟัซซีคือการหาข้อสรุปจากข้อตั้งหรือกฎต่างๆในรูปกฎฟัซซี กับข้อเท็จจริง สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้การอนุมานที่เรียกว่า *วิธีของแมมดานิ* ซึ่งมีกระบวนการในการอนุมานดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาตรรกศาสตร์ฟัซซี n เงื่อนไขย่อย ในรูปกฎฟัซซีข้อที่ $1,2,\ldots,m$ ดังนี้

ข้อตั้ง : Rule-1 If x_1 is $\mathcal{A}_{11}$ and x_2 is $\mathcal{A}_{12}$ ...and x_n is $\mathcal{A}_{1n}$ then y is $\mathcal{B}_1$

Rule-2 If x_1 is $\mathcal{A}_{21}$ and x_2 is $\mathcal{A}_{22}$ ...and x_n is $\mathcal{A}_{2n}$ then y is $\mathcal{B}_2$

$\vdots$ $\vdots$

Rule-m If x_1 is $\mathcal{A}_{m1}$ and x_2 is $\mathcal{A}_{m2}$ ...and x_n is $\mathcal{A}_{mn}$ then y is $\mathcal{B}_m$

ข้อเท็จจริง x_1 is $\mathcal{A}_1$ and x_2 is $\mathcal{A}_2$ ...and x_n is $\mathcal{A}_n$

ข้อสรุป : y is $\mathcal{B}$

ในที่นี้เราต้องการหาเซตฟัซซีข้อสรุป $\mathcal{B}$ โดยวิธีของแมมดานิ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่1) คำนวณค่าน้ำหนักระหว่างข้อเท็จจริง $\mathcal{A}_i$ กับเงื่อนไข $\mathcal{A}_{ki}$ ของกฎข้อที่ $k=1,2,\ldots,m$ และ $i=1,2,\ldots,n$ ซึ่งจะให้เป็นค่าความสูงที่ต่ำที่สุดของเซตฟัซซีย่อยในข้อเท็จจริงกับเงื่อนไขของกฎนั้นคือ สำหรับ $k=1,2,\ldots,m$

$$w_k = \bigwedge_{i=1}^{n}\left(\bigvee_i u_{A_i \cap A_{ki}}(x_i)\right) = \bigwedge_{i=1}^{n}\left(\bigvee_i \left(u_{A_i}(x_i) \wedge u_{A_{ki}}(x_i)\right)\right)$$

ขั้นตอนที่ 2) ทำการตัดยอด $\mathcal{B}_k$ ให้มีความสูงเท่ากับ w_k โดยเซตฟัซซี $\mathcal{B}_k$ ที่ถูกตัดยอดจะแทนด้วย $\mathcal{B}_k$ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกกำหนดโดย

$$u_{\mathcal{B}_k}(y) = w_k \wedge u_{B_k}(y)$$

ขั้นตอนที่ 3) หาเซตฟัซซี $\mathcal{B}$ จากยูเนียนฟัซซีของเซตฟัซซี $\mathcal{B}_k$ นั้นคือ $\mathcal{B} = \bigcup_{k=1}^{m} \mathcal{B}_k$ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกกำหนดโดย

$$u_B(y) = \bigvee_{k=1}^{m} u_{\mathcal{B}_k}(y) = \bigvee_{k=1}^{m}\left(w_k \wedge u_{B_k}(y)\right)$$

ตัวอย่างที่ 2.1 กำหนดให้ $\mathcal{A}_{11} = <0,0,10>$, $\mathcal{A}_{12} = <5,15,20>$, $\mathcal{A}_{21} = <0,10,20>$, $\mathcal{A}_{22} = <15,20,30>$, $\mathcal{A}_1 = <0,10,30>$, $\mathcal{A}_2 = <10,20,40>$, $\mathcal{B}_1 = <5,10,20>$ และ $\mathcal{B}_2 = <10,20,30,30>$ เป็นฟัซซี ถ้า $\mathcal{B}$ เป็นเซตฟัซซีที่ได้จากการอนุมานโดยมี

ข้อตั้ง : Rule-1 If x is $\mathcal{A}_{11}$ and y is $\mathcal{A}_{12}$ then z is $\mathcal{B}_1$

Rule-2 If x is $\mathcal{A}_{21}$ and y is $\mathcal{A}_{22}$ then z is $\mathcal{B}_2$

ข้อเท็จจริง x is $\mathcal{A}_1$ and y is $\mathcal{A}_2$

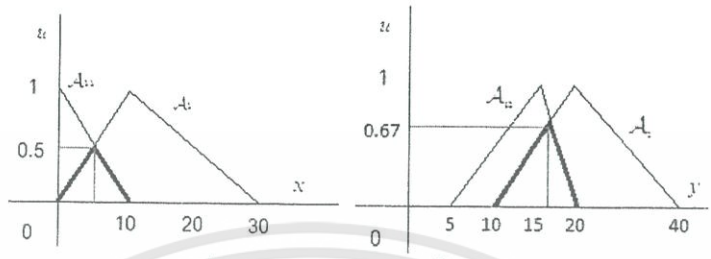
ข้อสรุป : z is $\mathcal{B}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1) คำนวณหาค่าน้ำหนัก จาก

$$w_1 = \wedge\left(\underset{x}{\vee}\left(u_{A_1}(x) \wedge u_{A_{11}}(x)\right), \underset{y}{\vee}\left(u_{A_2}(y) \wedge u_{A_{12}}(y)\right)\right)$$

โดยพิจารณา จากรูปที่ 2.7 จะได้ $w_1 = 0.5 \wedge 0.67 = 0.5$



รูปที่ 2.7 แสดงการหาค่าน้ำหนัก w_1

จาก $w_2 = \wedge\left(\underset{x}{\vee}\left(u_{A_1}(x) \wedge u_{A_{21}}(x)\right), \underset{y}{\vee}\left(u_{A_2}(y) \wedge u_{A_{22}}(y)\right)\right)$

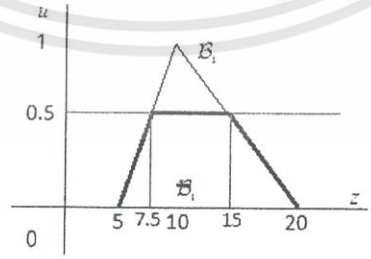
โดยพิจารณา จากรูปที่ 2.8 จะได้ $w_2 = 1 \wedge 1 = 1$

รูปที่ 2.8 แสดงการหาค่าน้ำหนัก w_2

ขั้นตอนที่ 2) ตัดยอด $\mathcal{B}_k$ ให้มีความสูงเท่ากับ w_k จะได้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ $\mathcal{B}_k$ เมื่อ $k = 1,2$

โดยพิจารณา จากรูปที่ 2.9 จะได้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ $u_{\mathcal{B}_1}(z)$ คือ

$$u_{\mathcal{B}_1}(z) = w_1 \wedge u_{\mathcal{B}_1}(z) = 0.5 \wedge u_{\mathcal{B}_1}(z) = \begin{cases} \dfrac{z-5}{5} & ;5 \le z \le 7.5 \\ 0.5 & ;7.5 \le z \le 15 \\ -\dfrac{(z-20)}{10} & ;15 \le z \le 20 \end{cases}$$

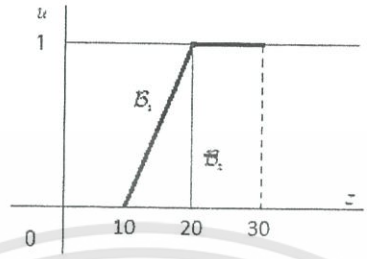


รูปที่ 2.9 แสดงการตัดยอด $\mathcal{B}_1$ ด้วย w_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพิจารณา จากรูปที่ 2.10 จะได้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ $u_{B_2}(z)$ คือ

$$u_{B_2}(z) = w_2 \wedge u_{B_2}(z) = 1 \wedge u_{B_2}(z) = u_{B_2}(z) = \begin{cases} \dfrac{z-10}{10} & ;10 \le z \le 20 \\ 1 & ;20 \le z \le 30 \end{cases}$$

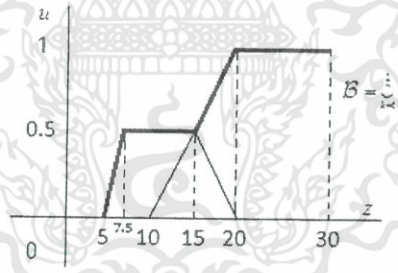


รูปที่ 2.10 แสดงการตัดยอด B_2 ด้วย w_2

ขั้นตอนที่ 3) ค่าเซตฟัซซี B จาก $B = \overset{2}{\underset{k=1}{\tilde{\cup}}} B_k$

โดยพิจารณา จากรูปที่ 2.11 จะได้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$u_B(z) = \begin{cases} \dfrac{(z-5)}{5} & ;5 \le z \le 7.5 \\ 0.5 & ;7.5 \le z \le 15 \\ \dfrac{(z-10)}{10} & ;15 \le z \le 20 \\ 1 & ;20 \le z \le 30 \end{cases}$$



รูปที่ 2.11 แผนภาพแสดงการหา $B = \overset{2}{\underset{k=1}{\tilde{\cup}}} B_k$

2.2.3 การดีฟัซซีฟิเคชัน

กระบวนการการแปลงเอาท์พุตซึ่งอยู่ในรูปจำนวนฟัซซีให้เป็นค่าดั้งเดิมซึ่งเป็นจำนวนจริง เพื่อใช้ในการตัดสินใจ เรียกว่า *กระบวนการดีฟัซซีฟิเคชัน* (Defuzzification process) จำนวนฟัซซีจะถูกตีค่าเป็นค่าจริงหรือเอาท์พุตค่าดั้งเดิม ซึ่งจะเป็นผลลัพธ์จากการประมวลผล โดยงานวิจัยนี้ทำการดีฟัซซีฟิเคชันด้วยวิธีจุดศูนย์ถ่วง ซึ่งมีวิธีการดังนี้

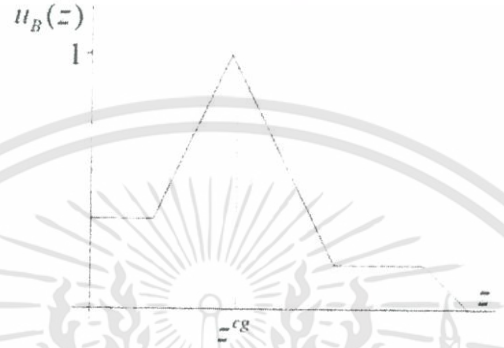
การดีฟัซซีฟิเคชันด้วยวิธีจุดศูนย์ถ่วง

การดีฟัซซีฟิเคชันด้วยวิธีจุดศูนย์ถ่วงจะกำหนดเอาท์พุตค่าดั้งเดิม เป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละจุด z บนโดเมน B ด้วยสัดส่วนค่าฟังก์ชันต่อพื้นที่ใต้กราฟ $u_B(z)$ นั่นคือค่าน้ำหนัก $w_z = \dfrac{u_B(z)}{\int_B u_B(z)dz}$ ทุกๆ $z \in \mathcal{B}$ และเอาท์พุตค่าดั้งเดิมนิยามโดย

$$z^{cg} = \int_B z w_z dz = \frac{\int_B z u_B(z)dz}{\int_B u_B(z)dz}$$



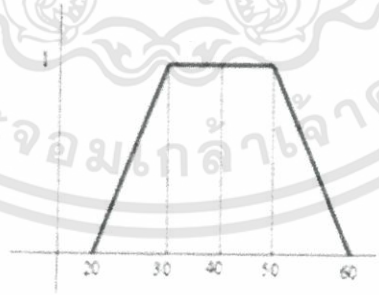
รูปที่ 2.12 แสดงเอาท์พุตค่าดั้งเดิม z^{cg} ด้วยวิธีจุดศูนย์ถ่วง

ตัวอย่างที่ 2.2 กำหนดให้ $\mathcal{B}$ เป็นเซตฟัซซีภายใต้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก นิยามโดย

$$u_B(y) = \begin{cases} \dfrac{x-20}{10} & ;20 \le x \le 30 \\ 1 & ;30 \le x \le 50 \\ -\dfrac{x-60}{10} & ;50 \le x \le 60 \end{cases}$$

จงหาเอาท์พุตค่าดั้งเดิมโดยการดีฟัซซีฟิเคชันด้วยวิธีจุดศูนย์ถ่วง

วิธีทำ จากโจทย์ สามารถวาดแสดงจำนวนฟัซซีได้ ดังนี้



จาก $$z^{cg} = \int_B z w(z)dz = \frac{\int_B z u_B(z)dz}{\int_B u_B(z)dz}$$

จะได้ $\int_B z u_B(z)dz = \int_{20}^{30} z(\frac{z-20}{10})dz + \int_{30}^{50} z(1)dz + \int_{50}^{60} z(-\frac{z-60}{10})dz = 1199.9967$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $\int_B u_B(z)dz = \int_{20}^{30}(\frac{z-20}{10})dz + \int_{30}^{50}(1)dz + \int_{50}^{60}(-\frac{z-60}{10})dz = 30$

ดังนั้น $z^{cg} = \frac{1199.9967}{30} = 39.9999$ □

ในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เราจะใช้การหาค่าของจุดศูนย์ถ่วงแบบประมาณ โดยการแบ่งโดเมน X ออกเป็น $N \geq 2$ จุดได้แก่ $x_0, x_1, ..., x_{N-1}$ โดยที่ x_i , $i = 0,1,...,N-1$ คำนวณโดย

$$x_i = \inf_X + \left(\frac{\sup_X - \inf_X}{N-1}\right) i$$

โดยที่ $\inf_X$ และ $\sup_X$ หมายถึงค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดในเซต X ตามลำดับ จากนั้นค่าของจุดศูนย์ถ่วงของฟัซซีเซต $\mathcal{A}$ จะคำนวณได้โดย

$$\mu_A^* = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} x_i \mu_A(x_i)}{\sum_{i=0}^{N-1} \mu_A(x_i)}$$

2.2 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญในการหาตัวแทนของข้อมูลที่มีการเคลื่อนที่ตามเวลา ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่จะทำหน้าที่ปรับเรียบเส้นกราฟของข้อมูลเดิม ทำให้สามารถพยากรณ์แนวโน้มและการเคลื่อนไหวของข้อมูลตามเวลาได้ดีขึ้น นอกจากนี้ในการพิจารณาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ยังขึ้นอยู่กับการให้ค่าน้ำหนักหรือความสำคัญของข้อมูลตามเวลาอีกด้วยโดยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลที่จุดเวลาเท่ากัน ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย(Simple moving average) หรือค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เลขคณิต (Arithmetic moving average) ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลที่เวลาต่างๆไม่เท่ากันโดยมักจะให้ความสำคัญกับข้อมูลล่าสุดมากกว่าข้อมูลที่เก่ากว่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เอ็กซ์โปเนนเชียล

สำหรับในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ n เป็นจำนวนนับ และ กำหนดให้ $\{\tau\}$ เป็นสัญลักษณ์แทนลำดับของจุดเวลาทั้งหมดที่มีการเก็บข้อมูลซึ่งมีจำนวนจำกัด โดยที่ 2 จุดเวลาใดๆที่อยู่ติดกันจะห่างเท่ากันเสมอ นั่นคือถ้า $\{\tau\} = \{t_1, t_2, ..., t_n\}$ แล้ว $t_k - t_{k-1} = \lambda$ สำหรับบาง $\lambda > 0$ สำหรับทุกๆ $k = 2,3,...,n$ และกำหนดให้ $\{P\} = \{p_t \mid t \in \{\tau\}\}$ เป็นสัญลักษณ์แทนลำดับของราคาที่จุดเวลา ในที่นี้จะกำหนดให้ $\lambda = 1$ วัน และ ใช้เวลาปิดตลาดหลักทรัพย์ของแต่ละวันเป็นจุดเวลา ดังนั้น p_t จะเป็นราคาปิดของวันที่ t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 2.11 เรียก กราฟ $P=\{(\tau,p_t)\,|\,t\in\{\tau\}\}$ ว่า *เส้นราคา*

รูปที่ 2.9 กราฟราคาหุ้นเทียบกับเวลาแสดงราคาปิด (เส้นสีดำ) รายวันของ SET50 ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2555 ถึง 15 ธันวาคม พ.ศ. 2557 แกนตั้งคือราคา แกนนอนคือเวลา

จากกราฟราคาหุ้นเทียบกับเวลาจะเห็นได้ว่าราคาหุ้นจะมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา และเป็นกราฟไม่เรียบ ซึ่งสามารถปรับเรียบได้โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

นิยามที่ 2.12 กำหนดให้ n เป็นจำนวนนับ *ค่าเฉลี่ย n วันเคลื่อนที่อย่างง่าย* ณ วันที่ $t\in\{\tau\}$, $(t\geq n)$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $SMA_n(t)$ นิยามโดย

$$SMA_n(t)=\frac{p_t+p_{t-1}+p_{t-2}+\ldots+p_{t+1-n}}{n}=\sum_{k=1}^{n}\frac{p_{t+1-k}}{n} \tag{2.6}$$

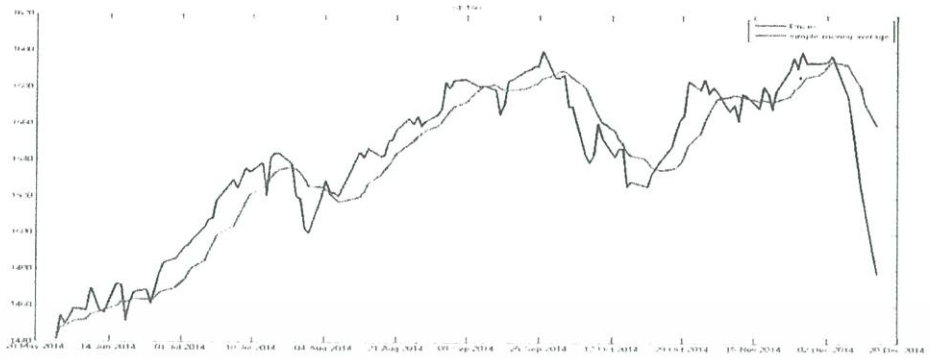
เรียก กราฟ $SMA_n=\{(t,SMA_n(t))\,|\,t\in\{\tau\}\}$ ว่า *เส้นค่าเฉลี่ย n วันเคลื่อนที่อย่างง่าย*

บทตั้งที่ 2.13 กำหนดให้ $SMA_n(t)$ เป็น ค่าเฉลี่ย n วันเคลื่อนที่อย่างง่าย จะได้ว่า $SMA_n(t)$ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์เวียนเกิด ได้ดังนี้

$$SMA_n(t)=SMA_n(t-1)+\frac{p_t-p_{t-n}}{n}\qquad \text{สำหรับทุกๆ } t>n \tag{2.7}$$

เมื่อ $SMA_n(n)=\dfrac{p_1+p_2+\ldots+p_n}{n}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟเส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 9 วัน

แสดงเส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 9 วัน (เส้นสีแดง) ของราคาปิด (เส้นสีดำ)
รายวันของ SET50 ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ถึง 15 ธันวาคม พ.ศ. 2557

นิยามที่ 2.14 กำหนดให้ n เป็นจำนวนนับ และ $W=\{w_k \mid w_k \in [0,1], k=1,...,n$ และ $w_1+...+w_n=1\}$ *ค่าเฉลี่ย n วัน เคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก* ณ วันที่ $t \in \{\tau\}, (t \geq n)$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $WMA_n(t)$ นิยามโดย

$$WMA_n(t)=w_n p_t + w_{n-1}p_{t-1} + w_{n-2}p_{t-2} + ... + w_1 p_{t+1-n} = \sum_{k=1}^{n} w_{n+1-t} p_{t+1-k} \tag{2.8}$$

เรียก กราฟ $WMA_n = \{(t, WMA_n(t)) \mid t \in \{\tau\}\}$ ว่า *เส้นค่าเฉลี่ย n วันเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก*

สำหรับการนำค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักไปใช้กับการวิเคราะห์ราคาหุ้น มักจะกำหนดค่าน้ำหนัก $w_k = \frac{k}{S_n}$; $k=1,2,3,...,n$ เมื่อ $S_n = 1+2+3+...+n = \frac{n(n+1)}{2}$ ซึ่งเป็นการให้ค่าน้ำหนักกับข้อมูลล่าสุดมากกว่าข้อมูลที่เก่ากว่า

บทตั้งที่ 2.15 กำหนดให้ $WMA_n(t)$ เป็นค่าเฉลี่ย n วันเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก โดยที่ $w_k = \frac{k}{S_n}$; $k=1,2,3,...,n$ จะได้ว่า $WMA_n(t)$ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์เวียนเกิดได้ดังนี้

$$WMA_n(t) = WMA_n(t-1) = \frac{np_t - T_n(t-1)}{S_n}, t \geq n \tag{2.9}$$

เมื่อ $T_n(t)$ เป็นผลรวมของราคา n วัน ถึงวันที่ t ใดๆ และเขียนให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์เวียนเกิด $T_n(t) = T_n(t-1) + p_t - p_{t-n}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

นิยามที่ 2.16 กำหนดให้ $w_k = \alpha(1-\alpha)^{t-k}$; $0 < \alpha < 1$ เมื่อ $k = t, t-1, t-2, \ldots$ *ค่าเฉลี่ย* n *วันเคลื่อนที่เอ็กซ์โปเนนเชียล* ณ วันที่ $t \in \{\tau\}$, $(t \geq n)$ แทนด้วยสัญลักษณ์ $EMA(t)$ ซึ่งนิยามโดย

$$EMA(t) = \ldots + w_{-1}p_{-1} + w_0 p_0 + w_1 p_1 + \ldots + w_{t-1}p_{t-1} + w_t p_t = \sum_{k=-\infty}^{t} w_k p_k \qquad (2.10)$$

เรียกกราฟ $EMA = \{(t, EMA(t)) \mid t \in \{\tau\}\}$ ว่า *เส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เอ็กซ์โปเนนเชียล* และเรียก α ว่า *ค่าปรับเรียบ* (Smoothing constant)

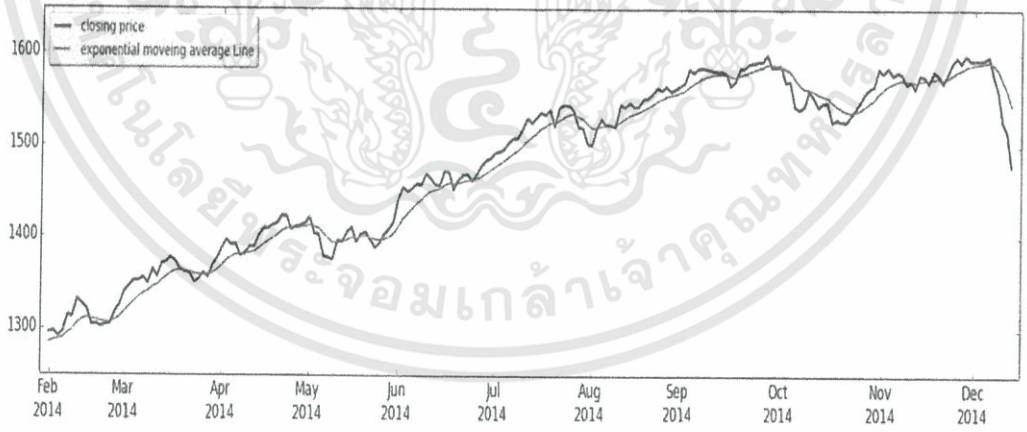
โดยผลงานวิจัยของ Robert (1959) ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เอ็กโปเนนเชียลสามารถจัดอยู่ในรูปความสัมพันธ์เวียนเกิดได้เป็น

$$EMA(t) = EMA(t-1) + \alpha(p_t - EMA(t-1)) \qquad (2.11)$$

จากผลการศึกษาของ Jack K. Hutson พบว่า ค่า α ที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เอ็กโปเนนเชียลของราคาหุ้นสามารถประมาณการได้จาก $\alpha = \frac{2}{n+1}$ โดยถ้ากำหนด $\alpha = \frac{2}{n+1}$ จะเรียกว่า *ค่าเฉลี่ย* n *วันเคลื่อนที่เอ็กโปเนนเชียล*_ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $EMA_n(t)$ นั่นคือ

$$EMA_n(t) = EMA_n(t-1) + \frac{2}{n+1}(p_t - EMA_n(t-1)) \quad ; t > n \qquad (2.12)$$

หมายเหตุ บางครั้งเพื่อความสะดวกอาจจะกำหนดให้ $EMA_n(n) = WMA_n(n)$



รูปที่ 2.13 กราฟค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เอ็กซ์โปเนนเชียลของราคาหุ้น แสดงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เอ็กซ์โปเนนเชียล (เส้นสีเขียว) ด้วย $n = 9$ *ของราคาปิด (เส้นสีดำ)รายวันของ SET50 ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ถึง 15 ธันวาคม พ.ศ. 2557*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

145206

2.3 ดัชนี MACD

ดัชนี MACD (Moving Average Convergence Divergence Indicator) เป็นเครื่องมือที่สำคัญเครื่องมือหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์การเคลื่อนไหวของราคาหุ้นเชิงเทคนิค โดยพิจารณาการตัดกันระหว่างกราฟ 2 เส้น ที่เรียกว่า เส้น MACD และเส้นสัญญาณ บนระบบแกนเดียวกันสเกลเดียวกัน โดยการวิเคราะห์หุ้นเชิงเทคนิคด้วยดัชนี MACD จะพิจารณาเส้นสัญญาณ เป็นเส้นอ้างอิงซึ่งจะมีความเรียบและสั่นไหวตามเวลา(Sensitivity) น้อยกว่าเส้น MACD โดยทั่วไปมักจะกำหนดสัญญาณซื้อ หลังจากที่เส้น MACD ตัดขึ้นเหนือเส้นสัญญาณ และจะกำหนดสัญญาณขาย หลังจากที่เส้น MACD ตัดลงใต้เส้นสัญญาณ เส้น MACD และเส้นสัญญาณ ดังกล่าวมีนิยามดังต่อไปนี้

นิยามที่ 2.17 ให้ $n_1, n_2 \in \mathbb{N}$ ซึ่ง $n_1 < n_2$ และ MA_{n_1}, MA_{n_2} เป็นเส้นค่าเฉลี่ย n_1 วัน เคลื่อนที่ และ เส้นค่าเฉลี่ย n_1 วัน เคลื่อนที่ ตามลำดับ จะเรียก MA_{n_1} ว่า *เส้นค่าเฉลี่ยวันสั้นเคลื่อนที่* และเรียก MA_{n_2} ว่า *เส้นค่าเฉลี่ยวันยาวเคลื่อนที่*

หมายเหตุ 1) เพื่อความสะดวก จะเรียก เส้นค่าเฉลี่ยวันสั้นเคลื่อนที่ และ เส้นค่าเฉลี่ยวันยาวเคลื่อนที่ โดยย่อว่า *เส้นค่าเฉลี่ยวันสั้น* และ *เส้นค่าเฉลี่ยวันยาว* ตามลำดับ

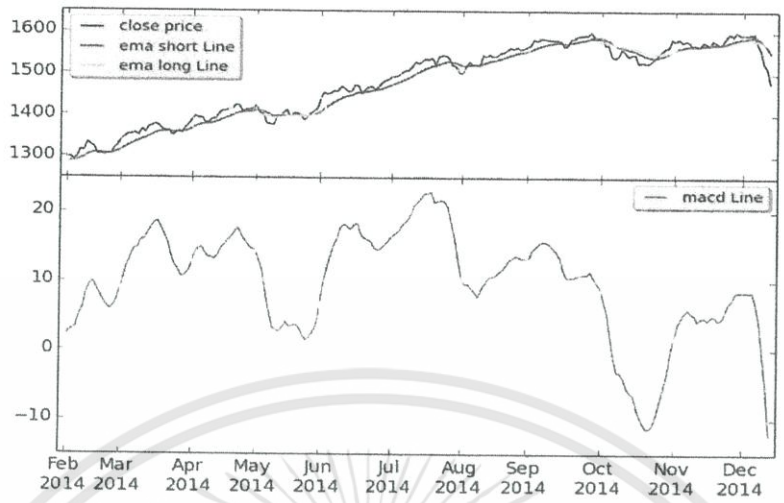
2) ในที่นี้ ค่าเฉลี่ย n วันเคลื่อนที่ MA_n ได้แก่ SMA_n, WMA_n และ EMA_n

นิยามที่ 2.18 ให้ MA_{n_1}, MA_{n_2} เป็นเส้นค่าเฉลี่ยวันสั้นและวันยาว ตามลำดับ *ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ลู่เข้าลู่ออก* หรือ MACD (อ่านว่า แมคดี) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $MACD_{n_1,n_2}$ นิยามโดย

$$MACD_{n_1,n_2}(t) = MA_{n_1}(t) - MA_{n_2}(t) \tag{2.13}$$

สำหรับทุกๆ $t \in \{\tau\}$ และเรียก กราฟ $MACD_{n_1,n_2} = \{(t, MACD_{n_1,n_2}(t)) | t \in \{\tau\}\}$ ว่า *เส้น MACD*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 กราฟของเส้น MACD ด้านบนแสดงกราฟของเส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เอ็กซ์โปเนนเชียลด้วยพารามิเตอร์ $n_1 = 12$ (เส้นสีเขียว) เรียกว่า "เส้นค่าเฉลี่ยวันสั้น" และเส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เอ็กซ์โปเนนเชียลด้วยพารามิเตอร์ $n_2 = 26$ (เส้นสีเหลือง) เรียกว่า "เส้นค่าเฉลี่ยวันยาว" ของราคาปิด(เส้นสีดำ) รายวันของ SET50 ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ถึง 15 ธันวาคม พ.ศ. 2557 ด้านล่าง แสดงกราฟของเส้น MACD (เส้นสีแดง) ซึ่งเกิดจากผลต่างของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เอ็กซ์โปเนนเชียลสองลำดับที่มีค่าพารามิเตอร์ $n_1 = 12$ และ $n_2 = 26$ ของราคาปิด รายวันของ SET50 ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ถึง 15 ธันวาคม พ.ศ. 2557

การวิเคราะห์หุ้นด้วยเส้น MACD อาจทำได้โดยการพิจารณาเครื่องหมายของ MACD หากค่า MACD ที่ได้ออกมาเป็นบวก หมายความว่า เส้นค่าเฉลี่ยระยะสั้นสูงกว่าเส้นค่าเฉลี่ยระยะยาว โดยอาจเป็นสัญญาณของหุ้นขาขึ้นด้วย ซึ่งนักลงทุนอาจจะพิจารณาว่าตอนนี้อาจจะยังไม่ใช่จุดที่ทำกำไร ควรจะรอสัญญาณที่ชัดเจนก่อนเพื่อกำไรที่มากขึ้น หรือในทางกลับกัน ค่า MACD ติดลบหมายถึงแนวโน้มขาลงนั้นแข็งแรงขึ้น อาจไม่เหมาะสมกับการที่จะเข้าไปซื้อ

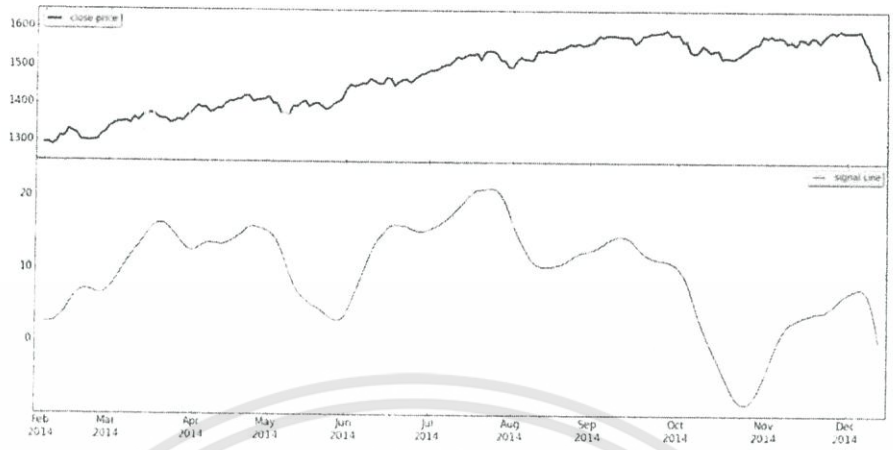
นิยามที่ 2.18 กำหนดให้ $MACD_{n_1,n_2}$ เป็น MACD ของลำดับราคา $\{P\}$ บนลำดับเวลา $\{\tau\}$ และให้ $n_3 \in \mathbb{N}$ จะเรียก ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ n_3 วันเคลื่อนที่ ณ วันที่ $t \in \{\tau\}$ ของ $MACD_{n_1,n_2}$ ว่า *สัญญาณ ณ วันที่ t* (Signal point) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $Sig(t)$ นั่นคือ

$$Sig(t) = MA_{n_3}^{MACD}(t) \tag{2.14}$$

เมื่อ $MA_{n_3}^{MACD}(t)$ แทน ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ n_3 วันเคลื่อนที่ ณ วันที่ $t \in \{\tau\}$ ของ $MACD_{n_1,n_2}$

และเรียกกราฟ $Sig = \{(t, Sig(t)) \mid t \in \{\tau\}\}$ ว่า *เส้นสัญญาณ* (Signal line)

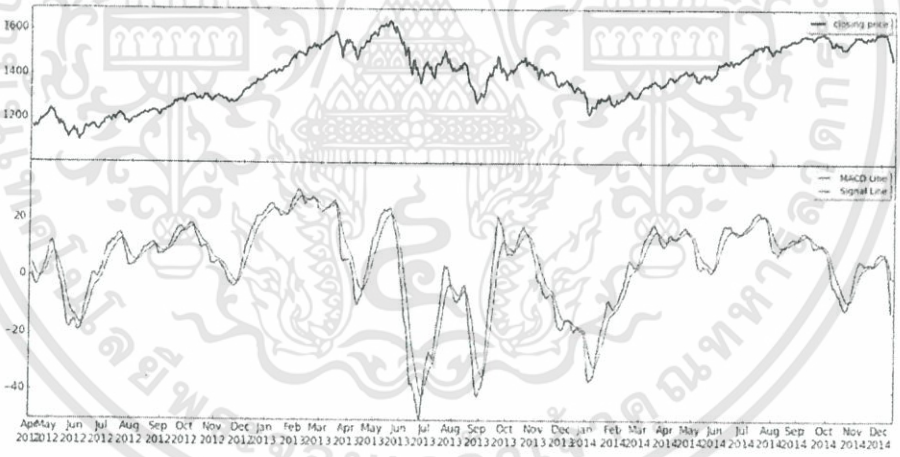
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 กราฟเส้นสัญญาณ

แสดงกราฟของเส้นสัญญาณ (เส้นสีน้ำเงิน) ของราคาปิด (เส้นสีดำ) รายวันของ SET50 ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ถึง 15 ธันวาคม พ.ศ. 2557

หมายเหตุ ในปัญหาพิเศษนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ $n_1 = 12$ $n_2 = 26$ และ $n_3 = 9$



รูปที่ 2.17 กราฟของเส้น MACD กับ เส้นสัญญาณ

หมายเหตุ เรียกว่า เส้นศูนย์บนระบบกราฟของ เส้น MACD กับ เส้นสัญญาณ ว่า *แกนศูนย์กลาง*

โดยทั่วไป เส้น MACD นิยมใช้เส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เอ็กซ์โปเนนเชียล และนิยมใช้เส้นค่าเฉลี่ยวันสั้น $n_1 = 12$ วัน เส้นค่าเฉลี่ยวันยาว $n_2 = 26$ วัน และกำหนดจำนวนวัน $n_3 = 9$ สำหรับการคำนวณเส้นสัญญาณ และ เช่นเดียวกันสำหรับในงานวิจัยนี้จะกำหนด $n_1 = 12$, $n_2 = 26$ และ $n_3 = 9$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การกำหนดเงื่อนไขและวิธีการซื้อขาย

บทนี้จะกล่าวถึงการกำหนดคาบการซื้อขาย เงื่อนไขและสมมติฐานในการซื้อขายหุ้นในงานวิจัย กำหนดให้ $\{\tau\}$ เป็นลำดับเวลา(วัน)ที่เก็บข้อมูล และ $\{P\}=\{p_t \mid t\in\{\tau\}\}$ แทนลำดับของราคาปิดของแต่ละวัน

3.1 คาบการซื้อขาย

นิยามที่ 3.1 จะกล่าวว่า $t\in\{\tau\}$ จะเป็น*จุดตัดขึ้น* เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $t^{\uparrow}$ ถ้าที่จุดเวลา t สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1) $MACD(t)>Sig(t)$ และ $MACD(t-1)<Sig(t-1)$
2) $MACD(t)>Sig(t)$ และ $MACD(t-1)=Sig(t-1)$ และ $MACD(t-2)<Sig(t-2)$

รูปที่ 3.1 แสดงจุดตัดขึ้น

เส้นสีน้ำเงินคือเส้นสัญญาณ และเส้นสีแดงคือเส้น MACD โดยจุดกลมสีแดงคือค่าของเส้น MACD ณ เวลาต่างๆ

(ซ้าย) กรณีที่ค่าของเส้น MACD ณ เวลา t มากกว่าเส้นสัญญาณ และค่าของเส้น MACD ในวันก่อนหน้าน้อยกว่าเส้นสัญญาณ จะเรียก t ว่าเป็นจุดตัดขึ้น

(ขวา) กรณีที่กรณีที่ค่าของเส้น MACD ณ เวลา t มากกว่าเส้นสัญญาณ แต่ค่าของเส้น MACD ในวันก่อนหน้าเท่ากับเส้นสัญญาณพอดี จะต้องพิจารณาวันก่อนหน้าอีกวันหนึ่งว่าเส้น MACD มีค่าน้อยกว่าเส้นสัญญาณจึงจะเรียก t ว่าเป็นจุดตัดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 3.2 จะกล่าวว่า $t \in \{\tau\}$ จะเป็นจุดตัดลง เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $t^{\downarrow}$ ถ้าที่จุดเวลา t สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1.) $MACD(t) < Sig(t)$ และ $MACD(t-1) > Sig(t-1)$

2.) $MACD(t) < Sig(t)$ และ $MACD(t-1) = Sig(t-1)$ และ $MACD(t-2) > Sig(t-2)$

รูปที่ 3.2 แสดงจุดตัดลง

เส้นสีน้ำเงินคือเส้นสัญญาณ และเส้นสีแดงคือเส้น MACD โดยจุดกลมสีแดงคือค่าของเส้น MACD ณ เวลาต่างๆ

(ซ้าย) กรณีที่ค่าของเส้น MACD ณ เวลา t น้อยกว่าเส้นสัญญาณ และค่าของเส้น MACD ในวันก่อนหน้ามากกว่าเส้นสัญญาณ จะเรียก t ว่าเป็นจุดตัดลง

(ขวา) กรณีที่กรณีที่ค่าของเส้น MACD ณ เวลา t น้อยกว่าเส้นสัญญาณ แต่ค่าของเส้น MACD ในวันก่อนหน้าเท่ากับเส้นสัญญาณพอดี จะต้องพิจารณาวันก่อนหน้าอีกวันหนึ่งว่าเส้น MACD มีค่ามากกว่าเส้นสัญญาณจึงจะเรียก t ว่าเป็นจุดตัดลงได้

สำหรับในงานวิจัยนี้จะแบ่งคาบการซื้อขายโดยใช้จุดตัดลงเป็นเกณฑ์ ซึ่งมีนิยาม ดังต่อไปนี้

นิยามที่ 3.3 ให้ $t^{\downarrow_i}$ และ $t^{\downarrow_{i+1}}$ เป็นจุดตัดลง 2 จุดใดๆที่ซึ่ง $t^{\downarrow_i} < t^{\downarrow_{i+1}}$ เรียก ลำดับของจุดเวลาทั้งหมดบน $\{\tau\}$ ที่อยู่ตั้งแต่ $t^{\downarrow_i}$ ถึง $t^{\downarrow_{i+1}}$ ว่า *คาบการซื้อขายที่ i* เขียนแทนด้วย $\{\tau_i\}$ และถ้า θ_i เป็นจำนวนจุดเวลาทั้งหมดดังกล่าว จะเขียนแทนลำดับของจุดเวลาดังกล่าวนั้นด้วย $\{t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,\theta_i)}\}$ นั่นคือ

$$\{\tau_i\} = \{t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,\theta_i)}\}$$

ในที่นี้จะเรียก $t_{(i,1)} = t^{\downarrow_i}$, $t_{(i,\theta_i)} = t^{\downarrow_{i+1}}$ ว่า จุดเริ่มต้นคาบ และจุดสิ้นสุดคาบ ตามลำดับ

กำหนดให้ $\{\tau_i\} = \{t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,\theta_i)}\}$ เป็นคาบการซื้อขายที่ i ต่อไป เพื่อความสะดวกจะกำหนดสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

$\{p_i\} = \{p_{t_{(i,1)}}, p_{t_{(i,2)}}, \ldots, p_{t_{(i,\theta_i)}}\}$ แทนลำดับของราคา บนลำดับเวลา $\{\tau_i\}$

$\{m_i\} = \{m_{t_{(i,1)}}, m_{t_{(i,2)}}, \ldots, m_{t_{(i,\theta_i)}}\}$ แทนลำดับของ MACD บนลำดับเวลา $\{\tau_i\}$

$\{s_i\} = \{s_{t_{(i,1)}}, s_{t_{(i,2)}}, \ldots, s_{t_{(i,\theta_i)}}\}$ แทนลำดับของสัญญาณ บนลำดับเวลา $\{\tau_i\}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เงื่อนไขของการซื้อขาย

สำหรับในงานวิจัยนี้จะกำหนดเงื่อนไขในการซื้อขาย ดังนี้

(H1) สำหรับในคาบ $\{\tau_i\}$, $i=1,2,...,r$ ใดๆจะเกิดการซื้อขายหนึ่งรอบโดยที่จะต้องเกิดขึ้นและจบลงภายในคาบเดียวเท่านั้น นั่นคือจะเกิดการซื้อหุ้นเพียงจำนวน 1 ครั้งที่เวลา ${}_it^b \in \{\tau_i\}$ ด้วยเงินลงทุน C_i บาท หลังจากนั้นจะต้องเกิดการขายหุ้นที่ซื้อมาทั้งหมดเพียงจำนวน 1 ครั้ง ที่เวลา ${}_it^s \in \{\tau_i\}$ ถึงจะทำการซื้อขายในรอบต่อไปได้

เพื่อความสะดวกจะแทนเงื่อนไขการซื้อขายนี้ด้วย สามสิ่งอันดับ $\left({}_it^b, {}_it^s, {}_iC\right)$

เมื่อ ${}_it^b \in (\tau_i)$ คือจุดเวลาซื้อ

${}_it^s \in (\tau_i)$ คือจุดเวลาขาย

${}_iC > 0$ คือเงินทุนที่ใช้ในการซื้อ

(H2) อนุญาตให้จำนวนหุ้นที่ซื้อเป็นจำนวนจริงบวกใดๆก็ได้ นั่นคือ ถ้าให้ $p_{{}_it^b}$ เป็นราคาหุ้นที่จุดเวลาซื้อ ${}_it^b$ และซื้อหุ้นด้วยเงินจำนวน C_i บาท จำนวนหุ้นที่ซื้อได้จะเท่ากับ $\frac{{}_iC}{p_{{}_it^b}}$ หน่วย (ไม่จำเป็นต้องเป็นจำนวนเต็มบวกเท่านั้น)

(H3) ${}_it^{s_k} < {}_it^{b_{k+1}}$ สำหรับ $k=1,2,...,n_i-1$ กล่าวคือ การซื้อขายครั้งที่ $k+1$ จะเกิดขึ้นได้เมื่อการซื้อขายครั้งที่ k เสร็จสิ้นแล้ว

3.3 อัตราความสำเร็จและอัตรากำไรเฉลี่ย

ในงานวิจัยนี้วัดประสิทธิภาพของวิธีการซื้อขายต่างๆ โดยใช้อัตราความสำเร็จและอัตรากำไรเฉลี่ย ดังนิยามต่อไปนี้ กำหนดให้ $\left({}_it^b, {}_it^s, {}_iC\right)$ เป็นการซื้อขาย ในคาบ $\{\tau_i\}$, $i=1,2,...,r$

นิยามที่ 3.4 *ผลกำไรต่อหุ้น* จากการซื้อขายหนึ่งรอบ $\left({}_it^b, {}_it^s, {}_iC\right)$ ในคาบ $\{\tau_i\}$ คือผลต่างระหว่างราคาซื้อและราคาขายที่เวลา ${}_it^b$ และ ${}_it^s$ ตาม ลำดับ นั่นคือ ถ้าให้ ${}_iP^1$ แทนผลกำไรจากการซื้อขายหนึ่งรอบ $\left({}_it^b, {}_it^s, {}_iC\right)$ ในคาบ $\{\tau_i\}$ จะได้ว่า

$$ {}_iP^1 = \left(p_{{}_it^s} - p_{{}_it^b}\right)\left(\frac{{}_iC}{p_{{}_it^b}}\right) \tag{3.1}$$

หรือจัดรูปได้เป็น

$$ {}_iP^1 = \left(\frac{p_{{}_it^s}}{p_{{}_it^b}} - 1\right){}_iC \tag{3.2}$$

จากนิยามที่ 3.4 ถ้าให้ ${}_iP^1$ แทน อัตราการกำไร จากการซื้อขายหนึ่งรอบ $\left({}_it^b, {}_it^s, {}_iC\right)$ ในคาบ $\{\tau_i\}$ ดังนั้นจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ {}_{i}\mathrm{P}^{1} = \frac{p_{{}_{i}t^{s}}}{p_{{}_{i}t^{b}}} - 1 \tag{3.3} $$

จากเงื่อนไข (H1) จะเห็นว่าใน 1 คาบการซื้อขายจะเกิดการซื้อขายกี่รอบก็ได้ สมมติให้ ในแต่ละคาบ $\{\tau_i\}$, $i = 1,2,...,r$ มีจำนวนรอบของการซื้อขายเท่ากับ n_i รอบ ถ้าให้ $\left({}_{i}t^{b}, {}_{i}t^{s}, {}_{i}C^{k}\right)$ เป็นการซื้อขายรอบที่ k ดังนั้นกำไรทั้งหมดในคาบ $\{\tau_i\}$ แทนด้วย ${}_{i}\mathrm{P}$ จะเท่ากับ

$$ {}_{i}\mathrm{P} = \sum_{k=1}^{n_i} {}_{i}\mathrm{P}^{k} = \sum_{k=1}^{n_i} \left(\frac{p^{k}_{{}_{i}t^{s}}}{p^{k}_{{}_{i}t^{b}}} - 1 \right) {}_{i}C^{k} \tag{3.4} $$

และกำไรทั้งหมดบนลำดับเวลา $\{\tau\}$ เท่ากับ

$$ \sum_{i=1}^{r} \sum_{k=1}^{n_i} {}_{i}\mathrm{P}^{k} = \sum_{i=1}^{r} \sum_{k=1}^{n_i} \left(\frac{p^{k}_{{}_{i}t^{s}}}{p^{k}_{{}_{i}t^{b}}} - 1 \right) {}_{i}C^{k} \tag{3.5} $$

ดังนั้น อัตรากำไรเฉลี่ยต่อคาบการซื้อขาย (PR) บนลำดับเวลา $\{\tau\}$ เท่ากับ

$$ \mathrm{PR} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^{r} \sum_{k=1}^{n_i} {}_{i}\mathrm{P}^{k} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^{r} \sum_{k=1}^{n_i} \left(\frac{p^{k}_{{}_{i}t^{s}}}{p^{k}_{{}_{i}t^{b}}} - 1 \right) {}_{i}C^{k} \tag{3.6} $$

นิยามที่ 3.5 ให้ ${}_{i}\mathrm{P}$ แทนกำไรในคาบ $\{\tau_i\}$, $i = 1,2,...,r$ จะกล่าวว่าการซื้อขายในคาบ $\{\tau_i\}$ เป็นการซื้อขาย*ที่สำเร็จผล* (success) ถ้า ${}_{i}\mathrm{P} > 0$ มิฉะนั้นจะเรียกว่าเป็นการซื้อขายที่ไม่สำเร็จผล และกำหนดค่าแทนความสำเร็จด้วยสัญลักษณ์ ${}_{i}\mathrm{S}$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าการซื้อขายโดยรวมในคาบ $\{\tau_i\}$ เป็นการซื้อขายที่สำเร็จผล และมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าไม่สำเร็จผล นั่นคือ

$$ {}_{i}\mathrm{S} = \begin{cases} 1 & , {}_{i}\mathrm{P} > 0 \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \tag{3.7} $$

นิยามที่ 3.6 *อัตราความสำเร็จของการซื้อขาย* บน $\{\tau\}$ คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนคาบที่การซื้อขายที่สำเร็จผลเทียบกับจำนวนคาบทั้งหมดที่มีการซื้อขาย บน $\{\tau\}$ นั่นคือ

$$ \text{อัตราความสำเร็จ} = \frac{\sum_{i=1}^{r} {}_{i}\mathrm{S}}{r} \tag{3.5} $$

เมื่อ r คือจำนวนคาบทั้งหมดที่มีการซื้อขายบน $\{\tau\}$

3.4 เงื่อนไขการซื้อขายเพิ่มเติม

กำหนดให้ $\left({}_{i}t^{b}, {}_{i}t^{s}, {}_{i}C\right)$ เป็นการซื้อขาย ในคาบ $\{\tau_i\}$, $i = 1,2,...,r$ บน $\{\tau\}$ วิธีการซื้อขายต่างๆ ที่จะทำการทดสอบในงานวิจัยนี้จะทดสอบภายใต้สมมติฐานเพิ่มเติมดังนี้

(H4) เงินทุนในการซื้อขายแต่ละครั้งจะเท่ากัน กล่าวคือ ${}_{i}C^{k} = C$ สำหรับทุก $k = 1,2,...,n_i$ เมื่อ $C > 0$ เป็นค่าคงที่ใดๆ

ในงานวิจัยจะกำหนดกระบวนการซึ่งทำให้ เงินลงทุนเป็นไปตามสมมติฐาน (H4) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ซื้อขายด้วยเงินเริ่มต้น $C_i^1 = C$ บาท ($k=1$)

2) ตรวจสอบ $k = n_k$ หรือไม่ ถ้าใช่ <u>หยุด</u> ถ้าไม่ใช่ *ไปข้อ 3)*

3) ตรวจสอบ ${}_iP^k \geq 0$ หรือไม่ ถ้าใช่ *ไปข้อ 4)* ถ้าไม่ใช่ *ไปข้อ 5)*

4) ใช้เงินลงทุนจำนวน C บาทในครั้งที่ k ลงทุนต่อครั้งที่ $k+1$ จากนั้นไปข้อ 2)

5) เติมเงินจำนวน $-{}_iP^k$ และใช้เงินลงทุนที่เหลือในครั้งที่ k จำนวน $C+{}_iP^k$ (หลังหักขาดทุน) รวมกับเงินที่เติม $-{}_iP^k$ ในการลงทุนครั้งที่ $k+1$ จากนั้นไปข้อ 2)

เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้จะเรียกกระบวนการนี้ว่า "PH4" กระบวนการ (PH4) จะช่วยให้นักลงทุนไม่จำเป็นต้องใช้เงินทุนจำนวนมากในการซื้อขาย เสมือนหนึ่งใช้เงินทุนเริ่มต้น ก่อนเดียวหมุนเวียนลงทุน โดยหากมีการขาดทุนจะต้องเติมเงินเข้าไปในกระบวนการเพื่อให้เงินทุนเริ่มต้นเท่าเดิม

หมายเหตุ การทดสอบจะทำกับข้อมูลราคาปิดของหุ้นแต่ละตัวใน SET-100 ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ถึงวันที่ 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556

กระบวนการ (PH4) สามารถแสดงให้เห็นชัดจากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 3.1 สมมติให้ $\left({}_it^b, {}_it^s, 100\right)$ เป็นการซื้อขาย ในคาบ $\{\tau_i\}$ บน $\{\tau\}$ ซึ่งมีการซื้อขาย 4 รอบ ($k=1,2,3,4$) และสมมติให้ผลกำไรจากการซื้อขายรอบที่ 1 2 3 และ 4 คือ -20 10 -30 และ -10 ตามลำดับ เงินทุนที่ต้องเติมเพิ่มในการซื้อขายแต่ละรอบแสดงดังตารางที่ 3.1

เงินลงทุนเริ่มต้น $C=$ 100 บาท ในที่นี้ $n_i = 4$ จากกระบวนการ (PH4) สามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

การซื้อขายรอบที่ (k)	เงินที่ลงทุนในแต่ละรอบ	ผลกำไร (${}_i\mathcal{P}^k$)	เงินลงทุนเติม	เงินคงเหลือ ($C+{}_i\mathcal{P}^k$)
1	100	-20	20	100
2	100	10	0	110
3	100	-30	30	140
4	100	-10	-	130

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงตัวอย่างการเพิ่มเงินลงทุนในการซื้อขายแต่ละรอบตามเงื่อนไข (H4)

กำหนดให้ $n = \sum_{i=1}^{r} n_i$ เป็นจำนวนรอบซื้อขายทั้งหมด และ P^k เป็นกำไรจากการซื้อขายรอบที่ k , $k=1,2,...,n$ จากเงื่อนไข (H4) และกระบวนการ (PH4) ซึ่งสามารถคำนวณเงินลงทุนรวมบน เท่ากับ

$$C - \sum_{k=1}^{n-1} \min\left\{0, P^k\right\} \tag{3.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงินสะสมจากการซื้อขาย บน $\{\tau\}$ เท่ากับ

$$C+\mathcal{P}^n+\sum_{k=1}^{n-1}\max\{0,\mathcal{P}^k\} \tag{3.7}$$

จาก

$$\text{อัตรากำไร} = \frac{\text{เงินสะสม– เงินลงทุนรวม}}{\text{เงินลงทุนรวม}} \tag{3.8}$$

จะได้ อัตรากำไรเฉลี่ย บน $\{\tau\}$ ภายใต้เงื่อนไข (H4) และ กระบวนการ (PH4) ซึ่งจะแทนด้วย P_τ, $i=1,2,...,r$ อยู่ในรูป

$$\mathrm{P}_\tau=\begin{cases}\dfrac{\mathrm{P}^1}{C}, & n=1\\[2ex] \dfrac{\sum_{k=1}^{n}\mathrm{P}^k}{C-\sum_{k=1}^{n-1}\min\{0,\mathrm{P}^k\}}, & n>1\end{cases} \tag{3.9}$$

3.5 วิธีการซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิม

จากการนิยามคาบการซื้อขาย $\{\tau_i\}$, $i=1,2,...,r$ โดยใช้จุดตัดลงที่อยู่ติดกัน 2 จุดใดๆ เป็นตัวกำหนดตามนิยามที่ 3.3 สมมติให้ $t^{\downarrow_i}$ และ $t^{\downarrow_{(i+1)}}$ เป็นจุดต้นคาบและจุดสิ้นสุดคาบ ตามลำดับ

บทตั้ง 3.7 ในแต่ละคาบการซื้อขาย $\{\tau_i\}$, $i=1,2,...,r$ จะมีจุดตัดขึ้นเพียงจุดเดียวเท่านั้น

พิสูจน์ ได้โดยตรงจากบทนิยามที่ 3.3

วิธีการซื้อขายด้วย MACD แบบดั้งเดิมนั้นจะซื้อที่จุดตัดขึ้นและขายที่จุดตัดลงซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดคาบ ซึ่งมีนิยาม ดังนี้ กำหนดให้ $\{\tau_i\}$, $i=1,2,...,r$ เป็นคาบการซื้อขาย

นิยามที่ 3.8 วิธีการซื้อขายด้วย MACD แบบดั้งเดิม คือวิธีการซื้อขายที่กำหนดจุดซื้อ ${}_1t^b=t^{\uparrow_i}$ และจุดขาย ${}_1t^s=t^{\uparrow_{(i+1)}}$

จากนิยามที่ 3.11 และบทตั้ง 3.10 จะได้ว่าในแต่ละคาบ $\{\tau_i\}$, $i=1,2,...,r$ จะมีการซื้อขายเพียงครั้งเดียวคือ

$$\left(t^{\uparrow_i},t^{\downarrow_{(i+1)}},C\right)$$

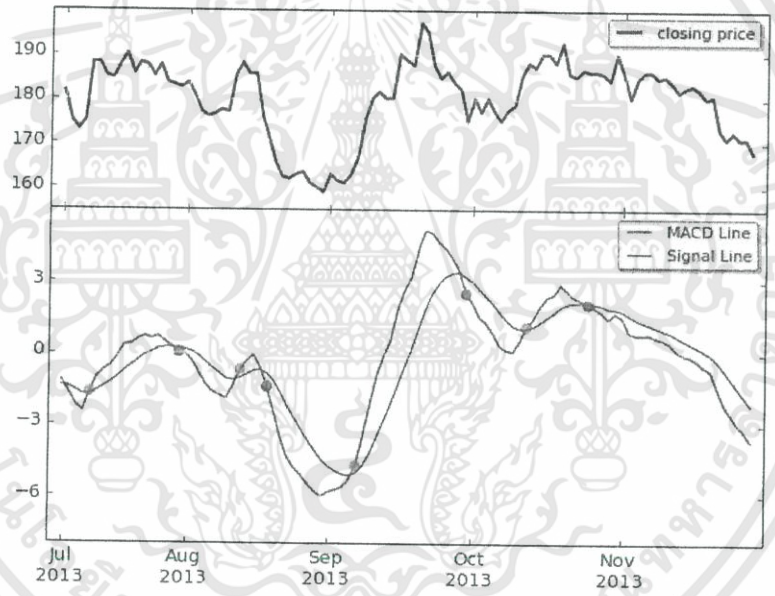
เมื่อ $C>0$ เป็นค่าคงที่ใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $n=\sum_{i=1}^{r} n_i = r$ ทำให้ได้ว่า อัตรากำไรเฉลี่ย บน $\{\tau\}$ ของวิธีการซื้อขายด้วย MACD แบบดั้งเดิม สามารถคำนวณได้จาก

$$P_{\tau}=\begin{cases} \dfrac{P^1}{C} & , r=1 \\ \dfrac{\sum_{k=1}^{r} P^k}{C-\sum_{k=1}^{r-1}\min\ 0, P^k} & , r>1 \end{cases} \tag{3.10}$$

ตัวอย่างที่ 3.2 เมื่อทำการทดสอบวิธีการซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิมกับข้อมูลราคาปิดของหุ้น KBANK ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จะได้ว่ามีคาบการซื้อขายทั้งหมด 4 คาบ ดังรูปที่ 3.3 ผลกำไรในแต่ละคาบ อัตรากำไรเฉลี่ย และอัตราความสำเร็จแสดงดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.3 รูปแสดงจุดซื้อและจุดขายจากการทดสอบวิธีการซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิมกับหุ้น KBANK

เส้นสีแดงคือเส้น MACD เส้นสีน้ำเงินคือเส้นสัญญาณ

จุดกลมสีเขียวคือจุดซื้อ และจุดกลมสีแดงคือจุดขาย

จะเห็นว่าวิธีการซื้อขายแบบดั้งเดิมโดยการใช้เส้น MACD และเส้นสัญญาณ คือการเข้าซื้อ ณ จุดที่ MACD ตัดขึ้นเส้นสัญญาณ และขายออก ณ จุดที่ MACD ตัดลงเส้นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อ MACD แบบดั้งเดิมกับหุ้น KBANK

คาบที่ (i)	ราคา ณ จุดซื้อ $(p_{t_i^b})$	ราคา ณ จุดขาย $(p_{t_i^s})$	อัตรากำไร $({}_i\mathcal{P})$	ความสำเร็จ $({}_i\mathcal{S})$
1	188.00	182.50	-0.02926	0
2	188.00	171.00	-0.09043	0
3	167.00	175.00	0.04790	1
4	188.00	186.00	-0.01063	0
อัตรากำไรเฉลี่ย = -0.02064		อัตราความสำเร็จ = 0.25		

3.6 วิธีการซื้อขาย MACDR1

วิธีการซื้อขายด้วย MACDR1 จะกำหนดให้จุดซื้อคือจุดเวลาที่ 3 นับจากจุดตัดขึ้นถ้าเส้น MACD ยังคงอยู่เหนือเส้นสัญญาณ และกำหนดจุดขายเป็นจุดที่อัตรากำไรมีค่าไม่ต่ำกว่า 3% แต่หากไม่พบจุดดังกล่าวก็ให้ขายที่จุดตัดลง กำหนดให้ $\{\tau_i\},\ i=1,2,...,r$ เป็นคาบการซื้อขาย

นิยามที่ 3.9 <u>*วิธีการซื้อขาย MACDR1*</u> คือวิธีการกำหนดการซื้อขาย $\left({}_it^b, {}_it^s, C\right)$ ในคาบ $\{\tau_i\},\ i=1,2,...,r$ กำหนดดังนี้

จุดซื้อ ${}_it^b$ คือจุด $t_{(i,j)} \in \{\tau_i\}$ ใดๆ ที่ซึ่ง

1) $m_{t_{(i,j)}} > s_{t_{(i,j)}}$ และ $m_{t_{(i,j-1)}} > s_{t_{(i,j-1)}}$ และ

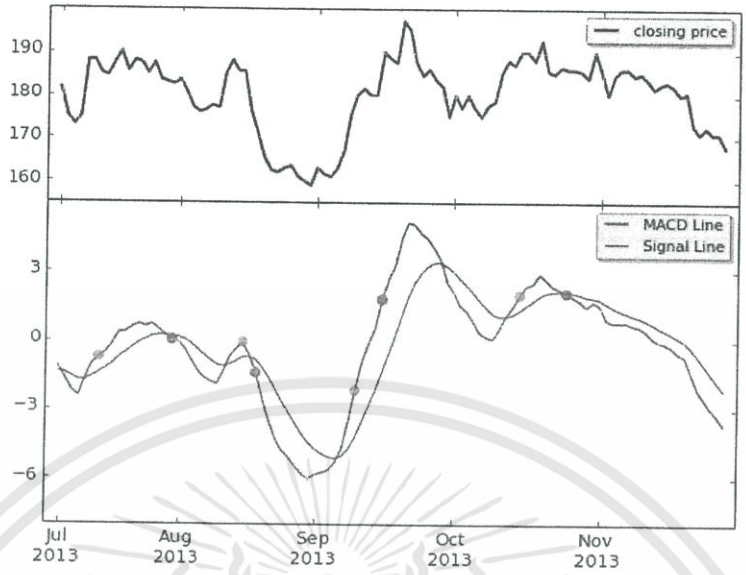
2) $m_{t_{(i,j-2)}} \geq s_{t_{(i,j-2)}}$ และ $m_{t_{(i,j-3)}} < s_{t_{(i,j-3)}}$ ($t_{(i,j-3)}$ เป็นจุดตัดขึ้น)

และถ้ามีจุดซื้อ ${}_it^b$ ในคาบ จุดขาย ${}_it^s$ คือจุด $t_{(i,j)} \in (\tau_i)$ ใดๆ ที่ซึ่ง

$$\left(\frac{p_{t_{(i,j)}} - p_{t_i^b}}{p_{t_i^b}}\right) \geq 0.03 \text{ หรือ } t_{(i,j)} = t_{(i,\theta_i)}$$

ตัวอย่างที่ 3.3 เมื่อทำการทดสอบวิธีการซื้อขาย MACDR1 กับข้อมูลราคาปิดของหุ้น KBANK ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จะได้ว่ามีคาบการซื้อขายทั้งหมด 4 คาบ ดังรูปที่ 3.4 ผลกำไรในแต่ละคาบ อัตรากำไร และอัตราความสำเร็จแสดงดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปแสดงจุดซื้อและจุดขายจากการทดสอบวิธีการซื้อขาย MACDR1 กับหุ้น KBANK

เส้นสีแดงคือเส้น MACD เส้นสีน้ำเงินคือเส้นสัญญาณ

จุดกลมสีเขียวคือจุดซื้อ และจุดกลมสีแดงคือจุดขาย

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อ MACDR1 กับหุ้น KBANK

คาบที่ (i)	ราคา ณ จุดซื้อ $(p_{t^b_i})$	ราคา ณ จุดขาย $(p_{t^s_i})$	อัตรากำไร $({}_i\mathcal{P})$	ความสำเร็จ $({}_iS)$
1	185.00	182.50	-0.01351	0
2	185.50	171.00	-0.07817	0
3	180.00	190.00	0.05556	1
4	190.00	186.00	-0.02105	0
อัตรากำไรเฉลี่ย = -0.01429		อัตราความสำเร็จ = 0.25		

3.7 วิธีการซื้อขาย MACDR2

MACDR2 จะมีหลักการกำหนดจุดซื้อขายเช่นเดียวกับ MACDR1 โดยมีข้อกำหนดว่าจะซื้อถ้าผลต่างค่าของเส้น MACD กับค่าของเส้นสัญญาณ ณ จุดซื้อมีมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.5 ของราคาหุ้น

นิยามที่ 3.12 ให้ (τ_i) แทนคาบที่ $i=1,2,...,r$ <u>*วิธีการซื้อขาย MACDR2*</u> คือวิธีการกำหนดการซื้อขาย $\left({}_it^b, {}_it^s, C\right)$ ในคาบ (τ_i) กำหนดดังนี้

จุดซื้อ ${}_it^b$ คือจุด $t_{(i,j)} \in (\tau_i)$ ใดๆ ที่ซึ่ง

1) $m_{t_{(i,j)}} > s_{t_{(i,j)}}$ และ $m_{t_{(i,j-1)}} > s_{t_{(i,j-1)}}$ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

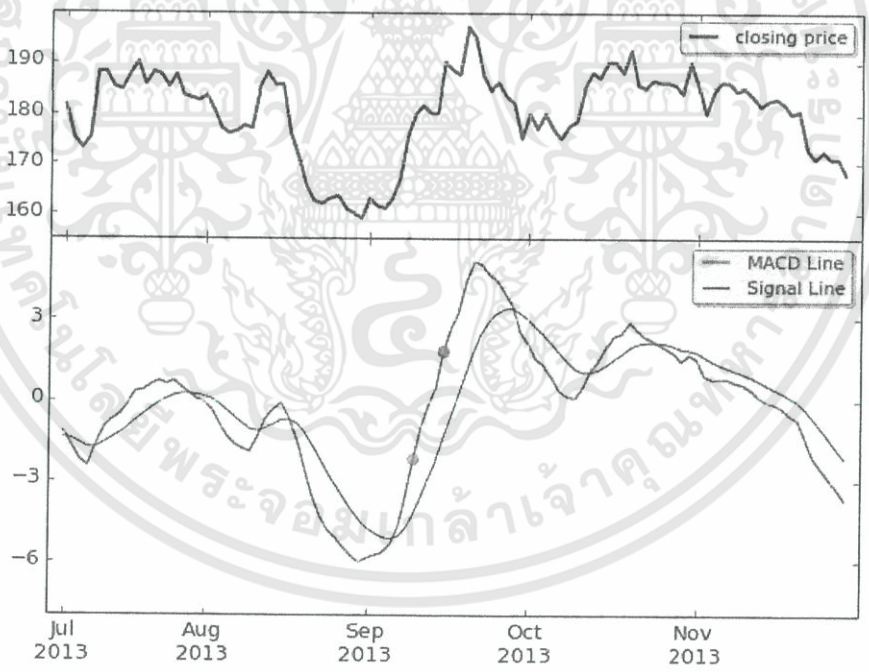
2) $m_{t_{(i,j-2)}} \geq s_{t_{(i,j-2)}}$ และ $m_{t_{(i,j-3)}} < s_{t_{(i,j-3)}}$ ($t_{(i,j-3)}$ เป็นจุดตัดขึ้น)

3) $\left(\frac{m_{t_{(i,j)}} - s_{t_{(i,j)}}}{p_{t_{(i,j)}}} \right) \geq 0.005$

และถ้ามีจุดซื้อ ${}_i t^b$ ในคาบ จุดขาย ${}_i t^s$ คือจุด $t_{(i,j)} \in (\tau_i)$ ใดๆ ที่ซึ่ง

$$\left(\frac{p_{t_{(i,j)}} - p_{t_i^b}}{p_{t_i^b}} \right) \geq 0.03 \text{ หรือ } t_{(i,j)} = t_{(i,\theta_i)}$$

ตัวอย่างที่ 3.4 เมื่อทำการทดสอบวิธีการซื้อขาย MACDR2 กับข้อมูลราคาปิดของหุ้น KBANK ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จะได้ว่ามีคาบการซื้อขายทั้งหมด 4 คาบ แต่มีเพียงคาบเดียวที่มีการซื้อขาย ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นการซื้อขายเดียวกับการซื้อขายรอบที่ 3 ในการทดสอบด้วย MACDR1 (ดูตารางที่ 3.3) อัตรากำไรจากการซื้อขายในคาบดังกล่าวคือ 0.05556 ความสามารถของ MACDR2 คือจะละเว้นการซื้อขายในคาบที่มีช่วงเวลาสั้น กล่าวคือช่วงที่เส้น MACD ตัดขึ้นและตัดลงเส้นสัญญาณอย่างถี่ๆ ในช่วงเวลาสั้น โดยจะทำการซื้อขายในช่วงที่มีคาบชัดเจนแทน



รูปที่ 3.5 รูปแสดงจุดซื้อและจุดขายจากการทดสอบวิธีการซื้อขาย MACDR2 กับหุ้น KBANK
เส้นสีแดงคือเส้น MACD เส้นสีน้ำเงินคือเส้นสัญญาณ
จุดกลมสีเขียวคือจุดซื้อ และจุดกลมสีแดงคือจุดขาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

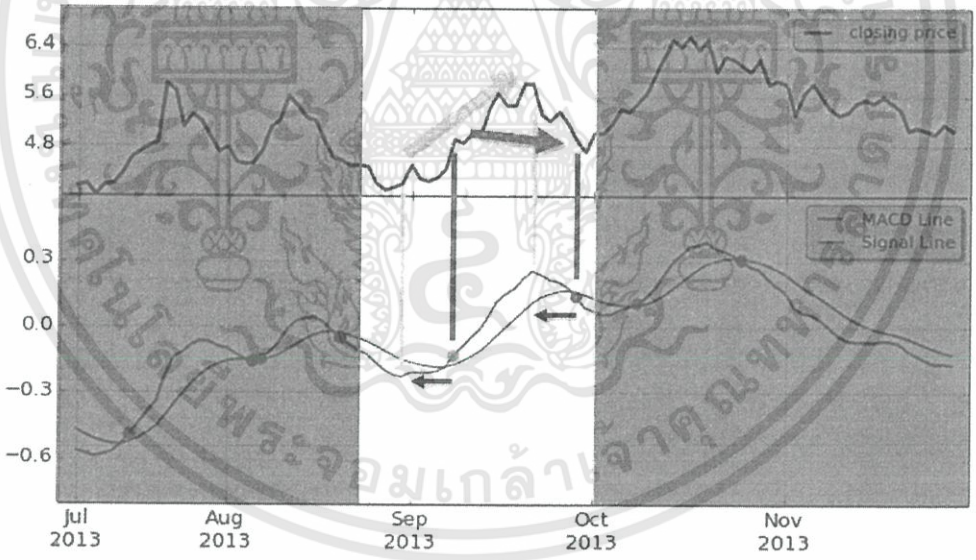
บทที่ 4

เส้นสัญญาณดัดแปลง

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางพัฒนา โดยทำการดัดแปลงเส้นสัญญาณและให้ชื่อว่า *เส้นสัญญาณดัดแปลง* (modified Signal Line) ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการส่งสัญญาณล่าช้าของการวิเคราะห์เชิงเทคนิคด้วยดัชนี MACD

4.1 บทนำ

เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาดัชนี MACD ให้มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวราคามากขึ้น เพื่อให้ได้อัตรากำไรและอัตราความสำเร็จที่สูงขึ้นโดยการทำให้จุดซื้อและจุดขายเกิดเร็วขึ้น ซึ่งแรงบันดาลใจมาจากสังเกตจากกราฟว่าจุดที่เส้น MACD ตัดกับเส้นสัญญาณซึ่งเป็นจุดซื้อและจุดขายนั้น มักจะอยู่หลังจากจุดสูงสุดต่ำสุดของราคาในคาบหนึ่งๆ อยู่เสมอ และการเลื่อนจุดซื้อและจุดขายมาในช่วงระหว่างจุดซื้อจุดขายเดิมกับจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในคาบมักจะทำให้ได้กำไรที่มากขึ้นเนื่องจากเกิดส่วนต่างของราคาซื้อและราคาขายที่มากขึ้น



รูปที่ 4.1 รูปแสดงข้อสังเกตว่าการเลื่อนสัญญาณซื้อขายไปก่อนหน้าจุดตัดเพียงเล็กน้อยจะส่งผลต่ออัตรากำไรและอัตราความสำเร็จที่เพิ่มขึ้น

ในพื้นที่สว่าง ในการซื้อขายด้วย MACD แบบดั้งเดิม จุดเข้าซื้อคือจุดกลมสีเขียว และจุดขายคือจุดกลมสีแดง สังเกตว่าราคาหุ้น ณ วันที่ขายอาจต่ำกว่าราคาหุ้น ณ วันที่ซื้อได้ (ดูที่เส้นและลูกศรสีแดง) แต่ถ้าหากเราสามารถเลื่อนจุดซื้อขายไปยังตำแหน่งของเส้นสีเขียว จะทำให้ราคาหุ้น ณ วันที่ขายสูงกว่าราคาหุ้น ณ วันที่ซื้อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เส้นสัญญาณดัดแปลง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า วิธีการกำหนดจุดซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิมซึ่งกำหนดจุดตัดขึ้นเป็นจุดซื้อและจุดตัดลงถัดมาเป็นจุดขายในแต่ละคาบนั้นพบว่า การส่งสัญญาณซื้อขายนั้นล่าช้า งานวิจัยนี้พยายามที่จะกำหนดจุดซื้อและจุดขายใหม่ที่เร็วกว่าจุดเดิมโดยระหว่างจุดซื้อขายแต่กับจุดสูงสุดต่ำสุดภายในคาบ

จุดต่ำสุดในคาบหนึ่งๆ คือจุดที่เส้น MACD มีค่าน้อยที่สุดโดยพิจารณาเฉพาะในช่วงที่เส้น MACD อยู่ใต้เส้นสัญญาณ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือในช่วงตั้งแต่จุดเริ่มต้นคาบจนถึงก่อนจุดตัดขึ้น ถ้ามีจุดที่เส้น MACD มีค่าน้อยที่สุดในช่วงดังกล่าวมากกว่า 1 จุดจะถือเอาจุดล่าสุดเป็นจุดต่ำสุด

กำหนดให้ $\{\tau_i\} = \{t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,\theta_i)}\}$, $i = 1,2,\ldots,r$ เป็นคาบใดๆ

m_t แทน ค่าMACD ที่เวลา t

$t_{(i,j^*)} = t^{\uparrow_i}$ เป็นจุดตัดขึ้นในคาบ $\{\tau_i\}$

นิยามที่ 4.1 <u>*จุดต่ำสุดในคาบ*</u> $\{\tau_i\}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ${}_i t^{\min}$ คือจุดเวลาล่าสุดในช่วง $\{t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,j^*-1)}\}$ ที่ซึ่ง $m_{{}_i t^{\min}} \le m_{t_{(i,j)}}$ สำหรับทุกๆ $t_{(i,j)} \in \{t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,j^*-1)}\}$

ในทำนองเดียวกัน จุดสูงสุดในคาบหนึ่งๆ คือจุดที่เส้น MACD มีค่ามากที่สุดโดยพิจารณาเฉพาะในช่วงที่เส้น MACD อยู่เหนือเส้นสัญญาณ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือในช่วงตั้งแต่จุดตัดขึ้นจนถึงก่อนจุดจบคาบ ถ้ามีจุดที่เส้น MACD มีค่ามากที่สุดในช่วงดังกล่าวมากกว่า 1 จุดจะถือเอาจุดล่าสุดเป็นจุดสูงสุด

นิยามที่ 4.2 <u>*จุดสูงสุดในคาบ*</u> $\{\tau_i\}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ${}_i t^{\max}$ คือจุดเวลาล่าสุดในช่วง $\{t_{(i,j^*)}, t_{(i,j^*+1)}, \ldots, t_{(i,\theta_i-1)}\}$ ที่ซึ่ง $m_{{}_i t^{\max}} \ge m_{t_{(i,j)}}$ สำหรับทุกๆ $t_{(i,j)} \in \{t_{(i,j^*)}, t_{(i,j^*+1)}, \ldots, t_{(i,\theta_i-1)}\}$

ในความเป็นจริงเราไม่สามารถล่วงรู้ข้อมูลราคาในอนาคต ดังนั้นจะไม่สามารถทราบได้ว่าจุดเวลาปัจจุบันเป็นจุดต่ำสุด (จุดสูงสุด) หรือยัง

ในการทดสอบระบบซื้อขายกับข้อมูลในอดีตที่ทราบข้อมูลทุกจุดเวลาในคาบหนึ่งๆ จะจำลองสถานการณ์เสมือนจริง โดยจะสมมติว่าจุดเวลาจุดหนึ่งใดๆ ที่กำลังพิจารณาในคาบหนึ่งๆ เป็นจุดเวลาปัจจุบัน และไม่ทราบข้อมูลหลังจากนั้น ดังนั้นจะทราบว่าจุดใดเป็นจุดต่ำสุดได้ก็ต่อเมื่อจุดเวลาปัจจุบันเป็นจุดตัดขึ้นหรืออยู่หลังจากจุดตัดขึ้นไปแล้ว ในทำนองเดียวกัน จะทราบว่าจุดใดเป็นจุดสูงสุดได้ก็ต่อเมื่อจุดเวลาปัจจุบันเป็นจุดจบคาบเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ยังไม่ทราบจุดตัดขึ้นหรือจุดจบคาบ เราจะเลือกจุดต่ำสุดหรือจุดสูงสุดโดยพิจารณาจากข้อมูลตั้งแต่จุดเริ่มต้นคาบจนถึงจุดเวลาปัจจุบัน และเรียกจุดดังกล่าวเหล่านั้นว่าจุดต่ำสุด (สูงสุด) จากข้อมูลเท่าที่มี ณ เวลาปัจจุบัน โดยนิยามดังต่อไปนี้

นิยามที่ 4.3 กำหนดให้ $t_{(i,x)} \in \{\tau_i\}$ เป็นจุดเวลาปัจจุบัน ก่อนจุดตัดขึ้น $t_{(i,j^*)} = t^{\uparrow_i}$ <u>*จุดต่ำสุดจากข้อมูลเท่าที่มี*</u> ณ เวลา $t_{(i,x)}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $t^{\min^*}_{(i,x)}$ คือจุดเวลาล่าสุดในช่วง $\{t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,x)}\}$ ที่ซึ่ง $m_{t^{\min^*}_{(i,x)}} \le m_{t_{(i,j)}}$ สำหรับทุกๆ $t_{(i,j)} \in \{t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,x)}\}$

นิยามที่ 4.4 กำหนดให้ $t_{(i,x)} \in \{\tau_i\}$ เป็นจุดเวลาปัจจุบัน หลังจุดตัดขึ้น $t_{(i,j^*)} = t^{\uparrow_i}$ <u>*จุดสูงสุดจากข้อมูลเท่าที่มี*</u> ณ เวลา $t_{(i,x)}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $t^{\max^*}_{(i,x)}$ คือจุดเวลาล่าสุดในช่วง $\{t_{(i,j^*)}, t_{(i,j^*+1)}, \ldots, t_{(i,x)}\}$ ที่ซึ่ง $m_{t^{\max^*}_{(i,x)}} \ge m_{t_{(i,j)}}$ สำหรับทุกๆ $t_{(i,j)} \in \{t_{(i,j^*)}, t_{(i,j^*+1)}, \ldots, t_{(i,x)}\}$

จุดต่ำสุด (สูงสุด) จากข้อมูลเท่าที่มี ณ เวลาปัจจุบันอาจจะเป็นจุดต่ำสุด (สูงสุด) จริง (ตามนิยามที่ 4.1 และนิยามที่ 4.2) หรือไม่ก็ได้ ดังนั้น จะกำหนดค่าความมั่นใจที่จุดต่ำสุด (สูงสุด) จากข้อมูลเท่าที่มีจะเป็นจุดต่ำสุด (สูงสุด) จริงโดยอาศัยข้อมูลจากอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของ เส้น MACD กับเส้นสัญญาณ ณ จุดเวลาปัจจุบันและจุดต่ำสุด (สูงสุด) จากข้อมูลเท่าที่มี

นิยามที่ 4.5 กำหนดให้ $t_{(i,x)} \in \{t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,j^*-1)}\}$ เป็นจุดเวลาปัจจุบัน $t^{\min^*}_{(i,x)}$ เป็นจุดต่ำสุดล่าสุดจากข้อมูลเท่าที่มี ณ เวลา $t_{(i,x)}$ และ ${}_i t^{\min}$ เป็นจุดต่ำสุดล่าสุดในคาบ $\{\tau_i\}$ <u>*ค่าความมั่นใจจุดต่ำสุด*</u> ณ เวลา $t_{(i,x)}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $d^{\min}_{t_{(i,x)}}$ คือจำนวนจริงในช่วง $[0,1]$ ที่ใช้แสดงถึงความมั่นใจที่ $t^{\min^*}_{(i,x)} = {}_i t^{\min}$ ณ เวลา $t_{(i,x)}$ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$d^{\min}_{t_{(i,x)}} = \left(1 - \frac{h_{t_{(i,x)}}}{h_{t^{\min^*}_{(i,x)}}}\right)$$

โดยที่ $h_{t_{(i,x)}} = m_{t_{(i,x)}} - s_{t_{(i,x)}}$ และ $h_{t^{\min^*}_{(i,x)}} = m_{t^{\min^*}_{(i,x)}} - s_{t^{\min^*}_{(i,x)}}$

และกำหนดให้ $d^{\min}_{t_{(i,x)}} = \lim_{h_{t^{\min}_{(i,x)}} \to 0} \left(1 - \frac{h_{t_{(i,x)}}}{h_{t^{\min}_{(i,x)}}}\right) = 1$ ถ้า $h_{t^{\min}_{(i,x)}} = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 4.6 $t_{(i,x)} \in \left\{ t_{(i,j^*)}, t_{(i,j^*+1)}, \ldots, t_{(i,\theta_i-1)} \right\}$ เป็นจุดเวลาปัจจุบัน $t_{(i,x)}^{\max^*}$ เป็นจุดสูงสุดล่าสุดจากข้อมูลเท่าที่มี ณ เวลา $t_{(i,x)}$ และ ${}_i t^{\max}$ เป็นจุดสูงสุดล่าสุดในคาบ $\{\tau_i\}$ <u>ค่าความมั่นใจจุดสูงสุด</u> ณ เวลา $t_{(i,x)}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $d_{t_{(i,x)}}^{\max}$ คือจำนวนจริงในช่วง [0,1] ที่ใช้แสดงถึงความมั่นใจที่ $t_{(i,x)}^{\max^*} = {}_i t^{\max}$ ณ เวลา $t_{(i,x)}$ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$d_{t_{(i,x)}}^{\max} = \left(1 - \frac{h_{t_{(i,x)}}}{h_{t_{(i,x)}^{\max}}} \right)$$

โดยที่ $h_{t_{(i,x)}} = m_{t_{(i,x)}} - s_{t_{(i,x)}}$ และ $h_{t_{(i,x)}^{\max}} = m_{t_{(i,x)}^{\max}} - s_{t_{(i,x)}^{\max}}$

และกำหนดให้ $d_{t_{(i,x)}}^{\max} = \lim_{h_{t_{(i,x)}^{\max}} \to 0} \left(1 - \frac{h_{t_{(i,x)}}}{h_{t_{(i,x)}^{\max}}} \right) = 1$ ถ้า $h_{t_{(i,x)}^{\max}} = 0$

สามารถนำจุดต่ำสุด (สูงสุด) จากข้อมูลเท่าที่มี และระดับความมั่นใจจุดต่ำสุด (สูงสุด) มาใช้สร้างเส้นสัญญาณดัดแปลงที่มีลักษณะเว้าเข้าหาจุดต่ำสุด (สูงสุด) ในแต่ละคาบได้ดังนี้

นิยามที่ 4.7 $t_{(i,j)}^{\min^*}$ เป็นจุดต่ำสุดล่าสุดจากข้อมูลเท่าที่มี ณ เวลา $t_{(i,j)} \in \{\tau_i\}$ ใดๆ $t_{(i,j)}^{\max^*}$ เป็นจุดสูงสุดล่าสุดจากข้อมูลเท่าที่มี ณ เวลา $t_{(i,j)} \in \{\tau_i\}$ ใดๆ

$h_{t_{(i,j)}^{\min^*}} = m_{t_{(i,j)}^{\min^*}} - s_{t_{(i,j)}^{\min^*}}$ และ $h_{t_{(i,j)}^{\max^*}} = m_{t_{(i,j)}^{\max^*}} - s_{t_{(i,j)}^{\max^*}}$

$d_{t_{(i,j)}}^{\min}$ เป็นค่าความมั่นใจจุดต่ำสุด ณ เวลา $t_{(i,j)} \in \left\{ t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,j^*-1)} \right\}$ ใดๆ

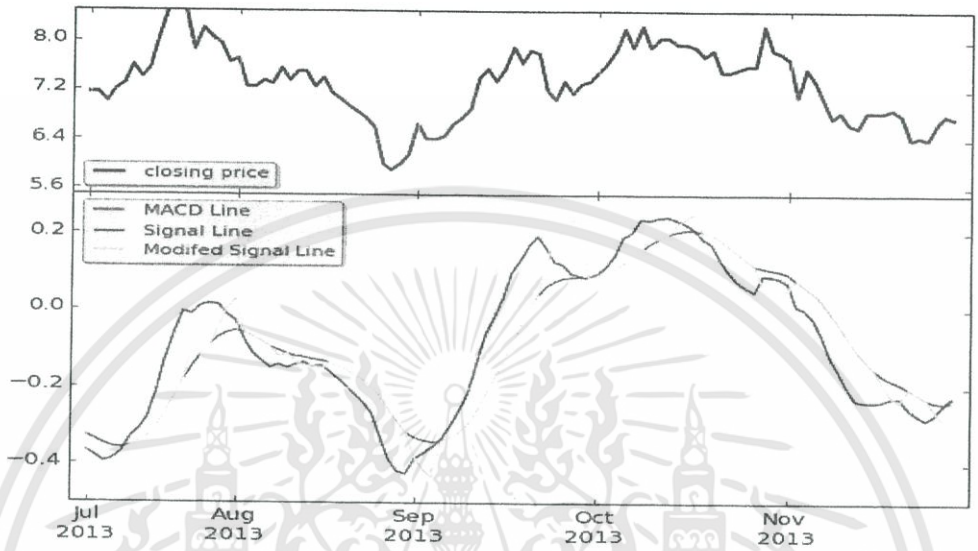
$d_{t_{(i,j)}}^{\max}$ เป็นค่าความมั่นใจจุดสูงสุด ณ เวลา $t_{(i,j)} \in \left\{ t_{(i,j^*)}, t_{(i,j^*+1)}, \ldots, t_{(i,\theta_i-1)} \right\}$ ใดๆ

เรียกลำดับ $\{\tilde{s}_i\} = \left\{ \tilde{s}_{t_{(i,1)}}, \tilde{s}_{t_{(i,2)}}, \ldots, \tilde{s}_{t_{(i,\theta_i)}} \right\}$ ว่า <u>เส้นสัญญาณดัดแปลง</u> คาบที่ i โดยที่ $\tilde{s}_{t_{(i,j)}}$ คือค่าของเส้นสัญญาณ ดัดแปลง ณ เวลา $t_{(i,j)} \in \{\tau_i\}$ ใดๆ ซึ่งคำนวณจาก

$$\tilde{s}_{t_{(i,j)}} = \begin{cases} s_{t_{(i,j)}} + h_{t_{(i,j)}^{\min}} \left(d_{t_{(i,j)}}^{\min} \right)^K & , t_{(i,j)} \in \left\{ t_{(i,1)}, t_{(i,2)}, \ldots, t_{(i,j^*-1)} \right\} \\ s_{t_{(i,j)}} + h_{t_{(i,j)}^{\max}} \left(d_{t_{(i,j)}}^{\max} \right)^K & , t_{(i,j)} \in \left\{ t_{(i,j^*)}, t_{(i,j^*+1)}, \ldots, t_{(i,\theta_i-1)} \right\} \\ s_{t_{(i,j)}} & , t_{(i,j)} = t_{(i,\theta_i)} \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $K \geq 0$ เป็นพารามิเตอร์เรียกว่า <u>ค่าปรับความเว้า</u> ซึ่งมีผลปรับความเว้าของเส้นสัญญาณดัดแปลง โดยถ้า $K = 0$ เส้นสัญญาณดัดแปลงจะมีความเว้ามาก และถ้า $K \to \infty$ เส้นสัญญาณดัดแปลงจะลู่เข้าสู่เส้นสัญญาณจริง



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างกราฟเส้นสัญญาณดัดแปลง

เส้นกราฟของเส้นสัญญาณดัดแปลง (เส้นสีม่วง) จะมีลักษณะเว้นเข้าหาจุดต่ำสุดหรือจุดสูงสุดสัมพัทธ์ล่าสุดในคาบหนึ่งๆ

4.3 วิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง

ด้วยหลักการเดียวกับวิธีการซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิมที่กำหนดให้จุดที่เส้น MACD ตัดขึ้นเส้นสัญญาณเป็นจุดซื้อ และให้จุดที่เส้น MACD ตัดลงเส้นสัญญาณเป็นจุดขาย วิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงจะกำหนดให้จุดที่เส้น MACD ตัดขึ้นเส้นสัญญาณดัดแปลงเป็นจุดซื้อ และให้จุดที่เส้น MACD ตัดลงเส้นสัญญาณดัดแปลงเป็นจุดขาย โดยมีเงื่อนไขเพิ่มเติมว่าจะไม่มีการซื้อเกิดขึ้นหลังจากจุดซื้อของระบบซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิม (จุดตัดขึ้น)

นิยามที่ 4.8 เรียกจุด $t_{(i,j)} \in \{\tau_i\}$ ใดๆ ว่าเป็น<u>*จุดตัดขึ้นดัดแปลง*</u> จุดที่ k ในคาบ $\{\tau_i\}$ และเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ${}_i t^{\Pi_k}$ ถ้า $t_{(i,j)}$ เป็นจุดที่ k ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1) $m_{t_{(i,j)}} > \widetilde{s}_{t_{(i,j)}}$ และ $m_{t_{(i,j-1)}} < \widetilde{s}_{t_{(i,j-1)}}$

2) $m_{t_{(i,j)}} > \widetilde{s}_{t_{(i,j)}}$ และ $m_{t_{(i,j-1)}} = \widetilde{s}_{t_{(i,j-1)}}$ และ $m_{t_{(i,j-2)}} < \widetilde{s}_{t_{(i,j-2)}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

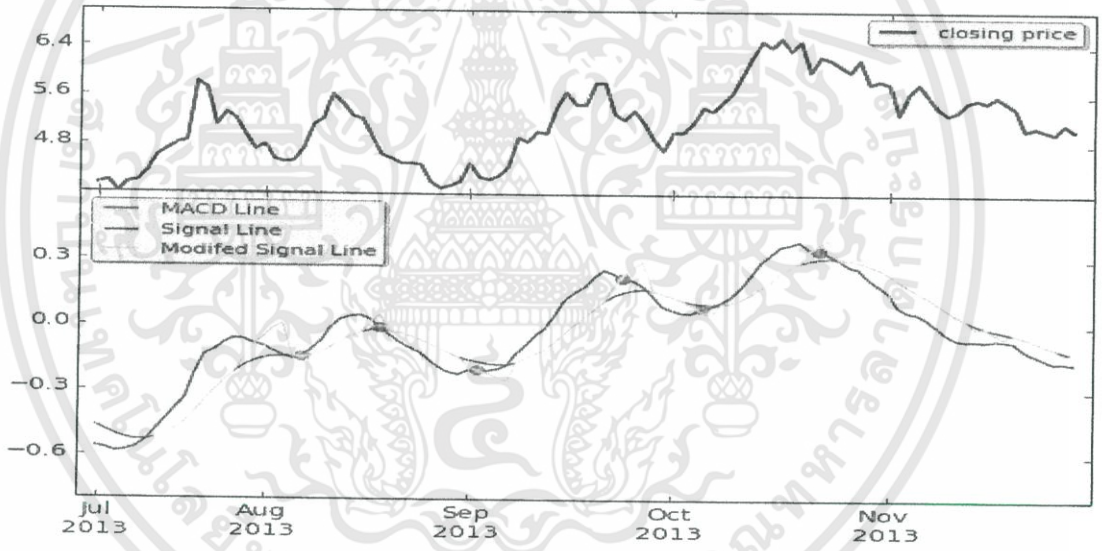
นิยามที่ 4.9 เรียกจุด $t_{(i,j)} \in \{\tau_i\}$ ใดๆ ว่าเป็น<u>จุดตัดลงดัดแปลง</u> จุดที่ k ในคาบ $\{\tau_i\}$ และเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ${}_it^{\Downarrow_k}$ ถ้า $t_{(i,j)}$ เป็นจุดที่ k ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1) $m_{t_{(i,j)}} < \widetilde{s}_{t_{(i,j)}}$ และ $m_{t_{(i,j-1)}} > \widetilde{s}_{t_{(i,j-1)}}$

2) $m_{t_{(i,j)}} < \widetilde{s}_{t_{(i,j)}}$ และ $m_{t_{(i,j-1)}} = \widetilde{s}_{t_{(i,j-1)}}$ และ $m_{t_{(i,j-2)}} > \widetilde{s}_{t_{(i,j-2)}}$

นิยามที่ 4.10 ให้ ${}_it^{\Uparrow_k}$ และ ${}_it^{\Downarrow_k}$ แทนจุดตัดขึ้นดัดแปลงและจุดตัดลงดัดแปลงจุดที่ k ที่เกิดขึ้นในคาบ $\{\tau_i\}$ ตามลำดับ และให้ $t^{\uparrow_i}$ แทนจุดตัดขึ้นที่ i <u>วิธีการขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง</u> คือวิธีการซื้อขายที่กำหนดการซื้อขาย $\left({}_it^{b_k}, {}_it^{s_k}, C\right),\ k=1,2,...,n_i$ โดยให้จุดซื้อคือจุด ${}_it^{b_k} = {}_it^{\Uparrow_k}$ ที่ซึ่ง ${}_it^{\Uparrow_k} \le t^{\uparrow_i}$ และมีจุดขายคือจุด ${}_it^{s_k} = {}_it^{\Downarrow_k}$ เมื่อ $C>0$ เป็นค่าคงที่ใดๆ

<u>เส้นสัญญาณดัดแปลง</u> (modified Signal Line) ที่มีลักษณะเว้าเข้าหาจุดสูงสุด-ต่ำสุดของเส้น MACD ในคาบหนึ่งๆ

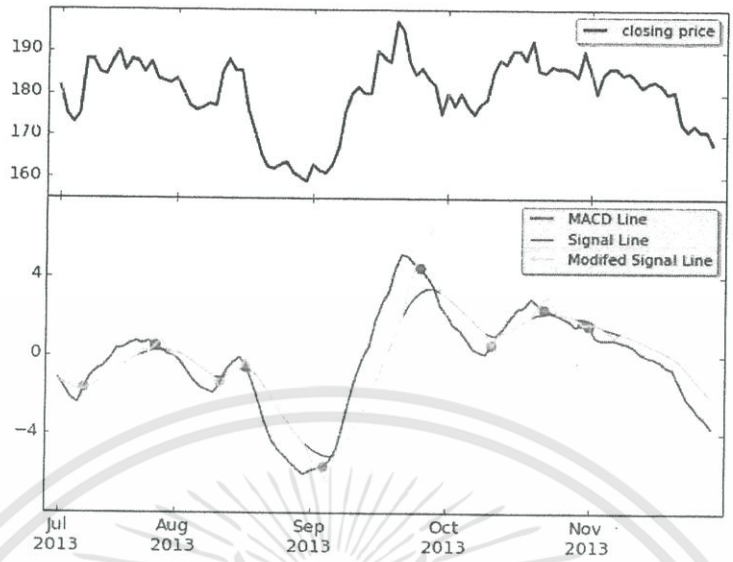


รูปที่ 4.2 รูปแสดงเส้นสัญญาณดัดแปลง

เส้นสัญญาณ ดัดแปลง (เส้นสีม่วง) จะมีลักษณะเว้าเข้าหาจุดสูงสุดหรือจุกต่ำสุดในคาบหนึ่งๆ การซื้อขายจะทำ ณ จุดเวลาที่เส้น MACD (เส้นสีแดง) ตัดกับเส้นสัญญาตัดแปลง (เส้นสีม่วง)

ตัวอย่างที่ 4.5 เมื่อทำการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงกับข้อมูลราคาปิดของหุ้น KBANK ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จะได้ว่ามีคาบการซื้อขายทั้งหมด 4 คาบ ดังรูปที่ 4.7 ผลกำไรในแต่ละคาบ อัตรากำไรสุทธิ และอัตราความสำเร็จแสดงดังตารางที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบด้วยวิธีการซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิม (ตารางที่ 4.2) จะสังเกตได้ว่าวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงสามารถทำให้อัตรากำไรเฉลี่ยสูงขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รูปแสดงจุดซื้อและจุดขายจากการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงกับหุ้น KBANK

เส้นสีแดงคือเส้น MACD เส้นสีน้ำเงินคือเส้นสัญญาณ เส้นสีม่วงคือเส้นสัญญาณดัดแปลง จุดกลมสีเขียวคือจุดซื้อ และจุดกลมสีแดงคือจุดขาย

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงกับหุ้น KBANK

คาบที่ (i)	ราคา ณ จุดซื้อ ($p_{i_{\uparrow}}$)	ราคา ณ จุดขาย ($p_{i_{\downarrow}}$)	อัตรากำไรสุทธิ ($_iP$)	ความสำเร็จ ($_iS$)
1	188.00	183.50	-0.02338	0
2	185.00	176.00	-0.04639	0
3	161.00	186.00	0.15527	1
4	185.00	185.00	0	0
อัตรากำไรเฉลี่ย = 0.02139			อัตราความสำเร็จ = 0.25	

การวัดความสำเร็จ และอัตรากำไรจะทำเมื่อจบ*คาบการซื้อขาย* ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่แบ่งโดยพิจารณาจากจุดตัดของเส้น MACD และเส้นสัญญาณ ในคาบหนึ่งอาจมี*การซื้อขาย* ได้มากกว่า 1 รอบ การซื้อขายในแต่ละรอบจะประกอบด้วยการซื้อหนึ่งครั้งและการขายหนึ่งครั้งด้วยจำนวนหุ้นทั้งหมดที่ซื้อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก

ในบทที่แล้วเราได้สร้างเส้นสัญญาณดัดแปลงเพื่อแก้ปัญหาการส่งสัญญาณการซื้อขายล่าช้า แต่เกิดผลกระทบที่ตามมาคือ การเกิดสัญญาณหลอก เพื่อลดการขาดทุนจากการซื้อขายที่เกิดจากสัญญาณหลอก เราจะใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซีอนุมาน ณ จุดซื้อในการซื้อขายครั้งนั้นๆ ว่าการซื้อขายครั้งนั้นมีความมั่นใจที่จะเป็นสัญญาณจริงเพียงใด และทำการซื้อขายในแต่ละครั้งโดยถ่วงน้ำหนักเงินทุนด้วยค่าความมั่นใจดังกล่าว ซึ่งจะช่วยลดขนาดของการขาดทุนจากการซื้อขายที่เกิดจากสัญญาณหลอก

5.1 ค่าความมั่นใจสัญญาณจริง

ในความเป็นจริง จะทราบว่าการซื้อขายครั้งใดๆ เป็นสัญญาณจริงหรือสัญญาณหลอกได้เมื่อการซื้อขายครั้งนั้นเสร็จสิ้นแล้วเท่านั้น แต่การตัดสินใจว่าจะซื้อขายหุ้นจำนวนเท่าไรจะต้องทำ ณ วันที่ซื้อซึ่งไม่ทราบว่าจะเป็นสัญญาณจริงหรือไม่ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจะนำตรรกศาสตร์ฟัซซีมาใช้ในการพิจารณา ณ วันที่ซื้อ ว่าการซื้อขายครั้งนั้นๆ มีความมั่นใจว่าจะเป็นสัญญาณจริงเพียงไร และระดับความมั่นใจดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้คำนวณน้ำหนักการซื้อขาย โดยจะสมมติว่าจุดซื้อเป็นจุดเวลาปัจจุบันและไม่ทราบข้อมูลราคาหลังจากนั้น นิยามของระดับความมั่นใจดังกล่าว และฟัซซีเซตต่างๆ ที่จะใช้พิจารณามีดังต่อไปนี้

กำหนดให้ $\left({}_{t}t^{b_k}, {}_{t}t^{s_k}, {}_{t}C^{k}\right)$ เป็นการซื้อขาย ครั้งที่ k ในคาบ $\{\tau_i\}$, $i = 1,2,...,r$

นิยามที่ 5.1 สมมติว่า ${}_{t}t^{s_k}$ เป็นเวลาขายที่ยังไม่ทราบค่า <u>*ค่าความมั่นใจสัญญาณจริง*</u> ของการซื้อขายครั้งที่ k ในคาบ $\{\tau_i\}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ${}_{t}z^{k}$ คือจำนวนจริงในช่วง $[0,1]$ ที่ใช้แสดงถึงความมั่นใจที่ $\left({}_{t}t^{b_k}, {}_{t}t^{s_k}, {}_{t}C^{k}\right)$ เป็นสัญญาณจริง ณ เวลา ${}_{t}t^{b_k}$

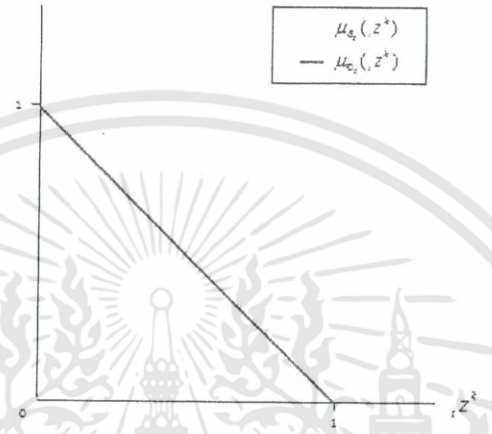
ในที่นี้ผู้วิจัยได้ออกแบบเซตฟัซซีแสดงระดับค่าความมั่นใจสัญญาณจริงของการซื้อขาย เป็น 2 เซตฟัซซี คือ

<u>*เซตฟัซซี TRADE-CONFIDENCE*</u> แทน เซตฟัซซีของค่าความมั่นใจสัญญาณจริง ${}_{t}z^{k}$ ที่มีค่ามาก แทนด้วยสัญลักษณ์ $\mathcal{C}_z$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซตฟัซซี TRADE-DOUBT แทน เซตฟัซซีของค่าความมั่นใจสัญญาณจริง ${}_{i}z^{k}$ ที่มีค่าน้อย แทนด้วยสัญลักษณ์ $\mathcal{D}_{z}$

ในที่นี้กำหนดให้ $\mathcal{C}_{z}=\langle 0,1,1\rangle$ และ $\mathcal{D}_{z}=\langle 0,0,1\rangle$ โดยที่ทั้งสองเซตฟัซซีสามารถเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 กราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระดับความมั่นใจสัญญาณจริง
เส้นสีส้มคือกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต TRADE-CONFIDENCE
เส้นสีน้ำเงินคือกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต TRADE-DOUBT

5.2 ข้อมูลที่ใช้ในการอนุมานค่าความมั่นใจสัญญาณจริง

การอนุมานแบบฟัซซีคือการแปลง*ข้อมูลที่ทราบค่า* จำนวนหนึ่งเพื่อให้*ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการทราบค่า* โดยใช้*กฎฟัซซี* เป็นเครื่องมือในการแปลงในที่นี้ ผลลัพธ์ที่เราต้องการทราบค่าคือค่าความมั่นใจสัญญาณจริง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่ทราบค่าที่จะใช้ในการอนุมาน ส่วนกฎฟัซซีจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ในงานวิจัยนี้ เราจะใช้ข้อมูลที่ทราบค่า 2 ชนิดในการอนุมานค่าความมั่นใจสัญญาณจริงของการซื้อขาย $\left({}_{i}t^{b_k},{}_{i}t^{s_k},{}_{i}C^{k}\right)$ ใดๆ ในคาบ $\{\tau_i\}$, $i=1,2,...,r$ ได้แก่

(1) ค่าความมั่นใจจุดต่ำสุด ณ เวลา ${}_{i}t^{b_k}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $d^{\min}_{{}_{i}t^{b_k}}$

(2) ค่าของ เส้น MACD ณ เวลา ${}_{i}t^{*b_k}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $m_{{}_{i}t^{*b_k}}$ เมื่อ ${}_{i}t^{*b_k}$ คือจุดต่ำสุดล่าสุดจากข้อมูลเท่าที่มี ณ เวลา ${}_{i}t^{b_k}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงข้อมูลทั้งสองโดยละเอียด โดยจะอธิบายถึงหลักการและเหตุผลในการใช้พร้อมทั้งนิยามฟัซซีเซตต่างๆ บนโดเมนของข้อมูลทั้งสองที่จะใช้ในการอนุมาน

5.2.1 ข้อมูลจากค่าความมั่นใจจุดต่ำสุด

สำหรับการซื้อขาย $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}\right)$ ใดๆ ในคาบ $\{\tau_i\}$, $i=1,2,...,r$ ให้ ${}_{i}t^{*b_k}$ แทนจุดต่ำสุดล่าสุดจากข้อมูลเท่าที่มี ณ เวลา ${}_{i}t^{b_k}$ และให้ $d^{\min}_{{}_{i}t^{b_k}} = \left(1 - \frac{h_{{}_{i}t^{b_k}}}{h_{{}_{i}t^{*b_k}}}\right)$ แทนค่าความมั่นใจจุดต่ำสุด ณ เวลา ${}_{i}t^{b_k}$ เมื่อ $h_{{}_{i}t^{b_k}} = m_{{}_{i}t^{b_k}} - s_{{}_{i}t^{b_k}}$ และ $h_{{}_{i}t^{*b_k}} = m_{{}_{i}t^{*b_k}} - s_{{}_{i}t^{*b_k}}$ หลักการและเหตุผลในการเลือกนำค่า $d^{\min}_{{}_{i}t^{b_k}}$ มาใช้เป็นข้อมูลในการอนุมานความมั่นใจสัญญาณจริงของ $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}\right)$ มีดังนี้

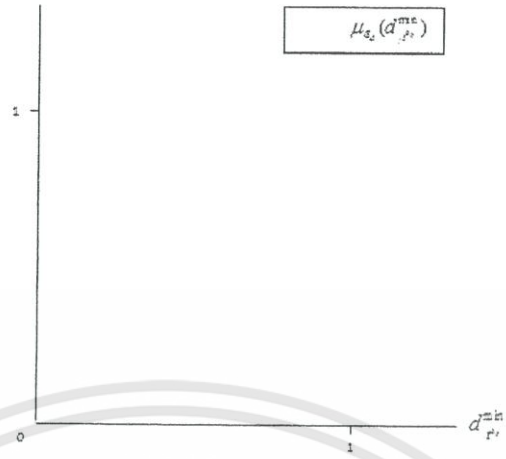
เนื่องจากค่าความมั่นใจจุดต่ำสุดจะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าของ เส้น MACD ณ เวลาปัจจุบันมีค่าเข้าใกล้เส้นสัญญาณ ดั้งนั้นจึงสามารถมองได้ว่าค่าความมั่นใจจุดต่ำสุดนี้เป็นค่าความมั่นใจที่จุดเวลาปัจจุบันเป็นจุดที่เส้น MACD ตัดขึ้นเส้นสัญญาณได้เช่นกัน และถ้าหากจุดเวลาปัจจุบันเป็นจุดเวลาซื้อของการซื้อขายครั้งหนึ่งๆ และจุดนั้นเป็นจุดตัดขึ้น จะสามารถตีความได้ว่าการซื้อขายครั้งนั้นเป็นสัญญาณจริงเช่นกัน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงเลือกนำค่า $d^{\min}_{{}_{i}t^{b_k}}$ มาใช้เป็นข้อมูลในการอนุมานความมั่นใจสัญญาณจริงของ $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}\right)$ โดยจะตีความว่าค่า $d^{\min}_{{}_{i}t^{b_k}}$ ที่มากขึ้นจะส่งผลต่อระดับความมั่นใจสัญญาณจริงที่มากขึ้นด้วย โดยกำหนดให้

<u>ฟัซซีเซต MIN-CONFIDENCE</u> แทน เซตฟัซซีของค่าความมั่นใจจุดต่ำสุด $d^{\min}_{{}_{i}t^{b_k}}$ ที่มีค่ามาก และแทนด้วยสัญลักษณ์ $\mathcal{C}_d$ ในที่นี้จะกำหนดให้ $\mathcal{C}_d = \langle 0,1,1 \rangle$

เซตฟัซซี $\mathcal{C}_d = \langle 0,1,1 \rangle$ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 กราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต MIN-CONFIDENCE

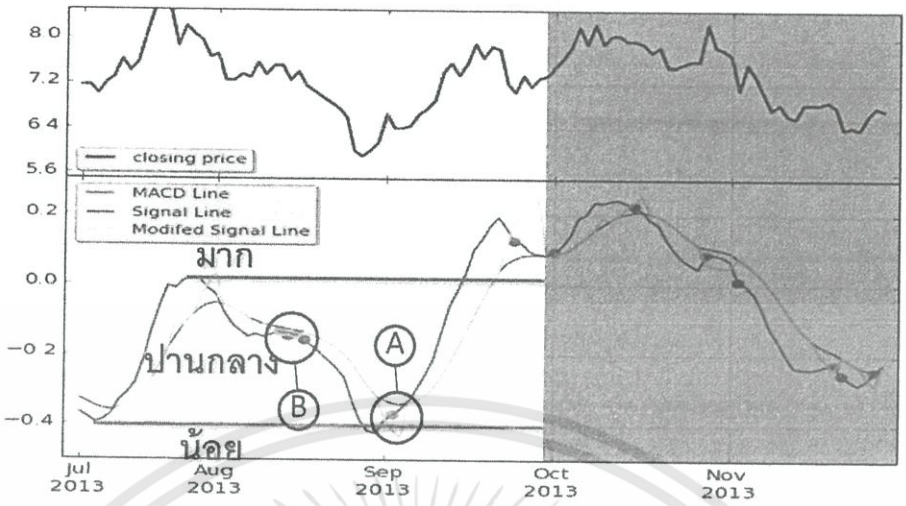
เส้นสีส้มคือกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต MIN-CONFIDENCE

5.2.2 ข้อมูลจากค่าของเส้น MACD ณ จุดต่ำสุดจากข้อมูลเท่าที่มี

สำหรับการซื้อขาย $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}\right)$ ใดๆ ในคาบ $\{\tau_i\}$, $i=1,2,...,r$ ให้ $m_{{}_{i}t^{*b_k}}$ แทนค่าของเส้น MACD ณ เวลา ${}_{i}t^{*b_k}$ โดยที่ ${}_{i}t^{*b_k}$ คือจุดต่ำสุดล่าสุดจากข้อมูลเท่าที่มี ณ เวลา ${}_{i}t^{b_k}$ หลักการและเหตุผลในการเลือกนำค่า $m_{{}_{i}t^{*b_k}}$ มาใช้เป็นข้อมูลในการอนุมานความมั่นใจสัญญาณจริงของ $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}\right)$ มีดังนี้

จากการทดสอบระบบซื้อขาย เส้นสัญญาณ ดัดแปลง เราสังเกตว่าถ้าเราสามารถแบ่งค่าของเส้น MACD คาบออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ มาก ปานกลาง และน้อย เราจะสามารถกล่าวได้ว่าถ้า $m_{{}_{i}t^{*b_k}}$ มีค่าอยู่ในระดับมาก หรือปานกลาง การซื้อขาย $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}\right)$ มักจะเป็นสัญญาณหลอก แต่ถ้า $m_{{}_{i}t^{*b_k}}$ มีค่าอยู่ในระดับน้อย การซื้อขาย $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}, {}_{i}w^{k}\right)$ ย่อมจะมีโอกาสเป็นสัญญาณจริงได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 รูปแสดงแนวคิดการแบ่งค่าของเส้น MACD ออกเป็นสามระดับ

วงกลม B คือแสดงถึงช่วงที่ เส้น MACD มีค่าปานกลาง ซึ่งการซื้อขายในช่วงนี้มักจะเป็นสัญญาณหลอก วงกลม A แสดงถึงช่วงที่ เส้น MACD มีค่าน้อย ซึ่งการซื้อขายในช่วงนี้มีโอกาสที่จะเป็นสัญญาณจริงได้มากกว่า

ผู้วิจัยได้นำแนวคิดเรื่องค่าขอบเขตการซื้อล้น (Overbought) และขอบเขตการขายล้น (Oversold) มาใช้ในการแบ่งค่าของ เส้น MACD ออกเป็น 3 ระดับดังกล่าว ค่าขอบเขตการซื้อล้นคือค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการทำนายว่า เส้น MACD มีค่ามากเกินไปและกำลังจะเปลี่ยนจากแนวโน้มขึ้นไปสู่แนวโน้มลง ในทำนองเดียวกัน ค่าขอบเขตการขายล้นคือค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการทำนายว่า เส้น MACD มีค่าน้อยเกินไปและกำลังจะเปลี่ยนจากแนวโน้มลงไปสู่แนวโน้มขึ้น ค่าขอบเขตการซื้อล้นและค่าขอบเขตการขายล้นนิยมกำหนดโดยใช้จุดสูงสุดและจุดต่ำสุดของคาบก่อนๆ หน้า

นิยามที่ 5.3 ขอบเขตการซื้อล้นในคาบ $\{\tau,\}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ${}_{t}M^{high}$ คือค่าของ เส้น MACD ณ จุดสูงสุดล่าสุดของคาบก่อนหน้าจำนวน R คาบ

$$ {}_{t}M^{high} = m_{(t-R)^{t}}{}^{\max} \tag{5.3}$$

โดยที่ $R \geq 1$ เป็นพารามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 5.4 ค่าขอบเขตการขายล้นในคาบ $\{\tau_i\}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ${}_iM^{low}$ คือค่าของ เส้น MACD ณ จุดต่ำสุดล่าสุดของคาบก่อนหน้าจำนวน R คาบ

$$ {}_iM^{low} = m_{\underset{(i-R)}{t^{\min}}} \tag{5.4}$$

โดยที่ $R \geq 1$ เป็นพารามิเตอร์

ในงานวิจัยจะแบ่งค่าของ เส้น MACD ในคาบหนึ่งๆ ออกเป็นสามระดับคือ เส้น MACD ระดับสูง (MACD-HIGH), เส้น MACD ระดับปานกลาง (MACD-MEDIUM) และ เส้น MACD ระดับต่ำ (MACD-LOW) โดยกำหนดด้วยฟัซซีเซตดังนี้

$\mathcal{H}_m = \left\langle {}_iM^{1/2}, {}_iM^{high}, 9999, 9999 \right\rangle$ แทนเซตฟัซซี MACD ระดับสูง

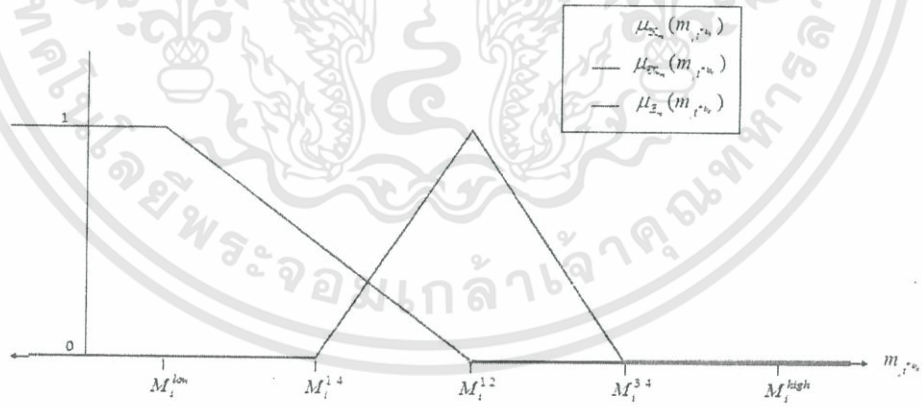
$\mathcal{M}_m = \left\langle {}_iM^{1/4}, {}_iM^{1/2}, {}_iM^{3/4} \right\rangle$ แทนเซตฟัซซี MACD ระดับปานกลาง

$\mathcal{L}_m = \left\langle -9999, -9999, {}_iM^{low}, {}_iM^{1/2} \right\rangle$ แทนเซตฟัซซี MACD ระดับต่ำ

โดยที่

${}_iM^{1/2} = \dfrac{{}_iM^{high} + {}_iM^{low}}{2}$, ${}_iM^{1/4} = \dfrac{{}_iM^{high} + 3\,{}_iM^{low}}{4}$ และ ${}_iM^{3/4} = \dfrac{3\,{}_iM^{high} + {}_iM^{low}}{4}$

เซตฟัซซี $\mathcal{H}_m$, $\mathcal{M}_m$ และ $\mathcal{L}_m$ เขียนแสดงได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.4 กราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าของเส้น MACD
เส้นสีส้มคือกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต MACD-HIGH
เส้นสีน้ำเงินคือกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต MACD-LOW
และเส้นสีน้ำแดงคือกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต MACD-MEDIUM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 กฎฟัซซี

จากหลักการและแนวความคิดในหัวข้อที่ 5.1 และ 5.2 นำไปสู่การสร้างกฎฟัซซีสำหรับการอนุมานค่าความมั่นใจสัญญาณจริงของการซื้อขาย $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}\right)$ ในคาบ $\{\tau_i\},\ i=1,2,...,r$ กำหนดให้

${}_{i}t^{*b_k}$ จุดต่ำสุดล่าสุดจากข้อมูลเท่าที่มี ณ เวลา ${}_{i}t^{b_k}$

$m_{{}_{i}t^{*b_k}}$ แทนค่าของ เส้น MACD ณ เวลา ${}_{i}t^{*b_k}$

$d^{\min}_{{}_{i}t^{b_k}}$ แทนค่าความมั่นใจจุดต่ำสุด ณ เวลา ${}_{i}t^{b_k}$

${}_{i}z^{k}$ แทนค่าความมั่นใจสัญญาณจริงของการซื้อขาย $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}\right)$

กำหนดกฎฟัซซี ดังนี้

Rule-1: IF $d^{\min}_{{}_{i}t^{b_k}}$ IS MIN-CONFIDENCE THEN ${}_{i}z^{k}$ IS TRADE-CONFIDENCE

Rule-2: IF $m_{{}_{i}t^{*b_k}}$ IS MACD-LOW THEN ${}_{i}z^{k}$ IS TRADE-CONFIDENCE

Rule-3: IF $m_{{}_{i}t^{*b_1}}$ IS MACD-HIGH OR $m_{{}_{i}t^{*b_1}}$ IS MACD-MEDIUM THEN ${}_{i}z^{1}$ IS TRADE-DOUBT

5.4 การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก

กำหนดให้ $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}\right)$ แทนการซื้อขายครั้งที่ k ในคาบ $\{\tau_i\},\ i=1,2,...,r$

นิยามที่ 5.3 กำหนดให้ ${}_{i}w^{k}\in[0,1]$ เรียกสี่สิ่งอันดับ $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}, {}_{i}w^{k}\right)$ ว่า*การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก* ครั้งที่ k ในคาบ $\{\tau_i\}$ และเรียก ${}_{i}w^{k}$ ว่าน้ำหนักการซื้อขายครั้งที่ k ในคาบ $\{\tau_i\}$

จากบทนิยามที่ 5.2 เงินลงทุน ครั้งที่ k ในคาบ $\{\tau_i\}$ เท่ากับ ${}_{i}C^{k}{}_{i}w^{k}$ บาท
ดังนั้น ผลกำไรจากการซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนักคำนวณโดย

$${}_{i}\mathrm{P}^{k}=\left(\frac{p_{{}_{i}t^{s_k}}}{p_{{}_{i}t^{b_k}}}-1\right){}_{i}C^{k}{}_{i}w^{k}$$

ถ้ากำหนดให้ ${}_{i}z^{k}\in[0,1]$ เป็นค่าความมั่นใจสัญญาณจริงของการซื้อขาย $\left({}_{i}t^{b_k}, {}_{i}t^{s_k}, {}_{i}C^{k}\right)$ ในคาบ $\{\tau_i\}$ เนื่องจากในการอนุมานด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีนั้น จะมีการเลือกให้ค่า ${}_{i}z^{k}$ เป็นจุดศูนย์ถ่วงของฟังก์ชันค่าความจริงโดยรวม ดังนั้นค่า ${}_{i}z^{k}$ จะมากที่สุดในกรณีที่ฟังก์ชันค่าความจริงมีเท่ากับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต TRADE-CONFIDENCE และจะน้อยที่สุดในกรณีที่ฟังก์ชันค่าความจริงมีเท่ากับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต TRADE-DOUBT กล่าวคือค่ามากที่สุดของ ${}_{i}z^{k}$ คือ จุดศูนย์ถ่วงของฟัซซีเซต TRADE-CONFIDENCE และค่าน้อยที่สุดของ ${}_{i}z^{k}$ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดศูนย์ถ่วงของฟัซซีเซต TRADE-DOUBT เพื่อให้ค่าน้ำหนักการซื้อขายมีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$ จะทำการแปลงค่าความมั่นใจสัญญาณจริงเป็นค่าน้ำหนักซื้อขาย ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะนิยามค่าน้ำหนักซื้อขาย ${}_{t}w^{k}$ โดยกำหนดให้

$$ {}_{t}w^{k} = \frac{{}_{t}z^{k} - \mu^{*}_{\mathcal{D}_z}}{\mu^{*}_{\mathcal{C}_z} - \mu^{*}_{\mathcal{D}_z}} \tag{5.2} $$

เมื่อ $\mu^{*}_{\mathcal{D}_z}$ และ $\mu^{*}_{\mathcal{C}_z}$ เป็นค่าจริงจากการดีฟัซซีฟิเคชันเซตฟัซซี $\mathcal{D}_z$ และ $\mathcal{C}_z$ โดยวิธีจุดศูนย์ถ่วงตามลำดับ

5.5 ตัวอย่างการอนุมานค่าความมั่นใจสัญญาณจริงและการแปลงค่าความมั่นใจสัญญาณจริงเป็นค่าน้ำหนักการซื้อขาย

เมื่อทดสอบระบบซื้อขาย เส้นสัญญาณ ดัดแปลงด้วยพารามิเตอร์ $K = 1$ กับข้อมูลในอดีตของหุ้น MCOT ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จะเกิดการซื้อขายดังแสดงในรูปที่ 5.5

รูปที่ 5.5 รูปแสดงจุดซื้อขายจากการทดสอบระบบซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงกับหุ้น MCOT

จากรูปที่ 5.5 สมมติให้ช่วงเวลาในพื้นที่สว่างคือคาบ $\{\tau_t\}$ จะเห็นว่าในคาบมีการซื้อขายทั้งสิ้น 3 ครั้ง ซึ่งจะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\left({}_{t}t^{b_1}, {}_{t}t^{s_1}, C\right), \left({}_{t}t^{b_2}, {}_{t}t^{s_2}, C\right), \left({}_{t}t^{b_3}, {}_{t}t^{s_3}, C\right)$ จะเห็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชัดว่าการซื้อขาย $\left({}_{i}t^{b_1}, {}_{i}t^{s_1}, C\right)$ และ $\left({}_{i}t^{b_2}, {}_{i}t^{s_2}, C\right)$ เป็นสัญญาณหลอก และ $\left({}_{i}t^{b_3}, {}_{i}t^{s_3}, C\right)$ เป็นสัญญาณจริง

เมื่อทดสอบโดยใช้การซื้อขายแบบธรรมดา (ไม่ถ่วงน้ำหนัก) โดยให้ $C = 100$ ผลกำไรของการซื้อขายแต่ละครั้ง และอัตรากำไรสุทธิในคาบแสดงดังตารางที่ 5.5 และเมื่อทดสอบโดยใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนักจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงตัวอย่างผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง

การซื้อขายครั้งที่ (k)	ราคา ณ วันที่ซื้อ ($p_{{}_{i}t^{b_k}}$)	ราคา ณ วันที่ขาย ($p_{{}_{i}t^{s_k}}$)	ผลกำไร ($_{i}\mathcal{P}^{k}$)
1	40.75	39.75	-2.45399
2	40.00	39.50	-1.24999
3	33.25	33.75	1.50376
อัตรากำไรสุทธิในคาบ ($_{i}P$) = -0.02122			

ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงตัวอย่างผลลัพธ์จากการทดสอบระบบซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงที่ใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก

การซื้อขายครั้งที่ (k)	ราคา ณ วันที่ซื้อ ($p_{{}_{i}t^{b_k}}$)	ราคา ณ วันที่ขาย ($p_{{}_{i}t^{s_k}}$)	น้ำหนักการซื้อขาย ($_{i}w^{k}$)	ผลกำไร ($_{i}\mathcal{P}^{k}$)
1	40.75	39.75	0.38247	-0.93858
2	40.00	39.50	0.38284	-0.47855
3	33.25	33.75	1.0	1.50376
อัตรากำไรสุทธิในคาบ ($_{i}P$) = 0.00085				

ในหัวข้อนี้ จะแสดงตัวอย่างการอนุมานค่าความมั่นใจสัญญาณจริง ${}_{i}z^{1}$ ของการซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก $\left({}_{i}t^{b_1}, {}_{i}t^{s_1}, C, {}_{i}w^{1}\right)$ และการแปลง ${}_{i}z^{1}$ เป็นน้ำหนักการซื้อขาย ${}_{i}w^{1}$ โดยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

(1) การอนุมานในประพจน์เงื่อนไขแบบฟัซซีแต่ละข้อ

(2) การอนุมานหาฟังก์ชันค่าความจริงโดยรวมจากกฎฟัซซี

(3) การเลือกค่าความมั่นใจสัญญาณจริง ${}_{i}z^{1}$ จากกฎฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

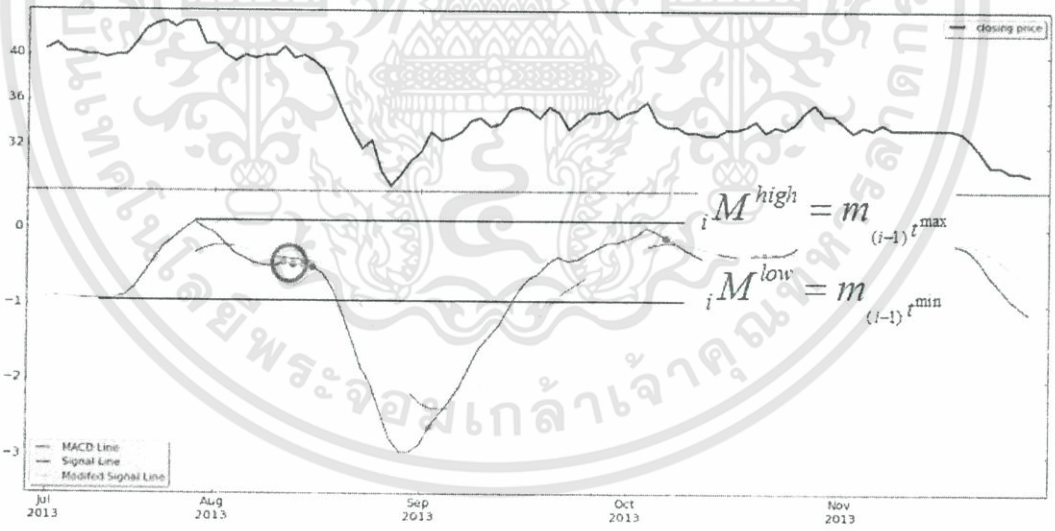
(4) การแปลงค่าความมั่นใจสัญญาณจริง ${}_{i}z^{1}$ ไปเป็นค่าน้ำหนักการซื้อขาย ${}_{i}w^{1}$

ค่าความมั่นใจสัญญาณจริงและน้ำหนักการซื้อขายของการซื้อขายครั้งอื่นๆ สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกัน ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซีสามารถดูได้ในหัวข้อ 2.1 ถึง 2.9

ข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการอนุมานค่า ${}_{i}z^{1}$ แสดงดังตารางที่ 5.7 เมื่อขอบเขตการซื้อล้นและขอบเขตการขายล้นกำหนดโดยใช้จุดสูงสุดล่าสุดและจุดต่ำสุดล่าสุดของคาบ $\{\tau_{i-1}\}$ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงข้อมูลที่จำเป็นในตัวอย่างการอนุมานสัญญาณจริง

ค่าความมั่นใจจุดต่ำสุด ($d_{{}_{i}t^{\min}}$)	ค่าของ เส้น MACD ณ จุดต่ำสุดจากข้อมูลเท่าที่มี ($m_{{}_{i}t^{*\min}}$)	ค่าขอบเขตการซื้อล้น (${}_{i}M^{high}$)	ค่าขอบเขตการขายล้น (${}_{i}M^{low}$)
0.53478	-0.49455	0.08829	-0.93989



รูปที่ 5.14 รูปแสดงค่าขอบเขตการซื้อล้นและค่าขอบเขตการขายล้นที่กำหนดโดยจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดล่าสุดของคาบก่อนหน้า

(1) การอนุมานในประพจน์เงื่อนไขแบบฟัซซีแต่ละข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพิจารณาหาค่าความจริงของประพจน์ผลในประพจน์เงื่อนไข (R1) (R2) และ (R3) ในกฎฟัซซีทีละข้อดังนี้

ประพจน์เงื่อนไข (R1)

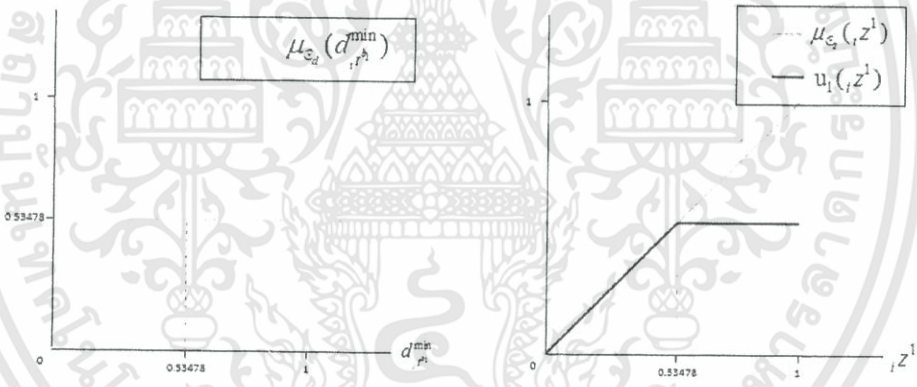
If $d_{i^{th}}^{\min}$ is MIN-CONFIDENCE then ${}_{i}z^{1}$ IS TRADE-CONFIDENCE

มีประพจน์เหตุคือ $d_{i^{th}}^{\min}$ is MIN-CONFIDENCE ซึ่งมีค่าความจริงคือ

$$\mu_{\mathcal{C}_d}(d_{i^{th}}^{\min}) = \mu_{\mathcal{C}_d}(0.53478) = 0.53478$$

และมีประพจน์ผลคือ ${}_{i}z^{1}$ IS TRADE-CONFIDENT ซึ่งเมื่อให้ u_1 แทนฟังก์ชันค่าความจริง จะได้ว่าค่าความจริงสำหรับทุกๆ ${}_{i}z^{1} \in [0,1]$ คำนวณโดย

$$u_1({}_{i}z^{1}) = \min\left\{\mu_{\mathcal{C}_d}(d_{i^{th}}^{\min}), \mu_{\mathcal{C}_z}({}_{i}z^{1})\right\} = \min\left\{0.53478, \mu_{\mathcal{C}_z}({}_{i}z^{1})\right\}$$



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงฟังก์ชันค่าความจริงจากการอนุมานในประพจน์เงื่อนไขแบบฟัซซี (R1)

(ซ้าย) เส้นสีส้มคือเส้นกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต MIN-CONFIDENCE โดยค่าความมั่นใจจุดต่ำสุด $d_{i^{th}}^{\min} = 0.53478$ *มีค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต MIN-CONFIDENCE เท่ากับ*

$$\mu_{\mathcal{C}_d}(d_{i^{th}}^{\min}) = \mu_{\mathcal{C}_d}(0.53478) = 0.53478$$

(ขวา) เส้นสีเทาคือเส้นกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต TRADE-CONFIDENCE เส้นสีดำคือเส้นกราฟของฟังก์ชันค่าความจริง $u_1 : u_1({}_{i}z^{1}) = \min\left\{0.53478, \mu_{\mathcal{C}_z}({}_{i}z^{1})\right\}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประพจน์เงื่อนไข R2

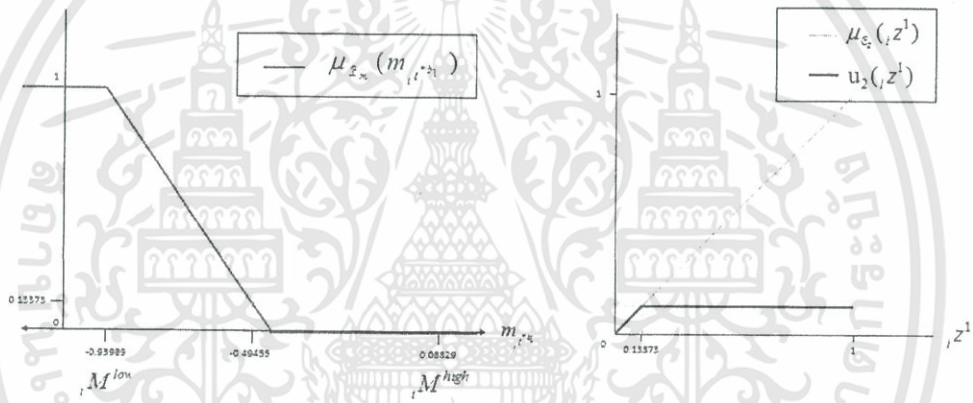
If m_{i,t^*h_1} is MACD-LOW then $_iz^1$ IS TRADE-CONFIDENCE

มีประพจน์เหตุคือ m_{i,t^*h_1} is MACD-LOW ซึ่งมีค่าความจริงคือ

$$\mu_{\underline{S}_m}(m_{i,t^*h_1}) = \mu_{\underline{S}_m}(-0.49455) = 0.13373$$

และมีประพจน์ผลคือ $_iz^1$ is TRADE-CONFIDENT ซึ่งเมื่อให้ u_2 แทนฟังก์ชันค่าความจริง จะได้ว่าค่าความจริงสำหรับทุกๆ $_iz^1 \in [0,1]$ คำนวณโดย

$$u_2(_iz^1) = \min\left\{\mu_{\underline{S}_m}(m_{i,t^*h_1}), \mu_{\underline{C}_z}(_iz^1)\right\} = \min\left\{0.13373, \mu_{\underline{C}_z}(_iz^1)\right\}$$



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงฟังก์ชันค่าความจริงจากการอนุมานในประพจน์เงื่อนไขแบบฟัซซี (R2)

(ซ้าย) เส้นสีฟ้าคือเส้นกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต MACD-LOW โดยค่าของเส้น MACD $m_{i,t^*h_1} = -0.49455$ มีค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต MACD-LOW เท่ากับ

$$\mu_{\underline{S}_m}(m_{i,t^*h_1}) = \mu_{\underline{S}_m}(-0.49455) = 0.13373$$

(ขวา) เส้นสีเทาคือเส้นกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต TRADE-CONFIDENCE เส้นสีดำคือเส้นกราฟของฟังก์ชันค่าความจริง $u_2 : u_2(_iz^1) = \min\left\{0.13373, \mu_{\underline{C}_z}(_iz^1)\right\}$

ประพจน์เงื่อนไข R3

If m_{i,t^*h_1} is MACD-HIGH or m_{i,t^*h_1} is MACD-MEDIUM then $_iz^1$ is TRADE-DOUBT

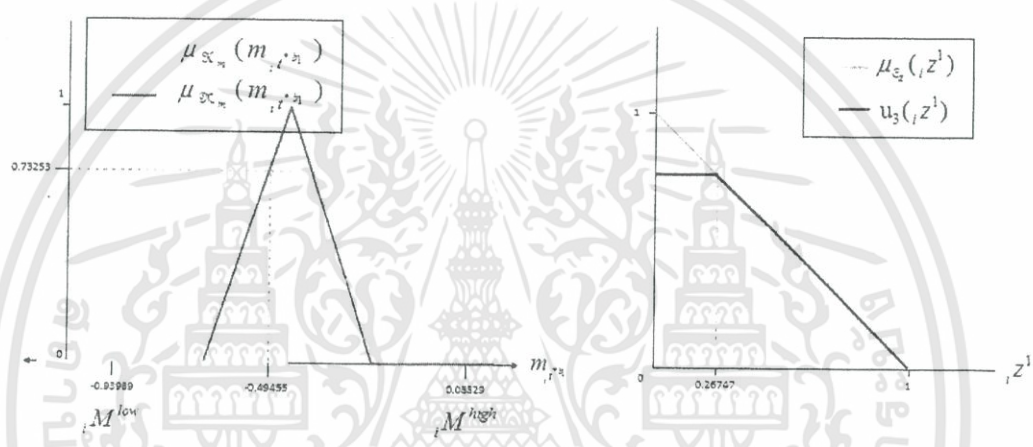
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีประพจน์เหตุคือ $m_{,t^*h_1}$ is MACD-HIGH or $m_{,t^*h_1}$ is MACD-MEDIUM ซึ่งมีค่าความจริงคือ

$$\max\left\{\mu_{\mathfrak{K}_m}(m_{,t^*h_1}), \mu_{\mathfrak{M}_m}(m_{,t^*h_1})\right\} = \max\{0, 0.73253\} = 0.73253$$

และมีประพจน์ผลคือ ${}_iz^1$ IS TRADE-DOUBT ซึ่งเมื่อให้ u_3 แทนฟังก์ชันค่าความจริง จะได้ว่าค่าความจริงสำหรับทุกๆ ${}_iz^1 \in [0,1]$ คำนวณโดย

$$u_3({}_iz^1) = \min\left\{\max\left\{\mu_{\mathfrak{K}_m}(m_{,t^*h_1}), \mu_{\mathfrak{M}_m}(m_{,t^*h_1})\right\}, \mu_{\mathfrak{L}_z}({}_iz^1)\right\} = \min\left\{0.73253, \mu_{\mathfrak{L}_z}({}_iz^1)\right\}$$



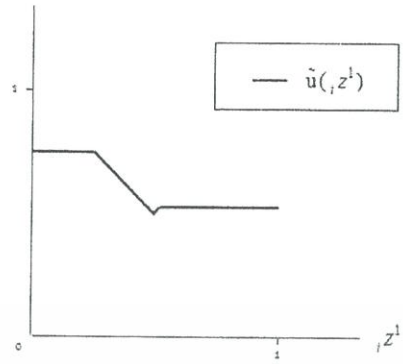
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงฟังก์ชันค่าความจริงจากการอนุมานในประพจน์เงื่อนไขแบบฟัซซี (R3)
(ซ้าย) เส้นสีส้มคือเส้นกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต MACD-HIGH เส้นสีแดงคือเส้นกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต MACD-MEDIUM โดยประพจน์เหตุในประพจน์เงื่อนไข (R3) มีค่าความจริงเท่ากับ $\max\left\{\mu_{\mathfrak{K}_m}(m_{,t^*h_1}), \mu_{\mathfrak{M}_m}(m_{,t^*h_1})\right\} = 0.73253$
(ขวา) เส้นสีเทาคือเส้นกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต TRADE-DOUBT เส้นสีดำคือเส้นกราฟของฟังก์ชันค่าความจริง $u_3 : u_3({}_iz^1) = \min\left\{0.73253, \mu_{\mathfrak{L}_z}({}_iz^1)\right\}$

(2) การอนุมานหาฟังก์ชันค่าความจริงโดยรวมจากกฎฟัซซี

เมื่อให้ $\tilde{u}$ แทนฟังก์ชันค่าความจริงโดยรวม จะได้ว่าค่าความจริงโดยรวมสำหรับทุกๆ ${}_iz^1 \in [0,1]$ คำนวณโดย

$$\tilde{u}({}_iz^1) = \max\left\{u_1({}_iz^1), u_2({}_iz^1), u_3({}_iz^1)\right\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงฟังก์ชันค่าความจริงโดยรวม

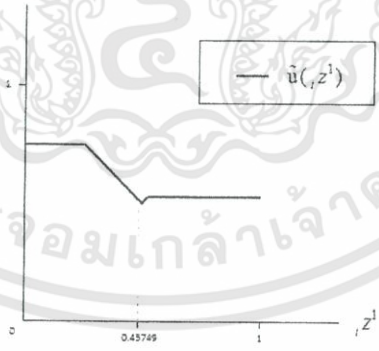
เส้นสีดำคือเส้นกราฟของฟังก์ชันค่าความจริงโดยรวมที่คำนวณมาจากฟังก์ชั่นค่าความจริง u_1 u_2 *และ* u_3 *(เส้นสีเทา)*

(3) การเลือกค่าความมั่นใจสัญญาณจริง $_i z^1$ จากฟังก์ชันค่าความจริงโดยรวม

ให้ $\tilde{u}^*$ แทนจุดศูนย์ถ่วงของฟังก์ชันค่าความจริงโดยรวม $\tilde{u}$ จะได้

$$\tilde{u}^* = \frac{\int_0^1 {}_i z^1 \, \tilde{u}(_i z^1) \, d \, {}_i z^1}{\int_0^1 \tilde{u}(_i z^1) \, d \, {}_i z^1} = 0.45749$$

วิธีการคำนวณจุดศูนย์ถ่วงแบบประมาณสามารถดูได้ในหัวข้อ 2.8 ในที่นี้เขียนโดยใช้สัญลักษณ์ปริพันธ์แทนที่จะใช้สัญลักษณ์ผลรวม (summation) เพื่อลดความซับซ้อนในการเขียน



รูปที่ 5.9 รูปแสดงจุดศูนย์ถ่วงของฟังก์ชันค่าความจริงโดยรวม

จุดศูนย์ถ่วงของฟังก์ชันค่าความจริงโดยรวมจากการอนุมานในกฎฟัซซีมีค่ากับ 0.45749

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) การแปลงค่าความมั่นใจสัญญาณจริง ${}_i z^1$ ไปเป็นค่าน้ำหนักการซื้อขาย ${}_i w^1$

เมื่อเลือกให้ ${}_i z^1 = \tilde{u}^* = 0.45749$ เป็นค่าความมั่นใจสัญญาณจริงของการซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก $\left({}_i t^{b_1}, {}_i t^{s_1}, C, {}_i w^1\right)$ จะสามารถคำนวณน้ำหนักการซื้อขาย ${}_i w^1$ ได้คือ

$${}_i w^1 = \frac{{}_i z^1 - \mu^*_{\mathcal{D}_z}}{\mu^*_{\mathcal{C}_z} - \mu^*_{\mathcal{D}_z}} = \frac{0.45749 - 0.33}{0.66 - 0.33} = 0.38633$$

เมื่อ $\mu^*_{\mathcal{D}_z}$ คือจุดศูนย์ถ่วงของฟัซซีเซต $\mathcal{D}_z$ และ $\mu^*_{\mathcal{C}_z}$ คือจุดศูนย์ถ่วงของฟัซซีเซต $\mathcal{C}_z$ สังเกตว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากตารางที่ 5.7 เล็กน้อยเนื่องจากการปัดเศษทศนิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

เมื่อทำการทดสอบวิธีการซื้อขายต่างๆ ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยทดสอบกับหุ้นแต่ละตัวในกลุ่ม SET-100 ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 และวัดผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราความสำเร็จและอัตรากำไรเฉลี่ยจากการทดสอบหุ้นแต่ละตัว ได้ผลลัพธ์ดังนี้

6.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง

อัตราความสำเร็จและอัตรากำไรเฉลี่ยจากการทดสอบด้วยค่าปรับเว้า K ต่างๆ แสดงในตารางที่ 6.1

K	อัตราความสำเร็จ	อัตรากำไรเฉลี่ย
0.1	0.57257	0.03280
0.2	0.53819	0.02796
0.4	0.50243	0.02469
0.6	0.48090	0.02347
0.8	0.45156	0.02273
1.0	0.45122	0.02220
1.2	0.43785	0.02051
1.4	0.43785	0.02022

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง

จากตารางที่ 6.1 จะสังเกตได้ว่าค่า K ยิ่งมีค่าน้อยจะยิ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น โดยผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อให้ $K = 0.1$ ได้อัตราความสำเร็จเท่ากับ 0.57143 และอัตรากำไรเฉลี่ยเท่ากับ 0.02598 ทั้งนี้เนื่องมาจากเส้น MACD ของหุ้นในกลุ่ม SET-100 มีความราบเรียบมาก เกิดสัญญาณหลอกน้อยครั้ง จึงสามารถเลือกค่า K ที่มีค่าน้อยเพื่อมุ่งไปที่การทำให้สัญญาณซื้อขายเกิดเร็วที่สุด ซึ่งส่งผลให้ได้กำไรมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงโดยใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก

อัตราความสำเร็จและอัตรากำไรเฉลี่ยจากการทดสอบด้วยค่าพารามิเตอร์ K และ R ต่างๆ แสดงในตารางที่ 6.2

K	R	อัตราความสำเร็จ	อัตรากำไรเฉลี่ย
0.1	1	0.61018	0.03788
0.5	1	0.55228	0.03163
1.0	1	0.52158	0.03129
0.1	2	0.55313	0.02269
0.5	2	0.50520	0.02100
1.0	2	0.45938	0.02030

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงโดยใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก

จากตารางที่ 4-2 จะเห็นว่าในการทดสอบที่ R เท่ากัน ค่า K ยิ่งน้อยจะยิ่งให้ผลลัพธ์ที่ดี สอดคล้องกับการทดสอบในหัวข้อ 6.1 โดยผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อให้ $K=0.1$ และ $R=2$ ได้ว่า อัตราความสำเร็จคือ 0.60251 และอัตรากำไรเฉลี่ยคือ 0.03065 อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าค่า R ส่งผลอย่างไรต่อผลลัพธ์เพราะข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบยังน้อยเกินไป

6.3 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อขายต่างๆ

ตารางที่ 6.3 แสดงผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง เทียบกับวิธีการซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิม MACDR1 และ MACDR2

	อัตราความสำเร็จ	อัตรากำไรเฉลี่ย
MACD	0.36440	0.00498
MACDR1	0.56042	0.00712
MACDR2	0.74573	0.02416
เส้นสัญญาณดัดแปลง	0.57257	0.03280
เส้นสัญญาณดัดแปลงและการซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก	0.61018	0.03788

ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงผลลัพธ์จากการซื้อขายหุ้นโดยใช้ MACD ในวิธีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6.3 จะเห็นได้ว่าวิธีการซื้อขายที่มีอัตราความสำเร็จสูงสุดคือ MACDR2 (0.60737) รองลงมาคือวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงที่ใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก (0.60251) และอันดับสามคือวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงแบบธรรมดา (0.57143) จะสังเกตได้ว่าแม้วิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงจะให้อัตราความสำเร็จต่ำกว่า MACDR2 แต่สามารถให้อัตรากำไรที่สูงกว่า โดยมีอัตรากำไรเฉลี่ยเท่ากับ 0.02598 ซึ่งมากกว่า MACDR2 (0.01583) และเมื่อใช้กับการซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนักสามารถเพิ่มอัตรากำไรขึ้นได้เป็น 0.03043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงานวิจัย

การใช้เส้นสัญญาณดัดแปลงแทนเส้นสัญญาณเดิม สามารถทำให้การซื้อขายหุ้นด้วยวิธี MACD มีสัญญาณซื้อขายที่เร็วขึ้น ส่งผลให้อัตราความสำเร็จและอัตรากำไรสูงขึ้น และเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบกับ MACDR2 พบว่าแม้อัตราความสำเร็จจะด้อยกว่า แต่สามารถให้อัตรากำไรเฉลี่ยที่สูงกว่าในการทดสอบกับข้อมูลราคาปิดรายวันของหุ้นแต่ละตัวในกลุ่ม SET-100 ตั้งแต่วันที่ 28 พฤศจิกายน ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556

การใช้เส้นสัญญาณดัดแปลงมีจุดอ่อนคือจะเกิดสัญญาณหลอกที่มักจะทำให้การซื้อขายขาดทุน การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนักโดยใช้ค่าน้ำหนักการซื้อขายที่อนุมานจากตรรกศาสตร์ฟัซซีสามารถช่วยบรรเทาจุดอ่อนนี้และทำให้อัตรากำไรเฉลี่ยและอัตราความสำเร็จสูงขึ้นได้

7.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลราคาระยะเวลาเพียง 5 เดือน ซึ่งอาจทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่รัดกุมมาก แนวทางการซื้อขายหุ้นโดยใช้เส้นสัญญาณดัดแปลงนี้ยังควรต้องทดสอบข้อมูลที่หลากหลายและมีระยะเวลานานกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Gunter Meissner, Albin Alex, Kai Nolte, *"A Refined MACD Indicator – Evidence against the Random Walk Hypothesis?"*, 2001.

[2] Michael Negnevitsky, *"Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems"*, Pearson Education, 2002.

[3] Steven Achelis, *"Technical Analysis from A to Z"*, McGraw-Hill, 2013.

[4] ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย. *"ราคาหุ้นย้อนหลัง"*. http://www.settrade.com/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
รหัสต้นฉบับสำหรับการทดสอบวิธีการซื้อขาย

การทดสอบวิธีการซื้อขายในปัญหาพิเศษนี้ทำโดยใช้ชุดซอฟต์แวร์ภาษาไพธอน (Python) ที่มีชื่อว่า Pythonxy (อ่านว่าไพธอนเอ็กซ์วาย) ซึ่งเป็นชุดซอฟต์แวร์อันหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) และเป็นซอฟต์แวร์เปิดภายใต้ลิขสิทธิ์ GNU General Public License ซึ่งให้อิสระในการนำไปใช้อย่างกว้างขวาง Pythonxy สามารถดาวน์โหลดโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายได้ที่

https://code.google.com/p/pythonxy/wiki/Downloads?tm=2

ในภาคผนวก ก จะแสดงรหัสต้นฉบับ (source code) ทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบวิธีการซื้อขายในปัญหาพิเศษนี้ รหัสต้นฉบับเหล่านี้สามารถนำไปทดสอบซ้ำหรือแก้ไขดัดแปลงเพื่อวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ ภาคผนวก ข จะกล่าวถึงวิธีการใช้และตัวอย่างการใช้งานบางประการ

รหัสต้นฉบับทั้งหมดจะแบ่งออกเป็น 13 ไฟล์ ตามจุดประสงค์ในการทำงานของรหัสแต่ละส่วน ชื่อไฟล์และจุดประสงค์ในการทำงานของแต่ละไฟล์แสดงในตารางที่ ก.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางอธิบายจุดประสงค์ในการทำงานของไฟล์รหัสต้นฉบับ

ชื่อไฟล์	จุดประสงค์ในการทำงาน
data.py	สำหรับจัดการเกี่ยวกับการแปลงข้อมูลราคาหุ้นที่จัดเก็บในไฟล์อักษร (text file) ให้เป็นข้อมูลในรูปอนุกรมเวลา (time series) ที่พร้อมใช้
ema.py	สำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล
macd.py	สำหรับการคำนวณ MACD และเส้นสัญญาณ
modifiedsignalline.py	สำหรับการคำนวณเส้นสัญญาณดัดแปลง
basic.py	เป็นที่รวมฟังก์ชันสำหรับการวิเคราะห์เบื้องต้น เช่น การแบ่งคาบการซื้อขาย การหาจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดในคาบ การนิยามการซื้อขายและการคำนวณอัตรากำไรเป็นต้น
plot.py	สำหรับพล็อตกราฟ
fuzzy.py	สำหรับการคำนวณตามทฤษฎีตรรกศาสตร์ฟัซซี
tradingtest_originalmacd.py	สำหรับการทดสอบวิธีการซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิม
tradingtest_macdr1.py	สำหรับการทดสอบวิธีการซื้อขาย MACDR1
tradingtest_macdr2.py	สำหรับการทดสอบวิธีการซื้อขาย MACDR2
tradingtest_modifiedsignalline.py	สำหรับการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง
tradingtest_modsigtradingweight.py	สำหรับการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงที่ใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก
main.py	เป็นไฟล์หลักสำหรับเรียกใช้ฟังก์ชันต่างๆ ในไฟล์อื่นและแสดงผลลัพธ์ ผู้ใช้สามารถทำการทดสอบซ้ำหรือดัดแปลงเพื่อวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ที่ไฟล์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ data.py

```
import pandas as pd

class DataDefinition (str):
    def __new__(cls, name, colNumber, dtype):
        return str.__new__(cls, name)

    def __init__(self, name, colNumber, dtype):
        super(DataDefinition, self).__init__(name)
        self.colNumber = colNumber
        self.dtype = dtype


DATE = DataDefinition('date', 0, 'S8')
OPEN = DataDefinition('open', 1, 'f8')
HIGH = DataDefinition('high', 2, 'f8')
LOW = DataDefinition('low', 3, 'f8')
CLOSE = DataDefinition('close', 4, 'f8')

def _getRawData(uri='../resources/stockdata/KBANK.csv'):
    data = pd.read_csv(uri, dtype={DATE: DATE.dtype,
                                   OPEN: OPEN.dtype, HIGH: HIGH.dtype,
                                   LOW: LOW.dtype, CLOSE: CLOSE.dtype,
                                   }, parse_dates=[0], index_col=0,
na_values='-')

    return data.sort_index(ascending=True).dropna()

def getPricesData(symbol='KBANK', type='close'):
    if type not in [OPEN, HIGH, LOW, CLOSE]:
        raise Exception('param-value error: type= "' + type +'". Hint,
type=x for x in {"open", "high", "low", "close"}')
    uri = '../resources/stockdata/' + symbol + '.csv'

    rawData = None
    try:
        rawData = _getRawData(uri)
    except:
        raise Exception('error occur while parsing raw data. Hint, please
check if symbol="' + symbol + '" exists and matches the name of csv file.')

    data = rawData[type]
    return data
```

ตารางที่ ก.3 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ ema.py

```
import pandas as pd
import pandas.stats.moments as mt

def getEMA(pricesData, n=12):
    ema = pd.Series(mt.ewma(pricesData, span=n), index=pricesData.index)
    return ema
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ macd.py

```
import pandas as pd
import pandas.stats.moments as mt
from ema import getEMA

def getMACDAndSignalLine(pricesData, n1, n2, n3):
    ema_n1 = getEMA(pricesData, n1)
    ema_n2 = getEMA(pricesData, n2)
    macd = ema_n1 - ema_n2
    signalLine = pd.Series(mt.ewma(macd, span=n3), index=pricesData.index)
    return macd, signalLine
```

ตารางที่ ก.5 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ modifiedsignalline.py

```
import pandas as pd
from macdtester.basic import getTradingPeriods, isAnUpCrossingPoint


def getModifiedSignalLine(macd, signalLine, K):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    modifiedSignalLine = pd.Series(float('nan'), index=signalLine.index)

    for period in periods:
        avmin = getAvailablyMinimumPointsInAPeriod(macd, signalLine,
period)
        avmax = getAvailablyMaximumPointsInAPeriod(macd, signalLine,
period)
        dmin = getMinimumCertainties(macd, signalLine, period)
        dmax = getMaximumCertainties(macd, signalLine, period)
        upCrossingPoint = None
        for t in period:
            if upCrossingPoint is None and isAnUpCrossingPoint(macd,
signalLine, t):
                upCrossingPoint = t

            if upCrossingPoint is None:
                hMinimum = macd[avmin[t]] - signalLine[avmin[t]]
                modifiedSignalLine[t] = signalLine[t] +
hMinimum*(dmin[t]**K)
            elif t == period[-1]:
                modifiedSignalLine[t] = signalLine[t]
            else:
                hMaximum = macd[avmax[t]] - signalLine[avmax[t]]
                modifiedSignalLine[t] = signalLine[t] +
hMaximum*(dmax[t]**K)

    return modifiedSignalLine


def getAvailablyMaximumPointsInAPeriod(macd, signalLine, period):
    avialablyMaximumPoints = pd.Series('', index=period)
    upCrossingPoint = None
    for t in period:
        if upCrossingPoint is None and isAnUpCrossingPoint(macd,
signalLine, t):
            upCrossingPoint = t
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5(ต่อ)

```
if upCrossingPoint is not None:
            avialablyMaximumPoints[t] = macd[upCrossingPoint:t].idxmax()

    return avialablyMaximumPoints

def getAvailablyMinimumPointsInAPeriod(macd, signalLine, period):
    avialablyMinimumPoints = pd.Series('', index=period)
    for t in period:
        if isAnUpCrossingPoint(macd, signalLine, t):
            avialablyMinimumPoints[t] = macd[period[0]:t].idxmin()
            break

        avialablyMinimumPoints[t] = macd[period[0]:t].idxmin()

    return avialablyMinimumPoints

def getMaximumCertainties(macd, signalLine, period):
    avmax = getAvailablyMaximumPointsInAPeriod(macd, signalLine, period)
    maximumCertainties = pd.Series('', index=period)
    upCrossingPoint = None
    for t in period:
        if t == period[-1]:
            maximumCertainties[t] = 1
            break

        if upCrossingPoint is None and isAnUpCrossingPoint(macd,
signalLine, t):
            upCrossingPoint = t

        if upCrossingPoint is not None:
            hCurrent = macd[t] - signalLine[t]
            hMaximum = macd[avmax[t]] - signalLine[avmax[t]]
            maximumCertainties[t] = 1 - (hCurrent/float(hMaximum)) if
hMaximum != 0 else 1

    return maximumCertainties

def getMinimumCertainties(macd, signalLine, period):
    avmin = getAvailablyMinimumPointsInAPeriod(macd, signalLine, period)
    minimumCertainties = pd.Series('', index=period)
    for t in period:
        if isAnUpCrossingPoint(macd, signalLine, t):
            minimumCertainties[t] = 1
            break

        hCurrent = macd[t] - signalLine[t]
        hMinimum = macd[avmin[t]] - signalLine[avmin[t]]
        minimumCertainties[t] = 1 - (hCurrent/float(hMinimum)) if hMinimum
!= 0 else 1

    return minimumCertainties
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ basic.py

```
import numpy as np

def getTradingPeriods(macd, signalLine):
    downCrossingPoints = getDownCrossingPoints(macd, signalLine)
    periods = []
    for i in xrange(len(downCrossingPoints)-1):

periods.append(macd[downCrossingPoints[i]:downCrossingPoints[i+1]].index)

    return periods


def isAnUpCrossingPoint(macd, signalLine, t):
    i = macd.index.get_loc(t)

    if i >= 1 and (macd.ix[i] > signalLine.ix[i]) and (macd.ix[i-1] <
signalLine.ix[i-1]):
        return True
    elif i >= 2 and (macd.ix[i] > signalLine.ix[i]) and (macd.ix[i-1] ==
signalLine.ix[i-1]) and (macd.ix[i-2] < signalLine.ix[i-2]):
        return True
    else:
        False

def isADownCrossingPoint(macd, signalLine, t):
    i = macd.index.get_loc(t)

    if i >= 1 and (macd.ix[i] < signalLine.ix[i]) and (macd.ix[i-1] >
signalLine.ix[i-1]):
        return True
    elif i >= 2 and (macd.ix[i] < signalLine.ix[i]) and (macd.ix[i-1] ==
signalLine.ix[i-1]) and (macd.ix[i-2] > signalLine.ix[i-2]):
        return True
    else:
        False

def getUpCrossingPoints(macd, signalLine):
    upCrossingPointList = []
    firstDownCrossingExists = False
    for t in macd.index:
        if not firstDownCrossingExists and isADownCrossingPoint(macd,
signalLine, t):
            firstDownCrossingExists = True

        if firstDownCrossingExists and isAnUpCrossingPoint(macd, signalLine,
t):
            upCrossingPointList.append(t)

    return upCrossingPointList

def getDownCrossingPoints(macd, signalLine):
    downCrossingPointList = []
    for t in macd.index:
        if isADownCrossingPoint(macd, signalLine, t):
            downCrossingPointList.append(t)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6(ต่อ)

```
    return downCrossingPointList

class Trade(object):
    def __init__(self, buyPoint, sellPoint, capital, weight=1):
        self.buyPoint = buyPoint
        self.sellPoint = sellPoint
        self.capital = capital
        self.weight = weight

    def getProfit(self, pricesData):
        return ((pricesData[self.sellPoint] -
pricesData[self.buyPoint])/float(pricesData[self.buyPoint]))*self.capital*se
lf.weight

class TotalTrade(object):
    def __init__(self, tradeList):
        self.initialCapital = tradeList[0].capital
        for trade in tradeList:
            if trade.capital != self.initialCapital:
                raise Exception('All trade in tradeList must have the same
capital.')

        self.tradeList = tradeList

    def getProfitRate(self, pricesData):
        if len(self.tradeList) == 1:
            profitRate =
self.tradeList[0].getProfit(pricesData)/float(self.initialCapital)
        else:
            profits = np.array([trade.getProfit(pricesData) for trade in
self.tradeList])
            profitRate = np.sum(profits)/float(self.initialCapital -
np.sum(profits[profits < 0]))

        return profitRate

def getUpCrossingPointInAPeriod(macd, signalLine, period):
    upCrossingPoint = None
    for t in period:
        if isAnUpCrossingPoint(macd, signalLine, t):
            upCrossingPoint = t
            break

    return upCrossingPoint

def getMaximumPointsInAPeriod(macd, signalLine, period):
    upCrossingPoint = None
    for t in period:
        if isAnUpCrossingPoint(macd, signalLine, t):
            upCrossingPoint = t
            break

    maximumPoint = macd[upCrossingPoint:period[-1]].idxmax()

    return maximumPoint
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6(ต่อ)

```
def getMinimumPointsInAPeriod(macd, signalLine, period):
    upCrossingPoint = None
    for t in period:
        if isAnUpCrossingPoint(macd, signalLine, t):
            upCrossingPoint = t
            break

    minimumPoint = macd[period[0]:upCrossingPoint].idxmin()

    return minimumPoint
```

ตารางที่ ก.7 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ plot.py

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from matplotlib import ticker, font_manager

class IndexManager(object):
    def __init__(self, indexSeries):
        self.index = indexSeries
        self.evenlyIndex = pd.Series(np.arange(len(indexSeries)),
index=indexSeries)

    def evenlyIndexToDateTimeIndex(self, x):
        try:
            return self.index[x]
        except:
            return None

    def datetimeIndexToEvenlyIndex(self, d):
        try:
            return self.evenlyIndex[d]
        except:
            return None

    def dateMappingFormatter(self, x, pos=None):
        d = self.evenlyIndexToDateTimeIndex(int(x + 0.5))
        if d is not None:
            return d.strftime('%b\n%Y')
        else:
            return ''

def standardPlot(pricesData, macd, signalLine, show=True):
    idm = IndexManager(pricesData.index)
    plt.rc('axes', grid=True)
    plt.rc('grid', color='0.75', linestyle='-', linewidth=0.5)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7(ต่อ)

```
left, width = 0.1, 0.8
    rect1 = [left, 0.6, width, 0.3]
    rect2 = [left, 0.1, width, 0.5]


    fig = plt.figure(facecolor='white')
    axescolor  = '#f9f9f9'
    ax1 = fig.add_axes(rect1, axisbg=axescolor)

    ax2 = fig.add_axes(rect2, axisbg=axescolor, sharex=ax1)




    def getIndexOfFirstDayEachMonth(datearr):
        dateSeries = pd.Series(datearr.month)
        isFirstDay = np.ones_like(dateSeries, dtype=np.bool)
        isFirstDay[1:] = (dateSeries[1:] != dateSeries[:-1])
        return dateSeries.index[isFirstDay]



ax1.xaxis.set_major_locator(ticker.FixedLocator(getIndexOfFirstDayEachMonth(
pricesData.index)))




ax1.xaxis.set_major_formatter(ticker.FuncFormatter(idm.dateMappingFormatter)
)


    ax1.set_xlim(idm.evenlyIndex[0] - 2, idm.evenlyIndex[-1] + 2)

    ax1.plot(idm.evenlyIndex, pricesData, color='black', lw=2,
label='closing price')
    ax2.plot(idm.evenlyIndex, macd, color='red', lw=1.5, label='MACD Line')
    ax2.plot(idm.evenlyIndex, signalLine, color='blue', lw=1, label='Signal
Line')

    for label in ax1.get_xticklabels():
        label.set_visible(False)

    ax1.yaxis.set_major_locator(ticker.MaxNLocator(5, prune='both'))
    ax2.yaxis.set_major_locator(ticker.MaxNLocator(5, prune='both'))

    props = font_manager.FontProperties(size=10)
    leg1 = ax1.legend(loc='best', shadow=True, fancybox=True, prop=props,
scatterpoints=1, markerscale=1)
    leg1.get_frame().set_alpha(0.5)
    leg2 = ax2.legend(loc='best', shadow=True, fancybox=True, prop=props,
scatterpoints=1, markerscale=1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7(ต่อ)

```
leg2.get_frame().set_alpha(0.5)
    if show: plt.show()
    return fig

def addModifiedSignalLine(fig, modifiedSignalLine, color='violet',
show=True):
    idm = IndexManager(modifiedSignalLine.index)
    ax2 = fig.get_axes()[1]
    ax2.plot(idm.evenlyIndex, modifiedSignalLine, color=color, lw=1,
label='Modified Signal Line')
    if show: plt.show()
    return fig

def addMarkers(fig, macd, tList, markerSize=40, color='#00CC00',
show=True):
    idm = IndexManager(macd.index)
    ax2 = fig.get_axes()[1]
    ax2.scatter(idm.evenlyIndex[tList], macd[tList], color=color,
s=markerSize)
    if show: plt.show()
    return fig
```

ตารางที่ ก.8 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ fuzzy.py

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

class Universe(object):
    def __init__(self, lower, upper):
        assert lower <= upper
        self.lower = lower
        self.upper = upper

    def contains(self, value):
        return self.lower <= value and value <= self.upper

    def contains_all(self, values):
        values = np.array(values)
        return (self.lower <= values).all() and (values <=
self.upper).all()

    def sample(self, step=None):
        if step is None:
            step = 0.01 if self.upper - self.lower <= 10 else 0.1

        return np.arange(self.lower, self.upper, step)

    def __eq__(self, other):
        return other is not None and isinstance(other, Universe) and
other.lower == self.lower and other.upper == self.upper
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8(ต่อ)

```
class Variable(object):
    def __init__(self, universe):
        assert isinstance(universe, Universe)
        self.universe = universe
        self.value = None
        self.terms = dict()
        self.abcd_for_term = dict()

    def set_value(self, value):
        assert self.universe.contains(value) or value is None
        self.value = value

    def set_term(self, term_name, abcd=(None,None,None,None),
description=''):
        assert len(abcd) == 4
        if self.abcd_for_term.has_key(term_name):
            for i in xrange(len(abcd)):
                if abcd[i] is not None and abcd[i] != '':
                    self.abcd_for_term[term_name][i] = abcd[i]
        else:
            self.abcd_for_term[term_name] = list(abcd)

        if all((param is not None and param != '') for param in
self.abcd_for_term[term_name]):
            self.terms[term_name] = FuzzySet(self.universe,
self.abcd_for_term[term_name], description=description)
        else:
            self.terms[term_name] = None

    def fuzzify(self, term_name):
        if self.terms[term_name] is None:
            print [type(param) for param in self.abcd_for_term[term_name]]
            assert all((type(param) in [int, float]) for param in
self.abcd_for_term[term_name])
            raise Exception("Some parameters have not been set for term:
%s, params: %s" % (term_name, str(self.abcd_for_term[term_name])))

        return self.terms[term_name](self.value)

    def defuzzify(self, accum_mf):
        outs = self.universe.sample()
        weights = accum_mf(outs)
        sum_weights = weights.sum()
        out = (outs * weights).sum()/sum_weights if sum_weights != 0 else
None
        self.set_value(out)

        return out

    def displayterm(self, term_name, xlim):
        if self.terms[term_name] is None:
            raise Exception("Some parameters have not been set for term:
%s, params: %s" % (term_name, str(self.abcd_for_term[term_name])))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8(ต่อ)

```
        fig = plt.figure(facecolor='white')
        ax = fig.add_axes([0.1, 0.1, 0.8, 0.8])
        ax.set_xlim(xlim)
        ax.set_ylim(0, 1.2)

        x = self.universe.sample(step=0.005)
        y = self.terms[term_name](x)

        ax.plot(x,y,lw=3)
        ax.set_title(term_name, fontsize=20)
        plt.show()

class FuzzySet(object):

    def __init__(self, universe, abcd, mf=None, description=''):
        assert isinstance(universe, Universe)
        assert (abcd is not None and mf is None) or (abcd is None and mf is
not None)

        if abcd is not None:
            assert len(abcd) == 4 and universe.contains_all(abcd)
            self.mf = FuzzySet.fuzzy_number_mf(*abcd)
        else:
            self.mf = mf

        self.universe = universe
        self.description = description


    def __call__(self, values):
        assert self.universe.contains_all(values)
        return self.mf(values)

    def __and__(self, other):
        assert isinstance(other, (int, float, FuzzySet))
        if isinstance(other, FuzzySet):
            assert self.universe == other.universe
            def new_mf(x):
                return FuzzyOperation.AND(self(x), other(x))
        else:
            def new_mf(x):
                return FuzzyOperation.AND(self(x), other)

        return FuzzySet(self.universe, None, mf=new_mf)

    def __or__(self, other):
        assert isinstance(other, (int, float, FuzzySet))
        if isinstance(other, FuzzySet):
            assert self.universe == other.universe
            def new_mf(x):
                return FuzzyOperation.OR(self(x), other(x))
        else:
            def new_mf(x):
                return FuzzyOperation.OR(self(x), other)

        return FuzzySet(self.universe, None, mf=new_mf)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8(ต่อ)

```
    class fuzzy_number_mf(object):
        def __init__(self, a, b, c, d):

            if not (a <= b and b <= c and c <= d): raise Exception, 'not!
(%f <= %f <= %f <= %f)' % (a, b, c, d)


            def mf(x):
                if x < a: return 0
                elif a <= x and x < b: return (x-a)/float(b-a)
                elif b <= x and x < c: return 1
                elif c <= x and x < d: return (d-x)/float(d-c)
                elif x == d and d == c: return 1
                else: return 0

            self.func = np.frompyfunc(mf, 1, 1)

        def __call__(self, x):
            return self.func(x)

class FuzzyOperation(object):

    @classmethod
    def define_operation_and(cls, operation):
        assert isinstance(operation, FuzzyOperation.Interface)
        cls.AND = operation

    @classmethod
    def define_operation_or(cls, operation):
        assert isinstance(operation, FuzzyOperation.Interface)
        cls.OR = operation

    class Interface(object):
        def __call__(self, a, b): raise NotImplementedError

    class MAX(Interface):
        def __call__(self, a, b):
            return np.maximum(a, b)

    class MIN(Interface):
        def __call__(self, a, b):
            return np.minimum(a, b)

    class PROD(Interface):
        def __call__(self, a, b):
            return a * b

    class SUM(Interface):
        def __call__(self, a, b):
            return a + b

    AND = MIN()
    OR = MAX()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8(ต่อ)

```
class FuzzyRule(object):
    def __init__(self, antecedence, consequences):
        self.antecedence = antecedence
        self.consequences = consequences

    def evaluate(self, inputs, outputs):
        '''

        :param variable
        :return a dictionary of the form {'z1': activ_mf_z1, 'z2':
activ_mf_z2, ...}
            where zi is the output-variable's name and activ_mf_zi is the
corresponding result membership function from this rule's evaluation.
        '''

        w = self._aggregate(inputs)
        activ_mf = self._activate(w, outputs)
        return activ_mf

    def _aggregate(self, inputs):

        stack = []
        for element in self.antecedence:
            if isinstance(element, FuzzyOperation.Interface):
                operation = element
                token1 = stack.pop()
                fuzzified_value1 = token1 if not isinstance(token1, tuple)
else inputs[token1[0]].fuzzify(token1[1])

                token2 = stack.pop()
                fuzzified_value2 = token2 if not isinstance(token2, tuple)
else inputs[token2[0]].fuzzify(token2[1])

                result_token = operation(fuzzified_value1,
fuzzified_value2)
                stack.append(result_token)
            else:
                stack.append(element)

        if len(stack) != 1: print stack
        assert len(stack) == 1

        token = stack.pop()
        w = token if not isinstance(token, tuple) else
inputs[token[0]].fuzzify(token[1])

        return w

    def _activate(self, w, outputs):
        activ_mf = dict()
        for element in self.consequences:
            variable_name, term_name = element
            activ_mf[variable_name] =
outputs[variable_name].terms[term_name] & w

        return activ_mf
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8(ต่อ)

```
class FIS(object):
    def __init__(self):
        self._define(self.fuzzydefinition)

    def get_inputs(self):
        return self.inputs

    def get_outputs(self):
        return self.outputs

    def set_inputs(self, **kwargs):
        assert set(kwargs.keys()) == set(self.inputs.keys())

        for key, value in kwargs.iteritems():
            assert self.inputs[key].universe.contains(value)
            self.inputs[key].set_value(value)

        return self

    def set_term_param(self, variable_name, term_name, abcd):
        self.inputs[variable_name].set_term(term_name, abcd=abcd)

        return self

    def evaluate(self):
        accum_mf = dict()
        for output_variable_name in self.outputs:
            accum_mf[output_variable_name] = None

        for rule in self.fuzzy_rules:
            for output_variable_name in self.outputs:
                activ_mf = rule.evaluate(self.inputs, self.outputs)
                if output_variable_name in activ_mf.keys():
                    accum_mf[output_variable_name] =
(activ_mf[output_variable_name]
                                                    if
accum_mf[output_variable_name] is None
                                                    else
accum_mf[output_variable_name] | activ_mf[output_variable_name])

        for output_variable_name, output_variable in
self.outputs.iteritems():
            output_variable.defuzzify(accum_mf[output_variable_name])

        return self

    def _define(self, definition):
        properties = {'inputs': None, 'outputs': None, 'fuzzy_rules': None}
        definition(properties)
        assert properties['inputs'] is not None
        assert properties['outputs'] is not None
        assert properties['fuzzy_rules'] is not None
        self.inputs = properties['inputs']
        self.fuzzy_rules = properties['fuzzy_rules']
        self.outputs = properties['outputs']
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8(ต่อ)

```
        return self

    def fuzzydefinition(self, properties):
        REAL = Universe(-999, 999)
        NORM = Universe(0, 1)


        properties['inputs'] = {'dmin': Variable(NORM),
                                'macd_avmin': Variable(REAL)}


        properties['outputs'] = {'z': Variable(NORM)}


        properties['inputs']['dmin'].set_term('MIN-CONFIDENCE', abcd=(0, 1,
1, 1))

        properties['inputs']['macd_avmin'].set_term('MACD-HIGH',
abcd=(None, None, REAL.upper, REAL.upper))
        properties['inputs']['macd_avmin'].set_term('MACD-LOW',
abcd=(REAL.lower, REAL.lower, None, None))
        properties['inputs']['macd_avmin'].set_term('MACD-MEDIUM',
abcd=(None, None, None, None))



        properties['outputs']['z'].set_term('TRADE-CONFIDENCE', abcd=(0, 1,
1, 1))
        properties['outputs']['z'].set_term('TRADE-DOUBT', abcd=(0, 0, 0,
1))



        AND = FuzzyOperation.MIN()
        OR = FuzzyOperation.MAX()
        properties['fuzzy_rules'] = [
                        FuzzyRule(antecedence = (('dmin', 'MIN-
CONFIDENCE'),),
                                consequences = (('z', 'TRADE-CONFIDENCE'),)),

                        FuzzyRule(antecedence = (('macd_avmin', 'MACD-
LOW'),),
                                consequences = (('z', 'TRADE-CONFIDENCE'),)),

                        FuzzyRule(antecedence = (('macd_avmin', 'MACD-
HIGH'), ('macd_avmin', 'MACD-MEDIUM'), OR),
                                consequences = (('z', 'TRADE-DOUBT'),))

                ]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ tradingtest_originalmacd.py

```
from macdtester.basic import isAnUpCrossingPoint, isADownCrossingPoint,
Trade,\
    TotalTrade, getTradingPeriods
from macdtester.macd import getMACDAndSignalLine
import numpy as np
from macdtester.data import getPricesData
import os
import pandas as pd

def isABuyPoint(macd, signalLine, t):
    if isAnUpCrossingPoint(macd, signalLine, t):
        return True
    else:
        return False

def isASellPoint(macd, signalLine, t):
    if isADownCrossingPoint(macd, signalLine, t):
        return True
    else:
        return False

def getTotalTradesInAPeriod(macd, signalLine, period):
    tradeList = []
    buyPoint = None
    sellPoint = None
    capital = 1
    for t in period:
        if buyPoint is None and isABuyPoint(macd, signalLine, t):
            buyPoint = t

        if buyPoint is not None and isASellPoint(macd, signalLine, t):
            sellPoint = t

        if sellPoint is not None:
            tradeList.append(Trade(buyPoint, sellPoint, capital))
            buyPoint = None
            sellPoint = None

    if len(tradeList) > 0:
        return TotalTrade(tradeList)
    else:
        return None

def originalMACDTest(pricesData, macd, signalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    profitRateList = []
    successList = []
    for period in periods:
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(macd, signalLine, period)
        if totalTrade is not None:
            profitRate = totalTrade.getProfitRate(pricesData)
            profitRateList.append(profitRate)
            if profitRate > 0:
                successList.append(1)
            else:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9(ต่อ)

```
                successList.append(0)

    if len(profitRateList) > 0:
        return np.mean(successList), np.mean(profitRateList)
    else:
        return None, None

def getAllBuyPoints(pricesData, macd, signalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    allBuyPoints = []
    for period in periods:
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(macd, signalLine, period)
        if totalTrade is not None:
            for trade in totalTrade.tradeList:
                allBuyPoints.append(trade.buyPoint)

    return allBuyPoints

def getAllSellPoints(pricesData, macd, signalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    allSellPoints = []
    for period in periods:
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(macd, signalLine, period)
        if totalTrade is not None:
            for trade in totalTrade.tradeList:
                allSellPoints.append(trade.sellPoint)

    return allSellPoints


def originalMACDTestWithSET100(verbose=False):
    directory = '../resources/stockdata/'
    ignoreList = ['BANPU', 'MAKRO', 'VGI', 'STPI']
    symbolList = [f.replace('.csv','') for f in os.listdir(directory) if
f.endswith('.csv') and f.split('.')[0] not in ignoreList]

    resultList = pd.DataFrame({'success rate': None, 'profit rate': None},
index=symbolList)

    for symbol in symbolList:
        if verbose: print 'testing ' + symbol + '...'
        pricesData = getPricesData(symbol=symbol)
        macd, signalLine = getMACDAndSignalLine(pricesData, 12, 26, 9)

        pricesData = pricesData[25:]
        macd = macd[25:]
        signalLine = signalLine[25:]
        successRate, profitRate = originalMACDTest(pricesData, macd,
signalLine)

        resultList['profit rate'][symbol] = profitRate
        resultList['success rate'][symbol] = successRate
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9(ต่อ)

```
    if verbose:
        import webbrowser
        f = open(os.getcwd() + '/temp.html', 'w')
        f.write('Original MACD test with SET-100')
        f.write(resultList.to_html())
        f.close()
        webbrowser.open(os.getcwd() + '/temp.html', new=2)

    resultList = resultList.dropna()
    avgSuccessRate = resultList['success rate'].mean()
    avgProfitRate = resultList['profit rate'].mean()
    return avgSuccessRate, avgProfitRate
```

ตารางที่ ก.10 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ tradingtest_macdr1.py

```
from macdtester.basic import isAnUpCrossingPoint, isADownCrossingPoint,
Trade,\
    TotalTrade, getTradingPeriods
from macdtester.macd import getMACDAndSignalLine
import numpy as np
import os
import pandas as pd
from macdtester.data import getPricesData

def isABuyPoint(macd, signalLine, t):
    i = macd.index.get_loc(t)
    if (i >=2 and
        macd.ix[i] > signalLine.ix[i] and
        macd.ix[i-1] > signalLine.ix[i-1] and
        isAnUpCrossingPoint(macd, signalLine, macd.index[i-2])):
        return True
    else:
        return False

def isASellPoint(pricesData, macd, signalLine, buyPoint, t):
    profitRate = (pricesData[t] -
pricesData[buyPoint])/float(pricesData[buyPoint])
    if profitRate >= 0.03 or isADownCrossingPoint(macd, signalLine, t):
        return True
    else:
        return False

def getTotalTradesInAPeriod(pricesData, macd, signalLine, period):
    tradeList = []
    buyPoint = None
    sellPoint = None
    capital = 1
    for t in period:
        if buyPoint is None and isABuyPoint(macd, signalLine, t):
            buyPoint = t

        if buyPoint is not None and isASellPoint(pricesData, macd,
signalLine, buyPoint, t):
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10(ต่อ)

```
            sellPoint = t

        if sellPoint is not None:
            tradeList.append(Trade(buyPoint, sellPoint, capital))
            buyPoint = None
            sellPoint = None

    if len(tradeList) > 0:
        return TotalTrade(tradeList)
    else:
        return None

def MACDR1Test(pricesData, macd, signalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    profitRateList = []
    successList = []
    for period in periods:
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(pricesData, macd, signalLine,
period)
        if totalTrade is not None:
            profitRate = totalTrade.getProfitRate(pricesData)
            profitRateList.append(profitRate)
            if profitRate > 0:
                successList.append(1)
            else:
                successList.append(0)

    if len(profitRateList) > 0:
        return np.mean(successList), np.mean(profitRateList)
    else:
        return None, None

def getAllBuyPoints(pricesData, macd, signalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    allBuyPoints = []
    for period in periods:
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(pricesData, macd, signalLine,
period)
        if totalTrade is not None:
            for trade in totalTrade.tradeList:
                allBuyPoints.append(trade.buyPoint)

    return allBuyPoints

def getAllSellPoints(pricesData, macd, signalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    allSellPoints = []
    for period in periods:
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(pricesData, macd, signalLine,
period)
        if totalTrade is not None:
            for trade in totalTrade.tradeList:
                allSellPoints.append(trade.sellPoint)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10(ต่อ)

```
    return allSellPoints

def MACDR1TestWithSET100(verbose=False):
    directory = '../resources/stockdata/'
    ignoreList = ['BANPU', 'MAKRO', 'VGI', 'STPI']
    symbolList = [f.replace('.csv','') for f in os.listdir(directory) if
f.endswith('.csv') and f.split('.')[0] not in ignoreList]

    resultList = pd.DataFrame({'success rate': None, 'profit rate': None},
index=symbolList)

    for symbol in symbolList:
        if verbose: print 'testing ' + symbol + '...'
        pricesData = getPricesData(symbol=symbol)
        macd, signalLine = getMACDAndSignalLine(pricesData, 12, 26, 9)

        pricesData = pricesData[25:]
        macd = macd[25:]
        signalLine = signalLine[25:]
        successRate, profitRate = MACDR1Test(pricesData, macd, signalLine)

        resultList['profit rate'][symbol] = profitRate
        resultList['success rate'][symbol] = successRate

    if verbose:
        import webbrowser
        f = open(os.getcwd() + '/temp.html', 'w')
        f.write('Original MACD test with SET-100')
        f.write(resultList.to_html())
        f.close()
        webbrowser.open(os.getcwd() + '/temp.html', new=2)

    resultList = resultList.dropna()
    avgSuccessRate = resultList['success rate'].mean()
    avgProfitRate = resultList['profit rate'].mean()
    return avgSuccessRate, avgProfitRate
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ tradingtest_macdr2.py

```
from macdtester.basic import isAnUpCrossingPoint, isADownCrossingPoint,
Trade,\
    TotalTrade, getTradingPeriods
import numpy as np
import os
import pandas as pd
from macdtester.data import getPricesData
from macdtester.macd import getMACDAndSignalLine

def isABuyPoint(pricesData, macd, signalLine, t):
    i = macd.index.get_loc(t)
    if (i >=2 and
        macd.ix[i] > signalLine.ix[i] and
        macd.ix[i-1] > signalLine.ix[i-1] and
        isAnUpCrossingPoint(macd, signalLine, macd.index[i-2]) and
        (macd.ix[i] - signalLine.ix[i])/float(pricesData.ix[i]) >= 0.005):
        return True
    else:
        return False

def isASellPoint(pricesData, macd, signalLine, buyPoint, t):
    profitRate = (pricesData[t] -
pricesData[buyPoint])/float(pricesData[buyPoint])
    if profitRate >= 0.03 or isADownCrossingPoint(macd, signalLine, t):
        return True
    else:
        return False

def getTotalTradesInAPeriod(pricesData, macd, signalLine, period):
    tradeList = []
    buyPoint = None
    sellPoint = None
    capital = 1
    for t in period:
        if buyPoint is None and isABuyPoint(pricesData, macd, signalLine,
t):
            buyPoint = t

        if buyPoint is not None and isASellPoint(pricesData, macd,
signalLine, buyPoint, t):
            sellPoint = t

        if sellPoint is not None:
            tradeList.append(Trade(buyPoint, sellPoint, capital))
            buyPoint = None
            sellPoint = None

    if len(tradeList) > 0:
        return TotalTrade(tradeList)
    else:
        return None

def MACDR2Test(pricesData, macd, signalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    profitRateList = []
    successList = []
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11(ต่อ)

```
    for period in periods:
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(pricesData, macd, signalLine,
period)
        if totalTrade is not None:
            profitRate = totalTrade.getProfitRate(pricesData)
            profitRateList.append(profitRate)
            if profitRate > 0:
                successList.append(1)
            else:
                successList.append(0)

    if len(profitRateList) > 0:
        return np.mean(successList), np.mean(profitRateList)
    else:
        return None, None

def getAllBuyPoints(pricesData, macd, signalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    allBuyPoints = []
    for period in periods:
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(pricesData, macd, signalLine,
period)
        if totalTrade is not None:
            for trade in totalTrade.tradeList:
                allBuyPoints.append(trade.buyPoint)

    return allBuyPoints

def getAllSellPoints(pricesData, macd, signalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    allSellPoints = []
    for period in periods:
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(pricesData, macd, signalLine,
period)
        if totalTrade is not None:
            for trade in totalTrade.tradeList:
                allSellPoints.append(trade.sellPoint)

    return allSellPoints


def MACDR2TestWithSET100(verbose=False):
    directory = '../resources/stockdata/'
    ignoreList = ['BANPU', 'MAKRO', 'VGI', 'STPI']
    symbolList = [f.replace('.csv','') for f in os.listdir(directory) if
f.endswith('.csv') and f.split('.')[0] not in ignoreList]

    resultList = pd.DataFrame({'success rate': None, 'profit rate': None},
index=symbolList)

    for symbol in symbolList:
        if verbose: print 'testing ' + symbol + '...'
        pricesData = getPricesData(symbol=symbol)
        macd, signalLine = getMACDAndSignalLine(pricesData, 12, 26, 9)

        pricesData = pricesData[25:]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11(ต่อ)

```
        macd = macd[25:]
        signalLine = signalLine[25:]
        successRate, profitRate = MACDR2Test(pricesData, macd, signalLine)

        resultList['profit rate'][symbol] = profitRate
        resultList['success rate'][symbol] = successRate

    if verbose:
        import webbrowser
        f = open(os.getcwd() + '/temp.html', 'w')
        f.write('Original MACD test with SET-100')
        f.write(resultList.to_html())
        f.close()
        webbrowser.open(os.getcwd() + '/temp.html', new=2)

    resultList = resultList.dropna()
    avgSuccessRate = resultList['success rate'].mean()
    avgProfitRate = resultList['profit rate'].mean()
    return avgSuccessRate, avgProfitRate
```

ตารางที่ ก.12 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ tradingtest_modifiedsignalline.py

```
from macdtester.basic import isAnUpCrossingPoint, isADownCrossingPoint,
Trade,\
    TotalTrade, getTradingPeriods, getUpCrossingPointInAPeriod
from macdtester.macd import getMACDAndSignalLine
import numpy as np
import os
import pandas as pd
from macdtester.data import getPricesData
from macdtester.modifiedsignalline import getModifiedSignalLine

def isABuyPoint(macd, modifiedSignalLine, upPoint, t):
    iup = macd.index.get_loc(upPoint)
    i = macd.index.get_loc(t)
    if i <= iup and isAnUpCrossingPoint(macd, modifiedSignalLine, t):
        return True
    else:
        return False

def isASellPoint(macd, modifiedSignalLine, t):
    if isADownCrossingPoint(macd, modifiedSignalLine, t):
        return True
    else:
        return False

def getTotalTradesInAPeriod(macd, modifiedSignalLine, period, upPoint):
    tradeList = []
    buyPoint = None
    sellPoint = None
    capital = 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12(ต่อ)

```
    for t in period:
        if buyPoint is None and isABuyPoint(macd, modifiedSignalLine,
upPoint, t):
            buyPoint = t

        if buyPoint is not None and isASellPoint(macd, modifiedSignalLine,
t):
            sellPoint = t

        if sellPoint is not None:
            tradeList.append(Trade(buyPoint, sellPoint, capital))
            buyPoint = None
            sellPoint = None

    if len(tradeList) > 0:
        return TotalTrade(tradeList)
    else:
        return None

def modifiedSignalLineTest(pricesData, macd, signalLine,
modifiedSignalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    profitRateList = []
    successList = []
    for period in periods:
        upPoint = getUpCrossingPointInAPeriod(macd, signalLine, period)
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(macd, modifiedSignalLine,
period, upPoint)
        if totalTrade is not None:
            profitRate = totalTrade.getProfitRate(pricesData)
            profitRateList.append(profitRate)
            if profitRate > 0:
                successList.append(1)
            else:
                successList.append(0)

    if len(profitRateList) > 0:
        return np.mean(successList), np.mean(profitRateList)
    else:
        return None, None

def getAllBuyPoints(pricesData, macd, signalLine, modifiedSignalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    allBuyPoints = []
    for period in periods:
        upPoint = getUpCrossingPointInAPeriod(macd, signalLine, period)
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(macd, modifiedSignalLine,
period, upPoint)
        if totalTrade is not None:
            for trade in totalTrade.tradeList:
                allBuyPoints.append(trade.buyPoint)

    return allBuyPoints
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12(ต่อ)

```
def getAllSellPoints(pricesData, macd, signalLine, modifiedSignalLine):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    allSellPoints = []
    for period in periods:
        upPoint = getUpCrossingPointInAPeriod(macd, signalLine, period)
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(macd, modifiedSignalLine,
period, upPoint)
        if totalTrade is not None:
            for trade in totalTrade.tradeList:
                allSellPoints.append(trade.sellPoint)

    return allSellPoints

def modifiedSignalLineTestWithSET100(K=1, verbose=False):
    directory = '../resources/stockdata/'
    ignoreList = ['BANPU', 'MAKRO', 'VGI', 'STPI']
    symbolList = [f.replace('.csv','') for f in os.listdir(directory) if
f.endswith('.csv') and f.split('.')[0] not in ignoreList]

    resultList = pd.DataFrame({'success rate': None, 'profit rate': None},
index=symbolList)

    for symbol in symbolList:
        if verbose: print 'testing ' + symbol + '...'
        pricesData = getPricesData(symbol=symbol)
        macd, signalLine = getMACDAndSignalLine(pricesData, 12, 26, 9)
        modifiedSignalLine = getModifiedSignalLine(macd, signalLine, K)
        pricesData = pricesData[25:]
        macd = macd[25:]
        signalLine = signalLine[25:]
        modifiedSignalLine = modifiedSignalLine[25:]
        successRate, profitRate = modifiedSignalLineTest(pricesData, macd,
signalLine, modifiedSignalLine)

        resultList['profit rate'][symbol] = profitRate
        resultList['success rate'][symbol] = successRate

    if verbose:
        import webbrowser
        f = open(os.getcwd() + '/temp.html', 'w')
        f.write('Original MACD test with SET-100')
        f.write(resultList.to_html())
        f.close()
        webbrowser.open(os.getcwd() + '/temp.html', new=2)

    resultList = resultList.dropna()
    avgSuccessRate = resultList['success rate'].mean()
    avgProfitRate = resultList['profit rate'].mean()
    return avgSuccessRate, avgProfitRate
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ tradingtest_modsigtradingweight.py

```
from macdtester.basic import isAnUpCrossingPoint, isADownCrossingPoint,
Trade,\
    TotalTrade, getTradingPeriods, getMaximumPointsInAPeriod,\
    getMinimumPointsInAPeriod, getUpCrossingPointInAPeriod
import numpy as np
from macdtester.modifiedsignalline import
getAvailablyMinimumPointsInAPeriod,\
    getMinimumCertainties
from macdtester.fuzzy import FIS
import os
import pandas as pd
from macdtester.data import getPricesData
from macdtester.modifiedsignalline import getModifiedSignalLine
from macdtester.macd import getMACDAndSignalLine

def isABuyPoint(macd, modifiedSignalLine, upPoint, t):
    iup = macd.index.get_loc(upPoint)
    i = macd.index.get_loc(t)
    if i <= iup and isAnUpCrossingPoint(macd, modifiedSignalLine, t):
        return True
    else:
        return False

def isASellPoint(macd, modifiedSignalLine, t):
    if isADownCrossingPoint(macd, modifiedSignalLine, t):
        return True
    else:
        return False

def getTotalTradesInAPeriod(macd, modifiedSignalLine, period, upPoint,
overBought, overSold, avmin, dmin):
    tradeList = []
    buyPoint = None
    sellPoint = None
    capital = 1
    weight = None
    for t in period:
        if buyPoint is None and isABuyPoint(macd, modifiedSignalLine,
upPoint, t):
            buyPoint = t
            weight = fuzzyInfer(overBought, overSold, macd[avmin[t]],
dmin[t])

        if buyPoint is not None and isASellPoint(macd, modifiedSignalLine,
t):
            sellPoint = t

        if sellPoint is not None:
            tradeList.append(Trade(buyPoint, sellPoint, capital, weight))
            buyPoint = None
            sellPoint = None
            weight = None
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13(ต่อ)

```
    if len(tradeList) > 0:
        return TotalTrade(tradeList)
    else:
        return None

def modsigTradingWeightTest(pricesData, macd, signalLine,
modifiedSignalLine, R):
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    profitRateList = []
    successList = []
    for i in xrange(len(periods)):
        if i-R < 0: continue

        period = periods[i]
        avmin = getAvailablyMinimumPointsInAPeriod(macd, signalLine,
period)
        dmin = getMinimumCertainties(macd, signalLine, period)
        overBought = getOverBought(macd, signalLine, periods, i, R)
        overSold = getOverSold(macd, signalLine, periods, i, R)
        upPoint = getUpCrossingPointInAPeriod(macd, signalLine, period)
        totalTrade = getTotalTradesInAPeriod(macd, modifiedSignalLine,
period, upPoint, overBought, overSold, avmin, dmin)
        if totalTrade is not None:
            profitRate = totalTrade.getProfitRate(pricesData)
            profitRateList.append(profitRate)
            if profitRate > 0:
                successList.append(1)
            else:
                successList.append(0)

    if len(profitRateList) > 0:
        return np.mean(successList), np.mean(profitRateList)
    else:
        return None, None

def getAllBuyPoints(pricesData, macd, signalLine, modifiedSignalLine, R):
    from tradingtest_modifiedsignalline import getTotalTradesInAPeriod as
modsig_getTotalTradesInAPeriod
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    allBuyPoints = []

    for i in xrange(len(periods)):
        if i-R < 0: continue

        period = periods[i]
        upPoint = getUpCrossingPointInAPeriod(macd, signalLine, period)
        totalTrade = modsig_getTotalTradesInAPeriod(macd,
modifiedSignalLine, period, upPoint)
        if totalTrade is not None:
            for trade in totalTrade.tradeList:
                allBuyPoints.append(trade.buyPoint)

    return allBuyPoints
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13(ต่อ)

```
def getAllSellPoints(pricesData, macd, signalLine, modifiedSignalLine, R):
    from tradingtest_modifiedsignalline import getTotalTradesInAPeriod as
modsig_getTotalTradesInAPeriod
    periods = getTradingPeriods(macd, signalLine)
    allSellPoints = []

    for i in xrange(len(periods)):
        if i-R < 0: continue

        period = periods[i]
        upPoint = getUpCrossingPointInAPeriod(macd, signalLine, period)
        totalTrade = modsig_getTotalTradesInAPeriod(macd,
modifiedSignalLine, period, upPoint)
        if totalTrade is not None:
            for trade in totalTrade.tradeList:
                allSellPoints.append(trade.sellPoint)

    return allSellPoints

def getOverBought(macd, signalLine, periods, i, R):
    if i-R < 0:
        raise Exception('R is too much.')

    maxPoint = getMaximumPointsInAPeriod(macd, signalLine, periods[i-R])
    overBought = macd[maxPoint]
    return overBought

def getOverSold(macd, signalLine, periods, i, R):
    if i-R < 0:
        raise Exception('R is too much.')

    minPoint = getMinimumPointsInAPeriod(macd, signalLine, periods[i-R])
    overSold = macd[minPoint]
    return overSold


fis = FIS()
MaxDefuzz = fis.outputs['z'].defuzzify(fis.outputs['z'].terms['TRADE-
CONFIDENCE'])
MinDefuzz = fis.outputs['z'].defuzzify(fis.outputs['z'].terms['TRADE-
DOUBT'])
def fuzzyInfer(overBought, overSold, macd_avmin, dmin):
    half = (overBought + overSold)/2.0
    oneForth = (overSold + half)/2.0
    threeForth = (overBought + half)/2.0
    fis.set_term_param('macd_avmin', 'MACD-HIGH', abcd=(half, overBought,
'', ''))
    fis.set_term_param('macd_avmin', 'MACD-LOW', abcd=('', '', overSold,
half))
    fis.set_term_param('macd_avmin', 'MACD-MEDIUM', abcd=(oneForth, half,
half, threeForth))

    fis.set_inputs(macd_avmin=macd_avmin, dmin=dmin)
    z = fis.evaluate().get_outputs()['z'].value
    w = (z-MinDefuzz)/float(MaxDefuzz-MinDefuzz)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13(ต่อ)

```
    return w

def modsigTradingWeightTestWithSET100(K=1, R=1, verbose=False):
    directory = '../resources/stockdata/'
    ignoreList = ['BANPU', 'MAKRO', 'VGI', 'STPI']
    symbolList = [f.replace('.csv','') for f in os.listdir(directory) if
f.endswith('.csv') and f.split('.')[0] not in ignoreList]

    resultList = pd.DataFrame({'success rate': None, 'profit rate': None},
index=symbolList)

    for symbol in symbolList:
        if verbose: print 'testing ' + symbol + '...'
        pricesData = getPricesData(symbol=symbol)
        macd, signalLine = getMACDAndSignalLine(pricesData, 12, 26, 9)
        modifiedSignalLine = getModifiedSignalLine(macd, signalLine, K)
        pricesData = pricesData[25:]
        macd = macd[25:]
        signalLine = signalLine[25:]
        modifiedSignalLine = modifiedSignalLine[25:]
        successRate, profitRate = modsigTradingWeightTest(pricesData, macd,
signalLine, modifiedSignalLine, R)

        resultList['profit rate'][symbol] = profitRate
        resultList['success rate'][symbol] = successRate

    if verbose:
        import webbrowser
        f = open(os.getcwd() + '/temp.html', 'w')
        f.write('Original MACD test with SET-100')
        f.write(resultList.to_html())
        f.close()
        webbrowser.open(os.getcwd() + '/temp.html', new=2)

    resultList = resultList.dropna()
    avgSuccessRate = resultList['success rate'].mean()
    avgProfitRate = resultList['profit rate'].mean()
    return avgSuccessRate, avgProfitRate
```

ตารางที่ ก.14 ตารางแสดงรหัสต้นฉบับในไฟล์ main.py

```
print 'preparing data...'
symbol = 'KBANK'
pricesData = getPricesData(symbol)
macd, signalLine = getMACDAndSignalLine(pricesData, 12, 26, 9)
modifiedSignalLine = getModifiedSignalLine(macd, signalLine, 1)

pricesData = pricesData[25:]
macd = macd[25:]
signalLine = signalLine[25:]
modifiedSignalLine = modifiedSignalLine[25:]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14(ต่อ)

```
print 'original MACD test for ' + symbol
successRate, profitRate = originalMACDTest(pricesData, macd, signalLine)
print 'success rate: %f' % successRate
print 'profit rate: %f' % profitRate
raw_input("Press Enter to continue...")

allBuyPoints = org_getAllBuyPoints(pricesData, macd, signalLine)
allSellPoints = org_getAllSellPoints(pricesData, macd, signalLine)

fig = standardPlot(pricesData, macd, signalLine, show=False)
addMarkers(fig, macd, allBuyPoints, color='#00CC00', show=False)
addMarkers(fig, macd, allSellPoints, color='#FF0000', show=True)


print 'MACDR1 test for ' + symbol
successRate, profitRate = MACDR1Test(pricesData, macd, signalLine)
print 'success rate: %f' % successRate
print 'profit rate: %f' % profitRate
raw_input("Press Enter to continue...")

allBuyPoints = macdr1_getAllBuyPoints(pricesData, macd, signalLine)
allSellPoints = macdr1_getAllSellPoints(pricesData, macd, signalLine)

fig = standardPlot(pricesData, macd, signalLine, show=False)
addMarkers(fig, macd, allBuyPoints, color='#00CC00', show=False)
addMarkers(fig, macd, allSellPoints, color='#FF0000', show=True)


print 'MACDR2 test for ' + symbol
successRate, profitRate = MACDR2Test(pricesData, macd, signalLine)
print 'success rate: %f' % successRate
print 'profit rate: %f' % profitRate
raw_input("Press Enter to continue...")

allBuyPoints = macdr2_getAllBuyPoints(pricesData, macd, signalLine)
allSellPoints = macdr2_getAllSellPoints(pricesData, macd, signalLine)

fig = standardPlot(pricesData, macd, signalLine, show=False)
addMarkers(fig, macd, allBuyPoints, color='#00CC00', show=False)
addMarkers(fig, macd, allSellPoints, color='#FF0000', show=True)


print 'modified signal line test for ' + symbol
successRate, profitRate = modifiedSignalLineTest(pricesData, macd,
signalLine, modifiedSignalLine)
print 'success rate: %f' % successRate
print 'profit rate: %f' % profitRate
raw_input("Press Enter to continue...")

allBuyPoints = modsig_getAllBuyPoints(pricesData, macd, signalLine,
modifiedSignalLine)
allSellPoints = modsig_getAllSellPoints(pricesData, macd, signalLine,
modifiedSignalLine)

fig = standardPlot(pricesData, macd, signalLine, show=False)
addModifiedSignalLine(fig, modifiedSignalLine, show=False)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14(ต่อ)

```
addMarkers(fig, macd, allBuyPoints, color='#00CC00', show=False)
addMarkers(fig, macd, allSellPoints, color='#FF0000', show=True)


print 'modified signal line with trading weight test for ' + symbol
successRate, profitRate = modsigTradingWeightTest(pricesData, macd,
signalLine, modifiedSignalLine, 1)
print 'success rate: %f' % successRate
print 'profit rate: %f' % profitRate
raw_input("Press Enter to continue...")

allBuyPoints = modsigw_getAllBuyPoints(pricesData, macd, signalLine,
modifiedSignalLine, 1)
allSellPoints = modsigw_getAllSellPoints(pricesData, macd, signalLine,
modifiedSignalLine, 1)

fig = standardPlot(pricesData, macd, signalLine, show=False)
addModifiedSignalLine(fig, modifiedSignalLine, show=False)
addMarkers(fig, macd, allBuyPoints, color='#00CC00', show=False)
addMarkers(fig, macd, allSellPoints, color='#FF0000', show=True)



print 'original MACD test in SET-100'
successRate, profitRate = originalMACDTestWithSET100(verbose=True)
print 'original MACD test in SET-100'
print 'success rate: %f' % successRate
print 'profit rate: %f' % profitRate
raw_input("Press Enter to continue...")

print 'MACDR1 test in SET-100'
successRate, profitRate = MACDR1TestWithSET100(verbose=True)
print 'MACDR1 test in SET-100'
print 'success rate: %f' % successRate
print 'profit rate: %f' % profitRate
raw_input("Press Enter to continue...")


print 'MACDR2 test in SET-100'
successRate, profitRate = MACDR2TestWithSET100(verbose=True)
print 'MACDR2 test in SET-100'
print 'success rate: %f' % successRate
print 'profit rate: %f' % profitRate
raw_input("Press Enter to continue...")


print 'modified signal line test in SET-100'
successRate, profitRate = modifiedSignalLineTestWithSET100(K=0.1,
verbose=True)
print 'modified signal line test in SET-100'
print 'success rate: %f' % successRate
print 'profit rate: %f' % profitRate
raw_input("Press Enter to continue...")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14(ต่อ)

```
print 'modified signal line with trading weight test in SET-100'
successRate, profitRate = modsigTradingWeightTestWithSET100(K=0.1, R=1,
verbose=True)
print 'modified signal line with trading weight test in SET-100'
print 'success rate: %f' % successRate
print 'profit rate: %f' % profitRate
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
วิธีใช้รหัสต้นฉบับสำหรับการทดสอบวิธีการซื้อขาย

ข.1 ความรู้พื้นฐานในการใช้โปรแกรม

ภาคผนวก ข จะกล่าวถึงวิธีใช้งานรหัสต้นฉบับที่สำคัญ โดยจะสมมติว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้มีระบบปฏิบัติการคือ Windows XP Windows 7 หรือ Windows 8 และได้ทำการติดตั้งชุดซอฟต์แวร์ Pythonxy เรียบร้อยแล้ว (ดูภาคผนวก ก) และจะสมมติว่ารหัสต้นฉบับทั้งหมดพร้อมทั้งข้อมูลราคาหุ้นถูกจัดเก็บไว้ตามโครงสร้างดังรูปที่ ข.1

รูปที่ ข.1 รูปแสดงโครงสร้างการจัดเก็บรหัสต้นฉบับและข้อมูลราคา

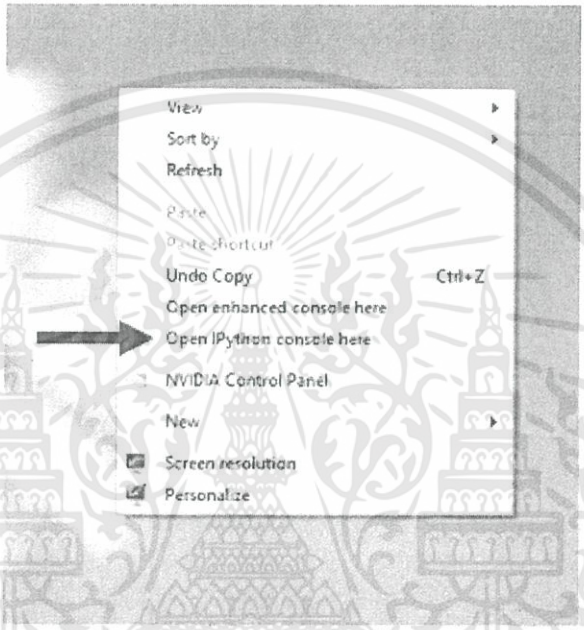
จากรูปที่ ข.1 ยกตัวอย่างเช่น ไฟล์รหัสต้นฉบับ basic.py จะถูกจัดเก็บไว้ที่ C:\macdtester\macdtester\basic.py และไฟล์ข้อมูลราคา AAV.csv จะถูกจัดเก็บไว้ที่ C:\macdtester\resources\stockdata\AAV.csv เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

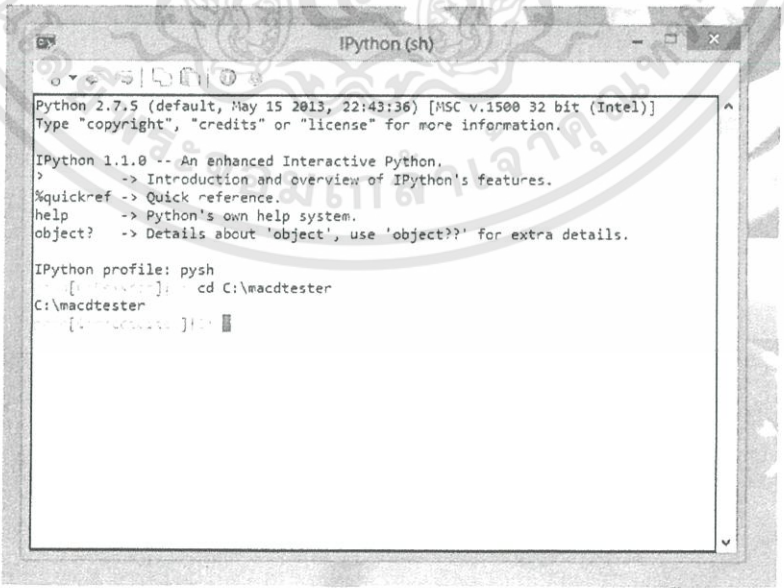
การเรียกใช้งานรหัสต้นฉบับสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม IPython ที่ติดตั้งมาพร้อมกับชุดซอฟต์แวร์ Pythonxy โดยหากเลือกติดตั้ง Pythonxy ไว้ที่ C:\ จะสามารถพบโปรแกรม IPython ได้ที่ C:\Python27\Scripts\ipython.exe หรือเปิดได้โดยการคลิกเมาส์ขวาที่เดสก์ทอปจากนั้นเลือกรายการ “Open IPython console here” ดังรูปที่ ข.2 และจะปรากฏโปรแกรมขึ้นให้พิมพ์คำสั่ง

```
> cd C:\macdtester
```

เพื่อเคลื่อนย้ายพื้นที่การทำงานไปยังที่อยู่ของรหัสต้นฉบับ ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.2 รูปแสดงการเปิดโปรแกรม IPython ด้วยโดยการคลิกเมาส์ขาวที่เดสก์ทอปในระบบปฏิบัติการ Windows



รูปที่ ข.3 รูปโปรแกรม IPython หลังจากป้อนคำสั่งเคลื่อนย้ายพื้นที่การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ ข.2 ถึง ข.4 จะอธิบายถึงคำสั่งต่างที่อยู่ในไฟล์ main.py ผู้ใช้สามารถทำตามหัวข้อ ข.2 ถึง ข.4 ทีละขั้นตอน แต่หากต้องการใช้รหัสต้นฉบับที่สำเร็จแล้วในไฟล์ main.py สามารถทำได้โดยพิมพ์คำสั่งดังนี้

```
> %run macdtester/main
```

ข.2 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อันได้แก่ ข้อมูลราคา MACD เส้นสัญญาณ และเส้นสัญญาณดัดแปลงนั้น จะถูกแสดงออกในรูปของลำดับ (กล่าวคือ อาเรย์) ของข้อมูล ณ เวลาต่างๆ การเตรียมข้อมูลราคาทำได้โดยใช้คำสั่งดังต่อไปนี้

```
> from macdtester.data import getPricesData
> pricesData = getPricesData(symbol='KBANK', type='close')
```

จะได้ว่าตัวแปร pricesData จะมีค่าเป็นลำดับของราคาปิด (close) ของหุ้น KBANK ณ เวลาต่าง (สามารถพิมพ์ชื่อตัวแปรแล้วกดปุ่ม Enter เพื่อดูค่าของตัวแปร) โดยพารามิเตอร์ symbol คือชื่อหุ้นที่มีข้อมูลอยู่ใน C:\macdtester\resources\stockdata\ และ type คือชนิดของราคาอันได้แก่ 'open' 'high' 'low' และ 'close'

ต่อไปจะทำการสร้างลำดับของ MACD และเส้นสัญญาณจากข้อมูลราคาด้วยคำสั่งต่อไปนี้

```
> from macdtester.macd import getMACDAndSignalLine
> macd, signalLine = getMACDAndSignalLine(pricesData, 12, 26, 9)
```

จะได้ว่าตัวแปร macd จะมีค่าเป็นลำดับของเส้น MACD และตัวแปร signalLine จะมีค่าเป็นลำดับของเส้นสัญญาณ ณ เวลาต่างๆ โดยที่ลำดับ MACD จะคำนวณจากผลต่างของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 12 วัน และ 26 วัน และเส้นสัญญาณจะคำนวณจากค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 9 วันของ MACD

ในทำนองเดียวกัน สามารถสร้างลำดับของเส้นสัญญาณดัดแปลงได้ดังนี้

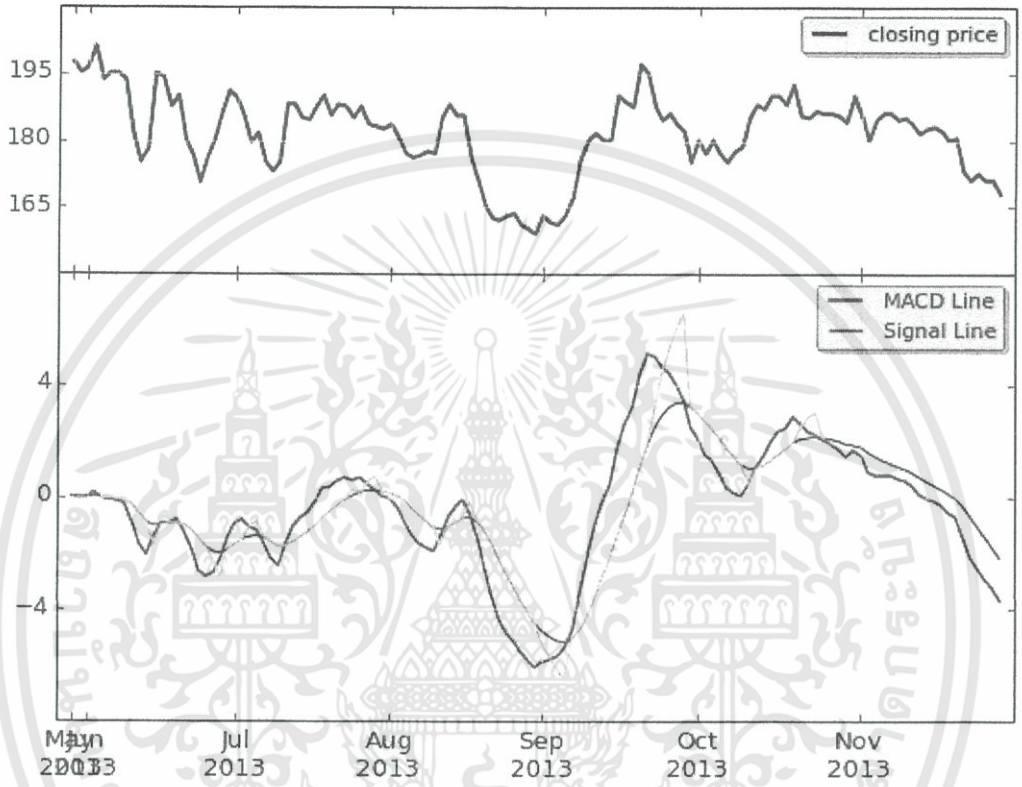
```
> from macdtester.modifiedsignalline import getModifiedSignalLine
> modifiedSignalLine = getModifiedSignalLine(macd, signalLine, 1)
```

ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้สร้างเส้นสัญญาณดัดแปลงด้วยค่าปรับเว้า $K = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถพล็อตกราฟของลำดับทั้ง 4 ลำดับได้ดังนี้

```
> from macdtester.plot import standardPlot, addModifiedSignalLine
> figure = standardPlot(pricesData, macd, signalLine, show=False)
> addModifiedSignalLine(figure, modifiedSignalLine, show=True)
```



รูปที่ ข.4 กราฟของลำดับราคา MACD เส้นสัญญาณ และเส้นสัญญาณดัดแปลง

เส้นสีดำคือราคา เส้นสีแดงคือ MACD เส้นสีน้ำเงินคือเส้นสัญญาณ และเส้นสีม่วงคือเส้นสัญญาณดัดแปลง คำนวณจากราคาปิดของหุ้น KBANK ตั้งแต่วันที่ 30 พฤษภาคม ถึง 28 พฤจิกายน พ.ศ. 2556

จากรูปที่ ข.4 จะเห็นได้ว่ากราฟของ MACD ในช่วงวันแรกๆ จะตัดกันอย่างถี่ เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบเอ็กซ์โปเนนเชียลยังมีจำนวนน้อย ดังนั้นเพื่อให้การทดสอบเป็นไปอย่างเสมือนจริงมากที่สุด จะตัดข้อมูลจำนวน 26 วันแรกทิ้งไป ด้วยคำสั่งต่อไปนี้

```
> pricesData = pricesData[25:]
> macd = macd[25:]
> signalLine = signalLine[25:]
> modifiedSignalLine = modifiedSignalLine[25:]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 การทดสอบกับหุ้นรายตัว

สามารถนำข้อมูลที่เตรียมไว้ในหัวข้อ ข.2 มาใช้ทดสอบกับวิธีการซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิมได้ด้วยคำสั่งต่อไปนี้

```
> from macdtester.tradingtest_originalmacd import originalMACDTest
> successRate, profitRate = originalMACDTest(pricesData, macd, signalLine)
```

ตัวแปร successRate จะมีค่าเป็นอัตราความสำเร็จและตัวแปร profitRate จะมีค่าเป็นอัตรากำไร

การทดสอบกับวิธีการอื่นสามารถทำได้ในทำนองเดียวกัน

```
> from macdtester.tradingtest_macdr1 import MACDR1Test
> from macdtester.tradingtest_macdr2 import MACDR2Test
> from macdtester.tradingtest_modifiedsignalline import
    modifiedSignalLineTest
> from macdtester.tradingtest_modsigtradingweight import
    modsigTradingWeightTest
> successRate, profitRate = MACDR1Test(pricesData, macd, signalLine)
> successRate, profitRate = MACDR2Test(pricesData, macd, signalLine)
> successRate, profitRate = modifiedSignalLineTest(pricesData, macd,
    signalLine, modifiedSignalLine)
> successRate, profitRate = modsigTradingWeightTest(pricesData, macd,
    signalLine, modifiedSignalLine, 1)
```

เมื่อ modsigTradingWeightTest หมายถึงการทดสอบวิธีการซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงโดยใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก และค่าพารามิเตอร์ “1” ในบรรทัดสุดท้ายคือค่า R ที่ใช้กำหนดจำนวนคาบย้อนหลังที่จะใช้คำนวณจุดขอบเขตการซื้อล้น (overbought) และขอบเขตการขายล้น (oversold)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 การทดสอบกับหุ้น SET-100

การทดสอบวิธีการซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิมกับหุ้นใน SET-100 เพื่อหาค่าอัตราความสำเร็จและอัตรากำไรโดยเฉลี่ยสามารถทำได้ดังนี้

```
> from macdtester.tradingtest_originalmacd import originalMACDTest
> successRate, profitRate = originalMACDTestWithSET100(verbose=False)
```

โดยหากกำหนดให้ verbose=True โปรแกรมจะแจ้งความคืบหน้าในการคำนวณไปด้วยแม้จะยังคำนวณไม่เสร็จสิ้น และใจแสดงผลการทดสอบกับหุ้นรายตัวเมื่อคำนวณเสร็จสิ้นแล้ว

ในทำนองเดียวกันการทดสอบวิธีการซื้อขายอื่นสามารถทำได้ดังนี้

```
> from macdtester.tradingtest_macdr1 import MACDR1TestWithSET100
> from macdtester.tradingtest_macdr2 import MACDR2TestWithSET100
> from macdtester.tradingtest_modifiedsignalline import
    modifiedSignalLineTestWithSET100
> from macdtester.tradingtest_modsigtradingweight import
    modsigTradingWeightTestWithSET100
> successRate, profitRate = MACDR1TestWithSET100(verbose=False)
> successRate, profitRate = MACDR2TestWithSET100(verbose=False)
> successRate, profitRate = modifiedSignalLineTestWithSET100(K=0.1,
    verbose=False)
> successRate, profitRate = modsigTradingWeightTestWithSET100(K=0.1, R=1,
    verbose=False)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบกับหุ้นรายตัว

ค.1 การทดสอบหุ้นรายตัวด้วยวิธีซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิม

เมื่อทดสอบวิธีซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิมกับข้อมูลราคาปิดของหุ้นแต่ละตัวใน SET-100 ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบหุ้นรายตัวด้วยวิธีซื้อขาย MACD แบบดั้งเดิม

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
AAV	0.04152485	0.5
ADVANC	-0.007576406	0.25
AMATA	-0.03471458	0.2
AOT	0.06484792	1
AP	-0.003529688	0.3333333
BAY	-0.004849183	0
BBL	-0.02333021	0
BCH	-0.03718669	0.3333333
BCP	-0.03071106	0
BEC	-0.01405196	0.3333333
BECL	-0.01651352	0
BGH	-0.0001424501	0.5
BH	0.02831455	0.5
BIGC	0.01939976	0.5
BJC	0.006111734	0.25
BLA	-0.0316547	0.25
BLAND	0.06615166	0.6666667
BTS	0.002929456	0.5
CENTEL	0.0409938	0.3333333
CK	0.01555904	0.6666667
CPALL	-0.005113042	0.3333333
CPF	-0.01404534	0
CPN	0.002644574	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
DCC	-0.02191067	0
DELTA	-0.01587302	0.3333333
DEMCO	-0.04719374	0.5
DTAC	-0.0163744	0
EGCO	-0.01563797	0
ESSO	-0.003918203	0.3333333
GLOBAL	0.06495277	1
GLOW	-0.02712663	0
GOLD	0.08643411	1
GSTEL	-0.09897661	0
GUNKUL	0.04715088	0.5
HEMRAJ	-0.03530174	0.3333333
HMPRO	-0.04090909	0.5
INTUCH	0.005654527	0.5
IRPC	0.01831995	0.6666667
ITD	0.02370366	0.3333333
IVL	0.03157063	0.6666667
JAS	-0.003053161	0.5
KBANK	-0.02060374	0.25
KCE	0.01717486	0.25
KKP	-0.02016369	0.1666667
KTB	-0.01068238	0.2
KTC	-0.0267912	0.3333333
LH	0.01522248	0.25
LOXLEY	-0.01981665	0.3333333
LPN	0.001602912	0.3333333
MAJOR	-0.01147648	0.25
MALEE	-0.02528024	0.5
MBK	-0.01366987	0
MCOT	-0.005539036	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
MDX	0.01701897	0.6666667
MINT	0.03941077	0.6666667
PF	0.038342	0.6666667
PS	0.008217001	0.4
PTT	-0.01580587	0
PTTEP	-0.009547626	0.2
PTTGC	-0.001555896	0.4
QH	-0.02462485	0.2
RATCH	-0.02213806	0
ROBINS	-0.005619471	0.3333333
ROJNA	0.00350156	0.5
RS	-0.008616345	0.4
SAMART	0.04434695	0.5
SAMTEL	0.08741259	0.5
SAT	0.06336098	0.5
SC	-0.001585139	0.5
SCB	-0.005291459	0.2
SCC	-0.01807761	0.25
SCCC	-0.01081936	0.25
SF	-0.002588956	0.3333333
SIRI	-0.0001886705	0.3333333
SPALI	0.07342657	0.5
SPCG	0.04328041	0.5
SRICHA	-0.008356602	0.4
SSI	-0.02586595	0
STA	-0.01809218	0.25
STEC	-0.03486337	0.2
TCAP	-0.007045382	0.1666667
THAI	0.2248521	1
THCOM	0.03455645	0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
THRE	-0.03142418	0.3333333
TISCO	-0.001968565	0.6666667
TMB	-0.01728829	0.2
TOP	-0.01324572	0.3333333
TPIPL	0.005226613	0.4
TRUE	0.08824234	0.5
TTA	-0.002693158	0.3333333
TTCL	0.1191934	0.5
TTW	-0.003076923	0.3333333
TUF	0.02942312	0.6666667
TVO	-0.01376945	0.25
UV	-0.01069695	0.6666667
WHA	-0.02333021	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 การทดสอบหุ้นรายตัวด้วยวิธีซื้อขาย MACDR1

เมื่อทดสอบวิธีซื้อขาย MACDR1 กับข้อมูลราคาปิดของหุ้นแต่ละตัวใน SET-100 ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบหุ้นรายตัวด้วยวิธีซื้อขาย MACDR1

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
AAV	0.003063725	0.5
ADVANC	-0.02737226	0
AMATA	0.01764238	0.6
AOT	0.04394993	1
AP	-0.03373352	0.3333333
BAY	-0.003246753	0
BBL	0.01383367	0.5
BCH	-0.02293093	0.3333333
BCP	-0.02844155	0.3333333
BEC	-0.01190373	0.3333333
BECL	-0.02257702	0.2
BGH	0.003088803	0.5
BH	0.0308434	0.75
BIGC	0.05007538	1
BJC	0.006255538	0.6666667
BLA	-0.01091891	0.5
BLAND	0.006149406	0.6666667
BTS	-0.001308463	0.25
CENTEL	0.02654592	0.6666667
CK	0.02782243	0.6666667
CPALL	0.01445668	0.5
CPF	0.06140287	1
CPN	0.03056541	0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
DCC	-0.03259262	0
DELTA	-0.01069287	0.3333333
DEMCO	-0.02117234	0.5
DTAC	0.03015753	0.75
EGCO	-0.01433518	0
ESSO	0.01869706	0.6666667
GLOBAL	0.05772321	1
GLOW	0.01157899	0.5
GOLD	0.07044114	1
GSTEL	-0.09897661	0
GUNKUL	0.003068182	0.5
HEMRAJ	-0.001189165	0.6666667
HMPRO	0.04322139	1
INTUCH	0.04653979	1
IRPC	0.042067	1
ITD	0.06911441	1
IVL	-0.02706492	0.3333333
JAS	0.01231293	0.75
KBANK	-0.01429443	0.25
KCE	-0.00701293	0.5
KKP	-0.03681064	0.25
KTB	-0.01185932	0.4
KTC	-0.002112116	0.3333333
LH	-0.004276373	0.5
LOXLEY	-0.01642673	0.6666667
LPN	-0.02979956	0.3333333
MAJOR	0.004642657	0.6666667
MALEE	-0.03590565	0.25
MBK	-0.01912155	0
MCOT	0.03467373	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
MDX	0.0190855	0.6666667
MINT	0.005120412	0.6666667
PF	0.05126178	1
PS	0.003941703	0.5
PTT	0.008963553	0.5
PTTEP	0.01460455	0.5
PTTGC	0.01840894	0.6666667
QH	-0.01873107	0.5
RATCH	-0.02174234	0
ROBINS	0.01100078	0.6666667
ROJNA	0.01726805	0.5
RS	-0.02510089	0.25
SAMART	-0.03731259	0.5
SAMTEL	0.03905131	1
SAT	0.04093567	1
SC	0.03110845	0.75
SCB	-0.003929677	0.25
SCC	0.008958333	0.5
SCCC	0.00125	0.5
SF	0.05601178	1
SIRI	-0.01920705	0.3333333
SPALI	0.07213556	1
SPCG	-0.02163636	0.5
SRICHA	0.03294182	0.6
SSI	0.01896836	0.6666667
STA	0.007262761	0.3333333
STEC	0.02635414	0.6666667
TCAP	-0.01762926	0.25
THAI	0.0483871	1
THCOM	0.03792921	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
THRE	0.01257182	0.6666667
TISCO	-0.004436208	0.6666667
TMB	-0.02069459	0.5
TOP	-0.02772626	0.3333333
TPIPL	0.02142649	0.75
TRUE	0.01934117	0.5
TTA	0.02182362	0.6666667
TTCL	-0.01797829	0.5
TTW	0.03015449	1
TUF	0.006174233	0.6666667
TVO	-0.007653264	0.25
UV	-0.003083534	0.3333333
WHA	0.01383367	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 การทดสอบหุ้นรายตัวด้วยวิธีซื้อขาย MACDR2

เมื่อทดสอบวิธีซื้อขาย MACDR2 ข้อมูลราคาปิดของหุ้นแต่ละตัวใน SET-100 ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ ค.3

ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์จากการทดสอบหุ้นรายตัวด้วยวิธีซื้อขาย MACDR3

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
AAV	0.06862745	1
ADVANC	-0.05474453	0
AMATA	0.05631028	1
AOT	0.05163043	1
AP	-0.03373352	0.3333333
BAY	None	None
BBL	0.04	1
BCH	-0.01042379	0.5
BCP	-0.0729927	0
BEC	None	None
BECL	None	None
BGH	-0.02857143	0
BH	None	None
BIGC	0.05007538	1
BJC	-0.01586922	0.5
BLA	-0.009431537	0.5
BLAND	0.006149406	0.6666667
BTS	None	None
CENTEL	0.02654592	0.6666667
CK	0.06292009	1
CPALL	0.1118881	1
CPF	0.07862903	1
CPN	0.06024096	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
DCC	-0.008733624	0
DELTA	0.03553299	1
DEMCO	-0.02117234	0.5
DTAC	0.03043478	1
EGCO	None	None
ESSO	0.08270677	1
GLOBAL	0.06857143	1
GLOW	0.0719697	1
GOLD	0.0962963	1
GSTEL	-0.09897661	0
GUNKUL	0.08	1
HEMRAJ	0.05250197	1
HMPRO	0.04166667	1
INTUCH	0.06325301	1
IRPC	0.03954802	1
ITD	0.06911441	1
IVL	-0.02706492	0.3333333
JAS	0.03198309	1
KBANK	0.05555556	1
KCE	0	0.5
KKP	-0.09289617	0
KTB	0.0001581278	0.5
KTC	0.06382979	1
LH	0.05825243	1
LOXLEY	-0.04116902	0.5
LPN	None	None
MAJOR	0.03763441	1
MALEE	-0.04058524	0.5
MBK	None	None
MCOT	0.03649635	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
MDX	0.06735751	1
MINT	-0.01155015	0.5
PF	0.05126178	1
PS	0.003941703	0.5
PTT	None	None
PTTEP	None	None
PTTGC	None	None
QH	-3.144654e-05	0.6666667
RATCH	None	None
ROBINS	0.03076923	1
ROJNA	None	None
RS	0.008231352	0.5
SAMART	-0.03731259	0.5
SAMTEL	None	None
SAT	0.04093567	1
SC	0.06515808	1
SCB	0.09150327	1
SCC	0.03125	1
SCCC	0.045	1
SF	None	None
SIRI	0.05454545	1
SPALI	0.109589	1
SPCG	-0.02163636	0.5
SRICHA	0.07233441	1
SSI	None	None
STA	-0.04316547	0
STEC	0.06230348	1
TCAP	0.04651163	1
THAI	0.0483871	1
THCOM	0.03998731	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
THRE	0.05963303	1
TISCO	-0.0338652	0.5
TMB	-0.0381748	0.3333333
TOP	-0.07228916	0
TPIPL	0.01444436	0.6666667
TRUE	0.01934117	0.5
TTA	0.03488372	1
TTCL	-0.01797829	0.5
TTW	None	None
TUF	0.03904858	1
TVO	None	None
UV	0.01226659	0.5
WHA	0.04	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.4 การทดสอบหุ้นรายตัวด้วยวิธีซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง

เมื่อทดสอบวิธีซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงกับข้อมูลราคาปิดของหุ้นแต่ละตัวใน SET-100 ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.4 ผลลัพธ์จากการทดสอบหุ้นรายตัวด้วยวิธีซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลง

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
AAV	0.0285939	0.5
ADVANC	-0.001020604	0.25
AMATA	0.02330137	0.8
AOT	0.04089056	0.5
AP	0.05179162	0.3333333
BAY	-0.01114767	0
BBL	0.01000074	0.5
BCH	0.01804844	0.6666667
BCP	-0.002217107	0.5
BEC	-0.01062707	0.3333333
BECL	0.007078014	0.6
BGH	0.02941717	1
BH	0.02692902	0.5
BIGC	0.01055606	0.5
BJC	0.01453005	0.25
BLA	0.03654194	1
BLAND	0.05524593	1
BTS	0.02057487	0.5
CENTEL	0.09173134	1
CK	0.0378355	1
CPALL	-0.006722263	0.1666667
CPF	-0.007165193	0.3333333
CPN	0.03239137	0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
DCC	-0.01143283	0.3333333
DELTA	0.004011334	0.3333333
DEMCO	0.05038311	0.75
DTAC	0.03096711	0.75
EGCO	-0.01832116	0.1666667
ESSO	0.02801577	0.6666667
GLOBAL	0.1230748	1
GLOW	-0.01264117	0.25
GOLD	0.03111617	1
GSTEL	-0.06059942	0
GUNKUL	0.06479561	0.5
HEMRAJ	0.0805447	1
HMPRO	0.05260417	1
INTUCH	0.0173011	0.5
IRPC	0.04923313	0.6666667
ITD	0.12874	1
IVL	0.102724	1
JAS	0.04343407	0.75
KBANK	0.02210084	0.5
KCE	0.06232463	0.75
KKP	-0.01323144	0.1666667
KTB	0.03157746	0.4
KTC	0.03957525	0.3333333
LH	0.04601844	0.75
LOXLEY	0.03903938	0.6666667
LPN	0.02992135	0.6666667
MAJOR	0.0393074	0.5
MALEE	0.03511253	0.5
MBK	-0.007734172	0.5
MCOT	0.006179671	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
MDX	0.05526415	0.6666667
MINT	0.0973798	1
PF	0.02711796	1
PS	0.04835052	0.6
PTT	-0.02482605	0
PTTEP	-0.02858822	0
PTTGC	-0.009212495	0.4
QH	0.03408888	0.6
RATCH	-0.004569179	0.4
ROBINS	0.08424226	1
ROJNA	-0.002941176	0
RS	0.02216642	0.2
SAMART	0.1210526	1
SAMTEL	0.07380952	0.5
SAT	0.04479629	0.5
SC	0.03817473	0.75
SCB	0.02540431	0.4
SCC	0.001029921	0.25
SCCC	0.01659907	0.25
SF	-0.02519007	0.3333333
SIRI	0.04802016	0.3333333
SPALI	0.0837669	1
SPCG	0.08185673	1
SRICHA	0.02873827	0.6
SSI	0.009009009	0.3333333
STA	0.0227667	0.5
STEC	0.004823906	0.4
TCAP	-0.007252779	0.3333333
THAI	0.2411765	1
THCOM	0.03886688	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
THRE	0.03503795	1
TISCO	0.03588541	0.6666667
TMB	0.004253968	0.4
TOP	-0.01400859	0.3333333
TPIPL	0.04348536	1
TRUE	0.04709742	0.5
TTA	0.0506845	0.6666667
TTCL	0.1332465	0.5
TTW	-0.002380143	0.3333333
TUF	0.04621289	0.6666667
TVO	0.002764768	0.5
UV	0.07987666	0.6666667
WHA	0.01000074	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.5 การทดสอบหุ้นรายตัวด้วยวิธีซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงโดยใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก

เมื่อทดสอบวิธีซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงโดยใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนักกับข้อมูลราคาปิดของหุ้นแต่ละตัวใน SET-100 ตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม ถึง 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ ค.5

ตารางที่ ค.5 ผลลัพธ์จากการทดสอบหุ้นรายตัวด้วยวิธีซื้อขายด้วยเส้นสัญญาณดัดแปลงโดยใช้การซื้อขายแบบถ่วงน้ำหนัก

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
AAV	0.08471074	1
ADVANC	-0.0141833	0
AMATA	0.02182419	0.75
AOT	-0.01558781	0
AP	0.09614763	0.5
BAY	-0.002919159	0
BBL	0.01367898	0.4
BCH	0.02089764	0.5
BCP	-0.006154946	0.6666667
BEC	-0.003887253	0.5
BECL	0.005175805	0.5
BGH	0.01638369	1
BH	0.007015517	0.3333333
BIGC	0.0006941895	0.3333333
BJC	0.02925661	0.3333333
BLA	0.04007289	1
BLAND	0.05996902	1
BTS	0.02578527	0.3333333
CENTEL	0.1112633	1
CK	0.0167932	1
CPALL	-0.001331059	0.2
CPF	-0.009916686	0
CPN	0.0376882	0.6666667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
DCC	0.008249498	0.5
DELTA	-0.005185238	0.5
DEMCO	0.03282601	0.6666667
DTAC	0.02965986	0.6666667
EGCO	-0.01199028	0.2
ESSO	0.0579683	1
GLOBAL	0.02375822	1
GLOW	-0.008713376	0.3333333
GOLD	0.03169528	1
GSTEL	-0.05558335	0
GUNKUL	0.1353383	1
HEMRAJ	0.08274094	1
HMPRO	0.01024154	1
INTUCH	0.005566903	0.3333333
IRPC	0.05890163	1
ITD	0.1058488	1
IVL	0.1208039	1
JAS	0.0183659	0.6666667
KBANK	0.03519333	0.6666667
KCE	0.04524426	0.6666667
KKP	-0.00286406	0.2
KTB	0.05126523	0.5
KTC	0.07468538	0.5
LH	0.05734187	0.6666667
LOXLEY	0.06296589	1
LPN	0.0578597	1
MAJOR	0.05370632	0.3333333
MALEE	0.05493771	0.6666667
MBK	-0.01123983	0.6666667
MCOT	0.02283008	0.6666667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
MDX	0.09864304	1
MINT	0.1076452	1
PF	0.04858948	1
PS	0.05467749	0.5
PTT	-0.01656187	0
PTTEP	-0.02016443	0
PTTGC	-0.0119366	0.5
QH	0.02163648	0.5
RATCH	-0.0002165085	0.5
ROBINS	0.02542332	1
ROJNA	0	0
RS	0.03258348	0.25
SAMART	0.2368421	1
SAMTEL	0.200749	1
SAT	0.151561	1
SC	0.02168852	0.6666667
SCB	0.03483834	0.5
SCC	0.01090548	0.3333333
SCCC	-0.01686751	0
SF	-0.04932356	0
SIRI	0.08605854	0.5
SPALI	0.02249256	1
SPCG	0.1314554	1
SRICHA	0.03123624	0.5
SSI	0.01082571	0.5
STA	-0.0111773	0.3333333
STEC	0.02595165	0.5
TCAP	-0.001001516	0.4
THAI	None	None
THCOM	0.03174737	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5(ต่อ)

	อัตรากำไรเฉลี่ย	อัตราความสำเร็จ
THRE	0.03763597	1
TISCO	0.04573856	1
TMB	0.004426997	0.5
TOP	-0.003108063	0.5
TPIPL	0.02515006	1
TRUE	0.1002924	1
TTA	0.07454123	1
TTCL	0.3055556	1
TTW	-0.007281417	0
TUF	0.04001775	0.5
TVO	0.01543855	0.6666667
UV	0.01274199	0.5
WHA	0.01367898	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายวิชัย วิทยาเกียรติเลิศ

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาคณิตศาสตร์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.ด (คณิตศาสตร์)	คณิตศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2554
วท.ม (คณิตศาสตร์)	คณิตศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2550
วท.บ (คณิตศาสตร์)	คณิตศาสตร์	มหาวิทยาลัยศิลปากร	2547

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ คณิตศาสตร์ประยุกต์ทางการเงิน

ทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2556	ทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ เรื่อง "IMPULSIVE FRACTIONAL INTEGRAL INEQUALITIES"	คณะวิทยาศาสตร์
2556	ทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ เรื่อง "OPTIMAL REGULATOR OF MORTGAGE-BACKED SECURITIES WITH TIME LAG"	คณะวิทยาศาสตร์
2556-2557	ทุนพัฒนาอาจารย์ใหม่ เรื่อง "FUZZY OPTIMAL CONTROL OF NONLINEAR DIFFERENTIAL EQUATION WITH TIME DELAY AND FUZZY OPTIMAL CONTROL OF MORTGAGE-BACKED SECURITIES WITH TIME DELAY"	กองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2557	ทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ เรื่อง"Singular	คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	perturbation of impusive integro-differential equations"	

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. S. Yodmun and W. Witayakiattilerd, Stock Selection into Portfolio by Fuzzy Quantitative Analysis and Fuzzy Multi-Criteria Decision Making, Accepted 7 April 2016, In press.
2. P. Waree and W. Witayakiattilerd, Stability Analysis of an Approximate System of a Nonlinear Singularly-Perturbed Fuzzy, Accepted 31 January 2016,Thai Journal of Mathematics-ICMSA2015 special issue, In press.
3. W.Witayakiattilerd, Nonlinear Fuzzy Differential Equation withTime Delay and Optimal Control Problem, Hindawi Publishing CorporationAbstract and Applied AnalysisVolume 2015, Article ID 659072, 14 pages http://dx.doi.org/10.1155/2015/65907.
4. W.Witayakiatilerd, Optimal Regulation of Impulsive Fractional Differential Equation with Delay and Application to Nonlinear Fractional Heat Equation , Journal of Mathematics Research(JMR), Vol 5, No 2 (2013)
5. W.Witayakiatilerd & A.Chonwerayuth ,Fractional Integro-Differential Equations Of Mixed Type With Solution Operator And Optimal Controls , Journal of Mathematics Research(JMR), August 2011
6. W.Witayakiatilerd & A.Chonwerayuth , Regularity Of Piecewise Continuous Almost Periodic Solutions For Nonlinear Impulsive Systems , Pushpa Publishing House ,November 2009

การเสนอผลงานวิชาการ

1. W.Witayakiatilerd & A.Chonwerayuth "Regularity of piecewise continuous almost periodic solutions for nonlinear impulsive systems" The fifth mathematics and physical sciences graduate congress (MPSGC 2009), on Dec 7-9, 2009, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

2.W.Witayakiatilerd & A.Chonwerayuth "Optimal control for the Fractional integro-differential Equations with Delay "The sixth mathematics and physical sciences graduate congress (MPSGC 2010), on Dec 13-15, 2010, University of Malaya, Malaysia.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Sirikul Siriteerakul& W.Witayakiatilerd "A Study on Heat Diffusion of Tile" The 5th Thailand-Japan International AcademicConference (5th TJIA 2012), on Oct 20, 2012, The University of Tokyo, Tokyo, Japan.

4. W.Witayakiatilerd., "Optimal Regulation of Impulsive FractionalDifferential Equations with Delays" International conference on global optimization and its applications 2012, on Dec 13-15, 2012, Faculrty of Mathematics and Natural Sciences, University of Padjadjaran, Bundung, Indonesia.

5. W.Witayakiatilerd, "Direct Proof of Mild Solution of Integro-differential Equations on Real Number" The Fourth TKU-KMITL Joint Symposium on Mathematics and Applied Mathematics (MAM2014), on Mar 19-20, 2014, Tokai University, Japan

6. W.Witayakiatilerd., *Singular Perturbation to Impulsive Differential Equations with IPD Controller*, The 5th KMITL-TKU International Joint Symposium on Mathematics and Applied Mathematics (MAM2016), Bangkok,Thailand.(Abstract)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hindawi Publishing Corporation
Advances in Operations Research
Volume 2016, Article ID 9530425, 14 pages
http://dx.doi.org/10.1155/2016/9530425

Hindawi

Research Article

Stock Selection into Portfolio by Fuzzy Quantitative Analysis and Fuzzy Multicriteria Decision Making

Satit Yodmun and Wichai Witayakiattilerd

Department of Mathematics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Correspondence should be addressed to Wichai Witayakiattilerd; wichai.wi@kmitl.ac.th

Received 28 November 2015; Revised 26 February 2016; Accepted 7 April 2016

Academic Editor: Igor L. Averbakh

Copyright © 2016 S. Yodmun and W. Witayakiattilerd. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This paper presents a stock selection approach assisted by fuzzy procedures. In this approach, stocks are classified into groups according to business types. Within each group, the stocks are screened and then ranked according to their investment weight obtained from fuzzy quantitative analysis. Groups were also ranked according to their group weight obtained from fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) and technique for order preference by similarity to ideal solution method (TOPSIS). The overall weight for each stock was then derived from both of these weights and used for selecting a stock into the portfolio. As a demonstration, our analysis procedures were applied to a test set of data.

1. Introduction

Presently, investors are more interested in investing in stocks and bonds than keeping their money in the bank because it yields a higher return. However, this higher return also comes with higher risk; investors may lose some of their investment, get a lower-than-expected return, or get a lower return than that from another type of investment. Therefore, they have to analyze a stock carefully before investing in it.

In addition to several established approaches to stock analysis—such as quantitative fundamental analysis, technical analysis, and stochastic analysis—new analytical tools have been developed and widely used including ones that are based on Brownian movement, fuzzy logic, and the analytic hierarchy process.

The analytic hierarchy process (AHP) is a multicriteria decision-making approach and is a structured technique for organizing and analyzing complex decisions, based on mathematics and psychology. It was developed by Saaty in the 1970s, to help one make decision when one is faced with the mixture of qualitative, quantitative, and sometimes conflicting factors that are taken into consideration. AHP has been very effective in making complicated, often irreversible decisions. It has been extensively studied and refined since then (e.g., [1–11] and references therein).

Fuzzy sets and fuzzy logic, especially, are of wide interest today. They are effective tools for modeling, in the absence of complete and precise information, complex business, finance, and management systems. The subjective judgement of experts who have used fuzzy logic techniques produces better results than the objective manipulation of inexact data. The concept of a fuzzy set is a reflection of reality reflection which serves as a point of departure for the development of theories which have the capability to model the pervasive imprecision and uncertainty of the real world. As applied to stock analysis (e.g., [12–15] and references therein), fuzzy logic uses integrated experiential knowledge of human experts to make better quantitative estimates, not possible with classical logic, based on robust mathematical principles.

By reason of vagueness of boundaries of stock data in future and the attendant imprecision, uncertainty, and preference of decision makers, therefore, fuzzy logic and AHP seem suitable for this problem. This paper proposes an approach to stock analysis based on calculated weights from fuzzy quantitative analysis and fuzzy multicriteria decision

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. Consistency Fuzzy Matrix. In this subsection, we introduce the definition of consistency fuzzy matrix and consistency index which was developed by Ramik [3, 4].

Definition 11. Let $A = (a_{ij})_{n\times n}$ be an $n \times n$ matrix where $a_{ij} > 0$ for all $i, j \in I_n$ and A is a reciprocal matrix if $a_{ji} = 1/a_{ij}$ for all $i, j \in I_n$.

Definition 12. Let $A = (a_{ij})_{n\times n}$ be an $n\times n$ matrix where $a_{ij} > 0$ for all $i, j \in I_n$ and A is a consistency matrix if there exist weight vectors $w = (w_i)_{n\times 1}$, $w_i > 0$, for all $i \in I_n$, where $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$ and $a_{ij} = w_i/w_j$ for all $i, j \in I_n$.

Definition 13. Let $\widetilde{A} = (\widetilde{a}_{ij})_{n\times n}$ be an $n\times n$ fuzzy matrix where $\widetilde{a}_{ij} > 0$ are fuzzy numbers for all $i, j \in I_n$ and $\widetilde{A}$ is a reciprocal fuzzy matrix if $\widetilde{a}_{ji} = 1 \oslash \widetilde{a}_{ij}$ for all $i, j \in I_n$.

In particular, if every member of $\widetilde{A} = (\widetilde{a}_{ij})_{n\times n}$ is a triangular fuzzy number $\widetilde{a}_{ij} = \langle a_{ij}^L, a_{ij}^M, a_{ij}^U\rangle$, $\widetilde{A}$ is a reciprocal fuzzy matrix if $\widetilde{a}_{ji} = \langle 1/a_{ij}^U, 1/a_{ij}^M, 1/a_{ij}^L\rangle$ for all $i, j \in I_n$.

Definition 14. Let $\widetilde{A} = (\widetilde{a}_{ij})_{n\times n}$ be an $n\times n$ fuzzy matrix, where $\widetilde{a}_{ij} = [\underline{a}_{ij}(\alpha), \overline{a}_{ij}(\alpha)] > 0$ for all $i, j \in I_n$ and $\widetilde{A}$ is a consistency fuzzy matrix if there exist $a_{ij}^{\alpha} \in [\underline{a}_{ij}(\alpha), \overline{a}_{ij}(\alpha)]$ for all $i, j \in I_n$ and some $\alpha \in [0, 1]$ with which $A = (a_{ij}^{\alpha})_{n\times n}$ is a consistency matrix; that is, there exist $w^{\alpha} = (w_i^{\alpha})_{n\times 1}$, $w_i^{\alpha} > 0$, for all $i \in I_n$, where $\sum_{i=1}^{n} w_i^{\alpha} = 1$ and $a_{ij}^{\alpha} = w_i^{\alpha}/w_j^{\alpha}$ for all $i, j \in I_n$.

According to Definition 14, since $w_i^{\alpha} > 0$ for all $i \in I_n$, there exist fuzzy vectors $\widetilde{w} = (\widetilde{w}_i)_{n\times 1}$, where $w_i^{\alpha} \in [\underline{w}_i(\alpha), \overline{w}_i(\alpha)] > 0$ for all $i \in I_n$. These vectors are called fuzzy weight vectors.

It is clear that if $\widetilde{A}$ is a fuzzy consistency matrix then it is a fuzzy reciprocal fuzzy matrix and $\widetilde{A}$ is not a fuzzy consistency matrix if it is not a fuzzy reciprocal fuzzy matrix. Because of these reasons, construction of a fuzzy consistency matrix usually starts by first constructing a reciprocal fuzzy matrix $\widetilde{A}$. Ramik and Korviny [4] proposed a method for calculating fuzzy weight vector $\widetilde{w} = (\widetilde{w}_i)_{n\times 1}$ for a fuzzy reciprocal matrix $\widetilde{A} = (\widetilde{a}_{ij})_{n\times n}$, where $\widetilde{a}_{ij} = \langle a_{ij}^L, a_{ij}^M, a_{ij}^U\rangle$ for all $i, j \in I_n$ by using the method of geometric mean. $\widetilde{w}_k = \langle w_k^L, w_k^M, w_k^U\rangle$ are defined for all $k \in I_n$, where

$$
\begin{aligned}
w_k^L &= C_L \cdot \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{kj}^L\right)^{1/n}}{\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^M\right)^{1/n}},\\
w_k^M &= \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{kj}^M\right)^{1/n}}{\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^M\right)^{1/n}},\\
w_k^U &= C_U \cdot \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{kj}^U\right)^{1/n}}{\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^M\right)^{1/n}},
\end{aligned}
\tag{7}
$$

$$
\begin{aligned}
C_L &= \min_{i\in I_n}\left\{\frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^M\right)^{1/n}}{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^L\right)^{1/n}}\right\},\\
C_U &= \max_{i\in I_n}\left\{\frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^M\right)^{1/n}}{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^U\right)^{1/n}}\right\}.
\end{aligned}
\tag{8}
$$

In addition, Ramik and Korviny [4] defined a consistency index for measuring the nearness of a fuzzy reciprocal matrix to the corresponding fuzzy consistency matrix as follows.

Definition 15. Let $\widetilde{A} = (\widetilde{a}_{ij})_{n\times n}$ be a fuzzy reciprocal matrix, of which $\widetilde{a}_{ij} = \langle a_{ij}^L, a_{ij}^M, a_{ij}^U\rangle$ are triangular fuzzy numbers, evaluated from a scale $S = [1/\sigma, \sigma]$ for some real number $\sigma > 1$; the consistency index of $\widetilde{A}$ represented by the symbol $I_n^{\sigma}(\widetilde{A})$ is defined as

$$
\begin{aligned}
I_n^{\sigma}\left(\widetilde{A}\right) = C_n^{\sigma} \cdot \max_{i,j}\Bigg\{\max\Bigg\{&\left|\frac{w_i^L}{w_j^U} - a_{ij}^L\right|, \left|\frac{w_i^M}{w_j^M} - a_{ij}^M\right|,\\
&\left|\frac{w_i^U}{w_j^L} - a_{ij}^U\right|\Bigg\}\Bigg\},
\end{aligned}
\tag{9}
$$

where $\widetilde{w} = (\widetilde{w}_i)_{n\times 1}$ are fuzzy weight vectors and $\widetilde{w}_i = \langle w_i^L, w_i^M, w_i^U\rangle$ for all $i \in I_n$ as expressed in (7) and

$$
C_n^{\sigma} = \begin{cases} \dfrac{1}{\max\left\{\sigma - \sigma^{(2-2n)/n}, \sigma^2\left((2/n)^{2/(n-2)} - (2/n)^{(n-2)/2}\right)\right\}}; & \sigma < \left(\dfrac{n}{2}\right)^{n/(n-2)}\\ \dfrac{1}{\max\left\{\sigma - \sigma^{(2-2n)/n}, \sigma^{(2-2n)/n} - \sigma\right\}}; & \sigma \geq \left(\dfrac{n}{2}\right)^{n/(n-2)}. \end{cases}
\tag{10}
$$

If the consistency index $I_n^{\sigma}(\widetilde{A}) = 0$, the fuzzy reciprocal fuzzy matrix $\widetilde{A}$ is absolutely consistent. The closer the value of $I_n^{\sigma}(\widetilde{A})$ to 0 is, the more consistent the matrix is. Generally, an acceptable value is $I_n^{\sigma}(\widetilde{A}) < 0.1$ or 10%.

Theorem 16 (see [4]). *If $\widetilde{A}$ is an $n \times n$ fuzzy reciprocal matrix with triangular fuzzy elements evaluated with the scale $[1/\sigma, \sigma]$ for some $\sigma > 1$, then $0 \leq I_n^{\sigma}(\widetilde{A}) \leq 1$.*

2.3. Financial Ratios. A sustainable investment and mission requires effective planning and financial management.

The quantitative stock analysis is a useful tool that will improve investment's understanding of financial results and trends over time and provide key indicators of organizational performance. Investor may use the quantitative stock analysis to pinpoint strengths and weaknesses of each company that impact to its stock.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rule-1: if x_1 is $\widetilde{a}_{11}$ and x_2 is $\widetilde{a}_{12}$ and x_3 is $\widetilde{a}_{13}$ then y is $\widetilde{b}_1$.

Rule-2: if x_1 is $\widetilde{a}_{21}$ and x_2 is $\widetilde{a}_{22}$ and x_3 is $\widetilde{a}_{23}$ then y is $\widetilde{b}_2$.

$\vdots$

Rule-q: if x_1 is $\widetilde{a}_{q1}$ and x_2 is $\widetilde{a}_{q2}$ and x_3 is $\widetilde{a}_{q3}$ then y is $\widetilde{b}_q$.

x_1, x_2, x_3, and y are fuzzy variables of E/P, P/BV, P/P_n, and W_1, respectively, and $\widetilde{a}_{k1}$, $\widetilde{a}_{k2}$, and $\widetilde{a}_{k3}$, $k \in I_q$, are linguistic terms of E/P, P/BV, P/P_n, and W_1, respectively; that is, $E/P = \{\widetilde{a}_{11}, \widetilde{a}_{21}, \ldots, \widetilde{a}_{q1}\}$, $P/\mathrm{BV} = \{\widetilde{a}_{12}, \widetilde{a}_{22}, \ldots, \widetilde{a}_{q2}\}$, $P/P_n = \{\widetilde{a}_{13}, \widetilde{a}_{23}, \ldots, \widetilde{a}_{q3}\}$, and $W = \{\widetilde{b}_1, \widetilde{b}_2, \ldots, \widetilde{b}_q\}$.

Step 1.6. This step involves importing E/P, P/BV, and P/P_n of the latest day and making estimation with Mamdani method using the fuzzy rules constructed in Step 1.5 hence obtaining an output of a fuzzy set $\mathscr{B}$ under the membership $u_{\mathscr{B}}$ on B.

Step 1.7. This step involves performing defuzzification of the fuzzy output to a crisp output by a centroid method. A crisp z^{cg} is the average weight of the weight at each point z on domain B where $w_z = u_{\mathscr{B}}(z) / \int_B u_{\mathscr{B}}(z)\,dz$ for all $z \in B$; that is, the crisp output is $z^{cg} = \int_B z w_z dz = \int_B z u_{\mathscr{B}}(z)\,dz / \int_B u_{\mathscr{B}}(z)\,dz$. It is the investment weight of each individual stock in a particular industrial group. These weights are then used to rank stocks in an industrial group.

3.2. Step 2: Analysis of Industrial Groups. Industrial groups are ranked by weights calculated by the method of fuzzy multicriteria decision-making consisting of AHP, fuzzy analytic hierarchy process, and Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution Method (FTOPSIS).

AHP is a method for calculating decision weights developed by Saaty [11] and Paul Yoon and Hwang [5]. It compares paired data that are metrics of real quantities such as price, weight, and preference. Here, these quantities are preferences. Levels of preferences are represented by numbers in a set $\Omega_n = \{1/n, 1/(n-1), \ldots, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, \ldots, n-1, n\}$ expressed as a reciprocal matrix. Generalizing this idea, the set of crisp preference values Ω_n is replaced by a set of fuzzy preference values $\widetilde{\Omega}_n^{\delta} = \{1/\widetilde{n}_\delta, 1/\widetilde{(n-1)}, \ldots, 1/\widetilde{3}_\delta, 1/\widetilde{2}_\delta, 1, \widetilde{2}_\delta, \widetilde{3}_\delta, \ldots, \widetilde{(n-1)}_\delta, \widetilde{n}_\delta\}$, where $\widetilde{k}_\delta = \langle k-\delta, k, k+\delta\rangle$ and $1/\widetilde{k}_\delta = 1 \oslash \widetilde{k}_\delta = \langle 1/(k+\delta), 1/k, 1/(k-\delta)\rangle$ for all $k \in I_n$ and $0 \le \delta \le 1$.

The other technique, FTOPSIS developed by Chan [17] and Balli and Korukoglu [10], is a fuzzy technique for ranking preference levels by comparing the similarity of alternate choice to the ideal choice in order to find the best alternative. It covers diverse alternate choices, decision criteria, and decision makers.

Applying this technique to n_1 decision makers, n_2 decision criteria, and n_3 industrial groups as alternate choices, the analysis steps are as follows.

Step 2.1 (finding weights for decision makers). In this step, a decision maker i, $i = 1, \ldots, n_1$, is compared to another decision maker j in terms of their preference level based on a preference function $\varphi(i, j)$ defined as

$$\varphi(i,j) = \begin{cases} \widetilde{c}_{ij},\ \exists \widetilde{c}_{ij} \in \widetilde{\Omega}_n; & j > i \\ 1; & j = i \\ 1 \oslash \varphi(j,i); & j < i. \end{cases} \tag{15}$$

The decision maker's preference matrix $\widetilde{D} = (\widetilde{a}_{ij})_{n_1 \times n_1}$ is a reciprocal matrix where

$$\widetilde{a}_{ij} = \begin{cases} \varphi(i,j); & i < j \\ 1; & i = j \\ 1 \oslash \varphi(j,i); & i > j. \end{cases} \tag{16}$$

Step 2.2 (finding a fuzzy weight vector $\widetilde{w}_d = (\widetilde{w}_{d,k})_{n_1 \times 1}$ for $\widetilde{D} = (\widetilde{a}_{ij})_{n_1 \times n_1}$). $\widetilde{w}_{d,k} = \langle w_{d,k}^L, w_{d,k}^M, w_{d,k}^U \rangle$ is a fuzzy weight vector for all $k \in I_{n_1}$ where

$$\begin{aligned} w_{d,k}^L &= C_L \cdot \frac{\left(\prod_{j=1}^{n_1} a_{kj}^L\right)^{1/n_1}}{\sum_{i=1}^{n_1}\left(\prod_{j=1}^{n_1} a_{ij}^M\right)^{1/n_1}}, \\ w_{d,k}^M &= \frac{\left(\prod_{j=1}^{n_1} a_{kj}^M\right)^{1/n_1}}{\sum_{i=1}^{n_1}\left(\prod_{j=1}^{n_1} a_{ij}^M\right)^{1/n_1}}, \\ w_{d,k}^U &= C_U \cdot \frac{\left(\prod_{j=1}^{n_1} a_{kj}^U\right)^{1/n_1}}{\sum_{i=1}^{n_1}\left(\prod_{j=1}^{n_1} a_{ij}^M\right)^{1/n_1}} \end{aligned} \tag{17}$$

with

$$\begin{aligned} C_L &= \min_{i \in I_{n_1}} \left\{ \frac{\left(\prod_{j=1}^{n_1} a_{ij}^M\right)^{1/n_1}}{\left(\prod_{j=1}^{n_1} a_{ij}^L\right)^{1/n_1}} \right\}, \\ C_U &= \max_{i \in I_{n_1}} \left\{ \frac{\left(\prod_{j=1}^{n_1} a_{ij}^M\right)^{1/n_1}}{\left(\prod_{j=1}^{n_1} a_{ij}^U\right)^{1/n_1}} \right\}. \end{aligned} \tag{18}$$

If its consistency index $I_{n_1}^{\sigma}(\widetilde{D})$ as defined in Definition 15 is less than 0.1, it is accepted as being valid. Otherwise, the decision maker's weight is reevaluated by repeating Step 2.1.

Step 2.3. This step involves decision makers $d_1, d_2, \ldots, d_{n_1}$ constructing decision criteria $c_1, c_2, \ldots, c_{n_2}$ for evaluating industrial groups $G_1, G_2, \ldots, G_{n_3}$, where c_i, $i = 1, \ldots, n_2$, is constructed from investment weight of n_3 individual groups

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1

Linguistic term	Fuzzy number
Very low (VL)	$\langle 0, 0, 0.1, 0.2\rangle$
Low (L)	$\langle 0.1, 0.2, 0.3\rangle$
Medium low (ML)	$\langle 0.2, 0.3, 0.4\rangle$
Medium (M)	$\langle 0.3, 0.4, 0.6, 0.7\rangle$
Medium high (MH)	$\langle 0.6, 0.7, 0.8\rangle$
High (H)	$\langle 0.7, 0.8, 0.9\rangle$
Very high (VH)	$\langle 0.8, 0.9, 1, 1\rangle$

Step 2.6. This step involves aggregating weights of decision criteria based on the decision makers' weights as follows:

$$\widetilde{w}_{c,i} = \left\langle w_{c,i}^{L}, w_{c,i}^{M_1}, w_{c,i}^{M_2}, w_{c,i}^{U} \right\rangle, \tag{23}$$

where $w_{c,i}^{L} = \min_{k=1}^{n_1}\{c_{w,ik}^{L}\}$, $w_{c,i}^{M_1} = (1/n_1)\sum_{k=1}^{n_1} c_{w,ik}^{M_1}$, $w_{c,i}^{M_2} = (1/n_1)\sum_{k=1}^{n_1} c_{w,ik}^{M_2}$, $w_{c,i}^{U} = \max_{k=1}^{n_1}\{c_{w,ik}^{U}\}$ for all $i \in I_{n_2}$, $\widetilde{C}_w = (\widetilde{c}_{w,jk})_{n_2\times n_1}$, and n_1 is the number of decision makers. Equation (24) shows these aggregation results.

Weights of Decision Criteria $c_1, c_2, \ldots, c_{n_2}$. Consider

$$\begin{array}{cccccc} & c_1 & c_2 & \cdots & c_{n_2} \\ W_2 & \widetilde{w}_{c,1} & \widetilde{w}_{c,2} & \cdots & \widetilde{w}_{c,n_2} \end{array} \tag{24}$$

Next, we aggregate industrial groups based on the decision makers' weights (see (22)) by the following equations:

$$\widetilde{x}_{ji} = \left\langle x_{ji}^{L}, x_{ji}^{M_1}, x_{ji}^{M_2}, x_{ji}^{U} \right\rangle, \tag{25}$$

where $x_{ji}^{L} = \min_{k=1}^{n_1}\{b_{w,jik}^{L}\}$, $x_{ji}^{M_1} = (1/n_1)\sum_{k=1}^{n_1} b_{w,jik}^{M_1}$, $x_{ji}^{M_2} = (1/n_1)\sum_{k=1}^{n_1} b_{w,jik}^{M_2}$, $x_{ji}^{U} = \max_{k=1}^{n_2}\{b_{w,jik}^{U}\}$ for all $j \in n_3$, $i \in n_2$, $\widetilde{B}_w = (\widetilde{b}_{w,jik})_{n_3n_2\times n_1}$, and n_1 is the number of decision makers. These results are shown in (26).

Evaluation Matrix of Industrial Groups $G_1, G_2, \ldots, G_{n_3}$. Consider

$$\begin{array}{ccccccc} & c_1 & c_2 & \cdots & c_{n_2} & & \\ G_1 & \widetilde{x}_{11} & \widetilde{x}_{12} & \cdots & \widetilde{x}_{1n_2} & & \\ G_2 & \widetilde{x}_{21} & \widetilde{x}_{22} & \cdots & \widetilde{x}_{2n_2} & = \widetilde{X} & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \\ G_{n_3} & \widetilde{x}_{n_31} & \widetilde{x}_{n_32} & \cdots & \widetilde{x}_{n_3n_2} & & \end{array} \tag{26}$$

Step 2.7. This step involves constructing a decision matrix by normalizing the industrial groups' evaluation matrix $\widetilde{X}$ (see (26)) as follows:

$$\widehat{R} = \left(\widetilde{r}_{ji}\right)_{n_3\times n_2},$$
$$\widetilde{r}_{ji} = \left\langle \frac{x_{ji}^{L}}{x_i^*}, \frac{x_{ji}^{M_1}}{x_i^*}, \frac{x_{ji}^{M_2}}{x_i^*}, \frac{x_{ji}^{U}}{x_i^*} \right\rangle \text{ where } x_i^* = \max_j^{n_3}\left\{x_{ji}^{U}\right\}. \tag{27}$$

Then, multiplying the normalized matrix with the decision weights from Step 2.6, $\widetilde{V} = (\widetilde{v}_{ji})_{n_3\times n_2}$, where $\widetilde{v}_{ji} = \langle v_{ji}^{L}, v_{ji}^{M_1}, v_{ji}^{M_2}, v_{ji}^{U}\rangle$ and $\widetilde{v}_{ji} = \widetilde{r}_{ji} \otimes \widetilde{w}_{c,i}$ when $j \in I_{n_3}, i \in I_{n_2}$.

Industrial Groups' Evaluation Matrix. Consider

$$\begin{array}{ccccccc} & c_1 & c_2 & \cdots & c_{n_2} & & \\ G_1 & \widetilde{v}_{11} & \widetilde{v}_{12} & \cdots & \widetilde{v}_{1n_2} & & \\ G_2 & \widetilde{v}_{21} & \widetilde{v}_{22} & \cdots & \widetilde{v}_{2n_2} & = \widetilde{V} & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \\ G_{n_3} & \widetilde{v}_{n_31} & \widetilde{v}_{n_32} & \cdots & \widetilde{v}_{n_3n_2} & & \end{array} \tag{28}$$

Step 2.8. This step involves defining positive ideal solution (G^*) and negative ideal solution (G^-) from (28) as $G^* = (\widehat{v}_1^*, \widehat{v}_2^*, \ldots, \widehat{v}_{n_2}^*)$ and $G^- = (\widehat{v}_1^-, \widehat{v}_2^-, \ldots, \widehat{v}_{n_2}^-)$, respectively, where $\widehat{v}_i^* = \max_j^{n_3}\{v_{ji}^{U}\}$ and $\widehat{v}_i^- = \min_j^{n_3}\{v_{ji}^{L}\}$, $j \in I_{n_3}$, $i \in I_{n_2}$, $\widetilde{V} = (\widetilde{v}_{ji})_{n_3\times n_2}$.

Step 2.9. This step involves calculating the distances between the industrial groups' evaluation results with the positive and negative ideal solutions, as defined by the following:

$$\begin{aligned} d_j^* &= \sum_{i=1}^{n_2} d_v\left(\widetilde{v}_{ji}, \widehat{v}_i^*\right), \quad j \in I_{n_3}, \\ d_j^- &= \sum_{i=1}^{n_2} d_v\left(\widetilde{v}_{ji}, \widehat{v}_i^-\right), \quad j \in I_{n_3}, \end{aligned} \tag{29}$$

where $d_v(\widetilde{v}_{ji}, \widehat{v}_i^{*,-})$ are calculated in the same way as fuzzy numbers are calculated according to Definition 8 (depicted in (30)).

Distances between the Industrial Groups' Evaluation Results and Positive and Negative Ideal Solutions G^* *and* G^-. Consider

$$\begin{array}{ccccccc} & c_1 & c_2 & \cdots & c_{n_2} & d_j^{*,-} = \sum_{i=1}^{n_2} d_v\left(\widetilde{v}_{ji}, \widehat{v}_j^{*,-}\right) & \\ G_1 & d_v\left(\widetilde{v}_{11}, \widehat{v}_1^{*,-}\right) & d_v\left(\widetilde{v}_{12}, \widehat{v}_2^{*,-}\right) & \cdots & d_v\left(\widetilde{v}_{1n_2}, \widehat{v}_{n_2}^{*,-}\right) & d_1^{*,-} & \\ G_2 & d_v\left(\widetilde{v}_{21}, \widehat{v}_1^{*,-}\right) & d_v\left(\widetilde{v}_{22}, \widehat{v}_2^{*,-}\right) & \cdots & d_v\left(\widetilde{v}_{2n_2}, \widehat{v}_{2n_2}^{*,-}\right) & d_2^{*,-} & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ G_{n_3} & d_v\left(\widetilde{v}_{n_31}, \widehat{v}_1^{*,-}\right) & d_v\left(\widetilde{v}_{n_32}, \widehat{v}_2^{*,-}\right) & \cdots & d_v\left(\widetilde{v}_{n_3n_2}, \widehat{v}_{n_2}^{*,-}\right) & d_{n_3}^{*,-} & \end{array} \tag{30}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3: P/BV of STPI.

STPI stock	27/12/2013	28/12/2012	30/12/2011	30/12/2010
Closing price of common stock (baht)	15.7	62.75	28.75	27
Number of common stocks	1477443980	368,492,092	367,873,233	367,546,097
Number of preferred stocks	0	0	0	0
Total assets	10867008638	7347262706	3522893354	4259624240
Total liabilities	4956210154	2922198628	423972604	1021904292
Accounting value per share	4.000692117	12.00857271	8.42388212	8.809017357
P/BV	3.924320978	5.225433658	3.412915754	3.065041072
P/BV of 2014 (2nd quarter)	4.8			
P/BV (weighted average)	4.350963831			
P/BV (highest)	25.18861616			
P/BV	17.27353263			

Table 4: P/P_n of STPI.

STPI stock	14/10/2014	27/12/2013	28/12/2012	30/12/2011	30/12/2010
Closing price of common stock (baht)	20.8	15.7	62.75	28.75	27
Dividend interest rate (%)	1.63	1.59	0.5	12.16	7.86
Dividend amount (baht)	0.339	0.2496	0.3138	3.496	2.1222
Expected interest (r)	0.0703	0.0707	0.0728	0.0750	0.0641
Baht gained from 1 baht investment ($1 + r$)	1.0703	1.0707	1.0728	1.0750	1.0641
Target price in 2014	29.3056				
Closing price to target price ratio	0.7098				

Table 5: E/P, P/BV, and P/P_n of stocks in G_5.

Financial ratio	CK	CNT	ITD	NWR	PREB	SEAFCO	STEC	STPI	SYNTEC	TRC	TTCL	UNIQ
E/P (%)	10.86	7.86	0.89	6.14	10.5	6.38	5.59	13.83	3.26	7.98	4.2	7.66
P/BV	8.71	9.1	7.35	4.73	8.19	7.19	16.06	17.27	3.8	8.99	16.19	8.3
P/P_n	2.43	1.12	0.94	2.38	2.94	0.97	1.67	0.71	1.86	0.83	2.87	2.4

Rule 1: if x was LX and y was LY and z was LZ then w was RHW.

Rule 2: if x was LX and y was LY and z was MZ then w was MW.

⋮

Rule 27: if x was HX and y was HY and z was HZ then w was RLW.

Step 1.6. This step involves importing the values of current P/E (inversing to E/P), P/BV, and P/P_n, which, in this study, were the values of the 22nd of January 2015 shown in Table 6.

Note. The E/Ps of CNT and NWR were not applicable, meaning that they suffered a loss, so they were not included in further calculation.

Step 1.7. This step involves performing defuzzification of the fuzzy output values to crisp values with the centroid method, obtaining the investment weights shown in Table 7.

For the purpose of easy demonstration, the investment weights of the stocks from the other 5 industrial groups were made up. All of the weights are tabulated in Table 8.

Step 2 (analysis of industrial groups). Stocks from 6 industrial groups, $G_1, G_2, \ldots, G_6$, were analyzed. Three decision makers, d_1, d_2, d_3 constructed 4 decision criteria, c_1, c_2, c_3, c_4, calculated in the following steps.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 9: Trapezoidal fuzzy numbers representing linguistic terms used for fuzzy evaluation of industrial groups.

Criteria	Industrial group	Decision maker d_1				d_2				d_3			
c_1	G_1	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1
	G_2	0.8	0.9	1	1	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_3	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_4	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1
	G_5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8
	G_6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.8
c_2	G_1	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_2	0.7	0.8	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8
	G_3	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1
	G_4	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
c_3	G_1	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_2	0.8	0.9	1	1	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_3	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_4	0.7	0.8	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8
	G_5	0.7	0.8	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9
c_4	G_1	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8
	G_2	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_3	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_4	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1
	G_5	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
	G_6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9

Table 10: Evaluation of fuzzy decision criteria.

Criteria	Decision maker d_1				d_2				d_3			
c_1	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1
c_2	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
c_3	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1	0.8	0.9	1	1
c_4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1	0.7	0.8	0.8	0.9

$$(0.024, 0.024, 0.024, 0.024),$$
$$(0.021, 0.021, 0.021, 0.021)]. \quad (34)$$

Step 2.9. This step involves calculating the distances from the results of industrial groups evaluation in Table 14 to the (S^*) and the (S^-) ideal solutions shown in Tables 16 and 17, respectively.

Step 2.10. This step involves obtaining the nearness coefficients CC_j, $j = 1, \ldots, 6$, to the positive ideal solution and the investment weights shown in Table 18.

Step 3 (analysis of all stocks from different industrial groups). The two kinds of investment weights obtained from Steps 1 and 2 were used to calculate the final investment weights for all of the stocks in the market, $W_{OA}(s_{ij})$, where i represents the ith company and j the jth industrial group, and the final weights were ranked as shown in Table 19.

From Table 19, investors can use the calculated weights to help with their decision-making and strategy-planning. The better stocks to invest in show higher final investment weights.

5. Conclusions

The innovation appearing in this paper is to present the tactic of conveying the stock selection to portfolio by using two tactics, fuzzy quantitative analysis and fuzzy hierarchical analysis. The two tactics imply the final investment weight. Investors can determine their strategies by using the final investment weights. The final investment weights may be

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 15: Decision matrix.

Group	Criteria															
	c_1				c_2				c_3				c_4			
G_1	0.031	0.136	0.154	0.432	0.024	0.123	0.123	0.389	0.028	0.148	0.148	0.486	0.021	0.104	0.116	0.346
G_2	0.028	0.158	0.187	0.54	0.021	0.124	0.124	0.437	0.028	0.158	0.168	0.54	0.024	0.115	0.134	0.346
G_3	0.028	0.148	0.165	0.486	0.028	0.148	0.165	0.486	0.028	0.164	0.179	0.54	0.024	0.119	0.133	0.389
G_4	0.031	0.167	0.206	0.54	0.024	0.123	0.123	0.389	0.024	0.14	0.14	0.486	0.028	0.134	0.166	0.432
G_5	0.024	0.13	0.144	0.432	0.024	0.118	0.118	0.389	0.028	0.143	0.143	0.486	0.024	0.119	0.133	0.389
G_6	0.024	0.135	0.15	0.432	0.024	0.132	0.132	0.437	0.028	0.133	0.133	0.432	0.024	0.114	0.128	0.389

Table 16: Distances between G_j, $j = 1, \ldots, 6$, and S^* for each decision criterion.

Distance	Criteria				Sum
	c_1	c_2	c_3	c_4	
$d_1^* = d_v(G_1, S^*)$	0.381572	0.348712	0.378268	0.309819	1.418371
$d_2^* = d_v(G_2, S^*)$	0.364995	0.346628	0.369604	0.301308	1.382533
$d_3^* = d_v(G_3, S^*)$	0.374072	0.326879	0.365443	0.298251	1.364645
$d_4^* = d_v(G_4, S^*)$	0.356869	0.348712	0.384022	0.284309	1.373911
$d_5^* = d_v(G_5, S^*)$	0.388341	0.351266	0.381127	0.298251	1.418985
$d_6^* = d_v(G_6, S^*)$	0.38534	0.341527	0.389187	0.300654	1.416708

Table 17: Distances between G_j, $j = 1, \ldots, 6$, and S^- for each decision criterion.

Distance	Criteria				Sum
	c_1	c_2	c_3	c_4	
$d_1^- = d_v(G_1, S^-)$	0.223775	0.197715	0.247374	0.174345	0.843208
$d_2^- = d_v(G_2, S^-)$	0.281158	0.220808	0.276399	0.17835	0.956716
$d_3^- = d_v(G_3, S^-)$	0.251745	0.251745	0.278567	0.198531	0.980589
$d_4^- = d_v(G_4, S^-)$	0.285192	0.197715	0.245285	0.225285	0.953478
$d_5^- = d_v(G_5, S^-)$	0.221504	0.196478	0.246015	0.198531	0.862528
$d_6^- = d_v(G_6, S^-)$	0.223065	0.222647	0.218246	0.197315	0.861274

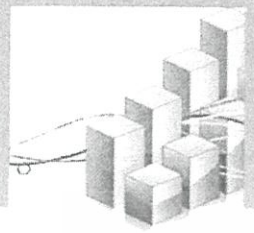
Table 18: Nearness coefficients to the positive ideal solution.

Industrial group	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6
$CC_j = \dfrac{d_j^-}{d_j^- + d_j^*}$	0.304297	0.38056	0.392965	0.380328	0.318558	0.315015
Weights	0.157599	0.172877	0.176738	0.173169	0.159816	0.159816

Table 19: The final investment weights of all of the stocks in the market.

s_{ij}	s_{12}	s_{102}	s_{93}	s_{76}	s_{46}	s_{72}	s_{34}	s_{22}	s_{23}	s_{41}	s_{66}	s_{101}	s_{64}
$W_{OA}(s_{ij})$	0.0473	0.0472	0.0396	0.0332	0.0317	0.03114	0.0307	0.03063	0.0287	0.02543	0.02503	0.02478	0.0247
s_{ij}	s_{62}	s_{32}	s_{91}	s_{65}	s_{13}	s_{26}	s_{96}	s_{54}	s_{84}	s_{24}	s_{31}	s_{85}	s_{55}
$W_{OA}(s_{ij})$	0.0237	0.0227	0.0218	0.0215	0.0201	0.01998	0.0195	0.01894	0.0183	0.01829	0.01792	0.01720	0.02373
s_{ij}	s_{45}	s_{42}	s_{104}	s_{25}	s_{71}	s_{61}	s_{51}	s_{43}	s_{63}	s_{53}	s_{94}	s_{15}	s_{35}
$W_{OA}(s_{ij})$	0.0167	0.0166	0.0166	0.0166	0.0159	0.01583	0.0157	0.01544	0.015	0.01459	0.01411	0.01279	0.01279
s_{ij}	s_{75}	s_{95}	s_{105}	s_{71}	s_{81}	s_{36}	s_{86}	s_{44}	s_{14}	s_{83}	s_{11}	s_{73}	s_{56}
$W_{OA}(s_{ij})$	0.0127	0.0127	0.0127	0.0111	0.0102	0.01004	0.0094	0.00960	0.0096	0.0079	0.00608	0.00608	0.00529
s_{ij}	s_{33}	s_{16}	s_{21}	s_{82}	s_{52}								
$W_{OA}(s_{ij})$	0.0047	0.0039	0.0034	0.0018	0.0007								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

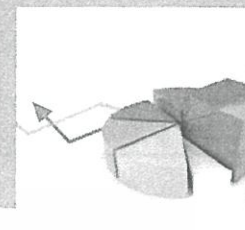


Advances in Operations Research

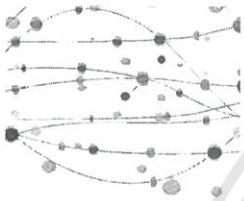
Advances in Decision Sciences

Journal of Applied Mathematics

Algebra



Journal of Probability and Statistics



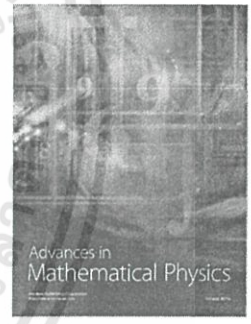
The Scientific World Journal

International Journal of Differential Equations

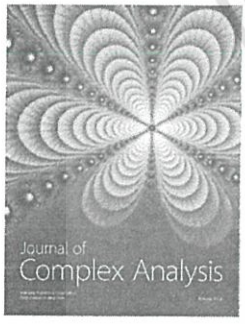
Hindawi

Submit your manuscripts at
http://www.hindawi.com

International Journal of Combinatorics

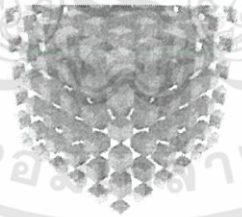


Advances in Mathematical Physics

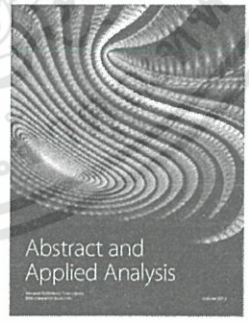


Journal of Complex Analysis

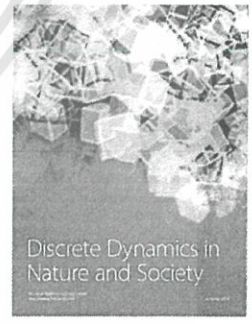
Journal of Mathematics



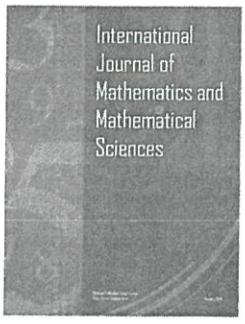
Mathematical Problems in Engineering



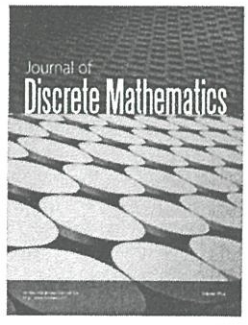
Abstract and Applied Analysis



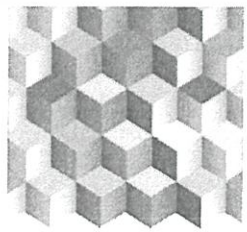
Discrete Dynamics in Nature and Society



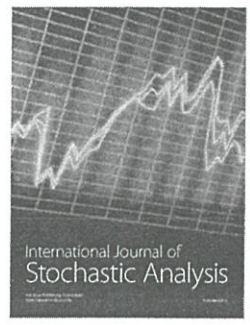
International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences



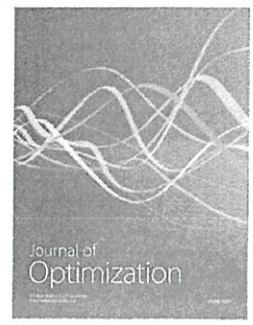
Journal of Discrete Mathematics



Journal of Function Spaces



International Journal of Stochastic Analysis



Journal of Optimization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stability Analysis of an Approximate System of a Nonlinear Singularly-Perturbed Fuzzy Control System

Preeyaporn Waree[1] and Wichai Witayakiattilerd[2]

[1]Department of Mathematics, Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
E-mail : respect.blueberry@gmail.com
[2]Department of Mathematics, Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
E-mail : wichai.wi@kmitl.ac.th

Abstract : In this study, we investigated a nonlinear fuzzy control fast-slow system that is singularly perturbed. A reduced system was introduced and an approximate solution of the system was defined. Furthermore, a stability analysis of the approximate system with Takaki-Sugeno fuzzy logic controller was constructed. We provided sufficiently stability conditions and proved the approximate system to be asymptotically stable in the sense of Lyapunov. A demonstrative example is also provided to showcase the method of stability analysis.

Keywords : Fuzzy control system, Stability analysis, Lyapunov, Takaki-Sugeno fuzzy logic controller.

2010 Mathematics Subject Classification : 47H09; 47H10.

1 Introduction

It is quite natural to model a dynamical control system plagued with uncertainty by a fuzzy system of differential equations. There are many ways to model such a system[1-9]. The most popular way is to use the Takaki-Sugeno fuzzy

[2]Corresponding author.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 Preliminaries

This section describes the definitions and theorems pertaining to this research.

Definition 2.1 Let A be a crisp set. A fuzzy set $\mathcal{A}$ on the crisp set A is defined by

$$\mathcal{A}=\left\{\left(x,u_{\mathcal{A}}(x)\right)\middle|x\in A,u_{\mathcal{A}}(x)\in[0,1]\right\}, \tag{2.1}$$

where $u_{\mathcal{A}}:A\longrightarrow[0,1]$ is a membership function.

Note: for convenience, sometimes we denote a fuzzy set $\mathcal{A}$ by A.

Definition 2.2 Let $\mathcal{A}$ be a fuzzy set with membership function u and $\alpha\in[0,1]$. An α-cut, denoted as $[u]^{\alpha}$, is defined by

$$[u]^{\alpha}=\begin{cases}\overline{\left\{x\in A\,\middle|\,u(x)\geq\alpha\right\}}\ ;\ 0<\alpha\leq 1\\ \overline{\left\{x\in A\,\middle|\,u(x)>0\right\}}\ ;\ \alpha=0\end{cases} \tag{2.2}$$

Definition 2.3 Let $\mathcal{A}$ be a fuzzy set with membership function $u:\mathbb{R}\rightarrow[0,1]$. $\mathcal{A}$ is called a *fuzzy number*, if u satisfies the following conditions,

1) $\exists x\in\mathbb{R}$, $u(x)=1$,
2) $\forall\lambda\in[0,1],\forall x_1,x_2\in\mathbb{R}$, $u(\lambda x_1+(1-\lambda)x_2)\geq\min\{u(x_1),u(x_2)\}$,
3) for each $\alpha\in[0,1]$ there is a closed interval $[a,b]$ such that $[\tilde{u}]^{\alpha}=[a,b]$.

Definition 2.4 Let $a^L\leq a^{M_1}\leq a^{M_2}\leq a^U$. A fuzzy number $\mathcal{A}$ is called a *Trapezoidal fuzzy number* denoted by $\langle a^L,a^M,a^U\rangle$, if the membership function $u:\mathbb{R}\rightarrow[0,1]$ is defined by

$$u(x)=\begin{cases}\dfrac{x-a^L}{a^{M_1}-a^L};a^L\leq x\leq a^M\\ \dfrac{x-a^U}{a^M-a^U};a^M\leq x\leq a^U\\ 0\qquad\ ;\ \text{otherwise}\end{cases} \tag{2.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$A(\varepsilon) \in \mathbb{R}^{n\times n}$, $C(\varepsilon) \in \mathbb{R}^{m\times m}$ and $B(x,\varepsilon) \in \mathbb{R}^n$,

$f(x,y,\varepsilon) = \left(f_1(x,y,\varepsilon),...,f_n(x,y,\varepsilon)\right) \in \mathbb{R}^n$,

$g(x,y,\varepsilon) = \left(g_1(x,y,\varepsilon),...,g_m(x,y,\varepsilon)\right) \in \mathbb{R}^m$, $x^0 = \left(x_1^0,...,x_n^0\right) \in \mathbb{R}^n$

$y^0 = \left(y_1^0,...,y_m^0\right) \in \mathbb{R}^m$, and the symbol $\dot{x} = \left(\dot{x}_1,...,\dot{x}_n\right)$ and $\dot{y} = \left(\dot{y}_1,...,\dot{y}_m\right)$ are the derivatives of x and y respect to the time variable t, respectively.

First, we define an approximate solution of 3.1. Suppose that there exists an $(x^0, y^0) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ such that the fast equation becomes stationary, i.e., $C(\varepsilon)y + g(x,y,\varepsilon) = 0$, then system 3.1 can written in the following form,

$$\begin{cases} \dot{x} = A(\varepsilon)x + f(x,y,\varepsilon) + B(x,\varepsilon)u \\ 0 = C(\varepsilon)y + g(x,y,\varepsilon) \\ x(t_0) = x^0 \\ y(t_0) = y^0 \end{cases} \tag{3.2}$$

Furthermore, if ε is small enough, it is reasonable to replace system 3.2 with the following algebraic differential equation,

$$\begin{cases} \dot{x} = A(\varepsilon)x + f(x,y,\varepsilon) + B(x,\varepsilon)u \\ 0 = Cy + g(x,y) \\ x(t_0) = x^0 \\ y(t_0) = y^0 \end{cases} \tag{3.3}$$

where $C = C(0)$, and $g(x,y) = g(x,y,0)$.

Assumption (A-1) Suppose that the solution of $Cy + g(x,y) = 0$ with $y(t_0) = y^0$ has a unique solution $y = H(x)$ and H is continuously differentiable,

By substitution $y = H(x)$ in 3.3, we obtain

$$\begin{cases} \dot{x} = A(\varepsilon)x + f(x,H(x),\varepsilon) + B(x,\varepsilon)u \\ x(t_0) = x^0 \end{cases} \tag{3.4}$$

In this paper, this system 3.4 is called an *approximate system* of system 3.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\leq \int_{t_0}^{t} \left(\|S(t-s)\| \left\| \begin{matrix} [f(x(s),H(x(s),\varepsilon)) - f(y(s),H(y(s),\varepsilon))] \\ +[B(x(s),\varepsilon)u + B(y(s),\varepsilon)u] \end{matrix} \right\| \right) ds$$

$$\leq M \int_{t_0}^{t} \left(L_f \left(\|x-y\| + \|Hx-Hy\| \right) + L_B \|x-y\| \|u\| \right) ds$$

$$\leq M \int_{t_0}^{t} \left(L_f \left(\|x-y\| + L_H \|x-y\| \right) + L_B \|x-y\| \|u\| \right) ds$$

$$= M \left(L_f \left(1 + L_H \right) + L_B \|u\| \right) \|x-y\|_\infty t, \tag{3.7}$$

where M is the bound of $\|S(t)\|$ on $[0,\infty)$. Using 3.6 and 3.7 and induction on n, we have

$$\|(F_\varepsilon^n x)(t) - (F_\varepsilon^n y)(t)\| \leq \frac{\left(M \left(L_f \left(1 + L_H \right) + L_B \|u\| \right) \right)^n}{n!} \|x-y\|_\infty t$$

$$\leq \frac{\left(M \left(L_f \left(1 + L_H \right) + L_B \|u\| \right) \right)^n t}{n!} \|x-y\|_\infty \tag{3.8}$$

For a sufficiently large n, $\dfrac{\left(M \left(L_f \left(1 + L_H \right) + L_B \|u\| \right) \right)^n t}{n!} < 1$ and by a well-known extension of the contraction mapping principle, there is a unique $x \in C_n$ such that

$$x(t) = (Fx)t$$

$$= S(t-s)x^0 + \int_0^t S(t-s)[f(x(s),H(x(s),\varepsilon) + B(x(s,\varepsilon))u]ds \tag{3.9}$$

Therefore, the semi-linear ACP 3.4 has a unique mild solution $x \in C_n$.

The Lipschitz continuity of the mapping $x^0 \to x$ is a consequence of the following argument. Let x and y be the mild solution of system 3.4 with the initial value x^0 and y^0, respectively. It follows from the definition of a mild solution and the uniformly Lipschitz continuity of H, B and f that

$$\|x(t) - y(t)\| \leq M \|x^0 - y^0\| + M \left(L_f \left(1 + L_H \right) + L_B \|u\| \right) \int_0^t \|x(s) - y(s)\| ds, \tag{3.10}$$

and by Granwal's Lemma, this implies that

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{A}(x,\varepsilon)=\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\left(\frac{\partial V}{\partial x_i}a_{ik}(\varepsilon)x_k\right),\ \bar{F}(x,H(x),\varepsilon)=\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial V}{\partial x_i}f_i(x,H(x),\varepsilon)\right)$$

and $\bar{B}(x,\varepsilon)=\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial V}{\partial x_i}b_i(x,\varepsilon)\right)$.

Therefore, system 3.4 can be transformed to a real-value system,

$$\dot{V}(x,\varepsilon)=\bar{A}(x,\varepsilon)+\bar{F}(x,H(x),\varepsilon)+\bar{B}(x,\varepsilon)u. \tag{4.1}$$

Throughout this paper we denote

$$X_i^A=\{x\in X\mid \varphi_i(x)\neq 0\}. \tag{4.2}$$

and partition this set X by using signs of $\bar{B}(x,\varepsilon)$ as follows,

$$B^0=\{x\in X\mid \bar{B}(x,\varepsilon)=0\},\ B^+=\{x\in X\mid \bar{B}(x,\varepsilon)>0\},$$

and

$$B^-=\{x\in X\mid \bar{B}(x,\varepsilon)<0\}. \tag{4.3}$$

Theorem 4.1 Let an approximate control system 3.4 be fed with a control signal $u\in\mathbb{R}$, obtained from a weighted-sum defuzzification method for TSFC. Let $x=0$ be an equilibrium point. Suppose that there exists a function $V(\cdot,\varepsilon):X\to\mathbb{R}$ of which $V(x,\varepsilon)>0$, $\forall x\neq 0$ and all first-order partial derivatives are continuous, with

1) $\bar{A}(x,\varepsilon)+\bar{F}(x,H(x),\varepsilon)\leq 0$ for all $x\in B^0$,

2) $u_i\leq -\left(\frac{\bar{A}(x,\varepsilon)+\bar{F}(x,H(x),\varepsilon)}{\bar{B}(x,\varepsilon)}\right)$ for all $x\in X_i^A\cap B^+$, and

$u_i\geq -\left(\frac{\bar{A}(x,\varepsilon)+\bar{F}(x,H(x),\varepsilon)}{\bar{B}(x,\varepsilon)}\right)$ for all $x\in X_i^A\cap B^-$, $i=1,\ldots,m$,

3) $S=\{x\in X\mid \dot{V}(x,\varepsilon)=0\}=\{x=0\}$

Then the fuzzy control system is globally asymptotically stable in the sense of Lyponov at the origin.

Proof We first show that $\dot{V}(x,\varepsilon)$ is negative semi-definite. Let $x_0\in X$ and let us consider signs of $\bar{B}(x,\varepsilon)$. We partition this proof into 3 cases as follows.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u(x_0) = -\left(\frac{\bar{A}(x_0,\varepsilon) + \bar{F}(x_0, H(x_0),\varepsilon)}{\bar{B}(x_0,\varepsilon)} \right). \tag{4.5}$$

This implies that $\dot{V}(x,\varepsilon) = \bar{A}(x,\varepsilon) + \bar{F}(x, H(x),\varepsilon) + \bar{B}(x,\varepsilon)u \le 0$.

Therefore, $\dot{V}(x_0,\varepsilon) \le 0$, $\forall x^0 \in X_i^A \cap B^-$ for all $i = 1,...,n$.

Case 3 $x_0 \in B^0$, then $\bar{B}(x_0,\varepsilon) = 0$.

By condition 1), $\bar{A}(x_0,\varepsilon) + \bar{F}(x_0, H(x_0),\varepsilon) \le 0$.

This implies that $\dot{V}(x_0,\varepsilon) = \bar{A}(x_0,\varepsilon) + \bar{F}(x_0, H(x_0),\varepsilon) + \bar{B}(x_0,\varepsilon)u \le 0$.

From *Case1)* to *Case3)*, we conclude that $\dot{V}(x_0,\varepsilon) \le 0$ for all $x_0 \in X$ i.e., and $V(x,\varepsilon)$ is negative semi-definite. Condition 3) of the theorem ensures the fulfillment of LaSalle's invariant set principle. This means that LaSalle's global invariant set theorem applies; hence the equilibrium point at the origin is globally asymptotically stable. □

Theorem 4.2 Let $S = \left\{ x \in X \middle| \dot{V}(x,\varepsilon) = 0 \right\}$ and $S_i = \left\{ x \in X \middle| \dot{V}_i(x,\varepsilon) = 0 \right\}$ be such that

$\dot{V}_i(x,\varepsilon) = \bar{A}(x,\varepsilon) + \bar{F}(x, H(x),\varepsilon) + \bar{B}(x,\varepsilon)u_i(x)$, then $S \subseteq \bigcup_{i=1}^{m} S_i$.

Proof We will show that $S \subseteq \bigcup_{i=1}^{m} S_i$. Note that $\dot{V}(x,\varepsilon) = \dfrac{\sum_{i=1}^{m} \dot{V}_i(x,\varepsilon)\varphi_i(x)}{\sum_{i=1}^{m} \varphi_i(x)}$

for all $x \in X$. Let $x_0 \in S$, then $\dot{V}(x_0,\varepsilon) = 0$. This implies that $\sum_{i=1}^{m} \dot{V}_i(x_0,\varepsilon)\varphi_i(x_0) = 0$. Following the proof of Theorem 4.1, there exists an index k such that $\dot{V}_k(x_0,\varepsilon) = 0$. Thus $x_0 \in \bigcup_{i=1}^{m} S_i$. □

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x(t) = S(t-t_0)x^0 + \int_{t_0}^{t} S(t-s)\left[\begin{pmatrix} \sigma x_2 - \sigma x_1 \\ x_1(\rho - x_3) - x_2 \\ x_1 x_2 - \beta x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1+\varepsilon \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} u\right] ds ,$$

where $S(t) = \exp\begin{pmatrix} -\varepsilon & 0 & 0 \\ 0 & -2\varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & -1-\varepsilon \end{pmatrix} t = \begin{pmatrix} e^{-\varepsilon t} & 0 & 0 \\ 0 & e^{-2\varepsilon t} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-(1+\varepsilon)t} \end{pmatrix}$.

The objective of this presentation is to find the control u_i for which the approximate system 5.3 can be stabilized by the TSFC method described above. Following the proof of Theorem 4.1, we design a stable fuzzy control system as follows.

Step1) Choose a Lyapunov function V, calculate $\dot{V}$, $\overline{A}(x,\varepsilon) + \overline{F}(x, H(x), \varepsilon)$, and $\overline{B}(x,\varepsilon)$.

In this example, we choose $V(x) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2$. Then we have

$$\dot{V}(x,\varepsilon) = -2(\varepsilon+\sigma)x_1^2 - 2(2\varepsilon+1)x_2^2 - 2(1+\varepsilon+\beta)x_3^2 + 2(\sigma+\rho)x_1x_2 + 2(1+\varepsilon)x_1u . \quad (5.4)$$

In this case, we have

$$\overline{A}(x,\varepsilon) + \overline{F}(x, H(x), \varepsilon) = -2(\varepsilon+\sigma)x_1^2 - 2(2\varepsilon+1)x_2^2 - 2(1+\varepsilon+\beta)x_3^2 + 2(\sigma+\rho)x_1x_2 \quad (5.5)$$

and $$\overline{B}(x,\varepsilon) = 2(1+\varepsilon)x_1 . \quad (5.6)$$

Step2) Partition the discourse space X by using $\overline{B}(x,\varepsilon)$.

In this example, we obtain

$$B^0 = \{(0, x_2, x_3) \in X \mid x_1 = 0\} = \{0\} \times [-50,50] \times [-50,50],$$

$$B^+ = \{(x_1, x_2, x_3) \in X \mid x_1 > 0\} = (0,50] \times [-50,50] \times [-50,50] \text{ and}$$

$$B^- = \{(x_1, x_2, x_3) \in X \mid x_1 < 0\} = [-50,0) \times [-50,50] \times [-50,50] . \quad (5.7)$$

Step3) Check that $\overline{A}(x,\varepsilon) + \overline{F}(x, H(x), \varepsilon) \le 0$ for all $x \in B^0$. If it is not, we have to choose a new Lyapunov function and repeat Step 1. Else go to the next step.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	P	Z	u_3
4	N	P	u_4
5	N	N	u_5
6	N	Z	u_6
7	Z	P	u_7
8	Z	N	u_8
9	Z	Z	u_9

Table 5.2 The fuzzy control rules of this example

Step6) Determine u_i from each fuzzy control rule i obtained in Step 5 by using condition 2) of Theorem 4.1.

In this example,

Rule1 If x_1 is P AND x_2 is P,then $X_1^A = (0,50]\times(0,50]\times[-50,50]$ .Consequently, $X_1^A \cap B^+ = (0,50]\times(0,50]\times[-50,50]$ and $X_1^A \cap B^- = \varnothing$. By condition 2), we have

$$u_1(x) \le -\left(\frac{\bar{A}(x,\varepsilon)+\bar{F}(x,H(x),\varepsilon)}{\bar{B}(x,\varepsilon)}\right)$$

$$=\left(\frac{\varepsilon+\sigma}{1+\varepsilon}\right)x_1+\frac{(2\varepsilon+1)x_2^2}{(1+\varepsilon)x_1}+\frac{(1+\varepsilon+\beta)x_3^2}{(1+\varepsilon)x_1}-\left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right)x_2. \qquad (5.8)$$

From (5.8), we can choose $u_1(x) = -\left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right)x_2$.

Rule2 If x_1 is P AND x_2 is N,then $X_2^A = (0,50]\times[-50,0)\times[-50,50]$ .Consequently, $X_2^A \cap B^+ = (0,50]\times[-50,0)\times[-50,50]$ and $X_2^A \cap B^- = \varnothing$. By condition 2), we have

$$u_2(x) \le \left(\frac{\varepsilon+\sigma}{1+\varepsilon}\right)x_1+\frac{(2\varepsilon+1)x_2^2}{(1+\varepsilon)x_1}+\frac{(1+\varepsilon+\beta)x_3^2}{(1+\varepsilon)x_1}-\left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right)x_2. \qquad (5.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u_6(x) \geq \left(\frac{\varepsilon+\sigma}{1+\varepsilon}\right)x_1 + \frac{(2\varepsilon+1)x_2^2}{(1+\varepsilon)x_1} + \frac{(1+\varepsilon+\beta)x_3^2}{(1+\varepsilon)x_1} - \left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right)x_2. \qquad (5.13)$$

From (5.13), we can choose

$$u_6(x) = \left(\frac{\varepsilon+\sigma}{1+\varepsilon}\right)x_1 + \frac{(2\varepsilon+1)x_2^2}{(1+\varepsilon)x_1} + \frac{(1+\varepsilon+\beta)x_3^2}{(1+\varepsilon)x_1} + 20\left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right).$$

Rule7 If x_1 is Z AND x_2 is P, then $X_7^A = (-20,20)\times(0,50]\times[-50,50]$.

Consequently, $X_7^A \cap B^+ = (0,20)\times(0,50]\times[-50,50]$ and

$X_7^A \cap B^- = (-20,0)\times(0,50]\times[-50,50]$. We next consider two cases.

Case7.1) If $x \in X_7^A \cap B^+ = (0,20)\times(0,50]\times[-50,50]$, by condition 2), we have

$$u_7(x) \leq \left(\frac{\varepsilon+\sigma}{1+\varepsilon}\right)x_1 + \frac{(2\varepsilon+1)x_2^2}{(1+\varepsilon)x_1} + \frac{(1+\varepsilon+\beta)x_3^2}{(1+\varepsilon)x_1} - \left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right)x_2. \qquad (5.14)$$

From (5.14), we can choose $u_7(x) = -\left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right)x_2$.

Case7. 2) If $x \in X_7^A \cap B^- = (-20,0)\times(0,50]\times[-50,50]$, by condition 2), we have

$$u_7(x) \geq \left(\frac{\varepsilon+\sigma}{1+\varepsilon}\right)x_1 + \frac{(2\varepsilon+1)x_2^2}{(1+\varepsilon)x_1} + \frac{(1+\varepsilon+\beta)x_3^2}{(1+\varepsilon)x_1} - \left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right)x_2. \qquad (5.15)$$

From (5.15), we can choose $u_7(x) = -\left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right)x_2$.

From Case 1) and Case 2), we conclude that we can choose $u_7(x) = -\left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right)x_2$.

Since Rule 8 (If x_1 is Z AND x_2 is N) and Rule 9 (If x_1 is Z AND x_2 is Z) are similar to Rule 7. We can choose $u_8(x) = u_9(x) - u_7(x) = -\left(\frac{\sigma+\rho}{1+\varepsilon}\right)x_2$.

Step7) Check that $S = \left\{x \in X \middle| \dot{V}(x,\varepsilon) = 0\right\} = \{0\}$.

In this example, following Rule 1- Rule 9 obtained in Step 6 and Theorem 4.2,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1996)1433-1438.

[5] K. Mehran," Takagi-Sugeno Fuzzy Modeling for Process Control," *Industrial Automation, Robotics and Artificial Intelligence*,(2008).

[6] K. Tanaka, H. O. Wang,"Fuzzy Control Systems Design and Analysis," *Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach,* (2001) ,ISBNs: 0-471-32324-1.

[7] M-L Tomescu ,S Preitl, R-E Precup , J-K Tar, "Stability Analysis Method for Fuzzy Control Systems Dedicated Controlling Nonlinear Processes," *Acta Polytechnica Hungarica* ,Vol. 4, No. 3, (2007) .

[8] M. Sugeno, "Fuzzy Control," *North-Holland*, (1988).

[9] Witayakiattilerd W.,"Nonlinear Fuzzy Differential Equation with Time Delay and Optimal Control Problem",*Abstract and Applied Analysis*, Vol. 2015, Article ID 659072, 14 pageshttp://dx.doi.org/10.1155/2015/65907.

[10] K. Mukdasai, "Stability of Dynamical Systems with Delay," *Journal of Applied Science*, Vol.11, No.1, (2012) 94-102.

[11] M. Corless, L. Glielmo, "On the Exponential Stability of Singularly Perturbed Systems" *Journal of Control and Optimization*, Vol.30, No. 6, (1992) 1338-1360.

[12] P. V. Kokotovic, H. K. Khalil, and J. O'Reilly, "Singular Perturbations Methods in Control", *Analysis and Design. Academic Press* , New York (1986).

[13] Sh. Sadigh Behzadia and A. Yildirim, "A Method to Estimate the Solution of a Weakly Singular Non-linear Integro-differential Equations by Applying the Homotopy Methods", *Int. J. Industrial Mathematics*,Vol.4, No. 1, 41-51(2012).

[14] Xiao-Biao Lin,Heteroclinic, "Bifurcation and Singularly Perturbed Boundary Value Problems", *Journal of differential equations*, 84. 319-382(1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T145206