บทที่ 3

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

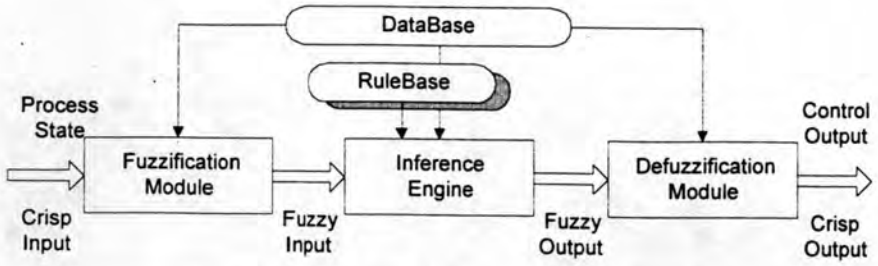
ตัวควบคุมฟัซซี

โดยทั่วไปแล้ววิธีการดั้งเดิมของงานวิศวกรรมระบบควบคุมจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกายภาพโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมักจะอยู่ในรูปของระบบสมการอนุพันธ์ และอาศัยเทคนิควิธีการที่รู้จักกันดีเช่นการประมาณ การทำให้เป็นเชิงเส้น การตรวจทาน และ การวิเคราะห์เสถียรภาพมาใช้ เพื่อที่จะทำให้ได้ฟังก์ชันการควบคุม ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินพุตและค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมที่กำหนด แต่บางครั้งที่การหาแบบจำลองดังกล่าวทำได้ยาก หรือข้อมูลในการออกแบบการควบคุมไม่มีความชัดเจนเพียงพอ ทำให้ต้องหาทางเลือกอื่นในการออกแบบ ตัวควบคุมฟัซซีก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งหากความรู้เกี่ยวกับกระบวนการที่จะควบคุมมีมากพอแต่อาจไม่ชัดเจน

ในบทนี้จะกล่าวถึงตัวควบคุมฟัซซีพื้นฐาน ซึ่งอาจใช้แทนตัวควบคุมแบบดั้งเดิมในการควบคุมป้อนกลับแบบปกติ ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมฟัซซีโดยทั่วไป และข้อพิจารณาในการเลือกองค์ประกอบต่างๆของตัวควบคุมฟัซซี ซึ่งจะประกอบกันออกมาเป็นตัวควบคุมฟัซซีได้หลายแบบ ในตอนท้ายของบทกล่าวถึงการเป็นตัวประมาณฟังก์ชันสากลของตัวควบคุมฟัซซี

<u>โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี</u>

ตัวควบคุมฟัซซีโดยพื้นฐานจะทำงานโดยการส่งสัญญาณควบคุมซึ่งสรุปจากการอนุมานสภาวะของกระบวนการกับชุดของกฎที่กำหนดกฎการควบคุม ดังนั้นโครงสร้างพื้นฐานโดยทั่วไปของการควบคุมแบบฟัซซีประกอบด้วย ฟัซซิฟิเคชันมอดูล(fuzzification module), ฐานความรู้(knowledge base), เครื่องอนุมาน(inference engine) และ ดีฟัซซิฟิเคชันมอดูล(defuzzification module) ทางเลือกในการออกแบบองค์ประกอบเหล่านี้จะได้พิจารณาในรายละเอียดต่อไป เพื่อแนะนำแนวคิดอย่างกว้างของปัญหาในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี โครงสร้างหลักของตัวควบคุมฟัซซีแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี

1. <u>ฟัซซิฟิเคชันมอดูล</u>

หน้าที่ของฟัซซิฟิเคชันมอดูลมีดังนี้

1.1 นอร์แมลไลซ์ค่ากายภาพของตัวแปรสเตตของกระบวนการให้อยู่ในช่วงพิจารณา

1.2 แปลงค่าแต่ละจุด(crisp)ของตัวแปรสเตตของกระบวนการให้เป็นตัวแปรเชิงภาษาหรือฟัซซีเซตเพื่อให้เข้ากันได้กับการแสดงฟัซซีเซตของตัวแปรสเตตของกระบวนการ ถ้า $x_0 \in U$ เป็นค่าอินพุตจุดหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วจะมอดูลนี้จะทำให้ x_0 นี้กลายเป็นเซตโทนฟัซซีที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเท่ากับหนึ่งที่ x_0 และเท่ากับศูนย์ที่อื่นๆ

2. <u>ฐานความรู้</u>

ฐานความรู้ประกอบด้วย *ฐานข้อมูล* (data base) และ *ฐานกฎ* (rule base)

2.1 <u>ฐานข้อมูล</u> ให้สารสนเทศที่จำเป็นเพื่อให้ ฟัซซิฟิเคชันมอดูล ฐานกฎ และดีฟัซซิฟิเคชันมอดูล ทำงานได้ถูกต้อง สารสนเทศที่ใช้รวมถึง

2.1.1 โดเมนทางกายภาพและตัวประกอบมาตราส่วนในการทำนอร์แมลไลซ์และดีนอร์แมลไลซ์

2.1.2 การกำหนดแบ่งโดเมนที่พิจารณาของตัวแปรกระบวนการและตัวแปรควบคุมเป็นฟัซซีเซต(ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก) ที่แสดงความหมายของค่าเชิงภาษาของตัวแปรเหล่านั้นที่จะใช้ในกฎ ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่มักพบในการใช้งานเช่น ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม ฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ฟังก์ชันรูประฆัง เพราะเป็นรูปแบบที่สามารถกำหนดได้ด้วยพารามิเตอร์จำนวนหนึ่ง

2.1.3 ถ้าค่าตัวแปรกระบวนการและสัญญาณควบคุมได้ถูกแปลงเป็นค่าเชิงเลข ฐานข้อมูลยังจะรวมถึงสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงให้เป็นเชิงเลข

2.2 <u>ฐานกฎ</u> เป็นที่รวบรวมข้อความรู้ที่ใช้ในการในการตัดสินใจในรูปกฎเชิงภาษา

3. <u>เครื่องอนุมาน</u>

เครื่องอนุมานเป็นหัวใจสำคัญของตัวควบคุมฟัซซี มีหน้าที่ทำการตัดสินใจด้วยลักษณะวิธีการคล้ายกับที่ใช้โดยมนุษย์

4. <u>ดีฟัซซิฟิเคชันมอดูล</u>

หน้าที่ของดีฟัซซิฟิเคชันมอดูลมีดังนี้

4.1 เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วในการใช้งานกระบวนการที่ถูกควบคุมต้องการสัญญาณควบคุมที่เป็นค่าแน่นอนไม่คลุมเครือค่าหนึ่งๆ ดังนั้นจึงใช้มอดูลนี้ทำการแปลงค่าตัวแปรควบคุมที่ได้จากการอนุมานซึ่งเป็นฟัซซีเซตให้เป็นค่าจุดเดียว

4.2 แปลงค่าจุดของตัวแปรควบคุมเป็นค่ากายภาพ

<u>ขั้นตอนพื้นฐานในการพัฒนาระบบฟัซซี</u>

1. <u>กำหนดจุดมุ่งหมายและความต้องการของระบบ</u>

พิจารณาความเหมาะสมที่จะเลือกใช้ระบบฟัซซีในการแก้ปัญหา เช่น หากไม่สามารถที่จะหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ชัดเจนเพียงพอที่จะอธิบายกระบวนการได้ แต่ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมของระบบสามารถอธิบายได้ด้วยกฎโดยคร่าวๆ หรือตามสัญชาตญาณแล้ว ระบบฟัซซีก็อาจจะมีความเหมาะสมที่จะเลือกมาใช้งาน ฟัซซีลอจิกยังอาจช่วยให้เข้าใจกระบวนการได้ง่ายขึ้นได้ในกรณีที่พฤติกรรมของระบบต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน(Chen and Kairys, 1993)

2. <u>กำหนดตัวแปรที่จะใช้พร้อมทั้งพิสัยของมัน</u>

รวมถึงโครงสร้างและพารามิเตอร์ต่างๆของระบบฟัซซี โดยปกติแล้วพิสัยของตัวตรวจรู้ถูกใช้เป็นพิสัยของตัวแปรอินพุต และพิสัยของสัญญาณควบคุมเป็นตัวกำหนดพิสัยของตัวแปรเอาต์พุต จากนั้นกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกให้กับแต่ละตัวแปร จำนวนและรูปแบบของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกขึ้นอยู่กับวินิจฉัยของผู้ออกแบบระบบหรือลักษณะพฤติกรรมของตัวกระบวนการเอง จากนั้นเลือกพารามิเตอร์ต่างๆของระบบควบคุมที่ต้องกำหนด เช่น ตัวดำเนินการต่างๆในฟัซซีลอจิกที่จะนำใช้ในเครื่องอนุมาน การอนุมาน และ การดำเนินการดีฟัซซิฟิเคชัน เป็นต้น

3. <u>สร้างกฎการควบคุม</u>

ซึ่งผู้ออกแบบมักเป็นผู้กำหนดตามความเหมาะสมเองว่าจะมีกฎอย่างไรและจำนวนของกฎมากน้อยเพียงใด

4. <u>ตรวจสอบการทำงานของระบบที่ออกแบบขึ้นมา</u>

หากผลการทำงานไม่สำเร็จตามเป้าหมายที่ต้องการ ให้ย้อนกลับไปปรับปรุงเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆในขั้นตอนที่ 2 และ 3 ตามสมควร การตรวจสอบมักทำได้ใน 3 วิธี

4.1 การตรวจสอบแบบสถิตย์: หมายถึงกรณีที่ตัวควบคุมฟัซซีไม่ได้ต่ออยู่กับกระบวนการ แต่จะทำการวิเคราะห์ตัวควบคุมโดยเฉพาะ วิธีนี้อาศัยสมมุติฐานว่าผู้ตรวจสอบรู้ว่าตัวควบคุมควรตอบสนองอย่างไรเมื่อกำหนดอินพุตเข้าให้ตัวควบคุม เช่นการดูพื้นผิวควบคุม เป็นต้น

4.2 การจำลองแบบวงปิด: วิธีนี้อาศัยว่าถ้ารู้แบบจำลองกระบวนการที่ถูกควบคุม ให้ทดลองจำลองแบบใช้ตัวควบคุมที่ออกแบบขึ้นกับแบบจำลองกระบวนการดังกล่าว แบบจำลองที่นำมาใช้นี้อาจเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์หรือแบบจำลองฟัซซี ซึ่งอาจเป็นตัวแทนของกระบวนการจริงได้ในพิสัยที่จำกัดหรือโดยประมาณ แต่ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมากทีเดียวในการตรวจสอบการทำงาน

4.3 การวิเคราะห์วงปิด on-line: วิธีนี้จะหลีกเลี่ยงการใช้แบบจำลองของกระบวนการที่ถูกควบคุม แต่ต้องอาศัยเครื่องมือระดับแนวหน้าที่จะทำการปรับจูน ตรวจสอบ และ ป้องกันอันตรายขณะทำงานได้

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการพัฒนาระบบควบคุมฟัซซี

การกำหนดกฎ

1. ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญหรือความรู้ของวิศวกรควบคุม

กฎการควบคุมฟัซซีมีรูปแบบเป็นถ้อยแถลงเงื่อนไขฟัซซี ซึ่งเชื่อมโยงตัวแปรสเตตในส่วนเหตุกับตัวแปรที่จะถูกควบคุมกระบวนการในส่วนผล ในการเชื่อมโยงนี้สังเกตว่าในชีวิตประจำวันของเราสารสนเทศที่ใช้ในการตัดสินใจโดยธรรมชาติแล้วจะเป็นคำในภาษามากกว่าที่จะเป็นจำนวนแน่นอนลงไป จากแง่มุมนี้เองกฎการควบคุมฟัซซีเป็นกรอบงานที่เป็นธรรมชาติที่จะแสดงลักษณะพฤติกรรมหรือการตัดสินใจของมนุษย์ ผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่พบว่าการใช้กฎการควบคุมฟัซซีเป็นวิธีที่ค่อนข้างสะดวกในการแสดงความรู้ในแขนงที่เขาชำนาญได้ นี้คือสาเหตุหนึ่งที่ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกส่วนใหญ่จะอิงตามความรู้และประสบการณ์ซึ่งแสดงในรูปเชิงภาษาของกฎเงื่อนไขแบบฟัซซี

การกำหนดกฎการควบคุมฟัซซีสามารถทำได้โดยการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ หรือสรุปดัดแปลงมาจากคู่มือปฏิบัติการของผู้ปฏิบัติการ แล้วแสดงในรูปเชิงคุณภาพในรูปของคำหรือตัวแปรเชิงภาษา อย่างไรก็ตามในการที่จะให้ได้สมรรถนะการทำงานที่ดีก็อาจจำเป็นต้องใช้วิธีทดลองตัดและทดสอบลองดูหลายๆรอบ

2. เลียนแบบการควบคุมของผู้ปฏิบัติการในบางกระบวนการ

เราไม่สามารถรู้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตได้อย่างเที่ยงตรงพอที่จะพึ่งพาทฤษฎีระบบควบคุมแบบดั้งเดิมได้ แต่ทว่าผู้ปฏิบัติงานสามารถดำเนินการกระบวนการได้โดยมิได้รู้แบบจำลองเชิงปริมาณเลย ซึ่งบางครั้งเขาเองก็อาจจะไม่สามารถสรุปวิธีการตัดสินใจของเขาออกมาเป็นคำหรือข้อความที่เหมาะสมได้ ในกรณีเช่นนี้กฎการควบคุมอาจสรุปได้จากการสังเกตวิเคราะห์การควบคุมโดยผู้ปฏิบัติงานซึ่งอาจทำได้โดยอาศัยข้อมูลอินพุต-เอาต์พุตของการปฏิบัติการ

3. แบบจำลองฟัซซีของกระบวนการ

ในวิธีการเชิงภาษานั้น การอธิบายเชิงภาษาของลักษณะพลวัตของกระบวนการที่ถูกควบคุมอาจมองได้ว่าเป็นแบบจำลองฟัซซีของกระบวนการ โดยใช้แบบจำลองฟัซซีเราสามารถสร้างชุดของกฎการควบคุมเพื่อปรับปรุงให้ได้สมรรถนะของระบบโดยรวมที่ต้องการ แม้ว่าวิธีนี้จะค่อนข้างซับซ้อนแต่ก็ให้สมรรถนะที่ดีและเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังช่วยเป็นโครงสร้างที่จัดการได้เชิงทฤษฎีเกี่ยวกับตัวควบคุมฟัซซีลอจิก อย่างไรก็ตามแนวทางนี้ยังมีความจำกัดอยู่มากและมีการศึกษาอยู่ไม่มากนัก (Sugeno and Takagi, 1983; Pedrycz, 1985)

4. การเรียนรู้

ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกโดยทั่วไปในสมัยแรกๆสร้างขึ้น โดยการเลียนแบบพฤติกรรมการตัดสินใจของมนุษย์ แต่มิได้เน้นถึงความสามารถด้านการเรียนรู้ของมนุษย์อีกด้วย กล่าวคือ ความสามารถที่จะสร้างและปรับปรุงกฎการควบคุมโดยอาศัยประสบการณ์ Procyk และ Mamdani (1979) ได้เสนอตัวควบคุมแบบปรับตัวเองได้ (self-organizing controller; SOC) โดยมีโครงสร้างเป็นลำดับขั้น 2 ชั้น แต่ละชั้นประกอบด้วยฐานกฎของตัวเอง ในโครงสร้างชั้นล่างเป็นฐานกฎของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแบบปกติ ส่วนอีกชั้นหนึ่งเป็น meta-rules ซึ่งแสดงความสามารถเรียนรู้ของมนุษย์ที่จะสร้างหรือปรับปรุงฐานกฎปกติ เพื่อให้ได้สมรรถนะของระบบโดยรวมที่ดีขึ้นตามต้องการ ซึ่งในโครงสร้างตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับตัวได้นี้ได้มีผู้ทำการทดลองใช้และปรับปรุงต่อมา (Shao, 1988; Wakileh and Gill, 1990; Zhang and Edmunds. 1992; Vijeh, 1993) ต่อมาหัวข้อเรื่องการเรียนรู้ของระบบควบคุมฟัซซีเป็นที่สนใจมากขึ้นและในปัจจุบันมีการศึกษาและใช้งานระบบฟัซซีร่วมกับนิวรอลเนตเวิร์ก เป็นระบบนิวโรฟัซซี (NeuroFuzzy) ซึ่งอาศัยข้อดีด้านความสามารถเรียนรู้จากนิวรอลเนตเวิร์ก และความสามารถตีความหมายได้หรือการจัดการข้อมูลซึ่งไม่ชัดเจนได้ของระบบฟัซซี (Lee, 1991; Takagi and Hayashi, 1991; Nauck, 1993; Jang, 1993)

การวิเคราะห์ระบบควบคุมฟัซซี

สำหรับการควบคุมฟัซซีแล้ว การประเมินสมรรถนะทำได้โดยพิจารณาสมบัติสถิตย์และสมบัติพลวัต สมบัติสถิตย์จะเป็นเรื่องของปฏิสัมพันธ์ ความไม่ขัดแย้ง ความสมบูรณ์ของกฎ และความคงทน ในขณะที่สมบัติพลวัตเกี่ยวข้องกับเสถียรภาพ หรือ การควบคุมได้ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการพิจารณาพวกนี้จะขึ้นอยู่อย่างมากกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ซึ่งบางครั้งหามาได้ยากในทางปฏิบัติ การขาดวิธีการออกแบบที่เป็นระบบของระบบควบคุมฟัซซีลอจิก ทำให้ยังไม่สามารถกำหนดวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพสำหรับระบบควบคุมฟัซซีโดยทั่วไปได้ แม้ว่าจะมีผู้เสนอเงื่อนไขการวิเคราะห์เสถียรภาพมาบ้างแล้วก็ตาม

1. การกระทำระหว่างกฎ

พิจารณาฐานกฎฟัซซีซึ่งประกอบด้วยกฎฟัซซีจำนวนหนึ่ง โดยกฎที่ k อยู่ในรูปแบบ "ถ้า x เป็น A_k แล้ว y เป็น B_k " สำหรับอินพุตซึ่ง x เป็น A_k ก็เป็นที่คาดหวังว่าจะได้เอาต์พุตเป็น B_k ถ้าไม่มีการกระทำระหว่างกัน(interaction)ของกฎ แต่ทว่าผลลัพธ์ y อาจจะแตกต่างไปอย่างมากจาก B_k เนื่องจากปัจจัยหลายประการ ซึ่งรวมถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากกฎข้ออื่นๆภายในฐานกฎ ปัจจัยต่างๆที่มีส่วนให้เกิดการกระทำระหว่างกฎคือ

1.1 การสร้างกฎที่ไม่เหมาะสม เป็นเหตุให้เกิดความขัดแย้งในฐานกฎ การกระทำระหว่างกฎจะเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับความไม่ขัดแย้งของกฎที่กำหนด ความขัดแย้งระหว่างกฎจะทำให้ผลลัพธ์มีลักษณะเป็นความขัดแย้งกัน

1.2 การกำหนดฟัซซีเซตและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกไม่เหมาะสม ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตจะสัมพันธ์กับจำนวนของฟัซซีเซตและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของพวกมัน ซึ่งฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมักจะถูกกำหนดให้มีการซ้อนเกยกันระหว่างฟัซซีเซตที่อยู่ติดกัน เพื่อช่วยให้ได้ความสมบูรณ์ และความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงในระบบ แต่อาจก่อให้เกิดความเพี้ยนของเอาต์พุตในแบบที่ไม่ต้องการ

1.3 การเลือกการใช้เหตุผลฟัซซีและวิธีการดีฟัซซิฟิเคชันที่ไม่เหมาะสม ปัจจัยนี้มิได้เป็นผลโดยตรงต่อการกระทำระหว่างกฎ แต่จะกระทบต่อเอาต์พุตจากการอนุมาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับฐานกฎที่กำหนดเอาต์พุตค่อนข้างกระจัดกระจายไม่ค่อยมีความต่อเนื่อง ปกติแล้วดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการ COG จะให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างเรียบ

การกระทำระหว่างกันสามารถใช้เป็นส่วนสำคัญของตัวควบคุมฟัซซี พิจารณากรณีที่มีกฎดังข้างต้นเพียงข้อเดียว ซึ่งโดยปกติแล้วจะถูกกระตุ้นด้วยระดับต่างๆตามสภาวะอินพุต ฟัซซีเซตเอาต์พุตจะแตกต่างกันไปตามระดับการกระตุ้นของกฎและ B_k ถ้า B_k สมมาตรรอบจุดๆหนึ่งฟัซซีเซตเอาต์พุตจะสมมาตรรอบจุดเดิมตลอด ถ้าใช้ดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีเช่น COG การออกแบบจึงต้องให้มีการกระทำระหว่างกันของกฎเพื่อแก้ปัญหานี้ โดยจะมีอย่างน้อย 2 กฎแข่งขันกันเพื่อกำหนดเอาต์พุต โดยถ่วงดุลระหว่างกันเมื่ออินพุตแปรเปลี่ยนไป

2. <u>ความไม่ขัดแย้ง</u>

ความขัดแย้ง(inconsistency)มักเกิดได้จากเงื่อนไขการออกแบบที่มีความขัดแย้งกัน เช่นต้องการผลตอบที่รวดเร็วแต่ต้องการประหยัดพลังงาน เป็นต้น แต่กระนั้นก็ตามถึงแม้ว่าเงื่อนไขการออกแบบจะไม่มีความขัดแย้งในระดับแนวคิดแล้วก็ตาม ความขัดแย้งยังอาจเกิดได้จากการกำหนดกฎผิดพลาดเอง ซึ่งความขัดแย้งนี้จะไปปรากฏอยู่ในกฎที่ใช้ ดังจะเห็นได้ชัดว่าถ้าสำหรับอินพุตที่กำหนดให้หนึ่งๆกับตัวควบคุมแล้วฟัซซีเซตของการควบคุมออกมาเป็นหลายโหมด ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีอย่างน้อย 2 กฎที่มีส่วนเงื่อนไขใกล้เคียงกันแต่มีส่วนผลค่อนข้างต่างกัน ความขัดแย้งที่มีนี้อาจส่งผลที่มิได้คาดหวังไว้ก็ได้ ดังนั้นผู้ออกแบบระบบพึงระลึกถึงเรื่องนี้ด้วย

หลักการตรวจสอบความไม่ขัดแย้ง โดยทั่วไปแล้วทำได้โดย พิจารณาฐานกฎฟัซซีประกอบด้วย N_r กฎ โดยกฎข้อที่ k อยู่ในรูปแบบ "ถ้า x เป็น A_k แล้ว y เป็น B_k" โดยที่ A_k เป็น

I16700922

ฟัซซีเซตที่นิยามในปริภูมิอินพุต U, B_k เป็นฟัซซีเซตนิยามในปริภูมิเอาต์พุต V และ k=1, 2, ... , N_r ถ้ากฎฟัซซีไม่มีความขัดแย้งแล้ว การวัดความคล้าย SM_{ij} สำหรับ (A_i , A_j) จะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับการวัดความคล้าย SM_{ij} สำหรับ (B_i , B_j) โดยที่ i,j = 1, 2, ... , N_r วิธีนี้เป็นวิธีหนึ่งที่จะนำมาใช้ได้หากต้องการ แม้ว่าในทางปฏิบัติแล้วปัญหาความขัดแย้งของกฎมักจะหลีกเลี่ยงได้ในขั้นตอนของการออกแบบ

3. <u>ความสมบูรณ์</u>

โดยทั่วไปแล้ว ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกควรที่จะสามารถอนุมานหาการควบคุมที่เหมาะสมได้สำหรับทุกๆสภาวะสเตตของกระบวนการ คุณสมบัตินี้เรียกว่า *ความสมบูรณ์(completeness)* ความสมบูรณ์เกี่ยวข้องกับจำนวนกฎของการควบคุม และการนิยามฟัซซีเซตสำหรับแต่ละตัวแปรฟัซซี จากความจริงที่ว่าความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ การแบ่งปริภูมิอินพุต การซ้อนเกยกันของฟัซซีเซต เหล่านี้มีส่วนช่วยจำนวนกฎที่ใช้งานมีจำนวนน้อยลงได้ ชุดของกฎนี้อาจไม่สมบูรณ์ในตัวมันเองแต่ปัจจัยอื่นที่เข้ามาประกอบทำให้บรรลุคุณสมบัติเรื่องความสมบูรณ์นี้ได้

แตกต่างจากระบบผู้เชี่ยวชาญแบบปกติ ฐานกฎการควบคุมฟัซซีลอจิกจะใช้กฎจำนวนน้อยเพื่อให้ได้ผลซึ่งใช้งานได้ตามต้องการ สาเหตุหลักเนื่องจากมีการใช้ค่าของตัวแปรไม่มาก ทั้งยังมีการซ้อนเกยกันของค่าใกล้เคียง และ soft matching ในการอนุมานฟัซซี แต่กระนั้นก็คงยังไม่สามารถตัดสินได้ว่าควรมีกฎจำนวนเท่าไรจึงจะดีที่สุด เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการอาทิเช่น สมรรถนะของตัวควบคุมฟัซซี สมรรถนะที่ต้องการ ฟัซซีเซต การแบ่งฟัซซีเซต การเลือกอินพุต ฯลฯ โดยทั่วไปแล้วต้องอาศัยการจำลองแบบเข้าช่วย

ในการตรวจสอบความสมบูรณ์ในขณะจำลองแบบ ก็เป็นการดีที่จะตรวจสอบหากเป็นได้ว่าสำหรับแต่ละอินพุต จะมีบางกฎทำงานด้วยระดับอย่างน้อย α โดยที่ α เป็นขีดจำกัดล่างที่กำหนดไว้ก่อน หาก partial matching ระหว่างอินพุตบางค่ากับกฎฟัซซีต่ำกว่า α ก็อาจเพิ่มกฎลงไปในกรณีดังกล่าว

กฎการควบคุมฟัซซีสามารถปรับปรุงไปสู่ "ความสมบูรณ์" แบบกึ่งอัตโนมัติ กล่าวคือ ในระบบควบคุมฟัซซีแบบปรับตัวเองได้ ในตอนแรกกฎการควบคุมที่ใช้ตอนแรกอาจจะยังว่างอยู่ แต่ภายหลังจากการเรียนรู้และปรับตัวแล้ว จะมีการเพิ่มหรือปรับกฎให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Procyk and Mamdani, 1979)

4. <u>ความคงทน</u>

ความคงทน(robustness) แสดงถึงความสามารถของระบบควบคุมฟัซซีที่ ต้านทานต่อการรบกวนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระทันหันในอินพุตฟัซซีของมัน มีปัจจัยหลายประการที่อาจจะส่งผลถึงสมบัตินี้ ซึ่งรวมถึงความละเอียดของการควบคุม การแบ่งกั้นของปริภูมิอินพุต จำนวนของกฎ และฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต

เนื่องจากความสามารถแยกแยะของการควบคุม และจำนวนของกฎมักจะถูกกำหนดโดยเป้าหมายการออกแบบด้านอื่น ทำให้เป็นการยากที่จะใช้ปัจจัยเหล่านี้ในการปรับปรุงสมบัติด้านความคงทน ทำให้เหลือการปรับแต่งการแบ่งกั้นของปริภูมิอินพุตและการกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกให้เป็นวิธีที่พอจะทำให้การปรับปรุงสมบัติด้านนี้ได้ สังเกตว่าการใช้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่มีการซ้อนเกยกันของฟัซซีเซตข้างเคียงมากพอสมควรมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความคงทนของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ

<u>พารามิเตอร์ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี</u>

ระบบฟัซซีลอจิกสามารถกำหนดสร้างขึ้นได้ในหลายรูปแบบโดยการกำหนดการดำเนินการและพารามิเตอร์ในส่วนต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเงื่อนไขที่ใช้กำหนดสิ่งต่างๆเหล่านั้นมักจะพิจารณาจากแง่มุมของสิ่งต่างๆดังนี้

- *ความเหมาะสมพื้นฐาน*: เพราะว่าระบบฟัซซีลอจิกมักจะใช้สารสนเทศเชิงภาษาร่วมอยู่ด้วย จึงมีความสำคัญที่จะเลือกกำหนดสิ่งต่างๆเพื่อให้ได้แบบจำลองที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของระบบจริง

- *การสอดคล้องกับสัจพจน์* : เป็นความเหมาะสมโดยดูการสอดคล้องกับสัจพจน์

- *ประสิทธิภาพการคำนวณ*: สำหรับปัญหาขนาดใหญ่หรือทรัพยากรที่ใช้ในการคำนวณมีความจำกัดเราควรเลือกระบบฟัซซีที่ง่ายลง

- *ความง่ายต่อการปรับเปลี่ยน*: ในกรณีที่ระบบฟัซซีที่ออกแบบใช้งานนี้ มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนหรือเรียนรู้ด้วยขั้นตอนวิธีที่กำหนดเพื่อปรับปรุงสมรรถนะของระบบโดยรวม ควรเลือกที่จะกำหนดโครงสร้างที่มีความสะดวกต่อการปรับพารามิเตอร์ต่างๆตามที่ต้องการ

ซึ่งต่อไปเป็นการชี้ให้เห็นในรายละเอียดของการกำหนดส่วนต่างๆของระบบฟัซซีลอจิก

1. ฟัซซิฟิเคชัน

ในการประยุกต์ใช้กับงานควบคุม ค่าที่ทำการสังเกตวัดมาได้มักจะเป็นค่าหนึ่งๆ แต่ในการทำงานของฟัซซีลอจิกดำเนินการกับฟัซซีเซต จึงต้องดำเนินการแปลงค่าที่วัดมาเหล่านั้นให้เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานต่อไปเสียก่อน วิธีการที่มีใช้กันมีอยู่ 2 วิธี ซึ่งในบางระบบอาจประยุกต์ใช้ทั้งสองวิธี

1.1 ทำการแปลงค่าที่วัดมา x_0 เป็นเซตโทนฟัซซีภายในเอกภพสัมพัทธ์ โดยระดับการเป็นสมาชิกมีค่าเป็น 1 ที่จุด x_0 นอกนั้นเป็น 0 ซึ่งวิธีการนี้ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากดูเป็นธรรมชาติและง่ายต่อการคำนวณ นอกจากนี้ยังสามารถตีความว่าอินพุต x_0 เป็นฟัซซีเซต A ที่มีระดับการเป็นสมาชิกเท่ากับ 0 หมดยกเว้นที่ x_0 มีระดับการเป็นสมาชิกเท่ากับ $\mu_A\ (x_0)$

1.2 ถ้าค่าที่วัดมาได้ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนสุ่ม การดำเนินการแปลงให้เป็นฟัซซีนี้อาจจะรวมเอาสารสนเทศเชิงสถิติเข้ามาใช้เป็นประโยชน์ได้ด้วยเช่น อาจจะแปลงข้อมูลของค่าที่วัดมาได้นี้เป็นจำนวนฟัซซี อันมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นแบบเกาส์หรือรูปสามเหลี่ยมที่มีจุดยอดสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลหรือค่าที่วัดมาได้ และความกว้างของซัพพอร์ตแปรตามระดับความไม่แน่นอนของข้อมูลเช่นเป็นสองเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล (Braae and Rutherford, 1979) ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ เราสามารถทำการคำนวณโดยใช้จำนวนฟัซซีแทน ซึ่งจัดการได้ง่ายกว่าการจัดการกับตัวแปรสุ่ม

นอกจากนี้ในทางปฏิบัติแล้วมักจะรวมเอาขั้นการตรวจสอบฟัซซีเซตอินพุตกับฟัซซีเซตที่กำหนดในส่วนเงื่อนไขของกฎเข้าไปในขั้นตอนของฟัซซิฟิเคชันเลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่อินพุตจากกระบวนการเป็นค่าจุดเดียวอยู่แล้ว เมื่อผ่านขั้นตอนนี้จะได้ค่าระดับการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตที่กำหนดในส่วนเงื่อนไขของกฎที่จุดที่วัดมาได้นั่นเอง

2. ฐานความรู้

รูปแบบของกฎฟัซซีที่ใช้ในตัวควบคุมฟัซซีแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ กฎแบบ Mamdani ซึ่งในทั้งส่วนเงื่อนไขและส่วนผลกำหนดด้วยฟัซซีเซต กับกฎแบบ Sugeno ซึ่งในส่วนเงื่อนไขของกฎกำหนดด้วยฟัซซีเซตเช่นปกติแต่อาจจะไม่กำหนดชื่อเรียกให้กับฟัซซีเซต แต่ในส่วนผลนั้น กำหนดเป็นฟังก์ชันของค่าของตัวแปรอินพุต

2.1 กฎแบบ Mamdani กฎฟัซซีแบบนี้เป็นแบบที่ใช้ในการประยุกต์ใช้การควบคุมฟัซซีตั้งแต่ในครั้งแรกๆ(Mamdani, 1974) ซึ่งมีรูปแบบโดยทั่วไปเป็น

$$r_k : \textbf{ if } x_1 \textit{ is } A_{1,k} \textbf{ and } \cdots \textbf{ and } x_{N_X} \textit{ is } A_{N_X,k} \textbf{ then } y_1 \textit{ is } B_{1,k}, \cdots, y_{N_Y} \textit{ is } B_{N_Y,k}$$

ตัวอย่างของกฎการควบคุมเช่น "ถ้า ค่าความผิดพลาดเป็นขนาดใหญ่ และ การเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดมีขนาดเล็ก แล้ว สัญญาณควบคุมเป็นขนาดใหญ่" ซึ่งมีลักษณะคล้ายอัลกอริทึมของตัวควบคุมพีดี กล่าวคือสัญญาณควบคุมจะขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงของมัน โดยทั่วไปแล้วกฎฟัซซีรูปแบบนี้อาจจะใช้ตัวแปรอื่นก็ได้ตามความเหมาะสมที่จะใช้งาน

โดยทั่วไปแล้วจะใช้ตัวดำเนินการ min เป็นทั้งตัวเชื่อมการร่วมกันและการแจงเหตุสู่ผล ใช้ตัวดำเนินการ max สำหรับรวมกลุ่มกฎต่างๆในฐานกฎ และอนุมานด้วยผลประกอบ max-min (Mamdani and Assilian, 1975) Mamdani และผู้ร่วมงานคนอื่นได้ใช้กฎประเภทนี้ และเป็นกลุ่มผู้บุกเบิกการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมกระบวนการ ดังนั้นกฎในรูปแบบนี้จึงเรียกว่า *กฎแบบ Mamdani* โดยจะหมายถึงรูปแบบกฎฟัซซีที่มีประพจน์ฟัซซีประกอบทั้งส่วนเงื่อนไขและส่วนผลของกฎ

2.2 กฎแบบ Sugeno กฎฟัซซีอีกประเภทหนึ่งคือกฎแบบ Sugeno เนื่องจากนำเสนอโดย Takagi กับ Sugeno ในปีค.ศ.1983 และมีการศึกษาใช้งานกฎรูปแบบนี้ต่อมาโดย Sugeno และผู้ร่วมงานคนอื่น(Takagi and Sugeno, 1985; Sugeno and Nishida, 1985; Sugeno and Murakami, 1985; Sugeno and Kang, 1988; Sugeno and Yasukawa, 1993) รูปแบบของกฎจะเป็น

$$r_k: \ \textbf{if} \ x_1 \, is \, A_{1,k} \ \textbf{and} \ \cdots \ \textbf{and} \ x_{N_X} \, is \, A_{N_X,k} \ \ \textbf{then} \ y_1 = f_{1,k}(x_1,\cdots,x_{N_x}),\cdots, y_{N_Y} = f_{N_Y,k}(x_1,\cdots,x_{N_x})$$

ซึ่งแสดงส่วนผลของกฎฟัซซีเหล่านี้ด้วยฟังก์ชัน $f_{j,k}$ ของอินพุตของตัวควบคุม x_i เช่น $f_{j,k}$ เป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลของอินพุต x_i ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะส่วนผลเป็นเพียงเอาต์พุตเดียวโดยไม่เสียความเป็นทั่วไป Sugeno และผู้ร่วมงานใช้ฟังก์ชันเชิงเส้นในส่วนผลของกฎฟัซซี

$$r_k: \ \textbf{if} \ x_1 \, is \, A_{1,k} \ \textbf{and} \ \cdots \ \textbf{and} \ x_{N_X} \, is \, A_{N_X,k} \ \ \textbf{then} \ y = b_{0,k} + \sum_{i=1}^{N_X} b_{i,k} x_i$$

โดยมี $b_{i,k}$ และ $b_{0,k}$ เป็นพารามิเตอร์ค่าคงที่ ตัวอย่างเช่น

$$\textbf{if} \ e \ is \ small \ \textbf{and} \ \Delta e \ is \ big \ \textbf{then} \ u = 3e + 5\Delta e$$

โดยที่ u เป็นสัญญาณควบคุมและ e กับ Δe เป็นค่าความผิดพลาดกับการเปลี่ยนแปลงของมัน

กฎแบบ Sugeno นี้สามารถทำให้ง่ายลงได้หาก $b_{i,k} = 0, i=1, \ldots, N_x$ ซึ่งผลที่ได้คือในส่วนผลของกฎเป็นเพียงค่าคงที่ เรียกว่ากฎฟัซซีแบบ Sugeno อันดับศูนย์(zero-order Sugeno fuzzy rule) ชุดของกฎแบบSugenoนี้ สามารถมองได้ว่าเป็นชุดของตัวควบคุมย่อยเฉพาะบริเวณ และใช้การบวกแบบถ่วงน้ำหนักในการดีฟัซซิฟิเคชันจะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม ซึ่งเป็นการประมาณค่าในช่วงระหว่างสัญญาณออกของตัวควบคุมย่อยเฉพาะบริเวณ

3. <u>เครื่องอนุมาน</u>

เครื่องอนุมานเป็นกลไกสำคัญของตัวควบคุมฟัซซี ซึ่งโดยทั่วไปอาศัยการทำงานด้วยกฎการอนุมานผลประกอบ ที่จะนำอินพุตซึ่งเป็นฟัซซีเซตเข้ามาทำการอนุมาน ตัวควบคุมฟัซซีในทางปฏิบัติโดยมากแล้วจะใช้การดีฟัซซิฟิเคชันแบบเซตโทนฟัซซี ดังนั้นการทำงานสามารถแสดงได้เป็น

$$= X \circ R = \sup_x \left(\mu(x)\ t\ \mu_R(x,u)\right)$$

โดยที่ U เป็นฟัซซีเซตที่แสดงตัวแปรควบคุม X เป็นฟัซซีเซตที่แสดงตัวแปรสเตตของกระบวนการ R เป็นความสัมพันธ์ฟัซซีซึ่งได้จากกฎในฐานกฎ t เป็นตัวดำเนินการในกลุ่มของ t-norm ซึ่งหากเลือกใช้เป็นตัวดำเนินการ min ก็จะได้ กฎการอนุมานผลประกอบ sup-min ดังที่ Zadeh เคยเสนอไว้ ซึ่งในการตีความที่แสดงในบทที่ 2 แสดงให้เห็นแล้วว่า กลไกการอนุมานในทางปฏิบัติแล้วจะประกอบด้วย การตรวจสอบว่าอินพุตที่รับเข้ามาสอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในกฎมากน้อยเพียงใด ผลที่ได้เป็นระดับการกระตุ้นกฎ(firing strength) ซึ่งผลที่ได้นี้เองนำมาเข้าสู่การใช้เหตุผลที่กำหนด โดยการอนุมานที่ฐานกฎที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติแล้วเป็น การอนุมานกฎทีละข้อแล้วจึงรวมผลที่ได้ในภายหลัง ซึ่งการรวมผลจากการอนุมานแต่ละกฎนี้สามารถมองได้ว่าเป็นการดำเนินการในเครื่องอนุมาน หรือในบางมุมมองก็คิดว่าการรวมผลนี้อยู่ในการดีฟัซซิฟิเคชัน

4. <u>ดีฟัซซิฟิเคชัน</u>

ดีฟัซซิฟิเคชันเป็นการแปลงค่าเชิงภาษา(ฟัซซีเซต)ที่ได้จากเครื่องอนุมานมาสรุปเป็นการควบคุมค่าหนึ่งที่ต้องการ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการเสนอวิธีการต่างๆมาหลายแบบ การเลือกวิธีการใดก็แล้วแต่การตีความหมายและความสะดวกในการคำนวณในแต่ละงานไป Hallendoorn และ Thomas (1993) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของดีฟัซซิฟิเคชันในบางแง่มุม ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงวิธีการบางอย่างที่มีใช้กัน

4.1 วิธีค่าสูงสุด(First/Middle/Last of Maxima) เป็นการดูว่าในบรรดาซัพพอร์ตของฟัซซีเซตที่ได้จากการอนุมานนั้น ค่าใดที่มีระดับการเป็นสมาชิกสูงที่สุดให้ตัดสินเป็นค่านั้น หากค่าที่มีระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดหลายค่าก็ให้เลือกว่าจะเป็นตัวแรกทางซ้าย หรือตัวสุดท้ายทางขวา หรือจะมาเฉลี่ยหาค่าระหว่างกัน ตัวอย่างกรณีที่เอกภพสัมพัทธ์เป็นเซตไม่ต่อเนื่อง ค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด(Mean Of Maxima; MOM) อาจแสดงได้เป็น

$$u = \sum_{i=1}^{l} \frac{c_i}{l}$$

โดยที่ c_i เป็นค่าซัพพอร์ตที่ซึ่งฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจากการอนุมานมีค่าสูงสุด และ l เป็นจำนวนของค่าซัพพอร์ตดังกล่าว

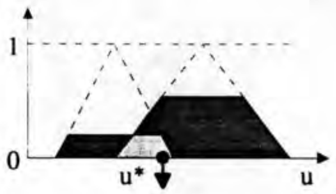
วิธีการในกลุ่มนี้มีใช้ในการประยุกต์ระบบควบคุมแบบฟัซซีในระยะเริ่มแรก ข้อเสียคือค่าที่ได้จะไม่ค่อยต่อเนื่องทำให้ลักษณะของการควบคุมโดยรวมคล้ายกับการควบคุมแบบรีเลย์หลายระดับ ให้ผลตอบชั่วครู่ที่เร็วแต่มักมีการแกว่งที่สภาวะอยู่ตัว(Kickert and Mamdani, 1978)

4.2 วิธีจุดศูนย์ถ่วง(Central of Gravity; COG) เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากเครื่องอนุมานวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ค่าที่ได้จะคำนวณจากสมการ

ในกรณีของค่าต่อเนื่อง
$$u = \frac{\int_U u \cdot \mu_{B'}(u)\, du}{\int_U \mu_{B'}(u)\, du}$$

หรือกรณีค่าไม่ต่อเนื่อง $(U = \{u_1, \cdots, u_{N_q}\})$
$$u = \frac{\sum_{q=1}^{Nq} u_i \cdot \mu_{B'}(u)}{\sum_{q=1}^{Nq} \mu_{B'}(u)}$$

ซึ่งสามารถแสดงได้ดังในรูปที่3.3 โดยทฤษฎีแล้วพื้นที่ส่วนที่ซ้อนเกยกันของฟัซซีเซตข้างเคียงจะนำมาคิดเพียงครั้งเดียว เนื่องจากจะมองว่าฟัซซีเซตเอาต์พุตจากการอนุมานแต่ละกฎจะถูกรวมเข้ามาเป็นฟัซซีเซตผลลัพธ์เซตเดียว ซึ่งทำให้การคำนวณค่าจุดศูนย์ถ่วงยุ่งยากพอสมควร ในทางปฏิบัติในบางการใช้งานจึงยอมให้คิดน้ำหนักซ้ำได้อีกครั้งในส่วนที่เกยกันเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณลง ซึ่งทำให้ผลของการทำงานโดยรวมแตกต่างกันไปบ้าง ถึงแม้ว่าการคำนวณด้วยวิธีนี้ค่อนข้างยุ่งยากแต่ให้ผลในลักษณะที่ค่อนข้างต่อเนื่องในกรณีของเซตนูนฟัซซี



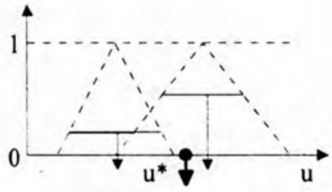
รูปที่ 3.3 ดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีจุดศูนย์ถ่วง

4.3 วิธีความสูง(Height) วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ดัดแปลงมาจากวิธีจุดศูนย์ถ่วง และใช้กับระบบฟัซซีที่ใช้การอนุมานเฉพาะที่ โดยจะรวมเอาขั้นตอนของการรวมผลที่ได้จากแต่ละกฎเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณด้วย ทั้งนี้ในส่วนของฟัซซีเซตที่ได้จากการอนุมานแต่ละกฎแทนที่จะใช้ข้อมูลเกี่ยวกับฟัซซีเซตนั้นทั้งหมดให้เลือกใช้ ตัวแทนออกมาตัวหนึ่งเป็น c_k เช่น ค่าจุดศูนย์ถ่วง หรือค่าของซัพพอร์ตที่มีระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด(ก่อนถูกจำกัดความสูงจากการอนุมาน)ของฟัซซีเซตนั้นๆ แล้วคูณด้วยระดับการกระตุ้นกฎที่ได้จากการอนุมานกฎข้อนั้นๆในที่นี้ใช้สัญลักษณ์ α_k นำมาบวกรวมกันทุกกฎ แล้วจึงหารด้วยผลรวมของระดับการกระตุ้นกฎจากการอนุมานแต่ละกฎ รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการทำงาน ในกรณีที่มีกฎอยู่ N_r ข้อสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$u = \frac{\sum_{k=1}^{N_r} c_k \cdot \alpha_k}{\sum_{k=1}^{N_r} \alpha_k}$$

วิธีการดังกล่าวมิได้อาศัยข้อสนเทศเกี่ยวกับลักษณะของฟัซซีเซตเลยนอกจากค่าที่เลือกมาเป็นตัวแทนเท่านั้น จึงมีการปรับปรุงการคำนวณอีกเล็กน้อย โดยคูณปัจจัยที่แสดงคุณสมบัติการกระจายตัวของค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $1/\delta_k^2$ ลงไปด้วย โดยที่ δ_k แปรตามความกว้างของฟัซซีเซตในส่วนผลของกฎ นั่นคือถ้า δ_k มีค่ามากหมายถึงเราให้น้ำหนักกับเซตนี้น้อยอาจเนื่องมาจากมีความไม่แน่นอนสูง

$$u = \frac{\sum_{k=1}^{N_r} c_k \cdot \alpha_k / \delta_k^2}{\sum_{k=1}^{N_r} \alpha_k / \delta_k^2}$$



รูปที่ 3.4 ดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีความสูง

ระบบฟัซซีลอจิก

ระบบฟัซซีลอจิกที่ใช้ในงานควบคุมสามารถสรุปการทำงานได้เป็น การทำให้อินพุตที่เข้าสู่ระบบเป็นฟัซซีเซต แล้วทำการตรวจสอบระดับความสอดคล้องของอินพุตกับฟัซซีเซตที่กำหนดในส่วนเงื่อนไขของกฎเป็นระดับการกระตุ้นกฎแต่ละข้อ ซึ่งอาจรวมทั้งสองขั้นนี้เป็นขั้นเดียว แล้วทำการอนุมานกฎแต่ละข้อด้วยฟัซซีลอจิก นำผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละกฎมารวบรวม แล้วจึงทำการดีฟัซซิฟิเคชันซึ่งก็อาจรวบเอาขั้นตอนการรวบรวมผลจากกฎแต่ละข้อกับการดีฟัซซิฟิเคชันเป็นขั้นตอนเดียวกัน แม้ว่าการทำงานโดยทั่วไปของระบบฟัซซีต่างๆมีลักษณะทำนองเดียวกัน แต่การเลือกพารามิเตอร์ต่างๆที่นำมาประกอบกันเป็นการทำงานของระบบฟัซซี ทำให้ได้ระบบฟัซซีซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันไป

1. ระบบฟัซซีแบบของ Mamdani

Mamdani ได้เสนอระบบฟัซซีลอจิกในรูปแบบของการแจงเหตุสู่ผลเป็น min การอนุมานด้วยกฎการอนุมานผลประกอบ max-min และดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธี MOM โดยที่ฟังก์ชัน

การเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรแต่ละตัวทั้งด้านอินพุตและเอาต์พุตมีลักษณะสมมาตร นอกจากนี้ ในการใช้งานยังทำการควอนไทซ์โดเมนของทั้งอินพุตและเอาต์พุตด้วย ซึ่งทำให้ผลโดยรวมของตัวควบคุมเป็นรีเลย์หลายระดับ Larsen(1980) ได้ใช้วิธีการอย่างเดียวกับ Mamdani แต่ใช้การแจงเหตุสู่ผลด้วยการคูณแทนที่จะเป็น min

2. <u>ระบบฟัซซีแบบของ Tsukamoto</u>

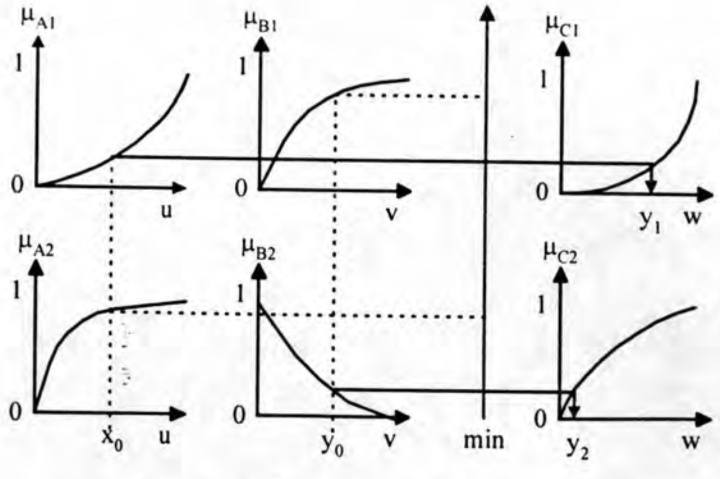
รูปแบบระบบฟัซซีของ Tsukamoto (Tsukamoto, 1979) จะมีลักษณะคล้ายกันกับแบบของ Mamdani แต่การใช้เหตุผลฟัซซีถูกทำให้ง่ายลง โดยเพิ่มข้อจำกัดลงไปว่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่กำหนดสำหรับตัวแปรในส่วนผลเป็นฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่งแบบทางเดียว ดังนั้นผลที่ได้จากแต่ละกฎจะกำหนดได้เป็นค่าที่ชัดเจนค่าหนึ่งๆ กับระดับการกระตุ้นกฎ และสัญญาณออกโดยรวมของทุกกฎเป็นการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าที่ได้จากแต่ละกฎนั่นเอง ตัวอย่างเช่นฐานกฎที่มีกฎเพียง 2 ข้อ

r$_1$: **if** x is A_1 **and** y is B_1 **then** z is C_1

r$_2$: **if** x is A_2 **and** y is B_2 **then** z is C_2

การคำนวณหาสัญญาณออกของระบบฟัซซีแบบนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 ในวิธีนี้ ระดับการกระตุ้นกฎข้อแรกเป็น α_1 ผลที่ได้จากการอนุมานกฎข้อแรกคือ y_1 ที่ทำให้ $\alpha_1=C_1(y_1)$ ระดับการกระตุ้นกฎข้อที่สองเป็น α_2 ผลที่ได้จากการอนุมานกฎข้อนี้คือ y_1 ที่ทำให้ $\alpha_2=C_2(y_2)$ และค่าเอาต์พุตสุดท้าย z_0 คำนวณจากการรวมเฉลี่ยกันผลจากทั้งสองกฎ

$$z_0 = \frac{\alpha_1 y_1 + \alpha_2 y_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$



รูปที่ 3.5 การใช้เหตุผลฟัซซีแบบของ Tsukamoto

3. <u>ระบบฟัซซีแบบของ Sugeno</u>

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่ากฎแบบ Sugeno นั้นในส่วนผลของกฎจะเป็นฟังก์ชันของตัวแปรอินพุต ดังนั้นการคำนวณหาเอาต์พุตจึงแตกต่างไปจากระบบฟัซซีของ Mamdani เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจพิจารณากฎ

r_1: **if** x is A_1 **and** y is B_1 **then** $z = f_1(x,y)$

r_2: **if** x is A_2 **and** y is B_2 **then** $z = f_2(x,y)$

เมื่ออินพุตมีค่าเป็น (x_0, y_0) และระดับการกระตุ้นของกฎที่อินพุตดังกล่าวเป็น (α_1, α_2) ค่าผลที่ได้จากกฎที่ 1 และ 2 จะได้เป็น $\alpha_1 f_1(x_0,y_0)$ และ $\alpha_2 f_2(x_0,y_0)$ ตามลำดับ เมื่อทำการรวมผลลัพธ์ที่ได้จากกฎทั้งคู่โดย

$$z_0 = \frac{\alpha_1 f_1(x_0, y_0) + \alpha_2 f_2(x_0, y_0)}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

สังเกตด้วยว่าสำหรับระบบฟัซซีแบบSugeno ซึ่งมีกฎเป็นรูปแบบของกฎฟัซซีแบบSugeno อันดับศูนย์จะมีเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันเรียบของตัวแปรอินพุต ตราบใดที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตที่อยู่ข้างเคียงกันในส่วนเงื่อนไขมีการซ้อนเกยกันมากพอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การซ้อนเกยกันของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกในส่วนผลไม่มีผลต่อความเรียบของการประมาณค่าในช่วง การซ้อนเกยกันของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกในส่วนเงื่อนไขมีผลสำคัญต่อความเรียบของพฤติกรรมอินพุต-เอาต์พุต

4. <u>ฟังก์ชันมูลฐานฟัซซี</u>

ระบบฟัซซีอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งมีโครงสร้างและคุณสมบัติน่าสนใจเป็นระบบฟัซซีซึ่งสามารถมองได้ว่าเป็นผลบวกเชิงเส้นของฟังก์ชันมูลฐานฟัซซี (Wang and Mendel, 1992) โครงสร้างของระบบฟัซซีนี้มีองค์ประกอบเป็นดังนี้: ฟัซซิฟิเคชันแบบเซตโทนฟัซซี อนุมานด้วยการคูณ และใช้การดีฟัซซิฟิเคชันแบบความสูง กฎในฐานกฎมีลักษณะดังนี้

r_k: if x_1 *is* A_1^k and $\cdots$ and x_{N_X} *is* $A_{N_X}^k$ then z *is* B^k

โดยที่ $k = 1, 2, \ldots, N_r$ x_i (i=1, ... , N_X) เป็นอินพุต z เป็นเอาต์พุตของระบบ จะได้ฟังก์ชันการทำงานของระบบเป็น

$$f(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{k=1}^{N_r} \bar{z}^k \left(\prod_{i=1}^{N_X} \mu_{A_i}^k(x_i)\right)}{\sum_{k=1}^{N_r} \left(\prod_{i=1}^{N_X} \mu_{A_i}^k(x_i)\right)}$$

โดยที่ $\mu_{A_i}^k(x_i)$ เป็นฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์กำหนดโดย

$$\mu_{A_i}^k(x_i) = a_i^k \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - \bar{x}_i^k}{\sigma_i^k}\right)^2\right]$$

โดยที่ a_i^k, $\bar{x}_i^k$, $_i^k$เป็นพารามิเตอร์ค่าจริง $0 < a_i^k \le 1$ และ $\bar{z}^k$เป็นจุดในปริภูมิเอาต์พุตซึ่ง $\mu_B^k(z)$ มีค่าสูงที่สุด ถ้าเรามองว่า $\left(\prod_{i=1}^{N_x} \mu_{A_i}^k(x_i) \big/ \sum_{k=1}^{N_r} \prod_{i=1}^{N_x} \mu_{A_i}^k(x_i)\right)$ เป็นฟังก์ชันมูลฐานและเป็นค่าคงที่แล้ว $f(\mathbf{x})$ สามารถมองได้ว่าเป็นผลบวกเชิงเส้นของฟังก์ชันมูลฐาน ดังนั้นถ้านิยามฟังก์ชันมูลฐานฟัซซี (Fuzzy Basis Function)เป็น

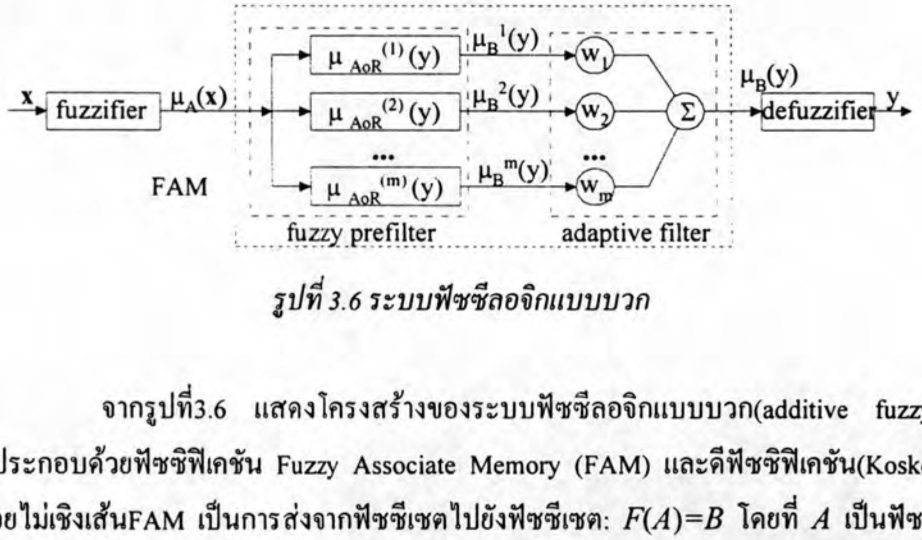
$$p_k(\mathbf{x}) = \frac{\prod_{i=1}^{N_x} \mu_{A_i}^k(x_i)}{\sum_{k=1}^{N_r} \prod_{i=1}^{N_x} \mu_{A_i}^k(x_i)} \qquad k = 1, \cdots, N_r$$

โดยที่ $\mu_{A_i}^k(x_i)$ เป็นฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์ จะได้ว่าระบบฟัซซีข้างต้นเท่ากับการกระจายฟังก์ชันมูลฐานฟัซซี

$$f(x) = \sum_{k=1}^{N_r} p_k(\mathbf{x})\theta_k$$

โดยที่ $\theta_k \in \mathbf{R}$ เป็นค่าคงที่

5. <u>ระบบฟัซซีลอจิกแบบบวก</u>



รูปที่ 3.6 ระบบฟัซซีลอจิกแบบบวก

จากรูปที่3.6 แสดงโครงสร้างของระบบฟัซซีลอจิกแบบบวก(additive fuzzy logic system)ประกอบด้วยฟัซซิฟิเคชัน Fuzzy Associate Memory (FAM) และดีฟัซซิฟิเคชัน(Kosko, 1992) ระบบย่อยไม่เชิงเส้นFAM เป็นการส่งจากฟัซซีเซตไปยังฟัซซีเซต: *F*(*A*)=*B* โดยที่ *A* เป็นฟัซซีเซตในส่วนของเงื่อนไขของกฎ ในส่วนของเงื่อนไขนี้อาจประกอบด้วยตัวแปรหลายตัวประกอบกันได้ ในโครงสร้างของ FAM นี้มีลักษณะเหมือนฟิลเตอร์แบบปรับตัว (adaptive filter) ซึ่งมีอินพุตเป็นฟัซซีเซตเอาต์พุตจากฟิลเตอร์ส่วนหน้า น้ำหนักถ่วง $w_1, w_2, \ldots, w_m$ ของตัวรวมสามารถมองได้เป็นการกำหนดระดับความเชื่อ(degree of belief)ของแต่ละกฎ ในลักษณะที่เราเชื่อว่าบางกฎน่าเชื่อถือกว่าบางกฎ หากว่าข้อมูลดังกล่าวไม่รู้มาก่อนก็อาจกำหนดค่าเป็นหนึ่งเท่ากันหมดก่อน แล้วหาวิธีการเรียนรู้เพื่อหาค่าน้ำหนักถ่วงที่เหมาะสม ภายหลังจากที่ได้ฟัซซีเซต *B* มาแล้วผ่านต่อไปยังดีฟัซซิฟิเคชันเพื่อให้ได้ค่าเป็นจุดออกมา

ลักษณะพิเศษของระบบฟัซซีแบบนี้คือการรวมผลที่ได้จากแต่ละกฎเป็นการบวกค่าระดับการเป็นสมาชิกเข้าด้วยกัน ซึ่งการดำเนินการนี้ไม่ได้เป็นการดำเนินการในกลุ่มของ t-conorm

<u>ระบบฟัซซีเป็นการประมาณฟังก์ชันสากล</u>

เมื่อเราพิจารณาตัวควบคุมฟัซซีดังในรูปที่ 3.1 โดยสมมุติว่าฐานกฎกำหนดความสัมพันธ์ฟัซซี $R=A \to B$ ดังนั้นเมื่อมีอินพุตค่าเป็นจำนวนเข้ามา เป็น $\mathbf{x}_0$ เมื่อทำผ่านขั้นตอนฟัซซิฟิเคชันซึ่งแทนด้วยฟังก์ชัน $A'=fuz(\mathbf{x}_0)$ เมื่อผ่าน A' นี้เข้าสู่การอนุมานซึ่งคำนวณได้จากฟังก์ชันการอนุมานผลประกอบได้ผลลัพธ์มาเป็น ฟัซซีเซต B' โดยที่ $B'=A'\circ R$ และสุดท้ายผ่านฟังก์ชันดีฟัซซิฟิเคชันเพื่อแปลงจากฟัซซีเซตมาเป็นค่าจำนวน $y_0=defuz(B')$ จากภาพรวมที่กล่าวถึงนี้แสดงให้เห็นถึงว่าการทำงานของตัวควบคุมฟัซซีเมื่อกำหนดกฎ และพารามิเตอร์ต่างๆแล้วจะเป็นฟังก์ชันอินพุตเอาต์พุต $y = f(\mathbf{x})$ ซึ่งโดยมากมักจะไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องมาจากฟังก์ชันที่กำหนดการดำเนินการต่างๆ ดังได้กล่าวไปแล้ว

$$\begin{aligned} y_0 &= defuz(B') \\ &= defuz(A' \circ R) \\ &= defuz\big(fuz(\mathbf{x}_0) \circ (A \to B)\big) \end{aligned}$$

เมื่อเข้าใจแล้วว่าระบบฟัซซีในมุมมองหนึ่งแล้วก็คือฟังก์ชันอินพุต-เอาต์พุตในรูปแบบหนึ่งๆซึ่งอาจจะไม่ง่ายต่อการวิเคราะห์ฟังก์ชันดังกล่าวโดยตรง ต่อมาก็มีคำถามว่าแล้วระบบฟัซซีสามารถใช้เป็นการประมาณแทนฟังก์ชันทั่วไปได้หรือไม่ ซึ่งถ้าระบบฟัซซีสามารถเป็นการประมาณฟังก์ชันแบบทั่วไปได้ย่อมหมายถึงว่า ถ้ามีฟังก์ชันหนึ่งซึ่งเราสามารถใช้ในการแก้ปัญหาที่ต้องการได้ก็จะสามารถใช้ระบบฟัซซีในการแก้ปัญหานั้นได้เช่นกัน ความหมายของการเป็นการประมาณฟังก์ชันในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงตัวประมาณสากล (universal approximator) เท่านั้น ซึ่งจะหมายถึงว่า $y = f(\mathbf{x})$ สามารถประมาณฟังก์ชันต่อเนื่องค่าจริงใดๆ $F(\mathbf{x})$ ในคอมแพกต์เซต $\mathbf{X}$ ได้ด้วยความแม่นยำใดๆที่ต้องการนั่นคือ

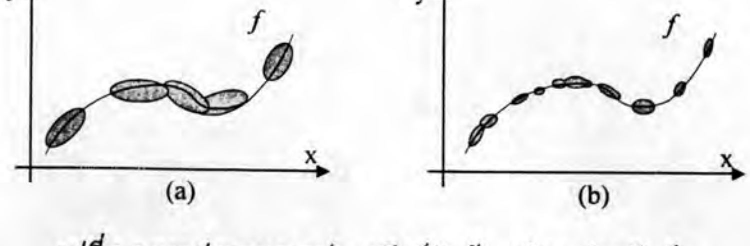
$$\forall \mathbf{x} \in \mathbf{X}, \quad \left| F(\mathbf{x}) - f(\mathbf{x}) \right| < \varepsilon$$

โดยที่ $F(\mathbf{x})$ เป็นฟังก์ชันที่ต้องการประมาณ ε เป็นค่าคงที่บวกขนาดเล็กใดๆที่บ่งบอกความแม่นยำในการประมาณ

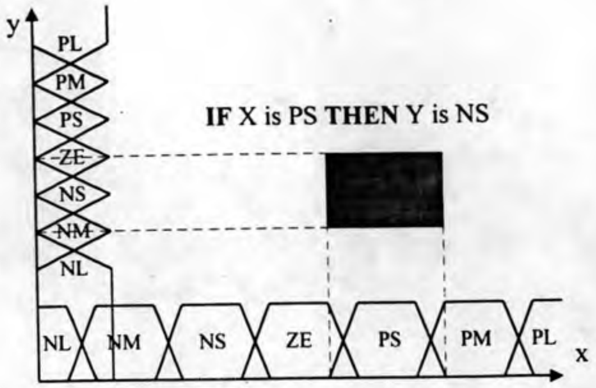
Wang(1992) ได้ใช้ Stone-Weirstrass theorem ในการพิสูจน์ว่าระบบฟัซซีมองได้ว่าเป็นการส่งจากเอกภพสัมพัทธ์(ไม่เป็นฟัซซี) $U \subseteq \mathbf{R}^n$ ไปยัง $\mathbf{R}$ สามารถใช้ประมาณฟังก์ชันต่อเนื่องค่าจริงใดๆบนคอมแพกต์เซต $U \subseteq \mathbf{R}^n$ ด้วยระดับความแม่นยำใดๆ หากระบบฟัซซีมีลักษณะดังนี้ มีอินพุตเดียวหรือหลายอินพุตแต่มีเอาต์พุตเดียว โดยที่ฐานกฎประกอบด้วยกฎในรูปแบบ

if x_1 *is* A_1 and $\cdots$ and x_{N_X} *is* A_{N_X} then y *is* B ฟัซซิฟิเคชันค่าอินพุตเป็นเซตโทนฟัซซี การดำเนินการที่ใช้เชื่อมระหว่างประพจน์ในส่วนเงื่อนไขเป็นการคูณ อนุมานด้วยการคูณ ดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีความสูง และต้องสอดคล้องตามเงื่อนไขอีกบางประการ Wang และ Mendel (1992) ใช้การกระจายอนุกรมของฟังก์ชันมูลฐานฟัซซีเพื่อแทนระบบฟัซซี และได้พิสูจน์ว่า ผลบวกเชิงเส้นของฟังก์ชันมูลฐานฟัซซี เป็นตัวประมาณสากลได้

Kosko(1992) ได้พิสูจน์การเป็นตัวประมาณฟังก์ชันสากลของระบบฟัซซีคล้ายกับ Wang และ Mendel(1992) แต่เป็นสำหรับระบบฟัซซีแบบบวกที่ใช้ฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีจุดศูนย์ถ่วง อนุมานด้วยการคูณ และใช้ฟังก์ชันการแจงเหตุสู่ผลเป็นการคูณ และได้ชี้ให้เห็นว่าระบบฟัซซีดังกล่าวสามารถประมาณฟังก์ชันได้โดยการปกคลุมกราฟของฟังก์ชันนั้นๆด้วยบริเวณย่อยฟัซซี (fuzzy patch) ในปริภูมิอินพุต-เอาต์พุต และเฉลี่ยระหว่างบริเวณย่อยฟัซซีในกรณีที่ซ้อนทับกัน การประมาณดังกล่าวนี้จะดีขึ้นหากบริเวณย่อยที่ใช้ในการปกคลุมกราฟมีจำนวนมากขึ้นและขนาดเล็กลง รูปที่ 3.7 แสดงการปกคลุมฟังก์ชันค่าจริง $f: X \rightarrow Y$ ด้วยบริเวณย่อยฟัซซีในปริภูมิอินพุต-เอาต์พุต $X \times Y$ โดยที่ในรูป(a)จำนวนของบริเวณย่อยฟัซซีมีน้อยแต่ขนาดบริเวณใหญ่ ในขณะที่รูป(b)บริเวณย่อยฟัซซีขนาดเล็กลงจำนวนมากขึ้นจะให้การประมาณฟังก์ชัน f ที่ดีกว่า การประมาณจะดีขึ้นถ้าเพิ่มบริเวณย่อยฟัซซีขนาดเล็กจำนวนมากๆ แต่ทว่าพื้นที่หน่วยความจำที่ต้องใช้ในการจัดเก็บและความซับซ้อนของระบบจะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ในการใช้งานจริงต้องมีการประนีประนอมกันระหว่าง ความแม่นยำของการประมาณ กับ ความซับซ้อนของระบบ เนื่องจากระบบฟัซซีเป็นชุดของกฎถ้า-แล้วซึ่งส่งอินพุตไปเอาต์พุต ดังนั้นแต่ละบริเวณย่อยฟัซซีที่กล่าวถึงนี้จะถูกกำหนดด้วยกฎฟัซซีแต่ละข้อ รูปที่ 3.8 แสดงกฎฟัซซี " **ถ้า** x **เป็น** *บวกขนาดเล็ก* **แล้ว** y **เป็น** *ลบขนาดเล็ก* " ซึ่งเป็นผลคูณคาร์ทีเซียน PS×NS ของฟัซซีเซต PS ของ x และ NS ของ y



รูปที่ 3.7 การปกคลุมกราฟของฟังก์ชันด้วยบริเวณย่อยฟัซซี



รูปที่ 3.8 กฎฟัซซีเป็นบริเวณย่อยฟัซซีในปริภูมิอินพุต-เอาต์พุต

Buckley ได้พิสูจน์ว่าตัวควบคุมฟัซซีแบบ Sugeno ที่มีการดัดแปลงเป็นตัวประมาณสากล (Buckley and Hayashi, 1993) และ ตัวควบคุมสากล(universal controller)(Buckley, 1993) ซึ่งการเป็นตัวควบคุมสากลในที่นี้หมายถึงว่า "กำหนดกระบวนการใดๆซึ่งสามารถถูกควบคุมได้ด้วยตัวควบคุมต่อเนื่องแล้ว ก็จะสามารถถูกควบคุมได้ด้วยตัวควบคุมแบบ Sugeno" ในรายงานดังกล่าวกำหนดการดัดแปลงคือ (1) ในส่วนผลของกฎเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลแทนที่จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นในตัวควบคุมแบบ Sugeno ปกติ (2) ดีฟัซซิฟิเคชันเป็น $y(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^{N_r} \lambda_k p_k(\mathbf{x})$ โดยที่ λ_k เป็นระดับความสอดคล้องของค่าอินพุตกับส่วนเงื่อนไขของกฎ $p_k(\mathbf{x})$ เป็นผลที่ได้จากการคำนวณฟังก์ชันในส่วนผลของกฎ N_r เป็นจำนวนกฎในฐานกฎ ในขณะที่ในตัวควบคุมฟัซซีแบบ Sugeno ดั้งเดิมเป็น $y(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^{N_r} \lambda_k p_k(\mathbf{x}) \Big/ \sum_{k=1}^{N_r} \lambda_k$

และเมื่อไม่นานมานี้ Castro (1995) ได้พิสูจน์ว่าสำหรับฟัซซีลอจิกที่กำหนดคงที่ไว้แบบหนึ่งๆในกลุ่มอย่างกว้างของฟัซซีลอจิก และสำหรับแต่ละประเภทของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกกำหนดที่กำหนดไว้คงที่ ในกลุ่มอย่างกว้างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ระบบฟัซซีที่อิงตามดังกล่าวสามารถประมาณฟังก์ชันต่อเนื่องค่าจริงใดๆในคอมแพกต์เซตด้วยความแม่นยำใดๆ

แม้จะมีการพิสูจน์ในเชิงทฤษฎีแล้วว่าระบบฟัซซีในรูปแบบเฉพาะหนึ่งๆ จะสามารถเป็นการประมาณฟังก์ชันแบบทั่วไปได้ แต่โดยทั่วไปแล้วมีระบบฟัซซีอื่นอีกที่ไม่อยู่ในรูปแบบที่พิสูจน์แล้ว แต่ก็ประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหาที่ต้องการได้

อย่างไรก็ตามทฤษฎีการประมาณสากลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นเพียงทฤษฎีที่บอกถึงการมีอยู่เท่านั้น โดยมิได้ให้ข้อแนะแนวทางแน่นอนที่จะกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆในระบบได้อย่างไร