

การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟบน MATLAB สำหรับควบคุม
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่มีปฏิกิริยาชนิดคายความร้อน

นาย ศรารุธ ภูไพจิตรกุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-451-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL ON THE MATLAB
FOR CONTROL OF A BATCH REACTOR WITH EXOTHERMIC REACTIONS

Mr. Sarawut Phupaichitkun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

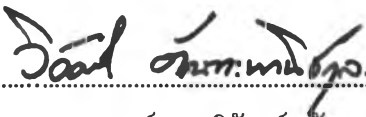
ISBN 974-332-451-2

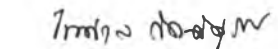
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้การควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟบน MATLAB สำหรับควบคุม
อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่มีปฏิริยาชนิดคายความร้อน
โดย นายศราวุธ ภูไพจิตรกุล
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

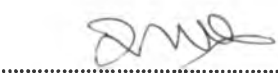

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติววงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร)

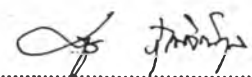

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

ศราวุธ ภูไพจิตรกุล : การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟบน MATLAB สำหรับควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบกะที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน (Application of Model Predictive Control on the MATLAB for Control of a Batch Reactor with Exothermic Reactions) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ดร. ไพศาล กิตติศุภกร; 73 หน้า, ISBN 974-332-451-2

ตัวควบคุมที่อาศัยแบบจำลองของกระบวนการในการทำออปติเซชันหรือเรียกว่าระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ มีพื้นฐานมาจากคำนวณการควบคุมที่ทำให้ฟังก์ชันเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุดภายใต้แบบจำลองเชิงพลวัตและขอบเขตของกระบวนการ ซึ่งทำให้กระบวนการภายใต้การควบคุมของระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟมีความเสถียร ในงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟสำหรับควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์แบบกะที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนทั้งในกรณีปกติ และในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของค่าคงที่ในแบบจำลอง อันได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่ามวลรวมในถังปฏิกรณ์ อัตราการเกิดปฏิกิริยา และค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยา ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมกับระบบควบคุมเจเนริกโมเดลที่เป็นอาศัยแบบจำลองช่วยในการควบคุมและต้องการทราบตัวแปรสเทททุกค่าเช่นเดียวกับระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ โดยมีตัวรอกาลมานประมาณค่าความร้อนที่เกิดในถังปฏิกรณ์ให้กับระบบควบคุมทั้งสอง ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าในการควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมได้ดีเทียบเท่ากับระบบควบคุมเจเนริกโมเดลภายใต้การปรับจูนที่ดี

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2541

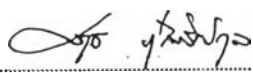
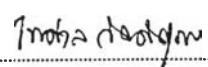
ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ไพศาล กิตติศุภกร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C817215 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: MODEL PREDICTIVE CONTROL / BATCH REACTOR / EXOTHERMIC REACTION

SARAWUT PHUPAICHITKUN : APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL ON THE MATLAB FOR CONTROL OF A BATCH REACTOR WITH EXOTHERMIC BATCH REACTIONS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. PAISAN KITTISUPAKORN, Ph.D. 73 pp. ISBN 974-332-451-2

A model-based controller with optimization framework known as Model Predictive Control (MPC), has been widely studied. The main idea of the MPC is that it computes a control trajectory minimizing a cost function of a plant subject to process dynamics and constraints. It has been proven that process under MPC is stabilized. In this work, Model Predictive Control (MPC) is applied to control the temperature of a batch reactor with exothermic reactions and its performance is compared with GMC to that of individually/simultaneously plant/model mismatches in heat transfer coefficient, total mass in the reactor, rate of reaction and heat of reaction. In addition, since both MPC and GMC are the model based controllers; they need the measurement of all states as well as the value of process parameters, in this work, the heat released of chemical reactions is needed but cannot be measured. In this situations, it is estimated by Kalman Filter and the estimates of heat released is incorporated into the MPC/GMC. Simualtion studies show MPC to be as good as GMC for all cases for which both controllers are well tuned.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงสำเร็จลุล่วงไม่ได้ ถ้าไม่ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ทั้งในด้านคำแนะนำ และกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ทางผู้วิจัยจึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ท่านศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล และอาจารย์ ดร. มนต์รี วงศ์ศรี กรรมการการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ยิ่งในงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้สอนวิชา Data Sampling Control ที่ทำให้ผู้เขียนเข้าใจหลักการควบคุมออปติมัล และตัวกรองคาลมาน

ขอขอบคุณสถาบัน Institute for Systems Research, University of Maryland ที่กรุณา ส่งบทความระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟมาให้ ซึ่งมีประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยกราบขอบคุณบิดา-มารดา และพี่ๆ สำหรับความรักที่อบอุ่น ความเข้าใจ และการสนับสนุนการศึกษามาโดยตลอด ขอขอบคุณสมาชิกห้องวิจัยระบบควบคุมทุกท่านที่ช่วยเหลือทำynnั้ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ และน้องทุกคนสำหรับกำลังใจและความห่วงใยที่มอบให้กันเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ณ
สารบัญตาราง	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฏ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 มุลเหตุจูงใจ	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	1
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.5 เนื้อหาวิทยานิพนธ์	5
2. ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ	6
2.1 โครงสร้างของกระบวนการที่ใช้ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ	8
2.2 ส่วนประกอบของระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ	10
2.2.1 สมการตัวแปรสเตทของกระบวนการ	10
2.2.2 ฟังก์ชันเป้าหมาย	14
2.2.3 ขอบเขตของตัวแปรปรับและขอบเขตของตัวแปรสเตท	16
2.3 อัลกอริธึมของระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ	18
2.4 ระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟสำหรับดั่งปฏิกรณ์เคมีแบบกะที่มี ปฏิริยาคายความร้อน	18
3. การจำลองดั่งปฏิกรณ์เคมีแบบกะที่มีปฏิริยาคายความร้อน	20
3.1 สมการจำลองปฏิริยาเคมีภายในดั่งปฏิริยา	21
3.2 สมการจำลองการถ่ายเทความร้อนในดั่งปฏิริยา	22
3.3 สมการจำลองการถ่ายเทความร้อนภายในดั่งแจ็คเก็ต	24
4. การประมาณค่าความร้อนในดั่งปฏิกรณ์เคมีโดยใช้อัลกอริธึมของคาลมาน	26
4.1 การประมาณค่าโดยใช้อัลกอริธึมคาลมาน	26
4.2.1 การประมาณค่า	27
4.2.2 อัลกอริธึมคาลมาน	29

สารบัญ(ต่อ)

บทที่

4.2 การประมาณค่าความร้อนในถังปฏิกรณ์เคมีโดยใช้อัลกอริธึม กาลมาน	30
5. การจำลองการควบคุมอุณหภูมิภายใต้ปฏิกรณ์เคมีแบบกะที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน ด้วยระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ	33
5.1 การจำลองถังปฏิกรณ์เคมีแบบกะที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน.....	33
5.1.1 การจำลองในระบบวงเปิด	33
5.1.2 การจำลองในระบบวงปิด	34
5.2 การจำลองการประมาณค่าความร้อนภายในถังปฏิกรณ์เคมีแบบกะที่มี ปฏิกิริยาคายความร้อน	36
5.2.1 การประมาณค่าในระบบวงเปิด	33
5.2.2 การประมาณค่าในระบบวงปิดโดยใช้ระบบควบคุมเจเนริกโมเดล	37
5.3 การทดสอบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับการประมาณค่ากาลมาน	38
5.4 การทดสอบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟในกรณีที่มีความผิดพลาด ของแบบจำลอง	40
5.4.1 การทดสอบผลจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผิดพลาด	40
5.4.2 การทดสอบผลจากค่ามวลรวมภายในถังปฏิกรณ์ผิดพลาด	42
5.4.3 การทดสอบผลจากค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาผิดพลาด	43
5.4.4 การทดสอบผลจากค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาผิดพลาด	45
6. บทสรุป	48
6.1 บทสรุป	50
6.2 ข้อเสนอแนะ	52
รายการอ้างอิง	53
ภาคผนวก	56
ภาคผนวก ก การแก้สมการควอดเรติกสำหรับระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ	57
ภาคผนวก ข หลักการประมาณค่าของตัวกรองกาลมาน	61
ภาคผนวก ค ระบบควบคุมเจเนริกโมเดล	65
ภาคผนวก ง ระบบประมาณค่าเอ็กซ์โปเนนเชียล	66
ภาคผนวก จ การเขียนโปรแกรมบน MATLAB	67
ประวัติผู้วิจัย	73

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ	9
รูปที่ 2.2	การหาค่าตัวแปรปรับที่เหมาะสมจำนวน M ค่าภายในการคำนวณ P	9
รูปที่ 2.3	แผนภาพของการควบคุมโดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นแบบจำลอง	12
รูปที่ 2.4	แผนภาพของการควบคุมโดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นแบบจำลองพร้อมด้วย ตัวสังเกต	12
รูปที่ 3.1	เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบกะ	20
รูปที่ 5.1ก.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในถัง อุณหภูมิน้ำในถังแจ๊คเก็ต และอุณหภูมิในแจ๊คเก็ตที่ตั้งไว้ (C) กับเวลา(นาที)	34
รูปที่ 5.1ข.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีภายใน ถังปฏิกิริยา(kJ) กับเวลา(นาที)	34
รูปที่ 5.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลของสารในถังปฏิกรณ์ (kmole) กับเวลา(นาที) ในระบบวงปิด	35
รูปที่ 5.3ก.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลของสาร C (kmole) กับเวลา(นาที) ที่ ค่าจูนต่าง ๆ	35
รูปที่ 5.3ข.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ (C) กับเวลา(นาที) ..	35
รูปที่ 5.4	กราฟเปรียบเทียบการประมาณค่าแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลกับ ตัวกรองคาลมาน	36
รูปที่ 5.5	กราฟเปรียบเทียบตัวประมาณค่าในระบบวงปิดที่มีระบบควบคุม เจนเนริกโมเดล	37
รูปที่ 5.6	กราฟเปรียบเทียบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ (MPC) และระบบ ควบคุมเจนเนริกโมเดล (GMC)	39
รูปที่ 5.7	กราฟเปรียบเทียบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ (MPC) และระบบ ควบคุมเจนเนริกโมเดล (GMC) เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท ความร้อนลดลง 25 %	41
รูปที่ 5.8	กราฟแสดงการประมาณค่าความร้อนในกระบวนการที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนลดลง 25% ควบคุมด้วยระบบควบคุม โมเดลพรีดิกทีฟ	41
รูปที่ 5.9	กราฟเปรียบเทียบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ (MPC) และระบบควบคุม เจนเนริกโมเดล (GMC) เมื่อค่ามวลรวมเพิ่มขึ้น 20%	43
รูปที่ 5.10	กราฟแสดงการประมาณค่าความร้อนในกระบวนการที่มีค่ามวลรวม เพิ่มขึ้น 20% ควบคุมด้วยระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ	43

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.11	กราฟเปรียบเทียบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ (MPC) และระบบควบคุม เจนเนริกโมเดล (GMC) เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 20 % 45
รูปที่ 5.12	กราฟแสดงการประมาณค่าความร้อนในกระบวนการที่อัตราการเกิด ปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 20% ควบคุมด้วยระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ 46
รูปที่ 5.13	กราฟเปรียบเทียบระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ (MPC) และระบบ ควบคุมเจนเนริกโมเดล (GMC) เมื่อค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยา เพิ่มขึ้น 40 % 46
รูปที่ 5.14	กราฟแสดงการประมาณค่าความร้อนในกระบวนการที่ค่าความร้อนของ การเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 40% ควบคุมด้วยระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ 47

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	งานวิจัยที่ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ	7
ตารางที่ 4.1	ความแปรปรวนร่วมของการประมาณค่า	29
ตารางที่ 4.2	ตารางแสดงเงื่อนไขของตัวแปรในถึงปฏิกิริยาแบบกะ	30
ตารางที่ 5.1	แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการประมาณค่าความร้อนโดยใช้ตัวกรองคาลมาน	35
ตารางที่ 5.2	ตารางแสดงค่าคงที่ที่ใช้ในการจูนระบบควบคุมและระบบประมาณค่า	37
ตารางที่ 5.3	ตารางแสดงค่าดัชนีสมรรถนะของการควบคุมในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนผิดพลาด	40
ตารางที่ 5.4	ตารางแสดงค่าดัชนีสมรรถนะของการควบคุมในกรณีที่ค่ามวลรวม ผิดพลาด	42
ตารางที่ 5.5	ตารางแสดงค่าดัชนีสมรรถนะของการควบคุมในกรณีที่ค่าอัตราการเกิด ปฏิกิริยาผิดพลาด	44
ตารางที่ 5.6	ตารางแสดงค่าดัชนีสมรรถนะของการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของ การเกิดปฏิกิริยาผิดพลาด	46
ตารางที่ 6.1	ตารางเปรียบเทียบอัลกอริธึมของระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟกับระบบ ควบคุมเจเนริกโมเดล	51

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ความหมายของตัวแปร

ρ	ความหนาแน่นของสาร (kg/m^3)
τ	ค่าเวลาคงที่ (Time Constant - min)
σ	ค่าความแปรปรวนในสมการสัญญาณรบกวน
ε	ค่าผิดพลาดที่อนุญาตให้มีการควบคุม
λ	ค่า Lagrange Multiplier
ΔH_i	ความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยา ($\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot ^\circ\text{C})$)
A	พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (m^2)
C_{pi}	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสาร i
F	อัตราการไหลของน้ำผ่านผนังถึงปฏิกิริยา (kg/s)
j	ฟังก์ชันเป้าหมาย
J	ดัชนีสมรรถนะของการอพติไมซ์
K	ค่าเกนของตัวกรองคาลมาน, ค่าเกนของระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ
k^1	ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา
k^2	พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา
Kn	ค่าจูนของระบบควบคุมเจเนริกโมเดล
M	จำนวนโมลของสาร
Mc	จำนวนครั้งล่องหน้าที่ทำกรควบคุมในระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ
MW	น้ำหนักโมเลกุล (kg/kmol)
N	ตัวแปรสถานะที่กำหนดในแบบจำลองของตัวกรองคาลมาน
Pc	จำนวนครั้งล่องหน้าที่ทำกรคำนวณในระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ
Q	ความร้อน (kJ/min)
Qcmn	ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสเตต m กับตัวแปรสเตต n ในระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ
Qmn	ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสเตต m กับตัวแปรสเตต n ในระบบประมาณค่า
R	อัตราการเกิดปฏิกิริยา

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

ความหมายของตัวแปร

R_{cmn}	ค่าความแปรปรวนของตัวแปรวัด m กับตัวแปรสเตท n ในระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ
R_{mn}	ค่าความแปรปรวนของตัวแปรวัด m กับตัวแปรสเตท n ในระบบประมาณค่า
T	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
t	เวลา (min)
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($\text{kW}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$)
V	ปริมาตร (m^3)
W	น้ำหนักของสาร (kg)
Y	สัญญาณขาออก

ความหมายของเวคเตอร์และเมตริกซ์

Ψ	เวคเตอร์แปลงระบบต่อเนื่องเป็นระบบดิสครีต
A	เวคเตอร์สัมประสิทธิ์ของเวคเตอร์สเตท
B	เวคเตอร์สัมประสิทธิ์ของเวคเตอร์สัญญาณขาเข้า
C	เวคเตอร์สัมประสิทธิ์ของเวคเตอร์สเตทสำหรับหาสัญญาณขาออก
D_{nn}	เมตริกซ์ดีเทอร์มิแนนต์ของเมตริกซ์ที่มีแถวและหลักเท่ากับ n
G	เวคเตอร์สัมประสิทธิ์ของเวคเตอร์สเตทแบบดิสครีต
H	เวคเตอร์สัมประสิทธิ์ของเวคเตอร์สัญญาณขาเข้าแบบดิสครีต
P	เมตริกซ์น้ำหนักของตัวแปรสเตท
Q	เมตริกซ์ความแปรปรวนของตัวแปรสเตท
R	เมตริกซ์ความแปรปรวนของตัวแปรวัด
x	เวคเตอร์สเตทของกระบวนการ
\hat{x}	เวคเตอร์สเตทของการประมาณ
\tilde{x}	เวคเตอร์ผลต่างของตัวแปรสเตทในกระบวนการกับการประมาณ
Y	เวคเตอร์เอาต์พุต

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

ความหมายของอักษรห้อย

0	ค่าเริ่มต้น
A	สาร A
B	สาร B
C	สาร C
D	สาร D
e	ค่าที่ได้จากการประมาณของตัวกรองคาลมาน
f	ค่าของตัวกรอง
j	บริเวณผนังดังปฏิกิริยา
k	ที่เวลา $k\Delta t$
m	ค่าที่วัดได้
max	ค่ามากที่สุด
min	ค่าน้อยที่สุด
r	ค่าภายในดังปฏิกิริยา
sp	ค่าที่กำหนดไว้