วิธีการจำแนกระดับของระบบผลิตเชิงปัญญา

นายประมวล สุธีจารุวัฒน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-237-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I15C16496

A CLASSIFICATION METHODOLOGY OF INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS

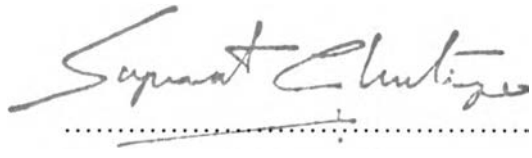
Mr. Pramual Suteecharuwat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997
ISBN 974-638-237-3

401127

Thesis Title	A Classification Methodology of Intelligent Manufacturing Systems
By	Pramual Suteecharuwat
Department	Department of Industrial Engineering
Thesis Adviser	Dr.Parames Chutima

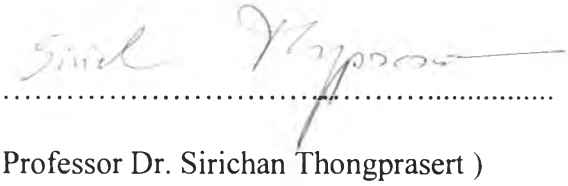
Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree



..... Dean of Graduate School

(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

THESIS COMMITTEE

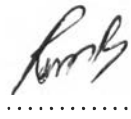


..... Chairman

(Professor Dr. Sirichan Thongprasert)

..... Thesis Adviser

(Dr.Parames Chutima)



..... Member

(Assistant Professor Dr. Rien Boondiskulchok)

..... Member

(Assistant Professor Suthas Ratanakeukangwan)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ประมวล สุธีจารุวัฒน : วิธีการจำแนกระดับของระบบผลิตเชิงปัญญา (A CLASSIFICATION METHODOLOGY OF INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.ปารเมศ ชุติมา ; 138 หน้า. ISBN 974-638-237-3

ในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา การผนวกความรู้และเทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์เข้ากับงานด้านวิศวกรรมการผลิตได้ก่อให้เกิดระบบผลิตแบบใหม่ขึ้น คือระบบผลิตเชิงปัญญา มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างรากฐานของระบบการผลิตดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างมากมาย อาทิ ระบบควบคุมกระบวนการผลิตเชิงปัญญา ระบบติดตามสภาวะการทำงานของเครื่องมือตัดโลหะ ระบบตรวจจับสภาวะการทำงานของเครื่องมือกลโดยอาศัยตัวตรวจรู้แรงแบบหลายแกน (Multi-axis Force Sensing), ระบบป้องกันความล้มเหลว ระบบควบคุมเครื่องมือกลระยะไกล เป็นต้น อย่างไรก็ดีแม้ว่าจะมีการทำงานวิจัยในด้านระบบผลิตเชิงปัญญาอย่างกว้างขวาง แต่ก็มิได้มีการกำหนดนิยามของระบบผลิตเชิงปัญญาอย่างชัดเจน คงมีเพียงความหมายอันเป็นที่เข้าใจกันแต่เพียงทั่วไปว่า ระบบผลิตเชิงปัญญาคือ ระบบผลิตแบบอัตโนมัติ หรือกึ่งอัตโนมัติที่มีความสามารถในการเสาะหาสารสนเทศที่เกิดขึ้นภายในระบบโดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor) มีกลไกที่สามารถสร้างการตัดสินใจได้เองเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการทำงานที่เหมาะสมที่สุด และสามารถควบคุมการทำงานของระบบโดยรวมให้ได้ผลตรงตามเป้าหมายที่ได้ออกแบบไว้ ทั้งนี้รวมไปถึงหน้าที่การทำงานที่เป็นส่วนประกอบอื่นๆ ด้วย ถึงแม้ว่าจะมีการพัฒนาและวิจัยด้านระบบผลิตเชิงปัญญาอย่างมากมาย ทว่าโดยส่วนใหญ่แล้วระบบดังกล่าวมักจะมีการใช้อยู่เพียงภายในศูนย์วิจัยและพัฒนาเท่านั้น เนื่องจะสภาวะแวดล้อมของระบบผลิตที่จำเป็นต้องถูกควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างศูนย์วิจัยและพื้นที่ในโรงงานอุตสาหกรรม

แนวความคิดด้านระบบผลิตเชิงปัญญาในประเทศไทยนั้นค่อนข้างใหม่ จึงมีอุตสาหกรรมที่นำระบบดังกล่าวไปใช้น้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลย เป็นการยากที่จะพยากรณ์แนวโน้มการพัฒนาระบบผลิตเชิงปัญญาในประเทศไทยได้อย่างถูกต้อง คงมีเพียงการคาดการณ์อย่างคร่าวๆ ว่าในไม่ช้าเทคโนโลยีด้านระบบผลิตเชิงปัญญาคงจะเข้ามามีบทบาทกับกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยอันเนื่องมาจากการพัฒนาของเทคโนโลยีและสภาวะการแข่งขันที่มีมากขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงเริ่มต้นของการประยุกต์ และนำเอาระบบผลิตเชิงปัญญาไปใช้ โดยเฉพาะในประเทศไทย จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรจะได้ทำการศึกษาและเผยแพร่แนวทางการพัฒนาระบบผลิตเชิงปัญญาที่เหมาะสมต่อธุรกิจอุตสาหกรรมได้

งานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอวิธีการจำแนกระดับของระบบผลิตเชิงปัญญาซึ่งจะเป็นเครื่องมือสำหรับการจัดระดับความสามารถของระบบผลิตตั้งแต่ระดับล่างสุดอันได้แก่ ระบบเครื่องมือ กลุ่มสถานีงาน สายการผลิต พื้นที่ โรงงาน ตลอดจนระดับบนสุดคือ ระบบการผลิตทั้งระบบ วิธีการจำแนกระดับที่นำเสนอนี้จะสามารถให้คำตอบและมุมมองกว้างๆ ของทิศทางและแนวทางการพัฒนาระบบผลิตเชิงปัญญาขององค์กรอันจะนำมาซึ่งแนวทางการบริหารทรัพยากรขององค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C816556 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEY WORD: INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS / CLASSIFICATION
PRAMUAL SUTEECHARUWAT : A CLASSIFICATION METHODOLOGY OF INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS. THESIS ADVISOR : PARAMES CHUTIMA, Ph.D. 138 pp. ISBN 974-638-237-3

In this recent years, the advent and introduction of Artificial Intelligence in the area of manufacturing engineering has given a new perspective of Intelligent Manufacturing System (IMS). Many research activities in this area have been conducting on various directions to form a fundamental concept of IMS, e.g., the intelligent process controlling systems, machine tools condition monitoring system, real-time machining state detection using multi-axis force sensing, fail-safe system, tele-machining, and so on. Nevertheless, a consensus definition of IMS is not existent. Generally, IMS is known as the autonomous or near-autonomous system that can acquire all relevant information through sensing, render decisions for its optimum operation, and implement control functions to achieve the objectives of its manufacturing tasks, including the overhead functions. Though there are many research activities on IMS, most of the them are still implemented only in the laboratory since there are many different conditions between laboratory and real industrial environments.

IMS technology in Thailand is very new. Few or may be none of industries are paying attention to it. It is very difficult to correctly forecast the future development of IMS in Thailand. There is only an expectation that IMS will show its role in the near future because of the rapid changed of technology and business competition. At the beginning phase of implementation of intelligent systems to industries, especially for Thailand's, it is very important to introduce a proper direction and philosophy of IMS to them.

This research proposes a classification methodology for evaluating the levels of intelligence of the machines, cells, lines, areas, factories, and the entire manufacturing system. The purposed methodology is devised to provide a clear boundary for the Intelligent Manufacturing Systems and also can broadly answer how and which direction a company should do to introduce the intelligent manufacturing to their organization.

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

Acknowledgements

The author is really gratifying to thank TJTTP-OECF and all of her staff for supporting all of the expenses and convenience during the period of studying in Japan, April 9th to August 31st, 1997. The most glorious thank is given to Professor Dr.Takaaki Nagao and Associate Professor Dr.Mamoru Mitsuishi of the department of Engineering Synthesis, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, for a kindly and ecstatically co-operation.

Most important, however, has been the supervision and assistance of Professor Dr.Sirichan Thongprasert, the head of The Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University and Dr.Parames Chutima, the author's supervisor.

Lastly, the author would like to express special thanks to those close to him, who understood tasks as diverse as morale boosting, health care and proof reading during the development of this thesis.

Table of Contents

Abstract (Thai) ..... d

Abstract (English) ..... e

Acknowledgements ..... f

Table of Contents ..... g

Lists of Tables ..... j

Lists of Figures l

Chapter

1. Introduction

1.1 Introduction 1

1.2 Statement of the problem 1

1.3 Objective 2

1.4 Scope of the research 2

1.5 Steps of work 3

2. Introduction to Conventional and Intelligent Manufacturing Systems

2.1 Introduction 4

2.2 Evolution of Manufacturing Systems 5

2.3 Toward the Second Millennium 5

2.4 The Era of IMS 8

2.5 Definition of IMS 9

2.6 IMS Technical Framework 10

2.7 Fundamental Concept of IMS 12

2.8 Intelligence and Intelligence of Intelligent Machine 13

2.8.1 Intelligence, AI, and Expert Systems 13

2.8.2 Classification of Expert Systems 16

2.8.3 Intelligence of Intelligent Machine 19

2.9 Sensors 20

2.10 Actuators 22

2.11 Conclusions 22

3. Introduction to Axiomatic Design Theory

3.1 Introduction 24

3.2 Design and Design Processes 25

3.3 Zigzagging 27

3.4 Hierarchy of FRs and DPs 28

3.5 Design Axioms 30

3.6 Mathematical Representation 31

3.7 Quantitative Measure for Functional Independence 34

3.8 The Information Axiom 38

3.9 Additional Theorems and Corollaries 39

3.9.1 Theorems 40

3.9.2 Corollaries 42

3.10 Conclusions 43

4. The University of Tokyo IMS

4.1 Introduction 45

4.2 The University of Tokyo IMS 45

4.3 Principles of Designing the Intelligent Machine 54

4.4 Design of an Intelligent Machining Center 58

4.5 Conclusions 71

5. The Classification Methodology of IMS

5.1 Introduction 72

5.2 Statement of the problem 74

5.3 Classification of CIM 75

5.4 Intelligent Density 76

5.5 Characteristics of the Classification Methodology 81

5.6 A Classification Methodology of IMS 82

5.6.1 Conventional and Intelligent Machine 82

5.6.2 Evaluation Factors 82

5.6.3 Convention of Factors Weighting 84

5.6.4 Intelligence Score 85

5.6.5 Assumptions of the Model 98

5.6.6 Classification of Machines/Equipment 99

5.6.7 Classification of Cells, Lines, Areas, and Factories 105

5.6.8 Classification of Intelligent Manufacturing Systems 120

5.7 Conclusions 123

6. Conclusions and Recommendations for Further Research 125

References 131

Biography 138

Lists of Tables

Table 2.1	Key words of New Manufacturing Era	7
Table 2.2	Sensors required for Intelligent Manufacturing Systems	21
Table 2.3	Actuators required for Intelligent Manufacturing Systems	22
Table 3.1	Four Domains of the Design World of Various Fields	25
Table 5.1	Classification of Intelligence Score	85
Table 5.2	Grading System	88
Table 5.3	Machine/Equipment Evaluation Check Sheet	99
Table 5.3	Machine/Equipment Evaluation Check Sheet (Cont.)	100
Table 5.4	Classification of Machines/Equipment	101
Table 5.5	Example of Machine/Equipment Evaluation Check Sheet	102
Table 5.5	Example of Machine/Equipment Evaluation Check Sheet (Cont.)	103
Table 5.6	Classification of Machines/Equipment	104
Table 5.7	Imperfection Score of Cell A	106
Table 5.8	Intelligence Class of Cell A	107
Table 5.9	System Integrity of Cell Evaluation Check Sheet	111
Table 5.10	System Integrity of Cell A	112
Table 5.11	System Integrity of Line A	114
Table 5.12	Percent of Imperfection of Line A	114
Table 5.13	Intelligence Class of Line A	115
Table 5.14	System Integrity of Area A	116
Table 5.15	Imperfection Score of Area A	116
Table 5.16	Intelligence Class of Area A	117
Table 5.17	System Integrity of Factory A	118

Table 5.18 Imperfection Score of Factory A 118

Table 5.19 Intelligence Class of a Factory 119

Table 5.20 System Integrity of a Manufacturing System 120

Table 5.21 Imperfection Score of a Manufacturing System 121

Table 5.22 Intelligence Class of a Manufacturing System 122

Lists of Figures

Figure 2.1	A computer integrated manufacturing environment	6
Figure 2.2	Fundamental Structure of Intelligent Manufacturing Systems .	13
Figure 2.3	Overall Perspective of AI	15
Figure 2.4	Block Diagram of an Expert System	16
Figure 2.5	Generic Operation for analyzing a system	18
Figure 2.6	Generic Operation for synthesizing a system	18
Figure 2.7	Physical phenomena in machining	20
Figure 3.1	Domains of Design World	25
Figure 3.2	The Design Process according to Wilson	26
Figure 3.3	Design Hierarchy and Zigzagging	27
Figure 3.4	Lathe Functional and Physical Hierarchy	29
Figure 3.5	Graphical representation of Equation 3.13	35
Figure 4.1	The University of Tokyo Intelligent Manufacturing System ...	46
Figure 4.2	An Intelligent Machining Center	47
Figure 4.3	An Intelligent Lathe	48
Figure 4.4	Connection between upper level computer and real-time controller with Intelligent Lathe	49
Figure 4.5	The Spindle Head of Intelligent Lathe	50
Figure 4.6	An NC Precision Face Grinding Machine	51
Figure 4.7	An NC Precision Face Grinding Machine while working	51
Figure 4.8	An Electrical Discharge Machine (EDM)	52
Figure 4.9	A Wire-Cutting EDM	52
Figure 4.10	A 3D Coordinate Measuring Machine (CMM)	53

Figure 4.11	A CMM equipped with Deformation Sensor	53
Figure 4.12	A CMM equipped with Deformation Sensor	54
Figure 4.13	Conceptual Designing Process of an Intelligent Machining Center	59
Figure 4.14	Structure of an Intelligent Machining Center	60
Figure 4.15	An Intelligent Machining Center	61
Figure 4.16	Spindle with a deformation sensor and six-axes force sensing table	61
Figure 4.17	Machining center with a strain amplifier and a real-time controller	62
Figure 4.18	A strain amplifier	62
Figure 4.19 (a)	A real-time controller	63
Figure 4.19 (b)	A real-time controller	63
Figure 4.20 (a)	Structure of the Deformation Sensor	64
Figure 4.20 (b)	Structure of the Deformation Sensor	65
Figure 4.21	Location of Thermal Actuators and Deformation Sensors	66
Figure 4.22	Fundamental Concept of Thermal Distortion Control	67
Figure 4.23	Structure of the Thermal Actuator	68
Figure 4.24	Fundamental Deformation Mode of Thermal Actuator	68
Figure 4.25	Unexpected Faults in Machine Tool	69
Figure 4.26	Structure of the Fail-Safe Table	70
Figure 5.1	CIM's six rank level and networking	75
Figure 5.2	Classification of CIMs implemented into rank level	76
Figure 5.3	Stretch Plot : A comprehensive View of Intelligence Density ..	77
Figure 5.4	An ID Profile for a Specific Problem	80

Figure 5.5 Development of Intelligent Machine Tool from Moriwaki 83

Figure 5.6 An Example Structure of a Manufacturing System 105

Figure 5.7 Cell Controller, Vertical and Horizontal Integration 110