

高等学校信息与通信工程“十一五”规划教材

计算智能基础

译著/罗中明 刘卓夫 李永波

HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

计算智能基础

罗中明 刘卓夫 李永波 译著

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

计算智能就是借鉴仿生学思想,基于生物体系的进化、免疫、神经细胞网络、模糊抽象等机制,采用数学语言抽象描述的计算方法。主要包括:人工智能、模糊计算、遗传算法、人工神经网络等。

本书是在原作者多年教学与研究的基础上,系统总结凝练而成的,理论阐述由浅入深,应用实例详细具体。本书不仅可以作为高年级本科生和研究生的教学用书,还可以供科技人员作为学习计算智能的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算智能基础/罗中明,刘卓夫,李永波译著. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2010.3
ISBN 978-7-81133-670-2

I. ①计… II. ①罗…②刘…③李… III. ①人工智
能-神经网络-计算 IV. ①TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 025723 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省教育厅印刷厂
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 12.5
字 数 300 千字
版 次 2010 年 7 月第 1 版
印 次 2010 年 7 月第 1 次印刷
定 价 25.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

原版前言

这本书源于东京工业大学综合理工学院计算智能与系统科学系的研究生课程讲义。在 CI&SS(计算智能和系统科学系)有许多学生是来自海外并且(或者)不具有工程背景知识,这是一本针对这些学生开设的介绍性课程用的双语(英语和中文)写成的教材。我们作者希望本书在计算智能领域里能对世界范围内的初学者提供很好的帮助。

计算智能包含许多领域,比如 AI(人工智能)、模糊、神经网络、GA(遗传算法)/EC(进化计算)、混沌和分形。这些领域中基础的三门,也就是 FAN(Fuzzy, AI, and Neuro)是这个学科的主要课题。日语 Keisan Tinou 一词是由本书的作者之一的 Hirota 提出的,它与英语中的“计算智能”相对应。从 20 世纪 90 年代初开始,在 IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, U. S. A.)中,研究人员已经广泛地使用了“计算智能”这个术语。当然也存在几个相似的术语,比如“软式计算”(是在 1990 年由“模糊”概念的创造者柏克莱大学的 L. A. Zadeh 教授在建立 BISC(the Berkeley Initiative in Soft Computing)时提出的)和“FAN”(是由 FAN Symposium 的创建者名古屋大学的 Toshio Fukuda 教授在 1990 年提出的)。

这篇讲义由五章组成。讲义的第 1 章(CI 介绍),第 2 章(Fuzzy),第 3 章(AI)是由 Kaoru Hirota 完成的,第 4 章(神经网络)是由 Andrzej Bargiela 完成的,第 5 章(CI 在 ITS 中的应用)是由 Hiroshi Takahashi 编写的。本书的出版是由 21 世纪重点科研基地工程(21st Century Center of Excellence)的 ABSSS 项目(Agent Based Social Systems Sciences)支持的,原稿是由 COE RA 的助理研究员 Muhammad Rahmat Widianto(英文部分),COE RA 的助理研究员 Manabu Serata(日文部分)和 COE 助理 Yoichi Yamazaki 完成的。

最后特别感谢 COE21 ABSSS, Aoyama Gakuin 大学的 Toshihiro Kaino 教授(负责模糊理论和智能信息学在日本的出版)和评阅人。

编 者

2009 年 7 月

译者前言

计算智能就是借鉴仿生学思想,基于生物体系的进化、免疫、神经细胞网络、模糊抽象等机制,采用数学语言抽象描述的计算方法。它的最大特点就是不需要建立问题本身的精确模型,非常适合于解决那些由于难以建模,用传统理论和技术又难以有效解决、甚至无法解决的问题。经过近几十年的发展,计算智能已成为一种新兴的智能处理技术,并受到各学科领域越来越多研究者的关注。

计算智能研究的主要内容包括:人工智能、模糊计算、遗传算法、人工神经网络等。这些方法具有以下共同的特点:自学习性、自组织性、自适应性、鲁棒性和简单、通用、适于并行处理的优点。另外,计算智能的很多算法都是基于“从大自然中获取智慧”的理念,通过人们对自然界独特规律的认知,提取出适合获取知识的一套计算工具,通过自适应学习,达到全局优化的目的。由于计算智能技术具有如此多的优点,因此,在解决复杂问题时必将得到更广泛的应用。

本书的原作者是日本东京工业大学广田薰教授。广田薰教授曾先后受聘于相模工业大学、辅正大学、明治大学等多所知名大学,还是许多国际知名大学的兼职教授。现在身兼国际模糊系统学会理事长、日本机器人学会杂志评审、以及日本模糊理论与系统学会运营委员会主席等职务。

本书是在原作者多年教学与研究的基础上,系统总结凝练而成的,理论阐述由浅入深,应用实例详细具体,本书不仅可以作为高年级本科生和研究生的教学用书,还可以供科技人员作为学习计算智能的参考书。

原著采用英日对照,对日本学生和工程技术人员快速了解并掌握该领域的相关内容、跟踪该理论的发展前沿起到了积极的作用。因此,翻译成中英对照,也必将对以汉语为母语的学生和科研人员了解计算智能、掌握相关理论的英语的习惯表达方式,以及进一步深入研究和进行国际交流奠定基础,进而为该理论在我国的推广与应用起到积极的促进和推动作用。

本书由教育厅青年学术骨干支持计划项目(编号 1152G062)和黑龙江省教育厅项目(编号 11551103)资助。

哈尔滨理工大学的罗中明教授主持了本书的翻译工作,并翻译了第 1,2,5 章,第 3 章由李永波翻译,第 4 章由刘卓夫翻译。最后再次感谢在本书翻译和出版过程中给予帮助的同志和领导。

由于译者水平有限,不足之处,恳请读者指正。

目 录

第 1 章 计算智能 (CI)	2
Introduction to Computational Intelligence (CI)	
第 2 章 模糊理论	6
Fuzzy	
2.1 模糊逻辑	6
Fuzzy Logic	
2.2 模糊集	20
Fuzzy Sets	
2.3 模糊推理和模糊控制	30
Fuzzy Inference & Fuzzy Control	
2.4 模糊关系 (F. R.)	36
Fuzzy Relation (F. R.)	
第 3 章 人工智能	40
GOFAI (Good Old Fashioned AI)	
3.1 “货郎担”问题 (TSP)	40
TSP (Traveling Salesman Problem)	
3.2 启发式搜索	46
Heuristics	
3.3 汉诺塔	50
Tower of Hanoi	
3.4 GOFAI 的知识表示	54
Knowledge Representation in GOFAI	
3.5 产生式系统与搜索	56
Production System and Search	
3.6 谓词逻辑	68
Predicate Logic	
3.7 归结原理	76
Resolution Principle	
第 4 章 神经网络	82
NEURAL NETWORKS	
4.1 推动因素	82
Motivation	
4.2 存储器	82
Memories	

4.3	生物大脑	84
	Biological Brain	
4.4	人工神经元模型	88
	Artificial Neuron Models	
4.5	线性回归	90
	Linear Regression	
4.6	线性神经网络	96
	Linear Neural Networks	
4.7	多层网络	102
	Multi-Layer Networks	
4.8	误差反向传播	106
	Error Backpropagation	
4.9	过拟合	110
	Overfitting	
4.10	生长和修剪网络	116
	Growing and Pruning Networks	
4.11	预处理网络	120
	Preconditioning the Network	
4.12	动量和自适应学习率	128
	Momentum and Learning Rate Adaptation	
4.13	分类	134
	Classification	
4.14	非监督学习	138
	Non-Supervised Learning	
4.15	递归网络	142
	Recurrent Networks	
4.16	实时递归学习	146
	Real Time Recurrent Learning	
4.17	RNNs 动态特性	152
	Dynamics of RNNs	
4.18	长短时记忆	154
	Long Short-Term Memory	
第5章	智能机器的实际应用	160
	Actual Scene of Intelligent Machines	
5.1	当代智能汽车的发展现状	160
	Introduction of the Current Development of Intelligent Vehicle	
5.2	开发智能汽车面临的问题	164
	Problems in Developing Intelligent Vehicle	
5.3	传感器融合	166
	Sensor fusion	

5.4	时间等级推理	168
	Temporal-Hierarchical Inference	
5.5	驾驶者和智能汽车的共存技术	170
	Technologies for Co-Existence between Driver and Intelligent Vehicle	
5.6	驾驶者模型建议	172
	Driver Modeling Proposal	
5.7	智能汽车的未来(实验系统的案例研究)	172
	Future of Intelligent Vehicle (Case Studies of Experimental Systems)	
5.8	总结	180
	Conclusion	
参考文献		182
中文对照检索词		184

第 1 章 计算智能 (CI)

当前的计算智能起源于人工智能和生物智能。人工智能的起源大约可以追溯到 50 年以前,而计算智能这个术语则仅仅出现于 10 年以前。计算智能由几个基本部分,即人工智能、模糊集和模糊逻辑、神经网络(有时候写作 FAN)和遗传算法(GA)/进化计算(EC)、混沌、分形(Fractal),还有最近出现的粒计算等部分组成。

计算智能简短的发展史概述如下。

1945 年,ENIAC 计算机在美国的宾夕法尼亚大学问世,它是用硬线作为编程方法,同年,Von Neumann(出生于匈牙利)提出了存储程序方法。1949 年,存储程序计算机 EDSAC(延迟存储电子自动计算机)在英国的剑桥大学问世。1956 年,在达特茅斯人工智能夏季研讨会期间,有人预言人类能够在 20 世纪 80 年代制造出一种英俄语音翻译器,不幸的是,这个预言并没有实现。1965 年,ALPAC(自动语言处理顾问委员会)的 Pierce 得出一个结论:投资建立一个翻译培训学校要胜于投资研究自动语言转换器,提出这一结论的理由是当时的计算机技术要实现这样的机器看起来几乎是不可能的。1965 年,L. A. Zadeh 在《信息与控制》杂志第八卷的 338 页到 353 页发表了一篇题为《模糊集》的论文。1970 年,英特尔公司用集成电路(IC)存储器开发出第一个 4 位单片微处理器。

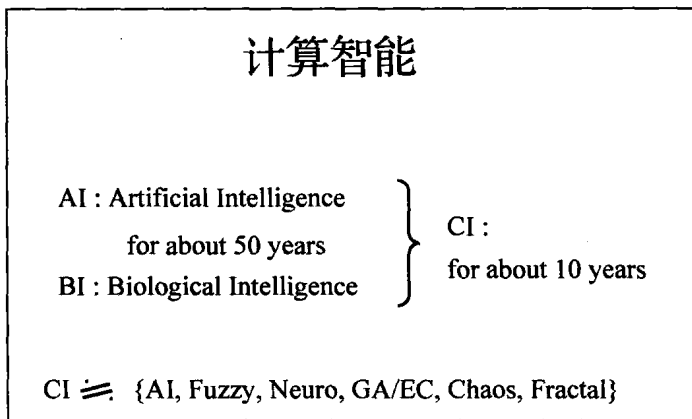


图 1.1.a 计算智能

从 1970 年开始,专家系统研究开始兴起(人工智能发展起来)。20 世纪 80 年代中期,

Chapter 1 Introduction to Computational Intelligence (CI)

Current Computational Intelligence (CI) derives from Artificial Intelligence (AI) and Biological Intelligence (BI). The roots of AI can be traced to some 50 years ago, but the term CI has just been coined about 10 years ago. CI consists of several base components (AI, Fuzzy Sets and Logic, Neural Networks; sometimes referred to as FAN) and other components GA (Genetic Algorithm)/EC (Evolutionary Computation), Chaos, Fractal, and more recently Granular Computing.

A brief history of CI is summarized in the followings.

In 1945, ENIAC was built at University of Pennsylvania, USA. It used hard-wiring as a programming method. In the same 1945, the concept of stored program method was proposed by Von Neumann (born in Hungary). In 1949, EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer) was made as the world first, stored program computer at University of Cambridge, UK. In 1956, during the Dartmouth AI Summer Seminar, it was predicted that an English-to-Russian speech translator machine will be realized before 1980s. Unfortunately, this prediction failed. In 1965, ALPAC (Automatic Language Processing Advisory Committee)—report was presented by Pierce who concluded that it might be better to invest the funds in establishing a human translators training school rather than funding research into automatic language translation because it seemed almost impossible to realize such machines based on the current computer technology. In 1965, L. A. Zadeh introduced a paper “Fuzzy Sets” published in the journal of Information & Control, Volume 8, pp.338 – 353. In 1970, the first 4 bit one chip microprocessor using IC (Integrated Circuit) memory was developed by Intel Corp.

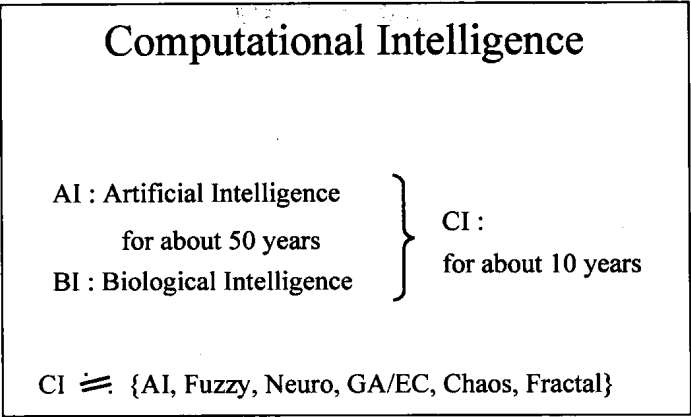


Fig 1.1. b Computational Intelligence

Starting from 1970, Experts Systems research grew (AI boom). Starting from the middle of 1980s there was Fuzzy Control boom in Japan. Neural Networks also experienced its boom from

模糊控制在日本发展起来,神经网络也从1985年起开始发展起来。人工智能的发展以1985年在美国洛杉矶成立的IJCAI(人工智能联合国际会议)为标志。在这个被称为人工智能巅峰的时期中,有大约五千人参加了此次会议。遗传算法/进化计算也在1990年被发展起来。

美国、日本和欧洲是计算智能领域的佼佼者。在20世纪80年代的日本,政府提供了大量的资金用于计算智能领域的研究。然而从1993年开始,政府支持力度的减少和经济的不景气对主要公司的影响使得计算智能的研究量减少。这种情况在最近的一两年内似乎已经有了好转。

计算智能的发展史 (2/2)

- ✓ 1965年: 模糊集, 信息与控制, 第八卷, 338-353页
L.A. Zadeh
- ✓ 20世纪70年代: 专家系统流行起来
- ✓ 1985年: IJCAI (人工智能联合国际会议)
5000多名参与者, 洛杉矶, 人工智能发展的巅峰时期
- ✓ 20世纪80年代: 模糊控制 日本到全球
- ✓ 1985年左右: 神经网络 美国
- ✓ 20世纪90年代: 遗传算法/进化计算发展起来

图 1.2.a 计算智能的发展史 (2/2)

1985 onwards. The AI booms were symbolized by IJCAI (International Joint Conference on Artificial Intelligence) that was held in 1985 in Los Angeles, USA. This period is called the peak of AI in which more than 5000 persons participated in the conference. GA/EC also starts growing in 1990.

America, Japan, and Europe are leading players in the field of CI. In Japan during 1980s, the government provided abundance of research funds for investigations in the CI field. Starting from 1993, however, the CI research volume decreased because of the cutback of support from the Japanese government and the economical recession affecting major companies. This condition seems to have been overcome in the last 1 – 2 years.

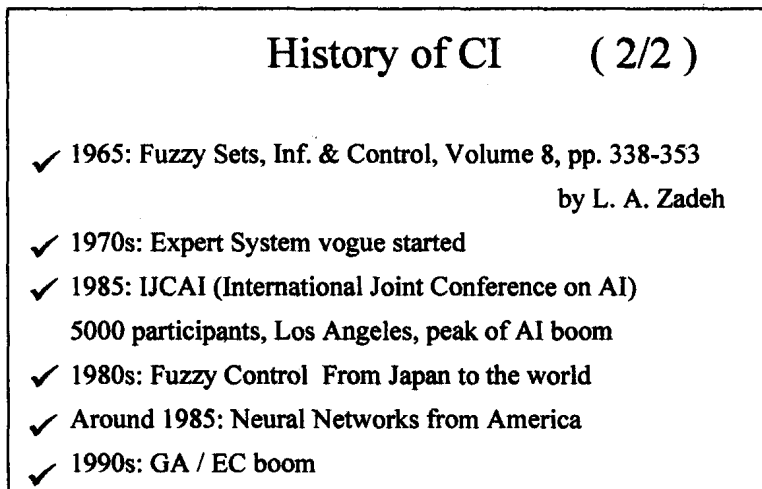


Fig 1.2. b History of CI(2/2)

第2章 模糊理论

2.1 模糊逻辑

“模糊”概念是由 L. A. Zadeh 教授首先提出的(L. A. Zadeh, fuzzy sets, information & control, vol. 8. pp. 338-353, 1965)。

模糊逻辑是明确真值逻辑,即 2-值布尔逻辑的一个扩展。

明确真值逻辑

模糊逻辑

($\{0,1\}$, $\leq$, $\neg$, $\cdot$, $+$) $\hookrightarrow$ ($[0,1]$, $\leq$, $\neg^\oplus$, $\otimes$, $\oplus$)
 F T NOT AND OR $[0,1] = \{x | 0 \leq x \leq 1\}$ 模糊非 t-范 s-范

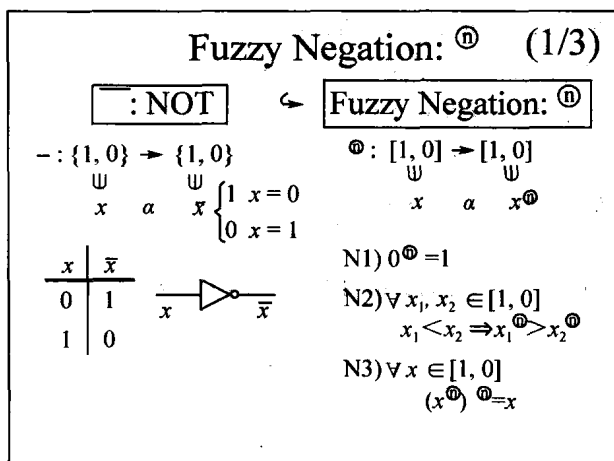


图 2.1.a 模糊非逻辑(1/3)

模糊非

$\neg^\oplus$:模糊非($\neg^\oplus$: NOT)

$\neg: \{0,1\} \rightarrow \{0,1\}$

$\Psi \quad \Psi$

$$x \quad \alpha \quad \bar{x} = \begin{cases} 1 & x=0 \\ 0 & x=1 \end{cases} \quad (2.1.a)$$

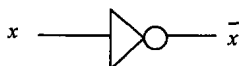


图 2.2.a 真值非门

$\neg^\oplus: [0,1] \rightarrow [0,1]$

$\Psi \quad \Psi$

$$x \quad \alpha \quad x^\oplus \quad (2.2.a)$$

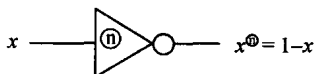


图 2.3.a 模糊非门

Chapter 2 Fuzzy

2.1 Fuzzy Logic

The concept of “fuzzy” has been originally introduced by Prof. L. A. Zadeh (L. A. Zadeh, fuzzy sets, information & control, vol. 8. pp. 338 – 353, 1965).

Fuzzy logic is an extension of the crisp logic, i. e., 2-valued Boolean logic.

crisp logic

fuzzy logic

($\{0,1\}$, $\leq$, $-$, $\cdot$, $+$) $\hookrightarrow$ ($[0,1]$, $\leq$, $\oplus$, $\otimes$, $\odot$)
 F T NOT AND OR $[0,1] = \{x | 0 \leq x \leq 1\}$ fuzzy t-norm s-norm

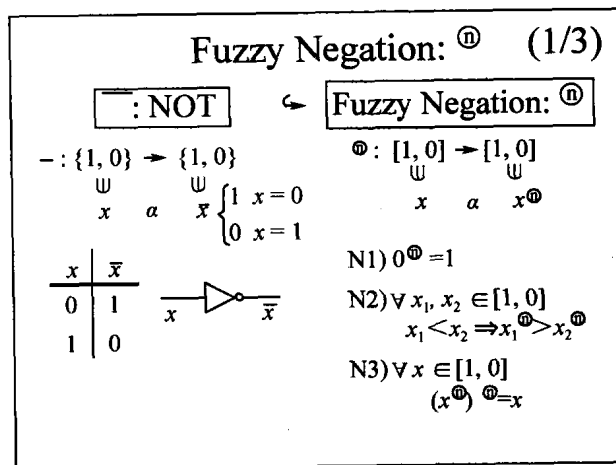


Fig. 2.1. b Fuzzy Negation(1/3)

Fuzzy Negation

$\oplus$: fuzzy negation ($\hookrightarrow$ $\neg$: NOT)

$\neg: \{0,1\} \rightarrow \{0,1\}$

$\Downarrow$ $\Downarrow$

$$x \quad a \quad \bar{x} = \begin{cases} 1 & x=0 \\ 0 & x=1 \end{cases} \quad (2.1. b)$$

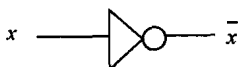


Fig 2.2. b Crisp Not Gate

$\oplus: [0,1] \rightarrow [0,1]$

$\Downarrow$ $\Downarrow$

$$x \quad a \quad x^{\oplus} \quad (2.2. b)$$

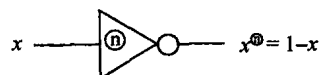


Fig 2.3. b Fuzzy Negation Gate

表 2.1.a 非真值表

x	$\bar{x}$
0	1
1	0

$$N1) 0^{\oplus} = 1 \quad (2.3.a)$$

$$N2) \forall x_1 x_2 \in [0, 1] \quad (2.4.a)$$

$$x_1 < x_2 \Rightarrow x_1^{\oplus} > x_2^{\oplus}$$

$$N3) \forall x \in [0, 1] \quad (2.5.a)$$

$$(x^{\oplus})^{\oplus} = x$$

N1) 是一个边界条件

N2) 是一个赋值交换

N3) 是双重否定

Q1: 表示

$$N1) N2) N3) \Leftrightarrow N1)' N2) N3)$$

n & s

(充分必要条件)

式中 $N1)' 1^{\oplus} = 0$

Q2: 表示 $\cdot^{\oplus}$ 是逐点连续

Q3: 绘制模糊非的图表

Q4:

怎样构建 4 位并行 1 - $\cdot^{\oplus}$ 模糊反相器?

只是把 4 个一位的反向器并行排列。

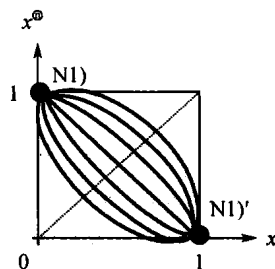


图 2.4.a 模糊非的图表

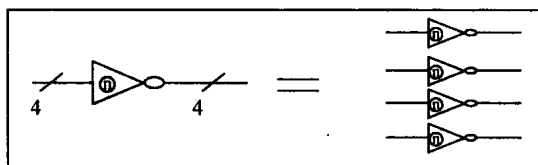


图 2.5.a 4 位模糊非

表 2.2.a 4 位非真值表

值	输入	取反	输出
15/15	1111	$1 - (15/15) = 0/15$	0000
14/15	1110	$1 - (14/15) = 1/15$	0001
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
1/15	0001	$1 - (1/15) = 14/15$	1110
0/15	0000	$1 - (0/15) = 15/15$	1111

Table 2.1. b Negation Truth Table

x	$\bar{x}$
0	1
1	0

N1) $0^{\oplus} = 1$ (2.3. b)

N2) $\forall x_1, x_2 \in [0, 1]$ (2.4. b)

$x_1 < x_2 \Rightarrow x_1^{\oplus} > x_2^{\oplus}$

N3) $\forall x \in [0, 1]$ (2.5. b)

$(x^{\oplus})^{\oplus} = x$

N1) is a boundary condition

N2) is evaluation inversion

N3) is double negation

Q1:

Show that

$N1) \ N2) \ N3) \Leftrightarrow N1)' \ N2) \ N3)$
n & s

(necessary and sufficient condition)

Where $N1)' \ 1^{\oplus} = 0$

Q2:

Show that $\cdot^{\oplus}$ is pointwise continuous.

Q3:

Draw the graph of fuzzy negation!

Q4:

How to construct 4 bit parallel 1- $\cdot^{\oplus}$ fuzzy inverter?

Just put 4 one bit inverters in parallel.

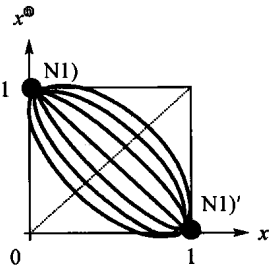


Fig 2.4. b Graph of Fuzzy Negation

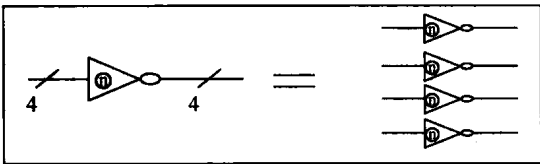


Fig 2.5. b 4-bit Fuzzy Negation

Table 2.2. b 4-bits Fuzzy Negation Truth Table

value	input	inversion	output
15/15	1111	$1 - (15/15) = 0/15$	0000
14/15	1110	$1 - (14/15) = 1/15$	0001
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
1/15	0001	$1 - (1/15) = 14/15$	1110
0/15	0000	$1 - (0/15) = 15/15$	1111