

基于 VCR 智能特性的系统信息数值处理技术^①

A Systematic Information Numbers Technology with AI-Property of VCR

叶球孙 (武夷学院 数学与计算机科学工程系 福建 武夷山 354300)

摘要: 智能系统信息处理功能的结构要求, 具有传统处理技术继承性、现代拓展模式多样性、未来新兴科技之兼容性和综合智能特点的集成性。21 世纪信息处理技术的发展趋势是智能信息系统化。变进制(VCR)是基于传统数论中用恒进制(FCR)基础上创新拓展起来的更广义概念上的计数规则, 其计数特性能给传统的智能信息数值处理技术带来更多创新和更好应用, 并给出了 ASCII 码字符信息加密与解密的数值计算技术, 空间三维立体真实图形表面(Surface)的视觉可视性计算, 以及抗扰动数值计算技术等实例。

关键词: 智能系统(IS) 恒进制(FCR) 变进制(VCR) 人工智能(AI) 智模数(IFN)

电子系统信号与信息处理技术的发展, 决定了人类对综合信息处理技术的 3 个发展内容: (1)模拟信号处理; (2)数字信息处理; (3)智能信息处理。

1 引言

信号与信息的获取到有效使用的全过程均属于信息处理技术(IT, Information process Technology)学科范畴, 其内涵之丰富、外延之宽泛, 尤难一言以蔽之。IT 是电子信息学科群的重要组成, 电子系统信息处理在数十年来先后经历了模拟信号处理、简单数字信息处理、可编程数字信号处理、超大规模集成电路(VLSI)技术处理、并行处理和基于通用数字计算机的人工智能(AI, artificial intelligence)信息处理等发展过程, 20 世纪 90 年代又导入了以人工神经网络为主导的、与模糊逻辑、遗传与进化计算、专家系统、混沌及其它常规信号信息处理等相结合的综合智能信息处理。

已进入信息化社会的 21 世纪, 信息的来源渠道和信息源的种类形式将越来越多。能否及时、准确、高效和低成本地用好各种信息资源, 是提高为发展国民经济、科学技术和国防建设等服务质量的关键。有效解决这些关键性问题的要求是, 必须在信息的获取、加工处理、传输、保存、决策和使用上寻求创新的突

破性的高新技术, 这样才能适应信息社会发展形势的迫切需要。

人们对数的应用研究, 大都仅局限于恒进制(FCR, Fixed Carrying Rules)的恒进数(FCN, Fixed Carrying Numbers, 如二进制 B、八进制 Q、十进制 D 和十六进制 H 等), 其中最常用的是十进制(D, Decimal numbers, 始于中国的商代), 但它一直到了公元 6 世纪才推广普及使用到世界各地^[1], 至今已然长期占据着数的统治使用地位达 1500 多年。1995 年, 叶球孙提出了变进制(VCR, Variable Carrying Rules)理论及其相关处理技术^[2, 3], 即进制数中相邻即位数字间的进退计数换算关系或规则(VCR)是可以不断变化的, 采用 VCR 描述的数称为变进制数, 简称变进数 VCN(VCN, Variable Carrying Numbers)。如, 年份的变换, 并非每年(阴历年)都是 12 个月的, 遇到润年时便有 13 个月, 多出的 1 个月称为润月; 月份的变换, 也并非每月都是 30 天的, 月大时有 31 天, 月小时却只有 30 天或 29 天(甚至每逢平年时的二月只有 28 天); 再如表示时间的秒、分、时和天, 由秒到分、以及由分到时都是 60 进制的, 由小时到天则是 24 进制的。所以, 表示年份数、月份数和天数等时间长短的数, 其实质上就是一些地道的 VCN。

n 位整型 VCN 权值计算公式如下:

^① 基金项目:福建省自然科学基金(A0640015);福建省教育厅高校自然科学基金(JA08246)

收稿时间:2009-03-09

$$D_{VCN} = F_n F_{n-1} \cdots F_1 = F_n(r_{n-1}+1)(r_{n-2}+1) \cdots (r_1+1) +$$

$$F_{n-1}(r_{n-2}+1)(r_{n-3}+1) \cdots (r_1+1) + \cdots + F_1(r_1+1)^0 =$$

$$F_n \prod_{i=1}^{n-1} (r_i+1) + F_{n-1} \prod_{i=1}^{n-2} (r_i+1) + \cdots + F_1(r_1+1)^0, \text{ 即}$$

$$D_{VCN} = \sum_{k=2}^n F_k \prod_{i=1}^{k-1} (r_i+1) + F_1 \quad (1)$$

(1)式中: $F_n \in R_n, F_{n-1} \in R_{n-1}, \dots, F_1 \in R_1; r_n \in N, r_{n-1} \in N, \dots, r_1 \in N; N = \{1, 2, 3, 4, 5, \dots\}, R_n = \{0, 1, 2, 3, \dots, r_n\}, R_{n-1} = \{0, 1, 2, 3, \dots, r_{n-1}\}, R_1 = \{0, 1, 2, 3, \dots, r_1\}, r_i = \max(F_i), i \in N。$

显然, VCR 包含 FCR, 是 FCR 的拓展, FCR 只是 VCR 的特例。当取变进数中相邻位允许的最大即位数字值相等时, 即 $F_n = F_{n-1} = \dots = F_1 = \text{Max}(F_i) = r$ 时, $1 \leq i \leq n$, 该变进数 VCN 就变成了恒进数 FCN。

n 位整型 FCN 权值计算便由(1)式蜕变如下:

$$D_{FCN} = F_{n-1} F_{n-2} F_{n-3} \dots F_0 =$$

$$F_{n-1}(r+1)^{n-1} + F_{n-2}(r+1)^{n-2} + \dots + F_0(r+1)^0 =$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} F_i(r+1)^i \quad (2)$$

(2)式中: $r \in N, F_{n-1} \in F_n, F_{n-2} \in F_n \dots, F_0 \in F_n, N = \{1, 2, 3, \dots\}, F_n = \{0, 1, 2, \dots, r\}$ 。FCN 虽有 VCN 全部共性, 但已丧失 VCN 许多个性。

第十届中国人工智能学术大会(CAAI-10: 2003 年 11 月, 广州)后, 世界著名数学家吴文俊认为, VCN 创新了广义概念上的数(Numbers), 确有独到的观点和许多潜在的科学研究及应用价值; 著名人工智能学家涂序彦也认为, VCN 不但可用于密码通信与信息安全方面, 而且可用于各种变结构、变参数、复杂系统的建模、分析与综合, 研究开发人工智能的新理论、新方法和新技术。

本文就此提出一种以 VCR 为特征的 VCN 来表示任意模拟信息的智能系统数值处理技术。

2 信息处理与数值计算的发展技术

整个计算机系统内域都是二进制占统治地位的世界, 即任何信息表示的唯一性均由二进制数来实现, IT 就是二进数的数值计算技术。信息化社会的发展促进了 IT 不断成熟的发展。

二十一世纪是信息化社会和智能化社会。信息化社会离不开 IT, 而 IT 又是电子系统信号信息处理的主干组成部分; 智能化社会离不开人的智能行为, 而 AI 又是研究人的智能行为的综合许多边缘科学的交叉性学科^[4]; 人类社会离不开有智能行为的人的组成, 而人对复杂信息的“串行”综合智能处理技术^[5], 又是人类改造现代信息社会的主体的行为技术。如人工神经网络是一种模仿人脑认知功能的新型的智能信息处理系统。人类一切高级活动的物质基础就是具有智能、情感^[6]等意识功能的大脑, 构建具有人脑智能特征的智能信息处理系统, 就是寄希望它可以解决无以解决或不能完全有效解决的现实难题。以联接方式或规则为基础的神经网络结构, 即大量简单技术处理单元(或称人工神经元)的广泛互连而构成的一个拥有自我学习、自我适应、自我组织等功能性的非线性动力启动系统, 也是一个拥有全新计算结构模型的智能信息处理系统, 它能处理不完整性、不确定性、模糊性和容错性的信息: 如使用液面水平探测仪器技术, 测知一个密闭容器内液面位置情况时所需要来自各种传感器的输出信息。因此, 电子系统信号与 IT 的发展, 决定了人类对 IT 综合集成技术的 3 个发展内容是: (1)模拟信号处理; (2)数字信息处理; (3)智能信息处理。

数字计算机指令系统中任意一条可执行的命令, 均可完成一个定性操作, 并改变一种状态(或细微状态)。由一系列可执行的指令构成有序的集合(程序)即可完成一个功能性或系统性操作, 亦即提供一种服务。程序存储控制是冯·诺依曼(Von Neumann)计算机处理技术结构的思想核心, 基于冯氏结构计算机思想核心的 AI 信息处理系统, 均可以是串行的或并行而相互独立的指令性计算, 分离的操作与存储, 和逻辑的运算等。它可以模拟人脑的逻辑思维能力, 针对明确定义的决策推理问题具有超常的处理速度和极理想的运算精度。

以冯氏结构计算机作逻辑推理的 AI 信息处理和以人工神经网络为基础的神经计算 AI 信息处理是当前两类最主要的智能信息处理技术。另外, 还有模仿人脑具有模糊信息处理技术的模糊逻辑信息处理, 基于生物遗传与进化特性的信息处理, 引入人类社会自然选择(赢者为王, 适者生存、劣者淘汰, 良心与道德机理一致等)法则的人类思维、意识和道德为智能特点

的算法, 以及人脑在正常情况下处于混沌状态、在异常情况下处于振荡特性而引出的混沌动力学特性的智能处理, 等等。目前, 尽管各种智能信息处理技术均已尝试并取得了不少成果, 但它们的研究及应用水平还不甚理想。从生物物理学、人类心理认知科学、信息学和数学等研究表明, 对人类的智能信息处理技术能力主要表现在各种智能信息处理方式方法的综合集成。首届世界计算智能学术大会(1994)后, 许多科技先进发达国家均先后制定和启动了不少与智能信息处理技术相关的重大研究计划。因此, 发展信息处理和数值计算的技术, 既是认识智能本质和挖掘智能系统的手段, 也是 21 世纪信息化社会中极其重要应用的研究领域。

3 基于变进智能特性信息处理技术系统结构及其典型应用研究的实例

3.1 变进智能特性信息处理技术系统的结构

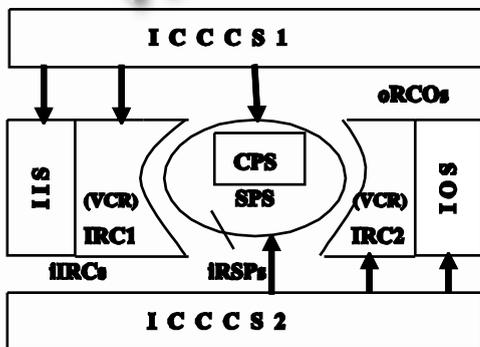


图 1 变进智能系统处理技术结构框架

变进制(VCR)智能特性的系统信息处理技术结构可用图 1 的简要框图来表示。其系统组成结构可简介如下。

(1) 内信息输入、表示及 VCR 智能转换系统(iIRCs, inner information Input, Representation & Conversion system of VCR): 通过具体的电、光、声学传感器等将图形图像、语音语句、文字字母和运动动画等信息输入并转换成智能信息处理系统内得以加工处理的信息数据源。它由信息输入系统(IIS, Information Input System)和 VCN 信息表示转换(IRC, Information Representation Conversion)系统 1 两部分组成。即 $iIRCs = IIS + IRC1$ 。

(2) 信息表示、贮存及 VCN 处理系统(iRSPs,

information Representation Store & Processing system of VCN): 完成信息的表达、储存及 VCN 的加工处理。它由周边处理系统(SPS, Surrounding Processing System)和中央处理系统(CPS, Central Processing System)两部分组成。即 $iRSPs = SPS + CPS$ 。

(3) 内部交互信息通讯控制转换系统(ICCSC1): 主要负责智能系统内部与 iIRCs 的信息交互通讯、控制与转换。

(4) 外信息表示、VCR 智能转换及输出系统(oRCOs, the outside information Representation, Conversion & Output system of VCR): 通过具体的 VCR 将处理结果信息进行转换复原表示和输出结果数据报。它由 VCN 信息表示转换系统 2 和信息输出系统(IOS, Information Output System)两部分组成。即 $oRCOs = IRC2 + IOS$ 。

(5) 外部交互信息通讯控制转换系统(ICCSC2): 主要负责智能系统外部与 oRCOs 的信息交互通讯、控制与转换。

基于 VCN 特性的智能信息处理系统的研究须涉及众多学科, 其 VCR 智能特性机制研究的认知科学可包含: 脑科学、神经科学、心理学、社会科学、行为科学、和生物控制论等; 其计算智能模型研究亦涉及数学(数论的创新与拓展)科学、信息科学(电子学、计算机科学等); 系统设计主要涉及电子学、计算机科学、声学 and 光学等。其综合智能信息处理的应用可以是: 智能计算机、智能机器人、智能机器视觉计算系统, 智能控制系统, 自动语言翻译系统、信息安全与自动加密技术, 信息获取与自动解密计算和优化决策支持系统 DSS 等。

3.2 变进数智能特性的典型应用研究实例

3.2.1 智模数(IFN)用于 ASCII 字符加密技术的研究^[7]

智能模糊变进数(AI-Fuzzy VCN)简称智模数(IFN), 就是一种其变进换算规则(VCR)可被智能而灵活地随意设置的变进数(VCN), 将它用于文本信息的加密与解密的技术, 是对传统纯数字加密技术(PNCT)的拓展和创新。以 IFN 实现的文本字符信息加密和解密大致步骤见图 2。

图 2 中: 1) USC (user security component) 为用户安全分量, 由硬件设备或软件程序组成, 负责加密和解密, 支持密钥托管与数据恢复, 其中 DRF 为通

用密钥分配机制的构成部分。2) KEC(key escrow component)为密钥托管分量,由密钥托管代理、数据恢复密钥及其业务(含DRC显露信息和授权指导业务,可人工和自动将数据传入或传出DRC)、托管密钥防护等4部分构成,主要负责密钥托管代理(可信赖的第三方或USC和DRC的联合机构)操作,数据恢复密钥(KEC中心分发的数据加密密钥,建立数据加密的用户密钥,多个USC共享且直接与KEC相关的主密钥,USC专有的产品密钥)的存储、显露和使用,以及其他部分业务如托管密钥保护等的业务服务。3) DRC(data recovery component)为数据恢复分量,由IFN专用算法、协议及必要设备组成。在执行规定的合法数据恢复时,DRC负责实时解密并截获信息,解密已截获信息和历史记录的信息,非完全知识参与的透明性的解密操作,获取密钥及资源就可从事独立性的解密工作。

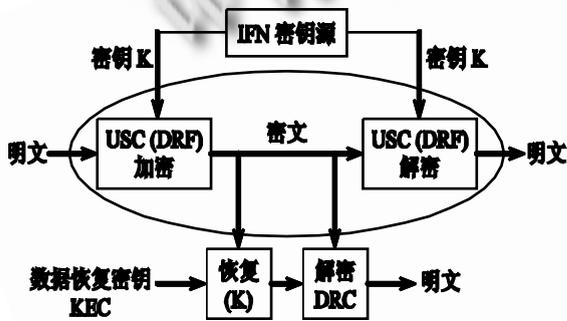


图 2 智模数密钥托管加密流程

如,在 0, ..., 63 的 64 个整数中:用 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 表示十进制数的 10 个阿拉伯数码字符;用 A, ..., Z 的 26 个大写英文字母表示十进制数的 10, 11, 12, ..., 35;用 a, ..., z 的 26 个小写英文字母表示十进制数的 36, 37, 38, ..., 61;还可任意选 2 个公认的或自定义的半角字符(如 ■, ● 等符号)来表示十进制数的 62, 63。英文的明文信息如下:

A great deal of researches on numbers has been shown recently in International Mathematics & Computer Science, much of the attraction of such a FCN (Fixed Carrying Numbers) of n-figures is that it offers an alternative to the growing problems of regularity & movement in calculating for the more.

上述明文按 ASCII 码字符值取 2 位 IFN(FM1 = 3,

FM2 = 64)作为密钥加密成如下密文:

L2A2W1a0V2U1a2A2V1V2U1Y0A2Z0W0A2
a0V2a1V2U1a0V0W2V2a1A2Z0Y2A2Y2b0Y1U2
V2a0a1A2W2U1a1A2U2V2V2Y2A2a1W2Z0b2Y
2A2a0V2V0V2Y2a2Y0c1A2X0Y2A2O1Y2a2V2a
0Y2U1a2X0Z0Y2U1Y0P2U1a2W2V2Y1U1a2X0V
0a1A2C2A2M1Z0Y1Z1b0a2V2a0A2R2V0X0V2Y
2V0V2E2A2Y1b0V0W2A2Z0W0A2a2W2V2A2U1
a2a2a0U1V0a2X0Z0Y2A2Z0W0A2a1b0V0W2A2
U1A2N1M1Q0A2D1N1X0c0V2V1A2M1U1a0a0c
1X0Y2W1Q0b0Y1U2V2a0a1D2A2Z0W0A2Y2E2
W0X0W1b0a0V2a1A2X0a1A2a2W2U1a2A2X0a
2A2Z0W0W0V2a0a1A2U1Y2A2U1Y0a2V2a0Y2
U1a2X0b1V2A2a2Z0A2a2W2V2A2W1a0Z0b2X0
Y2W1A2Z1a0Z0U2Y0V2Y1a1A2Z0W0a0V2W1b
0Y0U1a0X0a2c1A2C2A2Y1Z0b1V2Y1V2Y2a2A
2X0Y2A2V0U1Y0V0b0Y0U1a2X0Y2W1A2W0Z0
a0A2a2W2V2A2Y1Z0a0V2F1

英文信息明/密变换实现的方法:加密时,通过计算将一个 ASCII 码的明文字符(含空格符),用 J (J ≥ 2 的整数)位能表示唯一 IFN 的 ASCII 码字符来置换;解密时,通过计算将每 J 位 ASCII 码的密文字符(IFN),用一个能表示唯一 ASCII 码值的 ASCII 码字符串来反置换。记 $S_{k,m}$ 为第 k 个密文分组中出现第 m (1 ≤ m ≤ J) 个明文字符中的单个 ASCII 码字符的集合 $S_m \in S_{k,m}$, 而且 $S_m = FM_i = \{0, 1, 2, \dots, \text{Max}(\text{Figures})\}$, $1 \leq \text{max}(\text{Figures}) \leq 63$, $S_{m,i} = \prod_{i=1}^J S_{k,m}$, $|S_{k,m}| = 128$, $2 \leq |FM_i| \leq 64$, 当且仅当 $S_{m,0}, S_{m,1}, S_{m,2}, \dots, S_{m,63}$ 均为单点集合时,映射 p 就能唯一确定,其中 $p = p_0, p_1, p_2, \dots, p_{127}$ 表示所有 ASCII 字符值的相应 VCN 的单值函数。实验可知:若加密时,通过计算将 2 个或 2 个以上 ASCII 码的明文字符排列分组,用 2 个能表示唯一 IFN 的 ASCII 码字符来置换;解密时,亦能通过计算将每 2 个 ASCII 码的密文字符(IFN),用 2 个或 2 个以上能表示唯一 ASCII 码值组合与排列的 ASCII 码字符串来反置换,其加密和解密程序运行时间 ≥ 2^t (t ≥ J) 倍以上。

3.2.2 变进制(VCR)用于实体可视性计算的研究^[8]

一个任意的空间三维(3D)的实体真实图形表面可视性(Vs)及非视性(NVs)的数值计算公式为:

$$V_s = \frac{S_v}{S_{tv} + NS_{tv}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{vi}}{\sum_{i=1}^n S_{tvi} + \sum_{k=1}^m NS_{tk}} \quad (3)$$

$$NV_s = \frac{NS_v}{S_v + NS_v} = \frac{\sum_{k=1}^m NS_{vk}}{\sum_{i=1}^n S_{tvi} + \sum_{k=1}^m NS_{tk}} \quad (4)$$

$$(V_s + NV_s)\mu = 1 \quad (5)$$

其中, V_s 表示 3D 实体图形全部表面的可视性, NV_s 表示 3D 实体图形全部表面的非视性, μ 表示 3D 实体图形在 2D 示平面上平行光正投影显示的缩放比例系数。0 < μ < 1 时, 实体图形显示缩小; $\mu = 1$ 时, 实体图形显示等倍; $\mu > 1$ 时, 实体图形显示放大。 V_s/NV_s 均在 (0, 1) 开区间上变化, 它显然是个 3D 综合性的可视性/非视性计算结果; S_v 表示 3D 真实图形可视表面在 2D 示平面上直投影的总面积值, S_{tv} 表示 3D 真实图形可视表面真实的总面积值; S_{vi} 、 S_{tvi} 分别表示一个复杂 3D 实体在 2D 示平面上总面积值和其真实表面总面积值的组成部分, 即投影和真实的子面积值; n 表示 3D 真实图形可视表面中局部区域片数, 称为子面片数或可视性的离散度; m 表示 3D 实体还有全然不可视的表面区域片数。基于 VCR 智能特性技术的空间 3D 实体真实图形表面可视性的数值计算, 可以自动规避消除多次不同数值运算的数字扰动的累积效应。

3.2.3 变进制(VCR)用于抗扰动数值计算的研究^[9]

基于 VCR 智能特性技术的精确数值运算(加/减/乘/除等)法, 其运算结果的精度(数值分辨率或有效数字位数)是可以任意或无限地确定的, 可不受计算机 CPU 字长的制约, 即运算用户需要多少位就能得到多少位的精度, 而且运算过程中不会产生新增的数字扰动误差, 即可使其数字扰动误差逼近为零。例如, 对中国古代数学家祖冲之曾获得圆周率 π 值实验数据可做精确的除法计算如下:

$$\pi = 355 \div 113 = 3.141592920353982300884955752212389380530973451327433628318840707964601769911504424778761061946902654867256637168141592 \dots$$

4 信息智能处理技术核心与VCR特性

AI 信息处理是一个高、新、尖技术难度的集基础科学、工程应用和科学研究、科技产业于一身的高新研究应用领域。其焦点的核心问题是: 智能机制、数学计算(数学模型或建模方法)、设计理论、材料工艺、实现途径及其它交叉学科应用技术。

认知科学研究的基本问题就是智能机制, 系统模型、运算与算法的转换均有赖于智能机制的充分了解和积累。信息科学需要重点解决的问题就是设计理论及其实现方法。应用技术则有赖于应用问题的相关学科领域及相应认知科学、信息科学、计算机科学、智能科学和数学等共同协作才能解决的问题。这些问题需要长期的理论研究和不断的应用积累, 有了定性理论的升华和历史经验的沉淀后, 才能抓住问题突破的切入点, 才有可能取得跨越性的重大进展。比如, 目前许多智能信息处理技术就存在以下一些可能使问题突破的切入点: (1)智能系统传感器与多媒体信息的融合度; (2)智能系统规模的级别层; (3)智能系统处理技术的时间复杂度与空间复杂度的协调性; (4)智能系统设计原理的有限精度与数值计算的实现技术; (5)智能系统智能技术方式的综合集成度及其空间可拓性, 如此等等。

VCR 是控制 VCN 外观的灵魂, 而 VCN 则是 VCR 的肢体。VCR 的主要特性有: ①可拓性/压缩性 相同数值大小的数由低进制向高进制转换时, 其数据的外在表示形式可以得到压缩, 节约计算机存储空间, 因而其数据的表示及存储既是可拓(Extensive)^[10], 也是可压缩(compressible)的, 其容量的溢出特性即变溢性(VCO, Variable Capacities of Overflowing)也是可变的。如 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 共 10 个阿拉伯数字字符还不够用, 还可拓展用 A, B, C, ..., X, Y, Z 等 26 个英文字母分别表示 10, 11, 12, ..., 33, 34, 35 的数值。这样就可以得到 2, ..., 36 的任意 VCN(含 FCN 的最小的 2 进数到最大的 36 进数)。②模糊性/保密性 任意位上的权值为其系列相邻低位即位数字模的卷积(连乘), 其外表组合排列数字的数值大小也是难以精确估算而模糊的, 颇具模糊性。外在数据表示数值大小模糊性越强, 其对外保密性越好。③智能性/设密性 n 位 VCN 中相邻位即位数字间的进退换算规则是可以事先人工而智能地设定的, 所以该进制数的精确换算是可以实现的, 颇具智能性。

根据 VCN 的智能特性, 它既可以将 FCN 中常用十进制数 D 转换为 $2 \leq FM < 10$ 的任意低模(基)值 FCN, 又可以转换为 $FM > 10$ 的任意高模(基)值 FCN(或 VCN), FM 称即位数字模(Figures Module)。数学家可以保证: 任何一种 FCN 或 VCN 均可以用来准确描述任意物质质量值的大小; 任意循环或非循环的数也均可用某种逼近的分式、或开奇偶次方根函数、或其他数学函数诸如各种插值/分段函数法来逼近, 并均能精确地描述。

5 结语

VCR 可拓性/压缩性、模糊性/保密性、智能性/设密性, 导致 VCN 计算技术的复杂性、智能性和灵活性, 按其不同变换规则生成的各种 VCN, 可很好地消除 FCR 所造成的单一性、机械性和难记性等缺点的同时, 还能在具体的数值运算中得到“抗扰动、抗溢出、潜智能”等优点。现代信息社会的错综复杂的信息世界里, 不管哪种综合信息智能处理技术系统, 其安全机制、通信网络安全技术及实现、智能网络系统的综合集成等, 都离不开对信息类的初始化工作、变换性处理、数码化加工和智能性操作等^[11-18], 只要涉及数码化而可做数值计算的数据(data), 均可先将其智能变进化为 VCR 的各种形式, 而后再做相应 VCN 形式数据的加工处理和最后的结果输出。因此, VCR 设置技术在今后的各种综合信息智能数值处理技术系统的研制中, 较之 FCR 具有更广泛应用的参考价值: 拓展空间更大, 智能特性丰富, 换算技术灵活, 时间复杂跌宕, 计算误差可控, 等等。

参考文献

- 1 马志明, 王渝生. 大哉·言数(院士专家访谈录), 2004年2月5日(元宵节)/中央电视台/科教频道(CCTV-10)
- 2 Ye QS. VCN & Its Role of Engineering in Human Society. Engineering Sciences (The Chinese Academy of Engineering/English Edition/Quarterly), 2008, 6(1): 23-31.
- 3 Ye QS. Research & application on the variable carrying numbers. IEEE International Conference on Neural Networks & Signal Processing, ICNNSP'95(IAP), Nanjing, China, 1995, 2: 910-914.
- 4 傅京孙, 蔡自兴, 徐光祐, 等. 人工智能及其应用. 北京: 清华大学出版社, 1988
- 5 吴文俊. 计算机时代的脑力劳动机械化与科学技术现代化. 第10届中国人工智能学术大会(CAAI-10)特邀报告, 中国人工智能进展. 北京: 北京邮电大学出版社, 2003.
- 6 涂序彦. 人工情感. CAAI-10 特邀报告. 中国人工智能进展, 北京: 北京邮电大学出版社, 2003. 27-32.
- 7 叶球孙. 智模数(IFN)在密码科学中的研究及应用. 中国工程科学(中国工程院院刊), 2008, 10(5): 51-58.
- 8 Ye QS. Numeral Computational Research on Visibility of 3D Solid Real Picture by Intelligent Property of VCR, 2008 The Proceedings of Second International Symposium on Test Automation and Instrumentation (ISTAI'2008). Beijing, China, 2008, 2: 610-619.
- 9 叶球孙, 张廷枋. VCR 智能无扰动特性的精确数值运算. 现代计算机(中山大学), 2008, (5): 17-22.
- 10 蔡文, 杨春燕, 林伟初, 等. 可拓工程方法. 北京: 科学出版社, 1997.
- 11 杨叔子. 智能制造的现状与未来. CAAI-10 特邀报告, 中国人工智能进展, 北京: 北京邮电大学出版社, 2003.
- 12 潘云鹤, 庄越挺. 走向设计与创造的人工智能. CAAI-10 特邀报告, 中国人工智能进展, 北京: 北京邮电大学出版社, 2003. 16-26.
- 13 李衍达. BCI 对人工智能的挑战, CAAI-10 特邀报告, 中国人工智能进展. 北京: 北京邮电大学出版社, 2003.
- 14 何新贵. 过程神经网络. CAAI-10 特邀报告, 中国人工智能进展, 北京: 北京邮电大学出版社, 2003.
- 15 吕艳萍, 李绍滋, 周昌乐, 等. 自适应扩散混合变异机制微粒群算法. 软件学报, 2007, 18(11): 2740-2750.
- 16 林柏钢. 网络与信息安全. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- 17 钟义信. 智能学: 信息-知识-策略-行为的统一理论. CAAI-10 特邀报告, 中国人工智能进展, 北京: 北京邮电大学出版社, 2003. 64-70.
- 18 Ye QS. An effective VCN method researches of preventing computer viruses' creeping in networks. IEEE 7th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2008 ICMLC. Kunming, China, 2008, 2: 1127-113.