

计算机生成三维全景图像研究现状与发展^{*}

王红霞 伍春洪 杨 扬 张 兰

(北京科技大学信息工程学院 北京 100083)

摘 要 三位全景图像 Integral Imaging(II)是一种采用微透镜阵列来记录和显示全真三维场景的图像技术,它的一些突出特点使其在三维电视(3DTV)和可视化领域有着广泛的应用前景。但由于受硬件设备及光学成像本身的限制,目前使用计算机生成三维全景图像(CGII)已成为三维全景图像研究的一个重要手段。本文从三维全景图像技术的原理出发,系统地整理分析了 CGII 的研究文献,对计算机生成三维全景图像的研究现状和关键问题进行了详细的分析,提出了计算机生成三维全景图像技术未来的发展趋势。

关键词 三维全景图像,计算机生成三维全景图像,3DTV

Research and Development of Computer Generated Integral Image

WANG Hong-xia WU Chun-hong YANG Yang ZHANG Lan

(College of Information Engineering University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract Integral imaging is a technique capable of displaying 3D images with continuous parallax in full natural color. It is becoming the most prospective technique in developing next generation three-dimensional TV (3DTV) and visualization field. But with the limitation of hardware devices and the optical imaging itself, now computer generated integral image (CGII) has become one of the most important methods for II research. Based on the principle of integral imaging, this paper presents a survey on the state of the art of computer generated integral imaging research through systematic analysis of related papers. Detailed analysis has been made to the CGII's current situation and bring up the development trend of computer generated integral image technique.

Keywords Integral Imaging, CGII, 3DTV

1 引言

三维全景图像 Integral Imaging (简称 II)是一种通过微透镜阵列来记录和显示全真三维场景的三维图像技术^[1-3]。近年来,随着理论研究、光学系统的技术革新和微透镜制造工艺的进展,该技术正成为目前最有希望实现下一代三维电视的方法,吸引着国际上三维技术领域的众多关注^[2]。为了克服采用微透镜阵列直接应用于记录三维场景时存在的一些问题,实际的 II 成像系统都较为复杂^[3,14-16],而且光学设备越来越精细,操作不当可能会带来较大误差及经济损失。采用计算机模拟三维全景图像的记录过程,产生类似由光学仪器生成的三维全景图像,既克服了 II 成像系统本身存在的一些问题,又能提供基于 II 研究所需要的各种图像来源,具有重要的现实意义及学术价值。

目前国内外关于 CGII 的研究比较少,随着 II 技术的发展,21 世纪以来关于 CGII 的研究逐渐呈现上升趋势。本文首先简要介绍 II 及其发展;然后介绍 CGII 研究现状并分析其关键问题,给出进一步的研究思路;最后进行了总结与展望。

2 Integral Imaging

目前各种 II 技术都源于 Lippmann 1908 年的工作,图 1 展现了 II 图像的记录和再现过程^[1]。

在采用微透镜阵列直接应用于记录三维场景时存在一些问题。首先,再现的三维场景相对于原来的场景存在空间上深度的反转(pseudoscopic),如图 1 所示。1931 年 Ives 引入两次记录过程^[17],克服了空间上的反转关系,但是由于散射光、感光乳剂及微透镜制作工艺等的影响,两次记录会导致

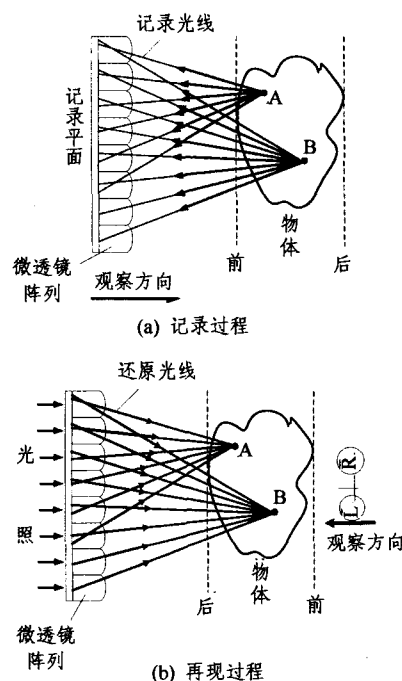


图 1 II 成像原理图

图像质量显著下降。其次,微透镜阵列结构引起散射和微透镜色散。随着所采用的微透镜尺寸的减小,II 在空间横向的分辨率得到改善,但同时带来散射和色差等问题。最后,元素图像之间互相干扰。在 II 中每个微透镜有其特定的记录范围,在不加限定的情况下,相邻微透镜下的记录区域会相互重

^{*} 国家自然科学基金(No. 60673160);国家自然科学基金重点项目(No. 90412012);教育部留学回国基金[2005]383。王红霞 博士研究生,主要研究方向为图像处理、三维图像技术。

叠从而在再现时出现重影。

为了克服 II 技术中存在的主要问题,不少科学家分别对 II 成像系统的设计、优化参数的选取以及分辨率问题进行讨论,为理解和推进这一领域的发展做出了贡献^[1]。英国的 Davies 和 McCormick 设计了一种由两极光学传输网络构成的 II 成像系统^[2]。随后,Okano 等也提出由多模光纤组成的集成光学传输阵列,用来实现相类似的功能^[3]。在 McCormick 和 Okano 等人的工作基础之上,II 技术日趋成熟。伴随着微透镜加工工艺的提高,高分辨率光学传感设备的涌现,以及计算机图像存储和处理能力的大大加强,II 开始在 3D 图像获取和显示方面展现出巨大的潜力。在生物和医学领域,基于 II 的微小物体结构显示技术以及基于 II 的实时动画已被开发用于手术导航^[24-26]。基于 II 的深度测量和 3D 模式识别技术也已经取得一定的研究成果^[27,28]。当前,限制该技术在三维电视发展的因素主要集中在 CCD 摄像机和 LCD 显示器的分辨率、记录场景有限的景深和视角范围以及数据的传输等几个问题上。围绕这几个问题,十分活跃的理论研究和更新正在国际上进行着^[6-9]。从 2002 年起,SPIE 会议的 Stereoscopic Displays and Applications 分支会议已将 II 列入专题讨论的范围。一些复杂 II 系统被研制成功,如采用时分多路(Time-Multiplexed)技术^[8]和新兴的超分辨率技术有效提高了元素图像的分辨率^[29,30]、双图像平面(Double Image-Plane)方法来增强景深和视角^[7]、采用非球面(Fresnel)透镜来增大视角^[6]、采用微凸透镜阵列来增大视角同时避免 flipping 现象^[31]、利用 Computer-generated holographic 三维显示系统增大视差和视角^[32]。可以期盼,随着理论研究、微透镜制造工艺和高分辨显示技术的进展,II 技术产品会在不久的将来出现在人们的生活中。

3 CGII

传统三维全景图像主要通过光学方法完成,即整个图像的记录及显示过程都通过光学仪器完成。在整个光学系统中,微透镜阵列是最重要的光学器件,微透镜阵列的选择直接影响所生成图像的质量及观察效果^[33,34]。而采用计算机模拟三维全景图像的记录过程产生类似由光学仪器生成的三维全景图像,既克服了 II 成像系统本身存在的一些问题,又能对三维全景图像技术进行深入的理论研究,从而加快其实用化进程。计算机生成的 II 图像一方面可以弥补 II 光学成像系统的不足,另一方面可以提供基于 II 研究所需要的各种 II 图像来源。

使用计算机来生成三维全景图像,最早可追溯到 1968 年。Chutjian^[18]设计的实验使用了若干由计算机生成的场景片断,这些离散的场景片断由处于合适位置上的光学系统通过多次曝光成像。Chutjian 所采用的方法不能产生高质量且视差连续的图像,同时由于空间片断的离散化和多次曝光的透明性,使得生成的图像存在空白地带,并且这种系统不能完成对三维全景图像的实时记录。尽管有如此多的缺陷,但是该方法开创了使用计算机来生成三维全景图像的先河^[19]。1978 年,Igarashi^[20]根据由 Sokolov 提出的利用小孔阵列生成三维全景图像的原理,使用简单几何近似方法成功地生成了完全由计算机合成的三维全景图像,并将图像从 CRT 投射到一个微透镜阵列屏上完成对图像的显示。由于受到当时计算机显示技术的限制,计算机生成图像的模式非常简单并且生成的图像质量也不理想。

一直到上世纪末,CGII 并未受到人们的高度重视。近年来,随着计算机运算能力的迅速提高以及高质量显示技术的

快速发展,人们加紧研究如何生成高质量 II 图像并取得了一些好的成果^[21-23]。Cartwright 首次系统地调查分析了计算机生成照片拟真三维全景图像的各种相关知识,如成像理论、相机模型、光学模型等^[21],他的工作为 CGII 的深入研究奠定了良好的基础。随着计算机图形学技术的发展,用计算机来生成三维场景并以照片拟真质量输出相应的 II 图像将不再是难以解决的问题。随着研究的深入,CGII 所包含的问题越来越广泛,比较突出的有生成速度问题、定位问题及视角分析等^[22,23,35-41]。

3.1 视角分析

目前 CGII 的工作中最受关注的是分析 II 成像的光学过程及每个微透镜的有效视区 FOV(Field of View)和视角,以减轻 flipping 现象^[35-41]。

在一般的 II 系统中^[42],视角 θ 通常定义为(如图 2 所示):

$$\theta = 2\arctg(p/2d)$$

其中 d 为元素图像到微透镜阵列的距离, p 为元素图像的尺寸。

不引起被记录物体重叠及元素图像 EI 之间的重叠的最大尺寸 $L_{\max}$ 为(如图 2 所示):

$$L_{\max} = 2z * \tg(\theta/2)$$

其中 z 为被记录物体到微透镜的距离。

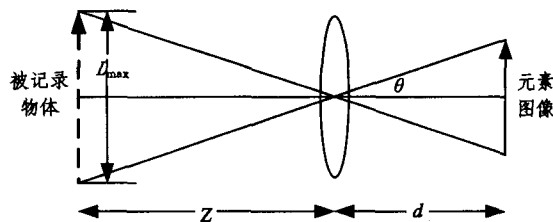


图 2 视角分析示意图

最大观测范围 x 为(如图 3 所示):

$$x = L + 2z * \tg(\theta/2)$$

其中 $L = (n-1)pl$ 是微透镜阵列的有效尺寸, pl 为每一个小微透镜的大小, n 为微透镜个数, z 为被记录物体到微透镜阵列的距离。

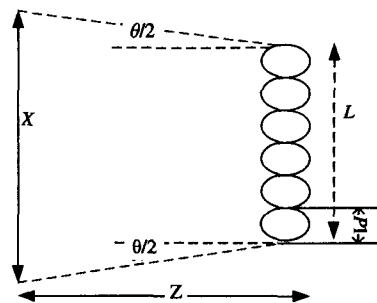


图 3 最大观测范围示意图

近年来学者们针对视角问题给出了不同的解决方法^[35-41]。除 Ren^[35]于 2005 年提出一种全新的在不改变光学系统的情况下提高视觉特性的方法—MVW(maximum viewing width)外,还有以下几种方法。

一种是通过改变微透镜的折射率来增大视角^[36]。Park 等人曾试图使用具有较小 f -number(焦距与宽度的比)的元素微透镜来增大视角,但由于微透镜相差的问题,元素透镜的 f -number 一般很难达到人们的希望值。另外,由于较大的元素透镜尺寸必然导致给定尺寸的显示平面所能容纳的微透镜

个数的减少,同时图像的 3D 效果也将受到影响。因此该方法存在一定的局限性,使用得并不多。

另一种是通过移动微透镜的位置来增大视角^[37-39]。Adrian Stern 和 Bahram Javidi 首次提出的可计算合成孔径 II (CompSAII) 技术有效提高了 II 的视区及视角^[37,38]。合成孔径通过成像系统和处于垂直于光轴的平面上的物体的相对运动来获取,扫描时获得的 II 图像结合在一起创建合成孔径 II 图像(SAII)。FOV 及视角范围取决于系统孔径大小,而系统孔径大小则由微透镜阵列孔径 L_A 和获取透镜孔径 D 共同决定。因此,如果增大 II 系统的孔径,便增大了 FOV 及视角范围。图 4 即为 CompSAII 原理示意图,如果两个透镜阵列间的位差为 Δx ,则微透镜阵列的有效孔径尺寸增大至 $L_A + \Delta x$,而获取设备的有效孔径变为 $D + \Delta x$,因此 FOV 增加了。同时如下图 4 中虚线所示投影角度也由原来的 α 增为 β_m 。但需要注意的一点是:相对位移 Δx 应小于系统的临界孔径 $\min(L_A, D)$ 。

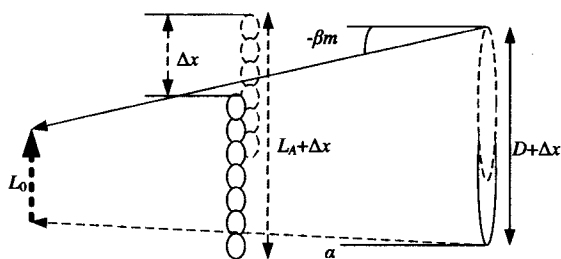


图 4 合成孔径 II 原理图

Rieko Fukushima 等为计算机生成三维全景图像创建了一种新的最大化视区控制方法^[39]。在该算法中,元素图像数组由两类元素图像组成,它们的子像素数分别为 N 和 $(N+1)$ 。出射小孔被设置为子像素宽度的 4 倍,同时元素图像的平均宽度在一定程度上超过出射小孔,这通过将元素图像设置为 $(N+1)$ 个子像素来实现。在这种情况下,所有元素图像产生的光线都可以进入视区,在距离显示平面 L 左右不会出现光线的汇合点。该算法已经应用于具有棱柱状微透镜阵列的 QUXGA-LCD(192ppi) 32 条平行光线的一维 II 系统,在 1.5m 处的视区宽度已经达到 500mm,该值几乎达到传统系统的 5 倍。当硬件参数(如出射小孔的大小、微透镜阵列的焦距、元素图像的宽度等)相同的条件下该算法能在某距离 L 处使视区达到最大值。

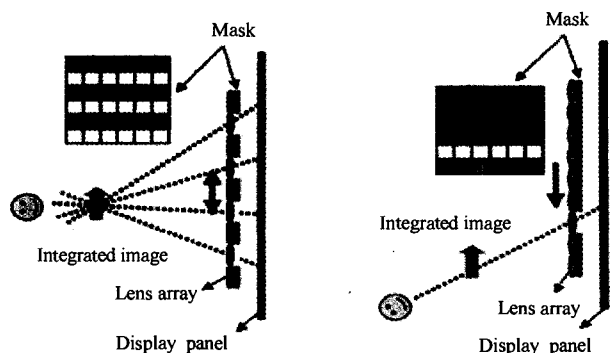


图 5 通过蒙板增大 II 视角示意图

此外,还有通过较复杂技术来增大视角的^[40]。Lee 等在 II 的显示过程中通过轮流开、闭相邻元素微透镜来增大 II 的视角,同时弱化了 flipping 现象^[40]。该方法主要通过移动蒙板来实现。在蒙板移动过程中,对应于每个小透镜的显示平面的面积增加了,因此在通过后像效应增大视角的同时弱化

了 flipping 现象,并避免了元素图像间的互相重叠干扰,如图 5 所示。如果能达到正常后像效应的速度,该算法在实际中将有助于获得较大视角的 3D 显示系统。此方法能有效地增大视角,但对速度要求较高。

3.2 速度及定位

除了视角问题,CGII 的生成速度以及定位问题也引起了学者们的注意^[22,23,41]。

英国德蒙福特大学图像研究小组的 G. Milnthorpe 等^[23]使用 Line-drawing 及插值算法,利用小孔微透镜阵列生成网状 II 图像。G. Milnthorpe 还继续对其分析研究以期能实现交互、实时操作并提高渲染速度。为了减少处理时间,该系统仅分析水平视差,对未渲染的网状图像则考虑全方向视差信息,同时应用 Phong 光照模型及 Flat、Gouraud 和 Phong 阴影技术加强图像效果。同时在文献^[22]中对 II 的发展、计算机生成 II 及场景数据到全景模式的转换进行了详尽介绍并将其应用于 PROMETHEUS 项目^[41],该项目模拟生成的 3D 序列图像能在 BBC 观测站看到。

结束语 近年来,随着硬件设备的逐步完善及理论研究的深入,CGII 在艺术、医学、三维电视等领域已经得到一定程度的应用^[22,24,43-45]。K. Brown 和 M. McCormick 等使用 II 技术生成优质的计算机雕塑品^[43],该图体现了很高的几何建模水平及高雅的艺术造诣。该图最后打印大小为 600 * 500mm,且该物体前后各浮出 250mm,具有很好的视觉及动画效果,并首次在 2001 年匹茨堡国际雕塑会议上展出。S. Nakajima 和 K. Nakamura 等在 Igarashi^[20]的基础上用反转扫描线算法设计了一种新的、快速的 3D 医学图像显示系统^[24,44]。另外,由于三维全景图像技术能够较好地满足人们理想中的三维电视的各项要求,这项技术正引起不少三维显示领域内的科研机构和公司企业的注意和重视,成为三维电视领域内的研究热点^[45]。而混合内容是当前电视节目制作的主要特征^[22],计算机实时生成的独立立体视图形式的视频将是重要的,因此计算机生成 II 的出现将为电视节目制作引入了新的艺术动力与潜力。

最后需要指出的是,CGII 是个发展很快的研究方向,新的方法不断地涌现出来。随着其快速发展,人们必然要求更高质量的实时 II 图像来满足日益提高的视觉享受。虽然目前的研究距离生成实时 II 图像还有一定的距离,但随着硬件问题的解决及理论研究的深入,使用相应的技术是完全有可能实现这一目标的^[22,23]。随着各种新方法的不断涌现,计算机生成的 II 图像必将与 II 技术的研究一道逐步走向实际应用。

参考文献

- [1] Okoshi T. Three dimensional imaging Techniques [M]. London: Academic Press, 1976
- [2] Davis N, et al. Design and analysis of an image transfer system using microlens arrays [J]. Optical Engineering, 1994, 33(11): 3624-3633
- [3] Okano F, et al. Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography [J]. Applied Optics, 1998, 36(7): 1598-1603
- [4] MotoKi T, et al. Present status of Three-dimensional television research [J]// Proc. IEEE. 1995, 83(7): 1009-1021
- [5] Kim S. Recent development of 3D display technology for new market [A]. SPIE [C], 2003, 5243: 1-6
- [6] Min S, et al. Study for wide-viewing integral photography using an aspheric Fresnel-lens array [J]. Optical Engineering, 2002, 41(10): 2572-2576
- [7] Min S, et al. Enhanced three-dimensional integral imaging system by use of double display devices [J]. Applied Optics, 2003, 42(20)
- [8] Jang J, Javidi B. Time-multiplexed Integral Imaging for 3D Sensing and Display [J]. Optics & Photonics News, 2004: 36-43

- [9] 伍胜男,伍春洪. 三维集成图像技术及其在三维电视上的应用[J]. 江西科学, 22(2), 2004; 110-114
- [10] NHK STRL ANNUAL REPORT 2002 — Studies for Future Broadcasting Services and Fundamental Technologies
- [11] <http://www.extra.research.philips.com/euprojects/attest/>. ATTEST2002-2004, European IST-2001-34396 project
- [12] Wojciech M, Pfister H. 3D TV: A Scalable System for Real-time Acquisition, Transmission, and Autostereoscopic Display of Dynamic Scenes. Sig, 2004
- [13] <http://www.ddd.com> Dynamic Digital Depth Research Pty Ltd
- [14] Stern A, Javidi B. Three dimensional Image Sensing, Visualization and processing using integral imaging [J] // Proc. IEEE. 2006, 94(3):591-607
- [15] Okano F, et al. Real-time integral imaging based on extremely high resolution video system [J] // Proc. IEEE. 2006, 94(3): 490-501
- [16] Davis N, et al. Design and analysis of an image transfer system using microlens arrays [J]. Opt. Eng, 1994, 33(11):3624-3633
- [17] Ives H E. Optical Properties of a Lippmann Lenticulated Sheet [J] // Opt Soc Amer. 1931, 21:171-176
- [18] Chutjian A, Collier R. Recording and reconstructing three-dimensional images of computer generated subject by Lippmann integral photography, Appl. Opt., 1968, 7(1):99-101
- [19] Ren Jinsong. Software Tools for Integral Imaging Virtual Studios. PhD Thesis. De Montfort University, 2003
- [20] Igarashi Y, Murata H, Ueda M. 3D display system using a computer generated integral photograph. Japan J Appl Phys., 1978, 17(9)
- [21] Cartwright P. Realisation of computer generated integral three-dimensional images. PhD Thesis. De Montfort University, December 2000
- [22] Milnthorpe G, McCormick M, Aggoun A, et al. Computer generated content for 3D TV displays // Proc. IBC 2002. Amsterdam, 2002
- [23] Milnthorpe G, McCormick M, Davies N. Computer modeling of lens arrays for integral image rendering // Proc. 20th Eurographics UK Conference. Leicester, UK, June 2002; 136-141
- [24] Nakajima S, Nakamura K, Masamune K. Three-dimensional medical imaging display with computer-generated integral photography. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2001, 25:235-241
- [25] Jang J, Javidi B. Three-dimensional integral imaging of micro-objects [J]. Optical Letters, 2004, 29(1):230-232
- [26] Javidi B, Moon I, Yeom Seokwon. Three-dimensional identification of biological microorganism using integral imaging. Optics Express, December 2006, 14(25):12096-12108
- [27] Wu C, et al. Depth measurement from unidirectional integral images using a modified multi-baseline disparity analysis algorithm [J]. Journal of Electronic Imaging, 2005, 14(2)
- [28] Yeom S, Javidi B. Three-dimensional distortion - tolerant object recognition using integral imaging [J]. Optics Express, 2004, 12(23):5495-5808
- [29] Park Jae-Hyeung, Kim Yunhee, Lee Byoungcho. Elemental image generation based on integral imaging with enhanced resolution // Proceedings of SPIE. 2005, 5642:186-194
- [30] Zalevsky Z, Garcia-Martinez P, Garcia J. Superresolution using gray level coding. Optics Express, 2006, 14(12):5170-5182
- [31] Jang Ju-Seog, Javidi B. Three-dimensional projection integral imaging using micro-convex-mirror arrays. Optics Express, 2004, 12(6):1077-1083
- [32] Choi Kyongsik, Kim Joohwan, Lim Yongjun, et al. Full parallax viewing-angle enhanced computergenerated holographic 3D display system using integral lens array. Optics Express, 2005, 13(26):10494-10502
- [33] Buckhardt C B. Optimum parameters and resolution limitation of integral photography. J. Opt. Soc. Amer., 1968, 58:71-76
- [34] Okoshi T. Optimum design and depth resolution of lens-sheet and projection-type three-dimensional displays. Appl. Opt., 1971, 10:2284-2291
- [35] Ren Jinsong, Aggoun A, McCormick M. Maximum viewing width integral image, Journal of Electronic Imaging, 2005, 14(2):23019-1-9
- [36] Park J-H, Min S-W, Jung S, et al. Analysis of viewing parameters for two display methods based on integral photography. Appl. Opt., 2001, 40:5217-5232
- [37] Stern A, Javidi B. 3-D computational synthetic aperture integral imaging (COMPSAI). Optics Express, 2003, 11(19):2446-2451
- [38] Jang J S, Javidi B. Three-dimensional synthetic aperture integral imaging. Opt. Lett., 2002, 27:1144-1146
- [39] Fukushima R, Taira K, Saishu T, et al. Novel viewing zone control method for computer generated integral 3-D imaging. SPIE - IS&T, 2004, 5291:81-92
- [40] Lee Byoungcho, Jung Sungyong, Park Jae-Hyeung. Viewing-angle-enhanced integral imaging by lens switching. Optics Letters, 2002, 27(10):818-820
- [41] Price M, Thomas G A. 3D virtual production and delivery using MPEG-4 // Proc. of the Int. Broadcasting Convention (IBC 2000). Amsterdam, 2000; 8-12
- [42] Hoshino H, Okano F, Isono H, et al. Analysis of resolution limitation of integral photography [J]. Opt. Soc. Am., 1998, 15:2059-2065
- [43] Brown K, McCormick M, Davies N. The use of computer generated integral images to visualize cyber-sculpture // Proceedings of the 20th Eurographics UK Conference (EGUK. 02). IEEE, 2002; 3-8
- [44] Liao Hongen, Tamura Hongen, Iwahara M, et al. High Quality Autostereoscopic Surgical Display Using Anti-aliased Integral Videography Imaging. MICCAI 2004, LNCS, 2004:464-469
- [45] 伍胜男,伍春洪. 全景图像技术及其应用[J]. 科技通报, 2005, 21(6):714-717

(上接第 10 页)

- [19] Data Mining Group. PMML 3.1: Predictive Model Markup Language. <http://www.dmg.org/pmml-v3-1.html>
- [20] Grossman R. Standards, Services and Platforms for Data Mining // Proceedings of the First Annual Workshop on Data Mining Standards, Services, and Platforms. Washington DC, 2003
- [21] Pechter R. Data Mining Standards, Services and Platforms 2005 Workshop Report // Proceedings of the Third Annual Workshop on Data Mining Standards, Services, and Platforms. Chicago, 2005
- [22] OMG. Common Warehouse Metamodel (CWM) Specification, Version 1.1, 2003, 1(3)
- [23] 王强, 刘东波, 王建新. 数据仓库元数据标准研究. 计算机工程, 2002, 28(12):123-125
- [24] Oracle Warehouse Builder. <http://www.corba.org/vendors/pages/oracleCWM.html>, 2007
- [25] XELOPES Library. <http://www.prudsys.com/Produkte/Algorithmen/Xelopes>, 2007
- [26] Microsoft Corporation. OLE DB for Data Mining Specification V1.0, 2000
- [27] XMLA (XML for Analysis). <http://www.xmla.org>, 2007
- [28] WSDL (2007). W3C Note. <http://www.w3.org/2002/ws/desc/>
- [29] UDDI (2007). Universal Description, Discovery and Integration specification, v3.0. <http://www.uddi.org>
- [30] SOAP (2007). W3C Note. <http://www.w3.org/2000/xp/Group/>
- [31] Kurgan L, Cios K J, Trombley M. The www Based Data Mining Toolbox Architecture // Proceedings of the 6th International Conference on Neural Networks and Soft Computing. Zakopane, Poland, 2002
- [32] Krishnaswamy S, Zaslavsky A, Loke S W. Towards Data Mining Services on the Internet with a Multiple Service Provider Model: An XML Based Approach. Journal of Electronic Commerce Research, 2001, 2(3):103-130
- [33] Semantic Web. www.w3c.org/2001/sw, 2007
- [34] Data Space. www.dataspaceweb.net, 2007
- [35] Grossman R, Mazzucco M. Data Space: A data Web for the exploratory analysis and mining of data // IEEE Computer Society. 2002, 4(4):44-51
- [36] Chu R. Web Service Standards for Data Mining // 2nd International Workshop on Data Mining Standards, Services and Platforms. Chicago, 2004
- [37] Grossman R L, Hornick M F, Meyer G. Data Mining Standards Initiatives, Communication of ACM, 2002, 45(8):59-61
- [38] Amini L, Andrade H, Bhagwan R. SPC: A Distributed, Scalable Platform for Data Mining. ACM SIGKDD Exploration, 2006, 8(2):82-83
- [39] Ferrucci D, Grossman R L, Levas A. PMML and UIMA Based Frameworks for deploying Analytical Applications and Services // KDD-2006 Workshop on the Data Mining Standards, Services and Platforms. Philadelphia, PA, 2006
- [40] Chien A A, Sun Xian-he, Xu Zhi-wei. Viewpoints on Grid Standards. Journal of Computer Science and Technology, 2005, 20(1):141-143
- [41] Baker M, Apon A, Ferner C, et al. Emerging Grid Standards Computer, 2005, 38(4):43-50