

A Study on the Application of Augmented Reality to Interdisciplinary Design Education

增强现实应用在跨领域设计教育的研究

Ko, Chih-Hsiang, Assistant Professor

Department of Industrial and Commercial Design
National Taiwan University of Science and Technology
Taipei, Taiwan
linko@mail.ntust.edu.tw

Chang, Ting-Chia, Graduate Student

Department of Industrial and Commercial Design
National Taiwan University of Science and Technology
Taipei, Taiwan
Night1267@hotmail.com

Abstract—Augmented reality has become a popular research trend and a new communication media by providing improved and innovative interaction, combining virtual models and real space, making operation more intuitive, and bringing technology closer to people. Related developments in augmented reality are more mature in other countries, and it is also gradually starting to become the focus of development in Taiwan and is applied to wider areas. The purpose of this study is to explore the following four directions through literature review, interviews and experiments. (1) Academic research of augmented reality in recent years. (2) Technological development of augmented reality in Taiwan. (3) Present situation of interdisciplinary design and related fields. (4) Usability analysis of an augmented reality platform for interdisciplinary design course. Finally, conclusions and recommendations are proposed for a better application of augmented reality to interdisciplinary design education, and future directions of further studies are suggested.

Keywords- augmented reality; interdisciplinary design; design education; design communication

I. 动机与目的

工业设计教育的目的,在培育工业设计专业人才,使学生具有创新、审美及分析能力,毕业后从事产品设计、产品开发与产品企画等工作。设计实务界因应全球化竞争的压力及跨领域间协同设计沟通上的需求,启用数字化工具,已是必然的选择。为了使设计相关科系的学生,能够因应产业界的发展,随着数字科技的进步,改变原有的设计本位思维,结合其他领域的专业,许多工业设计课程也和计算机结合,将各种不同的媒体,整合成为教材,来进行教学的工作。而跨领域学习是否成功,在于不同领域间的沟通是否能够顺畅,因此本研究的目的,在于探讨设计产业跨领域合作现况,同时调查增强现实发展趋势,了解其问题与需求,并藉由增强现实的使用,导入跨领域设计教学中,解决不同领域的学生团队,在设计沟通上所遇到的问题,并累积学生对于跨领域沟通的相关经验,培育设计人才毕业后投入相关产业,减少设计团队所需的开发与成本,进而提升产业的发展。

目前工业设计教育,仍然是以传统的教学方式为主,但面对着计算机辅助教学及网络学习时代来临的冲击,会

有如何的转变,值得进一步探讨。增强现实应用在工业设计教育上,对于解释产品的造形、结构,能发挥相当的帮助。使用可操控的增强现实,将产品的造形与结构具体呈现,可以进一步说明结构上的拆解或组合方式,学习者能快速地将文字信息与图像结合,同时具备高互动性。由于增强现实与工业设计,皆以表现三维对象为目的,因此在传达的理念上,能互相贯通。Pan, Cheok, Yang, Zhu, and Shi (2006)指出,虚拟学习的应用,可以提供使用者相关的工具,在虚拟环境中寓教于乐,快速且愉悦地学习。由于增强现实式网络教学,对设计科系的教师而言,仍属一项新的技术,使用者的态度与看法,对技术的普及与教学成效而言,具有极大的影响,因此,本研究的动机与目的如下:

- (1) 以增强现实的特性为主,探讨结合虚拟对象与设计教学的相关技术。
- (2) 利用访谈与实验法,探讨跨领域受访者与受测者,对增强现实应用于跨领域设计教学的态度。
- (3) 提供相关结论与建议,以作为规划增强现实于跨领域设计教学时的参考。

II. 文献探讨

A. 增强现实

增强现实(augmented reality, AR)运用范围非常广,包括医学、娱乐、军事用途、教育学习、通讯器材等,近年来的运用,更是融入日常生活中。因应未来设计方向,以数字化辅助工具为主的设计流程,已经成为一种核心驱势,其中增强现实技术发展在最近十年间,逐渐成为空间设计、艺术设计或产业开发,甚至于医疗、娱乐的利器,并且慢慢取代传统虚拟现实(virtual reality, VR)技术,成为全球各国积极投入的研究重点项目。增强现实与虚拟现实两者的差异,在于传统虚拟现实技术目的是在取代真实的世界,因此必须透过相关程序软件或仪器,产生背景、物品,甚至于取代所有现实世界的对象。Azuma (1997)指出增强现实是支持现实,而非全然地取代现实,呈现给使用者的,是真实与虚拟的对象同时存于相同空间中。虚拟现实非常耗费成本及开发时间,所呈现的效果相

来说,也是有其技术上的限制。然而增强现实却是在现实环境中增加信息,在使用的同时仍能看到外界的真实景物,透过计算机所产生的虚拟图像,则会附加在真实景物上,两者并存于眼前。如此一来可以简化开发时间及节省资源,并加强图像与实际空间的结合,于不同的领域上都有其发展应用的空间。

不少学者探讨 AR 在教育上的应用,并提出其愿景(Liarokapis, Petridis, Lister, & White, 2002; Fjeld, Juchli, & Voegtli, 2003; Kaufmann & Schmalstieg, 2003; Kaufmann, Csisinko, & Totter, 2006; Alcañiz, Contero, Pérez-López, & Ortega, 2010)。这些研究主要在呈现 3D 对象给学生学习,以协助他们理解复杂的空间问题。Billinghurst, Weghorst, and Furness (1998)提出利用增强现实技术的共享空间概念,强化设计对象与设计环境表现的真实性,作为计算机支持协同工作的环境。在其所建构的设计环境中,设计者透过显示系统所看到的,乃是将虚拟对象覆盖在真实的环境中,而不是将设计者融入虚拟环境,而脱离真实的工作环境。De Michelis, De Paoli, Pluchinotta, and Susani (2000)在 Domus 学院利用增强现实来扩增设计师的工作空间,藉以观察设计师在虚空间中的互动关系,虚空间的可塑性及弹性,是真实空间所缺乏的,也使得虚空间成为一种新的空间型式。Regenbrecht and Wagner (2002)利用头戴式显示器,让设计师可以用有形的接口,与二维及三维的信息进行互动,设计师可以使用麦克笔工具加上批注,系统实时将批注显示在设计师的视野中,这在图面沟通及模型检讨上特别有用。Wagner and Schmalstieg (2003)于现有的 PDA (personal digital assistant, 个人数字助理)上,开发出一套独立的增强现实系统,包含数字摄影机及定位追踪功能,提升了用户的移动性。Djajadiningrat, Overbeeke, and Wensveen (2000)则由产品设计的角度,提出增强现实在设计时可以利用的准则,以避免发生错误,包括运用适当的视觉设计技巧、了解用户的经验等,并建议工业设计师应该参与增强现实的技术发展。因此,增强现实的发展不单只是技术上的议题,也包含了各种形式原则与设计原理的应用,才能使增强现实更符合使用者的需求。

B. 跨领域设计

跨领域设计为现今产品设计团队常见的型态,通常被视为企业中创新设计活动的关键,目的在于确保组织中的各项事物的协调与整合,团队中不同领域的人员,必须依据相同的产品目标与方向而链接在一起。Denton (1997)指出,一种理想的新产品设计团队即是「跨多领域团队 (multidisciplinary team)」,其成员来自不同的领域,并能提供各种不同专长、观点及经验,至于每个领域的专业性重要性是相同的。然而,团队跨多领域的程度,往往根据项目的类型或由竞争的市场决定,例如知名的 IDEO、ZIBA 等设计公司,皆网罗不同国籍的专家共同工作,透过不同的文化和职能背景的团队交错脑力激荡,更能成功发展出迎合不同市场需求的国际性产品。

C. 设计沟通

在设计中,团队的沟通扮演着重要的角色。英国设计委员会(Design Council, 2007)在设计过程定义中也提出,

沟通在整个设计活动需要被维护着。沟通促进设计概念表达,也促进委托业主审核时的开放,帮助设计项目审核时不会走偏。在跨领域合作渐渐起步的社会里,各个领域人才间有着不同的想法激荡着,要串连各式专业思考,将其化为一项完整的设计案,沟通更是不可或缺的。设计沟通过程中,除了利用面对面 (face-to-face, FTF) 的沟通以外,也常透过设计图中对绘图与读图的共同理解规则来进行沟通,如有需要再辅以文字说明(Forslund, Dagman, & Söderberg, 2006)。设计人员也习惯使用图面方式进行思考,图面是一种媒介,在沟通上也将想法图像化或以口述、文字方式,传递了彼此的想法。设计人员在设计过程中常面对两种沟通,第一是将产品功能、产品外观与设计理念,提供自我修正和发展之用。第二是将自我修正和发展的成果,与其他设计人员、营销人员或客户沟通讨论(Liu, 1998)。对设计人员来说,设计沟通可以由脑力激荡 (brainstorming) 中激发更多的想法,也可以在一个设计案中提供意见交换的功能,清楚传递与不同领域间或与客户端间的想法。

III. 研究方法

A. 增强现实与跨领域设计相关人员访谈

本研究分成两个阶段,第一阶段是台湾地区增强现实产业与学界发展,及产业界针对跨领域设计相关的运作方式与需求进行了解,主要以半结构式访谈法为主,并对受访者所陈述的回答进行文本分析。访谈对象包含拥有设计相关教学经历、增强现实学术研究、设计实务界专家及增强现实相关产业人员共九位,表 1 为受访者相关资料。其中任职于各大专院校的研究人员,近三年皆指导过关于增强现实相关应用的论文,此外尚有具跨领域产品设计开发产业的设计部门经理、资深设计师,及目前台湾各大增强现实相关产业开发人员、与营销部门总监。因此,对于目前台湾跨领域产品设计开发实务及增强现实开发应用方式等议题,皆有充分的了解。

表1 第一阶段受访者相关资料

目前主要工作性质		
跨领域设计 开发	设计与增强现实 相关研究	增强现实相关 产业
3 人	3 人	3 人
相关研究与开发经验		
1~2 年	3~5 年	6 年以上
2 人	5 人	2 人
学历		
学士	硕士	博士
1	3	5

本研究为使访谈过程能够顺利进行,进行访谈前皆预先将访谈问题大纲提供给受访者,以利受访者能够先行了解访谈的内容与相关议题,并预做准备。访谈时间长短预设为50分钟左右,待实际访谈时,则由受访者主控,实际的访谈时间约介60至90分钟间。研究者透过录音回顾的方

式，于访谈结束后进行逐字稿的编写，并将内容送交受访者确认，以供后续分析之用。

B. 跨领域设计教学的增强现实平台设置分析

第二阶段针对跨领域设计教学的增强现实平台设置，进行使用性分析，本研究采用ARtoolkit制作的简易增强现实设计媒材，与传统2D图面的设计媒材呈现方式，来进行跨领域设计沟通的相关比较。受测对象皆为台湾北部地区大专院校学生，以便利抽样的方式，针对管理、设计、与机构工程相关背景的学生，进行跨领域设计团队的分组。每一小组包含上述三种不同背景的学生各一人所组合而成，总计6个工作小组，进行跨领域的设计合作讨论，如表2。

表2 第二阶段受测者相关资料

目前主要工作性质		
管理相关	设计相关	机构工程相关
6 人	6 人	6 人
性别		
男	女	
10	8	
学历		
大学部学生	硕士班学生	博士班学生
7	10	1

本研究为使实验过程能够顺利进行，进行实验前皆预先将本次研究的主题与相关角色定位，提供给受访者了解，并进行实验操作的说明，以利受测者能够先行了解实验进行的内容过程与相关议题的探讨，并预做准备。实验时间长短预设为 40 分钟左右，每一小组分别利用本研究所提供的增强现实媒材与传统 2D 图面媒材，进行两个设计项目的讨论，讨论时间则由管理相关背景的同学主控，并于项目讨论完后由本研究人员进行焦点访谈，针对实验中不同媒材的使用性相关细节进行访谈，访谈时间约介 15 至 20 分钟间。研究者并透过录音回顾的方式，于访谈结束后进行逐字稿的编写，并将内容送交受测者确认，以供后续分析之用。

IV. 结论与贡献

A. 台湾地区增强现实发展现况

本研究访谈台湾地区代理增强现实技术的软件代理、程序开发应用厂商，亦访谈增强现实程序开发人员，概分为下列三类：(1)代理厂商发展，(2)开发应用厂商发展，(3)相关人才需求来讨论。

(1) 代理厂商发展

根据目前担任代理知名增强现实软件的厂商业务表示：

我们增强现实主要使用的是 Unifeye 这套软件，另外可以配合 Shockwave player 去播放，因此可以让客户端无须下载软件，透过网络就可以看到。目前增强现

实大部份应用在广告营销、电子书、数字学习、数字典藏、展场互动、电子宠物、虚拟摄影棚和互动游戏等。

由上述访谈得知，增强现实技术多应用于成果展示，目前在使用方面，大部分仍需要透过图像 (icon) 去感应辨别，但已有无框 (markless)、且不需黑白的符号，可以用任何图像取代既有的符号。可以同时感应六张甚至更多符号，如此一来可以进行比较，也可以让一张符号变成启动其他符号感应的机制，也就是说可以透过人的动作，去调整画面中的模型机制的改变。为让使用者更容易上手，程序设计的改变，让 AR 使用不需要有程序背景的人员才可以操作，仅需要简单的教学课程即可学会使用，主要的困难点是需要好的 3D 建模能力与好的逻辑能力，因为 AR 软件需要做牵连机制，让独立项目更流畅合理。现在 AR 的技术越来越发达，在模型的精致度上已有很大的突破，以模型档案来说，在 10-30 万个面内，AR 都可以做很好的展示，但目前 AR 仍受限于配备与客户预算。

(2) 开发应用厂商发展

本研究亦访谈台湾地区具增强现实技术知名厂商，目前公司走向以接案形式为主，替客户制作应用增强现实项目。该厂商所使用的软件为 D'fusion，硬件上一般中阶计算机即可使用，若手机及平板计算机的硬件配备支持，也是可以使用的。目前该公司在增强现实上，已开发出无需使用图纸符号，可将生活中的用品如保特瓶或者透过人脸辨视，成为感应增强现实的「符号」。而在增强现实外包案上，主要因经费问题，台湾目前增强现实市场比较小，另外一个原因是增强现实目前在台湾较没营销，大多是接国外的代理。操作模式上为客户提供模型，由厂商来执行程序端。增强现实的应用方面很广，各种产业都可以适用，在商业广告上尤多，不论是卖场、展示会、或云端科技，皆有应用的范例。以杂志为例，结合辨识卡片的话，使用 AR 技术可以同时增加杂志和卡片的销售量。教学方面学校也有使用在展示和研讨会上的案例。

(3) 相关人才需求

根据访谈结果，以台湾现况，增强现实技术需要的相关人员有美术人员、3D 建模人员、资工技术人员、逻辑编写人员、网页人员。美术人员负责做增强现实的接口设计，让接口程呈现更美观且直觉；3D 建模人员则负责成果展示品的 3D 模型制作；资工技术人员负责开发新的程序；在制作独立项目时，对象的动作及反应牵连，需要极佳的逻辑编写，逻辑编写人员让独立项目更合理且流畅；因现今增强现实在网络上渐渐崭露头角，因此网页技术人员也是不可或缺的。另外现今增强现实技术的软件都是英文接口，且许多英文单字无法直接用中文去做解释，目前担任代理知名增强现实软件开发的技术人员就表示：

接口不做中文化的原因，是因为有许多英文单字其实就是那个意思，不能用中文来翻译，像「render」这个字就很难用一个中文字词，让人了解它的意思。

因此除了技术能力以外，英文能力也略显重要。另外，根据目前台湾某大学增强现实领域教授表示：

在我们大学及研究所的训练,较少让学生自己写程序,大部分是我写好程序让学生来应用,真正能开发其技术的人才很少。

由此可见,台湾地区急需相关人才的培育与技术支持,才能因应世界对于增强现实相关领域的发展,不至于落后。

B. 台湾地区增强现实使用与跨领域设计发展

另一方面,本研究期望以增强现实系统作为跨领域设计沟通的媒材,辅助不同领域的工作人员,能够透过增强现实平台的使用,来达到良好的沟通,因此访谈增强现实产业界人士及相关研究人员。担任增强现实相关技术开发公司的业务专员指出:

目前台湾地区使用增强现实的单位,大多是应用AR技术在设计成果的展示,及游戏开发或医疗方面较多,手机方面的使用还是刚起步,设备方面大多还是需要屏幕及网络摄影机的使用。

本研究将目前台湾增强现实使用方式与设备状况,分为下列三项:

(1) 头戴式显示器

头戴式显示器为传统增强现实的使用方式,使用者必须配戴头戴式显示器,由于可以看见清晰的全视域真实世界,因此较为真实。但头戴式显示器的价格高昂,且头戴式显示器设备安装及操作都需要学习,用于多人讨论,则每个人都必须配戴头戴式显示器,成本较高,不利于多人讨论。另外现有视讯技术仍有其限制,它所呈现的真实世界的视觉质量还不够细致,甚至会降到合成图像的水平,目前,头戴式显示器的质量仍然比不上人类眼睛的视觉。

(2) 传统屏幕

利用传统屏幕于跨领域设计,适合公司在内部跨领域讨论时使用。其接口较让用户感到熟悉、容易上手,配备仅需计算机主机、屏幕和网络摄影机,配备成本低,在业界,这样的设备不需另外取得,在公司内部随时都可以使用,因此接受度高。但移动性较低,若是使用笔记本电脑,则能增加其移动性。在画面呈现上较为良好,屏幕的大小也会影响使用者观看的感觉,另外,计算机的效能往往决定呈现的质量好坏。

(3) 手持装置

手持装置包含智能型手机及平板计算机等,目前是市面上日渐普及的3C产品,实时沟通的特性为生活带来许多便利,也让人与人之间的距离更加紧密。应用于增强现实在产品开发的阶段,可使设计沟通更快速。手持装置体积小,携带性极佳,适合远距沟通、实时沟通、户外沟通,或工厂与设计公司间讨论,无法使用计算机时。目前智能型手机及平板计算机具有多点触控的特性,如果配合手势辨识功能,在往来沟通上可更容易了解讨论重点。唯目前硬设备不如一般计算机,程序执行上较缓慢;分辨率较低且屏幕较小,画面呈现上也较一般计算机差。

现今产业的发展,设计师必须与不同领域工作者合作,藉由跨领域工作者的不同专业角度,来观察并检视现有问题,做为发展方向。但由于不同领域工作者的知识背景不同,很难在短时间内,完整的表达思考的模式,增加了人力成本的浪费与减低产品开发的效率。但随着科技的进步,原有的面对面沟通方式,随着网络的普及、数字工具的创新、及跨国合作甚至于在线会议的进行,开始有了不同的风貌,根据曾任以跨领域设计开发的知名设计公司的资深设计师指出:

目前的发展状况,跨领域的合作方式已经是不可避免的,在跨领域的沟通过程中,最常使用到的是3D模型,因为3D模型所呈现的立体感,比一般的图面媒材让不同领域的工作人员更能够了解问题所在。

而另一位曾任电子产品专业设计代工公司的资深设计师指出:

设计师的草图已经变成设计师个人的概念构想,并不能利用手绘草图作为跨领域的沟通方式,与机构或电子工程人员或老板沟通,一定需要使用最少是3D模型或实体模型。

又依据目前担任以跨领域设计开发的知名设计公司的产品经理指出:

不论是面对台湾地区或国外客户,皆是以3D模型或实体模型进行远距沟通,来协助设计开发项目的进行。

由上述访谈结果可知,目前在产品设计开发中,3D或有立体感的实体模型,是跨领域设计过程中,最常使用也是必须的媒材,而增强现实是以结合3D模型与真实空间方式来表现,有其使用上的价值与利基,因此在跨领域设计中,有许多切入点可以导入增强现实技术,解决跨领域设计开发流程中所遇到设计沟通问题,以减少开发与人力成本,并提升产业的发展力。

C. 应用于跨领域设计教学的增强现实平台建议

根据上述对于目前台湾地区产业界的发展状况,跨领域的合作式设计是不可避免的状况,因此在设计教学的过程中,导入跨领域的设计团队运作,让学生能够在学校就能与不同领域的同学进行交流与沟通,并累积相关经验,将是未来的发展。同时随着科技的发展,增强现实成为了新兴的媒材,在这样的背景下,本研究以增强现实应用于跨领域设计沟通作为实验后的焦点访谈发现,目前增强现实媒材相较于传统2D图面媒材,有下列优势:

- (1) AR可以多方面的移转,具立体感及方便性。
- (2) AR可以不用制作草模。
- (3) AR可以自由操作角度。
- (4) AR操作上具有实时性,因此在旋转操作模型时,会有更多想法,比传统2D图片的使用更方便。
- (5) AR的使用增加以往讨论时的互动性。
- (6) AR帮助对3D不了解的人更容易进入状况。

然而, 本研究所采用的增强现实呈现方式, 是以完全没有任何材质及动态的白模进行, 在这样的操作过程下, 受测者对于增强现实媒材的相关问题, 提出了下列的看法:

- (1) 目前应用上有很多方位抓不到, 有死角。
- (2) 手碰图片模型会消失, 是目前的缺点。
- (3) AR 虽然可以和实境结合, 但实境的场景过于单调。
- (4) AR 最好可以 360 度翻转, 并具有缩放功能, 使互动更直觉, 最好也能给予功能上的回馈。
- (5) 画面无 render, 细致度上仍不足
- (6) 操作自由度太高, 无法预设呈现角度, 假设需要临时说明设计师未注意到的细节, 则无法讨论或是讨论的时间可能因此而延长。

因此, 本研究针对未来增强现实于跨领域设计教学研究平台中的建置, 做出下列建议:

- (1) 增强现实媒材的应用, 必须要有缩放的功能。
- (2) 除3D模型的呈现外, 可辅助标注尺寸或重点标明的功能, 对讨论案相关的细节有所帮助。
- (3) 可结合不同的媒材(如2D图画)进行复合媒材的应用, 提供使用者于沟通时更详细的数据。
- (4) 3D模型材质的呈现, 满足不同领域的人员对于材质应用上的想象。
- (5) 操作接口的图像设计及相关操作配对, 必须要符合不同背景的使用者需求。
- (6) 图卡的替换流畅度, 提高跨领域沟通中的流畅。

增强现实的学习环境, 使人们更能发现学习的真正本质, 从事教育的人员也应该参与其发展, 以引导这项科技的成长, 也许更能影响教育改革的方向。增强现实技术能对教育所做的贡献是无限的, 只要持续的发展, 相信学生所受的教育方式将会更生动、活泼且有趣。将增强现实式教学运用在工业设计教育上, 对于解释产品的造形与结构, 能发挥相当的帮助, 进而提升学习的兴趣与成效, 是未来在工业设计教育上需要加以推展的。最后, 本研究期望相关结论与建议, 能作为未来导入增强现实技术于跨领域设计教学流程应用的参考。

致谢

本研究为国科会计划 NSC99-2410-H-011-025-MY2 的一部份, 承蒙国科会经费补助, 特此致谢。

REFERENCES

[1] M. Alcañiz, M. Contero, D. C. Pérez-López, and M. Ortega, "Augmented reality technology for education", in *New Achievements in*

Technology Education and Development, S. Soomro, Ed. Vukovar, Croatia: InTech, pp. 247-256, 2010.

[2] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality", *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385, 1997.

[3] M. Billinghurst, S. Weghorst, and T. Furness, "Shared space: An augmented reality approach for computer support collaborative work", *Virtual Reality: Systems, Development and Applications*, Vol. 3, No. 1, pp. 25-36, 1998.

[4] H. G. Denton, "Multidisciplinary team-based project work: Planning factors", *Design Studies*, Vol. 18, No. 2, pp. 155-170, 1997.

[5] Design Council, *Eleven Lessons: Managing Design in Eleven Global Companies*. London: Design Council, 2007.

[6] J. P. Djajadiningrat, C. J. Overbeeke, and S. A. G. Wensveen, "Augmenting fun and beauty: A pamphlet", in *Proceedings of DARE 2000 on Designing Augmented Reality Environments*, W. Mackay, Ed. New York: ACM Press, pp.131-134, 2000.

[7] M. Fjeld, P. Juchli, and B. M. Voegtli, "Chemistry education: A tangible interaction approach", in *Proceedings of INTERACT '03*, M. Rauterberg, M. Menozzi, and J. Wesson, Eds. Amsterdam: IOS Press, pp. 287-294, 2003.

[8] K. Forslund, A. Dagman, and R. Söderberg, "Visual sensitivity: Communicating poor quality", in *Proceedings of the Design 2006 / 9th International Design Conference*, D. Marjanovic, Ed. Dubrovnik, Croatia: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, pp. 713-720, 2006.

[9] H. Kaufmann and D. Schmalstieg, "Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality", *Computers & Graphics*, Vol. 27, No. 3, pp. 339-345, 2003.

[10] H. Kaufmann, M. Csinko, and A. Totter, "Long distance distribution of educational augmented reality applications", in *Proceedings of EUROGRAPHICS 2006*, W. Hansmann and J. Brown, Eds. Oxford: Blackwell, pp. 23-33, 2006.

[11] F. Liarokapis, P. Petridis, P. F. Lister, and M. White, "Multimedia augmented reality interface for e-learning (MARIE)", *World Transactions on Engineering and Technology Education*, Vol. 1, No. 2, pp. 173-176, 2002.

[12] Y. T. Liu, *Restructuring Shapes: Design Cognition and Computation*. Ann Arbor, MI: Proctor, 1998.

[13] G. De Michelis, F. De Paoli, C. Pluchinotta, and M. Susani, "Weakly augmented reality: Observing and designing the work-place of creative designers", in *Proceedings of DARE 2000 on Designing Augmented Reality Environments*, W. Mackay, Ed. New York: ACM Press, pp.81-91, 2000.

[14] Z. G. Pan, A. D. Cheok, H. W. Yang, J. Zhu, and J. Shi, "Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments", *Computers & Graphics*, Vol. 30, No. 1, pp. 20-28, 2006.

[15] H. T. Regenbrecht and M. T. Wagner, "Interaction in a collaborative augmented reality environment", in *Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computer Systems*, L. G. Terveen and D. R. Wixon, Eds. New York: ACM Press, pp.504-505, 2002.

[16] D. Wagner and D. Schmalstieg, "First steps towards handheld augmented reality", in *Proceedings of the Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers*, C. Narayanaswami, Ed. New York: IEEE Computer Society, pp.127-136, 2003.