

# 保持生理特征的人脸编辑

吴明峰<sup>1)</sup> 费广正<sup>2)</sup> 税琳琳<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(中国传媒大学计算机与软件学院,北京 100024) <sup>2)</sup>(中国传媒大学动画学院,北京 100024)

**摘要** 提出了一种保持生理特征的交互式人脸编辑方法。采用控制点分层策略,即以用户直接操作的控制点对(称为主控点对)为输入层,其他控制点对(称为次控制点对)为输出层,建立人工神经网络,然后采用误差反向传播法(Error Back Propagation)学习,从而建立主、次控制点之间的约束关系,最后通过输出层将编辑信息在模型中进行插值。该编辑结果可以应用到具有相同拓扑的任意人脸模型上。实验结果表明,采用分层控制的方法不仅保持了编辑操作的方便性、精确性,同时还保持了人脸生理特征的真实性。

**关键词** 主控点 次控制点 人工神经网络 误差反向传播法

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2006)12-1859-06

## Physiological Feature-preserved Facial Modelling

WU Ming-feng<sup>1)</sup>, FEI Guang-zheng<sup>2)</sup>, SHUI Lin-lin<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Computer and Software School, Communication University of China, Beijing 100024)

<sup>2)</sup>Animation School, Communication University of China, Beijing 100024)

**Abstract** In this paper we present an approach for physiological feature preserved facial modelling. We employ a multi-layered strategy, where user directly handled control points (called primary control points) are taken as an input layer and the other control points (called secondary control points) are taken as an output layer. An artificial neural network is built upon these layers. A set of face models is used to train the network using Error BackPropagation approach. The trained constraints are then transferred to the output layer to guide the interpolation of editing information over the facial model. The result can apply to any face models with the same topology. Experimental results show that the proposed multi-layered approach not only provides efficient and exact editing operation, but also preserves the fidelity of the physiological feature of facial models.

**Keywords** primary control points (PCP), secondary control points (SCP), artificial neural network (ANN), Error BackPropagation (EBP)

## 1 引言

人脸建模在游戏、电影、视频会议、人机接口及虚拟播音等众多领域有着十分广泛的应用。自20世纪70年代以来,人脸建模领域已经有了很大的发展,出现了很多成功的方法。

其中一类是基于图像的人脸建模方法<sup>[1-6]</sup>。该方法的主要思路是先在图像上进行特征点标注,然后对标有对应特征点的模型进行变形,最后贴上纹

理。根据使用图像的数量该类方法可分为4小类:基于单幅图像<sup>[2]</sup>、基于两幅正交图像<sup>[3,4]</sup>、基于任意两幅图像<sup>[5]</sup>和基于多幅图像<sup>[6]</sup>的方法。此类方法具有简便、直观的操作方式,但由于对编辑操作的插值处理过于简单,生成的模型质量往往不高。

另一类方法是先构造通用模型<sup>[7]</sup>,然后从人类测量学的统计结果出发对其进行约束得到个性化模型。这类方法产生的几何变化比较满足人脸生理特征,但因缺乏对模型的直接编辑控制,往往不能满足某些特定的形状需求。

基金项目:国家自然科学基金项目(60403037)

收稿日期:2006-05-30 改回日期:2006-06-19

第一作者简介:吴明峰(1981~)男,2006年于中国传媒大学计算机与软件学院获计算机应用专业硕士学位,现于湖北电视台工作。主要研究方向为人脸建模与动画。已经在国内核心期刊发表论文2篇。E-mail: wumingfeng81@yahoo.com.cn

人脸编辑亦可看成是一类空间变形技术,在空间变形领域也有很多成功的算法。例如全局和局部变形的概念<sup>[8]</sup>,自由变形算法(FFD)<sup>[9]</sup>等。上述两种方法是将变形物体首先嵌入一个中间空间,当中间空间的形状发生变化时,再将变形传递给嵌入其中的物体。在 FFD 的基础上,人们对其进行了改进,研究产生了直接控制自由变形(DFFD)方法<sup>[10]</sup>。DFFD 克服了 FFD 算法的不足,用户控制的是物体上的顶点而不是网格的顶点,其核心思想是:选择物体上的点,将该点移至所需的位置,反算出控制顶点的位置变化,然后计算出物体上其他点变化后的位置。虽然 DFFD 能准确控制移动点的位置,但是却很难准确控制变形的区域。以上方法均未考虑人脸的生理约束关系,变形的精度提高主要通过增加用户可控点数目来实现,但这显然会大大增加操作的复杂度。

本文结合上述方法的优点,首先,用基于图像的人脸建模方法建立初始人脸模型,然后参照 Farkas 制订的人脸测量学参数<sup>[11]</sup>和人体头、面部测量的研究<sup>[12]</sup>,并参考将人体测量学用于约束建模的方法<sup>[13]</sup>,在初始人脸模型上标注了一系列控制点,把控制点按用途分为两类,一类是用户可直接编辑的控制点,称为主控制点,一般而言这类控制点对人脸特征影响较大,目前系统中共设置 27 个主控制点;另一类称为次控制点,这类控制点对人脸特征影响较小,因而由主控制点通过约束关系确定,目前系统中共设置 43 个次控制点。为确定主、次控制点之间的约束关系,制定了合适的控制点对作为训练样本,以主控制点为输入层,次控制点为输出层,建立一个 BP 网络<sup>[15]</sup>。通过一组已有的人脸模型数据训练输入层和输出层的约束关系。神经网络训练完毕,在进行编辑操作时主控制点上的编辑信息将首先用于确定次控制点的变化,然后两者一起决定整个模型的插值结果。虽然仍然只有主控制点上才有真正的编辑操作,但由于次控制点的位置变化由训练得到的约束关系确定而不是由通常的插值方法确定,因此这种分层模型比主控制点直接插值的方法更能准确地保持人脸的生理特征。

本文的控制点标注是拓扑意义上的,所以,当用户通过基于图像的人脸建模方法建立新的人脸模型以后,不需再标注就可以进行编辑。

引入了分层控制的概念,用户仅需编辑有限几个(并非所有)主控制点即可确定标注在整个网格上的控制点的变化,并进一步将编辑结果插值到整个模型

上,因此操作简便且直观。此外,采用高斯函数作为插值函数,便于对每个控制点的影响范围进行控制,还可对各控制点的高斯参数进行预先设定。

## 2 系统概述

图 1 是系统的工作流程图。系统是以基于图像的建模系统为基础的编辑系统。

(1) 用基于图像的建模方法生成初始人脸模型,要注意的是初始人脸模型和标准人脸模型库中的模型是同一拓扑的。

(2) 判断是否已标注了控制点并且已经训练好他们之间的约束关系,如果是,则直接将控制点信息映射到该初始人脸模型上,如果不是,则先要根据本文所述的方法建立控制点信息。

(3) 让用户进行编辑调整。将编辑结果插值到整个模型上。

(4) 如果用户满意,则结束,不满意则转到第 3 步继续。

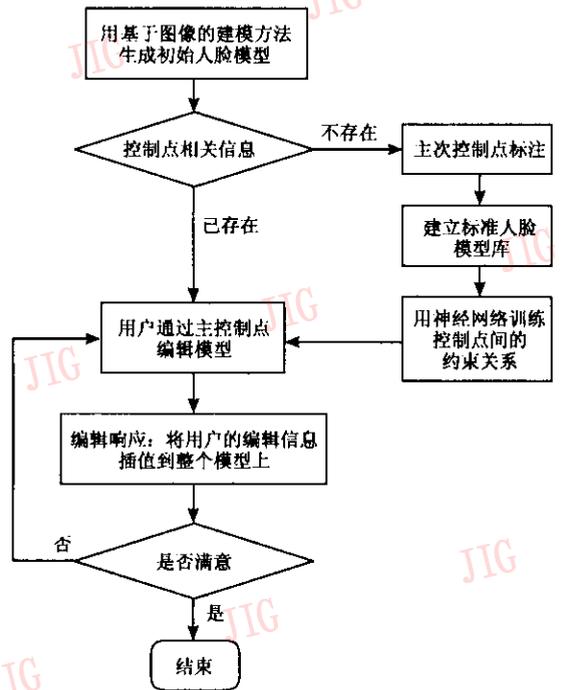


图 1 人脸模型编辑系统的工作流程图

Fig. 1 The flow of face model editing system

## 3 控制点标注和标准模型库建立

人脸测量学研究表明:人体是一个统一的整体,

各部分生长发育具有协调一致性, 头面部也不例外。这样就形成了成人较为稳定、各部分比例适当的头面部形态, 而头面部的一些测量项目之间也必定存在着某种规律性的联系。所以, 模型库需要满足以下条件: 同一种族; 成人(20岁~60岁); 男女性模型库分别建立。

由于受设备的限制, 很难获得大量的真实人头 3 维扫描数据, 因此采用 FaceGen Modeler 人脸专用建模软件, 生成特定年龄、性别、种族的人脸模型。若能获得真实 3 维扫描数据, 则需预先对扫描数据进行归一化处理<sup>[14]</sup>, 建立统一的拓扑。

### 3.1 控制点标注

参考了头面部的一些测量项目的相关性数据<sup>[6]</sup>, 将变化范围很大, 与其他控制点相关性很强的点设置成主控制点, 而将变化范围比较大, 与其他控制点相关性不强的点设置为次控制点。共设置了 70 个控制点, 其中主控制点 27 个, 次控制点 43 个。如图 2 所示。

图中白色点为主控制点, 黑色点为次控制点。

无论是用软件直接生成还是得到 3 维扫描数据后进行归一化, 最终模型都能具有统一的拓扑和几何, 因此只需要对其中一个模型进行以上的标注, 其他模型就能索引到该标注信息。

### 3.2 控制点对的确立

为保证人脸生理结构的真实性, 需要确定合适的控制点对作为神经网络的输入层和输出层。参考人脸测量学, 制定了以下的控制点对。主控制点对是输入层, 次控制点对是输出层。

主控制点对为主控制点 3 维坐标之间的差值, 共有 31 对:

- 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-7, 2-4, 2-7, 8-10, 9-12, 10-12, 11-13, 11-10, 11-12, 12-20, 20-18, 22-19, 20-22, 21-23, 21-20, 21-22, 10-14, 22-24, 15-25, 4-15, 4-25, 5-6, 16-26, 4-5, 6-7, 16-17, 26-27,

次控制点对为主控制点和次控制点 3 维坐标之间的差值, 值得注意的是, 经过训练最终需要得到的是次控制点的绝对空间坐标, 而此时的次控制点参数是相对主控制点的偏移量, 因此, 在下面的次控制点参数中, 每个次控制点都唯一对应一个主控制点, 但每个主控制点可以对应多个次控制点。次控制点对共有 43 对:

- 1-28, 1-29, 9-35, 9-33, 8-34, 8-32, 8-31, 10-36, 11-37, 11-38, 13-40, 13-41, 10-42, 13-43,

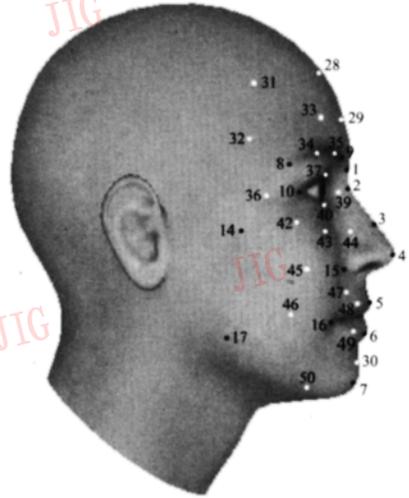
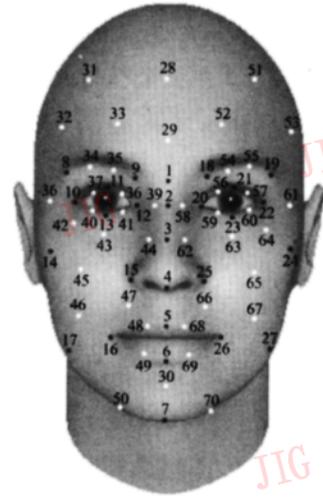


图 2 人脸模型主次控制点分布图

Fig. 2 The distribution graph of primary control points and secondary control points

- 14-45, 15-47, 17-46, 2-39, 3-44, 5-48, 65-68, 6-49, 6-69, 7-50, 7-70, 7-30, 18-54, 18-52, 19-55, 19-51, 19-53, 22-61, 21-56, 21-57, 23-59, 23-60, 22-64, 23-63, 24-65, 25-66, 27-67, 2-58, 3-62

在实际应用中, 还需要对控制点对进行标准化, 计算公式如下:

$$M_{pn} = \frac{X_{pn} - \bar{X}_n}{SD_n}, n = 0, \dots, 30; p = 0, \dots, N \quad (1)$$

$\bar{X}_n$  和  $SD_n$  分别为训练样本中每个主控制点对的平均值和均方差,  $M_{pn}$  为第  $p$  个模型第  $n$  个主控制点对的标准值,  $X_{pn}$  为第  $p$  个模型的第  $n$  个主控制点对。

$$D_{pm} = \frac{X_{pm} - \bar{X}_m}{SD_m}, m = 0, \dots, 42; p = 0, \dots, N \quad (2)$$

$\bar{X}_m$  和  $SD_m$  分别为训练样本中每个次控制点对的平均值和均方差,  $D_{pm}$  为第  $p$  个模型第  $m$  个次控制点对的标准值,  $X_{pm}$  为第  $p$  个模型的第  $m$  个次控制点对。  $N$  为训练样本的个数。

## 4 神经网络建立与训练

### 4.1 BP 网络

1986 年,UCSD PDP 小组的 Rumelhart 等人提出了反向传播学习算法<sup>[16]</sup>,即 BP(back propagation) 算法。这种算法可以对网络中各层的权系数进行修正,故适用于多层网络的学习。BP 算法是目前最广泛用的神经网络学习算法之一。

BP 网络采用了有一定阈值特性的连续可微的 Sigmoid 函数作为神经元的激发函数,当然也可以选择其他类似的非线性函数。这里选择 S 型函数

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

BP 网络拓扑图如图 3 所示。

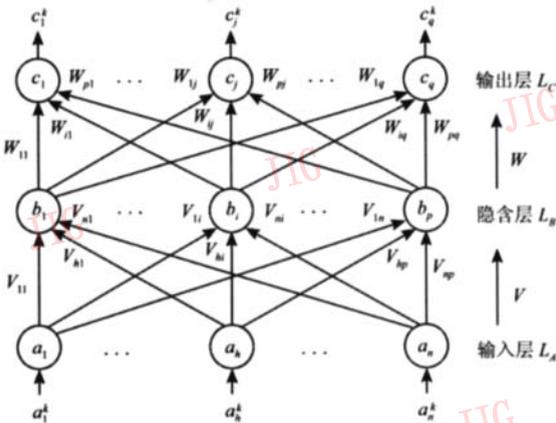


图 3 基本 BP 神经网络的拓扑结构图

Fig. 3 The topology of BP network

### 4.2 BP 网络训练过程

BP 网络训练反向传播算法分两步进行,即正向传播和反向传播。

#### 4.2.1 正向传播

输入的样本从输入层经过隐含层单元一层一层进行处理,通过所有的隐含层之后,则传向输出层;在逐层处理的过程中,每一层神经元的状态只对下一层神经元的状态产生影响。在输出层把现行输出和期望输出进行比较,如果现行输出不等于期望输出,则进入反向传播过程。

#### 4.2.2 反向传播

反向传播时,把误差信号按原来正向传播的通路反向传回,并对每个隐含层的各个神经元的权系数进行修改,以望误差信号趋向最小。

## 5 编辑响应

人脸的局部编辑就是一个空间变形过程,现已得到控制点的偏移量,然后需要通过合适插值方法得到其他点的偏移量,从而得到最终的脸部变形效果。

### 5.1 受控区域的选择

最能体现人脸特征的主要有眼、嘴、鼻、眉,因耳部网格比较复杂,且对表现人脸特征作用不大,所以选择眼、嘴、鼻、眉及其附近的点为受控区域,这样做有两个好处:

- (1) 避免一些变形拓扑复杂,网格稠密的部分造成错误的变形结果。
- (2) 减少需要插值的点,提高了运算速度。

具体的受控区域图如图 4 所示。

### 5.2 高斯插值

选择高斯函数作为插值函数,使插值过程具有

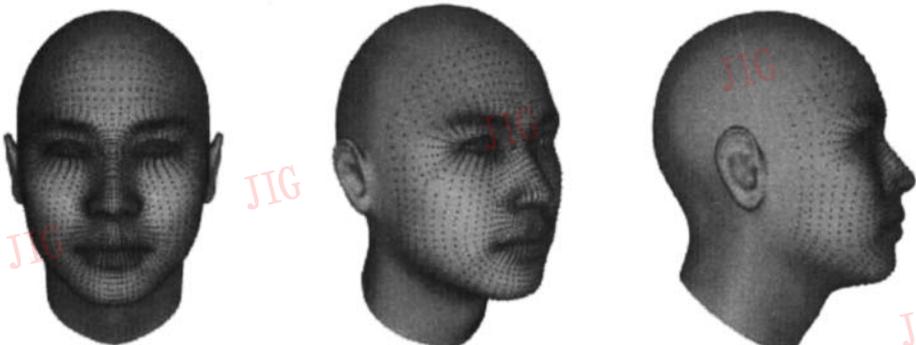


图 4 人脸模型受控区域图

Fig. 4 The controllable area of face model

良好的局部控制性。

整个变形过程是一个全局变形加局部变形的过程,全局变形旨在保证宏观的相似,局部变形是对模型细节的微调。全局变形由控制点约束,局部变形由高斯插值控制。计算公式如下:

$$\Delta P_i = \sum_{j=0}^{k-1} \frac{Dis_{ij}}{\sum_{j=0}^{k-1} Dis_{ij}} \Delta C_j \quad i = 1, \dots, M \quad (4)$$

$\Delta P_i$  是受影响区域中点  $P_i$  的偏移量,  $\Delta C_j$  是控制点  $C_j$  的偏移量,  $Dis_{ij}$  是  $P_i$  到  $C_j$  的欧氏距离,  $M$  为受影响区域中点的总数,  $k$  为控制点的数目。

## 6 实验结果

图 5 ~ 图 7 显示了用户通过编辑 1 ~ 27 号控制点对人脸的一些主要面部特征和细节进行精确的调整。所有的编辑过程都是用户通过 3 步到 4 步的简单拖拽完成的,从实验结果可以看出,用户能够简单快捷地调整模型细节,同时能让变形后模型仍然符合人脸的生理规律。

在图 6 中,用户在图 1 所示初始模型上编辑主控制点 8、19、2、15、25、7,即编辑了人脸的眼眶,鼻

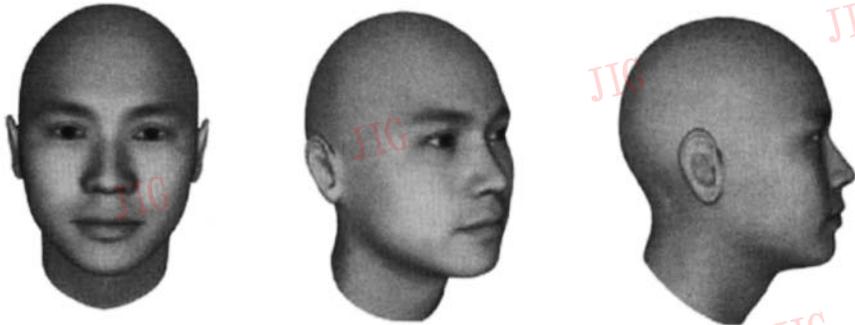


图 5 初始人脸模型

Fig. 5 The initial face model



图 6 编辑结果图 1

Fig. 6 The editing result 1



图 7 编辑结果图 2

Fig. 7 The editing result 2

骨,下颌骨。变形后眉弓变高、鼻梁骨隆起,鼻翼变宽、下颌前突。

在图 7 中,用户在图 1 所示初始模型上编辑主控制点 3、4、5、6、7,即编辑了人脸的鼻骨,唇形、下颌骨。变形后鼻梁骨变低,下颌前突。

## 7 结 论

本文提出的方法实现了针对人脸完整有效的交互式编辑,其主要思想是根据人脸的各个器官的生理特征和人体测量学的相关标准,制定主控制点和次控制点,然后通过事先已经建立的 3D 人脸模型库,利用这些控制点分布的先验知识,采用最小平方误差算法,建立主次控制点之间的约束关系。用户对主控制点的编辑,使次控制点产生有约束的变化,采用高斯插值将控制点的变化插值到整个影响区域中,从而产生人脸约束变形的效果。

实验结果具有了一定的真实感,但仍有以下几个方面需要改进:

(1) 从 3 维人头扫描数据建立模型库,如果在不具备 3 维扫描条件的环境下,则用人脸的正交照片库来代替模型库。以上方法都是为了使它具有更好的先验性。

(2) 人工标注一些候选的控制点,然后根据模型库的先验性数据,自动筛选满足主控制点性质的 3 维点,及其变化范围,并对其变化范围进行约束,从而减少交互的复杂性,同时提高编辑的有效性。

(3) 探讨更好的插值函数,使其更加适合人脸的局部控制。

(4) 进一步考虑纹理细节的调整。

## 参考文献(References)

- 1 Pighin F, Hecker J, Lischinski D, *et al.* Synthesizing realistic facial expressions from photographs[ A ]. In : Proceeding of ACM of SIGGRAPH '98[ C ], Orlando, USA, 1998 : 75 ~ 84.
- 2 Blanz V, Vetter T. A morphable model for the synthesis of 3D faces

- [ A ]. In : Proceeding of ACM SIGGRAPH '99[ C ], New York : Addison Wesley, 1999 : 187 ~ 194.
- 3 Gao W, Yan J, Shan S, *et al.* Individual 3D face synthesis base on orthogonal photos and speech-driven facial animation[ A ]. In : 7th IEEE International Conference on Image Processing( ICIP 2000 ) [ C ], Vancouver, British Columbia, Canada, 2000 : 10 ~ 13.
- 4 Lee W, Gu J, Magnenat-Thalmann N. Generating animatable 3D virtual humans from photographs[ J ]. Proceeding of Eurographics, 2000, **19**( 3 ): 1 ~ 10.
- 5 Liu Z, Zhang Z, Jacobs C, *et al.* Rapid Modeling of Animate Faces from Video[ R ]. MSR-TR\_2000-11, Beijing : Microsoft Research, 2000.
- 6 Cheng C M, Lai S H. An integrated approach to 3D face model reconstruction from vide[ A ]. In : Proceedings of IEEE International Conference of Computer Vision( ICCV ) Workshop on RATFG-RTS ' 01[ C ], Vancouver, Canada, 2001 : 16 ~ 22.
- 7 Decarlo D, Metaxas D, Stone M. An anthropometric face model using variational technique[ A ]. In : Proceeding of ACM SIGGRAPH '98 [ C ], Orlando, USA, 1998 : 67 ~ 74.
- 8 Barr A H. Global and local deformations of solid primitives[ J ]. Computer Graphics, 1984, **18**( 4 ): 21 ~ 30.
- 9 Sederberg T W, Parry S R. Free-form deformation of solid geometric model[ J ]. Computer Graphics, 1986, **20**( 4 ): 151 ~ 160.
- 10 Hsu W M, Hughes J F, Kaufman H. Direct manipulation of free-form deformation[ J ]. Computer Graphics, 1992, **26**( 4 ): 177 ~ 184.
- 11 Farkas L. Anthropometry of the Head and Face( ed 2 ) [ M ]. New York : Raven Press, 1994.
- 12 Li Shu-yuan, Zheng Lian-bin, Lu Shun-hua, *et al.* Apreliminary study on correlation among somatometry items on human face[ J ]. Chinese Journal of Anatomy, 2001, **24**( 2 ): 176 ~ 178. [ 栗淑媛, 郑连斌, 陆舜华等. 人体头面部测量项目相关分析[ J ]. 解剖学杂志, 2001 **24**( 2 ): 176 ~ 178. ]
- 13 Dooley M. Anthropometric modeling programs-a survey[ J ]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1982, **2**( 9 ): 17 ~ 25.
- 14 Seo H, Cordier F, Magnenat-Thalmann N. Synthesizing animatable body models with parameterized shape modifications[ A ]. In : Eurographics/SIGGRAPH Symposium on Computer Animation[ C ], San Diego, California, 2003 : 120 ~ 125.
- 15 Rumelhart D B, Hinton G E, Williams R J. Learning Internal Representations by Error Propagation in Parallel Distributed Processing : Explorations in Microstructure of Cognition [ M ]. Cambridge, MA : MIT Press, 1986 : 318 ~ 362.