

中国科学技术大学

学士学位论文



面向移动服务机器人的行人追踪跟随的 研究与实现

作者姓名： 韦清

学科专业： 计算机科学与技术

导师姓名： 陈小平 教授

完成时间： 二〇一九年五月七日

University of Science and Technology of China
A dissertation for bachelor's degree



Research and Implementation of People Tracking and Following with Mobile Service Robots

Author: Qing Wei

Speciality: Computer Science and Technology

Supervisor: Prof. Xiaoping Chen

Finished time: May 7, 2019

目 录

中文内容摘要	3
英文内容摘要	4
第 1 章 绪论	6
1.1 研究背景及意义	6
1.2 相关工作	7
1.2.1 基于视觉信息的行人检测与追踪	7
1.2.2 基于激光的行人检测与追踪	8
第 2 章 行人追踪算法	9
2.1 视觉行人追踪	9
2.1.1 基于检测的追踪	9
2.1.2 基于动态的追踪	11
2.2 激光行人追踪	11
第 3 章 浮动体	13
3.1 三线表	13
3.2 插图	13
3.3 算法环境	14
第 4 章 数学	15
4.1 数字和单位	15
4.2 数学符号和公式	15
4.3 定理和证明	16
第 5 章 引用文献的标注	19
5.1 顺序编码制	19
5.1.1 角标数字标注法	19
5.1.2 数字标注法	19
5.2 著者-出版年制标注法	19
参考文献	20

附录 A 补充材料	22
在读期间发表的学术论文与取得的研究成果	24

中文内容摘要

服务机器人是一种半自助或全自主工作的机器人。它能完成有益于人类健康的服务工作，但不包括从事生产的设备。服务机器人分为个人/家庭服务机器人和专业机器人。专业机器人一般在特定场景中使用，如商业服务、物流、医疗、救援等；而个人/家用服务机器人主要在日常生活场景中进行与人进行交互，提供家政服务、陪伴、娱乐、辅助学习等多种功能，包括家政机器人、娱乐休闲机器人、助老助残机器人等。其中，个人/家庭服务机器人为本文研究内容所适用的对象。

为了精准理解当前环境和有效执行指令，能够精确可靠地自动识别目标人物并对其进行追踪陪同，是移动服务机器人的人机交互中的一项重要且必要的功能。

本文将针对室内移动机器人的行人跟随问题做如下研究：

- (1) 常用目标跟随算法的原理与实现；
- (2) ROS 导航和可佳导航介绍；
- (3) 可佳机器人上行人跟随系统的实现。

关键词：计算机视觉；机器人；目标追踪；路径规划

Abstract

A service robot is a robot which operates semi- or fully autonomously to perform services useful to the well-being of humans and equipment, they exclude manufacturing operations, and they are capable of making decisions and acting autonomously in real and unpredictable environments to accomplish determined tasks. There are two types of service robots, personal/domestic service robots and professional robots. Professional robots are typically used in specific occasions, including business, delivery, medical, rescue, etc. Personal/domestic service robots, which include cleaning robots, elder care and medical companions, entertainment and leisure robots, home education and training robots, are the specific research objects in this paper.

In order to accurately understand the current environment and effectively execute the instructions, one of the important and necessary ability for a personal service robot, is to automatically recognize and track a person precisely and robustly.

This paper is consist of three parts:

- (1) The theories and implementation of various existing object tracking algorithms;
- (2) Introduction of ROS navigation and keaja navigation;
- (3) The implementation of the people following system on keaja robot.

Key Words: Computer Vision; Robotics; Object Tracking; Path Planning

符 号 说 明

a	The number of angels per unit area
N	The number of angels per needle point
A	The area of the needle point
σ	The total mass of angels per unit area
m	The mass of one angel
$\sum_{i=1}^n a_i$	The sum of a_i

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及意义

服务机器人是一种半自助或全自主工作的机器人。它能完成有益于人类健康的服务工作，但不包括从事生产的设备。它们可以在真实且不可预测的环境中自动进行决策和行动来完成确定的任务。

服务机器人分为个人/家庭服务机器人和专业机器人。专业机器人一般在特定场景中使用，如商业服务、物流、医疗、救援等；而个人/家用服务机器人主要在日常生活场景中进行与人进行交互，提供家政服务、陪伴、娱乐、辅助学习等多种功能，包括家政机器人、娱乐休闲机器人、助老助残机器人等。其中，个人/家庭服务机器人为本文研究内容所适用的对象。

为了精准理解当前环境和有效执行指令，能够精确可靠地自动识别目标人物并对其进行追踪陪同，是移动服务机器人的人机交互中的一项重要且必要的功能。

移动机器人的核心技术包括导航定位、地图创建、路径规划、任务分配和目标跟踪等。移动机器人的智能指标包括三个方面：自主型、适应性和交互性。

国际机器人联合会 (International Federation of Robotics) 对服务机器人做了如下定义：

服务机器人是一种半自助或全自主工作的机器人。它能完成有益于人类和设备的服务工作，但不包括从事生产的设备。

服务机器人通常也是移动机器人。

从 20 世纪 80 年代中期开始，机器人已从工厂的结构化环境进入人的日常生活环境——医院、办公室、家庭和其他杂乱及不可控环境，成为不仅能自主完成工作，而且能与人共同协作完成任务或在人的指导下完成任务的智能服务机器人。

20 世纪 90 年代末，世界服务机器人协会 (International Service Robot Association) 才第一次定义了服务机器人的概念：能够进行感知、思考和行动，并以此来有益于和扩展人类的能力和人类的生产效率的机器。

服务机器人被看重的就是交互能力

随着人工智能与物联网技术不断发展，服务机器人作为智能硬件之一，不断地丰富其自身功能及其实现更强大的性能。在技术层面，我国服务机器人与国外

相比,仍存在较大差距比如在机器人基础算法、核心软件、人工智能硬件落地等方面存在短板。国内服务机器人总体尚处于初级发展阶段,半数以上的产品处于研发试验阶段,但其增长速度较快。根据相关数据显示,2017 年全年我国的整体机器人规模市场达到 1200 亿元,其中服务机器人占据 28% 的市场,服务机器人增长率明显高于工业机器人的发展。

现今,随着物联网的发展和人们对智能化的要求,在日常生活中协助或娱乐人类的个人服务机器人市场正在迅速发展。2017 年,个人/家庭服务机器人市场价值增长了 27%,达到 21 亿美元;总数增加了 25%,达到约 850 万台。据估计,近 610 万台机器人被用于家庭工作。

个人和国内应用中的机器人技术经历了强劲的全球增长,地板清洁机器人,机器人和用于家庭教育的机器人(后者越来越多地被称为社交机器人)越来越成为人们生活的一部分。未来的产品愿景指向具有更高复杂性,能力和价值的家用机器人,例如用于支持老年人的辅助机器人,帮助做家务和娱乐。

1. 随着人口老龄化趋势的加重,服务机器人市场迎来了爆发增长期。家庭用机器人,智能公共服务机器人应用场景和服务模式不断拓展。随着人类寿命的演唱,老龄化趋势的加重,给医疗健康机构带来越来越大的压力,养老问题兔罾家明显,社会对老年人护理的需求大大增加。智能养老设备,如智能服务机器人,的出现极大的弥补了由老年人口激增,护工、养老机构等养老资源匮乏所带来的养老服务供需缺口。此处可引用一段华为项目比赛的简介?)

2. 行人跟随是智能服务机器人的人机交互中的一项重要技术。它要求机器人能够准确识别指定目标,通过对目标的跟随来保证更好地完成人机交互,同时,在移动过程中强调安全。

1.2 相关工作

Literature 中已经有很多 following 相关的研究工作。常用的行人追踪方法分为基于视觉信息的行人检测追踪、基于激光信息的行人追踪,以及多传感器融合的方法。

1.2.1 基于视觉信息的行人检测与追踪

基于检测的追踪和基于追踪的算法:<https://zhuanlan.zhihu.com/p/32826719>

大部分方法使用了粒子滤波 (particle filters),多假设追踪 (multiple hypothesis

tracking), 卡尔曼滤波 (Kalman filters) 的方法

[1]

1. 基于人脸识别的跟踪

(2) 人脸识别的速度和正确率均已达到一个很高的层次，但在实际的激动机器人跟随场景中，人不是一直面对移动机器人。

(3) 基于模板匹配的跟踪

(4) 基于轮廓信息的跟踪

1.2.2 基于激光的行人检测与追踪

(1) 使用几何特征识别目标

(2) 基于运动检测识别目标

第 2 章 行人追踪算法

行人追踪算法 blabla

2.1 视觉行人追踪

计算机视觉中的行人追踪，主要包括密集跟踪方法，即基于行人检测和识别的追踪，以及稀疏跟踪方法，即基于目标动态的追踪。

在密集跟踪方法中，我们实际上并没有“跟踪”物体，而是在视频不同的时间点的一系列帧上扫描和检测物体的位置。由于每次的目标检测都是独立地在当前帧上进行的，所以每次检测时，都需要处理图像中的所有像素，所以以这种方法进行目标跟踪，计算量会比较大。

稀疏跟踪方法是根据物体的动态信息，对其可能的运动轨迹进行预测，并结合其上一帧所在位置和对当前帧的观察，得出其当前位置的算法。由于已知物体在上一帧时的位置，所以对当前帧识别时，只需要检测上一帧物体所在位置附近的像素，这样一来，相对于密集跟踪方法，就减少了大量的计算。此外，由于我们结合了对物体运动的预测和观察来进行估计，在一些情况下准确度也会较高，但在物体速度较快时，可能会失去对物体的追踪，当目标物暂时从视野中消失时，可能难以重新找回物体。

2.1.1 基于检测的追踪

基于机器学习的方法是现阶段行人检测算法的主流，下面将介绍常用行人检测方法原理。

1. 人工特征 + 分类器

(1) 常用特征

a. 颜色特征

颜色特征具有旋转不变性，且不受目标的大小和形状的变化影响，在颜色空间中分布大致相同，从而具有较高的鲁棒性。

颜色直方图是描述颜色特征最常用的描述子，它描述了不同色彩在图像中所占的比例，但无法描述图像中颜色的局部分布及每种色彩所处的空间位置，即无法描述图像中的某一具体的对象或物体。

颜色直方图可以基于不同的颜色空间，其中，最常用的是 RGB 空间和

HSV 空间。以 RGB 空间为例，分别统计每个像素的 R、G、B 数值落在 $[0, 255]$ 上每个点的频度，绘制出直方图，该图片的颜色特征即为三个长为 256 的向量，分别表示其的红色、绿色、蓝色的统计分布。以一张人物照片 2.1 为例，图 2.2 为其 RGB 颜色直方图。

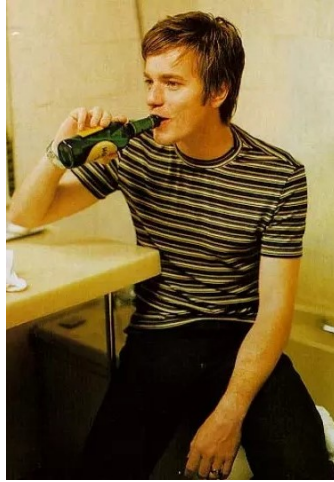


图 2.1 原图

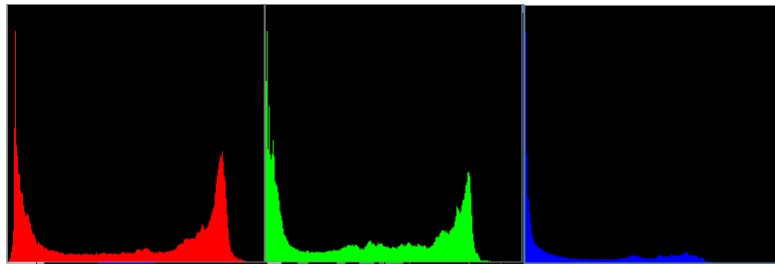


图 2.2 左：B 通道颜色直方图；中：G 通道颜色直方图；右：R 通道颜色直方图

但 RGB 颜色空间的均匀性非常差，且两种颜色之间的直觉差异色差不能表示为改颜色空间中两点间的距离，RGB 这三种颜色的分量的取值与所生成的颜色之间的联系并不直观。

在计算机视觉中，我们常采用 HSV 颜色空间来表示颜色。HSV 是一种将 RGB 色彩空间中的点在圆柱坐标系中的表示方法，相对于 RGB，它能够更加直观地表示色彩的明暗、色调以及鲜艳程度，方便进行颜色之间的对比。Sural et al.^[2] 的实验显示，使用 HSV 直方图进行行人识别的结果相比 RGB 直方图有了明显提高。

HSV 即色相 (Hue)、饱和度 (Saturation)、亮度 (Value)。色相即表示物体的颜色，如红色、黄色等，在 0° 到 360° 的标准色轮上，按位置度量色相；饱和度是指颜色的强度或纯度，表示色相中灰色分量所占的比例，它使用从 0% (灰

色)至 100% (完全饱和) 的百分比来度量; 亮度是颜色的相对明暗程度, 通常使用从 0% (黑色) 至 100% (白色) 的百分比来衡量。

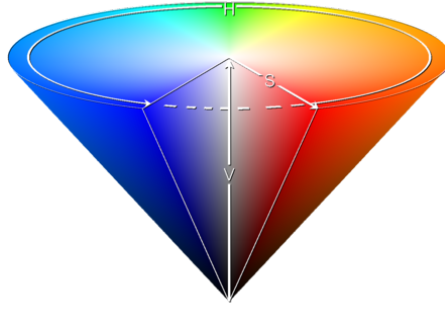


图 2.3 HSV 模型可以使用圆柱坐标系中的一个圆锥形子集表示

由于大部分数字图像都是基于 RGB 空间进行表示的, 我们需要首先把 RGB 空间坐标映射到 HSV 空间。给定 (r, g, b) 分别是一个颜色的红、绿、蓝坐标, 它们的值是在 0 到 1 之间的实数, max 为 r , g 和 b 之中的最大值, min 为其中的最小值, 则从 (r, g, b) 到 (h, s, v) 的转换公式如下:[3]

$$h = \begin{cases} 0^\circ & \text{if } max = min \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{max-min} + 0^\circ, & \text{if } max = r \text{ and } g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{max-min} + 360^\circ, & \text{if } max = r \text{ and } g < b \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{max-min} + 120^\circ, & \text{if } max = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{max-min} + 240^\circ, & \text{if } max = b \end{cases}$$

$$s = \begin{cases} 0, & \text{if } max = 0 \\ \frac{max-min}{max} = 1 - \frac{min}{max}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$v = max$$

HSV 直方图的计算与 RGB 类似, 只是将颜色空间有所差异, 我们同样使用图片2.1计算其 HSV 直方图, 见图2.4。

(2) 行人检测算法

2. 深度学习

2.1.2 基于动态的追踪

2.2 激光行人追踪

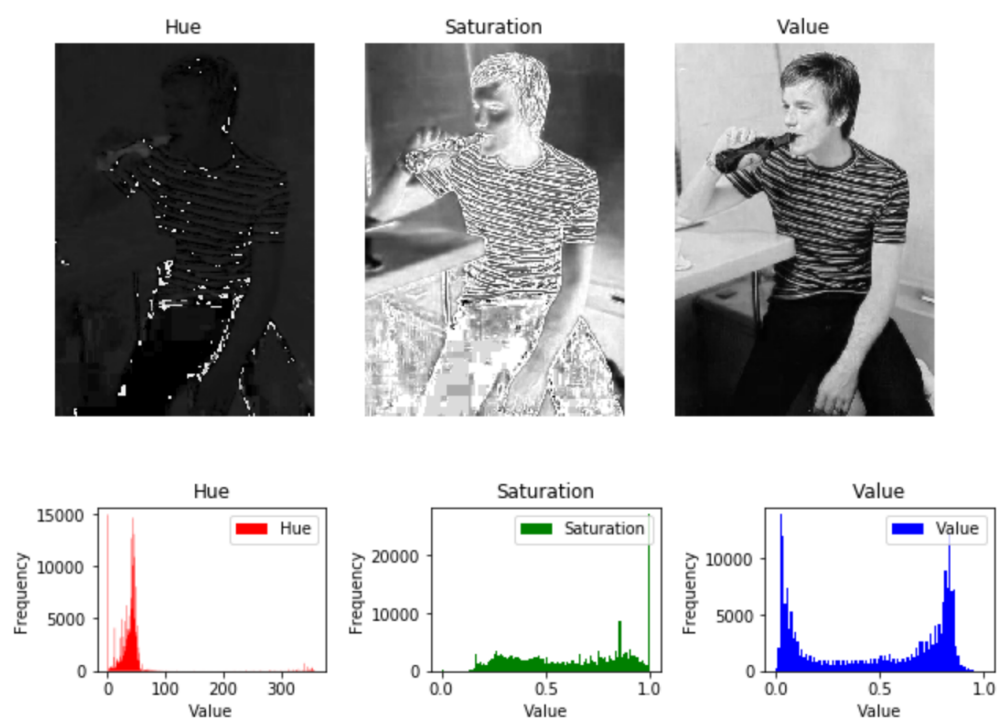


图 2.4 左：H 通道灰度图和颜色直方图；中：S 通道灰度图和颜色直方图；右：V 通道灰度图和颜色直方图

第 3 章 浮动体

3.1 三线表

三线表是《撰写手册》推荐使用的格式，如表 3.1。

表 3.1 表号和表题在表的正上方

类型	描述
挂线表	挂线表也称系统表、组织表，用于表现系统结构
无线表	无线表一般用于设备配置单、技术参数列表等
卡线表	卡线表有完全表，不完全表和三线表三种

注：表注分两种，第一种是对全表的注释，用不加阿拉伯数字排在表的下边，前面加“注：”；第二种是和表内的某处文字或数字相呼应的注，在表里面用带圈的阿拉伯数字在右上角标出，然后在表下面用同样的圈码注出来

编制表格应简单明了，表达一致，明晰易懂，表文呼应、内容一致。排版时表格字号略小，或变换字体，尽量不分页，尽量不跨节。表格太大需要转页是，需要在续表上方注明“续表”，表头页应重复排出。

3.2 插图

有的同学可能听说“ \LaTeX 只能使用 eps 格式的图片”，甚至把 jpg 格式转为 eps。事实上，这种做法已经过时。而且每次编译时都要调用外部工具解析 eps，导致降低编译速度。所以我们推荐矢量图直接使用 pdf 格式，位图使用 jpeg 或 png 格式。



图 3.1 图号、图题置于图的下方

注：图注的内容不宜放到图题中。

关于图片的并排，推荐使用较新的 `subcaption` 宏包，不建议使用 `subfigure` 或 `subfig` 等宏包。

3.3 算法环境

模板中使用 `algorithm2e` 宏包实现算法环境。关于该宏包的具体用法，请阅读宏包的官方文档。

算法 3.1 算法示例 1

Data: this text

Result: how to write algorithm with L^AT_EX2_ε

```
1 initialization;
2 while not at end of this document do
3     read current;
4     if understand then
5         go to next section;
6         current section becomes this one;
7     else
8         go back to the beginning of current section;
9     end
10 end
```

注意，我们可以在论文中插入算法，但是插入大段的代码是愚蠢的。然而这并不妨碍有的同学选择这么做，对于这些同学，建议用 `listings` 宏包。

第 4 章 数学

4.1 数字和单位

宏包 `siunitx` 提供了更好的数字和单位支持：

- 12 345.678 90
- $1 \pm 2i$
- 0.3×10^{45}
- $1.654 \times 2.34 \times 3.430$
- $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
- $\mu\text{m} \mu\text{m}$
- $\Omega \Omega$
- 10 和 20
- 10, 20 和 30
- 0.13 mm, 0.67 mm 和 0.80 mm
- $10 \sim 20$
- $10^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$

4.2 数学符号和公式

\LaTeX 默认按照美国的习惯排版数学公式和符号，但是《撰写手册》要求数学符号依据《GB 3102.11-1993》执行，与 \LaTeX 的习惯有所差异。本模板基于 `unicode-math` 配置数学符号，以遵循国标的规定。

注意，`unicode-math` 宏包与 `amsfonts`, `amssymb`, `bm`, `mathrsfs`, `upgreek` 等宏包不兼容。本模板作了处理，用户可以直接使用这些宏包的命令，如 `\bm`, `\mathscr`, `\upGamma`。

本模板中数学符号的用法与 \LaTeX 传统有些区别：

- 数学常数和特殊函数使用正体，如圆周率 π 、 Γ 函数。应使用 `unicode-math` 宏包提供的 `\symup` 命令转为正体，如 `\symup{\pi}`。
- 向量和矩阵粗斜体，应使用 `\symbf` 命令，如 `\symbf{u}`、`\symbf{A}`。
- 有限增量符号 Δ (U+2206) 应使用 `\increment` 命令。
- 微分符号 d 使用正体，本模板提供了 `\dif` 命令。

除此之外，模板还提供了一些命令方便使用：

- 常数 e : `\upe`
- 负数单位 i : `\upi`
- 圆周率 π : `\uppi`
- $\arg \max$: `\argmax`
- $\arg \min$: `\argmin`

关于数学符号更多的用法，参见 `unicode-math` 宏包的使用说明和符号列表 `unimath-symbols`。

在编辑数学公式时，最好避免直接使用字体命令，而应该定义一些语义命令取代字体命令，这样输入更简单，也让 \LaTeX 代码更有可读性，而且还方便根据需要统一修改改格式，比如：

- 向量 \mathbf{x} : `\renewcommand\vec{\symbf}`
- 矩阵 \mathbf{A} : `\newcommand\mat{\symbf}`
- 张量 \mathbf{T} : `\newcommand\ts{\symbfsf}`

更多的例子：

$$e^{i\pi} + 1 = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = \int f(x) dx \quad (4.2)$$

$$\arg \min_x f(x) \quad (4.3)$$

$$\mathbf{A}\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x} \quad (4.4)$$

4.3 定理和证明

示例文件中使用 `amsthm` 宏包配置了定理、引理和证明等环境。用户也可以使用 `ntheorem` 宏包。

定义 4.1 If the integral of function f is measurable and non-negative, we define its (extended) **Lebesgue integral** by

$$\int f = \sup_g \int g, \quad (4.5)$$

where the supremum is taken over all measurable functions g such that $0 \leq g \leq f$, and where g is bounded and supported on a set of finite measure.

假设 4.1 The communication graph is strongly connected.

例 4.1 Simple examples of functions on \mathbf{R}^d that are integrable (or non-integrable) are given by

$$f_a(x) = \begin{cases} |x|^{-a} & \text{if } |x| \leq 1, \\ 0 & \text{if } |x| > 1. \end{cases} \quad (4.6)$$

$$F_a(x) = \frac{1}{1 + |x|^a}, \quad \text{all } x \in \mathbf{R}^d. \quad (4.7)$$

Then f_a is integrable exactly when $a < d$, while F_a is integrable exactly when $a > d$.

引理 4.1 (Fatou) Suppose $\{f_n\}$ is a sequence of measurable functions with $f_n \geq 0$. If $\lim_{n \rightarrow \infty} f_n(x) = f(x)$ for a.e. x , then

$$\int f \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} \int f_n. \quad (4.8)$$

注 We do not exclude the cases $\int f = \infty$, or $\liminf_{n \rightarrow \infty} \int f_n = \infty$.

推论 4.2 Suppose f is a non-negative measurable function, and $\{f_n\}$ a sequence of non-negative measurable functions with $f_n(x) \leq f(x)$ and $f_n(x) \rightarrow f(x)$ for almost every x . Then

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int f_n = \int f. \quad (4.9)$$

命题 4.3 Suppose f is integrable on \mathbf{R}^d . Then for every $\epsilon > 0$:

i. There exists a set of finite measure B (a ball, for example) such that

$$\int_{B^c} |f| < \epsilon. \quad (4.10)$$

ii. There is a $\delta > 0$ such that

$$\int_E |f| < \epsilon \quad \text{whenever } m(E) < \delta. \quad (4.11)$$

定理 4.4 Suppose $\{f_n\}$ is a sequence of measurable functions such that $f_n(x) \rightarrow f(x)$ a.e. x , as n tends to infinity. If $|f_n(x)| \leq g(x)$, where g is integrable, then

$$\int |f_n - f| \rightarrow 0 \quad \text{as } n \rightarrow \infty, \quad (4.12)$$

and consequently

$$\int f_n \rightarrow \int f \quad \text{as } n \rightarrow \infty. \quad (4.13)$$

证明 Trivial. □

Axiom of choice Suppose E is a set and E_α is a collection of non-empty subsets of E . Then there is a function $\alpha \mapsto x_\alpha$ (a “choice function”) such that

$$x_\alpha \in E_\alpha, \quad \text{for all } \alpha. \quad (4.14)$$

Observation 1 Suppose a partially ordered set P has the property that every chain has an upper bound in P . Then the set P contains at least one maximal element.

A concise proof Obvious. □

第 5 章 引用文献的标注

模板使用 `natbib` 宏包来设置参考文献引用的格式，更多引用方法可以参考该宏包的使用说明。

5.1 顺序编码制

5.1.1 角标数字标注法

<code>\cite{knuth86a}</code>	⇒	[4]
<code>\citet{knuth86a}</code>	⇒	Knuth ^[4]
<code>\cite[42]{knuth86a}</code>	⇒	[4] ⁴²
<code>\cite{knuth86a,tlc2}</code>	⇒	[4-5]
<code>\cite{knuth86a, knuth84}</code>	⇒	[4,6]

5.1.2 数字标注法

<code>\cite{knuth86a}</code>	⇒	[4]
<code>\citet{knuth86a}</code>	⇒	Knuth [4]
<code>\cite[42]{knuth86a}</code>	⇒	[4] ⁴²
<code>\cite{knuth86a,tlc2}</code>	⇒	[4-5]
<code>\cite{knuth86a, knuth84}</code>	⇒	[4, 6]

5.2 著者-出版年制标注法

<code>\cite{knuth86a}</code>	⇒	Knuth (1986)
<code>\citep{knuth86a}</code>	⇒	(Knuth, 1986)
<code>\cite[42]{knuth86a}</code>	⇒	(Knuth, 1986) ⁴²
<code>\cite{knuth86a,tlc2}</code>	⇒	Knuth (1986); Mittelbach et al. (2004)
<code>\cite{knuth86a, knuth84}</code>	⇒	Knuth (1986, 1984)

注意，参考文献列表中的每条文献在正文中都要被引用^[7-22]。

参 考 文 献

- [1] Mucientes M, Burgard W. Multiple hypothesis tracking of clusters of people. *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2006:692-697.
- [2] Sural S, Qian G, Pramanik S. Segmentation and histogram generation using the hsv color space for image retrieval. *Proceedings. International Conference on Image Processing*, 2002, 2:II-II.
- [3] Foley J D, Van Dam A, et al. Fundamentals of interactive computer graphics: volume 2. Addison-Wesley Reading, MA, 1982.
- [4] Knuth D E. Computers and typesetting: A the T_EXbook. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1986.
- [5] Mittelbach F, Goossens M, Braams J, et al. The L^AT_EX companion. 2nd ed. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 2004.
- [6] Knuth D E. Literate programming. *The Computer Journal*, 1984, 27(2):97-111.
- [7] 孙立广. 顶级期刊论文摘要汇编 (1999–2010). 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2016: 222.
- [8] 李泳池. 张量初步和近代连续介质力学概论. 2 版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2016: 61.
- [9] 刘景双. 湿地生态系统碳、氮、硫、磷生物地球化学过程. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2014.
- [10] 程根伟. 1998 年长江洪水的成因与减灾对策//许厚泽, 赵其国. 长江流域洪涝灾害与科技对策. 北京: 科学出版社, 1999: 26-32.
- [11] 陈晋镛, 张惠民, 朱士兴, 等. 蓟县震旦亚界研究//中国地质科学院天津地质矿产研究所. 中国震旦亚界. 天津: 天津科学技术出版社, 1980: 56-114.
- [12] 孔庆勇, 郭红健, 孔庆和. 我国科技期刊的金字塔分层模型及发展路径初探. *中国科技期刊研究*, 2015, 26(10):1100-1103.
- [13] 杨洪升. 四库馆私家抄校书考略. *文献*, 2013(1):56-75.
- [14] 于潇, 刘义, 柴跃廷, 等. 互联网药品可信交易环境中主体资质审核备案模式. *清华大学学报 (自然科学版)*, 2012, 52(11):1518-1521.
- [15] 丁文详. 数字革命与竞争国际化. *中国青年报*, 2000-11-20(15).

- [16] 姜锡洲. 一种温热外敷药制备方案: 中国, 88105607.3. 1989-07-26.
- [17] 万锦坤. 中国大学学报论文文摘 (1983–1993) (英文版). 北京: 中国大百科全书出版社, 1996.
- [18] 孙玉文. 汉语变调构词研究. 北京: 北京大学, 2000.
- [19] 文富, 顾丽梅. 网络时代经济发展战略特征. 学术研究, 2000, 21(4):35-40.
- [20] 肖度, 等. 知识时代的企业合作经营. 北京: 北京大学出版社, 2000: 67-69.
- [21] The White House. Technology for economic growth. Washington, 1993.
- [22] Hutson J M. Vibrational dependence of the anisotropic intermolecular potential of argon-hydrogen chloride. *J. Phys. Chem.*, 1992, 96(11):4237-4247.

附录 A 补充材料

补充内容。

致 谢

致谢应置于目录前。

在研究学习期间，我有幸得到了三位老师的教导，他们是：我的导师，中国科大 XXX 研究员，中科院 X 昆明动物所马老师以及美国犹他大学的 XXX 老师。三位深厚的学术功底，严谨的工作态度和敏锐的科学洞察力使我受益良多。衷心感谢他们多年来给予我的悉心教导和热情帮助。

感谢 XXX 老师在实验方面的指导以及教授的帮助。科大的 XXX 同学和 XXX 同学参与了部分试验工作，在此深表谢意。

在读期间发表的学术论文与取得的研究成果

已发表论文

1. A A A A A A A A A
2. A A A A A A A A A
3. A A A A A A A A A

待发表论文

1. A A A A A A A A A
2. A A A A A A A A A
3. A A A A A A A A A

研究报告

1. A A A A A A A A A
2. A A A A A A A A A
3. A A A A A A A A A