

图 象 理 解

（第4版）

章毓晋

清华大学电子工程系 100084 北京

第3单元 场景解释

- 第10章 知识表达和推理
 - 第11章 广义匹配
 - 第12章 场景分析和语义解释
- 通过学习、推理、与模型的匹配等来解释场景的内容、特性、变化、态势或趋向
知识指导对客观世界认识和理解
将从图象中获得的信息与已有的解释场景的模型进行匹配
对场景的高层次解释和语义描述

第11讲

章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN

第2页

第11章 广义匹配

- 11.1 匹配概述
- 11.2 目标匹配
- 11.3 动态模式匹配
- 11.4 关系匹配
- 11.5 图同构匹配
- 11.6 线条图标记和匹配

第11讲

章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN

第3页

11.1 匹配概述

知识 \Rightarrow 匹配 \Rightarrow 推理 \Rightarrow 解释

- 11.1.1 匹配策略和类别
- 11.1.2 匹配和配准
- 11.1.3 匹配评价

第11讲

章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN

第4页

11.1.1 匹配策略和类别

- 匹配通过映射进行（取决于映射函数）

(1) 目标空间的匹配

目标 O 直接通过对透视变换 T_{O1} 和 T_{O2} 的求逆来重建

(2) 图象空间的匹配

直接将图象 I_1 和 I_2 用映射函数 T_{12} 联系起来
目标模型隐含地包含在 T_{12} 的建立过程中

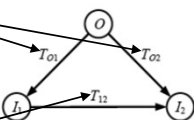


图 11.1.1 匹配和映射

第11讲

章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN

第5页

11.1.1 匹配策略和类别

- 根据所用图象表达模型来分类

(1) 基于光栅的匹配

直接比较灰度或灰度函数来找到映射函数

(2) 基于特征的匹配

提取图象的显著特征并进行几何映射

(3) 基于关系的匹配

基于特征间拓扑关系的相似性（结构匹配）

由低层到高层

第11讲

章毓晋 (TH-EE-4E) ZHANG YU JIN

第6页

11.1.2 匹配和配准

➤ 配准:

含义常较窄, 主要指在图象空间, 或者说用比较低层表达进行的匹配

• 配准技术常需考虑以下四个元素:

- (1) 确定用来进行配准所用特征的特征空间
- (2) 限制搜索范围, 确定使搜索过程有可能存在解的搜索空间
- (3) 制订对搜索空间进行扫描的搜索策略
- (4) 使用能确定匹配是否成立的相似测度

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第7页

11.1.3 匹配评价

准确性

真实值和估计值之间的差

可靠性

总共进行的测试中有多少次取得了满意的结果

鲁棒性

准确性的稳定程度

算法在其参数不同变化条件下的可靠性

计算复杂度

决定了算法的计算量/速度

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第8页

11.2 目标匹配

以目标 (而非像素) 为单位进行匹配

11.2.1 匹配的度量

11.2.2 对应点匹配

11.2.3 字符串匹配

11.2.4 惯量等效椭圆匹配

11.2.5 形状矩阵匹配

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第9页

11.2.1 匹配的度量

1. 豪斯道夫 (Hausdorff) 距离

- 目标的匹配在一定意义上是点集的匹配

$$H(A, B) = \max[h(A, B), h(B, A)]$$

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad h(B, A) = \max_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\|$$

- 豪斯道夫距离的几何意义 最远的B 最近的A

如果点集A和B之间的豪斯道夫距离为d, 那么在每个点集中都可以找到一个点, 使另一个点集的各点都落在以该点为中心、以d为半径的圆中

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第10页

11.2.1 匹配的度量

1. 豪斯道夫 (Hausdorff) 距离

如上定义的豪斯道夫距离对噪声点或点集的外野点 (outline) 很敏感

➤ 改进的豪斯道夫距离

用 (多点) 平均值代替 (单点) 最大值

$$h(A, B) = \frac{1}{N_A} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$$

$$h(B, A) = \frac{1}{N_B} \sum_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\|$$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第11页

11.2.1 匹配的度量

2. 结构匹配量度

- “模板和弹簧”的物理类比模型
- “模板”用“弹簧”连接, “弹簧”函数描述各“模板”间关系
- 匹配质量是“模板”局部拟合的优度以及为使待匹配结构拟合参考结构而拉长“弹簧”所需能量的函数



第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第12页

11.2.1 匹配的度量

2. 结构匹配量度

- “模板和弹簧”的匹配量度

$$C = \sum_{d \in Y} C_T[d, F(d)] + \sum_{(d, e) \in (Y \times E)} C_S[F(d), F(e)] + \sum_{c \in (N \cup M)} C_M(c)$$

- C_T : 结构模板 d 和待匹配结构之间的不相似性
- C_S : 待匹配结构和目标部件 e 之间的不相似性
- C_M : 对遗漏部件的惩罚（鼓励全面匹配）
- $F(\cdot)$: 将结构模板变换为待匹配结构部件的映射

Y: 找得到
N: 找不到
E: 已存在
M: 不存在

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第13页

11.2.2 对应点匹配

利用地标点/特征点

设目标上的一组3个点 P_1, P_2, P_3 在同一个圆周上。在弱透视投影条件下，距离比 $P_i C : C Q_i$ 在投影后保持不变。当在图象中观测到 P'_1, P'_2, P'_3 ，就可计算出 C' ，并进而确定出 Q'_1, Q'_2, Q'_3 点的位置。这样就

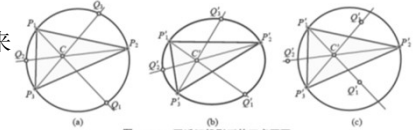


图 11.2.3 弱透视投影下的三点匹配

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第14页

11.2.3 字符串匹配

- 将两个区域边界 A 和 B 分别编码为字符串 $a_1 a_2 \dots a_n$ 和 $b_1 b_2 \dots b_m$ ， $\|A\| = n$ ， $\|B\| = m$
- 从 a_1 和 b_1 开始，如果在第 k 个位置有 $a_k = b_k$ ，则称两个边界有一次匹配
- 未匹配符号的个数为（ M 为匹配总次数）：

$$Q = \max(\|A\|, \|B\|) - M \quad Q \geq 0$$

- 相似性量度（越大越相似）

$$R = \frac{M}{Q} = \frac{M}{\max(\|A\|, \|B\|) - M} \quad 0 \leq R \leq \infty$$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第15页

11.2.3 字符串匹配

- 视频序列匹配（扩展目标匹配）
特征点序列的相似性度量 \Leftrightarrow 字符串匹配

- 两个视频序列（clip）： l_1 和 l_2
- 两个特征点序列： $\{f_1(m)\}$ 和 $\{f_2(n)\}$

- 如长度相同 $S(l_1, l_2) = \sum_{i=1}^N S_f[f_1(i), f_2(i)]$

- 如长度不同 $S(l_1, l_2) = \max_{0 \leq t \leq N-M} \sum_{i=1}^N S_f[f_1(i), f_2(i+t)]$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第16页

11.2.4 惯量等效椭圆匹配

- 基于目标区域进行（等效椭圆计算见中册）
目标可用它的等效椭圆（借助惯量）来表示



图 11.2.4 利用等效椭圆匹配

计算平移、旋转和尺度变换所需的参数

- 平移参数可根据两等效椭圆中心坐标之差算得

$$x_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad y_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第17页

11.2.4 惯量等效椭圆匹配

- 旋转参数可根据两个椭圆朝向角度之差算得
朝向角 ϕ 借助惯量椭圆两主轴的斜率 k 和 l 求得

$$\phi = \begin{cases} \arctan(k) & \text{如果 } A < B \\ \arctan(l) & \text{如果 } A > B \end{cases}$$

- 尺度参数可根据两椭圆长轴的长度比例算得
等效椭圆半长轴的长度 a

$$a = \sqrt{2 \left[(A+B) - \sqrt{(A-B)^2 + 4H^2} \right] / M}$$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第18页

11.2.5 形状矩阵匹配

- 目标间不依赖于平移、旋转和尺度差别的相似性
- 形状矩阵是对目标形状用极坐标量化的一种表示

位置: 将坐标原点放在目标重心处

朝向: 重新对目标沿
径向和圆周采样

尺度: 总将最大半径
量化为相同数量
的间隔

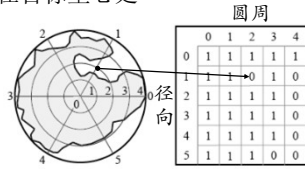


图 11.2.5 目标和其形状矩阵

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第19页

11.3 动态模式匹配

- 需匹配的表达式在匹配过程中动态建立
- 以由切片图象重建3-D细胞为例 (5.4节)

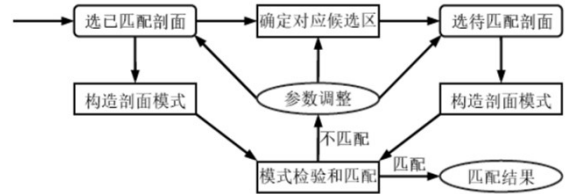


图 11.3.1 动态模式匹配流程框图

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第20页

11.3 动态模式匹配

- 绝对模式 (旋转不变)

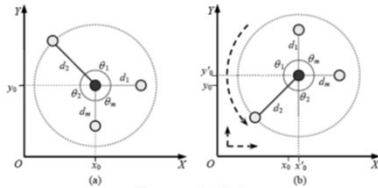


图 11.3.2 绝对模式

模式表达

$$P_1 = P(x_{10}, y_{10}, d_{11}, \theta_{11}, \dots, d_{1m}, \theta_{1m})^T$$

$$P_t = P(x_{t0}, y_{t0}, d_{t1}, \theta_{t1}, \dots, d_{tm}, \theta_{tm})^T$$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第21页

11.3 动态模式匹配

- 相对模式 (旋转不变, 平移不变)

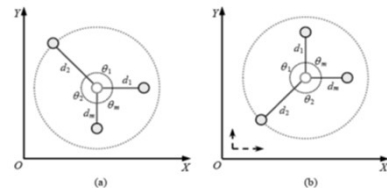


图 11.3.3 相对模式

模式表达

$$Q_1 = Q(d_{11}, \theta_{11}, \dots, d_{1m}, \theta_{1m})^T$$

$$Q_t = Q(d_{t1}, \theta_{t1}, \dots, d_{tm}, \theta_{tm})^T$$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第22页

11.4 关系匹配

- 场景可以分解为多个物体或各个组成元件, 它们之间存在着不同类型的关系
- 设有两个关系集: X_1 和 X_r

$$X_1 = \{R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1m}\} \subset \text{待匹配对象}$$

$$X_r = \{R_{r1}, R_{r2}, \dots, R_{rn}\} \subset \text{拟匹配模型}$$

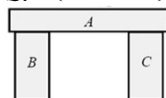
$$X_1 = \{R_1, R_2, R_3\}$$

$$Q_1 = \{A, B, C\}$$

$$\text{连接关系, } R_1 = [(A, B), (A, C)]$$

$$\text{上下关系, } R_2 = [(A, B), (A, C)]$$

$$\text{左右关系, } R_3 = [(B, C)]$$



第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

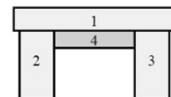
第23页

11.4 关系匹配

- 考虑另一个物体 (多一个部件)

$$Q_r = \{1, 2, 3, 4\}$$

$$X_r = \{R_1, R_2, R_3\}$$



$$\text{连接关系: } R_1 = [(1, 2), (1, 3), (1, 4), (2, 4), (3, 4)]$$

$$\text{上下关系: } R_2 = [(1, 2), (1, 3), (1, 4)]$$

$$\text{左右关系: } R_3 = [(2, 3), (2, 4), (4, 3)]$$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第24页

11.4 关系匹配

- X_i 和 X_j 的匹配是两集间各对相应关系的匹配
- 用 R_i 和 R_j 分别代表某个相应的关系表达

$$R_i \subseteq S^M = S(1) \times S(2) \times \cdots \times S(M)$$

$$R_j \subseteq T^N = T(1) \times T(2) \times \cdots \times T(N)$$

- p 为 S 对 T 的对应变换, p^{-1} 为 T 对 S 的对应变换
- 定义运算符 \oplus 代表复合 (composite) 运算

$$R_i \oplus p = f[T(1), T(2), \cdots, T(N)] \in T^N$$

$$R_j \oplus p^{-1} = g[S(1), S(2), \cdots, S(M)] \in S^M$$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第25页

11.4 关系匹配

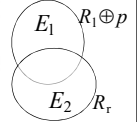
- $\text{dis}(X_i, X_j)$: X_i 和 X_j 之间的距离
由各对相应关系表达中对应项的差异组成
- $\text{dis}(R_i, R_j)$: 某关系表达的对应项之间的距离

$$E_1 = \{R_i \oplus p - (R_i \oplus p) \cap R_j\}$$

$$E_2 = \{R_j - R_j \cap (R_i \oplus p)\}$$

$$E_3 = \{R_j \oplus p^{-1} - (R_j \oplus p^{-1}) \cap R_i\}$$

$$E_4 = \{R_i - R_i \cap (R_j \oplus p^{-1})\}$$



- R_i 和 R_j 之间的距离就是上面各项误差的加权和

$$\text{dis}(R_i, R_j) = \sum_i W_i E_i$$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第26页

11.4 关系匹配

- 用 $C(E)$ 表示 E 中以项计的误差

$$\text{dis}^C(R_i, R_j) = \sum_i W_i C(E_i)$$

- 需要寻求的对应变换 p 应满足

$$\text{dis}^C(R_i, R_j) = \inf_p \left\{ \sum_i W_i C[E_i(p)] \right\}$$

- 要匹配两个关系集 X_i 和 X_j , 则应找到一系列对应变换 p_j 使得下式得到满足

$$\text{dis}^C(X_i, X_j) = \inf_p \left\{ \sum_j V_j \sum_i W_i C[E_i(p_j)] \right\}$$

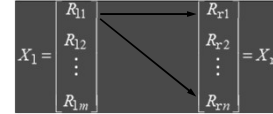
第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第27页

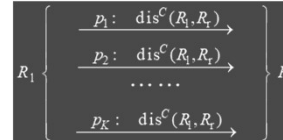
11.4 关系匹配

- 确定相同关系 (元件间关系)



进行 $m \times n$ 次比较

- 确定匹配关系的对应映射 (关系表达对应)



在 K 种变换中找出使误差加权和最小的 p

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第28页

11.4 关系匹配

- 确定匹配关系集的对应映射系列

$$\text{dis}^C(X_i, X_j) \leftarrow \begin{cases} \text{dis}^C(R_{i1}, R_{j1}) \\ \text{dis}^C(R_{i2}, R_{j2}) \\ \dots \dots \\ \text{dis}^C(R_{im}, R_{jm}) \end{cases}$$

设 $m \leq n$, 寻找 m 对关系, 而 $n-m$ 个关系只存在于关系集 X_j 中

- 确定所属模型 (L 个 $\text{dis}^C(X_i, X_j)$ 中求极小值)

$$X \leftarrow \begin{cases} \xrightarrow{p_1} Y_1 \rightarrow \text{dis}^C(X, Y_1) \\ \xrightarrow{p_2} Y_2 \rightarrow \text{dis}^C(X, Y_2) \\ \dots \dots \\ \xrightarrow{p_L} Y_L \rightarrow \text{dis}^C(X, Y_L) \end{cases}$$

认为待匹配对象 X 与模型 Y_q 匹配, 即 $q \leq L$ 和 $X \in Y_q$ 成立

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第29页

11.5 图同构匹配

图 (Graph), 图论 (Graph Theory)

11.5.1 图论简介

11.5.2 图同构和匹配

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第30页

11.5.1 图论简介

1. 基本定义

- 图 G 定义为由有限非空顶点集合 $V(G)$ 及有限边集合 $E(G)$ 组成, 记为 $G = [V(G), E(G)]$
- 顶点 A 和 B , 边 e : $e \leftrightarrow AB$ 或 $e \leftrightarrow BA$
 - 如果两条边有相同的两 endpoints, 就称它们为重边或平行边
 - 如果一条边的两 endpoints 相同, 就称它为环, 否则称为棱

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第31页

11.5.1 图论简介

1. 基本定义

- 顶点的色性 (指顶点用不同的颜色标注)
- 边的色性 (指边用不同的颜色标注)
- 有色图 G : $G = [V, C] (E, S)$
 - 顶点集 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_N\}$
 - 顶点色性集 $C = \{C_{V_1}, C_{V_2}, \dots, C_{V_N}\}$
 - 边线集 $E = \{e_{V_i V_j} | V_i V_j \in V\}$
 - 边线色性集 $S = \{s_{V_i V_j} | V_i V_j \in V\}$

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第32页

11.5.1 图论简介

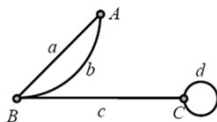
2. 图的几何表达

- 顶点: 圆点
- 边线: 连接顶点的直线或曲线
- 边数大于等于1的图可有无穷多个几何表达

$$V(G) = \{A, B, C\}$$

$$E(G) = \{a, b, c, d\}$$

边 a 和 b 为重边 边 a, b, c 均为棱 边 d 为环



第11讲

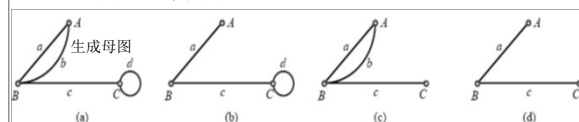
章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第33页

11.5.1 图论简介

3. 子图 母图

- 子图 $H \subseteq G$: $V(H) \subseteq V(G), E(H) \subseteq E(G)$
- 生成子图: $H \subseteq G$ 且 $V(H) = V(G)$ ((b)(c)(d))
- 去掉所有重边和环而得到的简单生成子图称为基础简单图 (仅(d))



第11讲

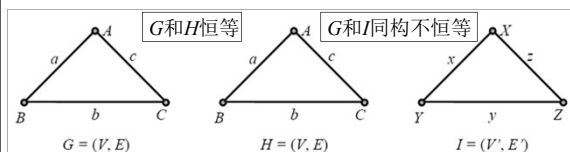
章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第34页

11.5.2 图同构和匹配

1. 图的恒等和同构

- 图 G 和 H 恒等: $V(G) = V(H)$ 且 $E(G) = E(H)$
- 恒等的图可用相同的几何表达来表示
- 具有相同几何表达的图同构但并不一定恒等



第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第35页

11.5.2 图同构和匹配

1. 图的恒等和同构

- 图 G 和 H 同构: 记为 $G \cong H$
- 在 $V(G)$ 和 $V(H)$, $E(G)$ 和 $E(H)$ 之间有如下映射

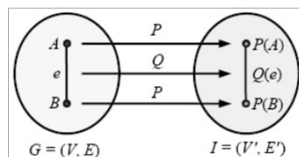
$$P: V(G) \rightarrow V(H)$$

$$Q: E(G) \rightarrow E(H)$$

映射 P 和 Q 相关联

$$Q(e) = P(A)P(B)$$

$$\forall e \leftrightarrow AB \in E(G)$$



第11讲

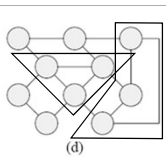
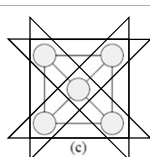
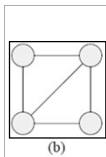
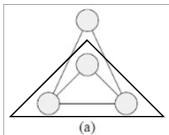
章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第36页

11.5.2 图同构和匹配

2. 同构的判定

- (1) 全图同构: $(a) \cong (b)$
- (2) 子图同构: $(a) \cong (c)$
- (3) 双子图同构: $(a) \cong (d)$



第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第37页

10.6 线条图标记

- 表面边界 \Rightarrow 轮廓 \Rightarrow 表达目标 \Rightarrow 线条图

1. 轮廓标记 (P.274)

沿箭头方向前进时, 遮挡表面在刃边的右侧

- (1) 刃边 (blade) \rightarrow
- (2) 翼边 (limb) \leftrightarrow
- (3) 折痕 (crease) \pm
- (4) 痕迹 (mark) M
- (5) 阴影 (shade) S

图 11.6.1 轮廓标记示例

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第38页

11.6 线条图标记

2. 结构推理

借助2-D图象中的轮廓结构来对3-D目标 (三面角点目标) 的结构进行推理分析

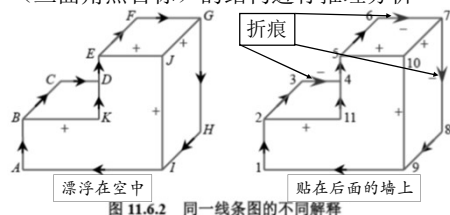


图 11.6.2 同一线条图的不同解释

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第39页

11.6 线条图标记

2. 结构推理

四类16种边线连接的 (拓扑) 组合类型

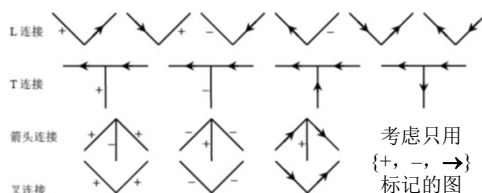


图 11.6.3 三面角点目标的 16 种连接类型

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第40页

11.6 线条图标记

3. 回溯标记

- 自动标记线条图的一种算法
- 给2-D线条图中每条边赋一个 (试探) 标记
- 将边排成序列, 以深度优先的方式生成通路
- 依次对每条边进行所有可能的标记
- 检验新标记与其他边标记的一致性
- 得到一种标记结果 (得到一条从解释树根到达树叶的完全通路)

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第41页

联系信息



- 通信地址: 北京清华大学电子工程系
- 邮政编码: 100084
- 办公地址: 清华大学, 罗姆楼, 6层305室
- 办公电话: (010) 62798540
- 传真号码: (010) 62770317
- 电子邮件: zhang-yj@tsinghua.edu.cn
- 个人主页: oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/

第11讲

章毓晋 (TH-EE-IE) ZHANG YU JIN

第42页