

分类号 TP391

学号 1605xxxx

U D C 681

密级 公开

工学博士学位论文

Bayer 图像联合去马赛克去噪关键技术研究

博 士 生 姓 名 谭同学

学 科 专 业 控制科学与工程

研 究 方 向 多媒体信息系统与虚拟现实技术

指 导 教 师 张 XX 教授

国防科技大学研究生院

二〇一九年九月

Joint Demosaicing and Denoising of Bayer Images

Candidate: **Tom Heaven**

Supervisor: **Prof. XX Zhang**

A dissertation

Submitted in partial fulfillment of the requirements

for the degree of **Ph.D of Engineering**

in **Control Science and Engineering**

Graduate School of National University of Defense Technology

Changsha, Hunan, P. R. China

September, 2019

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的学位论文是我本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表和撰写过的研究成果，也不包含为获得国防科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文题目： Bayer 图像联合去马赛克去噪关键技术研究

学位论文作者签名： _____ 日期： _____ 年 _____ 月 _____ 日

学位论文版权使用授权书

本人完全了解国防科技大学有关保留、使用学位论文的规定。本人授权国防科技大学可以保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子文档，允许论文被查阅和借阅；可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密学位论文在解密后适用本授权书。)

学位论文题目： Bayer 图像联合去马赛克去噪关键技术研究

学位论文作者签名： _____ 日期： _____ 年 _____ 月 _____ 日

作者指导教师签名： _____ 日期： _____ 年 _____ 月 _____ 日

目 录

表 目 录

图 目 录

摘 要

国防科技大学是一所直属中央军委的综合性大学。1984 年, 学校经国务院、中央军委和教育部批准首批成立研究生院, 肩负着为全军培养高级科学和工程技术人才与指挥人才, 培训高级领导干部, 从事先进武器装备和国防关键技术研究的重要任务。国防科技大学是全国重点大学, 也是全国首批进入国家“211 工程”建设并获中央专项经费支持的全国重点院校之一。学校前身是 1953 年创建于哈尔滨的中国人民解放军军事工程学院, 简称“哈军工”。

关键词: 国防科技大学; 211; 哈军工

ABSTRACT

National University of Defense Technology is a comprehensive national key university based in Changsha, Hunan Province, China. It is under the dual supervision of the Ministry of National Defense and the Ministry of Education, designated for Project 211 and Project 985, the two national plans for facilitating the development of Chinese higher education.

NUDT was originally founded in 1953 as the Military Academy of Engineering in Harbin of Heilongjiang Province. In 1970 the Academy of Engineering moved southwards to Changsha and was renamed Changsha Institute of Technology. The Institute changed its name to National University of Defense Technology in 1978.

Key Words: NUDT; MND; ME

符号使用说明

HPC	高性能计算 (High Performance Computing)
cluster	集群
Itanium	安腾
SMP	对称多处理
API	应用程序编程接口
PI	聚酰亚胺
MPI	聚酰亚胺模型化合物, N- 苯基邻苯酰亚胺
PBI	聚苯并咪唑
MPBI	聚苯并咪唑模型化合物, N- 苯基苯并咪唑
PY	聚吡咙
PMDA-BDA	均苯四酸二酐与联苯四胺合成的聚吡咙薄膜
ΔG	活化自由能 (Activation Free Energy)
χ	传输系数 (Transmission Coefficient)
E	能量
m	质量
c	光速
P	概率
T	时间
v	速度

第一章 第一章题目

本章的主要内容与学校提供的 Word 模板中内容一致，图片与表格均采用原始设定大小，主要是为了说明格式的统一。但是， \LaTeX 的一些禁则，专业排版的能力，对公式及文献的处理都是得天独厚的，我们不必刻意去追求与 Word 的完美匹配。而且你将会发现，用 \LaTeX 书写论文的美！

1.1 (1.1 题目)

正文内容

1.1.1 (1.1.1 题目)

正文内容

正文内容

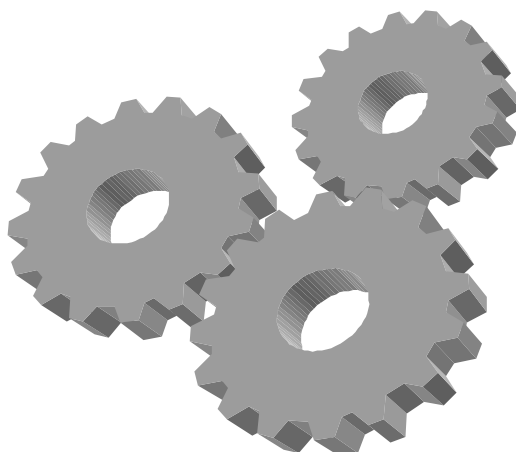


图 1.1 图 1.1 名称

1.1.1.1 (1.1.1.1 题目)

正文内容

正文内容

正文内容

1.1.1.2 (1.1.1.2 题目)

正文内容

正文内容

正文内容

1.1.2 (1.1.2 题目)

正文内容
正文内容

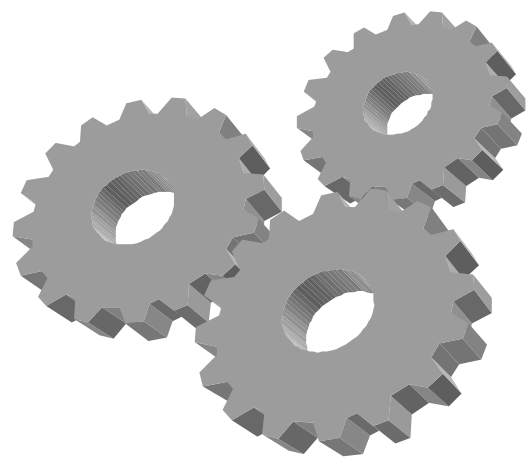


图 1.2 图 1.2 名称

1.2 (1.2 题目)

正文内容
正文内容

表 1.1

列 1	列 2
-----	-----

正文内容
正文内容
正文内容
正文内容

1.3 (1.3 题目)

正文内容

正文内容

正文内容

正文内容

正文内容

正文内容

1.3.1 (1.3.1 题目)

正文内容

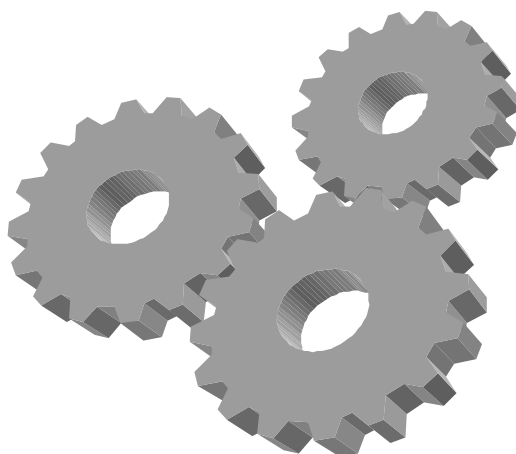


图 1.3 图 1.3 名称

1.3.2 (1.3.2 题目)

正文内容

正文内容

表 1.2

列 1	列 2
-----	-----

第二章 论文正文

本章将进入论文排版的正文, 按元素分主要包括: 字体段落, 图片表格, 公式定理, 参考文献这几部分。这个样例文件将包括模板中使用到的所有格式、模板中自定义命令到或者特有的东西, 都将被一一介绍, 希望大家在排版自己的学位论文前能细致的看一遍, 记住样例的格式和方法, 方便上手。

2.1 字体段落

陈赓 (1903 年 2 月 27 日— 1961 年 3 月 16 日), 原名陈庶康, 中国湖南湘乡人, 军事家。出生将门, 其祖父为湘军将领陈翼怀。

Adobe 中文字体有四种:

楷体\kai: 陈赓, 中国湖南湘乡人, 军事家。出生将门, 其祖父为湘军将领陈翼怀。1952 年筹办并任人民解放军军事工程学院第一任院长兼政委, 培养国防科技人才。1955 年被授予大将军衔。

仿宋\fs: 陈赓, 中国湖南湘乡人, 军事家。出生将门, 其祖父为湘军将领陈翼怀。1952 年筹办并任人民解放军军事工程学院第一任院长兼政委, 培养国防科技人才。1955 年被授予大将军衔。

黑体\hei: 陈赓, 中国湖南湘乡人, 军事家。出生将门, 其祖父为湘军将领陈翼怀。1952 年筹办并任人民解放军军事工程学院第一任院长兼政委, 培养国防科技人才。1955 年被授予大将军衔。

宋体就是正文字体了。下面测试字体大小, L^AT_EX 默认列表环境会在条目之间插入过多的行距, 在下面这种情况可能正好, 若用户需要正文行距的列表环境, 可以使用 compactitem 环境, 记住这点很重要, 不要再用那种自己修改 itemsep 的傻傻的办法了。

初号 陈赓大将

小初 陈赓大将

一号 陈赓大将

小一 陈赓大将

二号 陈赓大将

小二 陈赓大将

三号 陈赓大将

小三 陈赓大将

四号 陈赓大将

小四 陈赓大将

五号 陈赓大将

小五 陈赓大将

2.2 表格明细

表格是论文的重要组成部分，我们从简单的表格讲起，到复杂的表格为止。
模板中关于表格的宏包有三个：**booktabs**、**array** 和 **longtabular**。三线表建议使用 **booktabs** 中提供的，包含 **toprule**、**midrule** 和 **bottomrule** 三条命令，简单干脆！它们与 **longtable** 能很好的配合使用。下面来看一个表格实例：

表 2.1 模板文件。如果表格的标题很长，那么在表格索引中就会很不美观，所以要像 `chapter` 那样在前面用中括号写一个简短的标题。这个标题会出现在索引中。

文件名	描述
nudtpaper.ins	L ^A T _E X 安装文件，docstrip ^a
nudtpaper.dtx	所有的一切都在这里 ^b 。
nudtpaper.cls	模板类文件。
nudtpaper.cfg	模板配置文。cls 和 cfg 由前两个文件生成。
bstutf8.bst	参考文献 Bibtex 样式文件。
mynudt.sty	常用的包和命令写在这里，减轻主文件的负担。

^a表格中的脚注
^b再来一个

表 ?? 列举了本模板主要文件及其功能，基本上来说论文中最可能用到的就是这种表格形式了。请大家注意三线表中各条线对应的命令。这个例子还展示了如何在表格中正确使用脚注。如果你不需要在表格中插入脚注，可以将 `minipage` 环境去掉。由于 L^AT_EX 本身不支持在表格中使用 `\footnote`，所以我们不得不将

表格放在小页中，而且最好将表格的宽度设置为小页的宽度，这样脚注看起来才更美观。

另外六院的同学在使用模板时需要使用一种固定宽度（往往是页宽，下面的例子由 rongdonghu 提供）的表格，内容需要居中且可以自动调整。解决办法是自定义了一种`tabularx` 中的 **Z** 环境，在论文模板中，该命令已添加到`mynudt.sty` 中。下面是这种情况的实例：

表 2.2 Reed Solomon 码的典型应用

应用领域	编码方案
磁盘驱动器	RS(32,28,5) 码 ^a
CD	交叉交织 RS 码 (CIRC)
DVD	RS(208,192,17) 码、RS(182,172,11) 码
光纤通信	RS(255,229,17) 码

我们经常会在表格下方标注数据来源，或者对表格里面的条目进行解释。前面的脚注是一种不错的方法，如果你不喜欢 `minipage` 方法的脚注。那么完全可以在表格后面自己写注释，比如表 ??。

表 2.3 复杂表格示例 1

x \ y	First Half		Second Half	
	1st Qtr	2nd Qtr	3rd Qtr	4th Qtr
East*	20.4	27.4	90	20.4
	30.6	38.6	34.6	31.6
West**	30.6	38.6	34.6	31.6

*: 东部

**：西部

此外，表 ?? 同时还演示了另外三个功能：1) 通过 `tabularx` 的 `|x|` 扩展实现表格内容自动调整；2) 通过命令 `\backslashbox` 在表头部分插入反斜线（WORD 中很简单，但 \LaTeX 做表格需要一定的（极大的）想象力）；3) 就是使用 `multirow` 和 `multicolumn` 命令。

不可否认 \LaTeX 的表格功能没有想象中的那么强大，不过只要你足够认真，足够细致，那么同样可以排出来非常复杂非常漂亮的表格。可是科技论文中那么复杂表格有什么用呢？上面那个表格就够用啦。

浮动体的并排放置一般有两种情况：1) 二者没有关系，为两个独立的浮动体；2) 二者隶属于同一个浮动体。对表格来说并排表格既可以像表 ??、表 ?? 使用小

页环境，也可以如表 ?? 使用子表格来做。图与表同出一源，后面我们将讲解子图 (subfloat) 的例子。

表 2.4 第一个并排子表格

111	222
222	333

表 2.5 第二个并排子表格

111	222
222	333

表 2.6 并排子表格

(a) 第一个子表格

111	222
222	333

(b) 第二个子表格

111	222
222	333

如果您要排版的表格长度超过一页，那么推荐使用 **longtable** 命令。这里随便敲入一些无关的文字，使得正文看上去不是那么的少。表 ?? 就是 **longtable** 的简单示例。

表 2.7 实验数据

测试程序	正常运行 时间 (s)	同步 时间 (s)	检查点 时间 (s)	卷回恢复 时间 (s)	进程迁移 时间 (s)	检查点 文件 (KB)
CG.A.2	23.05	0.002	0.116	0.035	0.589	32491
CG.A.4	15.06	0.003	0.067	0.021	0.351	18211
CG.A.8	13.38	0.004	0.072	0.023	0.210	9890
CG.B.2	867.45	0.002	0.864	0.232	3.256	228562
CG.B.4	501.61	0.003	0.438	0.136	2.075	123862
CG.B.8	384.65	0.004	0.457	0.108	1.235	63777
MG.A.2	112.27	0.002	0.846	0.237	3.930	236473
MG.A.4	59.84	0.003	0.442	0.128	2.070	123875
MG.A.8	31.38	0.003	0.476	0.114	1.041	60627
MG.B.2	526.28	0.002	0.821	0.238	4.176	236635
MG.B.4	280.11	0.003	0.432	0.130	1.706	123793
MG.B.8	148.29	0.003	0.442	0.116	0.893	60600
LU.A.2	2116.54	0.002	0.110	0.030	0.532	28754

续下页

续表 2.7 实验数据

测试程序	正常运行 时间 (s)	同步 时间 (s)	检查点 时间 (s)	卷回恢复 时间 (s)	进程迁移 时间 (s)	检查点 文件 (KB)
LU.A.4	1102.50	0.002	0.069	0.017	0.255	14915
LU.A.8	574.47	0.003	0.067	0.016	0.192	8655
LU.B.2	9712.87	0.002	0.357	0.104	1.734	101975
LU.B.4	4757.80	0.003	0.190	0.056	0.808	53522
LU.B.8	2444.05	0.004	0.222	0.057	0.548	30134
EP.A.2	123.81	0.002	0.010	0.003	0.074	1834
EP.A.4	61.92	0.003	0.011	0.004	0.073	1743
EP.A.8	31.06	0.004	0.017	0.005	0.073	1661
EP.B.2	495.49	0.001	0.009	0.003	0.196	2011
EP.B.4	247.69	0.002	0.012	0.004	0.122	1663
EP.B.8	126.74	0.003	0.017	0.005	0.083	1656

另外，有的同学不想让某个表格或者图片出现在索引里面，那么请使用命令 `\caption*{}`，这个命令不会给表格编号，也就是出来的只有标题文字而没有“表 XX”，“图 XX”，否则索引里面序号不连续就显得不伦不类，这也是 \LaTeX 里星号命令默认的规则。

2.3 绘图插图

本模板不再预先装载任何绘图包（如 `pstricks`，`pgf` 等），完全由你自己来决定。个人觉得 `pgf` 不错，不依赖于 Postscript。此外还有很多针对 \LaTeX 的 GUI 作图工具，如 `XFig(jFig)`，`WinFig`，`Tpx`，`Ipe`，`Dia`，`Inkscape`，`LaTeXPiX`，`jPicEdt` 等等。本人强烈推荐 `Ipe`。

一般图形都是处在浮动环境中。之所以称为浮动是指最终排版效果图形的位置不一定与源文件中的位置对应，这也是刚使用 \LaTeX 同学可能遇到的问题。如果要强制固定浮动图形的位置，请使用 `float` 宏包，它提供了 `[H]`（意思是图片就给我放在这里Here）参数，但是除非特别需要，不建议使用 `[H]`，而是推荐使用 `[htbp]`，给 \LaTeX 更多选择。比如图 ??。

若子图共用一个计数器，那么请看图 ??，它包含两个小图，分别是图 ?? 和图 ??。这里推荐使用 `\subfloat`，**不要再用** `\subfigure` 和 `\subtable`。

而下面这个例子显示并排 3×2 的图片，见图??：

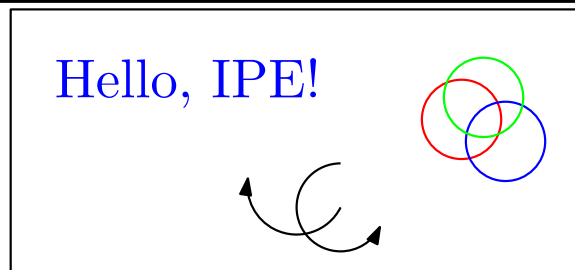


图 2.1 利用 IPE 制图



(a) 第一个小图形



(b) 第二个小图形。如果标题很长的话，它会自动换行，这个 caption 就是这样的例子

图 2.2 包含子图形的大图形

要注意，图??例中 `qquad` 相当于 `\hspace{2em}`，也就是 2 个字符的宽度，约 0.08 倍页宽，图片宽度设定为 0.27 倍页宽是合适的；在该环境中，尽量不要手动换行，所以，不妨自己计算一下！

如果要把编号的两个图形并排，那么小页 (minipage) 就非常有用，可以分别参考图??和图??。其实这个例子和表格一节中并排放置的表格一摸一样。

图形就说这么多，因为大家在写论文是遇到的最大问题不是怎么把图插进去，而是怎样做出专业的、诡异的、震撼的图片来，记得在这时参考前面推荐的那些



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

图 2.3 并排图片



图 2.4 并排第一个图



图 2.5 并排第二个图

工具吧，当然必不可少的是 Matlab 了，至于如何加入中文标注、支持中文等等可以上网去查，但这里推荐一点，用好 export 命令，使得插入图片时尽可能的不要缩放，保证图文的一致性。

2.4 公式定理

贝叶斯公式如式 (??)，其中 $p(y|\mathbf{x})$ 为后验； $p(\mathbf{x})$ 为先验；分母 $p(\mathbf{x})$ 为归一化因子，这是实际应用中十分恐怖的一个积分式。

$$p(y|\mathbf{x}) = \frac{p(\mathbf{x}, y)}{p(\mathbf{x})} = \frac{p(\mathbf{x}|y)p(y)}{p(\mathbf{x})} \quad (2.1)$$

论文里面公式越多， $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 就越 happy。再看一个 **amsmath** 的例子：

$$\det \mathbf{K}(t = 1, t_1, \dots, t_n) = \sum_{I \in \mathbf{n}} (-1)^{|I|} \prod_{i \in I} t_i \prod_{j \in I} (D_j + \lambda_j t_j) \det \mathbf{A}^{(\lambda)}(\bar{I}|\bar{I}) = 0. \quad (2.2)$$

大家在写公式的时候一定要好好看 **amsmath** 的文档，并参考模板中的用法：

$$\begin{aligned} & \int_a^b \left\{ \int_a^b [f(x)^2 g(y)^2 + f(y)^2 g(x)^2] - 2f(x)g(x)f(y)g(y) dx \right\} dy \\ &= \int_a^b \left\{ g(y)^2 \int_a^b f^2 + f(y)^2 \int_a^b g^2 - 2f(y)g(y) \int_a^b fg \right\} dy \end{aligned}$$

再看??：

$$\begin{aligned} C(z) &= [z^n] \left[\frac{e^{3/4}}{\sqrt{1-z}} + e^{-3/4}(1-z)^{1/2} + \frac{e^{-3/4}}{4}(1-z)^{3/2} + O\left((1-z)^{5/2}\right) \right] \\ &= \frac{e^{-3/4}}{\sqrt{\pi n}} - \frac{5e^{-3/4}}{8\sqrt{\pi n^3}} + \frac{e^{-3/4}}{128\sqrt{\pi n^5}} + O\left(\frac{1}{\sqrt{\pi n^7}}\right) \end{aligned} \quad (2.3)$$

当然了，数学中必不可少的是定理和证明：

定理 2.1: 假定 X 的二阶矩存在：

$$O_R(\mathbf{x}, F) = \sqrt{\frac{\mathbf{u}_1^T \mathbf{A} \mathbf{u}_1}{\mathbf{u}_1^T \mathbf{B} \mathbf{u}_1}} = \sqrt{\lambda_1}, \quad (2.4)$$

其中 \mathbf{A} 等于 $(\mathbf{x} - E\mathbf{X})(\mathbf{x} - E\mathbf{X})^T$ ， \mathbf{B} 表示协方差阵 $E(\mathbf{X} - E\mathbf{X})(\mathbf{X} - E\mathbf{X})^T$ ， λ_1 \mathbf{u}_1 是 λ_1 对应的特征向量，

对于希腊符号使用 **mathbf** 命令可能有些问题，所以建议对符号用 **bm** 加

粗，记得用`\up<greek>` 切换正体符号，下面看几个例子：`\gamma` 斜体代表变量 γ ，`\bm{\upgamma}` 正体代表向量 $\boldsymbol{\gamma}$ ，`\Gamma` 正体代表操作符号 Γ ，`\bm{\Gamma}` 正体粗体代表矩阵形式 $\mathbf{\Gamma}$ ，`\varGamma` 斜体代表变量 Γ 。另外对于大小写斜体的加粗可以见 $\boldsymbol{\gamma}$ 和 $\mathbf{\Gamma}$ ，但是这两种科技论文中很少出现，这里只做测试。非符号普通向量就用`\mathbf`吧： $\mathbf{x}_k, \mathbf{X}_k$ 。完整测试如下 $\omega, \boldsymbol{\omega}, \omega, \boldsymbol{\omega}, \Omega, \boldsymbol{\Omega}, \Omega, \boldsymbol{\Omega}$ 。

证明： 上述优化问题显然是一个 Rayleigh 商问题。我们有

$$O_R(\mathbf{x}, F) = \sqrt{\frac{\mathbf{u}_1^T \mathbf{A} \mathbf{u}_1}{\mathbf{u}_1^T \mathbf{B} \mathbf{u}_1}} = \sqrt{\lambda_1}, \quad (2.5)$$

其中 λ_1 下列广义特征值问题的最大特征值：

$$\mathbf{A}\mathbf{z} = \lambda\mathbf{B}\mathbf{z}, \mathbf{z} \neq 0.$$

\mathbf{u}_1 是 λ_1 对应的特征向量。结论成立。

下面来看看算法环境的定义和使用。我们知道，故障诊断的最终目的，是将故障定位到部件，而由于信号 – 部件依赖矩阵的存在，因此，实质性的工作是找出由故障部件发出异常信号，不妨称为源异常信号，而如前所述，源异常信号与异常信号依赖矩阵 \mathbf{S}_a 的全零列是存在一一对应的关系的。因此，我们只要获得了 \mathbf{S}_a 的全零列的相关信息，也就获得了源异常信号的信息，从而能进一步找到故障源。通过以上分析，我们构造算法??，用于实现非回路故障诊断。

算法 2.1 非回路故障诊断算法

已知： 信号 – 部件依赖矩阵 \mathbf{A} ，信号依赖矩阵 \mathbf{S} ，信号状态向量 α

求： 部件状态向量 γ

- 1: $\mathbf{P} \leftarrow \langle \alpha \rangle$
 - 2: $\mathbf{S}_a \leftarrow \mathbf{P}^T \mathbf{S} \mathbf{P}$
 - 3: **for** $i = 1$ to S_a 的阶数 m **do**
 - 4: $s_i \leftarrow s_i$ 的第 i 个行向量
 - 5: **end for**
 - 6: $\beta_a \leftarrow \neg(s_1 \vee s_2 \vee \cdots \vee s_m)^T$
 - 7: $\beta \leftarrow \mathbf{P} \beta_a$
 - 8: $\gamma \leftarrow \mathbf{A} \beta$
-

第一类故障回路推理与非回路故障推理是算法基本相同，稍微不同的是 β_a 的计算。因为第一类故障回路中的信号全部可能是源异常信号，因此我们不必计

算 $\beta_a = \neg ([s_1 \vee s_2 \vee \cdots \vee s_m]^T)$, 而直接取 $\beta_a = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}^T}_m$, 将 β_a 代入算法??, 有

$$\beta = \mathbf{P}\beta_a = \mathbf{P} \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}^T}_m = \alpha$$

因此一类故障回路的推理算法变得相当简单, 例如算法??

算法 2.2 第一类故障回路诊断算法

已知: 信号 – 部件依赖矩阵 \mathbf{A} , 信号状态向量 α

求: 部件状态向量 γ

1: $\gamma \leftarrow \mathbf{A}\alpha$

2.5 参考文献

当然参考文献可以直接写 bibitem, 虽然费点功夫, 但是好控制, 各种格式可以自己随意改写, 在 nudtpaper 里面, 建议使用 JabRef 编辑和管理文献, 再结合 bstutf8.bst, 对中文的支持非常不错, 格式也很规范。

本模板推荐使用 BIB_TE_X, 样式文件为 bstutf8.bst, 符合学校的参考文献格式 (如专利等引用未加详细测试)。看看这个例子, 关于书的[? ?], 还有这些[? ? ?], 关于杂志的[? ? ?], 硕士论文[? ?], 博士论文 [? ?], 标准文件[?], 会议论文[? ?], 技术报告[?]。中文参考文献[?] 特别注意, 需要在bibitem 中增加 language 域并设为 zh, 英文此项可不填, 之后由 bstutf8 统一处理 (具体就是决定一些文献在中英文不同环境下的显示格式, 如等、etc)。若使用 JabRef, 则你可按下面步骤来设置: 选择 **Options**→**Set Up General Fields**, 在 General: 后加入 language 就可以了。

有时候不想要上标, 那么可以这样 [?], 这个非常重要。

2.6 代码高亮

有些时候我们需要在论文中引入一段代码, 用来衬托正文的内容, 或者体现关键思路的实现。在模板中, 统一使用 listings 宏包, 并且设置了基本的内容格式, 并建议用户只使用三个接口, 分别控制: 编程语言, 行号以及边框。简洁达意即可, 下面分别举例说明。

首先是设定语言, 来一个 C 的, 使用的是默认设置:

```
1 void sort(int arr[], int beg, int end)
2 {
3     if (end > beg + 1)
```

```

4  {
5      int piv = arr[beg], l = beg + 1, r = end;
6      while (l < r)
7      {
8          if (arr[l] <= piv)
9              l++;
10         else
11             swap(&arr[l], &arr[--r]);
12     }
13     swap(&arr[--l], &arr[beg]);
14     sort(arr, beg, l);
15     sort(arr, r, end);
16 }
17 }

```

当我们需要高亮 Java 代码，不需要行号，不需要边框时，可以：

```

// A program to display the message
// "Hello World!" on standard output

public class HelloWorld {

    public static void main(String[] args) {
        System.out.println("Hello World!");
    }

} // end of class HelloWorld

```

细心的用户可能发现，行号被放在了正文框之外，事实上这样是比较美观的，如果有些用户希望在正文框架之内布置所有内容，可以：

```

1  #!/usr/bin/perl
2  print "Hello, world!\n";

```

好了，就这么多，listings 宏包的功能很强大也很复杂，如果需要自己定制，可以查看其手册，耐心阅读总会找到答案。**注意：**当前代码环境中中文注释的处理还不是很完善，对于注释请妥善处理。在本模板中，推荐算法环境或者去掉中文的 listings 代码环境。如果需要包含中文注释，不要求代码高亮，就用 code 环境，这个环境是 Verbatim 的定制版，简单有效，调用的是 fancyvbr 宏包，用户可在 mynuddt.sty 中修改它的外观等等。这里我们还可以给代码加上标签。

```

_____ hello.c _____
1 public class HelloWorld {
2     public static void main(String[] args) {
3         System.out.println("Hello World!");
4     }
5 } // 世界，你好!
_____

```

2.7 符号列表

前面的话：2.2 版本后默认使用 `nomenc1` 环境，如果你还是希望使用传统的 `definition.tex`，那么只需注释掉顶层文件中的 `nomenc1` 即可。

符号列表使用的是 `nomenc1` 包，自己简单定制了下，使用方法分为四步：

1. 将 `\makenomenc1` 语句放在正文前，即 `\begin{document}` 前面；
2. 将 `\printrnomenc1` 放在论文中，我在例子中将符号列表放在了英文摘要的后面，正文第一章的前面，当然，你可以根据自己的需要或者教研室的规范放置在合理的位置上，为了页面引用的正确，在这句话前面放上 `\cleardoublepage`；
3. 使用 `\nomenc1` 命令在论文的各个位置上添加符号定义，语法后面会讲到；
4. 编译。编译需要首先运行一遍 `xelatex`，之后运行

```
makeindex -s nomenc1.ist -o thesis.nls thesis.nlo
```

你可以把这句编译命令放在 `makepdf.bat` 中第一个 `xelatex thesis` 下面。然后双击 `makepdf.bat` 就可以了，论文模板中已经为你添加上了，如果你强烈不想使用 `nomenc1` 环境，只要把它注释掉（前面加 `rem`）就可以。另外，由于我使用的是 VIM 来编辑 \TeX 代码，具体到每个编辑器（诸如 WinEDT， \TeX Works 等）如何设定该命令的快捷按钮，诸位可以搜索网上的教程。

下面简单说明下 `\nomenc1` 命令，语法为。这里插入一些随机的文字，希望对你在阅读帮助中的思维没有什么不良的影响。

```
\nomenc1[<prefix>]{<symbol>}{<desc>}{<null>}
```

`nomenc1` 模板的默认排序方法可能（大多都）不满足要求，论文模板里，我们通过设定 `<prefix>` 来实现符号列表的排序。它分为两部分，比如如 `[Aa]`，第一个字母的含义是：

- ‘A’ 符号归为拉丁字母
- ‘G’ 希腊字母
- ‘X’ 上标
- ‘Z’ 下标

每个标识后边的字幕 `a-z` 作为当前符号组内的排列顺序，比如 β 就可以写成 `[Gb]`，诸如此类。当然你一定注意到了，这个排序分组的设定只是为了记忆方便，

并不是强制的，因此你可以有自己的方案，比如 Z 是 Greek，R 是 Roman 什么的，只要统一就好，只需记住，组间排列是按字母顺序排的。

注意符号表分四列，前三列的含义与命令中相同，最后一列是符号定义时所在的页码。效果看例子，对于下式：

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.6)$$

或者：

$$\frac{1}{k} = \left[\frac{1}{\alpha_i r_i} + \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j} \ln \frac{r_{a,j}}{r_{i,j}} + \frac{1}{\alpha_a r_a} \right] \cdot r_{\text{reference}} \quad (2.7)$$

注意事项：模板中定制的 nomencl 格式在 mynudt.sty 中，默认是三栏的，分别是：“符号”，“定义”，“首次出现页码”，注意这里的符号列表都没有单位，如果你需要额外的栏输入单位（呵呵，聪明的读者可能看出来了，nomenclature 命令最后一个是空的，就是用来让你赋予她各种意义的）。此时就需要你有一点点动手能力了（其实只要会修改表格就行），方法很简单，比如需要添加“国际单位制”这一栏，则

1. 论文中 \nomenclature 命令的第三个参数就让他代表单位，也可留空；
2. 将 mynudt.sty 中 longtable 的表头添加“国际单位制”几个字，你也可以取其他的名字，放在那个应该出现的位置上；
3. 由于增加了 5 个字，就把前面栏的宽度数字减 5，同时设定第三栏宽度为 5，注意这一步需要你自己调整，记得不要让表格超出边界就行。

2.8 中文习惯

对于 itemize 过大的行间距，用户可以使用 compactitem 环境来替代，但是模板中不进行默认替代，因为只有用户真正发现列表不好看才会找到这里，而且在示例文件中，陈赓大将那个列表环境如果压缩了行距会很不好看。谢谢 ZhangLei 的建议！

一个重要的提示：作者自己的定义命令、包等，不要放在模板里面，请放到 mynudt.sty 中，这样模板时，只要覆盖 nudtpaper.cls 即可。

中文破折号为一个两个字宽垂直居中的直线，输入法直接得到的破折号是两个断开的小短线（——），这看起来不舒服。所以模板中定义了一个破折号的命令 \pozhehao，请看：

厚德博学，强军兴国

—— 国防科大校训

致 谢

衷心感谢导师 xxx 教授和 xxx 副教授对本人的精心指导。他们的言传身教将使我终生受益。

感谢 NUDTPAPER，它的存在让我的论文写作轻松自在了许多，让我的论文格式规整漂亮了许多。

作者在学期间取得的学术成果

发表的学术论文

- [1] Yang Y, Ren T L, Zhang L T, et al. Miniature microphone with silicon-based ferroelectric thin films. *Integrated Ferroelectrics*, 2003, 52:229-235. (SCI 收录, 检索号:758FZ.)
- [2] 杨轶, 张宁欣, 任天令, 等. 硅基铁电微声学器件中薄膜残余应力的研究. *中国机械工程*, 2005, 16(14):1289-1291. (EI 收录, 检索号:0534931 2907.)
- [3] 杨轶, 张宁欣, 任天令, 等. 集成铁电器件中的关键工艺研究. *仪器仪表学报*, 2003, 24(S4):192-193. (EI 源刊.)
- [4] Yang Y, Ren T L, Zhu Y P, et al. PMUTs for handwriting recognition. In press. (已被 *Integrated Ferroelectrics* 录用. SCI 源刊.)
- [5] Wu X M, Yang Y, Cai J, et al. Measurements of ferroelectric MEMS microphones. *Integrated Ferroelectrics*, 2005, 69:417-429. (SCI 收录, 检索号:896KM.)
- [6] 贾泽, 杨轶, 陈兢, 等. 用于压电和电容麦克风的体硅腐蚀相关研究. *压电与声光*, 2006, 28(1):117-119. (EI 收录, 检索号:06129773469.)
- [7] 伍晓明, 杨轶, 张宁欣, 等. 基于 MEMS 技术的集成铁电硅微麦克风. *中国集成电路*, 2003, 53:59-61.

研究成果

- [1] 任天令, 杨轶, 朱一平, 等. 硅基铁电微声学传感器畴极化区域控制和电极连接的方法: 中国, CN1602118A. (中国专利公开号.)
- [2] Ren T L, Yang Y, Zhu Y P, et al. Piezoelectric micro acoustic sensor based on ferroelectric materials: USA, No.11/215, 102. (美国发明专利申请号.)

附录 A 模板提供的希腊字母命令列表

大写希腊字母:

Γ \Gamma	Λ \Lambda	Σ \Sigma	Ψ \Psi
Δ \Delta	Ξ \Xi	Υ \Upsilon	Ω \Omega
Θ \Theta	Π \Pi	Φ \Phi	
Γ \varGamma	Λ \varLambda	Σ \varSigma	Ψ \varPsi
Δ \varDelta	Ξ \varXi	Υ \varUpsilon	Ω \varOmega
Θ \varTheta	Π \varPi	Φ \varPhi	

小写希腊字母:

α \alpha	θ \theta	o o	τ \tau
β \beta	ϑ \vartheta	π \pi	υ \upsilon
γ \gamma	ι \iota	ϖ \varpi	ϕ \phi
δ \delta	κ \kappa	ρ \rho	φ \varphi
ϵ \epsilon	λ \lambda	ϱ \varrho	χ \chi
ϵ \varepsilon	μ \mu	σ \sigma	ψ \psi
ζ \zeta	ν \nu	ς \varsigma	ω \omega
η \eta	ξ \xi	κ \varkappa	\digamma \digamma
α \upalpha	θ \uptheta	o \mathrm{o}	τ \uptau
β \upbeta	ϑ \upvartheta	π \uppi	υ \upupsilon
γ \upgamma	ι \upiota	ϖ \upvarpi	ϕ \upphi
δ \updelta	κ \upkappa	ρ \uprho	φ \upvarphi
ϵ \upepsilon	λ \uplambda	ϱ \upvarrho	χ \upchi
ϵ \upvarepsilon	μ \upmu	σ \upsigma	ψ \uppsi
ζ \upzeta	ν \upnu	ς \upvarsigma	ω \upomega
η \upeta	ξ \upxi		

希腊字母属于数学符号类别, 请用\bm 命令加粗, 其余向量、矩阵可用\mathbf。