

清华大学学位论文 L^AT_EX 模板

使用示例文档

(申请清华大学工学硕士学位论文)

培 养 单 位: 计 算 机 科 学 与 技 术 系

学 科: 计 算 机 科 学 与 技 术

研 究 生: 薛 瑞 尼

指 导 教 师: 郑 纬 民 教 授

副指导教师: 陈 文 光 教 授

联合指导教师某某某 教 授

二〇一七年三月

An Introduction to L^AT_EX Thesis Template of Tsinghua University

Thesis Submitted to
Tsinghua University
in partial fulfillment of the requirement
for the professional degree of
Doctor of Engineering

by
Xue Ruini
(Computer Science and Technology)

Thesis Supervisor : Professor Zheng Weimin
Associate Supervisor : Chen Wenguang

March, 2017

关于学位论文使用授权的说明

本人完全了解清华大学有关保留、使用学位论文的规定，即：

清华大学拥有在著作权法规定范围内学位论文的使用权，其中包括：（1）已获学位的研究生必须按学校规定提交学位论文，学校可以采用影印、缩印或其他复制手段保存研究生上交的学位论文；（2）为教学和科研目的，学校可以将公开的学位论文作为资料在图书馆、资料室等场所供校内师生阅读，或在校园网上供校内师生浏览部分内容。

本人保证遵守上述规定。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

作者签名：_____

导师签名：_____

日 期：_____

日 期：_____

摘 要

论文的摘要是对论文研究内容和成果的高度概括。摘要应对论文所研究的问题及其研究目的进行描述，对研究方法和过程进行简单介绍，对研究成果和所得结论进行概括。摘要应具有独立性和自明性，其内容应包含与论文全文同等量的主要信息。使读者即使不阅读全文，通过摘要就能了解论文的总体内容和主要成果。

论文摘要的书写应力求精确、简明。切忌写成对论文书写内容进行提要的形式，尤其要避免“第 1 章……；第 2 章……；……”这种或类似的陈述方式。

本文介绍清华大学论文模板 THUTHESIS 的使用方法。本模板符合学校的本科、硕士、博士论文格式要求。

本文的创新点主要有：

- 用例子来解释模板的使用方法；
- 用废话来填充无关紧要的部分；
- 一边学习摸索一边编写新代码。

关键词是为了文献标引工作、用以表示全文主要内容信息的单词或术语。关键词不超过 5 个，每个关键词中间用分号分隔。（模板作者注：关键词分隔符不用考虑，模板会自动处理。英文关键词同理。）

关键词：T_EX；L^AT_EX；CJK；模板；论文

Abstract

An abstract of a dissertation is a summary and extraction of research work and contributions. Included in an abstract should be description of research topic and research objective, brief introduction to methodology and research process, and summarization of conclusion and contributions of the research. An abstract should be characterized by independence and clarity and carry identical information with the dissertation. It should be such that the general idea and major contributions of the dissertation are conveyed without reading the dissertation.

An abstract should be concise and to the point. It is a misunderstanding to make an abstract an outline of the dissertation and words “the first chapter”, “the second chapter” and the like should be avoided in the abstract.

Key words are terms used in a dissertation for indexing, reflecting core information of the dissertation. An abstract may contain a maximum of 5 key words, with semi-colons used in between to separate one another.

Key words: T_EX; L^AT_EX; CJK; template; thesis

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 研究背景	1
1.2 主要研究内容和挑战	5
1.3 本文的主要贡献	5
第 2 章 研究现状和相关工作	6
2.1 本章引言	6
2.2 多摄像头系统	6
2.3 多摄像头系统的同步控制	8
2.3.1 硬件同步	9
2.3.2 软件同步	10
2.4 摄像头拍摄时间检测	10
2.5 本章小结	10
第 3 章 引言	11
3.1 研究背景	11
3.2 主要研究内容和挑战	11
3.3 本文的主要贡献	11
参考文献	12
致 谢	14
声 明	14
个人简历、在学期间发表的学术论文与研究成果	16

主要符号对照表

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	聚吡咯
PMDA-BDA	均苯四酸二酐与联苯四胺合成的聚吡咯薄膜
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
劝学	<p>君子曰：学不可以已。青，取之于蓝，而青于蓝；冰，水为之，而寒于水。木直中绳。輅以为轮，其曲中规。虽有槁暴，不复挺者，輅使之然也。故木受绳则直，金就砺则利，君子博学而日参省乎己，则知明而行无过矣。吾尝终日而思矣，不如须臾之所学也；吾尝跂而望矣，不如登高之博见也。登高而招，臂非加长也，而见者远；顺风而呼，声非加疾也，而闻者彰。假舆马者，非利足也，而致千里；假舟楫者，非能水也，而绝江河，君子生非异也，善假于物也。积土成山，风雨兴焉；积水成渊，蛟龙生焉；积善成德，而神明自得，圣心备焉。故不积跬步，无以至千里；不积小流，无以成江海。骐骥一跃，不能十步；驽马十驾，功在不舍。锲而舍之，朽木不折；锲而不舍，金石可镂。蚓无爪牙之利，筋骨之强，上食埃土，下饮黄泉，用心一也。蟹六跪而二螯，非蛇鳝之穴无可寄托</p>

者，用心躁也。——荀况

第1章 引言

1.1 研究背景

随着软件与硬件技术的不断发展进步，摄像头已经成为人们日常生活中必不可少的互联网设备。摄像头的发展更加趋向于模块化，功能化，小型化，应用场景也更加广泛。在智能手机上，前置和后置摄像头成为必备设备；在安防监控领域，摄像头正在被大量布置；在自动驾驶以及其他自动控制领域，摄像头正在替代人眼成为信息输入的主要来源。同时得益于处理器计算能力地不断增强，在摄像头模块中也集成了更多的实用功能，摄像头不再仅仅作为图像采集设备。例如，利用摄像头实现人脸识别功能，替代密码输入或者进行人员搜索；利用摄像头实现运动物体检测功能，在监控过程中替代人工监视；利用摄像头实现图像处理分析，实时生成周围环境信息。摄像头越来越强大的功能给人们的日常生活提供了巨大帮助。

但是，对于单一摄像头，其成像大小、拍摄速率等方面仍存在一定的限制。因此将多个摄像头整合到一起，组成多摄像头系统，成为摄像头发展的一个重要方向。这样既可以利用不同性能参数的摄像头弥补各自的不足之处，也可以成倍扩展摄像头性能。同时，多摄像头系统可以由多个参数指标一般，较为便宜普通的摄像头组成，通过系统优化使其实现更高的性能。

例如，Stanford 大学计算机图形学实验室利用 100 个低成本的 CMOS 摄像头组成了一个大规模阵列，配合相应的编码器、FPGA、处理器和控制总线等设备，通过调整各摄像头的排列顺序和拍摄角度，实现了高像素、高帧率、多光场摄影等功能^[1]。当将各摄像头紧密排列，通过同步使其在同一时间拍摄，将拍摄到的所有图像进行拼接，可以得到一幅高像素的图像，即利用低像素多摄像头系统进行高像素拍摄。当控制各摄像头在不同时间拍摄相同图像，将各帧图像按时间顺序排列，可以突破各个摄像头拍摄帧率的限制，在每秒内得到更多图像，即利用低帧率摄像头实现高速摄影。当各摄像头之间存在一定距离，该系统即可实现多焦点拍摄，得到光场图像数据。

同样，在智能手机领域，越来越多的智能手机配备了双目摄像头系统。例如 Apple 公司的 iPhone 7 手机和华为公司的 P9 手机，均配备双目摄像头，这样可以有效优化拍摄图像的亮度、对比度和清晰度等，以获得更好的拍摄效果。诺基亚公司曾发布过一款智能手机，使用的是一颗摄像头阵列，包含 4×4 共 16 颗子镜头，为了提高图片的色彩纯净度，每个子镜头仅捕捉红、绿、蓝三种颜色当中的一种，

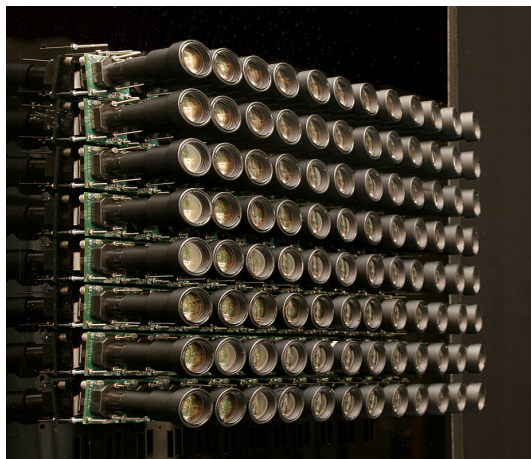


图 1.1 Stanford 大学多摄像头阵列

由处理器对所有子镜头拍摄到的图像进行叠加处理，这样还能够更好地抑制噪点。该手机使用的摄像头阵列还能够实现多点变焦功能，即在拍摄时，各个子镜头选取不同的焦点，并将所有拍摄数据保存，这样可以实现一次拍摄，得到不同焦点的图像。在拍摄后期，就可以根据需要选取合适的焦点调整图片效果。



(a) 包含 16 颗子镜头的阵列摄像头模块 (b) 选取不同焦点，在后期对图片进行变焦处理

图 1.2 诺基亚阵列摄像头手机

多摄像头系统的另一个著名应用是“子弹时间”的拍摄。“子弹时间”拍摄技巧最早出现在 1999 年的电影《黑客帝国》(The Matrix) 中，是指利用计算机辅助技术，使得拍摄到的视频呈现时间变慢或者静止，同时拍摄角度发生变化的视觉特效。实现方法即为利用一系列摄像头组成多摄像头系统，各个摄像头在同一时刻拍摄不同角度的图像，后期处理过程中将同一时刻拍摄的不同角度的图像穿插拼接，以实现时间静止的效果。

在无人驾驶领域，特斯拉第二代自动驾驶技术的摄像头系统包括了三个前置

摄像头，即一个主摄像头负责采集主要道路信息，一个配备广角镜头的副摄像头检测更多车道，一个副摄像头检测前方车辆；在四旋翼飞行器领域，大疆公司最新的精灵 4 Pro 飞行共器配备了 7 个摄像头，安装在机身周围的摄像头可以实现躲避障碍物、追踪拍摄对象等功能，安装在机身下方的摄像头可以实现精确定位、悬停等功能，同时高分辨率、高帧率的主摄像头可以实现 4K 高清视频的拍摄；在 VR、3D 视频拍摄领域，需要多摄像头实现多角度全景拍摄，或模拟人眼拍摄立体视觉效果。多摄像头系统在越来越多的领域得到了广泛应用，发挥了越来越重要的作用，也越来越受到人们的重视。



(a) 特斯拉自动驾驶技术 (b) 大疆四旋翼飞行器 (c) 诺基亚全景 VR 相机

图 1.3 多摄像头系统的应用场景

目前关于多摄像头系统的研究主要集中在软件应用和硬件优化两个方面。其中，软件应用主要是利用现有的成熟系统实现或优化特定功能。例如对多摄像头图像进行拼接校准，利用多摄像头系统进行目标跟踪识别，利用多摄像头系统进行全景拍摄三维重建等。此类应用大多在现有的多摄像头系统的基础上采集数据，或者直接利用拍摄好的视频文件进行研究，因此对于多摄像头系统的性能参数并没有较严格的要求。而关于硬件优化方面的研究，主要集中于如何搭建多摄像头系统，包括摄像头控制，数据传输，算法优化，视角调整等。此方面的研究资料较少，主要是因为对于硬件系统的研究需要耗费大量的人力物力，且属于基础研究，能够取得的突破性成果较少。

对于多摄像头系统来说，为了实现其特定的功能，需要控制系统内的各个摄像头在同一时刻拍摄或按照特定的时间间隔拍摄。如果为了将各个摄像头拍摄到的图像进行拼接，以得到更大分辨率的图像，就需要各个摄像头精确地在同一时刻进行拍摄，这样才能捕捉到拍摄对象在该时刻的状态，如果拍摄时间存在间隔，则拍摄对象的状态发生变化，就无法进行准确的拼接。如果为了将各个摄像头拍摄到的图像按时间顺序穿插排列，以得到更高的拍摄速率，就需要各个摄像头的拍摄时间存在一定的时间差。例如，对于一个双摄像头系统来说，各个摄像头的拍摄速率为 25 帧每秒 (Frames Per Second, FPS)，即各个摄像头拍摄的每两帧图

像之间的时间间隔为 40ms，如果控制两个摄像头的拍摄时间间隔为 20ms，则第一个摄像头拍摄的第一帧图像与第二个摄像头拍摄的第一帧图像之间相差 20ms，第二个摄像头的第一帧图像与第一个摄像头的第二帧图像相差 20ms。将所有拍摄图像按时间顺序交错排列，即可得到每帧图像之间相差 20ms 的视频，其拍摄速率即为 50FPS，该系统利用两个摄像头实现了帧率的提升。

而部分研究工作对各个摄像头之间的时间间隔并没有提出明确的要求，是由于时间差对其研究结果造成的影响较小。例如在进行图像拼接时，如果各个摄像头拍摄静态对象，那么在较短的时间段内，拍摄对象发生的变化不大。而如果对较快的运动对象进行拍摄时，在一定的时间段内，拍摄对象就会发生较大变化从而会影响拼接结果。如图 1.4(a) 所示，待拼接的对象为静态的建筑物，两张图片的拍摄时间即使存在一定的差别仍然不影响拍摄结果。而如图 1.4(b) 所示，当拍摄对象为移动的人时，如果拍摄时间不同，则拼接后的图像中同一个人会出现两次，且动作不同^[2]。



(a) 静态拍摄对象的图像拼接



(b) 动态拍摄对象的图像拼接

图 1.4 拍摄时间存在间隔时进行图像拼接的结果

因此，在多摄像头系统的搭建过程当中，一个重要的问题在于如何实现系统内各个摄像头之间的时间同步。目前主要的同步方法有硬件同步和软件同步两种。

硬件同步指的是利用硬件设备将控制系统与各个摄像头相连，通过控制信号控制摄像头的拍摄时间。如图 1.5(a)所示 CODEX 多摄像头控制器，即可实现对多个摄像头的控制及数据传输功能^①。同样还可以利用外部信号，如闪光灯、声音等控制各个摄像头。如图 1.5(b)所示的由单反相机组成的阵列即可以利用闪光灯作为触发信号，实现“子弹时间”的拍摄。利用软件对多摄像头系统进行同步，主要是指由服务器控制各个摄像头，根据采集到的图像数据分析拍摄时间，从而判定系统内的同步情况，最后根据算法对摄像头进行调整。

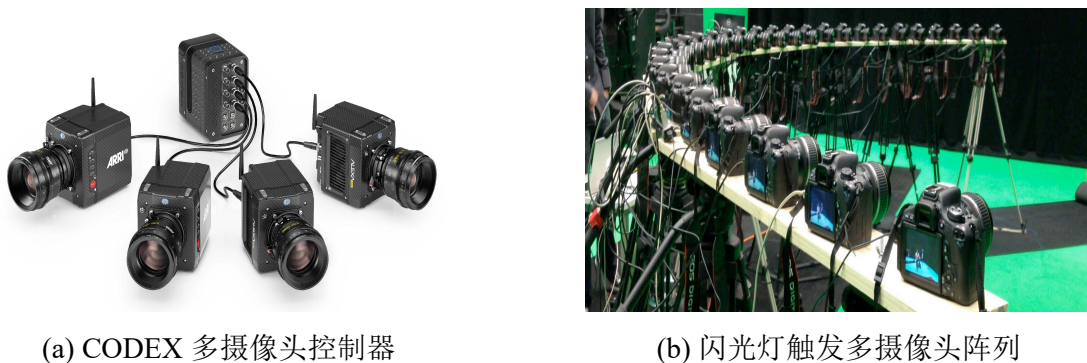


图 1.5 利用硬件进行多摄像头同步

在对多摄像头系统进行同步的过程中，大部分方法是根据摄像头或者控制系统产生的时间戳来判定摄像头拍摄时间的，即这些方法认为时间戳生成的时间与摄像头的曝光时间严格一一对应，这种方法在对同步精度要求不高的情况下是可以被认为是正确的。但是在实际操作过程当中，多摄像头系统内系统响应、信号传输、软件运行都会耗费长短不等且随机分布的时间，因此从控制单元想摄像头发送拍摄指令到生成时间戳，再到摄像头的感光器件开启曝光，这之间会存在随机变化的时间间隔，也就导致系统生成的时间戳无法精确表示摄像头拍摄时间，各个摄像头之间可能会与控制要求存在误差。

因此，对于需要精确同步的多摄像头系统来说，还需要有时间戳以外的方法来精确表示摄像头的拍摄时间，即如何检测摄像头的拍摄时间也是多摄像头系统实现过程当中的一个重要问题。目前应用较多的方法是利用灯光信号作为时钟信号，被摄像头拍摄后根据拍摄图像识别拍摄时刻的信号信息，从而确定摄像头的拍摄时刻。

1.2 主要研究内容和挑战

1.3 本文的主要贡献

^① <https://www.provideocoalition.com/codex-multi-camera-recorder/>

第2章 研究现状和相关工作

2.1 本章引言

本章首先介绍了多摄像头系统的发展现状以及发展趋势，并列举了若干多摄像头系统的性能以及实现方法。然后介绍了多摄像头系统同步控制的几种方法，主要可以分为硬件控制和软件控制两大类。最后介绍了对摄像头拍摄时间进行检测的相关方法。

2.2 多摄像头系统

多摄像头系统一般由多个单一摄像头组合形成，包括数据采集，控制，数据存储分析等几部分组成。多摄像头系统的优势在于融合了各个摄像头的优点，并且利用数量上的优势成倍将这些优点放大。如果需要实现多种拍摄要求，就需要摄像头满足多种性能指标，对于单一摄像头来说大多数情况下很难满足，而能够满足要求的摄像头往往较为昂贵或难以获得，甚至有些情况下对于摄像头的多种性能要求是相互矛盾的，根本无法实现，而多摄像头系统就能够很好地解决这一问题。多摄像头系统可以选取多个具有不同性能指标的摄像头，选取所需的功能进行融合即可满足要求。同时还可以利用多个摄像头的融合使其性能指标成倍增长，从而利用廉价摄像头实现了高品质摄像头的功能。

目前多摄像头系统主要可分为两种类型，一类是大规模同类摄像头集成，一类是异种摄像头组合搭配。同类摄像头集成一般采用较多的相同性能参数摄像头组成摄像头阵列，以形成规模优势。Stanford 大学计算图形学实验室搭建了一个多摄像头阵列^[3]，就是利用了低成本摄像头的价格优势和高性能处理器的运算优势，将 100 个 CMOS 图像传感器数码摄像头组成阵列形式。每个摄像头由两部分组成，一部分负责图像采集，由互补金属氧化物半导体（CMOS）图像传感器和廉价镜头组成，一部分负责数据处理，由视频编码器，现场可编程逻辑门阵列（FPGA）和 IEEE 1394（Firewire）传输接口组成。该多摄像头系统能够对 100 个摄像头拍摄到的视频进行实时同步压缩，并将数据保存在硬盘中。

根据各个摄像头排列方式和拍摄角度的不同，该多摄像头系统能够实现多种功能。当各个摄像头紧密排列时，可以将系统视为一个单中心的合成相机，将各个摄像头拍摄到的数据进行合成处理后，就能够大幅度提升各项性能参数，如动态范围、景深、帧率和光谱灵敏度等^[4,5]。当各个摄像头排列间隔较远时，可以将该



图 2.1 Stanford 大学多摄像头阵列

系统视为多中心摄像头，即为视场相机。通过该视场相机可以提出新的三维场景重建方法以及多视角全景构建方法^[6]。当各个摄像头间隔排列时，可以将系统视为一个具有大合成孔径相机，这使得该系统可以通过部分闭塞的环境观察拍摄对象，即实现共聚焦镜头的离散近似，其中不在选定平面上的物体变得模糊和黑暗^[7,8]。

另一类多摄像头系统由不同性能的摄像头组合而成，这样可以充分发挥各个摄像头的性能优势，从而满足使用者对于系统的多种需求。例如在欧洲航天局（ESA）和俄罗斯联邦航天局合作推动的火星探测计划（ExoMars）中^[9,10]，为了能够使火星登陆车实现周边地形勘测，火星车自身定位，大气及周边环境监测，科学实验观测等功能，研究人员将配置在火星车上的全景摄像头（Panoramic Camera）设计成了一个多摄像头系统。该系统是由一个高分辨率摄像头（HRC）和两个广角立体摄像头（WAC）组成。其中高分辨率摄像头的有效像素为 1024×1024 ，主要负责细节图像的拍摄。而广角立体摄像头配备视角为 65° 的镜头，通过两个摄像头采集到的图像进行融合，模拟人眼实现立体成像，主要负责观测周围环境。这样，该系统通过不同性能指标的摄像头之间的配合，实现了所需的全部功能。

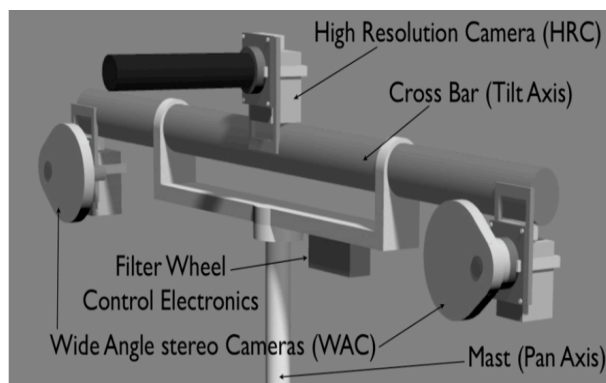


图 2.2 火星登陆上的全景摄像头

目前针对多摄像头系统的研究，多围绕对视频内容的分析展开。例如针对视

频内的运动物体进行追踪，在安防监控等领域有较多应用。Ting-Hsun Chang 等人在文献^[11]中提出了一种基于贝叶斯模态融合的方法，利用多摄像头系统追踪室内环境下多个人的移动轨迹。为了连续追踪运动物体，该系统为每个新检测到的对象设定特有的模式，当对象移动或进入到其他摄像头视野内时，系统会利用贝叶斯网络组合匹配各个模式，以实现连续追踪。不同于其他单一摄像头的闭塞推理追踪方法，该方法利用多摄像头系统进行交互追踪，能够大大提高追踪精度。同样 Kim 等人在文献^[12]中也提出了一种基于平面跟踪对应模型（TCM）的方法来对大规模多摄像头系统内的对象进行跟踪。该方法为每个运动对象计算了一个唯一且不变的追踪对应模型，使得在不同摄像头的视野内，或者在各个摄像头重叠的视野内，对应同一个物体来说有且只有一个追踪对应模型，这样就能能够准确追踪对象的运动。

还比如针对拍摄图像进行多摄像头校准，以实现更好的拍摄效果。Strecha 等人在文献^[13]中为了实现基于图像的三维建模技术，需要将各个摄像头进行校准并实现多角度立体视觉。Baker 等人在文献^[14]中为了校准各个摄像头，利用 LED 灯光建立点对（point correspondences），输入到大规模非线性特征值最小化程序当中，使得各个摄像头两两之间建立全息投影矩阵。Kurillo 等人在文献^[15]中提出了一种广域校准方法，利用 LED 灯光标识作为校准对象，利用矩阵分解计算摄像头初始姿态，并通过自动构建加权视觉图，同时在相机之间找到最佳的变换路径来解决全局校准。

另外一些研究是针对多摄像头拍摄结果进行拼接。Hongming Zhang 等人在文献^[16]中为了解决前景对象在视频拼接过程中造成的割裂问题，提出了一种前景对象边缘调整的方法。该方法将各个摄像头拍摄到的图像进行前景提取，并根据前景图像的内容动态调整拼接边缘，再对于静态的背景图像进行拼接，最后将前景图像与背景图像进行融合即可得到拼接结果。

2.3 多摄像头系统的同步控制

多摄像头系统的同步控制，其主要的目的是为了能够精确控制系统内各个摄像头的拍摄时间，以减小拍摄时间误差对拍摄结果造成的影响。例如，当利用多个摄像头从不同角度拍摄某一对象时，如果该对象静止不动，则各个摄像头的拍摄时间存在误差也不会影响拍摄结果。但是如果该对象是在不断变化，则各个摄像头会在不同时刻拍摄到该对象的不同状态，如果各个摄像头之间并非精确同步，其拍摄时间存在一定波动，那么就无法拍摄到同一时刻该对象的相同状态。同样，当利用多个摄像头按照一定的时间间隔，在不同时刻连续拍摄某一对象的变化，如

果各个摄像头之间并非时间同步，那么就无法控制其按照设定好的时间间隔拍摄，可能会发生拍摄时间的重叠、提前或延后。

现阶段，对多摄像头系统进行同步控制，主要分为硬件控制和软件控制两种。利用硬件进行控制时，需要通过特殊的硬件接口，如 IEEE-1394 接口、Camera Link 接口等，将系统内各个摄像头连接到一起，通过控制器发送控制信号给摄像头。而利用软件进行控制——

2.3.1 硬件同步

硬件同步控制主要可分为两类：一类是利用多路图像数据采集卡实现，一类是利用外部触发信号源实现。

图像数据采集卡是一种对摄像头图像数据进行获取、处理、存储等功能的硬件设备。通过硬件接口同摄像头进行连接，接口的种类包括模拟接口，如 AV 接口、S 端子等，和数字接口，如 PCI 总线、USB 接口等。图像数据采集卡一般都集成了对摄像头的控制模块、编解码模块、存储模块等功能模块，因此具有多个输出接口的采集卡能够对多路摄像头进行控制。在图像数据采集卡的使用过程当中，一般对于摄像头的要求较高，需要摄像头具有专门的通信接口能够同采集卡进行连接，并且能够对采集卡的输出信号进行相应，同时也要保证采集到的数据能够被采集卡所识别。虽然采用图像数据采集卡能够在硬件层面对多路摄像头进行比较精确的同步控制，但是由于此类采集卡多为成熟产品，开放性较低，难于对其进行更底层地控制，同时对于摄像头的要求限制也较多。

目前市面上可以购买的图像数据采集卡种类很多，其主要差别在于摄像头接口种类，输出路数以及其他一些附加功能。同样也有很多研究关于设计并实现多路图像数据采集卡。如朱海宽等人在文献^[17]中设计并实现了一种基于 PCI 总线的多路图像采集卡；刘晓军等人在文献^[18]中实现了一种具有 HD-SDI 高清串行数字接口的 FPGA 视频采集卡；王剑飞等人在文献^[19]中实现了在 Linux 平台下的视频采集设备的驱动程序。

为了消除图像数据采集卡在使用过程中的种种限制，更多的多摄像头系统采用外部触发信号源实现同步控制功能。这类系统内的各个摄像头都具有触发信号的收发接口，通过接口与控制器相连接，控制器根据系统需求在特定的时刻发送触发信号给各个摄像头。姜广文等人在文献^[20]中提出了一种基于外触发的多摄像头同步系统的设计方法。该方法采用 USB 接口的数字输出模块作为同步触发信号发生器，将高精度的触发信号发送给各个摄像头，实现同步功能。国蓉等人在文献^[21]中利用同步信号发生器和锁相环电路实现同步功能。当摄像头接收到同步触

发信号后, 开始进行曝光拍摄, 经试验验证, 触发信号与摄像头拍摄周期之间的相位差为 $10\mu\text{s}$

2.3.2 软件同步

2.4 摄像头拍摄时间检测

2.5 本章小结

第 3 章 引言

3.1 研究背景

封面的例子请参看 `cover.tex`。主要符号表参看 `denation.tex`，附录和个人简历分别参看 `appendix01.tex` 和 `resume.tex`。里面的命令都非常简单，一看即会。^①

3.2 主要研究内容和挑战

3.3 本文的主要贡献

^① 你说还是看不懂？怎么会呢？

参考文献

- [1] Wilburn B, Joshi N, Vaish V, et al. High performance imaging using large camera arrays. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, volume 24. ACM, 2005. 765–776.
- [2] 顾西存, 黄颖, et al. 基于代数多重网格的图像拼接中动态目标的检测 dynamic object detection in image mosaic based on algebraic multigrid. *Computer Science and Application*, 2016, 6(02):94.
- [3] Stanford Computer Graphics Laboratory. The stanford multi-camera array[EB/OL]. [2017-03-23]. <http://graphics.stanford.edu/projects/array/>.
- [4] Wilburn B, Joshi N, Vaish V, et al. High-speed videography using a dense camera array. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on, volume 2. IEEE, 2004. II–II.
- [5] Wilburn B, Joshi N, Vaish V, et al. High performance imaging using large camera arrays. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, volume 24. ACM, 2005. 765–776.
- [6] Wilburn B, Smulski M, Lee H H K, et al. The light field video camera. *Media Processors 2002*, 2002, 4674:29–36.
- [7] Vaish V, Wilburn B, Joshi N, et al. Using plane+ parallax for calibrating dense camera arrays. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on, volume 1. IEEE, 2004. I–I.
- [8] Vaish V, Garg G, Talvala E V, et al. Synthetic aperture focusing using a shear-warp factorization of the viewing transform. *Computer Vision and Pattern Recognition-Workshops*, 2005. CVPR Workshops. IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 2005. 129–129.
- [9] Griffiths A D, Coates A J, Jaumann R, et al. Context for the esa exomars rover: the panoramic camera (pancam) instrument. *International Journal of Astrobiology*, 2006, 5(03):269–275.
- [10] Bell J, Squyres S, Herkenhoff K, et al. Mars exploration rover athena panoramic camera (pancam) investigation. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 2003, 108(E12).
- [11] Chang T H, Gong S. Tracking multiple people with a multi-camera system. *Multi-Object Tracking*, 2001. Proceedings. 2001 IEEE Workshop on. IEEE, 2001. 19–26.
- [12] Kim K, Davis L S. Multi-camera tracking and segmentation of occluded people on ground plane using search-guided particle filtering. *European Conference on Computer Vision*. Springer, 2006. 98–109.
- [13] Strecha C, Von Hansen W, Van Gool L, et al. On benchmarking camera calibration and multi-view stereo for high resolution imagery. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on. Ieee, 2008. 1–8.
- [14] Baker P, Aloimonos Y. Complete calibration of a multi-camera network. *Omnidirectional Vision*, 2000. Proceedings. IEEE Workshop on. IEEE, 2000. 134–141.
- [15] Kurillo G, Li Z, Bajcsy R. Wide-area external multi-camera calibration using vision graphs and virtual calibration object. *Distributed Smart Cameras*, 2008. ICDSC 2008. Second ACM/IEEE International Conference on. IEEE, 2008. 1–9.

- [16] Zhang H, Zeng W, Chen X. Foreground based borderline adjusting for real time multi-camera video stitching. Image and Graphics, 2009. ICIG'09. Fifth International Conference on. IEEE, 2009. 355–360.
- [17] 朱海宽, 万丽雯. 基于 pci 总线多路图像采集卡的研究. 自动化技术与应用, 2008, 27(2):93–96.
- [18] 刘晓军. 采用 hd-sdi 的高清视频采集卡的设计与实现. 电视技术, 2009, 33(1):91–93.
- [19] 王剑非, 孟彦杰, 赵勇. 基于 linux 操作系统的视频采集卡驱动程序设计. 微计算机信息, 2007, (01Z):94–96.
- [20] 姜广文, 晁志超, 江和平, et al. 基于外触发和软件控制的多摄像机同步采集处理系统. 应用光学, 2009, (5):756–760.
- [21] 国蓉, 焦旸, 高明, et al. 具有外同步功能的 ccd 视频监控摄像机硬件设计. 西安工业大学学报, 2014, 34(4):268–273.

致 谢

衷心感谢导师 xxx 教授和物理系 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。

在美国麻省理工学院化学系进行九个月的合作研究期间，承蒙 xxx 教授热心指导与帮助，不胜感激。感谢 xx 实验室主任 xx 教授，以及实验室全体老师和同学们的热情帮助和支持！本课题承蒙国家自然科学基金资助，特此致谢。

感谢 THUTHESIS，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。

声 明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，独立进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人享有著作权的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

签 名：_____ 日 期：_____

个人简历、在学期间发表的学术论文与研究成果

个人简历

1989 年 8 月 12 日出生于辽宁省阜新市。

2008 年 9 月考入清华大学自动化系，2012 年 7 月本科毕业并获得工学学士学位。

2014 年 9 月免试进入清华大学计算机科学与技术系攻读硕士学位至今。

发表的学术论文

- [1] Ding Xu, Tao Pin. Synchronization Detection of Multicamera System based on LED Matrix. International Conference on Embedded Software and Systems, 2016
- [2] 丁旭, 陶品. 基于 LED 点阵的摄像机拍摄时间检测方法. Conference on Pervasive Computing of China, 2016