**可穿戴设备所面临的问题**

* 器件是刚性的，做出的板子也不能做到很多的贴肤，如何才能是佩戴者在长期佩戴的过程中保持舒适感，而且不影响正常的活动，从可穿戴的舒适性上看
* 阵列式的触觉传感器对法向力的识别是好的，但是切向力也有响应，如何对这个力进行解藕，以及对这个力该如何更好的理解，从可穿戴复杂信息的分解上看
* 静态力与动态力，摩擦力与法向力的关系是怎样，许多研究会跟皮肤的表皮细胞联受体的分布联系起来，那么他们之间能建立联系的桥梁是什么，从可穿戴的仿生学上看
* 在接口电路采集转换传感器的数据时，由于数据多和冗杂，使得采集的数据速度和效率都有所下降，而且即使是简单的模数转换也要时间，而且通道也是非常多的，如何降低延时，从可穿戴的时效性或者是实时性上来看
* 可穿戴的设备中，人是会运动的，会出汗，柔性电路可能采集信号就会受到干扰，如何保证在运动过程中电气连接上可靠，采集信号是稳定的，从可穿戴设备要求在动的过程中保持采集稳定性来看
* 可穿戴需要给佩戴者感觉的反馈，如何让这个感觉接近真实的触感，而且需要保证佩戴者的安全和舒适，在这里有比较多的研究是在感觉的替代，例如用振动的频率代替振幅，而电刺激可能需要较高的电压，从可穿戴反馈的安全性和逼真程度上看
* 柔性电路作为可穿戴设备的载体，电路的制备相对PCB的工艺以及可以操作的空间都比较多，可以很复杂，如光刻，可以很简单成本低，如丝网印刷喷墨打印，可以很有创意，如激光直接烧写和导电贴纸，精度也可高可低。也可以结合刚性PCB一起用，从可穿戴设备中电路制作多样性和成本低来看
* 从人机交互上看，更多是与反馈结合起来看，尤其是致动器离不开致动器，从可穿戴设备的实用性来看，偏向应用
* 可穿戴设备要求感受到刺激和输出刺激要即使，类似人的指尖接触到针尖，不需要经过大脑的分析就会缩后来，达到减少伤害的效果，对危险的感知也是有课题组在研究，如何让传感和致动的过程更加及时，从可穿戴设备的传感反馈一体化上看
* 人体从外界获得的信息是丰富，触觉，听觉，嗅着，往往是综合的信息，许多可穿戴设备的传感器是多模态的，如何实现多模态感知，而且要求这些传感器之间一是不能相互干扰，而是可以互补（比如动态和静态，法相力和摩擦力，不同范围大小的力对应不同的传感器去测量），从可穿戴设备的多模态感知上看
* 可穿戴设备的传感器从测量精度，测量范围，响应时间上去比较分析，从可穿戴设备的性能指标上看
* 可穿戴设备的传感器可以很好的贴皮肤，而刚性PCB不好贴皮肤，很多身体局部的变化刚性PCB测不到，而且柔性传感器可以做到大面积的覆盖，从对比同类器件上看

**柔性电路的思考**

**研究思路的回顾与展望**

最初开始认识柔性电路并不是从简单的工艺开始，恰恰是从复杂的光刻开始，因为是论文中的普遍做法 ，但是在论文中光刻也仅仅是放在方法中或者甚至是一句话带过，在补充材料中也仅仅是一些示意图，所以看出这一套体系它的制备过程是很稳定的，却是熟悉而又陌生，熟悉的是它的流程是比较固定的，陌生的是很多关于制备的细节、关键参数和技术确实空白的。虽然光刻的精度很高，但是成本高。于是有的研究就提出需要解决这个问题，要实现的是简易轻便地制作柔性电路，可以很容易在实验开展，于是就关注到丝网印刷，丝网印刷的方法与光刻是类似的，只是一个掩模是刚性的，一个是布，成本低廉也适合实验室在开展研究，问题在于电路能印刷出来，但是如何把电子器件连接到电路上却很少有文章提到，用普通的锡膏去焊接有两个问题存在，一是衬底承受不住融化锡膏的温度，二是锡不能与导电的线路黏合起来，类似胶水那样粘在上面。而铜来做电路很适合和锡膏一块用，衬底PI也是耐高温的，所以这个时候我就关注了fPCB，然后也定做了fPCB的接口，其实通过观察发现论文中光刻的电路和和定制的fPCB很像，两者的做电路的材料以及最后做出的效果都很像。单其实上述的工艺都还不够简单，丝网印刷也要制版，也不适合快速验证电路原型，后面有开始关注喷墨打印，喷墨打印用最少的材料和最简单的方式将电路打印出来，但是问题也是电子器件怎么做到打印的电路上还是一个迷，看到韩国的一个小组是用Ag epoxy去替代锡膏，树脂确实很粘，但问题是不知道去哪买。结合以上做电路的特点，目前关注到的是激光直写，把需要的电路直接切出来，或者把不需要的部分去掉，减材工艺，用Autocad把激光要切割的路径画出来，剩下的工作就交给激光去完成。

**实验过程中遇到的问题**

* 丝网印刷：电路采用的方法是用导电银浆刷在PET、PI上，能够画出电路的形状，但是电子器件的引脚怎么和电路有效连接是个问题
* 喷墨打印：1.资料少。关于怎么设置打印参数，怎么根据不同材料设计参数的资料介绍太少，以及关于打印机本身的介绍也很少，现在的情况是能打出墨滴也很难，而且也是经过实验室几个人去调试，问题不能有效解，在使用方面缺乏专业指导 2.能够很好的出墨水是决定打印效果的关键因素，因为经过观察发现打印机经常工作一会喷头就会堵住，就会造成打印出来的线路不连续。 3.与丝网印刷的问题类似 ，就是怎么把器件做上去，不过看到韩国的小组用了一种Ag epoxy去实现，或许是一种方案

**喷墨打印拟问工程师的问题**

* 首先是解决出墨的问题，如何让墨水的输出是连续和稳定的
* 喷嘴位置如何校准
* 喷墨打印是基于像素点去打印的，而跟我们通常使用的单位体系（米制）不一样，电路要求是1:1的打印，画的是1cm，实际打印出来也应该是1cm，但是喷墨打印会将图案放大或者缩小，与实际尺寸产生偏差
* 喷嘴堵住怎么恢复不堵的状态

**后续工作的开展**

课题组的主要方向是编织结构，平面薄膜，视触觉。应该从课题组的方向出发，围绕关键的问题开展研究。之前我是觉得人机交互很酷，比如说我的手戴着一个可穿戴的设备，然后在手运动的过程中还可以控制一些小游戏的操作，类似AR的小游戏，但是我看了很多文章之后，其实这方面工作并没有太多的研究价值，可能把小游戏里面的人物换一下，又是一个交互场景，作为交互的展示其实是很通用的，无非就是把传感器采集的信号经过解码翻译成控制信号，控制人物的移动。而前面过于传感器如何设计制备，怎么和处理电路结合才是基石，如果前面都没有就不存在后面的交互，所以关于信号的采集和传输是很重要的，后面的人机交互我的理解是更偏向控制论。

* 还是先在我自己设计的板子上实现基本的电路功能，关于之前的芯片焊接请教了一个实验室的师弟，他做过这方面的工作
* 看看工程师过来后的情况，后面在评估喷墨打印
* 跟进激光激光，激光是一种很好的微加工手段，在研一的时候提到过想要用激光来打孔，当时想法比较片面。其实激光可以做很多事情，可以做传感器，可以把衬底切成想要的形状，可以加工铜箔电路，而且因为快和能量集中，减少了应力的影响，很多加工方式都做不了

**关于第一次大组会的感受**

* 老师，以下是代表我的个人理解，可能很错，但是还是和老师汇报一下。第一次大组会上不管是师弟还是师兄的演说都十分精彩，我后来又思考了一下，给我的感觉就是有点像科普，里面要探讨的问题其实很多。我平常看到的论文不管是顶刊还是普通期刊，它们的特点都是围绕一个中心去探讨，我前段时间很好奇王中林院士为什么就一个摩擦纳米发电机可以发那么多的文章，我就去调研了他近期连续发表的文章，比如针对不同的环境，比如室内智能家居、户外一些极端环境、一些特殊场合比如火灾现场，可以针对性设计结构可以发很多文章。接着就是摩擦会带来性能下降，如何提高自身输出电流密度，针对材料固有的属性去研究，又发表了很多文章。摩擦纳米发电，因为自己会发电的原因，围绕能量如何更好的转换又发表了很多文章。里面的逻辑还是能感受到，虽然不同文章的侧重点不一样，但是里面重叠部分还是很多。
* 回到那个最初的讨论就是小问题和大问题的battle，假设我们做接触式触觉感知从人出发，就像老师说的可能人已经经过长期训练，先验知识可能也左右了行为的产生，而这时候研究怎么传感会极其可怕。反倒是我觉得传感器就是要对客观世界的物理变化做出准确的测量，人的感觉可以是模糊的，但传感器的数据是可以做到准确，这是传感的优势。不能很快速的 从海量数据做抽象思考是传感要解决的问题。所以我思考问题就变成了这样，人为什么抓取东西的过程中不会掉落，通过文献查询，发现可能与我们对法向力与切向力的感知有关，但其实在这里我已经不懂了，可是大脑没告诉这是法向力和切向力，但是我就知道这种情况下东西要滑落，这是很神奇的过程，但这就是感觉，感觉要脱落了。最自然的方法就是从离这个刺激最近的地方去研究皮肤受体的分布，生仿生。哪怕这个传感器真的能很好区分法向力和切向力又如何，强行让人佩戴还是会带来认识偏差，这里的认识偏差我定义为传感器反应的信息和实际大脑对真实信息反应之间的差距，举个不恰当的例子，就是我看一幅画，脑细胞那里产生了0.6mv的电压，我通过一个图像传感器转化成触觉刺激，在我大脑产生的电压却是0.1mv，两者相差很大，没关系，我的神经网络十分复杂，我可以对这个东西进行解释，我理解了这个东西，当我跟你说这个结果的时候我已经经过思考，已经经过复杂的心理活动了，所以我觉得这不是传感器的问题了。
* 所以我认为的柔性可穿戴技术，作为柔性这个大领域的分支，它的目标是朝着以人为本的方向发展，但是最后真还不一定应用与人本身。所以很多时候我在看到文章里提到说研究法向力和切向力的解耦很有意义，就相信了，然后我感觉是会断章取义，会不会其实跟它解耦根本是没关系的，但是人又很复杂，说有说不清。所以这里我就不想说是会到人身上，而是回到传感器上，这个传感器确实能解耦出法向力和切向力，这就很有意义了，因为我可能可以运用在其他领域，它就做了传感器该做的事情，如实反应客观世界的变化。所以在万物互联的时代，传感作为感知的第一步也是最重要的一步，否则一步错后面错误就一直累计，造成最受输出的巨大偏差。

**关于看前期看老师发的文章的思考**

* 如果用做题做比喻的话，顶刊更像解决一道综合题，这是围绕一个核心问题去展开，但是需要经过许多个步骤才能解决。比如在围绕一个触觉感知过程中遇到的问题，一般先从传感器的设计开始，针对解决一个核心问题设计传感器的结构，这里面会有很多定量化的实验方案。接着就到电路的设计，电路设计一般也是以一个框图的形式出现，后面就是对系统的一个综合测试。而其他的一些文章则可能是围绕其中的一个步骤深入去研究，类似于做细节题。比如电路该如何设计成柔性的结构，能承受住可拉伸，这就是更为细节的部分，这与大问题之间的关系就像树干与树枝的关系。
* 问题就在这里，我觉得某个触觉有关的问题最终解决是主要在传感器的设计，针对特定的场合从灵敏度，空间分辨率，响应时间和 压力检测范围等角度去设计 ，因而传感器的讨论在一篇文章中的占比会非常大。而电路的设计更加多的是把赋予传感器可穿戴的性能，可穿戴不是仅仅说把传感器戴在手上就行，而是人或者机器人与这个设备的一种交互作用，人给了传感器激励，而传感器能将数据反馈给人。如果一个传感器，哪怕性能在好它的能力得不到展现也是没有实际作用。所以柔性电路赋予了传感器灵魂。然而在许多文章中柔性电路的描写都会比较简单，因为它跟传感器不同的地方就在与电路的通用性比较强，同一个传感器可能用两个不同的系统去测结果也是一样，就好像用源表和数字万用表去测一个电阻，这就要在接口的地方做一些变换，使之与系统兼容。所以电路其实是很兼容的，所以柔性电路对于解决触觉感知的问题作用不大，但是却是不可或缺的，所以就柔性电路而言，看过很多的文章就同看一篇一样，不同的文章可能是换了一个单片机或者放大芯片，或者是某种做电路的工艺，但这不是解决问题的关键，关键还是设计的传感器。
* 回到柔性电路和柔性电路系统，这又是两道小题目。其中柔性电路侧重在工艺，如何在柔性衬底上实现柔性电路，比如丝网印刷、喷墨打印或者激光直写的手段，但这都是为器件服务的。柔性系统侧重功能，针对某个场景需要哪些模块，比如想知道运动过程中排汗量的变化，就可能需要蓝牙将信息发送回手机。但是这两大块内容涉及到的东西还是蛮多的，在柔性可穿戴设备的研究中柔性电路怎么实现是研究的一个热点，柔性系统它是相对固定的，难点是怎么把这些器件从PCB上转移到PET，PI等柔性衬底上，必要的时候还要做一些裁剪，比如一些器件可能要散热片，做在可穿戴上就不适合了，就要做一些裁剪和替换。
* 更进一步就到柔性电路中存在的问题。目前发现的问题有：1）制作柔性电路的方法复杂，比如光刻，虽然获得了高精度但是造价高昂，对工艺要求高；2）丝网印刷、喷墨打印是简化了工艺，但是做出的电路却很难与器件相连接，因为这些印刷的材料不是铜，按照传统做电路的方法并不可行；3）接口电路的设计 ，这里的接口电路我最初的想法是把柔性部分与刚性的部分相连接，但这其实只是一部分，但是这还涉及到这个传感器变化的信号怎么采集，这个传感器可能是压电、压阻、电容或者摩擦电的，那我们实验室的压阻测试，这是好解决的，采用一个电阻与其构成分压电路，然后就能换算出变化的电阻。但是电容是困难的，变化的电容怎么转化成变化的电压输出，这里就是接口电路该如何设计的问题，是连接传感器和后面处理电路的桥梁。一般有两种思路，一是采用分离器件的方法，偏向模拟电子的设计，一种是用集成的电容转数字芯片，很多论文都没有对这个转换过程有很多描述，都是一笔带过。

**总结**

* 对于论文中要解决的诸如力的分布，复杂力的解耦等问题，从电路出发其实并不是很好的方法，而触觉传感器的设计是直面触觉交互过程中所遇到的问题。电路要解决的是怎么实现电路从刚性到柔性的转换，器件之间如何实现互连，系统该如何满足测量的需求。即使柔性电路中有自身存在问题的独特性，但并不会与要解决的触觉有关的问题产生直接关系。问题不一样，出发点就有差异，很多传感有关的文章是从人自身的感知出发去设计传感器，现在模仿人手表面4种机械受体细胞的研究有很多，目的是为了重构出三维力并更接近人的感觉。（这里我曾经想过如果是从机器人出发，毕竟本质上还是机器 ，直接从人体结构出发去设计对触觉感知未必适合机器人，因为触觉感知不是人特有的，动植物也有，有时候他们感受刺激的方式会更为简单有效，比如害羞草遇到刺激叶子闭合，从人出发去设计并不能那么纯粹，人的大脑的思考过程是很复杂，会对最后的感觉会有主观的东西在里面，所以很多研究在仿造某种感觉的产生，比较与真实状态下的差异）相比之下柔性电路就纯粹很多。
* 虽然也出现过忆阻器的加入以及近传感器模拟计算，其实还是仿造了手机屏幕，手机芯片的制造过程，但是解决了一个问题又会引入另一个问题，比如解决了 分辨率，响应速度的问题，但是制作过程和成本也会增加，甚至功耗也是一个问题。所以能用简单有效的方法解决问题才是上策。
* 电路有关的研究后续在总结