



# 基于 VR 技术的口语能力训练 移动应用“VR 口吃治疗与训练” 产品设计方案

项目成员：罗佳海 20172131144

吴梓祺 20172131096

李佳蔚 20172131057

华南师范大学计算机学院移动智能应用开发课程

2019.9

## 目录

一、	项目实施可行性报告	3
(一)	行业市场分析	3
1.	口吃训练的市场分析	3
2.	VR 技术应用的市场分析	5
3.	口吃训练 + VR 技术应用的市场分析	6
(二)	竞争对手或同类产品分析	6
(三)	竞争优势	8
二、	产品定位及目标	9
(一)	产品定位	9
(二)	目标群体	9
三、	产品内容策划	9
(一)	部分应用流程规划	9
1.	本地用户数据存储	9
2.	“VR 实验室” 页面	10
3.	口语基础训练页面	12
4.	个人页	12
(二)	设计规范	12
(三)	测试规范	13
1.	了解业务、分析需求点	13
2.	编写测试用例	13
3.	测试用例设计	13
4.	编写完成后自我检查以及内部评审	13
5.	测试用例更新完善	14
6.	执行测试用例	14
7.	撰写测试报告	14
(四)	开发日程表	14
四、	技术解决方案	15
(一)	VR 技术	15
(二)	语音识别及结果分析技术	15
五、	推广方案	16
六、	运营规划书	16
(一)	吸引用户	17
(二)	用户留存	17
	参考文献	17

# “VR 口吃治疗与训练” 产品方案设计

## 背景

言语障碍治疗在国内尚处于起步阶段，相关的探索仍较少。我国目前没有言语治疗师的认证制度，而国外已经相当完善。在我国，残疾评定中的言语残疾基本不包括口吃（除了极为严重的失语），口吃患者在我国是数量相当庞大的隐形人。另外，我国在口吃领域暂无市场监管，市场准入门槛低，大量私人机构孕育而生。患者忙中乱投医，导致口吃治疗效果不佳。而二三线城市的口吃患者去大城市的治疗成本高（时间，金钱），加上口吃的反复几率至多 30%<sup>[1]</sup>，难以达到满意的治疗效果。

VR+医疗在近几年发展很快，尤其是在自闭症、抑郁症的治疗上已有广泛的应用。但 VR 在口吃治疗上仍没有先例，值得研究者开拓。口吃所属的言语障碍治疗在大陆尚属于起步阶段，国内还没有言语治疗师的资格考试。而我国患有口吃的人数（严重度不等）比例约为 1%-2%，市场上有大量需求。

项目拟开发一款基于移动端的 VR 应用<sup>[2]</sup>，定位于口语基础训练和 VR 虚拟场景训练。为成人口吃患者提供演讲/面试场景的康复训练，提高其重要情境下的言语流畅度和自信心。并提供字词句的复述训练，给出语音评测分数，帮助口吃患者基础构音上有所提升。

## 一、项目实施可行性报告

### （一）行业市场分析

#### 1. 口吃训练的市场分析

今年 7 月，我们采访了广东省中医院的治疗构音障碍的陈医生，他向我们简单介绍了口吃患者如今的治疗手段。基本上是为患者提供随机文本，让患者复述文本，然后医生根据患者对某些特定文本有问题的表达进行阶段性的重复训练。则从治疗方法可见，国内对口吃治疗上可能还有一些局限性。

**构音能力检查 (Dr. Speech 版)**

姓名:	出生日期:	病历号:	诊断:
-----	-------	------	-----

**1、 单词检查**

例 1	例 2	1	2	3	4	5	6
桌	象	包	猪	猫	飞	刀	套
7	8	9	10	11	12	13	14
闻	鹿	高	铸	河	鸡	七	吸
15	16	17	18	19	20	21	22
猪	出	书	肉	紫	粗	四	杯
23	24	25	26	27	28	29	30
袍	倒	菇	哭	壳	纸	室	字
31	32	33	34	35	36	37	38
刺	蓝	猴	心	星	船	床	拔
39	40	41	42	43	44	45	46
磨	一	家	浇	乌	雨	椅	鼻
47	48	49	50				
蛙	蛙	瓦	袜				

“省中医”提供的构音能力检查表

延伸来看，我国言语治疗师缺位，大量口吃患者无法得到治疗。到 2015 年，正式获得康复认证的治疗师大约为 1.4 万人。即使是发达的上海，物理治疗师加上作业治疗师合计也仅仅为 3.28 个/10 万人口（2009 年日本为 42 人/10 万人口）。我国相关专业起步晚，而美国 top100 大学基本都设有言语康复学科。

而言语治疗从业人员学历普遍偏低，国内言语治疗从业人员专业多样，以康复治疗学专业为主，无培训上岗所占比例较高，年参加培训不多，非医疗系统更明显，取得的证书较杂。医疗系统中康复治疗师为主，非医疗系统中教师为主，故无论在医疗系统还是非医疗系统中的言语从业人员资质都存在很大的缺陷。

虽然医疗系统从业人员的工资要比非医疗系统从业人员的工资高，但仍低于国家平均工资水平，薪酬水平差距大，普遍认为薪酬和待遇有待提高。从零星的几个治疗师到中国国际言语语言听力协会 CISHA 建立起来，各方面的工作都在全面展开，发展的势头迅猛，相信在几年内会更有大的变化。目前为止，国内仅有 7 家大学开设了听力与言语康复学专业，而美

国 TOP100 都有开设。

高等院校	专业	学位	开设年份
华东师范大学	言语听觉科学	本科/硕士/博士	2004
北京语言大学	言语听觉科学	本科	2015
	语言病理学	硕士	
山东中医药大学	听力与言语康复学	本科	2017
首都医科大学	听力与言语康复学	本科	2017
辽宁何氏医学院	听力与言语康复学	本科	2017
昆明医科大学	语言病理学	本科	2015
四川大学华西临床医学院	听力与言语康复学	本科	2015
中山大学新华学院	听力与言语科学	本科	2014
上海中医药大学	听力与言语康复学	本科	2014
滨州医学院	听力与言语康复学	本科	2013
浙江中医药大学	听力与言语康复学	本科	2002
长沙卫生职业学院	言语听觉康复技术	三年制专科	2014
宁波卫生职业技术学院	言语听觉康复技术	三年制专科	2012
南京特殊教育师范学院	儿童康复（听力语言 康复方向）	三年制专科	2004
北京联合大学	听力语言康复	三年制专科	2001

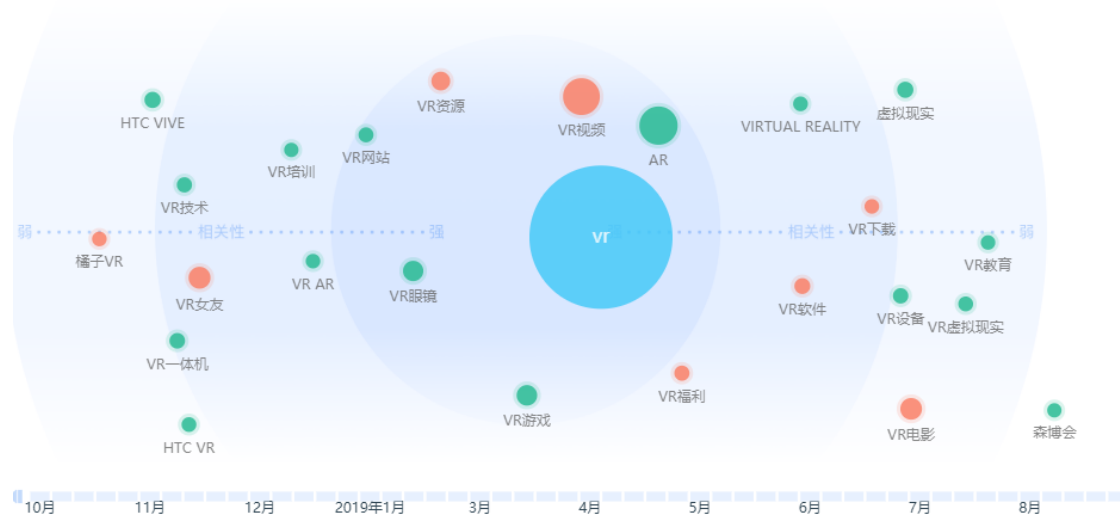
听力与言语康复学专业分布院校表

由治疗方式和专业开设俩看，针对口吃患者而开发的应用市场是发展缓慢的，而需求却一直存在，所以开发一个能辅助口吃患者改善患病情况的应用是有市场的。

## 2. VR 技术应用的市场分析

虚拟现实环境（VREs）可以使虚拟现实体验者沉浸在真实生活交互的说话环境中，同时允许研究人员对场景的分析与控制。近年来，国内对口吃治疗在 VR 虚拟现实技术的方面的研究与应用较为稀缺，国外的相关应用也并不多见。

从百度指数提供的需求图谱来看，VR 应用大多还是环绕在有关娱乐方面而开发的。并且由于移动平台的性能有限，大多数 VR 应用还是针对桌面平台开发，门槛也更加高。



百度指数 VR 需求图谱

### 3. 口吃训练 + VR 技术应用的市场分析

在国内，近年来不少学者的研究成果已经表明了 VR 技术在康复医学应用上的优势。严磊在《基于 VR 技术的虚拟口吃矫正医学产品的设计与应用》中指出了 VR 技术在该类疾病治疗过程中的优势，还列举了传统口吃康复治疗的局限与口吃康复与 VR 技术相结合的必要性。传统口吃治疗一来受到空间限制，表现不直观。二来道具沉重，不方便。三来难以达到真实，效果不好。而 VR 口吃康复系统可以打破传统方式的局限性，够通过数字影像将心理引导与生理治疗结合起来，通过音乐、画面、文字和语音提示等多感官形式给患者以正面的激励反馈，帮助口吃患者构建一个康复训练的虚拟平台。

许多国内医学专家都对口吃与 VR 技术相结合表示赞同与支持，但目前由于 VR 技术在语音识别方面还存在一定技术局限，人工智能与情感传感方面还不能达到完美交互，国内并没有许多关于这个的研究。

#### （二）竞争对手或同类产品分析

本产品与普通市场上几乎没有竞争对手。而在专业市场上，口吃训练+VR 技术应用还更多的处于“实验”阶段，即使有成型产品，但也止步于专业的小范围尝试。如严磊<sup>[3]</sup>开发的 3D 虚拟口吃辅助矫正软件仅仅证实该方式能为口吃矫正师在口吃矫正训练中起到更大的有效治疗作用，并没有向市场推广。以下举例一个言语康复市场的竞争对手。

公司名：东方启音

### **规模：**

总部在深圳，目前已在北京、上海、广州、深圳等地区设有近三十家直营中心。

在我国，专科言语康复人才相对匮乏，而目前，东方启音已经建立起一支 800 多人的员工团队，其中，专业的言语治疗师将近 700 名，许多治疗师从海外留学生中引进。

在 2017 年，东方启音共服务约 25 万人次，营收超过亿元。

### **市场痛点：**

1. 专业言语康复市场尚无行业标准，早期人才及培训师资由香港及国外引进。言语障碍包括失语症、构音障碍、儿童语言发育迟缓、社交障碍、吞咽障碍、发声障碍和口吃等。直接从事言语治疗工作的人被称为言语治疗师。

2. 儿童言语康复在我国没有准确的“定位归属”，多从属于儿童保健科、康复科或残联下属机构，而国内言语治疗师相关专业培训也还处在起步阶段。

3. 因此，为了更好地普及儿童言语治疗技术发展，使之成为专科临床体系，崔广利和东方启音董事长姚秋武开始从香港、美国、澳大利亚等发达国家及地区引进技术人才及培训导师，并培训本土医疗及教育行业人士，组建此领域的“专科技术团队”。

### **定位：医疗+教育**

主要覆盖一线城市。目前言语治疗的学科建设，在不同国家和地区也处于中间地段，“比如在美国，言语治疗在病理学科下面，在中国香港则建到教育学下面。所以说言语康复本身就是一个中立的学科，我们现在的学科发展，在自己设计这个项目尽量跟国际接轨的时候，需要将医学与教育学完美结合，从而达到更好的言语康复效果。

### **核心受众：**东方启音主要面向的核心人群包括三类：

1. 一是具有特殊障碍的儿童，如唐氏综合症等导致认知理解及发音表达障碍的儿童；这类人群通常采用偏医疗的治疗手段，如口部肌肉的训练，通过感知觉训练、下颚骨训练、唇舌训练、气息训练和喂吃训练等，提高口腔肌肉的控制和协调能力，利用医学康复元素对患儿进行治疗。针对自闭症、神经发育问题导致言语及社交能力缺陷的儿童，中心多采用美国权威的自闭症教学治疗方法 STAR 课程，对儿童进行接受性语言、表达性语言、自发性语言、日常功能、学习、游戏和社交技巧等训练。

2. 二是幼儿园及学校的儿童。大量筛查结果表明，幼儿园及学校中有 15%左右的儿童伴

有发音不清、口吃、逻辑、社交专注力问题及学习障碍等诸多言语问题，通过言语治疗师的专业指导，可以让这些孩子的言语表达、社交等能力得到很好的提升。

3. 是具有言语障碍的成人，这是东方启音正在探索的一片领域。崔广利认为，成人的言语障碍群体相当庞大，尤其是脑卒中康复后的群体。

现在及未来，在成人言语康复方面，东方启音将持续提供及探索的是指导性培训，即针对成人口吃、中风及术后失语等人群的陪护工作者进行培训。

**课程：**东方启音的言语课程主要分为一对一课程及套餐课程。最近开始发展线上，有线上远程的公益讲座以及一对一课程。

**康复项目：**通过线上线下的授课方式为不同言语问题群体提供课程，利用互联网远程技术开展言语问题筛查、家长培训班、言语治疗从业人士的专业课程培训。

**言语能力提升：**儿童及成人言语能力提升治疗，例如：发音不清、逻辑表达障碍、口吃、学习障碍、多动、专注力差、社交行为障碍等问题。

**言语障碍治疗：**运用美国口部肌肉定位治疗方法、香港启智及语言表达课程等，提供专业评估，制定个性化解决方案。通过系统化课程改善言语发育迟缓、脑瘫、唐氏综合症、自闭症、腭裂术后、听障等群体的言语障碍问题。

### （三）竞争优势

1. **存在需求：**我国患有口吃的人数（严重度不等）比例约为 1%-2%。
2. **医院治疗方式有限，言语治疗师稀缺。**
3. **听力与言语康复学专业开设院校少。**
4. **没有先例：**VR 在口吃治疗上几乎没有先例，应用也较少。
5. **门槛低：**产品基于移动端，获得门槛低。
6. **学科创新性：**VR 介入口吃治疗横跨医学与计算机科学。
7. **治疗手段创新性：**该治疗方法，对应于传统口吃治疗中的流畅塑型法、系统脱敏法等治疗方法，而传统治疗中受限于场地，往往是言语治疗师与心理治疗师共同完成，部分依靠患者的场景想象。



8. **交互创新:** VR 的交互多基于头部的移动,而配合口吃治疗时则多基于患者的语音。

## **二、 产品定位及目标**

### **(一) 产品定位**

项目拟开发一款基于移动端的 VR 应用,为成人口吃患者提供自主康复训练。口吃患者受心理因素影响,在不同情境下表现出不同的口吃严重度。综合 Ezrati-Vinacour 与 Levin(2004), Messenger、Onslow、Packman 与 Menzies(2004)的两篇研究,明显看出成人口吃患者的焦虑与情境因素有关,尤其是与说话相关的情境最为明显。项目旨在通过对演讲/面试场景的 VR 建模,为成人口吃患者提供沉浸式的说话训练,并结合语音识别、语音评测的技术,创造交互性较强的沟通环境,提高训练的真实度。

### **(二) 目标群体**

本产品的目标用户主要是口吃患者,或有其他言语表达障碍的人群。

本产品定位于口语基础训练和 VR 虚拟场景训练,口语基础训练可以提供字词句的发音评测,各音节帧长的分布,音素结果等等。可以在一定程度上反应出用户的发音流畅程度,发音准确程度,发音错误与缺陷程度。VR 虚拟场景训练为用户提供虚拟场景,用户可以完成指定情景的流程,进而提升在现实生活中相应环境下的表现。

所以本产品同时也适合有口语表达能力的用户群体。需求可定位于初高中、大学等在校的口语水平能力测试和有口语表达需求的工作者等。

## **三、 产品内容策划**

### **(一) 部分应用流程规划**

#### **1. 本地用户数据存储**

应用启动时,需要引导用户提供存储权限,并提供应用使用说明。该产品没有联网保存用户数据的功能,但提供了本地用户登录的选项,便于分离不同用户的进度。



考虑可以引入课程作业的登录功能

## 2. “VR 实验室”

该页面展示轮播图和不同的 VR 场景选项。在选择轮播图的某一项后可以进入指定介绍页面。在点击某一 VR 场景后，启动有关 Unity3D 的 Activity。

您好Ryzin, 快乐星期一

## VR实验室



NEW

### 虚拟现实技术介绍

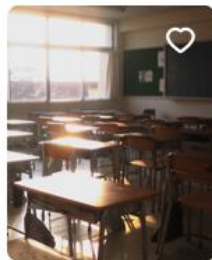
有关虚拟现实（VR）的一切，从这里开始

罗佳海

开发者



## VR场景训练



教室

成为教师，与学生对话



演讲

成为演讲者，登台讲说

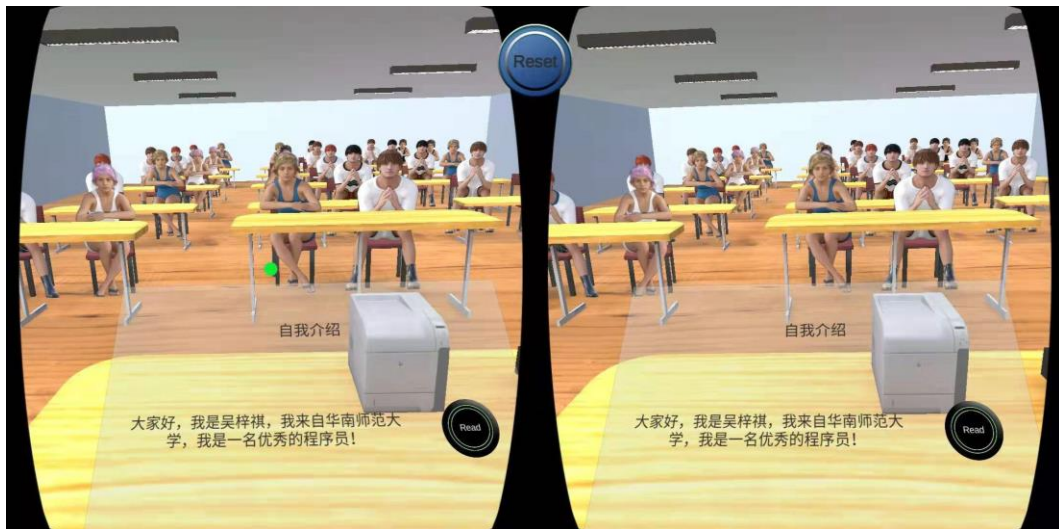


旅游

成为游客



应用首页设计



VR 教室场景

可能可以达到的效果，如在演讲场景下：

根据多次数据，得出最容易卡顿的关键字，当患者下一次正常发出此字后，给予掌声鼓励。当患者语言流畅度低于标准值时，观众会陆续离场，当语言流畅度保持在较高水平的时候，现场会更容易有掌声（体现在其他鼓掌条件的权重里）。当识别到关键词，诸如“谢谢大家”、“演讲完毕”、“谢谢”等等，现场有掌声。

演讲的过程中不会实时显示当前语言流畅度、重复、拖音等症状的得分和评估结果（以免影响场景体验感，造成场景游戏性大于真实性的效果），但是在每次演讲结束后会生成本次的演讲报告以及往次的报告比对。

### 3. 口语基础训练

提供字、词、句、短文的发音训练练习，可以根据请求返回的结果，转化成可视化的图表，帮助用户了解自己的情况。在未来可能与 VR 场景的训练结果结合，呈现更加全面的结果。

### 4. 个人设置

提供查看进度，统计数据，可视化图表等功能。便于追踪自己的情况。

## （二）设计规范

由于设计规范过于详细，在此不再赘述。

1. 参照 Google 的 material.io 的标准，但不会全部一致。
2. 临摹 ui.cn 中的作品。
3. 尝试用 Sketch 或 Adobe XD 设计界面与交互，完成产品原型。

### （三）测试规范

#### 1. 了解业务、分析需求点

首先，把用户需求转化为功能需求：

- 1) 对测试范围进度量
- 2) 对处理分支进行度量
- 3) 对需求业务的场景进行度量
- 4) 明确其功能对应的输入、处理和输出
- 5) 把隐式需求转变为明确。

其次，明确测试活动的五个要素：测试需求是什么、决定怎么测试、明确测试时间、确定测试人员、确定测试环境：测试中需要的技能，工具以及相应的背景知识，测试过程中可能遇到的风险等等。测试需求需要做到尽可能的详细明确，以避免测试遗漏和误解。

#### 2. 编写测试用例

编写测试用例之前需要对项目的需求有清晰的了解，对要测试什么，按照什么顺序测试，覆盖哪些需求做到心中有数，作为测试用例的编写者不仅了解要有常见的测试用例编写方法，同时需要了解被测软件的设计、功能规格说明、用户试用场景以及程序/模块的结构。

#### 3. 测试用例设计

完成以上两步则可进行测试用例设计，功能测试用例，应尽量考虑边界、异常、性能的情况，以便发现更多的隐藏问题。设计测试用例的常见方法：

- 1) 等价类
- 2) 边界值
- 3) 因果图
- 4) 判定表
- 5) 状态迁移
- 6) 正交实验
- 7) 场景法
- 8) 错误推断（注意：编写测试用例时，我们尽可能取的不应是有效等价类而应该是无效等价类）

#### 4. 编写完成后自我检查以及内部评审

- 1) 测试用例本身的描述是否清晰，语言准确；是否存在二义性；
- 2) 测试用例内容是否完整，是否清晰的包含输入和预期输出的结果；测试步骤是否清晰；
- 3) 测试用例中使用的测试数据是否恰当，准确；

## **5. 测试用例更新完善**

测试用例编写完成之后需要不断完善，如遇需求更改或功能新增时，测试用例必须配套修改更新，同时在测试过程中发现设计测试用例时考虑不周，需要对测试用例进行修改完善；在软件交付使用后客户反馈的软件缺陷，而缺陷又是因测试用例存在漏洞造成，也需要对测试用例进行完善。

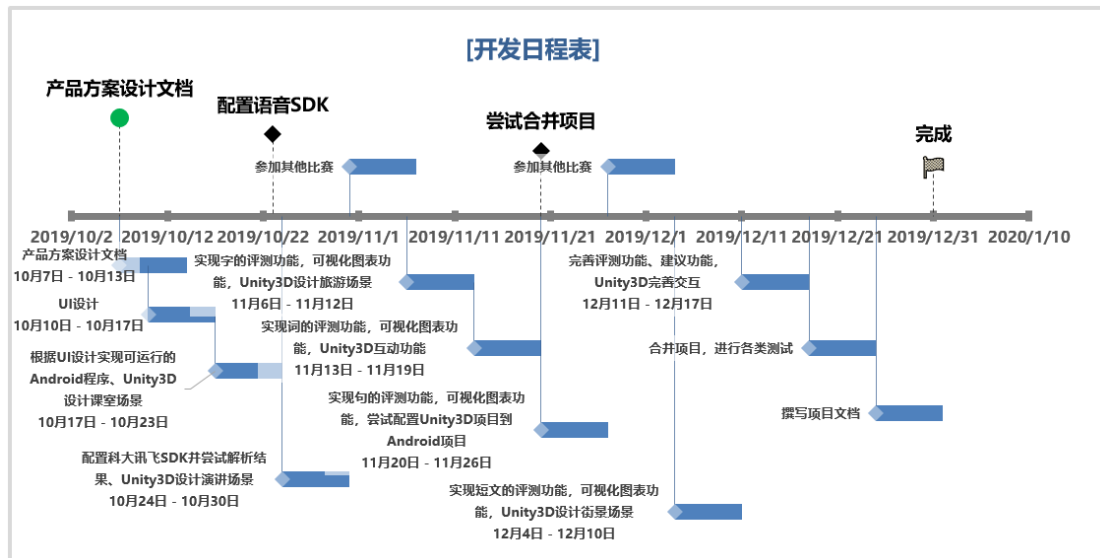
## **6. 执行测试用例**

首先搭建测试环境，准备好测试数据，进行预测，预测通过之后，按照测试用例进入正式测试，有效的测试执行可以将测试用例发挥最大的价值。因此，测试用例规范执行有助于更好的发现代码中存在的缺陷。

## **7. 撰写测试报告**

测试报告是指把测试的过程和结果写成文档，对发现的问题和缺陷进行分析，为纠正软件的存在的质量问题提供依据，同时为软件验收和交付打下基础。测试报告是测试阶段最后的文档产出物。优秀的测试经理或测试人员应该具备良好的文档编写能力，一份详细的测试报告包含足够的信息，包括产品质量和测试过程的评价，测试报告基于测试中的数据收集以及对最终的测试结果分析。

## **（四）开发日程表**



#### 四、 技术解决方案

本产品基于 Android + Unity3D 开发，主要的开发环境是：JDK + Unity3D + Android SDK。语音评测技术：科大讯飞语音识别 SDK + 科大讯飞语音评测 SDK。

##### （一）VR 技术

1. 学习使用 Unity 3D 游戏开发平台进行应用开发，熟悉使用 Unity 3D VR 环境渲染的功能。
2. 学习 3D 图像构建的技术，研究如何快速高效完成 3D 图形的构建工作。
3. 实时三维图形生成和显示技术，在不降低图形的质量和复杂程度的前提下，如何提高刷新频率，从而提高 VR 场景的真实度。
4. 交互设计上，根据语音分析得出的停顿、拖音等症状，现场观众做出交互反应。控制方面，可以通过计算停留某一区域的时间来触发按钮。当识别到关键词，诸如“谢谢大家”、“演讲完毕”、“谢谢”等等，现场有掌声等。

##### （二）语音识别及结果分析技术

1. 科大讯飞语音识别 SDK，将自然语言音频转换为文本输出的技术。语音听写技术与语法识别技术的不同在于，语音听写不需要基于某个具体的语法文件，其识别范围是整个语种内的词条。在听写时，应用还可以上传个性化的词表，如联系人列表等，提高列表中词语的匹配率。

2. 科大讯飞语音识别 SDK，通过智能语音技术自动对发音水平进行评价、发音错误、缺陷进行定位和问题分析。目前评音评测提供汉语、英语两种语言的评测，支持单字（汉语专有）、词语 和句子朗读三种题型。

3. 通过解析 SDK 返回的结果，得到评测结果，音素，音节，各音节帧长等内容，可以综合这些内容给用户相应的训练结果与建议。

## 五、 推广方案

1. 在 2020 年 1 月份完成 app 开发后，于暑假配合广东省中医院的安排，通过其官方公众号招募口吃患者参与到 app 志愿体验，帮助我们收集用户反馈数据。所得到数据将帮助完成一篇研究性论文，并作为产品合理性的依据。

2. 在暑假同一时间，我们拟在华师心理学院设计心理学实验，研究口吃患者在我们的“VR+口吃”的 app 使用过程中，皮肤电流指标（反映了紧张程度）的变化，用于验证 app 中相关模块设计能够提高人体焦虑度。官方招募信息通过公众号“华师备试”发布。

3. 在以上实验完成后，发表研究论文“口吃治疗 VR 化可行性探究”。

4. 向医院和企业继续寻求合作。与医院（广东省中医院）的合作包括：

4.1 我们提供 app 产品帮助口吃患者进行后期的在家康复。

4.2 医院方需要根据自己的判断，在患者就诊后以患者自愿的原则邀请其参与体验我们的 app 产品，签署免责声明后赠送其一套 VR 眼镜和账号信息。

4.3 医院需要协助我们分析后台数据，判断患者口吃情况是否好转，以帮助产品改进。

5. 向企业寻求合作，与企业的合作包括：

5.1 我们作为外包服务提供商，为企业提供 app 产品，帮助来该企业就诊的口吃患者进行后期的口吃康复治疗。

5.2 企业需要为我们提供患者来源，即以患者自愿为原则，参与我们 app 的口吃康复训练。企业需要向患者教学如何使用 app，并帮助患者解答使用过程中的疑惑。

5.3 企业需要提供专业的言语治疗师，帮助我们分析后台所得数据，更好改进产品。

5.4 注：或者与企业以实验室的名义开展实验合作。

## 六、 运营规划书



## （一）吸引用户

1. 由于该产品涉及口吃治疗，吸引用户必须依赖口吃的诊断机构。其中主要分为医院和民营企业。

2. 针对医院端，我们根据调研了解到，医院对口吃并无绝对权威的规范性治疗流程，除非患者有严重言语发音障碍，否则医生不会对患者康复做出严格规定。我们在实验室阶段收集到足够数据，能够证明治疗可行性后，医生可以将我们的 app 产品作为推介方案，由患者自愿下载体验。

3. 针对企业端，我们具有更加广阔的市场。在国内，做口吃治疗的企业比医院具有更好的服务，企业有能力招聘专业的海龟言语治疗师。与企业合作，我们具有相对低的准入门槛。我们可以作为一项服务，与企业开展合作，或者与企业合作共同探究该研究方向的前途。据我们所知，东方启音本身作为企业，长期参与社会公益，与众多医学院开展实习合作。

## （二）用户留存

1. 作为一款言语治疗 app 产品，我们无需要刻意追求用户的留存率，而是重点跟踪每一个用户的治疗效果和使用情况，改进我们的产品。

2. 在与第三方的合作关系中（医院/企业），患者本身需要连续一段时间内使用我们的产品，方能缓解病情，同时帮助第三方做出下一步诊断方案。因此，我们需要依赖第三方来不断提供我们的用户，并由我们提供治疗过程，最后反馈给第三方。

## 参考文献

[1] 刘旭刚, 徐杏元, 彭聘龄, 林岚. 口吃复发的研究进展述评[J]. 中国特殊教育, 2005(04):87-92.

[2] 本产品是由 **2019 年大学生创新创业训练计划**项目《基于人工智能与 VR 的口吃治疗训练相关技术研究与应用》孵化的项目。

[3] 严磊. 基于移动平台的 3D 虚拟口吃辅助矫正软件设计与实现[D]. 北京工业大学, 2016.