

华中科技大学

本科生毕业设计[论文]

RIS 辅助的无线通信系统的原型验证

院 系 人工智能与自动化学院

专业班级 自动化 1705 班

姓 名 裴熙隆

学 号 U201714286

指导教师 陈忠、尹海帆

2021 年 5 月 11 日

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包括任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名： 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保障、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关学位论文管理部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权省级优秀学士论文评选机构将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于 1、保密 ☐，在 年解密后适用本授权书。

2、不保密 ☒。

(请在以上相应方框内打“√”)

作者签名: 年 月 日

导师签名: 年 月 日

摘 要

近年来,

关键词: 可重构智能表面; 智能反射面; 无线中继; 大规模多进多出系统; 原型系统; 现场可编程逻辑门阵列

Abstract

Recently,

Key Words: Reconfigurable intelligent surface; intelligent reflecting surface; wireless repeating; massive multiple-input multiple-output; prototype; field programmable gate array

目 录

摘要	I
Abstract	II
1 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 国内外现状分析	1
1.3 本文组织结构	2
2 相关理论	2
3 系统设计	3
4 实验数据	4
5 段落	4
5.1 第二小节	4
5.2 第三小节	4
6 参考文献和交叉引用	6
6.1 参考文献	6
6.2 交叉引用	6
7 公式这么用	7
8 用图和表的示例	8
8.1 图的使用	8
8.2 表的使用	10
9 列表的使用	11
致谢	12
参考文献	13
附录 A 这是第一个附录	14
A.1 附录可以有小节	14
A.1.1 附录中也可以有小小节	14
A.1.1.1 附录中也有小小小节	14

1 绪论

1.1 引言

作为新一代移动通信技术, 5G 以其大带宽、低时延、大连接等特性, 将为物联网、社交娱乐、智慧交通、工业互联网等技术发展注入新的活力, 助力我国数字经济发展。目前, 增强移动宽带 (eMBB)、高可靠低时延 (uRLLC) 和海量机器类通信 (mMTC) 成为 5G 的三大应用场景。但现阶段 5G 应用还存在覆盖差、成本高、能耗高等痛点。例如室外 5G 信号盲区、室内 Wi-Fi 信号穿墙效果差等问题, 只能通过增加无线基站和无线路由器数量来解决, 不仅增加成本, 还加大管理难度。面对这些问题, 智能反射面给出了有效的解决方案。

1.2 国内外现状分析

智能超表面 (也被称为智能反射面) 的主要组成部分是可编程人工电磁表面结构。该结构是一种由精心设计的亚波长单元按照周期或非周期性的排列组成的, 具有可重配电磁特性的二维薄层。基本单元通常由金属、介质和可调器件构成。通过控制反射单元的可调部分, 例如电磁波的幅度、相位, 能够实现对电磁波传播方向的调控。该技术是近两年刚刚兴起的国际学术界研究热点。然而目前国内外绝大多数的研究只停留在理论分析与建模仿真阶段, 基于智能超表面的无线通信实验验证系统十分稀缺。多伦多大学实现了一个 6×6 可重构发射天线阵列, 每个振子连接一个变容二极管以增强其波束扫描角度范围。在 5 GHz 频率下, 实现了 100×100 度的扫描窗口范围。中国科学院光电技术研究所研究团队通过变容二极管和 PIN 二极管实现了在微波波段 (13.5 GHz 以内) 对电磁波多个维度的控制, 包括波束分裂、波束偏转、偏振变换等功能。东南大学崔铁军院士团队中提出了一种同时在时间和频率上操纵电磁波的时空调制数字可编程超表面。以上研究主要关注电磁超材料的设计本身, 并没有在智能超表面对移动通信的增强上做过多研究。与无线通信相关的智能超表面硬件演示系统方面。东南大学团队提出了基于二进制频移键控的超表面, 并通过数字编码序列控制离散反射相位, 另外还设计了一个基于可编程表面的正交相移键控 (QPSK) 无线发射机的原型。这两个原型系统是通过智能超表面实现信号的编码与调制, 本质

上属于一种信号源，与本团队的作品差别较大。2019 年 MIT 研究团队展示了一个由 3000 多个无源天线组成的反射面（由几十个 PCB 板拼接而成），工作频率为 1.6 GHz-3 GHz。实验表明它可以使接收信号强度增加 10 倍，将信道容量提升两倍。2019 年清华大学研究团队最近展示了一个工作在毫米波波段的 16×16 单元的智能超表面。可实现两比特的反射相位调整。这个系统实现了 28.5 GHz 下 19.1 dBi 的天线增益。然而该系统的设计初衷是与喇叭天线结合使用，替代传统的相控阵天线，与本团队的作品在设计理念和使用场景上有本质区别。本团队近期自主开发完成由 1100 个单元组成的智能超表面原型样机。团队在华中科技大学校园内进行了室外空口性能测试，测得接收信号强度提升 500 倍，实现了 500 米远距离传输测试，在智能超表面辅助下实现了高清视频的实时播放。

1.3 本文组织结构

2 相关理论

啊这，不知道有什么原理呢。

3 系统设计

这个系统怎么设计呢?¹

¹哈哈

4 实验数据

5 段落

段落 这是一个带有顶头标签的段落这是一个带有顶头标签的段落这是一个带有顶头标签的段落这是一个带有顶头标签的段落这是一个带有顶头标签的段落这是一个带有顶头标签的段落

小段落 只是一个带有缩进标签的段落只是一个带有缩进标签的段落只是一个带有缩进标签的段落只是一个带有缩进标签的段落只是一个带有缩进标签的段落只是一个带有缩进标签的段落

5.1 第二小节

本模板已经引入伪加粗和伪斜体，这样就不需要对应的粗体和斜体字体也能生成需要的效果，就像下面这样

宋体加粗

宋体斜体

宋体粗斜体

请注意，使用加粗和斜体时，请与字体名称一同使用，否则会自动将粗体匹配为黑体，斜体匹配为楷体，就像下面这样

正常显示宋体

加粗后变为黑体

斜体后变为楷体

5.2 第三小节

上市 en

Algorithm 1 Greedy Fast Beamforming Algorithm

```

1: Input: The feedback of RX signal power  $p_t$ .
2: Output: The reflection coefficients matrix.
3: Initialize a reflection coefficients matrix  $\mathbf{R}_0 \in \mathbb{C}^{M \times N}$ ;
4: Receive initial feedback of the RX signal power  $p_0$ ;
5: // Horizontal search;
6: for each  $n \in [1, N]$  do
7:    $\mathbf{R}_n \leftarrow [\mathbf{r}_{n-1,1}, \dots, \mathbf{r}_{n-1,n-1}, -\mathbf{r}_{n-1,n}, \mathbf{r}_{n-1,n+1}, \dots, \mathbf{r}_{n-1,N}]$ ;
8:   Receive feedback  $p_n$  using configuration  $\mathbf{R}_n$ ;
9:   if  $p_{n-1} \geq p_n$  then
10:      $\mathbf{R}_n \leftarrow \mathbf{R}_{n-1}$ ;
11:   end if
12: end for
13: return reflection coefficients matrix  $\mathbf{R}_N$ ;
14: // Vertical search;
15: Denote  $\mathbf{R}_N = [\mathbf{s}_{N,1}, \mathbf{s}_{N,2}, \dots, \mathbf{s}_{N,M}]^T$ ;
16: for each  $m \in [1, M]$  do
17:    $\mathbf{R}_{N+m} \leftarrow [\mathbf{s}_{N+m-1,1}, \dots, \mathbf{s}_{N+m-1,m-1}, -\mathbf{s}_{N+m-1,m}, \mathbf{s}_{N+m-1,m+1}, \dots, \mathbf{s}_{N+m-1,M}]^T$ ;
18:   Receive feedback  $p_{N+m}$  using configuration  $\mathbf{R}_{N+m}$ ;
19:   if  $p_{N+m-1} \geq p_{N+m}$  then
20:      $\mathbf{R}_{N+m} \leftarrow \mathbf{R}_{N+m-1}$ ;
21:   end if
22: end for
23: return reflection coefficient matrix  $\mathbf{R}_{M+N}$ .

```

6 参考文献和交叉引用

6.1 参考文献

这是一个参考文献引用的范例^[1, 2, 3, 4, 5, 6]

6.2 交叉引用

本模板已经重写了 `hyperref` 宏包的 `\autoref` 命令，方便引用章节、公式和图表。

比如说第 6 节和第 6.2 小节就引用了本章节，段落 5 和段落 5 引用了之前的两个段落。显然段落因为没有序号，引用结果和上一节的需要相同，因此建议使用段落“段落”和段落“小段落”。

7 公式这么用

在文中引用公式可以这么写： $a^2 + b^2 = c^2$ 这是勾股定理，他还可以表示为 $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ ，还可以让公式单独一段并且加上编号

$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1 \quad (7.1)$$

还可以通过添加标签在正文中引用公式，如式 (7.1) 或者式 (7.1)。我们还可以轻松打出一个矩阵

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 11 & 22 & 33 & 44 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 22 & 24 \\ 32 & 34 \\ 42 & 44 \\ 52 & 54 \end{bmatrix} \quad (7.2)$$

或者多个带编号的公式

$$f_1(x) = 12x^2 + 36x + \sin x \quad (7.3)$$

$$f_2(x) = \sqrt{3}x^3 + 3x \quad (7.4)$$

以上

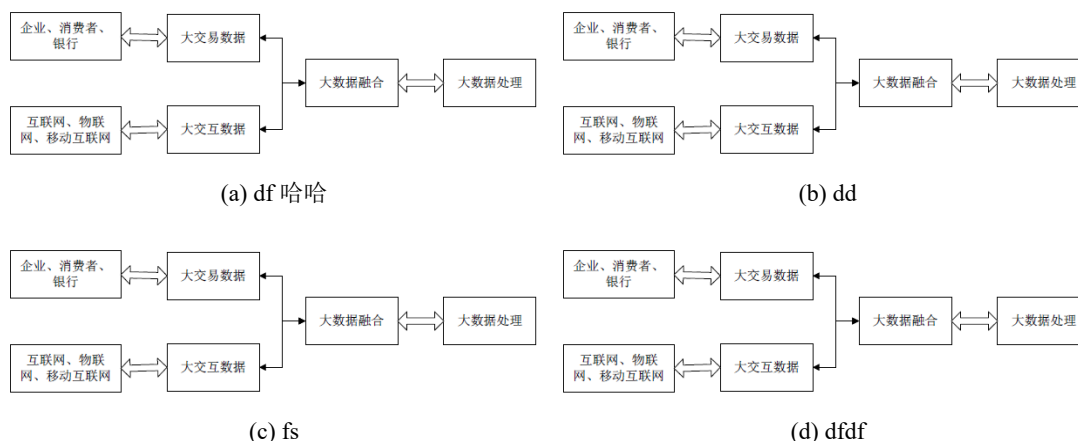


图 8-1 The 50 m outdoor over-the-air test: (a) the scene of the transmitter and receiver; (b) a copper plate of the same size as the RIS; (c) spectrum when using the RIS; (d) spectrum when using the copper plate.

8 用图和表的示例

8.1 图的使用

X_qLaTeX 环境下可以使用 EPS、PDF、PNG、JPEG、BMP 格式的图片，当然也可以用绘图包直接在 LaTeX 中绘制图形，推荐使用宏包 tikz。图的环境是 figure，但 figure 环境使用复杂且不自带标题，因此本模板定义了一个通用版本的 generalfig，该环境会将 figure 内的图片居中并设置标签与引用名，同时会让图片位置设置为所有可行位置（htbp，即此处、页顶、页底、独立一页），此选项可以作为可选参数设置。

其使用方法如下： 8-1d

图 8-1

8-1d

8-1

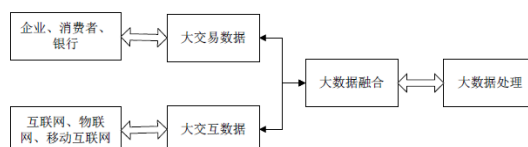


图 8-2 Indoor non-LoS test.

同时也可以引用该图片例如：图 8-3 或者图 8-3。请注意 generalfig 第一个参

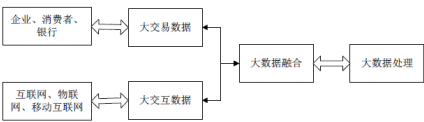


图 8-3 大数据信息处理框架

数是标题，第二个参数是引用。

8.2 表的使用

作为论文，推荐使用三线表进行排版。所谓三线表，即在标题前有横线，标题后有横线，表格最后还有横线，其他地方无线。当然这不是死规定，也可以根据需要在合适的地方加线。、踩踩踩本文定义了新的可变长度左中右（LCR）格式，LCR 三个格式会根据表格宽度的设定自行控制宽度，且其宽度相等，方便设置和页面相同宽度的表格。但该功能需要使用 tabularx 做表。

表 8-1 某校学生升高体重样本

序号	年龄	身高	体重
1	14	156	42
2	16	158	45
3	14	162	48
4	15	163	50
平均	15	159.75	46.25

当然你也可以引用表格，就像这样：表 8-1 。

9 列表的使用

这是一个计数的列表

1. 第一项
 - (a) 第一项中的第一项
 - (b) 第一项中的第二项
2. 第二项
3. 第三项

这是一个不计数的列表

- 第一项
 - 第一项中的第一项
 - 第一项中的第二项
- 第二项
- 第三项

致谢

感谢老师



2021 年 5 月 10 日
于华中科技大学韵苑

参考文献

- [1] Wu Q, Zhang S, Zheng B, et al. Intelligent Reflecting Surface Aided Wireless Communications: A Tutorial[J]. IEEE Trans. Commun., 2021 : 1 – 1.
- [2] DI RENZO M, DEBBAH M, PHAN-HUY D-T, et al. Smart radio environments empowered by reconfigurable AI meta-surfaces: An idea whose time has come[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2019, 2019(1): 1 – 20.
- [3] Yang D, Yang L , Hanzo L. DFT-Based Beamforming Weight-Vector Codebook Design for Spatially Correlated Channels in the Unitary Precoding Aided Multiuser Downlink[C] // 2010 IEEE International Conference on Communications. 2010: 1 – 5.
- [4] Liang Y, Long R, Zhang Q, et al. Large Intelligent Surface/Antennas (LISA): Making Reflective Radios Smart[J]. J. Commun. Inf. Netw., 2019, 4(2): 40 – 50.
- [5] 周儒雅, 唐万恺, 李潇, et al. 基于可重构智能表面的移动通信简要综述 [J]. 移动通信, 2020, 44(6): 63 – 69.
- [6] 张磊, 刘硕, 崔铁军. 电磁编码超材料的理论与应用 [J]. 中国光学, 2017, 10(1): 1 – 12.

附录 A 这是第一个附录

这里是附录环境，其中的 section、subsection、subsubsection 已经变为附录的样式，并且会以这种样式加入目录中。

A.1 附录可以有小节

A.1.1 附录中也可以有小小节

A.1.1.1 附录中也有小小小节

\autoref无法识别 Appendices 环境，引用效果和正文一样，如第 A.1.1 小节。所以如果引用附录的话，建议直接使用附录 A.1.1。