



齐鲁工业大学
QILU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

本科毕业设计(论文)

题目： LTE 家庭基站的节能技术研究

学 院 名 称 电子信息学院(大学物理教学部)

专 业 班 级

学 生 姓 名

导 师 姓 名

二零一九 年 六 月 一 日

齐鲁工业大学本科毕业设计（论文）原创性声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师的指导下独立研究、撰写的成果。设计（论文）中引用他人的文献、数据、图件、资料，均已在设计（论文）中加以说明，除此之外，本设计（论文）不含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。对本文研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确说明并表示了谢意。本声明的法律结果由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：_____

年 月 日

齐鲁工业大学关于毕业设计（论文）使用授权的说明

本毕业设计（论文）作者完全了解学校有关保留、使用毕业设计（论文）的规定，即：学校有权保留、送交设计（论文）的复印件，允许设计（论文）被查阅和借阅，学校可以公布设计（论文）的全部或部分内容，可以采用影印、扫描等复制手段保存本设计（论文）。

指导教师签名：_____

毕业设计（论文）作者签名：_____

年 月 日

年 月 日

LTE 家庭基站的节能技术研究

学 院 名 称 电子信息学院(大学物理教学部)

专 业 班 级

学 生 姓 名

学 号

导 师 姓 名

专业技术职务

目 录

摘 要.....	1
第一章 绪论.....	3
1.1 我国 LTE 技术及发展	3
1.2 家庭基站在近年的发展	3
1.3 家庭基站节能技术在国内外的的发展	4
1.4 本论文的解决思路以及结构安排	5
第二章 LTE 系统原理介绍	7
2.1 LTE 网络在近年的发展.....	7
2.1.1 LTE 的概念以及设计目标.....	7
2.1.2 LTE 的标准化进程.....	7
2.2 LTE 网络架构及网元功能.....	8
2.3 LTE 网络关键技术及其建模.....	9
2.3.1 OFDMA 原理与仿真.....	10
2.3.2 MIMO 原理与仿真.....	12
2.3.3 ICIC 介绍	13
第三章 家庭基站的原理及应用	15
3.1 家庭基站的网络结构	15
3.2 家庭基站接入核心网的解决方案	17
3.3 家庭基站的用户接入方式	18
3.4 家庭基站的无线资源管理	19
第四章 LTE 家庭基站的节能方案	21
4.1 LTE 家庭基站节能管理的相关概念.....	21
4.1.1 家庭基站的硬件构成	21
4.1.2 节能策略概述	22
4.2 BP 神经网络的介绍.....	23

4.2.1 BP 神经网络的网络结构.....	23
4.2.2 BP 神经网络的前向传递规则.....	23
4.2.3 BP 神经网络的反向传播规则.....	25
4.3 基于 BP 神经网络的家庭基站吞吐量预测	28
4.3.1 流量数据预处理	28
4.3.2 BP 神经网络的构建.....	28
4.3.3 BP 神经网络的训练过程.....	29
4.3.4 BP 神经网络的预测结果.....	31
4.4 基于流量预测的家庭基站节能策略	33
4.4.1 家庭基站节能策略	33
4.4.2 节能策略结果仿真	37
第五章 总结与展望.....	39
参考文献.....	40
致 谢.....	42

摘 要

在现代移动通信发展中，LTE(Long term Evoluntion)由于其速度和稳定性的提升，成为了现在人们在日常通信中最常用的技术，给人们的生产生活带来了极大的方便。

在 LTE 标准化的整体进程中，LTE 家庭基站应运而生，与传统的蜂窝网络形成了优势互补，由于其极大的配置灵活性和低功耗、通信质量快速稳定的特点，迅速在通信行业中得到了重视，成为人们在家庭通信场景中常见的设备。

而由于通信领域中常见的潮汐效应，全天候全功率开放的家庭基站虽然为人们的通信质量带来了保障与提升，但也造成了资源的极大浪费。论文首先研究了 LTE 系统的相关技术，对其扁平化的结构与关键技术进行了讲解与仿真；之后再研究了家庭基站的相关技术，重点讲解了其接入核心网的方案，并重点研究了家庭基站的无线资源管理；在论文最重点的家庭基站的节能管理中，文中首先介绍了 BP 神经网络的相关知识 with 原理，之后使用家庭基站的流量对之进行训练得到相应的模型，使其可以正确的预测，最后我们在流量预测的基础上，提出了相应的节能方案。经过实际的仿真模拟，此方案节约了 25%左右的能耗。

关键字：家庭基站 节能 智能休眠 反向传播 神经网络

ABSTRACT

In the development of modern mobile communication, LTE (Long term Evolution) has become the most commonly used technology in daily communication due to its speed and stability, which brings great convenience to people's production and life.

In the overall process of LTE standardization, LTE home base stations emerged as the times require, and they have formed complementary advantages with traditional cellular networks. Due to their great configuration flexibility, low power consumption, and fast and stable communication quality, they are rapidly emerging in the communications industry. It has gained attention and has become a common device in people's home communication scenarios.

Due to the tidal effects commonly seen in the communication field, the all-weather full-power open family base station has brought protection and improvement to people's communication quality, but it also caused great waste of resources. Firstly, the thesis studies the related technologies of LTE system, and explains and simulates its flat structure and key technologies. Then it studies the related technologies of home base stations, and focuses on its scheme of accessing the core network, and focuses on the research. Radio resource management of home base stations; in the energy-saving management of the most important home base stations in the paper, the paper first introduces the relevant knowledge and principle of BP neural network, and then uses the flow of the home base station to train it to get the corresponding model, so that it can Correct prediction, finally we put forward the corresponding energy-saving scheme based on the traffic forecast. After actual simulation, this solution saves about 25% of energy consumption.

Keyword:Femtocell; Energy Saving; IDLE; Back Propagation; Neural Network

第一章 绪论

1.1 我国 LTE 技术及发展

进入 21 世纪之后，通信行业突飞猛进，在短短 20 年产生了数次技术上的巨大变革。在 3GPP 组织领导下的 LTE 标准的不断推进过程中，3G、4G 以及现阶段正在测试阶段的 5G 在社会中产生了巨大的推动作用。由于通信网络的不断进化，网络速度与质量不断地提升，极大的推动了移动数据业务的发展，尤其是近年的移动互联网，给互联网行业带来了空前的繁荣；而移动互联网应用业务的不断提升，又对移动通信本身的速度、质量、安全性提出了更高的要求，这也直接推动了 3GPP 领导下的 LTE 技术的变革与发展^[1]。

随着移动互联网的在近几年的不断演进，我国乃至世界都迎来了接入通信网络流量爆炸的情况。中国拥有近 12 亿用户，是全球最大的移动市场。特别引人关注的是移动互联网普及率的增长率，在 2018 年底已达到 58%，在不到十年的时间内增长了三倍。与此同时，中国拥有数亿熟练使用移动设备的消费者，他们热衷于使用社交媒体和各种应用，因而对运营商提出了更高的网络性能要求^[2]。

可以看到，较之于原来通信网络中的小流量、低速率的传输协议版本，人们对通信网络的快速稳定提出了更高的要求，这时候 LTE 网络便应运而生，在短短数年的时间内成为了现在服务大众最可靠、最普及的通信网络。

LTE 为了实现其目标(详见 2.1.1LTE 的概念以及设计目标)，达到更快速稳定的通信效果，采用了 SAE(System Architecture Evolution)网络架构，其主要的演进之一即为功能扁平化。而以家庭基站为代表的小基站与原有的宏基站所构筑的异构网络，在现阶段取得了较为成熟的成果，实现了在两层网络上的扁平化，给用户的通信带来了更加方便、稳定、快捷的服务质量。

1.2 家庭基站在近年的发展

随着 LTE 以及后来的 LTE-A 这些优秀的通信协议在行业内渗透以及大规模部署，极大地满足并刺激了人们对于移动互联网的需求，大范围的稳定通信部署接近完成，在地理范围上大多数地方都被 LTE 通信网络覆盖。但是同时也不得不面临新用户大规模涌入的问题，这对通信行业的有限的频谱资源提出了更高的要求，如何在合理

的范围内应对随时间快速增长的移动数据业务，满足不断扩大的容量，成为了这些年通信领域不断探索的问题。

根据文献[3]中的统计，在移动数据业务爆炸的需求中，室内与室外有着不平等的请求，在室内的语音业务与数据业务分别达到了60%与80%；而且根据人们的生产生活的习惯，绝大多数的用户平时的通信活动均发生在室内。故室内的通信质量在整体的通信网络中占有绝对的比重。如何在接收信号路损较大的室内环境中提供给用户快速稳定的数据流量服务，是 LTE 网络不断演进的目标之一。而室内通信的提供恰恰是宏基站的弱势，宏基站有着如下的一些问题：

1) 宏基站信号存在一些不能覆盖到或者较为微弱的区域，从而造成了用户们的体验较差。根据中信证券的调研结果^[4]，在用户对通信公司的投诉情况来看，没有信号或者信号质量较差的情况占到了百分之八十，这说明改进建筑密集区之间的信号弱覆盖、无覆盖是现阶段通信网络主要面临的问题。

2) 热点区域不足。由于传统的宏基站的建设由于较为高昂的价格，并且在人口和建筑密集区假设基站设备的建设和维护成本过大，造成了热点分布不足的情况。

目前而言，如果仅凭宏基站在小区的部署，由于距离较远且存在建筑的阻挡，用户往往得不到较为良好的优质通信质量，所以在室内部署较为快速稳定的通信系统，同时也要满足低成本、高覆盖率，成为了移动通信领域必须考虑解决的问题。

而家庭基站等一系列室内覆盖技术的出现便解决了这一问题，使得人们通过较为简单并且成本较低的方式安装一定的设备，便会接入稳定快速的通信网络。家庭基站因为本就是室内安装，所以宏基站覆盖不到的区域，家庭基站可以完美的覆盖，解决了宏基站面临的第一个难题；由于家庭基站的安装简单，成本低廉，而且体积也较小，可以方便在每家每户安装，也可以在热点不足的公众场合安装，有效的解决了宏基站面临的第二个问题。

1.3 家庭基站节能技术在国内外的的发展

根据文献[5]中的数据，通信行业作为现在的新兴科技产业，二氧化碳的排放量已经占到了全球总排放的 2%，而其中移动通信又占据了绝大部分。据统计，在移动通信网络中，基站的耗电量达到了90%；扩大到整个的通信运维环境中，基站

的耗电量也达到了60%~70%,所以如何有效的降低基站的耗电量,在满足用户通信质量的情况下,最大化的节约电量,成为了现阶段通信领域最为关心的问题之一。

在国内,华中科技大学的易楞淦博士提出了基于认知无线电频谱管理的毫微微基站激励方法^[6],北京邮电大学的张志才博士提出了基于 Q 学习的节能控制算法^[7],重庆邮电大学的沈海强提出了一种基于马尔科夫模型的智能预测睡眠时间的技能控制算法^[8],重庆工学院的代红英提出了一种基于负载预测的节能算法^[9]。

在国外,Alcatel-Lucent 公司的 Imran Ashraf 等人提出了一种基于用户接入预测算法来智能开关基站^[10],Vrije Universiteit Brussel 的 Björn DEBAILLIE 等人提出了通过减少家庭基站自身电路设备功耗达到节能的方法^[11],University of Catania 的 Anna Dudnikova 等人提出了基于分布式的自我改进的节能算法^[12]。

国内外的研究都达到了一定的节能效果,但是由于通信网络的复杂性,比如密集基站频率之间的干扰,人口流动的不确定性,在一定的场景下达不到较为理想的节能效果,至今仍是通信领域的一个热门研究领域。

1.4 本论文的解决思路以及结构安排

本文通过研究家庭基站密集场景下异构蜂窝网络,以及家庭基站工作的原理,提出了一种基于 BP 神经网络预测人们接入通信网络的模型,实现智能休眠的效果,极大的节省了设备的能耗。根据仿真结果显示,平均可以节约25%的耗电量。

第一章为绪论部分,主要对我国 LTE 技术的发展和成果做了一定的介绍,指出了目前 LTE 网络和家庭基站面临的问题,同时对节能技术在海内外的研究现状做了简述。

第二章为 LTE 系统原理介绍,总结了 LTE 网络在近年的发展,以及标准化进程,研究了 LTE 网络的架构与主要网元功能,之后重点对 LTE 网络中的关键技术进行了研究与仿真。

第三章为家庭基站原理的介绍,介绍了家庭基站的网络结构、接入方式以及无线资源管理等工作原理,同时对家庭基站的无线资源管理技术进行仿真建模。

第四章为 LTE 家庭基站节能方案的具体提出、仿真以及验证，通过 BP 神经网络对人们接入通信的变化做出智能的判断，在接入量较少的时候，暂时休眠，达到节能的目的。

第五章为全文的总结，回顾自己文章中对家庭基站节能工作的思路和解决方法，指出了下一步可以改进的地方。

第二章 LTE 系统原理介绍

本章重点介绍 LTE 网络的原理与相关的关键技术。

2.1 LTE 网络在近年的发展

2.1.1 LTE 的概念以及设计目标

LTE 网络的全称是长期演进 (Long Term Evolution)，为 3GPP 组织主导的无线通信技术 UMTS 的长期演进。LTE 项目于 2004 年启动，目标是为 3GPP 无线电接入技术的发展制定一定的框架，以实现通信网络的高速率、低延迟和数据包优化。与现代的软件工程中的版本管理概念类似，通信系统长期演进的结果即为——在原有系统的基础之上不断的吸纳新型的优秀技术，而不对整体的技术架构进行推翻，以避免造成通信技术过于繁杂的局面，从而形成不断进化与拓展的良好发展。

LTE 技术演进之初，制定了一系列的设计目标，如下表所示：

表 2-1 LTE 设计目标

LTE 技术设计目标
带宽灵活配置：支持 1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10Mhz, 15Mhz, 20MHz；
峰值速率更高：下行 100Mbps，上行 50Mbps；
时延更小：控制面延时小于 100ms，用户面延时小于 5ms
支持高速：能为速度大于 350KM/H 的用户接入 100kbps 的业务接入
支持用户数增加:5M 以上带宽，至少 400UE/小区

这些技术的制定之初为十多年前，所以一些配置在现在已经实现、成熟配置在商业环境中，而新的目标与技术在 3GPP 组织不断更新的标准化中发布。

2.1.2 LTE 的标准化进程

制定出 LTE 方案之后，3GPP 组织发布了一系列的 release (Rel, 发行版本)，以更新 LTE 标准中的内容。下面选取几个比较重要的节点方案，简要说明一下其中内容：

	Rel-8	Rel-9	Rel-10	Rel-12	Rel-15
时间	2008	2010	2011	2015	2018
关键更新	- LTE/SAE初始版本	- 支持无线基站 - 增加自组织网络	- 进化到LTE-Advanced - 载波聚合 - 支持高阶MIMO	- 进化到LTE-Beyond - 支持LTE-Hi - 支持智能天线波束赋形技术	- 5G接入

图 2-1 LTE release 重点技术节点

如图中所示，在 LTE Release 不断更新的版本中，由于其核心网络扁平化的架构，使得新的技术可以较为方便的加入原有的系统之中，且不需要对原有的系统做较大的修改，持续保持向下兼容的特性，在新技术提出并达到一定程度之后，即冻结成为 LTE 网络架构中完全内嵌的一部分。

2.2 LTE 网络架构及网元功能

LTE 系统采用了 E-UTRAN(UMTS Terrestrial Radio Access Network, UMTS 陆地无线接入网)的分布式系统架构，完全由增强型 Node B(enhanced NodeB, 移动基站)组成，直接取消了 RNC(节点控制器)，避免了由之产生的单点故障，提高了网络的稳定性，同时也将网络趋于扁平化。

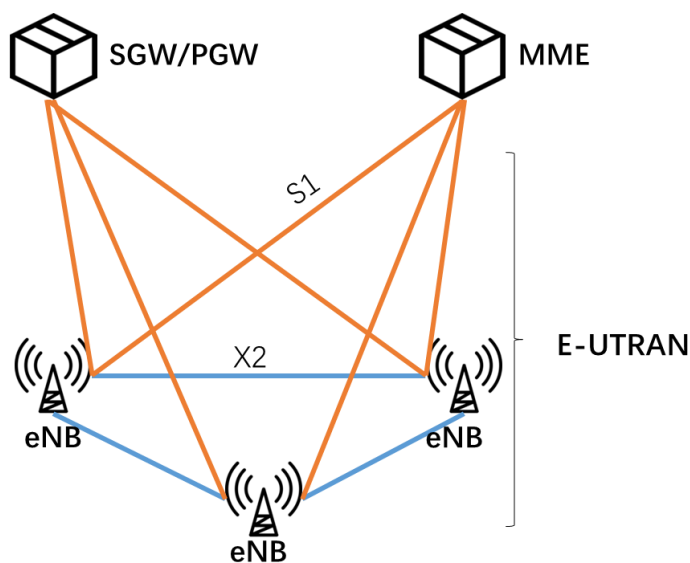


图 2-2 LTE 系统网络架构

LTE 系统的网络架构如图 2-2 所示，主要由 eNodeB 与接入网关 (Access GateWay, aGW) 组成。eNB 之间采用 IP (Internet Protocol Suite, 网际协议) 传输，在逻辑上以 X2 接口互相连接，支持数据和信令的直接传输。且 eNB 以 S1 接口连接核心网 (EPC), 其中 S1-MME 连接到 MME 的控制面端口，S1-U 连接到 S-GW 的用户面端口。

其中主要涉及的网元功能如下：

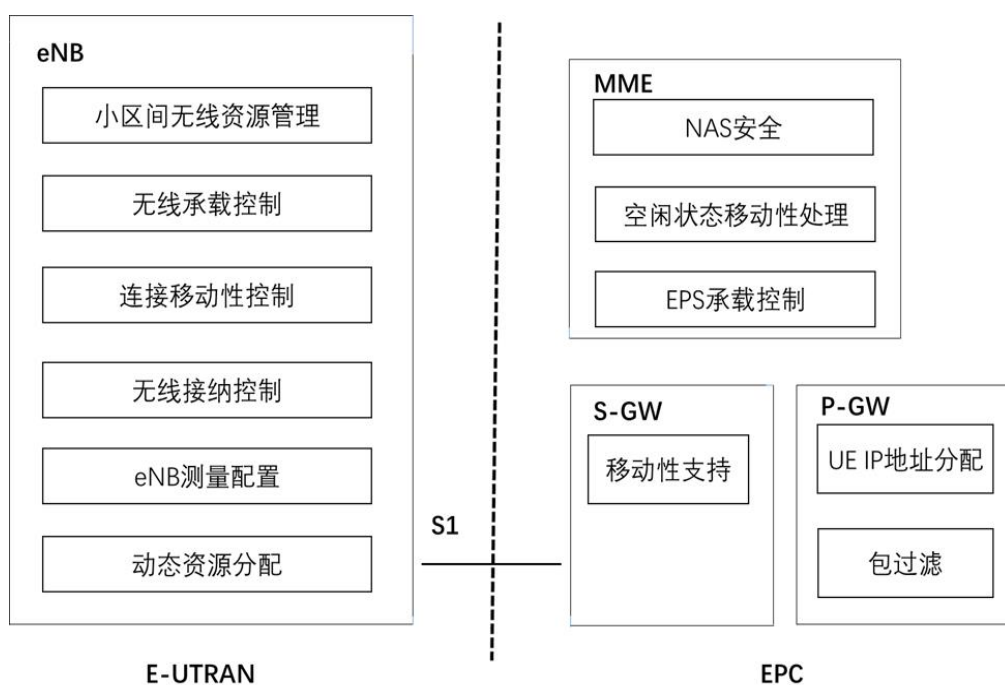


图 2-3 LTE 系统主要网元功能

与传统的通信网络相比，LTE 的这种网络架构更加简单化、扁平化，不仅降低了组网的成本，而且也增加了组网的灵活性，并且可以大大降低通信时延。

2.3 LTE 网络关键技术及其建模

LTE 为了提供给用户更加快速稳定的服务，并且与此同时保持较高的频谱利用率与较小的频谱间干扰，应用了许多新技术，下面选取三个最为重要的技术进行研究。分别为：提高频谱利用率的 OFDMA 技术、提高信道容量的 MIMO 技术、减小小区间频谱干扰的 ICIC 技术。

2.3.1 OFDMA 原理与仿真

移动互联网演进的目标是构建出高速率、低时延并且分组优化的无线接入网络，为此，多址方案必须在复杂度合理的条件下，提供更高的数据传输速率和频谱利用率。下面给出从 1G 到 4G 的多址方案演进^[13]：

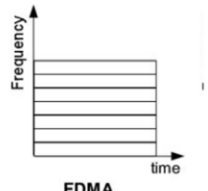
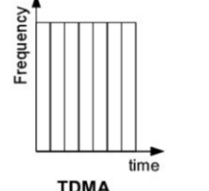
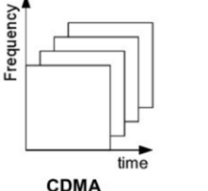
1G	2G	3G	4G
FDMA	TDMA	CDMA	OFDMA
			*如图2-7所示

图 2-4 多址方案进化图示

其中 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用技术) 是一种调制方式，其利用正交子载波组来实现并行传输，可以获得很高的频谱利用率，其系统的基本模型如下：

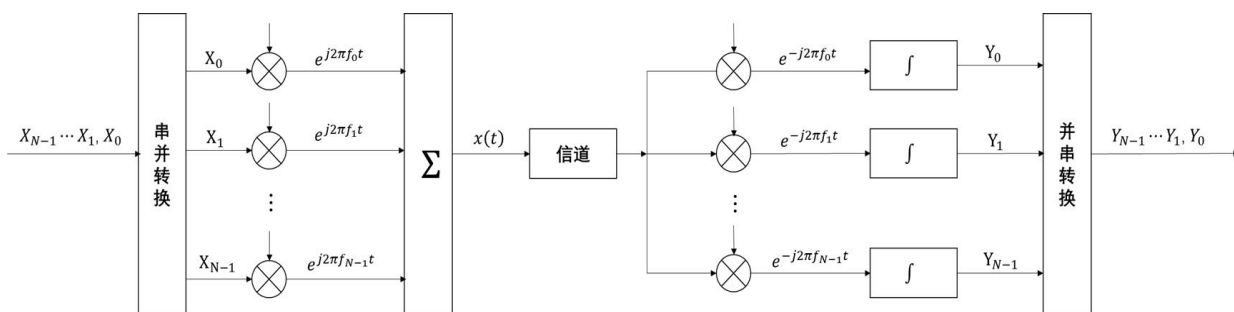


图 2-5 OFDM 调制模型

我们假设串行数据流为 $\{X_0, X_1, \dots, X_k, \dots, X_{N-1}\}$ ，经串并转换后变为 $\{X_0\}, \{X_1\}, \dots, \{X_k\}, \dots, \{X_{N-1}\}$ ，假设 OFDM 的符号周期为 T ，每个子载波的传输频率用 f_k 表示， $k = 0, 1, \dots, N-1$ ，则 OFDM 的发射端输出信号为：

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi f_k t} \text{rect}(t) \quad \text{公式(2-1)}$$

由于子载波的间隔为 $f = \frac{1}{T}$ ，故上式可以写作：

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi \frac{k}{T} t} \text{rect}(t) \quad \text{公式(2-2)}$$

在一个 OFDM 符号周期内对任意两个子载波进行积分，我们有：

$$\frac{1}{T} \int_0^T e^{-j2\pi \frac{n}{T} t} e^{j2\pi \frac{m}{T} t} dt = \frac{1}{T} \int_0^T e^{j2\pi \frac{m-n}{T} t} dt = \begin{cases} 1 & m = n \\ 0 & m \neq n \end{cases} \quad \text{公式(2-3)}$$

上式说明了只有子载波匹配时，接收端积分的结果才不为 0，充分的说明了各个子载波之间的正交性。

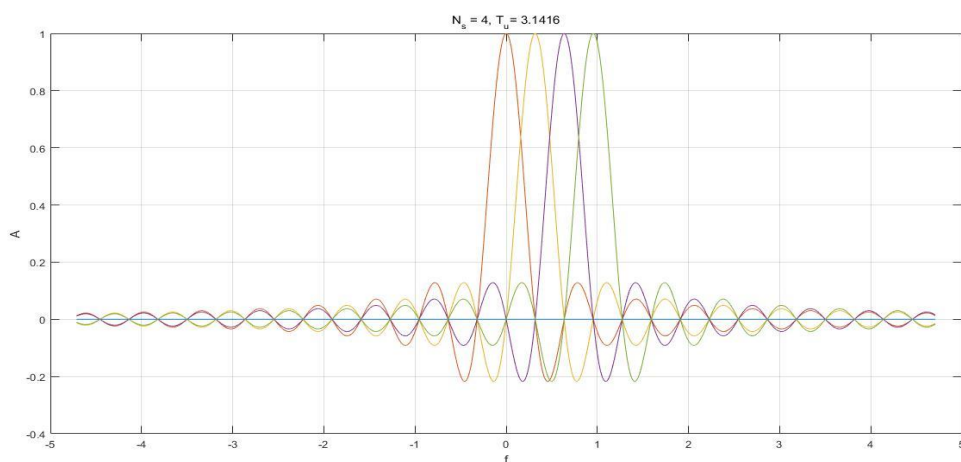


图 2-6 OFDM 仿真示意图

利用 MATLAB 仿真结果如上，可以看到每个子载波在其中心频率处有最大值，而其余的载波为 0，故使用抽样函数的进行抽样的时候不存在干扰；并且由于各个子载波之间有重合部分，所以较 FDM 在频谱利用率上有了一定的提升。

在接收端，我们只需要将第 L 个子载波乘以 $e^{-j2\pi \frac{k}{T} t}$ ，之后在 OFDM 周期内进行积分，则可以恢复原信号：

$$Y_L = \frac{1}{T} \int_0^T e^{-j2\pi \frac{L}{T} t} X_k e^{j2\pi \frac{k}{T} t} dt = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \int_0^T e^{j2\pi \frac{k-L}{T} t} dt = X_L \quad \text{公式(2-4)}$$

OFDMA 为一种多址接入方式，是 OFDM 技术的演进，在利用 OFDM 对信道调制之后，在部分子载波上加入传输信息的方法，增强用户服务质量。其改进示意^[14]如下：

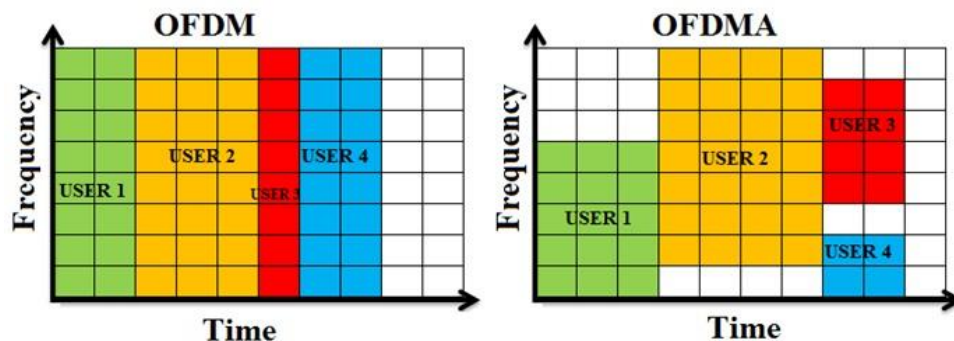


图 2-7 OFDMA 改进图示

2.3.2 MIMO 原理与仿真

MIMO 即多入多出技术，是一种多天线传输技术，发射端同时利用多个天线发射信号，接收端利用多个天线接收信号。由于收发两端使用了多根天线，故 MIMO 的信道容量较相同带宽的单收发链路有了成倍的提高。

我们假设 MIMO 系统中有 N 个发射天线以及 M 个接收天线，且设发射信号与接收信号分别为 $x = [x_1, x_2, \dots, x_N]$, $y = [y_1, y_2, \dots, y_M]$ ，对于信号只有一条时间可分辨路径的瑞利平坦衰落信道而言，接收信号与发射信号的关系如下：

$$y(t) = H(t)x(t) + n(t) \quad \text{公式(2-5)}$$

上式中 $n(t)$ 为加性高斯白噪声， $H(t)$ 为 $M \times N$ 维的 MIMO 信道矩阵， $H(t)$ 矩阵具体如下：

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1N} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{M1} & h_{M2} & \cdots & h_{MN} \end{bmatrix}_{M \times N} \quad \text{公式(2-6)}$$

其中 h_{ij} 为从第 i 个信道到第 j 个信道的衰减系数。

根据文献[15]的建模，我们可知在等功率分配的情况下，MIMO 的信道容量为：

$$C = \log_2 \det \left[I_N + \frac{\rho}{N} H H^H \right] \quad \text{公式(2-7)}$$

对上式进行仿真，我们可得：

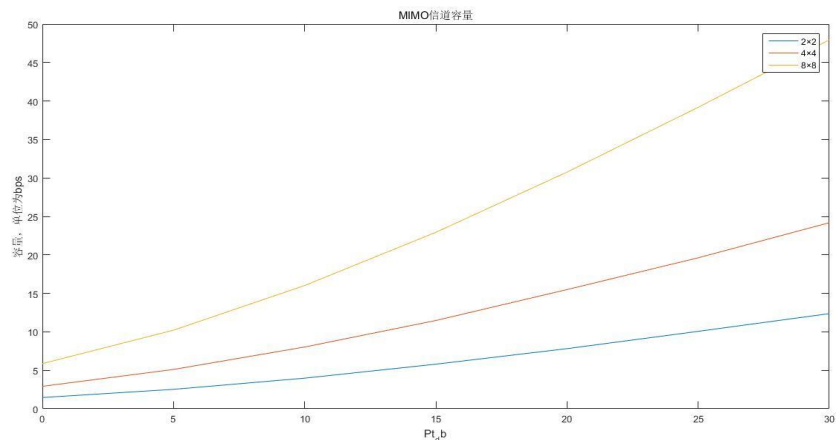


图 2-8 MIMO 信道仿真图示

2.3.3 ICIC 介绍

由于 LTE 采取的是 OFDMA 方式调制，将通信数据调制到正交的子信道上，从而使得单个小区干扰极大得减少。但是在不同的小区之间，干扰便比较严重，我们解决这个问题除了传统的加扰、调频技术，还可以采用 ICIC 技术(小区间干扰协调)。

ICIC 即将相邻的小区之间通过不同的频带划分，在频域上错开各自用户的资源，从而达到有效降低相邻小区的同频干扰。下面为示意图：

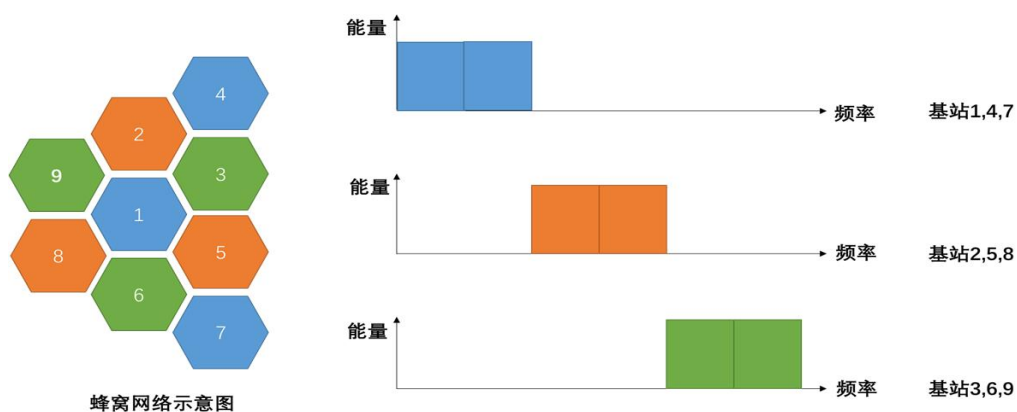


图 2-9 ICIC 技术图示

总结:本章首先通过对于 LTE 近年发展的概述，讲解了 LTE 网络的设计理念与标准化进程，并由此引出了 LTE 扁平化的网络架构，且对其网元功能进行了简要的说明；在第二章的后半章节，本文对 LTE 网络的三种重要技术进行了原理推导，并且实现了 OFDMA 技术与 MIMO 技术的仿真。通过对本章的叙述，对 LTE 网络及其技术有了较为细致的理解，在第三章主要讲解家庭基站的原理，并且在 LTE 异构网络中的应用。

第三章 家庭基站的原理及应用

现代通信网络的容量扩展主要为两个方面，一为横向的小区分裂，增加宏基站数量；二为纵向的网络分层，基于新的频段，构建独立的网络与宏网络协调使用，其中家庭基站便采取了纵向网络分层的技术手段。

由于便于安装、方便灵活的特点，Femtocell 往往被安装在用户家庭、办公室、公共区域内，直接接入宏蜂窝异构网络，形成了一系列的 Femtocell-宏蜂窝异构网络。这样用户在进入常见的宏基站区域内的时候，会正常连入宏基站；而进入家庭基站覆盖的区域的时候，会直接连入 Femtocell。由此，用户在外出的时候可以享受到宏基站所提供的大范围、安全有保障的信号，在即使位置稍微偏僻的家中，依然可以接收到快速稳定的信号。

3.1 家庭基站的网络结构

与我们生活中常见的宏蜂窝网络不同，因为家庭基站不需要基站控制器(BSC)和移动交换中心(MSC)，家庭基站不通过运营商的专线接入核心网络，而是通过因特网直接接入核心网络的。下面给出 Femtocell 接入通信网络示意图^[16]：

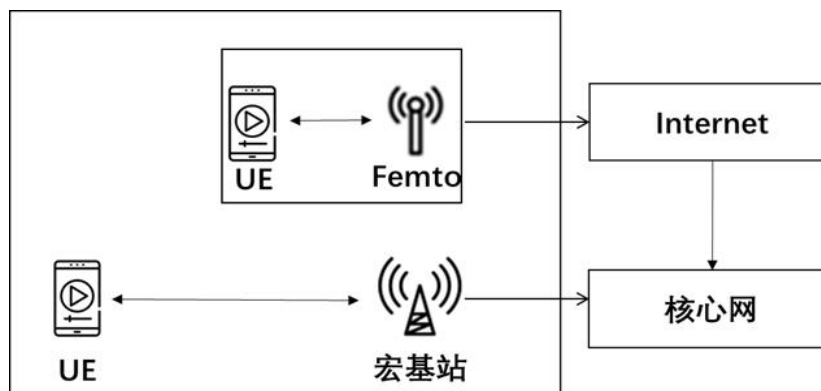


图 3-1 Femtocell 接入通信网络图示

由于传统宏基站的接入方式为：用户发送信号至宏基站蜂窝网络，之后请求消息传输到 RNC 进行认证、付费等处理，之后进行认证。如果认证成功，授权为合法用户后，其请求经由运营商的核心网络，到达所请求的互联网数据，之后再返回到用户的请求设备上。这样便给运营商的核心网络带来了巨大的负担和压力，对于快

速增长的移动互联网用户，核心网络已经不能再满足用户的需要。如下图 3-2 为用户使用传统宏基站接入通信网络图示：

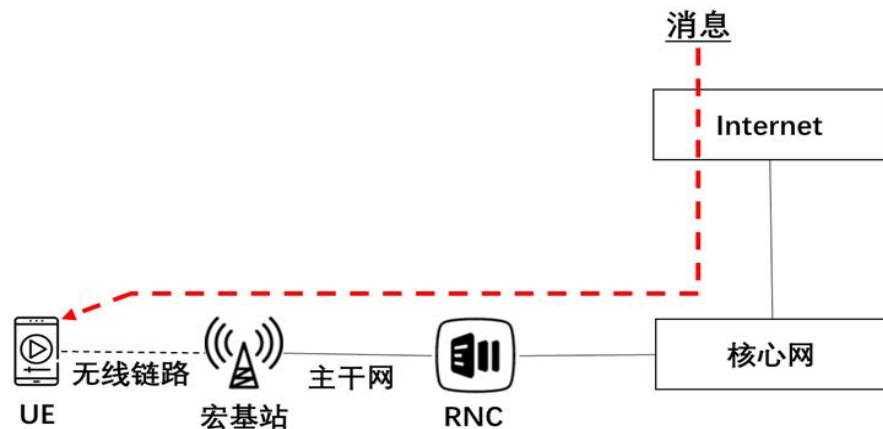


图 3-2 用户使用传统宏基站接入通信网络图示

与传统宏基站不同，家庭基站只有在认证等信令达到运营商的核心网络，之后的流量直接通过 Femto 网关连入互联网，故其流量不经过传统运营商的核心网，大大减轻了核心网络的负担，缓解了运营压力的同时，也使用户获得了较宏基站更为稳定快速的网络。如下图 3-3 所示：

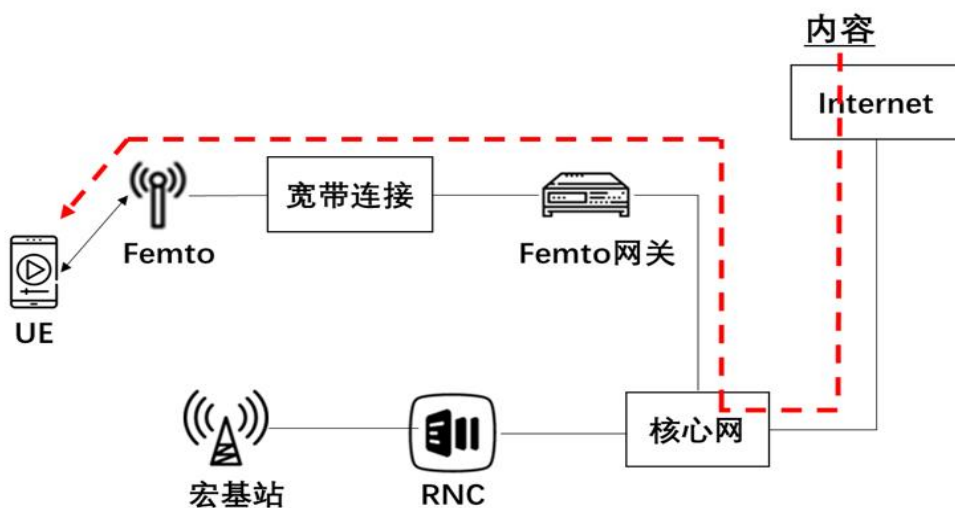


图 3-3 用户使用 Femtocell 接入通信网络图示

3.2 家庭基站接入核心网的解决方案

在 3.1 节重点讲解了家庭基站的网络架构之后，本节对家庭基站如何接入核心网以形成 LTE 异构网络进行研究。

Femtocell 系统在完整的结构中分为两个部分，其中包括家庭端的 Femto 和 Femto 网关，而 Femto 网关为 Femto 经过 IP 连入因特网的认证、授权部分。

典型的 Femto 接入网络如下：

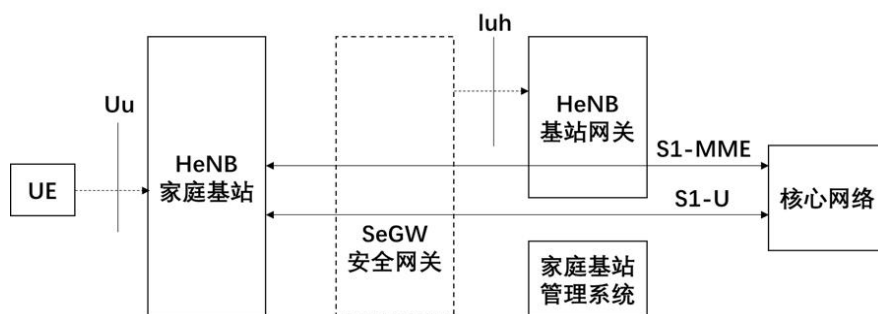


图 3-4 Femtocell 接入核心网图示

从运营商的核心网络的角度来看，Femto 接入网为 RNC（无线网络控制）；而从用户的角度而言，Femto 接入网为 eNodeB，家庭基站与用户之间采用标准的 Uu 接口进行通信。所以，家庭基站既拥有了宏基站 eNodeB 的无线承载功能，向用户终端提供标准的 Uu 接口；同时又拥有了 RNC 的无线资源管理功能，使得整体网络结构更加扁平化，提高了网络传输效率，同时也降低了维护成本，也使得扩展业务更为方便。

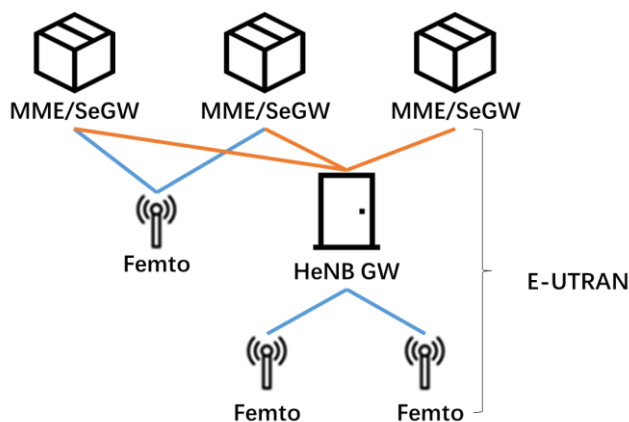


图 3-5 femto 接入运营商核心网络图示

如图 3-5 所示，femto 可以有两种方式接入运营商核心网络，一种为直接与 MME 相连；另一种为通过 HeNB GW 相连，继而再连接到 MME 上。家庭基站通过上述方式接入核心网络，使得网络结构扁平化，符合下一代通信网络扁平化的趋势。由于网络节点的减少，在整体上减小了时延，从而改善了用户使用网络的体验，同时也增强了网络的可靠性。

3.3 家庭基站的用户接入方式

本章前半部分主要研究了家庭基站的网络架构以及家庭基站如何接入核心网的相关知识，即家庭基站与 LTE 异构网络接入的相关概念；在本章的后半节论文主要讲解用户如何接入家庭基站，以及接入家庭基站之后可能的频率干扰问题。

与其他的室内无线接入方式类似，Femtocell 将用户分为两种，一种为注册用户，另一种为非注册用户。而问题的重点便在于，非注册用户是否被网络视为非法用户，从而拒绝接入。而且不同的接入方式会产生不同的干扰影响，对整体的网络性能影响较大，故选择适当的用户接入方式对家庭基站的使用有着至关重要的影响。

家庭基站的用户接入一般分为以下三种，分别为：

- 1) 闭环接入方式：其中家庭基站的拥有着用户定义一个合法的用户集合，只有其中的用户可以接入通信网络；
- 2) 开环接入方式：所有的人都可以接入网络，不存在接入门槛；
- 3) 混合接入方式：将闭环接入用户未使用的资源给给未注册用户，达成资源共享使用模式；

其中的闭环接入方式限制了宏蜂窝用户使用 Femtocell 的资源，但是也带来了干扰抑制的复杂问题；开环接入方式虽然没有干扰过重的问题，但是开放式的资源获取方式给网络带来了不安全因素，也会影响到 Femtocell 拥有者的使用体验；混合接入方式结合了开环接入和闭环接入两种接入方式，是目前认为最为有效的方法。但是仍要设计出优秀的算法，解决资源分配的问题，避免 Femtocell 拥有着用户的资源分配出现问题，使得网络体验较差。

3.4 家庭基站的无线资源管理

在家庭基站满足了安装方便且可以稳定提供高质量服务的同时，仍要必须考虑与原有宏基站的兼容，即干扰问题。干扰会对 Femto cell 的系统性能产生极大的影响。而与干扰问题联系最为密切的即 Femto cell 的接入方式与其资源分配方式(3.3 小节)，只有将资源分配问题予以解决，与宏基站互相补足，家庭基站才有使用的价值。

假设某区域内有 N 个用户在使用通信服务，其中空间的可用带宽被划分为 M 个子信道，设矩阵 L 便是此 N 个用户使用 M 个信道的情况，矩阵 B 为定效益矩阵，根据文献[17]则有：

$$L = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1M} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2M} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \cdots & a_{NM} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1M} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2M} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ b_{N1} & b_{N2} & \cdots & b_{NM} \end{bmatrix} \quad \text{公式(3-1)}$$

其中 $a_{ij}, (i \in (1, N), j \in (1, M))$, a_{ij} 取 1 或 0，表示第 i 用户是否使用第 j 个信道； $b_{ij}, (i \in (1, N), j \in (1, M))$, b_{ij} 取 $[1, 5]$ ，取值越大代表服务质量越好。

对于系统整体服务质量的评价，可以将用户在所有信道上的服务质量相加即可：

$$F(x) = L * B = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M a_{ij} b_{ij} \quad \text{公式(3-2)}$$

为了使上式的总和达到最优化，在此我们使用论文 4.3 小节中家庭基站模型，采用文献[18]中提出的 Femto-Aware 方法进行优化。本方法将小区中可能使用的频谱划分为两个部分，宏基站专用部分(干扰池)与宏基站与家庭基站共享部分，宏基站通过识别对 Femto cell 上行链路具有潜在威胁的 UE，并且将他们的频谱转移到宏专用部分，使得 Femto cell 处不存在可能的同信道干扰。

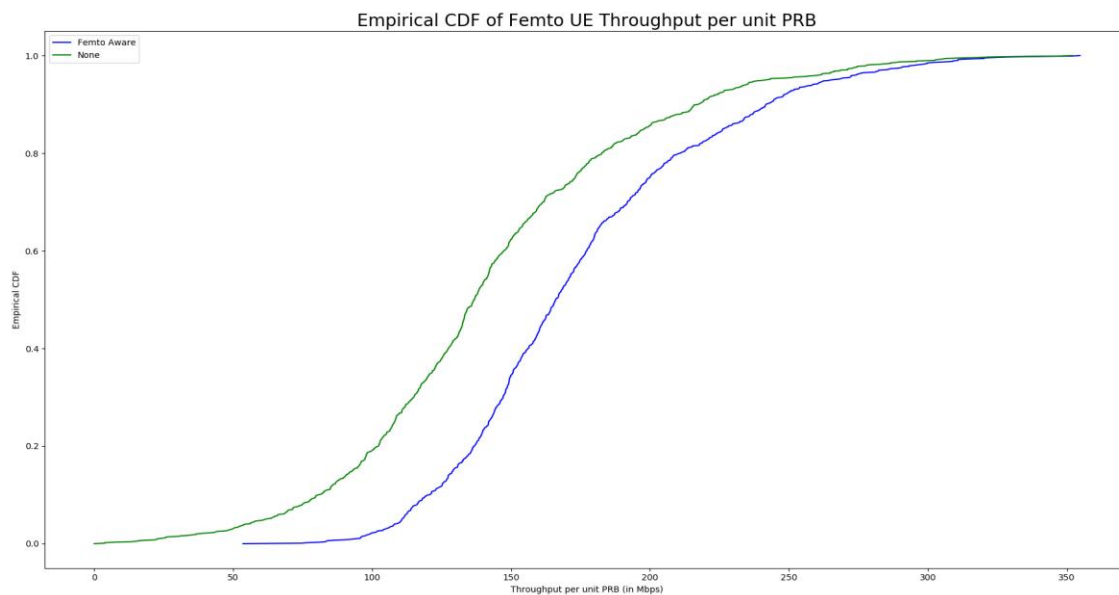


图 3-6 两种 femto 资源分配方法的 CDF 图示

根据仿真结果，我们可以得出：相对与不做任何限制的情况，用户的通信质量得到了明显的提升。

总结： 在第二章 LTE 系统的原理的基础上，第三章论文重点分为两个大块介绍了 Femtocell 家庭基站的原理，分别为家庭基站于 LTE 异构网络的接入，还有用户对于家庭基站的接入以及相应的无线资源管理方法，且最后对 Femtoce11 的无线资源管理进行了模拟仿真。

第四章 LTE 家庭基站的节能方案

根据论文的第一章 1.3 节的介绍，Femtocell 在通信领域满足了低功耗、低成本且用户灵活部署的特点。不过由于通信领域普遍存在的潮汐效应，即随着时间通信的吞吐量会产生大尺度的变化，比如中午与深夜的接入量会呈现出数十倍的差距。但是在日常生活中，用户经常自行安装家庭基站之后进行全天候全功率的开放，造成了资源的极大浪费。

文章计划采用 BP 神经网络模型，对一个小区的家庭基站的接入情况进行智能的预测，在接入点较少的时间进行有选择的睡眠，避免资源的浪费，达到节能的目的。

4.1 LTE 家庭基站节能管理的相关概念

4.1.1 家庭基站的硬件构成

家庭基站的具体组成元件如下图所示：

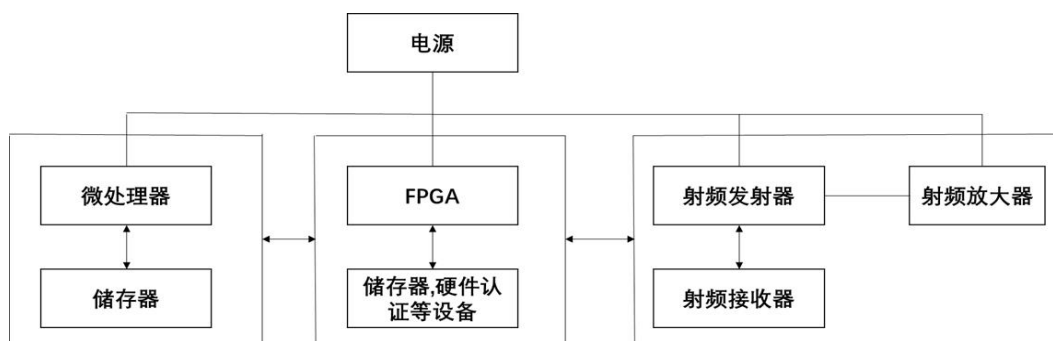


图 4-1 Femtocell 硬件设计示意图

上图显示了一个典型的 Femtocell 硬件设计的示意图。它包括一个微处理器，负责实现和管理无线电协议栈和相关的基带处理；一个或多个随机存储器连接到微处理器，处理各种数据处理；还包括现场可编程门阵列 (FPGA) 和一些集成电路，实现数据加密、硬件认证等功能；FPGA 中的无线电组件充当微处理器和射频收发器 (RF) 之间的接口，还有 RF 功率放大器 (PA)，将高功率信号传递到发射天线。

其中每个元器件的能耗^[10]如下：

硬件构成	能耗（瓦特）
微处理器	1.7
存储器	0.5
FPGA	2.0
存储器	0.5
其余设备	2.0
射频发射器	1.0
射频接收器	0.5
射频放大器	2.0

图 4-2 Femtocell 硬件功耗图示

从表格中得出，Femtocell 完全激活后，硬件总消耗为 $P_{act} = 10.2W$ 。

4.1.2 节能策略概述

由于传统的基站预测休眠技术使用确定的流量模型，无法较为准确地对实际流量变化进行动态适应，故本文针对家庭基站中密集网络的研究现状进行分析，提出一种基于业务预测(service-prediction-based green base-station sleep, SGBS)的绿色基站休眠策略。SGBS 策略分为两部分，第一部分提取运营商下家庭基站的真实吞吐量进行 BP 神经网络的预测和结果分析，第二部分根据业务的预测结果制定了节能策略。

其中论文使用了文献^[9]中的初始数据，作者统计了中国某地区繁华街道数十天的 Femtocell 吞吐量检测数据，其中十天内具体的数据图示如下：

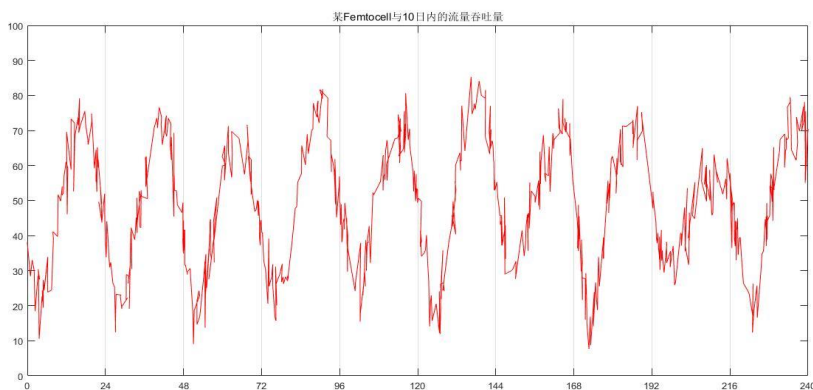


图 4-3 某 Femtocell 十日数据吞吐量示意图

4.2 BP 神经网络的介绍

1986 年, Rumelhart 和 McClland 在文献[19]中提出了 BP(Back Propagation, 反向传播)神经网络, 它是一种按照误差反向传播算法来训练的多层前馈网络, 也是目前最常使用的人工神经网络模型之一。其中 BP 神经网络的核心思想为, 利用输出层的误差来估计最后一层隐含层的误差, 之后依次估计更前一层隐含层的误差, 一层层前移直到得出所有误差的结果, 故称之为反向传播神经网络。

4.2.1 BP 神经网络的网络结构

BP 神经网络为多层前馈网络, 前馈网络中各层神经元分成不同的组, 每一组均被视为一个神经层, 每一层都接受前一层的信息并传递给下一层。而 BP 神经网络的主要特点为信息前向传递, 误差反向传播, 且属于有监督学习(Supervised Learning)模型。

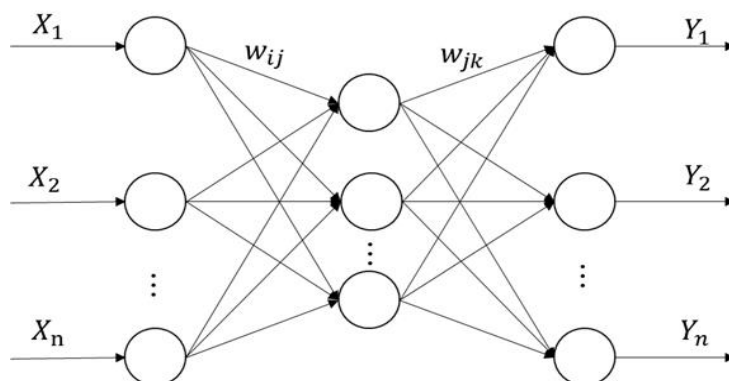


图 4-4 三层 BP 神经网络网络架构示意图

上图为一个典型的三层 BP 神经网络, 分别为输入层、隐含层以及输出层。BP 神经网络的流程可以概述为: 前向传递过程中, 输入的数据依次通过输入层、隐含层与输出层, 得到预测数据; 将预测数据与训练中给定的数据比较, 以确定其绝对误差是否小于目标误差; 如若不满足该条件, 则转入反向传播过程, 将误差依次传递给各网络层, 以调整其各自的权重与偏置, 以不断逼近期望输出。

4.2.2 BP 神经网络的前向传递规则

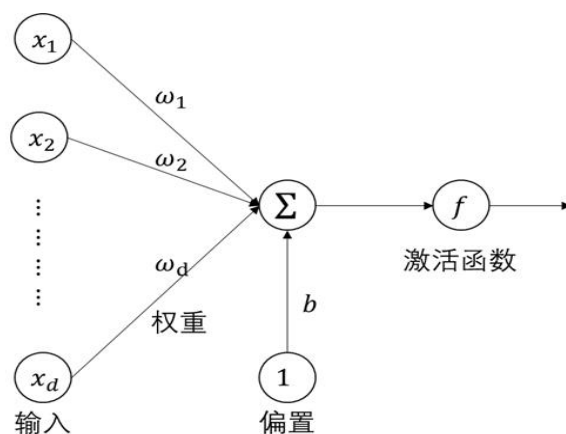


图 4-5 三层 BP 神经网络网络架构示意图

为计算整个 BP 神经网络的输出，我们在上图的三层网络中选取其中的一层隐藏层作为当前神经元进行说明，以说明 BP 神经网络前向传递的原理。设神经元数量为 n ，令与其相连的前神经元的互信息强度为 W_i ，且当前神经层的阈值为 b ， $\sum_{i=1}^n W_i x_i$ 为当前神经层的输入，故当前神经元输出为：

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n W_i x_i + b\right) \quad \text{公式(4-1)}$$

其中 $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ，非线性 $f(\cdot)$ 为激活函数。

推广到 BP 神经网络一般性结论，我们设输入向量为 X 为输入矩阵， W 为权重矩阵，用 Z 表示神经层输入， Y 为神经层输出则有：

$$Z^{i+1} = W^{i+1} X^i + b^{i+1} \quad \text{公式(4-2)}$$

$$X^{i+1} = f(Z^{i+1}) \quad \text{公式(4-3)}$$

根据通用逼近定理：如果一个前馈神经网络有输出层和至少一个隐含层，只要神经元数量足够，则其可以逼近任意连续函数函数。反应在 BP 神经网络中，其利用激活函数来模拟输入与输出之间的关系，激活函数的主要作用为提供了神经网络的非线性建模的能力。函数必须满足连续可导的条件，理论上任意满足此条件的函数均可作为激活函数，但是我们在实际应用中，常常选择 sigmoid、tansig 等单调函数作为激活函数。其中 sigmoid 函数：

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}, 0 < f(x) < 1 \quad \text{公式(4-4)}$$

其图像如下：

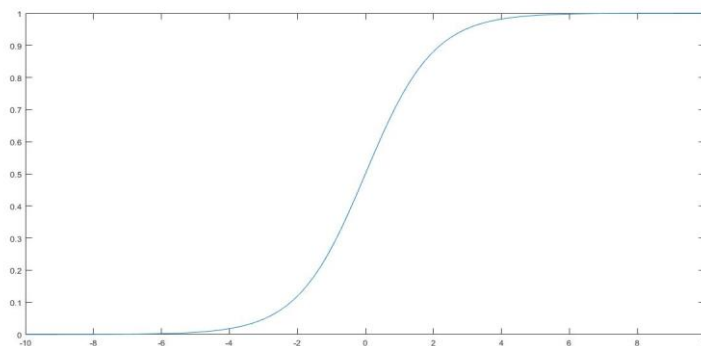


图 4-6 sigmoid 函数示意图

4.2.3 BP 神经网络的反向传播规则

在神经网络中我们需要大量的参数以调整网络，以获取效果较好的输出。仅仅采用手工的输入，不仅输入量较大而且结果十分不准确，故我们需要一个高效快速的办法来求解参数，在 BP 网络中我们使用反向传播算法来解决这一问题。

在 BP 神经网络中我们常采用梯度下降算法来协助进行反向传播，通过在训练过程中不断地选择最优的参数值，使得损失函数达到最小。BP 神经网络的前向传递与反向传播概念具体如下图所示：

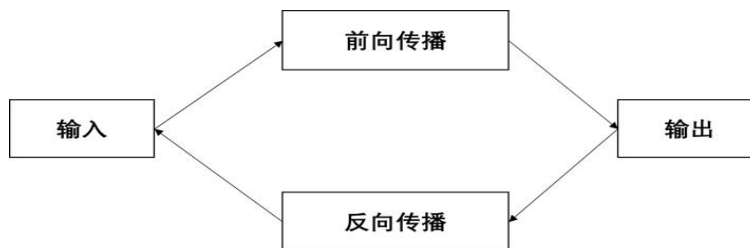


图 4-7 前向传递与反向传播图示

BP 神经网络的目的为将输出值与期望值之间的误差平方和达到最小，对于一个具有多输出的 BP 神经网络而言，我们需要对所有误差项进行求和，为此我们假设构建一个代价函数以描述这种关系：

$$J(W, b; x, y) = \frac{1}{2} \|h_{w,b}(x) - y\|^2 \quad \text{公式(4-5)}$$

其中 W 为权重向量， b 为偏置， y 为期望输出， $h_{w,b}(x)$ 为实际输出。BP 网络的目标为更新 W 与 b 的值达到最小化代价函数的目的， W 与 b 的更新算法我们采用梯度下降算法，具体规则如下：

- 1，**输入：**为 BP 神经网络添加相应的输入值；
- 2，**前向传播：**对 $l = 2, 3, \dots, L$ 各层计算相应的输出：

$$z^l = w^l a^{l-1} + b^l a^l = \sigma(z^l) \quad \text{公式(4-6)}$$

- 3，**计算输出层误差 δ^L ：**

$$\delta^L = \nabla_a C \odot \sigma'(z^L) \quad \text{公式(4-7)}$$

- 4，**反向误差传播：**对 $l = L - 1, L - 2, \dots, 2$ 各层，计算其误差有：

$$\delta^{x,l} = ((w^{l+1})^T \delta^{x,l+1}) \odot \sigma'(z^{x,l}) \quad \text{公式(4-8)}$$

- 5，**使用梯度下降算法来更新参数：**对于 $l = L - 1, L - 2, \dots, 2$ 各层，根据一下规则更新权重与偏置：

$$w^l \rightarrow w^l - \frac{\eta}{m} \sum_x \delta^{x,l} (a^{x,l-1})^T b^l \rightarrow b^l - \frac{\eta}{m} \sum_x \delta^{x,l} \quad \text{公式(4-9)}$$

在实际操作中，我们可以使用多次的前向传递与误差反向传播来使得代价函数值达到最小，使得网络整体符合我们的要求。具体的网络训练示意图如下所示：

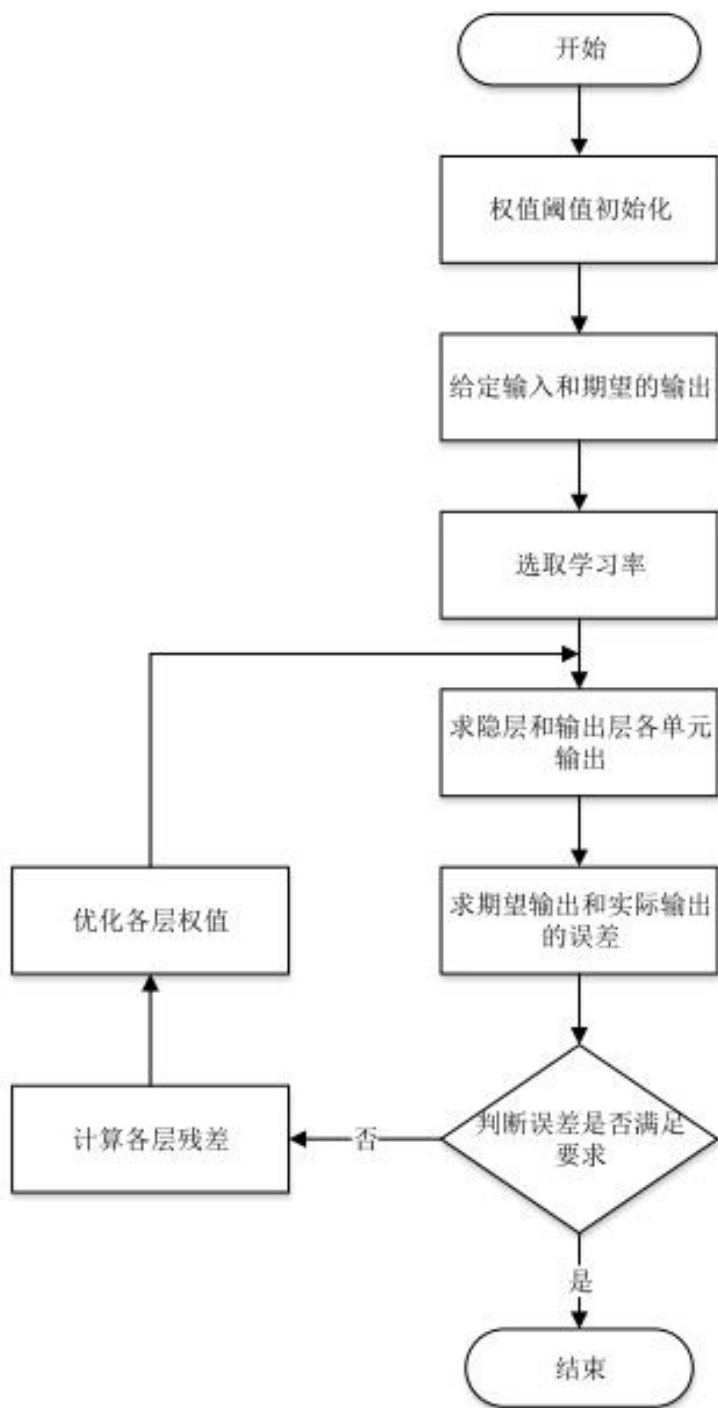


图 4-8 网络训练示意图

4.3 基于 BP 神经网络的家庭基站吞吐量预测

本文利用 BP 神经网络模型根据家庭基站的历史流量，对家庭基站流量进行动态的预测，之后根据 4.4 节制定的策略决定家庭基站是否进入休眠模式，从而达到节能的目的。文章首先对数据进行预处理，再搭建 BP 神经网络模型，之后利用家庭基站历史流量对其进行训练，在达到预设误差后结束训练，最后基于此模型进行预测。

4.3.1 流量数据预处理

流量数据预处理即数据归一化，其目的是将数据通过一定的变换以缩小范围。我们通过将有量纲的数值转换为无量纲数值，在处理数据方便的同时也加快了收敛的速度。

在本论文中，由于信号为连续线性函数，我们采用线性函数归一化方法，其在 Matlab 中所用的函数为 `mapminmax`。

4.3.2 BP 神经网络的构建

BP 神经网络的构建是指对网络层数以及隐含层的确定，以及各个神经层的各节点的确定，下面论文结合家庭基站流量对具体的数量进行确定。

(1) 网络层数的选择

由于通信流量的复杂度并不高，本文中选择使用单隐含层，即为三层 BP 神经网络结构。

(2) 输入输出节点的选择

论文中我们使用了文献^[9]中的数据，将十二天的流量数据分为四组，每组三天作为输入层的输入数据，其输出为一天的预测流量。故网络的输入神经元数量为 4 个，输出神经元数量为 1 个。

(3) 隐含层节点的选择

神经网络中最为核心的部分即为隐含层，隐含层节点的数量选取对整体网络结构至关重要。如果隐含层节点数量过多，则会加大训练时间，容易过拟合；而隐含层节点数量过少，则可能导致训练精度不高。

其隐藏层节点可以参考文献[20]来确定：

$$N = [\sqrt{2n + m}, 2n + m] \quad \text{公式(4-10)}$$

其中 n 为输入层神经元数量， m 为输出层数量，计算出本文的隐藏层节点范围为[3,9]，在此我们选择 5 为其具体数目。

综上所述，论文的网络结构图示如下：

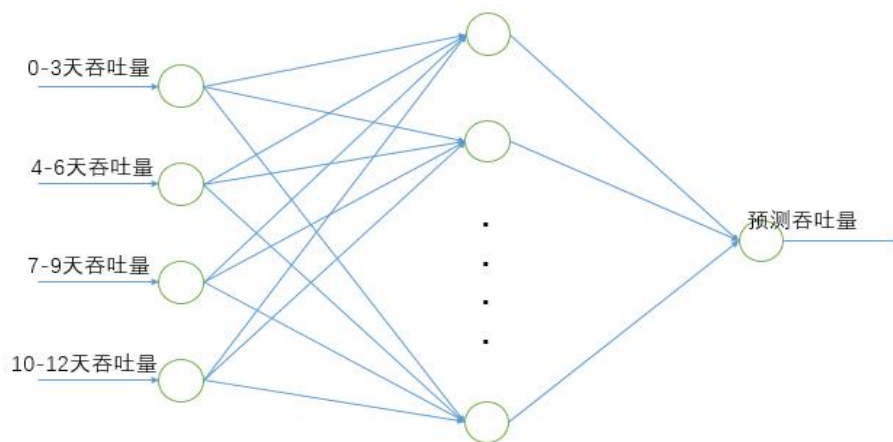


图 4-9 论文网络结构示意图

4.3.3 BP 神经网络的训练过程

本节在上节 BP 神经网络的网络结构之上，分析网络训练过程中的具体参数。

(1) 训练参数的选择

BP 神经网络训练过程中涉及诸多的参数，比如最大训练参数、最小均方误差、学习率等，这些参数对于网络的训练过程至关重要，关系到训练精度与时间问题。

1) 迭代次数

迭代次数是指网络最大的训练次数，此数值必须使得网络收敛，达到预期的误差精度。

2)学习目标

学习目标即为我们希望网络训练收敛到的误差精度。

在此我们将迭代次数设置为 1000，学习目标为 0.05。

(2)训练模式的选择 Matlab 神经网络工具箱中的训练函数均为批变模式，批变模式中全部的输入加入网络后会更新权重，此种模式可以加快训练速度。

(3)神经网络中函数的选择

在本文的 BP 神经网络中，隐含层的传递函数为 tansig，输出层的传递函数为 purelin，训练函数为采用梯度下降算法的 traingd。

其中 tansig 函数为：

$$\text{tansig}(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1 \quad \text{公式(4-11)}$$

其图像为：

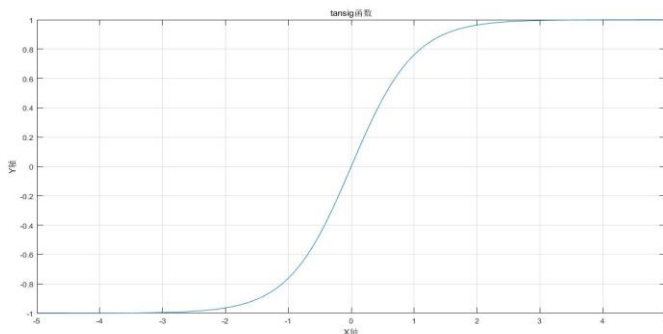


图 4-10 tansig 函数示意图

其具体的训练过程数据如图所示：

1)梯度下降示意图

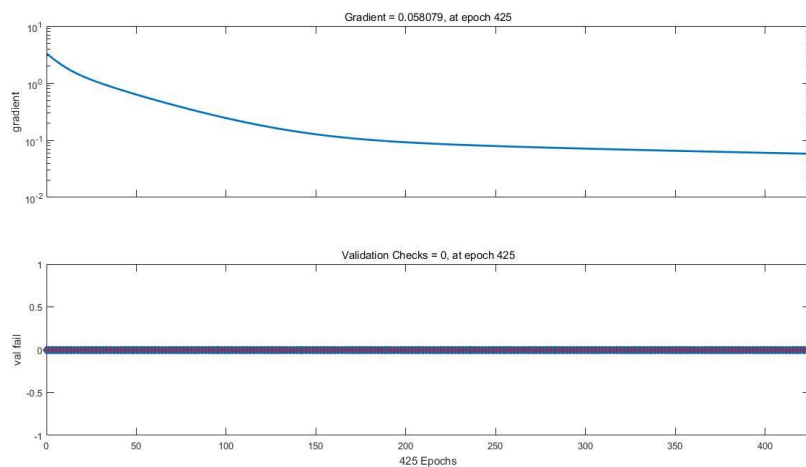


图 4-11 梯度下降示意图

2) 误差函数的下降

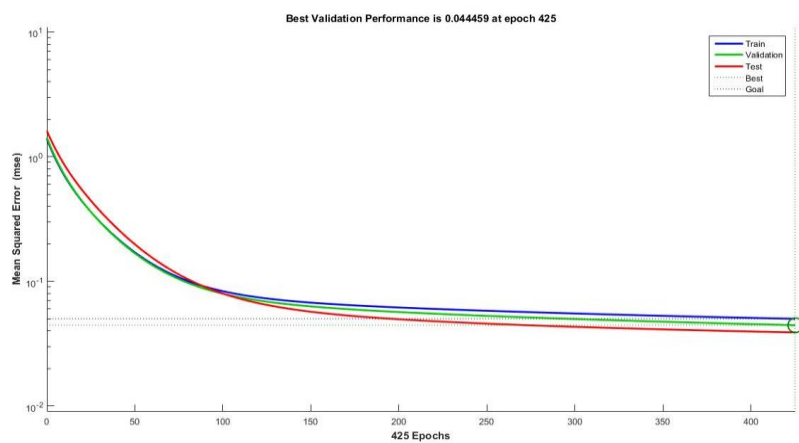


图 4-12 训练误差示意图

4.3.4 BP 神经网络的预测结果

所训练模型的预测结果与实际发生的数据对比如下图所示：

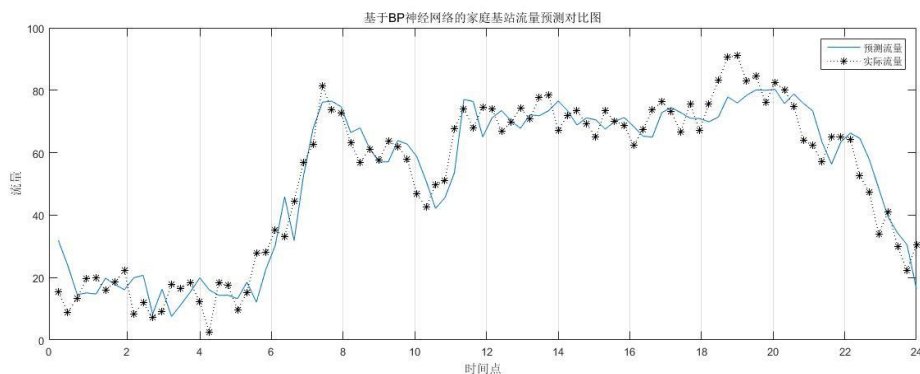


图 4-13 数据对比示意图

其绝对误差图示如下：

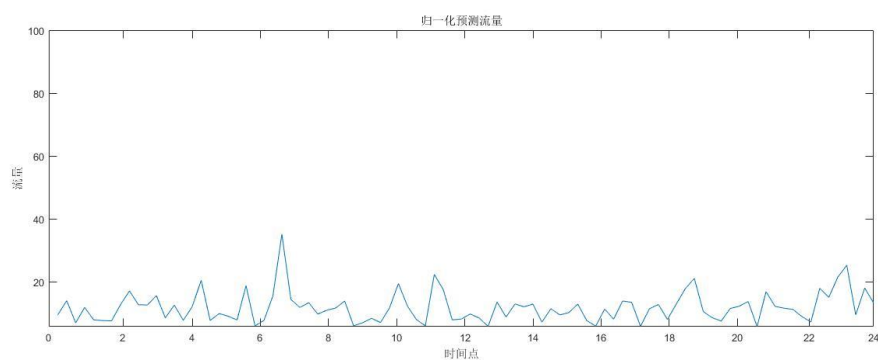


图 4-14 误差绝对值示意图

可以通过上图看出，本论文的方法对家庭基站的流量变化做出了较为成功的预测，在误差允许的范围内，基于 BP 神经网络的方法可以在实际的预测中取得显著的结果。

综上所述，基于 BP 神经网络进行家庭基站流量预测的整体流程如下：

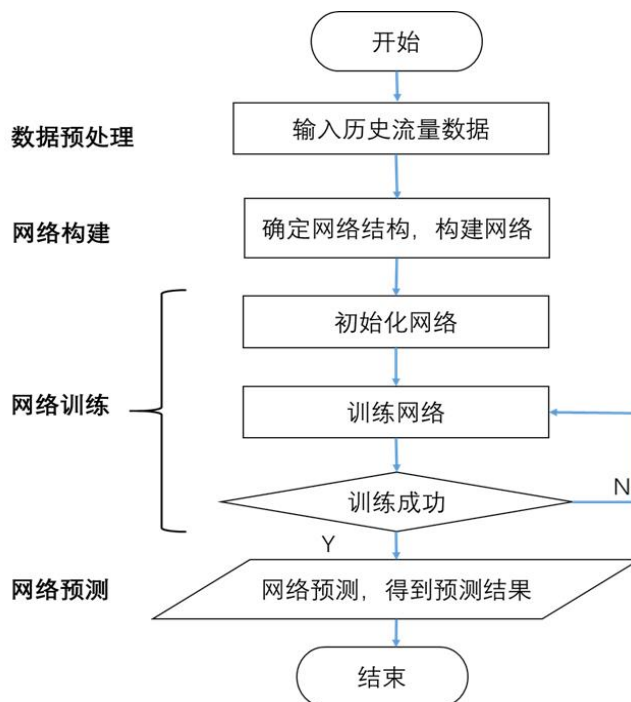


图 4-15 流量预测整体流程示意图

4.4 基于流量预测的家庭基站节能策略

在 4.3 节对家庭基站流量做出了成功的预测之后，我们以此为基础来制定相应的策略，并且进行仿真以进行验证。

4.4.1 家庭基站节能策略

由图(4-3)可以清楚的看到通信网络中的潮汐效应，在此天(0 – 6) h时间段，流量使用量较少，这也与人们日常的经验相符合。不过由于人们生产活动的不确定性，这个时间段每天都可能进行相应的调整，在上节之中我们使用 BP 神经网络成功的预测出了其变化情况，解决了这一问题。不过仍然存在突发情况，需要我们在预测中应关闭的时间段开启家庭基站。在此，我们制定以下策略，来完备我们的节能策略。

(1) 家庭基站休眠规则

首先，我们借助 4.3 节所预测的家庭基站在 T 时刻的吞吐量 TH_f^T ，为了归一化我们的睡眠阈值，我们定义一个家庭基站吞吐率 TH_f ，其等于预测吞吐量与最大容量 C_f 的比值：

$$TH_f = \frac{TH_f^T}{C_f} \quad \text{公式(4-12)}$$

论文定义了 Femtocell 休眠的阈值 α ，其作用为判定 Femtocell 是否将其置为休眠模式。其策略被定义为：

$$\begin{cases} TH_f \leq \beta & \text{Slepp Mode} \\ TH_f > \beta & \text{Active Mode} \end{cases} \quad \text{公式(4-13)}$$

结合文献^[9]中的数据流量，在本文中将 β 设置为 0.3，即该策略具体为：

$$\begin{cases} TH_f \leq 0.3 & \text{Slepp Mode} \\ TH_f > 0.3 & \text{Active Mode} \end{cases} \quad \text{公式(4-14)}$$

在利用 BP 神经网络预测出具体的吞吐量后，将数据归一化并且使用吞吐率表示出，与休眠阈值 $\beta = 0.3$ 进行比较，如是低于此数值，按照本节(3)中的具体策略进行休眠。

(2) 家庭基站唤醒规则

根据我们的基站状态切换规则，当 Femtocell 的预测吞吐量 TH_f 小于 β 时，即将其休眠，将家庭基站用户转交给宏基站。但是此种方案存在一个问题，即在用户由于特殊情况在休眠时间段进行通信时，由于宏基站可能会噪声较大，使得用户的通信体验较差。在这里文章在预测基础上提出了一种节能策略，使方案完备。

在此方法中，我们根据文献^[9]中的家庭基站与宏基站协作的方式，进行此方案的优化。我们使用家庭基站中的嗅探模块，对宏基站对连入用户的下行无线链路通信质量进行监测，以 SINR (信号与干扰加噪声比) 为标准，进行信号质量好坏的判定。

根据文献[21]中的 LTE 质量评估模块中 SINR 的计算公式有：

$$SINR[k] = \frac{1}{N_R N_0 \sum_{i=1}^{N_T} (H^H[k]^* H[k])_{j,j}}, k = 1, \dots, N_{sc} \quad \text{公式(4-15)}$$

在文献[22]中，我们得知通信系统中信号质量判定中，SINR 为：

	RSSI	SINR(dB)	RSRQ(dB)	RSRP(dBm)	EC/Io(dB)
品质-技术	LTE and 3G	LTE only	LTE only	LTE only	HSPA
极好	>-65	>12.5	>-5	>-84	>-2
良好	-65~-75	10~12.5	-6~-10	-85~-102	-2~-5
一般	-75~-85	7~10	-6~-10	-103~-111	-5~-10
较差	<-85	<7	<-11	<-112	<-10

图 4-16 信号质量判定示意图

即在 SINR 小于 7db 时，信号质量较差。

文章将基站唤醒规则指定为：在家庭基站休眠过程中，利用嗅探模块实时监测宏基站与用户通信的下行链路，并且计算其 SINR，当其小于 7db，即用户的通信质量较差的时候，开启家庭基站，将用户从宏基站转接到家庭基站。

(3) 家庭基站节能策略完整流程

结合(1)(2)中家庭基站的休眠与唤醒规则，我们可以将整体的流程使用流程框图归纳如下：

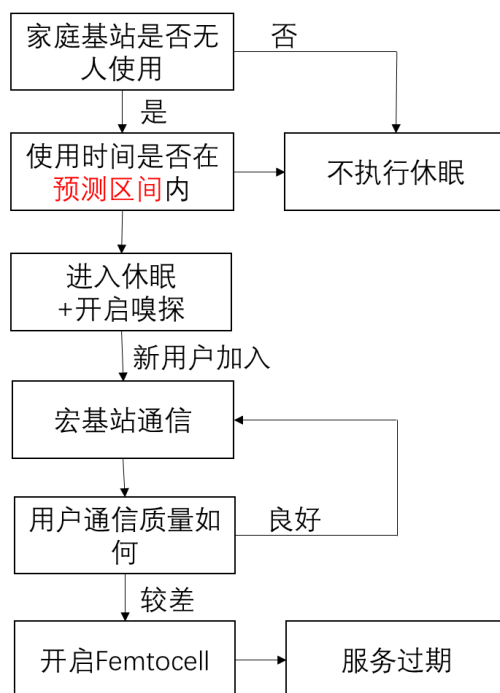


图 4-17 节能策略示意图

(4) 家庭基站节能方案验证

在休眠模式中我们对家庭基站并未完全关闭，而是对发射信号的相关模块进行了关闭，其他模块处在通电状态以便在唤醒中快速的执行通信任务。

我们将 P_{saved} 定义为通过使基站进入休眠模式后节约的功耗， η 定义为节能的百分比：

$$\eta = \frac{P_{saved}}{P_{act}} \quad \text{公式(4-16)}$$

而在休眠过程中，我们对射频功率放大器(RF Power Amplifier)、射频发射器(RF Transmitter)、射频接收器(RF Receiver)以及一些非必要硬件(比如数据加密、硬件认证部分)进行关闭，同时对嗅探器(radio sniffer)进行开启。则 P_{saved} 计算如下：

$$\begin{aligned} P_{saved} &= P_{PA} + P_{TX} + P_{RX} + P_{misc} - P_{sniff} \\ &= 2.0 + 1.0 + 0.5 + 1.0 - 0.3 = 4.2W \end{aligned} \quad \text{公式(4-17)}$$

故我们有：

$$\eta = \left(\frac{4.2}{10.2} \right) \cdot 100 = 41.2\%$$

4.4.2 节能策略结果仿真

论文最终部分对家庭基站节能策略进行验证仿真，其中家庭基站模型如下：

表 4-1 家庭基站模型参数与对应数值

参数	数值
LTE 系统带宽	20MHZ
宏基站载波频率	2GHZ
家庭基站最大功率	10.2W
家庭基站信号范围	20M
家庭基站用户数	10
宏基站内家庭基站数量	1

论文模型假设为一小区模型($20 \times 20m^2$)，其中用户位置为随机确定，利用 Matlab 建模后图示如下：

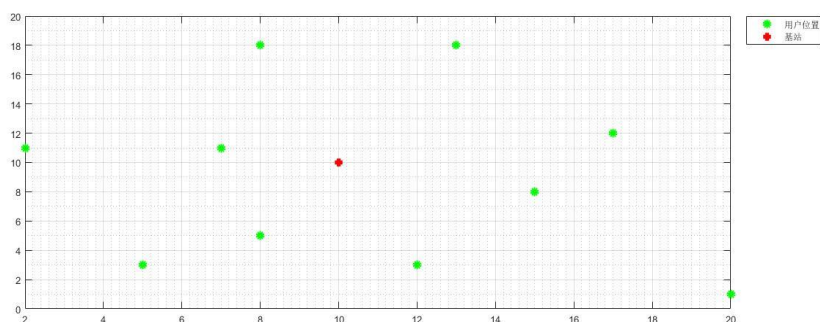


图 4-18 仿真环境示意图

而用户接入此网络的概率为泊松分布，其由于位置随机分布，故接收到信号较差的概率亦相同。假设此概率为一区间常数 ξ ，假设 $\xi \in [0,0.2]$ ；且设置 10 人在预测休眠时间连入异构网络的人数期望为 λ ，且设置 $\lambda = 3$ 。综上所述，即仿真环境中在预测休眠时间段区间内接入网络的人数期望为3，而且其信号较差的概率区间为 $[0,0.2]$ 。下面给出基于此环境的节能图示：

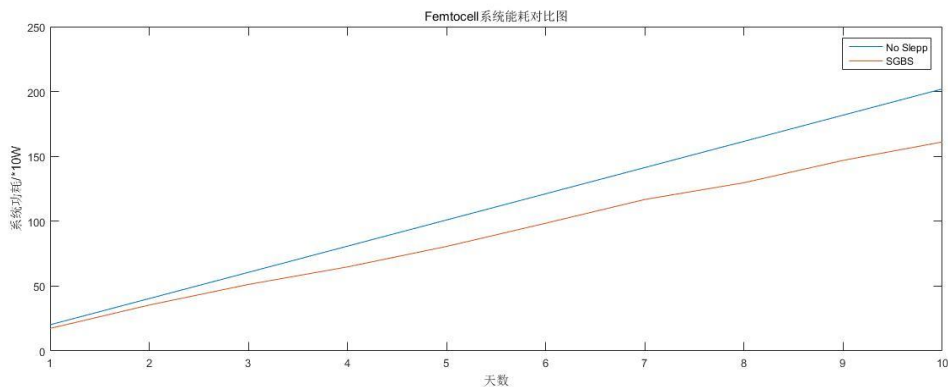


图 4-19 节能示意图

上图为家庭基站在 10 天内的功耗示意图，分别为不适用节能策略、使用了本文基于业务预测的绿色家庭基站休眠策略的基站功耗。由图中可知，节能效果较为显著，经过多次模拟测试，结果显示实现了 25% 左右的资源节约。

总结

本章首先对家庭基站的节能管理做了介绍，并在其中详细的说明了家庭基站物理硬件的各部分功耗；之后对 BP 神经网络做了详细的介绍，并重点对其前向传递、反向传播的规则进行了研究。

在本章的后半部分，也是全文的重点实验部分，我们首先设计了用于家庭基站流量预测的 BP 神经网络，之后基于此模型提出了相应的节能策略，实现了家庭基站的节能管理。

第五章 总结与展望

本论文中，第二章进行了 LTE 系统的介绍，并对其关键技术做了仿真；第三章进行了家庭基站的原理的介绍，且对与其无线资源管理技术做了研究与仿真；第四章首先利用 BP 神经网络对家庭基站的系统吞吐量做预测，得到了未来时间段的预测值，并提出了相应的节能策略，通过系统的仿真，确定该方法显著的降低了系统的能耗，在保证用户的通信质量的前提下，有效的实现了家庭基站的节能环保。

本论文的方法使用了近年成为研究热点的神经网络，通过预测的方法，来达到动态管理家庭基站使用的目的。但仍然有一些不足之处，需要日后改进：

1) 在节能实验仿真的过程之中，简化了 LTE 异构系统之间的干扰，在现实中场景更为复杂，故应该对于干扰噪音进行相应的建模；

2) 在最终的仿真中，用户的使用较差情况使用了随机函数进行模拟，但在真实的应用中常使用泊松分布进行模拟，会使数据更贴近真实。

参考文献

- [1] TD-LTE 产业发展白皮书(2012) (<http://www.tdia.cn/wp-content/uploads/2016/10/baipishu.pdf>)
- [2] 中国移动经济发展（2019）
(<https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=f3b217bd4616654f710854b0735b0c00&download>)
- [3] 肖竹，两层异构网络中 femtocell 研究进展与展望[J]. *通信学报*. 2014.40(4).
- [4] 从 4G+到 5G：小基站，大未来
- [5] LTE 绿色节能解决方案
- [6] 易楞淦，认知无线电促进毫微微蜂窝部署的研究[D]. 武汉：华中科技大学，2015.5
- [7] 张志才，Femtocell 网络绿色节能节能技术研究[D]. 北京：北京邮电大学，2014.5
- [8] 沈海强，密集网络下记于能效优化的基站睡眠控制策略研究[D].重庆：重庆邮电大学，2017.4
- [9] 代红英，Femtocell 中基于负载预测的基站休眠节能方案[J]. *计算机应用研究*，2018.Pages 1-7
- [10] Imran Ashraf ,Improving Energy Efficiency of Femtocell Base Stations via User Activity Detection[J]. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*.2010. Pages 1-5
- [11] Björn DEBAILLIE, Alexandre GIRY, Manuel J. GONZALEZ,etc.Opportunities for Energy Savings in Pico/Femto-cell Base-Stations[C]. *Future Network & Mobile Summit 2011 Conference Proceedings* Paul,2011.
- [12] A fully distributed algorithm for pilot power control in LTE femtocell networks[J]. *Wireless Netw.* 2015.pages 1211–1226
- [13] Lte 基本原理和关键技术介绍
- [14] Multiple Access Technique in Advanced Mobile Network (5G)
- [15] 徐献灵，MIMO 系统信道容量与传输性能仿真研究[J].*广东轻工职业技术学院学报*.2012 .pages 1-3
- [16] 章宦乐，Femtocell 网络的异构性的研究[D].成都：电子科技大学，2014.5
- [17] 毛源斌，Femtocell 网络无线资源管理技术研究[J]. *移动通信*.2016.pages 1-2
- [18] Yi Wu ,A Novel Spectrum Arrangement Scheme for Femto Cell Deployment in LTE Macro Cells[C], *Indoor and Mobile Radio Communications*.2009.
- [19] Rumelhart ,Learning representations by back-propagating errors[J]. *Nature*. 1986, pages 533–536

- [20] 史峰、王小川、郁磊，MATLAB 神经网络 30 个案例分析[M].北京航空航天大学出版社，2010-4
- [21] 卢旭光，LTE-A 系统中无线链路监测算法研究与实现[D].北京：北京邮电大学.2013.5
- [22] Understanding LTE Signal Strength Values(<https://usatcorp.com/faqs/understanding-lte-signal-strength-values/>)

致 谢

大学四年，时光匆匆而过，在即将毕业分别的六月，我怀着对大学生活的不舍挥手告别大学生涯。在论文完稿之际，也标志着我大学四年的学习生活接近尾声。

在此首先衷心感谢张连斌老师、李军老师及学院各级老师对我的悉心指导与帮助，还要感谢答辩老师对我的批评与指正；

还要感谢我大学中班级中的同学，还有电气女篮球队中所有可爱的队友们，是你们的宽容与鼓励，让我在大学的四年时光中得到成长；

最后要感谢我的父母、姐姐和男朋友，是你们默默的支持，让我可以安心的学习，你们辛苦了。

毕业在即，人生还有其他各种各样的学问，在今后的工作与生活中我将铭记师长的教诲，继续不懈努力与追求。