

5G 大规模机器类通信中的传输技术

Transmission Technologies in Massive Machine Type Communication for 5G

官诗寻/GONG Shixun
陶小峰/TAO Xiaofeng

(北京邮电大学, 北京 100876)
(Beijing University of Posts and
Telecommunications, Beijing 100876, China)

在 4G 商用之后, 5G 技术随即成为最热门的研究内容。3G 和 4G 技术主要集中在移动宽带业务, 旨在解决人与人之间的连接, 而 5G 则着眼于实现“万物互联”^[1]。可见 5G 的业务形态已经发生很大变化, 将是多业务多技术融合的网络。欧盟早在 2013 年初就在第 7 框架计划启动了“构建 2020 年信息社会的无线通信关键技术”(METIS)项目, 之后又启动了 5G-PPP 项目, 中国和韩国分别成立了 IMT-2020 推进组和 5G 论坛^[2-4]。目前 5G 的愿景与需求已经完成, 基本特征已经明确, 在不远的将来, 物联网 (IoT)、车联网、虚拟现实、增强现实、高清视频等都将会涵盖大量不同类型的行业用户, 这将会是 5G 所必须要面对的挑战^[5-6]。由国际电信联盟 (ITU) 定义的 5G 三大场景^[7]分别为增强移动宽带 (eMBB)、大规模机器类通信 (mMTC), 以及低时延高可靠通信 (URLLC), 其中的 eMBB 场景可以看作是 4G 移动宽带技术的演进^[8]。

机器类通信 (MTC) 一直是 IoT 业务的潜在挑战, 为 IoT 的场景之一^[9],

收稿时间: 2017-04-01
网络出版时间: 2017-05-05

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 03-0020-04

摘要: 机器类通信 (MTC) 是物联网 (IoT) 的潜在挑战, 作为 MTC 分支的大规模机器类通信 (mMTC) 涉及 IoT 的大规模部署问题, 是 5G 的重要应用场景之一。针对 mMTC 场景中的传输技术, 重点介绍了 mMTC 场景中的数据收集技术及其在无线传感器网络 (WSNs) 中的应用。此外, 还指出了 mMTC 技术所面临的一些挑战。

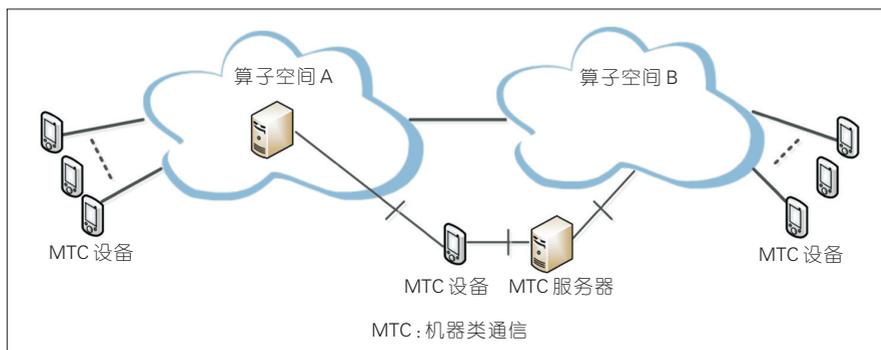
关键词: mMTC; 数据采集; WSNs; IoT

Abstract: Machine type communication (MTC) is a potential challenge in internet of things (IoT). As the branch of MTC, massive machine type communication (mMTC) involves large-scale deployment of IoT which has been an important application of 5G. In this paper, we focus on the transmission technologies of 5G massive machine type communication, and mainly introduce the technologies of data acquisition in mMTC and its applications in wireless sensor networks (WSNs). Moreover, some challenges of mMTC technology are pointed out.

Keywords: mMTC; data acquisition; WSNs; IoT

对带宽和通信的实时性、可靠性要求较高^[10]。在第 3 代合作伙伴计划 (3GPP) 对 MTC 的定义中, MTC 是一种数据通信形式, 它涉及到一个或多个不需要人机交互的实体, 与传统的移动网络通信相比, MTC 拥有更低的开销, 并且还能够满足海量链接。MTC 涉及到了两种主要通信场景: 一种是 MTC 设备与一个或多个 MTC 服

务器进行通信; 另一种是 MTC 设备与设备之间进行通信^[11]。如图 1 所示为 3GPP 所定义的 MTC 场景架构^[11], 其中, 网络算子提供到 MTC 服务器的网络连接, 这适用于受网络算子控制的 MTC 服务器, 也适用于不受网络算子控制的 MTC 服务器, 这就是说, 在 MTC 设备与服务器之间的通信分为服务器在算子空间内与在算子空间



▲ 图 1 MTC 场景架构

外两种。

另外,爱立信将 MTC 按 5G 需求分为 mMTC 和关键 MTC (cMTC),其中 mMTC 用于满足海量数据连接,cMTC 主要用于实现低时延、高可靠的 MTC 业务。mMTC 作为 5G 三大场景之一,拥有可扩展和灵活的带宽,属于低速率传输,主要面向以传感器和数据采集为目标的应用场景。表 1 所示为 mMTC 主要的应用场景及特点。在 mMTC 场景中往往需要采集和处理海量数据,压缩感知 (CS) 理论^[12]是一种能够成功恢复稀疏信号的采样方法,又因为 mMTC 用户具有稀疏特性,因此将 CS 应用于 mMTC 场景中能够有效地提升传输性能^[13]。同样 CS 技术也应用于车联网 (V2V) 的数据采集,而 V2V 即是 5G 中 URLLC 场景的典型应用。

1 mMTC 主要传输技术

大规模部署的 IoT 以少量数据和低速率为主,无线传输技术能够将遍布 IoT 的传感器全部连接起来,而 IoT 对无线传输技术的需求主要体现在距离范围、数据速率、带宽、安全和成本等方面,其对能耗方面的要求也非常严格。目前 IoT 中的无线传输技术正在向低功耗广域网 (LPWAN) 方向发展,而 LPWAN 在 MTC 通信中的发展十分迅速,其主要特征体现在了覆盖范围广、低功耗和大容量等^[14]方面,这些特征也迎合了 mMTC 对无线传输的需求。5G mMTC 场景为了满足海量连接及数据采集的服务需求,诞生了许多种无线传输技术,如表 2 所示。

在 mMTC 中的备选多址接入技术有 15 种之多,非正交多址接入技术 (NOMA) 和稀疏码多址接入技术 (SCMA) 主要应用在 mMTC 场景中的上行传输,由于 mMTC 用户具有稀疏特性,所以 SCMA 主要应用于 mMTC 场景。同时,基于蜂窝技术的 MTC 将成为 5G 的主流,基于蜂窝的典型 IoT 技术为窄带物联网 (NB-IoT),窄带频

率仅为 180 kHz,北京星河亮点公司已经研发出了 NB-IoT 专用测试仪器。LoRa 是一种基于线性扩频 (CSS) 机制的专有扩频方法,适合远距离传输。NB-IoT 和 LoRa 技术主要适用于智能电表、智能家居等场景,这两种技术都属于 LPWAN。另外,mMTC 对于海量数据采集和处理的需求是很大的,CS 技术是一种能够成功恢复稀疏信号的采样方法,将 CS 应用于 mMTC 场景中能够有效提升传输性能。

2 mMTC 中的传感数据采集及处理

IoT 中的 mMTC 场景需要对海量数据进行采集和处理,而用户信号的

稀疏特性,使得 CS 成为了一种有效的数据采集方案。表 3 为目前业界主要研究的传感数据采集以及处理方案。

2.1 基于 CS 的数据采集

表 4 为笔者团队提出的基于 CS 的数据采集方法。

(1) 正规子空间追踪 (RSP)。

去噪恢复算法是 CS 理论及其应用中的重要技术,考虑到存在于原始稀疏信号 x 和压缩测量值 y 中的噪声,笔者团队提出了 RSP 去噪恢复算法。RSP 算法首先通过数据预处理操作减轻由 x 加性噪声引起的噪声折叠,然后, x 中的非零指数部分由正规测量矩阵选择的列确定,最后,

▼表 1 mMTC 主要应用场景及特点

应用场景	场景特点
智慧城市 ^[11]	大规模城市化场景,有利于解决极度紧张的城市设备资源和基础设施,主要子场景包括智能交通、智能建筑、智能家居等。
智能交通 ^[11]	实时采集车辆、司机、行人、道路传感器和摄像机等海量数据,帮助简化交通流量。例如能够优化交通灯和道路的使用以避免交通堵塞。
智能建筑 ^[11]	5G 连接的传感器/驱动器可以帮助优化建筑温度、湿度和照明,能够检测隐藏管道和电缆,甚至能够处理越权存取、办公用品缺失等情况。
智能家居 ^[11]	家庭安全和自动化应用构成另一个 MTC 服务领域,预计在未来显著增长。例如:关键的家庭安全警报和将家庭监测控制视频数据传输到商业监测站等。
智能电表	一种记录电力、煤气或水的消耗量的电子设备,传输的信息用于监测和计费。智能电表自动发送电表读数到公用事业公司。
环境监测 ^[14]	收集有关生态系统信息的各种数据,并从中获得新的知识和理解,最终实现适应和减缓,解决退化的生物圈。
工业控制	工业自动化控制,能够减少人力操作,主要对工业生产中的各种参数进行控制。

mMTC: 大规模机器类通信 MTC: 机器类通信

▼表 2 mMTC 主要传输技术及特征

传输技术	技术特征
NOMA ^[16]	最早来自于网络信息论,依赖于 SIC 技术,后由日本 NTT DOCOMO 作为移动通信中正式的多址接入技术提出。优点在于支持更多的终端同时接入网络,其技术表面上并不复杂,甚至可以认为是对 OFDM 技术的简单增补。
SCMA ^[17-18]	依赖于 SIC 技术,是一种能够成倍提升频谱效率的非正交多址技术,对其的研究广泛地集中在海量连接和提高系统容量上。
NB-IoT ^[9]	基于蜂窝的 NB-IoT 技术属于 LPWAN 的一种,为万物互联的重要分支,能够实现大规模物联网应用场景,窄带频率支持 180 kHz,设备寿命长。
LoRa ^[15]	属于 LPWAN 的一种,易于建设和部署,为物联网专用网络传输技术,是一种基于 CSS 机制的专有扩频方法,属于远距离传输。
CS ^[12]	一种能够成功恢复稀疏信号的采样方法,又因为 mMTC 用户具有稀疏特性,因此将 CS 应用于 mMTC 场景中能够有效提升传输性能。

CS: 压缩感知
CSS: 线性扩频
LPWAN: 低功耗广域网
mMTC: 大规模机器类通信
NB-IoT: 窄带物联网
NOMA: 非正交多址接入
OFDM: 正交频分复用
SCMA: 稀疏码多址接入
SIC: 串行干扰消除

▼表3 业界提出的数据采集及处理方案

方案名称	方案内容
GFDT ^[20]	GFDT机制的提出是为了减少mMTC数据包的高信令开销,在GFDT机制中,LTE物理随机接入信道中的请求程序被省略,这样便能够有效减少信令开销 ^[13]
OMP ^[21]	CS恢复算法的一种,有递归特性,性能优于DS和BPDN算法 ^[22]
DS ^[23]	CS恢复算法的一种,由于输入噪声的影响性能较差 ^[22]
BPDN ^[24]	CS恢复算法的一种,将基追踪技术用于噪声信号能够在稳定地抑制噪声的同时保持良好的结构
MWC ^[25]	调制宽带转换器,模拟CS中的新技术,但是由于MWC的并行结构,其硬件复杂度较高
BPDN:基追踪去噪算法 CS:压缩感知 DS:Dantzing选择器	
GFDT:免授予数据传输 LTE:长期演进 mMTC:大规模机器类通信	
MWC:调制宽带转换器 OMP:正交匹配追踪算法	

▼表4 基于CS的数据采集及处理方案

方案名称	方案内容
RSP ^[26]	是CS理论中重要技术,能够提升恢复成功率,减少重构误差
SCM-ACS ^[27]	利用Zadoff-Chu序列的循环移位来减少物理并行信道数量。其恢复性能优于MWC,且可降低硬件复杂度
RCOM-ACS ^[28]	利用周期混合函数的循环移位来减少物理并行信道数量,亦可降低硬件复杂度
CS:压缩感知 MWC:调制宽带转换器 RCOM-ACS:基于模拟CS的随机循环正交矩阵	
RSP:正规子空间追踪 SCM-ACS:基于模拟CS的采样循环矩阵	

这些指数通过保留最小均方误差(MMSE)估计信号中的最大值进行更新。研究表明,与正交匹配追踪(OMP)算法相比,RSP算法提高了恢复成功率,同时也有效地减少了重构误差^[26]。

(2)基于模拟CS的采样循环矩阵(SCM-ACS)和随机循环正交矩阵(RCOM-ACS)。

为了降低MWC的硬件复杂度,笔者团队提出了一种基于模拟CS的SCM-ACS机制。利用Zadoff-Chu序列的循环移位,SCM-ACS机制能够将物理并行信道的数量从 m 减少至1,并且需要更长的处理时间,这里 m 的范围从几十到几百。研究表明SCM-ACS机制恢复性能优于MWC^[27]。另外,基于模拟CS的RCOM-ACS也

可以用来降低MWC的硬件复杂度,不过与SCM-ACS不同的是该机制是利用周期混合函数的循环移位来减少物理并行信道的数量^[28]。

2.2 无线传感器网络中的数据采集

表5为笔者团队针对无线传感器网络(WSNs)提出的数据采集及处理方案。

(1)基于数据采集算法的自回归模型(ARDG)。

目前,在mMTC场景中,CS理论已广泛应用于WSNs的研究中,CS理论提供了一种比较有竞争力的新型数据采集(DG)算法用于能效优化。传感器节点具有能量约束,且记忆和处理能力有限,同时CS机制有利于WSNs减少传感器节点的数据通信。

基于以上环境,笔者团队提出一种适用于WSNs的CS机制,即ARDG,ARDG能够有效重构信号及减少数据通信业务。在以往的研究中,这种基于优化问题的自回归(AR)模型主要被用作连续重构和减少数据通信,而在ARDG机制中,AR参数在重构前利用历史传感数据进行估计,同时也利用到了空间相关性,且没有受到传感领域的限制。当AR参数确定后,将基追踪去噪(BPDN)算法拓展到AR模型能够重构传感数据。研究表明,在重构质量和能效等方面,ARDG的性能要明显地优于随机游动机制^[29-30]。

(2)基于分布式存储的压缩网络编码(CNCDS)。

分布式存储是WSNs的重要技术,尤其是在灾难场景中。为了提高分布式存储的能量效率,笔者团队提出了一种CNCDS机制。该机制利用了传感数据的相关性和CS理论以及网络编码技术,同时CNCDS机制能够通过减少收发数量获得更优的能效。理论分析表明,利用CNCDS机制的测量矩阵能够保证优异的CS覆盖性能^[31-32]。

3 结束语

未来在人们的生活中,5G将无处不在,在ITU提出的5G三大场景中,除现有的3G、4G的移动宽带场景进行增强外,mMTC和低时延高可靠(URLLC)场景等将逐步推进5G实现万物互联的目标。然而,由于mMTC技术本身就十分复杂,有些技术还不够成熟,因此仍然面临着一些重大的挑战:

(1)CS作为mMTC的一种可能的数据采集的方法,目前案例较少,且通常的恢复算法为概率恢复,而这是否能够满足5G的需求还有待进一步讨论。

(2)mMTC中有着大量的传输节点,如何能更好地提升传输效率,其中又是否存在延时,这也是值得研究

▼表5 无线传感器网络中的数据采集及处理方案

方案名称	方案内容
ARDG ^[29]	一种基于数据采集算法的自回归模型,能够有效重构信号及减少数据通信业务,在重构质量和能效方面,ARDG性能明显优于随机游动机制 ^[30]
CNCDS ^[31-32]	一种基于分布式存储的压缩网络编码,利用了传感数据的相关性和CS理论以及网络编码技术,同时能够通过减少收发数量获得更优的能效,覆盖性能比较优异

ARDG:基于数据采集算法的自回归模型 CNCDS:基于分布式存储的压缩网络编码 CS:压缩感知

的地方。

(3)此外,mMTC设备未来在安全性方面所面临的挑战也将会更加严峻。

参考文献

- [1] 4G Americas. Recommendations on 5G Requirements and Solutions [EB/OL]. (2015-8-11)[2017-4-5].<http://www.5gamericas.org/en/>
- [2] METIS. Mobile and Wireless communications Enablers for the 2020 Information Society[EB/OL]. (2015-04-30)[2017-4-5].<https://www.metis2020.com>.
- [3] 5GPPP.5G PPP 5G Architecture (white papers) [EB/OL].(2016-7)[2017-4-5].<https://5g-ppp.eu/white-papers/>
- [4] 5G Forum. 5G Spectrum Considerations [EB/OL]. (2016-3) [2017-4-5].<http://www.5gforum.co.kr/>
- [5] IMT-2020(5G) Promotion Group. White Paper on 5G Vision and Requirements_V1.0 [EB/OL] (2014-5) [2017-4-5].http://euchina-ict.eu/wp-content/uploads/2015/03/IMT-20205GPG-WHITE-PAPER-ON-5G-VISION-AND-REQUIREMENTS_V1.0.pdf
- [6] NGMN. 5G White Paper [EB/OL]. (2015-3) [2017-4-5].<http://www.ngmn.org/5g-white-paper.html>
- [7] 4GAmericas. 5G Spectrum Recommendations [EB/OL]. (2015-8-11) [2017-4-5].<http://www.5gamericas.org/en/>
- [8] 5G Americas. Mobile Broadband Transformation LTE to 5G [EB/OL]. (2016-8) [2017-4-5].<http://www.5gamericas.org/en/>
- [9] 5G Americas. LTE and 5G Technologies Enabling the Internet of Things [EB/OL]. (2016-10) [2017-4-5].<http://www.5gamericas.org/en/>
- [10] AISSA M, BELGHITH A. Overview of Machine-Type Communications Traffic Patterns[C]//Web Applications and Networking (WSWAN), USA:IEEE, 2015:1-7. DOI: 10.1109/WSWAN.2015.7210318
- [11] 3GPP. TS 22.368.Service Requirements for Machine-Type Communications(MTC)[EB/OL]. (2017-3) [2017-4-5].<http://www.3gpp.org/>
- [12] DONOHO D L. Compressed Sensing [J]. IEEE Transactions on InformationTheory, 2006, 52(4): 1289-1306. DOI: 10.1109/TIT.2006.871582
- [13] YANG X J, WANG X, Zhang J. Compressed Sensing Based ACK Feedback for Grant-Free Uplink Data Transmission in 5G mMTC [C]// Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), USA:IEEE, 2016: 1-5. DOI: 10.1109/PIMRC.2016.7794674
- [14] KUMAR A, KIM H, HANCKE G P. Environmental Monitoring Systems: a Review [J]. IEEE Sensors Journal, 2013, 13(4): 1329-1339. DOI: 10.1109/JSEN.2012.2233469
- [15] LI L L, REN J C, ZHU Q. On the Application of LoRa LPWAN Technology in Sailing Monitoring System[C]//Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), USA:IEEE, 2017: 77-80. DOI: 10.1109/WONS.2017.7888762
- [16] OTOA N, KISHIYAMA Y, HIGUCHI K. Performance of Non-Orthogonal Access with SIC in Cellular Downlink Using Proportional Fair-Based Resource Allocation [C]//Proc. of ISWCS, USA:IEEE, 2012:476-480. DOI: 10.1109/ISWCS.2012.6328413
- [17] DAI L L, WANG B C, YUAN Y F, et al. Non-Orthogonal Multiple Access for 5G: Solutions, Challenges, Opportunities, and Future Research Trends[J]. IEEE Commun. Mag, 2015,53(9):74-81. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7263349
- [18] NIKOPOUR H, BALIGH H. Sparse Code Multiple Access[C]// in Proc. IEEE PIMRC, USA:IEEE, 2013:332-336. DOI: 10.1109/PIMRC.2013.6666156
- [19] 3GPP(Huawei). 3GPP Standards for the Internet-of-Things[EB/OL]. (2016)[2017-4-5].http://www.3gpp.org/images/presentations/3GPP_Standards_for_loT.pdf
- [20] WANG B C, DAI L L, YUAN Y F, et al. Compressive Sensing Based Multi-User Detection for Uplink Grant-Free Non-Orthogonal Multiple Access[C]//2015 IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC2015-Fall), USA:IEEE, 2015: 1-5. DOI: 10.1109/VTCFall.2015.7390876
- [21] PATI Y C, REZAIIFAR R, KRISHNAPRASAD P S, et al. Orthogonal Matching Pursuit: Recursive Function Approximation with Applications to Wavelet Decomposition[C]// Proceedings of 27th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, USA: IEEE, 1993: 40-44. DOI: 10.1109/ACSSC.1993.342465
- [22] LI X L, CUI Q M, TAO X F, et al. Performance Bounds of Compressed Sensing Recovery Algorithms for Sparse Noisy Signals[C]//Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), USA: IEEE, 2013:2884-2889. DOI: 10.1109/WCNC.2013.6555019
- [23] CANDES E, TAO T. The Dantzig Selector: Statistical Estimation When p is Much Larger than n[J]. Annals of Statistics, 2007, 35(6):2313-2351.
- [24] CHEN S S, DONOHO D L, SAUNDERS M A. Atomic Decomposition by Basis Pursuit [J]. SIAM Journal on Scientific Computing, 1998, 20(1): 33-61. DOI: 10.1137/S1064827596304010
- [25] MISHALI M, ELDAR Y C. From Theory to Practice: Sub-Nyquist Sampling of Sparse Wideband Analog Signals [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2010, 4(2): 375-391. DOI: 10.1109/JSTSP.2010.2042414
- [26] YANG X J, CUI Q M, DUTKIEWICZ E, et al. Anti-Noise-Folding Regularized Subspace Pursuit Recovery Algorithm for Noisy Sparse Signals[C]//Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), USA:IEEE, 2014:275-280. DOI: 10.1109/WCNC.2014.6951980
- [27] YANG X J, TAO X F, GUO Y J, et al. Subsampled Circulant Matrix Based Analogue Compressed Sensing [J]. Electronics Letters, 2012, 48(13):767-768. DOI: 10.1049/el.2012.0366
- [28] YANG X J, GUO Y J, CUI Q M, et al. Random Circulant Orthogonal Matrix Based Analog Compressed Sensing[C]// Global Communications Conference (GLOBECOM), USA:IEEE, 2012: 3605-3609. DOI: 10.1109/GLOCOM.2012.6503675
- [29] LI X L, TAO X F, LIU Y J, et al. Autoregressive Model Based Data Gathering Algorithm for Wireless Sensor Networks with Compressive Sensing[C]// Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), USA:IEEE, 2015: 2044-2048. DOI: 10.1109/PIMRC.2015.7343634
- [30] LI X L, TAO X F, LI N. Energy-Efficient Cooperative MIMO-Based Random Walk Routing for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Communications Letters, 2016,20(11): 2280-2283. DOI: 10.1109/LCOMM.2016.2599183
- [31] YANG X J, DUTKIEWICZ E, CUI Q M, et al. Compressed Network Coding for Distributed Storage in Wireless Sensor Networks[C]// Communications and Information Technologies (ISCIT), USA:IEEE, 2012:816-821. DOI: 10.1109/ISCIT.2012.6381014
- [32] YANG X J, TAO X F, DUTKIEWICZ E, et al. Energy-Efficient Distributed Data Storage for Wireless Sensor Networks Based on Compressed Sensing and Network Coding [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(10):5087-5099. DOI: 10.1109/TWC.2013.090313.121804

作者简介



宫诗寻,北京邮电大学信息与通信工程专业博士研究生;主要研究方向为物理层安全。



陶小峰,北京邮电大学移动互联网安全技术国家工程实验室主任、无线新技术研究所副所长、博士生导师,英国工程技术学会会士,IEEE通信学会北京分会主席,中国科协联合信息咨询专业委员会委员;主要研究方向为5G移动通信理论与技术;曾主持国家杰出青年科学基金、国家“863”计划重大项目、北京市自然科学基金等项目,被评为北京市科技新星、科技北京百名领军人才、万人计划科技创新领军人才,曾2次获得国家技术发明奖;已发表论文160余篇,获授权专利80余项,出版学术专著2部。