|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **分类号** |  | **密级** |  | |
|  |  |  |  |  | |
|  | | | | | |
| **重庆邮电大学研究生学位论文**  **开题报告** | | | | | |
|  | | | | | |
|  | **中文题目** | **基于深度神经网络的HEVC帧内快速** | | |  |
|  | **模式决策算法研究** | | |
| **英文题目** | **Intra-frame fast mode decision algorithm** | | |
|  | **for HEVC based on deep neural network** | | |
| **学 号** | **S210231282** | | |
| **姓 名** | **周广义** | | |
| **学位层次** | **硕士研究生** | | |
| **学位类别** | **工程硕士** | | |
| **学科专业** | **计算机科学技术** | | |
| **研究方向** | **视频压缩** | | |
| **指导教师** | **唐述 副教授** | | |
| **完成日期** | **2022年 12月 20日** | | |
|  | | | |

|  |
| --- |
| **一、选题依据** |
| * 1. **研究背景、目的和意义**   随着大数据时代的到来和无时不在的移动互联网通信技术的发展，以及互联网、物联网的全面覆盖，一个以大数据、大流通为特征的信息时代已经开启。人们对于具有生动、全面、信息量大为特征的视频信息的需求日益增大，使得大数据中的海量视频信息的占比达到一个新高度。同时人们对视频的质量的要求也越来越高。因此，保证海里视频高效、快速的在互联网里传播是必要的，在现有的通信技术能力下，对视频进行压缩后进行传输，在接收端对压缩的数据恢复成原始视频，是一种高效的方法。这将大大节省带宽。  最新的视频编码标准高效视频编码（High Efficiency Video Coding，HEVC）在同等感知视频质量下，与上一代H.264/AVC相比码率降低了约50%，获得如此高的压缩率的代价是HEVC的编码复杂度将变得很高。HEVC作为新一代混合编码模型，为适应编码图像中千遍万化的运动目标形状，HEVC提出了编码树单元（CTU）的概念，每一个CTU可进行不同深度的划分，从64×64到最小的8×8大小不等，同时还将预测模式提高到了35种之多，以提高预测块的预测精度，正是这些改进使得HEVC的编码性能可以达到如此高的水平，伴随而来的是在编码每一个CTU的过程中都要进行深度划分、和模式选择，通过计算每个深度的率失真代价（RDcost）选择出最优的深度和模式，由于这个过程，计算复杂度和编码时间显着增加，使得实时编码具有挑战性，HEVC 的编码时间比 H.264/AVC平均高253%，这使得它在多媒体应用中的实现不切实际。因此，有必要显着降低HEVC的编码复杂度，同时率失真 (RD) 性能的损失可忽略不计。  如何降低HEVC帧内编码的计算复杂度已然成为研究的热点。HEVC标准采用粗略模式决策方法(RMD)来为率失真优化(RDO)过程选择较小的一组模式。为了提高RMD后的预测精度，研究人员提出了最可能模式（most probable modes，MPMs）。该方法将相邻PU的最佳预测模式添加到候选列表中，然后执行RDO过程。此外已经提出了一些快速CU大小决策算法来减少帧内编码时间。CU的纹理特征可用于预测其深度。  如图1所示。在选择帧内预测模式时，首先是RMD过程。在RMD中，计算了35种预测模式的哈达玛代价（HD cost），并按降序排列。对于尺寸大于 64×64的PU，选择前三种模式加入候选列表，对于尺寸为 8×8和4×4的 PU，选择前八种模式加入候选列表。然后HEVC将MPM添加到候选列表中。最后对候选列表模型进行率失真优化，选择率失真损失最小的模型作为最佳预测模型。  RDO成本计算如下Crdo = SSE +λR, SSE表示原始CU和重构CU之间的平方误差之和。R是用于此模式编码的总位数,λ是拉格朗日系数和量化参数有关。    图一 帧内方向  在HEVC中，使用四树结构来划分CU。CU深度可为0~3，每个深度的尺寸为64×64、32×32、16×16、8×8，如图2所示，在划分CU时，HEVC首先计算每个子CU的RD成本，然后比较一层中的所有CU与前一层的RD成本的总和。如果该层的RD成本总和较小，则将CU划分为该层。否则，CU被划分为前一层。HEVC横穿所有CU深度，并计算每个深度每个CU的RD成本。因此，由深度划分引起的HEVC内编码的计算复杂性非常高。    图二 四叉树划分  在过去的五年中，出现了大量降低HEVC编码复杂性的方法。发现四叉树 CU划分的递归过程贡献了最大比例的编码时间（在参考软件HM中至少占 80%）。因此，大多数HEVC复杂性降低方法都试图简化CU分区的过程。这些方法的基本思想是提前预测CU分区，而不是蛮力递归RD优化 (RDO) 搜索。预测CU分区的早期工作是启发式方法，例如[4]-[6],这些启发式方法探索一些中间特征，以便在检查所有可能的四叉树模式之前尽早确定CU分区。自2015年以来，已经提出了几种机器学习方法 [7]-[11]来预测CU分区以降低HEVC复杂性。  近年来，随着人工智能的发展，不断出现的一些用深度神经网络去代替传统的视频压缩一些功能，例如，用神经网络代替RDO的计算过程，通过给网络输入当前编码块的像素值，让神经网络去做出深度的划分，这将大大节省HEVC的编码时间。有论文指出这将编码时间减少为原来的40%，同时又不会引起太大的性能消耗。  由HECV高压缩率所带来的复杂度的提升，一直是近年来的研究热点问题，在帧内编码过程中，PU模式决策和CU深度划分是影响编码时间的两个重要部分，许多已发表的论文正是从这两方面入手，提出一些加速算法，尽管很多方法已达到比较不错的实验效果，但仍具有有待完善的地方，编码时间也有进一步提升的空间，一些问题仍然有待被很好的解决，还需要进一步完善。本文就是在这样的技术背景下，深入研究HEVC帧内编码的加速算法中实际面临的一些问题和挑战，并提出自己的解决方案，从而进一步减少视频压缩的编码时间和提高视频压缩的效率。  **1.2 国内外研究现状**  上文提到影响HEVC帧内编码时间的两个重要因素是CU的深度划分和PU的模式决策，PU 模式决策花费大约 60% ∼ 70% 的时间。而在 PU 模式下，计算来自粗糙的 PU 模式决策 (RMD) 过程和速率失真优化 (RDO) 过程。对于RMD阶段，主要有两种方法来降低复杂度。第一个是采用边缘强度提取器来获得 PU 候选列表。例如Chen等人的工作中，他们计算边缘强度以获得核密度估计相似直方图，并对候选模式进行投票。另一种方法应用粗略到精细的搜索策略来降低 RMD 阶段的整体复杂性。例如Fini等人，首先计算了19种预测模式的粗略成本，包括偶数角度预测和DC/Planar预测，然后围绕最有希望的方向细化角度预测搜索。为了减少RDO的候选列表，文献[4][5]中的算法提出采用纹理信息来减少当前PU的候选列表。而Gwon等人。引入贝叶斯网络作为减少候选模式的技术[6]。  本质上CU/PU决策是一个多分类问题，或者可以分解为几个二分类问题。因此，如果可以准确预测某些决策，则可以节省全部或部分搜索时间。目前存在几种用于精确 CU/PU 预测的算法，包括启发式算法和基于学习的算法。  启发式算法主要基于人工设计。空间/时间/深度相关性、统计率失真 (RD) 和纹理信息是预测CU深度决策的三个常用特征。陈等[7]基于时间相关性预测了 CU 深度范围，具体来说，是共同定位的 CTU 中采用的角度模式。Cen 使用空间相关性来限制CU深度范围并跳过一些CU深度。Lin使用Sobel的边缘密度对深度级别集进行分类[10]。Zhang进一步利用空间CU深度相关性、纹理信息和统计RD，设计了一种CU深度跳跃方法[10][11]为了获得更好的CU深度或PU预测精度，设计并采用了更精细的特征。Shen通过与不同深度级别的CU或空间上邻近的CU进行关联，跳过了CU深度和PU方向模式。此外，他还设计了一种基于纹理同质性的CU深度旁路策略[11]。Shang组合策略与纹理信息和不必要的CU深度和PU模式被跳过。  [7]提出了一种自回归模型选择函数，其自适应参数由SATD和RD成本之间的相关性确定。萨米贾巴拉等人。[8]对统计同质模式进行分组，以找到每个组的单一模式。模式在基于聚类的 k-mediods 算法上进行分组，因此算法的效率取决于聚类内的同质性和不同聚类之间的异质性  宗等[11]提出了一种粗糙模式成本（RMC）来减少模式数量。RMC是通过 SATD求和得到的RD成本的简化度量。候选模式通过最小RMC模式与其他模式之间的比率来消除。该算法的优点是RMC用于CU深度/大小决策、PU帧内模式决策和TU深度决策。Mohammadreza 等人[12]将 RMD 的模式数从 33 减少到 19。使用粗略编码成本排除了两个相邻模式的已定义 RMD。在这项工作中，作者[13]提出了一种纹理方向检测算法。方向方差用于计算梯度。基于主导梯度选择候选模式进行缩减。在作者[14]中，如果块是均匀的，则跳过所有角度模式。然而，该算法不适合异构块。巴拉吉等人[15]计算失真方差来预测最佳模式。方差是通过当前和参考宏块之间的整数像素差来计算的。选择一组水平或垂直模式，测量模式的相对位移。  最近，旨在加速HEVC的研究一直在从基于启发式的策略转变为基于学习的策略。机器学习，更具体地说是深度学习方法得到了充分利用。这里，机器学习用于指定算法，包括支持向量机（SVM）、贝叶斯方法、决策树等[15]-[16]，而深度学习算法指定基于神经网络的算法[22]-[27].与启发式算法相比，基于学习的算法具有更多参数，使学习模型更加复杂和精确。此外，来自视频编码联合协作团队 (JCT-VC) 测试序列[28]的更广泛的训练数据也保证了模型的可扩展性。  机器学习方法比人工启发式算法实现了相对更好的预测精度，仅有少量计算开销。提出了一种基于低复杂度研发成本和全部研发成本的贝叶斯决策规则方法，用于早期拆分和修剪CU [15]。在[16]中训练了一个逻辑回归分类器，通过为每个CU绘制七个特征来提前终止CU分裂过程。张,设计了两台采用深度差的支撑向量机，哈达马德变换基于成本比和RD成本比来执行CU深度的决策[17]。刘精心设计复杂性标准，然后发布基于复杂性分类的SVM用于加速CU分区[18]  在[19]CU分区和PU模式决策都由朱设计的二元和多类SVM预测。格雷勒特结合了SVM中的有效特征，用于CU分区预测，并设计了一种有效的训练方法[21]。 张等人[20]进一步结合在线和离线SVM培训，以加速HEVC内部档案。 与类似于SVM的机器学习方法相比，深度学习方法可以从大量数据中执行特征学习并更好地推广。因此，它开始被一些研究采用。CU分区过程首先被抽象成21个二进制分类问题[22]。对于每个尺寸不同CU，都会经历一个深度的CNN 来指示区块是否被分割。徐等人进一步建立了一个大规模的CU内部深度数据集，并提出了一个新的CU分区图，即层次CU分区图（HCPM）将21个二进制分类问题合并为一个CNN[23]。由Shi[24]建立了一个包含RD成本标签的CU内数据集，并提出了一个具有更好表现力的不对称内核CNN。张将CU纹理复杂性与CNN结合起来，帮助做出更好的决定，同时节省CNN预测时间。尽管如此，该方法对CU准确性预测的提高只能达到最小的程度。施先生建议使用CNN加速PU分区[24]，但由于PU网络的浅薄，预测精度不够高。宋建议由CNN[26]生成RDO候选模式，其中不同纹理的PU被单独训练。 然而，在性能损失下，节省时间（TS）并不令人满意。对象检测类似概念也被用于加速CU分区和PU模式决策过程[27]。尽管其预测精度相对较高，但神经网络设计复杂，需要高计算成本。  **1.3 当前存在的主要问题**  **(1) cu深度决策中启发式算法仍需进行RDO计算**  一些启发式算法中，对于CU深度的决策，通过早期跳过的方式来避免更深一步的RDO，这就要求当前编码块的最优深度是第0层或第1层，如果不是，则不可避免的将进行更深层的RDO计算，这样任然无法解决CU深度决策时的时间消耗。  **(2) PU模式决策中需要计算35种预测模式的代价耗费时间**  在PU模式决策中，需要将35种预测模式都进行一次RDO代价计算，选择出代价最小的一种模式作为当前块的最优预测模式，这是一个非常耗时的计算，一些已经提出的算法，通过相邻块的最优模式 和计算各个模式的哈达玛代价选出几种适合的模式 组成候选模式队列，将这些候选模式再进行RDO代价的计算，选择出最优的一个模式。  这样做所带来的结果是可以很大程度的加快编码速度，但是可能引入的问题是，存在没有正确选择最优模式的可能，因为在计算哈达玛代价的时候，真正的最优模式已经被排除了，这将引起码率的增加。而且任然无法避免要进行RDO代价的计算过程。  **(3) CU深度划分和PU模式决策未能有效的结合**  在已知的论文中，CU的深度划分和PU的模式决策，许多作者都将其考虑成两个独立的过程，一部分着重解决CU深度划分问题，一部分着重解决PU模式决策问题，然而这两个过程在编码的时候都消耗的大量的时间，同时两者都需计算RDO代价，这是一个非常消耗时间的过程。 |
| **二、研究目标和主要研究内容** |
| **2.1 研究目标**  针对上述所提到的问题，未能完全避免RDO这一耗时的计算过程，无法进一步缩短视频的压缩时间，本论文拟通过神经网络快速预测出编码块所需要的正确深度以及其最优的预测模式，避免RDO计算过程，进一步减少视频编码过程中的时间消耗。  提高神经网络的预测进度，在大幅减少帧内编码时间消耗的同时，保证其对码率的影响达到最小，从而达到降低编码复杂度的目的  **2.2 主要研究内容**  **(1) 确定适合的训练所需的数据集**。  由于需要使用神经网络代替传统的RDO计算过程去预测CU的深度和PU的最佳预测模式，所以需要大量的数据去训练数据集，通过使神经网络能够准确学习到编码块的纹理信息以及支持CU划分和模式决策的隐含特征，需要使用视频编码软件HM将不同纹理分布的视频，进行编码，将编码后的CU划分信息和PU模式信息 制作为对应块的标签，作为数据集保存  **(2) 训练出精准度高的神经网络**。  通过对目前神经网络的研究，构建出一个合适的神经网络，由于网络是需要集成到视频编码软件里，而且目的是减少计算量，降低编码复杂度，因此网络的结构不能过于复杂，还要能准确预测出CU深度和PU模式  **(3) 将神经网络集成到视频编码软件里**  因为我们将原来的通过计算RDO获得深度和模式信息的部分通过神经网络预测的方法代替掉了，所以将训练好的神经网络模型集成到视频编码软件里也是很重要的 |

|  |
| --- |
| **三、拟解决关键问题及其研究方法** |
| **3.1 拟解决关键问题**  （1）本文拟解决的第一个问题是 进一步降低视频编码的复杂度，大幅缩短视频编码所需要的时间。而对视频码率的影响应忽略不计  （2）在降低视频编码的复杂度的同时，还保证更好的视频质量。  **3.2 采取的研究方法**   1. 文献研究   查阅相关文献，了解视频压缩过程中的各个细节，对CU划分和PU 模式决策的相关研究探究其目的，归纳总结现有研究中的优缺点，找出现有研究中的不足，根据存在的问题确定将要开展的研究点。   1. 理论分析   确定好自己的模型之后理论分析其可能性和实际意义，分析当前使用启发式算法和学习式算法研究的优缺点，结合深度学习算法，提出实现框架。   1. 实验研究   首先，搭建仿真平台，制作出用于训练的数据集，在计算机上用计算机语言编写，仿真出环境模型。然后选择合适的深度学习算法应用于模型，训练模型，记录实验要求的性能指标，做出仿真图。最后，将实验结果的数据与目前研究较多的模型进行对比，分析性能提高或降低的原因，根据分析结果不断完善模型和算法以达到更好的效果。  **3.3 可能的创新**  经过上面的分析，本文可能的创新点有2个。   1. 本文拟提出一种更轻量且高效的神经网络用于对编码块深度和模式的预测，用于代替传统方法中的RDO过程，节省编码时间，更方便的集成到视频编码软件里 2. 本文将首次提出将CU的深度预测和PU的模式决策作为统一整体进行预测的创新，在神经网络的预测输出中，通过得到PU的模式就可以很高效的得到CU的深度划分信息，这样既提高了预测的准确性，又降低编码的复杂度   **参考文献:**   1. Liu C, Jia K, Liu P. Fast Depth Intra Coding Based on Depth Edge Classification Network in 3D-HEVC[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2021, 68(1): 97-109. 2. Wang Y, Su Z. An efficient intra prediction algorithm for HEVC intra-coding[C]//2020 13th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI). IEEE, 2020: 407-412. 3. Viitanen M, Sainio J, Mercat A, et al. From HEVC to VVC: The first development steps of a practical intra video encoder[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2022. 4. Hinton G E, Srivastava N, Krizhevsky A, et al. Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors[J]. arXiv preprint arXiv:1207.0580, 2012. 5. Chen G, Liu Z, Ikenaga T, et al. Fast HEVC intra mode decision using matching edge detector and kernel density estimation alike histogram generation[C]//2013 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). IEEE, 2013: 53-56. 6. Ramezanpour Fini M, Zargari F. Two stage fast mode decision algorithm for intra prediction in HEVC[J]. Multimedia Tools and Applications, 2016, 75(13): 7541-7558. 7. Da Silva T L, Agostini L V, da Silva Cruz L A. Fast HEVC intra prediction mode decision based on EDGE direction information[C]//2012 Proceedings of the 20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). IEEE, 2012: 1214-1218. 8. Gwon D, Choi H, Youn J M. HEVC fast intra mode decision based on edge and SATD cost[C]//2015 Asia Pacific Conference on Multimedia and Broadcasting. IEEE, 2015: 1-5. 9. Chen F, Jin D, Peng Z, et al. Fast intra coding algorithm for HEVC based on depth range prediction and mode reduction[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77(21): 28375-28394. 10. Cen Y F, Wang W L, Yao X W. A fast CU depth decision mechanism for HEVC[J]. Information Processing Letters, 2015, 115(9): 719-724. 11. Lin Y C, Lai J C. Edge density early termination algorithm for HEVC coding tree block[C]//2014 International Symposium on Computer, Consumer and Control. IEEE, 2014: 39-42. 12. Zhang Y, Li N, Kwong S, et al. Statistical early termination and early skip models for fast mode decision in HEVC INTRA coding[J]. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM), 2019, 15(3): 1-23. 13. Shen L, Zhang Z, An P. Fast CU size decision and mode decision algorithm for HEVC intra coding[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2013, 59(1): 207-213. 14. Shen L, Zhang Z, Liu Z. Effective CU size decision for HEVC intracoding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2014, 23(10): 4232-4241. 15. Shang X, Wang G, Fan T, et al. Fast CU size decision and PU mode decision algorithm in HEVC intra coding[C]//2015 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). IEEE, 2015: 1593-1597. 16. Wang D, Zhu C, Sun Y, et al. Efficient multi-strategy intra prediction for quality scalable high efficiency video coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2017, 28(4): 2063-2074. 17. Hu Q, Shi Z, Zhang X, et al. Fast HEVC intra mode decision based on logistic regression classification[C]//2016 IEEE international symposium on broadband multimedia systems and broadcasting (BMSB). IEEE, 2016: 1-4. 18. Zhang T, Sun M T, Zhao D, et al. Fast intra-mode and CU size decision for HEVC[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2016, 27(8): 1714-1726. 19. Liu X, Li Y, Liu D, et al. An adaptive CU size decision algorithm for HEVC intra prediction based on complexity classification using machine learning[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2017, 29(1): 144-155. 20. Zhu L, Zhang Y, Pan Z, et al. Binary and multi-class learning based low complexity optimization for HEVC encoding[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2017, 63(3): 547-561. 21. Zhang Y, Pan Z, Li N, et al. Effective data driven coding unit size decision approaches for HEVC INTRA coding[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2017, 28(11): 3208-3222. 22. Grellert M, Zatt B, Bampi S, et al. Fast coding unit partition decision for HEVC using support vector machines[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2018, 29(6): 1741-1753. 23. Li T, Xu M, Deng X. A deep convolutional neural network approach for complexity reduction on intra-mode HEVC[C]//2017 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME). IEEE, 2017: 1255-1260. 24. Xu M, Li T, Wang Z, et al. Reducing complexity of HEVC: A deep learning approach[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2018, 27(10): 5044-5059. 25. Shi J, Gao C, Chen Z. Asymmetric-kernel CNN based fast CTU partition for HEVC intra coding[C]//2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). IEEE, 2019: 1-5. 26. Chen Z, Shi J, Li W. Learned fast HEVC intra coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2020, 29: 5431-5446. 27. Li F, Jiao D, Shi G, et al. An AR based fast mode decision for H. 265/HEVC intra coding[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(11): 13107-13125. 28. Momcilovic S, Roma N, Sousa L, et al. Run-time machine learning for HEVC/H. 265 fast partitioning decision[C]//2015 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM). IEEE, 2015: 347-350. 29. Shan Y, Yang E. Fast HEVC intra coding algorithm based on machine learning and Laplacian transparent composite model[C]//2017 IEEE International conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP). IEEE, 2017: 2642-2646. 30. Huang H, Schiopu I, Munteanu A. Frame-wise CNN-based filtering for intra-frame quality enhancement of HEVC videos[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2020, 31(6): 2100-2113. 31. Dumas T, Roumy A, Guillemot C. Context-adaptive neural network-based prediction for image compression[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2019, 29: 679-693. 32. Blanch M G, Blasi S, Smeaton A F, et al. Attention-based neural networks for chroma intra prediction in video coding[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2020, 15(2): 366-377. 33. Xiang G, Zhang X, Huang X, et al. Perceptual Quality Consistency Oriented CTU Level Rate Control for HEVC Intra Coding[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2021, 68(1): 69-82. 34. Li G, Lei J, Pan Z, et al. Multiple Resolution Prediction with Deep Up-Sampling for Depth Video Coding[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2022. 35. Park J, Kim B, Lee J, et al. Machine Learning-Based Early Skip Decision for Intra Subpartition Prediction in VVC[J]. IEEE Access, 2022, 10: 111052-111065. 36. Amna M, Imen W, Ezahra S F. LeNet5-Based approach for fast intra coding[C]//2020 10th International Symposium on Signal, Image, Video and Communications (ISIVC). IEEE, 2021: 1-4. 37. Menasri W, Meddah K. Low level Syntax Elements Study in Intra HEVC/H. 265 Video Codec[C]//2022 7th International Conference on Image and Signal Processing and their Applications (ISPA). IEEE, 2022: 1-7. |

|  |
| --- |
| **四、进度安排和预期成果** |
| **4.1 预期成果**  发表核心期刊及以上论文1篇，或受理专利一项  **4.2 进度安排**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | 时间段 | 工作内容 | 预期成果 | | 2022.11-2022.12 | 整理并阅读相关文献资料，分析当前相关内容的研究现状，并对已有的研究方法进行分类和归纳。 | 完成文献综述报告、开题报告一篇 | | 2023.01-2023.02 | 确定研究方法，对研究中的关键问题,进行试验，得出结论，解决发现的问题。 | 验证方法的可行性，解决存在的问题 | | 2023.02-2023.04 | 对实验结果进行对比，撰写学术论文 | 学术论文投稿 | | 2023.05-2023.11 | 总结实验结果，准备中期检查资料。 | 完成中期检查材料 | | 2023.12~2024.6 | 总结成果，准备答辩 | 完成毕业答辩。 |   **4.3 研究条件**  研究中需要查阅和参考相关文献。目前已具备的软件工作条件包括学校图书馆的数据库、各种计算机仿真软件等。学校图书馆可提供丰富的纸质资料，馆藏文献240万册(种)，中外文电子期刊25234种，纸质期刊1193种，数据库52种。在通信与信息系统、计算机与自动化、ITU(电联)标准、IEEE方面资源比较齐全。包含了国内外如IEEE、CNKI、维普以及一些外文电子文献，提供CI、SCI、CPCI等类型文献检索和下载功能，为学生提供了方便。从这些数据库中可以查询到全球学术界在相关领域的研究成果，方便了学生及时了解当前国内外研究现状，避免重复性工作，还可以学习新的思维方式和研究方法。实验室提供了进行科研和学习必须的工作条件，并提供了高性能的计算机仿真平台。在仿真平台上，可对研究方案、算法等进行仿真，对理论进行验证和评估。  (1) 硬件条件：Windows10计算机；  (2) 软件条件：仿真设计软件Pycharm、Matlab；  (3) 参考资料：《数字图像处理》、《信号与系统》、《Python编程-从入门到实践》、《机器学习实践》、《TensorFlow实战Google深度学习框架》、《深入浅出强化学习原理入门》等。  (4) 数据文献资料来源：IEEE，特别是时下最新的外文文献，了解当前行业和研究方向的背景、研究现状、基本术语、基础知识、已有成果。总结前人已有的研究成果，激发创新思维。外文数据库，主要有SCI、IEEE、Springerlink、ElsevierSD等数据库，查阅国内外最新的研究，对当前研究方向好的文章进行精读，深入分析创新点及存在的问题。  (5) 搜索引擎：百度、必应等。 |

