



面向无人驾驶 的计算结构及 若干算法研究



指导老师：李仁发



答辩学生：邹文超

目录

1

绪论

2

相关研究

3

无人驾驶的计算结构

4

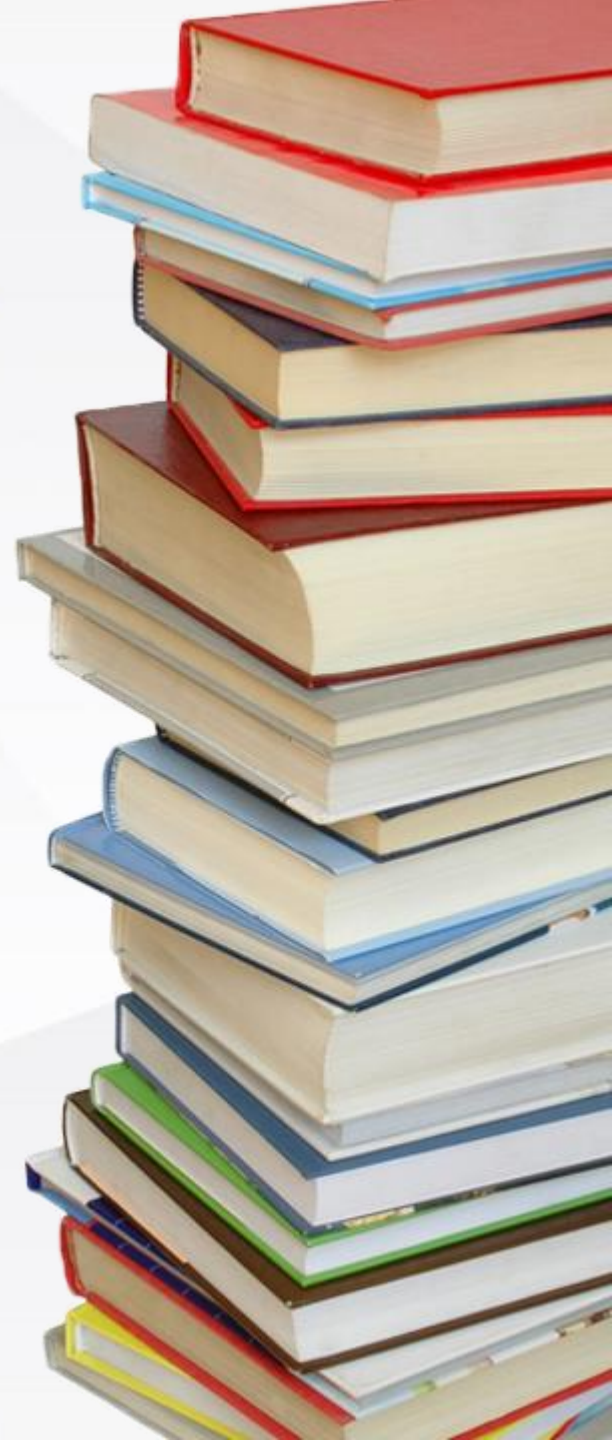
硬件成本与能耗优化算法

5

可靠性保障及其性能和能耗
优化

6

总结与展望





第一部分 绪论



选题背景



背景

随着社会的发展,汽车数量呈现爆发式的增长。这导致了交通拥堵、环境污染、能源危机、交通事故频发,给人们的生活和城市建设带来了阻碍。随着信息与通信技术领域的不断发展,无人驾驶汽车的出现将有可能解决这些问题。



发展前景

无人驾驶汽车不但可以给人们生活带来便利,还可以极大提高社会生产力,带来巨大经济效益,有着巨大的商业前景。



研究意义



高能耗

无人驾驶汽车中计算压力的增大，导致了能耗的增加。



高成本

处理器成本、传感器成本高昂。



可靠性

计算节点宕机，或者随机硬件错误带来的功能失效。



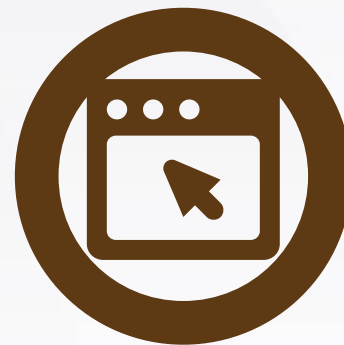


本文贡献



无人驾驶计算结构

总结提出了一个集汽车移动端、边缘节点和云端一体的无人驾驶计算结构。并且全面系统阐述了该无人驾驶计算结构



硬件成本和能耗优化

针对无人驾驶面临的高成本与高能耗挑战，提出了一个在满足实时性和可靠性目标前提下，成本硬件和能耗的算法。



可靠性保障下的性能与能耗优化

提出了一个基于任务备份的可靠性保障及性能和能耗优化算法



第二部分 相关研究



相关研究

无人驾驶计算结构

总结目前国内外关于计算结构相关研究。

无人驾驶计算平台

总结了目前无人驾驶计算平台，呈现出异构多核的特点，因此我们针对汽车电子系统进行建模，抽象为异构分布式系统。

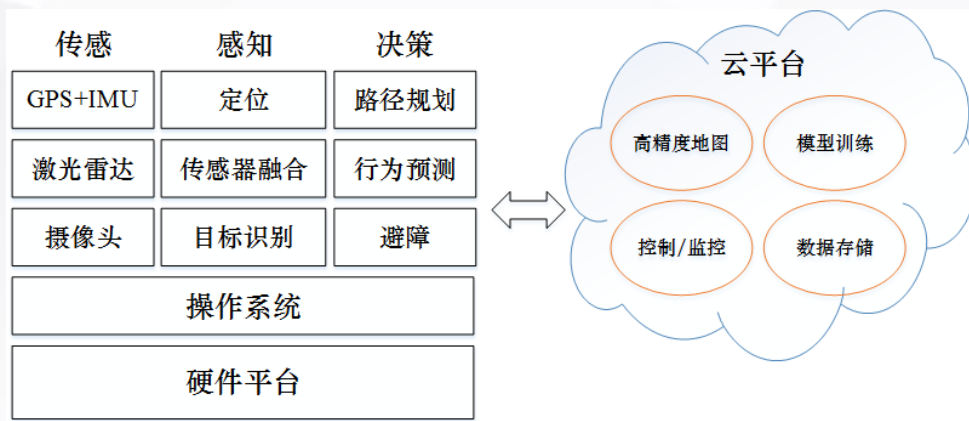
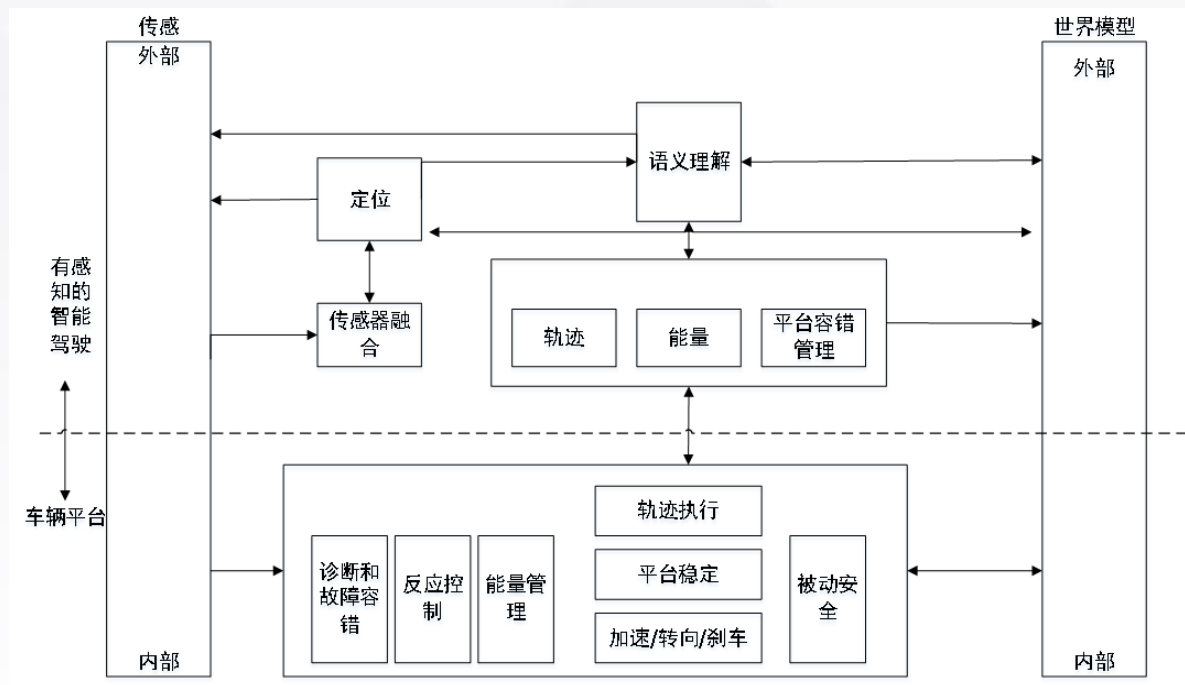
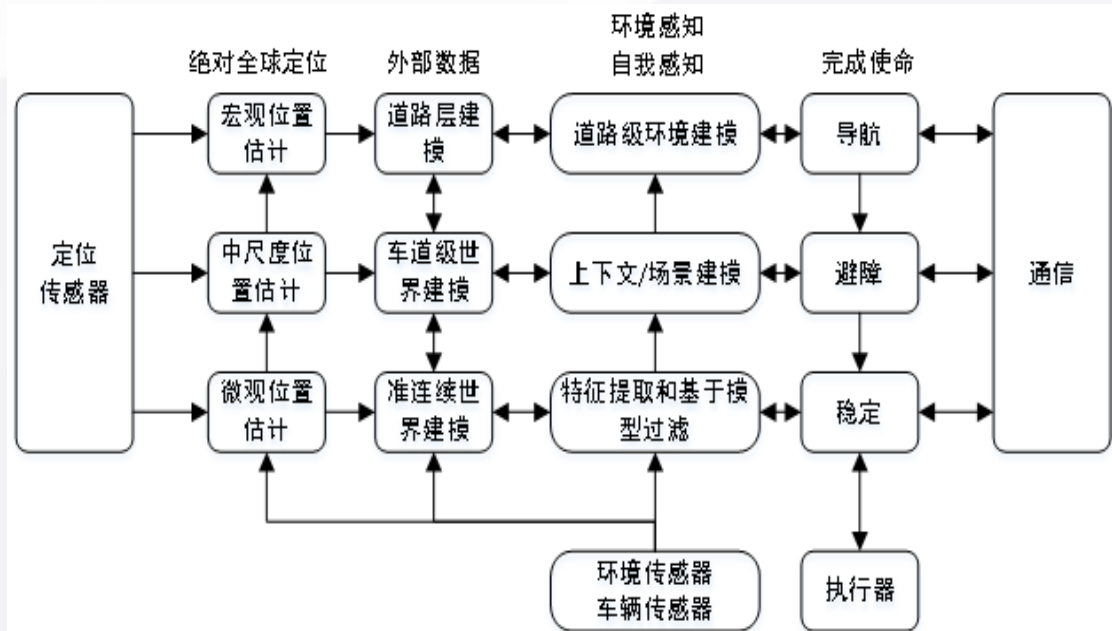
硬件成本和能耗

总结异构分布式系统下的性能，可靠性，硬件成本，能耗的相关研究。

容错下的可靠性保障

总结了基于任务备份的可靠性保障算法相关研究，比如 HRRTM, GMFRP 算法等。

无人驾驶计算结构



计算平台对比

四个方案的总结对比分析结果如表2.1所示，可以看出每个平台至少使用了两种类型处理器，因此无人驾驶系统主要采用异构多处理器作为硬件平台，将多个处理器通过高速网络相连，从而获得巨大的计算能力，因为异构多处理器可以充分利用硬件系统的异构计算资源。

如表2.2所示，相同的任务，在不同的处理器上的计算时间和消耗的能量都具有显著性差异，不同任务在相同处理器上执行也具有显著性差异^[8]。由于无人驾驶系统具有多种计算任务类型，如果所有的任务都在同种处理器上运行，很难兼顾所有的性能，因此在无人驾驶中应用异构处理器来作为计算平台是一个不错的选择。

表2.1 计算平台总结

方案	典型平台	包含的处理器	特点
GPU	DRIVE PX2	Tegra SoC Pascal GPU	计算能力强大
DSP	TDA2x	ARM Cortex-A15 ARM Cortex-M4 DSP c66x	3D图像 支持多达10个摄像头输入
FPGA	Cyclone V SoC	ARM Cortex-A9 Cyclone V FPGA DSP	低功耗 高速收发器
ASIC	EyeQ5 SoC	CPU 可编程加速器 视觉加速器	低功耗 硬件安全

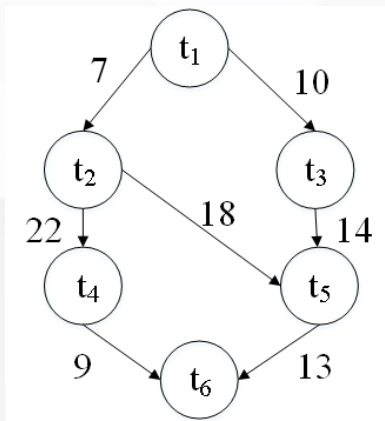
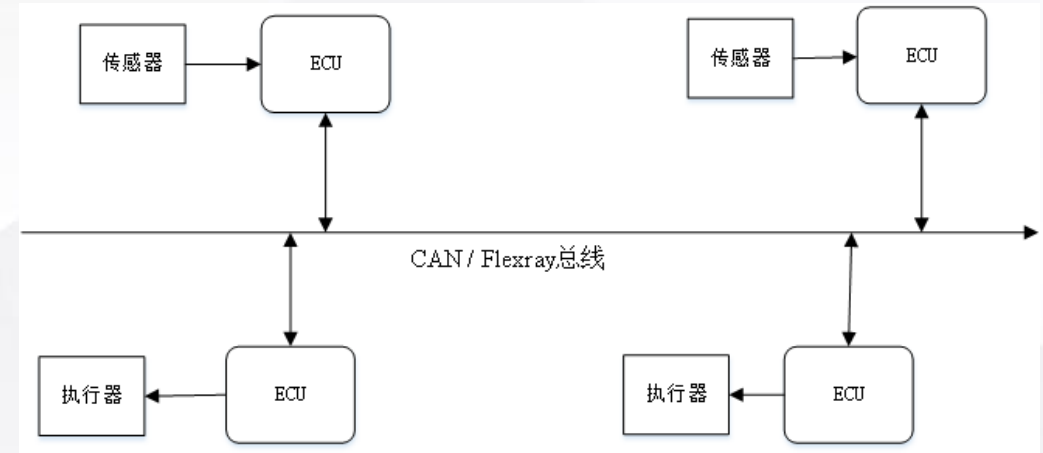
表2.2 异构处理器的性能表现

处理器		卷积	特征提取
CPU	计算时间 (ms)	8	20
	能耗(MJ)	20	50
GPU	计算时间 (ms)	2	10
	能耗(MJ)	4.5	22.5
DSP	计算时间 (ms)	5	4
	能耗(MJ)	7.5	6

汽车电子系统模型抽象

在汽车电子系统内部分布着100多个处理器，这些处理器也被称为电子控制单元(Electronic Control Unit, ECU)，多个异构处理器通过CAN、Flexray等高速网络相连。汽车电子系统结构如图2.10所示，每个处理器可以连接着传感器或执行器，每个处理器包含CPU、RAM、非易失性存储器以及一个网卡。目前针对汽车电子系统内资源优化，一般把它抽象为异构分布式系统，然后在此基础上进行研究。

汽车电子系统功能日益增多，功能日趋复杂，这些功能由很多可并行的小任务组成，因此我们把汽车上功能可以看成是一个并行应用。这些应用通常可拆分成具有优先约束的多个子任务，一个具有多个优先约束的子任务组成的并行应用通常用一个有向无环图(DAG)来表示。图2.11是一个简单的DAG应用示例图。图中的节点表示任务，边表示任务之间的通信代价，当一个任务在一个处理器上执行完后，需要把数据传递到执行后继任务的处理器上，将数据传递到后继任务处理器上所需的时间即为通信代价。如果后继任务就是这个处理器，则这个通信代价为0。

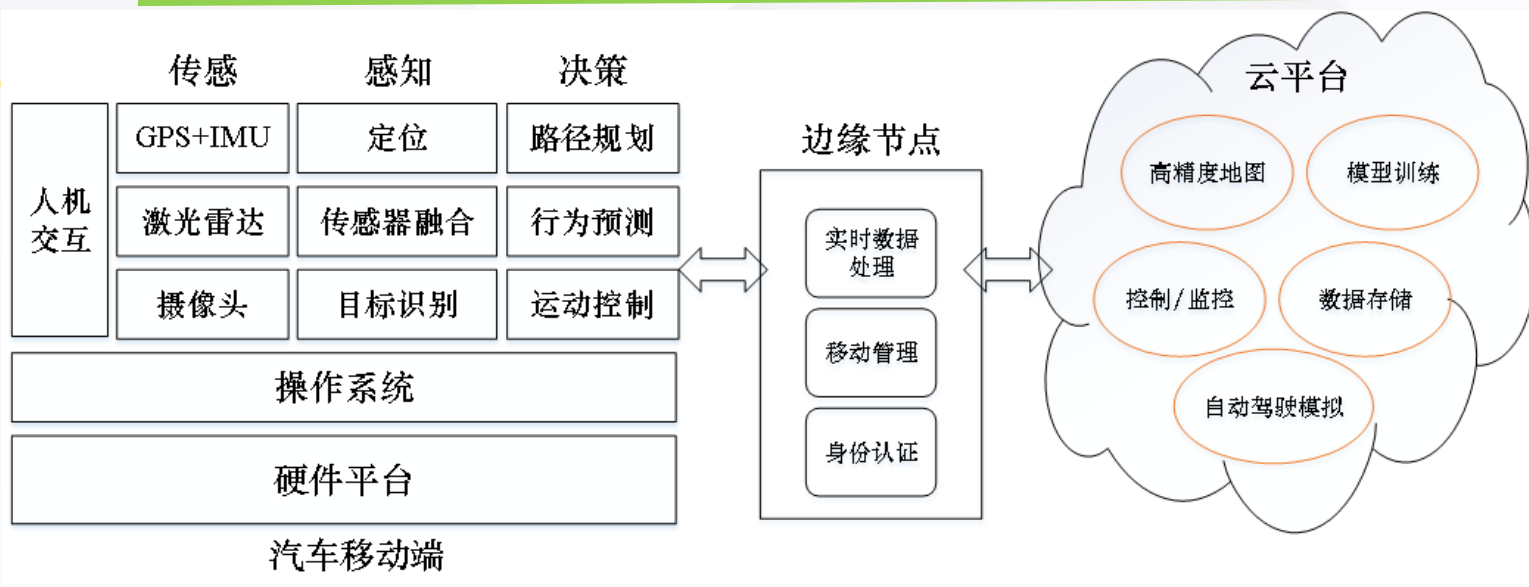




第三部分 无人驾驶计算 结构



无人驾驶计算结构



无人驾驶系统根据计算所在实体可分为汽车移动端，边缘节点和云端。汽车移动端包括应用层、操作系统和硬件平台，主要负责运行包括面向传感、感知和决策等关键步骤的实时功能和算法以及人机交互。边缘节点主要提供一个稳定的网络连接，实时数据处理。云端包括数据存储、模拟、高精度地图绘制，深度学习模型训练，云控制，监控及云诊断等功能。自动驾驶系统架构图如图1所示。接下来本文将从传感、感知、决策和远程服务四个方面来全面详细介绍自动驾驶的计算结构。



无人驾驶计算结构

GPS+IMU、LIDAR、摄像头，各自优缺点。

传感技术

感知

传感器数据融合、CNN、faster R-CNN在感知层的运用。

无人驾驶计算结构

边缘节点

解决因特网连接延时大以及不稳定等问题。汽车与基础设施之间的通信 (V2I)。

基于有限状态机、强化学习在无人驾驶决策中的运用。

决策

云服务

主要从分布式计算和分布式存储两方面提供支持。



第四部分 硬件成本与能 耗优化



本章背景



针对无人驾驶系统必须满足以下三个要求:实时性要求, 高可靠性, 资源高效性。



结合无人驾驶目前高成本与高能耗的挑战。



所以本文提出了一个在满足实时性和可靠性要求下, 针对硬件成本和能耗进行优化的算法。



硬件成本与能耗优化

模型

介绍应用模型、可靠性模型、能耗模型、硬件成本模型。

实验

通过FFT、GE以及一个真实汽车应用实验测试本文提出的算法。验证了本文的算法可以在满足实时性和可靠性前提下，对硬件成本和能耗进行优化。



算法

介绍本文提出的HCECO算法详细过程。



FFT experiment

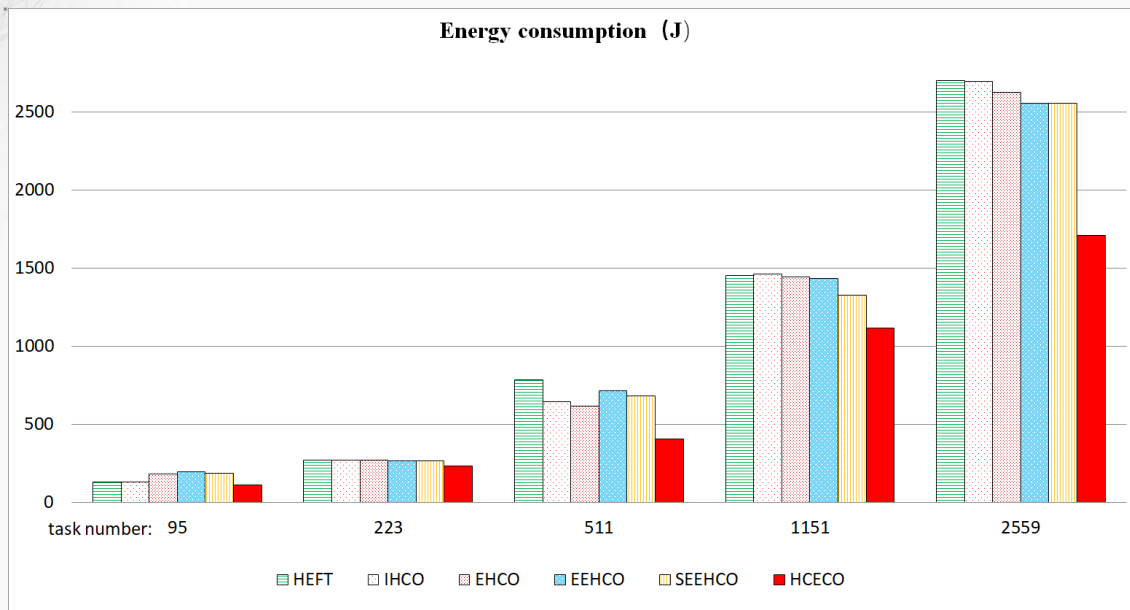


Fig.1

为了测试本文提出的算法针对复杂真实应用的优化能力，本次试验采用快速傅里叶变换这个典型的并行应用程序来进行试验^[11,15,21,26]。该应用的任务个数范围为95到2559。在经过多次重复试验中，HCECO算法试验结果如图4.5-4.6所示，

图4.5结果表明本文提出的HCECO算法的能耗总是最小的，相比HEFT、IHCO算法，HCECO算法的能耗降低了16-987 (J)，比EHCO,EEHCO等算法能耗降低了32-915(J)，应用的任务个数越大，能耗优化越明显。图4.6结果表明本文提出的HCECO算法相比HEFT以及IHCO算法硬件成本降低了3458-4283 (美元)。但相比EHCO、EEHCO等算法本文的硬件成本上升了46-289 (美元)，但EHCO、EEHCO等算法只针对硬件成本进行优化，并没有考虑能耗。然而，当任务个数为95的时候，HCECO的硬件成本比SEEHCO低\$17，尽管SEEHCO算法只优化硬件成本。

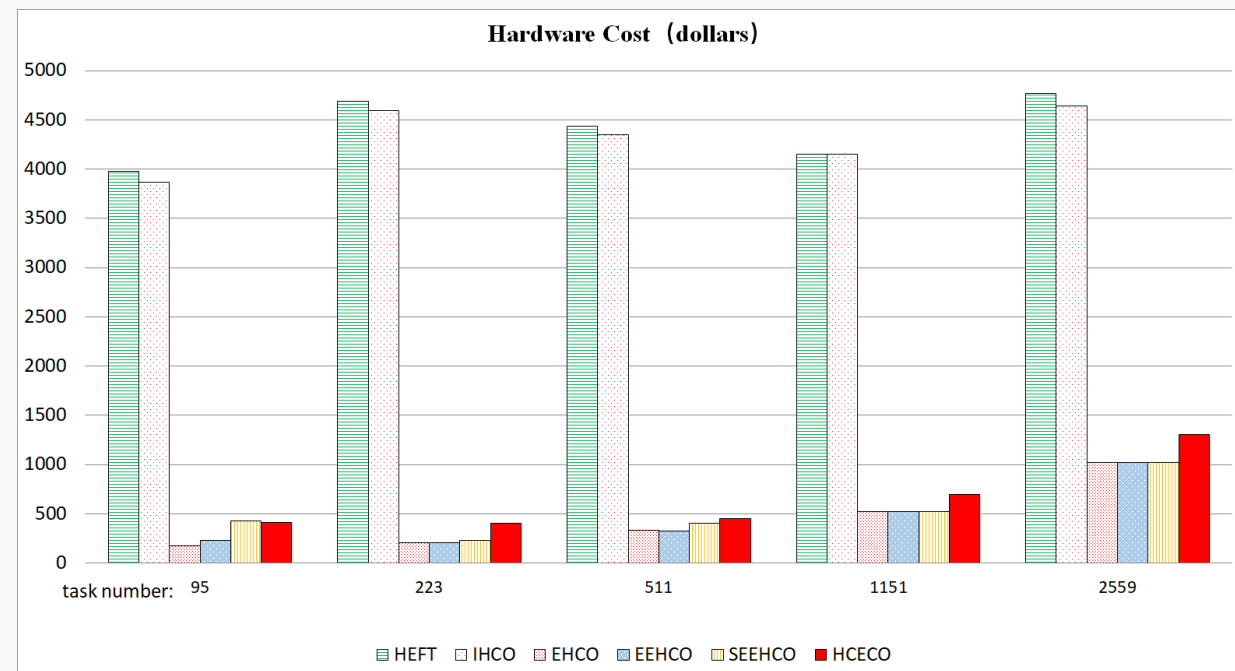


Fig.2



GE experiment

Fig.1

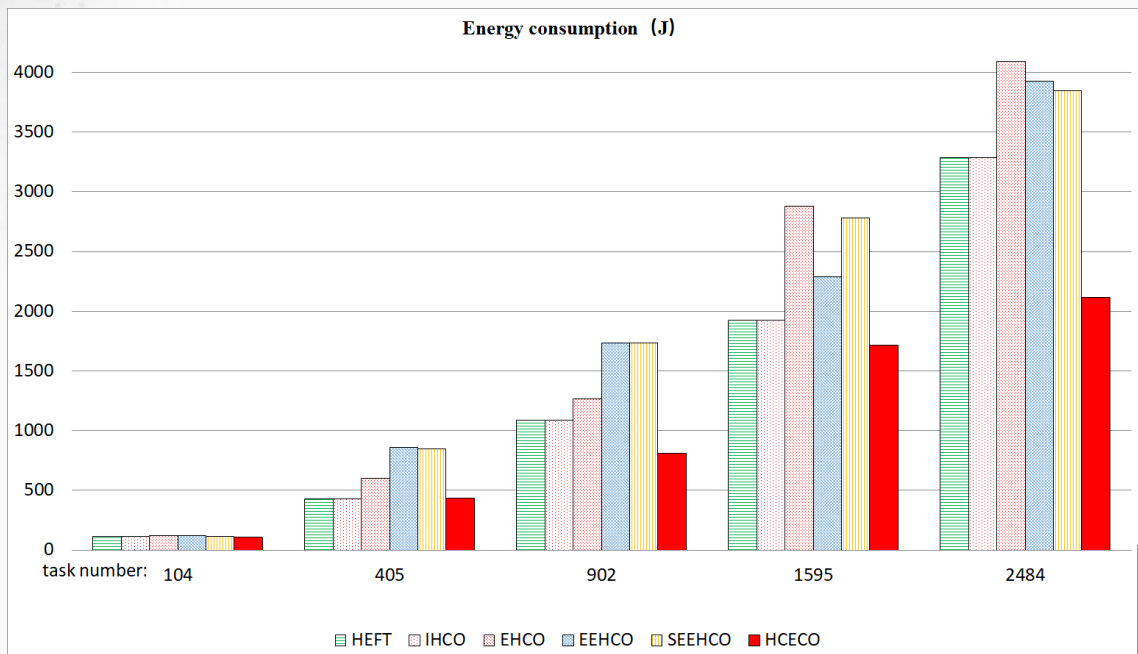
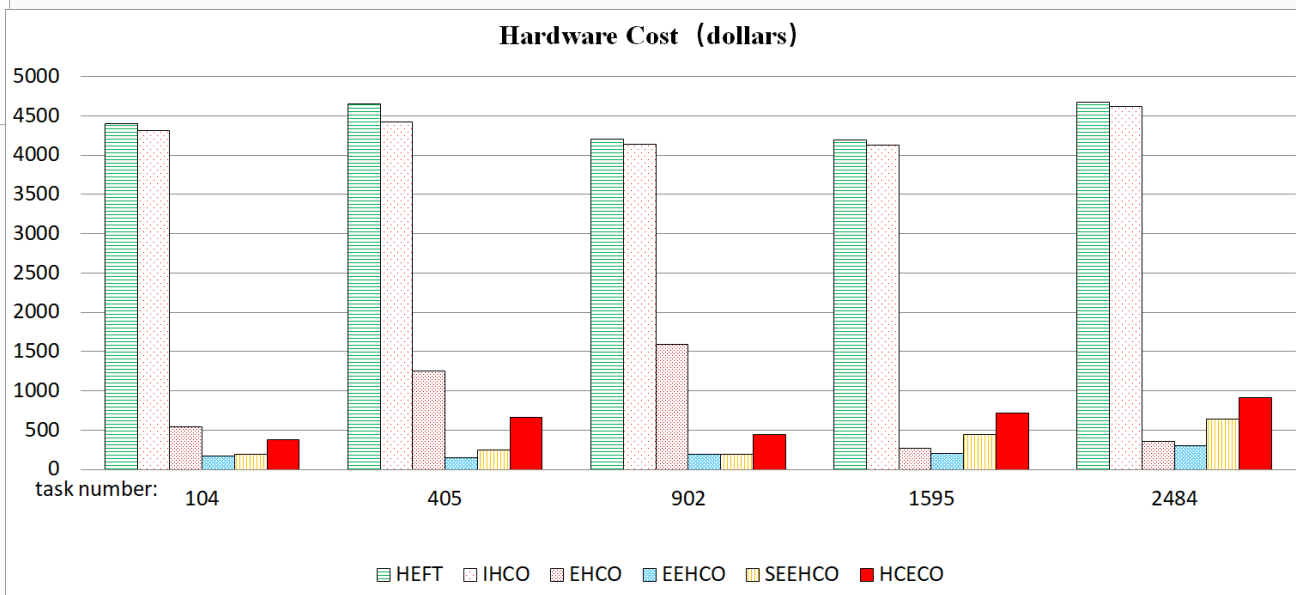


图4.7结果表明本文提出的HCECO算法能耗相比HEFT、IHCO算法降低了6-1167 (J),比EHCO,EEHCO等算法降低了11-1810(J)。图4.8结果表明本文提出的模拟退火基因算法相比HEFT以及IHCO算法硬件成本降低了3354-4023 (美元)。相比EHCO等算法、本文算法的硬件成本在任务个数为104-902时硬件成本下降了163-1163 (美元)。因为试验参数是随机生成的,因此本文的算法比EHCO更接近最优解。

本次试验采用高斯消元这个典型的并行应用程序来进行试验^[11,15,21,26],该应用的任务个数范围为104到2484。试验结果如图4.7-4.8所示。

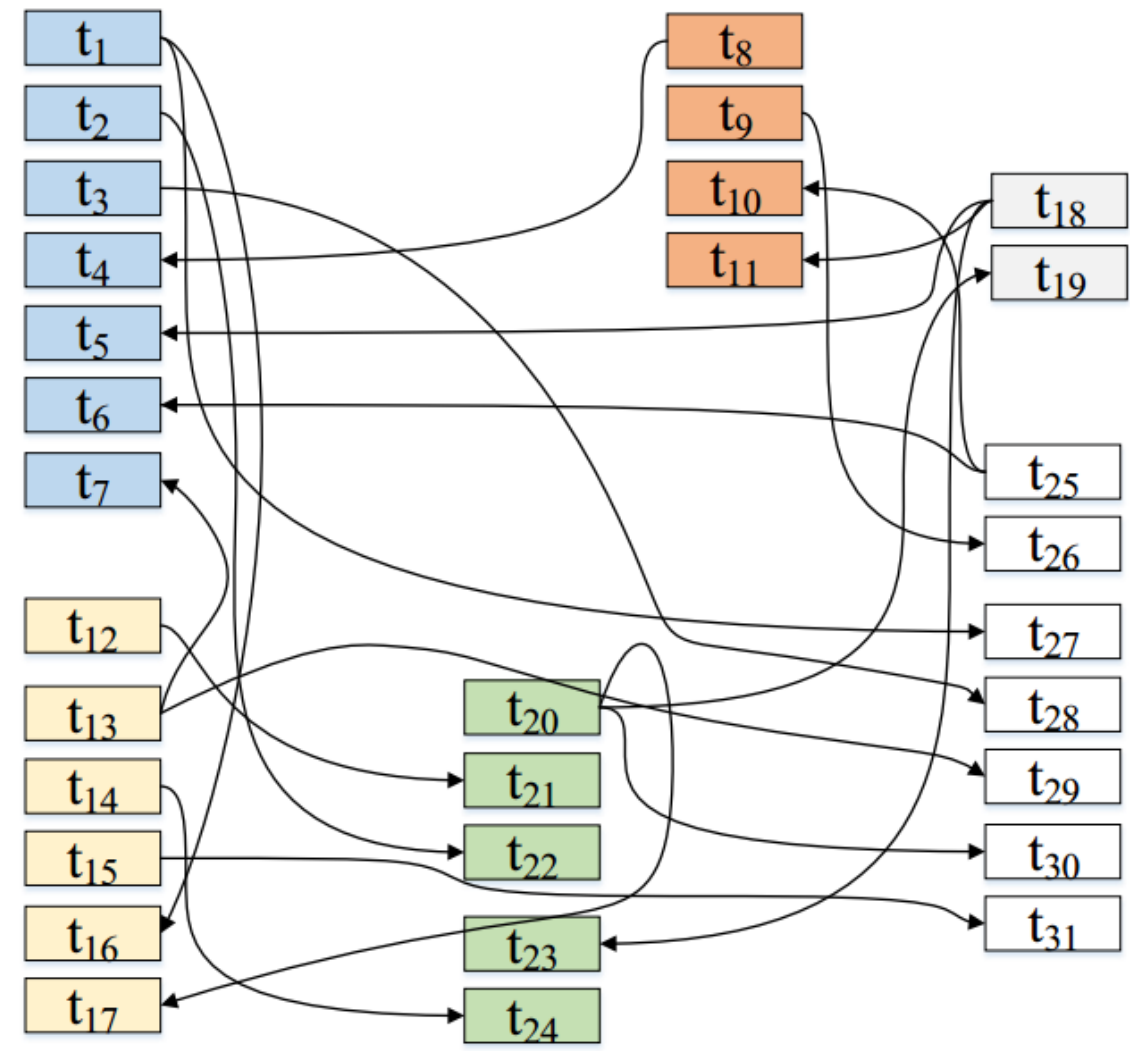
Fig.2





Real automotive application experiment

为了测试HCECO算法针对真实汽车应用的优化能力，本次试验采用论文[26]中的一个真实汽车应用来进行试验。该应用的DAG如图4.9所示。该应用包含6个功能模块：具有7个任务的发动机控制()，具有4个任务的自动变速箱()，具有6个任务的防抱死制动系统()，具有2个任务的车轮角度传感器()，具有5个任务的悬浮控制器()，具有7个任务的车身控制器()。本次试验的参数如下：，，。根据安全评估这个应用的截止时间是，(即)。我们首先让，然后压力测试HCECO算法。当时，试验结果如图4.10-4.11所示，详细结果如表4.3所示。图4.10表明本文算法的能耗相比其他算法减少了20-39()。本文仅统计了该应用运行一次时所产生的能耗，但是在真实汽车里，该应用是持续不断运行的，只要车辆处于启动状态。因此随着该应用的不断运行，本文算法节省的能耗将不断增加。图4.11表明HCECO算法相比HEFT和IHCO算法减少了\$649-\$810。与EHCO和SEEHCO算法比较，HCECO算法的硬件成本减少了\$52-\$145，。相比EEHCO算法，HCECO算法硬件成本提高了\$8。





Real automotive application experiment

本次试验结果表明，HCECO算法的硬件成本比EHCO和SEEHCO都要低，尽管EHCO和SEEHCO算法仅考虑硬件成本优化。在采用不同的参数，经过多次重复试验，HCECO算法相比其他算法，能耗平均减少了14%-24%。相比HEFT和IHCO算法，硬件成本平均减少了68%-73%，相比EHCO，EEHCO和SEEHCO算法，本文硬件成本减少了16%-33%或者升高了3%-17%。

Fig.1

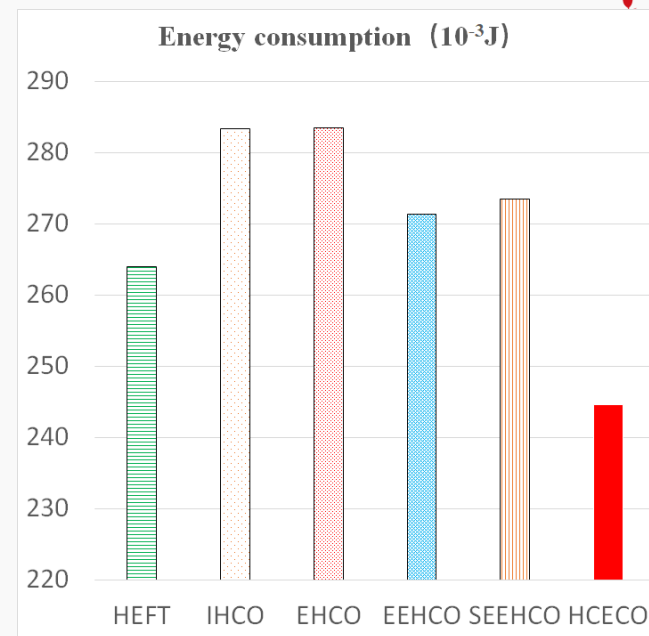
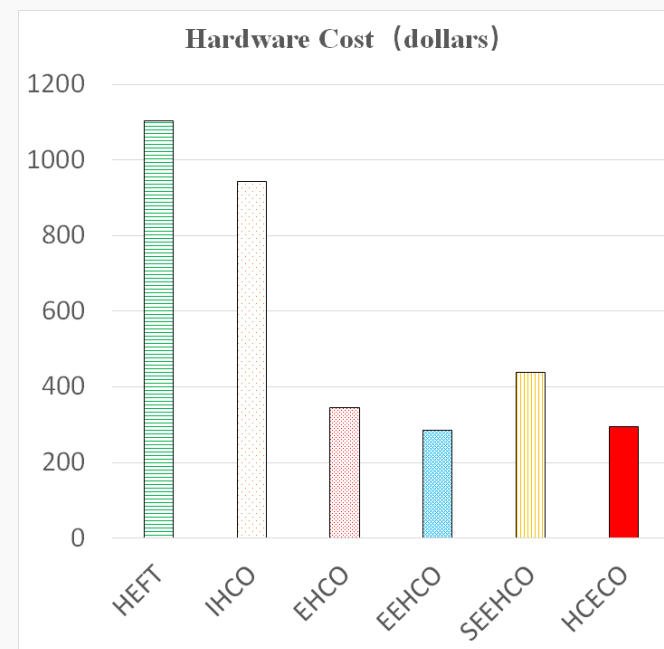


Fig.2





第五部分

可靠性保障及其 性能与能耗优化



本章背景



针对无人驾驶系统必须满足高可靠性，安全性，资源高效性。



结合无人驾驶可靠性的挑战，以及现有算法的不足。



所以本文提出了一个基于任务备份的可靠性保障及其性能与能耗优化的算法。



可靠性保障及其性能与能耗优化

模型

介绍基于任务备份，可容错下的应用模型、可靠性模型、能耗模型。

实验

通过真实汽车应用实验以及随机生成应用实验测试本文提出的算法。验证了本文提出的算法可以满足更高的可靠性目标，相比已有算法性能与能耗更优。

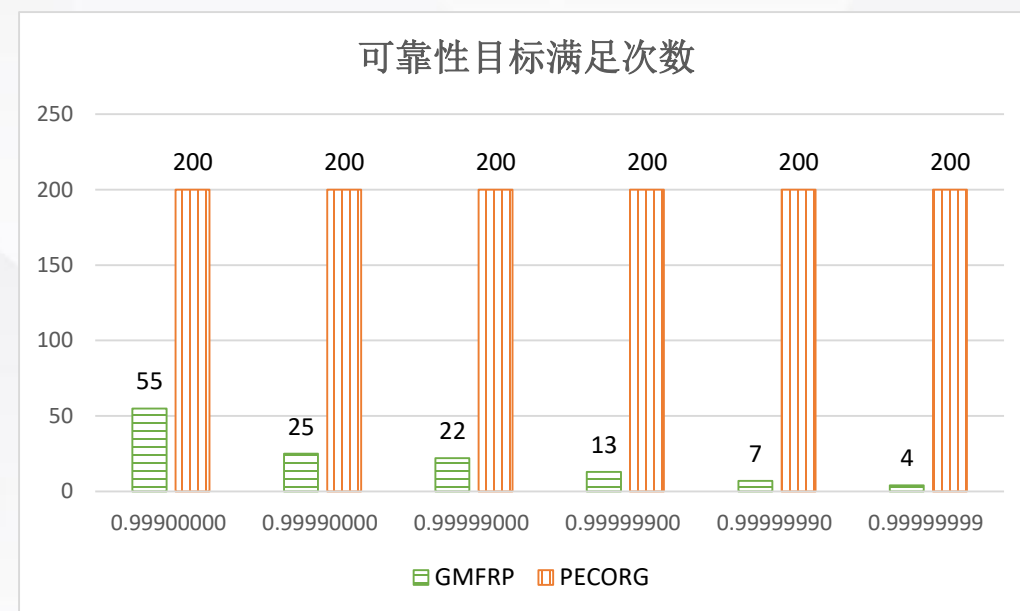


算法

分析已有算法不足，并提出本文设计的AGMFRP算法。

真实汽车应用试验结果

- 本节采用跟上章一样的具有32个任务的真实汽车应用来进行试验。试验的参数范围：。处理器个数为16个。通过随机生成在上述范围内的不同参数，重复试验200次。统计两个算法可以满足可靠性目标的次数，所得试验结果如图5.2所示。
- 从图5.2中可以看出，本文提出的PECORG算法当可靠性达到0.9999999时仍然能100%满足可靠性指标，而GMFRP算法随着可靠性目标提高，可满足可靠性指标的次数逐渐降低。但PECORG算法始终能满足可靠性目标。



真实汽车应用试验结果

由于GMFRP算法并不能100%满足可靠性目标，因此本文仅在GMFRP可以满足可靠性目标前提下，通过统计响应时间和能耗，计算出响应时间和能耗的平均值，得到如下结果，如表5.2所示：

由表5.2可知当应用可靠性目标小于0.9999时，本文提出的PECORG算法平均响应时间和平均能耗都比GMFRP算法小，说明本文的算法在性能和能耗上比GMFRP算法更加优秀。但是当可靠性目标大于0.9999时，PECORG算法的平均响应时间和平均能耗与GMFRP一致，无法继续优化，原因是当可靠性大于0.9999时，没有任何处理器的可靠性可以直接满足任务可靠性目标。

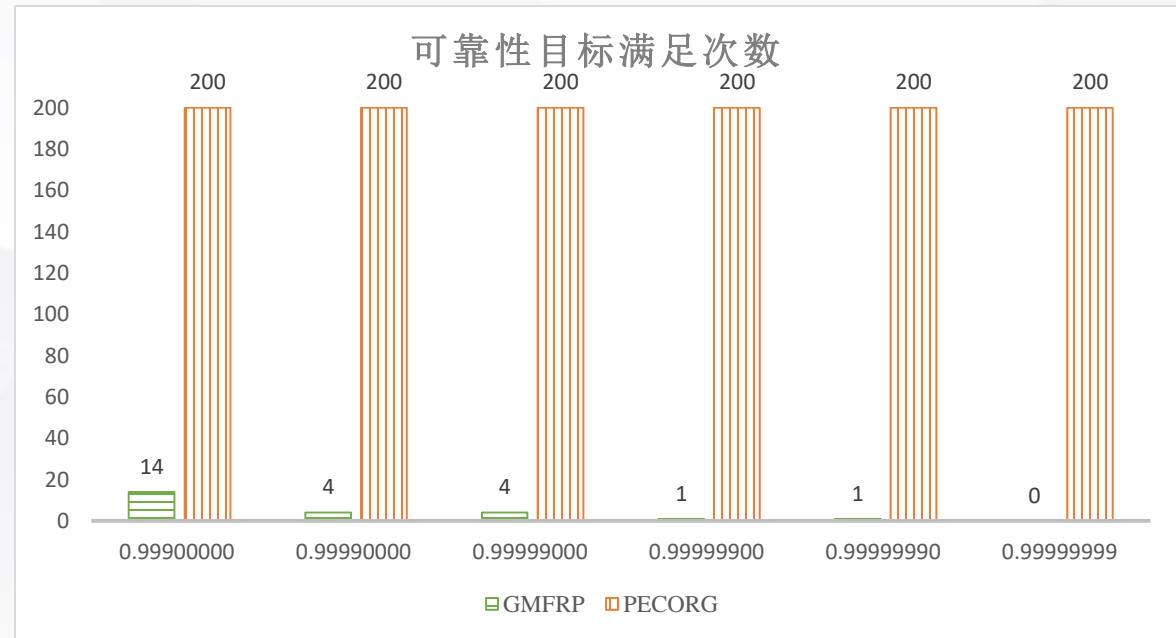
表5.2 真实汽车应用实验响应时间和能耗结果

可靠性目标	算法	GMFRP	PECORG
0.98	平均响应时间	8134	7932
	平均能耗	9326	9162
0.99	平均响应时间	11458	11447
	平均能耗	11567	11567
0.999	平均响应时间	8134	7932
	平均能耗	9326	9162
0.9999	平均响应时间	11458	11447
	平均能耗	11567	11567

随机生成应用试验结果

由于未来汽车电子系统将日益复杂，本节采用更加复杂的随机生成的应用来进行试验，任务个数设定为500个，处理器个数设定为32个，任务之间的关系和处理器参数都在参数范围内随机生成。本次试验参数范围：

从图5.3中可以看出，与上个汽车真实应用试验相比，在相同可靠性目标前提下，GMFRP算法满足可靠性目标次数明显减少，原因是随机应用试验的任务个数更多，应用更复杂。本文提出的PECORG算法当可靠性达到0.999999时仍然能100%满足可靠性指标，而GMFRP算法随着可靠性目标提高，可满足可靠性目标的次数逐渐降低。当可靠性目标达到0.99999999时，GMFRP始终不能满足可靠性目标。



随机应用试验结果

- 本次试验同样仅在GMFRP可以满足可靠性目标前提下，通过统计响应时间和能耗，计算出响应时间和能耗的平均值。由表5.3可知，尽管应用的复杂度上升，当应用可靠性目标小于0.9999时，本文提出的PECORG算法平均响应时间和平均能耗仍然都比GMFRP算法小，说明本文的算法在性能和能耗上比GMFRP算法更加优秀。同真实汽车应用实验，当可靠性目标大于0.9999时，PECORG算法的平均响应时间和平均能耗与GMFRP一致，无法继续优化，原因是当可靠性大于0.9999时，没有任何处理器的可靠性可以直接满足任务可靠性目标。

表5.3 真实汽车应用实验响应时间和能耗结果

可靠性目标	算法	平均响应时间	平均能耗
0.98	GMFRP	29111	6422
	PECORG	28872	4570
0.99	GMFRP	31749	6380
	PECORG	31630	5403
0.999	GMFRP	34249	6634
	PECORG	34187	6542
0.999	GMFRP	34650	6619
	PECORG	34650	6619

攻读硕士学位期间发表的学术论文

- Wenchao Zou, Renfa Li, Wufei Wu, Lining Zeng. Hardware cost and energy consumption for safety-critical Applications on Heterogeneous Distributed Systems. In: Proc of 2018 IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2018:527-536. (CCF C).
- 邹文超, 李仁发, 吴武飞. 适应于自动驾驶的计算结构及其平台综述[J], 计算机工程与科学, 2019, 41(3):130-137.

攻读硕士学位期间参与的项目

- 国家自然科学基金 [61672217]: 新一代汽车嵌入式系统功能安全的建模与算法研究.
- 湖南航天捷诚电子装备有限责任公司: 基于AI的雷达自动目标识别系统, 2018-2019.

THANKS!

研究生的生活即将结束，在此，我要感谢所有教导我的老师和陪伴我一齐成长的同学，他们在我的大学生涯给予了很大的帮助。本论文能够顺利完成，要特别感谢我的导师李仁发老师，老师对该论文从选题，构思到最后定稿的各个环节给予细心指引与教导，使我得以最终完成毕业论文设计！

最后，我要向百忙之中抽时间对本文进行审阅，评议和参与本人论文答辩的各位老师表示感谢！

恳请各位老师批评指正！