



湖南大学

HUNAN UNIVERSITY

2018届硕士研究生毕业答辩

能量感知的ACPS调度研究

答辩人：宋金林

导 师：李仁发教授

时 间：2018年5月20日

Key Laboratory for Embedded and Network Computing of Hunan Province



目录



湖南大學
HUNAN UNIVERSITY

1

研究背景

2

主要工作

3

总 结



研究背景

简单电子系统



油气汽车

分布式功能应用
异构化、网络

能量约束下的实时性
与可靠性调度问题

绿色环保需求

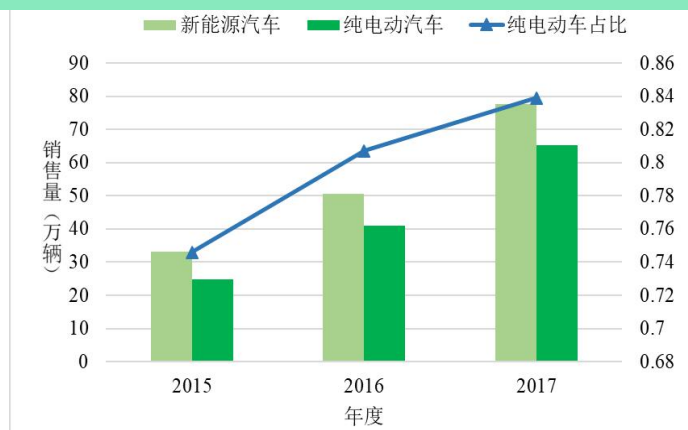
复杂的ACPS

Automotive Cyber Physical
Systems

从分布式计算
角度研究DAG
调度问题

纯电动汽车

能量资源将成为ACPS设计的一个瓶颈



近几年我国新能源汽车销售情况

基本概念及模型

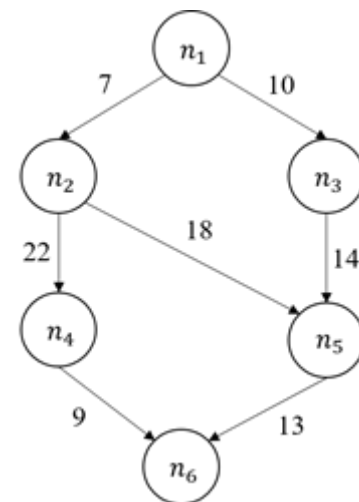


ACPS: 异构分布式嵌入式系统。

能量感知 (Energy-aware): ACPS是一个能量感知系统
调度算法考虑能量限制

功能应用模型: 抽象成有向无环图 (DAG)。

- ◆ 一个应用包含多个任务
- ◆ 结点 表示任务
- ◆ 边 表示任务之间的通信
- ◆ 任务之间具有约束关系 (n_2, n_3 执行完才能执行 n_5)



简单的DAG示例

能量模型: $P(f) = P_s + h(P_{\text{ind}} + P_d) = P_s + h(P_{\text{ind}} + C_{\text{ef}} f^m)$.

可靠性模型: $R(n_i) = e^{-\lambda t}$, $\lambda_{k,v} = \lambda_{k,\text{max}} 10^{\frac{d(f_{k,\text{max}} - f_{k,v})}{f_{k,\text{max}} - f_{k,\text{min}}}}$.

1. Chakraborty S, Faruque M A A, Chang W, et al. Automotive Cyber-Physical Systems: A Tutorial Introduction. IEEE Design & Test, 2016, 33(4): 92-108
2. Zhao B, Aydin H, Zhu D. On Maximizing Reliability of Real-Time Embedded Applications Under Hard Energy Constraint. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2010, 6(3):316-328



目录



1

研究背景

2

主要工作

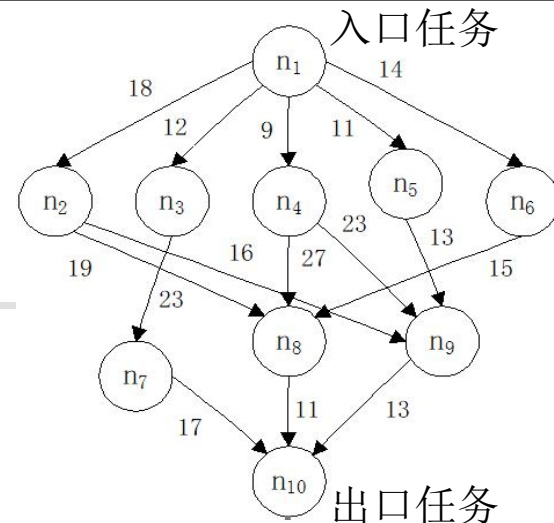
能量约束下调度长度优化

能量约束下可靠性优化

3

总 结

能量约束下调度长度优化



◆ 问题描述

DAG应用 G 在满足能量约束条件下，求应用的最小调度长度。

Minimize: $SL(G) = AFT(n_{\text{exit}})$ 出口任务的实际结束时间 (AFT)

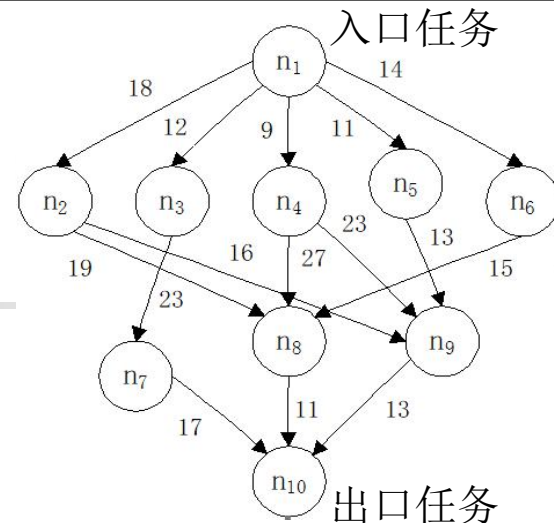
Subject to: $E(G) = \sum_{i=1}^{|N|} E(n_i) \leq E_{\text{given}}(G)$ 给定的能量限制

满足能量约束



调度长度最小化

能量约束下调度长度优化



◆ 满足能量约束

入口任务（高优先级）

出口任务（低优先级）

$\{n_{s(1)}, n_{s(2)}, \dots, n_{s(j-1)}\}$

已分配

$n_{s(j)}$

正在分配

$\{n_{s(j+1)}, n_{s(j+2)}, \dots, n_{s(|N|)}\}$

未分配

进行预分配

剩余
平均

满足任务可调度性剩余可用能量

剩余可用能量平均分配

实际预分配值

$$E_{\text{pre}}(n_i) = \min \{E_{\text{aa}}(n_i), E_{\text{max}}(n_i)\}$$



能量约束下调度长度优化

◆ 满足能量约束

入口任务（高优先级）

出口任务（低优先级）

$\{n_s(1), n_s(2), \dots, n_s(j-1)\}$ $n_s(j)$ $\{n_s(j+1), n_s(j+2), \dots, n_s(|N|)\}$

已分配

正在分配

未分配

$$E(G) = \sum_{x=1}^{j-1} E(n_s(x)) + E(n_s(j)) + \sum_{y=j+1}^{|N|} E_{\text{pre}}(n_s(y)) \leq E_{\text{given}}(G)$$

应用的能量约束转化成当前任务的能量约束

$$E(n_s(j)) \leq E_{\text{given}}(G) - \sum_{x=1}^{j-1} E(n_s(x)) - \sum_{y=j+1}^{|N|} E_{\text{pre}}(n_s(y))$$

能量约束下调度长度优化



◆ 调度长度最小化

任务的能量约束 \longrightarrow 确定了任务可选的处理器频率范围

计算任务的最早结束时间 EFT : 等于最早开始时间 EST +执行时间 w

$$EFT(n_i, u_k, f_{k,h}) = EST(n_i, u_k, f_{k,h}) + w_{i,k,h}$$

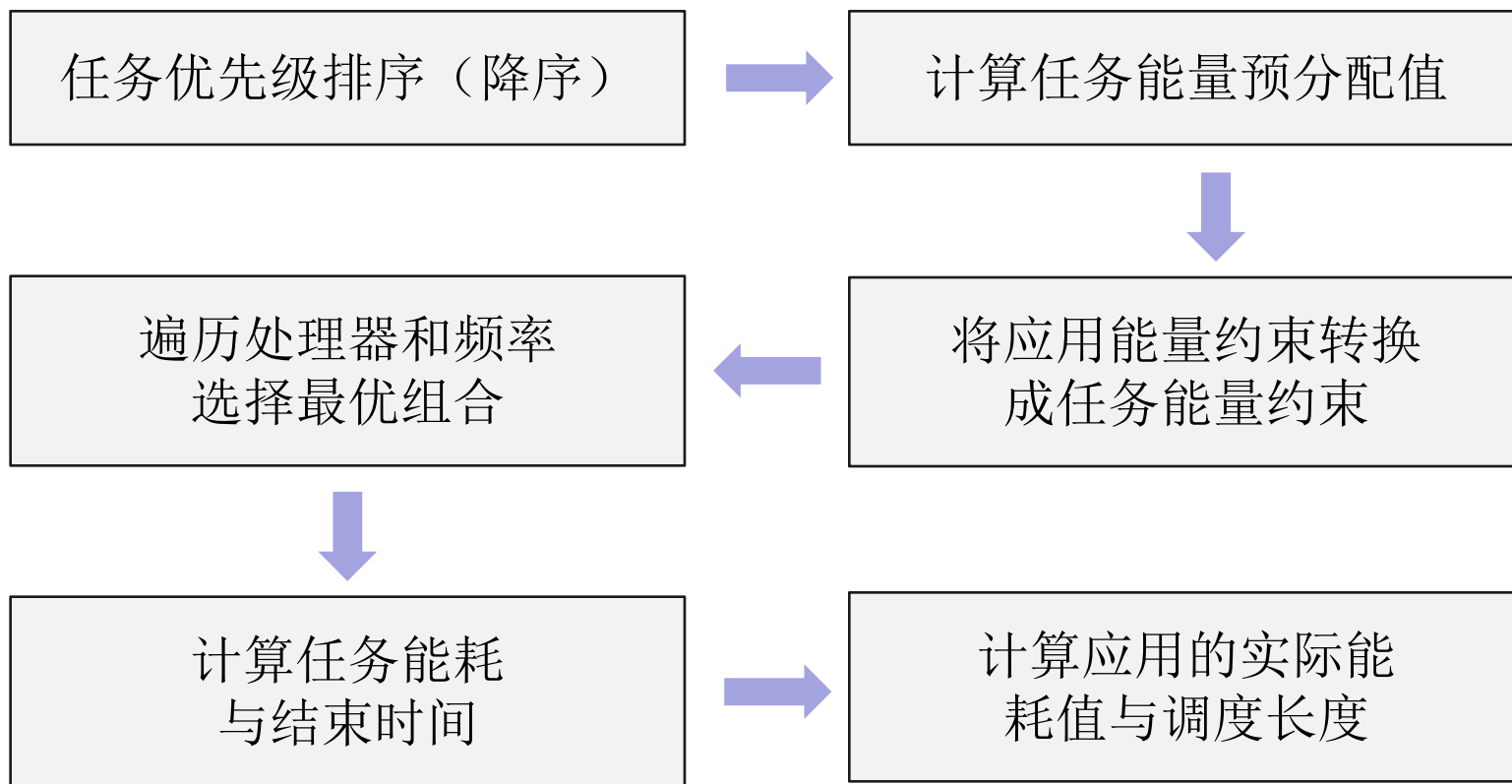
$$\left\{ \begin{array}{l} EST(n_{\text{entry}}, u_k, f_{k,h}) = 0 \\ EST(n_i, u_k, f_{k,h}) = \max \left\{ \text{avail}[k], \max_{n_x \in \text{pred}(n_i)} \{ AFT(n_x) + c'_{x,i} \} \right\} \end{array} \right.$$

求解任务的最早结束时间采用了局部优化的思想。



能量约束下调度长度优化

◆ 算法过程



能量约束下调度长度优化



湖南大学
HUNAN UNIVERSITY

◆ 实验验证

实验类型：不同能量约束下的实验、不同应用规模下的实验

应用模型：快速傅里叶变换应用（FFT）、高斯消元应用（GE）

对比算法：

- ① HEFT：异构最早结束时间算法（经典，但未考虑能量因素）
- ② MSLECC：能量约束下调度长度优化最新研究
- ③ ESECC：本文算法

评价指标：应用调度长度

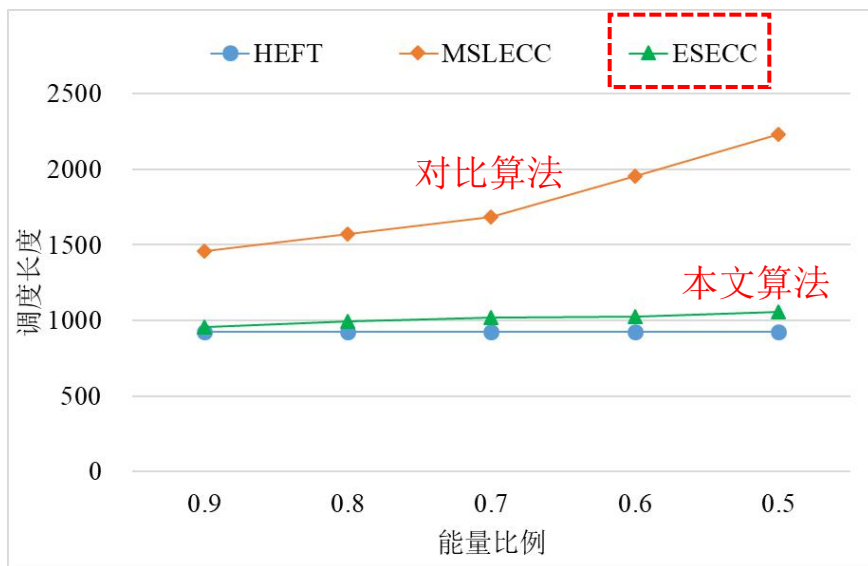


能量约束下调度长度优化

◆ 不同能量约束下的实验结果

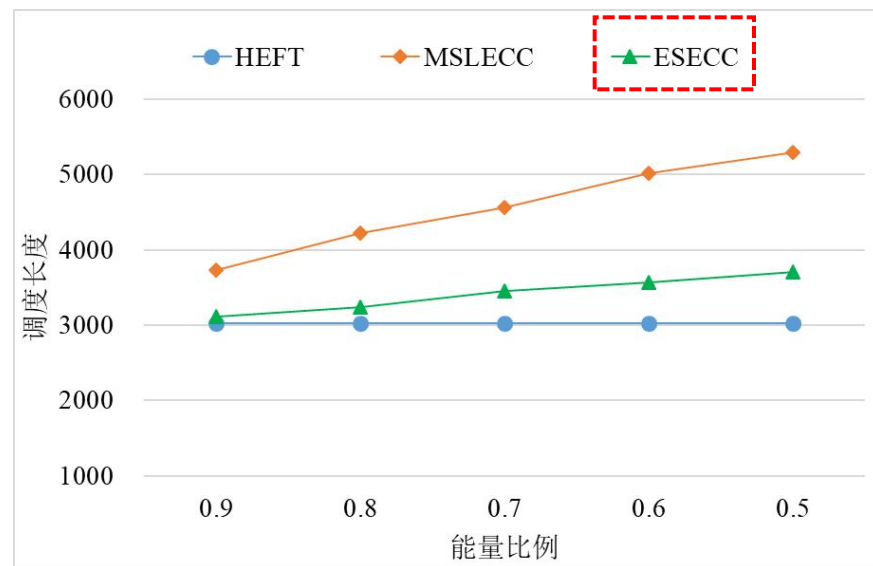
能量约束: $E_{\text{HEFT}}(G) \times 0.5 \sim E_{\text{HEFT}}(G) \times 0.9$

降低 34.7%~52.8%



FFT应用

降低 16.6%~30%



GE应用

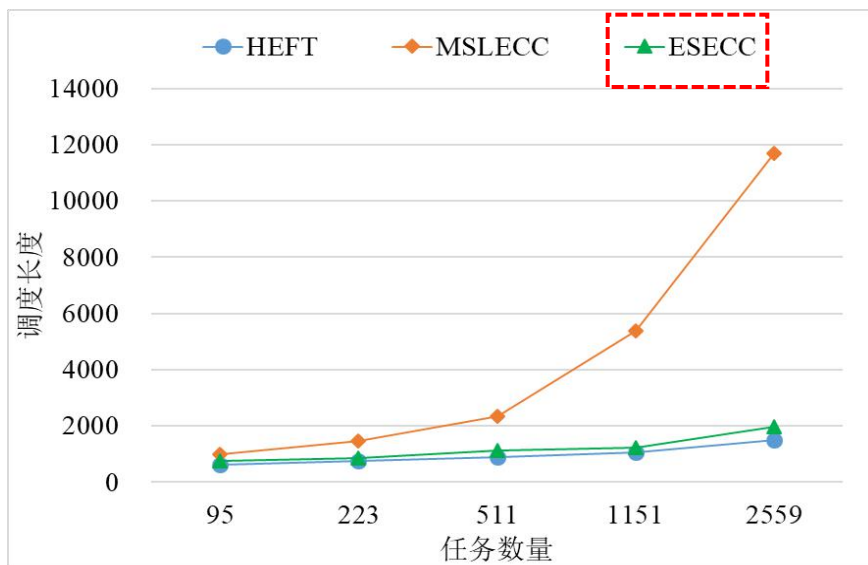


能量约束下调度长度优化

◆ 不同应用规模下的实验结果

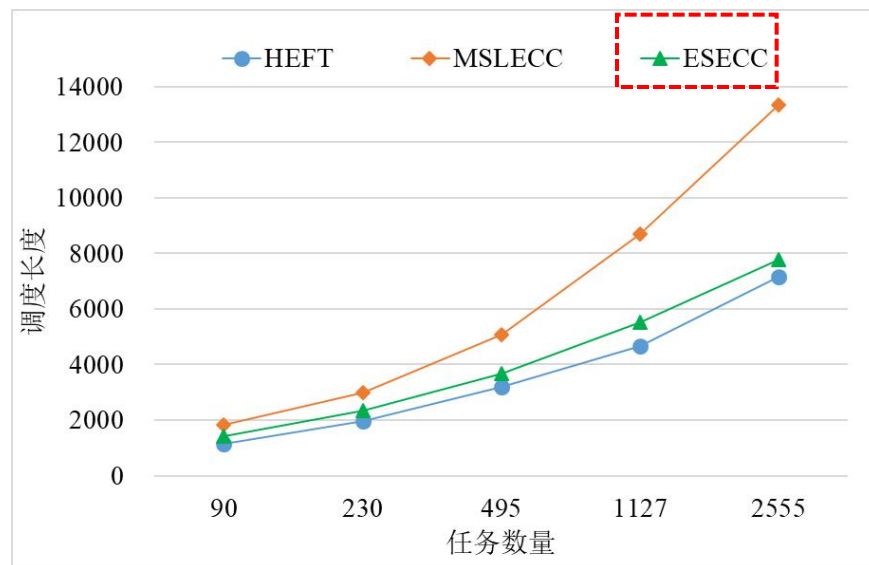
能量约束: $E_{\text{HEFT}}(G) \times 0.5$

降低 26.3%~83.2%



FFT应用

降低 21.1%~41.6%



GE应用



目录



1

研究背景

2

主要工作

能量约束下调度长度优化

能量约束下可靠性优化

3

总 结



能量约束下可靠性优化

◆ 问题描述

DAG应用在满足能量约束条件下，求应用的最大可靠性，同时应用响应时间不能超过截止时间。

Maximize: $R(G) = \prod_{n_i \in N} R(n_i)$ 应用可靠性为所有任务可靠性乘积

Subject to: $E(G) = \sum_{i=1}^{|N|} E(n_i) \leq E_{\text{given}}(G)$

and $RT(G) \leq D(G)$ 响应时间不能超过截止时间

满足能量约束



截止时间松弛



可靠性最大化



能量约束下可靠性优化

◆ 满足能量约束

出口任务

入口任务

$\{n_{s(1)}, n_{s(2)}, \dots, n_{s(j-1)}\}$ $n_{s(j)}$ $\{n_{s(j+1)}, n_{s(j+2)}, \dots, n_{s(|N|)}\}$

已分配

正在分配

未分配

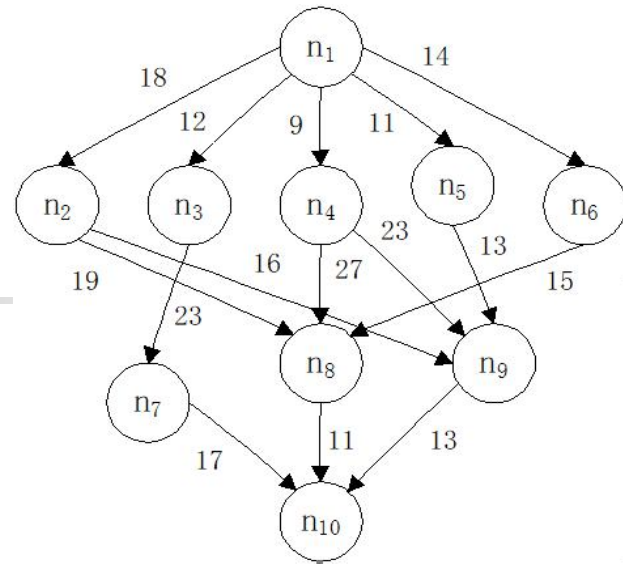
$$E(G) = \sum_{x=1}^{j-1} E_{\text{REREC}}(n_{s(x)}) + E(n_{s(j)}) + \sum_{y=j+1}^{|N|} E_{\text{ESECC}}(n_{s(y)}) \leq E_{\text{given}}(G)$$

上一章调度结果
作为预分配值

应用的能量约束转化成当前任务的能量约束

$$E(n_{s(j)}) \leq E_{\text{given}}(G) - \sum_{x=1}^{j-1} E_{\text{REREC}}(n_{s(x)}) - \sum_{y=j+1}^{|N|} E_{\text{ESECC}}(n_{s(y)})$$

能量约束下可靠性优化



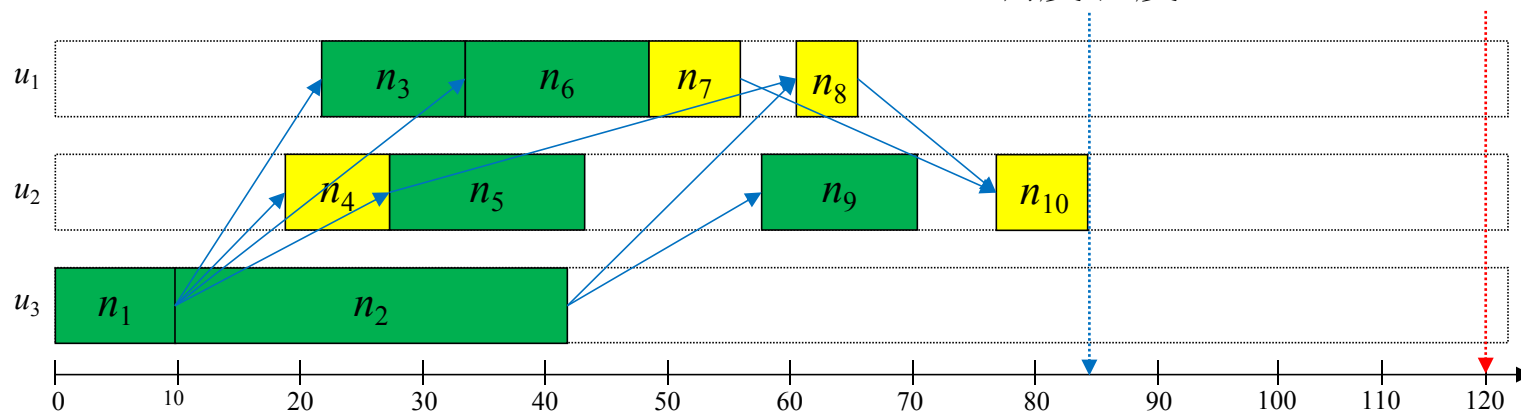
◆ 截止时间松弛

从出口任务到入口任务，计算每个任务可执行时间区间。

箭头表示任务间的通信

调度长度

截止时间



最早开始时间

$$\begin{cases} EST(n_{10}, u_1) = 83.799 \\ EST(n_{10}, u_2) = 77.033 \\ EST(n_{10}, u_3) = 83.799 \end{cases}$$

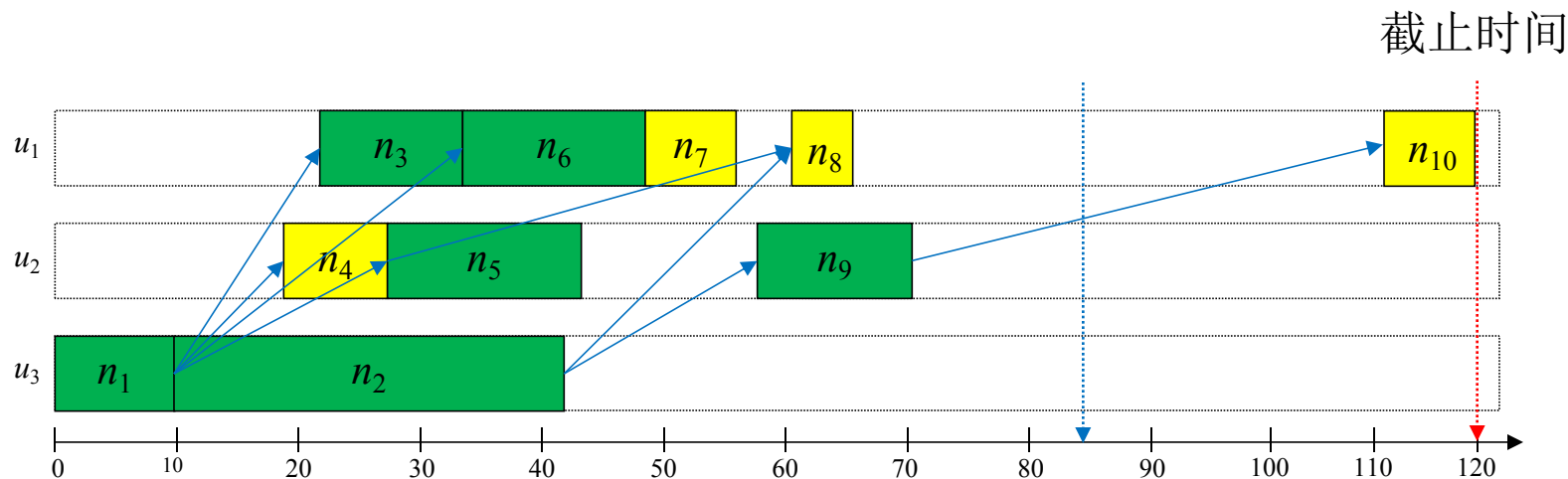
最迟结束时间

$$\begin{cases} LFT(n_{10}, u_1) = 120 \\ LFT(n_{10}, u_2) = 120 \\ LFT(n_{10}, u_3) = 120 \end{cases}$$

◆ 可靠性最大化

在能量约束，以及 EST 和 LFT 之间，选择能使任务可靠性值最大的处理器。

(任务在不同处理器、不同执行频率下的可靠性不同)

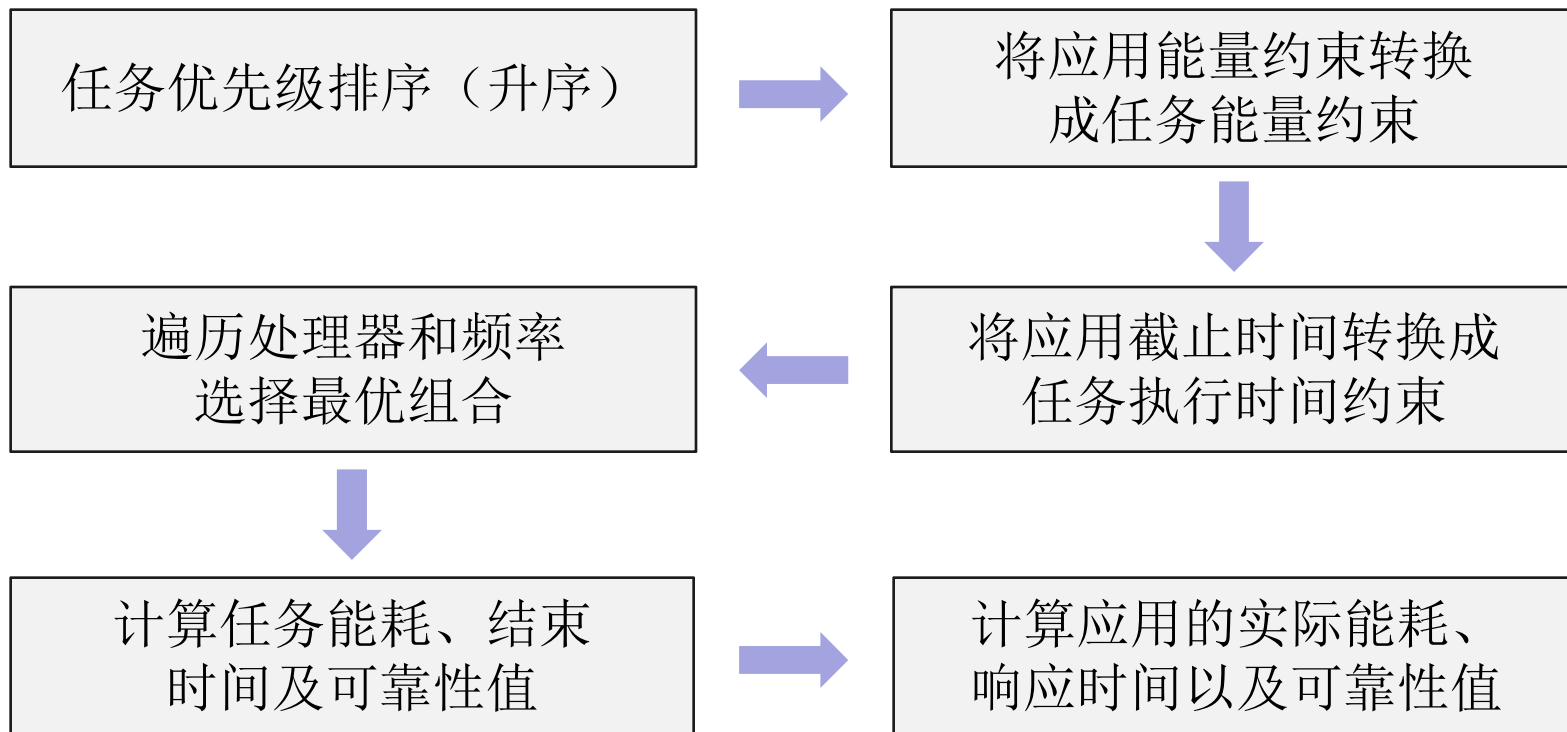


任务10在 u_1 上可获得比 u_2 上更高的可靠性值



能量约束下可靠性优化

◆ 算法过程



能量约束下可靠性优化



湖南大学
HUNAN UNIVERSITY

◆ 实验验证

实验类型：不同能量约束下的实验、不同应用规模下的实验

应用模型：真实汽车功能应用、随机生成的功能应用（DAG生成器）

对比算法：

- ① HEFT：异构最早结束时间算法（经典，但未考虑能量因素）
- ② MRRR：时间约束下可靠性优化最新研究
- ③ MREC：能量约束下可靠性优化最新研究
- ④ ESECC：上一章算法
- ⑤ REREC：本章算法

评价指标：应用能耗、响应时间以及可靠性



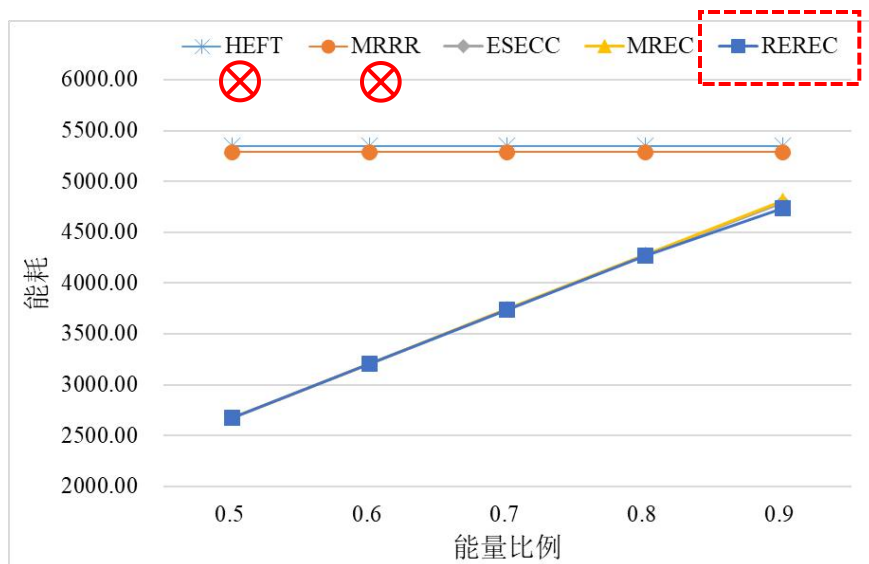
能量约束下可靠性优化

◆ 真实汽车功能

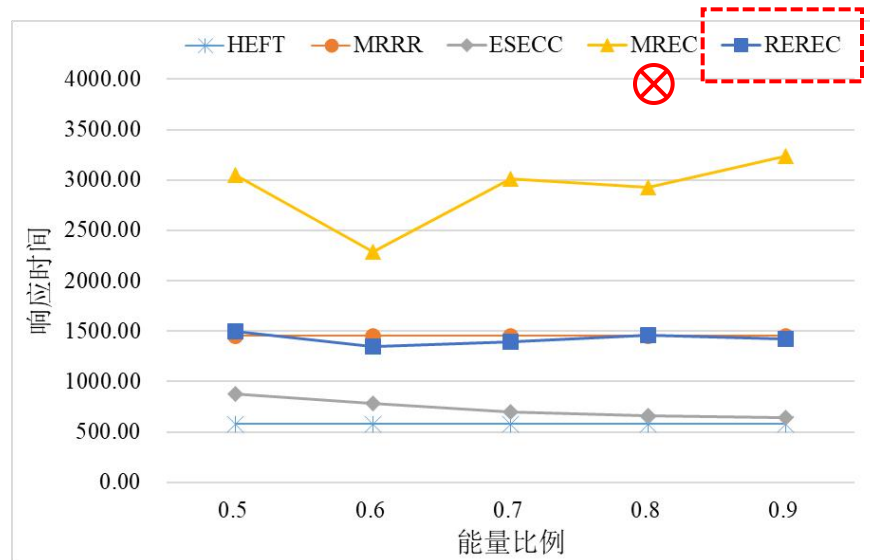
能量约束: $E_{\text{HEFT}}(G) \times 0.5 \sim E_{\text{HEFT}}(G) \times 0.9$

截止时间: 1500us

MRRR不满足能量约束
MREC不满足时间约束



能耗对比



响应时间对比

能量约束下可靠性优化

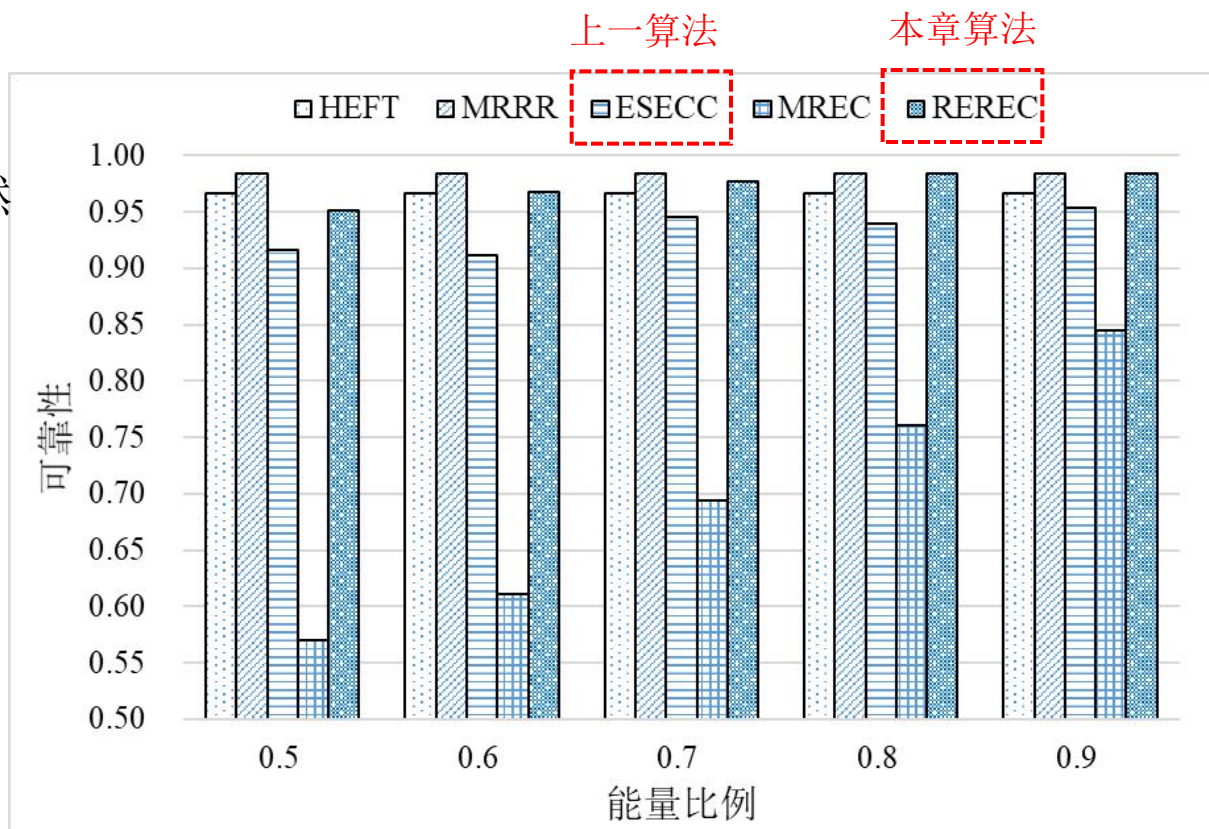


◆ 真实汽车功能

REREC在同时满足能量约束以及截止时间需求下，可靠性仍然非常高。

- 1) ESECC (3.2%~3.8%)
- 2) MREC (16.4%~66.8%)

和MRRR, HEFT很接近，但这两算法不满足能量约束



可靠性对比



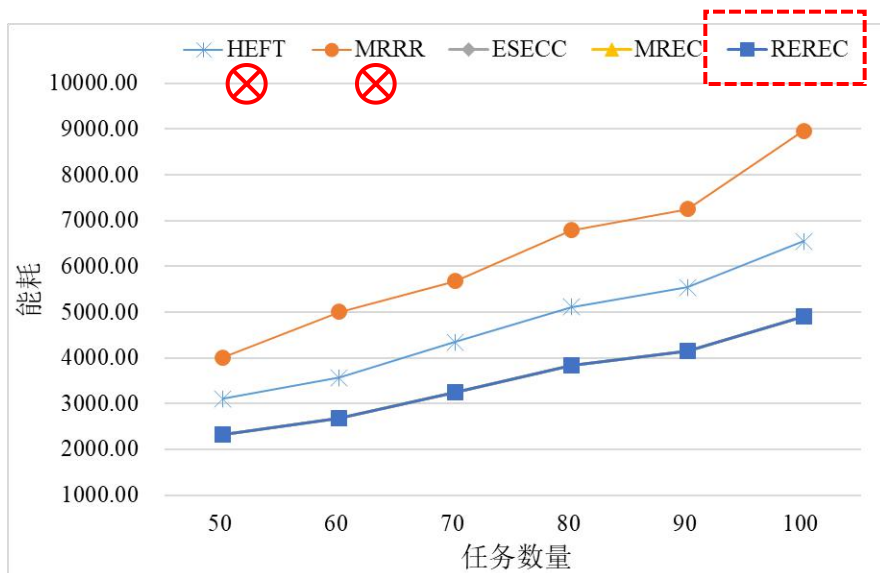
能量约束下可靠性优化

◆ 随机生成功能

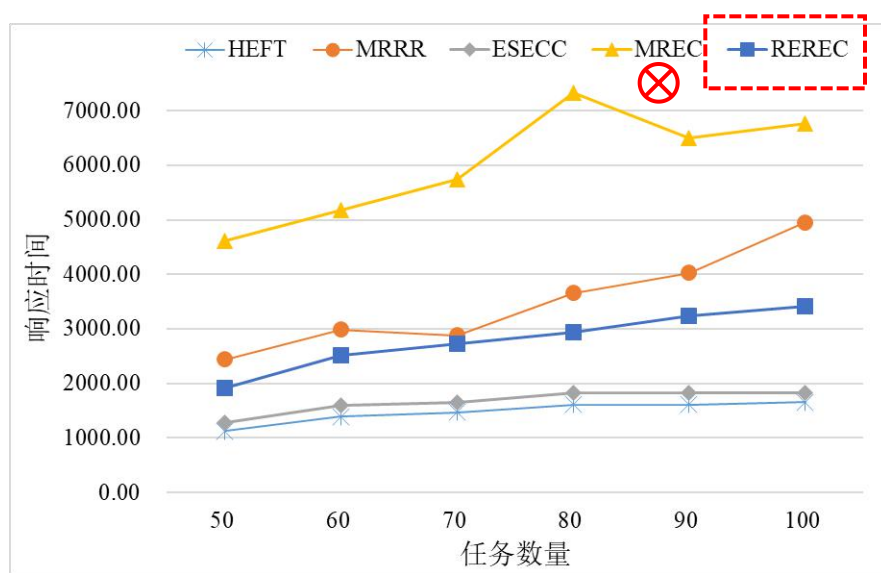
能量约束: $E_{HEFT}(G) \times 0.75$

截止时间: 2500us~5000us

MRRR不满足能量约束
MREC不满足时间约束



能耗对比



响应时间对比

能量约束下可靠性优化

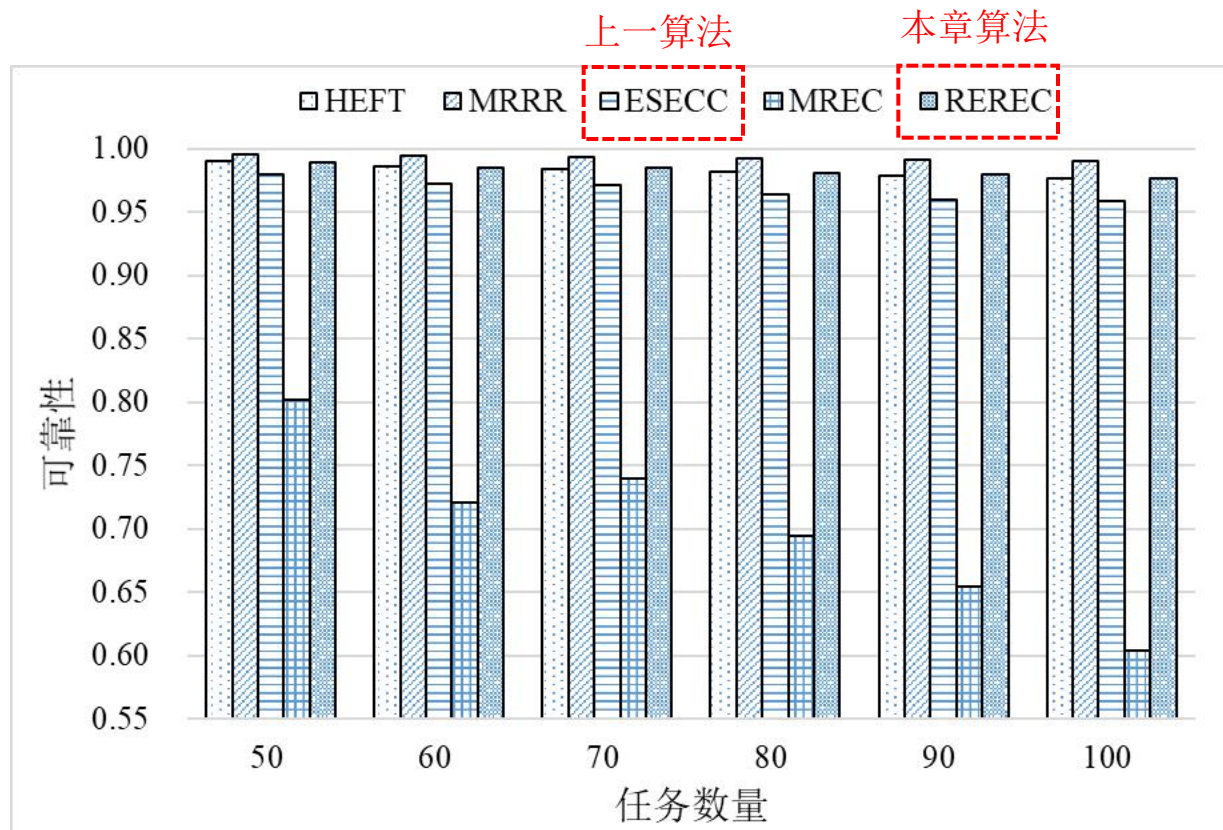


◆ 随机生成功能

结论类似:

- 1) ESECC (1.0%~2.1%)
- 2) MREC (23.3%~61.8%)

原因: MREC采用贪心策略, 高优先级分配较多能量, 低优先级任务以最低频率执行, 严重影响应用可靠性以及响应时间。



可靠性对比



目录



湖南大学
HUNAN UNIVERSITY

1

研究背景

2

主要工作

3

总 结



总结



工作：

本文针对ACPS中能量有限情况，研究以DAG为模型的功能应用的实时性与可靠性，提出两个算法：

- 1、能量约束下应用调度长度最小化算法
- 2、能量约束下应用可靠性最大化算法

大量实验结果显示本文算法相比最新研究有显著提升。

展望：

- 1、考虑任务复制的能耗优化研究
- 2、能量约束下多功能调度分析
- 3、复杂网络体系结构的WCRT分析
- 4、ACPS网络信息安全研究



- Jinlin Song, Guoqi Xie, Renfa Li, Xiaoming Chen. An Efficient Scheduling Algorithm for Energy Consumption Constrained Parallel Applications on Heterogeneous Distributed Systems. In: Proc of 2017 IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications (ISPA), 2017:32-39. (CCF C类, 已收录).
- Guoqi Xie, Hao Peng, Zhetao Li, Jinlin Song, Yong Xie, Renfa Li, Keqin Li. Reliability Enhancement Towards Functional Safety Goal Assurance in Energy-Aware Automotive Cyber-Physical Systems. IEEE Transactions on Industrial Informatics. (Under Review).



致谢



湖南大学
HUNAN UNIVERSITY

谢谢各位老师的聆听，
恳请批评指正！