

车用FlexRay-CAN网关协议分析与设计

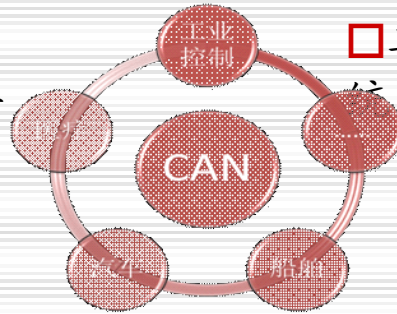
报告人：阮华斌

导 师：李仁发 教授
曾庆光 教授

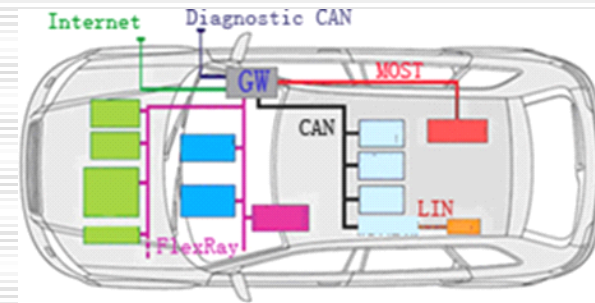


湖南大学 HUNAN UNIVERSITY 背景意义

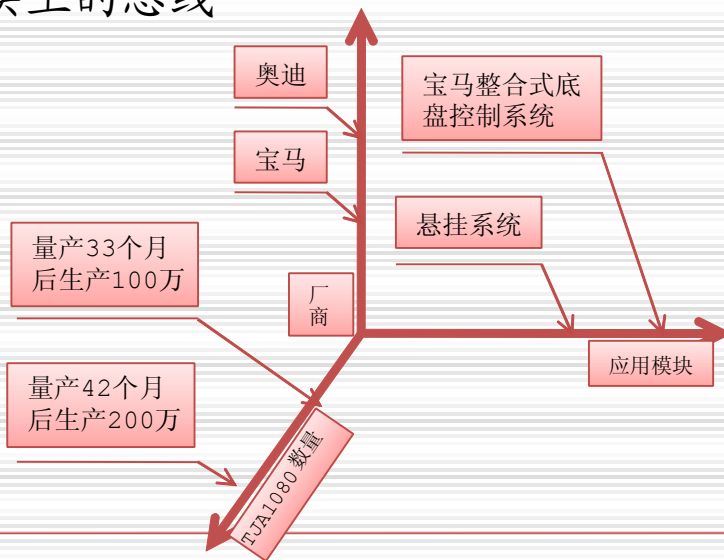
□ CAN总线被应用到多个领域中，是当前应用最广泛的总线。



□ 单一总线架构不适应车载电子系统，多总线架构成为必然选择。



□ FlexRay独具高速、高灵活性等优越性，越来越受关注，被认为是将来事实上的总线



□ FlexRay、CAN总线将在汽车中并存，两者在多方面的差异很大。

项	CAN	FlexRay
波特率	1Mbit/s	10Mbit/s
通信方式	事件触发	时间触发、事件触发
ID位数	11/29bit	11bit
数据长度	8字节	254字节
时钟同步	特syn_seg段	周期同步、相位同步
.....



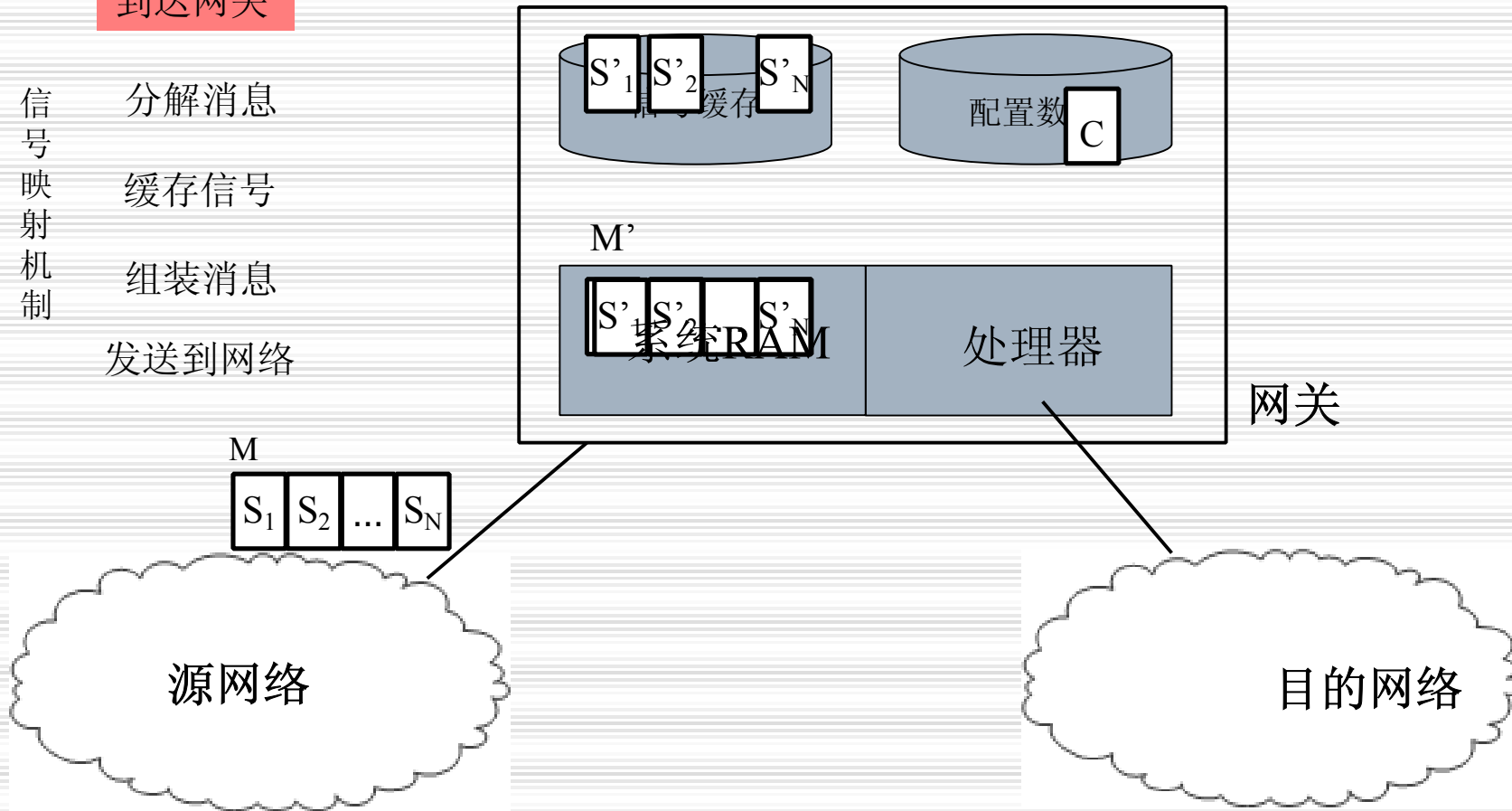
湖南大学 HUNAN UNIVERSITY

消息转发过程

到达网关

信号映射机制

- 分解消息
- 缓存信号
- 组装消息
- 发送到网络





研究内容(1/3)—消息组装方法

□ 基于概率的消息组装方法

- 信号具有连续性、信号值改变 具有随机性
- 信号类型：
 - 周期性信号：实时性强
 - 到达率有限型信号：实时性较强
 - 尽力转发型：软实时性或非实时性
- 总线带宽有限、电磁环境复杂
- 本文方法：周期性信号值不变时信号不发送，相应带宽用来传输尽力转发型信号，需要该周期性信号的结点从本地缓存中读取。



研究内容(1/3) — 消息组装方法

□ 方法思想:

- 按信号的发送概率降序排序
- 每次从队头开始获取没有被组装的合适信号组装到新消息中。得到消息集M。
 - 消息大小小于最大值
 - 信号实时性满足
- 使用启发式方法优化信息集M以得到一个较优组装方案。
 - 当新方案的带宽空闲率较高时，接受新方案。
 - 否则以一定的概率接受新方案。
 - 运行过程中带宽空闲率最大的方案为最终组装方案。



研究内容(1/3) — 消息组装方法

□ 消息集使用NETCARBENCH产生

- 消息周期: {10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000}
- 消息大小: {18, 28, 50, 100, 150, 200, 250, 80, 180, 160}
- 消息截止时间: 随机产生

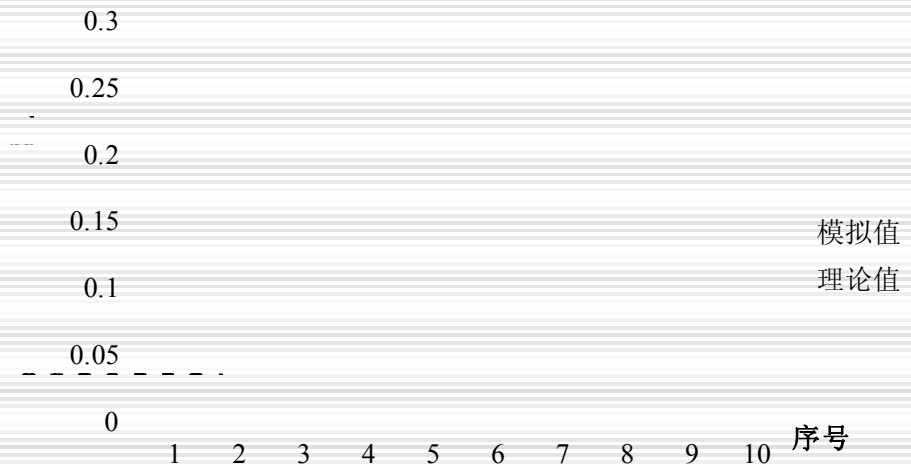
数量级:

理论值: 10^{-1}

模拟值: 10^{-2}

原因:

与随机数的产生函数有关





研究内容(2/3) — 消息组装方法

- 一种优化信号带宽利用率的`消息组装方法`
- 由于：
 - 信号周期不整齐
 - 消息周期一般是信号周期的最小值
 - 低频信号可能在高频消息中
- 从而：
 - 低频信号比特位利用率低
- 现有解决方法：
 - 首先按周期降序排序信号
 - 然后分别从队列两端开始取信号组装成新消息
 - 缺点：不一定避免低频信号在高频消息 中



研究内容(2/3) — 消息组装方法

对象	S1	S2	S3	M1	M2
大小	0.5	0.5	0.5	1.5	1.0
周期	2	4	8	2	4

图 A

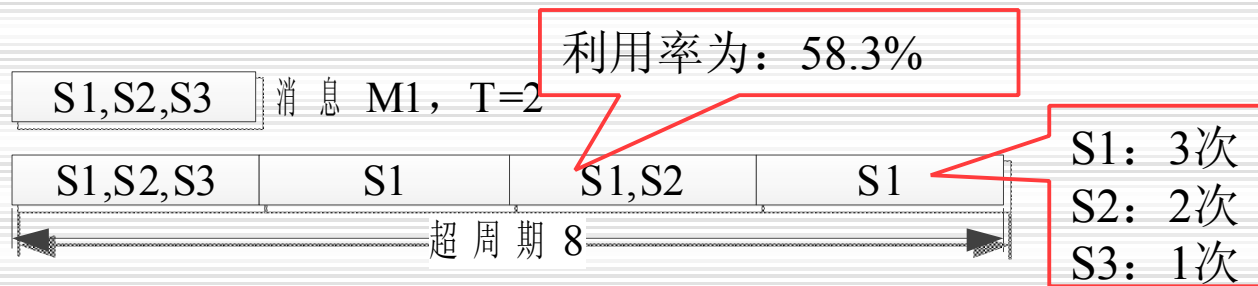
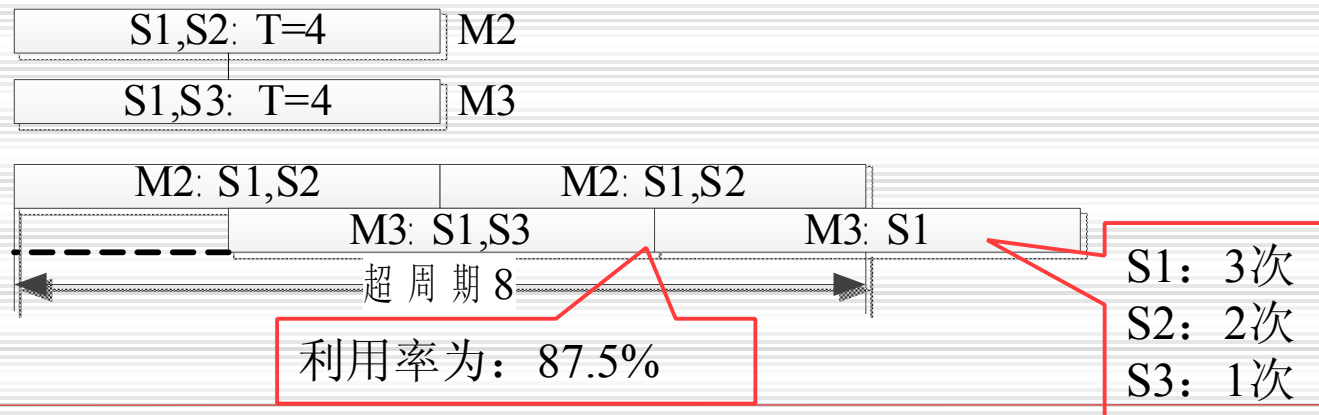


图 B





研究内容(2/3) — 消息组装方法

□ 方法思想:

- 把周期相同信号组装到同一个消息
- 把消息大小大于SM（最大值）的消息拆分成小消息。
- 按周期进行排序，从队列中获取消息组装成新消息。
 - 当相邻两个消息的周期相差过大时把周期较小的消息组装到多个周期较大的消息中。
- 把偏移及周期相同的消息合并成一个大消息。
 - 大小应该小于SM。
 - 消息的实时性满足。



湖南大学

HUNAN UNIVERSITY

研究内容(2/3) — 消息组装方法

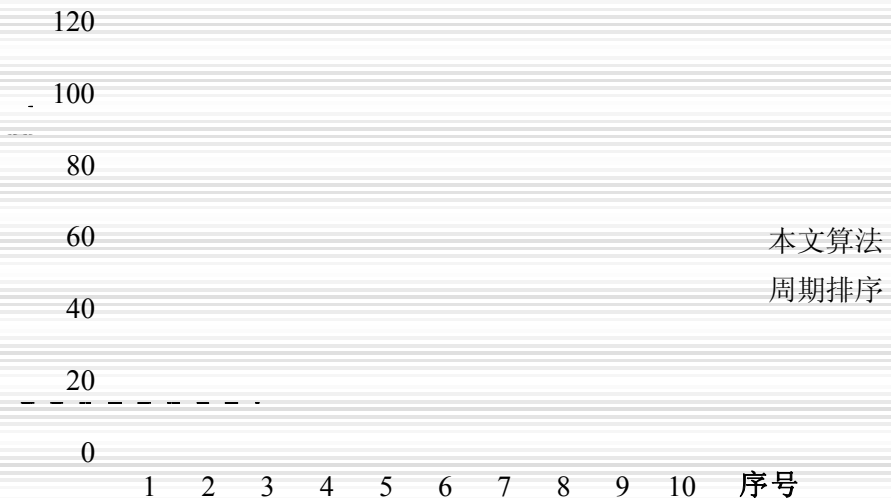
信号周期: {10, 20, 40, 80, 160, 320, 640}

信号大小: {18, 28, 50, 100, 150, 200, 250, 80, 180, 160}

信号截止时间: 随机产生的。

消息集: 使用NETCARBENCH生成

优化幅度: 10%-20%





研究内容—理论分析

□ 通信周期:

- 系统中通信周期一般远小于任意消息的周期,
- 通信周期 T_C , 满足:

$$T_C \leq \min\{T_i\} \quad \text{且} \quad T_C \leq \frac{\max\{T_i\}}{n}$$

□ 消息周期:

- 当单个信号组装到单个消息时, 消息周期 T_M 满足:

$$\begin{cases} \frac{\min\{T_i\}}{n} \leq T_M \leq \min\{T_i\} \\ R_{\max_i} = T_M - \gcd(T_M, T_i) \end{cases}$$

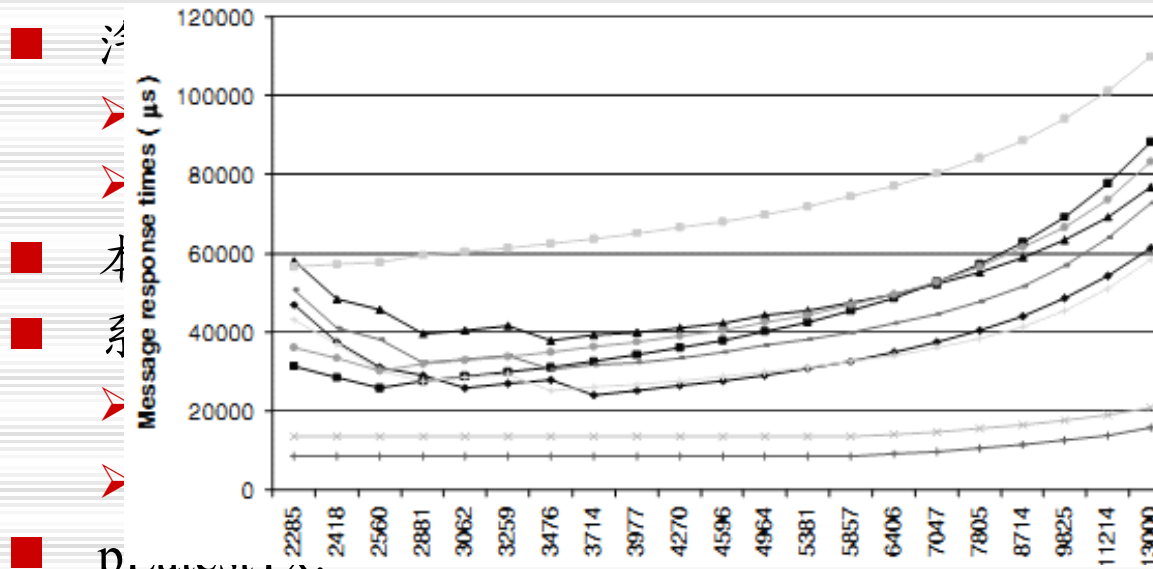


研究内容(3/3)—FlexRay网络优化方法

FlexRay网络优化方法

FlexRay通信周期有限性。

过大、过小都会降低动态段的可调度性。



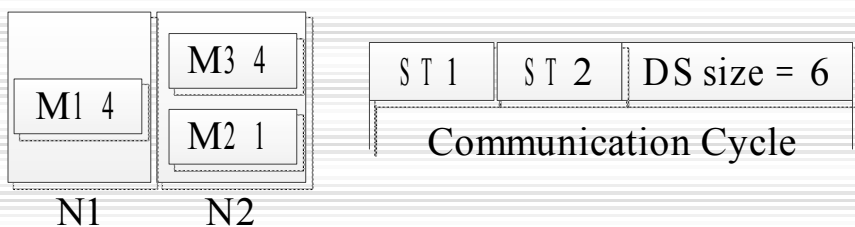
动态段可调度性。

最大值: $pLatestTx_max = DSLength - max_size$



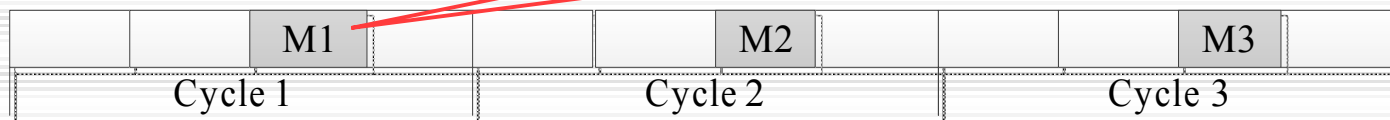
研究内容(3/3) — FlexRay网络优化方法

变量pLatestTx对动态段消息调度的影响



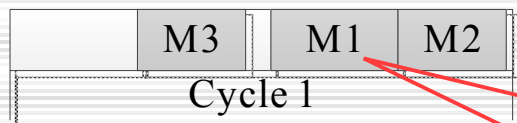
对象	M1	M2	M3	动态段 ST1	ST2
大小	4	1	4	7	4

图 A



pLatestTx = 2 M2不可传输

图 B

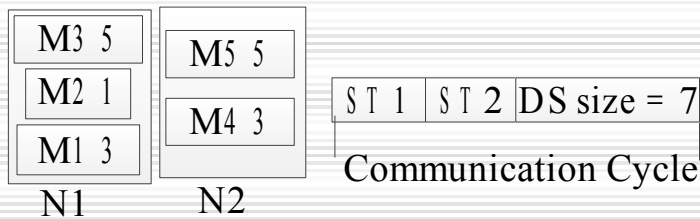


pLatestTx = 5 M2可以传输



研究内容(3/3) — FlexRay网络优化方法

消息大小对动态段消息调度的影响



对象	M1	M2	M3	M4	M5	动态段	ST1	ST2
大小	5	1	3	3	5	7	4	4

图 A

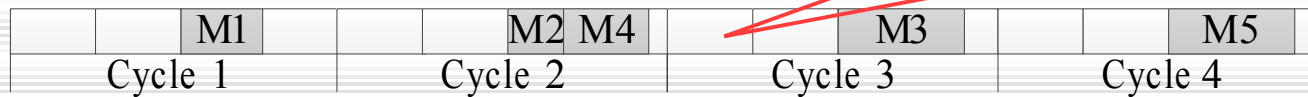


图 B

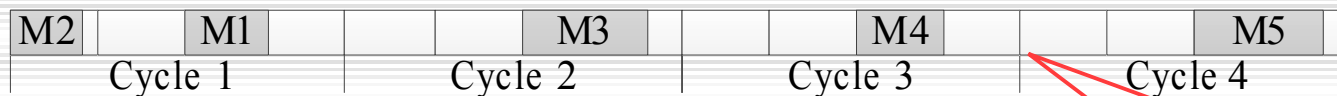
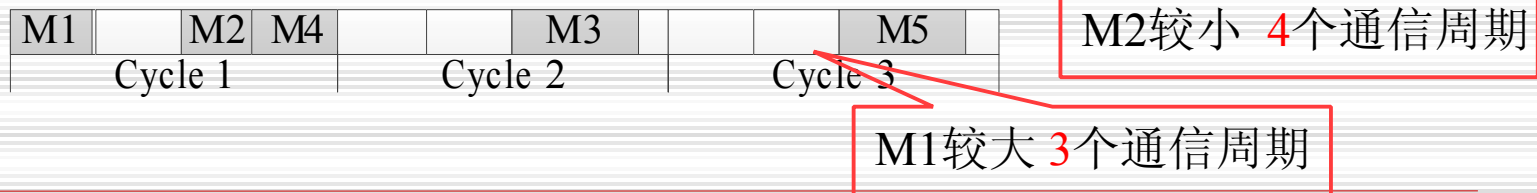


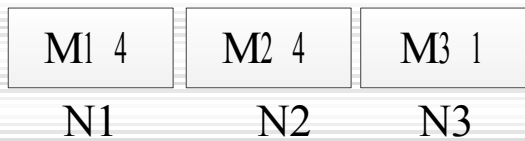
图 C





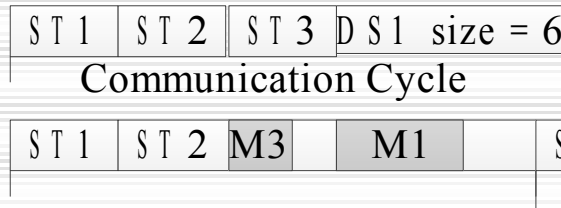
研究内容(3/3) — FlexRay网络优化方法

动态段长度对动态段消息调度的影响



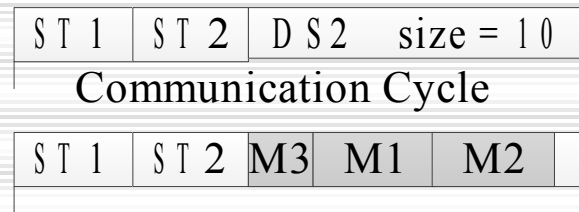
对象	M1	M2	M3	ST1	ST2	ST3	动态段 (DS1)	动态段 (DS2)
大小	4	4	1	4	4	4	6	10

图 A



动态长度为: 6 2个通信周期

图 B



动态长度为: 10 1个通信周期



研究内容(3/3) — FlexRay网络优化方法

□ 优化方法(1/2):

- 把所有合适的消息从动态段移动到静态段。

消息按大小排序

搜索合适的
最低优先级
移动一个消息到
静态时隙
计算可调度性

把消息放入可调度
性最高的时隙中

MoveMsgToStaticSlots()

Sort the all the messages in D_K by their sizes in descending order and get $D_K = \{M'_{K1}, M'_{K2}, M'_{K3} \dots M'_{Kn}\}$

For $i = 1$ to n do

For $h = 1$ to m do

search the lowest suitable priority for M'_{Ki} in ST_{Kh}

If there is no suitable priority **Then**

save the schedulability of ST_{Kh} as 0.

Else

calculate the schedulability of ST_{Kh} supposing M'_{Ki} is in ST_{Kh}

save the schedulability.

End If

End For

put message M'_{Ki} into the static slot with the best schedulability

update all the priorities of all the messages in that static slot.

End For

End MoveMsgToStaticSlot



研究内容(3/3) — FlexRay网络优化方法

□ 优化方法(2/2):

- 交换最后一个时隙与最合适的静态时隙的消息集，然后把最后一个静态时隙与动态段合并。

计算静态时隙空闲率

判断消息集是否可调度

寻找合适的静态时隙与最后一个时隙交换消息集

判断消息集是否可调度

ExchangeMsgWithLastSlot()

For K = 1 to N do

calculate the free-space-ratio of STK;

~~check whether all the messages in STK and the last static slot are schedulable if exchange the message sets in the two static slots~~

If the messages are schedulable **Then**

save the index of STK and the free-space-ratio of STK

End If

End For

exchange the message set of the last static slot with the static slot having the best space ratio

End MoveMsgToStaticSlot



研究内容(3/3) — FlexRay网络优化方法

- 消息周期: {40,50,60,80}
- 消息大小: 80~250字节
- 节点负载: 15%~25%
- 可调度性计算:

$$S = \begin{cases} \sum_{1 \leq k \leq N} \min(0, D_k - R_k) / (N * R_k) & \text{unschedulable} \\ \sum_{1 \leq k \leq N} \max(0, D_k - R_k) / (N * D_k) & \text{schedulable} \end{cases}$$

- 图A: 整个优化方法
 - 优化效果较好
 - 节点数为5时
 - 优化前: 不可调度
 - 优化后: 可调度高

- 图B: 优化方法 第二步
 - 节点数为4时, 优化效果不明显
 - 其它个数的节点时, 优化幅度在0.05 (8%) 左右

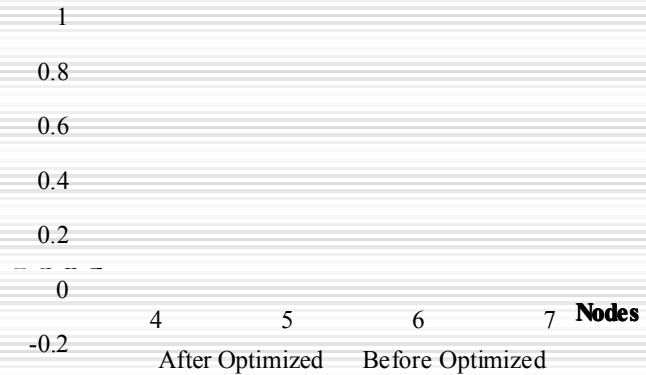


图 A

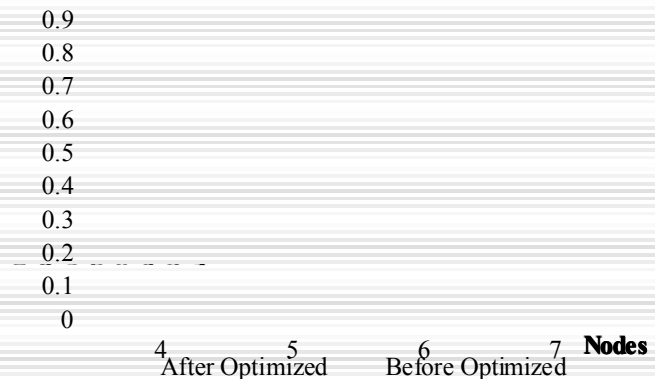


图 B



研究内容—理论分析

□ 静态段消息M的响应时间:

$$\begin{cases} R_1^{n+1} = \sum_{k \in hp(M)} \lceil R_1^n / T_k \rceil * T_C + \max_tw \\ R = R_1^{n+1} + C_M \end{cases}$$

- T_C 为总线通信周期
- C_M 为消息大小
- $hp(M)$ 为M的源节点中优先级较高的消息集
- T_k 为消息K的周期
- 变量 \max_tw :

■ M为非周期性消息时: $\max_tw \rightarrow T_C$ 且 $\max_tw < T_C$

■ M为周期性消息时: $\max_tw = \begin{cases} T_C - (O_M + T_C - O_{ST}) \bmod GCD, & O \neq h * GCD \\ T_C - GCD, & O = h * GCD \end{cases}$

✓ $O = |O_M - O_{ST}|$

✓ $GCD = \gcd(T_C, T_M)$



研究内容—理论分析

□ 优化方案对消息实时性的影响。

■ 定理:

- 对于静态段中的任意周期消息M, 如果静态时隙A与静态时隙B之间的距离为 $n * \gcd(T_C, T_M)$ ($n \geq 0$ 且 $n \in Z$), 那么消息M被从静态时隙A移动到静态时隙B时, 消息M等待其静态时隙的时间不变。

■ 推论1:

- 如果静态时隙A与静态时隙B之间的距离为 $n * \gcd(T_C, T_M)$ ($n \geq 0$ 且 $n \in Z$), 那么交换两个静态时隙中的消息集时, 对任意周期性消息M, 公式中(4.10)的变量没有改变, 从而最差响应时间的上界没有改变。

■ 推论2:

- 如果静态时隙A与静态时隙B之间的距离为 $n * \gcd(T_C, T_M) + \Delta t$ ($n \geq 0$, $n \in Z$ 且 $0 < \Delta t < \gcd(T_C, T_M)$), 那么交换两个静态时隙中的消息集时, 对任意周期性消息M, 公式中(4.13)的变量的改变量, 消息M的响应时间很难确定。



总结

□ 本文工作

- 一种基于概率的消息组装方法
- 一种优化信号带宽利用率的消息组装方法
- 一种优化FlexRay动态段可调度性的网络配置方法
- 进行了相关理论分析

□ 但是:

- 本文研究内容的深度、广度有限，还有很多假设条件，从而需要进一步研究。



湖南大学

HUNAN UNIVERSITY

谢谢!