Towards Self-Adaptation in Real-time, Networked Systems: Efficient Solving of System Constraints for Automotive Embedded Systems

Marc Zeller, Christian Prehofer, Gereon Weiss, Dirk Eilers, Rudi Knorr

Fraunhofer Institute for Communication Systems ESK

Munich, Germany

Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO), 2011 Fifth IEEE International Conference on. IEEE, 2011: 79-88.

Towards Self-Adaptation in Real-time, Networked Systems: Efficient Solving of System Constraints for Automotive Embedded Systems

Marc Zeller, Christian Prehofer, Gereon Weiss, Dirk Eilers, Rudi Knorr

Fraunhofer Institute for Communication Systems ESK

Munich, Germany

弗劳恩霍夫通信系统ESK研究所

TUM 德国慕尼黑工大?

Towards Self-Adaptation in Real-time, Networked Systems: Efficient Solving of System Constraints for Automotive Embedded Systems

西门子，TUM

Marc Zeller, Christian Prehofer, Gereon Weiss, Dirk Eilers, Rudi Knorr

Fraunhofer Institute for Communication Systems ESK

Munich, Germany

170publication，2286citations

runtime configuration of softwares

Towards Self-Adaptation in Real-time, Networked Systems: Efficient Solving of System Constraints for Automotive Embedded Systems

Marc Zeller, Christian Prehofer, Gereon Weiss, Dirk Eilers, Rudi Knorr

Fraunhofer Institute for Communication Systems ESK

Munich, Germany

Intro

- 问题：受到资源、时间等约束，嵌入式系统自适应（runtime 软件重配置）要求快速计算出约束。
  - 约束：4种
  - 典型系统：汽车嵌入式系统
- 目标：为以上约束找到一种practical的模型，以便能在合理时计算出解决方案（软件组件的放置）
- 怎么解决：
  - 1.提出一个模型，用来描述系统约束；
    - 方便计算：相比已有的单一约束的模型，更简化；但是同时考虑多种约束
  - 2.在提出的模型下，提出两种方法用以有效计算约束（分别适用不同大小的测试集）
- 结果：PC硬件环境下，秒级时间可计算出结果。
- 贡献：模型
- 特点：使用真实的汽车嵌入式系统数据

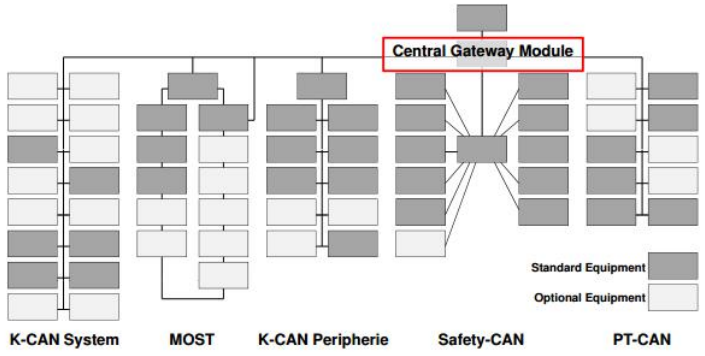


Figure 1. In-vehicle network topology of a BMW 7-series (Source: BMW AG, 2005)

This is the first paper to show an efficient computation of system constraints (in a few seconds) for realistic embedded, networked systems.

Intro

- 已有的自适应技术，可实现运行时软件重配置；但不适用嵌入式系统，特别是汽车嵌入式系统（有特殊需求）
- 必须考虑硬件资源和网络等问题，本文focus on几个约束：
  - limited memory resources
  - task schedulability
  - timing dependencies between software components
  - heterogeneous hardware platforms
  - different sub-networks connected by a gateway

The goal of this paper is to find a practical model of the above constraints which delivers sound solutions in reasonable time.
Here, our goal is to find valid solutions for runtime reconfigurations, considering all of the above constraints.

Intro

- 已有的自适应技术，可实现运行时软件重配置；但不适用嵌入式系统，特别是汽车嵌入式系统（有特殊需求）
- 必须考虑硬件资源和网络等问题，本文focus on几个约束：
  - limited memory resour
  - task schedulability
  - timing dependencies b
  - heterogeneous hardw
  - different sub-networks conne gateway

动机：es系统自适应往往需要运行时配置。
所以注重efficiency 和 scalability 高于optimal
For instance, in case of
failures finding a sound solution quickly and within a known time period is more important than unrestricted search for optimal solutions.

The goal of this paper is to find a practical model of the above constraints which delivers sound solutions in reasonable time.
Here, our goal is to find valid solutions for runtime reconfigurations, considering all of the above constraints.

Steps:

- 1.Formal system model for automotive embedded systems
- 2.Priciples of runtime adaptaion in automotive embedded systems
- 3.present set of system constraints to define valid allocations in self-adaptive automotive embedded systems
- 4.gives an overview of methods to solve this set of constraints
- 5.evaluation

1.Formal system model for automotive embedded systems

$$\Psi = \{\psi_1, \ldots, \psi_p\}$$

- *A*：一个汽车嵌入式系统
- I：input set
- O: output set
- *F={ f_1，…f_n}* 功能的集合（set of functionalities）
- *SW*：软件功能集（*a set of software functions*），F是由SW实现的

有向 $G_f(V_f, e_f)$

$V_f \rightarrow I, O, f_i$

$e_f \rightarrow$ 顶点之间数据流，可有多入度和出度

- 硬件资源：
- V_r： ECU
- e_r：可用的通信链路

无向 $G_r(V_r, e_r)$

- 所谓的系统配置：system configiration，描述了在时刻t上，软件功能在可用ECU上的映射

$$(S_1, \ldots, S_n) \longrightarrow (E_1, \ldots, E_m)$$

$$c(t) : V_f \rightarrow V_r = \{0,1\}^{n \times m}$$

general problem：找到两集合之间的一个映射->NP hard

A 有一个约束集，它决定有效放置(valid allocations)的定义：

$$\Psi = \{\psi_1, \ldots, \psi_p\}$$

$$\psi = \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} a_{i,j} x_{i,j} \right) \circ b \rightarrow \{true, false\}$$

$$\circ \in \{<, \leq, =, \geq, >\}$$

系数a,以及b都是实数

2.Priciples of runtime adaptaion

- 自适应软件系统自适应指的是：调整系统结构以适应外界or系统内部的变化（Structural Adaptation）
- 本文研究环境中，Structural Adaption即：为当前的G_r找到一个新的G_f（*runtime*）
- 怎么找？首先，汽车嵌入式系统为保证安全等，有predefined的一些要求，这些要求必须被保证。其次，合理时间内找到。

time. Thus, the system configuration c of a self-adaptive automotive system is called *valid* at time t, if all constraints Ψ are satisfied:

$$c(t) : V_f \rightarrow V_r = \{0,1\}^{n \times m}$$

$$\bigwedge_{\psi_{f_i} \in \Psi} \psi_{f_i}(t) = true \Longleftrightarrow c(t) \ is \ valid$$

运行时被监控，只要有一个不满足就开始自适应，寻找满足约束的配置 C(t)

runtime adaption的目的就是要时时刻刻满足约束，c(t)时刻都应该是有效的

满足约束就好了么？是否可以更进一步？比如用最小的某种代价？

2.models of system constraints

- All constraints deal with worst case assumptions(可能找不到有效解，但是比较安全)
- 每一个software function S_i，都有一个对应的Allocation Set ， 描述这个Si可以被分配给哪些ECU （设计阶段就确定好的）

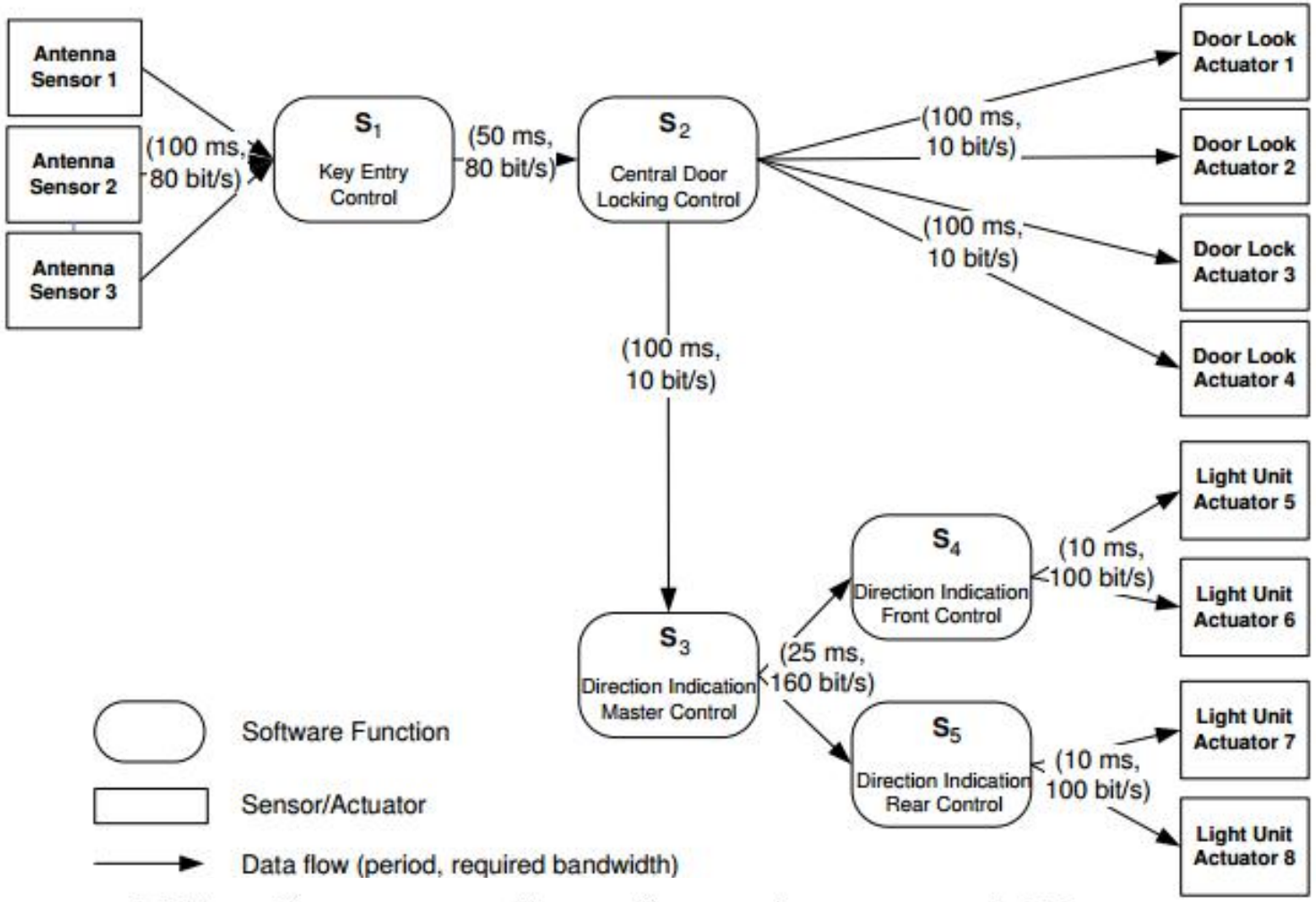
$$\forall S_i \in SW: \ AS_{S_i} = \{E_x | S_i \text{ can be assigned to } E_x\}$$

- AS也可以描述某一个ECU上可以被分配哪些功能：

$$\forall E_j \in V_r: \ AS_{E_j} = \{S_y | S_y \text{ can be assigned to } E_j\}$$

依靠AS，可减少后期要解决的方程和不等式

2.models of system constraints (example)



$$TC_1 : Sen_{1,2,3} \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow Act_{1,\ldots,4} \leq 1000$$

Figure 2. Function dependency of the Keyless Entry feature

一个f，可以分解成为好多s

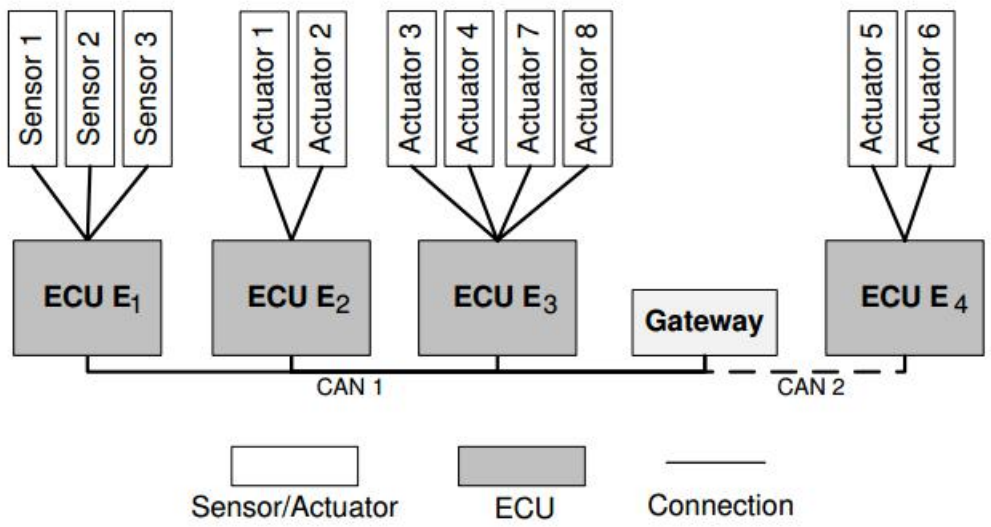


Figure 3. Interconnected ECUs and connected sensors/actuators

$$AS_{S_1} = \{E_1\}$$
$$AS_{S_2} = \{E_2, E_3\}$$
$$AS_{S_3} = \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$$
$$AS_{S_4} = \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$$
$$AS_{S_5} = \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$$

2.models of system constraints (example)

$$\forall S_i \in SW: \sum_{\substack{j=1, \\ E_j \in AS_{S_i}}}^{|AS_{S_i}|} x_{i,j} = 1$$

- 约束一：分配要满足某个功能S_i只能分配在某一个ECU上
- 约束二：每一个ECU上有多个Si，要确保资源够用(存储)

$$\forall \rho, E_j \in V_r: \sum_{\substack{i=1, \\ S_i \in AS_{E_j}}}^{|AS_{E_j}|} a_{i_\rho} x_{i,j} \leq b_{j_\rho}$$

- 约束三：调度约束，基于WCET和可调度性调度分析（分fixed and dynamic priority两种情况；）
  - 取充分条件
- 约束四：每个sub-metwork（异构）确保有足够的带宽资源执行Si
- 约束五：保证不超过中央网关的吞吐量（跟拓扑结构有关）

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{\substack{j=1, \\ E_j \in AS_{S_i}}}^{|AS_{S_i}|} \sum_{\substack{k=1, \\ e_{i,k}}}^{p} a_{i,k} \delta_{i,k,j} \leq b_{gw}$$

- 约束六：时间约束（消息沿消息链传播的时长<deadline）

$$\forall TC: \sum_{\substack{i=1, \\ S_i \in TC}}^{k-1} (WCRT_i + WCTD_i) + WCRT_k \leq D_{TC}$$

4.solve this set of constraints

- runtime可解的原因：约束条件那里做了简化（充要条件等）
- 所有的约束都被用线性方程or不等式表示，布尔形式
- 命题可满足性（SAT）问题
- SAT solver和模拟退火求解

$$\psi = \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} a_{i,j} x_{i,j} \right) \circ b \rightarrow \{true, false\}$$

Contributions

- This is the first paper to show an efficient computation of system constraints (in a few seconds) for realistic embedded, networked systems
- 快速计算有效放置（某软件组件->放置在某个ECU上）
- 一个模型（使得问题简化）+两种方法（求解不难）
- 简化NP完全问题（启发式？）
- 真实的汽车功能数据
- 影响：！可能找不到某些存在的有效解

Model

- 简化却不简单（说明本文的工作量工作难度）
  - 相比那些专一考虑一种约束的模型，我们的模型是简化的
  - 简化是为了快速计算
  - 但我们模型同时考虑所有约束，
  - 即使这样仍然有超过2milion的变量以及126k个方程。

想法

- 虽然文章时间比较早，但是作者对汽车嵌入式系统的理解是值得借鉴的：
  - 28次引用，including G Xie‘s papers
- 定下自己研究的“自适应”：
  - 自适应--->运行时软件组件重配置；需满足的约束有X、Y...？
  - 满足约束就好了么？是否可以更进一步？比如用最小的某种代价？
- 需要：
  - 自己的模型：
    - 文章提出的模型是基于目前中央网关车内网络结构的，是否可结合下一代车内网络结构及协议的改变提出新的模型？

Thank you !

V_f, e_f

V_r

$e_r \quad V_f, e_f, O, f_i$

$G_r(V_r, e_r)$

- 汽车创新主要在软件方面；
  - about 2000 software functions distributed over up to 100 ECUs connected via multiple networks in modern vehicles [9]

Formal system model for automotive embedded systems

- *A*：一个汽车嵌入式系统
- I：input set
- O: output set
- *F={ f_1，…f_n}* 功能的集合（set of functionalities）
- *SW*：软件功能集（*a set of software functions*），F是由SW实现的

有向 $G_f(V_f, e_f)$

$V_f \rightarrow I, O, f_i$

$e_f \rightarrow$ 顶点之间数据流，可有多入度和出度

- 硬件资源：
- V_r： ECU
- e_r：可用的通信链路

无向 $G_r(V_r, e_r)$

- 所谓的系统配置：system configiration，描述了在时刻t上，软件功能在可用ECU上的映射

$$(S_1, \ldots, S_n) \longrightarrow (E_1, \ldots, E_m)$$

$$c(t) : V_f \rightarrow V_r = \{0, 1\}^{n \times m}$$

无向 $G_r(V_r, e_r)$

V_f, e_f

V_r

e_r

I, O, f_i

$G_r(V_r, e_r)$

V_f, e_f