

Stanovisko školitele k disertační práci

Doktorand: **Ing. Tomáš Richta**
Téma: **Dynamicky rekonfigurovatelné softwarové architektury pro distribuované řídicí systémy**
Studijní obor: Výpočetní technika a informatika
Školitel: Doc. Ing. Vladimír Janoušek, Ph.D.

Ing. Tomáš Richta se ve své disertaci zabývá návrhem a implementací distribuovaných řídicích systémů (DCS) na bázi diskrétních událostí. Konkrétně se zaměřil na problematiku dynamické rekonfigurovatelnosti řídicího softwaru na uzlech s omezenými zdroji, použitelnými v rámci internetu věcí (IoT).

Námět práce odpovídá oboru disertace a je aktuální. Problematika IoT a Industrial IoT je v současné době významným tématem výzkumu a vývoje na mnoha pracovištích. Specifickým tématem, které je stále aktuální a zasluhuje pozornost, jsou metody a nástroje pro vývoj řídicích aplikací, které jsou schopny rychle reagovat na měnící se požadavky na funkcionalitu a strukturu řídicího systému během jeho provozu, a to ideálně bez nutnosti ho restartovat.

Doktorand na základě analýzy aktuálního stavu poznání v rámci tématu stanovil dílčí cíle: (1) Vyvinout formálně definovaný proveditelný specifikační jazyk, přímo interpretovatelný na uzlech s omezenými zdroji, (2) umožnit dynamickou rekonfiguraci použitím vhodné komponentní architektury, (3) umožnit zapojení doménových expertů do vývoje aplikací použitím vysokoúrovňových doménově specifických jazyků, které lze transformovat do komponentního formalismu uvedeného výše, a (4) umožnit migraci komponent v rámci systému.

Jako základní formalismus jsou použity vysokoúrovňové Petriho sítě, konkrétně Reference Nets. Autor počítá s tím, že interpret podmnožiny tohoto formalismu bude základní výbavou uzlů distribuovaného řídicího systému. S využitím tohoto formalismu definuje vícevrstvou architekturu, zahrnující model komunikační infrastruktury, model operačního systému pro uzly distribuovaného systému a modely jednotlivých komponent řídicí aplikace. Celkový model je pak simulovatelný a analyzovatelný v prostředí nástroje RENEW. Modely operačního systému i jednotlivých komponent řídicí aplikace pak mohou být po transformaci do odpovídající podoby přímo interpretovány na uzlech DCS. Operační systém uzlu DCS umožňuje komponenty aplikace instalovat, aktivovat, deaktivovat a odinstalovat.

Pro demonstraci možnosti modelovat řídicí aplikaci vysokoúrovňovějším jazykem než Reference Nets doktorand navrhl a realizoval prostředky pro transformaci varianty workflow nets a konkrétního doménově specifického jazyka (DSL) do podmnožiny formalismu Reference Nets. Taktéž realizoval translátor z podmnožiny Reference Nets do podoby, která je schopna běhu na uzlech DCS. Nakonec autor představuje případové studie a experimenty, demonstrující možnosti praktického využití navrženého konceptu.

Za originální a hlavní přínos disertační práce považují koncept operačního systému na bázi Petriho sítí, schopného běhu na uzlech DCS na libovolné úrovni řízení, spolu s konceptem metody tvorby řídicích aplikací modulárním stylem.

Koncepce jednotlivých kroků v rámci navrhovaného přístupu byla experimentálně ověřována prototypovými implementacemi. Vzhledem k poměrně velkému časovému rozpětí, kdy byly jednotlivé fáze projektu řešeny, a vzhledem k posouvajícím se prioritám výzkumu v jednotlivých fázích (např. během zahraniční stáže) byla postupem času vytvořena řada variant operačního systému i souvisejících nástrojů pro transformaci a interpretaci modelů. Jedna z prvních variant operačního systému, umožňující instalaci a potenciálně i rekonfiguraci systému, byla dlouhodobě úspěšně provozována jako součást systému řízení vytápění a osvětlení v domě autora tohoto posudku.

Díky řadě verzí modelů a variant platformy není výsledkem jeden kompaktní nástroj, umožňující end-to-end podporu navržené metodiky jako celku. Místo toho byl důraz kladen na návrh a experimentální ověření dílčích kroků s využitím definovaných modelů a jejich transformací. Výsledkem je v podstatě vzor, který lze v případě potřeby přizpůsobit pro konkrétní aplikační oblast. Cíle práce byly splněny.

Podstatné části předkládané disertační práce byly publikovány v osmi článcích ve sbornících mezinárodních konferencí, specializovaných na řídicí systémy, softwarové inženýrství a Petriho sítě. Tyto publikace mají ohlasy formou citací.

Disertační práce pana Ing. Tomáše Richty podle mého názoru odpovídá obecně uznávaným požadavkům k udělení akademického titulu Ph.D. a doporučuji ji k obhajobě.

V Brně dne 17.1.2022

Doc. Ing. Vladimír Janoušek, PhD.
UITS FIT VUT v Brně

Supervisor's opinion on the dissertation

PhD student: **Ing. Tomáš Richta**
Topic: **Dynamically Reconfigurable Software Architectures for Distributed Embedded Control Systems**
Field of study: Computer Science and Engineering
Supervisor: Doc. Ing. Vladimír Janoušek, Ph.D.

Tomáš Richta's dissertation deals with the design and implementation of distributed control systems (DCS) based on discrete events. Specifically, he focused on the problem of dynamic reconfigurability of control software on resource-constrained nodes applicable to the Internet of Things (IoT).

The topic of the thesis corresponds to the field of the dissertation and is ongoing. IoT and Industrial IoT issues are currently an important research and development topic in many departments. A specific topic that is still relevant and deserves attention is methods and tools for developing control applications that are able to respond quickly to changing requirements on the functionality and structure of the control system during its operation, ideally without the need to restart it.

Based on an analysis of the current state of knowledge on the topic, Tomas Richta set the following sub-goals: (1) Develop a formally defined executable specification language directly interpretable on resource-constrained nodes, (2) enable dynamic reconfiguration using an appropriate component architecture, (3) enable the involvement of domain experts in application development using high-level domain-specific languages that can be transformed into the component formalism described above, and (4) enable component migration within the system.

High-level Petri Nets, specifically Reference Nets, are used as the underlying formalism. The author envisages that the interpreter of a subset of this formalism will be a basic feature of the nodes of the distributed control system. Using this formalism, he defines a multi-layered architecture, including a model of the communication infrastructure, a model of the operating system for the nodes of the distributed system, and models of the individual components of the control application. The overall model is then analyzable in the RENEW tool environment. The models of the operating system and the individual components of the control application can then be directly interpreted on the DCS nodes after transformation into the appropriate form. The DCS node operating system allows application components to be installed, activated, deactivated and uninstalled.

To demonstrate the ability to model a control application with a more high-level language than the Reference Nets, Tomas Richta has designed and implemented the means to transform a kind of workflow nets and a specific domain-specific language (DSL) into a subset of Reference Nets. He also designed and implemented a translator from the Reference Nets subset to a form that is capable of running on DCS nodes. Finally, the author presents case studies and experiments demonstrating the practical applications of the proposed approach.

I consider the concept of an operating system based on Petri Nets, capable of running on DCS nodes at any level of control, together with the concept of a method for creating control applications in a modular style, to be the original and main contribution of the dissertation.

The design of each step in the proposed approach was experimentally verified by prototype implementations. Due to the relatively large time span over which the different phases of the project were addressed, and due to the shifting research priorities in each phase (e.g., during a foreign internship), a number of variants of the operating system and associated tools for model transformation and interpretation were developed over time. One of the first variants of the operating system, allowing installation and possible reconfiguration of the system, was successfully operated for a long time as part of the heating and lighting control system in the house of the thesis supervisor.

Due to the number of model versions and platform variants, the result is not one compact tool, allowing end-to-end support of the proposed methodology as a whole. Instead, the focus was on the design and experimental validation of the sub-steps using the defined models and their transformations. The result is essentially a template that can be adapted to a specific application domain if required. The objectives of the work have been met.

Substantial parts of the dissertation have been published in eight papers in the proceedings of international conferences specialized in control systems, software engineering and Petri nets. These publications have received feedback in the form of citations.

In my opinion, Tomáš Richta's dissertation meets the generally accepted requirements for the academic degree of Ph.D. and I recommend it for defence.

Brno, 17.1.2020

Doc. Ing. Vladimír Janoušek, PhD.
DITS FIT BUT