

**SUMMARY OF THE DOCTORAL DISSERTATION
HIERARCHICAL FUZZY INTERPRETED PETRI NET**

Author: M.Sc. Michał Markiewicz

Supervisor: PhD, DSc, Lesław Gniewek, Associate Prof.

Key words: Petri nets, fuzzy nets, hierarchical nets, object-oriented programming, PLC

The aim of the research has been to extend the Fuzzy Interpreted Petri Net (FIPN) proposed by L. Gniewek with features that facilitate the use of this network in practical applications and enable modelling of the complex information systems. The scope of the dissertation includes the formal description preparation of hierarchical FIPN (HFIPN), the methods of the automatic generation of executable code and the implementation of the Petri net editor.

As part of the research on the development of HFIPN concept and its formal description, the literature review has been made. The new approach has been proposed that enable the creation of the hierarchical nets based on the macroplaces (modules) that may have several input, output and input-output places. The concept of the macroplace instances and the hierarchy graph, that were taken from coloured nets, have been added to HFIPN. The algebraic representation of HFIPN has been also proposed. The HFIPN model usefulness has been confirmed by implementing exemplary control and monitoring systems.

The literature about the use of Petri nets in PLC controllers and the addition of object-oriented language features to Petri nets have been reviewed. The formal descriptions of the structural (HFIPN^P) and the object-oriented (HFIPN^{obj}) program models have been developed. The algorithms generating the executable code consistent with HFIPN^P and HFIPN^{obj} based on the HFIPN graph were proposed. Within the research, the general formal description has been prepared that allows the implementation of HFIPN using the low-level and the high-level programming languages.

All functionalities have been implemented in the form of the comprehensive computer simulator called HFIPN-SML. In the simulator, there have been developed the modules enabling: the creation of the hierarchical information systems in the form of a graph, the simulations and the tests of these systems operation, the automatic generation of the code in ST language (described in the IEC 61131-3 standard). The functionality that allows the visualization of the programs compatible with the HFIPN^P and HFIPN^{obj} models running in the PLC controller has been implemented. A Beckhoff controller and TwinCAT 3 software were used in the studies. The HFIPN-SML simulator was implemented in the C # language. Thus, this dissertation combines the mathematical formalism with the engineering practice.

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ HIERARCHICZNA ROZMYTA INTERPRETOWANA SIEĆ PETRIEGO

Autor: mgr inż. Michał Markiewicz

Promotor: dr hab. inż. Lesław Gniewek, prof. PRz

Słowa kluczowe: sieci Petriego, sieci rozmyte, sieci hierarchiczne, programowanie obiektowe, PLC

Celem badań było rozszerzenie rozmytej interpretowanej sieci Petriego (FIPN, ang. Fuzzy Interpreted Petri Net) zaproponowanej przez L. Gniewka o cechy, które ułatwią wykorzystanie tej sieci w zastosowaniach praktycznych oraz umożliwią modelowanie złożonych systemów informatycznych. Zakres rozprawy obejmuje przygotowanie opisu formalnego struktury hierarchicznej FIPN (HFIPN), metod automatycznego generowania kodu wykonywalnego oraz narzędzia komputerowego w formie symulatora sieci.

W ramach badań nad opracowaniem koncepcji działania i opisu formalnego HFIPN dokonano przeglądu prac opisujących zastosowanie hierarchii w sieciach Petriego. Zaproponowano podejście, które umożliwia tworzenie sieci hierarchicznych w oparciu o makromiejsca (moduły), które mogą posiadać kilka miejsc wejściowych, wyjściowych oraz wejściowo-wyjściowych. Wprowadzono do HFIPN koncepcję instancji makromiejsc oraz grafu hierarchii, które zostały zaczerpnięte z sieci kolorowanych. Zaproponowano reprezentację algebraiczną HFIPN. Potwierdzono przydatność modelu HFIPN realizując przykładowe systemy sterujące i monitorujące.

Dokonano przeglądu prac związanych z wykorzystaniem sieci Petriego w sterownikach PLC oraz z dodaniem do nich cech obiektowych języków programowania. Opracowano opisy formalne strukturalnego ($HFIPN^P$) oraz obiektowego ($HFIPN^{obj}$) modelu programu. Zaproponowano algorytmy generujące kody wykonywalne zgodne z $HFIPN^P$ oraz $HFIPN^{obj}$ w oparciu o graf HFIPN. W ramach prac przygotowano ogólny opis formalny, który umożliwi implementację HFIPN z wykorzystaniem zarówno niskopoziomowych języków programowania, jak i wysokopoziomowych.

Wszystkie funkcjonalności połączono i zaimplementowano w postaci kompleksowego symulatora komputerowego HFIPN-SML. W narzędziu tym zrealizowano moduły umożliwiające projektowanie hierarchicznych systemów informatycznych w postaci grafu, symulację i testowanie ich działania oraz generowanie w sposób automatyczny dla sterownika PLC kodu w języku ST (opisanego w normie IEC 61131-3). Zaimplementowano funkcjonalność umożliwiającą wizualizację programów zgodnych z modelami $HFIPN^P$ i $HFIPN^{obj}$ uruchomionych w sterowniku PLC. Do badań wykorzystano sterownik firmy Beckhoff oraz oprogramowanie TwinCAT 3. Symulator HFIPN-SML zaimplementowano w języku C#. W ten sposób w niniejszej rozprawie połączono formalizm matematyczny z praktyką inżynierską.