

## **РЕЦЕНЗИЯ**

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

Автор на дисертационния труд:  
маг. инж. Асен Петков Илиев

Тема на дисертационния труд:  
„Изследване комуникациите в специализирани системи“

Рецензент:  
Проф. д.т.н. инж. Андон Димитров Лазаров, ВВМУ „Н. Вапцаров“ - Варна.

### **1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение**

Проблематиката, която е във фокуса на дисертационния труд, обхваща функции на операционната система при разпределение (scheduling) на основните изчислителни ресурси (процесор и/или процесори) на протичащите в компютърната система процеси. Тези ресурси се отчитат с продължителността на времевия интервал, за което процесът се намира в регистрите на процесора, въпрос, който става особено актуален с нарастващите изчислителни мощности (скорост или честота на обработка на информационния поток) на съвременните компютърни системи. Оттук и проблемът – изпълнение на процесите от процесора или процесорите в реално време (системи-реално време, в които всеки стартиращ процес се изпълнява и завършва в определен времеви интервал), който става актуален при виртуализацията – процес, при който сървъри, хардуер (процесори и хранилища), комуникационни мрежи, приложения, десктоп и др. се съхраняват във виртуалното пространство (например, облак, твърд диск и др.) и доставят от сървър до крайното устройство на потребителя, като лаптоп, смартфон, таблет и др. Съществуват различни типове виртуализации, част от които се обсъждат в дисертацията – пълна, пара и хардуерна виртуализация.

### **2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал**

В дисертационния труд не се откроява критичен анализ на актуални литературни източници (датиращи поне след 2015 година), където се анализират близки до тематиката на дисертацията проблеми, с анализа и решенията на които биха могли да се сравнят резултатите, получени в дисертационния труд, както и да се направи преценка за познаването на състоянието на проблема, разглеждан в актуални литературни източници и тяхната творческа интерпретация. Но творческото обобщение и използване на основни дефиниции на дискретни математически структури, изграждане на оригинална научна концепция за оптимално разпределение на времевия ресурс на процесора, както и съпоставяне на разработените в раздел 5 на дисертационния труд управляващи таймерни софтуерни структури и тяхното сравнение с тези от конкретни литературни източници представят авторът, като професионалист добре

запознат с проблема - предмет на дисертационния труд със солидна теоретична подготовка и практически опит в областта на софтуерните технологии. Целта на дисертационния труд е да се анализират процесите в операционна система, протичащи в реално време и разработят алгоритми и програмен код на Timer системи, осигуряващ оптимално разпределение на изчислителните ресурси чрез прецизно измерване и разпределение на времевия ресурс на процесора при изпълнение на даден процес в реално време.

За постигане на поставената цел се решават следните задачи:

1. Формално описание на изчислителните ресурси и процеси във многослойния функционален модел на компютърната система и неговото детайлизиране. Дефиниране на системи-реално време – планиране, метрики и оценка на изчислителната производителност и оптимизация чрез минимизиране времето на очакване за изпълнение на процесите.
2. Разработване на алгоритми за разпределение на процесора (процесорното време) за изпълнение на процесите на периодични и аperiodични задачи в системи-реално време.
3. Анализ на система-реално време, изградена на архитектура на инструкциите X\_86 на микропроцесора Intel 8086. Синхронизация на изпълнение на задачите в системи – реално време и измерване на времевите сегменти, предоставени на процесите. Реализация на Xep софтуерна платформа и композиционно планиране на изчислителните ресурсите при виртуализация и изпълнение на множество операционни системи върху една хардуерна микропроцесорна система.
4. Анализ и реализация на Timer система на базата на архитектура на инструкциите X\_86, в това число механизми за оценка на времето за изпълнение на инструкционния код, измерване и оценка на времевия ресурс при виртуализация и реализация на ниско-латентен Timer, алгоритмизация и програмен код на Timer в система – реално време.

### **3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставените цел и задачи на дисертационния труд**

За решение на поставените задачи в дисертационния труд се прилага методика, която включва анализ на системи-реално време - дефиниции и формално описание на: процесите на планиране и съставяне на график на изпълнение на процесите, изчислителните ресурси (процесор или време за изпълнение на процес от процесора), като подредена съвкупност от аргументи и тяхното изменение във времето, на функциите, променящи състоянието на ресурсите, на процесите като наредена съвкупност от аргументи, на многостепенните модели на състояния на процесите, на многослойния релационен модел на изчислителната архитектура с езика на дискретната математика .

### **4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд**

Дисертационният труд е изложен на 172 страници. Илюстриран е с две таблици и 56 фигури. Литературната справка включва 92 литературни източника. Структурно дисертационният труд включва следните раздели: използвани

съкращения, списък на фигурите и списък на таблиците, въведение и мотивация, три глави, научни приноси и насоки за бъдещи изследвания.

Предложена е оригинална дефиниция на процеса на планиране като функция изображение на множеството времеви ресурс в множество задачи за изпълнение. Дадени са формални аналитични дефиниции за изчислителен ресурс като наредена съвкупност от параметри и характеристики, тяхната динамика и функциите, които променят тяхното състояние. Формално е дефиниран процес, като наредена съвкупност от параметри и характеристики, определящи състоянието на процеса в съответствие с неговото ресурсно осигуряване, както и неговата активност и активност на неговите компоненти - чрез call-return и transfer() инструкционни механизми.

В дисертационния труд се доразвива концепцията за многослоен модел на компютърната система, в който операционната система е основен менажер на изчислителните ресурси и координатор на изпълнение на софтуера на комуникационните протоколи от OSI модела. Дефинирани са базови характеристики и параметри на задачите (периодични и аperiodични) в системите-реално време, както и структурните компоненти (задачи, процесори, ресурси). Приведена е класификация на алгоритмите за планиране и функциите, изчисляващи времеви параметри, използвани като метрики. Предложени са детерминистични модели на изпълнение на процесите от процесора, представени чрез ориентиран граф и Gant диаграми, както и различни оптимизационни алгоритми на разпределение на процесора.

Граф-аналитичната интерпретация на планиране и обработка на съвкупност задачи от множество процесори, водещи до намаляване на времето за изпълнение на процесите се прилага и при възникване на несъответствие на производителността на системата-реално време и изчислителните ресурси. Този подход се прилага при планиране и обработка на аperiodични задачи с мултипроцесорни архитектури с приложение на оптималните алгоритми Jackson, Horn (в смисъл оптимално разпределение на ресурсите) и Earliest Deadline First (EDF) алгоритъм, гарантиращи реално време на изпълнение на задачите и представени с псевдо-код.

Този подход е приложен и при анализа на алгоритмите за планиране и обработка на периодични задачи. Дадена е дефиниция на множество от периодични задачи, времето за стартиране, абсолютният краен срок на обработка на инстанция на процес и параметрите, описващи периодичните задачи: хипер-период (мажоритарен цикъл), време на реакция на инстанция на задача, време на реакция на задача, критична инстанция на задача, критична времева зона на задача, относително отклонение във времето на стартиране на задача (Jitter), абсолютно отклонение във времето на стартиране на задача, относително време на отклонение на завършване на обработка на задача, абсолютно отклонение на времето за завършване на задача. Дефиниран е факторът на използване на процесора (utilization) и неговата гранична стойност, с който се определя натовареността на процесора при обработка на множество задачи. Приведени са примери на алгоритми за планиране и изпълнение на процеси във времеви слот с различен фактор на използване (utilization) на процесора, като Rate monotonic, polling server, както и тяхното формално аналитично описание.

Предложен е анализ на система-реално време, базирана на софтуерна платформа от инструкции X\_86 и нейните допълнителни натоварвания в резултат на mutual exclusion, preemption, cash reloading, context switching при синхронизация и разпределение на ресурсите и др.

Анализирани са синхронизацията, принципите за отчитане на времето, видовете структури на таймерите, дадена е аналитична дефиниция на композиционно планиране с Xen – софтуерна платформа за управление на виртуални машини (VMM-Virtual Machine Manager, позволяваща множество виртуални операционни системи да се изпълнят на процесора) с прилагане на Rate Monotonic алгоритъм на планиране и използване процесора при периодичен ресурсен модел на разпределение.

Основно място в дисертационния труд заема концепцията за изграждане на Timer система за софтуерната архитектура X\_86. Хардуерната част на таймера е вградена в процесорните регистри, а неговото управление, отчитане и актуализация е чрез софтуера в ядрото на операционната система, дефинирана със специална променлива с дължина 32 или 64 бита, която нараства с всяко системно прекъсване. Дадени са дефиниции за Real Time Clock, системен Timer, таймерен манипулатор на прекъсване и неговите функции, The Time of Day, дефинирано в ядрото на операционната система, динамични таймери и тяхната структура и основни функции. Предложена е псевдо-код реализация на: Timer в bottom-half context, като програмни прекъсвания, на busy waiting цикли. Развива се концепция за schedule\_timeout() в ядрото на операционната система и нейната програмна реализация. Разработени се механизми (инструкции и код) за сравнителна оценка на времето за изпълнението (обработката) на код при Intel IA32 и IA64 архитектури и код за прецизни измервания на Timer цикли в C и Assembler при презаписване на регистри и Out-of-Order-Execution, Overhead при извикване на инструкцията cpuid и инструкцията rdtscp.

Направена е оценка на разликите в таймерните измервания и подобренията, внесени от cpuid и тези, предложени от автора с асемблерната инструкция rdtscp, където cpuid се изпълнява непосредствено след rdtscp и инструкциите mov. Разработената Timer система е имплементирана във виртуални системи-реално време. Направена е сравнителна оценка на латентността и средно-квадратичното отклонение на съществуващите и предложените в дисертационния труд таймери, с която се подчертават достоинства на тези, разработени от автора. Приведени са резултатите от измервания с инструкция iperf на девиацията на скоростта на обмен на пакети между виртуални машини при скорости 100 Mbps и 1 Gbps, разкриващи високо-точните възможности за измерване на времето на активност на процесора на разработените Timer системи за оптимално разпределение на изчислителните ресурси.

## **5. Научно-приложни приноси на дисертационния труд:**

### **1. Научни приноси**

1. Доразвита и детайлизирана е концепцията на многослойния модел на компютърна система с включените нея изчислителните ресурси (хардуерни и софтуерни), протоколната структура и интерфейлната позиция на операционната система.
2. Предложено е формално аналитично описание на компонентите на изчислителния процес с езика на дискретната математика.
3. Анализирани са основните характеристики и параметри на задачите (периодични и аperiodични) в системите-реално време, както и структурните компоненти (задачи, процесори, ресурси).

4. Направена е класификация на алгоритмите за планиране и функциите, изчисляващи времевите параметри, използвани като метрики.
5. Предложени са детерминистични модели на изпълнение на процесите от процесора чрез ориентиран граф и Gant диаграми, както и оптимизационни алгоритми на разпределение на процесора.
6. Предложена е граф-аналитична интерпретация на процеса на планиране и обработка на съвкупност задачи от множество процесори, водещи до намаляване на времето за изпълнение на процесите, прилаган при възникване на несъответствие на производителността на системата-реално време и изчислителните ресурси.
7. Дадена е дефиниция на: множество от периодични задачи, времето за стартиране, абсолютният краен срок на обработка на инстанция на процес и параметрите, описващи периодичните задачи.

## **2. Научно-приложни приноси**

1. Дефиниран е факторът на използване на процесора и неговата гранична стойност, с който се определя натовареността на процесора при обработка на множество задачи.
2. Анализирани са система-реално време, базирана на софтуерна платформа от инструкции X\_86 и нейните допълнителни натоварвания в резултат на mutual exclusion, preemption, cache reloading, context switching при синхронизация и разпределение на ресурсите и др.
3. Анализирани са синхронизацията на използване на ресурсите, принципите за отчитане на процесорното време, видовете таймерни структури.
4. Дефинирано е композиционно планиране с Xen – софтуерна платформа за управление на виртуални машини (VMM-Virtual Machine Manager, позволяващ множество виртуални операционни системи да се изпълняват на процесора) с прилагане на Rate Monotonic алгоритъм на планиране и използване процесора при периодичен ресурсен модел.
5. Разработена и програмно реализирана е Timer система за софтуерната архитектура X\_86 с използване на инструкцията schedule\_timeout() в ядрото на операционната система.
6. Направена е оценка на таймерните измервания с инструкции, предложени в дисертационния труд и имплементирани във виртуални системи-реално време.
7. Направена е сравнителна оценка на латентността и средно-квадратичното отклонение на съществуващите и предложените в дисертационния труд таймери, разкриваща предимствата на тези, разработени в дисертационния труд: високо-точно измерване на времето на активност на процесора и оптимално разпределение на изчислителните ресурси.

Приносите в дисертационния труд следва да се разглеждат като развитие на съществуващи научни концепции в областта на управлението на изчислителните процеси в компютърните системи и оптимизация на използването на ресурса-изчислително време на процесора.

## **6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите.**

Значителният брой публикации, резултатите от които изграждат съдържанието на дисертационния труд, системният анализ и оригиналните изводи от него, експерименталните изследвания и резултатите от тях, програмният код и потвърждаващите числени и лабораторни резултати са безспорно доказателство за висока степен на лично участие на автора в постигане на резултати с научно-приложна стойност.

## **7. Преценка на публикациите по дисертационния труд**

Научно-приложните приноси в дисертационния труд са отразени в 9 публикации, от които 8 на английски език и 1 на български език, 2 от публикациите са научни списания, една от които с SJR = 0.267, 3 от публикациите са в годишници, 4 са на научни конференции. Това подкрепя убеждението за значима стойност на приносите в дисертационния труд.

## **8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната практика**

Рецензентът не разполага с данни за използване на резултатите от дисертационния труд в научната практика, но е абсолютно убеден в тяхната висока приложна стойност в изграждане на високоефективни Scheduling algorithms (алгоритми за изграждане на графика при изпълнение на процесите) за оптимално управление и разпределение на изчислителните ресурси в системи реално време при виртуализация на структурни хардуерни и софтуерни компоненти на изчислителния процес.

## **9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.**

Авторефератът е разработен в съответствие с изискванията и отразява съдържанието и приносите в дисертационния труд.

## **10. Мнения, препоръки и критични бележки.**

Дисертационният труд предлага оригинални обобщения и дефиниции, тематично и целево систематизирани. Извършена е огромна по обем работа, както в областта на теорията, така и при софтуерната реализация на таймерни структури в системи-реално време с оптимално разпределение на изчислителните ресурси. Към дисертационния труд могат да се направят следните бележки и препоръки. В текста на дисертацията са допуснати стилни и граматически грешки, както и не много коректни преводи на термините от английски език. Не са цитирани литературните източници пред формулите на стр. 51. Думи като „коварно“ и „лесно“ нямат научно и техническо значение. Релацията на подредба, използвана при разпределение на изчислителния ресурс – “време на изпълнение на процеса от процесора”, е множество от наредени двойки, единият елемент на които е аргумент, а другият е стойност на релацията, няма свойството да се намалява или увеличава. Не е дефиниран символът  $C$  в отношението на брой на наличните ресурси към цена на

компютъра. Множеството от задачи  $N$  във функцията изображение "sigma" не е означено. Според рецензента множеството от задачи е  $J$ .

Следва да се прави разграничение между експедиционната част на процеса - нишка и процес. Ресурсите се разпределят на процесите, а нишката, като изпълнима част на процеса ги използва, според William Stallings „Operating system“ 6<sup>th</sup> edition. Например, операционна система Windows е софтуерна многопроцесна и многонишкова архитектура със свойствата на интерфейс между процесора и приложенията и след нейното зареждане в оперативната памет, функционира като всеки процес, изпълнен от процесора, използващ предоставения времеви ресурс.

Направените бележки и препоръки не са от съществено значение и не влияят върху крайната положителна оценка на дисертационния труд.

### Изводи:

1. За рецензиране е представен научно изследователски труд, актуален като тема и завършен като поставени и решени задачи, с ясно открояващи се приноси с научно-приложен характер. Дисертационният труд по обем, пълнота и задълбоченост на решените задачи отговаря напълно на изискванията за присъждане на образователна и научна степен „доктор“.

2. Дисертантът е усвоил и е приложил в решаването на задачите на дисертационния труд математическите и програмни инструменти при дефиниране и формално описание на компонентите на изчислителния процес, ресурсите, тяхната динамика във времето и оптимално разпределение в системи-реално време и виртуализация на хардуерни компоненти и софтуерни приложения. С това образователната цел на докторантурата е постигната.

3. В дисертационния труд се предлага оригинално теоретично обобщение и систематизиране на основните дефиниции, методи и алгоритми за оптимално използване на процесора и времето за изпълнение на процесите при виртуализация на изчислителни ресурси.

На базата на изложеното, може да се твърди, че дисертационният труд напълно отговаря на изискванията на закона за развитие на академичния състав. Давам своята положителна оценка на дисертационния труд и убедено предложение за присъждане на образователната и научна степен „доктор“ на маг. инж. Асен Петков Илиев по докторантска програма „Компютърни системи и технологии“, професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника.

Рецензент: Проф. д.т.н..

Подпис заличен  
Чл.2 от ЗЗЛД

(А. Д. Лазаров)

Дата: 05. 01. 2020 г.

Варна