

## Апстракт

Сè побрзиот развој на Интернетот и на мрежните технологии воопшто, од една страна, како и сè поголемиот број на Интернет провајдери и радикалното намалување на цените за Интернет пристап, од друга страна, придонесоа за рапиден пораст на бројот на неговите корисници, квалитетот и квантитетот на расположливата содржина, на понудените Web сервиси, но и на интензитетот на Интернет сообраќајот.

Тоа се должи на сè поголемата достапност и расположливост на компјутерските хардверски ресурси, зголемените можности за нивно меѓусебно поврзување и високиот степен на нивна интероперабилност, основни премиси врз коишто се темели денешното информатичко општество. Трендовите на глобализација во светски рамки и ефектите на *"глобалното село"* претставуваат не само производ на новите технолошки *напредок* на уште позабрзан развој.

купување и размена на производи, услуги и информации преку електронските мрежи, вклучувајќи го и Интернет. Појавата на електронската комерција преку нејзините два основни модалитети, B2B (*Business-to-Business*) и B2C (*Business-to-Consumer*), отвори нови хоризонти и постави сосема нови стандарди, нови димензии, нови односи, но зачна и нови проблеми и дилеми меѓу двете инволвирани страни, како на техничко-технолошко, така и на хумано (социјално, општествено) ниво.

Ефективноста на Интернет-заснованото деловно работење бара продлабочено разбирање на интеракцијата меѓу Web системите за електронска трговија, од една, и поведението на купувачите во новото, електронско или online окружување, од друга страна.

Така, планирањето, изборот и конфигурирањето на ресурсите (хардвер, софтвер), неопходни за непречена и ефикасна работа на определен Web сајт за електронска трговија, имаат есенцијално значење и важност и бараат посветеност, работа, внимание и примена на знаења стекнати низ обемни истражувања. Притоа, клучен проблем е да се предвиди „кога“ во иднина нивото на активност, односно работното оптоварување, ќе го презасити системот (постоеен или во фаза на дизајнирање), и определувањето на најефективниот начин за одложување на евентуалната појава на презаситеност во текот на времето. Оттука е јасно дека решавањето на проблемите од ваква природа неизбежно водат кон развој и користење на модели за предикција на перформансите на даден систем.

Од друга страна, пак, се појави нов профил на потрошувач, наречен „електронски купувач“, или е-Купувач (*e-Customer, e-Consumer, e-Shopper*), кој специфично се однесува во сите фази на online процесот на купување. Во виртуелното окружување, обезбедувањето на задоволството на е-Купувачите останува да биде највисок приоритет, иако тоа не е едноставно и лесно остварливо. Разбирањето на процесот на донесување одлуки при online сесијата на купување, што е резултат на комплексното, непредвидливото и стохастичкото поведение на електронскиот купувач, е исклучително важно за креирање на e-Business стратегиите и за преземање адекватни маркетиншки потези. Имајќи ја предвид вредноста на таквите сознанија, сè побројни се истражувањата кои се фокусираат врз

преку  
та на  
ти, B2B  
изонти  
ачна и  
ко на  
во.  
е бара  
те за  
овото,  
рсите  
а на  
ење и  
аења  
а се  
ното  
на  
ање  
ка е  
дат  
на  
чен  
er),  
е.  
на  
е  
е  
го,  
е  
за  
га  
из

проучувањето на сложениот профил на Интернет купувачот и на неговото однесување.

Поаѓајќи токму од овие две премиси, природно се наметна потребата за реализација на едно сеопфатно истражување, чијашто крајна цел е дефинирањето интегрална рамка за анализа на перформабилноста (*performability*) на концептуален Web сајт за електронска трговија, заснована врз развој и евалуација на стохастички модел на поведението на електронските купувачи. Преку анализата на перформансите, надежноста и расположливоста на еден таков систем во целина (гледан како спрега „човек - машина“) може да се определи и степенот на неговата перформабилност, како мерка на неговата способност да извршува корисна работа.

Ова истражување потврди дека постои голема диспропорција меѓу сè поголемиот број современи системи за електронска трговија и нивната сè поголема комплексност, од една, и релативно малиот број модели (аналитички и/или симулациски), развиени за анализа на мерките на перформабилноста на ваквите системи (перформанси, веродостојност, надежност и расположливост), од друга страна.

Во најголемиот број случаи, фокусот е ставан исклучиво врз мерките на перформанси, додека моделирањето и евалуацијата на останатите компоненти на перформабилноста или воопшто не е правена, или е правена во занемарливо мал обем. Ова е сосема разбирливо, ако се има во предвид фактот што популарните Web сајтови за електронска трговија, коишто примаат милиони барања дневно, често се соочуваат со екстремно високи вредности на времињата на одговор, состојба што е извор на фрустрации за многу е-Купувачи и предмет на загриженост на менаџментот на многу Web сајтови. Имено, еден од најгорливите проблеми, со кои се соочуваат администраторите на системите за електронска трговија, е неадекватното димензионирање на IT инфраструктурата на начин да обезбеди и задржи такво ниво на квалитет на сервисите (*Quality of Service, QoS*), какво што бараат (и очекуваат) нивните корисници. Овој предизвик бара континуирано следење на перформансите на нивните Web сајтови и на Web услугите што тие ги нудат. Досегашните истражувања во овој правец се движат од парцијални

согледувања на влијанието на определени компоненти и/или конфигурирања врз перформансите на целиот систем, па сè до развој на предиктивни модели, што се засноваат врз различни приоди и употреба на различни техники. Најпознати во оваа сфера се аналитичките модели за проценка на перформансите на системите за електронска трговија, развиени од страна на Menascé & Almeida (2000a, 2002), што се темелат на употребата на теоријата на веројатност и на теоријата на мрежи од редови на чекање (*Queueing Networks, QNs*). Тие, со примена на основните оперативни закономерности (*Utilization Law, Forced Flow Law, Service Demand Law, Little's Law и Response Time Law*), имаат развиено аналитички предиктивни модели и тоа како на ниво на цел систем (со бесконечни и конечни редови на чекање, со бесконечен и конечен број на корисници), така и на ниво на хардверски компоненти (кај отворени и затворени системи, со работни оптоварувања што вклучуваат една или повеќе класи). Но, за проценка на перформансите на системите евидентни се и истражувањата насочени кон развој на предиктивни модели, засновани врз употребата на невронски мрежи (*neural networks*) и fuzzy логика (*fuzzy logic*), разни класи на процесите на Марков (*Markov processes*) и веригите на Марков (*Markov chains*), но, сè почесто, и на разни класи стохастички Петри-мрежи (*Stochastic Petri Nets, SPNs*). Така, на пример, Christensen *et al.* (1999) во своите научни истражувања имаат развиено предиктивен модел за планирање на капацитетите на Web серверите што се заснова на употребата на Временски Хиерархиски Обоени Петри-мрежи (*Timed Hierarchical Coloured Petri Nets, THCPNs*). Brosso *et al.* (2002a; 2002b) предлагаат употреба на XML Петри-мрежи (*Petri Net Modeling Language, PNML*) за симулирање на Web базирани системи. Xu & Shatz (2001) предвидуваат употреба на агент-базиран модел на Петри-мрежа (G-Net), додека пак Mitrevski *et al.* (2002) имаат развиено концептуална рамка за анализа на перформансите, заснована врз моделирање на поведението на купувачите со употреба на класата на Детерминистички и Стохастички Петри-мрежи (*Deterministic and Stochastic Petri Nets, DSPNs*).

Од друга страна, пак, евалуацијата на мерките на веродостојност (*dependability*) е застапена во изолирани случаи, и тоа за одделни, специфични компјутерски системи, додека техниките за моделирање и

евалуација најчесто се темелат врз употреба на специјализираните пристапи на употреба на сериско-паралелни блок дијаграми на надежноста (*Reliability Block Diagrams, RBDs*), дрвата на откази (*fault trees*), графовите на надежност (*reliability graphs*), како и паралелно-сериските ациклични насочени графови (*series-parallel acyclic directed graphs*). Robidoux *et al.* (2010) предлагаат динамички блок дијаграми на надежност (*Dynamic Reliability Block Diagrams, DRBDs*), како проширување на обичните блок дијаграми на надежност, коишто потоа се конвертираат во Обоени Петри-мрежи (*Colored Petri Nets, CPNs*), со цел да се изврши динамичка анализа на бихејвиоралните својства, а со тоа и на коректноста на моделот (Xu *et al.*, 2009). Wei *et al.* (2011), пак, презентира хиерархиска метода што ги комбинира предностите и на блок дијаграмите на надежност, и на GSPN Петри-мрежите, за квантифицирање на расположливоста и надежноста. Callou *et al.* (2012) го применуваат пристапот на хиерархиска композиција за евалуирање на веродостојноста на сложени архитектури, со примена на блок дијаграмите на надежност и GSPN Петри-моделите.

Исто така, за моделирање и евалуирање на мерките на веродостојност сè почесто се користат и поопшти техники, засновани на математички модели, какви што се, на пример, веригите на Марков (*Markov chains*) и полу-Марковите вериги (*semi-Markov chains*), моделите на Марков со наградување (*Markov reward models*) (Sahner *et al.*, 1996; Donatiello & Grassi, 2001; Pattipati *et al.*, 2001), полу-Марковите модели со наградување (*semi-Markov reward models*) (Ciardo *et al.*, 1992), Марковите регенеративни модели со наградување (*Markov regenerative reward models*) (Logothetis & Trivedi, 1997), како и комбинаторните модели (*combinatorial models*) (Veerarghavan & Trivedi, 1994). Многу често за оваа намена се користат и мрежите од редови на чекање (*Product-Form Queuing Networks, PFQNs*) (Sahner *et al.*, 1996).

Резултат на сите овие истражувања се предиктивни модели, хетерогени според пристапот, методологијата, робусноста, содржината, можностите, точноста и квалитетот, бидејќи се развиени со примена на различни техники. Најголемиот дел од нив се фокусирани исклучиво врз евалуацијата на перформансите на компјутерските системи, додека многу мал број ги адресираат останатите аспекти на перформабилноста на

системите за електронска трговија. Уште помал е бројот на истражувања коишто имаат за цел опфаќање и на мерките на веродостојност (надежност и расположливост) на системите за електронска трговија. Особено е важно да се потенцира и фактот што во сите досегашни истражувања не е направен обид да се креира стохастички предиктивен модел што е заснован врз online поведението на е-Купувачите.

Сите погоре наведени согледувања претставуваа доволен поттик и огромен мотив за реализирање на ова истражување, чијашто суштина претставува развојот на еден заокружен, единствен, хомоген, интегриран систем од стохастички предиктивни модели за проценка на перформабилноста на современите системи за електронска трговија, заснован врз употребата на формализмот на стохастичките Петри-мрежи. Евалуацијата, пак, на бројните мерки на перформанси и на веродостојноста, е реализирана преку решавање на стохастичките Петри-модели со примена на софтверско програмско развојно окружување што овозможува пишување на програмски код за изградба и извршување симулациски модели со дискретни настани (*Discrete-Event Simulation, DES*), засновани врз парадигмата на активни процеси.

Главните придобивки на овој научно-истражувачки труд можат да се сублимираат во следниве точки:

1. За разлика од сите досегашни пристапи, коишто ја третираат проблематиката на евалуација на мерките на перформабилноста на системите за електронска трговија на парцијален и хетероген начин, првпат е промовиран нов, оригинален, сеопфатен, интегриран и хомоген пристап, заснован врз изградба и евалуација на стохастички предиктивни модели, преку употреба на соодветни графички и математички формализми, и нивно решавање со употреба на компјутерски симулации со дискретни настани. Новиот уникатен пристап е во целост и исклучиво фокусиран врз системите за електронска трговија, и се одликува со робусност, унифицираност и генерализираност;

2. Применетите концепти и методологии првпат и во целост се засноваат врз динамичкото и стохастичкото поведение на е-Купувачите за време на сесиите на купување преку Интернет, бидејќи: i) првпат е користен стохастички модел на поведението на е-Купувачите, што во

целост го отсликува логичкиот редослед на специфичните активности за време на online сесиите на купување; ii) првпат е извршено квалитативно и квантитативно групирање на е-Купувачите во пет дисјунктни класи, според нивните сродни шаблони на online поведење; iii) првпат е дефинирано работното оптоварување (*workload characterization*) на кој било генерички систем за електронска трговија, преку специфицирањето на тн. карактеристични оперативни профили, што го дефинираат учеството на е-Купувачите од различни класи во различни пропорции;

3. Првпат, при проучувањето на комплексниот концепт на перформабилноста на системите за електронска трговија, е промовиран тн. пристап на хиерархиска композиција (*hierarchical composition approach*), при развојот на уникатни стохастички подмодели со коишто се имплементираат одделните компоненти на перформабилноста, и тоа: перформансите (*performances*) и веродостојноста (*dependability*), односно надежноста (*reliability*) и расположливоста (*availability*). Сите овие стохастички подмодели се евалуирани нумерички, со симулации со дискретни настани, и повторно, користејќи го стохастичкиот Петри-модел на online поведението на е-Купувачите за време на сесијата на купување;

4. Ова истражување претставува прв обид за промовирање на хибриден пристап при евалуацијата на мерките на перформабилност на системите за електронска трговија, што се состои во употребата на формализмот на класите на Детерминистички и Стохастички Петри-мрежи (DSPNs) и на Генерализираните Стохастички Петри-мрежи (GSPNs) за моделирање на повеќе клучни аспекти на крајно сложените системи за електронска трговија, а воедно е применет и нов пристап за решавање на овие класи стохастички Петри-мрежи со користење на програмски јазик за симулација со дискретни настани, заснован на активни процеси (SimPy/Python);

5. Со примена на пристапот на симулирање со дискретни настани, првпат е изграден монолитен симулациски модел на клиент-сервер (*client-server, C/S*) интеракцијата меѓу е-Купувачите, од една, и системот за електронска трговија, од друга страна, како основа за евалуација на бројни мерки на перформанси, карактеристични за парадигмата на електронската трговија, и тоа како на страната на клиентот (*client-side*),

така и на страната на серверот (*server-side*). Симулацискиот модел се темели врз употребата на стохастичкиот Петри-модел на online поведението на е-Купувачите за време на сесијата на купување преку Интернет, но и врз стохастичкиот модел на системот за електронска трговија, реализиран преку употребата на дијаграмите на клиент-сервер интеракцијата (*Client-Server Interaction Diagrams, CSIDs*) за секоја повикана e-Commerce функција, и тоа за различни оперативни профили и различен интензитет на доаѓање на е-Купувачите во системот. Притоа, особено внимание им е посветено на тн. деловно-ориентирани мерки на перформанси (*business-oriented performance metrics*), при што за првпат е опишана методологијата за нивно пресметување врз основа на определени мерки на перформанси, добиени со симулацијата со дискретни настани. Од примената на еден ваков конзистентен, унифициран, сеопфатен, темелен и пред сè, научно заснован пристап, произлегуваат бројни согледувања и заклучоци што се во функција на евалуацијата на перформабилноста на системите за електронска трговија.

Развиените генерички стохастички модели, како и резултатите од евалуацијата на различните мерки на перформабилноста, претставуваат не само солидна основа за проценка на каков било систем за електронска трговија, постоен или во фаза на дизајнирање, туку и отвораат широк простор за натамошни истражувања и продлабочувања на сознанијата во сферата на планирањето на капацитетите. Како прв обид од ваков вид, применетиот пристап нуди многу нови можности, но и загатнува многу нови прашања, што ја наметнуваат потребата за натамошно и долгорочно истражување не само на системите за електронска трговија и на online поведението на е-Купувачите за време на сесиите на купување, туку и на алатките и техниките што се користат за адресирање на широкиот спектар проблеми во врска со моделирањето и евалуацијата на системите, врз коишто се заснова парадигмата на електронската трговија.

**Клучни зборови:** Перформабилност, Перформанси, Веродостојност, Надежност, Расположливост, Системи за електронска трговија, Моделирање, Евалуација, Поведение на електронските купувачи, Стохастички Петри-мрежи, Симулирање со дискретни настани



## **Abstract**

The ever-increasing pace in development of Internet and network related technologies, as well as the steadily growing number of Internet Service Providers (ISPs), including the radical decrease of prices for Internet access, have contributed in rapid increase of the number of Internet users, the quality and the quantity of online contents available, and Web services offer, but have also resulted in boosting the Internet traffic intensity. All of these have resulted from the vast proliferation and availability of computer hardware resources, the rising abilities for interconnectivity and the high levels of interoperability, which have been considered a paramount of the contemporary information society. The globalization trends, which have already prevailed all over the world, and the resulting effects of the 'global village', are considered not merely a consequence of the new technological achievements, but also a generator of even more dynamic development.

As a result of such rapid dynamics, on the loom of the new millennium, Internet has grown into a powerful medium, which has profoundly changed the way people communicate, exchange information, and finally, do business.

Internet has initiated a global information, communication, as well as business revolution, which are considered fundamental pillars of the new, digital economy. It has offered practically unlimited options and possibilities to companies and users, promoting the new business environment into a crucial factor of the modern way of doing businesses and the companies' profitability, but also an essential factor for their survival.

In fact, Internet was a promoter of the brand new e-Commerce and e-Business paradigms, through the usage of the World Wide Web. The electronic commerce, as being a process of doing business among entities (companies, people) by means of adequate methodologies and procedures, encompasses selling, buying and exchange of products, services, and information via electronic networks, including Internet. The appearance of the two basic

e-Commerce modalities, B2B (Business-to-Business) and B2C (Business-to-Consumer), has opened new horizons. Besides establishing new standards, new dimensions, and new relationships, it has also raised up new problems and dilemmas between the two involved subjects, both on a technical/technological and human/social/public levels.

The effectiveness of running an Internet based business requires a profound and thorough understanding of the interaction between Web based e-Commerce systems and the behavior of e-Customers in the new, electronic, on-line surrounding, as well. Planning, choosing and configuring resources (hardware, software), that are necessary for uninterrupted and efficient operation of an e-Commerce Web site, have an essential meaning and an importance, and require considerable amount of devotion, work, attention and appliance of knowledge, gained through excessive research activities. The key problem is to predict 'when' in the future the activity levels, i.e. the future workload levels, will saturate the system (either existing one or in a design phase), and finding out the most effective way of delaying it in time, as much as possible. Therefore, the solution of such problems inevitably leads towards development and usage of models for prediction of the performances of a given system.

On the other hand, a brand new profile of a customer, or a shopper, has emerged (e-Customer, e-Consumer, e-Shopper), who behaves in a quite specific manner in all phases of the online shopping process. Ensuring the satisfaction of such a shopper in a virtual environment remains the highest priority, albeit it is neither a simple, nor an easy task. The understanding of the decision-making process' complexity while shopping online, which is a result of the compound, unpredictable and stochastic behavior of the e-Customer, has always been extremely important for creating e-Business strategies and making adequate marketing decisions. Having on mind the immense value of such a knowledge, more and more research endeavors focus on studying the complex profile of the Internet shopper and his/her behavior recently.

Having into account these two premises, the need for conducting a comprehensive research on this subject has naturally evolved, with an ultimate goal to define an integral framework for performability analysis of a conceptual e-Commerce Web site, based on development and evaluation of a stochastic

model of e-Customer's online behavior. The underlying idea is that the analysis of the performances, as well as the reliability and availability issues of such a system viewed as a whole entity, i.e. viewed as a "human - machine" unity, can lead towards determination of the level of its overall performability, as a measure of a system's ability to perform.

This research endeavor has recognized the fact that there is a great disproportion between the ever increasing number of the contemporary e-Commerce systems and their raising complexity, and the relatively limited number of models (analytical and/or simulation based ones), developed for analysis of performability measures, which encompasses both the performances and dependability (reliability and availability) measures of such systems.

In most cases, only performance measures have been put in focus, while modeling and evaluation of other performability components' measures either has not been conducted at all, or has been done in a very limited volume. This is quite understandable, regarding the fact that popular e-Commerce Web sites, that accept millions of request per day, are forced to delay their answers very often, which results in extremely high values of the response time being observed/experienced. This unpleasant situation is a source of frustration for many e-Customers, and a subject to worry about for management teams of many e-Commerce Web sites. In fact, the most profound problem that e-Commerce system administrators face with is the inadequate dimensioning of the IT infrastructure in their efforts to assure and retain such a quality of service (QoS) levels that are both requested and expected by their users. This challenge requires a continuous assessment of both Web sites' performances and Web services they offer.

Up-to-date research regarding these issues range from partial assessments of particular components' and configurations' impacts upon system's performances, to development of predictive models, based on various approaches and appliance of different techniques. The most important contribution in this area are the analytical models for assessment of the performances of e-Commerce systems, developed by Menascé & Almeida (2000a, 2002), based on the utilization of the probability theory and the theory of queuing networks. By using the basic operational laws, i.e. the Utilization Law, the Forced Flow Law, the Service Demand Law, the Little's Law and the

Response Time Law, they have developed a series of analytical predictive models both on a level of a whole system (including infinite and finite-capacity queues, as well as infinite and finite number of users), and also on a particular hardware components level, as well (for open and closed systems, with workloads that include one or more classes). However, there are also many research endeavors for performance evaluation of systems that utilize predictive models that take advantage of neural networks and fuzzy logic, various classes of Markov processes and Markov chains, as well as different classes of Stochastic Petri Nets. For instance, Christensen *et al.* (1999) have developed a predictive model for capacity planning of Web servers, using Timed Hierarchical Coloured Petri Nets. Brosso *et al.* (2002a; 2002b) propose the usage of XML Petri Nets (Petri Net Modeling Language, PNML) for simulating Web based systems. Xu & Shatz (2001) propose an agent-based model of a Petri Net (G-Net), whilst Mitrevski *et al.* (2002) have developed a conceptual framework for performance analysis, based on e-Customers' online behavior modeling, using the class of Deterministic and Stochastic Petri Nets (DSPNs).

On the other hand, the assessment and evaluation of the dependability measures have been carried out in a limited number of isolated cases, including separate and specific computer systems, while the modeling and evaluation techniques are mostly based on utilization of specialized approaches, such as: series-parallel Reliability Block Diagrams, (RBDs), reliability fault trees, reliability graphs, as well as the series-parallel acyclic directed graphs. For instance, Robidoux *et al.* (2010) propose Dynamic Reliability Block Diagrams (DRBDs), as an extension to ordinary Reliability Block Diagrams, that are afterwards converted into Colored Petri Nets (CPNs) in order to perform dynamic analysis of the behavioral characteristics, and the correctness of the model, as well (Xu *et al.*, 2009). Wei *et al.* (2011) have presented a hierarchical method that combines the advantages of both the Reliability Block Diagrams and the class of the Generalized Stochastic Petri Nets (GSPNs) for quantifying the availability and reliability. Callou *et al.* (2012) apply the approach of hierarchical composition for evaluating dependability measures of complex architectures, utilizing block diagrams and GSPNs.

Nonetheless, many common techniques, based on mathematical models, are being used more often for modeling and evaluating of dependability

measures, including Markov chains and semi-Markov chains, Markov reward models (Sahner *et al.*, 1996; Donatiello & Grassi, 2001; Pattipati *et al.*, 2001), semi-Markov reward models (Ciardo *et al.*, 1992), Markov regenerative reward models (Logothetis & Trivedi, 1997), as well as combinatorial models (Veerarghavan & Trivedi, 1994). More often, Product-Form Queuing Networks (PFQNs) (Sahner *et al.*, 1996) are being used for these purposes, too.

As a result, various predictive models, which are heterogeneous by approaches, methodologies, robustness, substance, possibilities, accuracy, and quality, have been developed by appliance of various techniques. The majority of them are focused exclusively on performance evaluation of computer systems, while considerable smaller number of them addresses the performances of e-Commerce systems. Still, there are a few researches that have aimed at dependability measures (reliability and availability) of e-Commerce systems. It is also worthy to point out the fact that within all models that have been developed so far, there was no attempt to create a stochastic predictive model based on the e-Customer's on-line behavior.

All of these previously mentioned aspects have been a sufficient impulse and a huge motive to carry out this research, whose essence is the development of a complete, unique, integrated system of stochastic predictive models for performability evaluation of the contemporary e-Commerce systems, based on the formalism of Stochastic Petri Nets (SPNs). The evaluation of numerous performance and dependability measures has been carried out through solving SPN models by appliance of a software programming environment that allows writing a program code for development and executing discrete-event simulation (DES) models, based on the paradigm of active processes.

The main contributions of this research can be summarized as follows:

1. Compared to all existing approaches, which treat the problem of performability evaluation of e-Commerce systems in a partial and heterogeneous way, a new, original, holistic, integrated and homogeneous approach has been promoted within this dissertation for the first time, based on building and evaluation of stochastic predictive models, through the usage of corresponding graphical and mathematical formalisms, and their solving by using computer simulations with discrete events. This brand new and unique

approach, which is entirely and solely focused on the e-Commerce systems, is robust, unified and general by virtue;

2. The applied concepts and methodologies rely entirely on the dynamic and stochastic behavior of e-Customers during their online shopping sessions, since: i) a stochastic model of e-Customer's online shopping behavior has been used, for the first time; ii) a qualitative and a quantitative classification of e-Customers have been carried out for the first time, taking into account their similar patterns of online shopping behavior; iii) a workload characterization of an arbitrary generic e-Commerce system has been defined for the first time, through the specification of characteristic operating profiles, that define the participation of various classes of e-Customers in the mix, in various proportions;

3. For the first time, the hierarchical composition approach has been promoted in studying the complex concept of performability of e-Commerce systems, for developing stochastic sub-models that implement its particular components, including the performances and dependability (reliability and availability);

4. This research is the first attempt that promotes a hybrid approach to evaluation of performability measures of e-Commerce systems, relying on the usage of the classes of Deterministic and Stochastic Petri Nets (DSPNs) and Generalized Stochastic Petri Nets (GSPNs) for modeling various key aspects of the extremely complex e-Commerce systems, as well as the promotion of the new approach to solving those classes of stochastic Petri nets using a programming language for discrete-event simulation, based on active processes (SimPy/Python);

5. For the first time, a monolithic simulation model of the client/server interaction between e-Customers and e-Commerce system via Internet has been built, to evaluate numerous performance measures inherent to the e-Commerce paradigm, both on the client- and the server-side. A special attention has been given to derivation and evaluation of business-oriented performance measures.

A plethora of concluding remarks that are closely related to the e-Commerce systems' performability evaluation issues came out as a result of such a consistent, unified, robust, thorough and scientifically based approach.

The originally proposed methodology, along with the obtained results, as well as the conclusions that have been drawn from, set up new frontiers in the sphere of capacity planning, and also give a considerable contribution in the field of performability evaluation of e-Commerce systems. As being a first attempt of this kind, this approach opens many new possibilities and raises many new unanswered questions which impose the need for further and long-term exploration of not only e-Commerce systems and e-Customers' online shopping behavior, but also the tools and techniques for addressing the wide spectrum of issues related to performability modeling and evaluation of systems an e-Commerce paradigm relies on.

**Keywords:** Performability, Performances, Dependability, Reliability, Availability, e-Commerce systems, Modeling, Evaluation, e-Customer's online behavior, Stochastic Petri Nets, Discrete-Event Simulation