

Апстракт

Историскиот развој на видео стримингот во живо започнува со појавата на Quick Time видео форматот на Apple погоден за видео стриминг, кој коинцидира со појавата на World Wide Web како јавен сервис на Интернет, во 1991 година, а почетоците на видео стримингот ги карактеризира класичната клиент/сервер архитектура која покажува ограничувања во можностите за поддршка на поголем број едновремени корисници. Потоа, се наметна идејата дека *IP Multicast* технологијата на Deering S. et al. [1] од 1990 година ќе биде природната замена за клиент/сервер системите, но недостатокот на поддршка за функционалност од повисоко ниво, проблеми со потребите за скалабилност и барањата за хардверски измени во Интернет технологијата доведоа до пречки во нејзината поширока употреба. Како следен чекор во развојот на видео стриминг системите е воведувањето на концептот на мрежи за испорака на содржини (Content Delivery Network - CDN). CDN во основа претставува мрежа на поголем број сервери кои се наоѓаат на различни географски локации со хиерархиска организираност, но иако на овој начин се решава проблемот на „голем број корисници“, прашањето на високата цена останува нерешено. Од овие причини, во последната деценија на минатиот век, започна интензивно да се работи на развој на нова технологија за видео стриминг која е евтина, лесно се применува и може да поддржува стотици илјади симултани корисници, и тоа со релативно ниска цена на закупените сервери и Интернет врски. Се работи за Peer-to-Peer (P2P) технологија на меѓусебно поврзани корисници кои врз физичката мрежа формираат логичка мрежа на апликациско ниво. Имено, кај P2P стриминг системите, секој корисник (peer) одржува врски со други корисници и има задача да ги проследува добиените видео пакети, во рамките на своите способности. Оваа класа на „One to Many“ видео стриминг е лесно применлива, бидејќи P2P технологијата не бара посебна поддршка од постоечката мрежна инфраструктура, а истовремено со нараснувањето на системот овозможува и нараснување на ресурсите. P2P видео стримингот во живо е релативно нова парадигма која може да обезбеди испорака на мултимедиски содржини до огромен број корисници, но ваквите системи сè уште се во рана фаза на развој и постојат повеќе отворени прашања кои треба да бидат разрешени.

соседства. Покрај тоа, сите претходно споменати модели не вклучуваат: интензитет на контролниот сообраќај и загуба на пакети преку мрежната инфраструктура, а воедно, во досегашните истражувања не се направени анализи на системи кои имплементираат контрола на влез.

Притоа, главните црти кои го карактеризираат основниот придонес на ова научно истражувачко дело се:

1. Применетиот пристап на моделирање вклучува голем број влезни параметри кои како комбинација не се среќаваат во претходните истражувања, односно: *i*) мрежна топологија, *ii*) динамика на учество на корисниците, *iii*) скалабилност, *iv*) просечна големина на корисничките групи, *v*) хетерогеност на пропусната моќ на излезната податочна врска на корисниците и *vi*) баферирање на видео податоците, при што за прв пат се вклучуваат: *vii*) интензитетот на контролниот сообраќај, *viii*) загубата на пакети преку мрежната инфраструктура и *ix*) контролата на влез за корисници со помал придонес.

2. Изведени се бројни излезни параметри кои го карактеризираат однесувањето и перформансите на P2P системите за видео стриминг, меѓу кои: *i*) оптималната вредност за просечната големина на корисничките групи, *ii*) оптималниот капацитет на баферот и *iii*) перформанси на скалабилноста на системите, се споредени со претходните истражувања, додека пак, за првпат се изведени: *iv*) минималната излезна пропусна моќ на серверот, *v*) оптималниот интензитет на видео потокот за извесни мрежни услови, *vi*) влијанието на контролниот сообраќај врз перформансите на системот, *vii*) степени на деградиран сервис и *viii*) перформанси на систем кој применува контрола на влез, каде дополнително се анализирани: *ix*) средниот број на корисници кои чекаат за влез и *x*) просечните времиња на чекање.

3. Ова истражување претставува прв обид за примена на формализмот на флуидните стохастички Петриevi мрежи за моделирање на крајно сложени P2P видео стриминг системи, а воедно е применет и нов пристап за симулирање на Петриевите мрежи со користење на програмски јазик за симулации со дискретни настани кои се засноваат на активни процеси.

Притоа, генералните заклучоци укажуваат дека оптималната вредност за просечната големина на групите изнесува 60-120 корисници, а оптималниот капацитет на баферот е 30 секунди. Перформансите на скалабилноста покажуваат

дека нараснувањето на системот оди во прилог на нивно подобрување, но само до извесна точка на пресврт (кога интензитетот на видео потокот изнесува околу 0.843 од средната пропусна моќ на корисниците), после која перформансите нагло опаѓаат. Минималната пропусна моќ на серверот треба да е доволна да поддржува најмалку 3 корисници, а интензитетот на видео потокот не смее да ја надмине точката на пресврт. Неколките воведени степени на деградиран сервис даваат добра поддршка за планирање на интензитетите на видео потоците кај системи кои применуваат техники на скалабилно видео кодирање. Заклучоците во однос на влијанието на контролниот сообраќај покажуваат дека тоа е незначително (освен за екстремно големи групи), што претставува добра основа за дефинирање на контролен сообраќај без поголеми рестрикции. Еден од најинтересните заклучоци доаѓа од анализата на систем кој применува контрола на влез за корисници со помал придонес, каде не се забележува речиси никакво подобрување на перформансите на системот. Единствените подобрувања се наоѓаат длабоко во регионот на недоволен капацитет (односно состојби кога системот во голема мера ја надминува точката на пресврт), па затоа немаат корисно значење. Токму поради тоа, примената на контрола на влез има само негативно влијание врз перформансите на P2P видео стриминг системот, што се покажува и од анализите на средниот број на корисници кои чекаат за влез и анализите на нивните времиња на чекање.

Сè на сè, моделот овозможува солидна проценка на перформансите на еден P2P систем за видео пренос и обезбедува значајни сознанија за однесувањето на системот кои можат да се употребат за низа предвидувања при дизајнирање и развој на апликации од ваков тип.

Клучни зборови Моделирање, Перформанси, Видео стриминг во живо, Peer-to-Peer, Мрежи од редови на чекање, Флуидни стохастички Петријеви мрежи, Симулации со дискретни настани

Abstract

The historical development of video streaming technologies begins with the development of Apple's Quick Time video format, suitable for streaming media, which coincides with the development of World Wide Web as a public Internet service, in 1991. At first, video streaming was characterized by the classical client/server architecture that exhibits limitations in its capabilities to support large number of concurrent users. Hence, in the early '90s it was expected that IP Multicast (Deering S. et al. [1]) will be the natural technology to replace the client/server systems and satisfy the requirements of large number of users with lower cost. However, lack of support for functionality of higher level, scalability issues and requirements for hardware Internet technology changes have prevented its wider deployment. As a further step in the development of streaming systems is the concept of Content Delivery Networks (CDN). In its basics, CDN is a network of larger number of hierarchically organized servers that are distributed over distinct geographic locations. But, even though these CDN provide solutions to the problem of "large number of clients", the question of high prices remains unamended. For these reasons, in the last decade, the science community began to work in the field of new approach for Internet video streaming by the use of Peer-to-Peer (P2P) networking technologies. In this paradigm every user (peer; node) maintains connections with other peers and forms an application level logical network on top of the physical network. Video stream originates at a source and every peer acts as a client, as well as a server, forwarding the received video packets to the next peer. P2P logical networks are used to deliver video without the need of broadband server connections. This class of "One to Many" video streaming is easy to deploy because P2P technology does not require network infrastructure support and offers scalability of resources having peers act as clients or servers, leading to small bandwidth server being able to transmit video to hundreds of thousands of users. P2P networks offer huge economic benefit in deploying and managing IP video streaming, but bring a lot of open issues and research challenges that need to be tackled. Besides the existing numerous applications, P2P video streaming systems are still in their early stages.

During this research, two key facts were highly noticeable. First, there is large number of existing P2P live streaming systems that are already deployed and exhibit substantial results. Second, since these systems are relatively new, very limited number

of research activities (analytical and/or simulation) has been directed toward modeling and performance analysis of P2P live streaming systems, that would provide an adequate evaluation of their behavior. Considering the fact that the modeling and performance evaluation is a key element in the process of development of real systems, it is only natural that P2P live streaming systems require deeper elaboration of their characteristics and more adequate performance evaluations.

Inspired by the fore mentioned conclusions, this research is concentrated on the development of several performance evaluation models of P2P video streaming systems, by the use of Fluid Stochastic Petri Nets (FSPN) methodology. Besides, as a second part of the solution, a comparable Queuing Network (QN) model is also developed, which leads to formation of a hybrid modeling approach. Hybrid modeling approaches are widely used in the field of performance analysis when more systematic analyses are required, where different modeling formalisms and solution methods are combined in order to exploit their complementary strengths. Hence, this research method provides performance evaluations of P2P live video streaming systems in respect to several input and output parameters that are not considered in the previous researches, thus considerable contribution in the field of P2P systems is yielded.

From the existing related researches, the models in [64-70] are not applicable for analyses of P2P live video streaming systems, because they are created for performance analyses of P2P file sharing systems [64-67], or Video on Demand systems [68-70]. Concerning the models that evaluate the performance of P2P live video streaming systems [71-78] it must be pointed out that most of them tend to omit some of the essential characteristics of the behavior of P2P systems for live video streaming. Hence, the models in [71, 72, 76, 78] do not consider peer churn, while the models in [73, 74, 76, 78] do not take the buffering of video data into account. Likewise, the models in [71, 72] do not consider the heterogeneity of peers' upload bandwidth. Two of these models (Kumar R. et al. [75] и Feng C. et al. [77]) are more detailed ones, but they do not consider the organization of the peers in groups or neighborhoods. Besides, all previously mentioned models do not consider: control traffic overhead, Internet traffic packet loss and implementation of admission control for lower contributing peers.

Therefore, the general guidelines that characterize the main contributions of this research can be summarized as:

1. This modeling approach includes large number of input parameters that as a combination cannot be found in the previous researches, such as: *i*) network topology, *ii*) peer churn, *iii*) scalability, *iv*) average group size, *v*) peer's upload bandwidth heterogeneity and *vi*) video buffering, while for the first time accounts for: *vii*) control traffic overhead, *viii*) Internet traffic packet loss and *ix*) admission control for lower contributing peers.

2. Lots of output parameters that characterize the behavior of P2P live video streaming systems are derived, among which: *i*) optimal value for the average group size, *ii*) optimal buffer capacity and *iii*) performance of the system in respect to its size are compared with the conclusions of previous related researches, while for the first time introducing: *iv*) minimum required server upload bandwidth, *v*) optimal video rate for certain network conditions, *vi*) influence of the control traffic overhead, *vii*) degrees of degraded service and *viii*) performance evaluation of a system that implements admission control, where the analyzed aspects include: *ix*) average number of peers that are forced to wait, and *x*) average waiting times.

3. This is a first effort to evaluate the performance of highly complex P2P live video streaming systems using the formalism of fluid stochastic Petri nets, while for the first time a novel method for simulation of FSPN is engaged, as well. Moreover, this research also represents a first effort to conjointly use FSPN and QN in a hybrid modeling approach for performance analysis of P2P live video streaming systems.

Hence, the general conclusions imply that the optimum peer group size is around 60 to 120 peers and the optimal buffer size is 30 seconds of video data. Analyses of the system's scalability indicate that the system scaling improves the performance, but only to a certain point (switch-point), after which the performance curve steeply declines. In addition, to fully benefit from the implemented buffer, the source (streaming server) upload bandwidth should be sufficient to support at least 3 peers, and the video rate should be carefully set with consideration of the switch-point. The introduced degrees of degraded service provide solid support for separate sub-streams rates definition, when some scalable video coding technique is used. Regarding the influence of the control traffic overhead it can be inferred that control traffic has negligible influence (except for extremely large peer groups) which suggests that no larger restrictions on the control rate should be applied. Fairly, the performance analysis of system that implements admission control gains one of the most interesting results. Namely, the charts show that

the performance gains almost no benefit with the introduction of admission control and only slight improvement can be regarded in the region of deep undercapacity (i.e when the system operates far beyond the switch-point), which has no valuable meaning. Therefore it can be concluded that admission control does not bring any improvement to the system's performance and only lowers the quality of offered services, which can be inferred from the analyses of the average number of peers forced to wait, as well as their average waiting times.

All in all, the model provides substantial performance evaluations of P2P live video streaming systems and brings considerable information about the behavior of such systems that can be used in a number of predictions in the process of planning and development of this type of systems.

Keywords Modeling, Performance, Live video streaming, Peer-to-Peer, Queuing networks, Fluid Stochastic Petri Nets, Discrete-event simulations