

Analiza działania strumieniujących systemów nakładkowych stosujących rozwiązania ISO *Isolated Channel* oraz *View Upload Decoupling*

Agnieszka Włodarczyk, Krzysztof Wajda, Andrzej Staniszewski
(e-mail: {włodarczyk, wajda, staniszewski}@kt.agh.edu.pl)
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Telekomunikacji

STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia analizę dwóch istotnych mechanizmów działania nakładkowych (*peer-to-peer*) systemów strumieniujących stosowanych do dystrybucji strumieni wideo: podstawowy ISO *Isolated Channel* oraz udoskonalony – *View Upload Decoupling*. Zaprezentowano rozważania teoretyczne oraz ilustracje zachowania obu rozwiązań dla różnych szybkości transmisji od użytkownika (*uplink*) i do użytkownika (*down link*). Dodatkowo przedstawiono wyniki obrazujące działanie obu rozwiązań w sytuacji występującej w Polsce na rynku dostępu do Internetu.

Słowa kluczowe: model sieci, sieci partnerskie, aplikacje strumieniujące, systemy wideo, rynek usług internetowych

ABSTRACT

Analysis of Streaming Peer-to-Peer Systems Implementing ISO *Isolated Channel* and *View Upload Decoupling* Solutions

The paper presents an analysis of two important overlay (*peer-to-peer*) streaming applications used for distribution of video streams: basic ISO *Isolated Channel* and enhanced – *View Upload Decoupling*. Theoretical investigations and illustration of efficiencies for both solutions are shown for different uplink and downlink transmission speeds. Additionally, the results using available statistical data for Polish Internet access are presented.

Key words: network model, peer-to-peer networks, streaming applications, video systems, Internet service market

1. Wstęp

Sieci nakładkowe typu P2P stanowiły w ostatnich 10 latach istotny czynnik rozwoju sieci Internet. Każdy użytkownik sieci nakładkowej pełni rolę zarówno klienta, jak i serwera. Pozwoliło to rozwiązać niektóre problemy architektury klient-serwer, takie jak słaba skalowalność, mała elastyczność i wrażliwość na awarie. Dzięki tym nowym cechom systemy wykorzystujące sieci typu P2P w ostatnich latach cieszyły się dużą popularnością. Przykładem wykorzystania tego rozwiązania są systemy dystrybucji strumieni wideo (*P2P live video streaming*). Istotną grupą zastosowań takich systemów są telewizje internetowe, oglądane jednocześnie przez tysiące użytkowników [1, 2]. Popularne stacje, np. PPLive [3], PPStream [4] oraz UUSee [5] oferują swoim użytkownikom setki kanałów telewizyjnych i są popularne na całym świecie [1, 6]. Celem, który chcą osiągnąć projektanci sieci typu *P2P live video streaming*, jest zapewnienie wszystkim użytkownikom możliwości odtwarzania dowolnych kanałów bez utraty jakości (*universal streaming*) oraz zmniejszenie opóźnień (*startup and playback delays, channel switching delay*). Osiągnięcie tych celów jest trudne ze względu na ciągłe zmiany liczby użytkowników w sieci (związanych z porą dnia/tygodnia), częstymi zmianami kanałów oraz ich różnicowaniem (przepływność strumienia, popularność).

Niezbędne jest wprowadzenie mechanizmu sterowania rozdzielaniem i dostarczaniem informacji. Tradycyjne rozwiązanie sposobu dystrybucji strumienia ISO (*Isolated Channel*) zostało następnie udoskonalone i przedstawione jako mechanizm VUD (*View Upload Decoupling*) [7, 8]. Zgodnie z analizą oraz przeprowadzonymi symulacjami [7] mechanizm VUD zapewnia zwiększenie stabilności sieci i lepsze zagospodarowanie zasobów sieciowych. Poprawia także jakość odtwarzania kanałów telewizyjnych o małej popularności oraz zmniejsza opóźnienia transmisji.

2. Zasady działania sieci mechanizmu ISO i VUD

Największe istniejące systemy P2P strumieniujące (*live video streaming*) oparte są na architekturze określonej jako *mesh-pull*. Architektura ta składa się z trzech głównych komponentów [1]:

- 1) Węzeł użytkownika (*streaming peer node*). Użytkownicy pobierają ustalone paczki danych wideo (*video chunks*) z serwerów i także od siebie nawzajem, następnie fragmenty strumienia są ponownie scalane i odtwarzane.
- 2) Kanałowy serwer strumieniujący (*channel stream server*). Dzieli on ponownie pierwotny strumień kanału na paczki (*chunks*) i rozsyła użytkownikom.

- 3) Serwer typu *tracker*. Dostarcza on informacje na temat kanałów telewizyjnych i użytkowników aktualnie znajdujących się w sieci.

Rejestracja w systemie składa się z kilku etapów. Na początku użytkownik zgłasza się do serwera typu *tracker*, w odpowiedzi otrzymuje listę dostępnych kanałów telewizyjnych. Użytkownik wysyła informację o wyborze kanału. Serwer typu *tracker* wysyła użytkownikowi listę innych terminali (adresy IP oraz numery portów) aktualnie pobierających ten kanał. Użytkownicy redystrybuują tylko ten kanał, który sami oglądają, i to znacząco ogranicza efektywność działania systemu. Taki sposób działania sieci można nazwać *isolated-channel* (ISO) [7].

Mechanizm VUD polega na tym, że następuje całkowity rozdział treści, która jest oglądana, od treści wysyłanej. W tym mechanizmie dany użytkownik może oglądać np. kanał 1 i jednocześnie redystrybuować do innych użytkowników np. kanał 2. Wiąże się to ze zwiększeniem ruchu w sieci, ponieważ oprócz oglądanego kanału użytkownik pobiera także dane, które nie są mu bezpośrednio potrzebne. Aby zmniejszyć nadmiar, można podzielić strumień na k podstrumieni. Dla jednego kanału potrzebnych jest k grup dystrybucyjnych, każda z grup pobiera jeden podstrumień, użytkownik oglądający dany kanał musi pobierać wszystkie podstrumienie, czyli w rezultacie pobiera dane ze wszystkich k grup dystrybucyjnych [7]. Grupy dystrybucyjne są niyby-stałe (*semi-stable*), nie ulegają zmianie, gdy użytkownicy przełączają kanały. W dłuższym horyzoncie czasowym grupy dystrybucyjne mogą zmieniać swoją liczebność w związku ze zmieniającym się zapotrzebowaniem na zasoby (zmieniającą się popularnością kanałów). Użytkownicy w jednej grupie dystrybucyjnej pobierają pełny podstrumień, czyli kilku użytkowników pobiera go z serwera, a następnie wymieniają go między sobą. Nie ma specjalnych wymagań na sposób wymiany danych, ale biorąc pod uwagę to, że grupy są niyby-stałe, można zastosować architekturę drzewa, ze względu na dobre parametry czasowe. Wielkość grupy dystrybucyjnej powinna być dostosowana do zapotrzebowania na dany kanał. Pojedynczy użytkownik może należeć do kilku grup dystrybucyjnych, w zależności od swoich możliwości technicznych.

3. Model kolejkowy wielokanałowego P2P live video streaming

W artykule [8] zaproponowano zamodelowanie sieci wielokanałowej typu P2P live video streaming jako zamkniętej sieci kolejek typu Jacksona. Węzłami w tej sie-

ci są kanały, długość kolejki to liczba użytkowników kanału. Użytkownicy mogą dowolnie i niezależnie od siebie zmieniać kanały. W modelu dla uproszczenia przyjęto, że w danej chwili sumaryczna liczba użytkowników n nie ulega zmianie.

W następstwie przyjęcia założenia, że sieć jest zamknięta, spełniona jest zależność charakteryzująca stan stacjonarny: $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}P$, gdzie $\bar{\lambda}$ jest wektorem intensywności przybyć użytkowników poszczególnych kanałów, a P jest macierzą przejść. Dla uproszczenia założono, że wszyscy użytkownicy w systemie są przypisani do kanałów (każdy użytkownik ogląda jakiś kanał): $M_1 + M_2 + \dots + M_J = n$, gdzie M_j to liczba użytkowników oglądających dany kanał.

Dla każdego zestawu wartości $m_1, \dots, m_J$ takich, że $m_1 + \dots + m_J = n$ mamy:

$$P(M_1 = m_1, \dots, M_J = m_J) = n! \frac{\rho_1}{m_1!} \dots \frac{\rho_J}{m_J!} \quad (1)$$

gdzie $\rho_j = \frac{\lambda_j}{\mu_j}$ – względna popularność j -tego kanału (w dalszej części pracy będzie użyta wartość znormalizowana ρ_j czyli $\rho_1 + \dots + \rho_J = 1$).

Zestaw $(m_1, \dots, m_J)$ ma rozkład wielomianowy. Natomiast zmienna M_j ma rozkład dwumianowy, z wartością oczekiwaną $E[M_j] = n\rho_j$, opisany wzorem:

$$P(M_j = m_j) = \frac{n!}{m_j!(n-m_j)!} \rho_j^{m_j} (1-\rho_j)^{(n-m_j)} \quad (2)$$

Założono także, że wszystkie kanały nadają strumień o takiej samej i stałej w czasie przepływności r . Intensywności przybyć dla poszczególnych kanałów (ich popularność) także są stałe w badanym okresie czasu. Użytkownicy zostali podzieleni na dwie klasy, ze względu na szybkość wysyłania u (*upload bandwidth*):

- użytkownicy dysponujący szybkością wysyłania u^h większą od r ,
- użytkownicy dysponujący szybkością wysyłania u^l mniejszą od r .

Dla każdego kanału można wyznaczyć współczynnik zasobów (*resource index*):

$$\sigma_j(M_j) = \frac{b_j - o_j}{d_j(M_j)} \quad (3)$$

gdzie b_j jest sumą pasma upload, $d_j(M_j)$ jest wymaganym pasmem do zapewnienia strumieniowania uniwersalnego kanału j dla danej liczby widzów. Składnik o_j jest częścią pasma wykorzystywanym przez mechanizm VUD dla kanału j . Dla mechanizmu ISO składnik o_j jest równy zero.

Prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego dla kanału j jest zdefiniowane jako:

$$PU_j = P(\sigma_j(M_j) \geq 1) \quad (4)$$

Z powyższego wzoru bezpośrednio wynika wzór na prawdopodobieństwo dla strumieniowania uniwersalnego (czyli dla sytuacji, w której wszyscy użytkownicy otrzymują bez przerw informacje w oglądanych kanałach) w całym systemie, dla J kanałów.

$$PS = P(\sigma_j(M_j) \geq 1, \quad j = 1, \dots, J) \quad (5)$$

4. Przykłady obliczeń

4.1. System jednokanałowy

Aby lepiej zrozumieć zależności w sieciach wielokanałowych, warto przeanalizować najpierw działanie systemu jednokanałowego. Korzystając z modelu zaproponowanego w artykule [9], można zbadać wpływ liczby użytkowników oraz ich szybkości wysyłania na prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego (czyli poprawne działanie systemu). Obliczenia zostały wykonane przy wykorzystaniu programu *MatLab* i wzorów wyprowadzonych w [9]. Zbadano dwa systemy: mały (liczba użytkowników $n = 100$) oraz duży ($n = 1000$). Dla każdego systemu zbadano, jaki wpływ ma zwiększenie przepływności serwerów strumieniujących. Przyjęto: $u^h = 3r$, $u^l = 0,2r$, f jest stosunkiem liczby użytkowników o wysokiej szybkości wysyłania do liczby użytkowników o niskiej szybkości wysyłania ($f = \frac{n^h}{n^l}$).

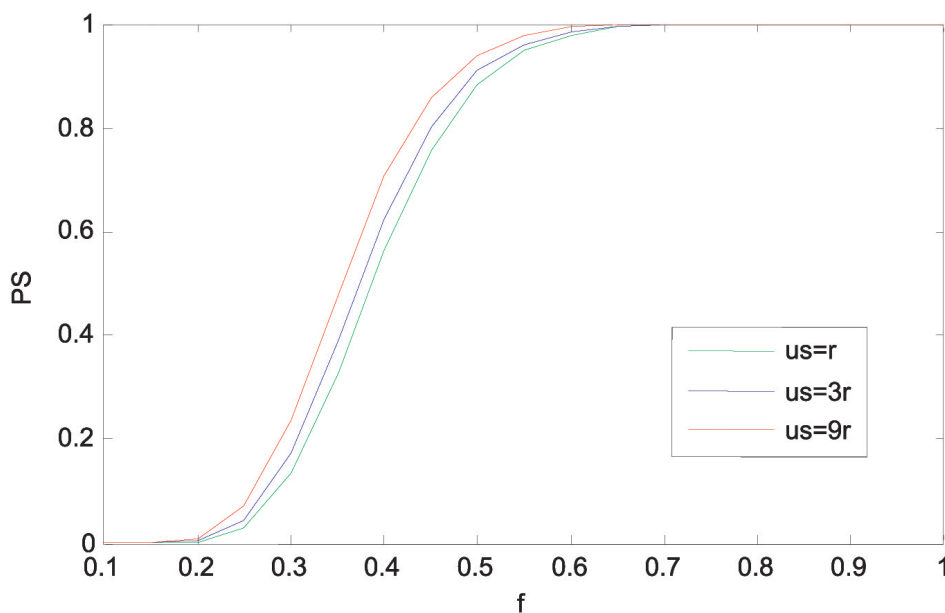
Analizując wykresy (rys. 1–3) można wyciągnąć wnioski:

- Wraz ze wzrostem liczby użytkowników w systemie charakterystyka $PS(f)$ staje się coraz bardziej stroma, wartość f , dla której funkcja PS przyjmuje wartość jeden, maleje i zbliża się do wartości parametru krytycznego $c = \frac{r - u^l}{u^h - r}$.
- Zastosowanie dodatkowej przepływności serwera strumieniującego znacznie poprawia prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego jedynie dla małych systemów. Dla systemów o większej liczbie użytkowników nawet przy zastosowaniu dużej wartości u_s nie widać znaczącej poprawy PS .

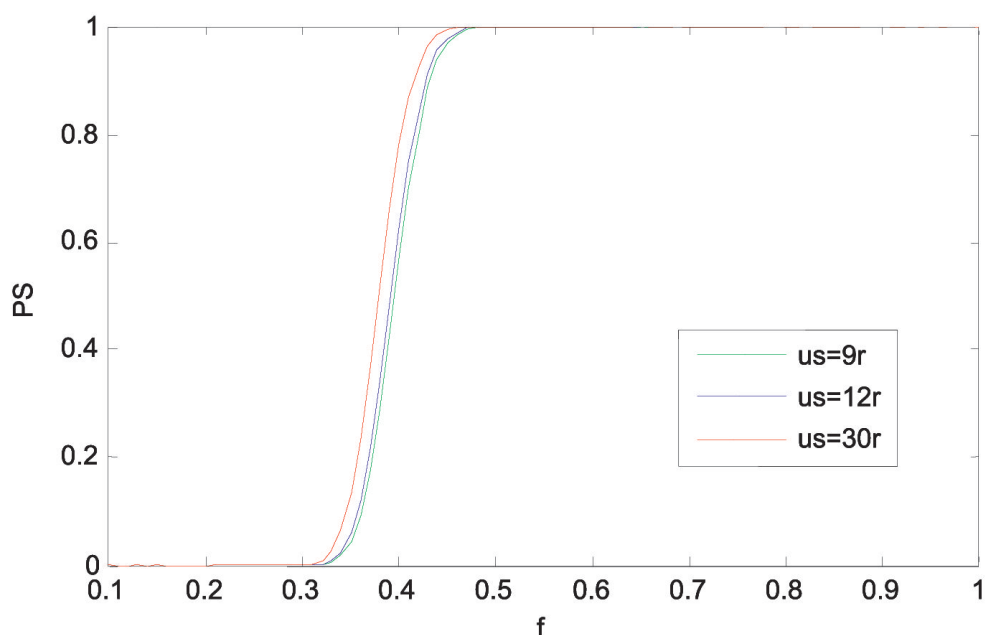
4.2. System wielokanałowy

Do zamodelowania popularności kanałów użyto rozkładu Zipfa. Jest to rozkład powszechnie stosowany do modelowania różnych zjawisk o charakterze społecznym, takich jak częstość występowania słów w słowniku języka, rozkład dochodów ludności, rozkład wielkości miast a także rozkład popularności stron internetowych. Rozkład Zipfa określa częstotliwość występowania elementu o randze k w danej populacji. Elementy o najniższej randze występują najczęściej. Poniżej przedstawiony jest wzór na gęstość prawdopodobieństwa, dla modelowania popularności kanałów.

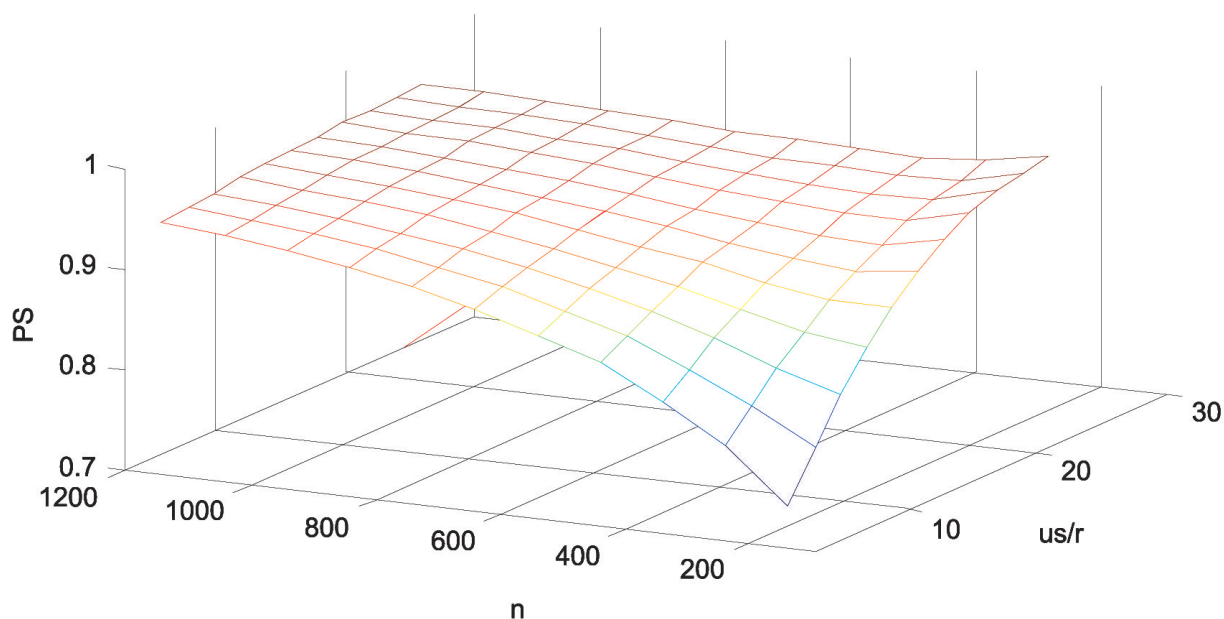
$$f(k, s, J) = \frac{1/k^s}{\sum_{n=1}^J n^s} \quad (6)$$



Rys. 1. Prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego dla $n = 100$ dla przepływności serwera strumieniującego $u_s = r, 3r, 9r$



Rys. 2. Prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego dla $n = 1000$ dla przepływności serwera strumieniującego $u_s = 9r, 12r, 30r$

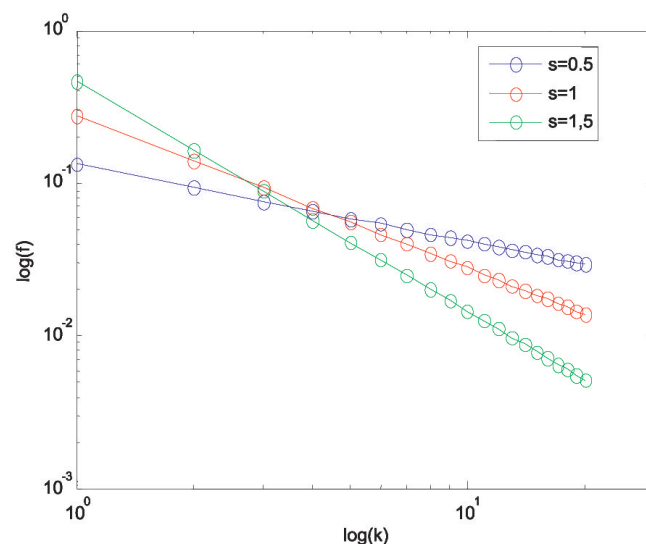


Rys. 3. Prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego w zależności od n oraz u_s dla $f = 0,45$

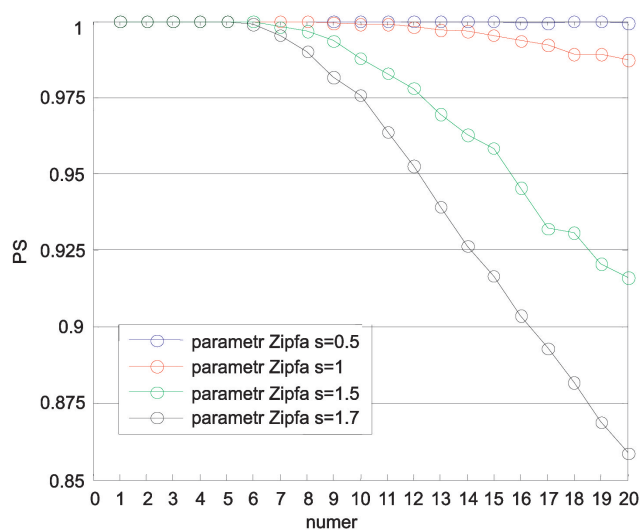
gdzie J to liczba wszystkich elementów (kanałów w systemie), k oznacza rangę elementu (kanału), s to parametr, od którego zależy zróżnicowanie popularności pomiędzy kanałami. Im większa jest wartość parametru s , tym większe zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi kanałami (rys. 4).

W badanym przypadku liczba kanałów wynosi $J = 20$ w systemie znajduje się $n = 2000$ użytkowników.

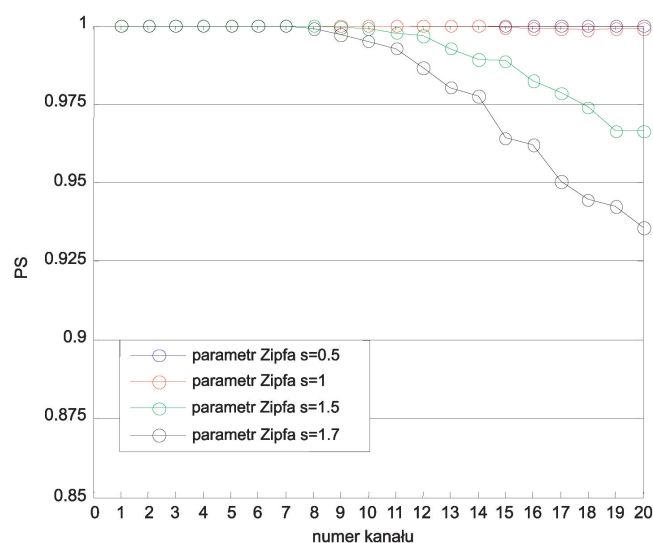
Porównując wartości prawdopodobieństwa strumieniowania uniwersalnego PS na rysunku 5 oraz rysunku 6, można zauważyć, że zarówno rozwiązanie ISO jak i VUD jest zależne od zróżnicowania popularności kanałów. Wraz ze wzrostem wartości parametru s rozkładu Zipfa, wartość PS maleje dla kanałów mniej popularnych. Jednak dla rozwiązania VUD prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego jest wyższe niż dla ISO w tych samych warunkach.



Rys. 4. Gęstość prawdopodobieństwa dla rozkładu Zipfa w zależności od parametru s (w skali logarytmicznej)



Rys. 5. Prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego dla ISO dla poszczególnych kanałów w zależności od popularności kanału ($n = 2000$, $f = 0,5$, $u^h = 3r$, $u^l = 0,2r$)



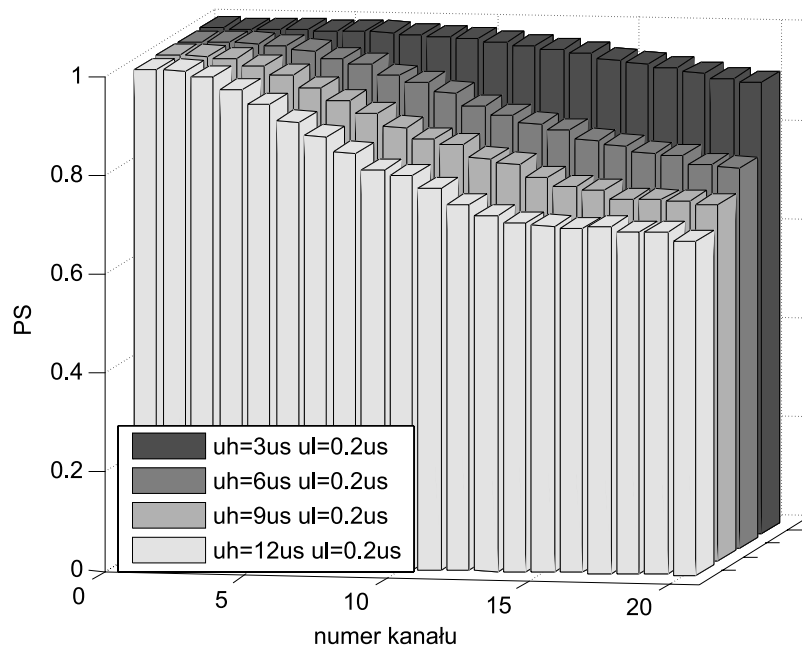
Rys. 6. Prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego w przypadku mechanizmu VUD dla poszczególnych kanałów w zależności od popularności kanału ($n = 2000$, $f = 0,5$, $u^h = 3r$, $u^l = 0,2r$)

Przy wykorzystaniu mechanizmu ISO wraz ze wzrostem różnicy pomiędzy u^l oraz u^h prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego gwałtownie malało, szczególnie dla kanałów mało popularnych.

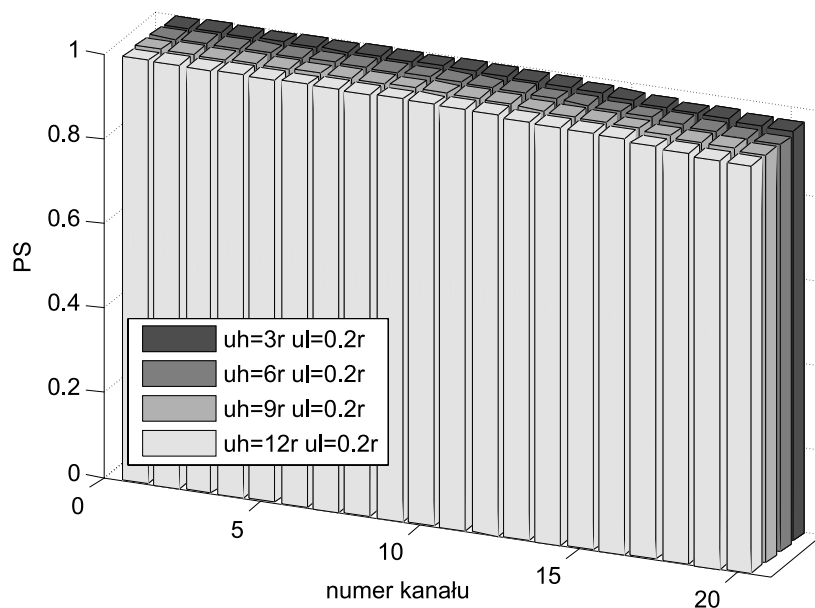
Z porównania rysunków 7 oraz 8 wynika, że rozwiązanie VUD w odróżnieniu od ISO jest odporne na niekorzystny wpływ dużego zróżnicowania szybkości wysyłania użytkowników. Wartości prawdopodobieństwa uniwersalnego nie zmieniały się dla kolejnych zmian szybkości wysyłania oraz odbierania.

5. Analiza wyników w nawiązaniu do przykładowej struktury szybkości łączy dostępowych

W Polsce, podobnie jak na świecie, można zaobserwować wzrost zainteresowania telewizją internetową. W roku 2005 szacowano, że tylko 6% wszystkich



Rys. 7. Prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego dla rozwiązania ISO, dla poszczególnych kanałów w zależności od rozkładu szybkości wysyłania użytkowników (przy założeniu, że średnia szybkość pozostaje stała), dla parametru rozkładu Zipfa równego $s = 1,5$



Rys. 8. Prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego dla rozwiązania VUD, dla poszczególnych kanałów w zależności od rozkładu szybkości wysyłania użytkowników (przy założeniu, że średnia szybkość pozostaje stała). Dla parametru rozkładu Zipfa równego $s = 1,5$

Tabela 1

Rozkład szybkości wysyłania (*upload*) i pobierania (*download*)

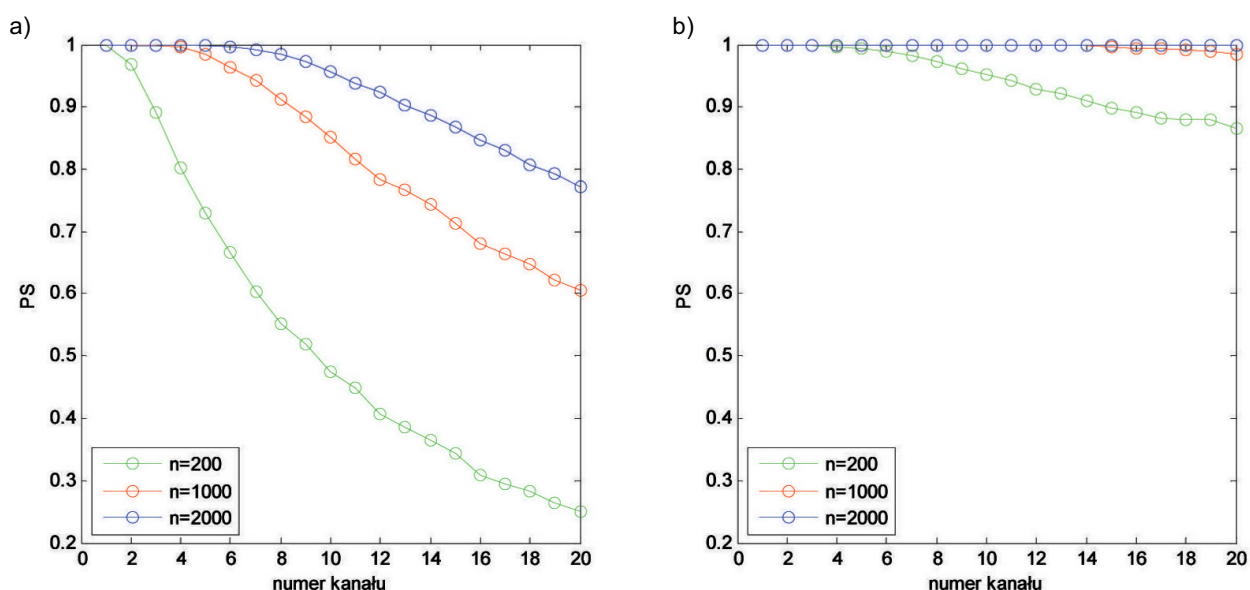
Szybkość pobierania	Szybkość wysyłania	xDSL	TV K	LAN Eth	Pozostałe*	Suma
256, 512 kbit/s	128 kbit/s	6%				6%
768, 1024, 2048 kbit/s	256 kbit/s	36%	1%			37%
1 Mbit/s	384 kbit/s		5%			5%
2 Mbit/s	512 kbit/s	9	10%			20%
5 Mbit/s	768 kbit/s		10%	1%	1%	12%
10, 15, 20 Mbit/s	1 Mbit/s	1%	5%	1%	1%	8%
20 Mbit/s	2 Mbit/s		5%			5%
	większa od 8Mbit/s		1%	5%	1%	7%

* Pozostałe: bezprzewodowe sieci WLAN, łącza dzierżawione, satelitarne i światłowodowe, FWA, WiMax oraz CDMA.

użytkowników Internetu korzystało z tego typu usług, liczba ta wzrosła do 22% w 2010 roku [13]. Przepływność strumienia kanału telewizyjnego wynosi, w zależności od jakości obrazu, około 0,5–1,5 Mbit/s. Bazując na dostępnych danych o rynku telekomunikacyjnym w Polsce, przeanalizowano, jak w rzeczywistych warunkach sprawdząby się rozwiązania VUD oraz ISO. W tabeli 1 znajdują się przybliżone dane na temat rozkładu szybkości pobierania i wysyłania [10, 11, 12]. Korzystając z powyższych danych zbadano trzy systemy o różnej liczbie użytkowników ($n = 200$, $n = 1000$, $n = 2000$). Założono, że strumień kanałów telewizyjnych mają przepływność równą 512 kbit/s, popularność kanałów jest zamodelowana rozkładem Zipfa o para-

metrze $s = 1,5$. Użytkownicy o szybkości pobierania mniejszej niż 512 kbit/s nie mają możliwości korzystania z usługi (6% ogółu). Przy tych założeniach średnia szybkość wysyłania przypadająca na użytkownika wynosi: $\bar{u} = 1090$ kbit/s.

Rozwiązanie VUD zapewnia większe prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego niż ISO i był to spodziewany wynik (rys. 9). Nawet dla małego systemu ($n = 200$) nie spadło poniżej 0,85%, dla systemów dużych $n = 1000$ oraz $n = 2000$ wszystkie kanały były dostępne z prawdopodobieństwem bliskim jedynki. W przypadku rozwiązania ISO system nie funkcjonowałby poprawnie w średnich warunkach polskich, nawet przy dużej liczbie użytkowników.



Rys. 9. Porównanie rozwiązań ISO (a) oraz VUD (b) dla rozkładu szybkości przedstawionego w tabeli 1 i przepływności strumienia 512 kbit/s

6. Porównanie obu mechanizmów

Analizując wyniki obliczeń można zaobserwować szereg zależności i wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) Wzrost liczby użytkowników poprawia jakość strumieniowania, zarówno dla pojedynczego kanału, jak i dla systemów wielokanałowych dla obydwu rozwiązań, czyli ISO oraz VUD.
- 2) Wprowadzenie dodatkowej infrastruktury strumieniującej poprawia prawdopodobieństwo strumieniowania uniwersalnego, ale jest to rozwiązanie bardzo mało efektywne, ponieważ konieczne byłyby bardzo duże nakłady, aby znacząco zmienić charakterystykę strumieniowania uniwersalnego PS. Korzyści można zauważyć jedynie dla małych systemów, w przeciwnym przypadku, gdy rośnie liczba użytkowników, dodatkowa przepływność serwera strumieniującego ma coraz mniejsze znaczenie.
- 3) Rozwiązanie ISO jest bardzo wrażliwe na zmieniającą się popularność kanałów, ujawnia się tutaj problem kanałów mało popularnych, wynika to z nieoptymalnego rozłożenia zasobów sieciowych pomiędzy kanały.
- 4) Wraz ze zwiększeniem różnicy w wartościach szybkości w kierunku wysyłania, znacznie pogorszyło się działanie sieci wykorzystującej rozwiązanie ISO, natomiast w sieci z mechanizmem VUD nie zanotowano zmian.

Systemy *P2P live video streaming* już od kilku lat z powodzeniem świadczą usługi tysiącom użytkowników na całym świecie, cały czas jednak istnieje możliwość poprawy ich funkcjonowania. Rozwiązanie VUD pozwala,

dzięki modyfikacji sposobu dystrybucji danych, zapewnić lepsze parametry działania sieci.

Literatura

- [1] Hei X., Liang C., Liang J., Liu Y., Ross K.: *A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System*. IEEE Transactions on Multimedia, 2007
 - [2] Hei X., Liu Y., Ross K.: *Inferring Network-Wide Quality in P2P Live Streaming Systems*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007
 - [3] <http://www.pptv.com>
 - [4] <http://www.pps.tv>
 - [5] <http://www.uusee.com>
 - [6] Hei X., Liang C., Liang J., Liu Y., Ross K.: *Insight into PPLive: Measurement study of a large scale P2P IPTV system*. WWW 06 Wshop. IPTV Svcs. over WWW, 2006
 - [7] Wu D., Liang C., Liu Y., Ross K.: *View-Upload Decoupling: A Redesign of Multi-Channel P2P Video Systems*. Technical Report, Polytechnic Institute of NYU, 2008
 - [8] Liu Y., Ross K., Wu D.: *Queuing Network Models for Multi-Channel P2P Live Streaming Systems*. IEEE Conference on Computer and Communications, 2009
 - [9] Liu Y., Kumar R., Ross K.: *Stochastic Fluid Theory for P2P Streaming Systems*. IEEE Conference on Computer and Communications (INFOCOM), 2007
 - [10] Urząd Komunikacji Elektronicznej UKE: *Raport o stanie rynku telekomunikacyjnego w Polsce w 2010 roku*, 2011
 - [11] <http://www.tp.pl/>
 - [12] <http://www.tvk.pl/>
 - [13] Główny Urząd Statystyczny GUS: *Mały rocznik statystyczny Polska 2011*. Zakład Wydawnictw Statystycznych, 2011
-