

# Metoda pomiaru parametrów jakości transmisji audio-wideo

**Dagmara MAZUR**

Instytut Teleinformatyki i Automatyki WAT,  
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa  
dagmara.mazur@wat.edu.pl

**STRESZCZENIE:** W artykule opisano pasywną metodę eksperymentalnego wyznaczania wartości parametrów jakości transmisji danych podczas połączeń audio-wideo realizowanych w sieci komputerowej. Opisano sposób oceny badanej sieci komputerowej pod względem zapewniania odpowiedniego poziomu jakości usług podczas transmisji danych audio-wideo. Przedstawiono również wyniki pomiarów wykonanych w środowisku platformy programowej *Microsoft OCS* (ang. *Office Communications Server*).

**SŁOWA KLUCZOWE:** połączenie audio-wideo, transmisja *RTP*, opóźnienie, fluktuacja opóźnienia i utrata pakietów *RTP*, platforma programowa *OCS*

## 1. Wprowadzenie

Jednym z najważniejszych elementów dobrej współpracy i porozumienia między ludźmi jest rozmowa. Ponieważ oprócz słów w rozmowie dużą rolę odgrywa komunikacja niewerbalna, do wymiany informacji we współczesnym, zdigitalizowanym świecie często wykorzystuje się połączenia audio-wideo.

Realizacja takich połączeń multimedialnych w sieciach pakietowych wiąże się z zapewnianiem wymaganego poziomu jakości usług *VoIP* (ang. *Voice over IP*) [1]. W komunikacji odbywającej się w czasie rzeczywistym przesyłane dane muszą docierać do miejsca docelowego w określonym czasie (z dopuszczalnym, najlepiej minimalnym opóźnieniem), w określonej kolejności i w określonych odstępach czasu (z dopuszczalną, najlepiej minimalną fluktuacją opóźnienia). W tym celu potrzebne jest wykorzystanie odpowiedniej przepustowości sieci teleinformatycznej na drodze pomiędzy urządzeniami

końcowymi. W przypadku kiedy przepustowość jest za mała, pogarsza się jakość przekazu. Oznacza to, że medium transmisyjne musi zapewnić minimalną wymaganą przepustowość dla usług *VoIP*. Jest to o tyle trudne, że w sieciach pakietowych komutowane są nie tylko pakiety zawierające dane audio i wideo. W związku z powyższym pojawia się pytanie, czy sieć teleinformatyczna zapewnia odpowiedni poziom jakości usług podczas połączeń audio-wideo. W celu odpowiedzi na to pytanie należy wyznaczyć wartości parametrów określających jakość transmisji danych. Istnieją przynajmniej trzy metody przeprowadzania tego typu pomiarów: metoda aktywnego przeprowadzania pomiarów (ang. *active measurement*) (np. [9]), metoda pasywnego przeprowadzania pomiarów (ang. *passive measurement*) (np. [11]) oraz metoda szacowania (np. [13]). W aktywnej metodzie przeprowadzania pomiarów generuje się dodatkowy ruch w sieci. Pasywna metoda przeprowadzania pomiarów polega na obserwacji istniejącego już ruchu. Natomiast trzecia metoda polega na szacowaniu wartości parametrów określających jakość transmisji danych. Ostatnia z metod jest najmniej dokładna, lecz podobnie jak metoda pasywna nie wprowadza dodatkowego obciążenia do sieci tak jak metoda aktywna.

W literaturze można znaleźć opisy wielu różnych metod i narzędzi do szacowania oraz aktywnego przeprowadzania pomiarów ([9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]). Metody te często skupiają się na badaniu jednego parametru transmisji danych audio-wideo, wykorzystują często specjalistyczne urządzenia, a implementacja jest skomplikowana. Dlatego też istnieje potrzeba opracowania prostej metody do pasywnego przeprowadzania pomiarów wszystkich istotnych parametrów dla przeciętnego użytkownika sieci teleinformatycznej bez specjalistycznych urządzeń i oprogramowania.

W artykule przedstawiono pasywną metodę eksperymentalnego wyznaczania wartości parametrów określających jakość transmisji danych podczas połączeń audio-wideo z wykorzystaniem prostego analizatora ruchu i koncentratorów. Opisano również sposób oceny badanej sieci komputerowej pod względem zapewniania odpowiedniego poziomu jakości usług podczas transmisji danych audio-wideo.

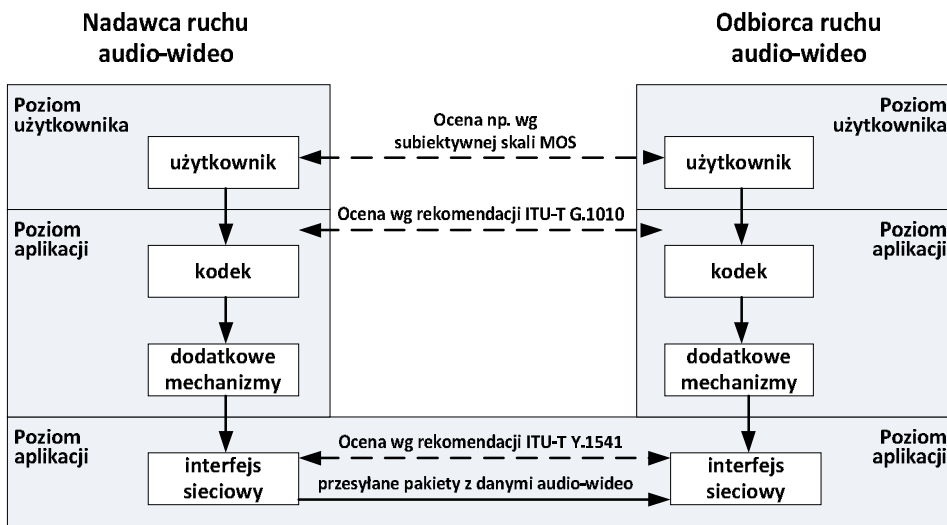
W artykule przedstawiono również wyniki przykładowych pomiarów wykonanych w środowisku platformy programowej *Microsoft OCS*. W sieci Internet dostępnych jest wiele narzędzi do monitorowania i analizowania ruchu sieciowego pod względem parametrów określających jakość transmisji danych. Należą do nich: *Wireshark*, *NetFlow*, *Capsa 7*, *Visual Sniffer*, *IP Sniffer*, *PRTG – Free Network Monitor*, *CommView* i inne. Do pomiarów opisanych w artykule, wykorzystano jeden z analizatorów ruchu – *Wireshark*.

Diagnoza problemów transmisji danych audio-wideo w ocenianej sieci komputerowej, czyli diagnoza uzyskiwania negatywnych wyników pomiarów

(niepełniających przyjętych standardów) nie jest celem przeprowadzanych badań i nie została opisana w artykule.

## 2. Pasywna metoda eksperymentalnego pomiaru wartości parametrów określających jakość transmisji danych podczas połączeń audio-wideo i sposób oceniania uzyskiwanych wyników pomiarów

Oceny konkretnej sieci komputerowej pod względem zapewniania odpowiedniego poziomu jakości usług podczas transmisji danych audio-wideo można dokonywać na trzech następujących poziomach: na poziomie użytkownika, na poziomie aplikacji oraz na poziomie sieci [17]. Wymienione poziomy zostały przedstawione na rys. 1. W zależności od wybranego poziomu, jakość usług rozumiana jest w różny sposób. Na poziomie użytkownika jakość usług związana jest z ludzką percepcją, czyli z „jakością odczuwania”. Ocena jakości usług na tym poziomie dokonywana jest najczęściej w subiektywnej skali *MOS* (ang. *Mean Opinion Sacore*) [3],[4],[8],[21] lub za pomocą innych następujących metod: *PSQM* (ang. *Perceptual Speech Quality Measurement*) [4],[8],[25], *PESQ* (ang. *Perceptual Evaluation of Speech Quality*) [8],[26] i *POLQA* (ang. *Perceptual Objective Listening Quality Assessment*) [27]. W odróżnieniu od poziomu użytkownika, na poziomie aplikacji i na poziomie sieci jakość usług związana jest z mierzalnymi parametrami technicznymi.



Rys. 1. Poziomy oceny sieci komputerowej pod względem zapewniania odpowiedniego poziomu jakości usług podczas transmisji danych audio-wideo [17]

Na poziomie aplikacji i na poziomie sieci oceny jakości usług dokonuje się na podstawie tych samych parametrów, ale w innych punktach odniesienia wykonywanych pomiarów, czyli wykorzystując inne porcje danych. Podstawową porcją danych na poziomie aplikacji jest ramka kodeka, a na poziomie sieci pakiet, który może przenosić więcej niż jedną ramkę kodeka. Oznacza to, że wartości parametrów wyznaczonych na poziomie sieci mogą się różnić od wartości tych parametrów uzyskanych na poziomie aplikacji. Dodatkowe różnice powstają także w wyniku obecności dodatkowych mechanizmów na poziomie aplikacji, mających na celu poprawę parametrów jakościowych uzyskanych na poziomie sieci. Przykładem takiego mechanizmu jest tzw. bufor odtwarzający (ang. *playback buffer*) [17], mechanizm wykrywania ciszy *VAD* (ang. *Voice Activity Detection*) [8] i mechanizm ukrywania strat pakietów *PLC* (ang. *Packet Loss Concealment*) [8]. W związku z powyższym oceny wartości parametrów określających jakość transmisji danych audio-wideo na różnych poziomach należy dokonywać na podstawie różnych rekomendacji. Na poziomie aplikacji oceny tych parametrów należy dokonywać na podstawie rekomendacji ITU-T G.1010 [21], natomiast na poziomie sieci – na podstawie rekomendacji ITU-T Y.1541 [23].

Opisywana w artykule pasywna metoda eksperymentalnego pomiaru wartości parametrów określających jakość transmisji danych podczas połączeń audio-wideo odnosi się do pomiarów wykonywanych na poziomie sieci.

Na poziomie sieci do podstawowych parametrów określających jakość transmisji danych audio-wideo, opisanych w dokumencie ITU-T Y.1540 [22] należą następujące metryki:

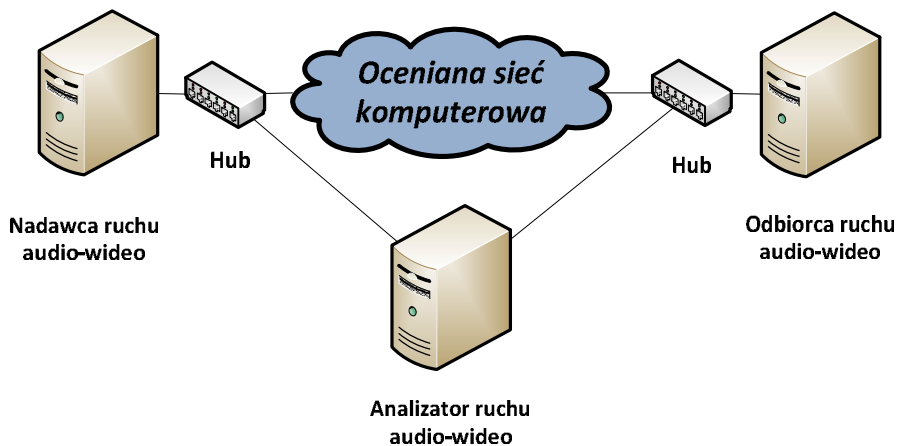
- opóźnienie pakietów – *IPTD* (ang. *IP Packet Transfer Delay*),
- fluktuacja opóźnienia pakietów – *IPDV* (ang. *IP Packet Delay Variation*),
- utrata pakietów – *IPLR* (ang. *IP Packet Loss Ratio*).

Do oceny konkretnej sieci komputerowej pod względem zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości usług podczas transmisji danych audio-wideo, niezbędne jest wyznaczenie i ocenienie wszystkich wymienionych wyżej parametrów. Wartości przepływności<sup>1</sup> badanych strumieni danych nie są wyznaczane i nie są oceniane. Założono, że jeśli badana sieć komputerowa jest zbudowana z kanałów transmisyjnych o przepustowości niższej niż przepływność testowanych aplikacji, to jeden z pozostałych parametrów wykaże ten niedostatek.

---

<sup>1</sup> Przepływność (ang. *bit rate*) jest to ilość danych, jaka jest przesyłana przez dany kanał transmisyjny lub łącze w jednostce czasu. Często jest mylona z przepustowością (ang. *capacity*), która jest cechą kanału transmisyjnego lub łącza i oznacza maksymalną ilość danych, jaka może być przeniesiona przez ten kanał lub łącze w jednostce czasu.

Pasywna metoda eksperymentalnego wyznaczania wartości wymienionych wyżej parametrów bazuje na użyciu następujących urządzeń sieciowych: nadawcy i odbiorcy ruchu audio-wideo, realizowanych sprzętowo lub programowo, oraz analizatora ruchu audio-wideo [15]. Na rysunku 2 przedstawiono ogólny schemat rozmieszczenia tych urządzeń w sieci komputerowej.



Rys. 2. Schemat sieci testowej do pomiaru parametrów określających jakość transmisji danych audio-wideo

Nadawca wysyła ruch audio-wideo do określonego odbiorcy przez sieć komputerową, która będzie podlegała ocenie. Kopia ruchu nadawanego i odbieranego jest również przesyłana do analizatora ruchu, dzięki wykorzystaniu koncentratorów na brzegach ocenianej sieci komputerowej. Rejestrowany ruch audio-wideo poddawany jest analizie. Analiza polega na wyznaczaniu wartości wspomnianych parametrów (opóźnienie, fluktuacja opóźnienia, utrata pakietów) oraz ich porównaniu z wartościami tych parametrów określonych przez rekomendację ITU-T Y.1541 [23].

Badana sieć komputerowa zostaje oceniona pozytywnie pod względem zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości usług podczas transmisji danych audio-wideo, jeżeli wszystkie wartości wyznaczonych parametrów mieszczą się w granicach określonych przez wskazaną rekomendację. Badana sieć zostaje oceniona negatywnie, jeżeli co najmniej jeden z parametrów przekracza granicę określoną przez wskazaną rekomendację. Negatywna ocena sieci komputerowej oznacza, że jakość transmisji danych audio-wideo przez tą sieć w czasie rzeczywistym jest nie akceptowalna.

Przyjęto, że pozytywny wynik oceny badanej sieci komputerowej proponowanym sposobem oznacza pełne zaspokojenie oczekiwań użytkownika

końcowego. Natomiast negatywny wynik oceny badanej sieci komputerowej oznacza, że oczekiwania użytkownika końcowego nie są zaspokojone i nie są wyznaczane poziomy niezadowolenia tego użytkownika.

### **Wyznaczanie parametrów transmisji danych audio-wideo**

Do transportu danych audio-wideo w czasie rzeczywistym wykorzystywany jest protokół *RTP* (ang. *Real-Time Transport Protocol*) [18]. Protokół ten nie gwarantuje transmisji danych i określonej jakości usług *QoS* (ang. *Quality of Service*) [8]. Aby zapewnić odpowiednią jakość połączeń, protokół *RTP* jest używany razem z innymi protokołami, takimi jak: *RTCP* (ang. *Real-Time Control Protocol*), *RTSP* (ang. *Real-Time Streaming Protocol*), *RSVP* (ang. *Resource Reservation Protocol*), *H.323* czy *SIP* (ang. *Session Initiation Protocol*) [3],[7]. Do głównych zadań, jakie realizuje protokół *RTP*, należą:

- umiejscowienie próbek danych w czasie (dodawanie do każdego pakietu czasu jego wystąpienia),
- numerowanie próbek danych.

Protokół *RTP* korzysta z protokołu *UDP* (ang. *User Datagram Protocol*) jako protokołu warstwy transportowej. Jest to protokół bezpołączeniowy i nie gwarantuje dostarczenia pakietu *RTP* do celu. Dzięki temu nie wprowadza on dodatkowych opóźnień transmisji danych, spowodowanych retransmisjami utraconych pakietów.

Strukturę pakietu *RTP* przedstawiono w dokumencie [18]. Kluczowym polem nagłówka *RTP*, z punktu widzenia wyznaczania parametrów określających jakość transmisji danych, jest pole *Timestamp*. Pole to zawiera liczbę całkowitą bez znaku bazującą na zegarze systemowym. Zsynchronizowanie czasu w odległych lokalizacjach wykorzystywane jest do wyliczenia opóźnienia i fluktuacji opóźnienia dostarczania pakietów *RTP* do celu [16].

Dysponując wiedzą o budowie i strukturze protokołu *RTP*, możliwe jest wyznaczenie omawianych parametrów. Poniżej zdefiniowano i przedstawiono sposób wyznaczania i oceniania wartości opóźnienia, fluktuacji opóźnienia oraz utraty pakietów podczas transmisji danych audio-wideo.

### **Opóźnienie pakietów [3],[4],[7]**

Opóźnienie pakietów *RTP* jest to czas pomiędzy wysłaniem a dostarczeniem pakietów *RTP* do celu, czyli jest to czas transmisji pakietu *RTP* przez sieć komputerową. Opóźnienie transmisji składa się z następujących rodzajów opóźnień:

- opóźnienie serializacji – opóźnienie określające ilość czasu potrzebną na rzeczywiste umieszczenie bitu w interfejsie urządzenia sieciowego,
- opóźnienie obsługi (przetwarzania) – opóźnienie powodowane przez urządzenia przekazujące ramki w sieci; wynikające z czasu pakietyzacji, kompresji czy komutacji pakietów,
- opóźnienie kolejkwania – opóźnienie wynikające z kolejkwania pakietów w buforach np. routerów,
- opóźnienie propagacji – czas potrzebny pakietowi na przebycie przez łącze.

Opóźnienie całkowite jest to czas potrzebny na dostarczenie sygnału audio-wideo od nadawcy ruchu audio-wideo do odbiorcy. Na rys. 3 przedstawiono elementy składowe opóźnienia całkowitego. Opóźnienie to składa się z opóźnienia transmisji pakietów *RTP* przez sieć komputerową oraz z następujących rodzajów opóźnień:

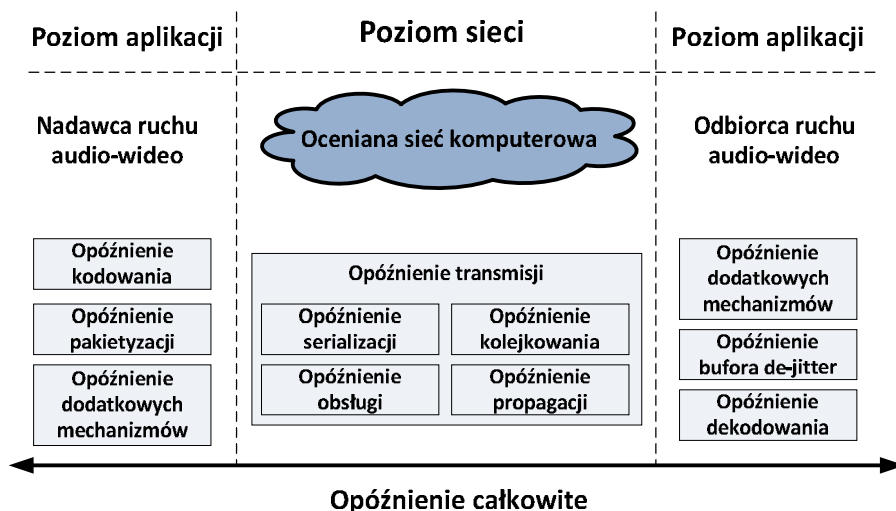
- opóźnienie kodowania i dekodowania– czas potrzebny na konwersję sygnału audio-wideo na sygnał cyfrowy i na odwrót,
- opóźnienie pakietyzacji – czas potrzebny na umiejscowienie danych audio-wideo w pakiecie,
- opóźnienie wynikające z zastosowania bufora de-jitter (ang. *de-jitter buffer*) [8] – opóźnienie mające niwelować fluktuację opóźnień i odtwarzać właściwą kolejność pakietów po stronie odbiorczej,
- opóźnienie powodowane obecnością dodatkowych mechanizmów takich jak: bufor odtwarzający, mechanizm *PLC*, mechanizm *VAD*.

W opisywanej w artykule metodzie wyznaczana jest wartość opóźnienia transmisji pakietu *RTP* przez ocenianą sieć komputerową, czyli wartość opóźnienia na poziomie sieci, liczona od momentu nadania stempla czasowego dla pakietu *RTP* wysłanego do momentu odbioru pakietu *RTP* na interfejsie sieciowym. Nie są brane pod uwagę opóźnień na poziomie warstwy aplikacji. Zgodnie z rekomendacją ITU-T Y.1541 [23] przyjmuje się, że opóźnienie transmisji danych audio-wideo nie powinno być większe niż 100 ms. Dla połączeń długodystansowych graniczną, akceptowalną wartością jest 400 ms. Wartość powyżej 400 ms jest nieakceptowalna.

### **Fluktuacja opóźnienia pakietów [7],[8],[16],[18]**

Fluktuacja opóźnienia jest to zmienność opóźnienia w czasie przybywania kolejnych pakietów do celu. Oznacza to, że pakiety mogą docierać do odbiorcy w różnych odstępach czasu, a co więcej w różnej kolejności. Fluktuacja opóźnienia spowodowana jest różnymi zjawiskami występującymi w sieci komputerowej. Należą do nich różnego rodzaju przeciążenia w sieci, utrata

pakietów, występowanie różnych tras do miejsca przeznaczenia pakietów, mechanizmy kolejowania i inne działania regulujące albo zakłócające ruch w sieci. Skutkiem dużych różnic w czasie nadejścia pakietów jest powstawanie luk w odbieranym strumieniu audio-wideo. Przyjmuje się, że na poziomie sieci wartość fluktuacji opóźnienia mniejsza niż 50 ms [23] jest akceptowalna i nie



Rys. 3. Elementy składające się na opóźnienie całkowite sygnału audio-wideo

wpływa na pogorszenie jakości transmisji danych audio-wideo. Wartość fluktuacji opóźnienia można zmniejszyć na poziomie aplikacji poprzez zastosowanie bufora de-jitter po stronie odbiorcy ruchu audio-wideo. W związku z powyższym na poziomie aplikacji oczekiwana jest dużo mniejsza wartość fluktuacji opóźnienia i według rekomendacji ITU-T G.1010 [21] nie powinna przekraczać 1 ms. Zastosowanie odpowiednio dużego bufora de-jitter może zupełnie usunąć fluktuację opóźnienia, ale w konsekwencji zwiększyć wartość opóźnienia całkowitego. Zastosowanie mniejszego bufora de-jitter może z kolei doprowadzić do częstego jego przepełnienia i w konsekwencji do utraty dużej ilości pakietów danych audio-wideo.

W opisywanej w artykule metodzie wartość fluktuacji opóźnienia wyznaczana jest i oceniana na poziomie sieci. Dokładna wartość fluktuacji opóźnienia obliczana jest w sposób opisany w normie RFC 3550 [18], czyli na podstawie średniego odchylenia bezwzględnego różnicy opóźnień pomiędzy przybyciem do celu dwóch kolejnych pakietów *RTP*. Różnice opóźnień można wyznaczyć, odejmując od różnicy czasu przybycia dwóch kolejnych pakietów *RTP* do odbiornika (mierzoną w jednostkach zegara systemowego) różnicę czasu wysłania tych dwóch kolejnych pakietów *RTP* z nadajnika (mierzoną w jednostkach znacznika czasu). Obliczenie to opisuje poniższy wzór:



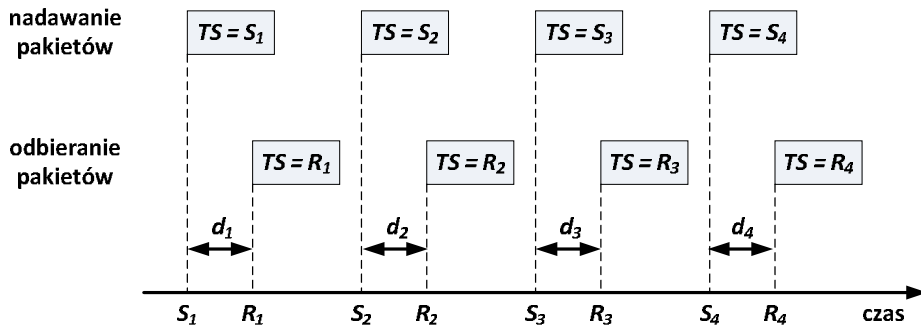
$$D(i, j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i) [ms] \quad (1)$$

gdzie:  $i, j$  – kolejne numery pakietów RTP,

$D(i, j)$  – różnica opóźnień przybycia do celu kolejnych pakietów RTP,

$S_i$  – znacznik czasu zawarty w  $i$ -tym pakiecie,

$R_i$  – moment przybycia  $i$ -tego pakietu do odbiornika.



#### Legenda

- TS** = znacznik czasu (ang. *Timestamp*)
- S** = znacznik czasu zawarty pakiecie RTP
- R** = moment przybycia pakietu RTP do odbiornika
- d** = opóźnienie pakietu RTP

Rys. 4. Transmisja pakietów RTP

Zgodnie z oznaczeniami wprowadzonymi na rys. 4 różnica opóźnień pomiędzy kolejnymi odbieranymi przez odbiornik pakietami wynosi:

$$D(i, i+1) = (R_{i+1} - S_{i+1}) - (R_i - S_i) = d_{i+1} - d_i \quad (2)$$

Wartość fluktuacji opóźnienia jest obliczana po stronie odbiornika dla pakietów RTP pochodzących z tego samego źródła (mających taką samą wartość identyfikatora *SSRC*). Wartość fluktuacji opóźnienia wyraża fluktuacja opóźnienia poprzedniego pakietu RTP oraz wartość  $D$  tych dwóch pakietów RTP. Przedstawia to poniższy wzór [18]:

$$J_j = J_i + \frac{|D(j, i)| - J_i}{16} [ms] \quad (3)$$

gdzie:  $J_j$  – fluktuacja opóźnienia  $j$ -tego pakietu RTP,

$i, j$  – kolejne numery pakietów RTP.

## Utrata pakietów [7],[8]

Utrata pakietów występuje, gdy jeden lub wiele pakietów danych audio-wideo przesyłanych w sieci komputerowej nie dociera z miejsca źródłowego do miejsca przeznaczenia. Przyczyną utraty lub odrzucania pakietów w sieci komputerowej może być wiele czynników. Do głównych powodów należą:

- niestabilność sieci komputerowej z powodu uszkodzonych styków fizycznych łączy (ang. *link flapping*),
- przeciążenie sieci komputerowej,
- występowanie dużych opóźnień w sieci komputerowej,
- pojawienie się uszkodzeń w odrzucanych pakietach,
- obecność wadliwego sprzętu i łączy w sieci komputerowej,
- wynik działania procedur trasowania pakietów – brak odpowiedniej trasy w tablicy trasowania pakietów,
- obecność zbyt małego bufora de-jitter po stronie odbiorcy ruchu audio-wideo.

Skutkiem utraty pakietów dla danych audio-wideo są przerwy w odtwarzanym strumieniu dźwiękowym i zatrzymanie obrazu podczas konwersacji pomiędzy użytkownikami. Utraconych pakietów audio-wideo nie retransmituje się, ponieważ doszłyby do odbiorcy za późno.

Obecne rozwiązania techniczne pozwalają na minimalizację wpływu utraty pakietów na jakość połączeń audio. Jeden pakiet danych audio zawiera zazwyczaj ok. 20 ms dźwięku, natomiast algorytmy zaimplementowane w urządzeniach sieciowych potrafią skorygować utratę około 30 ms dźwięku. Oznacza to, że utrata więcej niż jednego pakietu uniemożliwia odtworzenie dźwięku i odbiorca słyszy ciszę. W związku z powyższym na poziomie aplikacji stosuje się takie mechanizmy jak mechanizm ukrywania strat pakietów *PLC* [8]. W jednym z prostszych rozwiązań mechanizm ten polega na zastąpieniu utraconego pakietu przez powielony, odebrany wcześniej inny pakiet. Dlatego też, zakłada się, że na poziomie sieci utrata pakietów nie powinna przekraczać 0,1% [23] wszystkich odbieranych pakietów, a na poziomie aplikacji nie powinna przekraczać 3% [21]. W opisywanej w artykule metodzie wartość utraty pakietów wyznaczana jest i oceniana na poziomie sieci.

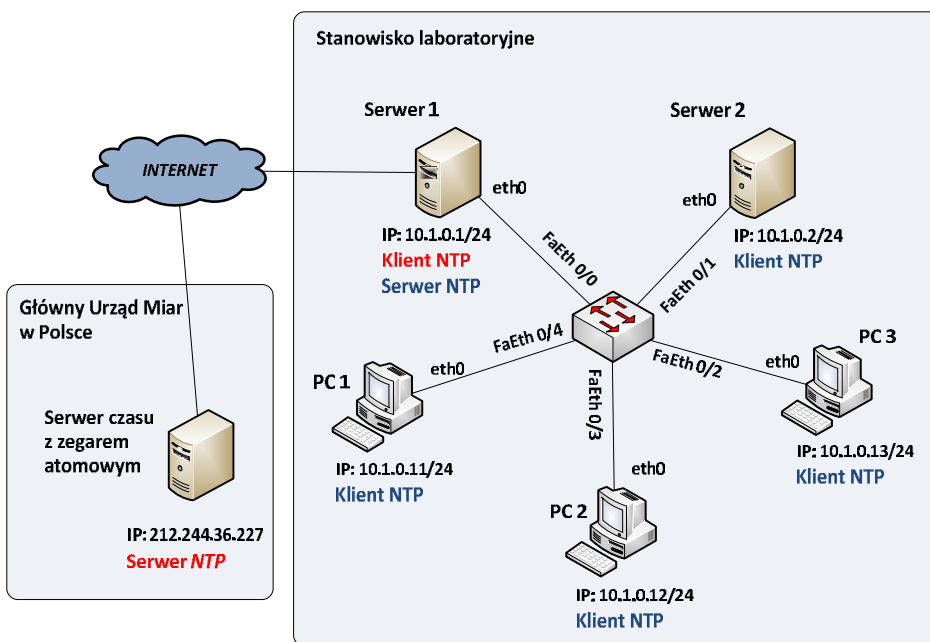
## 3. Przykładowe wyniki badań

### Sieć komputerowa wykorzystana podczas badań

Oceniana sieć komputerowa ze względu na parametry jakości transmisji danych audio-wideo została przedstawiona na rys. 5.

Stanowi ją system integracji usług multimedialnych na bazie platformy programowej *Microsoft OCS* (ang. *Office Communications Server*) [2],[20],[29].

Stanowisko do badań zostało wyposażone w pięć stacji roboczych, przełącznik oraz trzy kamery internetowe. Wszystkie stacje robocze zostały umieszczone na maszynach wirtualnych. W tab. 1 przedstawiono wykaz urządzeń wykorzystanych w pomiarach.



Rys. 5. Środowisko wykorzystane podczas badań[5]

Stanowisko do badań zostało wyposażone w pięć stacji roboczych, przełącznik oraz trzy kamery internetowe. Wszystkie stacje robocze zostały umieszczone na maszynach wirtualnych. W tab. 1 przedstawiono wykaz urządzeń wykorzystanych w pomiarach.

Nadawcami i odbiorcami ruchu audio-wideo są stacje robocze nr 3, 4, 5 wraz z zainstalowanymi klientami *Microsoft OCS*. Na stacjach roboczych nr 2, 3, 4, 5 zainstalowano aplikację typu *sniffer*. Pozwala to na lokalny zapis kopii wysyłanego i odbieranego ruchu sieciowego. Po zakończeniu połączenia audio-wideo, przechwycony ruch sieciowy poddawany jest analizie. Podczas analizy wyznaczana jest wartość opóźnienia, fluktuacji opóźnienia oraz utraty pakietów na stacji roboczej odbierającej strumień audio-wideo.

Oceniana sieć komputerowa nie jest poddawana innym obciążeniom przepustowości łącz, niż tymi wywołanymi przez klienty *Microsoft OCS*.

Założono, że przepustowość badanej sieci komputerowej jest wystarczająca dla oczekiwanego działania klientów *Microsoft OCS*. Powyższe założenie wynika z faktu, że elementy badanej sieci komputerowej są połączone łączem o przepustowości 100 Mb/s, a wymagania platformy programowej *Microsoft OCS* są wielokrotnie niższe [30].

Tab. 1. Opis urządzeń wykorzystanych w pomiarach

Nazwa urządzenia	Typ urządzenia	Istotne parametry urządzenia	Rola urządzenia/ Wymagane oprogramowanie
Serwer 1	Stacja robocza nr 1	Procesor: 2x2,66 GHz Pamięć RAM: <b>maszyna rzeczywista: 4 GB</b> <b>maszyna wirtualna: 1536 MB</b>	Kontroler domeny z usługą <i>AD</i> Urząd certyfikacji <i>CA</i> Serwer <i>DNS</i> Serwer <i>NTP</i> Serwer poczty
Serwer 2	Stacja robocza nr 2	Procesor: 2x2,66 GHz Pamięć RAM: <b>maszyna rzeczywista: 4 GB</b> <b>maszyna wirtualna: 1536 MB</b>	Serwer <i>OCS</i> Klient <i>NTP</i> <i>Sniffer</i>
PC 1	Stacja robocza nr 3	Procesor: 1,50 GHz Pamięć RAM: <b>maszyna rzeczywista: 0,99 GB</b> <b>maszyna wirtualna: 512 MB</b>	Klient <i>OCS</i> Klient <i>NTP</i> <i>Sniffer</i>
PC 2	Stacja robocza nr 4	Procesor: 2 GHz Pamięć RAM: <b>maszyna rzeczywista: 0,99 GB</b> <b>maszyna wirtualna: 512 MB</b>	Klient <i>OCS</i> Klient <i>NTP</i> <i>Sniffer</i>
PC 3	Stacja robocza nr 5	Procesor: 1,48 GHz Pamięć RAM: <b>maszyna rzeczywista: 512 MB</b> <b>maszyna wirtualna: 512 MB</b>	Klient <i>OCS</i> Klient <i>NTP</i> <i>Sniffer</i>
---	Kamery internetowe	Rozdzielczość: 320x240	---
---	Przełącznik	---	---

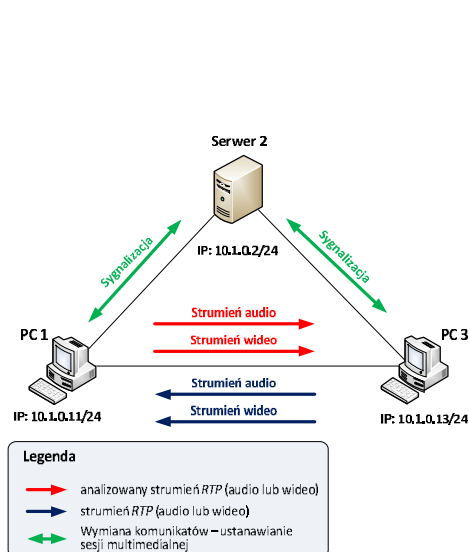
### Strumienie ruchu audio-wideo wybrane do badań parametrów określających jakość transmisji

Podczas połączenia typu punkt-punkt i połączenia konferencyjnego sygnalizacja *VoIP* wymieniana jest pomiędzy stacjami roboczymi PC (klient

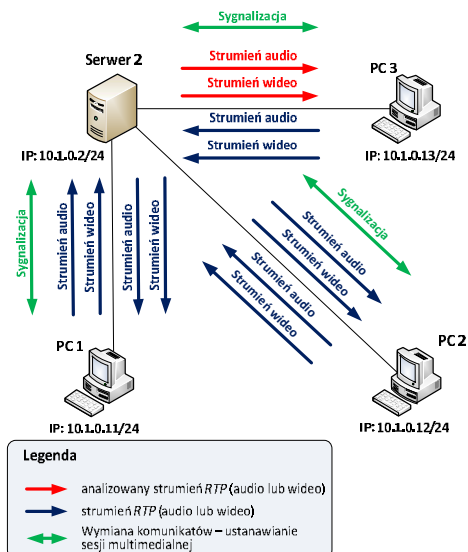
OCS) poprzez serwer 2 (serwer OCS). Podobnie jest w przypadku transmisji RTP podczas połączenia konferencyjnego. Transmisja RTP odbywa się poprzez serwer 2, ponieważ w połączeniu konferencyjnym bierze udział więcej niż dwóch uczestników. Oznacza to, że strumienie audio i wideo są mieszane. Podczas połączenia typu punkt-punkt działanie to jest zbędne, w związku z czym, pakiety RTP są bezpośrednio transmitowane pomiędzy stacjami roboczymi PC.

Na rys.6 i na rys.7 przedstawiono odpowiednio sygnalizację VoIP oraz transmisję RTP pomiędzy stacjami roboczymi PC, a serwerem 2 podczas połączenia typu punkt-punkt i podczas połączenia konferencyjnego. Do wykonania pomiarów parametrów określających jakość transmisji danych wybrano następujące strumienie audio i wideo:

- dla połączenia typu punkt-punkt – strumień audio i wideo pomiędzy stacją roboczą PC1 i PC3,
- dla połączenia konferencyjnego – strumień audio i wideo pomiędzy serwerem 2 (serwer OCS) a stacją roboczą PC3.



Rys.6. Sygnalizacja oraz strumienie RTP podczas połączenia typu punkt-punkt



Rys.7. Sygnalizacja oraz strumienie RTP podczas połączeń konferencyjnych

## Procedura przeprowadzania pomiarów parametrów określających jakość transmisji danych

W celu przeprowadzenia pomiaru opóźnienia, fluktuacji opóźnienia i utraty pakietów podczas transmisji danych audio-wideo należy wykonać następującą procedurę:

- 1) zsynchronizować czas systemowy stacji nadawczej i odbiorczej, wykorzystując usługę *NTP* (ang. *Network Time Protocol*) [19],
- 2) włączyć *sniffer* (*Wireshark*, *Ethereal* lub inny) i włączyć monitorowanie własnego interfejsu sieciowego,
- 3) włączyć wybrany komunikator do komunikacji audio-wideo,
- 4) nawiązać połączenie audio-wideo trwające przynajmniej 60s, zachowując jednakową aktywność każdego uczestnika,
- 5) zatrzymać rejestrację pakietów w programie *sniffer*,
- 6) wybrać strumień audio i wideo przeznaczony do analizy,
- 7) na podstawie zarejestrowanego przebiegu dla odbieranego strumienia audio i wideo wyznaczyć:
  - a) opóźnienie pakietów,
  - b) fluktuację opóźnienia pakietów wykorzystując wzór (3),
  - c) utratę pakietów.

## Wyniki pomiaru opóźnienia pakietów

W tab. 2 opisano procedurę i oczekiwany rezultat wykonania pomiarów opóźnienia.

Tab. 2. Pomiar opóźnienia

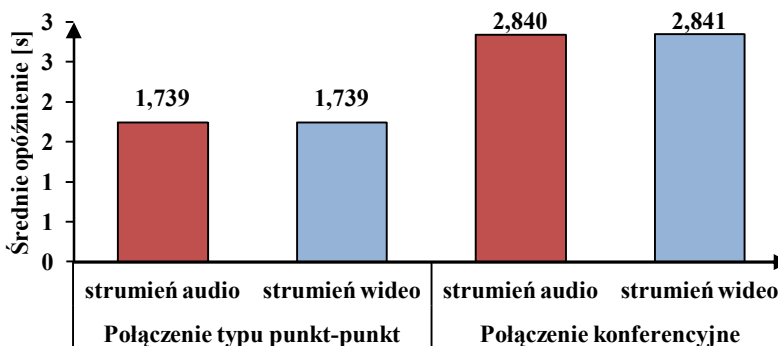
Nazwa pomiaru	Opis pomiaru
Konfiguracja	Środowisko pomiarów zostało utworzone zgodnie z rys. 5.
Pomiar opóźnienia	<p><b>Procedura wykonania pomiaru:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Na stacjach roboczych PC1, PC3 i serwer 2 uruchomiono <i>sniffer Wireshark</i>,</li> <li>2. Na stacjach roboczych PC1, PC2, i PC3 uruchomiono komunikator <i>Office Communicator</i>,</li> <li>3. Włączono monitorowanie interfejsów sieciowych stacji roboczych,</li> <li>4. Wykonano połączenie typu punkt-punkt i połączenie konferencyjne trwające 60 s, zachowując jednakową aktywność każdego uczestnika,</li> <li>5. Zatrzymano rejestrację w programie <i>Wireshark</i> i wyfiltrowano</li> </ol>

	<p>strumień RTP przedstawiony na rys.6 i rys.7,</p> <p>6. Na podstawie zarejestrowanego przebiegu wyznaczono <u>dla odbieranego strumienia audio i wideo opóźnienie transmisji RTP.</u></p> <p><b>Oczekiwany rezultat pomiaru:</b> Dla strumienia audio i wideo wartość średnia opóźnienia nie powinna przekraczać 100 ms.[23].</p>
--	---

W tab. 3 oraz na rys. 8, rys. 9 i rys. 10 przedstawiono wyniki pomiaru opóźnienia transmisji RTP podczas połączenia typu punkt-punkt i połączenia konferencyjnego.

Tab. 3. Pomiar opóźnienia – tabela wyników

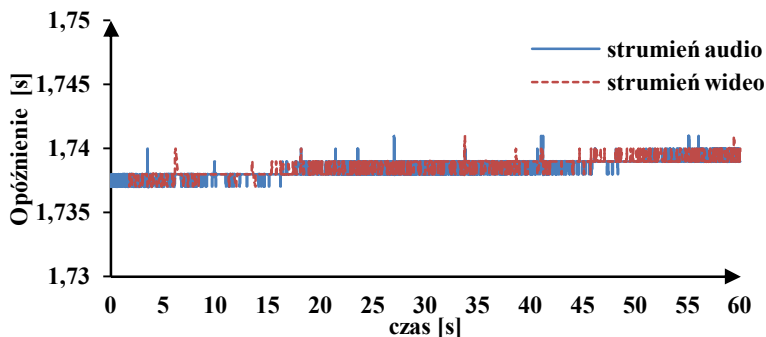
Wartość	Opóźnienie D			
	Połączenie typu punkt-punkt		Połączenie konferencyjne	
	strumień audio	strumień wideo	strumień audio	strumień wideo
średnia	1,739 s	1,739 s	2,84 s	2,841 s
maksymalna	1,741 s	1,741 s	2,864 s	3,102 s
minimalna	1,737 s	1,737 s	2,836 s	2,834 s



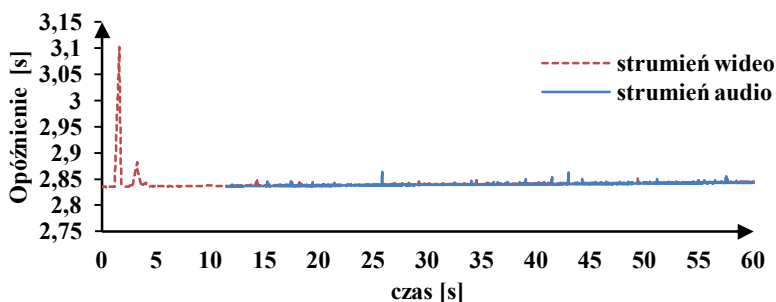
Rys. 8. Średnie opóźnienie strumienia audio i wideo podczas połączenia typu punkt-punkt i połączenia konferencyjnego

Opóźnienie transmisji strumienia audio i wideo podczas połączenia typu punkt-punkt wynosi średnio około 1,739 s, natomiast podczas połączenia konferencyjnego – około 2,840 s. Pomiary wartości opóźnienia zgodnie z opisywaną w artykule metodą zostały wykonane na poziomie sieci. W związku z powyższym do uzyskanych wartości opóźnienia nie należy dodawać innych wartości opóźnień z poziomu aplikacji (opóźnienia kodowania/dekodowania,

pakietyzacji, opóźnienia wynikającego z zastosowania bufora de-jitter i innych dodatkowych mechanizmów takich jak mechanizm *PLC*, czy *VAD*).



Rys. 9. Zależność opóźnienia strumienia audio i wideo od czasu podczas połączenia typu punkt-punkt



Rys. 10. Zależność opóźnienia strumienia audio i wideo od czasu podczas połączenia konferencyjnych

Otrzymane wartości transmisji danych audio-wideo przez sieć komputerową są nieakceptowalne, znacznie odbiegające od normy [23]. Należy zauważyć, że podane średnie opóźnienie podczas połączenia konferencyjnego dotyczy transmisji *RTP* odbywającej się pomiędzy serwerem 2, a stacją roboczą PC3. Oznacza to, że opóźnienie transmisji *RTP* pomiędzy stacją roboczą PC1 a PC3 jest jeszcze większe. Tak duże wartości opóźnień uzyskane na poziomie sieci skutkują jeszcze większymi wartościami opóźnień na poziomie aplikacji, a co za tym idzie uniemożliwiają użytkownikom swobodną komunikację. Dźwięk jest ciężki do zrozumienia, jest momentami przerywany, rozmówcy nie wiedzą kiedy druga osoba kończy mówić, obrazy pokazywane są nieregularnie, nie są zsynchronizowane z dźwiękiem i widoczne są szarpane, spowolnione ruchy rozmówców. Tak duże opóźnienie może być związane z faktem umieszczenia



stacji roboczych na maszynach wirtualnych na komputerach, które nie mają tzw. sprzętowego wsparcia wirtualizacji (np. [31]). Z powodu uzyskania tak negatywnych wyników (niespełniających przyjętych standardów) została sprawdzona synchronizacja czasu maszyn wirtualnych, a pomiary zostały powtórzone. Wyniki jednak się nie poprawiły. Diagnoza problemów transmisji danych audio-wideo w sieci komputerowej, czyli diagnoza uzyskiwania złych wyników pomiarów (niespełniających przyjętych standardów) nie jest jednak celem przeprowadzanych badań i będzie przedmiotem kolejnych badań.

### Wyniki pomiaru fluktuacji opóźnienia

W tab. 4 opisano procedurę i oczekiwany rezultat wykonania pomiarów fluktuacji opóźnienia.

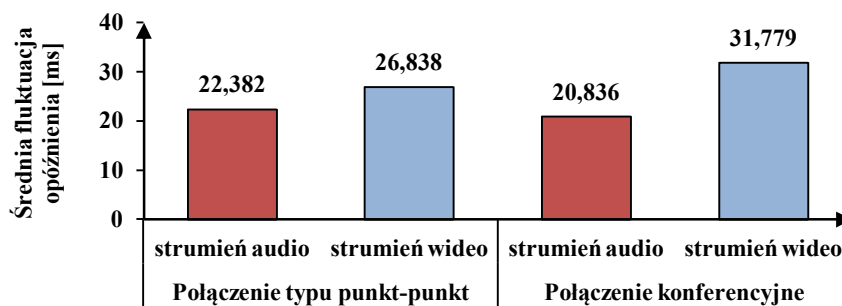
W tab. 5 oraz na rys. 11, rys. 12 i rys. 13 przedstawiono wyniki pomiaru fluktuacji opóźnienia transmisji RTP podczas połączenia typu punkt-punkt i połączenia konferencyjnego.

Tab. 4. Pomiar fluktuacji opóźnienia

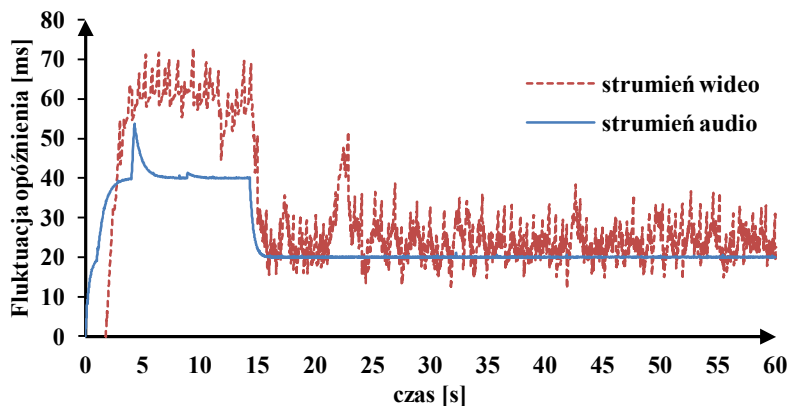
Nazwa pomiaru	Opis pomiaru
Konfiguracja	Środowisko pomiarów zostało utworzone zgodnie z rys. 5.
Pomiar fluktuacji opóźnienia	<p><b>Procedura wykonania pomiaru:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Na stacjach roboczych PC1, PC3 i serwer 2 uruchomiono <i>sniffer Wireshark</i>,</li> <li>2. Na stacjach roboczych PC1, PC2, i PC3 uruchomiono komunikator <i>Office Communicator</i>,</li> <li>3. Włączono monitorowanie interfejsów sieciowych stacji roboczych,</li> <li>4. Wykonano połączenie typu punkt-punkt i połączenie konferencyjne trwające 60 s, zachowując jednakową aktywność każdego uczestnika,</li> <li>5. Zatrzymano rejestrację w programie <i>Wireshark</i> i wyfiltrowano strumień RTP przedstawiony na rys.6 i rys.7,</li> <li>6. Na podstawie zarejestrowanego przebiegu wyznaczono <u>dla odbieranego strumienia audio i wideo</u> fluktuację opóźnienia transmisji RTP wykorzystując wzór (3).</li> </ol> <p><b>Oczekiwany rezultat pomiaru:</b></p> <p>Wartość średnia fluktuacji opóźnienia dla strumienia audio i wideo powinna być jak najmniejsza, bliska zeru. Dla strumienia wideo nie powinna przekraczać 50 ms [23].</p>

Tab. 5. Pomiar fluktuacji opóźnienia – tabela wyników

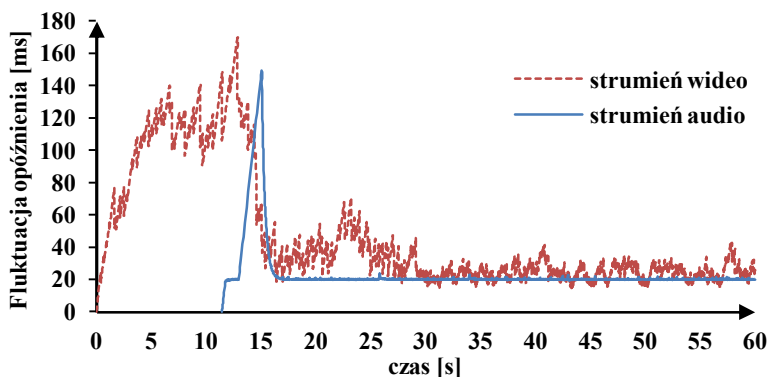
Wartość	Fluktuacja opóźnienia $J$ [ms]			
	Połączenie typu punkt-punkt		Połączenie konferencyjne	
	strumień audio	strumień wideo	strumień audio	strumień wideo
średnia	22,382	26,838	20,836	31,779
maksymalna	53,565	72,657	148,390	169,087
minimalna	0	0	0	0



Rys. 11. Średnia fluktuacja opóźnienia strumienia audio i wideo podczas połączenia typu punkt-punkt i połączenia konferencyjnego



Rys. 12. Zależność fluktuacji opóźnienia strumienia audio i wideo od czasu podczas połączenia typu punkt-punkt



Rys. 13. Zależność fluktuacji opóźnienia strumienia audio i wideo od czasu podczas połączenia konferencyjnego

Fluktuacja opóźnienia strumienia audio połączenia typu punkt-punkt i połączenia konferencyjnego wynosi średnio około 20 ms, natomiast strumienia wideo wynosi średnio około 30 ms. Są to wartości akceptowalne, bardzo małe, nie wpływające na pogorszenie jakości komunikacji [23].

Należy jednak zauważyć, że wartości maksymalne fluktuacji opóźnienia są bardzo duże. Dla strumienia wideo podczas połączenia konferencyjnego wartość maksymalna fluktuacji opóźnienia wynosi nawet około 169 ms. Takie duże wartości występują jednak tylko na początku połączenia typu punkt-punkt i połączenia konferencyjnego, podczas pierwszych 15 s, a później maleją i utrzymują się na takim samym, niskim poziomie (rys. 12 i rys. 13).

## Wyniki pomiaru utraty pakietów

W tab. 6 opisano procedurę i oczekiwany rezultat wykonania pomiarów utraty pakietów.

Podczas połączenia typu punkt-punkt i połączenia konferencyjnego nie stwierdzono utraty pakietów w transmisji danych audio i wideo.

## Ocena badanej sieci komputerowej

Badana sieć komputerowa została oceniona negatywnie pod względem zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości usług podczas transmisji danych audio-wideo, ponieważ nie wszystkie wartości wyznaczonych parametrów mieszczą się w granicach określonych przez rekomendację [23]. Wartość opóźnienia dla połączenia typu punkt-punkt oraz połączenia konferencyjnego danych audio-wideo nie jest akceptowalna, znacznie odbiegająca od normy. Natomiast wartość fluktuacji opóźnienia i utraty pakietów spełniają wymagane założenia rekomendacji. Negatywna ocena sieci komputerowej oznacza, że

jakość transmisji danych audio-wideo przez tą sieć w czasie rzeczywistym jest nie akceptowalna.

Tab. 6. Pomiar utraty pakietów

Nazwa pomiaru	Opis pomiaru
Konfiguracja	Środowisko pomiarów zostało utworzone zgodnie z rys. 5.
Pomiar fluktuacji opóźnienia	<p><b>Procedura wykonania pomiaru:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Na stacjach roboczych PC1, PC3 i serwer 2 uruchomiono <i>sniffer Wireshark</i>,</li> <li>2. Na stacjach roboczych PC1, PC2, i PC3 uruchomiono komunikator <i>Office Communicator</i>,</li> <li>3. Włączono monitorowanie interfejsów sieciowych stacji roboczych,</li> <li>4. Wykonano połączenie typu punkt-punkt i połączenie konferencyjne trwające 60 s, zachowując jednakową aktywność każdego uczestnika,</li> <li>5. Zatrzymano rejestrację w programie <i>Wireshark</i> i wyfiltrowano strumień <i>RTP</i> przedstawiony na rys.6 i rys.7,</li> <li>6. Na podstawie zarejestrowanego przebiegu obliczono <u>dla odbieranego strumienia audio i wideo</u> utratę pakietów w transmisji <i>RTP</i>.</li> </ol> <p><b>Oczekiwany rezultat pomiaru:</b></p> <p>Liczba utraconych pakietów nie powinna przekraczać 3% wszystkich wysłanych pakietów [23].</p>

#### 4. Podsumowanie

Oceny konkretnej sieci komputerowej pod względem zapewniania odpowiedniego poziomu jakości usług podczas transmisji danych audio-wideo można dokonywać na różnych poziomach [17]: na poziomie użytkownika, na poziomie aplikacji i na poziomie sieci. Przedstawiony w artykule sposób oceny sieci komputerowej dokonywany jest na poziomie sieci.

W celu oceny konkretnej sieci komputerowej niezbędne jest wyznaczenie i ocenienie wartości odpowiednich parametrów. Na poziomie sieci do wspomnianych parametrów należy [22]: opóźnienie, fluktuacja opóźnienia i utrata pakietów. Jeśli wartość przynajmniej jednego z wyznaczonych parametrów nie mieści się w dopuszczalnych granicach opisanych przez przyjętą normę, dana sieć komputerowa powinna uzyskać ocenę negatywną, co oznacza, że jakość transmisji danych w tej sieci w czasie rzeczywistym nie jest

akceptowalna. W przeciwnym przypadku dana sieć komputerowa powinna uzyskać ocenę pozytywną. Istnieją przynajmniej trzy metody wyznaczania wartości wymienionych wyżej parametrów: metoda aktywnego przeprowadzania pomiarów [9], metoda pasywnego przeprowadzania pomiarów [11] oraz metoda szacowania [13].

W artykule przedstawiono pasywną metodę eksperymentalnego wyznaczania wartości parametrów określających jakość transmisji danych podczas połączeń audio-wideo. Opisano również sposób oceniania uzyskiwanych wyników pomiarów na podstawie rekomendacji ITU-TY.1541 [23]. Dodatkowo w artykule przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych w środowisku platformy programowej *Microsoft OCS* [2],[20],[29] i dokonano oceny badanej sieci komputerowej pod względem zapewniania odpowiedniego poziomu jakości usług podczas transmisji danych audio-wideo.

Dla badanej i opisanej w artykule sieci komputerowej wartość opóźnienia dla połączenia typu punkt-punkt oraz połączenia konferencyjnego danych audio-wideo nie jest akceptowalna. Wynosi odpowiednio dla połączenia typu punkt-punkt – 1,739 s, natomiast dla połączenia konferencyjnego – około 2,840 s. Wartości te znacznie odbiegają od normy, która wynosi 100 ms [23] i uniemożliwiają swobodną komunikację. Tak duże opóźnienie może być związane z faktem umieszczenia stacji roboczych z komunikatorami połączeń audio-wideo na maszynach wirtualnych, na komputerach, które nie mają tzw. sprzętowego wsparcia wirtualizacji [31]. Dla obu typów połączeń wartość fluktuacji opóźnienia danych audio wynosi średnio około 20 ms, natomiast danych wideo wynosi średnio około 30 ms. W tym przypadku są to wartości akceptowalne [23], bardzo małe, nie wpływające na pogorszenie jakości komunikacji. Dla żadnego typu połączeń nie stwierdzono utraty pakietów. Jest to rezultat pozytywny, ponieważ utraconych pakietów nie powinna przekraczać 3% wszystkich wysłanych pakietów [23].

Z powodu uzyskania za dużych wartości opóźnienia dla połączenia typu punkt-punkt oraz połączenia konferencyjnego danych audio-wideo badana sieć komputerowa została oceniona negatywnie pod względem zapewniania odpowiedniego poziomu jakości usług audio-wideo. Diagnoza problemów transmisji danych audio-wideo w ocenianej sieci komputerowej, czyli diagnoza uzyskiwania negatywnych wyników pomiarów (niespełniających przyjętych standardów) nie jest celem przeprowadzanych badań i nie została opisana w artykule.

## Literatura

- [1] BROMIRSKI M., *Telefonia VoIP, Multimedialne sieci IP*, BTC, Warszawa, 2006.
- [2] BUCH J., MAXIMO R., KUNERT J., *Microsoft Office Communications Server 2007 Resource Kit*, Microsoft Press, Redmond, Washington, 2008.
- [3] CIOARA J., CAVANAUGH M., KRAKE K., *CCNA Voice*, Cisco Press, Indianapolis, 2009.
- [4] DAVIDSON J., PETERS J., *Voice over IP. Podstawy*, MIKOM, Warszawa, 2005.
- [5] FURTAK D., *Programowa integracja usług multimedialnych*, Praca dyplomowa, Wydział Cybernetyki WAT, Warszawa, 2010.
- [6] MAZUR D., *Integracja usług multimedialnych z wykorzystaniem Microsoft Office Communications Server (OCS)*, Biuletyn IAIr, nr 28, 2010, Warszawa, str. 87-99.
- [7] WALLACE K., *Cisco Voice over IP (CVOICE)*, Cisco Press, Indianapolis, 2009.
- [8] ODOM W., CAVANAUGH M., *Cisco QOS Exam Certification Guide*, Cisco Press, Indianapolis, 2004.
- [9] PRASAD R., DOVROLIS C., MURRAY M., CLAFFY K., *Bandwidth Estimation: Metrics, Measurement Techniques, and Tools*, IEEE Network, tom 17, nr 6, , 2003 pp. 27-35.
- [10] AIT ALI A., MICHAUT F., LEPAGE F., *End-to-End Available Bandwidth Measurement Tools: A Comparative Evaluation of Performances*.
- [11] BARFORD P., SOMMERS J., *A Comparing of Probe-based and Router-based Methods for Measuring Packet Loss*”, IEEE Internet Computing, 2004, pp. 50-56.
- [12] MASE K., TOYAMA Y., *End-to-End Measurement Based Admission Control for VoIP Network*, IEEE ICC, tom 2, 2002, pp. 1194-1198.
- [13] SAITO Y., HASEGAWA M., MURATA Y., *A Fast and Efficient End-to-End QOS Measurement Scheme for Real Seamless Handover*, IEEE PIMRC, 2007, pp. 1-5.
- [14] GUREWITZ O., SIDI M., *Estimating One-Way Delays From Cyclic-Path Delay Measurements*. “, INFOCOM 2001, tom 2, 2001, pp. 1038-1044.
- [15] CHADDA A., *Quality of Service Testing Methodology*, Master of Science Thesis, 2004.
- [16] DOŁOWSKI J., *Analiza transmisji protokołu RTP*, Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu *Systemy multimedialne*; Wydział Elektroniki WAT, Warszawa 2013.
- [17] JANOWSKI R., *Ocena jakości usług telefonii pakietowej*, Zeszyty Naukowe Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki Nr 10, Warszawa, 2013, str. 7-24

**Źródła internetowe (dostępne online w dniu 20.11.2015)**

- [18] Dokument *RFC 3550 RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>
- [19] Dokument *RFC 1305 NTP: Network Time Protocol (Version 3)*, <http://www.ietf.org/rfc/rfc1305.txt>
- [20] Kursy programu *Microsoft IT Academy Online Learning Program*:  
Kurs 5126: *Introducing Enterprise Instant Messaging Using Microsoft Office Communications Server 2007*  
Kurs 5127: *Introducing On-Premise Conferencing Using Microsoft Office Communications Server 2007*  
Kurs 5129: *Customizing Real-Time Communication with Microsoft Office Communications Server 2007* <https://itacademy.microsoftlearning.com/>
- [21] Rekomendacja ITU-Y G.1010, *End-user multimedia QoS categories*, <http://www.itu.org>, listopad 2001
- [22] Rekomendacja ITU-T Y.1540, *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters*, <http://www.itu.org>, marzec 2011
- [23] Rekomendacja ITU-T Y.1541, *Network performance objectives for IP-based services*, <http://www.itu.org>, grudzień 2011
- [24] Rekomendacja ITU-T P.800, *Methods for subjective determination of transmission quality*, <http://www.itu.org>, sierpień 1996
- [25] Rekomendacja ITU-T P.861, *Objective quality measurement of telephoneband (300-3400 Hz) speech codecs*, <http://www.itu.org>, sierpień 1996
- [26] Rekomendacja ITU-T P.862, *Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs*, <http://www.itu.org>, luty 2001
- [27] Rekomendacja ITU-T P.863, *Perceptual Objective Listening Quality Analysis*, <http://www.itu.org>, styczeń 2011
- [28] Strona główna rozwiązania *Microsoft Unified Communications*, <http://www.microsoft.com/poland/uc/default.aspx>
- [29] Strona *Microsoft TechNet*: omówienie rozwiązania *Microsoft Unified Communications* od strony technicznej, <http://technet.microsoft.com/en-us/library/dd627231.aspx>
- [30] Strona *Microsoft TechNet*: omówienie fazy planowania przed instalacją serwera OCS 2007, [http://technet.microsoft.com/en-us/library/dd425159\(v=office.13\).aspx](http://technet.microsoft.com/en-us/library/dd425159(v=office.13).aspx)
- [31] Strona firmy *INTEL*: omówienie technologii wirtualizacji, <http://www.intel.com/content/www/us/en/virtualization/virtualization-technology/intel-virtualization-technology.html>

## **Quality parameters measurement method of audio-video transmission**

**ABSTRACT:** The paper discusses a passive method of measuring values of data transmission quality parameters during audio-video calls performed in a computer network. It describes how the computer network can be evaluated in terms of providing an adequate level of service quality during audio-video data transmission. Results of measurements conducted in the system which includes the Microsoft OCS (*Office Communications Server*) platform are presented.

**KEYWORDS:** audio-video calls, *RTP* transmission, *RTP* delay, *RTP* jitter, *RTP* packet loss, *OCS* software platform

*Praca wpłynęła do redakcji: 31.01.2013 r.*