



Analiza metod współpracy urządzeń Voice over IP z siecią telekomunikacyjną

JERZY DOŁOWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Telekomunikacji,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości współpracy systemu Voice over IP z siecią telekomunikacyjną (siecią telefoniczną). Na wstępie nakreślono zakres pojęcia Voice over IP, a następnie zdefiniowano pojęcia: współpracy oraz systemu Voice over IP, a także porównano pojęcie centrali Voice over IP z klasyczną centralą. Omówiono najbardziej typowe metody przyłączenia systemu VoIP do sieci PSTN, takie jak: analogowe łącze telefoniczne (reprezentowane przez styki FXS i FXO), łącze ISDN (w dostępie podstawowym) i łącze E1 (dostęp pierwotnogrupowy). Poszczególne rodzaje dostępow zostały zilustrowane przykładami wykorzystania. Oceniono ich przydatność, funkcjonalność i złożoność realizacji. Wskazano także usługi dodatkowe, warunkujące zapewnienie dobrej współpracy systemów VoIP i PSTN, w szczególności poprawną transmisję informacji wybierczych po zestawieniu połączenia. Zaproponowano kryteria oceny jakości współpracy, zwracając jednocześnie uwagę na brak formalnych wymagań w kwestii badania testowania protokołów Voice over IP i urządzeń realizujących współpracę.

Słowa kluczowe: telekomunikacja, urządzenia końcowe, ISDN, Voice over IP

Symbol UKD: 621.39

1. Wstęp

Mianem *Voice over IP* określa się ogół zagadnień związanych z interaktywną wymianą informacji w postaci mowy, wykorzystującą do transmisji sieć z protokołem IP. Obecnie dostęp do sieci IP staje się coraz bardziej powszechny, co jest jednym z czynników wpływających na wzrost popularności i zainteresowania VoIP. Oprócz tego popularność VoIP wynika z czynników ekonomicznych — koszt użytkowania Internetu nie zależy bowiem od dystansu, na jaki są wysyłane dane, co czyni telefonię IP bardzo tanią alternatywą klasycznej telefonii.

Od strony technicznej realizacja *Voice over IP* wymaga rozwiązania takich podstawowych kwestii, jak:

- 1) adresowanie użytkowników (abonentów),
- 2) sposób wywoływania żadanego użytkownika i zestawiania połączenia¹,
- 3) próbkowanie, kodowanie oraz sposób transmisji sygnału mowy,
- 4) przesyłanie spróbkowanego sygnału mowy w rzeczywistej sieci IP z uwzględnieniem obecności zapór sieciowych, translacji adresów (NAT),
- 5) zagwarantowanie określonej jakości transmisji w sieci IP,
- 6) umożliwianie współpracy z telefoniczną siecią publiczną.

Istnieje naturalna potrzeba zapewnienia możliwości zestawiania połączeń pomiędzy użytkownikami systemu VoIP i abonentami telefonii klasycznej (PSTN, ISDN, GSM). W artykule przedstawiono problematykę współpracy systemów VoIP z siecią telekomunikacyjną na bazie sprzętu posiadanego w Instytucie Telekomunikacji.

Szybki napływ rozwiązań i stosowanie własnej terminologii przez producentów powodują, że brak jest jednolitego nazewnictwa w technice VoIP. Podejmując próbę usystematyzowania nazewnictwa, zdefiniowano kilka podstawowych terminów.

Określenie *centrala VoIP* jest często używane w odniesieniu do urządzenia realizującego takie funkcje, jak: zarządzanie abonentami danego systemu VoIP, rejestrowanie abonentów, sterowanie zestawianiem połączeń, taryfikacja itd. Pomimo istotnych różnic między klasyczną centralą a centralą VoIP — wymienionych w tabeli 1 — funkcjonalnie obydwa urządzenia są zbliżone.

TABELA 1

Różnice między centralą klasyczną i VoIP

	Klasyczna centrala	Centrala <i>Voice over IP</i>
Sposób przyłączania abonentów	bezpośrednio do centrali	do sieci LAN*
Ograniczenie liczby abonentów	ilość wyposażenia liniowych	wydajność procesora centrali, przepustowość sieci LAN
Komutacja	przez centralę	transmisja bezpośrednia w sieci*
Zarządzanie centralą	lokalne	zazwyczaj z sieci LAN
Usługi niezwiązane bezpośrednio z komutacją	brak	występują (np. firewall, router, proxy, DNS, VPN)

* centrala VoIP może pełnić rolę bramki i posiadać interfejsy do bezpośredniego dołączenia terminali.

¹ W *Voice over IP* połączenie to uzgodnione między dwoma urządzeniami końcowymi parametry transmisji datagramów IP z próbkami mowy. W praktyce będzie to najczęściej opis gniazda (adres IP, numer portu UDP, rodzaj i parametry kodeka) skojarzonego z daną usługą transmisji mowy w urządzeniu końcowym.

Intuicyjne rozumienie pojęcia „współpraca” jest niewystarczające z formalnego punktu widzenia. Dla potrzeb artykułu „współpraca” dwóch różnych systemów telefonicznych będzie rozumiana jako: *zdolność realizowania usługi telefonicznej z określoną jakością między dwoma dowolnymi użytkownikami końcowymi różnych systemów.*

Dla tak zdefiniowanej współpracy nie należy brać pod uwagę sytuacji, kiedy usługa telefoniczna nie może zostać zrealizowana z przyczyn lub ograniczeń innych niż techniczne (np. brak uprawnień do realizowania połączeń wychodzących).

Oprócz tego zakłada się, że pojęcie *system VoIP* będzie oznaczać: *zbiór urządzeń pracujących w sieci lokalnej i/lub rozległej z protokołem IP, które wykorzystują ten sam protokół sygnalizacyjny VoIP do zestawiania połączeń fonicznych między sobą.*

2. Współpraca systemu VoIP z siecią telefoniczną

Rozważane będą trzy typy interfejsów: analogowa linia telefoniczna, łącze ISDN w dostępie podstawowym oraz łącze systemu PCM-30 (określane jako E1). Wymienione interfejsy są najczęściej stosowane.

2.1. Współpraca przez analogową linię telefoniczną

Analogowe łącze abonenckie jest dominującym rodzajem dostępu abonenckiego do publicznej sieci telefonicznej (PSTN). Sieć lub urządzenia PSTN mogą być dołączone do systemu VoIP za pomocą łącza analogowego na dwa sposoby:

- 1) przez styk FXS — przyłączenie analogowych urządzeń końcowych (telefon, faks) lub linii miejskiej centrali abonenckiej PABX,
- 2) przez styk FXO — do dołączenia systemu VoIP do centrali telefonicznej.

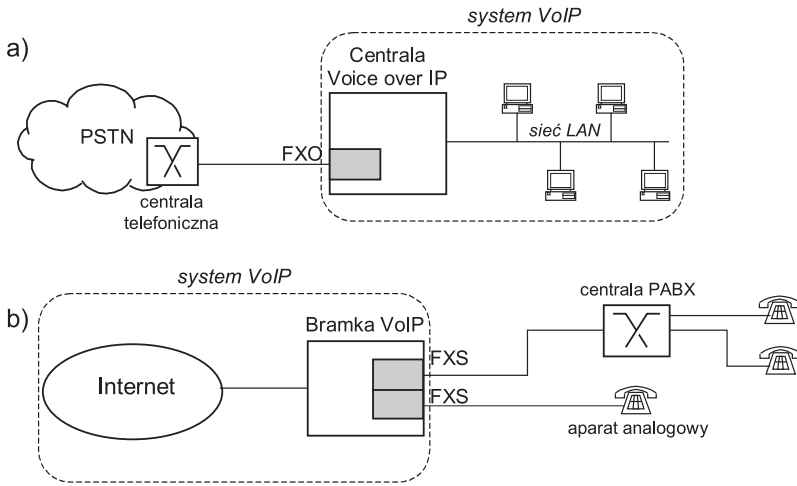
Obydwa wymienione wyżej styki dotyczą różnych zakończeń analogowej dwuprzewodowej telefonicznej linii abonenckiej.

Interfejs FXO (ang. *Foreign eXchange Office*) jest to standard dotyczący zakończenia linii po stronie urządzenia końcowego (abonenta). W związku z tym urządzenie (karta) z interfejsem FXO będzie reagować na sygnał dzwonienia, zwierać pętlę abonencką, sygnalizując rozpoczęcie pracy (podniesienie mikrofonu), generować sygnały wybiórcze itp.

Natomiast styk FXS (ang. *Foreign eXchange Station*) jest to zakończenie centralowe linii abonenckiej. FXS jest odpowiedzialne za: zasilanie linii, wykrywanie faktu zwarcia pętli abonenckiej (podniesienie mikrofonu przez abonenta), generowanie sygnału dzwonienia, odbieranie sygnałów wybiórczych (w kodzie DTMF lub impulsowo) itp.

Przykłady zastosowania interfejsów FXO i FXS pokazano na rysunkach 1a i 1b.

W przypadku połączeń przychodzących przez łącze analogowe (jak np. na rys. 1a) należy stosować system zapowiedzi słownych (IVR — ang. *Interactive Voice Response*), które informują abonenta, w jaki sposób zestawić połączenie do abonenta



Rys. 1. Interfejsy FXO i FXS — przykłady

systemu VoIP. Alternatywnie można przekierować wszystkie połączenia przychodzące do operatora, który dalej przekieruje wywołanie do żądanego abonenta.

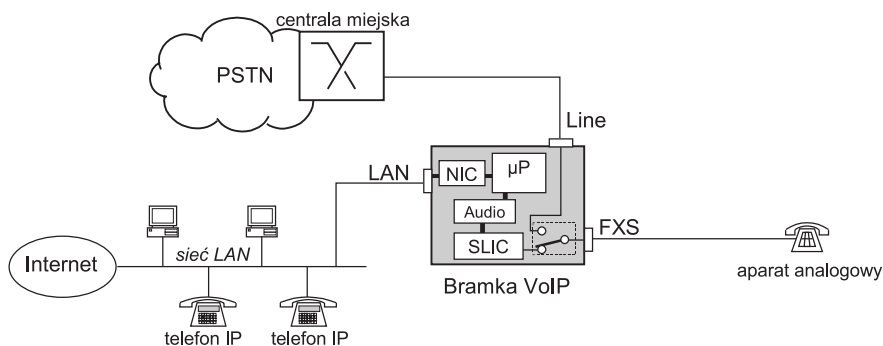
Wykorzystanie łącza analogowego, zwłaszcza styku FXS, komplikuje budowę bramki VoIP, ze względu na konieczność zasilania łącza analogowego. W krajowej sieci telefonicznej wartość napięcia zasilania to 48 V z tolerancją +6 V i -5 V [10, 11]. W przypadku styku FXS ważne jest także odwracanie polaryzacji napięcia po odebraniu wywołania przez abonenta wywoływany. Jest to istotne na przykład w sytuacji z rysunku 1b, kiedy abonent centrali PABX zestawiał połączenie wychodzące przez bramkę VoIP. Wykrycie zmiany polaryzacji na linii miejskiej centrali PABX pozwala na uruchomienie liczników taryfikacyjnych dla tego połączenia.

2.1.1. Przykład wykorzystania łącza analogowego — bramka VoIP

Na rysunku 2 pokazano sposób pracy popularnej na rynku bramki VoIP typu AG-168. Bramka AG-168 jest zbudowana w oparciu o procesor PA1688. Posiada jeden styk FXS (do przyłączenia analogowego aparatu telefonicznego), styk do sieci lokalnej LAN (10/100 Base-T) oraz styk „PSTN-through” (Line) umożliwiający podłączenia linii analogowej.

Bramka wymaga konfiguracji parametrów protokołu VoIP² (nazwa użytkownika i hasło, adres serwera lub nadzorca, numery portów dla sygnalizacji, rodzaje i parametry kodeków itd.) oraz konfiguracji interfejsu sieciowego (typ adresu IP, sposób pracy dla NAT itp.).

² Bramka AG-168 może obsługiwać protokoły: SIP (wersja 2), H.323 (wersja 4 i 5), IAX2, MGCP.



Rys. 2. Praca bramki VoIP typu AG-168

Styk „PSTN-through” umożliwia abonentowi korzystanie także z istniejącej linii analogowej. Dostęp do linii z centrali miejskiej jest możliwy po wybraniu określonej kombinacji (w AG-168 jest to domyślnie „*99”). Takie rozwiązanie umożliwia także odbieranie połączeń przychodzących z sieci PSTN, bo w razie wykrycia sygnału dzwonienia na styku Line bramka dołączy do tego styku linie z portu FXS, czyli aparat analogowy.

Wadą bramki AG-168 jest brak odwracania polaryzacji napięcia linii. W sytuacji z rysunku 2 nie ma to znaczenia, ale jeśli zamiast aparatu analogowego zostanie podłączona centralka abonencka lub telefax, to mogą wystąpić problemy z pełną współpracą.

2.1.2. Przykład wykorzystania łącza analogowego — centrala VoIP

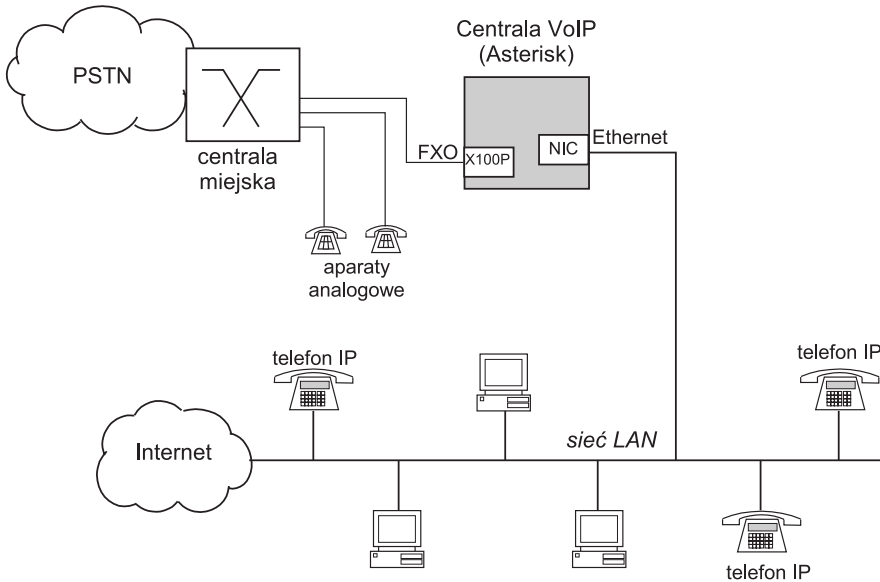
W celu przyłączenia centrali VoIP do sieci PSTN przez analogowe łącze telefoniczne należy dysponować interfejsem FXO. Poniżej zostanie ogólnie przedstawiona konfiguracja karty ze stykiem FXO na przykładzie programowej centrali Asterisk PBX [8]. Najprostszą kartą ze stykiem FXO obsługiwaną przez centralę Asterisk jest karta X100P [7]. Na rysunku 3 pokazano sposób wykorzystania łącza analogowego przez centralę Asterisk³.

Konfiguracja karty FXO obejmuje dwie grupy ustawień:

- 1) ustalenie parametrów sygnalizacji tonowej — dla krajowej sieci telefonicznej sygnał zgłoszenia centrali ma częstotliwość $425 \text{ Hz} \pm 25 \text{ Hz}$ [11],
- 2) określenie sposobu traktowania wywołania przychodzącego.

Na rysunku 4 pokazano najistotniejsze pliki konfiguracyjne dla karty X100P. Wybór parametrów sieci telefonicznej odbywa się przez zapis `loadzone=pl`, natomiast za sposób traktowania połączeń przychodzących odpowiadają zapisy: `context=przychodzace` oraz `Answer()` i `Playback(powitanie)`.

³ Centralę stanowi komputer pracujący z systemem Linux, na którym uruchomiono oprogramowanie Asterisk PBX.



Rys. 3. Centrala VoIP przyłączona przez łącze analogowe

```

Plik „zaptel.conf”:
-----
fxsks=1
loadzone=pl
defaultzone=pl
-----

Plik „zapata.conf”:
-----
[channels]
context=przychodzace
signalling=fxs_ks
channel => 1
-----

Fragment pliku „extensions.conf”:
-----
[wychodzace]
exten => _2XX,1,Dial(H323/${EXTEN})
exten => _2XX,2,Hangup()
exten => _3XX,1,Dial(SIP/lab${EXTEN:2})
exten => _3XX,2,Hangup()
exten => _0.,1,Dial(Zap/1/${EXTEN:1})
[przychodzace]
exten => s,1,Answer()
exten => s,2,Playback(powitanie)
include => wychodzace

```

Rys. 4. Przykład konfiguracji karty X100P (FXO)

Powyższe zapisy oznaczają, że każde połączenie przychodzące przez ten styk FXO ma być odebrane, a następnie będzie odtwarzana przygotowana zapowiedź słowna.

Dla realizacji połączeń wychodzących z systemu VoIP przedstawionego na rysunku 4 wydzielono prefiks „0”. Po wybraniu tej cyfry z dowolnego telefonu IP centrala Asterisk powoduje zamknięcie pętli abonenckiej linii przyłączonej do styku FXO karty X100P, wskutek czego centrala miejska generuje sygnał zgłoszenia centrali (425 Hz). Sygnał ten jest dalej przekazywany zwrotnie do telefonu IP, który rozpoczął to wywołanie. Dalsze cyfry numeru wprowadzane z telefonu IP są zamieniane na odpowiedniki w kodzie DTMF lub dekadowym i wysyłane przez styk FXO do centrali miejskiej.

Przedstawiony system VoIP umożliwia wykorzystanie tylko jednego kanału. Rozbudowa wymaga wstawienia dodatkowej karty ze stykiem FXO lub karty zawierającej kilka styków FXO. Jednak w przypadku zapotrzebowania na większą liczbę kanałów korzystniej jest skorzystać z interfejsu E1.

2.1.3. Ocena wykorzystania łącza analogowego

Łącze analogowe jest najprostszym rozwiązaniem dowiązania systemu VoIP do sieci telefonicznej. Jego zaletami są:

- niewielkie nakłady,
- brak konieczności pozyskiwania zezwoleń od operatora,
- możliwość wykorzystania dotychczasowego łącza analogowego,
- możliwość doboru aparatu telefonicznego (np. bezprzewodowego).

Wadami połączenia przez łącze analogowe są natomiast:

- konieczność stosowania dodatkowych zapowiedzi słownych dla połączeń przychodzących, wynikająca z ograniczeń sygnalizacji w łączu abonenckim,
- konieczność generowania napięcia dla zasilania linii FXS (48V),
- brak możliwości transmisji danych sygnalizacyjnych po zestawieniu połączenia,
- potencjalne problemy z rozłączaniem połączenia przez bramkę w sytuacji, kiedy pierwszy rozłączy się abonent zdalny.

Niekiedy może pojawić się istotny problem detekcji końca numeru, na przykład dla bramki VoIP z rysunku 2. Sygnalizacja VoIP z reguły nie pracuje w trybie *overlap sending*, czyli wymaga się, aby urządzenie VoIP (np. bramka) wysyłało kompletny numer abonenta w komunikacie inicjującym wywołanie. Natomiast telefon analogowy przekazuje po kolei cyfry w tempie, w jakim abonent je wybiera. Bramka normalnie zaś nie dysponuje informacją, w którym momencie numer wprowadzany przez abonenta jest kompletny. Rozwiązanie tego problemu polega na zastosowaniu jednej z poniższych metod:

- wprowadzenia do bramki VoIP informacji o stosowanym planie numerycyjnym (w postaci parametrów: prefiks i oczekiwana długość numeru),

- zatwierdzania wybranego numeru dodatkowym klawiszem (np. „#”),
- wprowadzenia czasu (np. 4 sekundy), po upływie którego bramka traktuje wprowadzony numer jako kompletny.

Niezależnie od powyższych komplikacji, potencjalna możliwość dostępu przez linię analogową istnieje zawsze, choć jego funkcjonalność jest mniejsza niż innych rodzajów dostępu.

2.2. Współpraca przez dostęp podstawowy ISDN

Sieć ISDN (ang. *Integrated Services Digital Network*) jest to cyfrowa sieć telefoniczna, która może pracować, wykorzystując istniejące dwuprzewodowe linie abonenckie. Obecna sieć telefoniczna praktycznie w całości korzysta z cyfrowych rozwiązań, a ISDN wprowadza jedynie „ucyfrowienie” łącza abonenckiego. W standardzie ISDN możliwe są dwa rodzaje dostępu do sieci: podstawowy (BRI — ang. *Basic Rate Interface*) oraz pierwotnogrupowy (PRI — ang. *Primary Rate Interface*). W dostępie podstawowym są dostępne dwa kanały B o przepływności 64 000 bit/s każdy oraz kanał sygnalizacyjny D, zaś w dostępie pierwotnogrupowym jest 30 kanałów B i kanał D. Dla potrzeb ISDN opracowano cyfrową sygnalizację abonencką DSS1 [14].

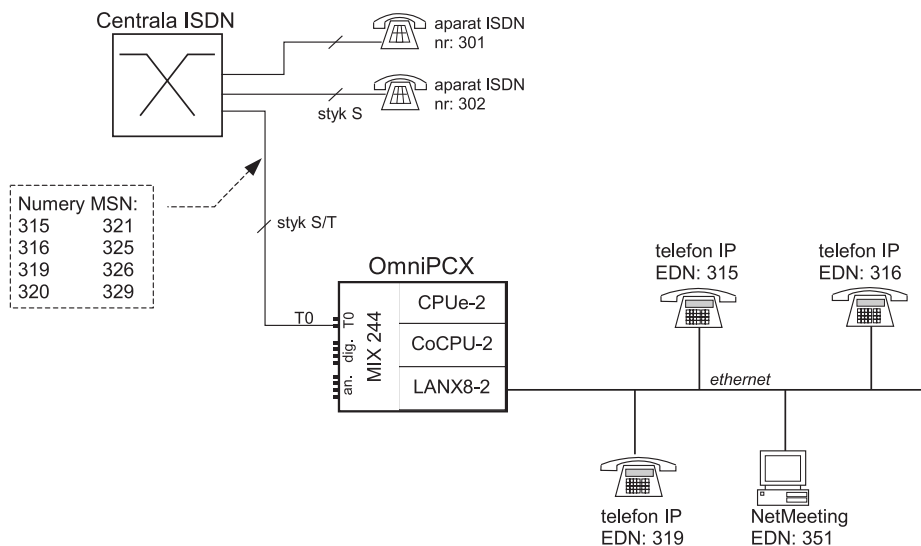
Spośród licznych usług dostępnych w ISDN istotną rolę — z punktu widzenia tworzenia dostępu do systemu VoIP — odgrywa usługa wielokrotnego numeru abonenta MSN. Usługa ta pozwala na przypisanie do jednego styku maksymalnie 8 numerów telefonicznych.

2.2.1. Centrala Alcatel OmniPCX Office

Alcatel OmniPCX jest centralą *Voice over IP* pracującą w standardzie H.323 v.2. Centrala zawiera nadzorcę ze zintegrowaną bramą. OmniPCX umożliwia zestawianie połączeń telefonicznych pomiędzy abonentami korzystającymi z aparatów IP (przyłączanych do sieci LAN) lub aplikacji uruchamianych na komputerach w sieci LAN (np. NetMeeting). Możliwe jest także zestawianie i odbieranie połączeń z sieci ISDN.

Współpraca centrali OmniPCX z siecią ISDN wymaga wyposażenia centrali w moduł MIX244 zawierający dwa styki T_0 . Na rysunku 5 pokazano centralę OmniPCX, której obszar numeracyjny został włączony do numeracji centrali ISDN przez przydzielenie 8 numerów MSN do styku S/T. Dzięki temu, aby zestawić połączenie z terminala centrali ISDN (np. o numerze 301) do terminala IP (np. o numerze 315), wystarczy tylko wybrać numer docelowego terminala bez dodatkowego prefiksu (w przykładzie: 315). Ponieważ w dostępie BRI występują dwa kanały B, jednocześnie między systemem VoIP a siecią ISDN mogą być prowadzone dwie rozmowy.

Możliwy jest również taki wariant, że centrala OmniPCX jest widziana pod jednym numerem ze strefy numeracji centrali ISDN (np. 315), a po wybraniu tego numeru abonent słyszy sygnał zgłoszenia centrali OmniPCX lub powitalną zapo-



Rys. 5. Centrala Alcatel OmniPCX

wiedź słowną. Następnie abonent wybiera numer abonenta sieci VoIP, analogicznie jak numer wewnętrzny w centrali abonenckiej.

2.2.2. Centrala Asterisk

Centrala Asterisk może współpracować z siecią ISDN przez kartę PCI typu „terminal adapter ISDN” ze stykiem S.

```

Plik „zaptel.conf”:
-----
span = 1,1,3,ccs,ami
bchan = 1-2
dchan = 3
-----

Plik „zapata.conf”:
-----
[channels]
switchtype = euroisdn
signalling = bri_cpe_ptmp
pridialplan = local
group = 1
usecallerid=yes
context=przychodzace_isdn
channel => 1-2
    
```

Rys. 6. Konfiguracja dla karty ISDN BRI

W przypadku połączeń przychodzących możliwe jest wykorzystanie usługi MSN (jak w poprzednim punkcie) lub odbieranie połączeń przez centralę i oczekiwanie na wskazanie abonenta wewnętrznego.

2.2.3. Wymogi konfiguracyjne łącza ISDN

- W trakcie konfiguracji styku BRI w centrali VoIP należy zwrócić uwagę na:
- właściwy wybór rodzaju sygnalizacji — dla większości krajowych central ISDN będzie to EuroDSS1,
 - wybór strony połączenia z punktu widzenia sygnalizacji DSS1 — centrala VoIP jest widziana jako strona użytkownika, czyli *User*; wybór strony sieciowej (*Network*) to dość częsta przyczyna braku współpracy,
 - określenie parametrów warstwy drugiej (L2), w tym: sposobu przydziału TEI, konfiguracji magistrali, wartości liczników czasowych serii T200.

W przypadku wariantu obsługi połączeń przychodzących przez odbieranie połączenia przez centralę VoIP i oczekiwanie na wybór abonenta wewnętrznego, konieczna jest obsługa dosyłanego numeru zarówno w postaci tonów DTMF transmitowanych w paśmie, jak również transmitowanych przez sygnalizację (komunikaty INFO).

2.2.4. Ocena wykorzystania łącza ISDN BRI

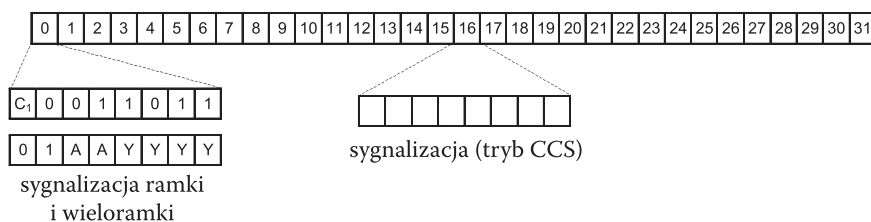
Dostęp do sieci ISDN przez jeden styk BRI udostępnia dwa kanały, co pozwala na obsługę stosunkowo niedużej liczby abonentów wewnętrznych. W przypadku dużego ruchu z systemu VoIP do ISDN można wykorzystać kolejny styk BRI. Jednak w praktyce wykorzystywanie kolejnego styku wiąże się z koniecznością instalacji nowej infrastruktury abonenckiej, co może być trudne technicznie. W związku z tym dla dużych systemów VoIP korzystniejsze jest wykorzystanie dostępu pierwotnogrupowego (PRI), gdzie dostępnych jest 30 kanałów.

Wykorzystanie ISDN dla dołączenia systemu VoIP do sieci telefonicznej pozwala na dość elastyczną konfigurację. Dzięki cyfrowej sygnalizacji możliwe jest pełne wykorzystanie puli usług dodatkowych dostępnych w ISDN oraz w VoIP (identyfikacje, przeniesienie połączenia, połączenia oczekujące, MSN, DDI).

Wadą dostępu przez ISDN jest istnienie odmian narodowych sygnalizacji DSS1, co może utrudniać pełną współpracę [1].

2.3. Wykorzystanie styku grupowego PCM-30 (E1)

PCM-30 (nazywany także E1) jest to system pierwszego rzędu zwielokrotnienia PDH [5]. Przepływność strumienia E1 wynosi 2048 kbit/s. Ramka PCM-30 składa się z 32 szczelin czasowych (od 0 do 31). Każda szczelina kanałowa tworzy kanał transmisyjny o przepływności 64 000 bit/s — rysunek 7 [12]. Dwie szczeliny mają zastosowanie systemowe: szczelina 0 zapewnia synchronizację ramki i wieloramki, zaś szczelina 16 służy do przesyłania sygnalizacji. Szczelina 16 zazwyczaj pracuje w trybie „we wspólnym kanale” (CCS — ang. *Common Channel Signaling*).



Rys. 7. Ramka systemu PCM-30

Z punktu widzenia komutacyjnego strumień PCM-30 stanowi 30 kanałów rozmownych. Stosowany w ISDN styk pierwotnogrupowy (PRI) wykorzystuje strumień PCM-30 z sygnalizacją DSS1 w szczelinie 16. Zerowa szczelina może przenosić sumę kontrolną dla 8 ramek (połowa wieloramki) zapisaną na czterech bitach C₁–C₄. Jest to tak zwany kod nadmiarowy CRC-4 [13].

2.3.1. Sygnalizacja stosowana w łączu E1

Łącze w standardzie E1 może wykorzystywać różne rodzaje sygnalizacji pracującej w trybie we wspólnym kanale⁴ (tab. 2). Bieżący rodzaj sygnalizacji musi być zgodny z sygnalizacją, jakiej używa operator dostarczający łącze. W przypadku stosowania DSS1 dodatkowo należy ustalić tryb pracy. System VoIP dołączany do systemu publicznego z reguły będzie pracować jako *User*.

TABELA 2

Porównanie możliwych rodzajów sygnalizacji typu CCS dla E1

Sygnalizacja	DSS1	QSIG	SS7
Tryb pracy centrali	<i>Network</i> lub <i>User</i>	równorzędny	równorzędny
Ograniczenia formalne	brak	brak	konieczność uzyskania adresów dla punktów sygnalizacyjnych
Zakres pracy łącza sygn.	lokalny (centrala-centrala)	lokalny (centrala-centrala)	globalny

Sygnalizacja SS7 jest powszechnie stosowana przez operatorów, gdyż bazuje na sieci punktów sygnalizacyjnych, wykorzystuje własną adresację i mechanizmy kierowania komunikatów w sieci. Dla celów dołączenia systemu VoIP do sieci operatora publicznego wykorzystywanie SS7 jest zbyt złożone i kosztowne [2].

⁴ Możliwa jest także praca kanału sygnalizacyjnego w trybie skojarzonym z kanałem (CAS — ang. *Channel Associated Signaling*) na przykład R2, ale obecnie nie wykorzystuje się już tego trybu.

2.3.2. Współpraca centrali Asterisk przez łącze E1

Centrala Asterisk PBX umożliwia wykorzystanie traktu E1 przez zastosowanie karty PCI. Asterisk obsługuje kilka rodzajów takich kart (np. firm Digium, Sangoma).

Konfiguracja karty musi być dostosowana do parametrów łącza dostarczanego przez operatora. Na rysunku 8 pokazano przykład konfiguracji karty zawierającej jeden styk E1. Styk jest wykorzystywany jako jedna grupa 30 kanałów. Pożądane jest ustawienie trybu pracy sygnalizacji jako nakładkowego (patrz p. 2.1.3), dzięki czemu dla połączeń wychodzących unika się problemu detekcji końca wybieranego numeru [6].

```

Plik „zaptel.conf”:
span=1,1,0,ccs,hdb3,crc4
bchan=1-15
dchan=16
bchan=17-31

Plik „zapata.conf”:
group = 1
context=e1_przychodzace
switchtype=euroisdn
signalling=pri_cpe      ; strona 'User'
overlapdial=yes       ; sygnalizacja nakladk.
channel => 1-15,17-31

```

Rys. 8. Przykład konfiguracji karty Sangoma AFT A102 (1xE1)

2.3.3. Wykorzystanie łącza E1

W zależności od planowanej ilości abonentów, w systemie VoIP można wykorzystać jedno lub więcej łączy E1. W celu dokładnego wyznaczenia zapotrzebowania należy założyć wielkość natężenia ruchu generowanego przez abonentów, rozkład tego ruchu w czasie oraz dopuszczalne wskaźniki jakościowe (np. współczynnik blokady).

Dla przykładu: przy prawdopodobieństwie strat 0,01 łącze E1 (traktowane jako 30 stanowisk obsługi) jest w stanie obsłużyć ruch o natężeniu 20,3 Erlanga [4]. Jeśli założy się, że abonent systemu VoIP generuje ruch 0,05 Erlanga [3], to jedno łącze E1 obsłuży ruch od około 400 abonentów systemu VoIP. Wprowadzając dodatkowo kolejkowanie wywołań, można osiągnąć jeszcze lepsze wykorzystanie posiadanego łącza.

Konfiguracja łącza PCM-30 wymaga ścisłej korelacji z operatorem. Częstą przyczyną braku współpracy jest: brak ustawienia wykorzystania kodu CRC-4, nieprawidłowy wybór strony łącza oraz nieprawidłowe obszary numeracyjne.

Łącze E1 jest podstawowym elementem współpracy dużych systemów VoIP z siecią telekomunikacyjną.

3. Inne aspekty współpracy

3.1. Transmisja tonów DTMF

Do całkowitej współpracy systemu VoIP z siecią PSTN należy zagwarantować poprawną transmisję i odtwarzanie sygnałów nadawanych *po zestawieniu* połączenia, w szczególności tonów w kodzie DTMF. Transmisja DTMF jest powszechnie stosowana w różnych automatycznych systemach, IVR, biurach obsługi klienta, centralkach abonenckich itp.

W tabeli 3 wymieniono metody transmisji tonów DTMF możliwe do stosowania w technice VoIP. Najprostszą metodą jest generowanie ich w paśmie sygnału akustycznego. W przypadku urządzeń VoIP potencjalną wadą tej metody jest zagrożenie zniekształcenia sygnału DTMF przez bardziej zaawansowane kodeki. Wynika to z faktu, że kodeki są zoptymalizowane pod kątem transmisji mowy.

TABELA 3

Zestawienie metod transmisji tonów DTMF

	Metoda transmisji		
	w paśmie (<i>in-band</i>)	wykorzystanie sygnalizacji	przez kody RTP (RFC2833)
Sposób realizacji	wstawienie sygnału akustycznego do strumienia mowy	wysłanie komunikatu sygnalizacyjnego z kodem wciśniętego klawisza	wykorzystanie dedykowanego typu ramki RTP, zawierającego jedynie kod klawisza
Ograniczenia	możliwość zniekształcenia sygnału przez kodek	konieczność obsługi tej metody we współpracującym urządzeniu	konieczność obsługi tej metody we współpracującym urządzeniu
Realizacja w:			
— H.323	TAK	TAK, 1) Keypad (Q.931) 2) signal (H.245) 3) alphanumeric. (H.245)	TAK
— SIP	TAK	TAK, żądanie INFO	TAK
— IAX2	TAK	TAK, ramka DTMF	NIE, IAX2 nie używa RTP

Pozostałe metody transmisji polegają na wysłaniu kodu klawisza przy użyciu sygnalizacji albo na wysłaniu specjalnych pakietów RTP, zawierających kod klawisza i czas odtwarzania tonu [9]. Brak jest metody automatycznego wyboru

(negocjacji) rodzaju transmisji tonów DTMF, co zmusza użytkownika do manualnego wyboru rodzaju transmisji. Powoduje to pogorszenie jakości współpracy z punktu widzenia użytkownika.

3.2. Badanie wpływu kodeka na transmisję DTMF w trybie „w paśmie”

Przeprowadzono badania wpływu rodzaju kodeka na jakość transmisji DTMF, wykorzystując emulator sieci rozległej LanForge ICE. Próby polegały na zestawieniu połączenia w systemie VoIP i transmisji ciągu odpowiadającego sekwencji „1234567890*#”. Jako odbiornik wykorzystano program „DTMF Decoder”. Wyniki zestawiono w tabeli 4.

TABELA 4

Wpływ kodeka na jakość transmisji DTMF

Parametry emulowanej sieci WAN	przepustowość: 1024 kbit/s			
	opóźnienie: 80 ms			
	utrata pakietów: 2%			
	jitter: 15 ms dla 20% pakietów			
Kodek	G.711u	G.723.1	G.729	GSM 6.10
Liczba nadanych elementów	60	60	60	60
Liczba przekłamanych elementów	4	9	11	8
Współczynnik przekłamanych elementów	0,07	0,15	0,18	0,13

Na podstawie testów stwierdzono, że rodzaj kodeka nie pogarsza drastycznie jakości transmisji tonów DTMF oraz że duży wpływ na jakość tej transmisji mają parametry sieci systemu VoIP.

3.3. Informacje dostarczane w trakcie zestawiania połączenia

W trakcie zestawiania połączenia do użytkownika inicjującego połączenie mogą być dosyłane informacje o bieżącym stanie realizacji połączenia w postaci informacji sygnalizacyjnych (przedstawianych tekstowo na terminalu IP lub w programie) lub fonicznych (sygnał marszrutyzacji, zwrotny sygnał wybierania). Wiąże się to z uruchomieniem kanału fonicznego jeszcze przed zestawieniem połączenia do abonenta wywoływanego, co nie zawsze jest realizowane przez urządzenia VoIP. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest brak wymogów formalnych dla transmisji tego typu sygnałów w systemie VoIP.

4. Propozycje oceny jakości współpracy

Oceniając jakość współpracy systemu VoIP z siecią PSTN, należy traktować system VoIP jako system komutacyjny. Opierając się na definicji współpracy przyjętej

na wstępie, jakość współpracy należy oceniać z punktu widzenia użytkowników końcowych. Proponuje się do tego celu wykorzystanie składników wymienionych w tabeli 5.

TABELA 5

Składniki oceny jakości współpracy

Lp.	Składnik	Opis	Kryteria oceny	Zalecenie
1	Czas zestawiania połączenia	Czas od momentu zakończenia wybierania numeru przez abonenta A do momentu rozpoczęcia wywoływania abonenta B.	< 1 s dla 95% wywołań	E.541
2	Jakość sygnału mowy	Jakość sygnału mierzona jedną z metod subiektywnych w skali MOS.	> 3 (MOS)	P.800
3	Całkowite opóźnienie sygnału mowy	Różnica czasu pojawienia się sygnału akustycznego na wejściu mikrofonu abonenta A i w słuchawce abonenta B.	< 150 ms	G.114
4	Zjawisko echa	Występowanie opóźnionego sygnału własnego w słuchawce abonenta.	TELR* > 47 dB dla opóźnienia 100 ms	G.131
5	Realizacja usług dodatkowych	Obecność identyfikacji numeru dla połączeń przychodzących, prawidłowa identyfikacja u abonenta wywoływanego, prawidłowa realizacja przekierowania.	prawidłowa realizacja usług	-

* TELR (ang. *Talker Echo Loudness Rating*) jest to różnica między poziomem sygnału własnego i echa.

Zaproponowana ocena uwzględni fakt pracy urządzeń realizujących współpracę w konkretnym systemie, przez co na jakość współpracy istotny wpływ mają parametry pracy systemu VoIP oraz sieci PSTN. Na przykład opóźnienie sygnału mowy nie zależy jedynie od elementu realizującego współpracę, ale w znaczącym stopniu zależy od: czasu przetwarzania w terminalu IP, czasu transmisji i kolejowania w sieci IP itd. Nie bierze się także pod uwagę współczynnika strat (odzwierciedlającego ilość straconych wywołań), gdyż ten parametr zależy od wielkości i struktury sieci oraz od bieżącego natężenia ruchu.

Spośród omówionych metod współpracy najkrótszym czasem zestawiania połączenia będzie się charakteryzować łącze E1, ze względu na cyfrowy kanał sygnalizacyjny o przepływności 64 kbit/s. Zjawisko echa będzie przede wszystkim występować w przypadku dostępu przez analogową linię telefoniczną (ze względu na nieidealne zrównoważenie linii), a także w sytuacji kiedy użytkownik systemu VoIP korzysta z programowego klienta VoIP i nie dopilnuje odseparowania akustycznego mikrofonu i głośników.

5. Wnioski

Współpraca systemu *Voice over IP* z klasyczną siecią telefoniczną jest niezbędna dla zachowania funkcjonalności usługi telefonii VoIP. Znaczenie współpracy systemu VoIP z innymi systemami telefonicznymi będzie zwiększać się wraz ze wzrostem upowszechniania technologii VoIP.

Obecnie systemy telekomunikacyjne nie ewoluują w dziedzinie dostępu abonenckiego, ostatnim etapem ewolucji był ISDN opracowany w latach 80. ubiegłego wieku. W związku z tym istnieje konieczność dostosowania rozwiązań VoIP do istniejących interfejsów. Spośród porównanych interfejsów umożliwiających współpracę za najistotniejsze należy uznać: dostęp przez linię analogową oraz przez łącze E1. Istotną zaletą dostępu analogowego jest jego olbrzymie rozpowszechnienie i łatwość realizacji. Natomiast łącze E1 z sygnalizacją DSS1 jest typowym interfejsem współpracy średnich systemów telekomunikacyjnych. Analiza różnych rozwiązań pozwala także na sformułowanie wniosku, że sposób współpracy generalnie nie zależy od rodzaju protokołu stosowanego w systemie VoIP.

Niepokojący jest brak formalnych wymogów dopuszczania do użytku urządzeń *Voice over IP* oraz urządzeń realizujących współpracę. Uzyskiwanie świadectw zgodności jest wymagane dla urządzeń typowo telekomunikacyjnych, zaś brak jest takich wymogów dla urządzeń VoIP. Z drugiej strony okazuje się, że brak jest także wymogów dotyczących testowania zgodności samych protokołów *Voice over IP*. Skutkuje to częstym wprowadzaniem autorskich rozwiązań przez producentów.

Artykuł wpłynął do redakcji 19.07.2006 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 26.09.2006 r.

LITERATURA

- [1] K. BRZEZIŃSKI, *Istota sieci ISDN*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa, 1999.
- [2] G. DANILEWICZ, W. KABACIŃSKI, *System sygnalizacji nr 7*, WKiŁ, Warszawa, 2005.
- [3] E. GOŁĘBIEWSKI, *Wielkość, rozryw i jakość ruchu w sieci TP S.A.*, Przegląd Telekomunikacyjny, nr 11, 2000, 850-855.
- [4] A. JAJSZCZYK, *Wstęp do telekomutacji*, WNT, Warszawa, 2004.
- [5] S. KULA, *Systemy teletransmisyjne*, WKiŁ, Warszawa, 2004.
- [6] M. MAZUREK, *Sangoma dla Asteriska — Test karty AFT A102 — 2xE1*, http://www.marcinmazurek.com/teksty/sangoma/sangoma_asterisk.pdf
- [7] J. MEGGELEN, J. SMITH, L. MADSEN, *Asterisk: The Future of Telephony*, O'Reilly, 2005.
- [8] Strona Asterisk — the Open Source PBX, <http://www.asterisk.org>
- [9] H. SCHULZRINNE, S. PETRACK, *RTP Payload for DTMF Digits, Telephony Tones and Telephony Signals*, IETF, RFC2833, 05/2000.
- [10] PN-T-83001:1999, *Aparaty telefoniczne elektroniczne ogólnego przeznaczenia współpracujące z analogowymi łączami abonenckimi. Wymagania i badania*, Polskie Normy — ICS, 1999.
- [11] Zalecenie ETSI EN 300 001, *Attachments to Public Switched Telephone Network (PSTN); General technical requirements for equipment connected to an analogue subscriber interface in the PSTN*, 10/1998.

- [12] Zalecenie ITU-T G.703, *Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces*, 11/2001.
- [13] Zalecenie ITU-T G.706, *Frame alignment and cyclic redundancy check (CRC) procedures relating to basic frame structures defined in Recommendation G.704*, 04/1991.
- [14] Zalecenie ITU-T Q.931, *ISDN user-network interface layer 3 specification for basic call control*, 05/1998.

J. DOŁOWSKI

Analysis of cooperation methods between Voice over IP equipments and telecommunication network

Abstract. This paper provides overview and analysis of a typical cooperation method for the Voice over IP system and public switched telephone network (PSTN). At the beginning, general aspects of the Voice over IP were presented. The Voice over IP is a technique that offers the users a telephone service in the IP network. Therefore there is a necessity for VoIP system to make possible connection from the VoIP system subscriber to PSTN subscriber and in reverse direction.

There is a lack of uniform onomastics in Voice over IP and therefore basic definitions have been prepared. The first discussed and defined term was “the VoIP exchange”. Differences between a typical telephone exchange and the VoIP exchange were presented. Next the terms “VoIP system” and “cooperation” were defined. It is assumed that “the VoIP system” is a set of stations in IP network using the same VoIP protocol for communication between them. And “the cooperation” was defined as possibility of making telephone connection (with specific quality) between the users of different telephone systems.

In the main part of the paper, three types of VoIP-PSTN connections were presented and discussed. First one was an analogue telephone line (typical subscriber line in PSTN), that can act as FXO or FXS interface. This kind of access is available in almost all situations, but it has some limitations such as: lack of signalling information after making connection, necessity of using IVR system for incoming call control, etc.

Second discussed interface was basic rate interface (BRI) ISDN. It offers two digital B-channels and additional signalling channel (D). Access via BRI ISDN interface enable us to use additional service like CLIP, CLIR, MSN, DDI, MWI.

The last presented interface was PCM-30 interface (called E1). PCM-30 can act on various types of signalization, typically it works on DSS1 (digital signalization using in ISDN). Application of the discussed interface has been illustrated by the examples of configuration of two VoIP exchanges (Alcatel OmniPCX and Asterisk PBX).

Other additional aspects of interworking, like signals transmission after connection establishing were presented too. Especially, transmission of DTMF signals in audio channel was discussed. The test results of on tones in-band transmission were presented.

In the last part of the paper, appraisal of the cooperation performance was proposed. Based on the cooperation definition, such factors as time of connection establishing, speech quality, latency, and echo, presence of the additional services, were introduced.

Conclusions end the paper.

Keywords: telecommunication, telephony, ISDN, Voice over IP

Universal Decimal Classification: 621.39

