Voice over IP

Klaus Kusche

Jänner 2016

Inhalt

- Ziele & Voraussetzungen
- Was ist VoIP, warum VoIP ?
  Vorteile, Ziele, Einsatzbereiche
- Probleme & deren Lösung ...
  - ... für das “Wählen”
  - ... für das “Sprechen”
- Die finale Hürde:
  NAT & Firewalls

Ziele

Verständnis

- … der *Ziele*, *Einsatzbereiche* und *Vorteile* von VoIP
- … der Komponenten von VoIP
- … der grundlegenden *Probleme* der Telefonie über IP-Netze
- … und ihrer *Lösungen*

Kenntnis

- … der wichtigsten *Abkürzungen*, *Fachbegriffe* und *Standards*

Voraussetzungen

Grundkenntnisse IP-Netze:

- IP, Unterschied TCP / UDP
- IP-Adressierung
  (DHCP, private IP-Adressen, ...)
- DNS, ev. DynDNS
- Begriffe: Server, Proxy, ...
- Firewalls, NAT, VPN

Begriffe (1)

VoIP

= "Voice over IP"

= IP-Telefonie

= "Normales" Telefonieren
(wie mit "altem" Telefon)

über bestehende,
IP-basierte Netzwerke

Begriffe (2)

Gegenteil:

POTS

= "Plain Old Telephone Service / System"

POTS ursprünglich:

Analog, ***Leitungs-vermittelt***

==› eigene *phys. End-to-End-"Draht"-Verbindung*

POTS heute:

Digital, ***Zell-vermittelt*** (ISDN, ATM, SDH/Sonet)

==› *Synchroner End-To-End-Bitstrom*

mit *garantierter Bandbreite* (= *"virtuelle Leitung"*)

Motivation / Anwendung (1)

Ursprünglich: VoIP für

geschlossene "Inhouse"-Telefonie

= Nebenstellen-Telefonanlagen

in Firmen, Behörden, ...

Ziel:

- In Bürogebäuden: *Statt zwei nur* ***eine Verkabelungs- und Vermittlungs-Infrastruktur***
- Nutzung bestehender ***Netz- bzw. VPN-Verbindungen*** zur ***abhörsicheren intern-Telefonie*** ***mehrerer Standorte*** / Außenstellen

Motivation / Anwendung (2)

Ziel für den Telefon-**Kunden**:

IP-Anschluss ist meist vorhanden,
zusätzlicher IP-Traffic kostet nichts,
unabhängig vom Ziel-Land

==> *Gäbe es ein*

einziges, weltweites VoIP-Telefonnetz
(so wie das "alte" Telefonnetz)

*könnte man weltweit "**gratis**" telefonieren!*

Derzeit: *Meist nur **innerhalb eines VoIP-Providers** gratis*

Motivation / Anwendung (3)

Für **Telekom- und Netz-Provider**:
Die weltweite IP-Infrastruktur

- … erreicht **mehr Teilnehmer** als POTS
- … zieht **viel mehr Investitionen** an als POTS
- … ist **flexibler und universeller** als POTS
- … hat (meist) reichlich **Kapazitäten frei**
- … nimmt POTS viel **Umsatz / Teilnehmer weg**
  (durch Handy, Skype, …)

==> ***"Aus 2 mach 1"***: Erhaltung und Ausbau von POTS
ist ***wirtschaftlich nicht mehr argumentierbar***

Anmerkungen (1)

In diesem Vortrag:

VoIP am Beispiel

hersteller-unabhängiger,
*offener **Internet-Standards***
(= IETF RFC's)

Konkurrierend:

- ***Telefon-Standards*** *(ITU H.323 etc.)*
- Viele ***proprietäre Protokolle*** *(Skype, IAX2, XMPP+Jingle, ...)*

==> Im Prinzip ähnlich, aber *inkompatibel*

Anmerkungen (2)

VoIP steht hier stellvertretend für

- **diverse Hardware-Technologien:**
  - z.B. ***"Voice over Cable"*** für Kabelfernseh-Netze
- **beliebige Inhalte:**
  - ***Video-Konferenzen*** etc.
  - Multiuser-Echtzeit-Games
  - ...

Telefonieren ...

... besteht aus

2 getrennten Schritten

Telefonieren …

… besteht aus

2 getrennten Schritten

1)“<u>Wählen</u>”:

= *Endgerät lokalisieren, <u>Verbindung herstellen</u>*

2)“<u>Sprechen</u>”:

= *bidirektional <u>Daten übertragen</u>*

Teilnehmer lokalisieren (1)

Gegeben:

Telefon-Nummer

(wegen Interoperabilität mit POTS)

Gesucht:

IP-Adresse

Teilnehmer lokalisieren (1)

Gegeben:

Telefon-Nummer

(wegen Interoperabilität mit POTS)

Gesucht:

IP-Adresse

Probleme:

- IP-Adresse des Endgerätes ***ändert sich*** immer wieder
  (mobile Devices, DHCP, mehrere Geräte im Wechsel, ...)
- Endgeräte haben meist ***keinen Domain-Namen***
  ==> *Bestehendes DNS hilft nicht!*

Teilnehmer lokalisieren (2)

Lösungsidee ähnlich DynDNS:

Teilnehmer lokalisieren (2)

Lösungsidee ähnlich DynDNS:

Sobald das Endgerät *eingeschaltet* wird:

Registriert sich
*mit seiner **Telefon-Nummer***
*& seiner **aktuellen IP-Adresse***
*bei einem **"Vermittlungsserver"***

==> Vermittlungsserver kann Telefon-Nummern in aktuelle IP-Adressen übersetzen

==> Anrufer fragt IP-Adresse des "Gegenübers" beim Vermittlungsserver ab

SIP

Protokoll dafür:

SIP (RFC 3261)

= "Session Initiation Protokoll"

Zweck:

Server-basierter ***Sitzungsauf- und Abbau***
zwischen 2 oder mehr *Endgeräten*

(d.h. SIP-Requests laufen von einem Quell-Endgerät
über einen oder mehrere (ev. auch keinen) SIP-Server
zu einem Ziel-Endgerät)

SIP Endgeräte

SIP-Endgerät = ***"User Agent"***

- Reine **Software** (*"Telefon-App"*)
  am PC / Handy / ...
  ==> z.B. Telefonieren via WLAN statt via Handy-Netz
- Eigenständiges ***"IP-Telefongerät"***
  mit Netzwerk-Anschluss (Ethernet, WLAN)
  (der Normalfall in Firmen)
- Für bestehende *"Alt-Telefone"*: ***Umsetzer***
  auf POTS-Analog- bzw. ISDN-Anschluss
  (z.B. in Home-Routern)

SIP Server

- ***"SIP Registrar Server"***:
  Zuordnung Nummer ==› IP-Adresse
  = das, was ich *"Vermittlungsserver"* nannte
- ***"SIP Proxy Server"***: Wie HTTP-Proxy, z.B. *für NAT*
- ***"SIP Redirect Server"***: Eine Art *"Router"* für SIP
- ***"SIP Gateway"***: Verbindung zum *POTS-Netz*
  oder proprietären VoIP-Netzen

Die SIP-Server-Infrastruktur ist die wesentliche ***Dienstleistung eines VoIP-Providers!***

SIP Protokoll (1)

- **Aufbau** ähnlich HTTP: ***Requests*** & ***Responses***
  Plain Text, lesbar!
- **Adressierung** mittels URL's:
  - **`sip:`***user@server* (oder **`sips:`**... : *verschlüsselt*)
    user ... meist Nummer, auch Name möglich
    server ... DNS-Name oder IP-Adresse des SIP-Servers
  - **`tel:`***nummer*
    (ohne Server-Angabe)
- **Unterbau** meist ***UDP*** (Ports 5060 bzw. 5061),
  wahlweise auch TCP möglich

SIP Protokoll (2)

Beispiele **Requests**:

- **REGISTER** ... Endgerät meldet sich an
- **INVITE** ... Wählen
- **ACK** ... Datenstrom starten
- **BYE** ... Auflegen

Beispiele **Responses**:

- **1***xx* ... Zwischenstatus (z.B. *"es klingelt"*)
- **2**00 ... OK
- **3***xx* ... Redirect
- **4***xx* - **6***xx* ... Fehler

SIP SDP

SDP

= *Session Description Protocol*

(Unter-Protokoll von SIP)

Aushandlung der **Datenverbindungs-Details**:

- Zu verwendendes *Datenübertragungs-**Protokoll***
- ***IP-Adressen*** der Endgeräte,
  wenn RTP: *Dynamische* ***IP-Ports***
- ***Medien-Typ & Codec***,
  Bitrate, Komprimierung, Verschlüsselung, ...

“Wählen” gelöst?

Gegeben:

Telefon-Nummer

(wegen Interoperabilität mit POTS)

Gesucht:

IP-Adresse

“Wählen” gelöst?

Voraussetzung für **`sip:`**…@*host* :

host = ***Name oder Adresse***
des ***SIP-Servers*** *(oder des Endgerätes)*
der “Zielperson” muss ***bekannt*** *sein!*

Ok *innerhalb* einer Firma / eines VoIP-Providers

Aber: Woher den ***host*** ermitteln bei …

- … **`tel:`**… ?
- … *Anrufen aus POTS* über Gateways?
- … *fremdem / unbekanntem VoIP-Provider?*

“Vorwahlen” ?

1. Idee: Ableitung des zuständigen Servers
   aus einer ***“VoIP-Vorwahl”*** je VoIP-Provider

Ist eine **schlechte Idee**

- … bei ***Rufnummern-Mitnahme***
  aus POTS oder von anderem VoIP-Provider
- … bei ***Notruf- und Sonderdienste-***Nummern
- … wegen ***rechtlicher Lage in D:***
  Vorwahl-Bindung von Festnetz-Nummern an *Wohnort*,
  nur *geographische Vorwahlen* erlaubt
  (oder sehr teure 032… Sondernummer)

ENUM

Idee:

*Nutzung der bestehenden **DNS**-Infrastruktur !*

ENUM

Idee:

*Nutzung der bestehenden **DNS-Infrastruktur !***

Standard:

***ENUM** ("ITU E.164 Number Mapping")*

- Abbildung ***Telefonnummer ==> Domain-Name***

  12345 wird **5.4.3.2.1.e164.arpa**

- ***DNS-Lookup*** dieses ENUM-Namens liefert ***Adresse*** des für diese Nummer zuständigen ***SIP-Servers***

Theorie & Praxis ...

ENUM+SIP würden ein **weltweites, einheitliches, provider-unabhängiges VoIP-Netz** bieten:

ENUM+SIP würden ***direkte*** VoIP-Kontaktaufnahme zu SIP-Servern bzw. zu Kunden ***aller*** Provider nur mittels ***Telefonnummer*** über normales IP erlauben (an den VoIP-Gateways beider Provider *vorbei*)

Aber: ENUM (oder die SIP-Ports) werden von VoIP-Providern meist **boykottiert bzw. blockiert**:

Provider möchten *"externe"* VoIP-Gespräche ***Call-By-Call an ihren Gateways abrechnen!***

“Sprechen” (1)

Anforderung:

*Übertragung eines **Bitstroms***
(digitalisierte, komprimierte,
verschlüsselte Sprache)

*“in **Echtzeit**”*

*über **IP***

“Alte” Übertragungstechniken für digitale Telefonie (ISDN, ATM, SDH/Sonet) wurden genau dafür optimiert:
Garantieren ***synchronen Bitstrom fixer Bitrate***
(durch Multiplex- und Zeit-Slot-Verfahren)

“Sprechen” (2)

Genauer:

- ***Konstante*** *bzw. garantierte minimale* ***Datenrate***
  (z.B. ISDN: 64 Kbit/sec netto unkomprimiert)
  ==> sonst *Unterbrechung (Ton setzt aus)*
- *Möglichst* ***geringe Laufzeit / Verzögerung***
  ==> sonst kein Gesprächs-*Dialog* mehr möglich!
  (ab 100 ms Mund-zu-Ohr merklich,
  ab 150 ms störend, ab 500 ms gefühlt unbrauchbar)
  ==> *“Zu späte” Daten sind verlorene Daten!*
- *Minimale* ***Datenverluste*** *(< 5 %) sind* ***tolerierbar****!*

IP

- Übertragung ***einzelner* Pakete**, nicht Streams
- Stark ***schwankende* Paket-Laufzeit**
- Ev. ***verlorene* Pakete**
- Ev. **Paket-Ankunft in *falscher* Reihenfolge**

==> *Genau das **Gegenteil** von dem,*
was VoIP braucht!

Aber: *IP-Fehler-Behandlung passt* für VoIP:
Fehler werden erkannt,
falsche Daten werden einfach ***verworfen***

TCP/IP

- Paketweise Übertragung von ***Streams***:
  Korrekte Reihenfolge, keine Datenverluste, …

TCP/IP

- Paketweise Übertragung von ***Streams***:
  Korrekte Reihenfolge, keine Datenverluste, ...
- ***Keine*** Durchsatz- oder ***Laufzeit-Garantie***
- Bei ***Fehlern*** / ***Verlusten***: ***Paket-Wiederholung***

... kann den Datenstrom

beliebig lange verzögern!!!

==> *Paket-Wiederholungen sind für VoIP sinnlos, sogar ausgesprochen konterproduktiv!*

==> *TCP/IP ist für VoIP erst recht unbrauchbar!*

RTP

RTP / SRTP (RFC 3550)

= "Real-Time Transport Protocol"

*Direkt Endgerät ‹==› Endgerät (**ohne Server!**)*

*über **UDP** (paketweise!) statt TCP*

*==› Muss schwankende Laufzeit, ... **selbst** behandeln:*

- ***"Jitter Buffer"***
- Ev. ***RTCP*** (Real-Time Control Protocol)
  für dynamische Bandbreiten-Anpassung usw.

Der Jitter Buffer (1)

Jitter

Hier: ***Laufzeit-Schwankungen*** der Pakete
(Abweichung der Pakete vom Soll-Ankunfts-Zeitpunkt)

Jitter-Buffer

= Paket-FIFO *beim Empfänger*

- Sammelt einlangende Pakete, *verzögert* sie kurz
- Liefert sie in *gleichmäßigem Takt* an den Decoder

==> *Gleicht einzelne Paket-Verspätungen und -Vertauschungen aus*

Der Jitter Buffer (2)

Tuning-Parameter für die **Qualität**:

- Jitter-Buffer **kurz**:
  - ***Weniger Latenz***
  - ***Mehr Paket-Verlust*** durch zu späte Pakete (weniger Verspätung ausgleichbar)
    ==> *Mehr Ton-Störungen & Dropouts*
- Jitter-Buffer **lang**:
  - ***Mehr Latenz***
    ==> *Gesprächs-Dialog stärker beeinträchtigt*
  - ***Weniger Paket-Verlust***

Firewalls & NAT (1)

... vertragen sich ***ganz schlecht*** mit VoIP:

Firewalls & NAT (1)

... vertragen sich ***ganz schlecht*** mit VoIP:

- Pakete *"von außen nach innen"*
  sind meist nur zulässig als ***Antwort*** auf Pakete

  "von innen nach außen"

  Bei SIP und RTP kommt
  erstes Paket ev. von außen!

- Firewall-Regeln gelten für ***fixe Portnummern***

  RTP handelt über SIP
  dynamisch wechselnde Portnummern aus!

Firewalls & NAT (2)

- Geräte in Firmen und
  Geräte hinter Home-Routern haben meist
  private IP-Adressen (10.x.x.x, 192.168.x.x, ...)
  ==› sind am Internet ***nicht gültig!***

  SIP überträgt ***IP-Adressen in den <u>Nutzdaten</u>***

  ==› Endgerät meldet sich mit ***privater*** Adresse
  am SIP-Server an
  ==› “Anderes Ende” bekommt
  ungültige private Adresse des Gegenübers
  ==› Direkte RTP-Verbindung schlägt fehl!

Firewalls & NAT (3)

- Bei ***mehreren Endgeräten***
  hinter einem NAT-Router:
  Haben nach außen ***alle dieselbe IP-Adresse***

  Wenn mehrere Endgeräte zugleich SIP nutzen:

  ==> Für außenstehenden SIP-Server
  nicht mehr unterscheidbar
  (alle melden sich mit gleicher Adresse an)

  ==> NAT-Router kann ***einlangende SIP-Pakete***
  *nicht auf das **richtige Endgerät** weiterleiten*

Firewalls & NAT (4)

Ständiges Ärgernis,
keine einheitliche Optimal-Lösung!

- Viel ***"schwarze Magie"***:
  - ***STUN*** (RFC 3489, *"Session Traversal Utilities for NAT"*)
  - Abgleich *Paket-Header-Adresse* mit *SIP-Adresse* im Paket
- Firewall (NAT-Router) ***analysiert und transformiert Inhalt von SIP-Paketen, gibt RTP entsprechend frei***
  (Linux NAT beherrscht SIP Connection Tracking!)
- ***SIP-Proxy-Server*** (oder SIP-User-Agent)
  direkt auf Firewall bzw. NAT-Router laufen lassen
- VoIP über ***VPN-Tunnel*** durch NAT bzw. Firewall

“The end”

Fragen?