

Internet Telefonie - Mehr als nur ein Telefon mit Paketvermittlung

Henning Schulzrinne
Columbia University, New York

12. November 2000

1 Einführung

Internettelefonie beschreibt die Übertragung von Telefongesprächen, Videokonferenzen und Fax über IP-basierte Netze. Dabei werden Sprache, Bilder und Faxseiten in Echtzeit als Datenpakete statt als synchrone Bitströme zu übertragen. Diese Pakete können sowohl durch private IP-basierte Netze als auch durch das öffentliche Internet fließen. Wir unterscheiden drei Arten von Internettelefonie, je nachdem welcher Anteil der Verbindung über das Internet abgewickelt wird. Im "tail-end hop-off" Betrieb, auch als "PC-to-phone" bezeichnet, benutzt der Anrufer einen Internet-verbundenen PC um damit einen normalen Telefonanschluss zu erreichen. Dies ist augenblicklich die meist-genutzte Variante, aber es findet sich auch "phone-to-phone", wo der Anrufer eine örtliche oder 800 Nummer anruft, eine Kennnummer eingibt und dann eine Telefonnummer wählt. Einwahlpunkt und angerufener Teilnehmer kommunizieren dann über IP Pakete. Drittens findet sich "front-end hop-on" oder "phone-to-PC", wo der Anrufer wieder ein Telefon benutzt, aber ein IP-vermitteltes Endsystem erreicht. Diese Spielart ist heute selten, wird aber mit der zunehmenden Verbreitung der Internettelefonie an Bedeutung gewinnen.

Internettelefonie wird heute hauptsächlich für internationale Verbindungen zwischen Ländern eingesetzt, wo die Ferngesprächsgebühren unverhältnismäßig hoch sind. (So kostet eine Minute von Deutschland nach USA etwa 0,19 DM, während eine Verbindung nach Ägypten, obwohl geografisch näher, das Zehnfache kostet.) Obwohl dies schwer einzuschätzen ist, wird angenommen, dass im Augenblick etwa 10% des internationalen Telefonverkehrs über IP läuft. PC-to-phone Internettelefonie

wird teilweise gratis angeboten und durch Werbung finanziert¹

Eine Reihe von Herstellern bieten inzwischen die ersten IP Telefone an, die statt über analoge oder digitale Telefonschnittstellen an ein Ethernet angeschlossen werden. Im Augenblick sind diese aber hauptsächlich als Ersatz und Ergänzung von Nebstellenanlagen in Unternehmen gedacht, obwohl eine Anwendung zusammen mit DSL oder Kabelmodem auch für Privatanlüsse in Zukunft wahrscheinlich ist. Es gibt auch Schnittstellen, die ein analoges Telefon mit einem Ethernet verbinden. Andere *Internet telephony gateways* (ITGs) verbinden IP-Netze mit analogen und digitalen Telefonnetzen, für größere Leitungsdichten oft über E1 (2 Mb/s) Leitungen.

Die Spanne zwischen Internet- und Sprachübertragungskosten wird sich auf die Dauer verkleinern, so dass dann andere Vorzüge der Internettelefonie in den Vordergrund treten müssen. Internettelefonie bietet potentiell Vorteile sowohl für den Dienstanbieter als auch den Benutzer. Der Dienstanbieter braucht nur ein Datennetz statt getrennter Daten- und Sprachnetze zu betreiben, was Investitions- und Betriebskosten senkt. Neue Dienste können schneller angeboten werden, da Internettelefoniedienste sich eher an das Webmodell anlehnen und in üblichen Programmierumgebungen und Programmiersprachen erstellt werden können. Für Weitverkehrsverbindungen lässt sich Sprache auch auf zwischen 6 und 8 kb/s, statt 64 kb/s, komprimieren, wozu dann die Unterdrückung von Sprachpausen noch einmal etwa die Hälfte der Bandbreite spart. In der Praxis reduziert die

¹Firmen wie Freephone oder Dialpad bieten kostenlose Gespräche innerhalb der USA an. Von Dezember 1999 bis Juni 2000 hat Dialpad z.B. etwa 500 Millionen Minuten über das Internet vermittelt.

Übermittlung von Paketköpfen die erzielbare Bandbreiteneinsparung etwas, je nachdem ob Gespräche einzeln oder gebündelt übertragen werden und ob Paketkopfkomprimierung eingesetzt wird. (Diese Komprimierungsmöglichkeiten bestehen auch über spezialisierte Geräte, sogenannte time-assigned speech interpolation, in leitungsvermittelten Netzen, werden aber wegen der hohen Kosten relativ selten eingesetzt.)

Aus Benutzersicht ergeben sich zusätzlich eine Reihe von anderen Vorteilen, neben eventuell geringeren Kosten. Langfristig ist die Übertragung von anderen Medien, wie Video, Graphik oder verteilten Anwendungen, über paketvermittelte Netze deutlich einfacher als über ISDN, auch da die Zahl der Internetbenutzer international deutlich größer ist und die verfügbare Bandbreite längerfristig die ISDN-Rate von 128 kb/s um ein Vielfaches übersteigen kann. Dies erlaubt es auch, hoch-qualitative Sprache und Musik zu übertragen, ohne dafür neue Netze oder Endsysteme einrichten zu müssen. Durch Verschlüsselung kann auch die Sicherheit gegenüber leicht abhörbaren analogen oder digitalen Telefonaten deutlich erhöht werden.

Im Augenblick ist die Internettelefonie in einer Reihe von Ländern verboten, so z.B. in Albanien, Bahrain, Botswana, Burundi, Kuba, Zypern, Indien, Jordanien, Kenya, Mauritius, Mexiko, Nepal, Pakistan, Panama, Slowakei, Südafrika, Thailand, Türkei, Venezuela, Vietnam und Jemen. Sie ist in Ländern wie Australien, Kanada, der Europäischen Union, Hong Kong, Japan, Neuseeland, Peru, Korea, Singapur, der Schweiz und den USA ohne Einschränkung erlaubt. Länder wie die USA sorgen sich allerdings darum, ob langfristig traditionelle Subventionsmechanismen, die Telefondienste in ländlichen Gebieten und für sozial Schwache unterstützen, mit Internettelefoniediensten aufrecht zu erhalten sind.

Wie andere Internetanwendungen auch, baut sich der Dienst der Internettelefonie auf einer Reihe von Protokollen und Algorithmen auf, die hier in aller Kürze zusammengefasst werden sollen. (Siehe auch Bild 6.) Obwohl Internettelefonietechnologie durchweg medienneutral ist, werden wir hier der Einfachheit halber hauptsächlich Sprachdienste betrachten.

1.1 Datentransport

Sprache wird digitalisiert und in Segmente von etwa 10 bis 100 ms aufgeteilt. Die Segmentlänge hängt von der Komprimierungsmethode und der zulässigen Verzögerung ab. Die Verzögerung und der Einfluss von einzelnen Paketverlusten wächst mit der Länge der Pakete, aber der Bandbreitenverlust durch Paketköpfe verringert sich.

Jedes Sprachsegment oder Videobild wird in ein Real-Time Transport (RTP) [1] Paket gefasst. RTP erlaubt es dem Empfänger, einen kontinuierlichen Strom von Daten wiederherzustellen, Verluste zu erkennen und zwischen verschiedenen Komprimierungstypen zu unterscheiden. Über das Kontrollprotokoll RTCP können Sender und Empfänger Statistiken über Paketverluste, Verzögerungen, Jitter und gesendete Datenmengen austauschen.

Sprach- und Videodaten werden üblicherweise über UDP statt TCP übertragen, da der Wiederholungsmechanismus in TCP zu hohe Verzögerungen verursachen würde und die in TCP stattfindende Anpassung der Übertragungsrate für Dienste mit vorgegebener Bandbreite, wie Audio und Video, nicht sinnvoll ist.

1.2 Dienstqualität

Internettelefonie stellt besondere Anforderungen an das Internet. Zuerst muss natürlich die verfügbare Bandbreite etwa 8 kb/s überschreiten, die Bandbreite der Kodierungsalgorithmen wie G.723 [2] inklusive des beträchtlichen zusätzlichen Aufwandes für die Übertragung der Paketköpfe. (Für IPv4, UDP und RTP sind zusammen etwa 40 Bytes pro Paket erforderlich.) Allerdings reicht es nicht aus, dass die *durchschnittliche* Bandbreite diesen Mindestwert erreicht, sondern diese Bandbreite muss konstant verfügbar sein. Auch dürfen die Paketverluste einige Prozent nicht überschreiten, obwohl hier hauptsächlich zusammenhängende Verluste hörbar sind. Die durchschnittliche Verlustrate auf fast allen für andere Dienste noch benutzbaren Strecken ist selten über 5%, was für Sprachübertragung brauchbar ist.

Im Gegensatz zu den meisten Datendiensten spielt die Verzögerung eine große Rolle. Die Verzögerung setzt sich aus mehreren Kompo-

nenten zusammen, wie in Bild 1 gezeigt, die sowohl von Routern als auch dem sendenden und empfangenden Endsystem beigesteuert werden. Konstante Verzögerungen werden durch die Sprachkodierung und Sprachdekodierung in den Endsystemen, die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes, etwas 200 000 km/s in Glasfasern und durch die Übermittlungsverzögerungen in jeder Netzwerkschnittstelle erzeugt, während variable Verzögerungen durch das Betriebssystem und Warteschlangen in den Routern verursacht werden. Dabei werden Verzögerungsschwankungen ("jitter") von einem Puffer variabler Tiefe am Endsystem in feste Verzögerungen umgewandelt. Diese Ausspielverzögerung kann algorithmisch den Netzwerkgegebenheiten angepasst werden [3, 4, 5, 6], so dass auf wenig belasteten Verbindungen die Verzögerung praktisch der durch Lichtgeschwindigkeit und Paketierung gegebenen Untergrenze gleicht.

Besonders hochkomprimierende Algorithmen wie G.729 [7] und G.723 [2] sind gegenüber Paketverlusten empfindlich. Da Netzwerkverzögerungen normale Wiederholungsanfragen und -übertragungen verhindern, ist vorgeschlagen worden, Verluste durch Vorwärtsfehlerkorrektur (*forward error correction* (FEC)) zu beheben. Zwei Verfahren sind vorgeschlagen worden: im ersten werden zwei zeitlich versetzte Sprachdatenströme übertragen, mit der niedrig-bandbreitigen Version als Ersatz, wenn ein Paket des höher-bandbreitigen Stroms nicht beim Empfänger ankommt [8]. Als Alternative können auch klassische XOR Verfahren eingesetzt werden, wobei Gruppen von Paketen durch zusätzliche XOR Pakete geschützt werden [9, 10, 11, 12, 6, 13]. Eine einfache Verteilung eines Audioblockes auf mehrere Pakete [14] kann Paketverluste weniger auffällig machen. Alle diese Verfahren erhöhen die Verzögerung, wobei dies allerdings von der Verlustrate abhängig gemacht werden kann. [6]. Schließlich kann auch das Endsystem Verluste weniger hörbar machen, indem es z.B. zwischen zwei Paketen interpoliert [15, 16] oder schlicht das fehlende Paket durch das vorhergehende Paket ersetzt.

Als Alternative ist vorgeschlagen worden, dass Nutzer des Netzwerks für die Dauer des Anrufs Netzwerkbandbreite und Pufferspeicher reservieren können (*integrated services*) oder Klassen von Anwendungen sich die Bandbreite einer höher privi-

legierten Paketvermittlung teilen können (*differentiated services* oder kurz *diff-serv*). Dabei ist die *diff-serv* Variante für Internettelefonie im Allgemeinen gut geeignet, da die Gesamtbandbreite des Dienstes mit klassischen Modellen gut vorherzusagen ist. Es ist auch möglich, die beiden Dienstmodelle miteinander zu verbinden, indem nur die Gesamtbandbreite des Internettelefonieanteils mit Zugangsbeschränkungen verwaltet wird, aber einzelne Gespräche in Routern nicht jeweils einzeln verwaltet werden. Viele der ersten Internettelefone erlauben es, das Prioritätsfeld im IP-Kopf zu setzen. Einige Ethernetknoten benutzen auch das Protokoll 802.1q, um z.B. Sprachdiensten Vorrang zu gewähren.

In der traditionellen Telefonie werden Netzwerkkressourcen gleichzeitig mit der logischen Verbindung erstellt. In der Internettelefonie sind diese Funktionen auf Reservierungs- und Signalisierungsprotokolle verteilt. Dabei kann es vorkommen, dass eine logische Verbindung aufgebaut wird, dann aber später die nötigen Netzwerkkapazitäten zur Sprachübertragung fehlen. Daher ist vorgeschlagen worden, [17], die Signalisierung zweizuteilen. Dabei wird zuerst der Angerufene gesucht, dann Kapazität reserviert und, wenn dies erfolgreich ist, klingelt es beim Angerufenen.

1.3 Verbindungsaufbau

Der wichtigste Unterschied zwischen Verteildiensten wie Internetradio und Internetfernsehen auf der einen und Internettelefonie auf der anderen Seite liegt im unterschiedlichen Aufbau von Verbindungen ("sessions"). Verbindungen werden wie im traditionellen Telefondienst mit Signalisierungsprotokollen aufgebaut, verwaltet und wieder abgebaut. Im Gegensatz zur traditionellen Telefonie bestehen Verbindungen aber nur als Zustände in den Endsystemen und sind in Netzwerkknoten nicht sichtbar. Insbesondere kann der Pfad, der von Verbindungsaufbaupaketen genommen wird, sich völlig von dem der Sprachpakete unterscheiden. Wenn z.B. ein Anruf von München nach Berlin nach Köln umgeleitet wird, werden Sprachpakete direkt von München nach Köln gesandt, ohne Umweg über Berlin. Dies vereinfacht Mobilität und erlaubt es, Internettelefonieadressen ohne Rücksicht auf Netzwerktopologie zu verteilen. So könnten z.B. Emailadressen auch als Internettele-

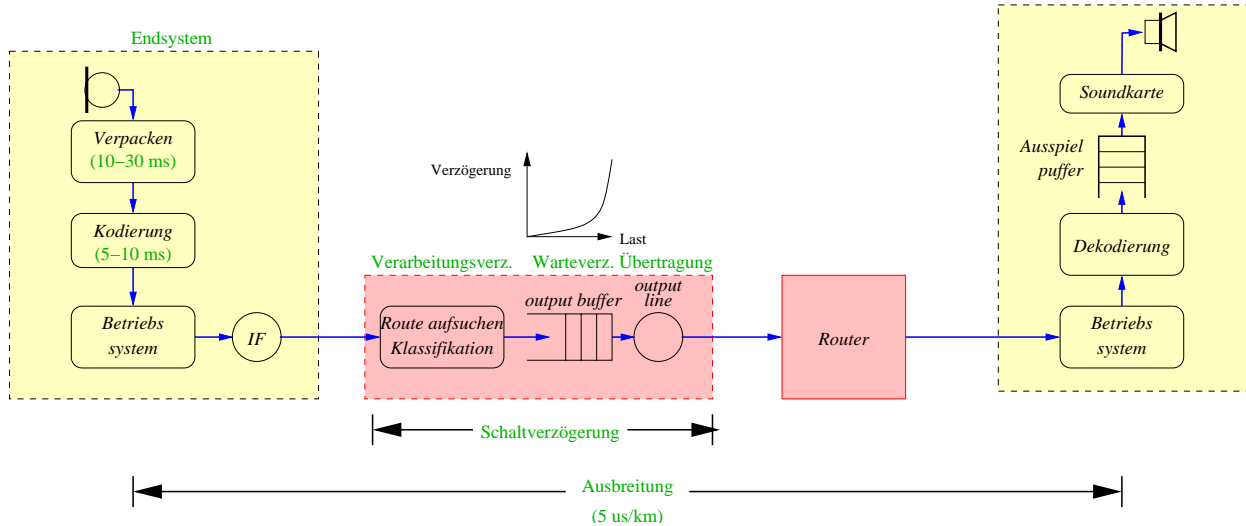


Abbildung 1: Komponenten der Verzögerung

fonieadressen wiederverwendet werden.

Es gibt zwei Arten von Signalisierungsprotokollen: für gleichrangige Knoten und für die Verbindung von *media gateways* (MGs) mit *media gateway controllers* (MGCs). Letztere spalten einen ITG in einen Medien- und einen Kontrollteil. MGCs untereinander sind durch Protokolle für gleichrangige Knoten verbunden, wie in Bild 2 dargestellt.

Es gibt im Augenblick zwei Kontrollprotokolle für Medienübersetzer (gateways), nämlich MGCP [18] und das neuere Megaco Protokoll, auch als ITU Empfehlung H.248 bekannt [19]. Diese Protokolle haben Befehle, um Leitungskanäle mit IP Adressen zu verknüpfen, auf Telefonereignisse wie Wählziffern oder kurzes Auflegen zu reagieren und Statistiken abzufragen.

Für die Signalisierung zwischen gleichrangigen Knoten stehen im Prinzip zwei Protokolle zur Verfügung, nämlich das Session Initiation Protokoll (SIP) [20, 21] und die ITU Empfehlung H.323 [22]. H.323 verwendet sogenannte "gatekeepers" (im Bild als GK bezeichnet) für die Weiterleitung von Signalisierungsnachrichten, während SIP "proxies" benutzt.

1.3.1 SIP

SIP ist innerhalb der Internet Engineering Task Force (IETF) zwischen 1996 und 1999 entwickelt worden. Das Protokoll ähnelt in der Syntax dem HTTP, obwohl natürlich hier Daten und Kontrollinformation

in getrennten Datenflüssen vermittelt werden. SIP unterscheidet logisch zwischen Endsystemen (user agents) und vermittelnden Systemen, Redirect und Proxy-Server. Proxy- und Redirect-Server leiten SIP Befehle weiter, um z.B. Anrufe zu filtern oder an verschiedene mögliche Aufenthaltsorte weiterzuleiten. Ein SIP Anruf von Anja@beispiel.ch an Berta@zufall.de würde, falls so konfiguriert, erst an den Server ("outbound proxy"), der für die Domäne Beispiel.ch zuständig ist, geleitet. Dieser Server ist unter anderem dafür verantwortlich, der Brandmauer Befehle zu geben, so dass die Brandmauer den Sprachdatenstrom durchlässt. Der Outbound Proxy-Server sendet den Verbindungsaufbaubefehl dann an den designierten Server bei Zufall.de, wobei der Server über DNS SRV [23] gefunden wird. Berta hat sich über SIP REGISTER Befehle von ihrem PC oder Ethernettelefon bei dem Server angemeldet. Der Server führt Programme aus, die Berta dort abgelegt hat und leitet den Anruf dann an Bertas PC weiter. Berta kann sich auch gleichzeitig von mehreren Stellen anmelden. Je nach Programmierung im Proxy-Server wird der Anruf dann parallel oder der Reihe nach an alle diese Stellen weitergeleitet, bis das erste Endsystem den Anruf annimmt oder definitiv ablehnt. Ein Redirect-Server leitet den Befehl nicht selbst weiter, sondern teilt dem vorherigen Server nur mit, wo dieser weitersuchen sollte, wie in Bild 3 gezeigt. Dort ist der Server tune.cs.columbia.edu dafür

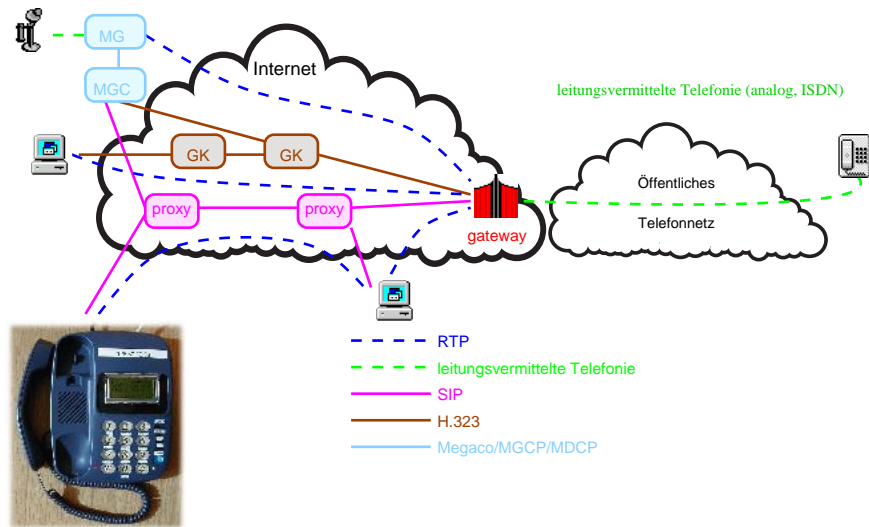


Abbildung 2: Komponenten in einem Internettelefonienetz

zuständig, über einen *location server* den angerufenen Teilnehmer zu finden, der im Beispiel gerade auf der Maschine `play.cs.columbia.edu` eingeloggt ist. Dorthin wird dann auch der Anrufer `cz@cs.tu-berlin.de` durch die 302 SIP Antwort verwiesen.

Die augenblicklich definierten SIP Befehle finden sich in Tabelle 1. Es ist leicht möglich, dass in Zukunft weitere Befehle für spezielle Anwendungen definiert werden. SIP macht es einfach, den Satz von Befehlen, Antworten und Paketköpfen (“headers”) zu erweitern und dem Empfänger mitzuteilen, ob diese Erweiterungen unentbehrlich oder lediglich informativ sind.

SIP beschreibt nicht die eigentlichen Medien, die in einem Anruf verwendet werden sollen. Diese Beschreibung wird als Körper der SIP Nachricht versandt, in aller Regel als Session Description Protocol [27] formatiert. SIP beschreibt die Empfängereigenschaften wie den Port und die IP Adresse als auch eine Liste der vom Empfänger unterstützten Datenformate.

SIP ist unabhängig vom Transportprotokoll, wobei es hauptsächlich mit UDP und manchmal mit TCP verwandt wird. Auch SCTP (Stream Control Transport Protocol) [28] kann SIP Befehle und Antworten befördern.

Über fünfzig SIP Implementierungen wurden bei dem letzten Interoperabilitätstreffen (“bake off”) im August 2000 getestet. (Diese Treffen finden seit Fe-

bruar 1999 etwa alle vier Monate statt.)

1.3.2 H.323

Die ITU Empfehlung H.323 [22, 29] ist eine Sammlung von Protokollen, die es erlaubt, Konferenz- und Telefondienste zu erbringen. Die wichtigsten sind H.225.0 und H.245. H.225.0 beschreibt die Anmeldung, Zugangskontrolle und das Finden von Benutzern (“registration, admission and status”, RAS) und den Verbindungsaufbau. H.225.0 beinhaltet außerdem die Definition von RTP aus RFC 1889 und RFC 1890. Die Verbindung wird mit einer erweiterten Version des ISDN-Signalisierungsprotokolls Q.931 [30] aufgebaut. Dabei werden Internetparameter wie Netzwerkadressen in sogenannten “user-user information elements” in ASN.1 Format [31] übertragen. Diese Netzwerkadressen und Ports werden dann im nächsten Schritt von H.245 als Kontaktpunkt benutzt.

Das H.245 Protokoll baut die eigentliche Konferenz aus mehreren Medienströmen aus und erlaubt es den Endsystemen, Medienparametern wie Komprimierungsverfahren und Netzwerkadressen zu verhandeln. H.245 wird meist über TCP transportiert, wobei Parameter in ASN.1 “packed encoding rules” kodiert sind. Im “fast connect” Verfahren werden die beiden Verbindungsaufbauphasen verbunden, um die Verbindungsverzögerung zu verringern.

Als Erweiterung der H.323 Basisdienste defi-

Methode	Quelle	Verhalten
INVITE	[20]	Anrufsaufbau und Änderung von Verbindungsparametern
BYE	[20]	Anrufsabbau
CANCEL	[20]	bedingter Anrufsabbau
OPTIONS	[20]	Abfragen der Fähigkeiten der anderen Seite
INFO	[24]	Vermitteln von nicht-SIP Signalisierungsinformationen
REGISTER	[20]	Mitteilen und auffrischen der Umleitungsinformation
SUBSCRIBE	[25]	auf Benachrichtigungen warten
NOTIFY	[25]	Ereignisbericht
PRACK	[26]	Zuverlässigkeitsbestätigung für vorläufige Antworten
COMET	[17]	Verbindungsvorbereitung erfüllt

Tabelle 1: SIP Methoden

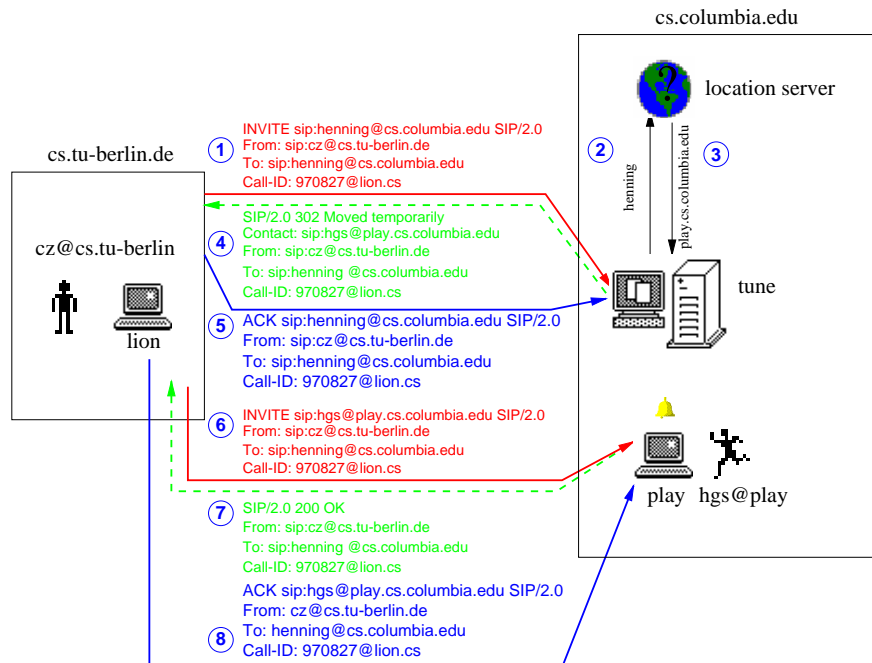


Abbildung 3: Verbindungsaufbau mit Rufumleitung mit SIP

nieren die Empfehlungen der Serie H.450.x Dienste wie Rufweiterleitung [32] oder Anklopfen [33]. H.323 [34] beschreibt, wie grosse Multicastkonferenzen mit kleineren Konferenzen verknüpft werden können. H.323 gibt es in verschiedenen Versionen, die nach und nach Fehler und Beschränkungen ausräumen. Die meisten Implementierungen folgen H.323 Version 2. In aller Regel wird H.323 Signalisierung über TCP vermittelt, aber Version 3 beschreibt auch die Benutzung von UDP.

Eine Reihe von Autoren haben die beiden Protokolle verglichen [35, 36], auch in Hinsicht der Verzögerung zum Verbindungsaufbau [37]. Inzwischen wird SIP auch für Kabelmodems [38] und im Mobilfunk der dritten Generation (UMTS, 3G) eingesetzt [39].

Eine Übersetzung zwischen SIP und H.323 ist zumindest für einfache Dienste möglich [40] und ist inzwischen als Prototyp implementiert.

1.3.3 Übersetzung zwischen Telefonnummern und URLs

Für spezielle Dienste finden auch andere Protokolle Verwendung. So wird ein neuer "resource record" im Domain Name System (DNS) zur Übersetzung von Telefonnummern nach der ITU Empfehlung E.164 [41] in URLs verwendet, wie in Bild 4 dargestellt. Im Bild erhält der Proxy-Server P einen Anruf mit der Telefon-URL `tel:+12125550100`, was einer Nummer in Manhattan entspricht. Der Proxy Server fragt zuerst bei DNS an, ob die Nummer in eine andere URL umgewandelt werden kann, wie im nächsten Abschnitt erläutert wird. Im Beispiel ist diese Nummer auch direkt über SIP, als `sip:alice@example.com` zu erreichen, wahrscheinlich als Internet-verbundener PC. Der Proxy Server erkundigt sich auch bei einem TRIP (Telephony Routing over IP) [42] Server, der mitteilt, dass der Anschluss am günstigsten über den Gateway `nyc.gwrus.com` erreicht werden kann. Dahin wird dann auch der Anruf per SIP weitergeleitet, mit der URL `sip:5550100@nyc.gwrus.com`.

DNS wird auch in der anderen Richtung, bei Anrufen von einem analogen oder ISDN Telefon an ein Internet-Telefon, eingesetzt (Bild 5). Dabei wird die Telefonnummer vom SCP (service control point) in einen DNS-Namen umgesetzt, indem zwischen je-

de Ziffer ein Punkt gesetzt wird und die Nummer umgekehrt geschrieben wird, da ja in Telefonnummern die linke Ziffer den höchsten Stellenwert hat, während bei DNS-Namen die Wertigkeit von links nach rechts ansteigt. Die DNS-Übersetzung führt den SCP dann an den richtigen Übergangsknoten, um ein IP-Telefon zu erreichen. Damit merkt der Anrufer im traditionellen Netz nicht, dass er einen Internetteilnehmer erreicht hat. Durch Änderung des DNS-Eintrags kann der Anruf sowohl auf einen leitungsvermittelten als auch auf einen IP Anschluss gelegt werden.

Für Ansagen, Anrufbeantworter und *voice mail* müssen Mediendaten gespeichert und wieder abgespielt werden. Dazu können z.B. Ergänzungen des Megaco Protokolls [43] oder das Real Time Streaming Protocol (RTSP) [44, 45] verwandt werden.

2 Architekturelle Unterschiede zwischen klassischer und Internettelefonie

Endgeräte in der klassischen Telefonie werden durch sogenannte E.164 [41] Nummern identifiziert, also Telefonnummern inklusive der Landesvorwahl. Leider hat dieses Verfahren eine ganze Reihe von Nachteilen. Im Augenblick ändern sich Nummern in aller Regel, wenn der "Eigentümer" den Wohnort wechselt. Dies kann durch *local number portability* zum Teil behoben werden, dann verwandeln sich Telefonnummern aber schnell in schwer merkbare Zufallszahlen mit zehn bis zwölf Ziffern.

Telefonnummern sind knapp. Daher hat z.B. jede Familie meist nur eine oder zwei Nummern, statt, wie bei Emailadressen üblich, mindestens eine Adresse pro Familienmitglied. Obwohl IPv4-Adressen knapp sind, besteht kein Mangel an Email-ähnlichen Adressen, wie sie etwa für SIP und H.323 verwandt werden, so dass jede Person, wenn gewünscht, zum Beispiel verschiedene Adressen je nach augenblicklicher Rolle, wie z.B. privat, ehrenamtliche Tätigkeit oder Beruf, benutzen kann, ohne dass dies zentral koordiniert werden muss. (Dies hat natürlich zur Folge, dass klassische Telefonbücher nur noch wenig nützlich sind. Allerdings sind z.B. in Kalifornien auch nur noch die Hälfte der Telefonnummern im Telefonbuch aufgeführt.)

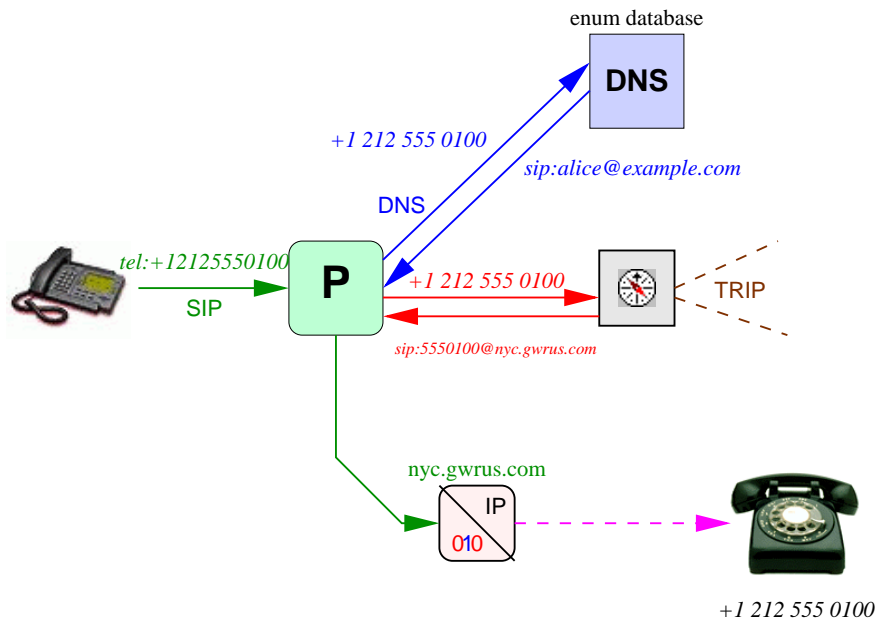


Abbildung 4: Übersetzung von Telefonnummern in SIP URLs

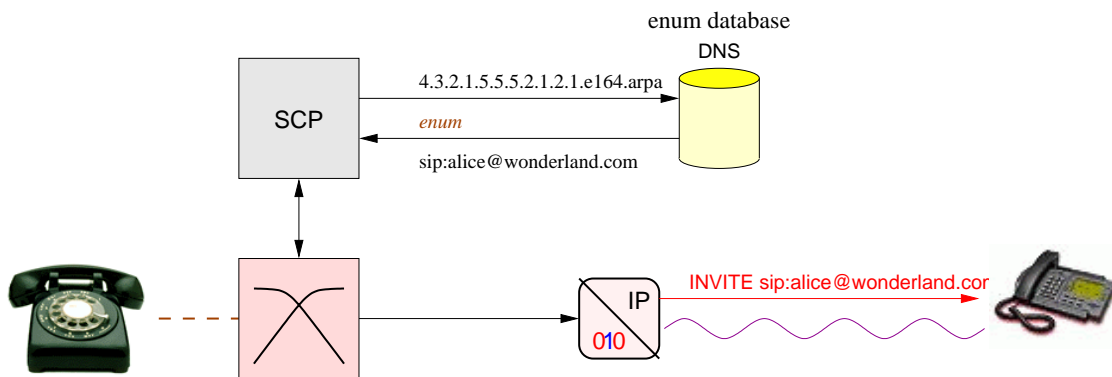


Abbildung 5: Verbindungsaufbau Telefon zu Internettelefon

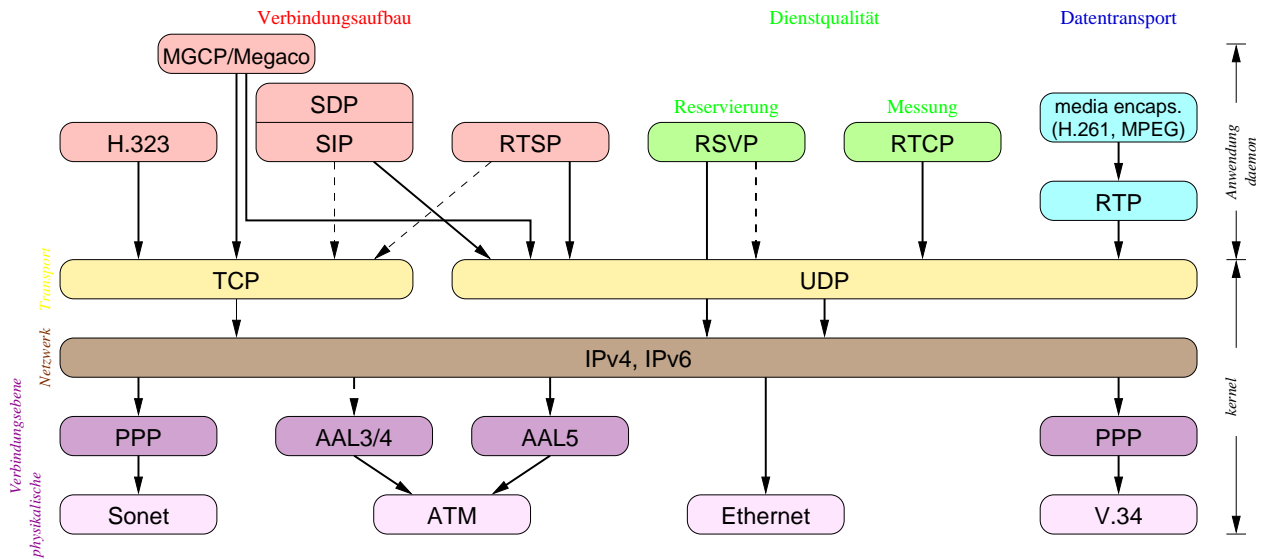


Abbildung 6: Protokolle für die Internettelefonie

In der klassischen Telefonie ist die Erbringung von Diensten und die Übertragung von Sprache an den gleichen Anbieter gebunden. Dies ist generell im Internet anders. So kommt es häufig vor, dass Kunden eines Internet Service Providers ihre Email über eine andere Adresse, wie etwa hotmail oder yahoo, empfangen. Dies erlaubt es den Internetanbietern zu wechseln, ohne die Emailadresse zu ändern. Mit Telefonnummern ist dies nur beschränkt möglich. Auch wenn ein Teilnehmer die Telefonnummer mitnehmen kann, müssen alle Dienste, wie Rufumleitung, Makeln oder Sprachspeichersysteme von Telefonunternehmen erbracht werden. In der Internettelefonie dagegen besteht, zumindest solange Protokolle zwischen gleichrangigen Knoten verwendet werden, die Möglichkeit, Internettelefoniedienste von verschiedenen Anbietern erbringen zu lassen, teilweise sogar von mehreren Anbietern gleichzeitig. Zum Beispiel kann das Auslesen von Anrufen und deren Weiterleitung in mehreren Stufen geschehen, wo jede Stufe von einem anderen Anbieter erbracht wird.

Mit der Ausnahme von ISDN-Geräten sind Telefone in aller Regel "dumm" und reine Ein- und Ausgabegeräte. Selbst Telefone mit Mikroprozessor haben keinen Anrufzustand, wissen also nicht, warum sie Töne empfangen oder was eine bestimmte Nummerntaste gerade bedeutet. Internettelefone, zumindest Geräte, die H.323 oder SIP benutzen,

sind dagegen in der Lage, selbständig Dienste zu erbringen, und werden deshalb oft als intelligente Endsysteme bezeichnet. (In der Telefonie reicht für die Intelligenz schon ein einfacher 16-bit Prozessor.) So können Dienste wie Rufumleitung, Konferenzen, Rufkennung und Rufauswahl von Endsystemen erbracht werden. Computer-Telephone-Integration (CTI) könnte, zusammen mit Rufkennung, diese Dienste erbringen, hat aber wegen ihrer Komplexität bisher außerhalb von Callcentern wenig Verbreitung gefunden.

Internettelefonie unterscheidet sich auch in den Fragen der Sicherheit von der traditionellen Telefonie. Das Signalisierungsnetz der Telefonie erhält seine relative Sicherheit durch physische Zugangskontrollen, nicht durch kryptografische Mittel. Das Internet ist offener, so dass es z.B. jedem möglich ist, Internetsignalisierungsbefehle abzuschneiden. Dafür können diese aber authentifiziert und verschlüsselt werden, wogegen der einzige Schutz vor Anrufen in leitungsvermittelten Netzen eine Auslasung der Telefonnummer im Telefonbuch ist. Die Abhörsicherheit in beiden Netzen ist wahrscheinlich ähnlich, da das "Anzapfen" von Internetleitungen eher schwieriger ist als das Abhören von analogen oder digitalen Telefonleitungen.

Klassische Telefongesellschaften vertrauen sich zum Großteil gegenseitig. So glaubt etwa jeder Betreiber auch Konkurrenten, die korrekte Telefonnummer

mer des Anrufers zu übermitteln. Kunden sind Teil dieser transitiven Vertrauensketten. In der Internettelefonie ist dieses Vertrauen nicht unbedingt gegeben, da der angerufene Teilnehmer in aller Regel den vom Anrufer benutzten Betreiber nicht kennt, selbst wenn dieser Betreiber die übermittelte Rufnummer elektronisch unterzeichnet.

3 Instant Messaging

Neben dem Aufbau von Verbindungen kann Signalisierung auch zum Übermitteln von Ereignissen und Nachrichten verwandt werden. Ereignisse schließen Dinge wie Anwesenheit und Kommunikationsverfügbarkeit (“Anna ist jetzt per Internettelefonie erreichbar.”), Veränderungen der Umgebung (“Jemand ist in den Raum getreten.” oder “Der Reaktor hat Übertemperatur erreicht.”), Netzwerk- und Computerereignisse (“Der Papiervorrat im Drucker ist leer.”) und wirtschaftliche Ereignisse (“Die XYZ Aktie ist auf 30 Euro gefallen.”) ein.

Die Protokollanforderungen für Verbindungsaufbau und Ereignisvermittlung sind recht ähnlich, in dem die Nachrichten eine vorher oft nicht genau bekannte Adresse erreichen sollen. (Die Adresse ist also etwa als `anna@beispiel.de` gegeben, aber die Netzwerknummer ist vorher nicht bekannt, da Anna sich in verschiedenen Internetsystemen aufhalten kann.) Auch sollen für diese Nachrichten die Verzögerungen geringer sein, als sie oft durch Email erreichbar sind, wo ja der Empfänger periodisch beim SMTP-Server über POP oder IMAP nach neuen Nachrichten fragen muss. Daher ist vorgeschlagen worden, [46, 25, 47], diese Ereignisse über SIP zu verteilen. Dieser Ansatz folgt dem klassischen “subscribe-notify” (Anfrage – Nachricht) Modell, wo Interessenten an Ereignissen sich an die Ereigniserzeuger wenden, die dann, entsprechende Zugriffsrechte vorausgesetzt, diesen Interessenten nach Bedarf Benachrichtigungen schicken.

Als Beispiel ist vorgeschlagen worden, elektrische Geräte wie Waschmaschinen oder Lampen über SIP zu steuern [48] und Einbruchmeldereignisse weiterzuleiten.

4 Programmierung von Telefoniediensten

Telefoniedienste haben sich seit Anfang der achtziger Jahre nicht wesentlich geändert, sind allerdings mit der Einführung von ISDN und digitalen Vermittlungsanlagen auch für Privatanschlüsse zugänglich geworden. Diese Dienste wie Anrufweiterleitung und Makeln sind fest programmiert, erlauben zum Beispiel nicht, die Anrufweiterleitung von der Identität des Anrufers, der Dringlichkeit des Anrufs oder der Tageszeit abhängig zu machen.

Vor einigen Jahren wurde der Versuch gemacht, traditionelle analoge und digitale Telefone, meist in Nebenstellenanlagen, über einen PC zu programmieren. Diese sogenannte Computer-Telephony Integration (CTI) hat aber außerhalb einiger Nischen mit großen Anrufaufkommen nie viel Anwendung gefunden.

Die Erstellung neuer Dienste dauert im Augenblick sehr lange, kann nur von wenigen Programmierern mit spezialisiertem Wissen durchgeführt werden, und die Dienste sind oft an einen Hersteller gebunden.

Die Internettelefonie bietet die Chance, die Erstellung von Diensten zu öffnen, so dass diese auch von Endbenutzern oder Programmierern in Firmen, die nichts mit dem Hersteller von Hardware oder Software zu tun haben, implementiert werden können. Dies ist schließlich bei E-maildiensten, also dem Schreiben von Emailfiltern oder sendmail-Konfigurationen, und bei Webdiensten, über cgi und andere APIs, durchaus üblich. In den letzten Jahren sind eine Reihe von Verfahren entwickelt worden, die entweder dem Webmodell oder der klassischen Telefonie nachempfunden sind. Im letzteren Bereich gibt es APIs wie JTAPI, eine Java-Version, die aus dem *Telephony Application Programming Interface* hervorgegangen ist, JAIN [49], aus dem Bereich der Intelligenzen Netze, und Parlay [50]. Leider sind alle diese APIs sehr umfangreich, da sie alle Möglichkeiten, von ISDN zu SS7 und Protokollen wie H.323 and SIP, abdecken, und oft auch Sicherheit und Ressourcenverwaltung abstrahieren. Auch besteht die Gefahr, dass APIs nur die Schnittmenge der Fähigkeiten der verschiedenen Telefonieverfahren anbieten, so dass die Möglichkeiten moderner

Protokolle nicht genutzt werden.

Einen anderen Ansatz verfolgen Java-SIP-servlets [51], die Webservlets ähneln. Hier werden Java-methoden beim Eintreffen von SIP-Befehlen ausgeführt, die wiederum steuern, wie der Befehl ausgeführt sind, also ob er angenommen, weitergeleitet oder umgeleitet wird.

Ähnliche Dienste wie servlets können auch von sip-cgi (common gateway interface) erbracht werden [52, 53]. Hier ruft der Server für jeden einlaufenden Befehl ein vom Benutzer bestimmtes Skript oder Programm auf. Das Programm oder Skript kann dann über Umgebungsvariablen auf die Information im SIP-Befehl zugreifen. Über `stdout` schreibt das Skript dann entweder Antworten oder Meta-Befehle, die bestimmen, wie der ursprüngliche Befehl weitergeleitet wird. Das Skript ist, wie bei Webskripten, dafür zuständig, sich Zustände zu merken, kann allerdings einfache Zeichenketten beim Server hinterlegen. SIP-cgi ist sprachunabhängig, aber es ist wahrscheinlich, dass Programmierer Skripte oft in Perl, Tcl oder Visual Basic schreiben werden.

Die Call Processing Language (CPL) [54, 55, 56] ist eine einfache Sprache, die in Proxyservern SIP INVITE oder H.323 Anrufe behandelt. Die Sprache ist baumartig strukturiert, mit einer XML-basierten Syntax. Wie HTML auch, ist die Syntax und Sprache weniger dazu gedacht, von Programmierern direkt geschrieben zu werden, sondern wird wahrscheinlich eher von Werkzeugen mit graphischer Benutzeroberfläche erzeugt.

Tabelle 2 fasst die Unterschiede zwischen diesen Programmiermethoden zusammen.

5 Herausforderungen der Zukunft

Neben der konstanten Dienstqualität, die schon oben angesprochen wurde, sind eine Reihe von operationellen Fragen zu lösen. So gibt es im Augenblick keine Tarifierung und Abrechnung, welche die Dienstqualität einbezieht und es erlaubt, dass sowohl Anrufer als auch Angerufener die Kosten tragen.

Die Zuverlässigkeit des Internets und auch lokaler Netze liegt noch weit unter der typischen Zuverlässigkeit moderner Telefonnetze, mit etwa fünf Minuten Ausfallzeit pro Jahr oder einer Zuverlässigkeitswahrscheinlichkeit von 99.999%. Dies

hat zum Teil mit dem viel rascheren Wandel, der Dienstvielfalt und der größeren Komplexität von IP-basierten Netzen zu tun, zum Teil aber auch mit dem Fehlen von guten Diagnose und allgemein verfügbaren Netzwerkmanagementanwendungen. Insbesondere PC-Endgeräte haben ihre eigenen Zuverlässigkeitsprobleme.

Im Augenblick fehlen der Internettelefonie zwei Merkmale der klassischen Telefonie, nämlich eine vom Stromnetz unabhängige Energieversorgung in Endnetzen und eine allgemeine Notrufnummer [57]. Letztere kann am Anfang durch Übergabe von Notrufen in das leitungsvermittelte Netz gelöst werden, aber es besteht die Gefahr, dass z.B. der Übergabepunkt fälschlich als Anrufort identifiziert wird. Die Feuerwehr zum Büro des Internetanbieters zu schicken nützt wenig.

Schon heute wird ein großer Teil der Telefongespräche über mobile Netze abgewickelt. Zukünftige Mobilnetze werden IP bis an das Endsystem heranzubringen, müssen aber die besonderen Bedingungen wie sehr begrenzte Bandbreite, Bandbreitenschwankungen und Paketverluste in Betracht ziehen [58].

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die technischen Grundlagen der Internettelefonie sind geschaffen worden; es existieren Protokolle, die die meisten existierenden Telefondienste abbilden können. Auch ist inzwischen die erste Generation von Geräten und Software zum Bau von Internettelefonienetzen verfügbar, etwa Telefone und Übersetzer zwischen leitungs- und paketvermittelnden Netzen. Leider sind diese oft aber nur schwer in großen Zahlen installierbar und verwaltbar. Hier muss es möglich sein, dass Kunden die Geräte im Kaufhaus erwerben können, es garantiert ist, dass das Internettelefon unabhängig vom Anbieter funktioniert und ohne dass erst ein Techniker zur Installation geschickt werden muss.

Internettelefonie stellt besondere Anforderungen an die Konstanz der Dienstqualität in IP-Netzen. Diese Dienstqualität ist weniger eine Frage der mangelnden technischen Möglichkeiten - obwohl hier sicher noch einfacher verwaltbare und skalierbare Ansätze erwünscht wären - als der Schwierigkeit, Vereinbarungen zwischen Netzanbietern zu schaffen,

	APIs	servlets	sip-cgi	CPL
Sprachunabhängig	nein	nur Java	ja	ist Sprache
Protokolle	IT, SS7	SIP	SIP	SIP, H.323
Sicher	nein	meistens	meist nein	ja
Dienste beim Endbenutzer?	nein	ja	Systemverw.	ja
Graphische Benutzeroberfläche	nein	nein	nein	ja
Erzeugen von Anrufen	ja	nein	nein	nein
Multimedia	selten	ja	ja	ja

Tabelle 2: Vergleich verschiedener Programmierungsansätze für Internettelefonie

die es ermöglichen, entweder pro Verbindung oder “en gros” für verbesserte Dienstqualität zu bezahlen. Ähnliche Schwierigkeiten gibt es auch für die Identifizierung von Teilnehmern außerhalb von geschlossenen lokalen Netzen.

Es fehlen im Augenblick noch Verfahren und Software, die es im Web ermöglicht haben, dass Zehntausende von Programmierern neue Dienste und Informationsangebote erstellen konnten. Gerade auf diesem Gebiet ergeben sich noch reiche Forschungs- und Entwicklungsmöglichkeiten.

Literatur

- [1] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson, “RTP: a transport protocol for real-time applications,” Request for Comments 1889, Internet Engineering Task Force, Jan. 1996.
- [2] International Telecommunication Union, “Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s,” Recommendation G.723.1, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, Mar. 1996.
- [3] R. Ramjee, J. Kurose, D. Towsley, and H. Schulzrinne, “Adaptive playout mechanisms for packetized audio applications in wide-area networks,” in *Proceedings of the Conference on Computer Communications (IEEE Infocom)*, (Toronto, Canada), pp. 680–688, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, June 1994.
- [4] I. Kouvelas and V. Hardman, “Overcoming workstation scheduling problems in a real-time audio tool,” in *Proc. of Usenix Winter Conference*, (Anaheim, California), Jan. 1997.
- [5] S. B. Moon, J. Kurose, and D. Towsley, “Packet audio playout delay adjustment: performance bounds and algorithms,” *ACM/Springer Multimedia Systems*, Vol. 5, pp. 17–28, Jan. 1998.
- [6] J. Rosenberg, L. Qiu, and H. Schulzrinne, “Integrating packet FEC into adaptive voice playout buffer algorithms on the internet,” in *Proceedings of the Conference on Computer Communications (IEEE Infocom)*, (Tel Aviv, Israel), Mar. 2000.
- [7] International Telecommunication Union, “Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction,” Recommendation G.729, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, Mar. 1996.
- [8] C. Perkins, I. Kouvelas, O. Hodson, V. Hardman, M. Handley, J. C. Bolot, A. Vega-Garcia, and S. Fosse-Parisis, “RTP payload for redundant audio data,” Request for Comments 2198, Internet Engineering Task Force, Sept. 1997.
- [9] C. Perkins and O. Hodson, “Options for repair of streaming media,” Request for Comments 2354, Internet Engineering Task Force, June 1998.
- [10] J. Rosenberg and H. Schulzrinne, “An RTP payload format for generic forward error correcti-

- on,” Request for Comments 2733, Internet Engineering Task Force, Dec. 1999.
- [11] J.-C. Bolot, S. Fosse-Parisis, and D. Towsley, “Adaptive FEC-Based error control for interactive audio in the internet,” in *Proceedings of the Conference on Computer Communications (IEEE Infocom)*, (New York), Mar. 1999.
- [12] P. L. Tien and M. C. Yuang, “Intelligent voice smoother for silence-suppressed voice over internet,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 17, pp. 29–41, Jan. 1999.
- [13] H. Sanneck and N. T. L. Le, “Speech property-based FEC for Internet Telephony applications,” in *Proceedings of the SPIE/ACM SIGMM Multimedia Computing and Networking Conference (MMCN)*, (San Jose, California), pp. 38–51, Jan. 2000.
- [14] N. Matsuo, M. Yuito, and Y. Tokunaga, “Packet interleaving for reducing speech quality degradation in packet voice communications,” in *Proceedings of the IEEE Conference on Global Communications (GLOBECOM)*, (Tokyo, Japan), pp. 1787–1791, IEEE, Nov. 1987.
- [15] H. Sanneck, N. T. L. Le, and G. Carle, “Effiziente dienstqualitätsunterstützung für IP: telefonie durch selektive paketmarkierung,” in *Proceedings of the 1st IP-Telephony Workshop (IP-tel 2000)*, (Berlin, Germany), Apr. 2000.
- [16] N. T. L. Le, “Development of a loss-resilient internet speech transmission method,” Master’s thesis, GMD Fokus/TU Berlin, Berlin, Germany, May 1999.
- [17] W. Marshall, K. Ramakrishnan, *et al.*, “Integration of resource management and SIP,” Internet Draft, Internet Engineering Task Force, June 2000. Work in progress.
- [18] M. Arango, A. Dugan, I. Elliott, C. Huitema, and S. Pickett, “Media gateway control protocol (MGCP) version 1.0,” Request for Comments 2705, Internet Engineering Task Force, Oct. 1999.
- [19] F. Cuervo, N. Greene, C. Huitema, A. Rayhan, B. Rosen, and J. Segers, “Megaco protocol 0.8,” Request for Comments 2885, Internet Engineering Task Force, Aug. 2000.
- [20] M. Handley, H. Schulzrinne, E. Schooler, and J. Rosenberg, “SIP: session initiation protocol,” Request for Comments 2543, Internet Engineering Task Force, Mar. 1999.
- [21] H. Schulzrinne and J. Rosenberg, “Internet telephony: Architecture and protocols – an IETF perspective,” *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 31, pp. 237–255, Feb. 1999.
- [22] International Telecommunication Union, “Visual telephone systems and equipment for local area networks which provide a non-guaranteed quality of service,” Recommendation H.323, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, May 1996.
- [23] A. Gulbrandsen, P. Vixie, and L. Esibov, “A DNS RR for specifying the location of services (DNS SRV),” Request for Comments 2782, Internet Engineering Task Force, Feb. 2000.
- [24] S. Donovan and M. Cannon, “The SIP INFO method,” Internet Draft, Internet Engineering Task Force, June 1999. Work in progress.
- [25] J. Rosenberg *et al.*, “SIP extensions for presence,” Internet Draft, Internet Engineering Task Force, June 2000. Work in progress.
- [26] J. Rosenberg and H. Schulzrinne, “Reliability of provisional responses in SIP,” Internet Draft, Internet Engineering Task Force, May 1999. Work in progress.
- [27] M. Handley and V. Jacobson, “SDP: session description protocol,” Request for Comments 2327, Internet Engineering Task Force, Apr. 1998.
- [28] R. Stewart, Q. Xie, K. Morneault, C. Sharp, H. Schwarzbauer, T. Taylor, I. Rytina, M. Kalla, L. Zhang, and V. Paxson, “Stream control transmission protocol,” Internet Draft, Internet Engineering Task Force, July 2000. Work in progress.

- [29] J. Toga and J. Ott, "ITU-T standardization activities for interactive multimedia communications on packet-based networks: H.323 and related recommendations," *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 31, pp. 205–223, Feb. 1999.
- [30] International Telecommunication Union, "Digital subscriber signalling system no. 1 (dss 1) - isdn user-network interface layer 3 specification for basic call control," Recommendation Q.931, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, Mar. 1993.
- [31] International Telecommunication Union, "Abstract syntax notation one (ASN.1): Specification of basic notation," Recommendation X.680, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, Dec. 1997.
- [32] International Telecommunication Union, "Call diversion supplementary service for H.323," Recommendation H.450.3, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, Sept. 1997.
- [33] International Telecommunication Union, "Call waiting supplementary service for H.323," Recommendation H.450.6, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, May 1999.
- [34] International Telecommunication Union, "H.323 extended for loosely coupled conferences," Recommendation H.332, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, Sept. 1998.
- [35] H. Schulzrinne and J. Rosenberg, "A comparison of SIP and H.323 for internet telephony," in *Proc. International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV)*, (Cambridge, England), pp. 83–86, July 1998.
- [36] I. Dalgic and H. Fang, "Comparison of H.323 and SIP for IP telephony signaling," in *Proc. of Photonics East*, (Boston, Massachusetts), SPIE, Sept. 1999.
- [37] T. Eyers and H. Schulzrinne, "Predicting internet telephony call setup delay," in *Proceedings of the 1st IP-Telephony Workshop (IPTel 2000)*, (Berlin, Germany), Apr. 2000.
- [38] W. Marshall, K. Ramakrishnan, *et al.*, "Architectural considerations for providing carrier class telephony services utilizing sip-based distributed call control mechanisms," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, July 2000. Work in progress.
- [39] G. Patel and S. Dennett, "The 3GPP and 3GPP2 movements toward an all-IP mobile network," *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol. 7, Aug. 2000.
- [40] K. Singh and H. Schulzrinne, "Interworking between SIP/SDP and H.323," in *Proceedings of the 1st IP-Telephony Workshop (IPTel 2000)*, (Berlin, Germany), Apr. 2000.
- [41] International Telecommunication Union, "The international public telecommunication numbering plan," Recommendation E.164, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, May 1997.
- [42] J. Rosenberg, H. Salama, and M. Squire, "Telephony routing over IP (TRIP)," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, July 2000. Work in progress.
- [43] S. Rengasami, "H.248 annex k (pre-decision white document)," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, July 2000. Work in progress.
- [44] H. Schulzrinne, A. Rao, and R. Lanphier, "Real time streaming protocol (RTSP)," Request for Comments 2326, Internet Engineering Task Force, Apr. 1998.
- [45] K. Singh and H. Schulzrinne, "Unified messaging using SIP and RTSP," in *IP Telecom Services Workshop*, (Atlanta, Georgia), p. 7, Sept. 2000.
- [46] J. Rosenberg and H. Schulzrinne, "SIP for presence," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, Nov. 1998. Work in progress.

- [47] J. Rosenberg *et al.*, "SIP extensions for instant messaging," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, June 2000. Work in progress.
- [48] S. Moyer, D. Marples, S. Tsang, J. Katz, P. Gung, T. Cheng, A. Dutta, and H. Schulzrinne, "Framework draft for networked appliances using the session initiation protocol," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, July 2000. Work in progress.
- [49] Sun Microsystems, "JAIN APIs for integrated networks." Available at <http://java.sun.com/products/jain/>.
- [50] The Parlay Group, "Parlay API business benefits white paper," Jan. 2000. Available at http://www.parlay.org/20event/White_paper_v2.01.doc.
- [51] A. Kristensen and A. Byttner, "The SIP servlet API," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, Sept. 1999. Work in progress.
- [52] J. Lennox and H. Schulzrinne, "Call processing language framework and requirements," Request for Comments 2824, Internet Engineering Task Force, May 2000.
- [53] J. Lennox, J. Rosenberg, and H. Schulzrinne, "Common gateway interface for SIP," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, June 2000. Work in progress.
- [54] J. Lennox and H. Schulzrinne, "CPL: a language for user control of internet telephony services," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, July 2000. Work in progress.
- [55] J. Rosenberg, J. Lennox, and H. Schulzrinne, "Programming internet telephony services," Technical Report CU-CS-010-99, Columbia University, New York, New York, Mar. 1999.
- [56] J. Lennox and H. Schulzrinne, "Feature interaction in internet telephony," in *Proc. of Feature Interaction in Telecommunications and Software Systems VI*, (Glasgow, United Kingdom), May 2000.
- [57] H. Schulzrinne, "Providing emergency call services for sip-based internet telephony," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, July 2000. Work in progress.
- [58] M. Degermark, H. Hannu, L.-E. Jonsson, and K. Svanbro, "Evaluation of CRTP performance over cellular radio links," *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol. 7, Aug. 2000.