Höhere Technische Bundeslehranstalt Wien 3, Rennweg
IT & Mechatronik

HTL Rennweg :: Rennweg 89b
A-1030 Wien :: Tel +43 1 24215-10 :: Fax DW 18

Diplomarbeit

sblit

ausgeführt an der
Höheren Abteilung für Informationstechnologie/Netzwerktechnik
der Höheren Technischen Lehranstalt Wien 3 Rennweg

im Schuljahr 2014/2015

durch

Martin Exner
Andreas Novak
Nikola Szucsich

unter der Anleitung von

August Hörandl

Wien, 13. April 2015

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit zielt darauf ab, einen Dienst zur Synchronisation von Dateien über das Internet in der Form freier Software zu schaffen. Zentrale Stellen wie Server sollen dabei im Sinne der Sicherheit vor Eingriffen durch Unbefugte vermieden werden. Statt der Zwischenspeicherung von Daten auf Cloudspeicher eines herkömmlichen Anbieters werden Daten in verschlüsselten Blöcken auf den Geräten anderer Nutzer zwischengespeichert.

An die Stelle einer klassischen Client-Server-Infrastruktur tritt ein dezentrales Peer-to-Peer-Netzwerk. Dadurch und durch die Verteilung von Daten auf Geräte anderer Teilnehmer auftretende Problemstellungen sollen im Rahmen dieser Diplomarbeit gelöst werden. Dazu zählen dezentrale Adressierung, dezentrales Routing, Fairness von gegenseitiger Speicherfreigabe, Sicherheit und Effizienz von sowohl Kommunikation als auch Synchronisation sowie Behandlung von Synchronisationskonflikten.

Abstract

This diploma project aims at creating free software for file synchronization over the internet. Central elements like servers should be avoided in order to prevent unauthorized individuals from accessing the system. Instead of storing files in data centers, which is the case with conventional cloud providers, data is split into small, encrypted blocks and then stored on other users' devices.

While other file synchronization services implement a classic client-server infrastructure, this project utilizes a decentralized peer-to-peer network for communication. Problems that emerge due to the distribution of data in small, encrypted blocks and due to the use of a decentralized peer-to-peer network should be solved in this thesis. Those problems include decentralized addressing, decentralized routing, fairness of mutual memory allocation, security as well as efficiency of both communication and synchronization and solving synchronization conflicts.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere,

- dass ich meinen Anteil an dieser Diplomarbeit selbstständig verfasst habe,
- dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe
- und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bzw. Hilfsmittel bedient habe.

Wien, am 13. April 2015

Martin Exner

Andreas Novak

Nikola Szucsich

Präambel

Die Inhalte dieser Diplomarbeit entsprechen den Qualitätsnormen für „Ingenieurprojekte“ gemäß § 29 der Verordnung des Bundesministers für Unterricht und kulturelle Angelegenheiten über die Reife- und Diplomprüfung in den berufsbildenden höheren Schulen, BGBl. Nr. 847/1992, in der Fassung der Verordnungen BGBl. Nr. 269/1993, Nr. 467/1996 und BGBl. II Nr. 123/97.

Liste der betreuenden Lehrer:
Prof. DI August Hörandl, *Hauptbetreuer*
Prof. DI Franz Breunig, *Betreuer*
Prof. DI Herbert Sasshofer, *Betreuer*

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

1. Überblick

1.1. Ausgangssituation

1.1.1. Einleitung

In der heutigen Zeit nimmt die Technik einen großen Einfluss auf unser Leben. Jeder durchschnittliche Haushalt besitzt mindestens einen Computer mit Internetanschluss und die meisten Leute haben heutzutage auch ein Smartphone. Selten allerdings bleibt es bei diesen beiden Gerätschaften und so kommt zum Beispiel ein Notebook für die Schule oder für den Arbeitsplatz zum Einsatz. Oftmals müssen dabei die selben Dateien auf verschiedenen Geräten bearbeitet werden und das möglichst ohne Versionskonflikte. Daten müssen von jedem Gerät und zu jederzeit erreichbar sein, weshalb Cloud- und Dateisynchronisationsdienste einen immer größer werdenden Stellenwert bekommen. Das Verwalten beziehungsweise die Verarbeitung von Daten in einer zentralen Stelle, meistens einem Server und die dahinter liegende Datenbank des jeweiligen Anbieters, soll dabei mit hoher Uptime den dauerhaften Zugriff auf die eigenen Dateien sicherstellen.

1.1.2. Funktionsweise üblicher Dateisynchronisationsdienste

1.1.2.1. Allgemein

Die Erleuterung der Funktionsweise üblicher Dateisynchronsationsdienste soll beim Verstehen der grundsätzlichen Idee von sblit helfen, da diese auf den sicherheitsbezogenen Problemen, die mit der Speicherung von Daten auf einer zentralen Stelle einhergehen basieren.

Übliche Dateisynchronisationsdienste bauen auf einer Client-Server-Struktur auf. Hierbei werden Dateien über die zentrale Schnittstelle des betreibenden Unternehmens, den Servern übertragen, zwischengespeichert, verwaltet und schließlich synchronisiert.

Einen Server als Dreh- und Angelpunkt eines Dienstes einzusetzen scheint die am einfachsten umzusetzende und kosteneffizienteste Methode zu sein, birgt aber definitiv Sicherheitsrisiken für den Benutzer mit sich, aber vorerst noch ein spezifisches Beispiel zum üblichen Funktionsablauf eines Synchronisationsvorgangs von Dateien.

1.1.2.2. Szenario

In der Schule wird ein Übungsprotokoll geschrieben. Sofern die Übung nicht fertig gestellt werden kann, muss man dies zu Hause nachholen.

Bei dem Erstellen und Bearbeiten des Übungsprotokolls auf dem Schulrechner in Form einer Text-Datei wird eine Kopie Datei auf den vom Betreiber zur Verfügung gestellten Cloudspeicher beziehungsweise dessen Server hochgeladen und dort gespeichert. Der Sender behält dabei die Originaldatei.

Wenn der Heim-PC in diesem Beispiel hochgefahren ist, wird er über die Änderung im

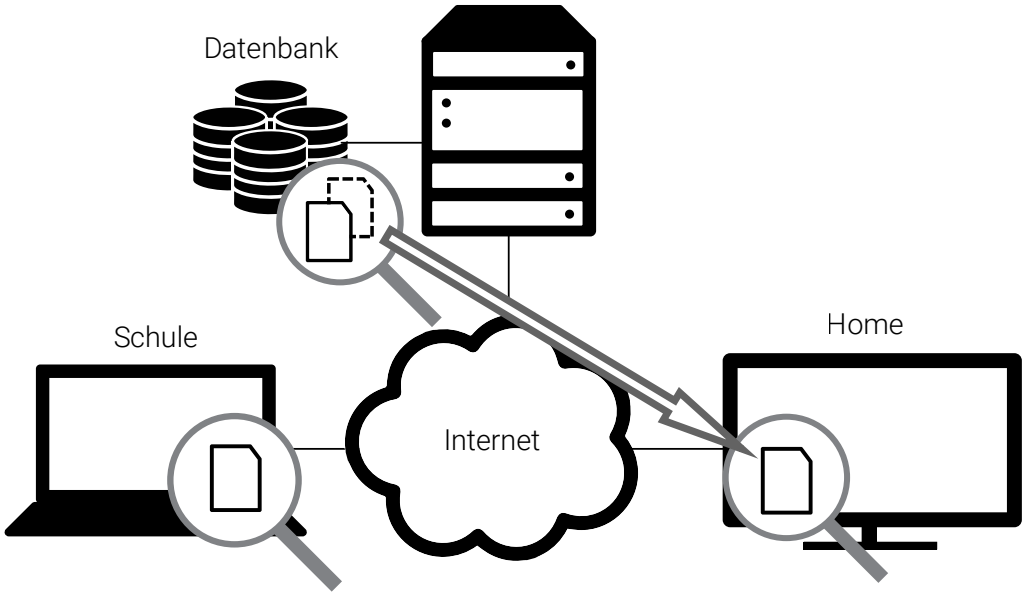


Abbildung 1.1.: Üblich gehandhabtes Uploaden einer Datei

.

Das Übungsprotokoll hat nach dem Synchronistationsvorgang natürlich auf dem Heim-PC den gleichen Inhalt wie die Datei auf dem Schulrechner, da es sich um die selbe Version handelt. Wenn man das Übungsprotokoll nun dem Heim-PC bearbeiten würde, würde die neue Version genauso wie vorhin zuerst auf den Server geladen werden und vom Server aus auf die einzelnen Clients, hier nur auf den Schulrechner synchronisiert werden und die neue Version des Übungsprotokoll überschreibt die alte.

1.2. Problematik

Ereignisse wie „ The Fappening “ oder diverse Hackerangriffe auf große Firmen, bei denen Unmengen an Kundendaten gestohlen werden, zeigen wie leicht Mengen an privaten Daten in falsche Hände fallen können, wenn diese zentral an einem Ort gespeichert werden.

Geheimdienste oder staatliche Sicherheitsbehörden haben außerdem ein leichtes Spiel an Userdaten heranzukommen, wenn sie gesammelt auf den Servern eines Unternehmens gespeichert werden. Diese Unternehmen sind als Anbieter solcher Cloudspeicher unter Umständen zur Herausgabe der Nutzerdaten gesetzlich verpflichtet.

Und selbst wenn der duchschnittliche Benutzer nichts zu verbergen hat, ist der dreiste Eingriff in die Privatsphäre doch als äußerst problematisch einzustufen und leider gestaltet sich dieser zum Bedauern der betroffenen Benutzer, für Fremde oft viel zu einfach.

Hauptursache für diese Problematik ist die oft unverschlüsselte, zentrale Speicherung der Daten. Damit aber nicht auf den Komfort verzichtet werden muss, der von üblichen Dateisynchronisationsdiensten geboten wird, werden die zuvor angesprochenen Probleme bei sblit umgangen.

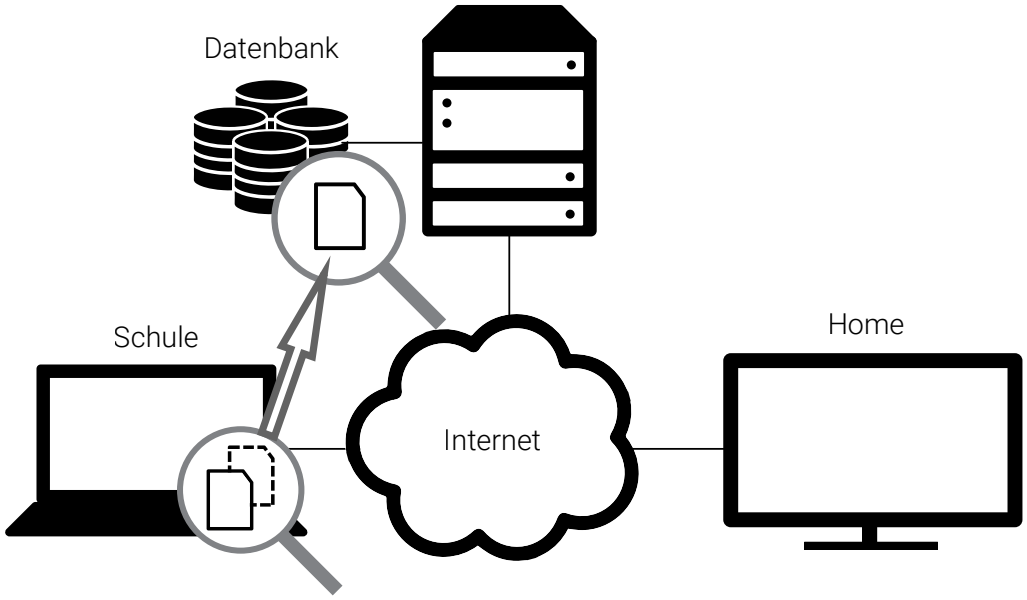


Abbildung 1.2.: Üblich gehandhabtes Downloaden einer Datei (wird noch geändert)

.

1.3. Lösung

1.3.1. Einleitung

Der signifikanteste Unterschied zwischen üblichen Dateisynchronisationsdiensten und sblit besteht im Verzicht eines Servers. Anders als im Kapitel 1.1.2. erklärt, findet die Datenübertragung bei sblit zwischen zwei Endgeräten nicht über einen Server statt, sondern über eine direkte verschlüsselte Verbindung zwischen diesen zwei Geräten.

Durch diesen Ansatz fällt die zentrale Sammelstelle von Nutzerdaten weg und dem Datendiebstahl von Hackern wird ein Riegel vorgeschoben. Außerdem wird kein betreibendes Unternehmen mehr benötigt, um Server zu warten, womit auch die einheitliche Anlaufstelle für staatliche Sicherheitsbehörden und Geheimdienste nicht mehr existiert.

1.3.2. Herausforderungen

1.3.2.1. Allgemein

Mit dem Weglassen eines Servers, entstehen aber auch viele Herausforderungen, wenn der volle Funktionsumfang eines üblichen Dateisynchronisationsdienstes trotzdem gewährleistet werden soll.

1.3.2.2. Verbindungsaufbau zwischen Clients

So fehlt der öffentliche Server als bekannter „ Mittelmann “ in der Kommunikation zwischen den Clients, sodass sich diese über das Internet hinwegüber mit einem eigenen Protokoll finden, um eine direkte Verbindung erfolgreich aufbauen zu können. Mehr zu den genauen Herausforderungen beim Verbindungsaufbau und die Bewältigung dieser folgt im Kapitel **??**.

1.3.2.3. Alternative zu Server als Filecloud

Der Server agiert aber nicht aber nicht nur als „ Mittelmann “ damit die Clients miteinander kommunizieren können. Er dient nämlich auch als Filecloud, also als Zwischenspeicher für Daten. Dieser ist nämlich essenziell, wenn man Dateien ohne große Komplikationen synchronisieren will. Um zu erklären warum das so ist, gehen wir von folgendem Szenario bei Verwendung eines Servers aus: Der Rechner in der Schule ist eingeschaltet, das Gerät zu Hause nicht. Wird nun eine bereits synchronisierte Datei auf dem Schulrechner bearbeitet, wird eine Kopie dieser wie üblich auf die Filecloud, also den Server hochgeladen. Wenn die Schule vorbei ist, wird der Schulrechner abgedreht und zu Hause kann sofort die neuste Version der geänderten Datei beim Einschalten des Heim-PCs übertragen werden, obwohl der Schulrechner ausgeschaltet ist, da die Datei in der Filecloud zwischengespeichert wurde und sie von dort aus gesendet wurde.

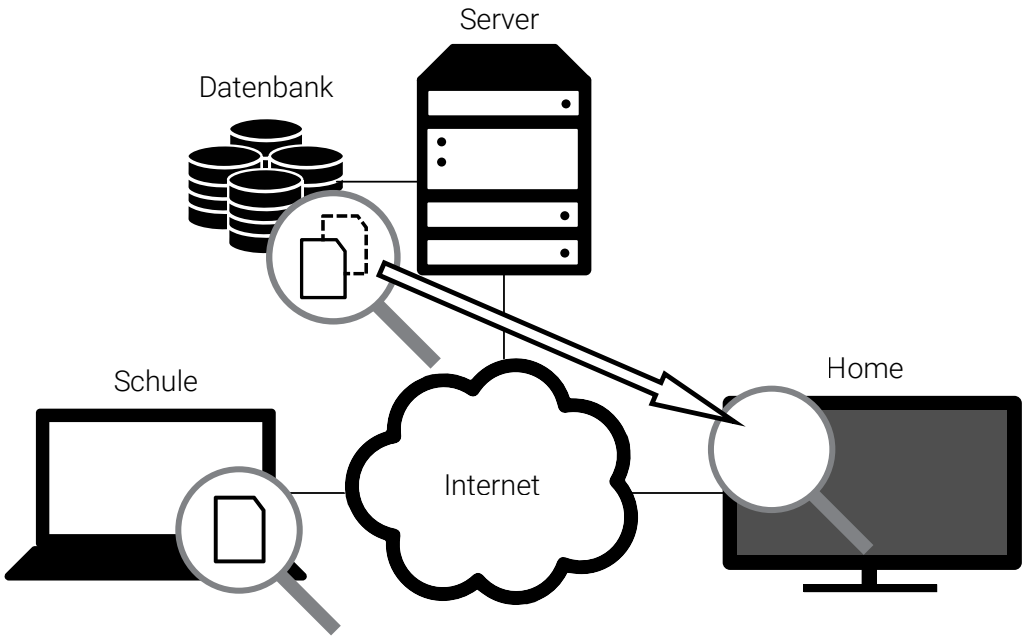


Abbildung 1.3.: Heimrechner ist nicht erreichbar. Die Datei kann nicht mit ihm synchronisert werden

.

Ohne den Server als Filecloud, wäre die alte Version der Datei bearbeitet worden, sodass zwei neue Versionen der Datei existieren würden. Dies nennt man einen Versionskonflikt. Mit dem Verzicht auf den Server, muss also eine alternative Filecloud benutzt werden, um Dateien zwischenspeichern zu können, sodass in vorherigen Szenario ohne Server keine Versionskonflikte auftreten.

Deshalb kommt bei sblit eine dezentrale Filecloud zum Einsatz. Anstelle eines zentralen Speicherns durch einen Server, wird auf den Speicherplatz der verschiedenen Nutzern von sblit zurückgegriffen. Diese dezentrale Filecloud besteht also aus den verteilten Speicherplätzen verschiedenster Nutzer.

Dieses Prinzip funktioniert durch ein Peer-to-Peer-Netzwerk, welches durch faire Abkommen zwischen den sblit-Nutzern realisiert wird, sogenannten Partnerschaften. Grundsätz-

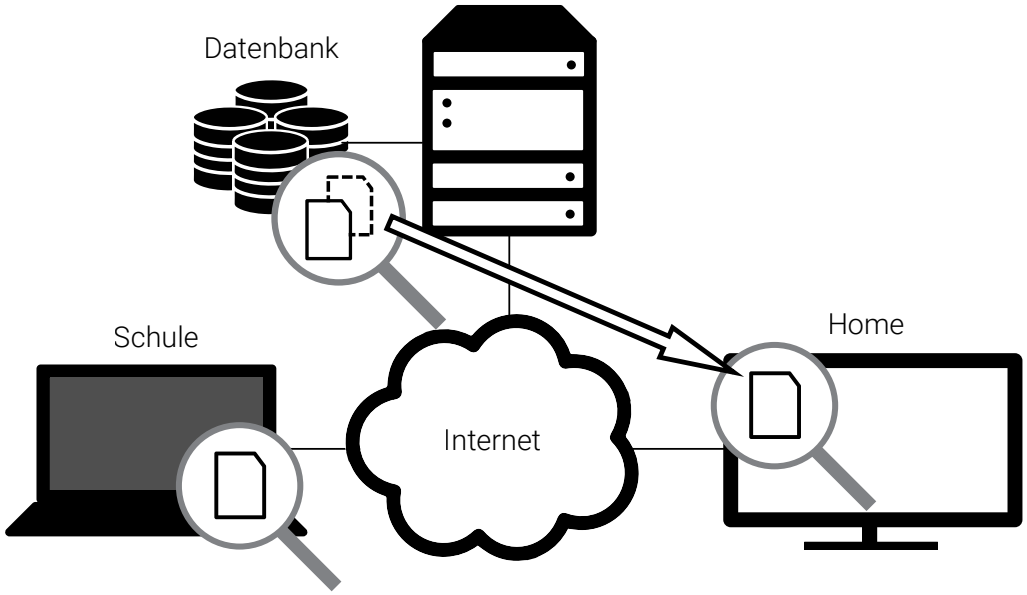


Abbildung 1.4.: Heimrechner ist wieder erreichbar, sodass die Datei nun vom Server bezogen werden kann

.

lich sind Partnerschaften einfach eine Vereinbarung mit anderen, teilweise sogar fremden Nutzern, sich gegenseitig Speicherplatz freizugeben. Eine Partnerschaft wird entweder automatisch mit unbekannten Nutzern geschlossen, oder durch den Nutzer selbst mit Bekannten. Genauer wird auf dieses Thema allerdings weiter hinten im Buch im Kapitel **??** eingegangen.

Die Dateien werden aber natülich nicht nach einer verschlüsselten Übertragung unverschlüsselt auf den teilweise fremden Partnergeräte gespeichert. Verschlüsseln ist dabei natürlich Pflicht, es wurde allerdings noch einen Schritt weiter gedacht. Generell hat bei sblit nämlich nur der Nutzer, dem der die Datei auf den Partnergeräten speichert und dessen Synchronisationspartner Zugriff auf die vollständigen Dateien.

Wenn also mindestens ein Synchronisationspartner nicht erreichbar ist und die Datei somit nicht direkt über eine verschlüsselte Verbindung übertragen werden kann, wird eine Kopie dieser Datei in viele Datenblöcke aufgeteilt. Diese Blöcke werden verschlüsselt und verstreut auf den Partnergeräte gespeichert.

Für die Nutzer hinter den Partnergeräte ist es somit unmöglich auf die ursprüngliche Datei zu schließen. Einerseits, ist der bei ihm gespeicherte Datenblock nämlich verschlüsselt und andererseits, besitzen, wie zuvor erwähnt, nur der Nutzer, dem der die Datei auf den Partnergeräten speichert und dessen Synchronisationspartner die Information, auf welchen Geräten die verschlüsselten Datenblöcke gespeichert sind.

Von einer ständigen Erreichbarkeit darf auch bei den Partnergeräte nicht ausgegangen werden. Problematisch wäre es, wenn die Datei nicht von der dezentralen Filecloud heruntergeladen werden kann, nur weil eines von vielen Partnergeräte nicht erreichbar ist. Um das zu vermeiden, wird jeder verschlüsselte Datenblock so in etwa zehn mal in der Filecloud gespeichert, sodass nur mindestens 10% der Partnergeräte erreichbar sein müssen um die komplette Datei anfordern zu können.

Um den Ablauf eines Synchronisationsvorgangs bei sblit vollständig aufzuzeigen, folgen nun häufig auftretende Szenarios.

1.3.3. Szenarios

1.3.3.1. Allgemein

Bei sblit wird der Inhalt eines Ordners synchronisert, der bei der Erstinstallation der Anwendung angegebenen wurde. Sobald sich Dateien innerhalb des Ordners ändern, wird die neue Version der Datei kopiert und die Kopie wird den erreichbaren Synchronisationspartnern über eine direkte verschlüsselte Verbindung gesendet.

1.3.3.2. Synchronisieren zwischen zwei erreichbaren Synchronisationspartner

Wenn auf dem Schulrechner eine bereits synchronisierte Datei verändert und gespeichert wird, dann wird diese Datei in mehrere Datenblöcke aufgeteilt, diese Blöcke werden verschlüsselt und direkt über eine verschlüsselte Verbindung an den Heimrechner gesendet, sofern der jeweilige Synchronisationspartner erreichbar/eingeschalten ist. Beim Synchronisationspartner angekommen, werden diese entschlüsselt und zu der vollständigen neuen Datei zusammengesetzt.

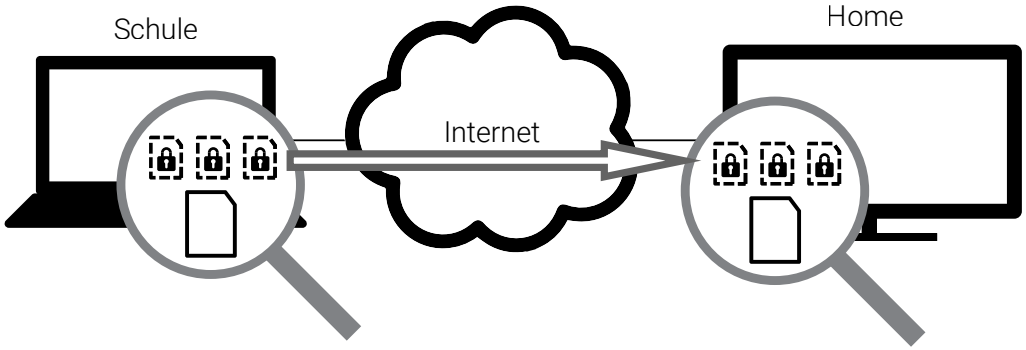


Abbildung 1.5.: Übertragung der Datei zwischen zwei erreichbaren Hosts

.

1.3.3.3. Synchronisieren zwischen zwei nicht erreichbaren Synchronisationspartner

Für Synchronisationspartner, die nicht erreichbar sind, wird die Datei in der dezentralen Filecloud zwischengespeichert. Die Datei wird kopiert und in Blöcke aufgeteilt. Diese Blöcke werden verschlüsselt und verteilt auf den Partnergeräte gespeichert.

Da die Erreichbarkeit der gesamten Datei auf den Partnergeräten zu gewährleisten ist, wird die Datei mehrmals in die dezentrale Filecloud gespeichert, sodass nur ein Bruchteil der Partnergeräte erreichbar sein muss, um auf die vollständige Datei zugreifen zu können.

Sobald der Synchronisationspartner, hier der Heim-PC wieder hochgefahren ist, fordert er die verschlüsselten Dateiblöcke von den Partnergeräte an. Die Blöcke werden über direkte verschlüsselte Verbindungen gesendet, entschlüsselt und zu der vollständigen neuen Datei zusammengesetzt.

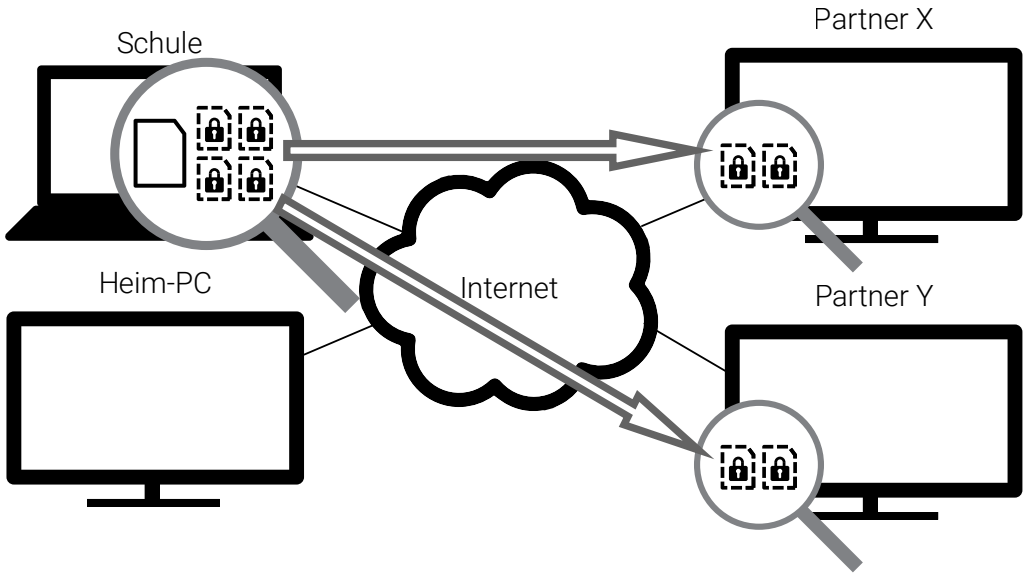


Abbildung 1.6.: Hochladen der Datei in die dezentrale Filecloud

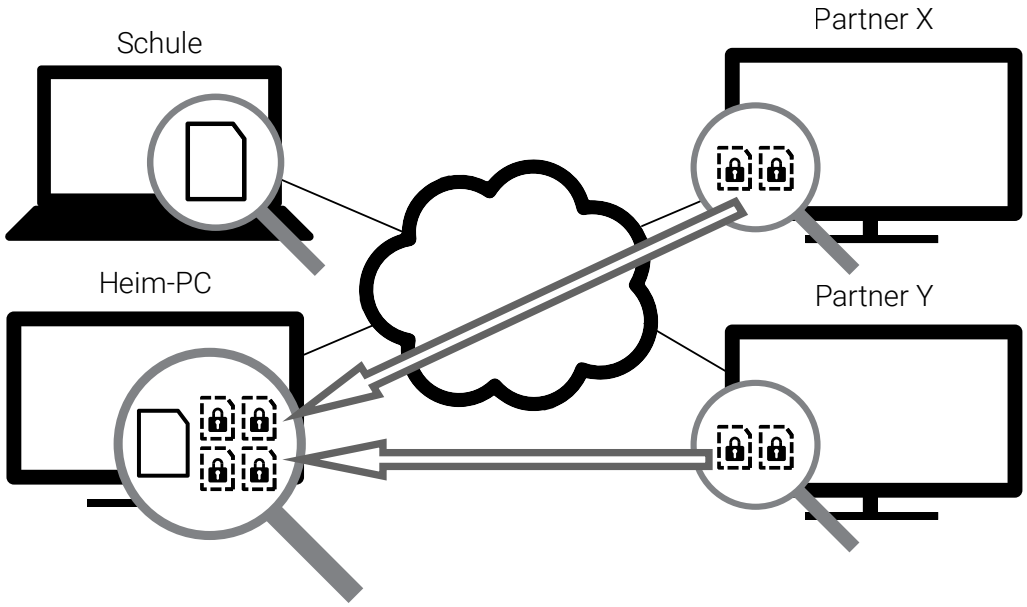


Abbildung 1.7.: Herunterladen der Datei aus der dezentralen Filecloud beziehungsweise den Partnergeräte

2. Decentralized Communication Layer

2.1. Einleitung

Um die Hauptanforderung an die Umsetzung, den Verzicht auf zentrale Server im System, realisieren zu können, wird ein Peer-to-Peer-Netzwerk benötigt. Über dieses läuft die Kommunikation der Synchronisationsanwendung. Dabei muss das Netzwerk vollständig dezentral aufgebaut sein, um ohne Server funktionieren zu können. Gleichzeitig müssen alle Teilnehmer des Netzwerks die selben Berechtigungen haben, weswegen es keinen Teilnehmer geben kann, der besondere Befugnisse hat. Deshalb ist es notwendig, dass sich das Netzwerk und die Teilnehmer selbst organisieren und verwalten, ohne dabei auf ein zentrales Organ angewiesen zu sein.

Dieses Peer-to-Peer-Netzwerk ist in einer separaten Kommunikationsschicht, dem Decentralized Communication Layer (DCL), umgesetzt. Das ermöglicht es einerseits, DCL für Anwendungen von fremden Entwicklern zu öffnen, sodass diese auf das schon bestehende Netzwerk zurückgreifen können und nicht erst ein eigenes umsetzen müssen, und andererseits erleichtert die klare Abgrenzung der Funktionen zwischen Kommunikationsschicht und eigentlicher Synchronisationsanwendung die Umsetzung beider erheblich.

2.2. Anforderungen an die Kommunikationsschicht

Das Peer-to-Peer-Netzwerk des DCL muss eine Reihe von Eigenschaften aufweisen, um für die Anwendung eingesetzt werden zu können. Diese Eigenschaften decken sich im wesentlichen mit üblichen Anforderungen an herkömmliche, nicht dezentrale Netzwerke und lauten wie folgt:

Adressierung
: Den Teilnehmern müssen eindeutige Adressen zugewiesen werden können, die auf ihre Echtheit überprüfbar sind.

Routing
: Zwischen Teilnehmern müssen anhand ihrer Adressen Kommunikationskanäle aufgebaut werden können.

Durch den dezentralen Ansatz von DCL gestaltet sich die Realisierung dieser Eigenschaften jedoch anders als das beispielsweise für ein übliches Computernetzwerk oder das Internet der Fall wäre. So können Adressen nicht von zentralen, dazu bemächtigten Behörden vergeben werden und das Routing kann nicht von speziellen Teilnehmern des Netzwerks in einer hierarchischen Organisation erfolgen.

2.3. Network Types

2.3.1. Notwendigkeit

Um DCL für eine breite Menge an Anwendungen benutzbar zu machen, muss es möglich sein, alle Eigenschaften, die ein Peer-to-Peer-Netzwerk zur Kommunikation zwischen den Instanzen dieser Anwendungen haben muss, erfüllen zu können. Das lässt sich am besten realisieren, indem der DCL so umgesetzt wird, dass mehrere unterschiedliche Peer-to-Peer-Netzwerke darüber aufgebaut werden können. Das hat den Vorteil, auch mit Peer-to-Peer-Netzwerken, die andere Anforderungen als bisher existente Netzwerke haben, auf die bereits bestehende Menge an Hosts aus dem DCL zurückgreifen zu können. So können neue Netzwerke schnell und stabil zur Verfügung gestellt werden und neue Teilnehmer erhöhen nicht nur die Verfügbarkeit ihres Netzwerks, sondern auch die aller anderer auf DCL aufbauender Netzwerke.

2.3.2. Definition

Ein Network Type beschreibt ein Netzwerk innerhalb des DCL durch Festlegung folgender Eigenschaften:

Adresskonzept
: Beinhaltet die Länge von Adressen und die Verfahren zur Bildung sowie zur Überprüfung von Adressen.

Routingverfahren
: Beinhaltet den Vorgang zur Weiterleitung von Nachrichten, die an andere Teilnehmer des Netzwerks adressiert sind.

2.3.3. Notation

Für jeden Network Type gibt es einen sogenannten Network Type Identifier, mit dem er identifiziert wird. Dieser setzt sich aus einem Typstring im Stil von Java Package Names und einem Attributstring für Untereigenschaften zusammen.

2.3.4. Circle Network

Das im DCL standardmäßig verwendete Netzwerk ist das Circle Network. Der Typstring des Network Type des Circle Network ist `org.dclayer.circle`.

Adressen werden im Circle Network standardmäßig durch Anwendung des Hashalgorithmus SHA-1 auf die öffentlichen RSA-Schlüssel erzeugt und haben eine Länge von 20 Bytes, was der Digest Length von SHA-1 entspricht.

Das Format des Attributstrings des Network Type des Circle Network ist `Hashalgorithmus/Adresslänge`. Der standardmäßige Attributstring für den Network Type des Circle Network ist also `sha1/20`.

Daraus ergibt sich der standardmäßige Network Type Identifier des Circle Network, `org.dclayer.circle sha1/20`.

2.4. Adressierung

2.4.1. Notwendigkeit

Um in einer auf dem DCL basierenden Anwendung Synchronisationgruppen bilden zu können, ist es nötig, die Teilnehmer dieser Gruppen als solche erkennen zu können. Das erfordert wiederum die permanente und eindeutige Adressierung dieser Teilnehmer. Da sich die öffentlichen IP-Adressen der meisten privaten Internetanschlüsse und somit des Großteils der Zielgruppe von sblit periodisch ändern, eignen sich diese jedoch nicht als Adressen im DCL. Es wird also ein anderes Adresskonzept benötigt, mit dem ohne zentrale Stelle allen Teilnehmern eindeutige Adressen zugewiesen werden können, die auf ihre Echtheit überprüfbar sind.

Es ist nicht ausreichend, die Teilnehmer ihre Adressen willkürlich selbst bestimmen zu lassen und eine Funktion zu implementieren, die überprüft, ob eine neu generierte Adresse im Netzwerk schon existiert, da dieser Ansatz keinerlei Sicherheit vor einer absichtlichen Übernahme der Adresse eines anderen Teilnehmers durch einen Angreifer bietet.

Dieses Unterkapitel beschreibt die Adressierung im Circle Network.

2.4.2. Adressierung mit RSA

Asymmetrische Verschlüsselungsverfahren wie RSA eignen sich durch ihre Eigenschaften ausgezeichnet für die Adressierung innerhalb eines Netzwerks, in dem alle Teilnehmer die gleichen Berechtigungen haben und in dem keine höhere Instanz existiert, die Adressen vergeben und diese verifizieren kann.

Bei asymmetrischen Verschlüsselungsverfahren kommen sogenannte Schlüsselpaare, bestehend aus zwei Schlüsseln, zum Einsatz. Die Besonderheit liegt darin, dass eine Nachricht, die mit einem Schlüssel aus dem Schlüsselpaar verschlüsselt wurde, bei asymmetrischen Verfahren im Gegensatz zu symmetrischen Verfahren nicht mit dem selben Schlüssel auch wieder entschlüsselt werden kann, sondern ausschließlich mit dem anderen Schlüssel des Schlüsselpaars. Gleichzeitig kann aus einem Schlüssel eines Schlüsselpaars der dazugehörige andere Schlüssel des Schlüsselpaars nicht in absehbarer Zeit berechnet werden.

Dadurch wird es möglich, ein Adressierungssystem umzusetzen, das die Anforderungen im Bezug auf Überprüfbarkeit der Adressen erfüllt. Dazu wird eine Adresse angenommen, die sich von einem der beiden Schlüssel aus dem Schlüsselpaar ableitet. Dieser Schlüssel wird bewusst veröffentlicht, während der andere Schlüssel aus dem Schlüsselpaar geheim gehalten wird. Der Schlüssel aus dem Schlüsselpaar, der veröffentlicht wird, wird auch *Öffentlicher Schlüssel* oder *Public Key* genannt, der weiterhin geheim gehaltene Schlüssel *Privater Schlüssel* oder *Private Key*.

Öffentliche Schlüssel als Grundlage für Adressen haben den Vorteil, dass die Adressen ohne höhere Behörde oder zentrale Stelle auf ihre Echtheit überprüft werden können und somit fälschungssicher sind. Ein Mechanismus zur Überprüfung solch einer Adresse wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

2.4.3. Überprüfung von Adressen

Dadurch, dass eine mit einem öffentlichen Schlüssel verschlüsselte Nachricht nicht mit wieder mit dem öffentlichen Schlüssel entschlüsselt werden kann, sondern ausschließlich mit dem dazugehörigen privaten Schlüssel, kann der Besitz des gesamten Schlüsselpaars bewiesen

werden, ohne mehr als den öffentlichen Schlüssel preisgeben zu müssen: Eine beliebige Folge von Daten wird vom überprüfenden Teilnehmer generiert, mit der Grundlage der Adresse des zu überprüfenden Teilnehmers, also seinem öffentlichen Schlüssel verschlüsselt und anschließend an diesen übermittelt. Dort wird die empfangene Nachricht vom zu überprüfenden Teilnehmer mit seinem privaten Schlüssel, den nur dieser Teilnehmer besitzt, wieder entschlüsselt und zurück an den überprüfenden Teilnehmer gesendet.

Decken sich die ursprünglich vom überprüfenden Teilnehmer generierten Daten mit denen, die vom zu überprüfenden Teilnehmer entschlüsselt wurden, ist der Besitz des gesamten Schlüsselpaars, und nicht lediglich des öffentlichen Schlüssels, bewiesen. In anderen Worten, die vom überprüften Teilnehmer bekanntgegebene Adresse ist echt.

2.4.4. Eindeutigkeit von Adressen

Die Eindeutigkeit der generierten RSA-Schlüsselpaare und somit der Adressen kann zwar nicht garantiert werden, eine Kollision ist jedoch aufgrund der Länge der verwendeten Schlüssel und der Anzahl der dadurch möglichen Schlüsselpaare dermaßen unwahrscheinlich, dass davon ausgegangen werden kann, dass eine Kollision praktisch nicht auftritt. [**?**]

2.4.5. Adressformat

2.4.5.1. RSA-Schlüssellänge

Die für die Adressen im DCL verwendeten öffentlichen RSA-Schlüssel haben eine Länge von 2048 Bits, was 256 Bytes entspricht. IPv4- und IPv6-Adressen haben mit jeweils 32 Bits (4 Bytes) bzw. 128 Bits (16 Bytes) vergleichsweise kurze Adressen. Trotzdem ist eine Adressierung mit 128 Bits mehr als ausreichend und wesentlich längere Adressen, wie sie beispielsweise bei direkter Verwendung von RSA-Schlüsseln entstehen, bringen lediglich Nachteile und keinerlei Vorteile mit sich, da der dadurch entstehende Overhead bei der Übertragung von Nachrichten eine wesentliche Reduktion der Effizienz mit sich bringt.

Gleichzeitig ist die Schlüssellänge mit 2048 Bits aber bereits im unteren Bereich dessen angesiedelt, was zur Zeit noch als sicher eingestuft wird. [**?**] Die Verwendung kürzerer RSA-Schlüssel würde die Sicherheit der Adressen im DCL und der über den DCL laufenden Kommunikation negativ beeinflussen.

Der folgende Abschnitt beschreibt, wie im Circle Network des DCL die öffentlichen RSA-Schlüssel so verarbeitet werden, dass die resultierenden Adressen die Effizienz der Kommunikation nicht mindern.

2.4.5.2. Adressverkürzung

Die im DCL verwendeten Adressen decken sich nicht mit den öffentlichen RSA-Schlüsseln, sondern basieren lediglich darauf. Da ohne Weiterverarbeitung der Schlüssel zu lange Adressen entstünden, wird auf die Daten der öffentlichen Schlüssel ein Hashalgorithmus angewandt, welcher die Daten in einem ersten Schritt wesentlich verkürzt. In einem optionalen zweiten Schritt können die bereits verkürzten Daten weiter verkürzt werden, um unnötig lange Adressen zu eliminieren.

Nachfolgend ist jener Teil des Quellcodes von DCL angeführt, welcher im `CircleNetworkType` zur Adressverkürzung angewandt wird.

```
1  Data scaleAddress(Address address) {
2
3      Data fullData = address.toData();
4      Data hashedData = hash.update(fullData).finish();
5
6      if(byteLength == hashedData.length()) {
7          return hashedData;
8      }
9
10     Data scaledData = new Data(byteLength);
11
12     for(int i = 0; i < hashedData.length(); i++) {
13         int scaledIndex = i % scaledData.length();
14         scaledData.setByte(scaledIndex, (byte)(scaledData.
               getByte(scaledIndex) ^ hashedData.getByte(i)));
15     }
16
17     return scaledData;
18
19 }
```

Listing 2.1: Adressverkürzung im CircleNetworkType (Java)

`address`
: Das Argument `address` referenziert ein `Address`-Objekt, welches den als Grundlage für eine Adresse verwendeten öffentlichen Schlüssel enthält.

`Data`
: Im Quellcode von DCL definierte Klasse zur Speicherung von Binärdaten.

`hash`
: Die Instanzvariable `hash` referenziert ein `Hash`-Objekt, welches den im Network Type angegebenen Hashalgorithmus implementiert.

`byteLength`
: Die Instanzvariable `byteLength` enthält die Ziellänge der Adressen, in Bytes.

Mit `address.toData()` wird der öffentliche Schlüssel der übergebenen Adresse zuerst in Binärdaten umgewandelt, auf welche dann ein Hashalgorithmus angewandt wird. Entspricht die Ziellänge von Adressen im Network Type der Digest Length des verwendeten Hashalgorithmus, so wird der Hashwert `hashedData` direkt zurückgegeben.

Anderenfalls wird der Hashwert aus `hashedData` auf Binärdaten der Länge `byteLength`, gespeichert in `scaledData`, abgebildet und diese zurückgegeben.

2.5. Routing

2.5.1. Notwendigkeit

Da es bereits ab einer geringen Anzahl an Teilnehmern im Peer-to-Peer-Netzwerk nicht mehr praktikabel ist, ein vollständig vermaschtes Netz zu führen, weil die Anzahl an dafür notwendigen Verbindungen die Kapazitäten der Teilnehmer überschreitet, ist es nötig, einen Routingmechanismus für das Netzwerk zu implementieren. Damit können Nachrichten im Peer-to-Peer-Netzwerk von jedem Teilnehmer zu jedem beliebigen anderen Teilnehmer gesendet werden, ohne dass die beiden kommunizierenden Teilnehmer direkt miteinander verbunden sein müssen.

Dieses Unterkapitel beschreibt das Routing im Circle Network.

2.5.2. Schwierigkeit

Im Gegensatz zu herkömmlichen Computernetzwerken sind die Verbindungen zwischen den einzelnen Teilnehmern in einem Peer-to-Peer-Netzwerk variabel und ändern sich ständig. Die Wege für Pakete statisch vorzugeben funktioniert deshalb nicht, stattdessen ist es notwendig, dynamisches Routing zu implementieren.

Die meisten im Einsatz befindlichen Verfahren zum dynamischen Routing betrachten die gesamte Topologie und suchen darin Wege für Pakete. Bei zu großen Topologien werden Teile des Netzwerks zusammengefasst und die Teilnehmer innerhalb dieses Teils von Außerhalb als ein einziger Teilnehmer betrachtet. Der Pfadfindungsprozess kann dann effizienter gestaltet werden, indem das Routing in 2 Schritten erfolgt: zuerst außerhalb bis zum zusammengefassten Teil und anschließend innerhalb des zusammengefassten Teils des Netzwerks, wo das Routing zum endgültigen Ziel erfolgt.

Diese Technik funktioniert jedoch nur in einem hierarchisch aufgebauten Netzwerk, in dem Teilnehmer mit ähnlichen Adressen logisch nah beieinander sind, wie das beispielsweise in einem IPv4-Subnet der Fall ist. In einem dezentralen Peer-to-Peer-Netzwerk, dessen Topologie sich ständig ändert und in dem die Adresse eines Teilnehmers nicht mit seiner Position in der Topologie zusammenhängt, können keine Teilnehmer zusammengefasst werden.

Gleichzeitig ist die Topologie des Peer-to-Peer-Netzwerk so groß und ändert sich so oft, dass es praktisch unmöglich ist, bei jedem Teilnehmer des Netzwerks eine Kopie aller bestehenden Verbindungen zu speichern und diese aktuell zu halten, um basierend darauf die Wege zur Weiterleitung von Nachrichten zu finden.

2.5.3. Distanzbasiertes Routing

Im Circle Network des DCL werden nicht die Wege anhand der Topologie gesucht, sondern die Topologie anhand der gewünschten Wege aufgebaut. Das bedeutet konkret, dass die Teilnehmer, mit denen sich ein Teilnehmer verbindet, nicht zufällig gewählt werden, sondern ein Teilnehmer sich tendentiell mit mehr Teilnehmern verbindet, die eine ähnliche Adresse haben, als mit solchen, deren Adresse sich von der eigenen stark unterscheidet.

Ähnlich sind zwei Adressen dann, wenn ihre numerische Differenz gering ist. Dabei gilt es, auch den Überlauf beim Überschreiten des mit der Adresslänge maximal darstellbaren Wertes zu beachten. Nimmt man zur vereinfachten Darstellung eine Adresslänge von 16 Bits an, dann weisen die hexadezimal angegebenen Adressen `E539` und `1092` eine Distanz

von `2B59` auf, obwohl `E539 - 1092 = D4A7`, weil die Distanz über den Überlauf kürzer ist: `10000 - E539 + 1092 = 2B59`.

Des Weiteren werden Teilnehmer, die exakt die selbe Adresse aufweisen, stets direkt miteinander verbunden, um sicherzustellen, dass Nachrichten deren Zieladresse auf mehrere Teilnehmer verweist, an alle zugestellt werden. Dass zwei Teilnehmer die selbe Adresse bekommen ist jedoch erstens extrem unwahrscheinlich und bedeutet zweitens nicht unbedingt, dass ihre Adressen auf den selben öffentlichen Schlüsseln basieren. Siehe dazu 2.4.4 Eindeutigkeit von Adressen, Seite 12.

Dadurch, dass die Teilnehmer des Netzwerks jeweils mehr Verbindungen zu Teilnehmern mit Adressen ähnlich zur eigenen haben, als Verbindungen zu Teilnehmern mit Adressen, die eine hohe Differenz zur eigenen aufweisen, können Nachrichten einfach an den Teilnehmer weitergeleitet werden, dessen Adresse die niedrigste Differenz zur Zieladresse der Nachricht aufweist. Auf diese weise gelangt die Nachricht, logisch betrachtet, immer näher an ihr Ziel und wird schlussendlich an den Adressat zugestellt.

2.5.4. Umsetzung im Quellcode von DCL

Nachfolgend ist jener Teil des Quellcodes von DCL angeführt, welcher im `CircleNetworkType` zum Routinglookup angewandt wird.

```
1  Nexthops lookup(Data scaledDestinationAddress, Address
       originAddress, Object originIdentifierObject) {
2
3      Nexthops nexthops = localEndpointRoutes.get(
           scaledDestinationAddress);
4      if(nexthops != null) {
5
6          Nexthops twinNeighbors = remoteServiceRoutes.get(
               scaledDestinationAddress);
7          if(twinNeighbors != null) {
8
9              boolean append = true;
10             for(ForwardDestination forwardDestination :
                   twinNeighbors) {
11                 if(forwardDestination.getIdentifierObject()
                       == originIdentifierObject) {
12                     append = false;
13                     break;
14                 }
15             }
16
17             if(append) {
18                 nexthops.append(twinNeighbors);
19             }
20
21         }
22
23         return nexthops;
```

```
24
25      }
26
27      nexthops = remoteServiceRoutes.getClosest(
            scaledDestinationAddress);
28      if(nexthops == null) {
29          return null;
30      }
31
32      for(ForwardDestination forwardDestination : nexthops) {
33          if(forwardDestination.getIdentifierObject() ==
                originIdentifierObject) {
34              return null;
35          }
36      }
37
38      return nexthops.getLast();
39
40  }
```

Listing 2.2: Routing im CircleNetworkType (Java)

`scaledDestinationAddress`
: Das Argument `scaledDestinationAddress` referenziert ein `Data`-Objekt, welches die Zieladresse enthält, für die ein Routinglookup durchgeführt werden soll.

`originAddress`
: Das Argument `originAddress` referenziert ein `Address`-Objekt, welches den öffentlichen Schlüssel des Teilnehmers enthält, von welchem die zu weiterleitende Nachricht empfangen wurde.

`originIdentifierObject`
: Das Argument `originIdentifierObject` referenziert ein Objekt, das den Teilnehmer identifiziert, von welchem die zu weiterleitende Nachricht empfangen wurde. Dieses wird benötigt, um später sicherzustellen, dass die Nachricht nicht zum selben Teilnehmer weitergeleitet wird, von welchem sie schon empfangen wurde.

`Nexthops`
: Im Quellcode von DCL definierte Klasse zur Speicherung von verbundenen Endpunkten in der Form von ForwardDestination-Objekten.

`ForwardDestination`
: Im Quellcode von DCL definierte Klasse zur Speicherung eines verbundenen Endpunkts, an den eine Nachricht weitergeleitet werden kann, inklusive dessen Address- und InterserviceChannel-Objekten.

`localEndpointRoutes`
: Die Instanzvariable `localEndpointRoutes` referenziert ein Objekt, das zu Schlüsseln in Form von `Data`-Objekten Werte in Form von `Nexthops`-Objekten speichert. Dieses

wird benutzt, um zu Adressen die entsprechenden `Nexthops`-Objekte finden zu können, an die Nachrichten weitergeleitet werden können. In diesem Fall handelt es sich dabei ausschließlich um Adressen, deren Endpunkte sich am lokalen DCL-Service befinden.

`remoteServiceRoutes`
: Die Instanzvariable `remoteServiceRoutes` referenziert ein Objekt, das zu Schlüsseln in Form von `Data`-Objekten Werte in Form von `Nexthops`-Objekten speichert. Dieses wird benutzt, um zu Adressen die entsprechenden `Nexthops`-Objekte finden zu können, an die Nachrichten weitergeleitet werden können. In diesem Fall handelt es sich dabei ausschließlich um Adressen, deren Endpunkte sich auf direkt verbundenen, aber nicht am lokalen DCL-Service befinden.

Mit `localEndpointRoutes.get(scaledDestinationAddress)` wird zu Beginn des Routinglookups nach lokalen Endpunkten mit der genauen Zieladresse dieser Nachricht gesucht. Werden ein oder mehrere Endpunkte gefunden, so wird weiters geprüft, ob es entfernte Endpunkte gibt, die die selbe Adresse haben. Gibt es solche Endpunkte, dann wird sichergestellt, dass keiner dieser Endpunkte derjenige Endpunkt ist, von dem die Nachricht empfangen wurde und dass die Nachricht somit nicht wieder zu diesem Endpunkt weitergeleitet wird. Anschließend werden die Endpunkte mit der gleichen Adresse wie der lokale Endpunkt zur Liste der Endpunkte, an die die Nachricht weitergeleitet werden soll, hinzugefügt. Das geschieht, indem das von `twinNexthops` referenzierte `Nexthops`-Objekt mit `nexthops.append(twinNexthops)` an das von `nexthops` referenzierte `Nexthops`-Objekt angehängt wird.

Wurden keine lokalen Endpunkte mit der Zieladresse der Nachricht gefunden, dann wird mit `remoteServiceRoutes.getClosest(scaledDestinationAddress)` nach direkt verbundenen Endpunkten gesucht, deren Adresse der Zieladresse am ähnlichsten ist. Anschließend wird, wie schon bei den lokalen Endpunkten, sichergestellt, dass die Liste von Endpunkte nicht den Endpunkt enthält, von dem die Nachricht empfangen wurde. Falls das der Fall ist, wird `null` zurückgegeben und die Nachricht in Folge verworfen.

Anderenfalls wird nur der letzte Endpunkt in der von `nexthops` referenzierten Liste der Endpunkte zurückgegeben: Enthält die Liste mehrere Einträge, so haben die darin enthaltenen Endpunkte die selbe Adresse. Die Nachricht soll in diesem Fall aber nur an einen dieser Endpunkte weitergeleitet werden, da sie von dort an die restlichen Endpunkte mit der gleichen Adresse weitergeleitet wird.

2.6. NAT-Traversal

2.6.1. Einleitung

Unter Network Address Translation (NAT) versteht man das Übersetzen von Netzwerkadressen. NAT kommt bei praktisch allen Routern privater Internetanschlüsse zum Einsatz und ermöglicht es dort, mehrere Hosts über eine einzige öffentliche IP-Adresse an das Internet anzubinden.

Realisiert wird das durch Übersetzen der privaten Quell-IP-Adressen zur öffentlichen IP-Adresse bei Paketen die das lokale Netzwerk verlassen und Rückübersetzen der öffentlichen Ziel-IP-Adresse zu den privaten IP-Adressen bei Paketen die aus dem Internet in das lokale Netzwerk eintreten.

Bei ankommenden Paketen wird dabei anhand des Ziel-Ports entschieden, an welche lokale IP-Adresse das Paket weitergeleitet wird. Um es mehreren lokalen Hosts zu ermöglichen, vom gleichen Port aus Pakete zu senden, werden die Quell-Ports von Paketen die das lokale Netzwerk verlassen gegebenenfalls, zusätzlich zur Quell-IP-Adresse, ebenfalls übersetzt. Beim Eintritt von Antwortpaketen in das lokale Netzwerk werden die Ziel-Ports entsprechend Rückübersetzt. Man spricht dann von der sogenannten Port Address Translation, die eine Unterkategorie der Network Address Translation bildet.

Im NAT-Gerät werden die aktuellen Übersetzungen in einer Datenstruktur gespeichert, die lokale IP-Adressen und Ports auf globale IP-Adressen und Ports abbildet. Dabei werden Datenreihen im folgenden Format gespeichert:

(lokale IP-Adresse, lokaler Port, globale IP-Adresse, globaler Port)

Verlässt beispielsweise ein Paket das lokale Netzwerk, das von der lokalen IP-Adresse `10.0.0.1` und vom Port `28785` aus gesendet wurde, könnte die dafür von einem NAT-Gerät mit der öffentlichen IP-Adresse `93.184.216.34` angelegte Datenreihe wie folgt aussehen:

(`10.0.0.1`, `28785`, `93.184.216.34`, `28785`)

An dieser Stelle sei angemerkt, dass der Quellport des Pakets in diesem Beispiel nicht übersetzt wird. Ist der Host mit der IP-Adresse `10.0.0.1` der einzige im lokalen Netzwerk, der von Port `28785` aus sendet, muss eine Übersetzung des Ports auch nicht zwingend stattfinden. Nimmt man jedoch an, dass sich ein zweiter Host im lokalen Netzwerk befindet, der beispielsweise die IP-Adresse `10.0.0.2` besitzt und ebenfalls von Port `28785` aus sendet, so würde eine weitere Datenreihe angelegt, die wie folgt aussieht:

(`10.0.0.2`, `28785`, `93.184.216.34`, `28786`)

Für Pakete des Hosts mit der IP-Adresse `10.0.0.2`, die das lokale Netzwerk verlassen, wird also nicht nur die Quell-IP-Adresse übersetzt, sondern auch der Quellport von `28785` auf `28786`. Dieser Schritt ist notwendig, da sonst bei Paketen, die aus dem Internet in das lokale Netzwerk eintreten, nicht unterschieden werden kann, ob diese an den Host mit der IP-Adresse `10.0.0.1` oder an den Host mit der IP-Adresse `10.0.0.2` weitergeleitet werden sollen. Die Übersetzung des Quellports ermöglicht es, das lokale Ziel von Antwortpaketen anhand deren Zielport zu bestimmen.

2.6.2. Probleme für Peer-to-Peer-Verbindungen

Verbindungen zwischen zwei über NAT-Geräte angebundenen Hosts werden durch Network Address Translation erschwert, da die Pakete zur Initialisierung der Verbindung aufgrund fehlender Übersetzungsinformationen in den NAT-Geräten nicht an den Zielhost weitergeleitet werden können.

Um trotzdem Peer-to-Peer-Verbindungen zwischen solchen Hosts aufbauen zu können, müssen Verfahren zum NAT-Traversal angewandt werden. Hierfür existieren unterschiedliche Protokolle zur Einrichtung einer Portweiterleitung auf dem lokalen NAT-Gerät, welche eine Verbindung von Außen ermöglicht.

Die derzeitige Implementierung des DCL-Service wendet das sogenannte NAT Hole Punching an, für das kein spezielles Netzwerkprotokoll notwendig ist.

2.6.3. NAT Hole Punching

Für NAT Hole Punching wird für eine neue Verbindung ein Kommunikationskanal zwischen den Verbindungspartnern benötigt, der schon vor Aufbau der Verbindung existieren muss. Diesen Kommunikationskanal kann ein dritter Host bereitstellen, zu dem beide Verbindungspartner bereits verbunden sind, oder, wie im Fall von DCL, ein DCL-Netzwerk, über das beide Kommunikationspartner bereits kommunizieren können. In beiden Fällen muss bereits eine Verbindung zu einem Host außerhalb des lokalen Netzwerks bestehen.

Einer der beiden Hosts, die direkt miteinander verbunden werden sollen, ermittelt seine öffentliche IP-Adresse und seinen öffentlichen Port mithilfe eines Hosts, zu dem bereits eine Verbindung besteht. Diese Information wird über den bestehenden Kommunikationskanal an den Host übermittelt, zu dem eine Verbindung aufgebaut werden soll. Dieser sendet an die eben erhaltene Adresse ein Paket, das das lokale Netzwerk zwar verlässt, am NAT-Gerät des Ziels jedoch verworfen wird. Der Grund dafür liegt darin, dass das Ziel, an das es im lokalen Netzwerk der Empfängerseite weitergeleitet werden soll, vom dortigen NAT-Gerät nicht bestimmt werden kann, da kein passender Eintrag in der Datenstruktur der Übersetzungen existiert. Das NAT-Gerät auf der Senderseite dieses Pakets erstellt jedoch trotzdem einen Übersetzungseintrag in seiner Datenstruktur, um Antwortpakete weiterleiten zu können.

Gleichzeitig ermittelt dieser Host über einen anderen Host, zu dem bereits eine Verbindung besteht, ebenfalls seine öffentlichen Adresse. Diese sendet er zusätzlich zu dem soeben in der Übertragung gescheiterten Paket über den bestehenden Kommunikationskanal an den ersten Verbindungspartner.

Dieser sendet, sobald er die öffentliche Adresse des Gegenübers empfangen hat, ein normales Paket zur Verbindungsinitialisierung an dieses Gegenüber. Dieses Paket verlässt das lokale Netzwerk, das lokale NAT-Gerät speichert einen Übersetzungseintrag in seiner Datenstruktur und das Paket erreicht das entfernte NAT-Gerät. Dort wird jener Übersetzungseintrag gefunden, der durch das in der Übertragung bewusst gescheiterte Paket angelegt wurde. Das Paket wird anhand dieses Eintrags an den richtigen Host weitergeleitet und die Hosts können ab diesem Zeitpunkt normal miteinander kommunizieren.

2.6.4. Einschränkungen

Um NAT Hole Punching durchführen zu können, muss jedenfalls bereits mindestens eine Verbindung zu einem Host außerhalb des lokalen Netzwerks existieren. Die erste Verbindung, die ein über ein NAT-Gerät angebundenes Gerät aufbaut, muss deshalb jedenfalls zu einem Host erfolgen, der selbst nicht über ein NAT-Gerät angebunden ist und somit Verbindungen problemlos annehmen kann. Im Fall von DCL sind das DCL-Services, die auf Hosts laufen, die dieses Kriterium erfüllen und zusätzlich über eine statische IP-Adresse verfügen. In der Praxis handelt es sich bei diesen Hosts um Server. Um einen möglichst problemlosen Einstieg in den DCL gewährleisten zu können, ist es nötig, auf eine der Anzahl an Teilnehmern im DCL entsprechend große Menge an DCL-Services zurückgreifen zu können, die auf solchen Hosts laufen.

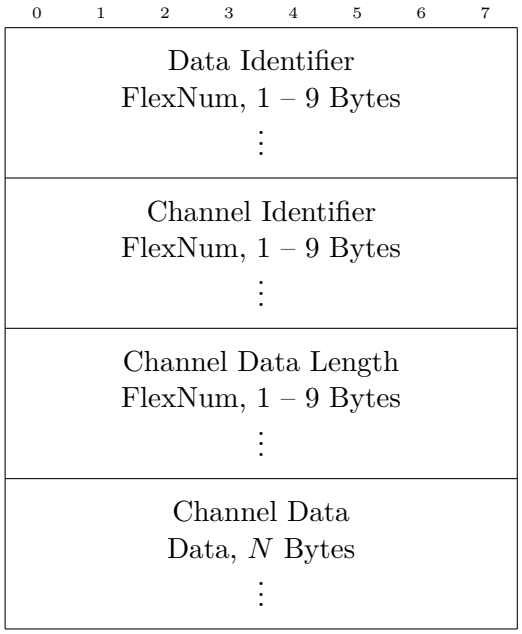


Abbildung 2.1.: Link Packet

2.7. Links

2.7.1. Einleitung

Um NAT-Traversal möglichst problemlos durchführen zu können, erfolgt die Kommunikation zwischen DCL-Services über das User Datagram Protocol (UDP). Da UDP selbst jedoch keine verlässliche Übertragung und keine Verschlüsselung bietet, werden die Datenströme zwischen DCL-Services über Links übertragen. Diese gewährleisten die verlässliche und geordnete Übertragung der Daten, außerdem wird der Übertragungskanal verschlüsselt.

2.7.2. Sicherheit

Links werden mit dem Advanced Encryption Standard (AES) im Galois/Counter Mode (GCM) verschlüsselt. Das garantiert sowohl Vertraulichkeit, Authentizität als auch Integrität der verschlüsselten Daten.

2.7.3. Channels

Über einen Link können mehrere getrennte Datenströme gleichzeitig übertragen werden. Um diese voneinander abzugrenzen, werden sie in unterschiedlichen Channels übertragen.

Auch die zur Verwaltung des Links notwendigen Nachrichten werden in einem Channel, dem Management Channel, übertragen.

Der Link selbst definiert deshalb nur eine einzige Message, die Daten, einen Channel Identifier für die Zuweisung dieser Daten zu einem Channel und einen Data Identifier für die Angabe der Reihenfolge dieser Daten innerhalb des Channels überträgt. Siehe dazu Abbildung 2.1, Link Packet. Für FlexNum-Component, siehe 2.11 FlexNum, Seite 50.

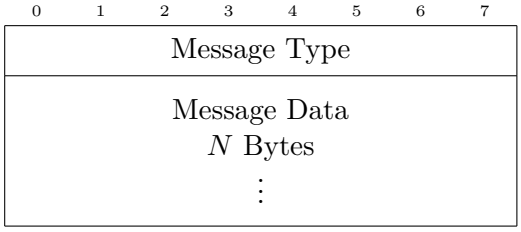


Abbildung 2.2.: BMCP – Genereller Messageaufbau

Die Messages zur Verwaltung des Links definiert das verwendete Management Channel Protocol. Für die Initialisierung des Links werden die Messages des Basic Management Channel Protocol (BMCP) verwendet. BMCP definiert aber auch Messages für den späteren Wechsel des verwendeten Management Channel Protocol.

2.7.4. Basic Management Channel Protocol

2.7.4.1. Einleitung

Das Basic Management Channel Protocol (BMCP) ist das standardmäßig verwendete Management Channel Protocol für Links. Es definiert Messages und Abläufe zum Aufbau der Verbindung, zum Öffnen von Channels, zur erneuten Übertragung von verlorenen Nachrichten und zur Flusskontrolle.

2.7.4.2. Initialisierung

Während der Initialisierung eines Links wird entschieden, wie dieser Link verschlüsselt wird und wie diese Verschlüsselung initialisiert wird. Der Initiator des Links sendet dazu in der Connect Request Message eine Liste an möglichen Crypto Initialization Methods, aus der der Empfänger eine wählt und diese in der Connect Reply Message bestätigt. Danach werden, je nach Crypto Initialization Method unterschiedlich, eine Reihe an Crypto Init Messages gesendet, bis die Verschlüsselung initialisiert ist. Zur Zeit existiert nur eine Crypto Initialization Method: AES/GCM via RSA. Bei dieser Crypto Initialization Method werden, nach Austausch der öffentlichen RSA-Schlüssel, zufällig generierte AES-Schlüssel mit den öffentlichen RSA-Schlüsseln verschlüsselt, übertragen und angewandt.

Für eine spätere Implementierung ist eine zusätzliche Crypto Initialization Method geplant, die die AES-Schlüssel über das Diffie-Hellman-Merkle Schlüsselaustauschverfahren generiert.

2.7.4.3. Messageaufbau

Die Messages des Basic Management Channel Protocol sind generell so aufgebaut, dass ein einzelnes Byte am Beginn der Message deren Typ angibt, anhand dessen die restliche Nachricht interpretiert wird.

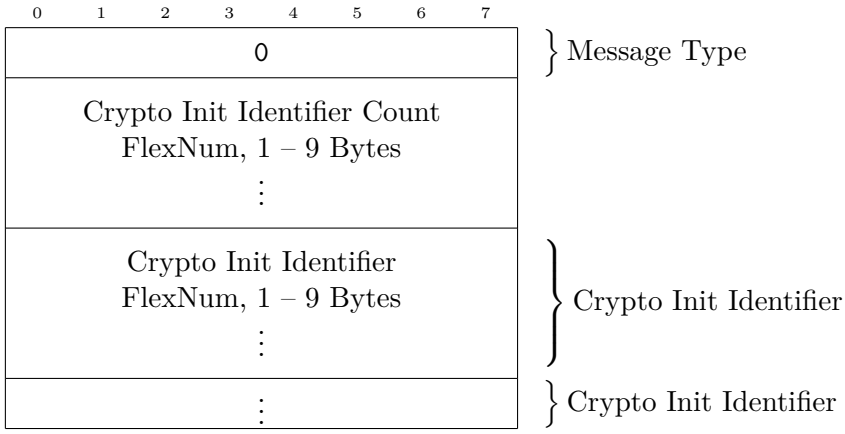


Abbildung 2.3.: BMCP – Connect Request Message

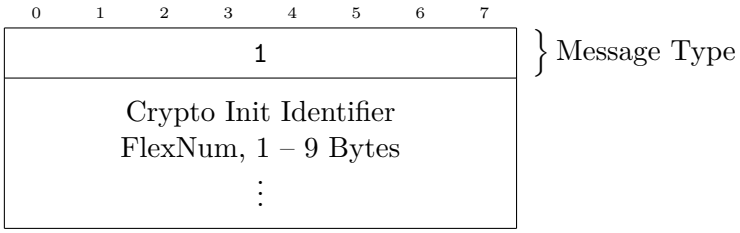


Abbildung 2.4.: BMCP – Connect Reply Message

2.7.4.4. Messages

Connect Request

Die Connect Request Message ist die Message zur Verbindungsanfrage und folglich die erste Message eines Links, die übertragen wird. Die Message enthält eine Liste an Crypto Initialization Method Identifiers jener Crypto Initialization Methods, die der Sender akzeptiert. Der Empfänger antwortet bei Annahme der Verbindung mit einer Connect Reply Message, die einen der angeführten Crypto Initialization Method Identifiers enthält.

Connect Reply

Die Connect Reply Message wird als Antwort auf eine vorhergehende Connect Request Message gesendet und enthält einen der darin angeführten Crypto Initialization Method Identifiers. Dieser bestimmt, wie der Link verschlüsselt wird und wie diese Verschlüsselung initialisiert wird. Zum weiteren Verbindungsaufbau folgt, je nach verwendeter Crypto Initialization Method, eine Reihe an Crypto Init Messages.

Disconnect

Die Disconnect Message dient zur Beendigung des Links. Der Empfänger bestätigt die Auflösung der Verbindung durch Senden einer Kill Message.

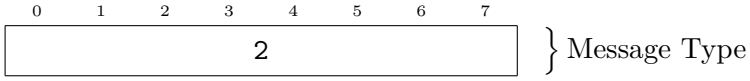


Abbildung 2.5.: BMCP – Disconnect Message

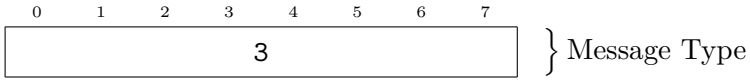


Abbildung 2.6.: BMCP – Kill Message

Kill

Die Kill Message ist die letzte Nachricht eines Links, die übertragen wird und markiert das Ende der Verbindung. Die Message wird als Antwort auf eine Disconnect Message gesendet, kann aber bei unerwartetem Beenden des Links durch einen Verbindungspartner auch alleinstehend gesendet werden.

Crypto Init

Die Crypto Init Message überträgt Daten zur Initialisierung der verwendeten Verschlüsselung des Links und wird zu Beginn der Verbindung, je nach verwendeter Crypto Initialization Method unterschiedlich oft, übertragen.

Ack

Die Ack Message dient zur Bestätigung empfangener Anfragen, wie beispielsweise einer Open Channel Request Message. Die Message enthält den Data Identifier der bestätigten Anfrage.

Change Protocol Request

Die Change Protocol Request Message dient zum Wechsel des verwendeten Management Channel Protocol. Die Message enthält einen Protocol Identifier in Form eines Strings, der das neue Management Channel Protocol angibt. Der Empfänger bestätigt den Wechsel des Protokolls mit einer Ack Message, die den Data Identifier dieser Change Protocol Request Message enthält.

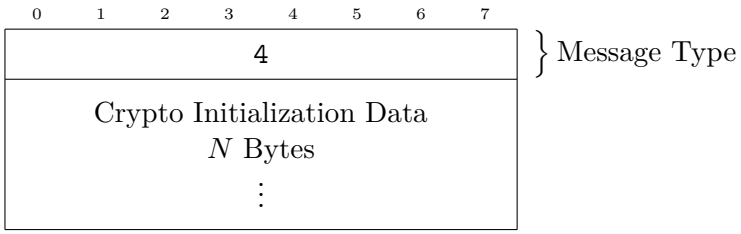


Abbildung 2.7.: BMCP – Crypto Init Message

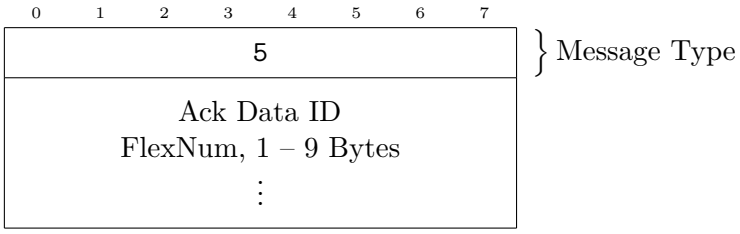


Abbildung 2.8.: BMCP – Ack Message

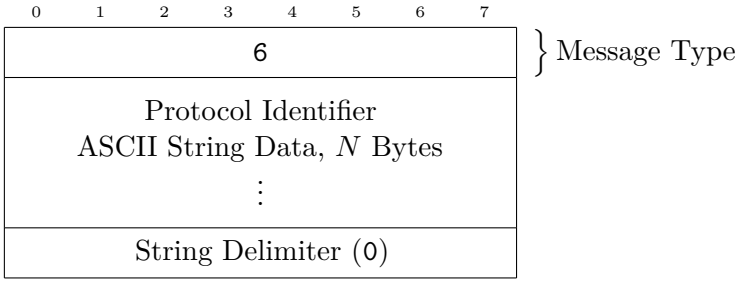


Abbildung 2.9.: BMCP – Change Protocol Request Message

Channel Block Status Request

Die Channel Block Status Request Message dient zur Abfrage der empfangenen Data Identifiers eines oder mehrerer Channels. Die Message enthält eine Liste der Channel Identifiers der Channels, die abgefragt werden sollen.

Der Empfänger antwortet mit einer Channel Block Status Report Message, anhand der der Sender dieser Channel Block Status Request Message feststellen kann, welche Pakete nicht am Ziel angekommen sind und erneut übertragen werden müssen.

Channel Block Status Report

Die Channel Block Status Report Message wird als Antwort auf eine Channel Block Status Request Message gesendet und enthält eine Liste an Channel Block Status Reports für jeden der in der Anfrage angeführten Channels. Der Empfänger kann anhand dieser Channel Block Status Reports erkennen, welche Pakete nicht übertragen wurden und deshalb erneut gesendet werden müssen.

Ein Channel Block Status Report enthält den Channel Identifier des Channels auf den er sich bezieht, den niedrigsten und den höchsten Data Identifier, die auf diesem Channel empfangen wurden, die Anzahl an unterschiedlichen Data Identifiers, die insgesamt auf diesem Channel empfangen wurden und je eine Liste an nicht empfangenen, einzelnen Data Identifiers sowie an zusammenhängenden Blöcken aus nicht empfangenen Data Identifiers innerhalb des niedrigsten und höchsten Data Identifiers des Channels.

Open Channel Request

Die Open Channel Request Message dient zur Anfrage über das Öffnen eines neuen Channels. Die Message enthält den Channel Identifier des neuen Channels sowie den

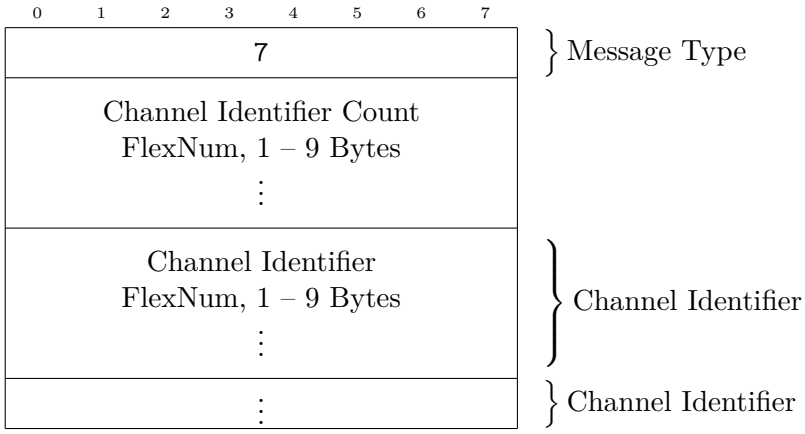


Abbildung 2.10.: BMCP – Channel Block Status Request Message

Protocol Identifier des Protokolls, über das auf dem neuen Channel kommuniziert werden soll.

Nimmt der Empfänger die Anfrage an, wird eine Ack Message gesendet, die den Data Identifier dieser Open Channel Request Message enthält.

Throttle

Die Throttle Message dient zur Limitierung der Sendeübertragungsrate des Empfängers und wird für die Flusskontrolle des Links genutzt. Die Message enthält die maximal zulässige Senderate in Bytes pro Sekunde.

2.8. Interservice-Protokoll

2.8.1. Einleitung

Das Interservice-Protokoll wird zur Kommunikation zwischen zwei direkt miteinander verbundenen DCL-Services verwendet. Es dient zur Übertragung von zwischen Anwendungen gesendeten Nachrichten, zur Bekanntgabe von Endpunkten samt Adressen und beigetretenen Netzwerken, sowie zum Einstieg in Netzwerke des DCL.

Die Messages des Interservice-Protokolls werden über den Interservice Channel, einen Channel des Links zwischen zwei DCL-Services, übertragen. Der Protocol Identifier des Interservice-Protokolls ist `org.dclayer.interservice`.

Dieses Unterkapitel beschreibt das Interservice-Protokoll in Version 0.

2.8.2. Address Slots

Da DCL-Services jeweils mehrere Adressen hosten können, ist es notwendig, diese mit dem Interservice-Protokoll unterscheiden zu können. Jede Adresse wird hierbei einem eigenen Address Slot zugeordnet, um sich in den Messages des Protokolls einfach auf einzelne Adressen beziehen zu können, ohne jedes mal die ganze Adresse senden zu müssen.

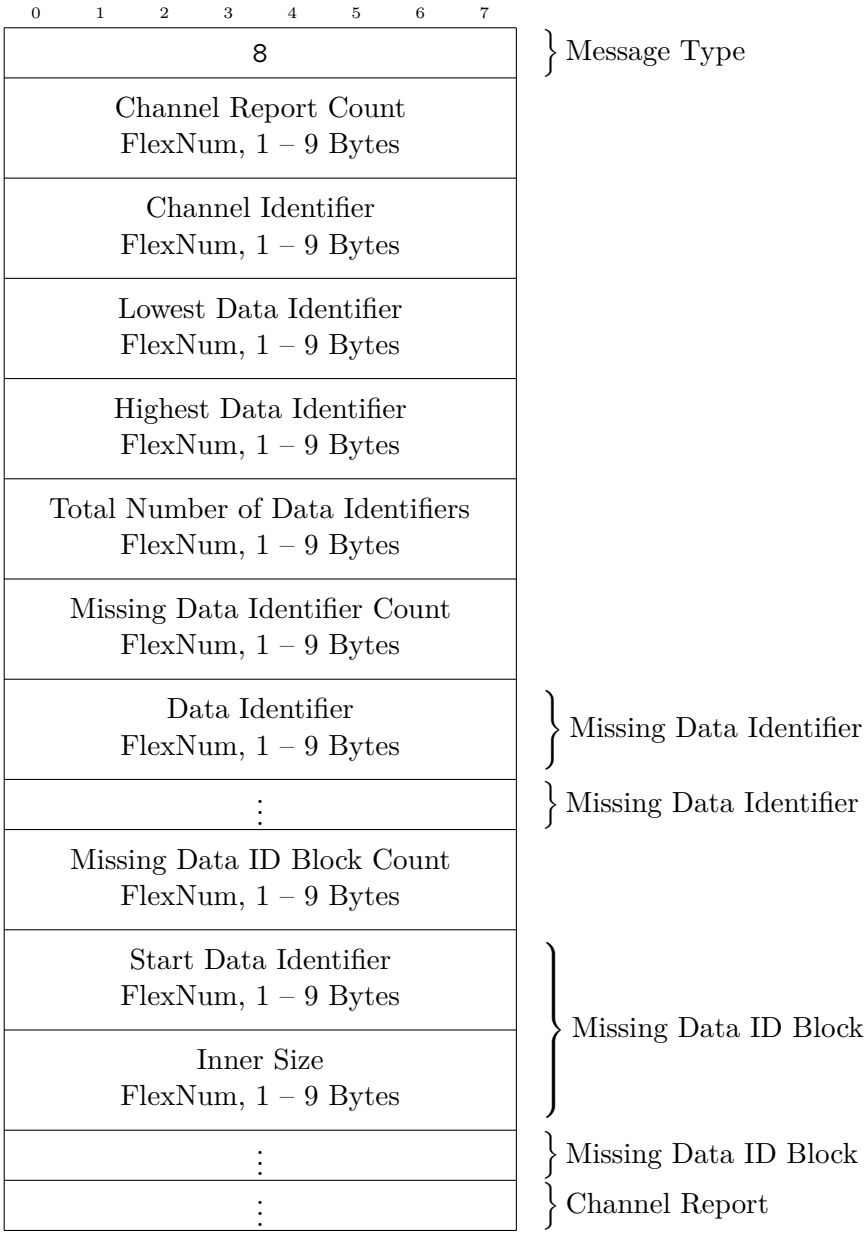


Abbildung 2.11.: BMCP – Channel Block Status Report Message

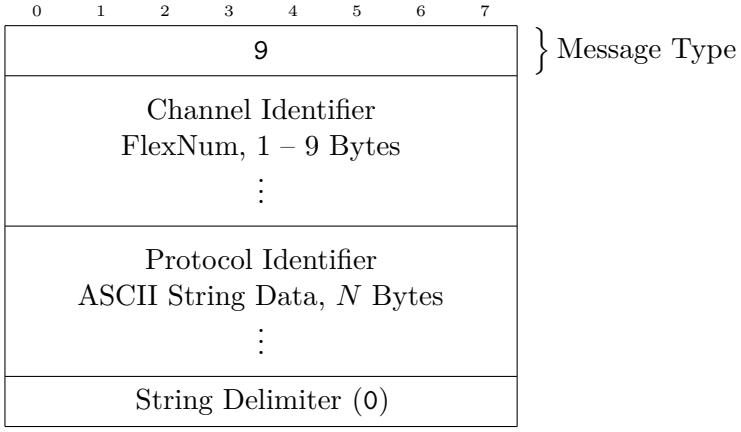


Abbildung 2.12.: BMCP – Open Channel Request Message

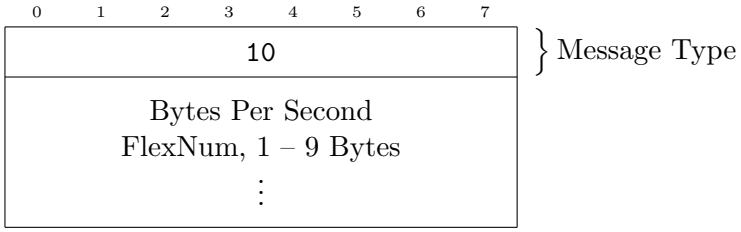


Abbildung 2.13.: BMCP – Throttle Message

2.8.3. Network Slots

Eine Adresse kann gleichzeitig in mehreren verschiedenen Netzwerken vertreten sein. Um diese Netzwerke in den Messages des Interservice-Protokoll einfach referenzieren zu können, ohne jedes mal den ganzen Network Type Identifier übertragen und parsen zu müssen, wird jedes Netzwerk, dem ein DCL-Service mit einer oder mehreren Adressen beitritt einem Network Slot zugeordnet.

Werden Nachrichten zur Kommunikation zwischen Anwendungen, sogenannte Network Packets, über den Interservice Channel übertragen, so wird auch das Netzwerk, in dem diese geroutet werden, in Form des entsprechenden Network Slot angeführt, um beim Empfänger die Zuordnung zu ermöglichen.

2.8.4. Connection Base

Die Connection Base gibt an, welche Messages von einem DCL-Service auf einem Address Slot eines Interservice Channel akzeptiert werden. Derzeit sind zwei Werte für die Connection Base implementiert: `stranger` (0) und `trusted` (1). Ein neuer Address Slot wird immer mit der Connection Base `stranger` initialisiert, unter welcher keine mit dem Routing in Verbindung stehenden Messages akzeptiert werden. Erst ab der Connection Base `trusted` werden Messages akzeptiert, die auf das Routing Einfluss nehmen. Konkret handelt es sich dabei um die Network Join Notice Message, die Network Leave Notice Message, die Network Packet Message, die Integration Request Message, die Application

Channel Slot Assign Message und die Application Channel Data Message.

Als Voraussetzung für die Connection Base `trusted` gilt der Beweis der Adresse dieses Address Slots. Ein DCL-Service kann den Wechsel auf die Connection Base `trusted` für einen existenten Address Slot anfordern, indem er eine Trusted Switch Message an sein Gegenüber sendet. Der entfernte DCL-Service fordert den lokalen DCL-Service danach durch Senden einer Crypto Challenge Request Message auf, mit seiner Adresse eine Crypto Challenge zu lösen, um ihre Echtheit zu beweisen. Siehe dazu 2.4.3 Überprüfung von Adressen, Seite 11. Der lokale DCL-Service antwortet mit einer Crypto Challenge Reply Message und übermittelt die Daten der gelösten Crypto Challenge an den entfernten DCL-Service. Ist die Lösung der Crypto Challenge korrekt, so wird die Connection Base des Address Slots auf `trusted` gesetzt und der lokale DCL-Service mit einer Connection Base Notice Message über die geänderte Connection Base benachrichtigt.

Erst jetzt akzeptiert der entfernte DCL-Service vom lokalen DCL-Service gesendete Network Join Notice Messages und Network Leave Notice Messages.

Die Aufforderung zum Weiterleiten von Network Packets durch die Network Packet Message wird nur akzeptiert, wenn der sendende DCL-Service dem Netzwerk, das vom Network Slot in der Network Packet Message referenziert wird, zuvor mit mindestens einer Adresse beigetreten ist. Das erfordert wiederum die Übertragung einer Network Join Notice Message, für welche die Connection Base `trusted` notwendig ist.

Die Anforderung von Lower Level Addresses (LLAs) geeigneter Nachbarn kann vom Gegenüber ebenfalls erst dann bearbeitet werden, wenn der sendende DCL-Service zuvor zumindest einem Netzwerk mit zumindest einer Adresse beigetreten ist. Das erfordert ebenfalls wiederum die Übertragung einer Network Join Notice Message, für welche die Connection Base `trusted` notwendig ist.

Damit die Aufforderung zum Weiterleiten von in einem Application Channel übertragenen Daten akzeptiert werden kann, muss der in der Application Channel Data Message angeführte Application Channel Slot existieren. Dafür muss dieser zuvor mit einer Application Channel Slot Assign Message angelegt worden sein, wofür ebenfalls die Connection Base `trusted` notwendig ist.

2.8.5. Initialisierung

Die Kommunikation über das Interservice-Protokoll wird mit der Aushandlung einer Protokollversion begonnen. Dazu werden, beginnend mit dem Initiator, also dem DCL-Service, der die Verbindung angefordert hat, so lange Version Messages abwechselnd zwischen den DCL-Services gesendet, bis die letzten zwei übertragenen Version Messages die selben Versionsnummern enthalten.

2.8.6. Messageaufbau

Eine Message im Interservice-Protokoll ist generell so aufgebaut, dass ein FlexNum-Component am Anfang der Message den Typ angibt, anhand dessen die restliche Nachricht interpretiert wird.

FlexNum-Components werden unter 2.11 FlexNum auf Seite 50 beschrieben.

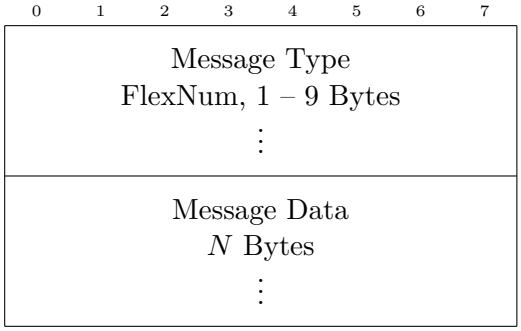


Abbildung 2.14.: Interservice-Protokoll – Genereller Messageaufbau

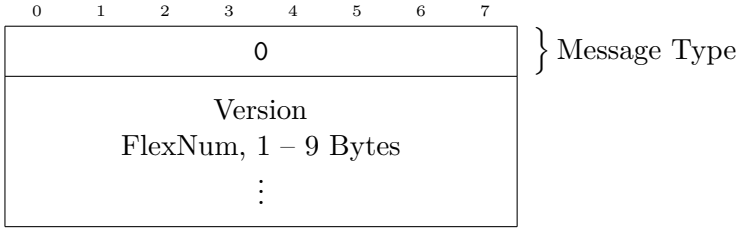


Abbildung 2.15.: Interservice-Protokoll – Version Message

2.8.7. Messages

2.8.7.1. Version

Die Version Message enthält eine Versionsnummer in Form eines FlexNum-Components und wird benutzt, um am Beginn der Verbindung die verwendete Version des Interservice-Protokoll auszuhandeln.

2.8.7.2. LLA Request

Die LLA Request Message wird benutzt, um vom Gegenüber eine Liste an LLAs von anderen DCL-Services anzufordern. Die Message enthält ein Feld für die Maximalanzahl an LLAs, die in der LLA Reply Message zurückgesendet werden sollen.

Diese Message stellt keine Anforderungen an die aktuelle Connection Base.

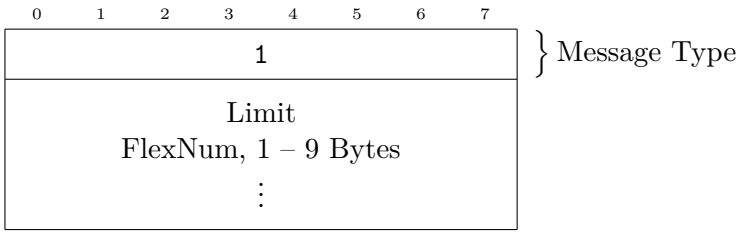


Abbildung 2.16.: Interservice-Protokoll – LLA Request Message

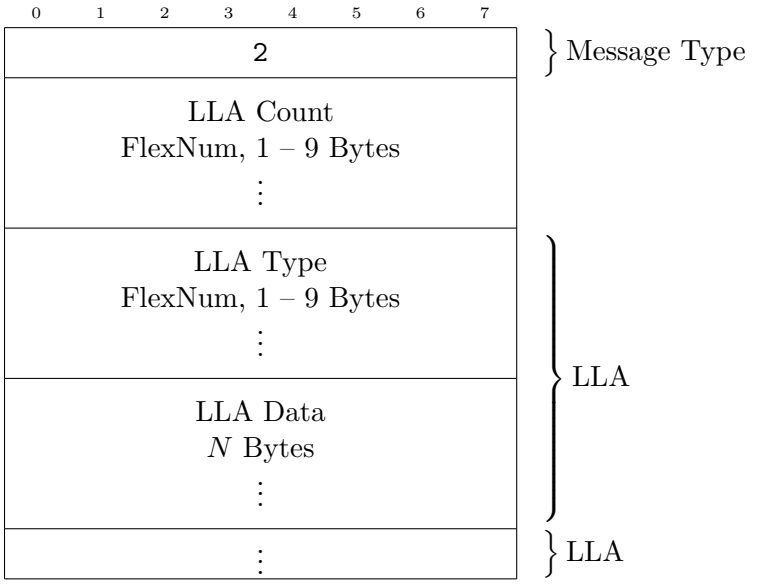


Abbildung 2.17.: Interservice-Protokoll – LLA Reply Message

2.8.7.3. LLA Reply

Die LLA Reply Message wird als Antwort auf eine zuvor empfangene LLA Request Message gesendet und enthält LLAs von anderen DCL-Services.

2.8.7.4. Trusted Switch

Die Trusted Switch Message wird benutzt, um vom Gegenüber eine Crypto Challenge für den als Adresse verwendeten, angegebenen öffentlichen Schlüssel anzufordern. Dieser Schritt wird benötigt, um dem Gegenüber beweisen zu können, dass die angegebene Adresse echt ist. Erst wenn die Crypto Challenge erfolgreich durchgeführt wurde, kann der Sender der Trusted Switch Message damit am Routing jener Netzwerke teilnehmen, denen er mit der angegebenen Adresse beigetreten ist.

Mit dieser Nachricht wird gleichzeitig die in Form eines öffentlichen Schlüssel angegebene Adresse mit dem angegebenen Address Slot assoziiert.

Diese Message stellt keine Anforderungen an die aktuelle Connection Base.

2.8.7.5. Crypto Challenge Request

Die Crypto Challenge Request Message wird als Antwort auf eine Trusted Switch Message gesendet und fordert das Gegenüber auf, die enthaltenen Binärdaten im Rahmen einer Crypto Challenge mit dem zur angegebenen Adresse zugehörigen privaten Schlüssel zu signieren.

Diese Message wird vom Empfänger nur dann akzeptiert, wenn sie zuvor durch Senden einer Trusted Switch Message angefordert wurde.

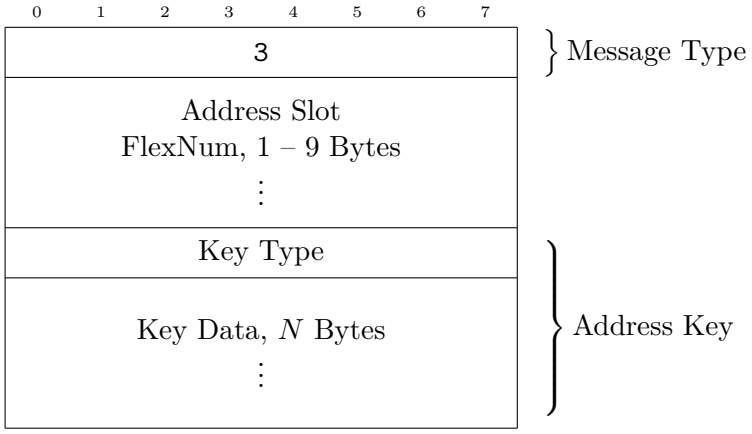


Abbildung 2.18.: Interservice-Protokoll – Trusted Switch Message

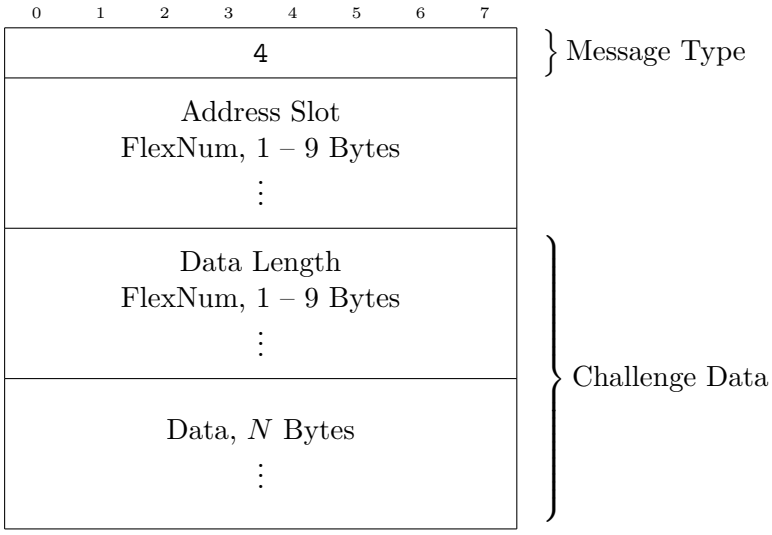


Abbildung 2.19.: Interservice-Protokoll – Crypto Challenge Request Message

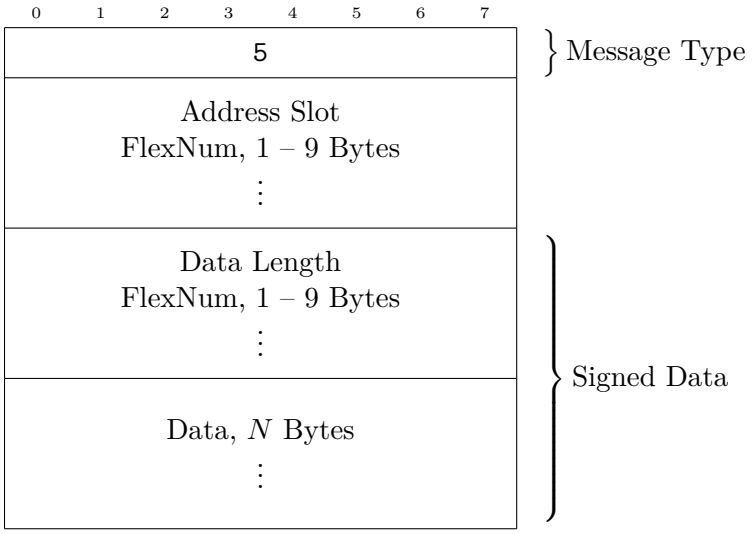


Abbildung 2.20.: Interservice-Protokoll – Crypto Challenge Reply Message

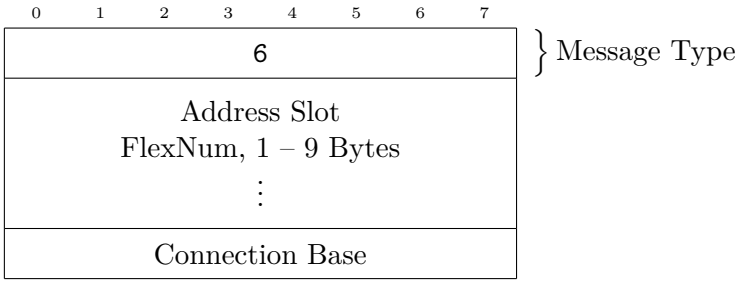


Abbildung 2.21.: Interservice-Protokoll – Connection Base Notice Message

2.8.7.6. Crypto Challenge Reply

Die Crypto Challenge Reply Message wird als Antwort auf eine Crypto Challenge Request Message gesendet und enthält die Daten der gelösten Crypto Challenge.

Diese Message wird vom Empfänger nur dann akzeptiert, wenn sie zuvor durch Senden einer Crypto Challenge Request Message angefordert wurde.

2.8.7.7. Connection Base Notice

Die Connection Base Notice Message wird als Antwort auf eine Crypto Challenge Reply Message gesendet und benachrichtigt den Empfänger über die aktuelle Connection Base der vom angegebenen Address Slot referenzierten Adresse.

Diese Message stellt keine Anforderungen an die aktuelle Connection Base und kann auch gesendet werden, ohne vorher angefordert worden zu sein.

2.8.7.8. Network Join Notice

Die Network Join Notice Message benachrichtigt den Empfänger darüber, dass der sendende DCL-Service mit der vom angegebenen Address Slot referenzierten Adresse dem vom

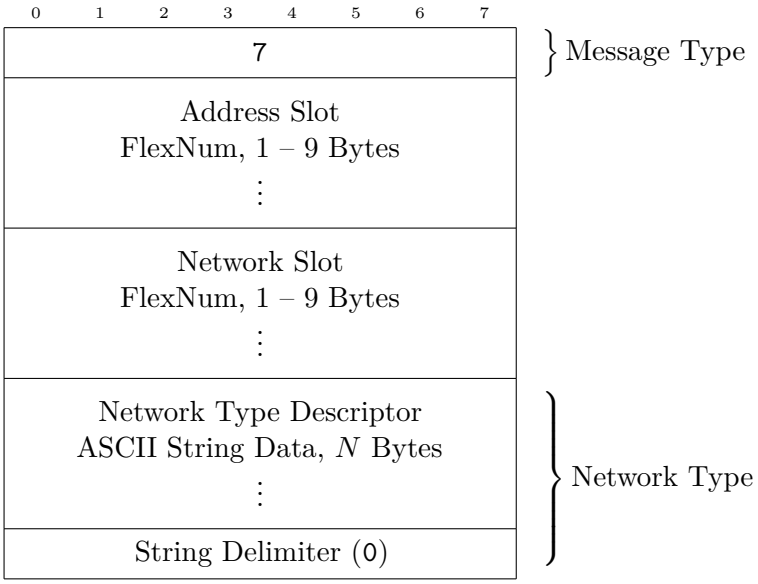


Abbildung 2.22.: Interservice-Protokoll – Network Join Notice Message

angegebenen Network Slot referenzierten Netzwerk beigetreten ist. Sollte der sendende DCL-Service diesem Netzwerk zuvor noch mit keiner Adresse beigetreten sein, so wird dieser Network Slot mit dieser Message angelegt. Das von diesem Network Slot referenzierte Netzwerk wird durch den angegebenen Network Type Identifier spezifiziert. Der Empfänger wird in diesem Fall mit dieser Nachricht außerdem darüber in Kenntnis gesetzt, dass ab jetzt Nachrichten zum Routing in diesem Netzwerk an den sendenden DCL-Service übermittelt werden können. Das Feld des Network Type Identifier bleibt in den folgenden Network Join Notice Messages, die sich auf den angegeben Network Slot beziehen, leer.

Diese Message wird vom Empfänger nur dann akzeptiert, wenn die Connection Base des angegebenen Address Slot mindestens `trusted` entspricht.

2.8.7.9. Network Leave Notice

Die Network Leave Notice Message benachrichtigt den Empfänger darüber, dass der sendende DCL-Service mit der vom angegebenen Address Slot referenzierten Adresse aus dem vom angegebenen Network Slot referenzierten Netzwerk austritt. Sollte der sendende DCL-Service aktuell mit keiner anderen Adresse diesem Netzwerk beigetreten sein, so wird der Empfänger mit dieser Nachricht außerdem darüber in Kenntnis gesetzt, dass ab jetzt keine Nachrichten mehr zum Routing in diesem Netzwerk an den Sender übermittelt werden können.

Diese Message wird vom Empfänger nur dann akzeptiert, wenn die Connection Base des angegebenen Address Slot mindestens `trusted` entspricht.

2.8.7.10. Integration Request

Die Integration Request Message fordert den Empfänger auf, den sendenden DCL-Service in die gemeinsamen Netzwerke zu integrieren. Konkret bedeut das, dafür zu sorgen, dass

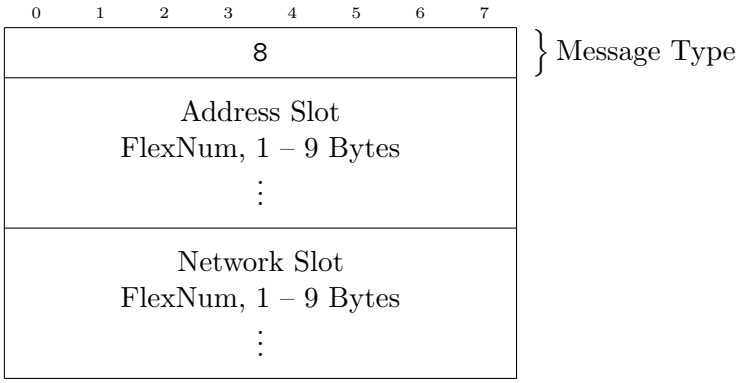


Abbildung 2.23.: Interservice-Protokoll – Network Leave Notice Message

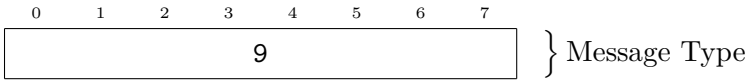


Abbildung 2.24.: Interservice-Protokoll – Integration Request Message

der sendende DCL-Service so mit anderen DCL-Services verbunden wird, dass das Routing der Adressen des sendenden DCL-Service möglichst effizient funktionieren kann.

Diese Message wird vom Empfänger nur dann akzeptiert, wenn der sendende DCL-Service zuvor mit mindestens einer Adresse mindestens einem Netzwerk beigetreten ist.

2.8.7.11. Integration Connect Request

Die Integration Connect Request Message fordert den Empfänger auf, eine Verbindung zur angegebenen LLA aufzubauen und wird als Antwort auf eine frühere Integration Request Message gesendet. Sie wird benötigt, um neue Teilnehmer eines Netzwerks mit ihren entsprechenden Nachbarn verbinden zu können.

Diese Message wird vom Empfänger nur dann akzeptiert, wenn sie zuvor durch Senden einer Integration Request Message angefordert wurde.

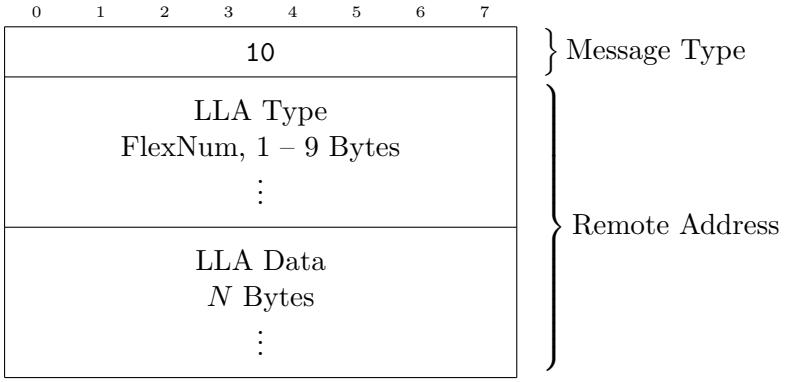


Abbildung 2.25.: Interservice-Protokoll – Integration Connect Request Message

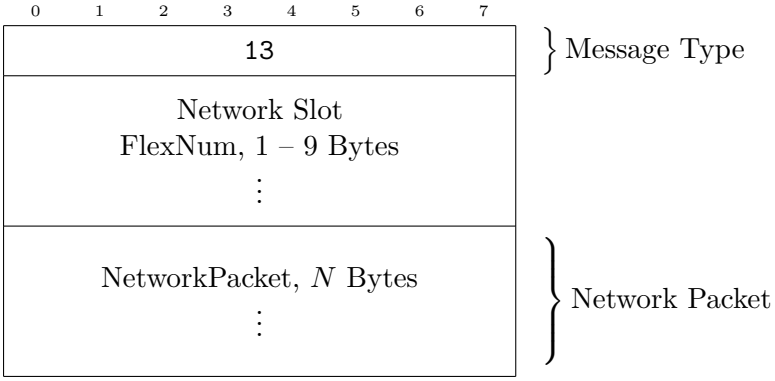


Abbildung 2.26.: Interservice-Protokoll – Network Packet Message

2.8.7.12. Network Packet

Die Network Packet Message enthält ein Network Packet, das vom Empfänger in dem durch den angegebenen Network Slot referenzierten Netzwerk weitergeleitet werden soll.

Diese Message wird vom Empfänger nur dann akzeptiert, wenn der sendende DCL-Service zuvor mit mindestens einer Adresse dem durch den angegebenen Network Slot referenzierten Netzwerk beigetreten ist.

2.8.7.13. Application Channel Slot Assign

Die Application Channel Slot Assign Message benachrichtigt den Empfänger darüber, dass Nachrichten eines Application Channel zwischen den beiden durch die angegebenen Address Slots referenzierten Adressen auf dem angegebenen Application Channel Slot entgegen genommen werden.

Application Channels sind verlässliche Kommunikationkanäle zwischen zwei Anwendungen. Siehe dazu 2.10 Application Channels, Seite 48.

Diese Message wird vom Empfänger nur dann akzeptiert, wenn die Connection Base des angegebenen Address Slot auf dem sendenden DCL-Service mindestens `trusted` entspricht und der angegebene Address Slot auf dem Empfänger existiert.

2.8.7.14. Application Channel Data

Die Application Channel Data Message wird dazu benutzt, um Daten des durch den angegebenen Application Channel Slot referenzierten Application Channel zu übertragen.

Diese Message wird vom Empfänger nur dann akzeptiert, wenn er den angegebenen Application Channel Slot zuvor mit einer Application Channel Slot Assign Message angelegt hat.

2.9. Application-to-Service-Protokoll

2.9.1. Einleitung

Das Application-to-Service-Protokoll wird zur Kommunikation zwischen DCL-Services und über DCL kommunizierenden Anwendungen verwendet. Es dient zur Bekanntgabe von

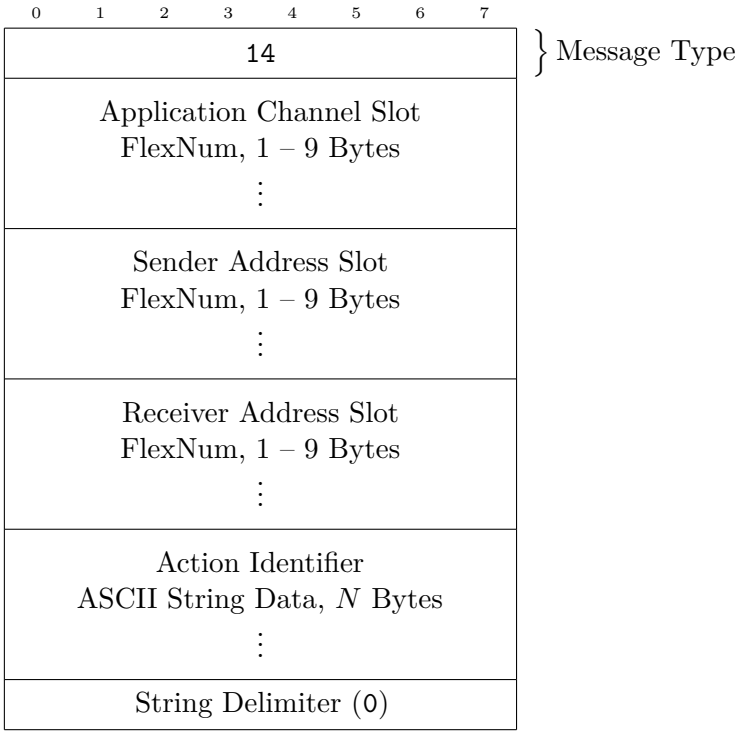


Abbildung 2.27.: Interservice-Protokoll – Application Channel Slot Assign Message

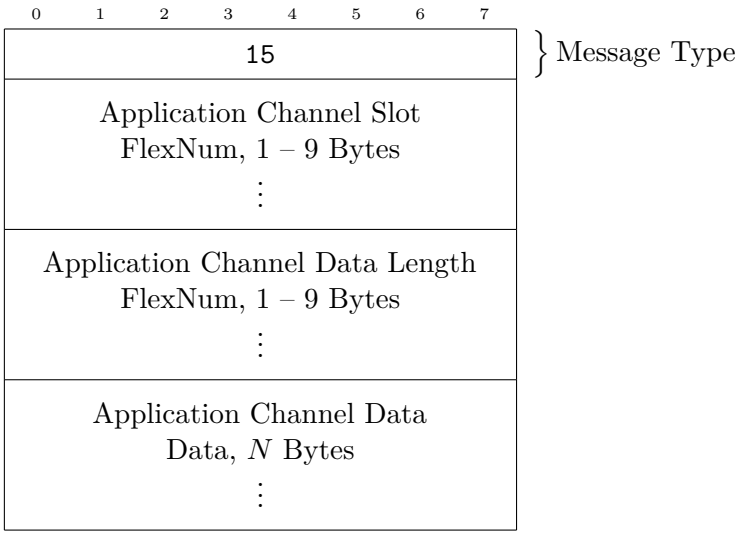


Abbildung 2.28.: Interservice-Protokoll – Application Channel Data Message

öffentlichen Schlüsseln, die als Adresse verwendet werden, zum Beitritt zu Netzwerken, zum Senden von verbindungslosen Paketen, zur Verbindung von Application Channels und zur Übertragung von über Application Channels gesendeten Nutzdaten.

Application Channels sind verlässliche Kommunikationkanäle zwischen zwei Anwendungen. Siehe dazu 2.10 Application Channels, Seite 48.

Dieses Unterkapitel beschreibt das Application-to-Service-Protokoll in Revision 0.

2.9.2. Sicherheit

Das Application-to-Service-Protokoll ist zur Kommunikation zwischen einem DCL-Service und einer Anwendung, die auf der selben Maschine wie der DCL-Service läuft, vorgesehen. Die Sicherheitsvorkehrungen des Protokolls sind für den Einsatz auf Verbindungen basierend auf dem Transmission Control Protocol (TCP), die nur über das Loopback-Interface des lokalen Rechners und nicht über ein Netzwerk übertragen werden, angepasst. Über das Application-to-Service-Protokoll werden unter anderem Anweisungen zum Verschlüsseln von Daten gegeben. Bei solch einer Anweisung kommt es zuerst zur Klartextübertragung dieser Daten und kurze Zeit später zur erneuten Übertragung dieser Daten in verschlüsselter Form. Die Möglichkeit, eine Application-to-Service-Verbindung abzuhören, würde ein sehr großes Sicherheitsrisiko darstellen, da das Application-to-Service-Protokoll keinerlei Verschlüsselung der Application-to-Service-Verbindung vorsieht. Die Application-to-Service-Verbindung sollte deshalb immer nur auf dem Localhost erfolgen und niemals über ein Netzwerk.

2.9.3. Network Endpoint Slots

Nach dem derzeitigem Entwicklungsstand des Application-to-Service-Protokoll kann eine Anwendung auf einer Application-to-Service-Verbindung zwar nur eine Adresse bekanntgeben, mit dieser Adresse kann jedoch mehreren Netzwerke beigetreten werden. Eine Kombination aus der bekanntgegebenen Adresse und einem Netzwerk, dem die Anwendung mit dieser Adresse beigetreten ist, ergibt einen Network Endpoint. Network Endpoints innerhalb von Application-to-Service-Verbindungen entsprechen den Endpunkten innerhalb von Interservice Channels. Um sich in Messages einfach auf diese Network Endpoints beziehen zu können, werden im Application-to-Service-Protokoll Network Endpoint Slots verwendet. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Zahlen, die jeweils auf genau einen Network Endpoint, also eine Kombination aus Adresse und Netzwerk, verweisen.

2.9.4. Remote Keys

Um zu verhindern, dass der private Schlüssel des Schlüsselpaars, dessen öffentlicher Schlüssel als Adresse verwendet wird, zum DCL-Service übertragen werden muss und trotzdem die zum Adressbeweis nötigen kryptographischen Operationen ausführen zu können, kommen in der Implementierung des DCL sogenannte Remote Keys zur Anwendung.

Dabei führt der DCL-Service die kryptographischen Operationen, die beispielsweise für Crypto Challenges zum Beweis der Echtheit der Adresse notwendig sind, nicht selbst aus, sondern leitet diese an die Anwendung weiter.

Konkret sendet der DCL-Service dazu Key Encrypt Messages zum Verschlüsseln von unverschlüsselten Daten und Key Decrypt Messages zum Entschlüsseln von verschlüsselten Daten an die Anwendung. Diese Antwortet nach Ausführung der Operation mit jeweils

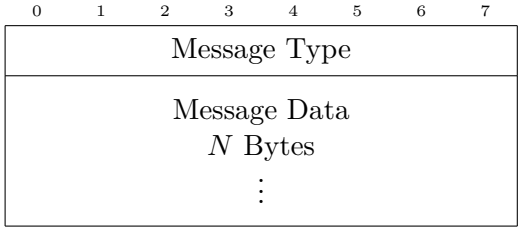


Abbildung 2.29.: Application-to-Service-Protokoll – Genereller Messageaufbau

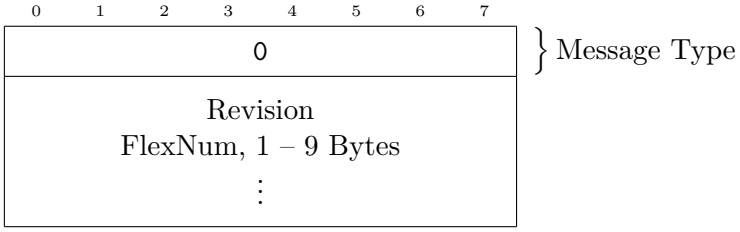


Abbildung 2.30.: Application-to-Service-Protokoll – Revision Message

einer Key Crypto Response Message, die die verschlüsselten bzw. die entschlüsselten Daten enthält.

In der Implementierung des DCL-Service werden Remote Keys dabei als normale `Key`-Objekte dargestellt, die bei Aufruf der `encrypt()`- und `decrypt()`-Methoden die Anfragen samt Daten an die Anwendung weiterleiten und die Kommunikation in einem separaten Thread abwickeln. Der Methodenaufruf blockt dabei so lange, bis die Anfrage von der Anwendung bearbeitet wurde.

2.9.5. Initialisierung

Die Kommunikation über das Application-to-Service-Protokoll wird mit der Aushandlung der zu verwendenden Revision des Protokolls begonnen. Dazu werden, beginnend mit der Anwendung, so lange Revision Messages abwechselnd zwischen DCL-Service und Anwendung gesendet, bis die letzten zwei übertragenen Revision Messages die selben Revisionsnummern enthalten.

2.9.6. Messageaufbau

Eine Message im Application-to-Service-Protokoll ist generell so aufgebaut, dass ein einzelnes Byte am Anfang der Message den Typ angibt, anhand dessen die restliche Nachricht interpretiert wird.

2.9.7. Messages

2.9.7.1. Revision

Die Revision Message enthält eine Versionsnummer in Form eines FlexNum-Components und wird benutzt, um am Beginn der Verbindung die verwendete Revision des Application-to-Service-Protokoll auszuhandeln.

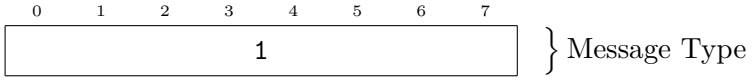


Abbildung 2.31.: Application-to-Service-Protokoll – Generate Key Message

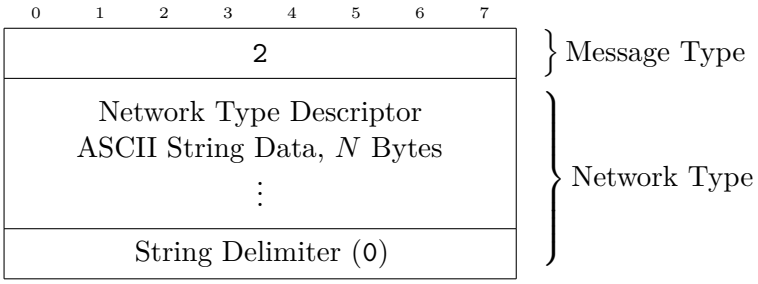


Abbildung 2.32.: Application-to-Service-Protokoll – Join Network Message

2.9.7.2. Generate Key

Die Generate Key Message kann von der Anwendung benutzt werden, wenn keine fixe Adresse notwendig ist und der DCL-Service die Generierung einer temporären Adresse übernehmen soll. Die Übertragung von Messages für kryptographische Funktionen wie der Key Encrypt Message, der Key Decrypt Message oder der Key Crypto Response Message fällt dadurch weg. Die Generate Key Message ersetzt außerdem die Address Public Key Message.

2.9.7.3. Join Network

Die Join Network Message wird von der Anwendung benutzt, um mit der Adresse einem bestimmten Netzwerk beizutreten. Nach erfolgreichem Beitritt antwortet der DCL-Service mit einer Slot Assign Message, die den Network Endpoint Slot für die Adresse und dieses Netzwerk angibt.

2.9.7.4. Slot Assign

Die Slot Assign Message wird vom DCL-Service als Antwort auf eine Join Network Message bzw. Join Default Networks Message gesendet und beinhaltet den Network Endpoint Slot des neu angelegten Network Endpoint, dessen Network Type und die Daten, die innerhalb dieses Netzwerks als skalierte Adresse zum Routing verwendet werden. Letztere würden im Fall des Circle Network also den Daten entsprechen, die durch das unter 2.4.5.2 Adressverkürzung auf Seite 12 angeführte Codebeispiel generiert werden.

2.9.7.5. Data

Die Data Message wird sowohl von DCL-Service als auch Anwendung benutzt, um verbindungslose Pakete zu übertragen. Die Message enthält den Network Endpoint Slot, von dem aus die Nachricht gesendet wird bzw. an den das Paket adressiert ist, je nach Senderichtung der Message die skalierte Ziel- oder Quelladresse des verbindungslosen Pakets und die Nutzdaten des Pakets. Die Adresse entspricht beim Senden der Data Message

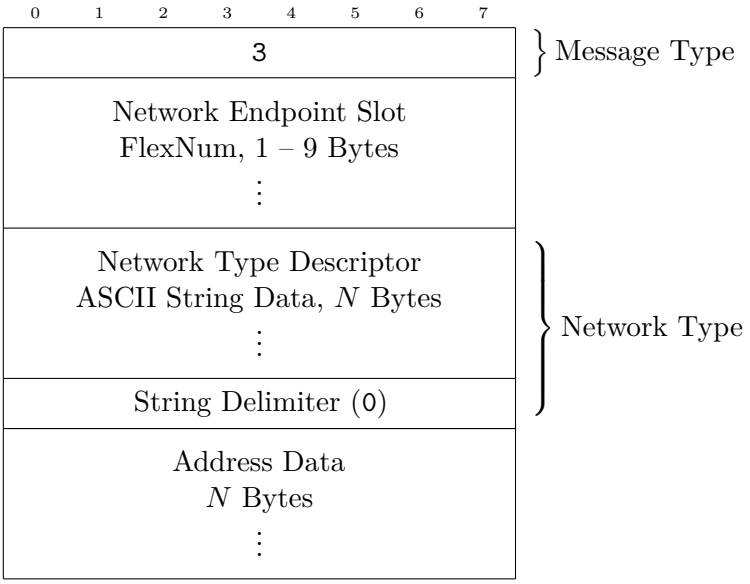


Abbildung 2.33.: Application-to-Service-Protokoll – Slot Assign Message

von der Anwendung zum DCL-Service der Zieladresse, beim Senden vom DCL-Service zur Anwendung der Quelladresse des Pakets.

2.9.7.6. Address Public Key

Die Address Public Key Message wird von der Anwendung benutzt, um den öffentlichen Schlüssel bekanntzugeben, der als Adresse verwendet werden soll. Alternativ kann durch Senden einer Generate Key Message auch der DCL-Service aufgefordert werden, für die Anwendung ein neues, temporäres Schlüsselpaar für die Verwendung als Adresse zu generieren.

2.9.7.7. Join Default Networks

Die Join Default Networks Message kann von der Anwendung gesendet werden, wenn an das Netzwerk keine besonderen Anforderungen gestellt werden und dem gängigsten Netzwerk bzw. den gängigsten Netzwerken beigetreten werden soll. Nach erfolgreichem Beitritt antwortet der DCL-Service mit einer oder mehreren Slot Assign Messages, die die Network Endpoint Slots für die Adresse und die Netzwerke angeben.

2.9.7.8. Key Encrypt

Die Key Encrypt Message wird vom DCL-Service benutzt, um die Anwendung aufzufordern, die enthaltenen Daten mit dem privaten Schlüssel zu verschlüsseln, der aus dem selben Schlüsselpaar stammt wie der als Adresse verwendete und mit der Address Public Key Message bekanntgegebene öffentliche Schlüssel. Die Anwendung übermittelt die verschlüsselten Daten durch Senden einer Key Crypto Response Message.

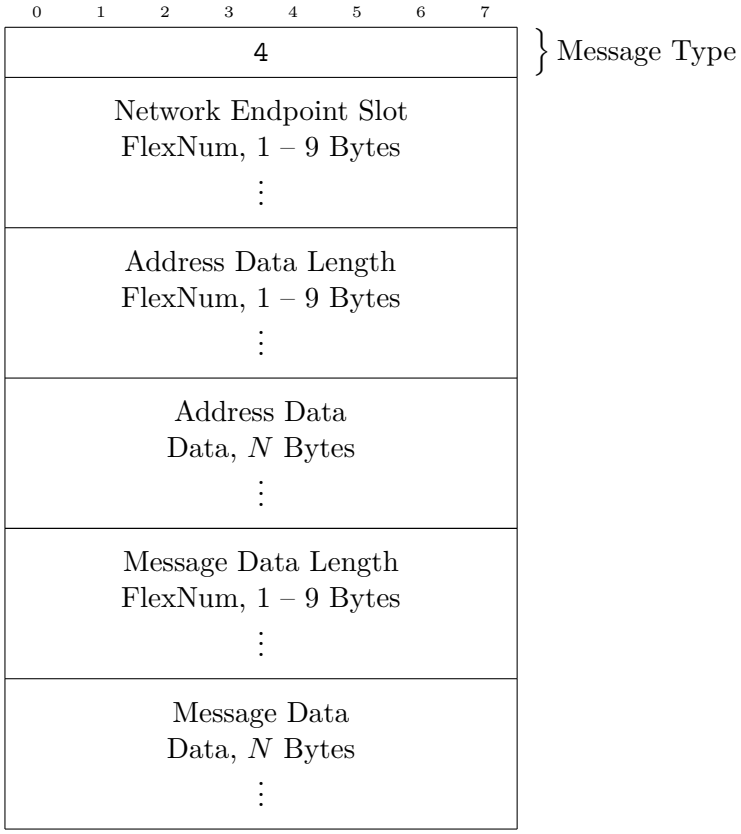


Abbildung 2.34.: Application-to-Service-Protokoll – Data Message

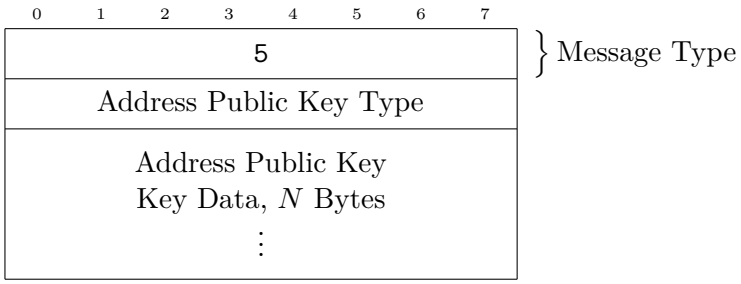


Abbildung 2.35.: Application-to-Service-Protokoll – Address Public Key Message

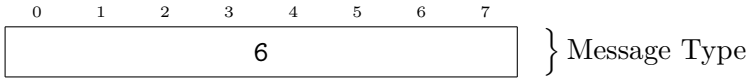


Abbildung 2.36.: Application-to-Service-Protokoll – Join Default Networks Message

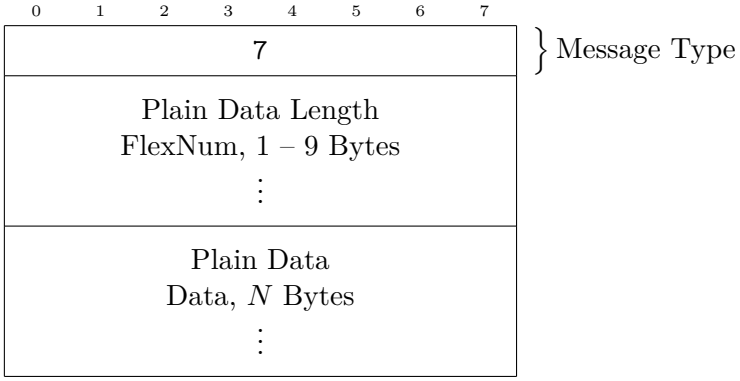


Abbildung 2.37.: Application-to-Service-Protokoll – Key Encrypt Message

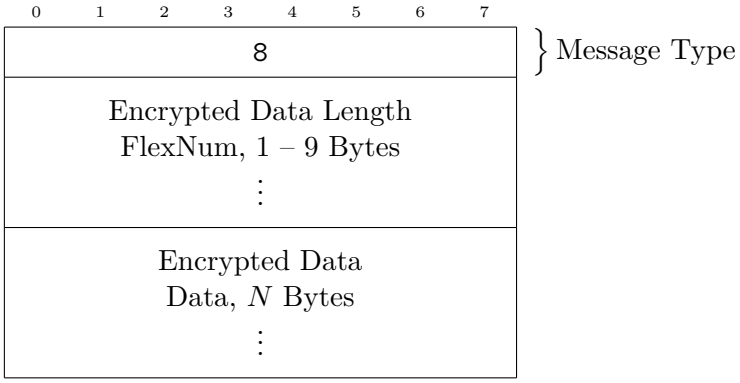


Abbildung 2.38.: Application-to-Service-Protokoll – Key Decrypt Message

2.9.7.9. Key Decrypt

Die Key Encrypt Message wird vom DCL-Service benutzt, um die Anwendung aufzufordern, die enthaltenen Daten mit dem privaten Schlüssel zu entschlüsseln, der aus dem selben Schlüsselpaar stammt wie der als Adresse verwendete und mit der Address Public Key Message bekanntgegebene öffentliche Schlüssel. Die Anwendung übermittelt die entschlüsselten Daten durch Senden einer Key Crypto Response Message.

2.9.7.10. Key Crypto Response

Die Key Crypto Response Message wird von der Anwendung benutzt, um die verschlüsselten Daten einer vorhergehenden Key Encrypt Message bzw. die entschlüsselten Daten einer vorhergehenden Key Decrypt Message zurück an den DCL-Service zu übermitteln.

2.9.7.11. Application Channel Outgoing Request

Die Application Channel Outgoing Request Message wird von der Anwendung benutzt, um einen Application Channel, also eine verlässliche Verbindung zu einer entfernten Anwendung, anzufordern. Die Message überträgt den Network Endpoint Slot, von dem aus der Application Channel angefragt werden soll, den Application Channel Slot, dem

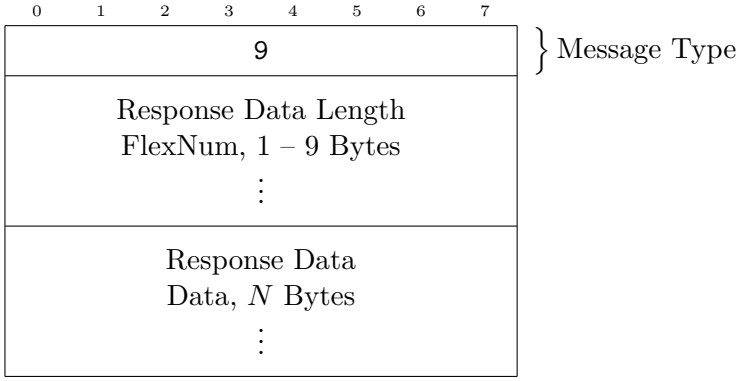


Abbildung 2.39.: Application-to-Service-Protokoll – Key Crypto Response Message

der neue Application Channel zugewiesen werden soll, den Action Identifier des neuen Application Channel und den öffentlichen Schlüssel, der vom Ziel als Adresse benutzt wird.

Für Application Channels, siehe 2.10 Application Channels, Seite 48.

2.9.7.12. Application Channel Incoming Request

Die Application Channel Incoming Request Message wird vom DCL-Service benutzt, um die Anwendung über eine eingehende Anfrage über einen neuen Application Channel zu benachrichtigen. Die Message überträgt den Network Endpoint Slot, an den die Anfrage gerichtet ist, den Action Identifier des neuen Application Channel, den öffentlichen Schlüssel, den die Quelle der Anfrage als Adresse verwendet, die LLA des DCL-Service, von dem die Anfrage gesendet wurde und die Ignore Data, die als Präfix für NAT-Traversal-Pakete verwendet werden sollen.

2.9.7.13. Application Channel Accept

Die Application Channel Accept Message wird von der Anwendung benutzt, um eine eingehende Anfrage über einen neuen Application Channel zu bestätigen. Die Message überträgt den Application Channel Slot, dem der neue Application Channel zugewiesen werden soll. Außerdem überträgt die Message eine Kopie der Daten der ihr vorhergehenden Application Channel Incoming Request Message, also den Network Endpoint Slot, an den die ursprüngliche Anfrage gerichtet war, den Action Identifier des neuen Application Channel, den öffentlichen Schlüssel, den die Quelle der ursprünglichen Anfrage als Adresse verwendet, die LLA des DCL-Service, von dem die Anfrage gesendet wurde und die Ignore Data, die als Präfix für NAT-Traversal-Pakete verwendet werden sollen.

2.9.7.14. Application Channel Connected

Die Application Channel Connected Message wird vom DCL-Service benutzt, um die Anwendung darüber in Kenntnis zu setzen, dass der vom angegebenen Application Channel Slot referenzierte Application Channel erfolgreich verbunden wurde und mittels Application Channel Data Message Daten darüber übertragen werden können.

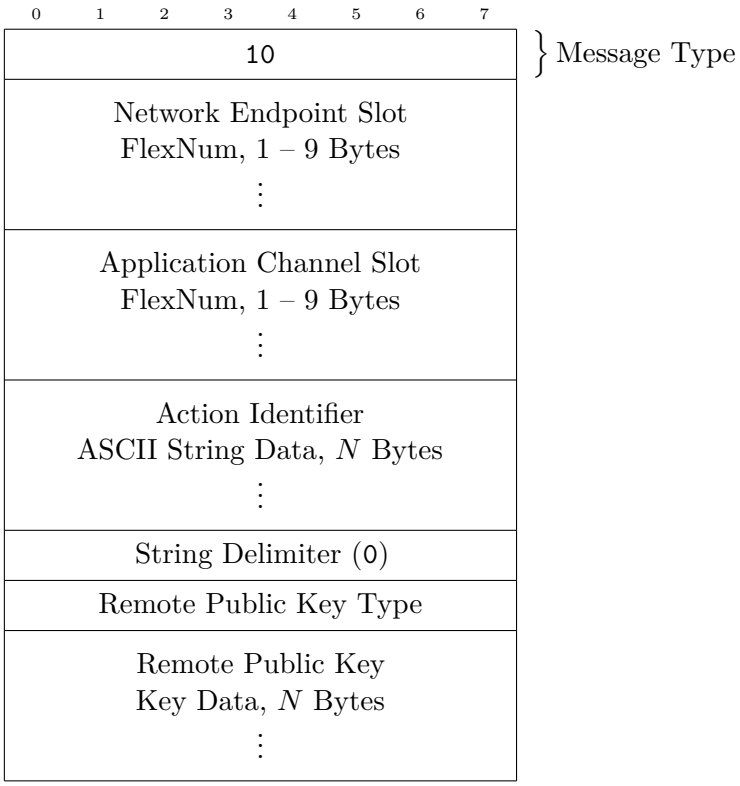


Abbildung 2.40.: Application-to-Service-Protokoll – Application Channel Outgoing Request Message

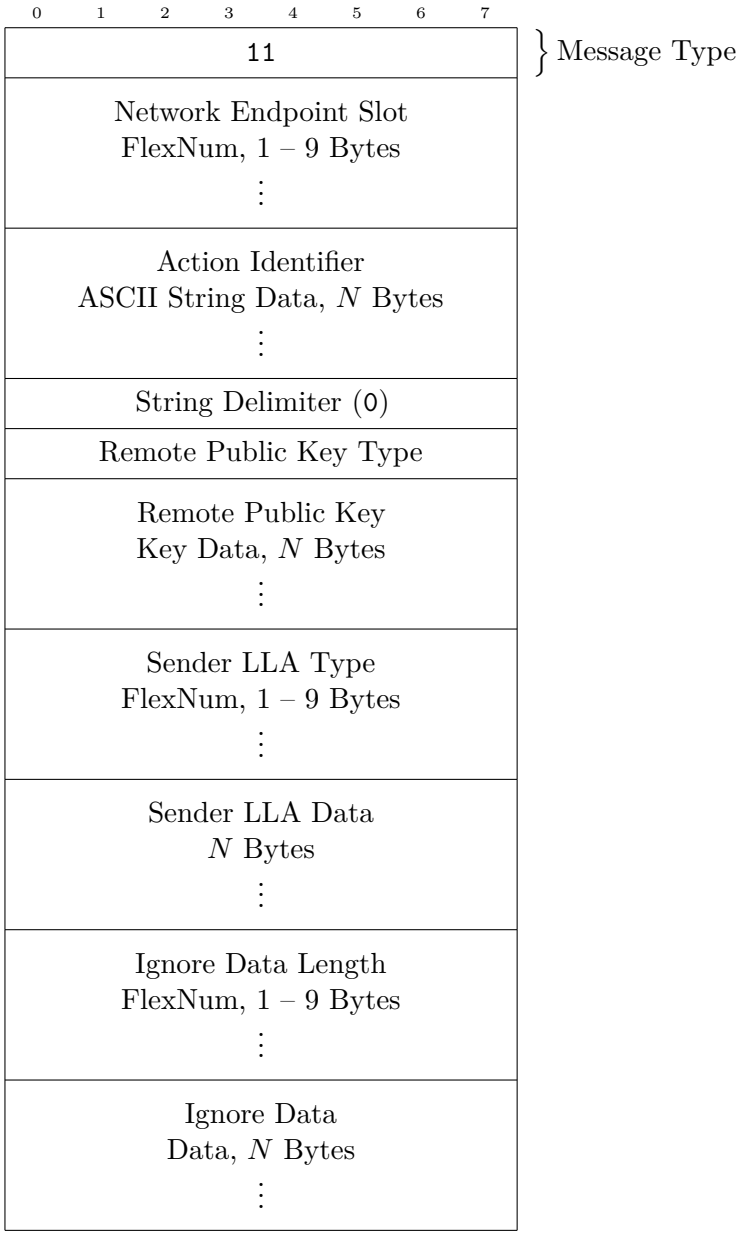


Abbildung 2.41.: Application-to-Service-Protokoll – Application Channel Incoming Request Message

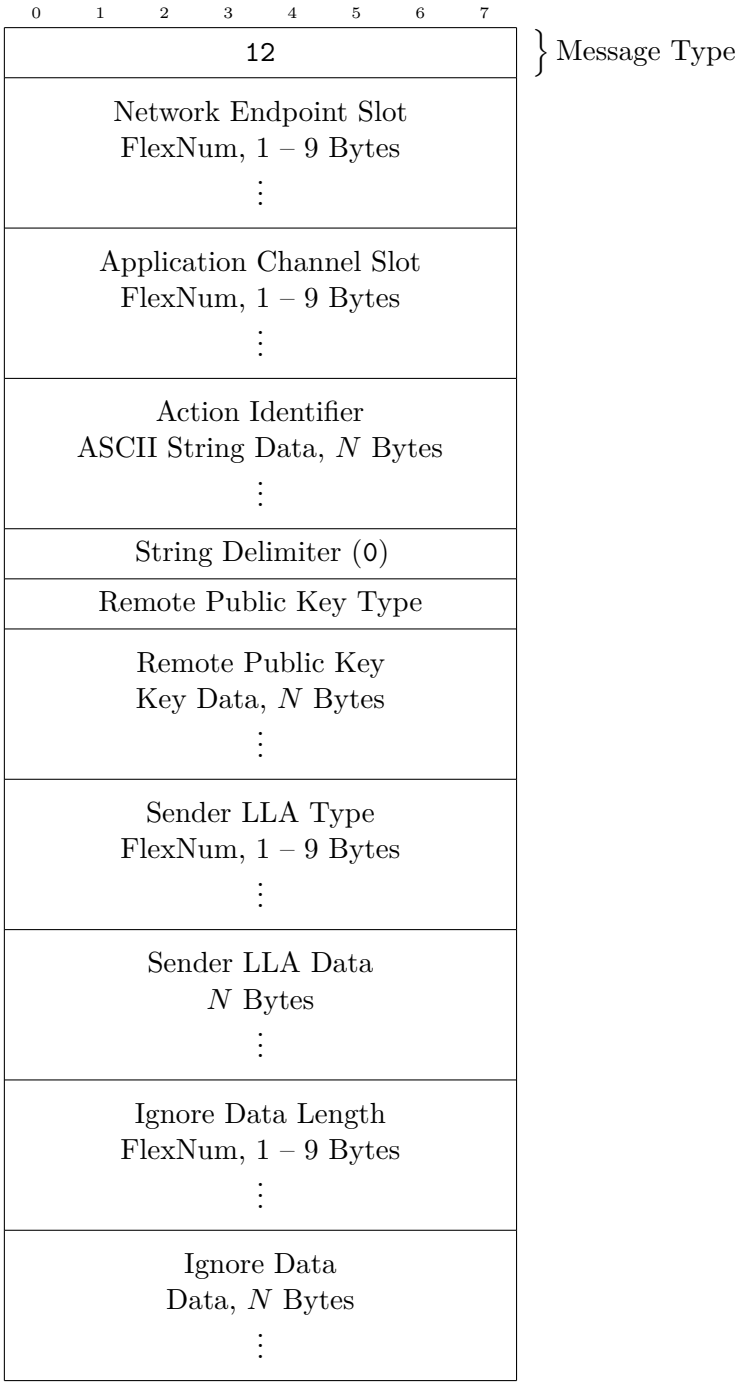


Abbildung 2.42.: Application-to-Service-Protokoll – Application Channel Accept Message

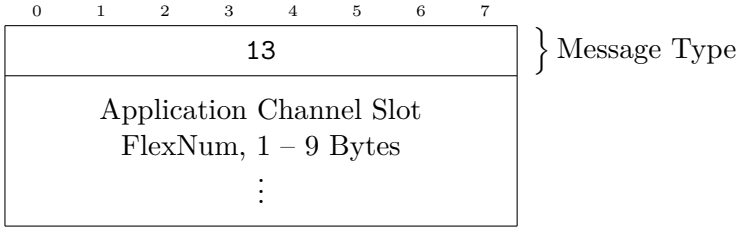


Abbildung 2.43.: Application-to-Service-Protokoll – Application Channel Connected Message

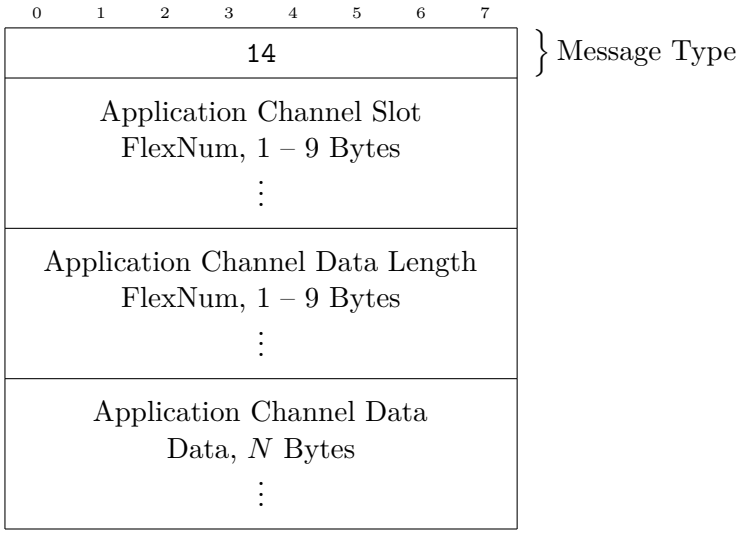


Abbildung 2.44.: Application-to-Service-Protokoll – Application Channel Data Message

2.9.7.15. Application Channel Data

Die Application Channel Data Message wird von sowohl Anwendung als auch DCL-Service benutzt, um Daten aus dem vom angegebenen Application Channel Slot referenzierten Application Channel zu übertragen.

2.9.7.16. Key Encryption Block Size Request

Die Key Encryption Block Size Request Message wird vom DCL-Service benutzt, um von der Anwendung die maximal zulässige Datenmenge abzufragen, die mit dem als Adresse angegebenen öffentlichen Schlüssel in einem Zug verschlüsselt werden kann. Die Anwendung antwortet unmittelbar darauf mit einer Key Number Response Message, die diese Datenmenge in Bytes enthält.

2.9.7.17. Key Number Response

Die Key Number Response Message wird von der Anwendung benutzt, um auf Anfragen bezüglich Zahlenwerte des als Adresse verwendeten öffentlichen Schlüssel zu antworten. Der Zahlenwert wird in Form eines FlexNum-Component übertragen. Derzeit ist die einzige

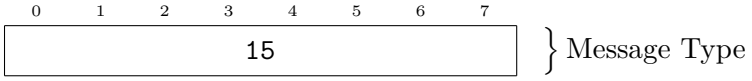


Abbildung 2.45.: Application-to-Service-Protokoll – Key Encryption Block Size Request Message

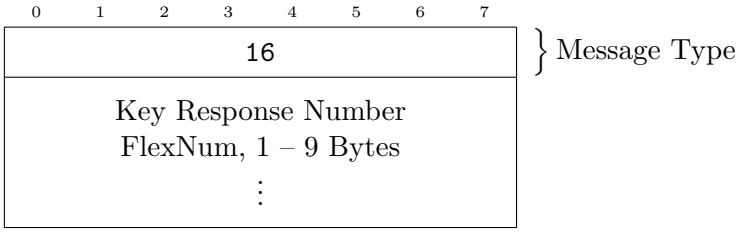


Abbildung 2.46.: Application-to-Service-Protokoll – Key Number Response Message

Anfrage, die eine Antwort durch eine Key Number Response Message erfordert, die Key Encryption Block Size Request Message.

2.10. Application Channels

2.10.1. Einleitung

Um Anwendungen, deren Kommunikation über den DCL geleitet werden soll, nicht nur das Senden von verbindungslosen Paketen zu ermöglichen, sondern auch die Übertragung von Daten durch verschlüsselte, performante und verlässliche Verbindungen, gibt es im DCL sogenannte Application Channels. Zur Zeit sind das direkte Kanäle zwischen jenen zwei DCL-Services, die mit den Anwendungen, zwischen denen der Application Channel besteht, via Application-to-Service-Verbindungen verbunden sind. Eine Implementierung eines zweiten Typs von Application Channels, bei dem die DCL-Services, die die Anwendungen an den DCL anbinden, nicht direkt miteinander verbunden sind, ist für die Zukunft nicht ausgeschlossen.

2.10.2. Sicherheit

Die durch einen Application Channel übertragenen Daten werden im Interservice Channel mit der Application Channel Data Message (2.8.7.14 Application Channel Data, Seite 35) zwischen den DCL-Services übermittelt. Der Link, über den der Interservice Channel übertragen wird, ist dabei verschlüsselt. Die Daten des Application Channel werden nicht weiter verschlüsselt. Da Application Channels aber immer zwischen genau zwei DCL-Services übertragen werden, ist neben der Verschlüsselung des Links auch keine weitere Verschlüsselung notwendig.

Selbstverständlich kann aber auf der Seite der Anwendung eine zusätzliche Verschlüsselungsschicht umgesetzt werden, sodass ausschließlich die verschlüsselten Daten über den Application Channel übertragen werden.

2.10.3. Aufbau

Für einen Application Channel müssen die beiden DCL-Services, die die Anwendungen an den DCL anbinden, direkt miteinander verbunden sein und über einen Interservice Channel miteinander kommunizieren. Beim Aufbau eines Application Channel gibt es deshalb zwei Fälle zu unterscheiden: der Fall, in dem die DCL-Services bereits miteinander verbunden sind und der Fall, in dem die DCL-Services noch nicht direkt miteinander verbunden sind.

Im zweiten Fall müssen die DCL-Services zusätzlich zu den Aktionen, die schon im ersten Fall notwendig sind, noch miteinander verbunden werden, wofür der Austausch ihrer LLAs und evtl. die Durchführung von NAT-Traversal notwenig sind.

Um diese Fälle in der Umsetzung nicht weiter behandeln zu müssen, werden die Anfragen für Application Channels über das Common Routed Interservice Protocol (CRISP) verschickt, welches unter 2.10.4 CRISP auf Seite 50 beschrieben wird.

Der DCL-Service, der die Anwendung an den DCL anbindet, die den Application Channel angefragt hat, sendet zum Aufbau eine CRISP Neighbor Request Message (siehe Abbildung 2.48, CRISP – Neighbor Request Message, Seite 51) über das Netzwerk, das die Anwendung in der Application Channel Outgoing Request Message über die Application-to-Service-Verbindung angegeben hat. Der Action Identifier aus der über die Application-to-Service-Verbindung gestellten Anfrage der Anwendung erhält das Präfix `org.dclayer.applicationchannel/` und wird in die Neighbor Request Message kopiert. Außerdem wird die LLA des lokalen DCL-Service in die Message übernommen, das Response-Flag auf `false` gesetzt und die Ignore Data eingefügt. Die Neighbor Request Message wird über das Netzwerk an die Adresse gesendet, die die Anwendung als Zieladresse des Application Channel angegeben hat.

Der entfernte DCL-Service, der die Neighbor Request Message empfängt, leitet die Anfrage per Application Channel Incoming Request Message über die Application-to-Service-Verbindung an die Anwendung weiter. Nimmt die Anwendung den Application Channel an, sendet diese als Antwort auf die Application Channel Incoming Request Message eine Application Channel Accept Message an den DCL-Service. Dieser antwortet danach wiederum dem ersten DCL-Service mit einer CRISP Neighbor Request Message, in der das Response-Flag auf `true` gesetzt wird, wodurch das Feld für die Ignore Data wegfällt. In die Message wird die LLA dieses DCL-Service eingetragen und der Action Identifier aus der vorhergehenden Neighbor Request Message kopiert. Sofern die beiden DCL-Services nicht bereits miteinander verbunden sind, sendet der DCL-Service neben der Neighbor Request Message gleichzeitig auch ein NAT-Traversal-Paket an die LLA des ersten DCL-Service, das aus der Ignore Data der zuvor empfangenen Message besteht, um ein möglicherweise notwendiges NAT-Traversal durchzuführen. Sollte kein NAT-Gerät die Durchführung von NAT-Traversal erfordern und dieses NAT-Traversal-Paket deshalb den anderen DCL-Service erreichen, so wird das Paket dort ignoriert, da es aus der zuvor übermittelten Ignore Data besteht. Für nähere Informationen zu NAT und NAT-Traversal siehe 2.6 NAT-Traversal, Seite 17.

Anschließend sendet der erste DCL-Service eine normale Verbindungsanfrage an die in der eben empfangenen Neighbor Request Message angeführte LLA, sofern die beiden DCL-Services nicht bereits verbunden sind. Die Anfrage erreicht aufgrund des zuvor durchgeführten NAT-Traversals jedenfalls ihr Ziel und die Verbindung wird aufgebaut.

Sobald die Verbindung aufgebaut ist und der Interservice Channel bereit ist, benachrichtigen die DCL-Services die Anwendungen durch Senden einer Application Channel Connected

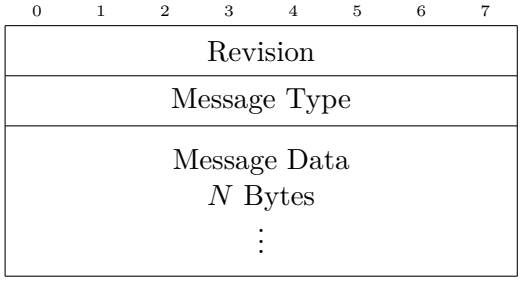


Abbildung 2.47.: CRISP – Genereller Messageaufbau

Message über die Application-to-Service-Verbindung darüber, dass der Application Channel verbunden wurde und Daten darüber übertragen werden können.

2.10.4. CRISP

Das Common Routed Interservice Protocol (CRISP) ist ein Protokoll, das zur verbindungslosen Kommunikation zwischen DCL-Services dient. Die Messages des Protokolls werden innerhalb des DCL durch Netzwerke geroutet. CRISP kann dabei unabhängig vom verwendeten Netzwerk genutzt werden.

Prinzipiell enthalten CRISP-Messages einen FlexNum-Component, der die Revisionsnummer des Protokolls angibt und einen weitere FlexNum-Component, der den Typ der Message angibt und anhand dessen der Rest der Message interpretiert wird.

Derzeit ist nur eine CRISP-Message definiert: die Neighbor Request Message.

Die Neighbor Request Message dient zur Anforderung einer direkten Verbindung zwischen zwei DCL-Services, die derzeit nur verbindungslos über ein Netzwerk kommunizieren können. Der primäre Verwendungszweck liegt derzeit im Aufbau von Application Channels, die Message kann aber auch zur Netzwerkintegration verwendet werden.

In der Neighbor Request Message wird ein Action Identifier übertragen, der den Grund für die Verbindungsanfrage enthält. Außerdem enthält die Message die LLA des Senders, ein Response-Flag, das angibt, ob es sich bei der Nachricht um eine Anfrage oder um eine Antwort handelt und Ignore Data, die für NAT-Traversal-Pakete verwendet werden können.

2.11. Packet Components

FlexNum

Ein FlexNum-Component ist ein Packet Component zur Übertragung einer bis zu 64 Bits langen Ganzzahl. Die Besonderheit liegt darin, dass der FlexNum-Component zwar Zahlen bis zu $2^{64} - 1$ übertragen kann, für Zahlen von 0 bis $2^7 - 1$, welche bereits mit 7 Bits darstellbar sind, trotzdem nur ein Byte zur Übertragung benötigt.

Das funktioniert durch Kodierung der Anzahl der folgenden Bytes im ersten Byte. Hierbei zeigt die Anzahl der führenden Bits mit dem Wert 1 im ersten Byte an, wie viele Bytes für die Darstellung der Zahl folgen. Ein Bit mit dem Wert 0 wird im ersten Byte also jedenfalls benötigt, um die Abfolge der führenden Bits mit dem Wert 1 zu beenden. Im Fall von Zahlen von 0 bis 127 ($2^7 - 1$) hat das erste Bit im ersten Byte den Wert 0 und

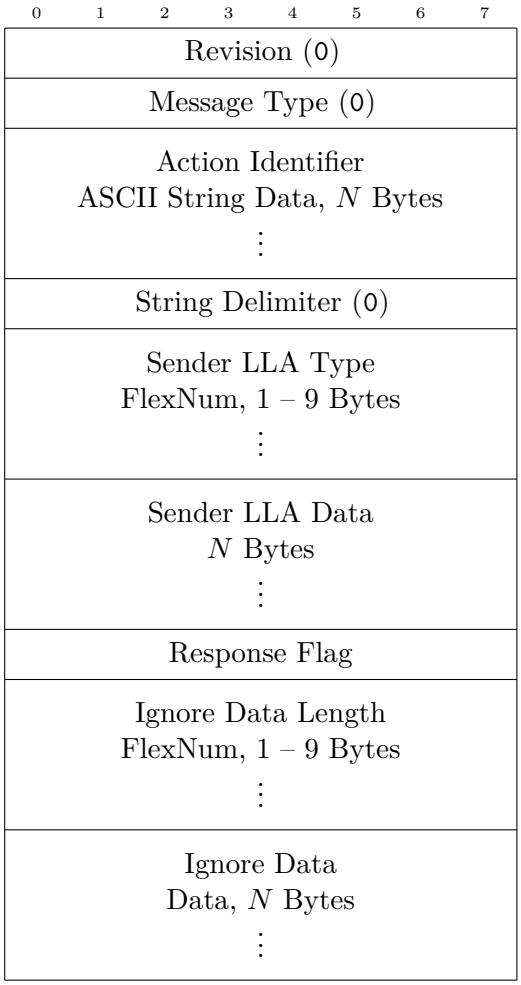


Abbildung 2.48.: CRISP – Neighbor Request Message

zeigt damit an, dass keine Bytes folgen. Die restlichen 7 Bits werden zur Darstellung der Zahl verwendet.

Nachfolgend ist eine Tabelle angeführt, die einen Überblick über die mit einem FlexNum-Component darstellbaren Wertbereiche, das Bitpräfix im Initialisierungsbyte, die Anzahl der folgenden Bytes sowie die Effizienz der Speichernutzung gibt.

Die Effizienz berechnet sich durch $\frac{log_2(n_{max})}{N_{bytes} \cdot 8}$, wobei N_{bytes} der Gesamtanzahl an benötigten Bytes entspricht und n_{max} der mit der jeweiligen Gesamtanzahl an Bytes maximal darstellbare Wert ist.

Erstes Byte	Wertbereich	Folgebytes	Effizienz
0XXXXXXX	0 – 127	0	87,50%
10XXXXXX	128 – 16511	1	87,57%
110XXXXX	16512 – 2113663	2	87,55%
1110XXXX	2113664 – 270549119	3	87,54%
11110XXX	270549120 – 34630287487	4	87,53%
111110XX	34630287488 – 4432676798591	5	87,52%
1111110X	4432676798592 – 567382630219903	6	87,52%
11111110	567382630219904 – 72624976668147839	7	87,52%
11111111	72624976668147840 – 18519369050377699455	8	88,90%

Tabelle 2.1.: FlexNum – Darstellbare Werte

Nachfolgend ist jener Teil des Quellcodes von DCL angeführt, welcher zum Lesen eines FlexNum-Component angewandt wird.

```
1  long readFlexNum() {
2
3      byte iByte = read();
4      int additionalBytes = 8;
5      long num = 0;
6      long offset = 0;
7
8      for(int i = 0; i < 8; i++) {
9          if((iByte & (0x80 >> i)) == 0) {
10             additionalBytes = i;
11             break;
12         }
13     }
14
15     num |= (iByte & ((0x100 >> additionalBytes) - 1));
16     for(int i = 0; i < additionalBytes; i++) {
17         num <<= 8;
18         num |= (read() & 0xFF);
19         offset += (0x80L << 7*i);
20     }
21
```

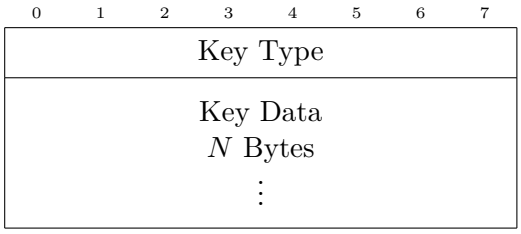


Abbildung 2.49.: Key-Component – Genereller Componentaufbau

```
22      return num + offset;
23
24  }
```

Listing 2.3: Lesen eines FlexNum-Component (Java)

KeyComponent

Der Key-Component dient zur Übertragung kryptographischer Schlüsselinformationen.

Dabei definiert der Packet Component einen grundsätzlichen Aufbau, bei dem ein einzelnes Byte am Beginn des Packet Component den Typ des Schlüssels angibt, anhand dessen die Daten eingelesen werden.

Derzeit kann der Key-Component nur RSA-Schlüssel übertragen.

2.11.0.1. RSA Key

Der RSA Key Component überträgt den Modul und den Exponenten des RSA-Schlüssels.

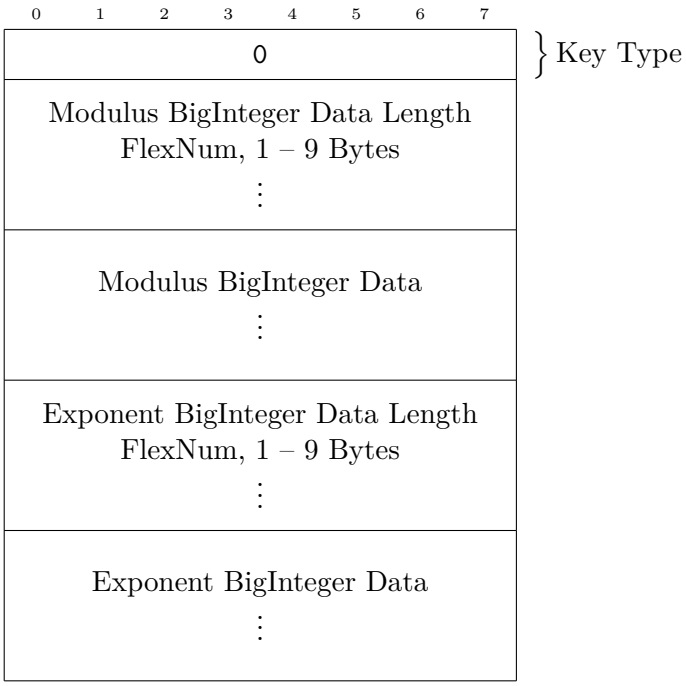


Abbildung 2.50.: Key-Component – RSA Key Component

3. sblit

3.1. Einleitung

Die Anwendung sblit dient der Verwaltung des Ordners und aller Unterordner, die die zu synchronisierenden Dateien enthalten. Sie erkennt automatisch, wenn eine Datei bearbeitet wird, entscheidet, ob eine Datei synchronisiert werden soll und behebt etwaige Dateikonflikte.

3.2. Konfiguration

3.2.1. Allgemein

Mit dem Konfigurieren von sblit werden benutzerspezifische Anforderungen berücksichtigt und ein reibungsloser Betrieb sichergestellt. Die Konfiguration wird unter Windows im Appdata-Verzeichnis im Ordner *SBLIT* und auf Unix-basierten Systemen im Home-Verzeichnis im Ordner *.SBLIT* gespeichert. Des Weiteren wird das Verzeichnis nur für den Benutzer zugänglich gemacht. Dieses Verzeichnis sollte jedoch nicht direkt editiert werden. Sämtliche Einstellungen erfolgen über das Einstellungsmenü, das über den System-Tray erreicht werden kann.

Die Konfiguration enthält folgende Dateien:

- freceivers.txt
- logs.txt
- receivers.txt
- rk.txt
- sblitDirectory.txt
- symmetricKey.txt
- uk.txt

3.2.2. freceivers.txt

freceivers.txt enthält eine Liste der Partnergeräte. Darin wird festgehalten, ob die eigenen Dateien auf Partnergeräten gespeichert werden. Eine detaillierte Beschreibung findet sich im Kapitel 3.5 Partnerschaften, Seite 78.

Die Adress-Bytes der Partnergeräte werden durch Beistriche getrennt in hexadezimaler Form gespeichert.
Zum Schreiben der Datei wird folgender Code verwendet:

```
1 private synchronized void updateDevices(File file, Map<String
    , String> devices) throws IOException {
2     String temp = devices.toString();
3     temp = temp.substring(1, temp.length() - 1);
4     Files.write(file.toPath(), temp.getBytes(),
          StandardOpenOption.TRUNCATE_EXISTING);
5 }
```

Listing 3.1: Schreiben der Gerätedatei freceivers.txt

file
: Der Parameter `file` legt die Datei fest, die die Adressen der Partnergeräte enthält. Diese Parametrisierung ist deswegen notwendig, weil die Methode `updateDevices(file, devices)` auch für das Schreiben von receivers.txt (siehe 3.2.4 receivers.txt, Seite 58) verwendet wird.

devices
: Der Parameter `devices` enthält die Liste aller Geräte, auf denen die Daten gespeichert werden.

IOException
: `IOException` weist auf einen Fehler beim Schreiben der Datei hin.

temp
: `temp` enthält den Inhalt, der in die Datei geschrieben werden soll.

In den Zeilen 3 und 4 werden die Adressen der Partnergeräte in das Speicherformat übertragen. In Zeile 4 werden die durch die `.toString()`-Methode eingefügten geschwungenen Klammern wieder entfernt. In Zeile 5 wird die im `file`-Parameter angegebene Datei mit den neuen Adressen aktualisiert. `StandardOpenOption.TRUNCATE_EXISTING` bedeutet, dass die Datei *freceivers.txt* überschrieben wird, falls diese schon vorhanden ist.

3.2.3. logs.txt

Das Logfile (siehe 3.3.2 Versionierung, Seite 59) *logs.txt* enthält die Versionsverläufe aller Dateien im sblit-Ordner und dessen Unterordnern im Format:
`Pfad1=Version1,Version2;Adresse1,Adresse2;Pfad2`

`Pfad1` bezeichnet den relativen Pfad vom sblit-Ordner zur betrachteten *Datei 1*. Die einzelnen Versionen (`Version1`, `Version2`) sind Hashwerte der *Datei 1* zu verschiedenen Zeitpunkten, deren Bytes in hexadezimaler Form im Logfile gespeichert werden. Analog dazu werden auch die Adressen der Geräte, die bereits die aktuellste Version der *Datei 1* enthalten, in hexadezimaler Form gespeichert. `Pfad2` ist der Pfad zu jener Datei, mit der *Datei 1* in Konflikt steht. Dieser ist optional.

Zum Schreiben des Logfiles, wird folgende Methode verwendet:

```
1  private synchronized void write(Map<String, LinkedList<Data>>
       versions, Map<String, LinkedList<Data>>
     synchronizedDevices, Map<String, String> conflictOf)
     throws IOException {
2      String logs = "";
3      if (versions.size() > 0) {
4          StringBuilder builder = new StringBuilder();
5          for (String path : versions.keySet()) {
6              if (new File(path).isFile()) {
7                  builder.append("\n");
8                  builder.append(path);
9                  builder.append("=");
10                 StringBuilder temp = new StringBuilder();
11                 for (Data data : versions.get(path)) {
12                     temp.append(",");
13                     temp.append(data.toString());
14                 }
15                 temp.append(";");
16                 //substring(1) wird verwendet, damit der
                      erste Beistrich entfernt wird.
17                 builder.append(temp.substring(1));
18                 temp = new StringBuilder();
19                 for (Data data : synchronizedDevices.get(path
                      )) {
20                     temp.append(",");
21                     temp.append(data.toString());
22                 }
23                 if(conflictOf.get(path) != null) {
24                     temp.append(";");
25                     temp.append(conflictOf.get(path));
26                 }
27                 //substring(1) wird verwendet, damit der
                      erste Beistrich entfernt wird.
28                 builder.append(temp.substring(1));
29             }
30         }
31         //substring(1) wird verwendet, damit der erste
              Zeilenumbruch entfernt wird.
32         s = builder.substring(1);
33     }
34     Files.write(logFile.toPath(), s.getBytes());
35 }
```

Listing 3.2: Schreiben des Logfiles *logs.txt*

versions

`versions` enthält alle im sblit-Ordner vorhandenen Dateien und deren Versionsverlauf.

synchronizedDevices
`synchronizedDevices` enthält alle im sblit-Ordner vorhandenen Dateien und die Geräte, auf denen die aktuellste Version bereits gespeichert ist.

logs
`logs` enthält die formatierten Versionsverläufe.

temp
Diese Variable enthält einen bestimmten Versionsverlauf, der gerade bearbeitet wird.

Die Methode `write` überprüft zunächst, ob Dateien in der Versionsliste `version` vorhanden sind. Anschließend werden die Dateien in ein Format gebracht, in dem sie gemeinsam mit dem Datei- und Versionsverlauf in die Datei geschrieben werden können. Falls eine Datei die Konfliktdatei einer anderen ist, wird diese ebenfalls in die Datei geschrieben.

3.2.4. receivers.txt

receivers.txt enthält eine Liste der Geräte, auf denen der sblit-Ordner synchronisiert werden soll. Zu diesen Geräten wird optional ein Name gespeichert, um es dem Benutzer zu erleichtern, den Überblick über die Geräte zu bewahren. Diese werden in der Form `Adresse=Name` gespeichert, wobei die Adresse wieder eine hexadezimale Darstellung der Bytes ist und der Name vom Nutzer beliebig vergeben werden kann.

3.2.5. rk.txt

rk.txt enthält den Private-Key des Gerätes. Dieser dient dazu, den Besitz Adresse zu beweisen und ist unbedingt geheim zu halten, da sonst fremde Geräte Identitätsklau begehen könnten. Der Private-Key wird in hexadezimaler Form in der Datei gespeichert. Die Datei ist außerdem versteckt.

3.2.6. sblitDirectory.txt

sblitDirectory.txt enthält den Pfad zum sblit-Ordner. Darin wird ein `String` gespeichert, der den Dateipfad enthält.

3.2.7. symmetricKey.txt

In *symmetricKey.txt* wird der symmetrische Schlüssel Symmetrischer Schlüssel festgehalten. Dieser dient zum Entschlüsseln der Daten, die auf den Partnergeräten gespeichert werden. Der symmetrische Schlüssel wird, wie alle binären Daten, in hexadezimaler Form in der Datei gespeichert. Zusätzlich ist diese Datei versteckt.

3.2.8. uk.txt

uk.txt enthält den Public-Key des Gerätes, der gleichzeitig die Geräteadresse ist. Beim Verbinden mit DCL wird diese Adresse bekanntgegeben. Der Schlüssel wird in hexadezimaler Form in der Datei gespeichert.

3.3. Datei-Verarbeitung

3.3.1. Allgemein

Ein wesentlicher Bestandteil von sblit ist die Verarbeitung der Dateien. Dazu zählen das Erkennen von Änderungen sowie das Erkennen und Lösen von Konflikten.

3.3.2. Versionierung

Ein wichtiges Mittel zur Verwaltung der Dateien ist das Logfile. Dieses enthält Informationen zu allen Dateien im sblit-Ordner. Dazu zählen der relative Dateipfad, eine Liste mit Hashes, die für die Versionierung zuständig sind, und eine Liste an Geräten, auf denen die Datei bereits auf dem aktuellen Stand ist. Weiters wird in dieser Datei festgehalten, ob Dateien im Konflikt zu anderen Dateien stehen. Die Versionierung ist vor allem für die Konflikterkennung (siehe 3.3.5.2 Konflikterkennung, Seite 64) notwendig. Hierbei werden Hashes für alle Versionen der Dateien gespeichert. Die Version wird beim Speichern der Datei um den aktuellen Hashwert erweitert und bei Konvergenz auf allen Geräten auf die aktuelle gemeinsame Version reduziert.

3.3.3. Löschen auf Partnergeräten

Damit sblit weiß, wann die Dateien von den Partnergeräten (siehe 3.5.2 Partnergeräte, Seite 78) wieder gelöscht werden können, wird eine Liste von Geräten, mit Dateien auf dem aktuellen Stand, gespeichert. Diese Liste wird bei jeder Änderung mit der Liste aller eigenen Geräte verglichen. Sobald alle eigenen Geräte eingetragen sind, werden die Partnergeräte aufgefordert, die Datei zu löschen.

3.3.4. Reaktionen auf Dateiänderungen

Wenn eine Datei neu erstellt, bearbeitet oder gelöscht wird, erkennt dies sblit und leitet diese Informationen an den Synchronisationsprozess weiter. Außerdem ist das Erkennen einer Änderung im sblit-Ordner wichtig, damit sie im Logfile protokolliert werden kann. Das Logfile wird sowohl für die Konflikterkennung (siehe 3.3.5.2 Konflikterkennung, Seite 64) als auch für die Reduktion der benötigten Bandbreite (siehe 3.4.3.2 File Request, Seite 68) genutzt.

Um Änderungen zu erkennen, verwendet sblit das sogenannte WatchService. Das WatchService wird bei Änderungen in dem Ordner, der vom Benutzer für die Synchronisation festgelegt wurde, benachrichtigt. Je nach dem, ob eine Datei angelegt, verändert oder gelöscht wurde, erfolgen unterschiedliche Arbeitsschritte. Beim Anlegen einer neuen Datei, wird ihr Pfad samt Hash in das Logfile geschrieben und eine Dateianfrage an die anderen eigenen Geräte geschickt. Wird eine Datei verändert, wird ein neuer Hash zu den bereits vorhandenen Hashes hinzugefügt. Außerdem wird eine Dateianfrage an die anderen eigenen Geräte gesendet. Wird eine Datei gelöscht, wird sie samt Hashes aus dem Logfile entfernt. Anschließend wird eine Löschanfrage an die eigenen Geräte versandt. Um zu erkennen, ob die Änderung vom Benutzer oder vom Programm vorgenommen wurde, überprüft sblit zuerst das Logfile. Steht dort zum Hash der aktuellen Version schon ein anderes Gerät, wird keine Anfrage an dieses Gerät geschickt.

```
1  WatchService watcher = filesDirectory.getFileSystem()
2          .newWatchService();
3  filesDirectory.register(watcher,
4          StandardWatchEventKinds.ENTRY_CREATE,
5          StandardWatchEventKinds.ENTRY_DELETE,
6          StandardWatchEventKinds.ENTRY_MODIFY);
7  WatchKey watchKey = watcher.take();
8  List<WatchEvent<?>> events = watchKey.pollEvents();
9  Map<String, LinkedList<Data>> logs = getLogs();
10 Map<String, LinkedList<Data>> synchronizedDevices =
11         getSynchronizedDevices();
```

Listing 3.3: Initialisierung des WatchService

filesDirectory
: `filesDirectory` enthält den vom Benutzer festgelegten sblit-Ordner.

watcher
: `watcher` wird benötigt, um das WatchService einen bestimmten Ordner überwachen zu lassen.

watchKey
: WatchKey enthält eine Liste an Dateien, die neu erstellt, geändert oder gelöscht wurden.

events
: Jedes `WatchEvent` aus der `List events` enthält eine Datei, die sich geändert hat und die Information, ob sie neu erstellt, verändert oder gelöscht wurde.

logs
: `logs` enthält den Versionsverlauf aller Dateien, die sich im sblit-Ordner befinden.

synchronizedDevices
: `synchronizedDevices` enthält zu jeder Datei eine Liste an Geräten, auf denen die akuelle Version gespeichert ist.

Zunächst wird ein neues Objekt vom Typ `WatchService` erstellt. Dieses überwacht den festgelegten sblit-Ordner hinsichtlich neu erstellter, geänderter und gelöschter Dateien. Zur Registrierung des WatchService im Dateisystem, werden in der `register`-Methode das WatchService-Objekt und die Fälle, in denen das WatchService benachrichtigt werden soll, festgelegt. In diesem Fall ist sind das neue Dateien (`ENTRY_CREATE`), Dateiänderungen (`ENTRY_MODIFY`) und gelöschte Dateien (`ENTRY_DELETE`). Die `take`-Methode wartet auf Änderungen im festgelegten Ordner und übergibt sie dann an das `WatchKey`-Objekt. Die Anweisung `watchKey.pollEvents()` unterteilt den WatchKey in einzelne Dateiänderungen und formatiert diese für den weiteren Gebrauch.

Der Thread wird angehalten, da das Programm beim Empfangen einer Datei das Logfile bearbeitet. Dies passiert, damit sblit weiß, dass die Datei nicht vom Nutzer verändert wurde.

```
for (WatchEvent event : events) {
    String path = event.context().toString();
    if(!(path.startsWith("\\.sblit\\.") || path.contains(
       Configuration.slash + "\\.sblit\\.")){
        File changedFile = new File(Configuration.
           getSblitDirectory() + Configuration.slash + path);
```

Listing 3.4: Unterteilen in einzelne Dateien

event
`event` enthält Informationen zur Erstellung, Änderung oder Bearbeitung einer Datei aus der Liste `events`.

path
`path` enthält den relativen Pfad zur geänderten Datei.

changedFile
`changedFile` enthält die Datei, die gerade geändert wurde.

Neben dem Unterteilen der Dateien wird überprüft, ob die Datei mit *(*.sblit.) anfängt. Ist dies der Fall, wird die Datei nicht synchronisiert, da es sich dabei um eine unvollständig synchronisierte Datei handelt.

```
if (event.kind() == StandardWatchEventKinds.ENTRY_CREATE &&
   logs.get(path) == null) {
    byte[] fileContent = Files.readAllBytes(changedFile.
       toPath());
    Data hash = Crypto.sha1(new Data(fileContent));
    LinkedList<Data> hashes = new LinkedList<>();
    hashes.add(hash);
    logs.put(path, hashes);
    LinkedList<Data> devices = new LinkedList<>();
    devices.add(Configuration.getPublicAddressKey().toData())
       ;
    synchronizedDevices.put(path, devices);
    filesToPush = refreshFilesArray(filesToPush, changedFile)
       ;
}
```

Listing 3.5: Erstellen einer Datei

fileContent
`fileContent` enthält den Inhalt der Datei, die neu erstellt wurde.

hash
In `hash` wird der Hashwert des Inhalts der Datei gespeichert.

hashes
`hashes` enthält den Versionsverlauf einer Datei.

devices

`devices` enthält alle Geräte, auf denen die Datei aktuell ist. In diesem Fall ist das genau das Gerät, auf dem der Code ausgeführt wird, da diese Datei gerade erst erstellt wurde.

Wenn eine Datei erstellt wurde, wird sie zu allererst ausgelesen. Anschließend wird der Inhalt verhasht und dem Versionverlauf hinzugefügt. Außerdem wird das Gerät, auf dem der Code ausgeführt wird, zur Geräteliste `devices` hinzugefügt. Schließlich wird die Datei zur Liste der zu synchronisierenden Dateien hinzugefügt.

```
else if (event.kind() == StandardWatchEventKinds
        .ENTRY_DELETE) {
    logs.remove(path);
    synchronizedDevices.remove(path);
    filesToDelete = refreshFilesArray(filesToDelete,
            changedFile);
}
```

Listing 3.6: Löschen einer Datei

Beim Löschen einer Datei wird der zugehörige Versionsverlauf ebenfalls entfernt. Außerdem wird der Variable `filesToDelete` der Pfad der gelöschten Datei hinzugefügt, um die anderen eigenen Geräte auch darüber zu informieren, dass eine Datei gelöscht wurde.

```
else if (event.kind() == StandardWatchEventKinds
        .ENTRY_MODIFY) {
    byte[] fileContent = readFile(event);
    Data hash = Crypto.sha1(new Data(fileContent));
    LinkedList<Data> hashes = logs.get(path);
    if (!hashes.contains(hash)) {
        hashes.add(hash);
        filesToPush = refreshFilesArray(filesToPush,
                changedFile);
        LinkedList<Data> devices = new LinkedList<>();
        devices.add(Configuration
                .getPublicAddressKey().toData());
        synchronizedDevices.put(path, devices);
    }
}
```

Listing 3.7: Bearbeiten einer Datei

fileContent

`fileContent` enthält den Inhalt der Datei, die bearbeitet wurde.

hash

In `hash` wird der Hashwert des Inhalts der Datei gespeichert.

hashes
: `hashes` enthält den Versionsverlauf der Datei.

devices
: `devices` enthält alle Geräte, auf denen die Datei aktuell ist. In diesem Fall ist das genau jenes Gerät, auf dem der Code ausgeführt wird, da diese Datei gerade bearbeitet wurde.

Wurde die Datei bearbeitet, wird sie ausgelesen und anschließend verhasht. Nachdem der Versionsverlauf für die Datei in der Variable `hashes` gespeichert wurde, wird überprüft, ob der Versionsverlauf die Datei schon enthält. Ist dies der Fall, ist ein Fehler aufgetreten und die neue Version wird nicht synchronisiert. Falls der Versionsverlauf die aktuelle Version noch nicht enthält, wird der Hash der aktuellen Version im Versionsverlauf gespeichert. Anschließend wird eine neue Liste an Geräten erstellt, auf denen schon die neuste Version synchronisiert ist. In diesem Fall wird nur das eigene Gerät hinzugefügt, da die neuste Version bis jetzt nur auf diesem Gerät vorhanden ist.

```
1     }
2 }
3 logFile.createNewFile();
4 write(files, synchronizedDevices);
5 writeFilesToDelete(filesToDelete);
```

Listing 3.8: Schreiben des Logfiles

Das Logfile wird neu erstellt und die neuen Daten werden anschließend darin gespeichert. Außerdem werden die zu löschenden Dateien in eine Datei geschrieben, damit sie auch auf Geräten gelöscht werden können, die gerade nicht online sind.

3.3.5. Konflikte

3.3.5.1. Allgemein

Ein Konflikt ist ein Problem, das bei Synchronisationsdiensten vorkommt. Dieser tritt auf, wenn eine Datei bearbeitet wird, bevor sie synchronisiert werden kann.

Dazu ein Beispiel: Susanne hat einen Laptop und einen Stand-Rechner, auf denen sie mithilfe von sblit einen Ordner synchronisiert. Im Normalfall, also wenn kein Konflikt auftritt, bearbeitet Susanne eine Datei auf dem Laptop. Nach dem Speichern wird die Datei auf den Stand-Rechner übertragen und dort gespeichert. Die Datei ist nun auf beiden Geräten synchron.

Angenommen, Susanne schaltet nun den Laptop aus und bearbeitet anschließend die Datei noch einmal auf dem Stand-Rechner. Da der Laptop ausgeschaltet ist, kann die Datei nicht synchronisiert werden. Auf dem Weg zur Arbeit fällt Susanne noch eine Verbesserungsmöglichkeit der Datei ein und sie bearbeitet die Datei auf dem Laptop ohne einer Verbindung zum Internet. In der Arbeit angekommen, packt Susanne wieder ihren Laptop aus und verbindet sich zum Internet. Die Datei kann jetzt nicht auf den neusten Stand gebracht werden, da ja zwei unterschiedliche Versionen existieren. Würde die Datei einfach vom Stand-Rechner auf den Laptop kopiert werden, gingen die Neuerungen am

Laptop verloren, umgekehrt würde die Datei vom Laptop die Änderungen am Stand-Rechner überschreiben. Diesen Zustand zweier verschiedener Versionen der gleichen Datei, ohne die Änderungen des jeweils anderen Gerätes schon berücksichtigt zu haben, nennt man einen Konflikt.

3.3.5.2. Konflikterkennung

Um Konflikte zu erkennen, verwendet sblit eine interne Versionierung der Dateien. Diese wird im Kapitel 3.3.2 Versionierung, Seite 59 näher erklärt. Bei einer Dateianfrage (siehe 3.4.3.2 File Request, Seite 68) werden alle Hashes einer Datei mitgesendet. Diese werden nach dem Empfang der Anfrage mit den Hashes der Datei mit dem gleichen Namen und aller Konfliktdateien dieser Datei im lokalen Logfile verglichen. Stimmen die beiden aktullen Hashes aus Dateianfrage und der Datei mit dem gleichen Namen im Logfile überein, muss die Datei gar nicht übertragen werden, da sie schon auf dem neusten Stand ist. Das heißt natürlich auch, dass kein Konflikt auftritt. Stimmt der aktuelle Hash im lokalen Logfile mit einem in der Dateianfrage überein, tritt ebenfalls kein Konflikt auf, da der aktuelle lokale Hash dem Gerät, das die Anfrage verschickt hat, schon bekannt ist.

Stimmt der Versionsverlauf aus dem File Request mit dem einer Konfliktdatei überein, wurde eine Version synchronisiert, bevor ein drittes Gerät einen Konflikt bemerkt hat. In diesem Falle könnten mehrere Konfliktdateien mit nur zwei verschiedenen Inhalten erstellt werden. Passiert dies, werden die Namen der beiden Dateien vertauscht, um das eben genannte Szenario zu verhindern.

Ist der aktuelle Hash der lokalen Datei jedoch nicht in der Dateianfrage enthalten, wurde die lokale Datei bearbeitet, bevor diese auf den aktuellsten Stand gebracht werden konnte. Anders gesagt: Ein Konflikt ist aufgetreten.

3.3.5.3. Konfliktlösung

Damit die Änderungen von einem Gerät nicht überschrieben werden, speichert sblit beide Versionen. Da jedoch beide Dateien nicht den gleichen Namen haben können, benennt das Gerät, das den Konflikt erkennt, (im Folgenden Gerät A) die lokale Datei um. Die Datei wird folgendermaßen umbenannt: *Datei.Endung* wird zu *Datei (Konflikt [Konfliktnummer]).Endung*.

Anschließend schickt Gerät A eine Antwort an das Gerät, das die Dateianfrage geschickt hat, (im Folgenden Gerät B) in der es die neue Version anfordert, als ob kein Konflikt aufgetreten wäre. Außerdem schickt Gerät A eine Dateianfrage mit der neuen Datei an Gerät B. Gerät B sendet nun die angeforderte Datei an Gerät A und akzeptiert die Konfliktdatei, da es eine Datei mit dem gleichen Namen noch nicht besitzt.

Nach dem Empfang der Datei speichert Gerät A diese unter dem ursprünglichen Namen. Des Weiteren sendet Gerät A die Konfliktdatei mit dem geänderten Namen an Gerät B. Die neue Datei wird auf Gerät B unter dem neuen Namen gespeichert.

3.3.5.4. Umsetzung

Um Konflikte zu erkennen und zu lösen wird der folgende Code verwendet:

```
1  private void handleConflict(LinkedList<Data> requestedHashes,
       LinkedList<Data> ownHashes, String path) throws
       IOException {
2      String sblitDirectory = Configuration.getSblitDirectory()
           + Configuration.slash;
3      if (!requestedHashes.contains(ownHashes.get(ownHashes.
           size() - 1))) {
4          int dotIndex = path.lastIndexOf(".");
5          File conflictFile;
6          if (dotIndex > path.lastIndexOf(Configuration.slash)
               + 1) {
7              for (int i = 1;; i++) {
8                  conflictFile = new File(sblitDirectory + path
                       .substring(0, dotIndex) + "(Conflict " + i
                        + ")" + path.substring(dotIndex));
9                  if (!conflictFile.exists()) {
10                     break;
11                 }
12             }
13         } else {
14             for (int i = 1;; i++) {
15                 conflictFile = new File(sblitDirectory + path
16                         + "(Conflict " + i + ")");
17                 if (!conflictFile.exists()) {
18                     break;
19                 }
20             }
21         }
22         File file = new File(sblitDirectory + path);
23         Files.copy(file.toPath(), conflictFile.toPath());
24     }
25 }
```

Listing 3.9: Erkennen eines Konflikts

requestedHashes
Der Parameter gibt an, welche Hashes in der Dateianfrage geschickt wurden. Die Hashes haben den Datentyp Data, welcher in DCL definiert wurden. Um eine unbestimmte Menge davon speichern zu können, werden diese in eine LinkedList geschrieben. Diese hat den Vorteil, dass die Elemente die Reihenfolge behalten, in der sie in die Liste geschrieben wurden.

ownHashes
Dieser Parameter enthält eine `LinkedList` an Hashes vom Datentyp Data, welche gemeinsam den Versionsverlauf der lokalen Datei ergeben.

path
Der Parameter path enthält den zum sblit-Ordner relativen Pfad.

sblitDirectory
Diese Variable vom Datentyp String enthält den absoluten Pfad des sblit-Ordners. Dieser setzt sich zusammen aus `Configuration.getSblitDirectory()` und `Configuration.slash`. `Configuration.getSblitDirectory()` liefert den sblit-Ordner zurück, der in der `Configuration`-Klasse definiert ist. Außerdem wird, je nach dem, ob das Betriebssystem Windows oder Unix-basierend ist, ein Backslash oder ein Slash an den Pfad gehängt. Die Zuweisung des richtigen Slashes wird am Programmstart bei der Initialisierung der `Configuration`-Klasse vorgenommen.

dotIndex
In dieser Variable befindet sich der Index des letzten Punktes im Dateipfad. Dieser dient dazu, um herauszufinden, ob die Datei eine Endung hat.

conflictFile
Das conflictFile ist die neue Datei, die erzeugt wird, wenn ein Konflikt auftritt.

file
Die Variable file enthält die ursprüngliche Datei.

Enthält der empfangene Versionsverlauf nicht den aktuellsten Hash im Logfile, tritt ein Konflikt auf. Ist dies der Fall, wird zunächst überprüft, ob die Datei eine Dateiendung besitzt.

Hat die Datei eine Dateiendung, wird die Anmerkung, dass es sich um eine Konfliktdatei handelt, zwischen Dateiname und Dateiendung eingefügt. Hat die Datei jedoch keine Dateiendung, wird die Anmerkung einfach zum Schluss eingefügt.

Existiert schon eine Datei mit dem gleichen Namen, wie die Konfliktdatei bekommen soll, wird die Konfliktnummer so lange erhöht, bis eine Datei mit einem solchen Namen noch nicht existiert. Die Datei wird anschließend mit dem gewählten Dateinamen gespeichert.

3.4. Kommunikation

3.4.1. Allgemein

Um zu verhindern, dass Daten mitgelesen werden, verwendet sblit den sicheren Application Channel (siehe Seite 48) der Kommunikationsschicht.

Dabei unterscheidet man grundsätzlich zwischen Nachrichten, die an Partnergeräte (siehe 3.5.2 Partnergeräte, Seite 78) und Nachrichten, die an die eigene Geräte geschickt werden. Weiters gibt es Nachrichten, die bei beiden Arten von Geräten gleich sind.

3.4.2. Nachrichten an alle Geräte

3.4.2.1. Allgemein

Bevor ein fremdes Gerät eine Verbindung aufbaut, muss auf jeden Fall seine Identität überprüft werden. Dabei werden folgende Nachrichten versendet:

- Authenticity Requests
- Authenticity Responses

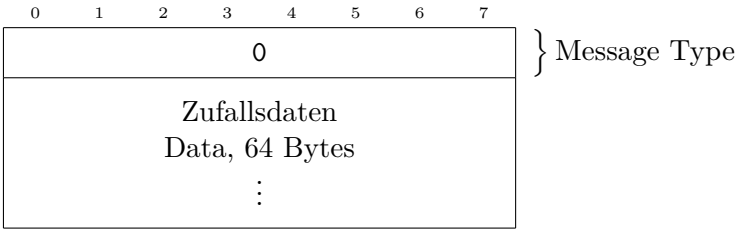


Abbildung 3.1.: sblit – Authenticity Request Message

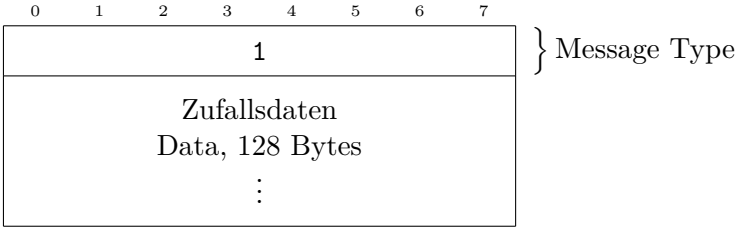


Abbildung 3.2.: sblit – Authenticity Response Message

Sobald zwei Geräte (Gerät A, Gerät B) Daten austauschen wollen, müssen sie die Identität des jeweiligen Kommunikationspartners überprüfen. Dies erfolgt über Authenticity Requests. Dabei schickt Gerät B zufällige Daten an Gerät A mit der Aufforderung, diese zu verschlüsseln (siehe Abbildung 3.1 sblit – Authenticity Request Message, Seite 67). Die Gesamtlänge der Daten, die mit RSA-2048 verschlüsselt werden, darf maximal 128 Byte betragen. Um zu verhindern, dass Gerät B bestimmte Daten mit dem Private-Key von Gerät A verschlüsseln lässt, werden 64 von den maximal 128 Byte reserviert. Diese 64 Byte nutzt Gerät A, um zufällige Daten hinzuzufügen, damit sich Gerät B nicht gewünschte Werte verschlüsseln lassen kann.

3.4.2.2. Authenticity Response

Bevor die Daten verschlüsselt werden, wird ein zufälliger Wert mit einer Länge von 64 Bit an die empfangenen Daten angefügt. Wird dieses Paket nun von Gerät B empfangen, kann der Inhalt mit dem Public-Key des Gerätes A, also dessen Adresse, entschlüsselt werden (siehe Abbildung 3.2 sblit – Authenticity Response Message, Seite 67).

3.4.3. Nachrichten an eigene Geräte

3.4.3.1. Allgemein

sblit verwendet zur Kommunikation zwischen den authentifizierten eigenen Geräten vier verschiedene Nachrichten:

- File Requests
- File Responses
- File Messages

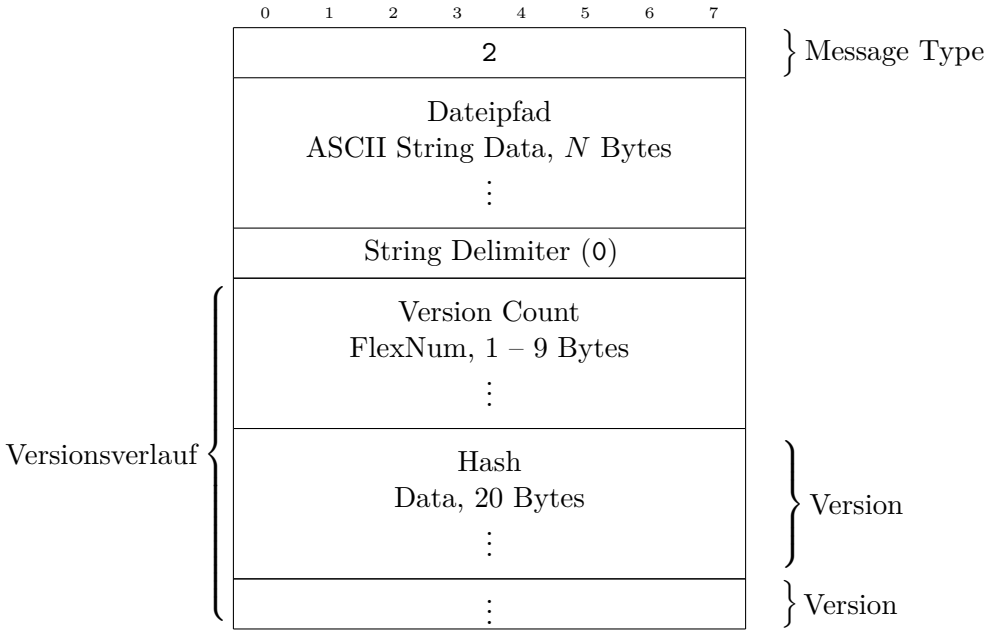


Abbildung 3.3.: sblit – File Request Message

- File Delete Messages
- Device Refresh Messages

3.4.3.2. File Request

Mithilfe des File Request kann eruiert werden, ob die Datei bereits auf einem anderen Gerät bereits vorhanden ist. Außerdem kann mit dem File Request ein möglicher Konflikt (siehe 3.3.5 Konflikte, Seite 63) ausgeschlossen werden (siehe Abbildung 3.3 sblit – File Request Message, Seite 68).

Dateipfad
: Hierbei wird der zu sblit's Hauptordner relative Dateipfad mitgeschickt. Der absolute Dateipfad wird nicht mitgeschickt, da der Ort des sblit-Ordners nicht auf allen Geräten gleich sein muss. Befindet sich der Ordner auf Gerät A beispielsweise unter *C:/Users/Susanne/* kann sich der Ordner auf Gerät B auch unter */home/susanne/-dateien/* befinden.

Versionsverlauf
: Der Versionsverlauf beinhaltet alle Hashes einer Datei seit der letzten komplett synchronisierten Version. Das heißt, dass auf jedem Gerät aktuell entweder diese oder eine neuere Version gespeichert ist.

3.4.3.3. File Response

Der File Response wird benötigt, um dem Gerät, das den File Request geschickt hat, zu antworten, ob die Datei benötigt wird.

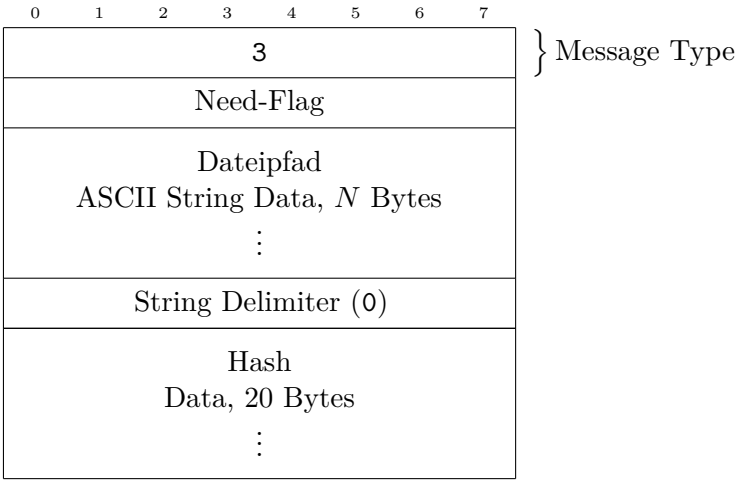


Abbildung 3.4.: sblit – File Response Message

Need-Flag
Dieses Feld enthält einen Hexadezimalwert, der darüber Auskunft gibt, ob die Datei benötigt wird oder nicht. Steht in diesem Feld der Hexadezimalwert `0x00`, wird die Datei nicht benötigt, d.h. die aktuellste Version der Datei ist auf dem Gerät vorhanden. Steht hier hingegen der Hexadezimalwert `0x01`, wird die Datei benötigt. Dieses Byte hilft den Datenverkehr zu reduzieren. So muss nicht eine ganze Datei verschickt werden, obwohl diese gar nicht gebraucht wird.

Dateipfad
Wie auch beim File Request wird im File Response der zu sblit's Hauptordner relative Pfad mitgeschickt.

Hash
Hier wird noch einmal der letzte Hash des Versionsverlaufs der Dateianfrage verschickt, um sicherzustellen, dass die Datei in der Zwischenzeit nicht geändert wurde.

3.4.3.4. File Message

Die File Message dient zur Übertragung der Datei (siehe Abbildung 3.5 sblit – File Message, Seite 70).

Dateiinhalt
Der Dateiinhalt wird als binäres `Data`-Objekt verschickt.

Geräte mit der aktuellen Version
Hier stehen die Adressen aller Geräte, die schon die neuste Version schon haben. Ist die Version auf allen Geräten aktuell, kann sie von den Partnergeräten gelöscht werden. Daher wird diese Liste an Geräten immer mit der Datei mitgeschickt. Außerdem können somit unnötige Anfragen an Geräte, die die Datei schon besitzen, verhindert werden.

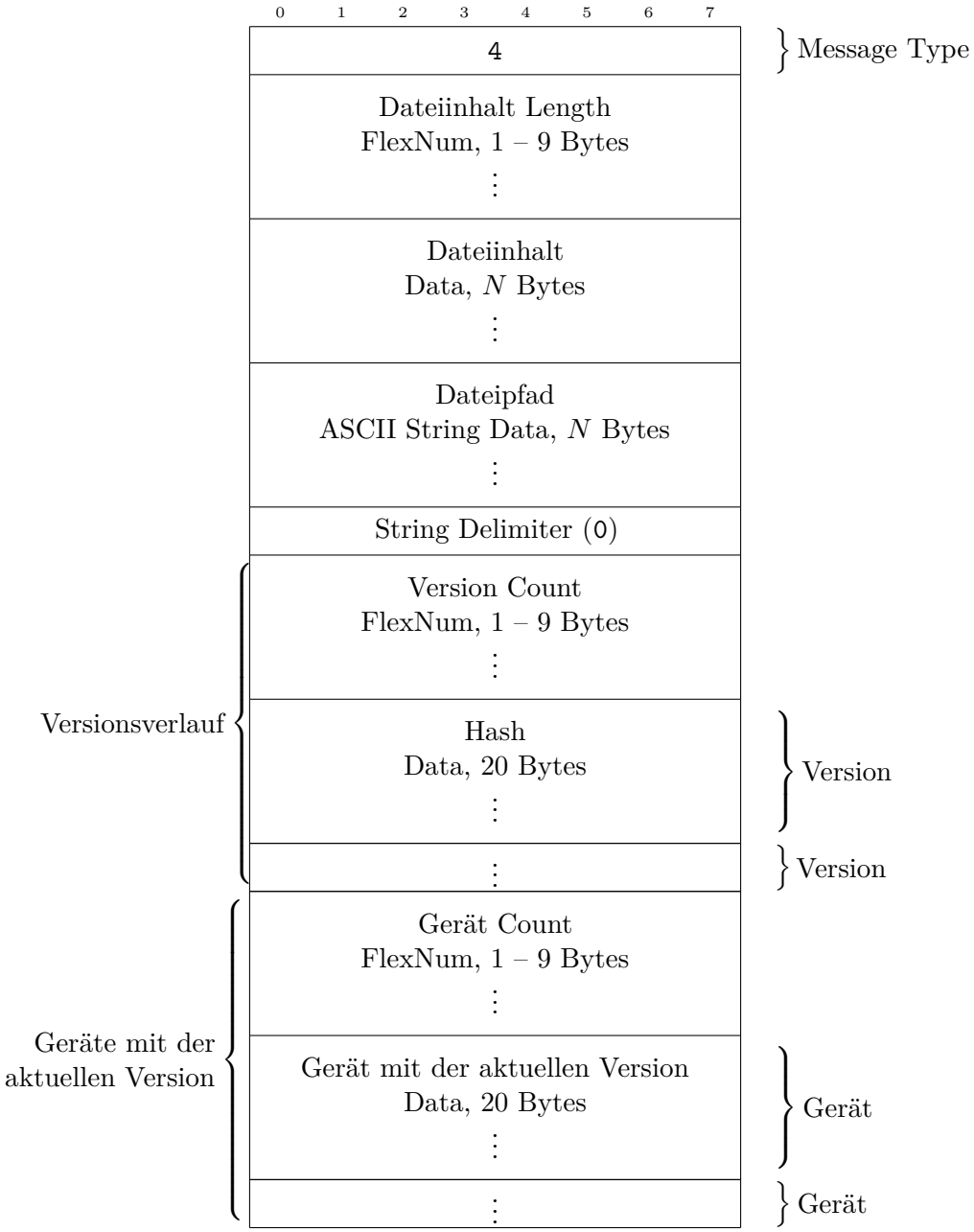


Abbildung 3.5.: sblit – File Message

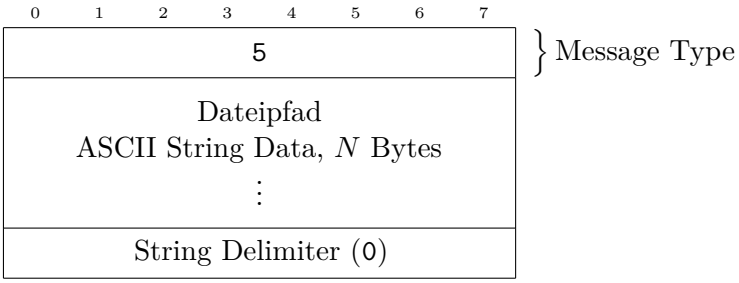


Abbildung 3.6.: sblit – File Delete Message

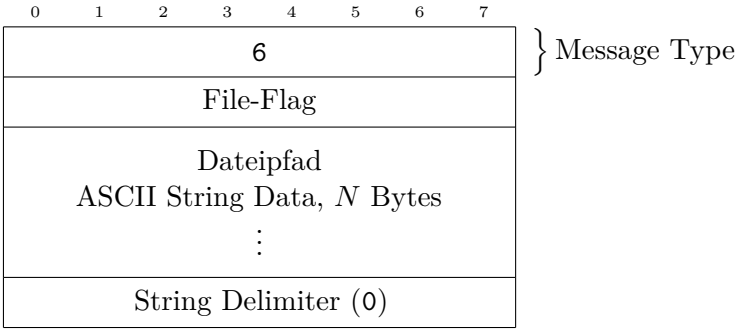


Abbildung 3.7.: sblit – Device Refresh Message

Dateipfad
Der Dateipfad wird benötigt, damit das Gerät weiß, an welchem Ort die zu synchronisierende Datei gespeichert werden soll. Dies ist der gleiche relative Ort, wie auf dem Gerät, das die Anfrage geschickt hat.

Versionsverlauf
Der Versionsverlauf wird mitgeschickt, damit er auf allen Geräten einheitlich ist. Dies verhindert, dass Konflikte fälschlicherweise erkannt werden, wo keine vorhanden sind. Weiters stellt der aktuellste Hash sicher, dass die versendete Datei korrekt zugestellt wurde. Verhasht man die versandte Datei, muss das Ergebnis mit dem aktuellsten mitgesendeten Hash übereinstimmen. Andernfalls muss die Datei neu gesendet werden.

3.4.3.5. File Delete Message

Eine File Delete Message beinhaltet den Pfad zur zu löschenden Datei. Nach Empfang der File Delete Message wird die Datei gelöscht (siehe Abbildung 3.6 sblit – File Delete Message, Seite 71).

3.4.3.6. Device Refresh Message

Die Device Refresh Message dient zur Aktualisierung von Gerätelisten (siehe Abbildung 3.7 sblit – Device Refresh Message, Seite 71).

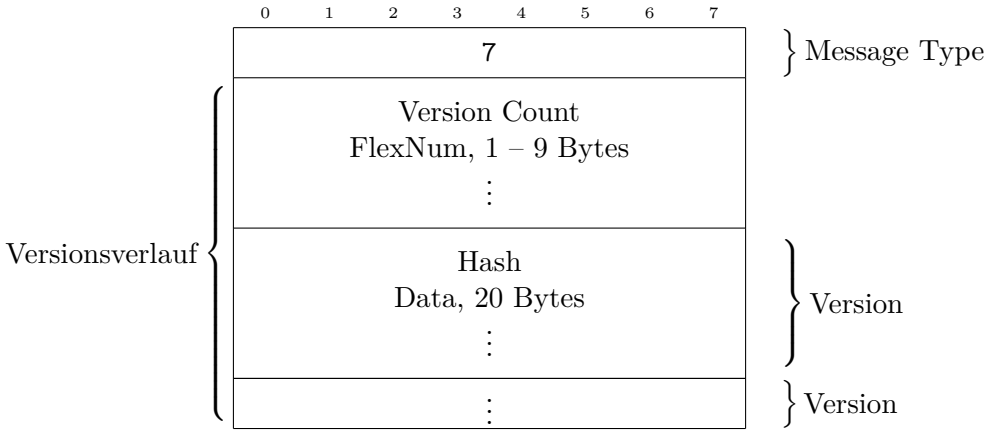


Abbildung 3.8.: sblit – Partner File Request Message

File-Flag
Das File-Flag gibt darüber Auskunft, ob es sich um die Datei für Partnergeräte oder die Datei für die eigenen Geräte handelt.

Geräte
Hier stehen die Adressen aller Geräte, die in der im File-Flag angegebenen Datei vorhanden sind. Bei Adressen von Partnergeräten, werden nur jene mitgeschickt, die auch die eigenen Dateien speichern. Im Falle von eigenen Adressen handelt, werden außerdem die Namen der Geräte, die man in der Konfiguration angegeben hat, mitgeschickt.

3.4.4. Nachrichten an Partnergeräte

- Partner File Requests
- Partner File Responses
- Partner File Messages
- Partner File Delete Messages
- File Delete Messages

3.4.4.1. Partner File Request

Der Partner File Request dient, wie der File Request, zum Versenden einer Dateianfrage (siehe Abbildung 3.8 sblit – Partner File Request Message, Seite 72).

Versionsverlauf
Der Versionsverlauf wird, wie beim File Request mitgeschickt, damit der Partner die Datei identifizieren kann. Dies verhindert, dass der Partner den Dateipfad kennt und somit auf den Inhalt der Datei schließen kann. Weiters kann aus diesem Versionsverlauf, der lediglich Hashes enthält, nicht auf den Inhalt der Datei geschlossen werden, da das Verhashen eine Einwegfunktion ist.

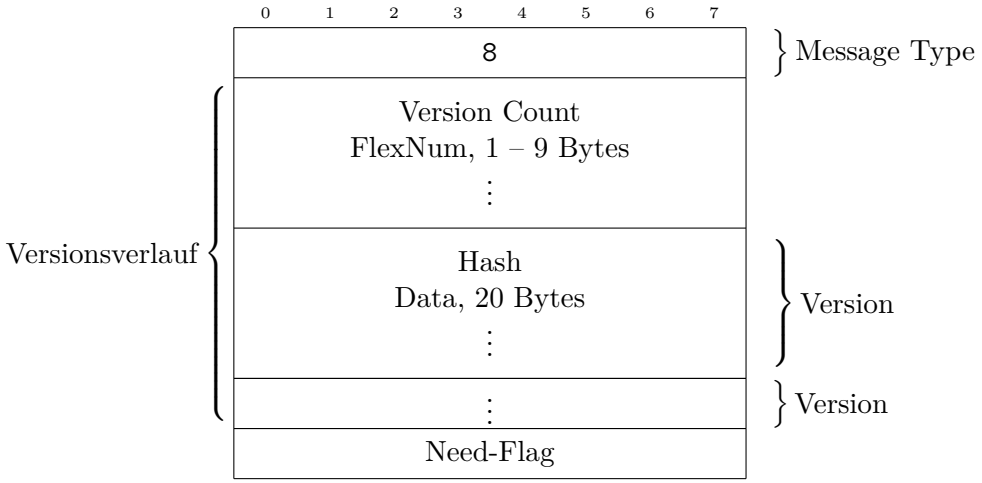


Abbildung 3.9.: sblit – Partner File Response Message

3.4.4.2. Partner File Response

Der Partner File Response dient zum Antworten auf einen Partner File Request (siehe Abbildung 3.9 sblit – Partner File Response Message, Seite 73).

Versionsverlauf
Da die Datei auf den Partnergeräten mithilfe des Versionsverlaufs identifiziert wird, muss dieser mitgeschickt werden, um Verwechslungen vorzubeugen.

Need-Flag
Das Need-Flag im Partner File Response ist äquivalent zum Need-Flag im File Response (siehe 3.4.3.3 File Response, Seite 68).

3.4.4.3. Partner File Message

Die Partner File Message dient zum Versenden einer Datei an Partnergeräte (siehe 3.5.2 Partnergeräte, Seite 78) (siehe Abbildung 3.10 sblit – Partner File Message, Seite 74).

Versionsverlauf
Da der Versionsverlauf zur Identifikation der Datei benötigt wird, wird er auch bei der Partner File Message mitgeschickt. Gleichzeitig dient der letzte Hash im Versionsverlauf als Dateiname auf dem Partnergerät.

Dateiinhalt
Um den Inhalt der Datei vor fremdem Zugriff zu schützen, wird er mit dem symmetrischen Schlüssel (siehe 3.5.5 Sicherheit, Seite 78) verschlüsselt.

Dateipfad
Der Dateipfad wird, wie auch beim Partner File Request, verschlüsselt übertragen.

Geräte mit der aktuellen Version
Hier stehen die Adressen aller Geräte, die schon die neuste Version schon haben. Ist die Version auf allen Geräten aktuell, kann sie von den Partnergeräten gelöscht werden.

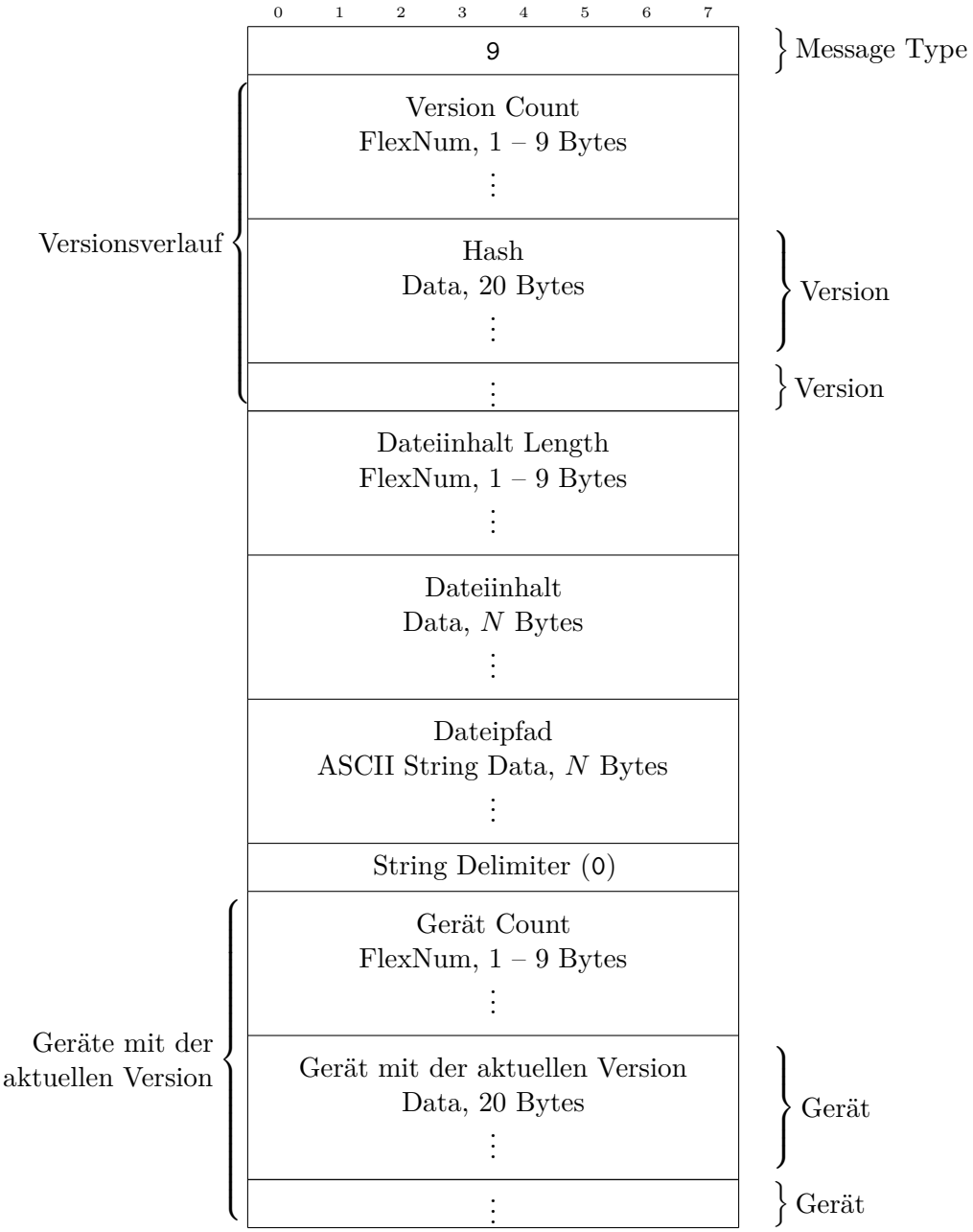


Abbildung 3.10.: sblit – Partner File Message

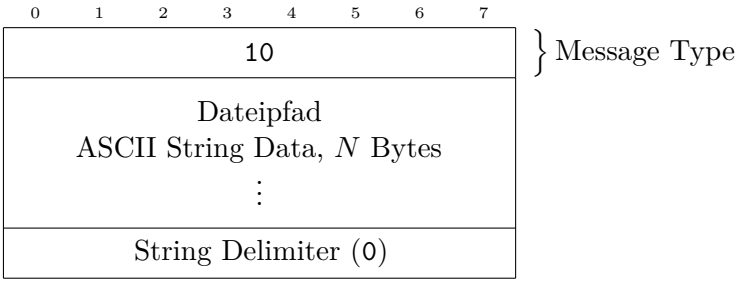


Abbildung 3.11.: sblit – Partner File Delete Message

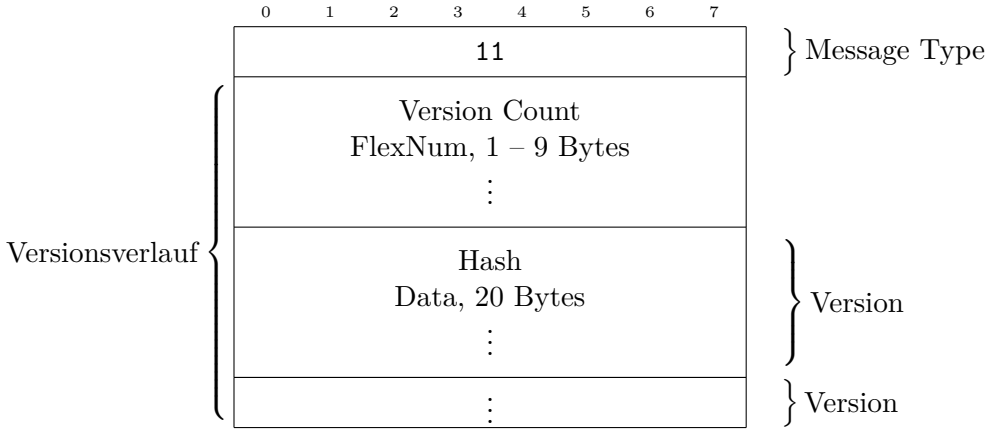


Abbildung 3.12.: sblit – File Delete Partner Message

Daher wird diese Liste an Geräten immer mit der Datei mitgeschickt. Außerdem können somit unnötige Anfragen an Geräte, die die Datei schon besitzen, verhindert werden.

3.4.4.4. Partner File Delete Message

Dateipfad
Das einzige Attribut der Partner File Delete Message ist der verschlüsselte Dateipfad. Dieser wird eine Woche lang gespeichert und dann gelöscht.

Die Partner File Delete Message dient, wie die File Delete Message, zum Löschen von Dateien auf den eigenen Geräten (siehe Abbildung 3.11 sblit – Partner File Delete Message, Seite 75).

3.4.4.5. File Delete Message

Um Platz auf den Partnergeräten zu sparen, werden die Dateien gelöscht, sobald diese auf allen eigenen Geräten verteilt sind. Dies wird mit der File Delete Message initiiert. In der File Delete Message zwischen Partnergerät und eigenem Gerät wird der Versionsverlauf statt dem Dateinamen angegeben (siehe Abbildung 3.6 sblit – File Delete Message, Seite 71).

Versionsverlauf
Der Versionsverlauf gibt die Datei an, die vom Partnergerät gelöscht werden soll.

3.4.5. Ablauf

3.4.5.1. Allgemein

Bevor eine Verbindung nicht autorisiert ist, werden sämtliche Nachrichten verworfen. Die einzige Außnahme hierbei sind Nachrichten, die zur Authentifizierung dienen.

3.4.5.2. Authentifizierung

Beim Programmstart versucht sich sblit zu allen eigenen Geräten und Partnergeräten zu verbinden. Dazu schickt es über DCL Application Channel Anfragen und fügt die Adresse des anderen Gerätes einer Liste mit unautorisierten Application Channels hinzu. Wird die Anfrage angenommen, wird sofort ein Authenticity Request verschickt.

Wird der Application Channel von einem anderen Gerät angefragt, wird zunächst in der Liste der eigenen Geräte (siehe 3.2.4 receivers.txt, Seite 58) und der Liste der Partnergeräte (siehe 3.2.2 freceivers.txt, Seite 55) nachgeschaut, ob die Adresse des Gerätes, das die Anfrage verschickt hat, in dieser vorhanden ist. Ist sie nicht vorhanden, wird der Application Channel sofort verworfen. Andernfalls wird ein Authenticity Request über den Application Channel verschickt und die Adresse des Gerätes, das den Application Channel angefragt hat, zur Liste an unautorisierten Application Channel hinzugefügt.

Wird ein Authenticity Request empfangen, werden die angefragten 64 Byte durch zufällige weitere 64 Byte ergänzt. Anschließend werden die insgesamt 128 Byte mit dem eigenen Private-Key verschlüsselt. Schließlich antwortet sblit mithilfe des Authenticity Responses auf den Authenticity Request.

Beim Empfangen des Authenticity Responses entschlüsselt sblit die Daten mithilfe des Public-Keys des Kommunikationspartners. Von den erhaltenen Daten werden die ersten 64 Byte mit den ursprünglich gesendeten 64 Byte verglichen. Stimmen die beiden Werte überein, konnte damit das Gerät seine Authentizität beweisen und die Adresse des Kommunikationspartners wird der Liste der authentifizierten Geräte hinzugefügt. Stimmen diese jedoch nicht überein, handelt es sich um einen Betrüger, der offensichtlich den richtigen Private-Key zur von ihm angegebenen Adresse nicht kennt.

3.4.5.3. Änderung einer Datei

Bevor die eigentliche Datei übertragen werden kann, muss zunächst ein File Request an den Kommunikationspartner gesendet werden. Das Senden des File Requests wird entweder direkt vom WatchService oder beim Autorisieren eines Application Channel initiiert.

Nach Empfang des File Request wird zunächst geprüft, ob die Datei vorhanden und aktuell ist. Dazu wird der Versionsverlauf im File Request mit dem Versionsverlauf im lokalen Logfile verglichen. Ist die aktuellste Version der Datei im mitgeschickten Versionsverlauf nicht im lokalen Versionsverlauf enthalten, wird das Need-Flag, auf den Hexadezimalwert `0x01` gesetzt. Stimmen die aktuellsten Hashes in empfangenem und lokalem Versionsverlauf überein, wird es auf den Hexadezimalwert `0x00` gesetzt und die Adresse des Partners im Logfile der Liste der Geräte mit der aktuellsten Version hinzugefügt. Des Weiteren wird

überprüft, ob ein Konflikt aufgetreten ist (siehe 3.3.5.2 Konflikterkennung, Seite 64). Anschließend wird der File Response verschickt.

Nach Empfang des File Response wird zunächst überprüft, ob der Hashwert der Datei im Logfile mit dem erhaltenen Pfad übereinstimmt. Stimmt der Hashwert im File Response nicht mit dem aktuellen lokalen Hashwert überein, wird die Antwort verworfen. Dies kann beispielsweise passieren, wenn in der Zwischenzeit eine neuere Version der Datei erzeugt wurde. Stimmt dieser jedoch überein, kann die Datei nun im nächsten Schritt mithilfe der File Message verschickt werden.

Wird ein File Response empfangen, wird zunächst das Logfile bearbeitet. Dazu wird der ursprüngliche Eintrag zur empfangenen Datei samt dem Versionsverlauf und den Geräten mit der aktuellen Version durch die neuen Parameter ersetzt. Dies passiert, damit die Änderung vom WatchService nicht fälschlicherweise als Änderung durch den Benutzer wahrgenommen wird. Anschließend wird der empfangene Dateiinhalt vorerst in eine temporäre Datei geschrieben. Diese versteckte, temporäre Datei wird mit dem Prefix *.sblit.* gespeichert, damit bei einem Absturz keine Dateien verloren gehen. Nach dem Schreiben der Datei wird sie in den urspünglichen Namen umbenannt.

3.4.5.4. Löschen einer Datei

Das Senden einer File Delete Message wird, wie das Senden eines File Request, entweder durch das WatchService oder beim Autorisieren eines Application Channel initiiert.

Beim Empfangen dieser Anfrage, wird die Datei mit einem Zeitstempel in einer Datei gespeichert, damit die Datei auch auf Geräten, die gerade nicht online sind, gelöscht werden kann. Außerdem wird die angefragte Datei gelöscht, sobald die Anfrage empfangen wird. Deshalb sollte man eine alte Version nicht löschen, nur weil sie nicht auf dem aktuellsten Stand ist, den dies löscht ebenfalls die Datei auf dem aktuellsten Stand.

3.4.5.5. Aktualisieren einer Gerätedatei

Die Gerätedateien werden ebenfalls von einem Watchservice überwacht. Werden diese bearbeitet, wird eine Device Refresh Message an die anderen Geräte, die gerade online sind, verschickt. Außerdem wird diese periodisch, in einem konfigurierbaren Intervall, den anderen Geräten mitgeteilt. Beim Empfangen wird überprüft, ob die Empfangene Version aktueller ist. Im Falle, dass die Datei aktueller ist, werden die Neuerungen in die Datei geschrieben.

3.4.5.6. Speichern einer Datei auf einem Partnergerät

Wird eine Datei von einem Benutzer verändert, wird diese, sofern nicht alle eigenen Geräte online sind, auf ein Partnergerät übertragen. Dazu wird ein Partner File Request an das Partnergerät geschickt.

Beim Empfangen des Partner File Request wird überprüft, ob eine Datei mit dem in der Anfrage mitgeschickten Versionsverlauf noch nicht existiert und ob genug von dem zur Verfügung gestellten Speicherplatz vorhanden ist. Werden beide Bedingungen erfüllt, wird das Need-Flag auf den Hexadezimalwert `0x01` gesetzt und gemeinsam mit dem Versionsverlauf in einem Partner File Response zurückgeschickt. Andernfalls wird mit dem Versionsverlauf und dem Hexadezimalwert `0x00` geantwortet.

Nachdem der Partner File Response empfangen wurde, wird, falls das Need-Flag auf `0x01` gesetzt ist, wird mit der Partner File Message geantwortet. Bevor die Partner File Message verschickt wird, werden der Dateiinhalt, Dateipfad und die Geräte mit der aktuellen Version mit dem symmetrischen Schlüssel verschlüsselt (siehe 3.5.5 Sicherheit, Seite 78).

Beim Empfangen des Partner File Request wird der aktuellste Hash gekürzt. Anschließend wird der verschlüsselte Dateiinhalt in einer Datei mit dem Namen des gekürzten Hashes gespeichert. Anschließend werden Dateipfad und die Geräteliste ebenfalls verschlüsselt gespeichert.

3.5. Partnerschaften

3.5.1. Allgemein

Um nicht immer mindestens zwei Geräte eingeschalten haben zu müssen, werden die Daten nicht nur auf den eigenen Geräten gespeichert, sondern auch auf sogenannten Partnergeräten. Damit man trotz hoher Verfügbarkeit nicht zu viel Speicher freigeben muss, sollte man Partnerschaften mit in etwa 10 Geräten eingehen.

3.5.2. Partnergeräte

Ein Partnergerät zeichnet sich dadurch aus, dass entweder meine Daten auf dem Partnergerät oder dessen Daten am eigenen Gerät zwischengespeichert werden. Zwischen den Partnergeräten bestehen sogenannte Partnerschaften. Diese werden zwischen zwei Benutzern geschlossen und erlauben es dem jeweils anderen, Dateien auf einem eigenen Gerät zu speichern.

3.5.3. Delta-Daten

Um den auf den Partnergeräten benötigten und somit auch den freigegebenen Speicherplatz möglichst gering zu halten, synchronisiert sblit nur Delta-Daten. Unter Delta-Daten kann man sich die Änderungen an einer Datei vorstellen. Bis zur Umsetzung des Erkennungsalgorithmus für Delta-Daten werden die Änderungen Datei-weise synchronisiert.

Wenn sich eine Datei ändert wird diese so lange auf den Partnergeräten gespeichert, bis diese auf allen Geräten verfügbar ist.

3.5.4. Dauer einer Partnerschaft

Da manche Geräte von Zeit zu Zeit mehr oder weniger genutzt werden, können Partnerschaften bei Inaktivität eines Nutzers gekündigt werden. Dazu löscht man einfach das Partnergerät aus der Liste. Beim Löschen kommt das Partnergerät auf eine Blacklist. Bei der nächsten Anfrage des Partnergeräts wird die Verbindung nicht mehr zugelassen und das Gerät merkt, dass die Partnerschaft nicht mehr gewünscht ist. Danach wird die Partnerschaft auch vom Partnergerät gelöscht.

3.5.5. Sicherheit

Um zu verhindern, dass eine Datei vom Benutzer eines Partnergerätes gelesen wird, wird diese mit dem AES im GCM verschlüsselt. Des Weiteren wird dadurch verhindert, dass

die Datei durch den Partner verändert werden kann.

3.5.6. Wunschpartnerschaften

Kennen sich zwei sblit-User und haben einen ähnlichen Verwendungsrythmus, können diese eine Partnerschaft miteinander schließen. Dabei müssen die beiden nur ihre Adressen austauschen und zur Liste der Partnergeräte hinzufügen. Im weiteren Verlauf verhalten sich Wunschpartnerschaften nicht anders als andere Partnerschaften. Diese können, wie auch andere Partnerschaften, bei Bedarf gelöscht werden.

3.5.7. Beispiel

Susanne und Wilfried benötigen jeweils ein Gigabyte Synchronisationsspeicher. Susanne wählt eines ihrer Geräte aus, auf dem sie mehr als ein Gigabyte Speicher frei und genug Bandbreite zur Verfügung hat (im Folgenden Gerät A(S)). Wilfried sucht sich ebenfalls ein Gerät aus, das die Bedingungen erfüllt (im Folgenden Gerät A(W)). Nun tauschen die Geräte A(S) und A(W) ihre Adressen aus und tragen sie beim jeweils anderen in die Liste der Partnergeräte ein.

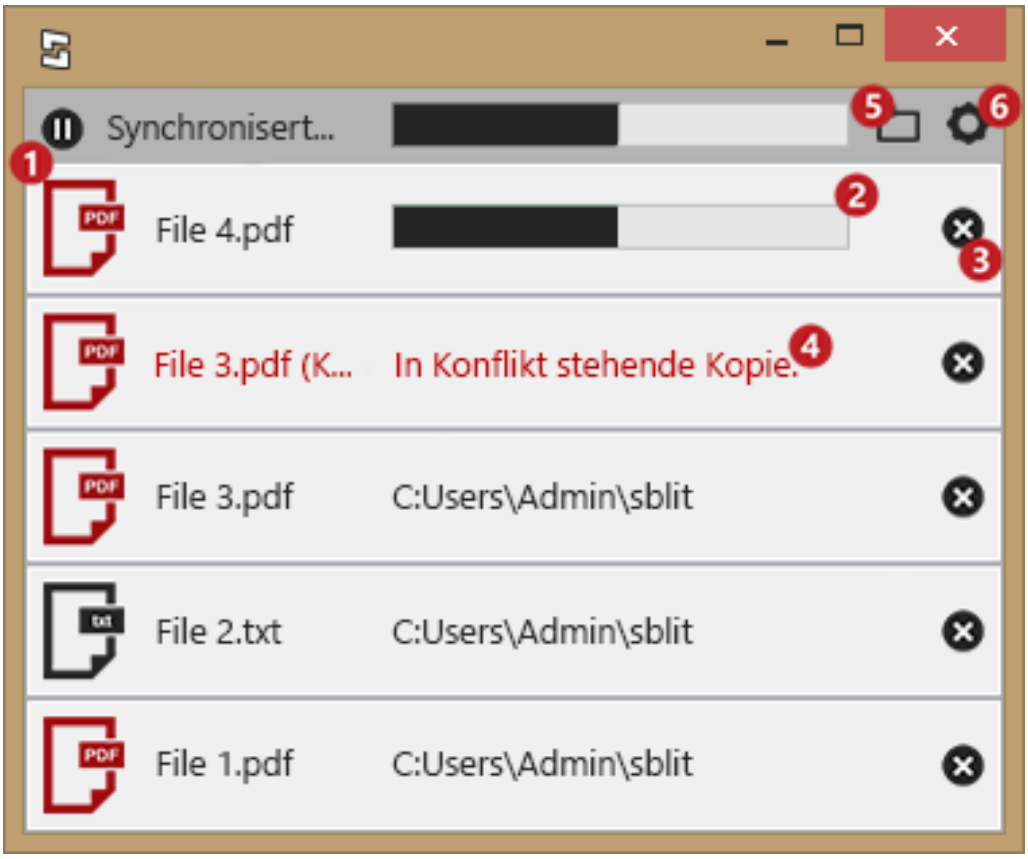
Sobald beide Geräte gleichzeitig online sind, werden alle Geräte von Susanne auf Gerät A(W) und umgekehrt alle Geräte von Wilfried auf Gerät A(S) gespeichert. Weiters wird die Adresse von A(W) auf Susanne's Geräte und die Adresse von A(S) auf Wilfried's Geräte gespeichert. Ab diesem Zeitpunkt werden alle Änderungen von Susanne's Dateien auf Gerät A(W) gesichert, bis sie auf alle Geräte von Susanne verteilt wurden. Sobald Susanne's Geräte die Änderung erhalten, wird Gerät A(W) wieder aufgefordert, die Daten zu löschen. Das gleiche gilt natürlich auch für Wilfried und das Gerät A(S).

4. Graphical User Interface

4.1. Einleitung

Mit dem Gedanken, dass ein Dateisynchronisationstool hauptsächlich im Hintergrund arbeitet, ist die grafische Benutzeroberfläche zurückhaltend und einfach gestaltet. Dem Nutzer werden nicht unnötig viel Konfigurationsmöglichkeiten gegeben, damit er leicht den Überblick behalten kann. Beim Starten von sblit erscheint das Icon im System-Tray, welches als Angelpunkt für jegliche Nutzerinteraktion dient.

4.2. Überblicksfenster



Mit einem einfachen Klick auf das Icon öffnet sich die Übersicht, in der der Benutzer auf die folgenden Optionen Zugriff bekommt:

Letzte Änderungen innerhalb des sblit-Ordners Dem Benutzer wird hier eine Auflistung der zuletzt hinzugefügten Dateien geboten. Neben dem an den Dateityp angepassten Bild, wird auch der Dateiname und Ordnerpfad angegeben.

Fortschrittsbalken laufender Synchronisationsvorgänge Bei laufenden Synchronisationen hat der User die Möglichkeit, den Fortschritt zu verfolgen.

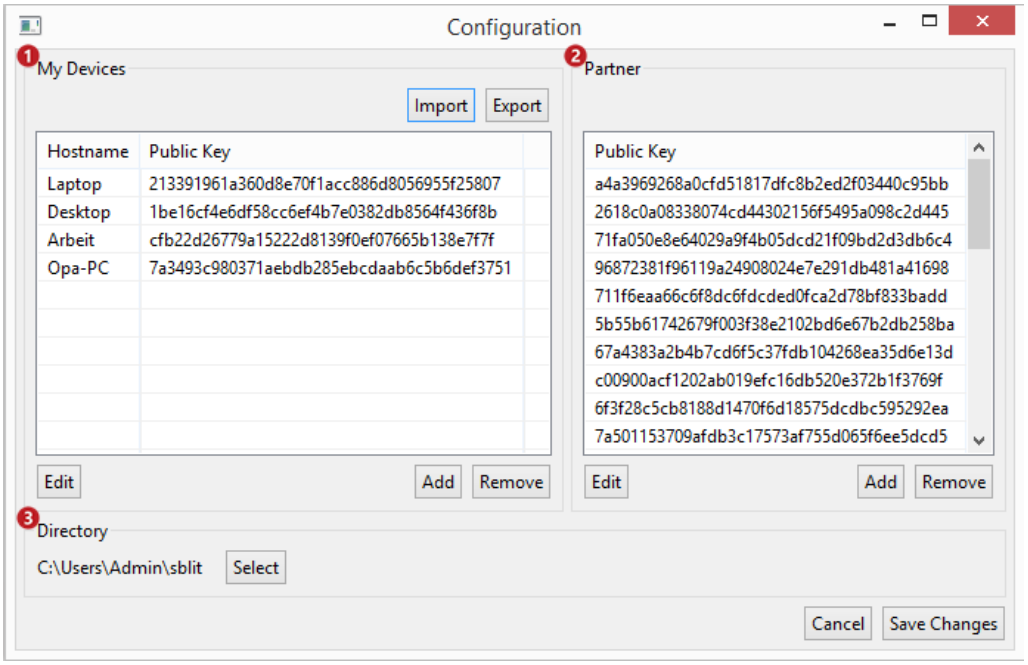
Button für das Abbrechen der Synchronisation Bei irrtümlichem Hinzufügen von Dateien oder Ähnlichem, hat der Benutzer die Möglichkeit, die laufende Synchronisation mithilfe des Löschen-Buttons abzubrechen.

Anzeige von aufgetretenen Fehlern Bei Versionskonflikten, die auftreten, wenn 2 Synchronisationspartner die selbe Datei gleichzeitig bearbeiten, sowie bei diversen anderen Fehlern, wird der User benachrichtigt.

Link zum sblit-Ordner Um dem Benutzer schnellen Zugriff auf seinen konfigurierten sblit-Ordner zu gestatten, gibt es den Ordner-Button, mit dem sich der sblit-Ordner im Datei-Browser öffnet.

Öffnen des Konfigurationsmenüs Mit einem Klick auf den Optionen-Button öffnet sich das **??**.

4.3. Konfigurationsmenü



Geräte zu den Synchronisationspartnern hinzufügen/entfernen Unter dem Punkt "My Devices" befindet sich die Liste der Synchronisationsgeräte, also jene Geräte, mit denen der unter Punkt 3 **??** angegebene sblit-Ordner synchronisiert wird. Die Einträge bestehen aus dem vom Benutzer angegebenen Namen des Geräts und dessen Public-Key, welcher seine Adresse darstellt.Der Benutzer hat die Möglichkeit, bestehende Einträge für Korrekturen zu bearbeiten, neue hinzuzufügen oder alte zu entfernen. Mit der Import- beziehungsweise der Export-Funktion der Liste, soll dem User das Übertragen der Liste auf neue Geräte erleichtert werden.

Manuelles Eintragen von Partnergeräten Obwohl die Liste der Partnergeräte automatisch vom Programm verwaltet wird, hat der Benutzer die Möglichkeit, Geräte manuell hinzuzufügen. Während nämlich normalerweise Geräte fremder Nutzer als Partnergeräte fungieren, kann man sich auch gegenseitig mit einer Freundin oder einem Freund Speicherplatz freigeben, indem man den Public-Key des jeweils anderen in der Liste der Partnergeräte einträgt.

Verschieben des sblit-Ordners Der zu synchronisierende Ordner kann im Konfigurationsmenü auch nach der Installation noch geändert und verschoben werden.

A. Anhang 1

DCL Integration Tutorial

Martin Exner

April 4, 2015

This article aims in providing a simple tutorial on how to use the Decentralized Communication Layer with third party applications written in Java.

Introduction

The Decentralized Communication Layer (DCL) is a network of decentralized peer-to-peer networks that can be used to route communication of third party applications through secure and private channels. Each of these networks has a unique network identifier.

At the time of writing, the only network defined for DCL is the circle network with the identifier `org.dclayer.circle`. In this network, each node has an address which is computed by hashing the RSA public key of an RSA keypair the node generates at startup. As hash algorithm, `SHA-1` is used, which yields addresses that are 20 bytes in length. Those addresses can then be validated by performing a crypto challenge with the node that should be checked.

Messages in the circle network are routed in a way similar to the Kademlia model. Each node forwards the message to the neighbor with the address that is numerically closest to the message's destination address. In order for this to work, each node needs to be connected to many nodes with addresses that are numerically close to its own address and each node must be connected to the two nodes that have addresses with the shortest possible distance to its own. The amount of connections to nodes with numerically distant addresses does affect the number of hops required for routing messages, but does not influence routing as much.

Communication

There are two ways application instances can communicate using the DCL. The first is via unreliably transmitted packets, which are routed through a specific DCL network and may or may not arrive at their destination. The second method is via encrypted and connected application channels, which provide reliable transmission of data. For both the initiation of application channels and the transmission of unreliable packets over the circle network, the public key of the remote node is required as destination address.

Overview

For integration of DCL communication features in third party applications, DCL provides a Java library that manages the TCP connection to the DCL service, including creating and accepting application channels and sending and receiving unreliably transmitted messages.

The `org.dclayer` package contains all required classes.

Usage

Connecting to the DCL service

To use DCL in an application, a `Service` object needs to be created first. Below is an example, where `port` is an integer containing the port number the DCL service is listening on.

```
Service service = new Service(
    port);
```

Afterwards, an `ApplicationInstance` object needs to be created for the application to be connected to the service. This works best by utilizing an `ApplicationInstanceBuilder` object, which is returned by `Service.applicationInstance()`.

```
ApplicationInstanceBuilder
    builder = service.
    applicationInstance();
```

This fluent interface can be used to set the keypair to use as the application's address, to join DCL networks and to connect the application to the service. The code below will use the `KeyPair` object referenced by `addrKeyPair` as this application's address, join the default DCL networks, register the object referenced by `listener` as the `NetworkEndpointActionListener` for the default network endpoints and connect the application to the DCL service.

A network endpoint is a pair existing of an address and a DCL network that address has joined. Unreliably transmitted packets are sent over a DCL network and between two addresses – thus between two network endpoints on the same network. The DCL application to service protocol utilizes network endpoint slots, which are essentially numbers referring to network endpoints, to specify the origin of a message sent from the application and the destination of a message sent to the application. The DCL application library uses `NetworkEndpointSlot` objects to define those network endpoint slots and to refer to the address and network of a network endpoint. The `NetworkEndpointSlot` object is required in every library method that requires the address and network that should be used to be specified and is passed in every callback method defined in the `NetworkEndpointActionListener` interface.

```
ApplicationInstance application
  = builder
    .addressKeyPair(addrKeyPair)
    .joinDefaultNetworks(listener
        )
    .connect();
```

The call to `connect()` will block until the TCP connection to the service is established and the application-to-service protocol is initiated. If an error occurs, a `ConnectionException` will be thrown. Otherwise, `connect()` will return a new `ApplicationInstance` object, which can be used to send unreliably transmitted packets and to initiate application channels.

Callbacks

NetworkEndpointActionListener

The `NetworkEndpointActionListener` interface defines methods for receiving callbacks upon joining of DCL networks (`onJoin()`), receipt of unreliably transmitted packets (`onReceive()`) and incoming application channel requests (`onApplicationChannelRequest()`).

ApplicationChannelActionListener

The `ApplicationChannelActionListener` interface defines methods for receiving callbacks upon successful connection (`onApplicationChannelConnected()`) and disconnection

(`onApplicationchannelDisconnected()`) of an application channel.

Unreliably transmitted packets

Sending

In order to send unreliably transmitted packets, the `send()` method of an `ApplicationInstance` object needs to be called. The `send()` method takes 3 arguments: a `NetworkEndpointSlot` object decribing the address and network to use, a `Data` object containing the destination address and another `Data` object containing the payload to transmit, respectively.

Receiving

Upon receipt of an unreliably transmitted packet, the `onReceive()` method of the `NetworkEndpointActionListener` assigned to the address and network the packet was received on is called and passed 3 arguments: the `NetworkEndpointSlot` object corresponding to the address and network the packet was received on, a `Data` object containing the source address and another `Data` object containing the payload received, respectively.

Note that the source address might be empty, indicating the the origin chose not to include its own address in the message.

Application channels

Initiating

To request an application channel to a specific address, the `requestApplicationChannel()` method of an `ApplicationInstance` object needs to be called and passed 4 arguments: a `NetworkEndpointSlot` object to use as the source of this application channel, a `String` used as an action identifier which the remote will receive in its `onApplicationChannelRequest` callback, a `Key` object containing the public key used as address by the remote that the application channel should be connected to and an `ApplicationChannelActionListener` object that will receive callbacks regarding the application channel.

Accepting

When an application channel is requested, the `onApplicationChannelRequest()` of the `NetworkEndpointActionListener` object assigned to the network endpoint the application channel request was received on is called and passed 4 arguments: the `NetworkEndpointSlot` object corresponding to the network endpoint the request was received on, a `Key` object containing the public key used as address by the remote that requested the application channel, a `String` object containing the action identifier as specified by the remote and an `LLA` object containg the lower-level address (i.e., the IP address and port) of the remote requesting the application channel.

To accept the application channel request, return an `ApplicationChannelActionListener` object that will receive callbacks regarding the application channel.

To ignore the request, simply return `null`.

Usage

As soon as the application channel is successfully connected, the `onApplicationChannelConnected()` method of the `ApplicationChannelActionListener` that was either passed when calling the `requestApplicationChannel()` method or returned from the `onApplicationChannelRequest()` callback method will be called. The `onApplicationChannelConnected()` callback will be passed an `ApplicationChannel` object that refers to the established application channel.

The `ApplicationChannel` object has the following methods that can be utilized:

`getOutputStream()`
: Returns a `BufferedOutputStream` object that can be used to write data which will be securely sent through the interservice connection of the local and the remote service and then made available for the remote to read from its `InputStream` object.

  Call `flush()` on the `BufferedOutputStream` object to make sure the data written is sent.

`getInputStream()`
: Returns an `InputStream` object that can be used to read the data which the remote wrote into its `BufferedOutputStream` object obtained via `getOutputStream()`.

`getRemotePublicKey()`
: Returns a `Key` object containing the public key used as address by the remote.

`getActionIdentifier()`
: Returns a `String` object containing the action identifier that was passed to the `requestApplicationChannel()` method by the end that initiated the application channel.

`wasInitiatedLocally()`
: Returns `true` if this application channel was initiated by this end, `false` otherwise.