

Konzeption einer Architektur zur Unterstützung von Mobilität und Multi-homing im zukünftigen Internet

Alexander Gladisch, Djamshid Tavangarian

Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

Universität Rostock

Joachim-Jungius-Straße 9

18059 Rostock

vorname.nachname@uni-rostock.de

Abstract: Mobilität und Multi-Homing sind eng verwandte Probleme, die auf das semantisch überladene Adressierungsschema des Internet Protokolls (IP) zurückzuführen sind. Die Auftrennung der im IP-Adressierungsschema eingebetteten Funktionalitäten und deren Integration in separate Adressteile ist vielversprechend, um Mobilität und Multi-homing zu unterstützen. In dieser Arbeit wird das Node-oriented Internet Protocol (NIP) vorgestellt. NIP greift die Idee der Adressseparation auf und führt ein neues Drei-Tupel Adressierungsschema bestehend aus Knoten-ID, Interface-ID und topologischer Lokalisierung ein. Dieses Konzept schafft in Kombination mit weiteren in dieser Arbeit definierten Funktionsprinzipien und einem ebenfalls in dieser Arbeit vorgestellten global skalierbarem Mapping System die Grundlage, erweiterte Mobilitäts- und Multi-homing-Unterstützung auf Netzwerkebene zu ermöglichen.

1 Einleitung

Mobilität und Multi-homing sind wesentliche Herausforderungen für die Entwicklung des zukünftigen Internets. Die Mobilität der Internetnutzer und die Heterogenität der uns umgebenden Netzwerkinfrastrukturen nimmt stetig zu [ZWZ11], [PPJ11]. Internetfähige Geräte sind daher inzwischen häufig mit multiplen Netzwerk-Interfaces (NIs) verschiedener Technologien ausgestattet, um permanent einen flexiblen Netzzugang zu gewährleisten.

Die Probleme Mobilität und Multi-Homing sind eng verknüpft und auf das Adressierungsschema des Internet Protokolls (IP) zurückzuführen. IP Adressen beinhalten hauptsächlich zwei Funktionalitäten: *Identifikation* von Kommunikationsendpunkten und *Lokalisierung* der Kommunikationsendpunkte in der Netzwerktopologie. Da Kommunikationsverbindungen (Sessions) an Sockets (und damit an IP-Adressen) als Kommunikationsendpunkt gebunden werden, müssen IP-Adressen in ihrer Funktion als Identifikator einzigartig sein und dürfen sich möglichst nicht ändern. Dem entgegen steht, dass IP-Adressen für die topologische Lokalisierung variabel sein müssen, um Ortsänderungen zu ermöglichen. Da beide Funktionalitäten in IP-Adressen eingebettet sind, führen mobilitätsbezogene Änderungen der IP-Adressen zu Verbindungsabbrüchen. Zusätzlich dazu werden IP-Adressen NIs und nicht Netzwerkknotten zugewiesen. Daraus folgt, dass Kno-

ten mit mehreren NIs (Multi-homing) gleichzeitig mehrere Identitäten besitzen und sich gleichzeitig an mehreren topologischen Orten befinden. Eine Session ist folglich immer an ein spezifisches NI eines Knotens gebunden, was die Nutzung multipler NIs für Kommunikationsverbindungen erschwert.

Die Auftrennung der im IP-Adressierungsschema eingebetteten Funktionen in separate Adressteile ist vielversprechend, um Mobilität und Multi-homing zu unterstützen. Ansätze wie Shim6 [NB09], ILNP [ABH10], HIP [MNJH08] oder MILSA [PJPSi10] sind Beispiele, in denen eine stabile Knoten-ID (NID) zur Identifikation des Knotens und eine dynamische Lokalisierung zur Bestimmung des topologischen Orts (LID) für das Routing genutzt werden. Diese Idee wird oft als Locator / ID Separation (LIS) bezeichnet. Unsere Untersuchung in [GDT12] zeigt jedoch, dass die genannten Ansätze Mobilität und Multi-homing Eigenschaften wie z. B. die Weiterleitung von Paketen über multiple Pfade oder die Nutzung ausgewählter NIs eines Knotens als Kommunikationsendpunkt nicht unterstützen.

In dieser Arbeit wird ein Konzept, genannt Node-oriented Internet Protocol (NIP), vorgestellt. NIP erweitert bisherige LIS-Konzepte u. A. dadurch, dass ein neuartiges Drei-Tupel Adressierungsschema eingeführt wird. Dieses besteht aus NID, LID und Interface-ID (IID) und bietet die Grundlage, um in Kombination mit Policies und Scheduling-Algorithmen die Multi-homing Unterstützung zu verbessern, insbesondere indem die Selektion von spezifischen NIs als Endpunkte für Sessions und damit der Transfer von Paketen zwischen zwei Knoten über mehrere Pfade ermöglicht werden kann. In Verbindung mit einem global skalierbaren Mapping System und dazu gehörenden Mechanismen für Mobilitäts-Updates ist NIP ebenfalls dazu in der Lage, erweiterte Mobilitätsunterstützung zu ermöglichen.

Im Weiteren ist diese Arbeit wie folgt gegliedert: Aufbauend auf dem in Kapitel 2 beschriebenen Netzwerkmodell wird in Kapitel 3 das Konzept des Node-oriented Internet Protocol skizziert. Die nachfolgenden Kapitel 4-8 geben einen detaillierteren Überblick über das Drei-Tupel Adressierungsschema, Adressformate, das Mapping-System und Mechanismen zu Mobilitäts- und Multi-Homing-Unterstützung in NIP. Abschließend fasst Kapitel 9 die präsentierte Arbeit zusammen.

2 Genutzte Begriffe und Netzwerk Modell

Zur Veranschaulichung der in dieser Arbeit genutzten Begriffe und Definitionen, wird Anhand von Abbildung 1 das für NIP verwendete Netzwerkmodell beschrieben. Das Netzwerkmodell besteht vereinfacht aus zwei Ebenen: Core- und Edge-Netzwerke. Die Core-Netzwerke bilden den Routing-Kern des Internets und beinhalten die Server eines globalen Mapping Systems, welches für NIP benötigt wird. Edge-Netzwerke haben vielfältige Erscheinungsformen, z. B. bzgl. Zugangstechnologien, Anzahl und Typ der angebundenen Netzwerkknoten und anderen Charakteristika. Ein Edge-Netzwerk repräsentiert einen topologischen Ort (Location), welcher mit einer LID bezeichnet wird. Die LID stellt eine ähnliche Funktionalität wie das Adresspräfix eines konventionellen IPv6 Netzwerks (Routing-Präfix + Subnetz-ID) bereit. Jedes Edge-Netzwerk besitzt mindestens einen Border-Router (Gateway), welcher das Edge-Netzwerks (ggf. auch über mehrere übergeordnete

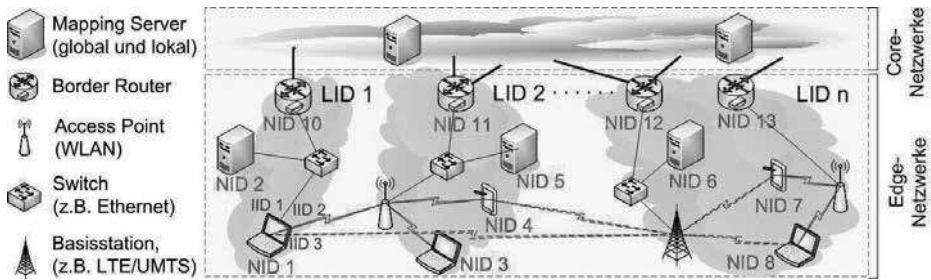


Abbildung 1: Netzwerkmodell für das Node-oriented Internet Protocol

Edge-Netzwerke) mit dem Core verbindet. Weiterhin enthält jedes Edge Netzwerk mindestens einen lokalen Mapping Server, der für NIP benötigt wird. Der Mapping Server ist eine logische Entität und kann z. B. in Border-Routern integriert sein. Jeder Netzwerk-knoten umfasst ein oder mehrere NIs, wobei jedes NI eines NIP-Knotens mit einer IID bezeichnet ist (Abb. 1 stellt dies für den Knoten mit der NID 1 exemplarisch dar).

3 Das Node-oriented Internet Protokoll

NIP verbessert die Multi-homing- und Mobilitätseigenschaften des zukünftigen Internets, indem die bisher in IP-Adressen aggregierten Funktionalitäten wie in Abbildung 2 dargestellt in drei unabhängige Adressteile separiert werden: eine global eindeutige Knoten Identifikation (NID), eine bzw. mehrere global eindeutige Lokalisierung(en) für den topologischen Ort (LID) und lokal (bezogen auf die NID) eindeutige Interface ID(s) (IIDs). NIP verwendet also ein *Drei-Tupel Adressierungsschema* der Form NID:LID:IID. Die Netzwerkebene von NIP wird, wie ebenfalls in Abbildung 2 dargestellt, in zwei Sub-Ebenen aufgeteilt, den Identity Sublayer und den Routing Sublayer. Der Identity Sublayer umfasst die NID, welche auch für die Transportschicht darüber sichtbar ist. Der Routing Sublayer enthält die LIDs und IIDs, die nur auf Netzwerkebene sichtbar sind.

Im Rahmen des NIP Konzepts werden Funktionen definiert, die es Netzwerkknoten erlauben, NIs auszuwählen, die bevorzugt für den Datentransfer genutzt werden sollen. Die IIDs der ausgewählten NIs werden mittels *IID-Listen* mit Knoten, zu denen eine Kommunikationsverbindung aufgebaut wird, ausgetauscht. Dieser Austausch ist neben dem Drei-Tupel Adressierungsschema ein Grundstein für erweitertes Multi-Homing in NIP. Durch den Austausch der IID-Liste erhalten Netzwerkknoten die Information, welche NIs der Zielknoten für den Empfang von Datenpaketen bevorzugt. In Kombination mit Scheduling-Algorithmen werden entsprechend der IID-Liste Ziel-IID und die zugehörige Ziel-LID in die Datenpakete eingefügt und die Pakete basierend auf diesen Informationen zu den bevorzugten NIs des Zielknotens geroutet. Ohne IID-Listen hätten Netzwerkknoten keine Entscheidungsgrundlage für die Auswahl einer Ziel-LID / IID und die Auswahl müsste willkürlich aus der Menge der potentiell möglichen LIDs / IIDs getroffen werden. Neben verbesserten Multi-homing Fähigkeiten adressiert NIP ebenfalls die Mobilitäts-

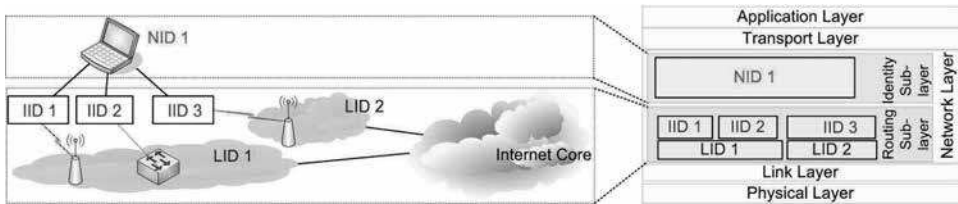


Abbildung 2: Das NIP Schichtenmodell mit Beispiel eines Knotens mit drei NIs

unterstützung der Knoten. In LIS Ansätzen wie z. B. Shim6[NB09] entsteht Mobilitätsunterstützung nur als Add-On der Multi-Homing-Eigenschaften. Die Mobilität von Knoten kann hier nur kompensiert werden, wenn Knoten mehrere NIs besitzen. Fällt das genutzte NI durch Mobilität aus (bzw. erhält eine neue LID), so kann der Knoten im Falle mehrerer vorhandener NIs zu einem noch betriebsbereiten NI (bei dem keine Änderung der LID stattfand) wechseln, um einen Verbindungsabbruch zu verhindern. Besitzt der mobile Knoten jedoch nur ein NI, wird Mobilitätsunterstützung nicht gewährleistet. In NIP werden Mechanismen für schnelle LID Aktualisierungen durch das Mapping-System definiert, um generell eine Mobilitätsunterstützung zu gewährleisten.

4 Das NIP Adressierungsschema

In NIP dient die NID zur eindeutigen Identifikation der Knoten und wird unabhängig von den NIs oder LIDs genutzt. Die NID ist auf der Transportschicht des OSI-Modells Teil des Kommunikationsendpunkts, an den eine Kommunikationsverbindung gebunden wird. Die NID beinhaltet keinerlei topologische Informationen, besitzt keine hierarchische Struktur (flacher NID Adressraum) und wird folglich nicht zur Paketweiterleitung auf Netzwerkebene genutzt. Der flache Adressraum führt dazu, dass NIDs nicht aggregierbar sind, was eine Herausforderung z. B. für das Mapping System ist. Eine vollständige topologische Entkopplung der NID von topologischen Informationen kann jedoch nur so erreicht werden. Durch die Entkopplung verändern sich NIDs während einer Kommunikationsverbindung auch dann nicht, wenn ein Knoten seinen topologischen Ort oder das für die Verbindung genutzte NI wechselt. Um zusätzlich Sicherheitsmechanismen zu integrieren ist es möglich, das Host Identity Konzept von HIP [MNJH08] auf die NID anzuwenden.

Die LIDs beschreiben die topologischen Orte des Knotens im Internet und sind Edge-Netzwerken zugewiesen. Jedem NI eines Knotens ist die LID des Edge-Netzwerks zugeordnet, zu dem das NI verbunden ist. Da Knoten mehrere NIs besitzen können, können sie auch zu mehreren LIDs gleichzeitig, oder zu einer LID mehrfach verbunden sein. Die LID wird zur Paketweiterleitung auf Netzwerkebene genutzt. LIDs können sich durch Mobilität aus Sicht der Knoten häufig ändern. Folglich ist eine dynamische Zuordnung von NID und LIDs notwendig, die durch eine geeignete Mapping-Funktion aktuell gehalten wird.

Im Gegensatz zu vorhandenen LIS Ansätzen, die IP-Adressen in nur zwei Adressteile (NID und LID) separieren, fügt das NIP Konzept eine zusätzliche IID zum Adressierungs-

schema hinzu. IIDs sind nur in Kombination mit einer NID, jedoch nicht global einzigartig. Sie werden genutzt, um das Ziel-NI eines Knotens in Kombination mit der NID eindeutig bestimmen zu können. Die Nutzung von IIDs ist insbesondere dann wichtig, wenn ein Knoten mit mehreren NIs zum gleichen Edge-Netzwerk (LID) verbunden ist. Wenn in diesem Fall nur LIDs zur Paketweiterleitung bzw. die NID zur Identifikation des Ziel-Knotens genutzt werden, wäre es einem Sender-Knoten nicht möglich zu bestimmen, zu welchem NI des Ziel-Knotens Datenpakete weitergeleitet werden sollen. Mit der LID bzw. NID können nur das Ziel-Edge-Netzwerk und der Ziel-Knoten bestimmt werden, nicht aber welches NI des Ziel-Knotens das Datenpaket empfangen soll. Ohne IID wäre somit die Lastverteilung zwischen den NIs der Netzwerkknoten nur eingeschränkt möglich.

5 Adressformat und Header der Datenpakete

Das NIP Adressformat verfolgt zwei Design-Ziele: (1) das NIP Adressformat (speziell die NID) soll Kompatibel zu IPv6 und aktuellen Transportprotokollen sein, um eine inkrementelle Einführung von NIP zu ermöglichen. Daraus folgt, dass das 128 Bit IPv6 Adressformat und die IPv6 Paket-Header wiederverwendet werden (auf erforderliche Migrationsstrategien soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden); (2) der Wechsel des topologischen Ortes und damit der LIDs soll transparent für die Transportebene sein, um Mobilitätsunterstützung zu ermöglichen. Dies erfordert eine klare Trennung und Transparenz der einzelnen Adresskomponenten. Ansätze wie ILNP [ABH10] betten sowohl NID als auch LID in das 128 Bit IPv6-Adressfeld ein. Dies führt jedoch dazu, dass die Transparenz der LID auf Transportebene nur durch Änderungen am Transportprotokoll gewährleistet werden kann. In NIP wird nur die NID in das IPv6-Adressfeld eingebettet und die 64 Bit langen Quell- und Ziel-LIDs / IIDs in einen IPv6 Next-Header ausgelagert, um so die notwendige Transparenz zu erreichen. Unter Nutzung dieses Prinzips können Transportprotokolle wie bisher das komplette IPv6-Adressfeld zur Identifikation des Kommunikationsendpunktes auswerten, während Router nur den NIP-Next-Header auswerten, um die notwendigen Informationen zur Paketweiterleitung zu erhalten.

Zusätzlich zur Quell- und Ziel-LID / IID wird in den NIP-Next-Header eine IID-Liste integriert. Die IID-Liste entspricht nicht der 16 Bit langen Quell- bzw. Ziel-IID, sondern enthält die IIDs der NIs, die der sendende Knoten für diese Kommunikationsverbindung ausgewählt hat. Dadurch kann ein Knoten seinen Kommunikationspartnern mitteilen, welche NIs er zum Empfang (!) von Datenpaketen nutzen will. Je nachdem, ob die IID-Liste nur eine, mehrere oder alle IIDs eines Knotens enthält, kann zwischen verschiedenen Kommunikationsformen unterschieden werden, was weiterführend in Kapitel 8 beschrieben ist.

6 Das NIP Mapping System

NIP benötigt ein Mapping System, um NIDs in die zugehörigen LIDs / IIDs aufzulösen, um so die Weiterleitung der Datenpakete zu ermöglichen. Da für NIP ein flacher (nicht

aggregierbarer) NID-Adressraum verwendet wird, muss das Mapping System äußerst skalierbar sein und gleichzeitig schnelle Updates zur Mobilitätsunterstützung gewährleisten.

6.1 Systemarchitektur, Server und Caches

Das NIP Mapping System besitzt eine Multi-Level Architektur aus Mapping-Servern und Caches und verwendet hierarchisch verteilte Hash-Tabellen (hierarchische DHTs), um so Skalierbarkeit, Performanz und administrative Autonomie für die Netzbetreiber zu erreichen. Es werden zunächst zwei Mapping-Level unterschieden: lokal und global. Lokales Mapping beschreibt das Mapping innerhalb der Edge-Netzwerke. Globales Mapping beschreibt das Mapping für Knoten die sich in unterschiedlichen Edge-Netzwerken befinden.

Jeder Netzwerkknoten besitzt einen Mapping Cache, in dem die NID:LID:IID Mappings für Knoten, mit denen zuletzt kommuniziert wurde abgelegt werden. Dieser Cache arbeitet ähnlich wie ein ARP (Address Resolution Protocol) oder DNS Cache und sorgt dafür, dass nicht für jedes Datenpaket eine neue Mapping-Anfrage an die Mapping Server gestellt werden muss. In den Edge-Netzwerken sind ein oder mehrere lokale Mapping Server installiert. Die lokalen Mapping Server unterhalten den Mapping Datenbestand aller Netzwerkknoten die mit mindestens einem NI zum gleichen Edge-Netzwerk verbunden sind. Um Mapping-Anfrage einfach zu halten, beinhalten die Mapping Einträge für Netzwerkknoten alle assoziierten LIDs/IIDs. Ähnlich wie bei DNS umfassen die lokalen Mapping Server einen Mapping-Cache, in dem kürzlich abgefragte Mapping-Einträge von Knoten, die sich in fremden Edge-Netzwerken befinden, gespeichert werden. Die globalen Mapping Server beinhalten den Mapping Datenbestand des gesamten NID Adressraums.

Durch die vorgestellte Multi-Level Architektur können lokale Mapping-Informationen lokal gespeichert und vorgehalten werden, was die autonome Funktionalität einzelner Edge-Netzwerke auch ohne Anbindung an das Internet ermöglicht.

6.2 Lookup-Strategie und Kommunikationsprotokolle

Für die Auflösung (Lookup) der NIDs wird eine Bottom-Up Strategie genutzt. Entsprechend der Multi-Level Hierarchie wird ein Knoten eine Anfrage zunächst in seinem Cache suchen, bevor eine Anfrage an den lokalen Mapping Server gestellt wird. Nur wenn der lokale Mapping Server die Anfrage nicht beantworten kann, wird die Anfrage an die globalen Mapping Server weitergeleitet. Die Bottom-Up Lookup Strategie stellt sicher, dass Anfragen zu lokalen Knoten auch lokal abgearbeitet werden, ohne das globale Mapping System nutzen zu müssen. Dadurch werden drei Vorteile erreicht: (1) das globale Mapping System wird entlastet; (2) es kann Overhead durch Mapping-Anfragen gespart werden; (3) die Lookup-Zeiten können gering gehalten werden, da unnötige Latenzen (z. B. hohe Laufzeitverzögerungen zu globalen Mapping Servern) vermieden werden.

Als Kommunikationsprotokoll zwischen den Knoten und den Mapping Servern wird das Neighbor Discovery Protocol (NDP) genutzt, in dem für NIP neue Nachrichtentypen defi-

nirt wurden (z. B. Register, Request, Reply, Acknowledge, usw.). Aus Platzgründen wird an dieser Stelle jedoch auf Details verzichtet.

6.3 Organisation der Mapping Server in hierarchischen DHTs

Damit das Mapping System skaliert werden die Mapping Server in hierarchischen DHTs organisiert. Hierarchische DHTs besitzen eine ähnliche Lookup-Komplexität wie konventionelle DHTs (typischerweise $O(\log n)$), können im Gegensatz zu konventionellen DHTs, die durch die Multi-Level Architektur erreichten Lokalisierungsprinzipien sicherstellen. In konventionellen DHTs ist dies nicht möglich, da die Verteilung der Mapping-Informationen durch die Hash-Funktion nicht beeinflusst werden kann. Abbildung 3 stellt die Organisation der Mapping Server in einer hierarchischen DHT dar. Die Mapping Server werden nun wie folgt unterschieden: (1) Mapping Server der lokalen DHT-Ebene; (2) Mapping Server der globalen DHT-Ebene; (3) Mapping Server mit Gateway-Funktionalität, der zu einer lokalen und zur globalen DHT-Ebene gehört.

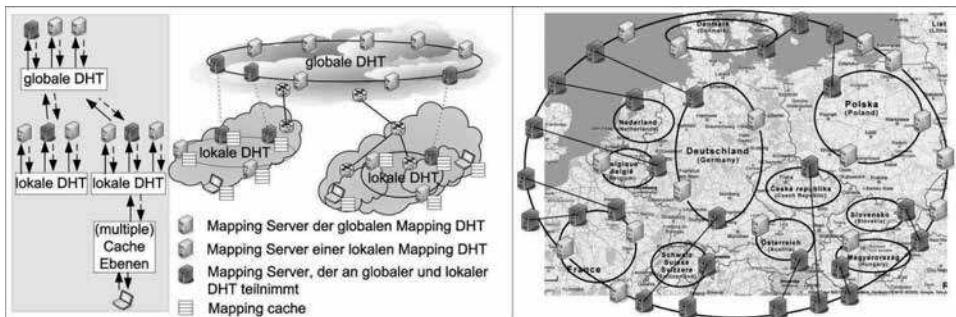


Abbildung 3: Lookup-Prinzip, Multi-Level Struktur und spatiale Organisation des NIP Mappings

Je nachdem, welche Technologie für hierarchische DHTs genutzt wird, kann ein unterschiedlich hoher Grad an administrativer Autonomie für die Betreiber der Edge-Netzwerke erreicht werden. So ist es z. B. mit Cyclone [ALAS05] möglich, dass in jedem Edge-Netzwerk eine andere DHT-Technologie (wie beispielsweise Chord oder Kademia) genutzt wird. Außerdem erlaubt der Einsatz der Mapping-Server mit Gateway-Funktionalität den Betreibern, lokale Mapping Server hinter Firewalls oder in einer demilitarisierten Zone (DMZ) zu platzieren, da nur die Gateway-Server global erreichbar sein müssen.

6.4 Spatiale Organisation der hierarchischen DHTs

Der Multi-Level Ansatz kann wie beschrieben topologisch oder auch auf spatiale Weise organisiert werden. Bei topologischer Organisation sind Netzbetreiber wie z. B. Universitäten oder Provider verantwortlich für das Vorhalten der Mapping-Informationen.

Knoten mit mehreren NIs können zu mehreren topologischen Orten gleichzeitig verbunden sein, so dass im Fall der topologischen Organisation mehrere Betreiber für einen Knoten verantwortlich sind. Dies macht das Mapping System komplex und führt zu zusätzlichem Overhead. Ein Knoten kann sich jedoch immer nur an einem physikalischen Ort gleichzeitig aufhalten. Daher erscheint eine geographische / spatiale Organisation vorteilhaft.

Für die geographische / spatiale Organisation müssen Regionen und verantwortliche Betreiber zur Administration dieser Regionen definiert werden. Die Regionen müssen groß genug sein, um häufige Wechsel der Knoten zwischen verschiedenen Regionen zu vermeiden. Strukturen wie Kontinente, Länder oder Bundesländer erfüllen diesen Aspekt und deren Wiederverwendung als Regionen für das Mapping System bietet sich daher an. In Abbildung 3 wurde ein Beispiel für ein Mapping System dargestellt, in dem Länder als Regionen definiert wurden. Jedes Land unterhält eine lokale Mapping DHT und eine Mapping DHT höherer Hierarchieebene (z. B. Kontinent oder Welt) verknüpft die lokalen DHTs der einzelnen Länder miteinander. Die Anzahl der Hierarchieebenen sollte begrenzt sein, da mehr als drei Ebenen kaum einen Mehrwert bieten [XMH03]. Die verantwortlichen Betreiber für die einzelnen Regionen und die höheren Hierarchieebenen sollte möglichst unabhängig von politischen und wirtschaftlichen Interessen agieren, da das Mapping System ein kritischer Punkt für die Funktionalität von NIP ist. Beispiele für ähnliche globale und lokale Betreiber sind die IANA (Internet Assigned Numbers Authority) und die RIRs (Regional Internet Registries), die die Verteilung der IP Adressen verwalten.

7 Mobilitätsunterstützung in NIP

Mobilität wird durch NIP inhärent unterstützt. Die NIDs der Knoten bleiben auch im Fall von Mobilität konstant. Damit ist Mobilität für Kommunikationsverbindungen auf Transportebene transparent, da hier NIDs als Endpunkte genutzt werden. Die Mobilität von Knoten führt jedoch zu Änderungen der LID(s) der Knoten. Auch wenn diese Änderungen für die Transportschicht transparent sind, so müssen die Mapping Informationen des Knotens innerhalb des Mapping Systems aktualisiert werden, damit eine korrekte Auflösung der NID und damit die Paketweiterleitung zum korrekten Ziel auf Netzwerkebene auch im Fall von Mobilität gewährleistet werden kann.

Die Aktualisierung der Mapping Informationen beinhaltet die Aktualisierung der Mapping Server sowie Updates der lokalen Mapping Caches. Für beides kann nicht vorausgesetzt werden, dass der Handoff-Prozess des mobilen Knotens dem Make-before-Break Prinzip folgt, da einige Netzwerktechnologien wie z. B. WLAN Break-Before-Make Handoff nutzen. Daraus folgt, dass ein Knoten den Mapping Server des alten Edge-Netzwerks bzw. der alten Region nicht über den Handoff-Prozess und die sich ändernde LID informieren kann. Der mobile Knoten ist jedoch in der Lage, den Mapping Server des neuen Edge-Netzwerks bzw. der neuen Region über seine neue Verbindung sowie über die davor genutzte Verbindung zu informieren. Der Mapping Server des neuen Edge-Netzwerks bzw. der neuen Region kann mit diesen Informationen den Mapping Server des alten Edge-Netzwerks bzw. der alten Region sowie die globalen Mapping Server informieren.

Zusätzlich dazu kann ein Mobile IP ähnlicher Mechanismus genutzt werden, um Pakete, die durch veraltete Cache-Einträge zum falschen Netzwerk weitergeleitet worden sind, umzuleiten. Um dies zu ermöglichen, muss neben dem alten Mapping Server ebenfalls der Border Router des alten Edge-Netzwerks über die neue LID des Knotens informiert werden. Der Border Router kann nun solange die Pakete zum neuen Edge-Netzwerks des mobilen Knotens umleiten, bis die Cache Einträge, die diese falsche Weiterleitung der Datenpakete verursacht haben, aktualisiert wurden. Um die Aktualisierung veralteter Cache-Einträge zu beschleunigen, schicken Border Router, die Datenpakete mit veralteter Ziel-LID empfangen, eine Aktualisierung des Mapping Eintrags für den Zielknoten an den Absender dieses Datenpakets, so dass der Absender seinen Cache-Eintrag aktualisieren kann. Da dieser Mechanismus Border Router für das Mobilitätsmanagement nutzt, kann auch simultane Mobilität von beiden korrespondierenden Knoten unterstützt werden. Trotz gleichzeitigem Wechsel der LIDs beider Knoten können die Mobilitäts-Updates über die Border Router zum richtigen Ziel weitergeleitet werden.

8 Multi-homing Support in NIP

NIP ermöglicht durch die Nutzung des Drei-Tupel Adressierungsschemas die Unterstützung von Host-Multi-Homing auf Netzwerkebene und schafft die Grundlage für zusätzlichen funktionale Verbesserungen wie gleichzeitigem Datentransfer über multiple Pfade und Load Balancing auf Ebene der NIs der Netzwerkknotten. Durch die IID-Liste im NIP Pake-theader können mehrere Kommunikationsszenarien realisiert werden: single NI zu single NI (SNSN), single NI zu multiplen NIs (SNMN), multiple NIs zu single NI (MNSN), und multiple NIs zu multiplen NIs (MNMN). Die Auswahl eines Kommunikationsszenarios mit multiplen NIs ermöglicht die Nutzung mehrerer NIs für den Datentransport innerhalb einer Kommunikationsverbindung, was die Bandbreitenaggregation dieser NIs ermöglicht.

Die Auswahl bevorzugter NIs kann durch lokale Policies kontrolliert werden. Unabhängig davon, wer die Policies definiert (z.B. Applikationen oder Nutzer), können Policies für einzelne oder alle Kommunikationsverbindungen des Knotens angewendet werden. Durch die Lokalität der Policies kann ein Knoten nur für sich selbst bevorzugte NIs auswählen und nutzen. Durch den Versand der ausgewählten NIs über die IID-Liste kann er jedoch seinen korrespondierenden Knoten mitteilen, welche NIs er zum Empfang von Datenpaketen bevorzugt. Diese Funktionalität, die erst durch die Einführung von IIDs möglich wird, ermöglicht die Bestimmung spezifischer Quell-/Ziel-NIs für jedes Datenpaket. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber anderen LIS Ansätzen.

9 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die Architektur des Node-oriented Internet Protokoll (NIP) als Grundlage der Unterstützung von Mobilität und Multi-homing auf Netzwerkebene vorgestellt. Das Konzept von NIP greift die Idee der Adresseseparation auf und führt ein neues

Drei-Tupel Adressierungsschema auf Netzwerkebene ein. Im Gegensatz zu bestehenden Lösungen definiert NIP Funktionen, die den Knoten die Selektion einzelner oder mehrerer NIs für Kommunikationsverbindungen erlaubt, was der Grundstein für erweitertes Load Balancing aus Sicht der Netzwerkknoten ist. Zusätzlich werden Konzept für ein global skalierbares Mapping System und Update-Mechanismen vorgestellt, die die Basis für erweitertes Mobilitätsmanagement darstellen. Das NIP Konzept ist damit ein weiterer Schritt zur nativen Unterstützung von Mobilität und Multi-homing auf Netzwerkebene des zukünftigen Internets.

Danksagung

Alexander Gladisch ist Mitglied des Graduiertenkollegs Multimodal Smart Appliance Ensembles for Mobile Applications (MuSAMA, GK 1424), welches von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG gefördert wird.

Literatur

- [ABH10] Randall Atkinson, Saleem Bhatti und Stephen Hailes. Evolving the Internet Architecture Through Naming. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 28(8):1319–1325, october 2010.
- [ALAS05] M S Artigas, P G Lopez, J P Ahullo und A F G Skarmeta. Cyclone: a novel design schema for hierarchical DHTs. In *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing*, Seiten 49–56. IEEE, 2005.
- [GDT12] Alexander Gladisch, Robil Daher und Djamshid Tavangarian. Survey on Mobility and Multihoming in Future Internet. *Wireless Personal Communications*, Seiten 1–37, 2012.
- [MNJH08] R. Moskowitz, P. Nikander, P. Jokela und T. Henderson. RFC 5201: Host Identity Protocol. available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5201.txt>, 2008. last access: 07.12.2011.
- [NB09] E. Nordmark und M. Bagnulo. RFC 5533: Shim6: Level 3 Multihoming Shim Protocol for IPv6. available at: <http://tools.ietf.org/html/rfc5533>, 2009. last access: 06.12.2011.
- [PJPSi10] Jianli Pan, R. Jain, S. Paul und Chakchai So-in. MILSA: A New Evolutionary Architecture for Scalability, Mobility, and Multihoming in the Future Internet. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 28(8):1344 –1362, october 2010.
- [PPJ11] Jianli Pan, S. Paul und R. Jain. A survey of the research on future internet architectures. *Communications Magazine, IEEE*, 49(7):26 –36, july 2011.
- [XMH03] Zhiyong Xu, Rui Min und Yiming Hu. HIERAS: a DHT based hierarchical P2P routing algorithm. In *Parallel Processing, 2003. Proceedings. 2003 International Conference on*, Seiten 187 –194, oct. 2003.
- [ZWZ11] Z. Zhu, R. Wakikawa und L. Zhang. RFC 6301: A Survey of Mobility Support in the Internet. available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc6301.txt>, july 2011. last access: 14.12.2011.