

Was dem Administrator Smartphones, Tablets und Laptops, sind der NASA Satelliten, Monde und Planeten. Seit Längerem arbeitet die US-Raumfahrtbehörde an einem interplanetaren Internet (IPN), das inzwischen als Disruption- oder Delay-Tolerant Networking (DTN) Konturen angenommen hat. Zugleich hat die DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) etliche terrestrische DTN-Projekte für Netze mit geringer Verbindungsstabilität ins Leben gerufen.

Ihr Augenmerk richten die Entwickler des IPN oder InterPlaNet rund um den Internet-Vater Vinton Cerf auf die langen Laufzeiten der Nachrichten und Verbindungsunterbrechungen im All, etwa durch Planetenschatten oder Sonnenstürme. Ihre Konzepte finden sich heute im DTN: Da es keine kontinuierliche Ende-zu-Ende-Verbindung erwartet, arbeitet es mit Store and Forward. Dabei überträgt das Quellsystem die Daten bis zum nächsten erreichbaren Knoten, der speichert sie zwischen und überträgt sie an den nächsten. Erst wenn er von diesem die Empfangsbestätigung bekommt, löscht er sie.

Zugleich überträgt DTN die Nachrichten auf mehreren Wegen, um die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Nachrichtenübertragung zu erhöhen. In die Entwicklung flossen auch Erfahrungen aus Sensornetzen und mobilen Ad-hoc-Routingverfahren ein. Für eine sichere Authentifizierung der nur temporär erreichbaren Knoten existieren mehrere Ansätze. Einige stammen aus anderen Gebieten, etwa den mobilen Ad-hoc-Netzen oder verteilten Zertifizierungsstellen und PKI-Schemata. Eine DTN-Eigenentwicklung ist die ID-basierte Kryptografie, bei der die Knoten verschlüsselte Daten mit ihrer eigenen ID dekodieren können.

DTN kann auf den TCP/IP-Stack aufsetzen oder seinen eigenen Unterbau mitbringen.

Protokolle für Netze mit geringer Verbindungsstabilität

# Unverwüstlich

Susanne Nolte

Mit dem Disruption-Tolerant Networking oder DTN hat die NASA ein robustes Protokollbündel geschaffen, das nicht nur Planeten und Satelliten verbindet, sondern auch auf der Erde Netze trotz häufiger und langer Unterbrechungen schaffen kann.



Die Mechanismen des Store and Forward haben die Entwickler in Form eines Overlay Network auf die OSI-Schicht 7 gelegt. Verantwortlich dafür und damit zentraler Bestandteil des DTN ist das Bundle Protocol (BP) nach RFC 5050. Dieses End-to-End-Protokoll definiert eine Folge zusammenhängender Datenblöcke als ein Bündel, das ausreichend semantische Informationen enthält, um eine Anwendung fortzusetzen, und beschreibt die Blockformate. Laut RFC 5050 kann eine Anwendung die Prioritätsstufen *bulk*, *normal* und *expedited* vorgeben.

## Zwischen Paketen und Bündeln

Die Vermittlung zwischen BP und den unteren Schichten übernimmt ein Convergence Layer Protocol (CLP). Momentan existieren mehrere CLP-Typen oder befinden sich in der Entwicklung. Dazu zählen eine auf TCP aufsetzende Variante TCPCL, ein UDP-basiertes CLP sowie die Varianten Saratoga, LTP (Licklider Transmission Protocol) und LTP-Transport.

Wichtigstes CL-Protokoll für die moderne Raumfahrt ist

das LTP nach RFC 5325, auch Long-Haul Transmission Protocol (Langstrecken-Übertragungsprotokoll) genannt. Es arbeitet ausschließlich von Punkt zu Punkt und besitzt anders als TCPCL keine Mechanismen der Flusskontrolle. LTP speichert die Daten in der Queue und prüft vor dem Senden, ob eine Verbindung zum Ziel besteht. Falls nicht, behält es die Daten, bis es einen sogenannten Link State Cue erhält.

Die Queue unterteilt sich in einen roten und einen grünen Bereich. Im roten liegen wichtige Daten, etwa Dateihheader, ohne die die folgenden Daten wertlos sind. Ihren Empfang lässt sich der Sender quittieren. Im grünen Bereich liegen unwichtige Daten wie Bildpixel, die sich rekonstruieren lassen und die der Sender nach dem Verschicken löscht, ohne auf eine Empfangsbestätigung zu warten. Sendet der Knoten rote Daten, markiert er das letzte Segment mit einem Flag „end of red data“ und startet einen Timer. Erst danach folgen falls vorhanden die grünen Daten. Das letzte Segment, ob rot oder grün, bekommt außerdem das Flag „end of block“ gesetzt. Der Empfänger quittiert das Flag „end of red data“ – so al-

le vorherigen Segmente vorliegen – mit einem Report-Segment und startet ebenfalls einen Timer. Landet das Report-Segment beim Sender, beendet er seinen Timer und reiht eine Bestätigung in die Sende-Queue ein, in der sich noch Segmente mit grünen Daten befinden können. Zudem informiert der Sender die Anwendung, dass alle roten Daten erfolgreich übertragen wurden. Nach dem Eintreffen der Bestätigung beendet auch der Empfänger seinen Timer und schließt damit das Übertragen der roten Daten ab. Trifft das Segment mit dem Flag „end of block“ ein, ist die gesamte Übertragung beendet.

Momentan existieren zwei Open-Source-Implementierungen, ION (Interplanetary Overlay Network) vom JPL (Jet Propulsion Laboratory) der NASA und die LTPLib vom Trinity College in Dublin. ION hatte in der Version 3.1.2 unter Linux seinen großen Auftritt, als eine Sonde im November 2013 die Daten eines um den Mond gespannten DTN per Laserstrahl zum White Sands Complex der NASA in New Mexico übertrug. (sun)

