

Seminararbeit

**Can ISPs and P2P Users Cooperate for
Improved Performance?**
nach Vinay Aggarwal, Anja Feldmann, Christian Scheideler

Marius Greitschus

23. Juli 2009

Zusammenfassung

Dieses Dokument befasst sich mit der Arbeit von Aggarwal, Feldmann und Scheideler mit dem Titel „Can ISPs and P2P Users Cooperate for Improved Performance?“ [1]. Es ist Teil des Seminars Peer-to-Peer-Netzwerke der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Sommersemester 2009 und orientiert sich an der zu haltenden Präsentation. Die Arbeit der Autoren befasst sich mit der Frage, ob durch gemeinsame Zusammenarbeit von Internetdiensteanbietern (*Internet Service Provider*, im Folgenden auch *ISPs*) und Peer-to-Peer (*P2P*) Netzwerkbenutzern gegenseitige Vorteile erreicht werden können. Zum einen eine Senkung der Kosten seitens der ISP, zum anderen eine Erhöhung des Datendurchsatzes seitens der P2P-Benutzer.

Im Folgenden wird zunächst eine Einleitung in das Thema und seiner Zusammenhänge gegeben. Nachdem der Lösungsvorschlag der Autoren diskutiert wurde, werden dann die Metriken, die verwendet werden können, um die Effizienz des Lösungsvorschlages zu messen, vorgestellt. Schließlich werden die Ergebnisse aus Simulationen und Testumgebungen angesprochen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Metriken	5
2.1	Grad	5
2.2	Durchmesser der Hopanzahl	6
2.3	AS-Durchmesser	6
2.4	Flow Conductance	6
3	Grapheigenschaften	7
3.1	Struktureigenschaften	7
3.2	Lokalität	7
3.3	Flow Conductance	7
4	Simulationen im echten P2P-System	7
5	Testlab Experimente	8
6	Zusammenfassung und Kritik	8

1 Einleitung

In den letzten Jahren haben Peer-to-Peer-Netzwerke zusehens an Bedeutung gewonnen. Neben den üblichen P2P-Anwendungen, wie BitTorrent, eDonkey oder Gnutella, die primär als Filesharing-Anwendungen konstruiert wurden, nutzen auch andere Anwendungen, wie VoIP-Programme (z.B. Skype), zusehens eine Peer-to-Peer Infrastruktur für den Datenaustausch.

Über 50% des gesamten Internetdatenverkehrs ist P2P-Verkehr. Diese Rate ist in den letzten Jahren zwar leicht zurück gegangen, jedoch nimmt keine andere Anwendung so viel Verkehr in Anspruch, wie P2P [2]. Abbildung 1 zeigt deutlich, dass in Deutschland 53% des Internetverkehrs P2P-Verkehr ist, in Osteuropa sogar 70%. Die Autoren deuten dieses Ungleichgewicht der Nutzung der Internetbandbreite als „Dilemma“. Ihrer Ansicht nach bringt die Nutzung von Peer-to-Peer-Anwendungen die Internet Service Provider in eine schwierige Situation: einerseits helfen ihnen die P2P-Anwendungen, denn sie müssen laufend ihre Infrastruktur ausbauen, um den wachsenden Nutzerzahlen genügend Bandbreite zur Verfügung stellen zu können, da Filesharing immernoch einer der Hauptgründe für Endbenutzer ist, ihre Internetleitung auszubauen [3]. Diese Aufrüstung ist selbstverständlich mit großen finanziellen Einnahmen dank neuer Tarife und Konditionen verbunden.

Auf der anderen Seite unterdrücken die P2P-Anwendungen anderen Netzwerkverkehr, wie Web- oder Mail-Anwendungen [4]. Der P2P-Verkehr überschwemmt förmlich das Netz und die ISPs sehen sich immer häufiger mit Bottlenecks und Congestion-Problemen konfrontiert, die sie früher nicht hatten. Die Autoren führen aus, dass dies am Aufbau der P2P-Netze liegt, denn diese führen ihren Verbindungsaufbau und das Routing auf der Anwendungsschicht durch, also auf einer Overlay-Topologie, unabhängig von der Vermittlungsschicht, also dem Internet-Routing an sich. Als Beispiel dient ein einfaches Gedankenexperiment: ein P2P-Benutzer in Frankfurt möchte eine Datei aus einem P2P-Netzwerk herunterladen. Die angeforderten Teile kommen von einem weit entfernten Peer in Sydney. Genau dieser Teil hätte nun auch von einem Peer in Berlin angefragt werden können. Aufgrund der geographischen Lage, wäre die letztere Möglich zu bevorzugen gewesen. Denn je „näher“ ein Peer ist – so die Autoren – desto geringer ist auch die Latenz für den Endbenutzer und besonders die Kosten für die Internet Service Provider. Sie stellen fest, dass dieses Problem in der Natur von P2P-Anwendungen an sich liegt. Diese Anwendungen arbeiten zum Beispiel über Distributed Hashtables (DHTs) zusammen. Sie nehmen dabei keine Netzinformationen, wie geographische Lage der Peers in ihre Berechnungen auf. So kommt es eher häufig vor, dass „ungünstige“ Verbindungen wie im obigen Beispiel zustande kommen. Der ISP selbst hat nur begrenzte Mittel, seinen Netzwerkverkehr zu kontrollieren. Um die Pakete innerhalb des ISP-Netzwerkes zu „günstigeren“ Peers umleiten zu können, müsste Reverse-Engineering vorgenommen werden, also der Ursprung und das Ziel jedes einzelnen Paketes untersucht und das Paket dann umgeleitet werden. Für ISPs ist diese Aufgabe nahezu unmöglich. Hinzu kommen die höheren Kosten für ISPs, wenn Netzwerkverkehr das Autonome System (AS) des ISPs verlässt.

P2P-Programme selbst besitzen aber nur begrenzte Mittel, um eine optimale Verbindung durch das zugrunde liegende Netz zu finden. Sie besitzen keine Informationen über die Netzinfrastruktur des Netzes, in dem sie sich befinden. So ist jedes P2P-System dazu gezwungen, die beste Verbindung für sich selbst zu bestimmen.

Aggerwal, Feldmann und Scheideler schlagen nun vor, dass ISPs und P2P-Nutzer zusammen arbeiten sollten, um die eben geschilderten Probleme zu reduzieren.

Ihr Lösungsvorschlag ist die Einführung eines „Orakel-Services“. Dieser wird vom ISP bereitgestellt und kann von P2P- – und anderen – Anwendungen abgefragt werden, um Routing und Verbindungsinformationen zu erhalten. Die dadurch zustande kommende Verbindung soll der für den ISP günstigsten Verbindung entsprechen. Auch der Peer selbst soll von dieser Verbindung profitieren, da er mit niedrigeren Latenzen und schnelleren Übertragungen rechnen darf.

Entscheidend für die Güte des Verfahrens ist die Wahl der richtigen Metrik. Mögliche Metriken sind beispielsweise, ob die Verbindung im Autonomen System des Providers bleibt oder ob die Verbindung das AS verlässt, die Anzahl der Hops auf dem Pfad zum Ziel, der AS-Durchmesser, geographische Informationen, Delay und Bandbreite oder der Netzwerkverkehr selbst (vermeidung

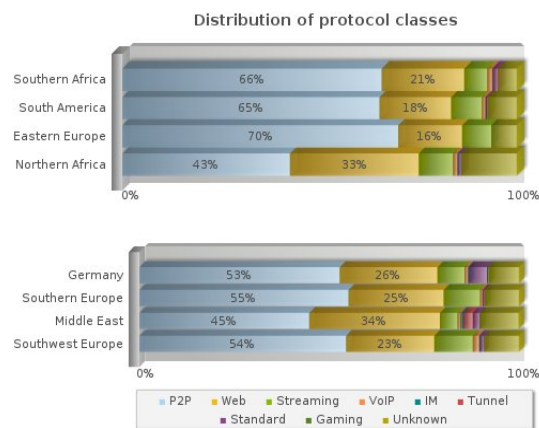


Abbildung 1: ipoque Internet Study 2008/2009

von Congestion und Bottlenecks).

Die Vorteile, die sich dadurch auftun, sind für die Autoren, dass P2P-Programme sich ihre Verbindung nicht selbst herausuchen müssen und sie so vom Wissen der Provider profitieren. Das Ergebnis sollte verbesserte Leistung sein. Der ISP selbst kann nun festlegen, welche Route vom P2P-Netzverkehr genommen werden soll und kann so frühzeitig Bottlenecks vermeiden. Am wichtigsten jedoch scheint die Eindämmung des Verkehrs auf das eigene Netz zu sein, um die Infrastrukturkosten für den ISP zu reduzieren. Im folgenden werden nun die Metriken, die von den Autoren vorgestellt wurden, besprochen.

2 Metriken

Die nun betrachteten Metriken sind der Grad, der Durchmesser der Hopanzahl, der AS-Durchmesser und die Flow Conductance („Durchflussfähigkeit“) eines Netzwerkes. Die grundsätzlichen mathematischen Zusammenhänge sind die folgenden. Es wird immer von einem bierichteten Graphen, $G = (V, E)$, ausgegangen, mit Autonomen Systemen V und der Kantenmenge (also der Verbindungen zwischen den Autonomen Systemen) E . Es handelt sich hierbei um einen Graphen, der das Overlay-Netzwerk beschreiben soll. Jede Kante besitzt Kosten, die durch die Funktion $c : E \rightarrow \mathbb{R}^+$ beschrieben werden. Die Kosten, die eine Nachricht von Autonomem System u zu Autonomem System v beansprucht, werden mit $c(u, v)$ beschrieben. Des weiteren beschreibt die Funktion $AS : P \rightarrow V$, wie die Peers P in den Autonomen Systemen liegen. $b : P \rightarrow \mathbb{R}^+$ sei die Bandweite jedes Peers. Das Peernetzwerk selbst sei beschrieben durch einen gerichteten Graphen $H = (P, F)$, in dem jede Kante $(p, q) \in F$ die Kosten $c(AS(p), AS(q))$ hat. H beschreibt hier das Underlay-Netzwerk.

2.1 Grad

Der Grad eines Peers wird definiert als die Anzahl der ausgehenden Verbindungen zu anderen Peers. Demnach wäre wünschenswert, dass eine große Anzahl von Verbindungen zu Peers innerhalb des Autonomen Systems des Peers gehen und so die bevorzugte Kommunikation innerhalb des Autonomen Systems abläuft. Es sollten nur wenige Verbindungen das Autonome System verlassen, da diese an hohe Verbindungskosten und hohe Aktualisierungskosten für den Fall, dass neue Peers hinzu kommen oder welche das Netzwerk verlassen, gekoppelt wären.

2.2 Durchmesser der Hopanzahl

Der Durchmesser der Hopanzahl D auf H ist definiert als das Maximum aller Knoten $p, q \in P$, deren Anzahl der Kanten auf dem Pfad von p nach q minimal ist. D entspricht demnach der kürzesten Verbindung der am weitesten entfernten Peers innerhalb des Netzwerkes. Die untere Grenze dieses Durchmessers wird von den Autoren als $\log_{d-1} n$ angegeben¹, mit Grad d der Knoten. Die Autoren erwähnen Varianten des de Bruijn Graphen [5], die dieser unteren Grenze schon sehr nahe kommen. Gewünscht wäre ein möglichst geringer Durchmesser der Hopanzahl, da mit jedem Hop ein Paket länger unterwegs ist und so die Latenz erhöht wird.

Es kann nun sein, dass der Durchmesser der Hopanzahl sehr klein ist, der AS-Durchmesser jedoch sehr groß wird, wenn zwei Peers nahe beieinander, aber in unterschiedlichen Autonomen Systemen liegen.

2.3 AS-Durchmesser

Der AS-Durchmesser ist definiert als das Maximum aller Knotenpaare $p, q \in P$, deren Pfadkosten minimal sind. Es handelt sich also um den „teuersten Pfad der billigsten Pfade“. Die Pfadkosten werden dann einfach durch die Summe der Kosten der einzelnen Kanten auf dem Pfad von p nach q beschrieben. Die Autoren sprechen an, dass die beste bekannte (theoretische) Konstruktion mit effizientestem AS-Durchmesser das *LAND Overlay-Netzwerk* ist [6].

Mit dem folgenden Gedankenexperiment beschreiben die Autoren den Vorteil des Orakels auf den AS-Durchmesser. Sie konstruieren zwei Fälle. Fall 1 sei ein Netzwerk mit Peers, deren Kanten alle die jeweiligen Autonomen Systeme verlassen. Wie oben erwähnt ist der AS-Durchmesser dann beschränkt durch $\log_{d-1} n$.

Im zweiten Fall verlässt von jedem Peer jeweils nur genau eine Kante das Autonome System. In diesem Fall ist es möglich, die Peers in Cliques der Größe $d-1$ innerhalb der Autonomen Systeme zu ordnen. Als Vereinfachung wird angenommen, dass die Anzahl der Peers in jedem Autonomen System ein Vielfaches von $d-1$ ist. Wenn man sich nun ein Overlay-Netzwerk aus diesen Peers baut, in dem jede Clique ein eigener Knoten ist, dann hat jeder Knoten dieses Netzwerkes den Grad $d-1$. Die Gesamtanzahl der Cliques ist $\frac{n}{d-1}$. Setzt man die Werte nun in die obige Formel ein, so erhält man als Graphendurchmesser eine untere Grenze von $\log_{d-2} \left(\frac{n}{d-1} \right)$. Da dieser Wert kleiner ist als der Wert in Fall 1, sehen die Autoren einen Beweis darin, dass durch Umorganisation der Peers, wie es in der Orakel-Variante der Fall wäre, eine Verbesserung des AS-Durchmessers erreicht werden kann.

2.4 Flow Conductance

Die Flow Conductance ist ein Maß dafür, wie gut ein Netzwerk unter einer bestimmten Last zurecht kommt. Wenn in einem gerichteten Netzwerk $G = (V, E)$ mit Kantenbandweiten $b: E \rightarrow \mathbb{R}^+$ die Menge der ausgehenden Kanten eines Knotens $v \in V$ ist, dann ist die Bandweite eines Knotens $v \in V$ definiert durch $b(v) = \sum_{e \in E(v)} b(e)$. Für jede Teilmenge $U \subseteq V$ sei dann $b(U) = \sum_{v \in U} b(v)$. Wenn in diesem Netzwerk nun jedes Knotenpaar $v, w \in V$ die Bandweite $d_{v,w} = \frac{b(v) \cdot b(w)}{b(V)}$ beansprucht, dann sei λ der größtmögliche Wert, bei dem der Netzwerkverkehr noch „brauchbar“ ist für $\lambda d_{v,w}$. Es gilt also $0 \leq \lambda \leq 1$. Die Flow Conductance C ist definiert als das Inverse des größten λ in diesem Netzwerk. Je größer λ , desto kleiner C , desto besser ist das Netzwerk.

¹Nach der Besprechung mit Prof. Schindelbauer liegt dieser Wert ein wenig höher, bei $\log_{d-1} n + \varepsilon$ mit $0 \leq \varepsilon \leq 1$.

3 Grapheigenschaften

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der theoretischen Simulationen des Orakel-Netzwerkes vorgestellt. Die Simulation wird mit Hilfe der Simulationsumgebung „Subjects“ durchgeführt [7]. Es werden 5 Graphen erstellt, mit 300 Autonomen Systemen pro Graph und insgesamt 4.372 P2P-Knoten. Jeder Graph wird in unterschiedlich große Autonome Systeme unterteilt. Wenn nun ein P2P-Knoten eine Verbindung herstellen soll, wird zufällig ein Knoten ausgewählt, der entweder eine Verbindung zu einem anderen, zufällig ausgesuchten Knoten herstellt („herkömmliches P2P“), oder zu einem Knoten aus einer gegebenen Liste („Orakel-P2P“).

3.1 Struktureigenschaften

Es wurde gezeigt, dass das Overlay-Netzwerk des Orakel-Graphen nicht in unterschiedliche Teile gespalten wird. Es findet also keine Beeinträchtigung des Netzwerkes statt. Des weiteren ändert sich der durchschnittliche Grad der Knoten nur minimal. Er nimmt etwas ab von 9,138 in der herkömmlichen Variante auf 8,8 in der Orakel-Version. Die Autoren stellen fest, dass diese Änderung die Netzwerkstruktur nicht ausschlaggebend beeinträchtigt. Zuletzt stellten die Autoren fest, dass sich die durchschnittliche Pfadlänge und der AS-Durchmesser nicht signifikant ändern. Daher ziehen sie den Schluss, dass die „Orakel-Lösung“ des Netzwerkes die Struktur des Overlay-Netzwerkes nicht negativ ändert.

3.2 Lokalität

Es wird gezeigt, dass sich die Lokalität selbst im Overlay-Netzwerk erhöht. Dieser Wert wird anhand des AS-Durchmessers bestimmt. Da ein kleinerer AS-Durchmesser geringere Latenzen bedeutet, verbessert sich die Eigenschaft des Netzwerkes in der „Orakel-Version“. Ohne Orakel kommen nur 4% der Kanten eines Peers im selben Autonomen System an, mit Orakel sind es 59%. Der Netzwerkverkehr bleibt also mit höherer Wahrscheinlichkeit innerhalb des Autonomen Systems.

3.3 Flow Conductance

Da der Algorithmus der Autoren zur Bestimmung der unteren Grenze der Flow Conductance eine Laufzeit von $O(n^4)$ hat, kann der Wert nur für kleine Graphen berechnet werden². In der Version ohne Orakel kommen die Autoren auf einen Wert von λ von mindestens 0,5. Mit Orakel ist λ nach unten beschränkt durch 0,25. Die schlechtere Flow Conductance wirkt sich nach der Theorie der Autoren jedoch nur aus, wenn die Benutzer etwas suchen, was sich nicht in ihrem Autonomen System befindet.

4 Simulationen im echten P2P-System

Mit Hilfe des Netzwerksimulationsframeworks SSFNet [8] erstellen die Autoren mehrere Gnutella-Clients, die untereinander in Verbindung stehen und Daten austauschen können. Diese Gnutella-Clients wurden um den Aspekt des Orakels erweitert.

Ergebnis der Simulation ist, dass der Graph trotz des zufälligen Wegfallens und Hinzukommens von neuen Knoten während der gesamten Versuchszeit verbunden bleibt. Der durchschnittliche Knotengrad verringert sich währenddessen nur minimal. Die Struktur des Netzwerkes bleibt aber unverändert. Ebenso sieht es mit dem Durchmesser des Underlay-Netzwerkes aus. Nur das Overlay-Netzwerk vergrößert sich innerhalb von vorhergesehenen Werten. Die meisten Verbindungen der Peers bleiben innerhalb ihrer Autonomen Systeme. Damit weichen die Simulationsergebnisse mit

²Laut den Autoren haben sie einen Algorithmus entwickelt, der in $O(n^2 \log n)$ läuft. Die Berechnungen stehen aus.

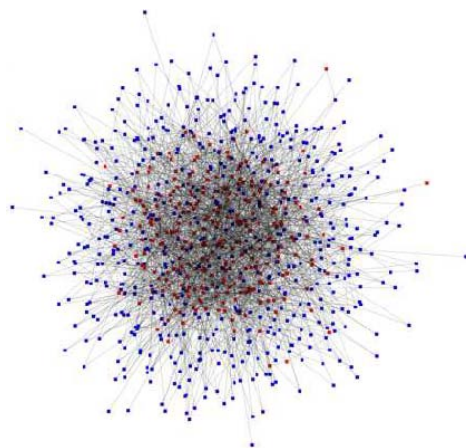


Abbildung 2: P2P-Netzwerk ohne Orakel [1]

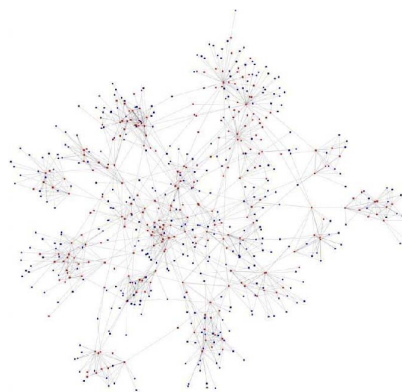


Abbildung 3: P2P-Netzwerk mit Orakel [1]

SSFNet kaum von den theoretischen Simulationen ab.

Abbildungen 2 und 3 zeigen die errechnete Netzstruktur ohne und mit Orakel-Service. In Abbildung 3 ist die Lokalität des orakel-basierten Netzwerkes deutlich zu sehen.

5 Testlab Experimente

Das letzte Experiment, das die Autoren durchführen, ist das Testen ihres Orakel-Services unter Realbedingungen. 15 Computer werden in einem Netzwerk zusammengeschlossen, auf denen je drei Instanzen der veränderten Gnutella-Anwendungen mit Orakel laufen. Diese Netzstruktur simuliert die unterschiedlichen Autonomen Systeme, während jede Instanz der Gnutella-Anwendungen – also jeder Knoten des Netzwerkes – je 6 Dateien anbietet. Damit werden in dem Netz insgesamt 270 Dateien angeboten. Jeder Knoten fordert nun eine begrenzte Anzahl dieser Dateien an.

Es stellt sich heraus, dass alle Anfragen, die im herkömmlichen P2P-Netzwerk abgearbeitet wurden, auch im Orakel-Netzwerk abgearbeitet werden und die Nachfragen und Antworten dazu neigen, innerhalb der jeweiligen Autonomen Systeme zu verbleiben.

Die Autoren stellen aufgrund ihrer Simulations- und Testergebnisse fest, dass sich ihr Orakel-Service sowohl für die Internet Service Provider als auch für die Peer-to-Peer-Benutzer lohnen würde.

6 Zusammenfassung und Kritik

Es wurden von den Autoren Metriken vorgestellt, die es ermöglichen, die Güte eines Netzwerkes zu bestimmen und festzustellen, ob es beim Datenaustausch zu Engpässen und Problemen kommen kann. Des Weiteren stellen die Autoren fest, dass es sowohl für Internet Service Provider als auch für Peer-to-Peer-Nutzer vorteilhaft ist, wenn ein Orakel-Service seitens des ISP eingerichtet wird, der den P2P-Anwendungen beim Verbindungsaufbau hilft und gleichzeitig sicherstellt, dass Verbindungen vornehmlich innerhalb des Autonomen Systems des ISP bleiben, wenn dies möglich ist. Das resultiert in einer Kostensenkung für die ISPs und einem Geschwindigkeitsvorteil für die P2P-Benutzer.

Obwohl der Ansatz der Autoren tatsächlich zu einer deutlichen Verbesserung der Leistung von P2P-Netzwerken und zu einer Kostensenkung seitens der ISPs zu führen scheint, muss der Nutzen ihres Vorschlages diskutiert werden. Wenn beispielsweise im Testlab-Experiment jeder Peer nur 6 Dateien verteilt, muss man sich über die Skalierung des gesamten Experiments Gedanken machen. In herkömmlichen Peer-to-Peer-Netzwerken sollte die Anzahl der zu tauschenden Dateien deutlich höher liegen. Beispielsweise teilten schon im Jahr 2002 über 50% der Peers in Gnutella-Netzwerken

jeweils mehr als 10 Dateien (wobei 7% der Peers 1000 Dateien oder mehr zur Verfügung stellen) [9]. Daher ist es kaum Möglich, anhand des Teilens von 6 Dateien pro Peer eine korrekte und ausführliche Aussage über ein Netzwerk geben zu können.

Eine weitere Frage, die sich auftut, ist, wie teuer es tatsächlich für die ISPs ist, wenn ein Paket ihr Autonomes System verlässt. Da Hardware immer billiger wird, die Kosten für einen Internetanschluss beim Endbenutzer jedoch weitestgehend konstant bleiben, lässt das darauf schließen, dass die Kosten des Internetverkehrs, der das System der ISPs verlässt, zu vernachlässigen ist.

Der jedoch wichtigste Punkt, der kritisiert werden sollte, ist, dass es kaum realistisch zu sein scheint, dass ISPs ein Orakel-Service für P2P-Anwendungen anbieten. Zu Zeiten der Diskussionen über Urheberrechtsverletzungen und der allgemein bekannten Tatsache, dass Onlinetauschs Börsen vornehmlich auf P2P aufbauen, ist es mehr als unwahrscheinlich, dass ISPs zugunsten von P2P-Benutzern arbeiten werden.

Abbildungsverzeichnis

1	ipoque Internet Study 2008/2009	5
2	P2P-Netzwerk ohne Orakel [1]	8
3	P2P-Netzwerk mit Orakel [1]	8

Literatur

- [1] V. Aggarwal, A. Feldmann, and C. Scheideler, “Can ISPs and P2P Users Cooperate for Improved Performance?,” *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 37, no. 3, pp. 31–40, 2007.
- [2] H. Schulze and K. Mochalski, “Internet Study 2008/2009.” http://www.ipoque.com/resources/internet-studies/internet-study-2008_2009, 2009.
- [3] T. Mennecke, “DSL Broadband Providers Perform Balancing Act.” <http://www.slyck.com/news.php?story=973>, 2005.
- [4] G. Shen, Y. Wang, X. Y., B. Zhao, and Z. Zhang, “HPTP: Relieving the Tension between ISPs and P2P,” *IPTPS*, 2007.
- [5] M. Naor and U. Wieder, “Novel architectures for P2P applications: the continuous-descrete approach,” *SPAA*, 2003.
- [6] I. Abraham, D. Malkhi, and O. Dobzinski, “LAND: Stretch $(1 + \varepsilon)$ Locality-Aware Networks for DHTs,” *SODA*, 2004.
- [7] C. Scheideler, “Towards a paradigm for robust distributed algorithms and data structures,” *HNI Symposium on New Trends in Parallel and Distributed Computing*, 2006.
- [8] <http://www.ssfnet.org>.
- [9] S. Saroiu, P. K. Gummadi, and S. D. Gribble, “A Measurement Study of Peer-to-Peer File Sharing Systems,” *Proceedings of Multimedia Computing and Networking 2002 (MMCN'02)*, 2002.