

Titel: Zur approximativen Optimalität der Behandlung von Interferenz als Rauschstörung (TIN) in Mehrnutzer-Netzwerken

Autor: Soheil Gharekhloo

Die zunehmende Nachfrage nach höheren Datenraten einerseits, sowie beschränkte Ressourcen wie Zeit und Frequenz andererseits, stellt jedoch die Systementwickler vor die Herausforderung der *Interferenzhandhabung*. Durch Nutzung des Unterschiedes zwischen Interferenz und Rauschen als Grundkonzept wurden in den letzten Jahren effiziente Methoden zur Handhabung der Interferenz entwickelt. Dieser Unterschied besteht hauptsächlich darin, dass die Interferenz, anders als das Rauschen, Träger von Informationen ist. Durch Decodierung dieser ungewünschten Information ist der Empfänger in der Lage, die Interferenz zu rekonstruieren und anschließend aufzuheben. Diese Vorgehensweise benötigt jedoch nicht nur ein perfekt synchronisiertes System, sondern auch genaue Kanalkennnisse, sowohl am Sender als auch am Empfänger. Um diese Anforderungen zu erfüllen, sollen große Verwaltungsdaten wie Pilotsequenzen übertragen werden. Diese Übertragungen erhöhen selbst Leistungsverbrauch, Datenverkehr sowie die Komplexität der Algorithmen. Trotz der generellen Effizienz der Interferenzdecodierung wird sie aufgrund der vorgenannten Tatsache kaum in den praktischen Realisierungen angewandt. Stattdessen wird die auf der Behandlung von Interferenz als Rauschen (engl.: Treating Interference as Noise, TIN) basierende Herangehensweise angewandt. Vergleicht man dies mit den Anforderungen an eine Kommunikation über einen Punkt-zu-Punkt Kanal, setzt diese Vorgehensweise (TIN) keine weiteren Anforderungen voraus. Darüber hinaus gewinnt man durch das Zeigen der Optimalität von TIN einen großen Vorteil, da keine aufwändige Herangehensweise zur Steigerung der Datenraten mehr nötig ist. All dies motivierte die Forschung, sich mit der Optimalität von TIN in unterschiedlichen Kanälen auseinander zu setzen. In der Literatur ist die folgende Optimalitätsbedingung für TIN bekannt: *In einem Interferenzkanal ist TIN optimal, falls die Interferenzverbindungen gegenüber den gewünschten Verbindungen besonders schwach ausfallen*. In diesem Zusammenhang ergeben sich weitere Fragestellungen. Zum einen kann untersucht werden, ob die bereits genannte Optimalitätsbedingung von TIN für alle möglichen Kanäle erweiterbar ist. Zum anderen stellt sich die Frage, ob TIN notwendigerweise suboptimal ist, wenn die Optimalitätsbedingung nicht erfüllt ist. Um diese Fragen zu beantworten, wird in dieser Arbeit die Optimalität von TIN in einem sehr fundamentalen Netzwerk untersucht. In diesem Netzwerk operieren ein Mehrfachzugriffskanal und ein Punkt-zu-Punkt Kanal über die gleichen Kommunikationsressourcen. Im Folgenden bezeichnen wir diesen Kanal als PIMAC (engl.: Point-to-Point Channel Interfering with a Multiple Access Channel). Die daraus gewonnenen Erkenntnisse helfen uns, die Optimalität von TIN in größeren Netzwerken zu untersuchen.

Die folgenden Schritte sind notwendig, um die Optimalität von TIN im PIMAC zu zeigen. Der erste Schritt ist die Bestimmung der maximal erreichbaren Rate, die durch Ignorieren der Interferenz am Empfänger und Verwendung eines Gaußschen Codebuchs am Sender erreichbar ist. Im zweiten Schritt werden obere Schranken für die Kapazität charakterisiert. Dann werden die Optimalitätsbedingungen für TIN durch einen Vergleich der erreichbaren Raten mit den oberen Schranken charakterisiert. Um die Analyse zu vervollständigen, wird außerdem die Suboptimalität von TIN für den Fall, dass die Optimalitätsbedingungen nicht erfüllt sind, gezeigt. Unsere Kenntnisse über die Optimalität für TIN in Bezug auf die Kapazität ist nur auf eine kleine Menge der Kanäle begrenzt. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die Kapazitätscharakterisierung generell eine schwierige Aufgabe darstellt und einige Zwischenschritte benötigt. Ein wichtiger Schritt dafür ist die Charakterisierung der sogenannten GDoF (engl.: Generalized Degrees of Freedom). Falls ein hohes Signal-zu-Geräusch-Verhältnis vorliegt kann das GDoF-Maß als Näherung für die Kanalkapazität verwendet werden.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Charakterisierung der Menge der Kanalparameter, in der das TIN in Bezug auf die GDoF optimal ist. Um dieses Ziel zu erreichen, wird zunächst ein vereinfachtes Modell von PIMAC untersucht. In diesem Modell ist der Zusammenhang zwischen den Ausgängen und Eingängen des PIMAC mit Hilfe einer linearen deterministischen Funktion definiert. Aus diesem Grund wird das Modell als LD-Modell (engl.: Linear Deterministic) bezeichnet. Anschließend wird dann die Kapazität des LD-PIMAC ins GDoF-Maß übersetzt.

Aus der vollständigen Untersuchung der Optimalität von TIN im PIMAC in Bezug auf die GDoF, lassen sich interessante Schlussfolgerungen ziehen. So stellt man zum einen fest, dass in einigen Kanälen das TIN suboptimal sein kann, obwohl die Interferenzverbindungen sehr schwach sind. Zum anderen, dass das TIN selbst dann optimal sein kann, wenn die Interferenzverbindungen gegenüber den gewünschten Verbindungen nicht ausreichend schwach sind. Die Gründe dafür liegen nicht nur in der Struktur und dem Informationsfluss des PIMAC, sondern auch in einigen neuen oberen Schranken, die in der vorliegenden Arbeit hergeleitet werden. Die Erkenntnisse sind dabei jedoch nicht nur auf den PIMAC beschränkt, sondern teilweise auch auf größere Netzwerke erweiterbar. Um das zu zeigen wird als nächstes die GDoF-Optimalität von TIN im $M \times 2$ X-Kanal untersucht. Der $M \times 2$ X-Kanal besteht aus M Sendern und 2 Empfängern, in dem jeder Sender zwei unabhängige Nachrichten an beide Empfänger schicken will. Die aus dieser Untersuchung hergeleiteten Bedingungen für die Optimalität von TIN charakterisieren eine größere Menge von Kanalparametern als bisher in der einschlägigen Literatur zu finden ist. Die Notwendigkeit der Bedingungen wird weiterhin für eine bestimmte Art von TIN, in der der $M \times 2$ X-Kanal auf einen 2-Nutzer-Interferenzkanal reduziert wird, hergeleitet.