

論文の内容の要旨

論文題目

Multi-Cell Performance of Single-User Detectors and
Multi-User Detectors in CDMA Cellular Systems
(CDMA セルラーシステムにおけるシングルユーザディテクタ(SUD)と
マルチユーザディテクタ(MUD)のマルチセル環境における性能の研究)

氏名 カールソン ヨナス

The multi-cell performance of single-user detectors (SUD) and multi-user detectors (MUD) in CDMA cellular systems are considered in this thesis. As the usage of mobile phones services is increasing and services requiring higher data rates are introduced, the capacity of cellular systems needs to be increased.

The IC receivers can be divided into SUD and MUD receivers that have different interference cancellation properties. Typically, SUD can cancel both intra-cell and inter-cell interference, but MUD can only cancel intra-cell interference.

This thesis introduces a new SUD receiver, which adopts the Normalized Griffiths' Algorithm (NGA), and examines its single-cell and multi-cell performance compared with the conventional RAKE receiver and the well-known Serial IC receiver (a MUD receiver). To examine the multi-cell performance correctly, this thesis performs multi-cell link-level simulations. Assuming perfect channel estimation, this thesis shows that the Serial IC has better single-cell performance than the NGA receiver, while that the NGA receiver has approximately the same performance as the Serial IC in a multi-cell system with three-sector antennas. The conclusion from this is that even though MUD receivers cancel intra-cell interference better than SUD receivers, it might still be interesting to use SUD receivers due to their ability to cancel inter-cell interference.

Using this knowledge this thesis constructs two new IC receivers who combine the good intra-cell interference cancellation of the Serial IC and the inter-cell interference cancellation ability of the NGA receiver. The first receiver is a Serial IC receiver followed by a NGA receiver (SING), the second one is an Integrated Serial IC and NGA receiver (iSING). It is shown that they clearly outperform both the Serial IC and the NGA receiver in multi-cell scenarios. By varying the number of stages of cancellation, it is found that the convergence of the multi-stage receivers is much faster in a multi-cell scenario than for the single-cell scenario. The complexity of the proposed receivers is analyzed and the confidence of the simulation results is examined. Simulations show that the performance of the 2-stage iSING receiver and the 4-stage SING receiver is about 35-40% better than the 3-stage Serial IC receiver.

But the complexity of these two combined receivers is about 50% higher than that of the 3-stage Serial IC receiver.

To perform multi-cell link-level simulations is a very complex task. By creating models for the interference cancellation ratios for the IC receivers, this thesis proposes a three-step method, which makes it possible to obtain multi-cell results also by using system-level simulations. By using the proposed methodology, different system aspects of cellular systems can easily be examined for IC receivers that cancel inter-cell interference.

One of the basic requirements of adaptive filter type of SUD receiver (like the ones studied in this thesis), is that the interference has to be stationary, which imposes the requirement of short spreading sequences. It is shown that this will impose requirements on the usage of pilot symbols for channel estimation. If the length of the spreading sequence should be the same as the pilot symbols, then the pilot symbols have to be a pseudo-random sequence. Simulations for the WCDMA standard show that this potential problem will only cause a very small degradation, since the pilot symbols used in WCDMA are partly pseudo-random.

本学位論文では CDMA セルラーシステムのマルチセル環境におけるシングルユーザディテクタ (SUD) 及びマルチユーザディテクタ (MUD) の性能を検討している。携帯電話サービスの使用法が多様化し、より高いデータ転送速度が要求されるサービスが導入されるにしたがって、セルラーシステムの容量を増加させる必要がある。容量を増加させる一方法として干渉キャンセラ (IC) 受信機を使用することが考えられる。

IC 受信機は異なった干渉キャンセル属性を持った SUD 受信機と MUD 受信機に分類することができる。一般的に、SUD はセル間干渉とセル内干渉の両方をキャンセルすることが可能であるが、MUD はセル内干渉のキャンセルのみが可能である。

本学位論文では Normalized Griffiths' Algorithm (NGA) というアルゴリズムを採用した新しい SUD 受信機を導入し、シングルセル並びにマルチセルの性能を従来の RAKE 受信機とよく知られているシリアル IC 受信機 (MUD 受信機) と比較し吟味する。マルチセルの性能を正しく吟味するために、本論文ではマルチセルリンクレベルシミュレーションを行う。完全なチャンネル推定を仮定し、シングルセルでは、シリアル IC が NGA 受信機より優れた性能を有していることを示す。その一方で、3セクタアンテナを有するマルチセルでは NGA 受信機はシリアル IC とほぼ同じ性能があることも示す。結論として、たとえ MUD 受信機がセル内干渉のキャンセル特性で SUD 受信機より優れていたとしても、SUD 受信機がセル間干渉をキャンセルする機能を有していることを考えると SUD 受信機を使用することは興味深い。

この知識を使用して本論文は、シリアル IC のセル内干渉キャンセル能力と、NGA 受信機のセル間干渉キャンセル能力を組み合わせた 2 つの新しい IC 受信機を構成する。第 1 の受信機は後段に NGA 受信機を伴ったシリアル IC 受信機 (SING)、第 2 の受信機はシリアル IC と NGA の統合化受信機 (iSING) である。2 つの受信機ともマルチセルシナリオにおいて、単体のシリアル IC 受信機、NGA 受信機のいずれよりも優れた性能であることが示されている。キャンセルの段数を変化させることによって、マルチステージ受信機の収束はマルチセルシナリオの方がシングルセルシナリオよりかなり速いことが判った。また、提案された受信機の複雑さが解析され、シミュレーション結果の信頼度が検証されている。シミュレーションは 2 段 iSING 受信機及び 4 段 SING 受信機の性能が 3 段シリアル IC 受信機より約 35-40% 優れている事を示す。しかしこれら 2 台の結合された受信機の複雑さは 3 段階シリアル IC 受信機のそれより約 50% 高い。

マルチセルのリンクレベルシミュレーションを行うことは非常に複雑な作業である。IC 受信機の干渉キャンセル比率のモデルを作成することにより、本論文は、システムレベルシミュレーションを使用してマルチセルの結果を得ることを可能にする 3 ステップ法を提案する。提案された方法の使用することにより、セルラーシステムにおける異なったシステムの側面をセル間干渉をキャンセルする IC 受信機に対して容易に考察することができる。

適応性があるフィルタータイプの(この論文で検討されるもののような)SUD 受信機の基本的要求条件の 1 つは、干渉が定常的でなければならないという条件であり、これにより短い拡散系列条件が課される。そして、これがチャンネル推定のためのパイロットシンボルの使用法に条件を課することを示される。短い拡散系列の長さがパイロットシンボルと同じであるなら、パイロットシンボルは擬似ランダム系列でなければならない。WCDMA スタンドアートのシミュレーションはこの潜在的な問題が、WCDMA で使用されるパイロットシンボルが部分的に擬似ランダムであるため非常に小さい劣化しかもたらさないことを示す。