

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	無線リソース冗長化を活用したミリ波帯移動通信システムに関する研究
Title(English)	Design of Millimeter-wave Mobile Communication Systems Based on Redundant Radio Resource Control
著者(和文)	岩淵匡史
Author(English)	Masashi Iwabuchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12371号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:廣川 二郎,阪口 啓,青柳 貴洋,西方 敦博,TRAN GIA KHANH
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12371号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	電気電子	系	申請学位(専攻分野)：	博士	(工学)
Department of, Graduate major in	電気電子	コース	Academic Degree Requested	Doctor of	
学生氏名：	岩渕 匡史		指導教員(主)：	阪口 啓	
Student's Name			Academic Supervisor(main)		
			指導教員(副)：		
			Academic Supervisor(sub)		

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

第5世代移動通信システム(5G)の研究開発が進められ、3GPP Release 15においてその仕様が規格化され、5Gの商用サービスも開始されている。5G及び5G以降の移動通信システムが目標とする高速大容量通信を実現するため、より高い周波数帯を開拓するアプローチが注目されている。実際、日本における5Gの商用サービスでも5GHz帯や28GHz帯が用いられることになった。高周波数帯は低周波数帯と比較して広い周波数帯域を確保できるため、高速大容量化を実現することができる。ミリ波帯による高速大容量通信が活用されるユースケースとしてVehicle-to-Everything(V2X)が挙げられる。代表的なV2Xアプリケーションに自動運転車が挙げられる。自動運転車は安全に走行するために、車両が取得した情報をネットワークや周囲に伝送する必要がある。また、ネットワークや周囲の車両や路側帯等から情報を受け取りながら走行するため、大量のデータをやり取りすることが想定される。そのため、ミリ波を用いた高速大容量通信が求められる。

しかし、移動通信システムへのミリ波帯の適用には課題が存在する。主な課題は、電波特性に起因して生じる伝搬損失と遮蔽損失である。そのため、できる限り受信電力を高め、受信電力の変動に対してロバストにする必要がある。さらに、ミリ波帯では伝搬損失を補償するためにビームフォーミング技術の適用が必要となるが、結果としてシングルユーザMIMOの空間多重数に限界が生じ、さらなる大容量化が難しくなる。これらの課題を解決するために、本研究では無線リソースを冗長化するアプローチを検討する。例えば、空間リソースの冗長化は遮蔽等による一時的な受信品質の劣化を回避することに加え、シングルユーザへの空間多重数の拡大も期待できる。また、時間リソースの冗長化は、同一無線信号を異なる時間リソースを用いて伝送することにより、受信品質の安定化を期待することができる。

本論文ではまず、ミリ波帯の移動通信システムへの適用可能性を実験的に検証し課題を明らかにする。39GHz帯の無線伝送装置を移動車両に搭載し、距離特性、移動特性および見通し外における伝送特性を評価した。また、無線伝送装置には全探索型のビーム追従機能を実装し、ビーム選択性能も評価した。これらの評価を通して、ミリ波帯の適用により移動環境においても高速通信が可能であることを明らかにする。一方、見通し外でのカバレージ拡大や空間多重数の限界といった課題があることも示す。

実験検証により明らかにした課題を解決するために、空間リソースを冗長化するアプローチを検討する。見通し外へのカバレージ拡大を低コストに実現するため、アナログ中継に注目する。アナログ中継は電波を増幅し再放射する機能を有するため、受信電力を改善することができる。さらに、多数のアナログ中継を分散配置するMassive analog-relay MIMOにより、シングルユーザへの空間多重数を向上できることを示す。アナログ中継の課題として、信号処理機能を有さないことが挙げられる。ミリ波帯にアナログ中継を適用する場合、距離減衰を補償するために中継でもビームフォーミングが必要になる。しかし、ミリ波帯の参照信号を把握できないため、ビーム探索及びビーム追従を実行することができない。そこで、V2Xアプリケーションを前提に、Intelligent Transport System(ITS)メッセージの1つであるCooperative Awareness Message(CAM)を用いた中継ビームフォーミングを提案する。提案手法により、アナログ中継でのビームフォーミングにかかるオーバーヘッドを一定に保ちながら、Massive analog-relay MIMOの恩恵を得て、伝送レートを約72%向上できることを示す。

時間リソースの冗長化についても検討する。同一無線信号を異なる時間リソースを用いて伝送し、受信信号を合成することにより受信品質が改善する。時間リソースを冗長化することにより遅延の増加が懸念される。遅延を抑制しながら受信品質を改善するため、5Gにおける無線フレーム構成に基づく早期再送方式を実験的に検証した。5Gでの高信頼低遅延通信の要求条件を目標として、5GHz帯実験装置を用いて実環境における測定を行なった。本実験により、時間リソースの冗長化が送信成功確率の改善に寄与することを示す。また、早期再送方式により1ms以下の遅延でのパケット受信成功率99.999%を実現し得ることを明らかにする。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 電気電子	系 コース	申請学位(専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	岩渕 匡史		指導教員(主)： Academic Supervisor(main)	阪口 啓	
			指導教員(副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Toward fifth-generation mobile communications (5G) and beyond 5G, higher speed and higher capacity communications are expected. To enhance the performances, higher frequency bands are developed. Vehicle-to-Everything (V2X) is one of use cases and a typical V2X application is an autonomous-driving car. To safely control an autonomous vehicle, a large amount of data exchange is required among vehicles, road-side units and networks. Therefore, higher capacity communications using higher frequency bands is needed. However, applying millimeter-wave bands to mobile communications has some issues. The typical examples are smaller coverage areas caused by significant pathloss and Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) stream reduction due to less scattering. To solve these issues, this research focuses to radio resource redundancy. Firstly, the performance of millimeter-wave bands in mobile communications is experimentally verified. 39-GHz band device with beam tracking is installed to a vehicle and evaluated the performance. The evaluations clarify that mobile communication with high data rate is possible. On the other hand, we also show that millimeter-wave bands have smaller coverage in non-line-of-sight (NLOS) and limitation of spatial multiplexing. Secondly, to solve the issues, massive analog-relay MIMO is proposed as redundancy of spatial resources. The proposed system can improve coverage in NLOS and enhance the spatial multiplexing to a single user. Furthermore, relay-beam tracking method utilizing cooperative awareness message, which is one of intelligent transport system messages, is proposed. It is clarified that the proposed method can obtain the benefit of massive analog-relay MIMO while keeping the overhead of beamforming for analog relay. Finally, the redundancy of time resources is considered. The reception quality is improved by transmitting the same radio signal using different time resources and combining the received signals. Since latency is a concern in time redundancy, a fast retransmission method based on 5G air interface is also experimentally verified. The experiment shows that redundancy of time resource contributes to improvement of transmission success probability.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).