

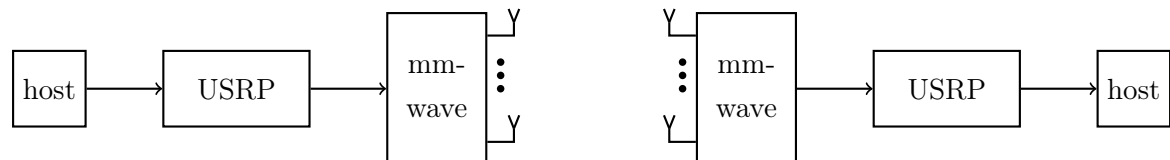
Master Thesis

Implementation of a mm-wave System for Joint Communication and Sensing

Task Description

The steadily increasing bandwidth demand in mobile radio communications initiates the trend towards higher carrier frequencies. On the one hand, they do offer larger spectrum, on the other hand they facilitate the construction of massive **Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)** systems due to the shrinking antenna sizes. They are needed to overcome the increasing path losses at high carrier frequencies by applying beamforming. For the upcoming 6G standard, the use of communication links for sensing purposes termed joint communication and sensing is heavily discussed. The expected large signal bandwidths allow accurate estimation of distances and even location of objects.

At the institute of Communications Engineering, **Universal Software Radio Peripheral (USRP)** devices offering a bandwidth of 400 MHz up to a carrier frequency of 8 GHz are available. The carrier frequency can be even extended up to 29 GHz by an additional mm-wave device. This hardware has been used to build a first draft version of a software-defined radio system offering a high flexibility regarding the implementation of transmitter and receiver algorithms in software while still having a real mm-wave transmission (hardware-in-the-loop, see figure below). Transmitter and receiver are running on the same host and **USRPs** to simplify synchronization. On the host PC, GNU radio and Python are used as software.



Within this master thesis, the existing mm-wave communication system shall be extended by sensing functionalities. The following tasks have to be performed.

- A literature study shall make familiar with the basics of sensing and GNU radio.
- The system's handling shall be simplified by controlling important parameters like bandwidth, carrier frequency and other parameters directly from GNU radio. The hardware limitations shall be tested and documented

- Definition of a sensing experiment.
- Implementation of a sensing algorithm in Python to estimate the distance to an object.
- If time permits, the sensing functionality shall be extended for estimating the object location (angle).

Literatur

- [UDBox5G] TMYTEK UD Box frequency converter. <https://tmytek.com/products/frequency-converters/udbox5g>.
- [BBox5G] TMYTEK BBox 5G beamforming. <https://tmytek.com/products/beamformers/bbox>.
- [Ettus] Ettus USRG X410. <https://www.ettus.com/all-products/usrp-x410/>.
- [KWK21] Keskin, F., Wymeersch, H., Koivunen, V.: MIMO-OFDM Joint Radar-Communications: Is ICI Friend or Foe, *IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing*, 15(6), 2021, 1393-1408, <http://dx.doi.org/10.1109/JSTSP.2021.3109431>.
- [WQ+23] Wei, Z., Qu, H., Wang, Y., Yuan, X., Wu, H., Du, Y., Han, K., Zhang, N., Feng, Z.: Integrated Sensing and Communication Signals Toward 5G-A and 6G: A Survey, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 10, No. 13, 1 July 2023, 1168-1192.
- [WBV21] Wild, T., Braun, V., Viswanathan, H.: Joint Design of Communication and Sensing for Beyond 5G and 6G Systems, *IEEE ACCESS*, 15.02.2021,
- [LB+20] Liyanaarachchi, S.D., Barneto, C.B., Riihonen, T., Valkama, M.: Joint OFDM Waveform Design for Communications and Sensing Convergence, *IEEE International Conference on Communications (ICC), Dublin, Ireland*, 2020, pp. 1-6, [doi: 10.1109/ICC40277.2020.9149408](https://doi.org/10.1109/ICC40277.2020.9149408).
- [KWK21] Wu, K., Zhang, J.A., Huang, X., Guo, X.J.: Joint Communications and Sensing Employing Multi- or Single-Carrier OFDM Communication Signals: A Tutorial on Sensing Methods, Recent Progress and a Novel Design, *MDPI Sensors*, 22, 2022, <https://doi.org/10.3390/s22041613>.
- [CS+22] Chaccour, C., Soorki, M.N., Saad, W., Bennis, M., Popovski, P., Debbah, M.: Seven Defining Features of Terahertz (THz) Wireless Systems: A Fellowship of Communication and Sensing, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 24, No. 2, 967.993, 2022.

Supervisors:

Prof. Dr.-Ing. Volker Kühn, Prof. Dr.-Ing. Tobias Weber, Dr.-Ing. Henryk Richter



Email:

volker.kuehn@uni-rostock.de tobias.weber@uni-rostock.de henryk.richter@uni-rostock.de

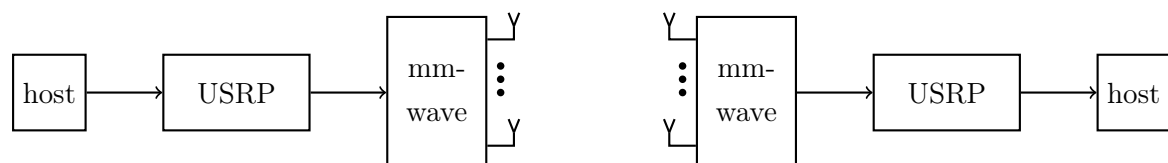
Masterarbeit

Implementierung eines mm-Wellen-Systems für die gemeinsame Kommunikations- und Radaranwendung

Aufgabenstellung

Der stetig wachsende Bandbreitebedarf im Mobilfunk hat einen Trend zu höheren Frequenzen ausgelöst. Hier stehen einerseits größere Bandbreiten zur Verfügung, andererseits lassen sich aufgrund der kleiner werdenden Antennenelemente Systeme mit sehr vielen Antennen bauen. Mehrantennensysteme werden benötigt, um die großen Pfadverluste bei hohen Trägerfrequenzen durch Strahlformung zu kompensieren. Im kommenden 6G-Standard wird außerdem die Nutzung von Kommunikationssignalen für Radaranwendungen intensiv diskutiert. Die großen Signalbandbreiten würden hier eine hohe Schätzgenauigkeit der Radaranwendungen ermöglichen.

Am Institut für Nachrichtentechnik stehen sogenannte **USRP**-Geräte zur Verfügung, die eine maximale Signalbandbreite von 400 MHz bis zu einer Trägerfrequenz von 8 GHz ermöglichen. Die Trägerfrequenz kann mit einem mm-Wellen-Erweiterungssystem bis auf 29 GHz erhöht werden. Mit diesen Hardware-Komponenten wurde ein erstes Software-Defined-Radio-System aufgebaut, das Sende- und Empfangsalgorithmen in Software implementiert, die Übertragung aber über einen realen Kanal ermöglicht. Der prinzipielle Hardware-in-the-Loop-Aufbau ist im Bild unten dargestellt. Dabei können Sender und Empfänger auf den gleichen Hardware-Komponenten laufen, was die Synchronisation vereinfacht. Auf dem Host-PC läuft eine GNU-Radio-Software, welche um Python-Module ergänzt werden soll.



In dieser Masterarbeit soll das beschriebene mm-Wellen-Kommunikationssystem um die Radar-Funktionalität erweitert werden. Dafür sind die folgenden Aufgabenpunkte zu bearbeiten.

- Einarbeitung in die Funktionsweise von GNU-Radio und eine Literaturrecherche über die Grundlagen der Signalverarbeitung von Radar-Anwendungen
- Die Bedienung des Systems ist zu vereinfachen, indem die wichtigsten Parameter wie

Bandbreite, Trägerfrequenz u.a. über die Software direkt eingestellt werden können. Die Funktionalität ist zu Testen und die Grenzen der Hardware sind zu analysieren.

- Der Aufbau eines Testsystems für Radaranwendungen ist zu definieren
- Implementierung geeigneter Algorithmen in Python zur Schätzung des Abstandes von Objekten.
- Optional kann die Schätzung auch noch auf die Raumrichtung erweitert werden.

Literatur

- [UDBox5G] TMYTEK UD Box frequency converter. <https://tmytek.com/products/frequency-converters/udbox5g>.
- [BBox5G] TMYTEK BBox 5G beamforming. <https://tmytek.com/products/beamformers/bbox>.
- [Ettus] Ettus USRP X410. <https://www.ettus.com/all-products/usrp-x410/>.
- [KWK21] Keskin, F., Wymeersch, H., Koivunen, V.: MIMO-OFDM Joint Radar-Communications: Is ICI Friend or Foe, *IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing*, 15(6), 2021, 1393-1408, <http://dx.doi.org/10.1109/JSTSP.2021.3109431>.
- [WQ+23] Wei, Z., Qu, H., Wang, Y., Yuan, X., Wu, H., Du, Y., Han, K., Zhang, N., Feng, Z.: Integrated Sensing and Communication Signals Toward 5G-A and 6G: A Survey, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 10, No. 13, 1 July 2023, 1168-1192.
- [WBV21] Wild, T., Braun, V., Viswanathan, H.: Joint Design of Communication and Sensing for Beyond 5G and 6G Systems, *IEEE ACCESS*, 15.02.2021,
- [LB+20] Liyanaarachchi, S.D., Barneto, C.B., Riihonen, T., Valkama, M.: Joint OFDM Waveform Design for Communications and Sensing Convergence, *IEEE International Conference on Communications (ICC), Dublin, Ireland, 2020*, pp. 1-6, [doi: 10.1109/ICC40277.2020.9149408](https://doi.org/10.1109/ICC40277.2020.9149408).
- [KWK21] Wu, K., Zhang, J.A., Huang, X., Guo, X.J.: Joint Communications and Sensing Employing Multi- or Single-Carrier OFDM Communication Signals: A Tutorial on Sensing Methods, Recent Progress and a Novel Design, *MDPI Sensors*, 22, 2022, <https://doi.org/10.3390/s22041613>.
- [CS+22] Chaccour, C., Soorki, M.N., Saad, W., Bennis, M., Popovski, P., Debbah, M.: Seven Defining Features of Terahertz (THz) Wireless Systems: A Fellowship of Communication and Sensing, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 24, No. 2, 967.993, 2022.



Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Volker Kühn, Prof. Dr.-Ing. Tobias Weber, Dr.-Ing. Henryk Richter

Email:

volker.kuehn@uni-rostock.de tobias.weber@uni-rostock.de henryk.richter@uni-rostock.de