

# Signalverarbeitungsalgorithmen für Gestenerkennung mit Millimeterwellen-Radartechnik

Yuliang Sun

## Kurzfassung der Dissertation:

Diese Arbeit befasst sich mit Signalverarbeitungsalgorithmen zur Erkennung von Handgesten (Hand Gesture Recognition - HGR) unter Verwendung der Millimeterwellen-Radartechnologie. Es wird ein radargestütztes HGR-Signalverarbeitungs-Framework entwickelt. Das Framework umfasst das Sendesignal-Design, Radar-Rohsignalverarbeitung, Merkmalsextraktion, Gestendetektion und Gestenklassifikation. Darüber hinaus wird unter Berücksichtigung der Echtzeitfähigkeit der entwickelten Algorithmen, ein rechnerisch-effizientes radarbasiertes HGR-Framework in einem eingebetteten System aufgebaut.

Als Alternative zur Mensch-Computer-Schnittstelle ermöglicht HGR den Benutzern die Interaktion mit Maschinen auf natürliche, intuitive und berührungslose Weise. Dank der zuverlässigen Erfassung der Bewegung von Objekten wird für HGR ein Kurzstreckenradar, welches im unlicenzierten 60-GHz-Frequenzband arbeitet, verwendet. In der Arbeit werden zwei verschiedene Strategien für radarbasierte HGR betrachtet: zum einen Gestenerkennung mittels Mikro-Doppler-Signatur und zum anderen Gestenerkennung mittels Entfernung, relative Geschwindigkeit, Einfallswinkel (Angle of Arrival - AoA) und zeitliche Information. Bei der Mikro-Doppler-Signatur-basierten HGR wird das Rohsignal durch verschiedene Zeit-Frequenz-Analysen in die Zeit-Doppler-Frequenzebene abgebildet. Nacheinander werden verschiedene Algorithmen zur Merkmalsextraktion vorgeschlagen, um Mikro-Doppler-Merkmale zu extrahieren. Dennoch besteht die größte Herausforderung darin, dass Gesten mit ähnlichen Signaturen kaum unterschieden werden können.

Die zweite Strategie kann diese Herausforderung überwinden. Die Gesteneigenschaften für HGR, welche die Entfernung, relative Geschwindigkeit, AoA und zeitliche Information beinhalten, werden in diesem Ansatz extrahiert. Bei der Entfernung-Doppler-Schätzung (Range Doppler - RD) wird neben der konventionellen zweidimensionalen-diskreten Fourier-Transformation (2D-DFT) die Verwendung von zwei hochauflösenden Algorithmen diskutiert. Um die AoA der Hand zu bestimmen, wird sich dem Prinzip der Monopulswinkelschätzung bedient. Zum Thema Merkmalsextraktion und Gestenklassifikation wird ein Multidimensional-Principal-Component-Analysis (MPCA)+3D-Convolutional-Neural-Network (CNN), ein 3D-CNN+Long-Short-Term-Memory (LSTM) und ein Multi-Feature-Encoder+2D-CNN entwickelt. Der vorgeschlagene Multi-Feature-Encoder extrahiert die Gesteneigenschaften als 3D-Feature-Würfel in kompakter Form. Dadurch kann ein flaches 2D-CNN für die Klassifizierung entworfen werden. Dieses bietet eine vergleichbare Klassifikationsgenauigkeit zu dem 3D-CNN+LSTM, benötigt aber wesentlich weniger Rechenressourcen.

Um die Nutzung des HGRs in Echtzeit zu gewährleisten, wird ein Algorithmus zur Handaktivitätserkennung (Hand-Activity-Detection - HAD) implementiert, der automatisch den Endzeitstempel einer Geste mit geringer Latenzzeit erkennt. Der HAD-Algorithmus wird als Short-Term-Average/Long-Term-Average (STA/LTA)-basierten Gestendetektor bezeichnet. Abschließend wird ein echtzeitfähiges radarbasiertes HGR-Framework aufgebaut, das 2D-DFT, Multi-Feature-Encoder+2D-CNN und STA/LTA-basierten Gestendetektor enthält. Es kann zwölf Gesten in Echtzeit robust klassifizieren. Somit ist eine kostengünstige und serienmäßige Implementierung in einem eingebetteten System möglich.