健康无界：AI融合无线感知赋能未来医疗 | 邱锂力 Qiu Lili | TEDxBeijing

https://youtu.be/uvHcJ16aKqo?si=PfAr4XR3e9miEVZt

Drahtlose Sensorik und KI für die Gesundheitsüberwachung außerhalb des Krankenhauses

Gesundheitsrelevante Veränderungen entstehen häufig zwischen medizinischen Untersuchungen und bleiben dort möglicherweise unbemerkt. Der Vortrag nennt als Motivation Daten, nach denen 80 % der gesundheitsrelevanten Faktoren und 65 % der Todesfälle außerhalb des Krankenhauses liegen. Die Datengrundlage wird dabei nicht angegeben; die Zahlen sind daher als im Vortrag angeführte Angaben zu verstehen, nicht als hier unabhängig geprüfte Befunde.

Bei Menschen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen können einzelne Untersuchungen unauffällige Werte für Blutdruck, Herzschlag und Atmung zeigen, während zwischen den Terminen Warnsignale auftreten. Daraus ergibt sich die technische Leitfrage des Vortrags: Wie lassen sich physiologische Veränderungen im Alltag möglichst kontinuierlich erfassen, ohne Menschen dauerhaft mit unangenehmen oder schwer rechtzeitig einsetzbaren Körpersensoren auszustatten? Vorgestellt werden dafür Ansätze mit Schall, Millimeterwellen, Metaflächen und künstlicher Intelligenz. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Messgröße, ihres Entwicklungsstands und der Aussage, die aus ihren Signalen gewonnen werden kann.

Berührungslose Atemmessung mit Alltagsgeräten

Von der Bewegungserfassung zur Atemkurve

Ein zunächst untersuchter Ansatz beruhte auf Wi-Fi. Nach Darstellung des Vortrags begrenzten dessen relativ große Wellenlänge und die damit verbundene Messgenauigkeit die angestrebte Anwendung. Die anschließende Suche umfasste niederfrequente Schallwellen ebenso wie hochfrequente Millimeterwellen. Für die Bewegungserfassung erwiesen sich Schallwellen als besonders interessant: Der Vortrag stellt heraus, dass sich Schall eine Million Mal langsamer als elektromagnetische Wellen ausbreitet und selbst kleine Bewegungen eine deutliche Doppler-Frequenzverschiebung hervorrufen können. Die daraus abgeleitete geringere Empfindlichkeit gegenüber Messfehlern ist eine Begründung des vorgestellten Ansatzes; eine quantitative Fehleranalyse wird nicht angegeben.

Ein erstes akustisches System nutzte die eingebauten Lautsprecher und Mikrofone von Handys, Tablets und Laptops. Es verfolgte Positionen anhand der Doppler-Frequenzverschiebung mit einer im Vortrag genannten Genauigkeit im Zentimeterbereich. Für die Atemüberwachung genügte dies nicht, weil die Atembewegung häufig weniger als einen Zentimeter beträgt. **Die für eine Atemkurve erforderliche Empfindlichkeit ist damit höher als die zunächst erreichte Positionsgenauigkeit.**

Die daraufhin entwickelte Methode arbeitet nach einem dem Echoortungsprinzip ähnlichen Ablauf: Ein Handy sendet für Menschen unhörbare Töne aus; Bewegungen des Brustkorbs verändern die zurückkehrenden Reflexionen. Das Verfahren trennt reflektierte Wellen nach der Länge ihres Ausbreitungswegs. Anschließend werden die **Phasenänderungen** jener Reflexionen ausgewertet, die dem Entfernungsbereich der Zielperson zugeordnet sind. Auf diese Weise soll die Atembewegung berührungslos mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich verfolgt werden.

Für die im Vortrag gezeigte Demonstration genügen der eingebaute Lautsprecher und das Mikrofon eines Handys. Die dort grün dargestellte Messkurve stimmt nach Aussage des Vortrags mit der blauen Kurve eines medizinischen Atemmessgeräts überein, bei dem ein Gurt um den Brustkorb gelegt wird. Außerdem wird für das Handy eine Erfassung der Atmung innerhalb eines Umkreises von einem Meter angegeben. Aus der beschriebenen Kurvenübereinstimmung allein lassen sich ohne weitere Angaben zu Messbedingungen und Auswertung keine allgemeinen Genauigkeitswerte für sämtliche Nutzer oder Umgebungen ableiten.

Akustische Metaflächen zur Vergrößerung der Reichweite

Eine größere Messreichweite ließe sich grundsätzlich mit zusätzlichen Lautsprechern anstreben. Laut Vortrag würden damit jedoch Kosten, Gerätegröße und Stromverbrauch steigen. Als Alternative wird ein per 3D-Druck hergestelltes Gehäuse für einen intelligenten Lautsprecher vorgestellt, das als **akustische Metafläche** wirkt.

Die Metafläche besteht aus vielen gestalteten Elementen. Beim Durchgang durch diese Elemente verändert sich die Wellenfront des Schalls. Der Vortrag beschreibt insbesondere die Steuerung von Phase und Amplitude der austretenden Wellen: Durch die gemeinsame Optimierung der Elemente soll sich der Schall gezielter ausbreiten und ein stärkeres, klareres Signal liefern. Metaflächen werden dabei als eine aus der Optik hervorgegangene Technologie eingeordnet, mit der sich Eigenschaften von Wellenfronten — etwa Phase, Amplitude und Polarisation — beeinflussen lassen.

In der gezeigten Anwendung erfasst ein intelligenter Lautsprecher mit der gedruckten akustischen Metafläche die Atmung noch aus mehreren Metern Entfernung; dies wird auch für eine Person unter einer Decke berichtet. Die Aussage bezieht sich auf die vorgestellte Demonstration. Angaben zu Reichweite unter unterschiedlichen Raumbedingungen oder zu einer systematischen Validierung enthält das Ausgangsmaterial nicht.

Akustische Bildgebung mit begrenzter Hardware

Die Atemmessung verfolgt eine Bewegung über die Zeit. **Bildgebung** stellt eine andere Aufgabe: Aus Messsignalen soll eine räumlich erkennbare Darstellung rekonstruiert werden. Der Vortrag verdeutlicht die Schwierigkeit durch einen Hardwarevergleich. Für hochauflösende Ultraschallbilder arbeiten in Krankenhäusern demnach 64 bis 256 Antennen zusammen; benötigt wird außerdem eine Bandbreite von mehreren Megahertz. Ein gewöhnlicher intelligenter Lautsprecher hat dagegen meist nur wenige Lautsprecher und Mikrofone sowie eine Bandbreite von einigen Tausend Hertz. Seine räumliche Auflösung ist entsprechend stark begrenzt.

Der Vortrag beschreibt eine herkömmliche Anordnung mit dieser begrenzten Hardware als auf einen einzigen Schallstrahl beschränkt, aus dem sich keine Bilder erzeugen ließen. Der vorgestellte Forschungsansatz kombiniert deshalb zwei Ebenen:

1. Eine neu gestaltete **akustische Metafläche** verändert die Ausbreitungswege und Streueigenschaften der Schallwellen, ohne zusätzliche Lautsprecher oder Mikrofone einzusetzen.
2. **Algorithmen des maschinellen Lernens** rekonstruieren aus den so gewonnenen Schallfeldinformationen datengestützt ein Bild.

Nach Darstellung des Vortrags kann ein intelligenter Lautsprecher auf diese Weise visuell erkennbare Umrissbilder erzeugen. Gezeigt beziehungsweise berichtet werden außerdem das Erkennen von Objekten hinter Hindernissen und die Identifikation von Gesten. Welche Hindernisse unter welchen Bedingungen durchdrungen werden und wie zuverlässig die Bild- oder Gestenerkennung ist, wird nicht quantifiziert. Die beschriebenen Umrissbilder sind daher nicht mit den zuvor genannten hochauflösenden Ultraschallbildern gleichzusetzen.

Millimeterwellen-Bildgebung: gemeinsame Gestaltung von Metafläche und Rekonstruktion

Neben Schall werden **Millimeterwellen** als Träger räumlicher Information behandelt. Der Vortrag nennt Sicherheitskontrollen im Verkehr und intelligentes Fahren als bestehende Einsatzfelder der Millimeterwellen-Bildgebung. Bisherige Verfahren benötigen demnach häufig viele Antennen oder Antennen, die über einen größeren Bereich bewegt werden; das kann Systeme teuer und sperrig machen. Das vorgestellte Ziel ist dagegen eine tragbare Bildgebung mit begrenzter Hardware, perspektivisch auch für den Hausgebrauch.

Hierfür wird die physikalische Gestaltung einer Millimeterwellen-Metafläche mit einem algorithmischen **Diffusionsmodell** verbunden. Die Metafläche soll durch unterschiedliche Streuungen die mit der verfügbaren Hardware erfasste Informationsmenge erhöhen. Das Diffusionsmodell verarbeitet anschließend empfangene Millimeterwellensignale, um Bilder zu rekonstruieren. Der Vortrag beschreibt dies als umgekehrten Prozess schrittweiser Rauschunterdrückung: Aus einer vom Rauschen dominierten Eingabe entsteht schrittweise ein klareres Bild, das zugleich mit den empfangenen Signalen übereinstimmen soll. Anders als bei den als Vergleich erwähnten Modellen zur Bilderzeugung aus Text sind hier Millimeterwellensignale der Ausgangspunkt.

Nach Aussage des Vortrags kommt die damit erzielte Bildqualität der hochwertiger Systeme nahe. Messgrößen, Vergleichssysteme und Prüfbedingungen für diese Einordnung werden nicht genannt. Der fachliche Kern des Ansatzes liegt in der **gemeinsamen Entwicklung von Messanordnung und Bildrekonstruktion**: Die Metafläche bestimmt mit, welche Informationen im Signal vorliegen; das Modell soll diese Informationen für die Rekonstruktion nutzen. Als mögliche Anwendungsfelder werden medizinische Gesundheitsüberwachung, Mensch-Maschine-Interaktion und Sicherheitssysteme genannt. Dies sind Perspektiven, keine bereits belegten klinischen Anwendungen.

Erforschung einer nichtinvasiven Blutzuckermessung

Bewegung und Atmung lassen sich über Veränderungen reflektierter Wellen erfassen. Für den Blutzucker wird eine andere physiologische Fragestellung verfolgt: Gesucht wird ein drahtlos messbares Signal, das mit Veränderungen der Blutzuckerkonzentration zusammenhängt. Der Vortrag betont den Bedarf an nichtinvasiven Verfahren und gibt an, weltweit habe einer von neun Erwachsenen Diabetes. Bis 2050 werde die Zahl der Betroffenen fast **10 Hundertmillionen** erreichen; die jährlich beanspruchten medizinischen Ressourcen beziffert er auf mehr als **7 Billionen Renminbi**. Ferner wisse fast die Hälfte der Menschen mit Diabetes nichts von ihrer Erkrankung. Für diese Angaben werden im Ausgangsmaterial keine überprüfbaren Quellen oder Berechnungsgrundlagen genannt.

Als Belastung bestehender Überwachungsprodukte beschreibt der Vortrag wiederholte invasive Messungen: Das Stechen zur Blutentnahme verursacht Schmerzen und birgt ein Infektionsrisiko; die angesprochenen elektrochemischen Verfahren benötigen direkten Kontakt einer Sonde mit Körperflüssigkeit. Der neue Forschungsansatz soll stattdessen drahtlose Signale und elektrophysikalische Mechanismen nutzen, um ohne Nadel und ohne Durchstechen der Haut eine Überwachung in Echtzeit zu ermöglichen.

Als **erste Beobachtung** wird ein Versuch mit einer Testperson geschildert: Nach dem Trinken von Zuckerwasser stieg ihre Blutzuckerkonzentration. Gleichzeitig wurde ein kontinuierlicher Anstieg der Resonanzfrequenz des reflektierten drahtlosen Signals beobachtet. Der Vortrag berichtet, die Messergebnisse stimmten mit denen invasiver Verfahren überein. Diese Beobachtung ist von der weitergehenden Zielsetzung zu trennen. Weder Messumfang und Fehlermaße noch die elektrophysikalische Herleitung des Zusammenhangs werden angegeben. Die Vortragende beziehungsweise der Vortragende bezeichnet die ersten Ergebnisse selbst als ermutigend, hält aber weitere Tests und Überprüfungen für nötig. Eine allgemein einsatzfähige nichtinvasive Blutzuckermessung ist damit nicht belegt.

Multimodale Daten und individuell angepasste Unterstützung

Ein einzelnes Signal bildet nach dem Vortrag den Gesundheitszustand häufig nicht umfassend ab. Als unterschiedliche Informationsquellen werden physiologische Signale, Bewegungsmuster, medizinische Bilder und weiteres Verhalten genannt. **Multimodale Sensorik** bezeichnet hier die Zusammenführung solcher Datenarten. Die praktische Schwierigkeit besteht darin, dass Datensätze selten sämtliche Modalitäten gleichzeitig enthalten.

Die vorgeschlagene Methode zerlegt die Abstimmung mehrerer Modalitäten in eine Folge von Aufgaben, in denen jeweils **zwei Modalitäten** aufeinander abgestimmt werden. Neue Datenarten sollen so schrittweise integriert werden können, während die Abstimmung bereits berücksichtigter Modalitäten stabil bleibt. Zugleich soll sich der Beitrag neuer und vorhandener Datenarten ausbalancieren lassen. Ziel ist es, auch unvollständige Datensätze zu nutzen und aus verschiedenen Lebenssignalen ein umfassenderes, dynamisches Bild des körperlichen und psychischen Zustands zu gewinnen. Der im Vortrag verwendete Vergleich mit den Diagnosepraktiken der traditionellen chinesischen Medizin veranschaulicht die Verbindung verschiedener Wahrnehmungswege; er stellt keinen Wirksamkeitsnachweis für das vorgeschlagene KI-System dar.

Von der **Erfassung und Interpretation** führt die Forschungsvision zu einer zweiten, davon zu unterscheidenden Stufe: Das System soll auf Gesundheitsdaten in Echtzeit individuell reagieren. Als hypothetisches Beispiel wird genannt, dass eine Insulinpumpe ihre Abgabe anpassen könnte, wenn der Blutzucker eines Diabetespatienten vom Normalbereich abweicht. Ein weiteres Beispiel betrifft einen Assistenten, der bei erkannter Traurigkeit oder Niedergeschlagenheit Tonfall und Inhalt seiner Antworten verändert, emotionalen Beistand anbietet oder bei Entspannungsübungen hilft. Der Vortrag beschreibt diese Funktionen als Entwicklungsziel, nicht als bereits nachgewiesene sichere Behandlung.

Die übergreifende Vision ist eine kontinuierliche, möglichst wenig belastende Gesundheitsbegleitung außerhalb des Krankenhauses. Zwischen dieser Vision und den vorgestellten Demonstrationen liegen weiterhin technische Herausforderungen: Signale müssen zuverlässig gewonnen, ihrem jeweiligen physiologischen Bezug zugeordnet und für Anwendungen ausreichend überprüft werden. Besonders deutlich wird diese Grenze beim Blutzuckeransatz, für den der Vortrag weitere Tests ausdrücklich als notwendig bezeichnet.

Didaktischer Lern- und Prüfungsanhang

Kernaussagen

- **Atemmessung:** Ein Handy sendet unhörbare Töne aus. Reflexionen aus dem Entfernungsbereich der Zielperson werden anhand ihrer Phasenänderungen zur Verfolgung der Atembewegung ausgewertet. Der Vortrag nennt eine Genauigkeit im Millimeterbereich und eine Reichweite von einem Meter für das Handy.
- **Reichweitenerhöhung:** Eine gedruckte akustische Metafläche soll die Schallausbreitung so verändern, dass ein intelligenter Lautsprecher Atmung aus mehreren Metern Entfernung erfassen kann.
- **Bildgebung:** Akustische und Millimeterwellen-Metaflächen werden mit datengetriebener Rekonstruktion kombiniert, um trotz begrenzter Hardware räumliche Informationen zu gewinnen.
- **Blutzucker:** Der berichtete Zusammenhang zwischen Blutzuckerkonzentration und Resonanzfrequenz eines reflektierten Signals ist ein frühes Versuchsergebnis. Weitere Tests und Überprüfungen sind laut Vortrag erforderlich.
- **Multimodalität:** Unterschiedliche, häufig unvollständig vorliegende Datenarten sollen schrittweise über paarweise Abstimmungsaufgaben zusammengeführt werden. Individuell reagierende Assistenz bleibt ein weitergehendes Ziel.

Prüfungsrelevantes Wissen

Die folgende Auswahl ist eine **didaktische Einschätzung**, keine Aussage über Anforderungen einer konkreten Prüfung.

Wesentlich ist die Unterscheidung der Messaufgaben: Eine **Atemkurve** beschreibt zeitliche Bewegung; ein **akustisches oder Millimeterwellenbild** soll räumliche Information darstellen; die angestrebte **Blutzuckermessung** sucht einen Zusammenhang zwischen einem drahtlosen Signal und einer physiologischen Konzentration. Ebenso wichtig ist die Unterscheidung zwischen gezeigter Demonstration, berichteter erster Beobachtung und künftiger Anwendung.

Für die Atemmessung sollte die Argumentationsfolge nachvollziehbar sein: Die anfängliche Doppler-basierte Positionserfassung erreichte den Zentimeterbereich; Atembewegungen sind oft kleiner als ein Zentimeter; deshalb werden schwache Reflexionen nach Ausbreitungsweg getrennt und ihre Phasenänderungen für eine empfindlichere Messung genutzt. Für die Bildgebung ist zu erklären, weshalb begrenzte Gerätehardware die räumliche Auflösung erschwert und welche unterschiedlichen Aufgaben Metafläche und Rekonstruktionsalgorithmus übernehmen.

Wichtige Begriffe

- **Doppler-Frequenzverschiebung:** Im Vortrag genutzte Änderung eines Schallsignals zur Erfassung kleiner Bewegungen.
- **Ausbreitungsweg:** Weg einer ausgesendeten und reflektierten Welle; seine Länge dient bei der Atemmessung zur Auswahl der Reflexionen aus dem Entfernungsbereich der Zielperson.
- **Phasenänderung:** Veränderung der Phase ausgewählter Reflexionen, aus der die Atembewegung verfolgt wird.
- **Akustische Metafläche:** Anordnung gestalteter Elemente, die die Wellenfront von Schall verändert; im Vortrag wird damit unter anderem die Steuerung von Phase und Amplitude beschrieben.
- **Millimeterwellen-Metafläche:** Im vorgestellten Bildgebungsansatz eine Struktur, deren unterschiedliche Streuungen mehr nutzbare Information in den empfangenen Signalen bereitstellen sollen.
- **Diffusionsmodell:** Hier ein Modell zur Bildrekonstruktion aus Millimeterwellensignalen mittels eines umgekehrten, schrittweisen Rauschunterdrückungsprozesses.

Verständnis- und Prüfungsfragen

1. Weshalb genügte die im Vortrag genannte Positionsgenauigkeit im Zentimeterbereich noch nicht für die beabsichtigte Atemüberwachung?
2. Welche Funktionen haben die Trennung nach Ausbreitungsweg und die Auswertung von Phasenänderungen bei der akustischen Atemmessung?
3. Welche Nachteile hätte nach dem Vortrag eine Reichweitenerhöhung durch zusätzliche Lautsprecher, und welcher alternative Ansatz wird vorgestellt?
4. Warum ist die Bildgebung mit einem gewöhnlichen intelligenten Lautsprecher schwieriger als mit der beschriebenen Krankenhaus-Hardware für Ultraschallbilder?
5. Welche Aufgaben übernehmen Metafläche und maschinelles Lernen jeweils bei der akustischen Bildgebung?
6. Wie unterscheiden sich die Eingaben des vorgestellten Millimeterwellen-Diffusionsmodells von denen der im Vortrag zum Vergleich erwähnten Text-zu-Bild-Modelle?
7. Was wurde im geschilderten Zuckerwasser-Versuch beobachtet, und weshalb belegt diese Beobachtung noch keine allgemein einsetzbare nichtinvasive Blutzuckermessung?
8. Welches Problem unvollständiger multimodaler Datensätze soll die schrittweise paarweise Abstimmung lösen?
9. Welche Beispiele für individuell angepasste Reaktionen nennt der Vortrag, und welchen Entwicklungsstatus haben sie?

Hinweis zur wissenschaftlichen Verantwortung

Dieses Dokument wurde mit Unterstützung von Verbixa Academic erstellt oder bearbeitet. Die automatische Verarbeitung ersetzt keine wissenschaftliche Prüfung durch die verantwortliche Person.

Inhaltliche Richtigkeit, Quellenangaben, Zitate, Formeln und Schlussfolgerungen müssen vor einer Weitergabe oder Veröffentlichung eigenständig geprüft werden.