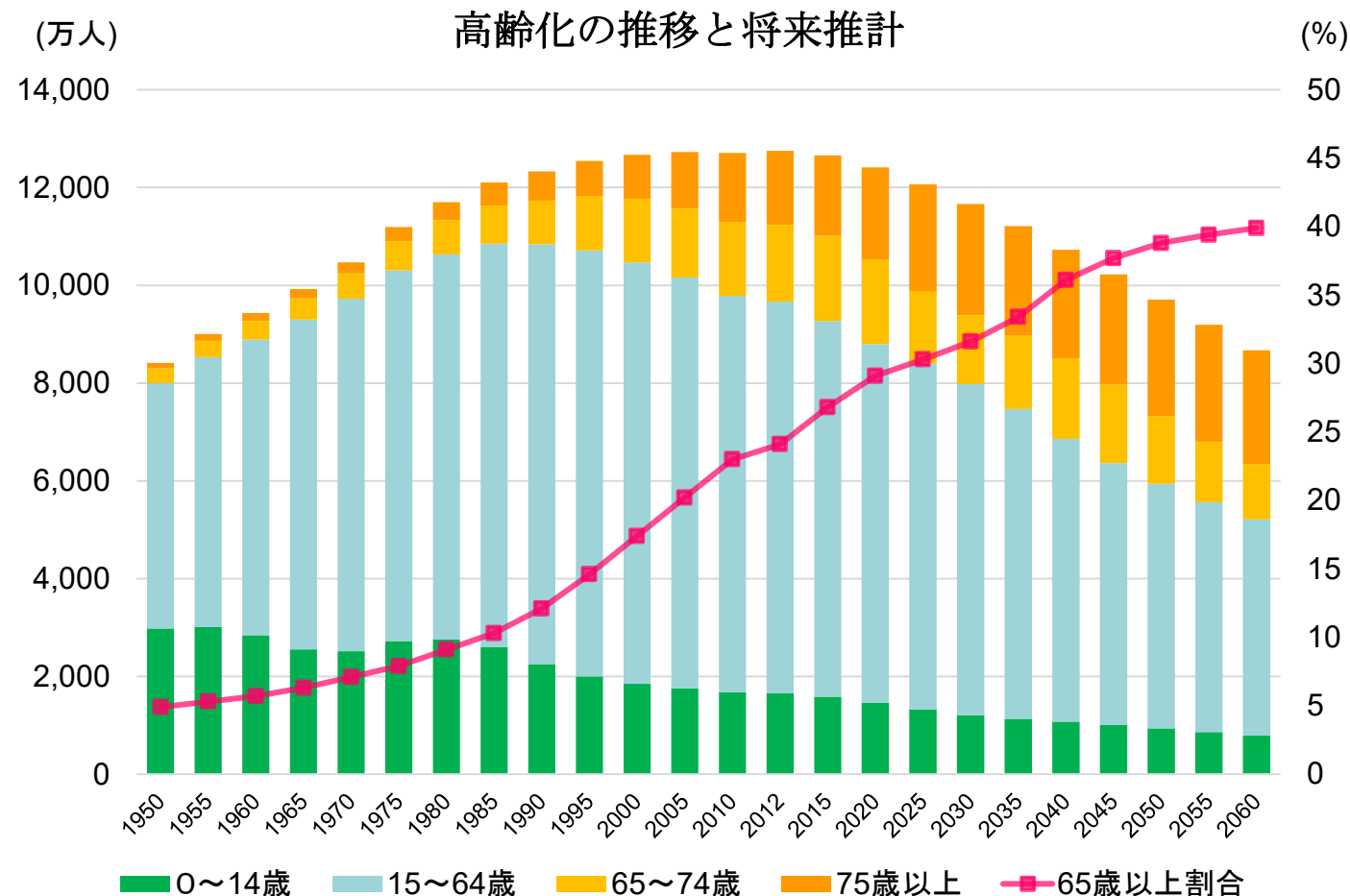


市販Wi-Fi装置の電波を用いた 非接触型心拍検知技術

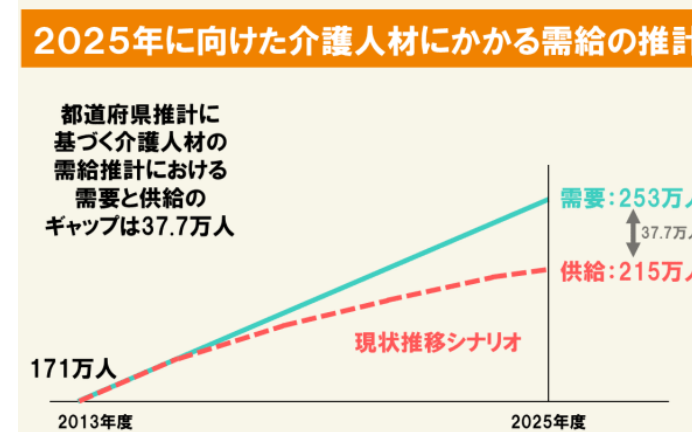
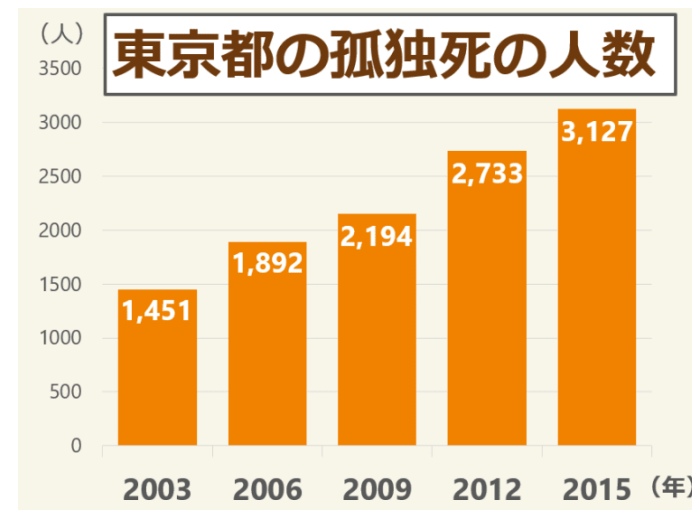
電気通信大学 大学院情報理工学研究科
教授 湯 素華

2026年5月12日

研究背景



出典: 国立社会保障・人口問題研究所HP等より作成



出典: 厚生労働省「2025年に向けた介護人材にかかる需給推計(確定値)」について

- 日本では高齢者人口(65歳以上)が大幅に増加しており、2060年には、4割になると推計されている
- 高齢者の人口増加に伴い、介護の負担が大きくなり、従来の見守り体制は十分ではない
- 一人暮らしの高齢者も増加→健康状況を把握するために、呼吸・心拍などのバイタルサインの観測が必要

バイタルサインのセンシング技術



医療設備

- 高精度
- コストが高い→家庭用に向かない
- サイズが大きい
- 接触型→違和感

ウェアラブルデバイス

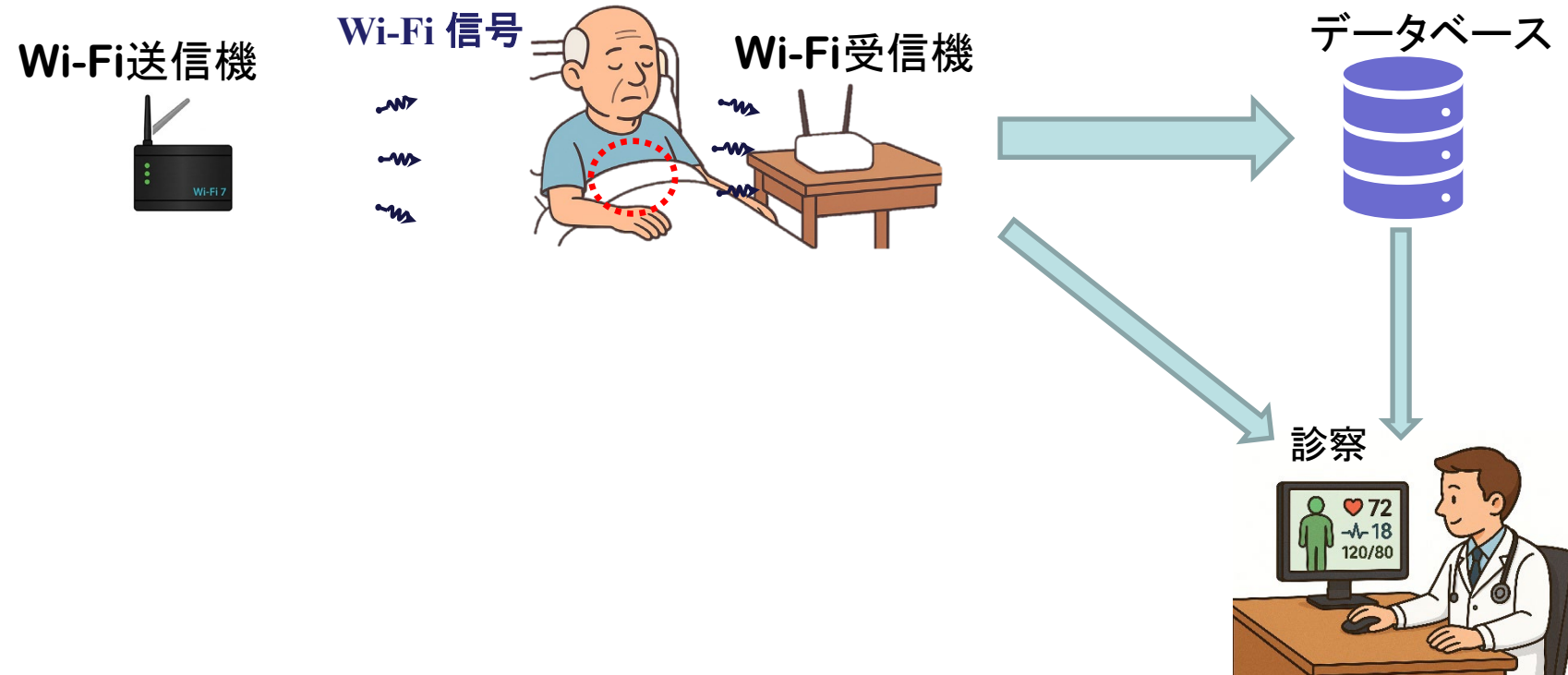
- 中精度
- コストが低い
- サイズが小さい
- 接触型→長時間着用と違和感

無線装置

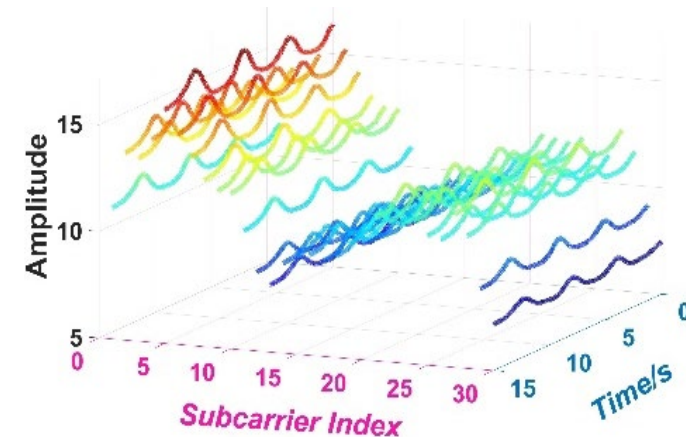
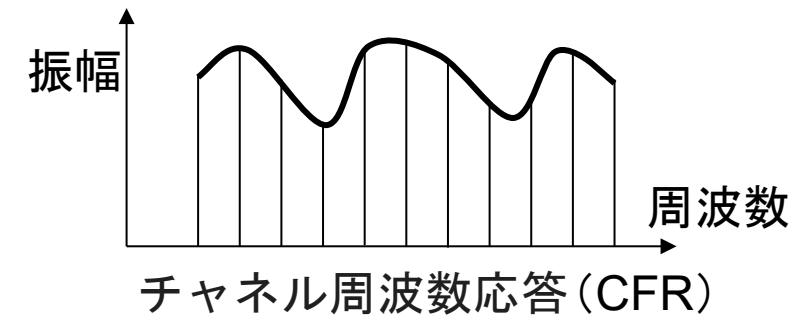
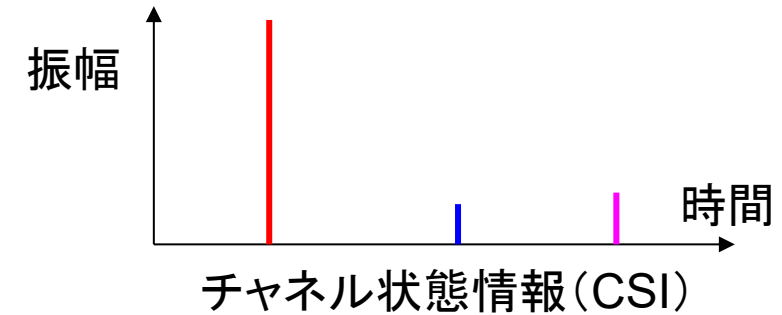
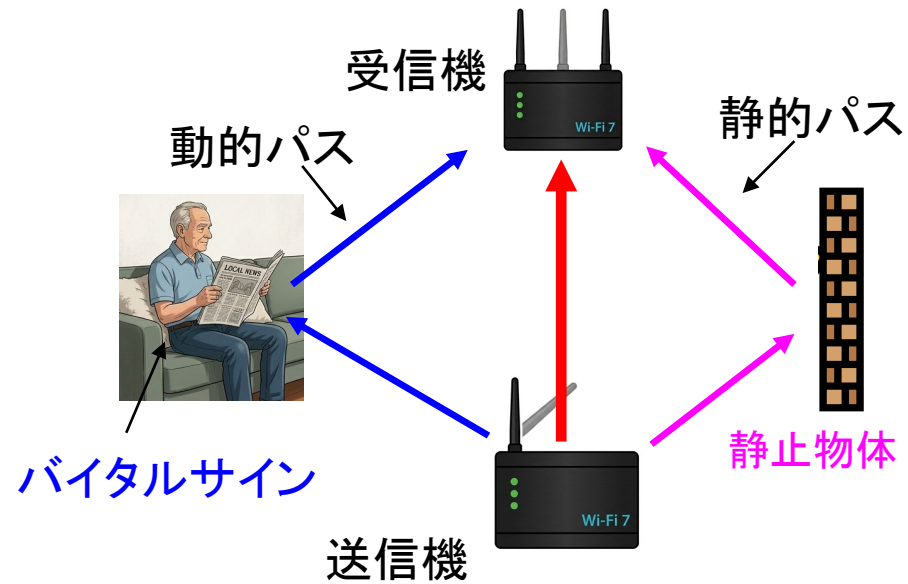
- Radar
- 高精度
 - コストが高い→家庭用に向かない
 - サイズが大きい
 - 非接触型

- Wi-Fi
- 中低精度
 - コストが低い
 - 普及しやすい
 - 非接触型

Wi-Fiに基づくセンシング



Wi-Fiに基づくセンシングのモデル



Wi-Fi: もともと通信が主目的

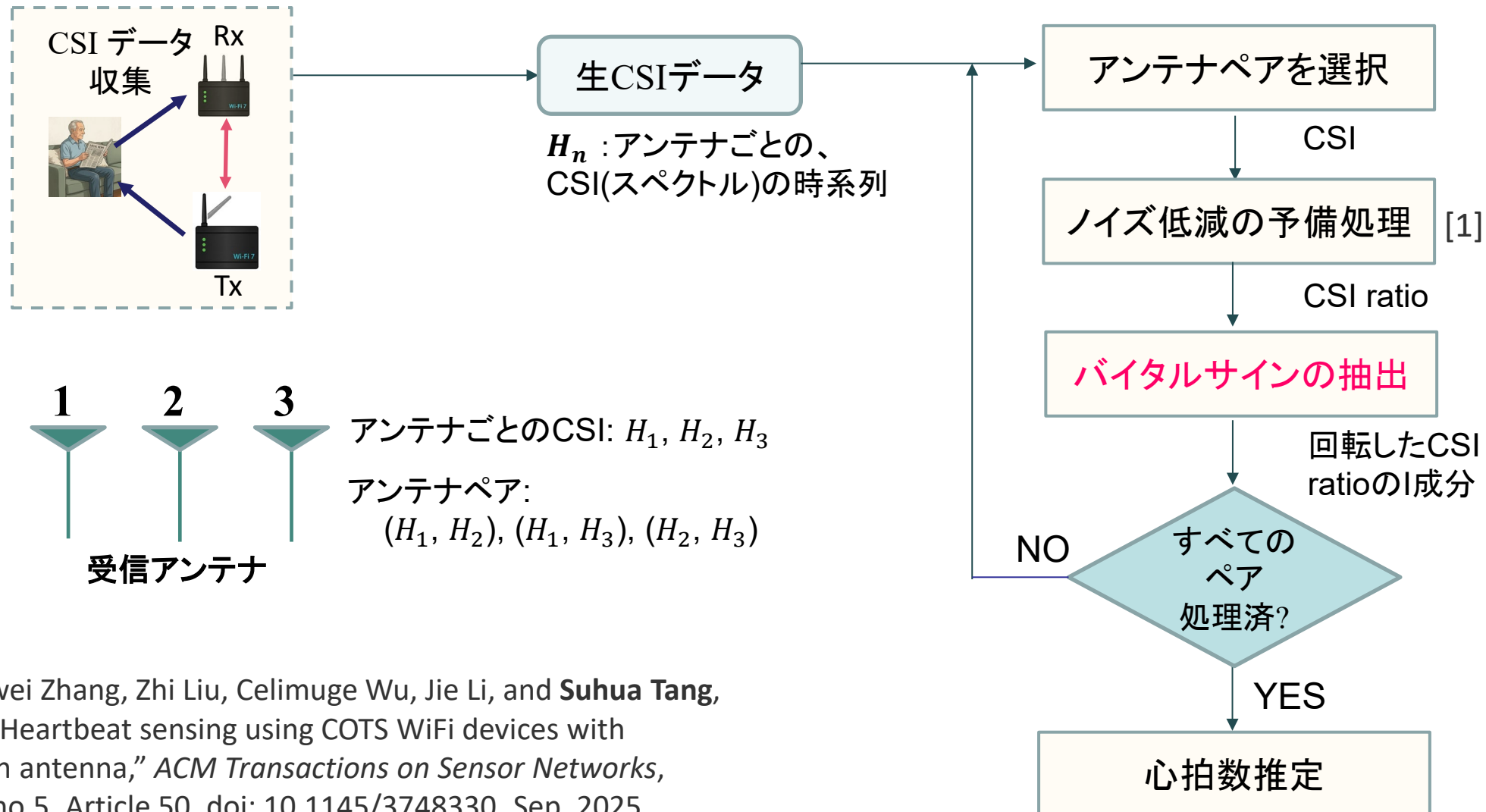
- 直接波が望ましい
- 反射波への対応: OFDM

センシング:

- 反射波を利用
- 直接波が強い干渉となる

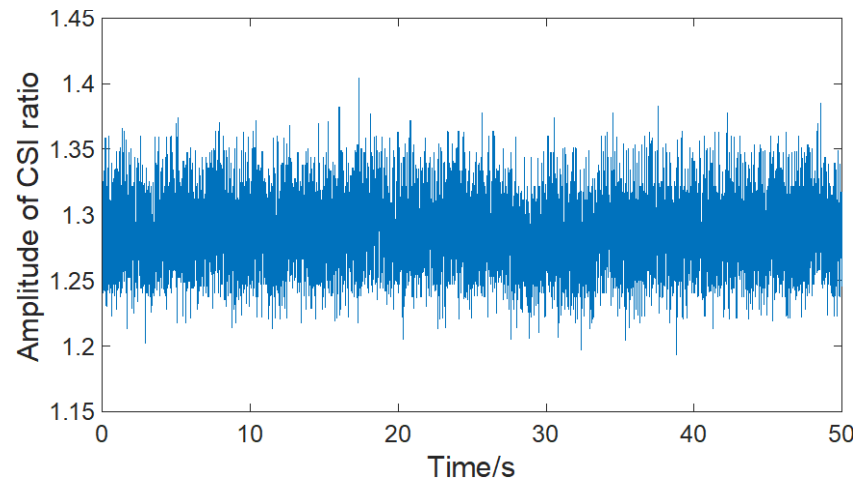
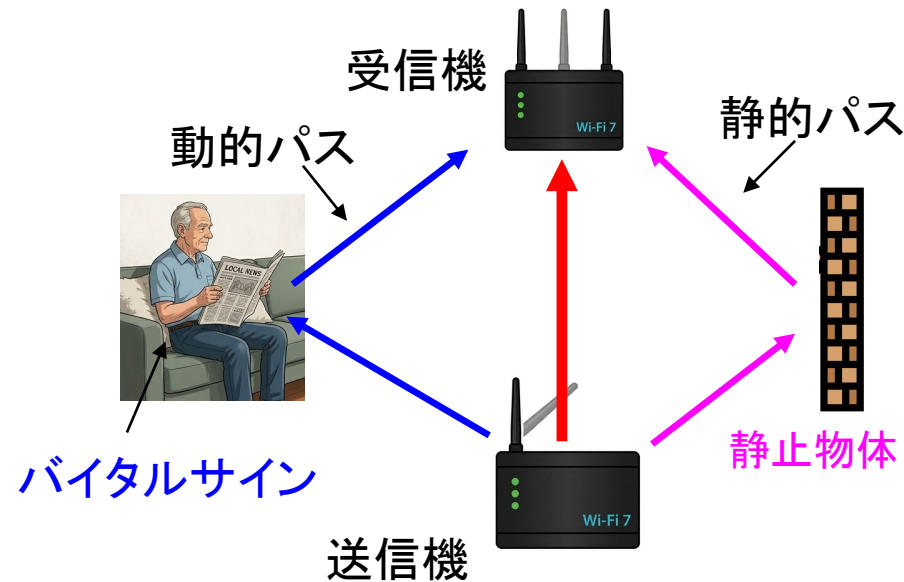
OFDM: 直交周波数分割多重

バイタルサイン検出の流れ



Wi-Fiセンシングの従来技術

--全方向性アンテナ使用--

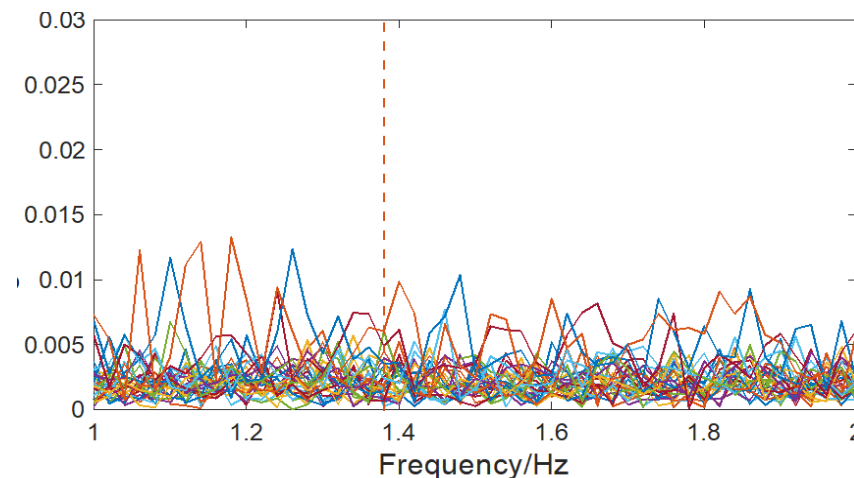


あるサブキャリアの時系列

心拍によるWi-FiのCSIの変化がとても小さい

性能に影響を及ぼす要素

- 静的パスの影響
見通しパスと静止物の反射
- 初期位相の影響
電波伝搬距離により位相変化
- 死角影響
二つのアンテナの位相が逆の場合、心拍によるCSI変化が相殺

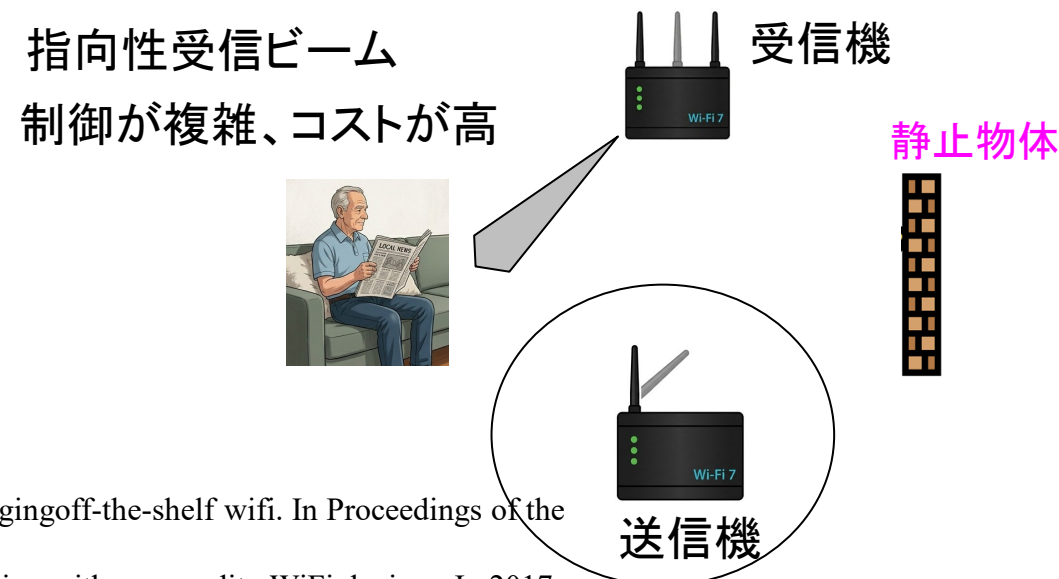
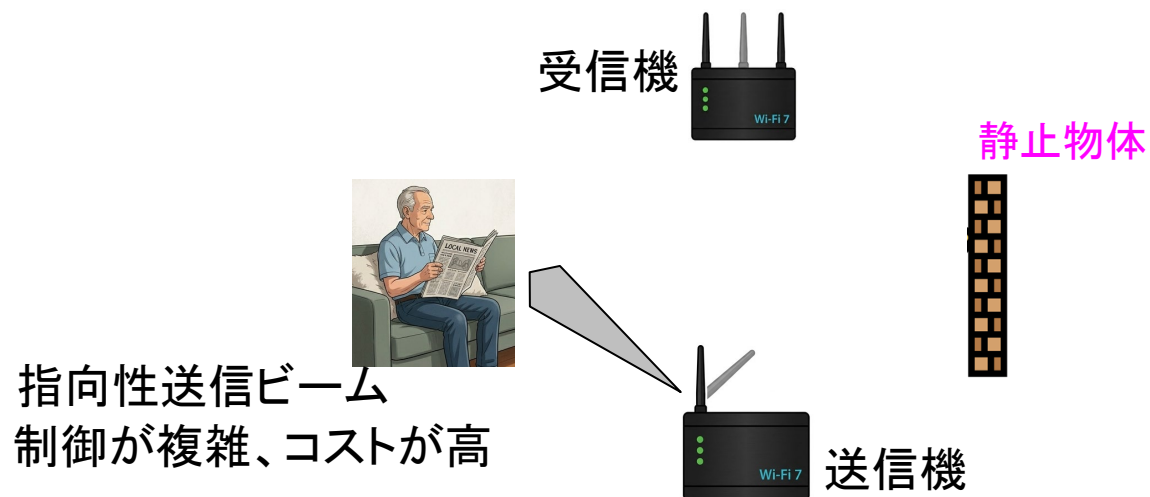


心拍数に対応する成分が確認できない

Wi-Fiセンシングの従来技術

--指向性アンテナ使用--

System	Special Setup	Accuracy (Omni. Ant.)	Env-Sensitive	Extra HW Costs	Sensing Range
TVS [1]	Dir. Ant	Low	Yes	Yes	> 1m
Phasebeat [2]	Dir. Ant	Low	Yes	Yes	> 1m
Spacebeat [3]	Ant Array	High	Yes	Yes	> 1m



- [1] JianLiu, YanWang, YingyingChen, JieYang, XuChen, and JerryCheng. 2015. Trackingvitalsignsduringsleepleveragingoff-the-shelf wifi. In Proceedings of the 16th ACM international symposium on mobile ad hoc networking and computing. 267–276.
- [2] Xuyu Wang, Chao Yang, and Shiwen Mao. 2017. PhaseBeat: Exploiting CSI phase data for vital sign monitoring with commodity WiFi devices. In 2017 IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS). IEEE, 1230–1239.
- [3] Bofan Li, Yili Ren, Yichao Wang, and Jie Yang. 2024. SpaceBeat: Identity-aware Multi-person Vital Signs Monitoring Using Commodity WiFi. Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol. 8, 3, Article 113 (September 2024), 23 pages

提案方式

——全方位性アンテナ使用——

- 各サブキャリア: 同位相Iと直交位相Q

1. 静的パスの影響の低減

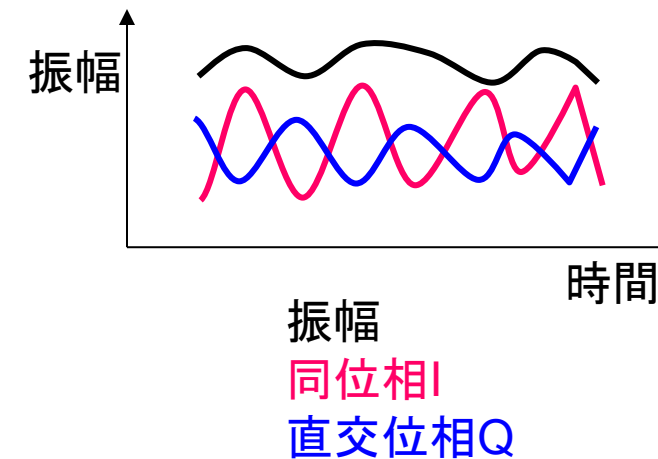
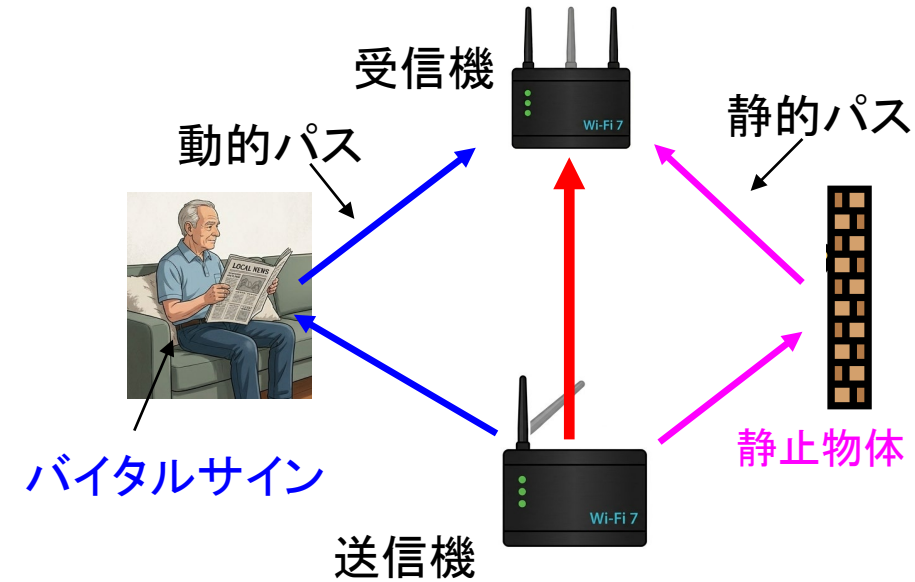
- I/Qに対する非線形処理を回避
- IとQに対して直接処理

2. 初期位相の影響の低減

- I/Qに含まれるバイタルサインの強さは、初期位相に依存
- 信号変換によって、IもしくはQに集中
- Iだけ进行处理しても情報ロスがない、また、Qにおけるノイズを回避

3. 死角影響の低減

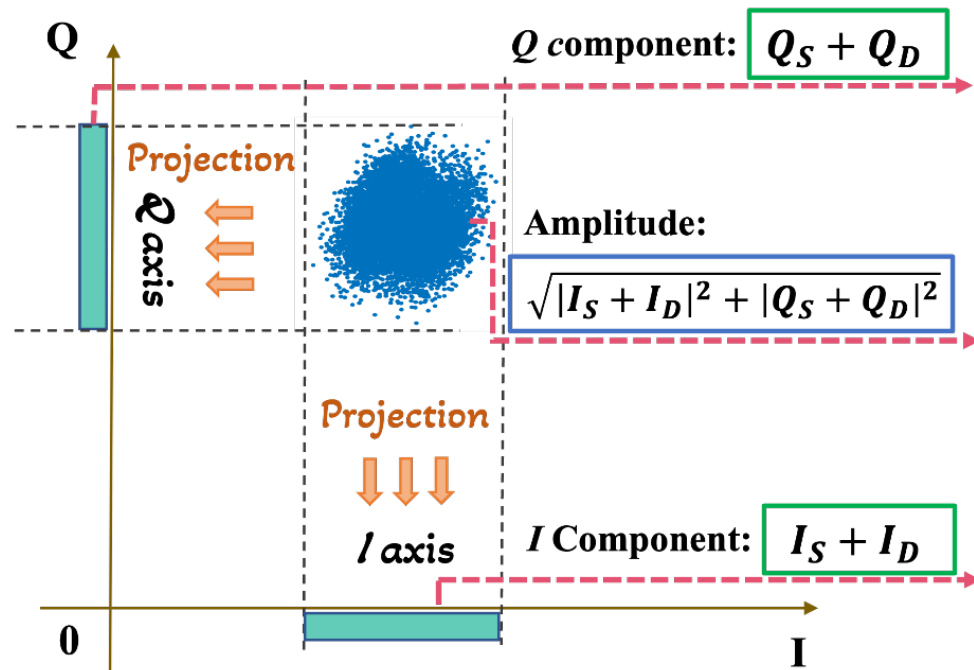
- アンテナのペアによっては、信号変換が効かない → 死角
- 多数のアンテナペアを利用、重み付けで動的成分を増強



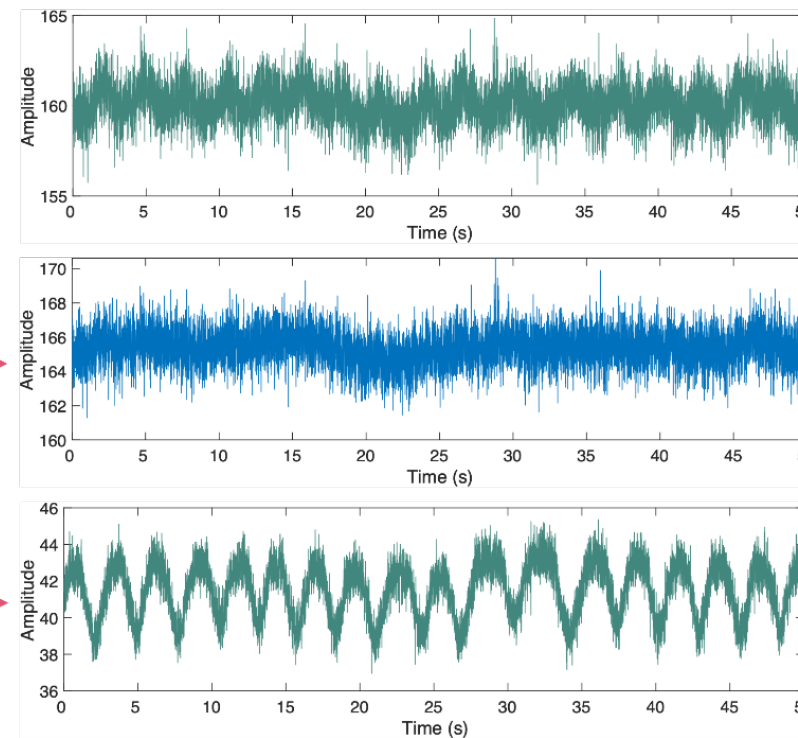
1. 静的パスの影響の低減

- IとQから振幅(非線形)を計算する代わりに、IもしくはQを処理

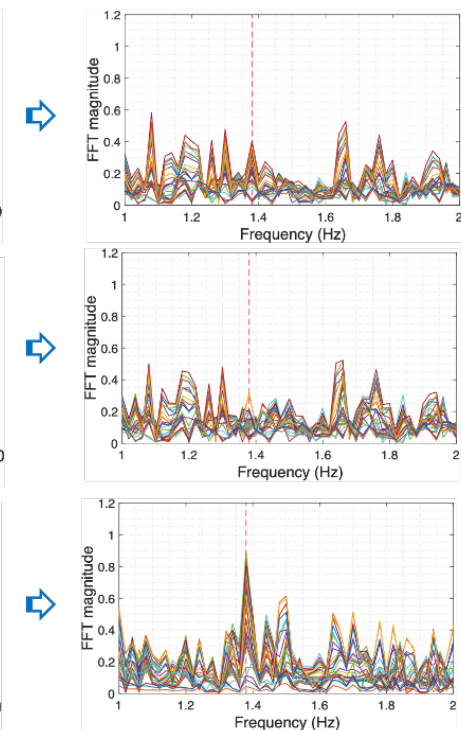
$(I_S + I_D) + j(Q_S + Q_D)$ in the complex plane



Patterns



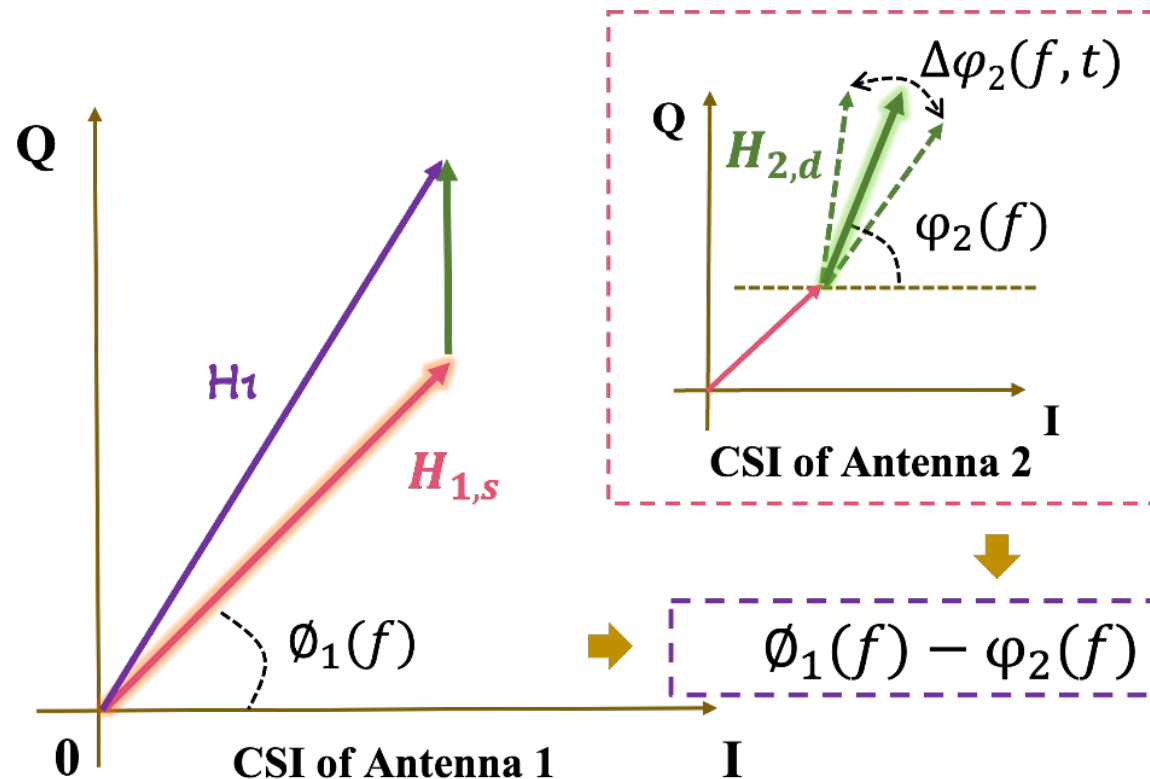
Spectrum of all subcarriers



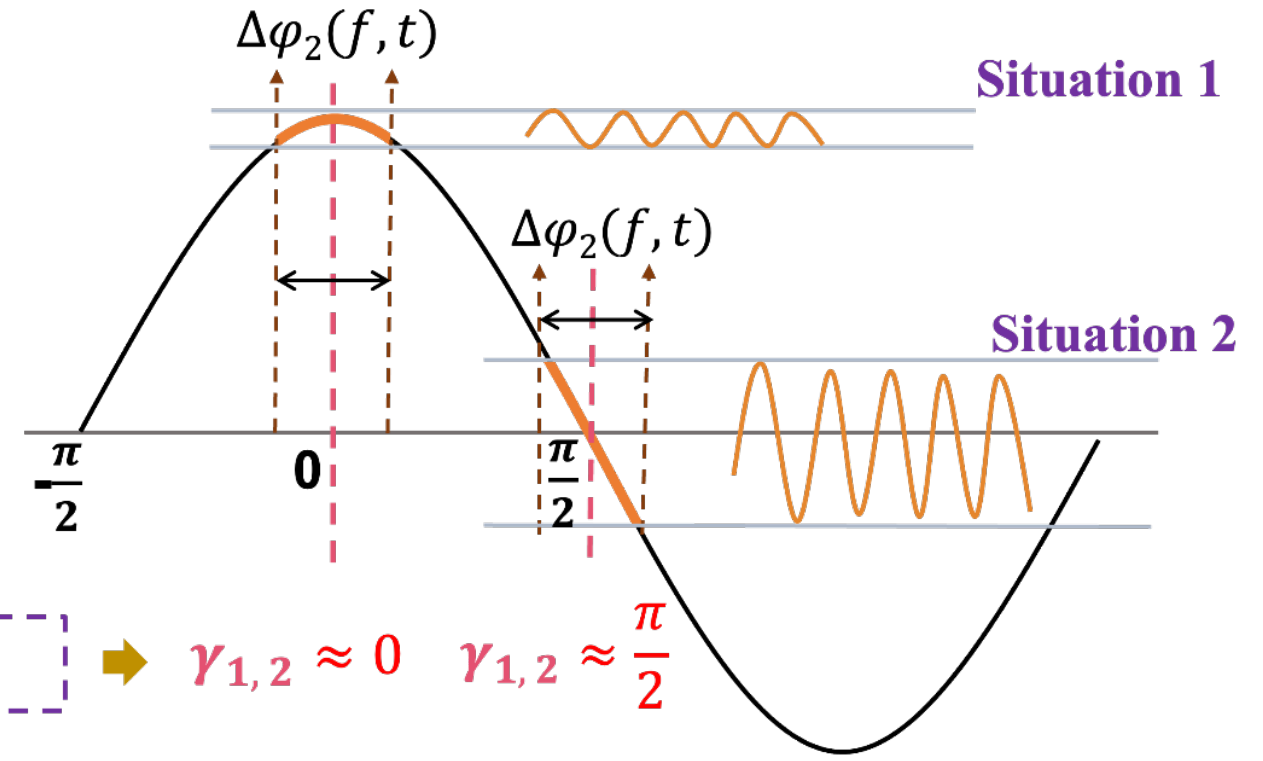
2. 初期位相の影響の低減

• 初期位相の影響

CSI in complex plane



One cosine part of I_D : $\cos(\gamma_{1,2} - \Delta\phi_2(f, t))$



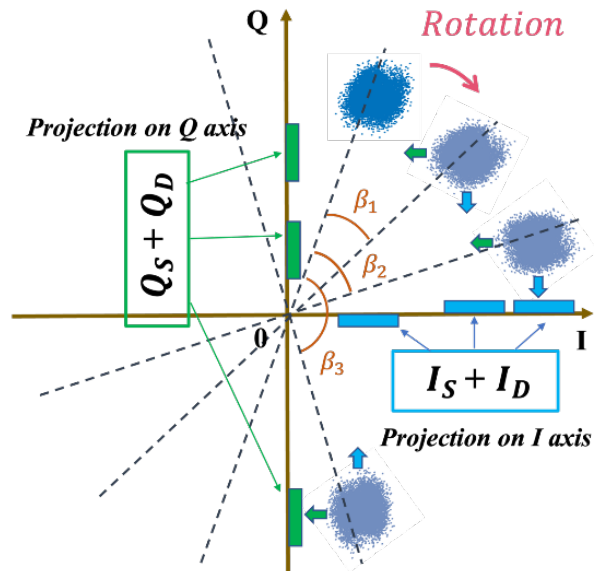
2. 初期位相の影響の低減

- 回転角度: β

回転操作: $RS = e^{-j\beta} \cdot X^{(n)} \quad X^{(n)} = I_S^{(n)} + I_D^{(n)} + j(Q_S^{(n)} + Q_D^{(n)})$

- CSI ratio信号を回転することで、動的成分をIもしくはQに集中

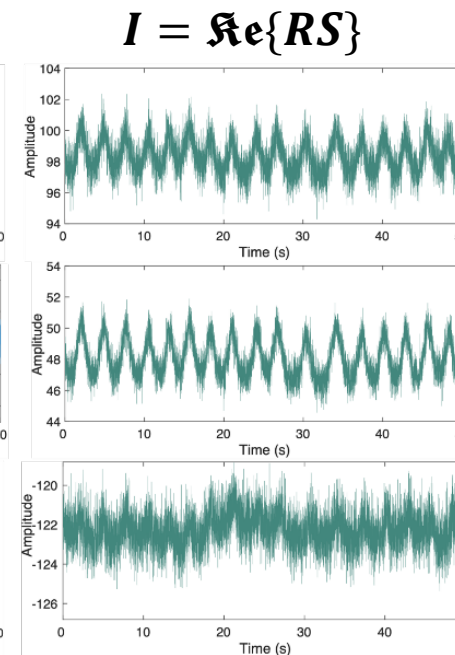
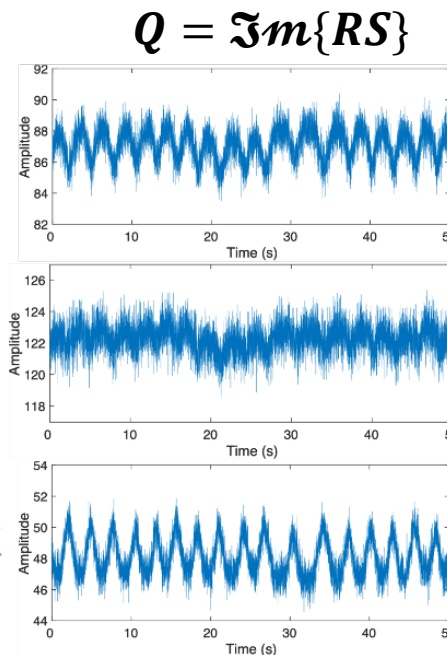
$e^{-j\beta} \cdot (I_S + I_D + j(Q_S + Q_D))$ in the complex plane



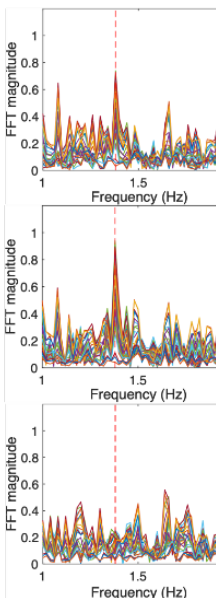
$$\beta_1 = \frac{3\pi}{20}$$

$$\beta_2 = \frac{6\pi}{20}$$

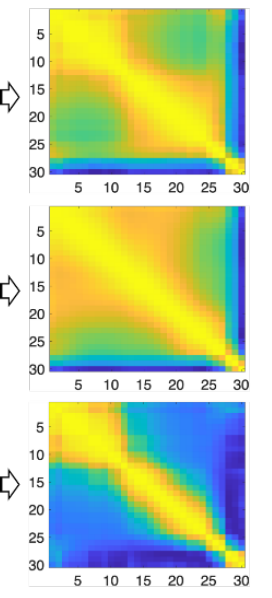
$$\beta_3 = \frac{16\pi}{20}$$



Spectrum of all subcarriers

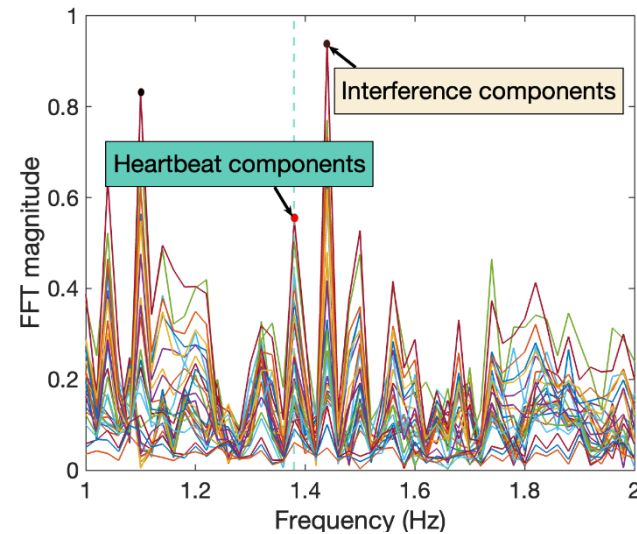


Correlation matrix

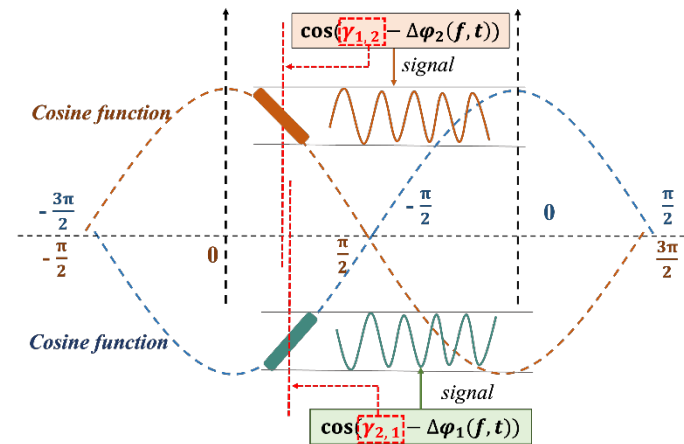


3. 死角影響の低減

- 死角問題は、すべてのアンテナペア上同時に起きることがない



$\cos(\gamma_{1,2} - \Delta\phi_2(f, t)) + \cos(\gamma_{2,1} - \Delta\phi_1(f, t))$ in cosine function
 $\gamma_{1,2} - \gamma_{2,1} \approx \pm \pi$



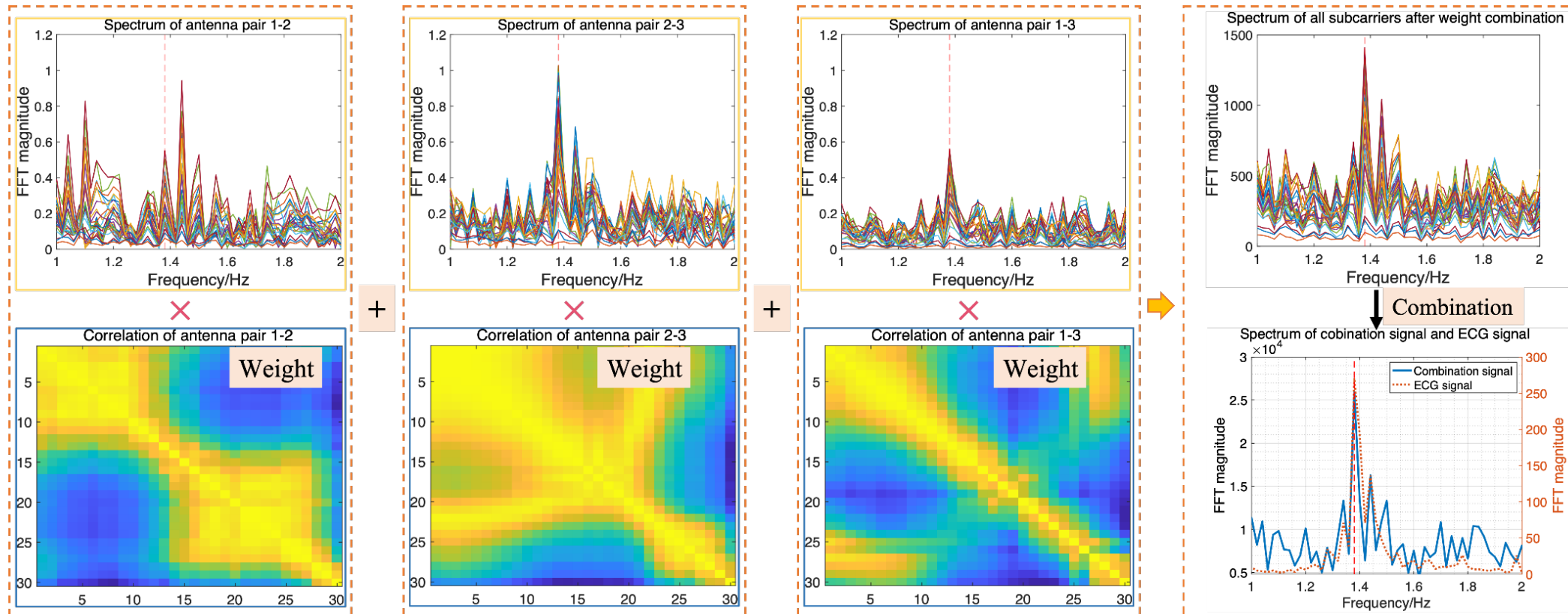
$$\begin{aligned} \gamma_{1,2} - \gamma_{2,1} &= \phi_1(f) - \varphi_2(f) - \phi_2(f) + \varphi_1(f) = \pi, \\ \gamma_{1,3} - \gamma_{3,1} &= \phi_1(f) - \varphi_3(f) - \phi_3(f) + \varphi_1(f) = \pi, \\ \gamma_{2,3} - \gamma_{3,2} &= \phi_2(f) - \varphi_3(f) - \phi_3(f) + \varphi_2(f) = \pi. \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \phi_2(f) - \varphi_3(f) - \phi_3(f) + \varphi_2(f) = 0,$$

✗

心拍数推測

- 複数のアンテナペアを組み合わせることで、死角の影響を軽減し、心拍成分を強化

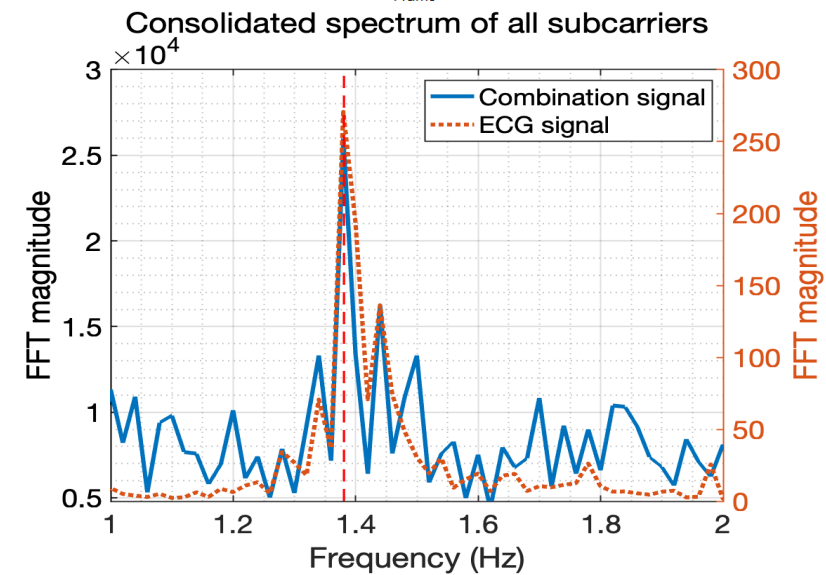
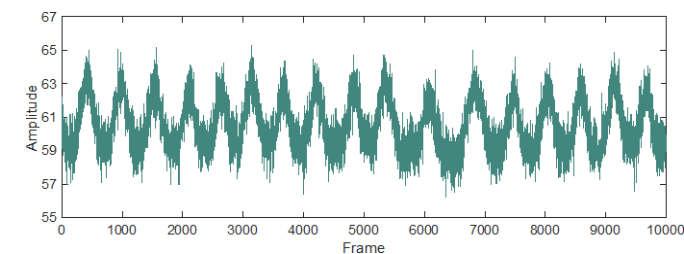
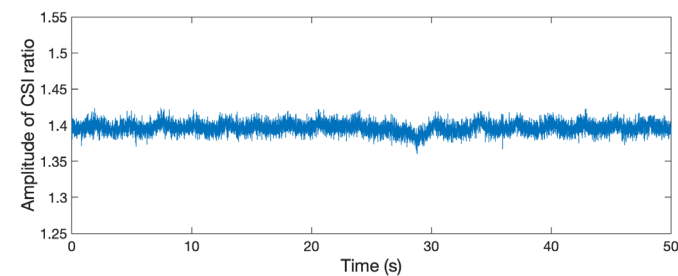
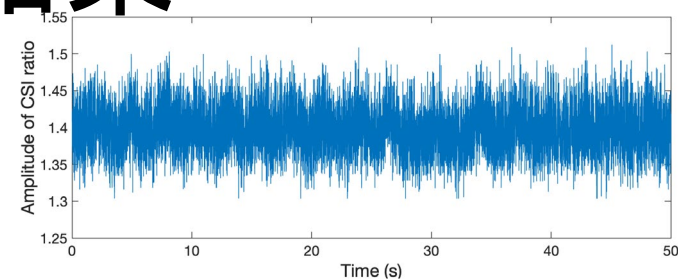
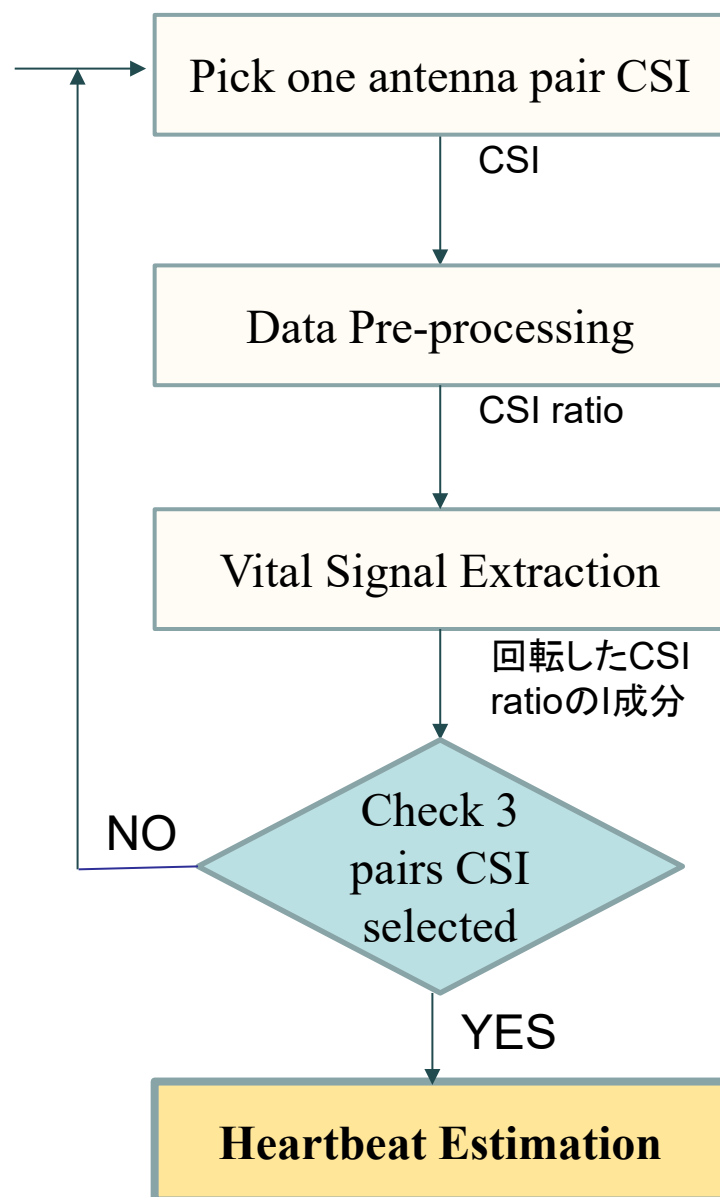


$$Y(f) = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^K \text{Abs}(\text{FFT}(X_i^{(n)})) \cdot M_{n,\beta}(X^{(n)})$$

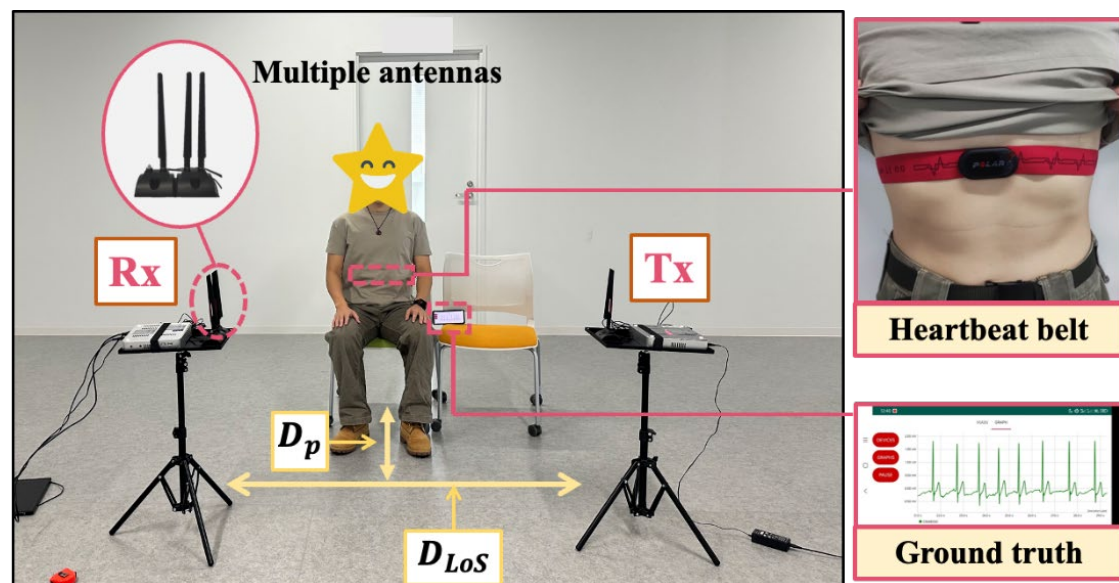
$$M_{n,\beta}(X^{(n)}) = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1, j \neq i}^K R_{ij}(X^{(n)})$$

n : antenna pair number,
 β : optimal angle
 K : subcarrier number

処理流れと結果



実験結果^[1]



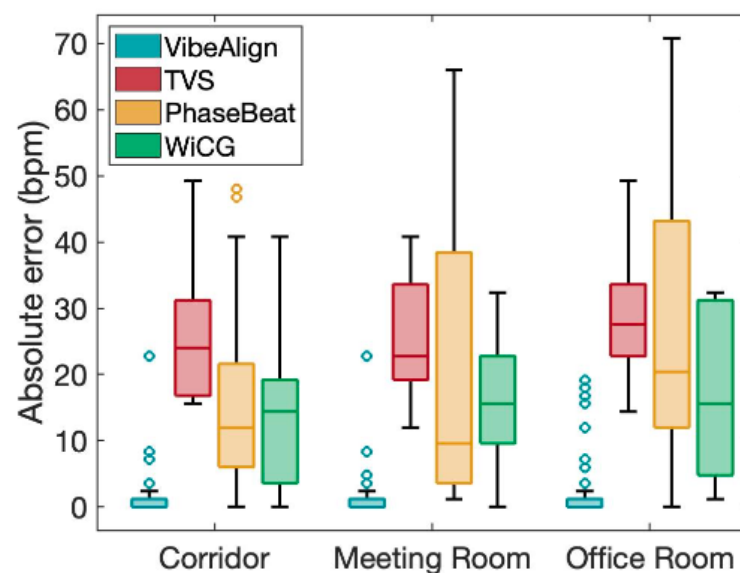
$$\text{心拍数検出エラー} = |f_{ECG} - f_{CSI}| \times 60.$$

$$\text{心拍数検出率} = 1 - \frac{|f_{ECG} - f_{CSI}|}{f_{ECG}} \times 100\%.$$

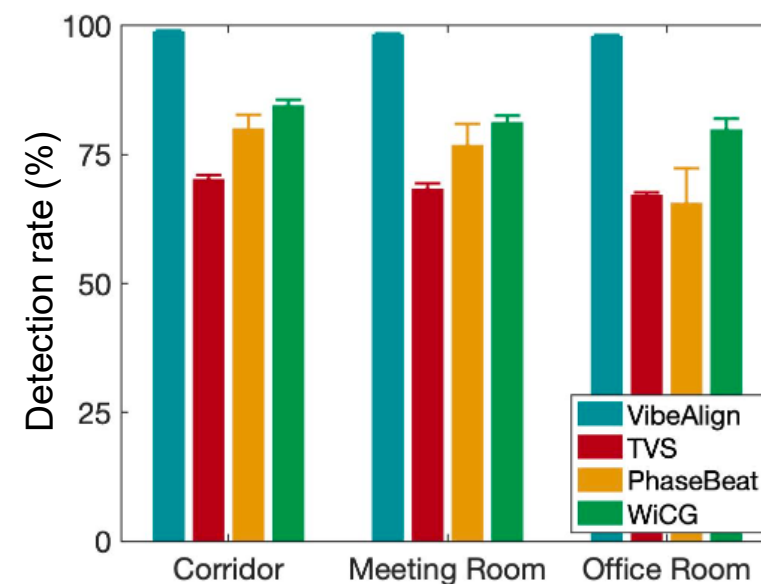
f_{ECG} : ECG信号によって検出した心拍数(真値)

f_{CSI} : CSI信号によって検出した心拍数

[1] Youwei Zhang, Zhi Liu, and Suhua Tang, "VibeAlign: Maximizing Variation of Heart Beat in CSI of COTS Wi-Fi Devices via Signal Alignment," *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies (IMWUT)*, vol.9, no.4, doi:10.1145/3770704, Dec. 2025.



(a) 心拍数検出エラー



(b) 心拍数検出率

従来技術とその問題点

Wi-Fiによる呼吸数の検出は、既に検討・実験されているが、心拍数の検出に適用すると

全指向性アンテナに起因する干渉問題が発生

直接波や、初期位相等の影響により、検出率が低下等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、全指向性アンテナ使用時の干渉問題などを克服することに成功した。
- 従来はWi-Fiは主に、呼吸検知の使用に限られていたが、弱い心拍信号によるCSIの変化を拡大できたため、心拍検知することが可能となった。
- 本技術の適用により、Wi-Fiの電波を使用して、同時に、呼吸数や心拍数が検知できるため、より広く普及されることが期待される。

想定される用途

- 本技術は、非接触で人間のバイタルサインを持続的に検知することができるため、ヘルスケア上のメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、赤ちゃんのうつ伏せを検知することも期待される。
- また、バイタルサインから睡眠状況を推測することに着目すると、Wi-Fi信号を用いた睡眠質の推測と改善といった分野や用途に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、Wi-FiのCSI情報から心拍数を検知する可能なところまで開発済み。しかし、無線チャネル混雑によるCSIロス問題が未解決である。
- また、多人数の場合、性能が劣化する点が未解決である。
- 今後、前者について、通信用パケットからCSIを取得するようにシステムを改良し、後者に対しては、多人数の実験データを取得し、検知方式の改良を行う予定である。
- 実用化に向けて、Wi-Fiの検出精度をウェアラブル装置と同程度にまで向上する技術を確立する必要もあり。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
基礎研究	・Wi-Fiの信号を用いた心拍検知が実現	
現在	・Wi-Fiの通信用パケットからCSIを取得し、バイタルサインを検知	
1年後	・Wi-Fiの通信用パケットで得られたCSIから、バイタルサインを検出することが実現	老人ホームなどでの実用化
2年後	・より低コストなBLEの信号で得られたCSIから、バイタルサインを検出することを実現	老人ホームなどでの実用化

企業への期待

- 未解決のCSIロス問題については、センシング以外のデータパケットを併用することで克服できると考えている。
- IoTセンシング技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、IoTを用いたセンシングシステムを開発中の企業、介護分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術はWi-Fiによる心拍検知が可能なため、市販のWi-Fi装置を活用して多くのセンシング機能を実現することでより企業に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本格導入にあたっての技術指導等

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 検出装置、検出システム、
検出方法及び検出プログラム
- 出願番号 : 特願2025-203225
- 出願人 : 電気通信大学
- 発明者 : 張 有為、湯 素華

お問い合わせ先

国立大学法人 電気通信大学大学
産学官連携センター
産学官連携ワンストップサービス

TEL: 042-443-5725

FAX: 042-443-5937

e-mail: onestop@sangaku.uec.ac.jp