

WLAN センシング ——IEEE802.11bf の標準化動向——

WLAN Sensing : Standardization Activities in IEEE802.11bf

小川将克

1. はじめに

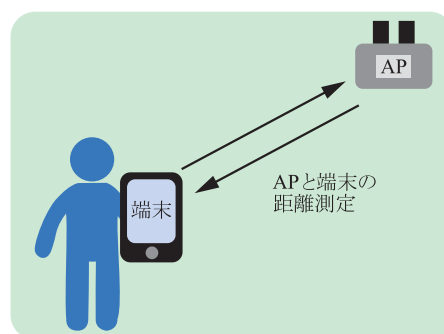
これまでの IEEE802.11^(用語) 準拠 WLAN (Wireless Local Area Network) は、物理層において通信を高速化させるための技術や、MAC (Medium Access Control)^(用語) 層において品質制御やセキュリティなど、通信を高機能化させるための技術により、通信用途として発展を遂げた。

最近では、計測用途の規格が登場し、IEEE802.11mc では測距機能である FTM (Fine Timing Measurement) が導入された。FTM は、AP (Access Point)^(用語) と端末の機器間の距離について、WLAN フレームが往復する時間である RTT (Round Trip Time) に基づいた測定である。FTM を利用した高精度測位として、IEEE802.11az が標準化される予定である。WLAN センシングも計測機能であるが、FTM と異なり、計測対象においてデバイスレスであることが特徴である。図 1 に FTM と WLAN センシングの違いを示す。FTM の測距に対して、WLAN センシングは送受信アンテナ間のマルチパス伝搬特性から人の存在検出や位置推定などを行うものである。

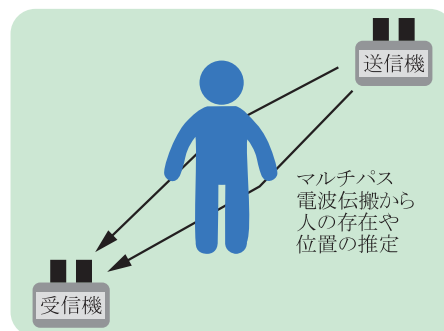
2. IEEE802.11bf のユースケース

IEEE802.11bf では、ルームセンシング、ジェスチャ識別、健康管理、3D ビジョン、カーセンシングのユースケースが想定されている⁽¹⁾。既存の WLAN 規格の周波数帯である 7 GHz 帯未満と 60 GHz 帯では、帯域幅の違いにより距離分解能が異なる。例えば、指の動きによるジェスチャ識別や 3D ビジョンは 60 GHz 帯のみが対応となる。

WLAN センシングの製品としては、Origin Wireless の Hex Home がある⁽²⁾。Hex Home のユースケースは、ホームセキュリティや、高齢者や子供の見守りである。村田製作所では、車内の幼児の置き去りを検出するために、WLAN センシングの利用を検討している⁽³⁾。なお、欧州の自動車安全性評価機関 (Euro NCAP) で車内の幼児置き去り検知システムの試験を 2023 年から導入予定である。



(a) FTM



(b) WLAN センシング

図 1 FTM と WLAN センシングの違い

小川将克 正員：シニア会員 上智大学理工学部情報理工学科
Masakatsu OGAWA, Senior Member (Faculty of Science and Technology, Sophia University, Tokyo, 102-8554 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.105 No.12 pp.1466-1471 2022 年 12 月
©電子情報通信学会 2022

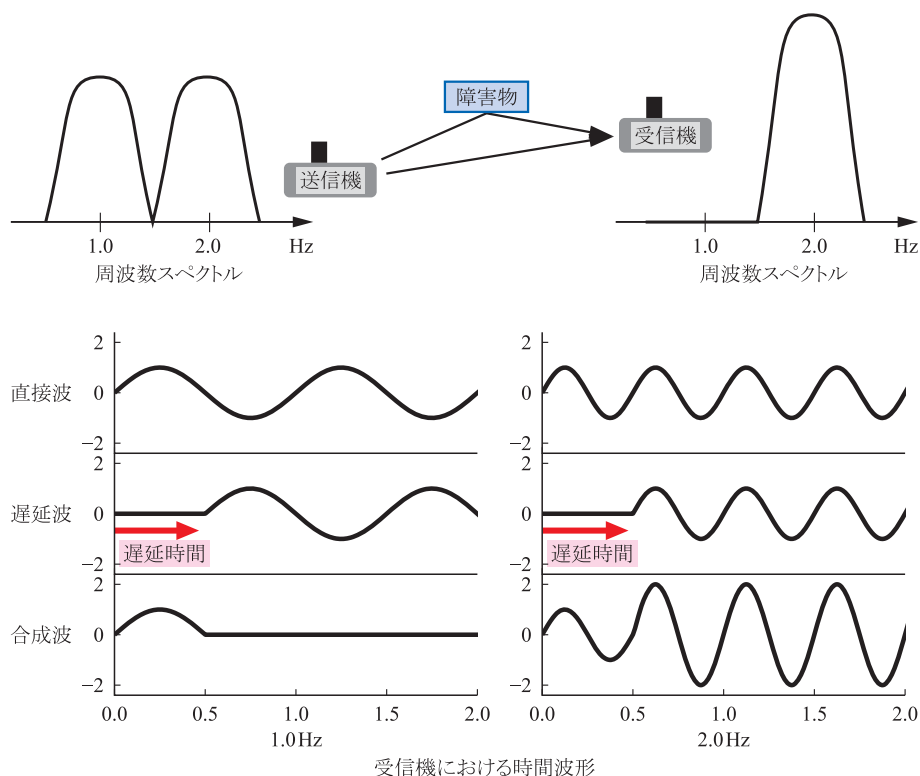


図2 WLAN センシングの原理

3. WLAN センシングの基礎原理

用語解説

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers. 米国における電気電子情報分野の学術研究団体、標準化機関。

IEEE802 IEEE において、構内通信網の LAN (Local Area Network) や都市規模通信網の MAN (Metropolitan Area Network) の標準規格を扱う委員会であり、1980 年 2 月に設立されたことから 802 と名付けられた。

IEEE802.11 IEEE802 委員会で 11 番目に設立した WLAN の標準化を行うワーキンググループ。

MAC Medium Access Control. OSI (Open Systems Interconnection) 参照モデルで規定されたデータリンク層の二つの副層のうち下位の副層。

AP Access Point. WLAN の親機。

MIMO Multi Input Multi Output. 複数の送受信アンテナを利用した伝送方式。

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing. 複数の狭帯域信号を利用して周波数軸上で並列伝送する方式。

Trigger-based (TB) sensing Trigger フレームを利用したセンシング。

Non-TB sensing Trigger フレームを利用しないセンシング。

STA Station. WLAN の子機でありスマートフォンなど。

TF Trigger Frame. AP が STA からの通信を制御するためのフレーム。

IEEE802.11n 以降の WLAN では、MIMO (Multi Input Multi Output) (用語)-OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) (用語) 伝送が採用されている。OFDM は、帯域幅に応じた複数のサブキャリアで構成される。図 2 に示すように、周波数 1 Hz と 2 Hz の二つのサブキャリアを利用して送信機から信号が送信されたと仮定する。障害物により受信機に到着するまでの遅延時間に応じて、受信機における直接波と遅延波の合成波が周波数ごとに異なる。周波数領域では、遅延時間に応じた周波数スペクトルが得られる。この周波数スペクトルは、マルチパス伝搬の状態を表すチャネル状態情報 (CSI: Channel State Information) である。例えば、送受信アンテナ間の空間に人が存在していなければ周波数スペクトルの変化がなく、人が侵入すると周波数スペクトルに変化が生じることで、人の存在検出ができる。

更に、MIMO は、複数の送受信アンテナで構成される。送受信アンテナがそれぞれ 1 本の場合である SISO (Single Input Single Output) に比べて、送信アンテナ間の伝送路数が増えるため、例えば、 2×2 MIMO では、伝送路数は SISO の 4 倍になる。MIMO を用いることで、多方向からのマルチパス伝搬特性が得られ、センシング性能が向上する。

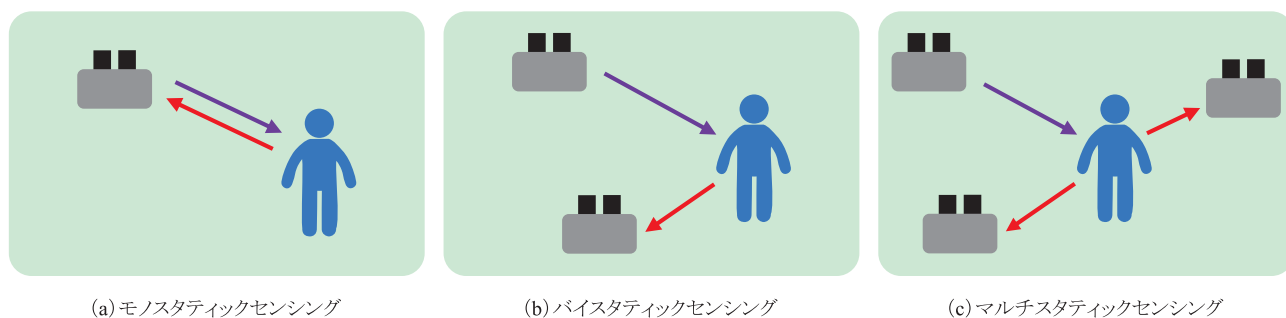


図3 DMG センシングの種類

4. IEEE802.11bf の概要

これまでの IEEE802.11 準拠 WLAN では、ユーザがアプリケーションを利用して、センシング情報を取得することができない。センシングのアプリケーションからセンシング測定の要求やセンシング情報の取得をするための機能が新たに必要となるために、2019 年 7 月から標準化に向けた議論が開始された。2020 年 9 月からは標準仕様書を策定する Task Group bf (WLAN Sensing) として活動が開始され、標準化成立は 2024 年 9 月の予定である。

対象周波数は、1 GHz から 7.125 GHz、45 GHz 超であり、既存の WLAN 規格で利用される 7 GHz 帯未満では WLAN センシング手順により CSI が測定され、60 GHz 帯では DMG (Directional Multi Gigabit) センシング手順により、方位角、仰角、距離、ドップラーから成るイメージや、検出対象物の距離、方位角、仰角及びこれらの速度が測定される^{(4), (5)}。

7 GHz 帯未満では、IEEE802.11ac 以降においてビームフォーミングのために CSI の一部を利用しているが、CSI を取得するための機能がない。更に、60 GHz 帯では、IEEE802.11ay Annex AB においてレーダ機能を実装するための記載があり、送信機と受信機が同一の機器であるモノスタティックセンシングのみに対応している。図3に示すように、IEEE802.11bf では、送信機と受信機が異なるバイスタティックセンシングや、1 台の送信機と複数の受信機から成るマルチスタティックセンシングに対応することで、多様なレーダへの適用が可能になる⁽⁶⁾。本稿では、WLAN センシング手順に関わる部分のみにについて解説する。

なお、IEEE802.11bf では、センシング測定結果を得るまでの規格策定が目的であり、センシング測定結果を利用したアプリケーションは規格のスコープ外である⁽⁴⁾。

表1 IEEE802.11bf で規定される機器の役割

Sensing Initiator	WLAN センシング手順を開始し、センシング測定結果を取得する機器。
Sensing Responder	Sensing Initiator が開始した WLAN センシング手順に参加する機器。
Sensing Transmitter	WLAN センシング手順において、測定用フレームを送信する機器。
Sensing Receiver	Sensing Transmitter が送信した測定用フレームを受信する機器。

5. WLAN センシング手順

IEEE 802.11bf では、表1に示すように、機器の役割を定義している。測定方法として、IEEE802.11ax で規定された Trigger フレームを利用する Trigger-based (TB) sensing^(用語) measurement instance と Trigger フレームを利用しない Non-TB sensing^(用語) measurement instance を規定している。これらは、Sensing Initiator が、AP または STA (Station: 端末)^(用語) のどちらかにより、適用する測定方法が異なる⁽⁷⁾。

5.1 TB sensing measurement instance

TB sensing measurement instance は、AP が Sensing Initiator、STA が Sensing Responder となるシナリオに適用される。TB sensing measurement instance には、四つのフェーズがある。

- ① Polling phase では、STA に対して TB sensing measurement instance への参加の可否をチェックするために、AP が STA に Sensing Polling Trigger フレームを送信する。参加可能な STA は、Sensing Polling Trigger フレームに対して応答する。
- ② NDPA (NDP Announcement) sounding phase では、図4(a)に示すように AP が Sensing Transmitter、STA が Sensing Receiver の場合であり、AP

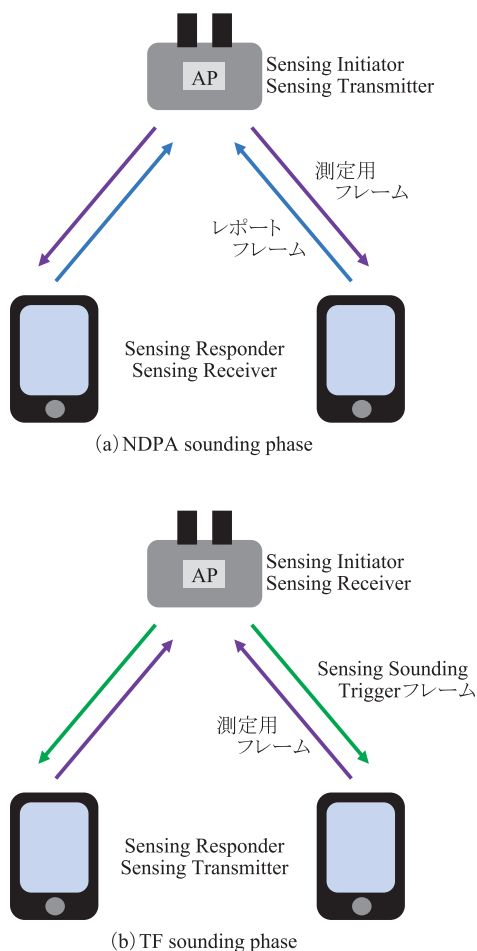


図 4 TB sensing measurement instance

が測定用フレーム（NDP: Null Data Packet）を送信し，STA において CSI を測定する。

③ TF (Trigger Frame) ^(用語) sounding phase では，図 4(b) に示すように，STA が Sensing Transmitter，AP が Sensing Receiver の場合である．AP が STA に測定用フレームの送信を求めるために，Sensing Sounding Trigger フレームを送信する．その後，STA が測定用フレームを送信し，AP において CSI を測定する。

④ Reporting phase では，図 4(a) に示すように STA が Sensing Receiver となり CSI 測定をする NDPA sounding phase の場合に適用され，STA から AP に CSI 測定結果をレポートフレームでフィードバックする。

NDPA sounding phase において CSI 測定後，Reporting phase において，事前に設定された CSI 変動のしきい値により，CSI 測定結果のフィードバックの有無を決める Threshold-based reporting phase がオプションで規定されている．図 5 に示すように，OFDMA により複数 STA で帯域を共有して CSI 測定結果をフィードバックする場合，1 台の STA からのフィードバックよりも時間を要する．例えば，図 5 の Room C に人の侵入があり，STA 2 において事前に設定された CSI 変動のしきい値以上になったとする．STA 1 はしきい値未満のため，CSI 測定結果をフィードバックせずに，STA 2 のみが帯域を占有してフィードバックすることで，フィードバック時間を短縮する⁽⁸⁾。

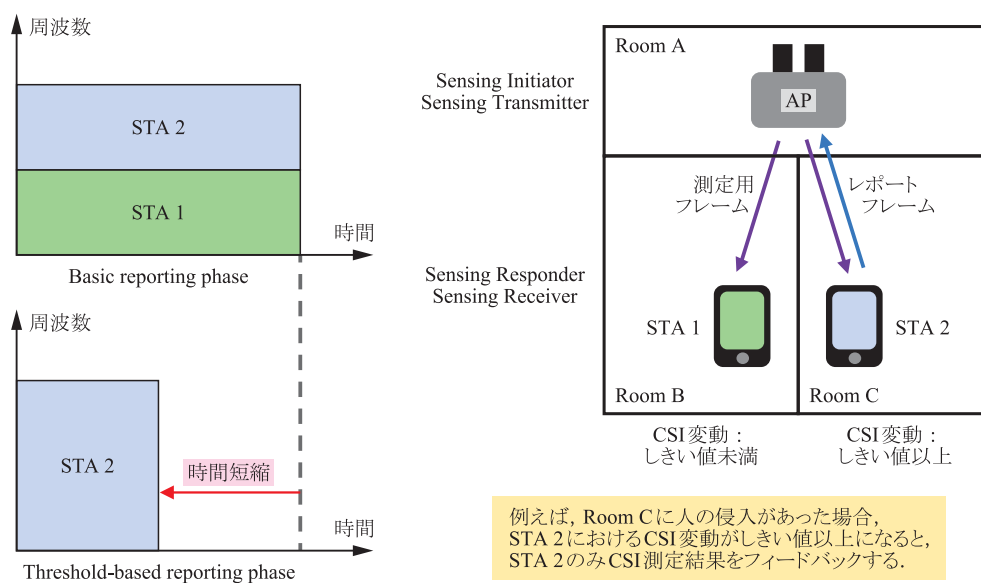


図 5 Threshold-based reporting phase

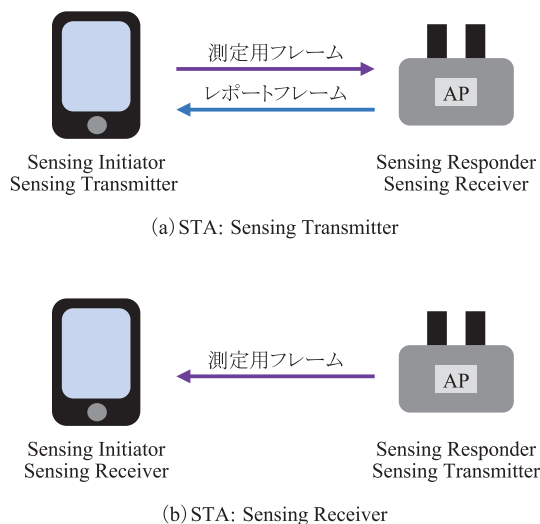


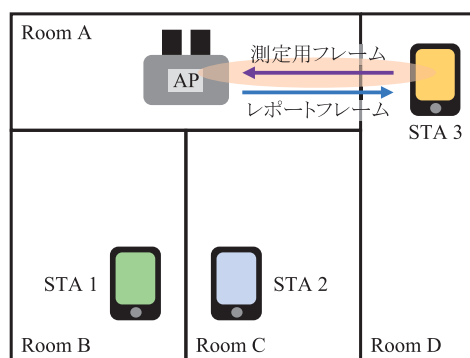
図 6 Non-TB sensing measurement instance

5.2 Non-TB sensing measurement instance

Non-TB sensing measurement instance は、STA が Sensing Initiator、AP が Sensing Responder となるシナリオに適用される。図 6(a)に示すように STA が Sensing Transmitter のときは、AP が Sensing Receiver となるため、AP から CSI 測定結果がフィードバックされる。一方、図 6(b)に示すように AP が Sensing Transmitter、STA が Sensing Receiver のときは、AP からの測定用フレームにより STA において CSI が測定される。

6. SBP (sensing by proxy) 手順

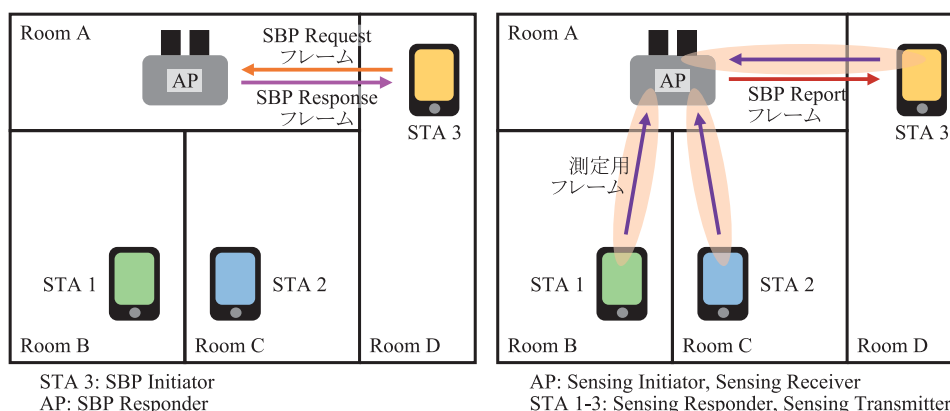
STA が Sensing Initiator のときは、AP が Sensing Responder になり、Non-TB sensing measurement instance により CSI を測定するため、図 7(a)に示すように狭いエリアのセンシングになる。広いエリアのセンシ



STA 3: Sensing Initiator, Sensing Transmitter
AP: Sensing Responder, Sensing Receiver

Non-TB sensing measurement instance による CSI 測定は、狭いエリアのセンシングである。

(a) WLAN センシング手順



STA 3: SBP Initiator
AP: SBP Responder

AP: Sensing Initiator, Sensing Receiver
STA 1-3: Sensing Responder, Sensing Transmitter

SBP Initiator (STA 3) は、SBP Responder (AP) に Sensing Initiator としての動作を要求する。TB sensing measurement instance による CSI 測定となり、広いエリアのセンシングが可能になる。SBP Responder は、SBP Initiator に測定結果をフィードバックする。

(b) SBP 手順

図 7 WLAN センシング手順と SBP 手順の違い

ングを可能にするために、SBP 手順を利用する⁽⁹⁾。

図 7(b)において、STA 3 が SPB Initiator, AP が SBP Responder となり、AP に対して Sensing Initiator としての動作を要求する。AP が Sensing Initiator となり、TB sensing measurement instance により CSI を測定することで、広いエリアのセンシングが可能になる。図 7(b)では、AP を Sensing Receiver, STA 1~3 を Sensing Transmitter としているが、AP と STA 1~3 の役割は逆でもよい。CSI 測定結果は、SBP Responder である AP から SPB Initiator である STA 3 にフィードバックされる。

7. む す び

WLAN センシングの標準化の必要性から、センシングの基礎原理、センシング情報として CSI を取得するための具体的な手順について解説した。IEEE802.11bf を搭載した製品が普及することで、カメラや赤外線センサに替わる新たなセンシング機器として、WLAN が活用されることが期待される。

文 献

- (1) WiFi-Sensing-Use-Cases, IEEE 802.11-20/1712r2.
- (2) Hex Home.
<https://myhex.jp/>
- (3) 村田製作所.
<https://solution.murata.com/ja-jp/technology/child-presence-detection>
- (4) 802.11 SENS SG Proposed PAR, IEEE 802.11-19/2103r11.
- (5) Imaging_Radar_data_report, IEEE 802.11-21/1801r2.
- (6) WLAN Sensing Functionality Indicator, IEEE 802.11-22/0036r3.
- (7) Specification Framework for TGBf, IEEE 802.11-21/0504r10.
- (8) Threshold based sensing measurement, IEEE 802.11-21/0351r5.
- (9) Enhancing Client-based Sensing : Sensing by Proxy, IEEE 802.11-21/1692r4.

(2022 年 6 月 29 日受付 2022 年 7 月 5 日最終受付)



おがわ まさかず
小川 将克 (正員：シニア会員)

平 10 上智大・理工・電気電子卒、平 15 同大学院博士課程了、博士(工学)、平 16 日本電信電話株式会社入社。現在、上智大・理工・情報理工・教授。主として、無線通信システム、ワイヤレスセンシング、スマート IoT システムに関する研究開発に従事。