

# 非同期分散システムによる Wi-Fi モニタリングデータ可聴化の手法と可能性

Sonification Methods and Potential of Asynchronous Distributed Systems  
for Wi-Fi Monitoring

早勢 欣和  
HAYASE Yoshikazu

修 (工) 富山高等専門学校 (〒 933-0293 富山県射水市海老江練合 1-2, E-mail: hayase@nc-toyama.ac.jp)

Wi-Fi Communication may become unstable under a multi-access point environment because Wi-Fi signals may interfere with each other. Time series data for each access point, such as radio strength, can be sonification using the web-based PSE system. Sonification information can be perceived even while multitasking, whereas visualized information requires focused attention to observe. Evaluate the effectiveness of data sonification using a web-based PSE system built to observe the state of Wi-Fi environments.

**Key Words :** Problem Solving Environment, Distributed System, Sonification, Multi-access point

## 1. はじめに

現象の振舞いなどを認識するために、観測で得られる数値データ群をもとに可視化し画像や動画とするこことは効果的だが、観測者は注視することが必要であり、他の作業を中断しなければならなくなる。これに対し、可聴化の場合は視野を妨げることがないので、他の作業を並行しながら観測できることが期待できる [1][2][3]。今回は、マルチアクセスポイント環境下における Wi-Fi 信号強度の変化を観測するために Web ベース PSE システムを構築した。現象の状態変化を「ながら観測」することについての有用性の検証を試みる。

## 2. Web ベース PSE システム

マルチアクセスポイント環境における可聴化による Wi-Fi 信号観測システムは、Web ベース PSE[4] として非同期分散システム環境で構築する。観測ユーザが利用するコンピュータには特別な環境を構築する必要はなく、普段使用している Web ブラウザの JavaScript を有効することで利用できる。

### (1) システム構成

以下の構成で構築した Web ベース PSE システムの概念図を図 1 に示す。

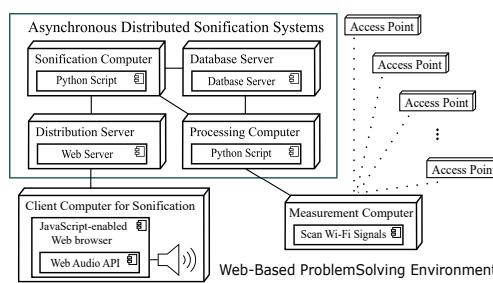


図-1 Web ベース PSE システム概念図

### • Wi-Fi 信号計測コンピュータ

- サーバ (非同期分散環境)
  - 計測データ処理コンピュータ
  - AP 情報管理データベースサーバ
  - 可聴化データ生成コンピュータ
  - 可聴化データ配信 Web サーバ
- 可聴化データ再生クライアント
  - Web ブラウザ (JavaScript 有効)

### (2) システムの処理の流れ

図 2 に、構築した Web ベース PSE システムのシーケンス図を示す。

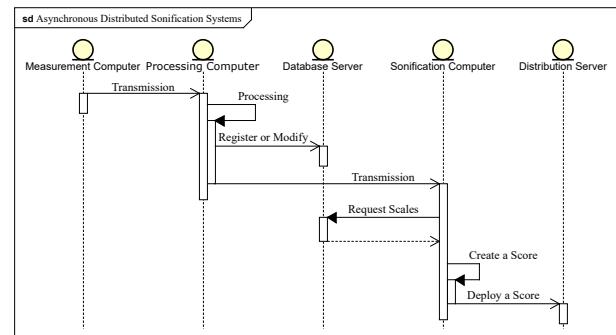


図-2 Web ベース PSE システムシーケンス図

図中には示していないが、観測ユーザが可聴化データ再生クライアントを利用する際、配信サーバに配信データを要求し、受信したデータを再生する処理が行われる。

## 3. Wi-Fi ネットワーク環境

今回検証対象としたマルチアクセスポイント環境は、複数の固定アクセスポイントに加え、スマートフォンによるテザリングやコンピュータによるモバイルホッ

トスポットなどが混在する。なお、アクセスポイントのssidは、物理的には別のアクセスポイントであっても同一の値が設定されているもののが多数ある環境である。さらに、いくつかはssidを隠しているステルス設定のものも存在している。図3に、実験に用いたネットワーク構成概念図を示す。

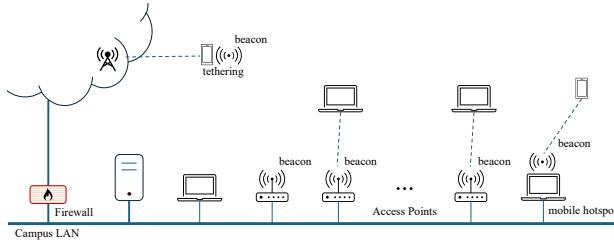


図-3 ネットワーク構成概念図

アクセスポイントは、設定された信号強度の範囲内にあるコンピュータなどの機器と無線接続を確立し無線通信を中継する。この範囲には、すでに接続して通信している機器だけでなく、接続を試みている機器も含まれる。Wi-Fi接続を試みている機器は、周囲の複数のアクセスポイントから送信される信号を受信し、最も適切なアクセスポイントを選択して接続を試みる。

#### 4. Wi-Fi信号計測

##### (1) ビーコン

Wi-Fi計測コンピュータは、アクセスポイントからのビーコンをパッシブスキャンして、Wi-Fiネットワーク環境に関するデータを収集する。多くのアクセスポイントは、ビーコンを設定された間隔で送信する。Wi-Fi計測コンピュータはスキャンして取得するアクセスポイント毎のbssid, ssid, frequency, signalなどの情報をサーバに送信する。ssidが隠されている場合でもbssidを取得できれば代用して送信することとする。なお、一旦収集されたアクセスポイントの情報は、アクセスポイントからのビーコンが途絶えても、しばらくの間キャッシュされた状態となるため、あわせて最後に受信したときからの経過時間も送信する。

##### (2) Wi-Fi信号強度

アクセスポイント毎にビーコン送信のタイミングは異なる。このため、一度のスキャンで受信できるビーコ

ンは全てのアクセスポイントのものでないので、一定間隔でスキャンを繰り返す。図4に、2.4GHz帯および5GHz帯のビーコンについてスキャンしたWi-Fi信号強度変化を表すグラフの例を示す。9:45過ぎにスマートフォンでテザリングを有効にしたことから、強い信号がこの時間に観測されている。テザリングは10秒程度で無効化したが、-40dBmのデータがしばらくの間確認できる。

#### (3) アクセスポイント情報管理

Wi-Fi計測コンピュータが取得したアクセスポイントの情報は、アクセスポイントごとのプロパティとしてデータベースに記録し管理する。各アクセスポイントのbssid, ssidの値は、設定を変更しない限り計測において一定である。アクセスポイントによっては、frequencyを自動変更する機能を有するものもあるが、頻繁に変わることの可能性は低い。しかし、signalは計測時刻毎に変化するので、最大値、最小値、平均値を記録する。

計測は長時間行うことになるので、検出頻度に関するデータとして、計測地点周辺のアクセスポイントの検出割合を、検出回数に応じて求め記録する。

#### 5. 可聴化

可聴化コンピュータは、Wi-Fi計測コンピュータから送付されてくるマルチアクセスポイントの信号情報データから、譜面を生成する。データに含まれるマルチアクセスポイントのそれぞれに割り当てるピッチや音符は、データとデータベースに記録されているプロパティ情報とを照合して決定する。

##### (1) bssid

アクセスポイントを一意的に識別できるプロパティである各bssidに対してピッチを割り当てる方法には、データベースの記録にあるアクセスポイント検出率の降順にidを割り振るなどして、例えば、式1で決定するなどする。

$$pitch_{id} = 440 \times 2^{\frac{id}{12}} \quad (1)$$

この式ではA4音を基準としているが、アクセスポイントの数が多くなると、高音域の音が増えてしまうことになるので、人間の可聴域である約20Hz程度から14,000Hzあるいは20,000Hz程度の範囲内となるように調整する。

##### (2) ssid

Wi-Fi利用時ににおいてアクセスポイントを識別するために使用するssidは、衝突を回避する設定は可能だが、Wi-Fi接続設定を変更しないで別フロアでも利用できるなどといった利便性を目的に、同じものに設定されていることがある。このため、ssidを可聴化のためのパラメータとする場合、どのアクセスポイントであることがわかるように工夫が必要である。ただしssidの値と全く脈絡なく可聴化すると、ssidが衝突していることを把握できなくなるため、それぞれに異なるオクターブのピッチを割り当てるなどする。

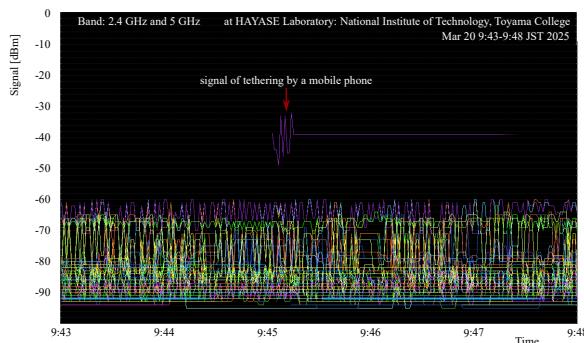


図-4 Wi-Fi信号強度変化の観測事例

### (3) frequency

アクセスポイントに設定する frequency は、他と干渉しない設定とすることや、周辺とは異なるように自動調整するものもあるが、不通エリアを解消するために台数を増やさざるをえない場合、衝突は免れない。このため、単に frequency の値のみからピッチを決定するとアクセスポイントを識別できなくなるため、データベースに記録されているアクセスポイントのプロパティ情報も用いて、オクターブを変更するなどする。

### (4) signal

アクセスポイントの設定で出力する Wi-Fi 信号強度は決定できるが、受信時の強度は変動する。音符を再生する際の音量に信号強度の値を反映させることで、強弱などを表現することができる。

### (5) データベース記録情報

変動する signal に関して、データベースには最大値、最小値が記録されている。また、計測地点周辺の bssid の検出割合情報もあるので、これらについてもパラメータとして譜面に反映させるなどする。

## 6. 可聴化データ配信・再生

### (1) 配信サーバ

Wi-Fi 計測コンピュータが取得したアクセスポイントの情報から可聴化された可聴化データは、JSON データファイルとして Web サーバのデータ領域に配置する。可聴化データ再生クライアントからの配信要求が生じた際に、JSON データファイルを読み取り配信する。JSON データファイルの記録時にはファイルをロックすることから、書き込みと読み込みのタイミングが重なると配信できなくなる。このため、最後に配信した際のデータを配信するための JSON データファイルも Web サーバのデータ領域に配置する。

### (2) 再生クライアント

配信サーバに要求して受信した譜面の JSON データは、観測ユーザが普段利用している Web ブラウザで再生する。Web ブラウザは設定で JavaScript が有効となつていればよく、特別なプラグインなどは必要ない。可聴化データの再生終了後に、改めて配信サーバに譜面データの配信を要求することを繰り返すことで、Wi-Fi 信号のおおよその強度変化を聞くことができる。

## 7. 実験結果

Wi-Fi 計測コンピュータで観測を開始し、記録されているアクセスポイントの音階を frequency 値などに基づき決定された後に、スマートフォンでテザリングを開始して不明アクセスポイントとして検出させるなどの実験を行った。実験環境において同一の frequency 値が設定されているアクセスポイントが多いが、信号強度の弱いものは除外するために、signal 値が -80dBm より強い値のデータのみを用いた。

### (1) 生成された譜面

作成された譜面の一つを、図 5 に示す。ここでは、

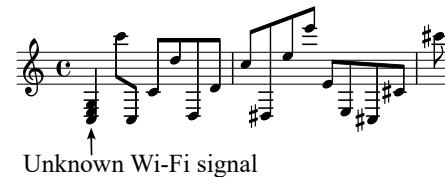


図-5 生成譜面例

データベースに記録されているアクセスポイントに対して割り当てる音階は、五線譜に記載しやすくするために、frequency の値ごとに 12 音技法の考え方を参考に決定した。同一の frequency 値をもつアクセスポイントが複数あることから、出現率の高いものを基準に、オクターブをあげてそれぞれに割り当てる。未知のアクセスポイントからのビーコンを受信した場合、和音を割り当てるにし、複数検出した場合は、和音のオクターブをあげている。音符の長さは、検出済のアクセスポイントに対しては八文音符を、未知のアクセスポイントに対しては四分音符を割り当てる。譜面の音符の順番は、signal 値の大きいものから降順に決めて配置している。なお、今回の実験では、未知のアクセスポイントを検出しやすくするために signal 値を 0dBm に変更して、最初に配置されるようにしている。

### (2) 再生波形

再生クライアントコンピュータで図 5 の譜面データを再生および録音し、波形データに変換した結果を図 6 に示す。再生時間は 5 秒間で、1 秒ごとに切り出した結

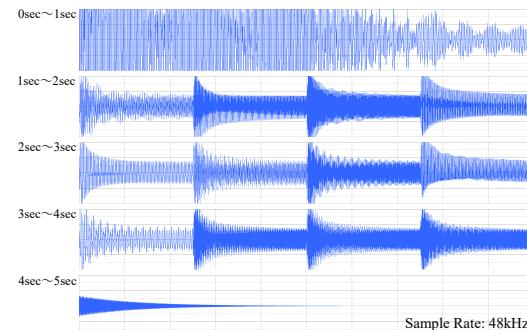


図-6 再生音の波形 (1 秒毎に分割)

果を並べてある。割り当てた音符の 4 分、8 分のそれぞれの時間が適正であることが確認できる。なお、譜面には表現できていないが、音階を再生する際、signal 値の大きさをボリューム値として例えば、式 2 で決定している。式中の  $k$  は音量調整のための係数である。

$$volume_{ap} = (100 - ap_{signal}) \times k \quad (2)$$

図で示した結果では、 $k = 0.05$  としている。この式から未知のアクセスポイントの場合、signal 値を 0dbm に変更していることから、再生される音の中で最大となる。

## 8. おわりに

今回の試みでは、数値データ群を可聴化することで「ながら観測」を可能にするシステムを、ネットワーク上に分散配置した複数のコンピュータによる Web ベースの PSE として試作した。具体的には、マルチアクセスポイント環境における Wi-Fi 信号のサンプリングデータを対象に可聴化を試み、frequency や signal などの数値データを基に譜面を生成した。さらに、観測クライアントコンピュータの Web ブラウザでの再生を可能にする仕組みを実装し、譜面に従った音を生成することを確認した。

実験を行った富山高等専門学校射水キャンパスにおいて、2.5GHz 帯および 5GHz 帯で 130 以上の bssid を検出し、その受信数や信号強度の変動を確認した。観測の経過とともに受信ビーコン数は増減し、各 bssid の信号強度も一定ではなく、通信に通さないレベルのものも含まれていた。また、スマートフォンのテザリングやモバイルホットスポットによる影響も確認された。Wi-Fi 信号の受信においては、計測地点や時間帯によっても変化することも確認している。

ここで紹介した可聴化手法では、信号強度の低い bssid にはピッチを割り当てず、一度に再生される音の数を抑える工夫を施した。また、同一の frequency に対しては特定のピッチを基準とし、オクターブを変えて音を配置することで、Wi-Fi のチャネルが衝突していることを音響的に識別しやすくするための手法を試みた。またスマートフォンのテザリングなどは学内 LAN の構成にない未知のアクセスポイントとなるが、これを和音とするなどすることで、既知のアクセスポイントと音響的に区別しやすくする試みを行った。bssid ごとのピッ

チ割り当てについては、一定時間の計測データをもとに検出率を考慮した手法を試行したが、今後さらなる検討が必要である。また、図 5 の譜面のように最後の小節における音符数の不具合が起きているが、可聴化対象とする bssid の個数に応じて、休符などを付加するなど工夫して解消する予定である。

今後の展望として「ながら観測」を行う利用者が特定のアクセスポイントに注目する可能性を考慮し、個別の bssid に対するピッチの割り当てに関するカスタマイズ機能の導入や、より直感的な音響表現の開発を進める予定である。

## 参考文献

- [1] Kramer, Gregory; Walker, Bruce; Bonebright, Terri; Cook, Perry; Flowers, John H.; Miner, Nadine; and Neuhoff, John, Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda, *Faculty Publications, Department of Psychology*, 444, 2010
- [2] 早勢 欣和, マルチアクセスポイント環境における Wi-Fi 信号データの可聴化の試み, 計算工学講演会論文集, Vol.29, C-04-04, 2024
- [3] 早勢 欣和, 分散システム振舞い検証のための可聴化の試行, 計算工学講演会論文集, Vol.28, D-04-05, 2023
- [4] Yoshikazu Hayase, Shigeo Kawata, A Middleware Wapse for a Web-Based Pse Development Support by Module Cooperation, *Proceedings of International Workshop on Data-Intensive Scientific Discovery and Applications*, 2013, pp.25–30