

AIを活用した無線式列車制御システムでの電波監視

中畝佑輔*
Yusuke Nakaune

Radio Wave Monitor in the Wireless Train Control System Utilizing AI

要旨

近年、鉄道事業者は、労働力減少の対策や鉄道運営の変革推進として列車の自動運転の高性能化を検討しており、無線で列車を制御する無線式列車制御システムが実現方式の一つとして期待されている。

このシステムは、無線を使用して列車を制御するという特性から、無線区間の電波環境の健全性の維持が重要なファクタになり、無線電波の安定した高い受信率を保証する必要がある。このため、無線電波が受信不可になる前に、電波環境異常や装置異常による受信率低下の予兆を捉えて、対策を講じることが重要になる。そのためには、無線電波の常時監視が必要である。

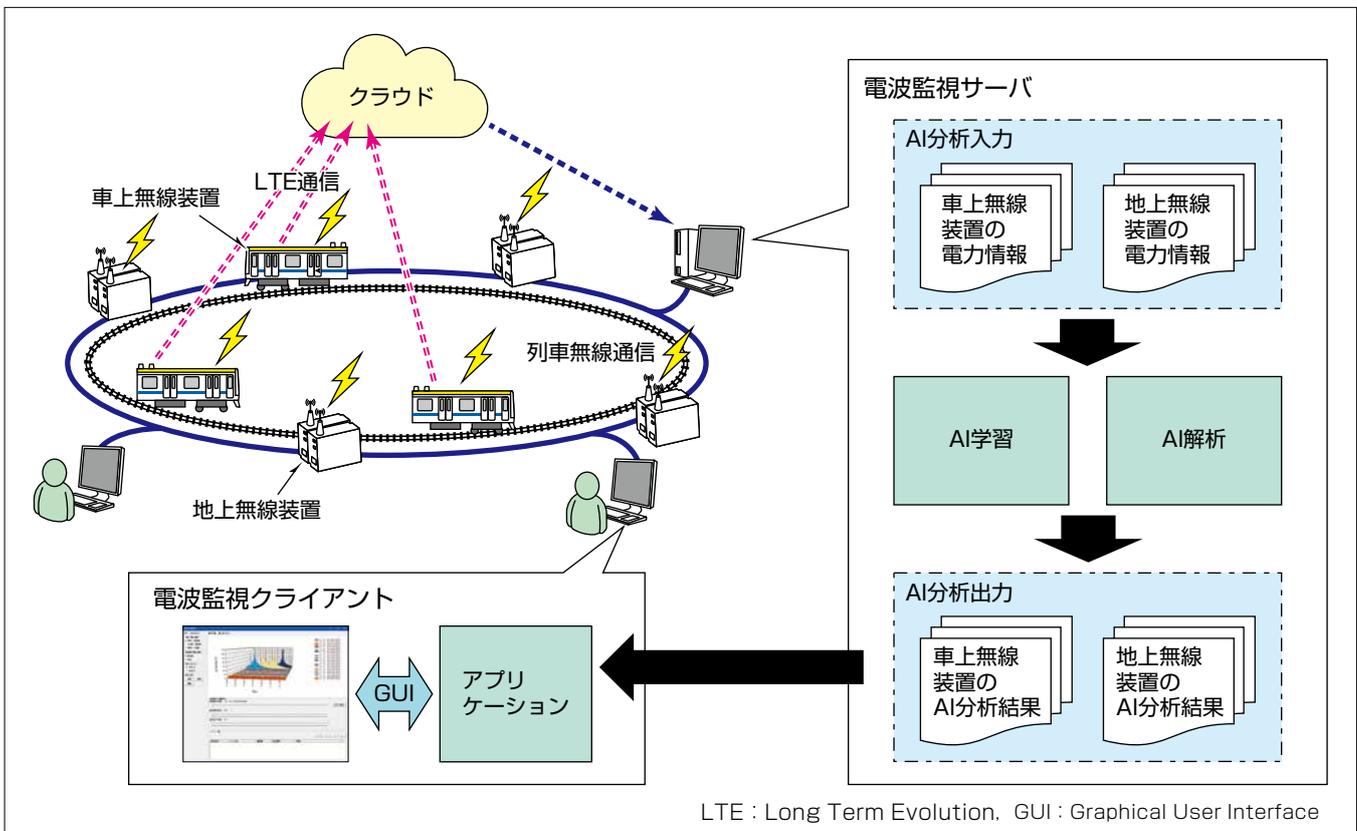
そこで、三菱電機では、無線電波の電力を常時測定し、

AIを活用した“学習”と“解析”によって、受信率低下の予兆を検知する電波監視機能を検討している。

電波監視機能は、地上に設置する地上無線装置と列車に搭載する車上無線装置で一定周期で測定した無線電波の電力情報を蓄積し、蓄積した電力情報をAI分析(“学習”と“解析”)する電波監視サーバと、AI分析結果を画面表示する電波監視クライアントで構成している。

無線電波の電力情報の可視化とAI分析によって検知した予兆を画面表示することで、無線電波が受信不可になる前に、受信率低下を捉えることが可能になる。

今後は、AI分析を更に発展させ、受信率低下の予兆検知の精度向上、装置故障の予測への拡張を検討する。



無線式列車制御システムと電波監視機能の構成

無線式列車制御システムの無線装置は、地上に設置する地上無線装置と列車に搭載する車上無線装置で構成しており、各装置で測定した無線電波の電力情報は有線ネットワーク又はLTE通信によるクラウド経由で電波監視サーバに蓄積する。電波監視機能は、蓄積した電力情報をAI分析(“学習”と“解析”)する電波監視サーバと、AI分析結果を画面表示する電波監視クライアントで構成している。

1. ま え が き

近年、鉄道事業者は、労働力減少の対策や鉄道運営の変革推進として列車の自動運転の高性能化を検討しており、無線で列車を制御する無線式列車制御システムが実現方式の一つとして期待されている。

このシステムは、無線を使用して列車を制御するという特性から、無線区間の電波環境の健全性の維持が重要なファクタになり、無線電波の安定した高い受信率を保証する必要がある。このことから、このシステムで、無線区間の電波を監視し、電波環境異常や装置異常による受信率低下の予兆を捉えて、無線電波が受信不可になる前に対策を講じることが重要になる。

本稿では、このシステムでの各無線装置で測定した無線電波の電力情報を、AIを活用した“学習”と“解析”によって、受信率低下の予兆を検知する電波監視機能を当社で検討した結果について述べる。

2. 電波監視機能

2.1 電波監視の必要性

無線式列車制御システムで、無線電波の受信率低下が発生し得るケースを図1に示す。これらのケースの発生の子兆を捉えて、無線電波が受信不可になる前に対策を講じることが重要であり、そのためには、無線区間の電波の常時監視が必要になる。

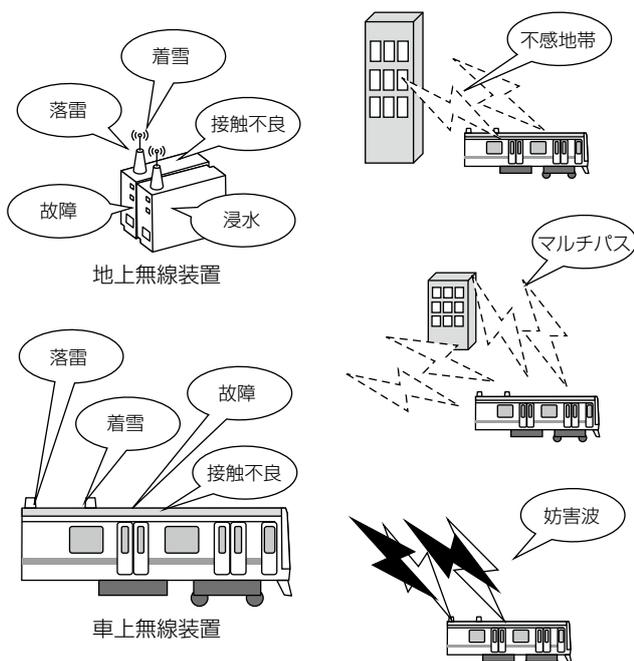


図1. 受信率低下が発生し得るケース

2.2 無線式列車制御システムと電波監視機能の構成

無線式列車制御システムと電波監視機能の構成を図2に示す。

このシステムの無線装置は、地上に設置する地上無線装置と列車に搭載する車上無線装置から構成され、地上無線装置では、一定周期で電力を測定して時間情報を付加した電力情報を有線ネットワーク経由で電波監視サーバに送信する。車上無線装置では、一定周期で電力を測定し、時間情報と位置情報を付加した電力情報をLTE通信によってクラウド経由で電波監視サーバに送信する。

電波監視機能は、地上無線装置と車上無線装置で測定して送信された電力情報を蓄積し、蓄積された電力情報をAI分析(“学習”と“解析”)する電波監視サーバと、AI分析結果を画面表示する電波監視クライアントから構成される。

2.3 電波監視の仕組み

地上無線装置と車上無線装置では、常時、一定周期で無線電波の電力を測定し、時間情報と位置情報を付加した電力情報を電波監視サーバに送信する。電波監視サーバは受信した電力情報を蓄積する。この電力情報を入力データとした電波監視の処理の流れを図3に示す。

電波監視機能を利用するに当たって、まずは、AI分析の“学習”によって、先に述べた入力データ(正常データ)を読み込ませて学習させ、しきい値データを算出しておく。

学習させたしきい値データを用いて、入力データに対してAI分析の“解析”を行い、出力データを算出する。

電波監視クライアントでは、この出力データの内容を画面表示する。

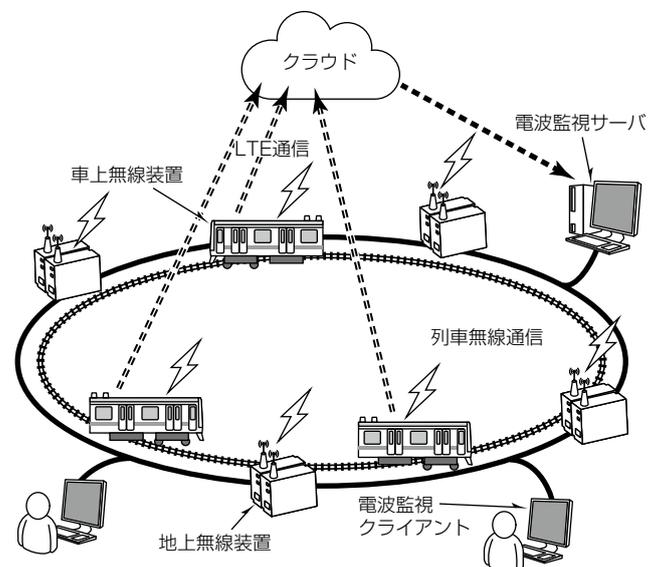


図2. 無線式列車制御システムと電波監視機能の構成図

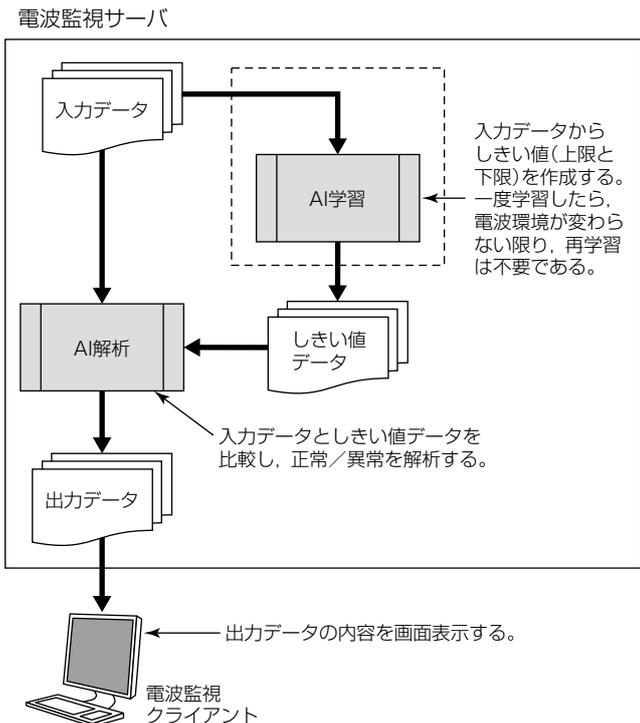


図3. 電波監視の処理の流れ

3. AI分析

AI分析の“学習”では、地上無線装置と車上無線装置で測定して時間情報と位置情報を付加した電力情報の入力データ(正常データ)を基に、Dメートルごとに区切ったx地点の無線区間の電力の平均値 A_x と標準偏差 σ_x を算出し、次の式に従って上限と下限のしきい値を算出してしきい値データとして保存する。このしきい値データは、一度学習したら、新規遮蔽物ができたことなどで電波環境が変わらない限り、再学習は不要である。

$$x \text{ 地点の上限しきい値} : T_{up}(x) = A_x + k\sigma_x$$

$$x \text{ 地点の下限しきい値} : T_{down}(x) = A_x - k\sigma_x$$

k: 1以上のパラメータ

AI分析の“解析”では、各装置で測定し時間情報と位置情報を付加した電力情報の入力データが、AI分析の“学習”で算出した無線区間の上限しきい値と下限しきい値の範囲内に入っているかどうかをDメートルごとに区切った無線区間ごとに比較判定する。判定方法と異常原因の可能性を表1に示す。

表1. AI分析の“解析”の判定方法と異常原因の可能性

判定条件	判定結果	異常原因の可能性
上限しきい値以上	異常	妨害波の受信の可能性あり
上限しきい値と下限しきい値の間	正常	-
下限しきい値以下	異常	不感地帯、装置故障、着雪などの可能性あり

4. 電波監視

AI分析の“解析”の結果の出力データを電波監視クライアントで読み込むことで、無線電波の電力情報の可視化と、AI分析によって検知した予兆を画面表示することで、無線電波が受信不可になる前に受信率低下を捉えることが可能になる。

この章で述べる例では、電波監視で表示するデータとして表2に示した諸元のデータを生成し使用している。

まず、電波監視クライアントで画面表示した電波監視の一例を図4に示す。上段には、時刻、周波数、電力値、又は、位置、周波数、電力値を軸とした三次元グラフを表示する。画面を三次元回転させることも可能である。中段は、三次元グラフの拡大、縮小を行うスケーラーである。下段は、AI分析の“解析”の判定結果で異常が発生した場合にそのイベントを表示する画面である。

次に、図4の三次元グラフからある特定の周波数だけを選択した場合の時間と電力値、又は、位置と電力値を軸とした二次元グラフの一例を図5に示す。AI分析の“解析”の結果、上限しきい値と下限しきい値の範囲内に電力値が入っており、正常であることを示している。

また、AI分析の“解析”の結果、上限しきい値以上の電力異常を検出したケースを図6に示す。このケースの場合、画面を見ることで、何らかの妨害波を受信している可能性がある判断することが可能になる。

表2. 表示データ諸元

項目	仕様
電波伝搬モデル	自由空間電波損失モデル ⁽¹⁾⁽²⁾
ノイズモデル	加算性白色ガウス雑音
地上無線装置数	5台(2km等間隔で設置)
列車移動速度	時速45km(停車なしで一定速度で走行)

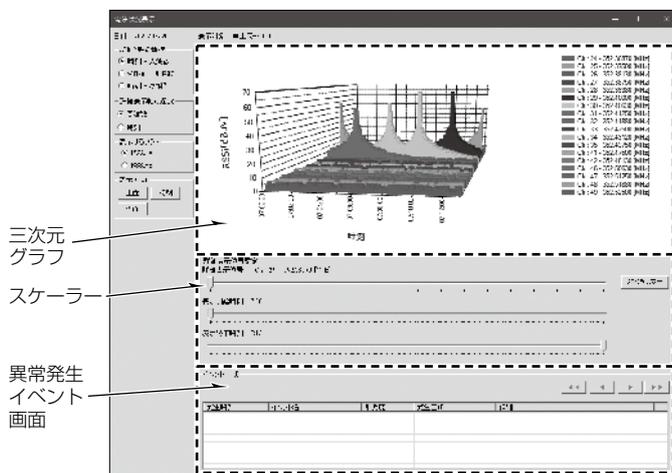


図4. 画面表示した電波監視の一例

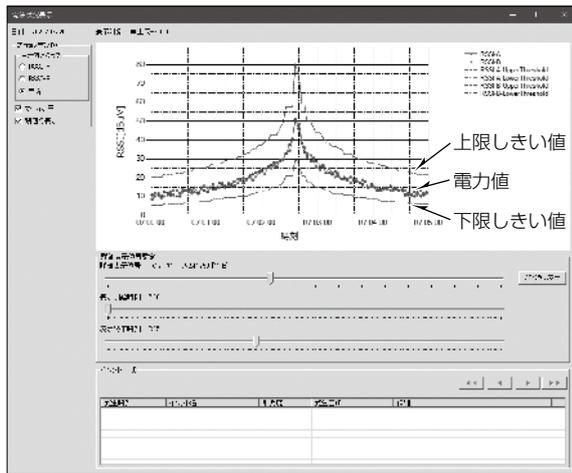


図5. AI分析の“解析”結果(しきい値範囲内)

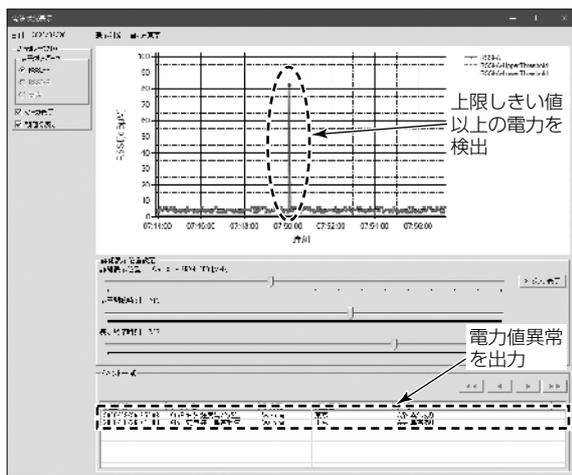


図6. AI分析の“解析”結果(上限しきい値以上)

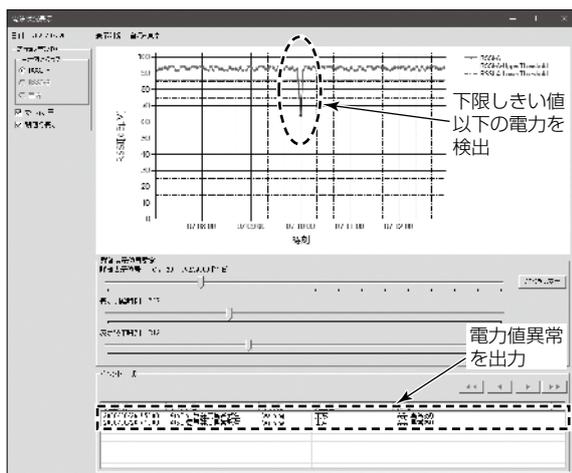


図7. AI分析の“解析”結果(下限しきい値以下)

最後に、AI分析の“解析”の結果、下限しきい値以下の電力異常を検出したケースを図7に示す。このケースの場合、画面を見ることで、何らかの遮蔽があった可能性があるかと判断することが可能になる。

5. 今後の展望

現状は無線電波の電力情報だけをAI分析に使用して受信率低下の予兆を検出しているが、今後は、AI分析を更に発展させ、無線電波の電力情報に加えて、無線電波を復調して誤り訂正した結果の誤り訂正ビット数、無線電波の周波数偏差、装置内の温度情報、無線電波の送信電力などもAI分析対象データに含めることで、受信率低下の予兆検知の精度向上、装置故障の予測へ拡張検討する。

また、天候情報(位置情報に応じた積雪や雷雨など)もAI分析対象データに含めることで、アンテナの着雪による受信率低下の予兆、落雷による装置故障の予測などの検出へも拡張検討する。

6. むすび

無線式列車制御システムでの地上無線装置と車上無線装置で一定周期で測定した無線電波の電力情報を、AIを活用した“学習”と“解析”によって、電波環境異常や装置異常による受信率低下の予兆を検知する電波監視機能について述べた。無線電波の電力情報の可視化と、AI分析によって検知した予兆を画面表示することで、無線電波が受信不可になる前に、受信率低下を捉えることが可能になる。

今後は、AI機能を更に発展させ、受信率低下の予兆検知の精度向上、装置故障の予測への拡張を検討する。

参考文献

- (1) 笹岡秀一：ウェーブサミット講座 移動通信，オーム社 (1998)
- (2) 一般社団法人 電気情報通信学会 アンテナ・伝播研究専門委員会 (A・P)：自由空間伝搬損失
https://www.ieice.org/cs/ap/misc/denpan-db/prop_model_db/model_list/free_space_path_loss/