

無線式ATCにおける無線通信安定化のための符号理論での取り組み

1. はじめに

無線式ATCシステム（中期経営計画の中では「車上主体列車制御システム（無線式）」と記載）は、中期経営計画2017の中で、「実用化にめどをつける」取り組みとして、技術開発部において精力的に取り組んでいます。技術分野は、車両、電気、運転などいろいろな分野の力を合わせ、実用化を目指していますが、今回はその中で、より安定した無線通信を目指した取り組みを紹介します。

(1)無線式ATCシステム

無線式ATCシステムは、列車の位置や進路の開通状態を地上装置が把握し、各列車に進んでよい範囲を無線で伝送します。列車はその範囲を超えないように制御を行うことで安全を確保します（図1）。このため、無線伝送が途切れれば、進んでよい範囲が伝送できず、列車の運行ができません。無線の通信を確保することが、安定輸送の大きな鍵となります。

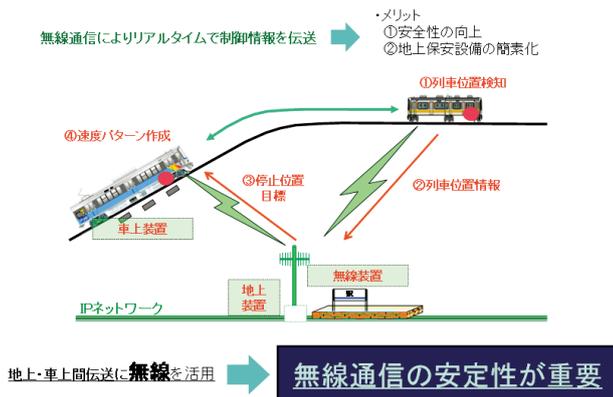


図1：無線式ATCと無線通信の重要性

(2)無線通信の課題と対策

先に述べたように、このようなシステムにおいて、無線通信の安定性（継続して誤りのない通信）は重要です。

しかしながら、安定した通信を確保するという点において、無線通信は電波伝搬上で、様々な影響を受けやすく、一般的に伝送路上で誤りが発生してしまいます（図2）。



図2：無線通信における電波伝搬上での問題

この状況を改善するために、列車が走行する全ての場所で十分な強さで品質の良い（波形が歪んでいない）電波を受信できる環境を構築することが大切です。また、性能の良い無線装置を選定するなどの対策もあります。しかし、一般的に誤りを完全に除去することは難しく、概ね10000ビットに1ビットはデータの誤りが生じてしまいます。無線式ATCは、300ビットほどの通信が必要ですので、この誤りの確率は安定輸送という観点では無視できない値です。

そこで、誤り訂正符号というチェック用の符号（以下チェック符号）を付加して誤りの訂正を可能にしています。

皆さんは、CDが少し汚れていても、再生が可能なお知らせはご存知だと思います。汚れている部分はCDの読み取りができないので、CDの読み取りに誤りが発生しますが、強力な誤り訂正符号の働きで、それほど違和感なく、CDを聞くことができます。

無線式ATCにおいても、このCDと同じ形式の誤り訂正符号を採用し、電波の状態が少々悪くなくても、運行を継続できるような仕組みになっているのです。

情報が一部欠落しても、それを検出・修正するためには、追加の情報が必要です。

みなさんは、マイナンバーをお持ちになっておられると思います。マイナンバーは、12桁からなっていますが、個人の番号部分は11桁で表されています。では、残る一桁は何かというと、もし間違えて記入した場合、それがわかるようにするための桁になっています。

例えば、12345678901という番号を割り当てられた人がいるとします。この数字にある計算を行い、チェック用の桁をつけます。この場合は総務省で決められている計算式によると、8となるので、マイナンバーは123456789018となります。

もし、このうちの一つの桁の数を間違えて記入しても、その場合は、チェック用の桁の数字と一致しませんので、どこか間違っていることが分かるわけです。

今回の無線の伝送においても、間違えて受信されれば、確実に検知し、また修正を行うようなチェック符号をどのように決めるかにより、伝送の正確性が変わってきます。チェック符号が長いと、誤りの検出や訂正の能力が高まりますが、この能力が過大である場合は、符号が長い分だけ伝送の情報量が増大し、無駄が増えてきます。

このチェック符号をいかに最適化するかが、今回の着目点です。



2. 安定化の取り組み

情報の伝送を確実にし、かつ無駄がないチェック符号を決めるためには、以下のような方法で検討を行いました。

- まず、列車を走行させて、すべてのビットデータを受信する。
- 送信したデータと受信したデータを比較する。
- 色々な長さのチェック符号を適用した場合のシミュレーションを並列コンピュータシステムで行い、最適なチェック符号の長さを決める。

(1) 検討のためのデータ取得と比較

上記の目的を達成するために、より実際の環境に近づけるため、営業線区(山陰線: 亀岡~園部間)で、測定することとしました。

データの取得は、無線式ATCシステムに使われている基地局と技術開発部の試験列車であるU@Tech(図3)無線式ATCシステムの車上局で、2013年8月24翌日と25翌日の2日に亘ってデータを受信しました。



図3: 試験列車 (U@Tech)

データは、距離程・速度・日付・時刻・受信強度・受信データを取得し、送信データと比較し、正誤を洗い出しました。

取得データ(例)																		
ビット位置	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	...	527
誤りの有無	○	○	○	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

図4: 正誤比較

(2) 検証の考え方

チェック符号の適正さとして、得られた伝送エラーと、チェック符号を各種適用して、能力の過不足について考察しました。

(3) 検証結果

符号理論の有識者にデータを提供し、共同研究という形で、検証に取り組みました。以下結果を示します。

チェック符号の適正さについては、誤り訂正符号長を変化さ

せて検証したところ、現在のチェック符号の割合約24.2%を約21.2%としても、列車の運行に影響がないことがわかりました。

これをさらに確認するために、走行実験データから考えられるノイズによる符号の誤りのモデルを構築し、約10年間の走行に相当する走行回数のシミュレーションを行いました。その結果、約10年の間、列車が通常走行できる十分な能力があることを確認しました。

3. まとめと今後の展開について

当社の一部の区間での無線通信のデータではありますが、それに対して現状のチェック符号は適正であり、能力に問題のないことがわかりました。

本稿では、チェック符号の誤り検出能力の適正さについて述べましたが、それ以外にも高速な誤りの訂正、誤り訂正の能力の向上など各種研究を進めています。

鉄道と符号理論は、今まであまり馴染みがなかったのですが、列車走行の安定性に寄与するだけでなく、ネットワークセキュリティの面でも非常に大切です。

私たち技術開発部列車制御システムPTは、有識者のアドバイスや、数学を専門としている社員などの力を合わせて、新しい分野を活用した鉄道の安全・安定輸送に取り組みます。

最後になりますが、本研究の共同研究者である関西大学総合情報学部総合情報学科 桑門秀典 教授に厚く感謝の意を表します。