

無線センサーネットワーク技術を利用した 暴走車両侵入通知システム

橋爪 洋

高速道路上では、維持・管理等を目的とした様々な工事作業が行なわれている。工事作業は車線規制区域内で実施されるが、暴走車両が規制内に誤って侵入するなど、作業には他責による事故の危険が伴う。危険を避けるため、監視員による目視確認および警笛での注意喚起が基本となっているが、非常時には規制内の全作業員へ瞬時に危険通知が行き渡らない恐れがある。そこで、更なる作業員の安全確保を実現するために、暴走車両が車線規制内に誤って侵入した場合にこれを自動的に検知し、迅速かつ確実に作業員へ危険を通知するシステムが求められている。

OKIでは、当社が開発した低消費電力の無線マルチホップネットワーク技術（以下、本技術）を応用した暴走車両侵入通知システム（以下、本システム）を東日本高速道路株式会社と共同で研究開発し、その有効性と運用のあり方を検証するため実証実験に取り組んでいる。

本稿では低消費電力の無線マルチホップネットワーク技術、及び、本技術を利用して開発した暴走車両侵入通知システムの概要・特長及び実証実験について紹介する。

活用技術

今回、暴走車両侵入通知システムに利用した低消費電力の無線マルチホップネットワーク技術について、その特長を以下に示す。

920MHz帯無線の採用

本システムでは、無線周波数帯として920MHz帯無線を採用している。920MHz帯は、電子タグシステムやアクティブ系小電力無線に割り当てられた周波数帯で、電波の到達性が良く無線マルチホップ通信に必要なスループットを確保できるバランスの良い周波数であるため、M2M (Machine to Machine) やIoT (Internet of Things) の分野のセンサーネットワークやスマートメータリング、社会インフラのモニタリングシステム

などのネットワークの構築に適している。

制度上は、2008年に950MHz帯として最初に制定され利用されてきたが、700～900MHz帯の無線周波数再編に伴い920MHz帯へ移行され、これと同時に、帯域幅の拡張、免許不要での送信出力制限の緩和などが行われ、2012年7月25日から利用可能となっている。

920MHz帯は、無線LAN等で広く使われている2.4GHz帯と比較すると電波到達性が高い。また遠くまで届くだけでなく、障害物があっても回り込んで届くため、障害物のある環境や屋外での利用に適している。道路上での利用を想定した場合、カーブなどで見通しがない環境下でも、より確実に通信することができる。

これまでセンサーネットワークに主に利用されてきた2.4GHz帯、429MHz帯と比較した920MHz帯の特徴は次の通りである。図1は、各無線周波数の特徴を比較したイメージ図である。2.4GHz帯無線は、電波の直進性が高いため障害物を越えた通信には適しておらず、同じ周波数帯を使う他の方式と共存するため電波干渉が起りやすいことから、広い範囲で確実な通信を必要とするセンサーネットワークの分野では用途が限られる。

429MHz帯無線は、電波が回り込んで届く特性から電波の到達性は高いが、通信の伝送速度が低い。このため、少量のデータを1対1で送受信する用途には適しているが、通信データ量が大きく発生する1対Nの通信やルーティング制御のための通信トラフィックを伴うマルチホップ通信方式への適用は困難とされている。

これらに対して920MHz帯は、電波の到達性が高く、通信の伝送速度にもマルチホップのルーティング制御が可能な程度の余裕があることから、両者の欠点を補う使いやすい周波数帯と考えられている。また、920MHz帯は大量に配備された無線センサーが譲り合って動作することを想定した規定となっており、個々の無線装置は少量のデータを短時間で送受信し、終了後は電波を開放する。このため、隣接するセンサーネットワークが数多く配備された場合にも、電波を効率よく利用して互いに影響を及ぼすことなく動作できる。

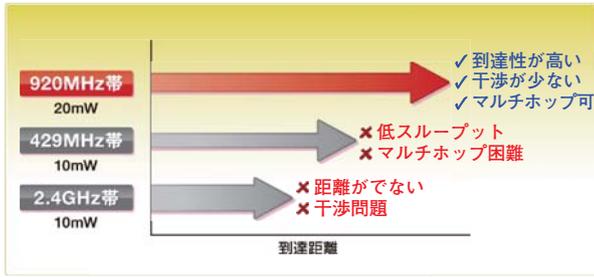


図1 各周波数帯の特徴

無線マルチホップネットワーク技術

無線マルチホップネットワークとは、複数の無線機器間を電波でバケツリレー式に多段中継して、データを伝送する方式（以降、無線マルチホップ方式）である。この方式では、無線基地局から直接電波が届かないエリアでも、電波の届く範囲に他の無線機があれば、これを中継して無線基地局と通信することができる。また、個々の無線機は通信経路を自動的に選択するため、人手による複雑なネットワーク設計が不要である。これにより、迅速に信頼性の高い無線ネットワークを柔軟に構築することができる。

無線マルチホップ方式の特徴を以下に示す。

1) 電波到達距離の長延化

無線基地局から電波の届く範囲に子機を設置して1:1または1:Nの通信を行なう無線システムでは、ネットワークの接続範囲を拡大する際は無線基地局を増設する。これに対し、無線マルチホップ方式は無線子機間を電波で多段中継することができるため、基地局から直接電波が届かない距離の離れた位置であっても、電波の届く範囲に別の無線子機があれば、これを中継して無線基地局と通信することができる。

2) データ通信の高い信頼性

図2に示すように、無線マルチホップ方式では、無線機器間の複数の通信経路候補の中から無線状態の良い経路を自動的に選択して通信することができる。電波の状態は、無線通信区間内での設備のレイアウト変更、人の移動、車両の通過などといった空間環境の変化に常に影響を受け、到達性が変化する。この場合にも、無線機がある経路の無線状態の悪化を検出すると、電波の届く範囲の別の無線機との電波状態が良好であれば自動的にそちらの代替経路へ切り替えて通信を継続し、ネットワーク全体として高い信頼性を確保することができる。これに加え、一時的なパケット紛失をリカバリするため

のリンク毎の再送信機能などを具備することによって、電波環境変化や障害に強く、データが確実に届く、より信頼性の高い無線ネットワークを構築できる。

3) 設置容易性

前述したように無線マルチホップ方式では、品質の良い通信経路を各無線機が自動的に選択するため、通信経路をあらかじめ人手で無線機に設定しておく必要がない。利用する無線チャネルやネットワークの名称等の基本的な項目が設定してあれば、装置を起動するだけで自動的にネットワークに参加し、通信経路を決定して通信を開始することができる。

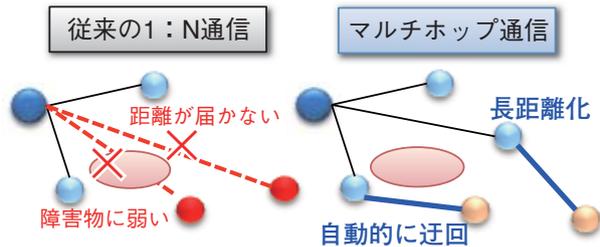


図2 無線マルチホップ方式の特徴

低消費電力の無線マルチホップネットワーク技術

本システムで採用している無線マルチホップ方式は、省電力通信技術により、小型電池による駆動を可能にしている。図3に低消費電力の無線マルチホップ方式の概要を示す。

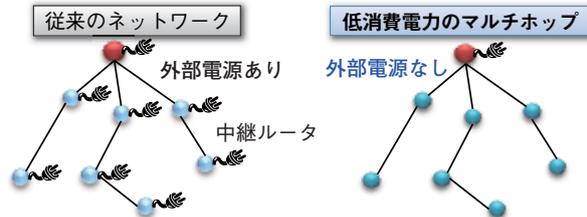


図3 低消費電力の無線マルチホップ方式の概要

従来の無線マルチホップネットワークは、他の無線機から転送されるデータの中継するために電波を常に受信可能な状態とするため、電力を多く消費する。省電力通信技術では、無線機が電波の受信機能をオフにするスリープ状態と、電波を受信可能なアクティブ状態を間欠的に繰り返すことにより消費電力を低減する。各無線機間は時刻同期することにより、データを送信する無線機は、受信する無線機がアクティブ状態になるタイミングに合わせて通信できる。このように省電力通信

技術によって小型電池で無線マルチホップ方式を駆動可能とし、本システムにおける無線センサーユニットを完全にワイヤレス化し、設置容易性を確保する。

暴走車両侵入通知システム

暴走車両侵入通知システムは、ラバーコーンに設置した無線センサーユニットで暴走車両侵入の異常（衝撃）を検知し、無線ネットワークで迅速に警報通知端末へ通知することにより、工事作業者の安全確保を支援することを目的としたシステムである。本システムの概要を図4に示す。

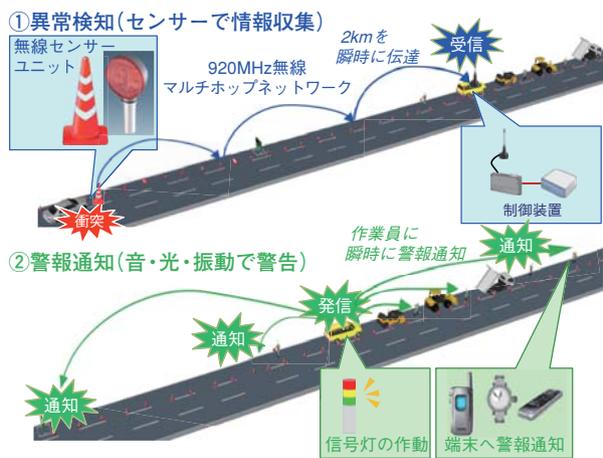


図4 暴走車両侵入通知システムの概要

本システムは、主に無線センサーユニット、制御装置、警報通知端末で構成される。無線センサーユニットは、衝撃を検知するセンサー機能、衝撃情報を伝送する無線通信機能、及び電池を一体化した装置で、車線規制時に道路上に並べて使用されるラバーコーンの頭頂部に取り付けられるLED誘導灯の構造を元にしたものである。

無線センサーユニットの外観を写真1に示す。



写真1 ラバーコーンに設置した無線センサーユニット

無線センサーユニットは、センサー機能として加速度センサーを搭載しており、暴走車両が侵入してラバーコーンに衝突した際の衝撃やラバーコーンの転倒状態を検知する。検知された衝撃情報は、即時、無線通信機能で送信される。衝撃を受けて転倒した無線センサーユニットは正常姿勢に復帰されるまでの間、一定間隔で衝撃情報の送信を継続する。これにより、暴走車両侵入だけでなく、ラバーコーンが転倒していることによる危険も検知し、通知することができる。

車線規制する距離は2km以上に及ぶこともあり、920MHz帯無線が直接届く電波伝搬距離よりも長い場合、無線マルチホップ方式により無線センサーユニット間で多段に無線通信を中継して最適な経路で制御装置に情報を伝送する。それぞれ無線センサーユニットを取り付けたラバーコーンを2kmの区間に40m置きに設置すると、隣接するラバーコーンの無線センサーユニット間で電波状況などをもとに無線マルチホップの中継先を算出する。各センサーユニットは、中継先として算出された約200m先などに位置するラバーコーンの無線センサーユニットへデータを伝送し、これをバケツリレー式に繰り返して、衝撃情報を制御装置へ届ける。また、無線マルチホップ方式は、一般車両の通行や工事車両の移動等により環境変化が変化して一部の経路で電波が届かない状況になっても、再送や迂回、経路変更を動的に制御することにより、通信の信頼性を確保することができる。

また、先に述べた省電力通信技術により、無線センサーユニットは電池駆動可能で完全なワイヤレスであるため、通常のLED誘導灯を取り付ける場合と同等の使い勝手で容易に設置できる。さらに、無線センサーユニットを起動してラバーコーンに設置するだけで、無線マルチホップの中継経路を自動的に構成するため、設置時のネットワーク設定作業等は必要ない。

作業員へは暴走車両侵入の危険を迅速に通知する必要がある。車線規制距離が2kmの場合、衝撃発生から1秒以内に制御装置に情報を伝送することを目標値としている。各無線センサーユニットは、先に述べた省電力通信技術の動作としてスリープ状態とアクティブ状態を間欠的に繰り返すため、スリープする間隔によってデータを中継する際に通信の遅延が生じる。今回、電池の消耗を抑えつつ、1秒以内に情報を伝送する目標を達成できるようスリープする間隔などを調整した。

制御装置は、920M無線親機によって無線マルチホップネットワークを構成する無線センサーユニット

群を集約し、検知した衝撃情報を受信して警報通知端末への通知を制御する機能を有する。

警報通知端末は、パトランプ(回転警告灯)及びバイブレーション端末を使用し、光、音、振動で作業員へ危険を知らせる。バイブレーション端末は工事作業員が身に付けるタイプであり、無線で衝撃情報が通知される。

実証実験

本システムは、東日本高速道路株式会社の本線上で実証実験を行なっている。本線上では、約2kmの車線規制区間でラバーコーンに無線センサーユニットを約50台設置した。このとき、各無線センサーユニットは無線マルチホップで約10段の中継を行う構成となり、本構成でのシステム目標値である1秒以内に衝撃情報を正常に通知できることを確認した。本試験は、電波到達性が異なる直線、カーブ、トンネルの各環境で行い、正常性を確認した。また、本線外では、無線センサーユニットへ実際に車両を衝突させ、衝撃を検知できることを確認している。写真2に車両衝突実験の様子を示す。



写真2 車両衝突実験の様子

おわりに

本稿では、暴走車両侵入通知システムの概要と活用技術である低消費電力の無線マルチホップネットワーク技術について述べた。今後、実証実験で得られた結果を活用し、さらなる検討を行なっていく。◆◆

● 筆者紹介

橋爪洋：Hiroshi Hashizume. 通信システム事業本部
スマートコミュニケーション事業部 マーケティング部