

センサネットワーク技術の活用による道路交通調査の効率化に関する研究*

A study about promotion of efficiency of road traffic investigation by use of sensor network technology

高田知典**・石間計夫**・井坪慎二***

By Tomonori TAKADA**・Kazuo ISHIMA**・Shinji ITSUBO***

1. はじめに

効率的・効果的な道路の計画や管理を行うため、交通量データの重要度が高まっている。おおむね、約5年ごとに行われる全国規模での道路交通情勢調査(以下、道路交通センサス)は、交通量の基礎データを収集する最も基本的な調査の一つであり、道路の状況と断面交通量を調査する一般交通量調査と、自動車の運行内容を調査する自動車起終点調査から構成されている。また、国土交通省では、道路交通の円滑性を計測する指標として「交通渋滞による損失時間」¹⁾²⁾を掲げており、そのためにも交通量データの重要性は益々大きくなっている。しかしながら、これまでの交通量調査は、人手による観測が中心であり、厳しい財政事情の中さらなる効率的な調査手法の重要性が高まっている。

一方、ユビキタスネット社会の実現に向けて省電力でしかも配線なしで多種のセンサデータを収集できる無線センサネットワークが、多方面で注目を集めてきている。無線センサネットワークは、様々なセンサで検知したデータを無線で送信することで、モニタリングや移動・誘導などの支援システム構築のためには欠かせぬ技術と言われている。

本研究では、道路交通調査への活用を目的に、走行路実験を通してセンサネットワーク技術の特性や適用条件などを把握し、その利用可能性の検討を行った。本稿では、走行車両の検知、走行車両の車長

計測、渋滞車両の検知に関して、実験結果をもとにセンサネットワークの適用可能性について報告する。

2. 無線センサネットワーク

(1) センサネットワーク技術

センサネットワーク技術は、通信機能を有するセンサネットワーク端末(以下、ノード)を用いてネットワークを形成し(図1)センサデータの収集を行う技術である。ノードは、他のノードを検出して通信に必要なハンドシェイクを行い、情報やサービスを共有する。センサは音、加速度、磁気、光や温度などIC化されたセンサを搭載できる。センサネットワークの機能として、ノードがデータ収集の初期点、中継点、拡大点となるマルチホップ機能、ノードが直接通信しネットワークを自発形成する機能、ノードの追加・削除の際の自動修復・リセット機能、ネットワーク構築のための最適な配置を決定するルーティング機能、があげられる。

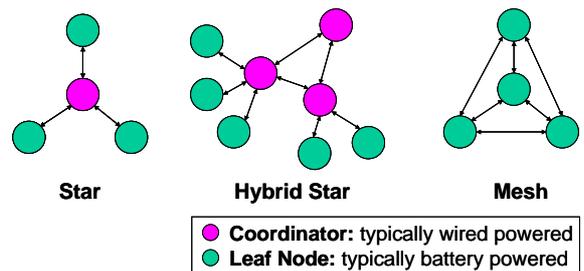


図1 センサネットワークの配置

*キーワード: 交通量計測、交通管理、センサネットワーク

**正員、(株)国土情報技術研究所

(東京都渋谷区渋谷1-16-14 渋谷地下鉄ビル6F)

TEL 03-3409-8174 FAX 03-5464-3795

***正員、国土交通省 国土技術政策総合研究所

(茨城県つくば市旭1)

TEL 0298-64-2501 FAX 0298-64-3784

(2) 通信・無線技術

センサネットワークで利用が想定できる低消費電力WPAN(Wireless Personal Area Network)として、微弱無線、特定小電力無線、Zigbee、Bluetooth、UWB(Ultra Wide Band)があげられる。



図2 センサネットワーク端末(ノード)



図3 ゲートウェイ



磁気センサ

図4 センサ端末

表1 センサネットワークの仕様

	仕様
センサノード	<ul style="list-style-type: none"> 外形寸法 : 55mm(縦) × 32mm(横) × 25mm(高さ) CPU : 7.4MHz(省電力型) メモリ: 128KB(プログラム領域), 512KB(データ領域) インターフェース: パラレルコネクタ(51pin) 無線通信定格 : 周波数帯315MHz、出力1mW以下(微弱) 電源 : 3V ~ 5V(DC)(実験では単3型乾電池 × 2を使用) センサ仕様(精度 / 分解能) <ul style="list-style-type: none"> 磁気センサ (-2 ~ +2(Gauss) / 27(μ Gauss)) 加速度センサ (-2 ~ +2(G) / 312(mV/g) 入力5V時) 光センサ(観測波長帯 ~ 690nm / 0.01(lx)) 温度センサ (-40 ~ 125() / 0.01())
ゲートウェイ	<ul style="list-style-type: none"> 外形寸法 : 100mm(縦) × 60mm(横) × 25mm(高さ) インターフェース1: パラレルコネクタ(51pin) インターフェース2: シリアルコネクタ(RS-232C) 電源 : 3V ~ 5V(DC)(実験では単3型乾電池 × 2を使用)
センサ	<ul style="list-style-type: none"> 磁界レンジ(T) -2 × 10⁻⁴ ~ +2 × 10⁻⁴ 分解能(μ T) 27 × 10⁻⁴ 磁界を検知する軸数 2軸(Bx,By)

3. 走行路実験の概要

(1) センサネットワークの構成と配置

a) センサネットワークの構成

使用したセンサネットワークは、ノード(図2、無線基盤とセンサを搭載したセンサ基盤と電池を搭載する電源ユニットで構成)と各ノードの制御、データの取り込みを行うゲートウェイボード(図3)および、センシングした情報をネットワーク経由で他の場所に伝えるためのデバイスに分類されている。

本実験では、車両などの磁性体の通過により磁界が変化する特性を持つ「磁気センサ」を搭載したノード(図4)を用いた。

b) ノードの設置

今回の実験では、表1に示す仕様の磁気センサを搭載したセンサネットワーク端末(ノード)を用いた。走行路(車線幅4.7m、2車線+路肩)の車線中央に、直径10cm、深さ30cmのコアを、各車線に6個、計12個削孔し、ノードを埋設した。

磁気センサは、2軸(x, y)の磁束密度を計測可能なため、設置向きを車両進行方向の磁界がy軸(By)、車両幅員方向の磁界がx軸(Bx)となる向きに統一した。ノードの深さは、深さ30cmのコア内に設置し、川砂を利用して深さ5cmに調整した。

c) センサデータの収集・蓄積方法

センサデータの収集と蓄積は、ゲートウェイ(図3)とノートPCを用いて行った。ゲートウェイは、図5に示すように、走行路の路肩に設置した。また、収集されたセンサデータは、ノートPC上でテキストデータに変換しファイル保存した。車線1の中央に配置されたノードからゲートウェイ装置の設置位置までの距離は4.7mである。

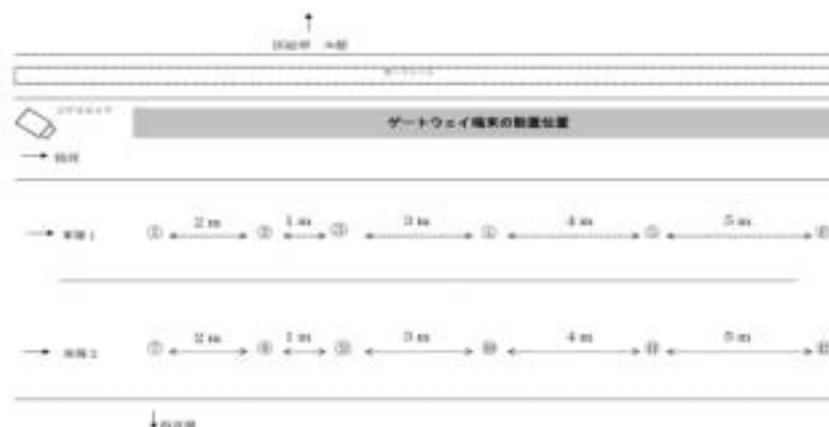


図5 ノードの配置

(2) 実験内容

a) 通信実験

データ通信の機能確認のため、ノードを埋設した状態およびノードを高さ1m程度に浮かした状態で最大通信距離を確認した。

b) 走行車両の検知実験

車両検知試験は、磁束密度の変化(図6)からノードの真上を通過する場合と、隣車線を通過した場合の車両検知について計測した。車両速度は、10km/h、40km/h、60km/h、100km/hの4段階、センサデータの

計測頻度(以下、サンプリング周波数)は2回/s(2Hz), 6回/s(6Hz)(2段階)に変化させ計測を行った。

c) 走行車両の車種判別(走行車両の車長計測)実験
車種判別は、車長の差を求めることを行うものとし、
車長計測は、以下に示す手順で実施した。

磁気センサによる車両検知後の最初の磁束密度値変化点を車両の先端部と仮定し、計測時間A(ミリ秒)を記録する。車長の検出には、走行車両の進行方向の磁界(By)の値を用いた。磁気センサによる車両検知後の最後の磁束密度値変化点を車両の終端と仮定し、計測時間B(ミリ秒)を記録する。(B-A)により算出された時間を、センサ上を車両が通過した時間C(ミリ秒)と仮定する。車両速度(Km/h)と車両が通過した時間C(ミリ秒)から、車長を算出する。

4. 走行路実験結果

(1) 通信実験

埋設されたノードの真上に車両が通過した場合、データ欠損はなく、埋設したノード間の最大通信距離は約9.3mであった。なお、ゲートウェイとノード間の距離が約8.3m程度まではシングルホップ(ノードとゲートウェイが1:1で直接通信)によりデータ通信が行われ、それ以上の距離になった場合は、走行路上のノードを経由したマルチホップで通信が行われ、自立的にネットワークを構築することを確認した。また、走行路上にノードを約1m浮かした場合の通信距離は、315MHz帯のMOTE/MICA2を用いた場合32.78mであった。それに対し、Zigbee(2.4GHz)MOTEを用いた場合は59.8mであった。

(2) 走行車両実験

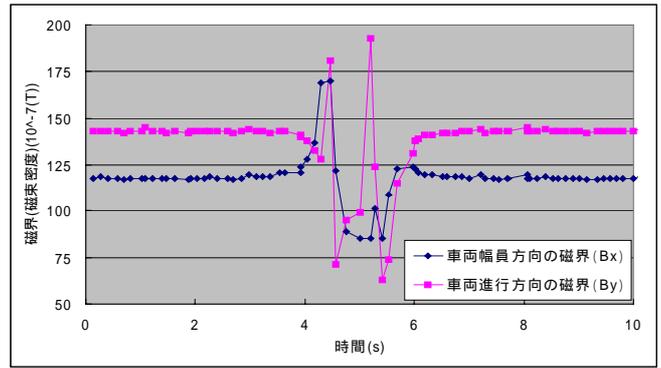


図6 車両の通過に伴う磁界の時間的変化の例

ノードの真上を車両が通過した場合(表3左)磁気センサの車両進行方向の軸(By)は、ノードのサンプリング周波数に関係なく全て検知した。一方、車両幅員方向の軸(Bx)は、車両速度が速くなるにつれて検知する回数が少なくなる傾向が見られた。

次に、ノードが設置されている隣車線を車両が通過した場合(表3右)磁気センサの車両進行方向の軸(By)は、ノードの真上通過時と同様、ノードのサンプリング周波数に関係なく全て検知した。一方、車両幅員方向の軸(Bx)についても、ノードの真上通過時と同様、車両速度が速くなるにつれて検知する回数が少なくなる傾向が見られた。

(3) 走行車両の車長計測

結果は、図7に示す通りである。なお、車長の計測に使用した値は、図6に示すとおりノードの真上を車両が通過した時の車両進行方向の磁界(By)を用いており、ノードのサンプリング周波数は、全て6Hz(回/s)に統一している。車両速度が10km/hの場合の車長計測結果は、車両全長(4785mm)に対して10%以内の計測結果であった。これに対し、車両速度が高くなるにつれて、車両全長と計測値の誤差と計測毎の値のばらつきが大きくなる傾向が見られた。

表3 走行車両の検知結果

センサ端末の真上を通過する車両の検知結果						センサ端末が設置されている隣車線を通過する車両の検知結果					
車両速度 (km/h)	計測回数	走行車両の検知結果 (検知回数 / 総実験サンプル数)				計測回数	走行車両の検知結果 (検知回数 / 総実験サンプル数)				
		2(回/s)		6(回/s)			2(回/s)		6(回/s)		
		Bx	By	Bx	By		Bx	By	Bx	By	
10		(6/9)	(9/9)	(3/6)	(6/6)		(6/9)	(9/9)	(3/6)	(6/6)	
40		(6/9)	(9/9)	(3/6)	(6/6)		(6/9)	(9/9)	(3/6)	(6/6)	
60		(3/9)	(9/9)	(3/6)	(6/6)		(4/9)	(9/9)	(3/6)	(6/6)	
100		(2/9)	(9/9)	(3/6)	(6/6)		(6/9)	(9/9)	(3/6)	(6/6)	

表中の(6/9)は、9回計測中、6回車両検知を示す。

計測回数: センサ端末の計測回数 (Hz: 回/秒)

Bx, By: 磁気センサの軸方向 (Bx: 車両幅員方向の磁界, By: 車両進行方向の磁界)

センサ端末は、計測回数2(回/s)の時には3個設置し、計測回数6(回/s)の時には2個設置した

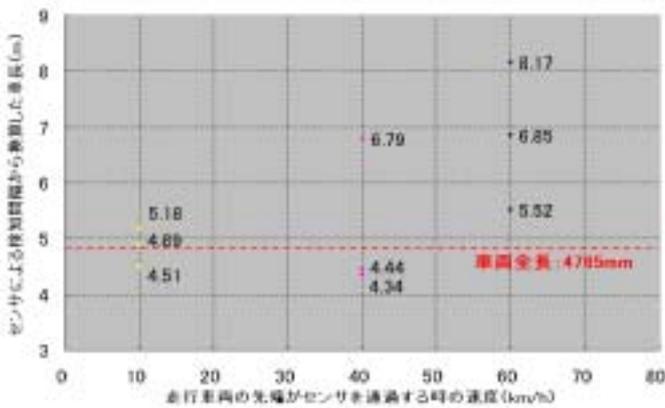


図7 磁界の変化を利用した車長計測結果

5. まとめ

(1) センサネットワークの適用について

a) 走行車両の検知

小型・省電力型の磁気センサを搭載したノードによる車両検知では、一般国道などを走行する車両の想定速度(約 10km/h~100km/h)において、車両進行方向磁界の変化を用いた車両検知が可能であった。また、ノードから約 4.5m 離れた隣車線を走行した車両も検知することが可能であった。

b) 走行車両の車種判別

車両の通過による磁界の変化特性の時間的変化を利用した車長の計測結果では、ノードのサンプリング周波数 6Hz(回/秒)における車長の計測値が、実際の車両全長に対して 10%以内であった。対して、車両速度が 40km/h と 60km/h の場合は、車種判別は困難であることが分かった。車両速度 10km/h の時、ノードは、車両が約 46cm 進む毎に計測していることから、車両速度 40km/h で走行する車両の車種判別を行うためには、少なくとも 24Hz(回/秒)のサンプリング周波数が、60km/h で走行する車両の車種判別を行うためには、36Hz(回/秒)のサンプリング周波数が必要となる。



図8 道路交通調査へのセンサネットワーク利用イメージ

(2) 今後の展望

本研究では、道路交通調査へのセンサネットワーク適用について検討を行った。その結果、車両の検知は、現在の技術レベルで十分に活用可能であることが判明した。さらに、ノードが設置されている隣車線を通過する車両も検知できたことから、今回のノードの設置場所である車線中央に限らず、路肩のガードレール付近や中央分離帯などに設置することも考えられる。これにより、ノードの設置時に交通規制が必要ないメリットがあり、交通量調査の効率化と低コスト化に寄与するものと期待される。

このほか、センサネットワークは、複数のノードがネットワークを形成し1箇所でデータ収集できる特徴を持つ。これにより、交差点を対象とした交通量調査など、人手による計測しか手段がなかった分野への活用も考えられる。しかしながら、現段階では、センサの高度化(小型化、高精度化)、ノード間の時刻同期手法や連続計測のための小型蓄電装置の開発、最適配置のためのシミュレーション手法などの技術的課題がある。今後は、道路交通調査効率化のためのセンサネットワークの利用イメージ(図8)の実現に向けて検討を行うとともに、新たな情報機器・先端技術の交通量調査への活用可能性の検討も行っていく予定である。

参考文献

- 1)国土交通省:「平成 15 年度道路行政の業績計画書」、2003 年 7 月
- 2)国土交通省:「平成 15 年度道路行政の達成度報告書/平成 16 年度道路行政の業績計画書」、2004 年 6 月