

Wi-Fi信号を用いた見通し・非見通し混在環境における 自動車・自転車検出手法の検討

折原凌[†] 石田繁巳[†] 荒川豊[†] 福田晃[†]

[†]九州大学大学院システム情報科学研究院

1 はじめに

自動車・自転車検出は事故防止や渋滞緩和に利用可能である。既存の手法にはカメラやLiDAR, 埋設型のコイルなどによる検出がある。しかし, これらの手法は設置や管理コストが高く, またカメラ以外では複数種類を区別して検出することが難しい。筆者らは既設公衆Wi-Fiを用いた自動車・自転車の検出に向けて研究を行っているが, 車体の大きいバス・トラックに比べ, 車体の小さいバイク・自転車などは送受信機間に遮蔽がなく, 区別して検出することは困難であるという課題がある。本論文では, これを解決する信号処理手法を検討した結果を報告する。

2 Channel State Information を用いた検出

送信機から発せられたWi-Fi信号は自動車や自転車などの障害物で反射・回折して受信機まで到達する。その際, 障害物の位置や大きさによって回折や反射情報は変化するため, Wi-Fi信号の通信伝搬路は変化する。伝搬路情報は既製のNetwork Interface Card (NIC) デバイスドライバを利用して, NICからチャンネル周波数応答Channel State Information (CSI)として抽出することが可能であり, 本研究で用いるIntel 5300 NICでは30個のサブキャリアのCSIを取得することが可能である[1]。周波数領域において, チャンネル情報は $Y = CSI_i \cdot X + N$ で表される。ここで, X 及び Y はそれぞれ送受信信号を表し, N はノイズ, CSI_i はチャンネル周波数応答を表している。 CSI_i は複素数値であり, $CSI_i = |CSI_i| \exp(j\angle CSI_i)$ と表される。ここで, $|CSI_i|$ と $\angle CSI_i$ はそれぞれ CSI_i の振幅と位相である。CSI位相はキャリア周波数オフセットの影響を受けるため[2], 本研究ではCSI振幅のみを用いる。

Considerations of car/bicycle detection in LOS/NLOS environments using Wi-Fi signal

Ryo Orihara[†], Shigemi Ishida[†], Yutaka Arakawa[†], and Akira Fukuda[†]

[†]ISEE, Kyushu University
Fukuoka, Japan

屋外でのCSIを用いた検出では, 屋内での検出と比べ反射情報が少なく, 直接波の影響が大きくなる。そのため, 送受信機間に遮蔽が生じるような車体の大きい車両の検出は容易であるが, 車体が小さく遮蔽の生じない車両の検出は困難であるという課題がある。

3 Wi-Fi信号を用いた車両検出システム

図1に示すように, 本システムでは, 送受信機を道路の両側にそれぞれ設置する。まず, 受信機において取得したCSI振幅に対し逆フーリエ変換(IFFT)を用いて直接波成分を除去する。次に, 直接波成分を除去した振幅を用いて特徴量抽出を行う。本システムではCSIの時系列変化を考慮するために, 通過する車両ごとに特徴量を抽出して対応している。検出区間を車両が通過する際, 通過に要した時間内に受信したパケットを車両ごとに取り出す。その後, 取り出したパケット群に対し, 各アンテナ・サブキャリアごとに図1で示した13種類の特徴量(平均, 中央値, 標準偏差, 最大値, 最小値, 上四分位値, 下四分位値, 四分位範囲, 平均絶対偏差, 尖度, 歪度, 自己相関, 二乗平均平方根)を抽出する。これにより, 車両の存在の有無によるCSIの変化だけでなく, 車両が通過することによるCSIの変化, つまり, CSIの時系列変化を考慮することが可能であると考えられる。そして, 抽出した特徴量から相関の大きい特徴量を削減し, 教師あり学習を用いて車両を検出する。

4 評価

4.1 評価手法

九州大学伊都キャンパス内の片側1車線計2車線道路において, 評価実験を行った。道路の両側に送受信機(UNITCOM biz-M)を高さ2m, 距離15mで設置した。送受信機には市販のIntel 5300 NIC(Network Interface Card)を搭載し, アンテナ数は送信機が1本, 受信機が3本とした。実験は802.11nにおけるチャンネル帯域幅20MHzの5GHz周波数帯域で行った。CSIパケットは10ms間隔で送信した。識別するクラスは車両4種類(自動車, バイク, 自転車, バス)と何も通

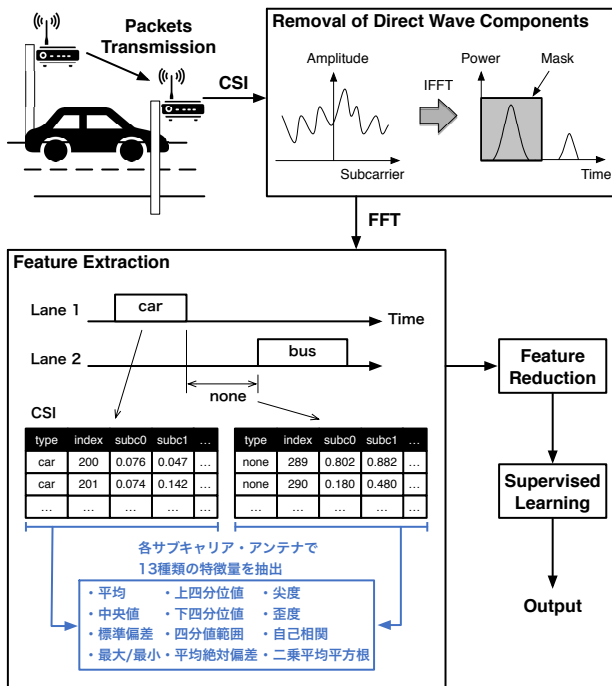


図 1: システム概要

過していない区間 (none) の計 5 つとした。教師あり学習には Random Forest を用いた。そして、10 分割交差検証を 10 回繰り返して、多クラス分類の評価の尺度である、適合率、再現率、F1 値を用いて評価した。混合行列を用いて各クラスの適合率と再現率の平均であるマクロ適合率・再現率を計算し、 $F1 = \frac{2 \cdot \text{適合率} \cdot \text{再現率}}{\text{適合率} + \text{再現率}}$ よりマクロ F1 値を計算した。

4.2 評価結果・考察

図 2a には本システムの評価結果を、図 2b には直接波成分ありでの評価結果を示す。本システムを用いた車両検出の結果、マクロ適合率・再現率・F1 値はそれぞれ 0.751, 0.736, 0.743 となった。これは直接波成分の影響を除去せずに検出を行った際のマクロ適合率・再現率・F1 値である 0.662, 0.654, 0.658 を上回るものであり、直接波成分の除去が見通し・非見通し混在環境における車両検出において有効であると考えられる。

図 2 より、送受信機間に遮蔽が生じる非見通し環境であるバスの検出精度は高いが、遮蔽のない見通し環境である自動車、バイク、自転車の検出精度は低くなっていることがわかる。これは見通し環境において車種ごとの振幅の変化が小さく、識別が困難であったためと考えられる。また、本システムでは通過する 1 車両ごとに特徴量を抽出しているため、1 車両あたりの通過する時間が異なる。そのため、車両通過による CSI 変化以外の要因である環境雑音の影響を受ける時間が

		予測値				
		none	自動車	バイク	自転車	バス
真値	none	65.56	6.11	11.11	10.56	6.67
	自動車	5.56	65.56	10.00	18.89	0.00
	バイク	6.11	0.56	68.33	25.00	0.00
	自転車	1.11	8.89	21.67	68.33	0.00
	バス	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
		none	自動車	バイク	自転車	バス

(a) 直接波成分を除去した検出結果

		予測値				
		none	自動車	バイク	自転車	バス
真値	none	52.22	19.44	16.11	6.67	5.56
	自動車	7.78	61.67	15.56	15.00	0.00
	バイク	7.22	16.11	55.56	21.11	0.00
	自転車	4.44	11.11	26.67	57.78	0.00
	バス	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
		none	自動車	バイク	自転車	バス

(b) 直接波成分ありでの検出結果

図 2: 評価結果

異なり、同じ車種でも CSI の変化にばらつきが生じたと考えられる。特に、何も通過していない区間の時間のばらつきが大きく、これにより none の識別精度が低くなったと考えられる。

5 おわりに

本稿では、Wi-Fi 信号を用いた自動車・自転車検出手法を提案した。評価の結果より、F1 値 0.743 という精度で車両を検出することが可能であることを確認した。

今後は、環境雑音を除去することで精度を高めていくとともに、見通し環境における有効な特徴量抽出について調査を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP15H05708, 及び JST, ACT-I, JPMJPR18U2 の助成で行われた。

参考文献

- [1] D. Halperin, et al., "Predictable 802.11 packet delivery from wireless channel measurements," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 41, No. 4, pp. 159–170, (2011).
- [2] J. Gjengset, et al., "Phaser: Enabling phased array signal processing on commodity wifi access points," In *ACM MobiCom*, pp. 153–164, (2014).