

# モーションセンサを用いた自転車違反運転検知システム

大井将徳<sup>†1</sup> 中村嘉隆<sup>†2</sup> 高橋修<sup>†2</sup>

**概要:** 近年、自転車が関与する事故が問題視されており、交通事故に遭った自転車運転者の多くが違反運転中に事故に遭っている。平成27年6月には道路交通法が改正予定であり、1年以内に3回以上違反運転を繰り返すと講習の義務が発生することになる。自転車違反運転に関する法律や条例は整備されてきているものの、大きな改善は見られておらず、違反運転に関する認識が低いのではないかと考える。本研究ではモーションセンサを用いた自転車違反運転検知システムを提案する。モーションセンサは Kinect を使い、スケルトン・トラッキングと深度情報から得られる距離情報を用いて自転車運転者の状態検出及び違反運転の種類の判断を行う。また、違反運転の通知手法についても提案する。

## A detecting system of bicycle's traffic violation using motion sensor

MASANORI OOI<sup>†1</sup> YOSHITAKA NAKAMURA<sup>†2</sup> OSAMU TAKAHASHI<sup>†2</sup>

### 1. 背景

近年、自転車による交通事故が問題となっている。警察庁交通局が発表している平成26年中の交通事故の発生状況によると、自転車乗車中の死傷者数は108,538人であり、64.0%が法令違反運転中に交通事故に遭っている[1]。また、警視庁が発表している都内自転車の交通事故発生状況の自転車事故の推移をみると、平成26年は全国で19.0%、都内では34.1%という比較的高い割合を示している。平成25年以前と比較とすると減少傾向にあるものの、全国では前年比-0.2%、都内では前年比-0.6%に留まっており、依然として自転車が関わる交通事故の発生件数と割合は横ばい状態が続いている[2]。

平成27年6月には道路交通法が改正され、自転車運転者は3年以内に表1に示す悪質運転行為を2回以上繰り返すと都道府県公安委員会による講習の受講が命令されることとなる[3]。このように、自転車運転者の交通マナー改善及び交通事故減少のために規則が毎年増えているが、大きな効果はいまだ見られていない。その理由として、自転車の法令違反運転を検知するシステムがなく、違反運転の注意喚起による警告や法令違反運転の種類が運転者に周知されておらず、十分な対策がなされていないことが考えられる。そのため、自動的に自転車違反運転を検知し、運転者に違反運転内容を通知することで違反運転を減少させるようなシステムが必要である。

表1 悪質運転行為

	運転内容
1	信号無視
2	通行禁止違反
3	歩道者専用道での徐行違反など
4	通行区分違反
5	路側帯の歩行者妨害
6	遮断機が下りた踏切への立ち入り
7	交差点での優先道路通行車の妨害など
8	交差点での右折車優先妨害など
9	環状交差点での安全進行義務違反など
10	一時停止違反
11	歩道での歩行者妨害
12	ブレーキのない自転車運転
13	酒酔い運転
14	安全運転義務違反

### 2. 関連研究

#### 2.1 自転車にセンサを取り付ける研究

下山らは文献[4]で、自転車事故を未然に防ぐことを目的とした事故防止システムを提案している。事故防止システムは図1のように3つのサブシステムから構成されている。走行状況検知部ではリードスイッチと回転角度検出センサを用いた速度とハンドルの回転角度の検出などの自転車自体の情報収集、走行環境検知部では距離センサとフォトダイオードを用いた雨検知と昼夜検知、警告部では光、振動、音を用いて段階的に警告を行う。これらの検知した情報を、マイコン上に実装した判定プログラムより評価・判定する。

†1 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科

†2 公立はこだて未来大学 システム情報科学部

実験より、走行状況検知部は速度超過とハンドル回転角による蛇行運転の閾値の決定、走行環境検知部は雨天と昼夜の検知可能なことの確認、警告部は振動モータについての評価を行っている。

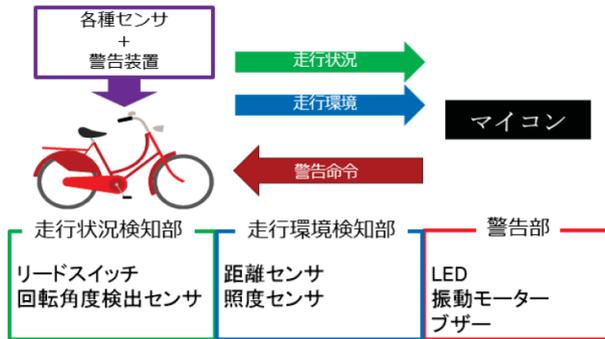


図1 システムの概要

後藤らは文献[5]で、自転車の追い抜きなどの動作をする際、後方の車両に明確な行動意図を伝えるためのシステム開発の基礎研究として、加速度センサーを使用した自転車の挙動認識方法の提案している。加速度センサーはスマートフォンに搭載されているものを使用し、図2の場所にスマートフォンを自転車に取り付けて加速度データなどを収集し、サーバへデータ送信、特徴量を算出し、それを元に機械学習を用いて挙動認識を行う。加速、減速、等速、停止、曲がるなどの挙動から発生する加速度データを使用して等速走行、加速走行、円走行、障害物回避の挙動を認識する。機械学習はK近傍法とサポートベクトルマシンを使用し、教師あり学習を用いた認識率を実験で検証している。実験結果は表2と表3にまとめる。K近傍法を用いた挙動認識の認識率が高く、特に最近傍法が一番良い認識率が得られたことがわかっている[5]。



図2 スマートフォンの設置位置

表2 K近傍による認識率

K	認識率(%)
最近傍法	70.86
2	66.29
3	64.57
4	66.86
5	66.86
6	59.43
7	58.29

表3 SVMによる認識率

	認識率(%)
チューニング無し	56.00
チューニング有り	60.58

## 2.2 カメラを用いた研究

JUNGらは文献[6]で、HOG特徴量とRealAdaBoostアルゴリズムを用いて、自転車運転者を検出する手法を提案している。図3のように(a) Particle分布を行い、(b)追跡器による追跡を行い、(c)検出器による検出を行い、(d)位置、スケールの推定を行っている。自転車検出器と追跡器を用いた実交通環境下における自転車検出の実験を実交通環境下の3種類の車載カメラ映像を用いて行っている。実験結果を表4に示す。適合率は検出を行ったウィンドウの中でどのくらい自転車と検出されたか、再現率は全画像の中にある自転車のうちのどのくらいの自転車が検出されたかを表す。

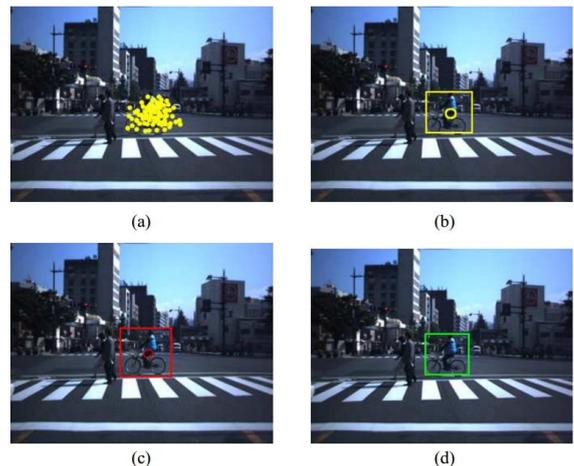


図3 提案手法の流れ

表4 実交通環境下における検出器と追跡器を用いた自転車検出の結果

	適合率(%)	再現率(%)	誤検出率(%)
Case 1	96.0	86.2	4.0
Case 2	87.6	81.3	12.4
Case 3	89.0	70.6	11.0

### 3. アプローチ

#### 3.1 関連研究の問題点と解決方法

関連研究の問題点として、全ての自転車にセンサ類を取りつけると自転車自体のコストが高くなる点が挙げられる。普及が著しいスマートフォンを利用する手段もあるが、2章の表2より認識率は高くても約70%であり、認識率の向上には複数のセンサが必要と考えられる。また、自転車にセンサ類をとりつけることで重量が重くなり、バランスが悪くなる可能性がある。この状態では運転に支障が出る可能性もあるため、危険が生じる。カメラを用いて自転車及び運転者を検出する研究の問題点として、人の顔を捉えてしまうなどのプライバシーの侵害が挙げられる。ほかにも、歩行者と自転車運転者を判別する精度を上げるためには、広範囲かつ検出精度が高いカメラが必要となり、必然的にコストが高くなることが挙げられる。

このような問題点を解決するためには、モーションセンサが有効である。モーションセンサは近年のセンサ技術の発展に伴って比較的安価で購入可能である。一台一万円台で買えるものもあり、手軽に入手可能である。また、開発環境やライブラリ群の整備も日々進んでおり、モーションセンサを活用したソフトウェア開発が容易になってきているという点も大きなメリットである。ほかにも、腕や体などの骨格位置のトラッキングや深度情報によるグレーフィルタを用いることでプライバシーに配慮しながら検出が可能である。そして、自転車に搭載せずに走行路を検知するように配置することで自転車運転者の状態を検出できる。

#### 3.2 研究目的

本研究ではモーションセンサを用いた自転車違反運転検知システムの提案を行う。代表的なモーションセンサとしてマイクロソフト社の Kinect が挙げられる。Kinect の最大の特徴はスケルトン・トラッキング(骨格検出)であり、人間の動き・姿勢をリアルタイムに認識し、骨格位置を追跡することができる。また、深度センサも搭載しているため、距離情報を取得することも可能である。検知時の画面は図4のようになり、人の顔を映すことなく人の状態を検出できている。本研究ではセンサ方式と有効範囲の観点から最新型の Kinect for Windows v2 を用いて違反運転検知を行う[7]。表1の「安全運転義務違反」を前提に、Kinect のスケルトン・トラッキングと深度情報から判断可能であると考えられ、かつ道路交通法で禁止されている二人乗り、自転車スマホ(自転車に乗りながらスマートフォンを操作)、傘さし運転、手放し運転、路側帯での右側走行、自転車の並走の判断を行う[8]。

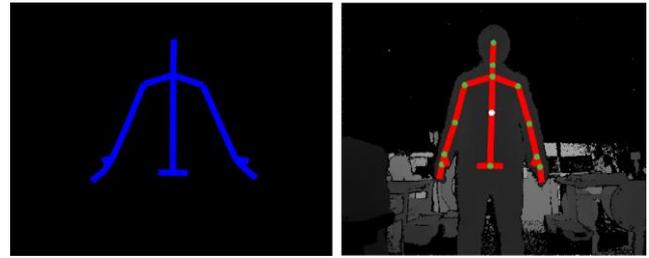


図4 スケルトン・トラッキング(左)と深度情報を用いた検知時の画面 (右)

#### 3.3 システム概要

システム構成図を図5に示す。本研究では1台もしくは2台のモーションセンサによって自転車運転者を検知し、運転者の姿勢などの運転状態を検出し、その情報から違反運転を判断する。違反運転の判断は1台のPCによって行い、違反運転と判断したならば運転者に違反運転の種類を通知し、必要に応じて顔写真などを撮影して警察に提供する。本研究は違反運転者に違反運転内容を知らせることで「違反運転である」ということを認識させ、違反運転者を減少させるシステムとして社会へ貢献することが最終目標である。

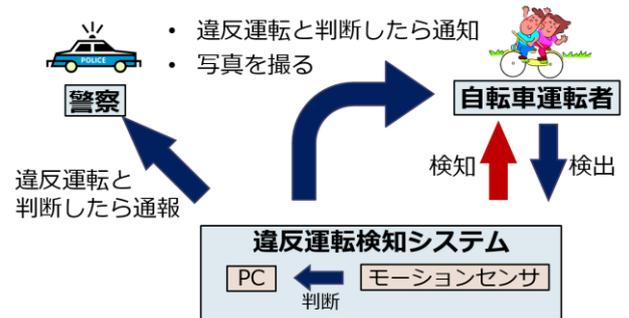


図5 システム構成図

### 4. 提案手法

#### 4.1 自転車違反運転判断手法

自転車違反運転の判断は Kinect のスケルトン・トラッキングと深度情報によって行う。

##### 4.1.1 二人乗り

二人乗りの判断には、スケルトン・トラッキングと深度情報を用いる。二人乗りは図6のように正面からでは同乗者が運転者と重なり、スケルトン・トラッキングが難しいことが危惧される。そのため、(a)自転車運転者の背骨の中心の骨格位置の距離情報と(b)運転者の頭上の距離情報が近似したときに二人乗りと判断する。(b)運転者の頭上の位置は同乗者の距離情報が取得できる推定位置として、頭上から0.45mの位置の距離情報を取得する。近似と判断する距離範囲は自転車運転者の背骨付近の骨格位置から運転者後方0.25~1.0m内とする。

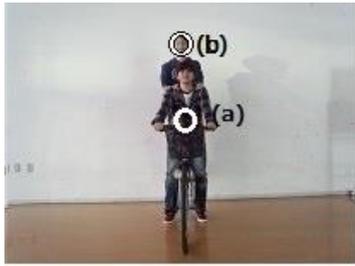


図 6 二人乗り

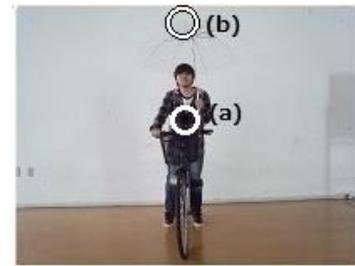


図 8 傘さし運転

#### 4.1.2 自転車スマホ

自転車スマホの判断に、スケルトン・トラッキングを用いる。判断には二つの方法を用い、一つ目は片手にスマートフォンを持ち、画面を操作したときに想定される腕と首の位置と角度になったときに自転車スマホと判断する。手の位置が背骨の位置よりも高く、肩、肘、手までの角度が 135 度未満の場合を自転車スマホのモーションとして定義する。二つ目はスマートフォンで電話をかける動作をしたときに想定される腕の位置と角度になったときに自転車スマホと判断する。手の位置が肩の位置よりも高く、肩、肘、手までの角度が 90 度未満の場合を自転車スマホのモーションとして定義する(図 7)。

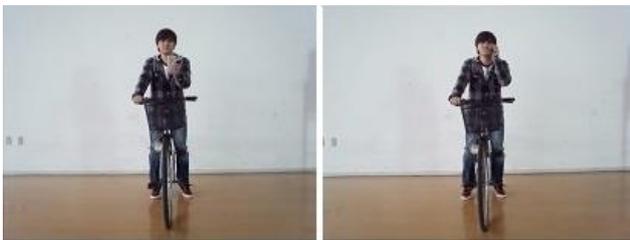


図 7 自転車スマホ

#### 4.1.3 傘さし運転

傘さし運転の判断には、スケルトン・トラッキングと深度情報を用いる。判断には二つの方法を用い、一つ目は片手に傘を持ったときに想定される腕の位置と角度となったときに傘さし運転と判断する。手の位置が背骨の位置よりも高く、肩、肘、手までの角度が 90 度未満の場合傘さし運転のモーションとして定義する。二つ目は(a)自転車運転者の背骨の中心の骨格位置の距離情報と(b)運転者の頭上の傘の外面の位置の距離情報を取得し、二つの値が近似し、かつ一つ目の判断方法の条件を満たしたときに傘さし運転と判断する。(b)傘の外面の位置は推定位置として、頭上から 0.45m の位置の距離情報を取得する。近似と判断する距離範囲は自転車運転者の背骨付近の骨格位置から運転者前方 0.75m～運転者後方 0.25m 内とする(図 8)。

#### 4.1.4 手放し運転

手放し運転の判断には、スケルトン・トラッキングを用いる。片手もしくは両手を自転車のグリップから離れた状態を手放し運転と判断する。手の位置が背骨の位置よりも低く、肩、肘、手までの角度が 180 度に近似する場合を手放し運転のモーションとして定義する(図 9)。

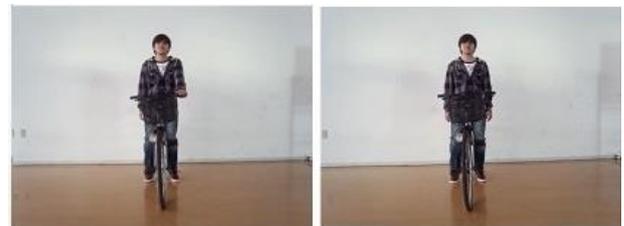


図 9 手放し運転

#### 4.1.5 路側帯での右側走行

路側帯での右側走行の判断には、スケルトン・トラッキングと深度情報による距離情報を用いる。骨格位置が通常走行(左側走行)とは逆向きに移動したときに右側走行と判断する。自転車運転者をスケルトン・トラッキングし、深度情報から背骨の中心の骨格位置の距離情報を取得する。また、背骨の中心の骨格位置の距離情報の最小値も記録する。左側走行時の自転車は Kinect の検知方向から見て Kinect に近づく方向へ進む。現在の骨格位置の距離と骨格位置の距離の最小値を比較し、現在の骨格位置の距離が最小値よりも 1m 以上大きくなった場合、右側走行と判断する。左側走行をする自転車は Kinect へ近づく方向へ進み、常に骨格位置の距離の最小値が更新されるため、右側走行とはならない。一方、右側走行をする自転車は Kinect から遠ざかる方向へ進む、一度骨格位置の距離を取得し最小値が記録されると、骨格位置の距離の最小値が更新されることがないため、右側走行となる。

#### 4.1.6 自転車の並走

自転車の並走は、スケルトン・トラッキングと深度情報による距離情報を用いる。判断には三つの手法を用いる。一つ目は、自転車運転者と他の自転車運転者をスケルトン・トラッキングし、深度情報から背骨の中心の骨格位置の距離情報をそれぞれ取得する。自転車運転者の骨格位置の距離と他の自転車運転者の骨格位置の距離比較し、それ

ぞれの骨格位置の距離の差が 0.25m 以内の場合、自転車の並走と判断する。二つ目に、自転車運転者と他の自転車運転者をスケルトン・トラッキングし、トラッキング時間を計測する。上記二人のトラッキング時間の差が 0.1 秒以内の場合、自転車の並走と判断する。ただし、トラッキング時間が一定時間未満の場合を対象とする。これは歩行者と自転車運転者を区別するためである。具体的な時間は実験により決定する。三つ目に、自転車運転者と他の自転車運転者をスケルトン・トラッキングし、トラッキング終了時の現時刻を取得する。上記二人のトラッキング終了時刻の差が 1 秒以内の場合、自転車の並走と判断する。以上の三つを組み合わせると自転車の並走を判断する。

#### 4.2 自転車違反運転通知手法

自転車違反運転内容の通知は、光によるリアルタイムの通知と Bluetooth 通信を用いたテキストメッセージ形式の通知を検討している。光による通知は、走行位置の直線上の前方に LED ライトを数個設置し、違反運転をした運転者の進行方向前方のライトが赤色などの注意を引く色で光ることによって通知しようと考えている。これによって、危険な走行をしている自転車の存在を周囲に知らせることができ、自転車運転者は運転に支障が出ることなく、違反運転をしたことに気づくことができると考える。テキストメッセージ形式の通知は、スマートフォンに Bluetooth 通信に用いるアプリケーションを事前にインストールしておき、違反運転をした場合、違反内容、場所、日時を知らせる。これによって自身の運転状況を振り返ることができ、違反運転の減少を促すことができると考える。また、自身が知らなかった違反運転内容についても知ることができ、周知不足を改善することができる。

### 5. 基本評価実験

#### 5.1 実験環境

本研究では最初に基本評価実験として、屋内かつ障害物がない環境下で 2 つの実験を行う。図 10 のように自転車の進行方向から見て正面に Kinect を地面から 0.45m の高さに配置し、日本成人の平均自転車速度である 14.6km/h[9]を基準として 27 型のシティサイクルを用いて行う。

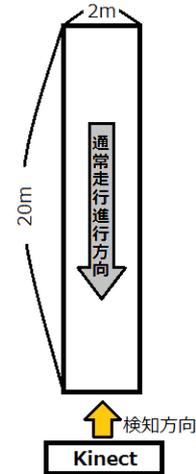


図 10 機材配置図

#### 5.2 スケルトン・トラッキングが可能な自転車の速度とトラッキング時間の調査実験

最初に、Kinect のスケルトン・トラッキングが可能な自転車の速度とトラッキング時間の調査を行う。トラッキング時間はスケルトン・トラッキングが開始して終了するまでの時間のことを指す。Kinect の前を 10 回通過し、検出回数によって速度を変更する。

検出結果を表 5 にまとめる。自転車の速度が 14.6km/h のとき検出率 90%で平均トラッキング時間が約 0.7 秒、18.0km/h に速度を上げると平均トラッキング時間が約 0.5 秒になったが検出率は 80%であった。この検出率は表 4 の関連研究の適合率の平均である 90.87%と比較しても同等の結果が得られているため、有用であると考えられる。さらに速度を上げ 20km/h と 22km/h ではトラッキング時間の減少幅が僅かとなり、大きな変化は見られなくなったため実験を終了した。

表 5 正面からの検出結果

速度(km/h)	平均トラッキング時間(s)	検出率(%)
14.6	0.7323	90
18	0.5171	80
20	0.3295	70
22	0.3031	80

#### 5.3 自転車違反運転判断精度の検証実験

次に、違反運転を正確に判断可能か検証するために自転車の並走を除く違反運転及び通常走行を 10 回程度行い、判断精度の評価を行う。自転車の速度は 14.6km/h で行う。判断精度の評価は違反運転を正しく判断した場合 2 点、正しく判断したが他の違反運転も判断した場合 1 点、間違えて判断した場合や未検出は 0 点とする。

実験結果を表 6 にまとめる。運転内容判断率は試行した運転内容を判断した割合、違反運転平均トラッキング時間は試行した違反運転を判断した延べ時間の平均である。自転車スマホ、手放し運転の検知については他の違反運転と判断することもあったが、全てを判断することができた。また、違反運転平均トラッキング時間と表 5 の平均トラッキング時間の差から自転車の速度が 18km/h までならば違反運転と判断できることがわかった。さらに、表 2 の挙動認識の認識率と比較して運転内容判断率が優れており、関連研究よりも優れた結果が得られた。しかし、二人乗り、傘さし運転、路側帯での右側走行は誤判断、もしくは検出できない場合が多かった。特に、二人乗り、路側帯での右側走行の検知ではスケルトン・トラッキングが難しく、判断すること自体が難しかった。また、通常走行であっても違反運転と判断することが多く見られた。

表 6 精度評価結果

	合計点数 (結果/合計)	運転内容 判断率(%)	違反運転平均 トラッキング時間(s)
自転車スマホ	21/24	100	0.32
傘さし運転	0/20	0	0
手放し運転	17/18	100	0.589
二人乗り	0/20	0	0
右側走行	2/20	10	-
通常走行	12/20	60	-

## 6. 考察

5 章より自転車スマホと手放し運転以外の違反運転と通常走行の判断に問題があり、改善する必要があることがわかった。そこで、新たな提案手法として、路側帯での右側走行、通常走行の改善手法を述べる。

### 6.1 通常走行改善手法

通常走行は、基本評価実験時には通常走行のモーションがなかったため、新たに作成し違反運転同様に判断する。通常判断には、スケルトン・トラッキングを用いる。手の位置が背骨の位置と同等かそれよりも高い位置にあり、両手の高さが近似し、肩、肘、手までの角度が 150 度から 180 度の場合を通常走行のモーションとして定義する。

### 6.2 路側帯での右側走行改善手法

実験結果から Kinect は正面に立っている人間の骨格検出が有用であり、逆向きの人間の骨格を検出することは難しいことがわかった。そのため、図 11 のように自転車運転者の正面とその反対方向を検知することで、自転車運転者を常に正面から検知可能になり、路側帯での右側走行の判断が可能になると考える。しかし、Kinect for Windows v2 は 1 台の PC 上で 2 台以上の Kinect for Windows v2 を用いることができないため、1 台の PC 上で行う場合は異なるモーシ

ョンセンサを用いる必要がある。本研究では Xbox 360 Kinect センサーを組み合わせることとする。Kinect for Windows v2 を通常走行進行方向の正面、Xbox 360 Kinect センサーを Kinect for Windows v2 の背面に配置し、Xbox 360 Kinect センサーが自転車運転者を一定秒数スケルトン・トラッキングした場合、路側帯での右側走行と判断する。具体的なトラッキング時間については、実験より決定する。

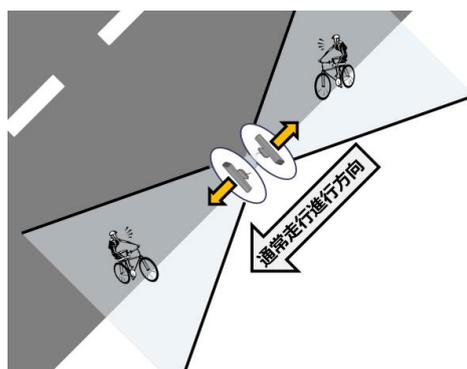


図 11 モーションセンサ配置図

## 7. 評価実験

6 章で提案した通常走行と路側帯での右側走行、4 章で提案した自転車の並走の判断精度の評価実験を行う。評価実験は基本評価実験と同等の実験環境で行う予定であり、障害物のない環境で日本成人の平均自転車速度である 14.6km/h を基準として 27 型のシティサイクルを用いて行う。屋内外どちらで行うかは検討中である。通常走行、自転車の並走は基本評価実験と同じ精度評価を用い、それぞれ 10 回程度の試行を行って判断する。路側帯での右側走行はトラッキング時間を計測し、違反運転と判断するためのトラッキング時間を決定する。

実験結果については学会発表時に報告する。

## 8. まとめ

本研究はモーションセンサを用いて自転車違反運転検知システムの提案を行った。基本評価実験として屋内かつ障害物のない環境下で Kinect のスケルトン・トラッキングが可能な自転車速度とトラッキング時間の調査、自転車違反運転判断精度の検証を行った。実験の結果、Kinect を自転車運転者の正面に配置することで、日本成人の自転車の平均速度以上を検出できた。また、自転車スマホと手放し運転は高い違反運転判断率を得ることができたが、二人乗り、傘さし運転、路側帯での右側走行の判断はほとんどできず、通常走行の判断率もあまり高くなかった。そのため、新たな提案手法として複数 Kinect による路側帯での右側走

行判断, 通常走行モーションの作成による通常走行判断, さらに自転車の並走判断の評価実験を行う予定である. また, 光と Bluetooth 通信による自転車違反運転の通知方法の提案を行った.

## 参考文献

- [1] 警察庁: 平成 26 年中の交通事故の発生状況, e-Stat 政府統計の総合窓口(オンライン), 入手先< <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Pdfdl.do?sinfid=000028919855> >(参照 2015-05-14).
- [2] 警視庁: 自転車事故の推移, 都内自転車の交通事故発生状況(オンライン), 入手先< [http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/toukei/bicycle/image/001\\_26.pdf](http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/toukei/bicycle/image/001_26.pdf)>(参照 2015-05-14).
- [3] シンク出版株式会社: 改正道路交通法が一部施行されます/平成 27 年 6 月 1 日施行, シンク出版株式会社(オンライン), 入手先<<http://www.think-sp.com/2014/04/28/dokoho-kaisei-2014-6-1/>>(参照 2015-05-14).
- [4] 下山 直起, 安藤輝, 山崎和人, 石井貴拓, 平山 雅之: マルチセンサを用いた走行解析による自転車事故防止システムの検討, 情報処理学会研究報告.EMB, 2015-EMB-36(51), pp.1-6, (2015).
- [5] 後藤秀信, 三浦元喜: 加速度センサーを使用した自転車の挙動認識, インタラクション 2014 論文集, pp.309-312 (2014).
- [6] Heewook JUNG, Joo Kooi TAN, Hyoungseop KIM, Takashi MORIE, Seiji ISHIKAWA : Detection and tracking of a human on a bicycle using HOG feature and particle filter, International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences, 19 巻 1 号, pp.33-41, (2014).
- [7] Microsoft : Kinect for Windows features, 入手先<<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/meetkinect/features.aspx>> (参照 2015-05-14).
- [8] 道路交通法, 総務省法令データ提供システム(オンライン), 入手先< <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S35/S35HO105.html>>(参照 2015-05-14).
- [9] 岸田真: 日本の自転車交通の現状と改善への取り組み, 第 20 回 日・韓建設技術セミナー開催報告, 入手先<[http://www.jice.or.jp/international/nikkan/pdf/nikkan2009\\_05.pdf](http://www.jice.or.jp/international/nikkan/pdf/nikkan2009_05.pdf)>(参照 2015-05-14).