



|              |                                                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | A Study on High-Speed Pedestrian Detection based on Statistical Techniques                                                                      |
| Author(s)    | 劉, 載勲                                                                                                                                           |
| Citation     | 大阪大学, 2013, 博士論文                                                                                                                                |
| Version Type |                                                                                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/59998">https://hdl.handle.net/11094/59998</a>                                                             |
| rights       |                                                                                                                                                 |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|               |                                                                                                          |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | 劉 載 勲 (Jaehoon YU)                                                                                       |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (情報科学)                                                                                               |
| 学 位 記 番 号     | 第 2 5 8 5 1 号                                                                                            |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平 成 25 年 3 月 25 日                                                                                        |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第4条第1項該当<br>情報科学研究科情報システム工学専攻                                                                        |
| 学 位 論 文 名     | A Study on High-Speed Pedestrian Detection based on Statistical Techniques<br>(統計的手法に基づく歩行者検出の高速化に関する研究) |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 尾上 孝雄<br>(副査)<br>教 授 中前 幸治 准教授 清川 清 准教授 橋本 昌宜                                                |

#### 論 文 内 容 の 要 旨

There is an increasing demand for pedestrian detection based on image processing in various applications such as autonomous driving, driving assistance, and surveillance, and both real-time and high accuracy are indispensable for these applications. Recently, while pedestrian detection accuracy has significantly improved by the advent of sophisticated feature descriptors, computational cost, which is increased by it, has become a critical issue. To solve this issue, two different algorithmic speed-up approaches are proposed in this dissertation.

The first approach is an efficient sampling method extracting samples based on the existence probability distribution of pedestrians. To detect pedestrians with various sizes and locations, given an input image, conventional methods generate densely scaled multiple images and extract a large amount of samples from all scaled images by using sliding-window that mechanically samples sub-images in raster scan order. In contrast, the proposed sampling method performs sliding-window sampling on sparsely scaled images, called reference images, estimates the existence probability distribution of pedestrians in interscale images between reference images by using a simple linear interpolation, and confines the sampling locations of interscale images to regions with high existence probability by using a stochastic mean. Experimental results show that the proposed sampling method can process pedestrian detection about 2.5 times as fast as sliding-window sampling without any accuracy degradation.

The second approach is a novel speed-up scheme building a soft cascade for a CoHOG-based pedestrian classifier trained by a linear SVM, and the proposed scheme is also applicable to general SVM classifiers. Given a CoHOG-based classifier, the proposed soft cascade scheme divides it into multiple parts and builds a soft cascade structure by using multiple-

instance pruning. Although multiple-instance pruning was originally designed for boosting classifiers, by rearranging each part based on a greedy feature selection process, the proposed scheme can maximize the rejection efficiency of the soft cascade and speed-up the classification process significantly. Experimental results show that the processing time for classification of the proposed scheme is as low as one-hundredth of the original classifier without sacrificing detection accuracy.

The main contributions of the dissertation are that the proposed methods can greatly reduce the computational cost of pedestrian detection process without any noticeable accuracy degradation and can be combined with other pedestrian detection methods and speed-up schemes. Especially, it is noteworthy that the first stochastic sampling achieved 2.5 times processing speed of a CoHOG-based pedestrian detection, and the second soft cascade approach achieved 100 times processing speed of a CoHOG-based pedestrian classifier.

より、高精度かつ高速な物体検出手法の実現に貢献するものと期待できる。従って、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、統計的手法に基づく歩行者検出の高速化に関する研究の成果をまとめたものであり、以下の主要な結果を得ている。

### 1. 確率的サンプリングに基づく歩行者検出の高速化アルゴリズムの提案

歩行者検出は監視カメラにおける侵入者検知や自動車における運転補助などの応用分野でその利用が期待されており、高い検出精度と高速な検出処理の両立が求められる。高精度な歩行者検出手法では、識別に複雑な歩行者モデルを利用することが多く、近年ではその計算量を削減するための高速化手法が注目されている。一般に物体検出では、識別処理を行うサンプル数に比例してその計算量が增大するため、本論文では、既存手法のように入力画像から生成された全てのスケール画像に対して走査線上の部分画像を機械的に抽出するスライディングウィンドウ処理を用いるのではなく、疎なスケール間隔の画像に対してのみスライディングウィンドウ処理を行って歩行者の存在確率を計算し、その結果から隣接する多くのスケール画像における歩行者の存在確率を推定し、高い存在確率を持つ領域にサンプリングを集中させることで歩行者検出に必要なサンプル数を大幅に削減した。CoHOG 特徴量を用いて従来手法と比較した結果、従来手法と同等の検出精度を維持した状態で約 2.5 倍の高速化が実現可能であることを確認した。

### 2. サポートベクターマシンの (SVM) 識別処理におけるソフトカスケードを用いた高速化アルゴリズムの提案

検出モデルの複雑化は識別処理の負荷を大きく増大させており、その計算量を削減するための手法が求められている。機械学習の1つであるブースティングでは、計算量削減手法として識別能力の低い複数の識別器を従属接続して明らかに検出対象でない入力に対する処理を早い段階で打ち切るカスケード構造を生成するアルゴリズムが存在するが、高い汎化能力を持つ SVM ではカスケード構造を人が直接設計するしかなく、効率の良いカスケード構造の生成手法はまだ実用に至っていない。本論文では、SVM による識別処理の高速化を実現するため、SVM で生成した多次元の識別器を複数部分に分割し、各部分をカスケードの一種であるソフトカスケードに適するように並べ替え、ソフトカスケード化することで高速な識別処理を実現した。CoHOG 特徴量を用いて従来の SVM 識別器と比較した結果、従来手法と比べて最大100分の1の計算量で同等の検出精度が実現可能であることを示した。

以上のように、統計的手法に基づく歩行者検出の高速化に関する研究は、物体検出における処理速度の改善が求められるなか、既存の検出手法の精度を劣化させることなく容易に高速化できる点で非常に有用である。これに