



## *Abstract*

*There are various challenges of detecting pupil during eye tracking, such as changing illumination conditions, occlusion of eyelashes or eyelids, obstruction of prescription glasses, poorly recorded images, highly off-axial positions, and so forth. Prior state-of-the-art method namely ExCuSe undertakes these problems based on analysis of histogram intensity. However, ExCuSe fails to analyze some pupil images with poor illumination and light reflection occlusion caused by prescription glasses.*

*To overcome these problems, this research proposes an improvement in ExCuSe by incorporating image filtering techniques in the preprocessing step, Region of Interest by cropping technique, and Otsu thresholding. The guided filter is implemented to preserve edges in the image, and cutting off the Region of interest helps to reduce noise in the image. Adaptive thresholding can make pupil coarse position easier to find.*

*We evaluated the proposed and the state-of-the-art algorithm on over 16,000 hand-labelled images in three data sets that contain eyeglass occlusions. The experimental result of data set I and data set III shows that the proposed method significantly outperformed the state-of-the-art algorithm with 9.8% and 24% higher detection rate and  $Z_{score}$  are 8.79 and 8.11, respectively. Although the implementation on data set II did not achieve a statistically significant result, the overall performance of the proposed method was still better than the state-of-the-art algorithm. Our study indicates that the proposed method is more sophisticated to handle poor illumination and light reflection occlusion compared with the prior state-of-the-art technique. In future, the proposed pupil detection method can be implemented in an eye tracker for interactive systems as well as for passive monitoring system, and the proposed method can be used as a reference method for analyzing vestibular disorders based on eye tracking system as well.*

**Keywords :** *Pupil detection, eyeglass occlusion, guided filter, otsu thresholding.*



## Intisari

Terdapat berbagai tantangan dalam mendeteksi pupil selama proses *eye tracking*, seperti mengubah kondisi pencahayaan, oklusi yang disebabkan oleh bulu mata atau kelopak mata, oklusi akibat penggunaan kacamata, perekaman citra yang buruk, posisi mata terhadap kamera *eye tracker* tidak sejajar atau off-aksial, dan sebagainya. Metode *state-of-the-art* sebelumnya, yaitu ExCuSe berusaha mengatasi masalah ini berdasarkan analisis intensitas histogram. Namun, ExCuSe gagal menganalisis beberapa citra dengan pencahayaan yang buruk dan oklusi refleksi cahaya yang disebabkan oleh penggunaan kacamata.

Untuk mengatasi kegagalan metode ExCuSe, penelitian ini mengusulkan pengembangan pada metode ExCuSe dengan menggabungkan teknik *image filtering* pada langkah *preprocessing*, *Region of Interest* dengan teknik *cropping*, dan Otsu *thresholding*. *Guided Filter* diimplementasikan untuk mempertahankan titik tepi dalam citra, dan pemotongan area fokus deteksi yang diinginkan membantu mengurangi noise pada citra. *Threshold* adaptif dapat membuat posisi kasar pupil lebih mudah ditemukan.

Penelitian ini mengevaluasi metode usulan dan dua algoritme *state-of-the-art*, yaitu ExCuSe dan SET pada lebih dari 16.000 gambar berlabel tangan dalam tiga set data yang mengandung oklusi kacamata. Hasil eksperimental dari *data set I* dan *data set III* menunjukkan bahwa metode yang diusulkan secara signifikan mengungguli algoritme *state-of-the-art* dengan 9,8 % dan 24 % tingkat deteksi lebih tinggi, dan  $Z_{score}$ , yaitu 8,79 dan 8,11, secara berurut. Meskipun implementasi *data set II* tidak mencapai hasil yang signifikan secara statistik, kinerja keseluruhan dari metode yang diusulkan masih lebih baik daripada algoritme *state-of-the-art*. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan lebih *robust* untuk menangani pencahayaan yang buruk dan oklusi refleksi cahaya dibandingkan dengan teknik *state-of-the-art* sebelumnya. Di masa depan, metode pendeteksian pupil mata yang diusulkan dapat diimplementasikan dalam sistem *eye tracking* untuk sistem interaktif serta untuk sistem pemantauan pasif, serta metode usulan dapat dijadikan sebagai metode acuan untuk melakukan analisis gangguan vestibular berbasis sistem *eye tracking*.

**Kata kunci :** Deteksi pupil, oklusi kacamata, guided filter, otsu thresholding.