

Метод удаления тумана на изображениях, полученных в широком диапазоне условий освещения

А.И. Филин
Тульский государственный
университет
Тула, Россия
andrewifilin@gmail.com

А.В. Копылов
Тульский государственный
университет
Тула, Россия
andkopylov@gmail.com

И.А. Грачева
Тульский государственный
университет
Тула, Россия
gia1509@mail.ru

Аннотация—Присутствие тумана на изображении затрудняет восприятие и автоматический анализ сцен. Для восстановления исходного изображения без тумана одним из наиболее популярных является метод темного канала, использующий модель атмосферного рассеивания Кошмидера. Однако в темное время суток предположения, лежащие в её основе, не выполняются из-за того, что значительный, если не основной, вклад в формирование освещенности вносят локализованные источники. В данной работе предложено использовать степень принадлежности элемента изображения к локализованному источнику света, определяемую на основе одноклассового классификатора, в качестве величины, характеризующей доверие соответствующему элементу оценки карты рассеивания при её ректификации на основе гамма-нормальной модели, что позволяет повысить точность восстановления при работе метода в темное время суток.

Ключевые слова— удаление тумана, темновой канал, карта рассеивания, локализованные источники света, недостаточная освещенность.

1. ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации систем видеонаблюдения вне помещений, наличие тумана, дождя, снега и других взвешенных частиц в атмосфере является типичной ситуацией. Наличие взвеси на изображениях, полученных в таких условиях значительно ухудшает видимость, что приводит к затруднению восприятия сцены человеком, а также росту ошибок при работе систем анализа изображений. Поскольку степень поглощения и рассеяния света зависит от расстояния до объекта, информация о глубине имеет важное значение для удаления тумана. Необходимость такой информации накладывает серьезные ограничения на систему удаления тумана, поэтому в данной работе рассматриваются методы, работающие по единственному снимку.

Метод удаления тумана на изображениях, основанный на понятии темного канала (Dark Channel), предложенный He и соавторами [1], занимает в настоящее время лидирующие позиции среди методов обработки снимков, сделанных в условиях тумана или наличия мелких дисперсных частиц в атмосфере. Этот метод основан на наблюдении, что по крайней мере один канал в цветовом пространстве RGB содержит пиксели с малой интенсивностью в локальных участках изображения, не содержащих тумана.

Позже, Verman совместно с рядом исследователей [2] выдвинул предположение о том, что насыщенность изображения без тумана может быть выражена с помощью нескольких цветов, образующих плотные

кластеры в цветовом пространстве RGB. Каждый такой кластер формирует линии тумана. Метод Verman восстанавливает изображение на основе данных линий. Zhu с соавторами [3] предложена априорная модель затухания цвета для определения глубины сцены с помощью линейной модели устранения тумана.

Подавляющее большинство методов устранения тумана используют модель атмосферного рассеивания Кошмидера [4]. Однако в темное время суток соглашения, лежащие в её основе, не выполняются из-за того, что значительный, если не основной, вклад в формирование освещенности вносят локализованные источники. Методы удаления тумана на основе глубокого обучения [5–7] также страдают от упомянутых выше недостатков. Сложности с получением изображений с туманом и без него, снятых одновременно, приводят к тому, что подавляющее большинство пар изображений в общедоступных наборах данных [8, 9], используемых для обучения, синтезируются на основе той же оптической модели Кошмидера [4].

В данной работе предложено использовать степень принадлежности элемента изображения к локализованному источнику света, определяемую на основе одноклассового классификатора, в качестве оценки «доверия» соответствующему элементу карты рассеивания при её ректификации на основе гамма-нормальной модели, что позволяет повысить точность восстановления при работе метода в темное время суток. Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют об улучшении качества удаления тумана при использовании предложенного метода по сравнению с базовым [10], а также другими приведенными методами.

2. ПРЕДЛОЖЕННЫЙ МЕТОД

Предложенный нами ранее метод удаления тумана с изображений [10] предполагает использование одноклассового классификатора для получения вероятностей отношения элементов изображения к искусственным источникам света. Кроме того, для уточнения грубой карты рассеивания, оцененной на основе темного канала, применялся метод фильтрации с переносом структуры с помощью гамма-нормальной модели [11]. Хотя данный метод позволяет исключить влияние точечных источников света на оценку атмосферной освещенности, все же, карта рассеивания в засвеченных областях оценивалась недостаточно точно – не учитывалось влияние тумана на точечные источники света. В данной работе дополнительно предлагается использовать оценку принадлежности элемента изображения к

локализованному источнику света в качестве величины, характеризующей «доверие» соответствующему элементу оценки карты рассеивания при её ректификации на основе гамма-нормальной модели. При этом, элементы карты рассеивания с низкой степенью доверия не используются при построении карты рассеивания. Вместо этого, для её оценки используется интерполяция по соседним элементам с высоким доверием.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Проведены эксперименты с использованием современных методов удаления тумана [1–3, 6, 12]. Тестирование проводилось на наборах, состоящих как из изображений, полученных в дневное время [9, 13, 14], так и полученных в условиях низкой освещенности и присутствии локализованных источников света в кадре [15, 16]. В качестве метрик использовались PSNR и SSIM. Полученные результаты свидетельствуют об улучшении качества удаления тумана предложенным методом по сравнению с базовым [10] на ~4,3% на наборах, состоящих из дневных изображений, и на ~12,4% на наборах, состоящих из изображений с локализованными источниками света.

Таблица 1. Количественная оценка методов удаления туман по метрикам PSNR и SSIM

| Метод | PSNR | | |
|-------------------|--|---|---------------|
| | Среднее значение на наборах с дневными изображениями | Среднее значение на наборах с изображениями с локализованными источниками света | Общее среднее |
| He et al. [1] | 14,50 | 17,41 | 15,47 |
| Berman et al. [2] | 16,69 | 15,18 | 16,19 |
| Zhu et al. [3] | 18,57 | 18,70 | 18,61 |
| Qin et al. [6] | 19,85 | 19,18 | 19,62 |
| Dhara et al. [12] | 16,48 | 18,94 | 17,30 |
| Базовый [10] | 17,41 | 19,76 | 18,20 |
| Предлагаемый | 18,21 | 21,82 | 19,41 |
| SSIM | | | |
| He et al. [1] | 0,70 | 0,55 | 0,65 |
| Berman et al. [2] | 0,77 | 0,65 | 0,73 |
| Zhu et al. [3] | 0,77 | 0,66 | 0,73 |
| Qin et al. [6] | 0,78 | 0,69 | 0,75 |
| Dhara et al. [12] | 0,75 | 0,67 | 0,72 |
| Базовый [10] | 0,74 | 0,63 | 0,70 |
| Предлагаемый | 0,77 | 0,72 | 0,75 |

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в данной работе изменения базового метода [10] позволяют исключить точечные источники света из процесса оценки атмосферной освещенности и карты рассеивания, что позволяет использовать модель атмосферного рассеивания [4] в темное время суток. Эксперименты показывают улучшение по метрикам PSNR и SSIM по сравнению с базовым методом [10] как на изображениях с достаточной освещенностью, так и недостаточной и присутствием локализованных источников света в кадре. В среднем на исследованных наборах метод демонстрирует преимущество по метрикам PSNR и SSIM по сравнению со всеми приведенными методами, кроме Qin et al [6]. Высокие средние значения результатов этого метода связаны с

очень высокими значениями для набора SOTS-indoor [9], что, в свою очередь, можно объяснить тем, что, вероятно, обучение модели, используемой в эксперименте, производилось на этом наборе данных.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 20-07-00441.

ЛИТЕРАТУРА

- He, K. Single image haze removal using dark channel prior / K. He, J. Sun, X. Tang // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2011. – Vol. 33(12). – P. 2341–2353.
- Berman, D. Non-local image dehazing / D. Berman, S. Avidan, T. Treibitz // Proc. of the IEEE conf. on comp. vision and pattern recognition. – 2016. – P. 1674–1682.
- Zhu, Q. A fast single image haze removal algorithm using color attenuation prior / Q. Zhu, J. Mai, L. Shao // IEEE trans. on image processing. – 2015. – Vol. 24(11). – P. 3522–3533.
- Koschmieder, H. Theorie der horizontalen Sichtweite / H. Koschmieder // Beitr. Phys. freie Atmos. – 1924. – Vol. 12. – P. 33–55.
- Cai, B. DehazeNet: An end-to-end system for single image haze removal / B. Cai, X. Xu, K. Jia, C. Qing, D. Tao // IEEE Trans. on Image Processing. – 2016. – Vol. 25(11). – P. 5187–5198.
- Qin, X. FFA-Net: Feature fusion attention network for single image dehazing / X. Qin, Z. Wang, Y. Bai, X. Xie, H. Jia // Proceedings of the AAAI Conf. on Artificial Intelligence. – 2020. – Vol. 34(7). – P. 11908–11915.
- Zhang, S. NLDN: Non-local dehazing network for dense haze removal / S. Zhang, F. He, W. Ren // Neurocomputing. – 2020. – Vol. 410. – P. 363–373.
- Ancuti, C. D-HAZY: A dataset to evaluate quantitatively dehazing algorithms / C. Ancuti, C.O. Ancuti, C. De Vleeschouwer // IEEE Int. Conf. on Image Proc. – 2016. – P. 2226–2230.
- Li, B. Benchmarking single-image dehazing and beyond / B. Li, W. Ren, D. Fu, D. Tao, D. Feng, W. Zeng, Z. Wang // IEEE Transactions on Image Processing. – 2018. – Vol. 28(1). – P. 492–505.
- Filin, A. Fast Channel-Dependent Transmission Map Estimation for Haze Removal with Localized Light Sources / A. Filin, I. Gracheva, A. Kopylov, O. Seredin // Intern. Conf. on AI and Big Data in Digital Era. – 2022. – P. 461–471.
- Gracheva, I. Image processing algorithms with structure transferring properties on the basis of gamma-normal model / I. Gracheva, A. Kopylov // Intern. Conf. on Analysis of Images, Soc. Net. and Texts. – 2016. – P. 257–268.
- Dhara, S.K. Color Cast Dependent Image Dehazing via Adaptive Airlight Refinement and Non-linear Color Balancing / S.K. Dhara, M. Roy, D. Sen // IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology. – 2020. – Vol. 8215(5). – P. 2076–2081.
- Ancuti, C. I-HAZE: A Dehazing Benchmark with Real Hazy and Haze-Free Indoor Images / C. Ancuti, C.O. Ancuti, R. Timofte, C. De Vleeschouwer // Intern. Conf. on Advanced Concepts for Intelligent Vision Syst. – 2018. – Vol. 11182 LNCS. – P. 620–631.
- Ancuti, C.O. O-HAZE: A dehazing benchmark with real hazy and haze-free outdoor images / C.O. Ancuti, C. Ancuti, R. Timofte, C. De Vleeschouwer // Proc. of the IEEE conf. on comp. vision and pattern recognition workshops. – 2018. – Vol. 2018. – P. 867–875.
- Filin, A. NIGHT-HAZE: A dehazing benchmark with real hazy and haze-free low-light indoor images / A. Filin, A. Kopylov, O. Seredin, I. Gracheva, E. Surkov, D. Spitsyn, D. Davydkin, A. Kostinskii // Math. Methods for Pattern Recognition: Book of abstract of the 20th Russian National Conf. with Intern. Particip. – 2021. – P. 245–250.
- Filin, A. NIGHT-HAZE-EXT: An extended dehazing benchmark with real hazy and haze-free low-light indoor images / A. Filin, A. Kopylov, A. Holicheva, O. Surkov, M. Kubrakov, D. Spitsyn, I. Gracheva // Intelligent Data Processing: Theory and Applications: Book of abstr. of the 14th International Conf. – 2022. – P. 247–252.