

УДК 004.89

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ УГЛА НАКЛОНА ГОЛОВЫ В САГИТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ПО ФРОНТАЛЬНОЙ КАМЕРЕ И ДАТЧИКАМ ОРИЕНТАЦИИ СМАРТФОНА

Нафиков А.Р. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук Береснев А.Д.
(ИТМО)

Введение. Синдром «текстовой шеи» (Text Neck Syndrome) представляет собой массовую эргономическую проблему, возникающую при длительном использовании мобильных устройств. Согласно исследованию Hansraj [1], при наклоне головы на 15° нагрузка на шейный отдел позвоночника возрастает до 12 кг, при 45° — до 22 кг, что создает значительный риск развития миофасциальных болевых синдромов. Существующие решения для мониторинга позы либо требуют специализированного оборудования (носимые датчики), либо ограничены одной платформой, либо не обеспечивают объективного измерения абсолютного угла наклона головы относительно вертикали Земли.

Научная задача исследования заключается в разработке метода бесконтактного измерения абсолютного угла наклона головы в сагитальной плоскости с точностью не хуже $\pm 3^\circ$, используя только встроенные компоненты смартфона: фронтальную камеру и инерциальные датчики [2].

Основная часть. В качестве технологической основы для получения углов ориентации лица выбран Google ML Kit Face Detection [3]. Данная библиотека обеспечивает определение углов Эйлера (pitch, yaw, roll) лица в реальном времени с высокой производительностью на современных мобильных устройствах [4], что критично для задач мониторинга в реальном времени. Однако ML Kit измеряет угол головы относительно камеры телефона, а не относительно вертикали Земли, что делает показания зависимыми от того, как пользователь держит устройство.

Ключевая идея предложенного метода заключается в комплексировании данных компьютерного зрения с показаниями акселерометра смартфона (Sensor Fusion) [5]. Акселерометр определяет наклон самого устройства относительно вектора гравитации. Итоговый абсолютный угол наклона головы вычисляется как разность между углом, полученным от ML Kit, и углом наклона телефона, измеренным акселерометром. Данный подход позволяет получить объективную оценку позы головы независимо от положения смартфона в руках пользователя.

Для валидации разработанного метода был проведен эксперимент с использованием фотограмметрического анализа профильного видео в программе Kinovea в качестве эталонного метода измерения [6]. Тестирование проводилось в диапазоне углов от -25° до $+65^\circ$ от нейтральной позы. В качестве метрик точности использовались RMSE (среднеквадратичная ошибка) и MAE (средняя абсолютная ошибка).

Выводы. Разработан метод комплексирования данных компьютерного зрения и инерциальных датчиков (Sensor Fusion) для вычисления абсолютного угла наклона головы в реальном времени. Экспериментальная валидация показала, что предложенный метод достигает точности $RMSE = 2,65^\circ$ и $MAE = 2,25^\circ$, что превосходит целевой порог в 3° и подтверждает работоспособность подхода.

В качестве альтернативного подхода был исследован метод Perspective-n-Point (PnP) на основе модели MoveNet для определения ориентации головы. Однако данный метод показал неприемлемую нестабильность измерений (джиттер $\sigma = 6,18^\circ$), что делает его неприменимым для задач точного мониторинга позы.

Практическая значимость разработанного метода заключается в его универсальности: он работает на любом смартфоне с фронтальной камерой и акселерометром без необходимости

дополнительного оборудования. Кроссплатформенная реализация на Flutter обеспечивает поддержку Android и iOS из единой кодовой базы. Метод может быть использован в мобильных приложениях для профилактики эргономических нарушений, связанных с длительным использованием цифровых устройств.

Список использованных источников:

1. Hansraj K.K. Assessment of stresses in the cervical spine caused by posture and position of the head // *Surgical Technology International*. – 2014. – Vol. 25. – P. 277–279.
2. Tapanya W., Puntumetakul R., Swangnetr Neubert M., Boucaut R. Influence of neck flexion angle on gravitational moment and neck muscle activity when using a smartphone while standing // *Ergonomics*. – 2021. – Vol. 64, No. 7. – P. 900–911. – DOI: 10.1080/00140139.2021.1873423.
3. Google Developers. ML Kit Face Detection [Электронный ресурс]. – URL: <https://developers.google.com/ml-kit/vision/face-detection> (дата обращения: 15.01.2026).
4. Bazarevsky V., Grishchenko I., Raveendran K. et al. BlazeFace: Sub-millisecond Neural Face Detection on Mobile GPUs // *CVPR Workshop on Computer Vision for AR/VR*. – 2019.
5. Woodman O.J. An introduction to inertial navigation // *Technical Report UCAM-CL-TR-696*, University of Cambridge, Computer Laboratory. – 2007.
6. Puig-Diví A., Escalona-Marfil C., Padullés-Riu J.M., Busquets A., Padullés-Chando X. et al. Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives // *PLOS ONE*. – 2019. – Vol. 14, No. 6. – Article e0216448. – DOI: 10.1371/journal.pone.0216448.