

Визначення орієнтації голови людини на зображенні

Костянтин Нюнькін

Відділ розпізнавання зорових образів Інституту проблем штучного інтелекту, Донецьк
knn@ia.i.donetsk.ua

Анотація. Розглядається задача автоматичного визначення кутів нахилів і повороту голови на зображеннях, що містять обличчя людини. Основна увага приділена пошуку закономірностей взаємного положення характерних деталей обличчя при нахилах і поворотах голови. У роботі використані дані бази даних FERET, яка містить кілька тисяч зображень обличчя людей різних рас.

1. Вступ

Розпізнавання людини за зображенням її обличчя, у кінцевому рахунку, зводиться до порівняння зображень, що надходять, із зображеннями відомих людей, які містяться в базі даних системи розпізнавання. Це порівняння може бути безпосереднім або опосередкованим із використанням різних параметрів, що обчислюються за зображеннями обличчя. Зображення обличчя однієї людини, отримані при різних положеннях голови, істотно відрізняються, що вимагає або введення в базу даних зображень обличчя кожної людини, отриманих у декількох ракурсах, або можливості визначення й урахування пози голови на вхідному зображенні.

Іноді до бази даних системи розпізнавання заносяться зображення обличчя однієї людини, зняті з різними ракурсами. З одного боку, таких зображень повинно бути дуже багато. З іншого, якщо на вхід системи надійде зображення з ракурсом, який відрізняється від тих, що містяться в базі – система не зможе розпізнати цієї людини.

Більш правильним представляється інший підхід – визначити кути нахилів і повороту голови на даному зображенні, відновити фронтальний знімок, який і передати для розпізнавання.

Аналіз літератури по проблемі визначення орієнтації голови показав, що, головним чином, використовується стерео, лазерне сканування чи спеціальні шоломи з датчиками. Стерео працює на невеликих відстанях (до 1 м), лазерне сканування далеко не завжди припустимо. Шоломи ж узагалі в реальних задачах розпізнавання неприйнятні.

У той же час існують і активно використовуються різні підходи до оцінки ракурсу голови людини на зображенні. Для цього використовуються конфігурація області, що має колір шкіри, [1, 2], геометричні співвідношення між положеннями деталей обличчя [2, 3], інформація, одержувана зі стереозображень, [4], "власні обличчя" [5] й інші методи. У деяких випадках поза голови оцінюється дуже приблизно, інші дозволяють визначати кути нахилів і повороту голови з точністю близько одного градуса. Природно, точність визначається не тільки застосуванням методом, але і якістю зображень.

Дана робота присвячена визначенню пошуку закономірностей взаємного положення на зображеннях

характерних деталей обличчя при нахилах і поворотах голови людини.

2. Нахили голови

2.1. Бічні нахили

Це найбільш проста ситуація. Обличчя людини має яскраво виражену осьову симетрію, причому вісь симетрії вертикальна. Крім цієї осі є ще три добре виражені горизонтальні лінії, що з'єднують очі (зіниці або зовнішні кути) та краї рота. Для визначення бічного нахилу голови можна використовувати або одну з цих чотирьох ліній, або всі лінії разом, дістаючи результат зваженим середнім.

Розглянемо визначення осі симетрії. Її можна проводити через середини відрізків, що з'єднують зовнішні кути очей з краями рота, або через середини відрізків, що з'єднують зовнішні кути очей з підносовою точкою.

З метою визначення погодженості кутів нахилів двох оцінок вертикальної осі симетрії і горизонтальних ліній, що з'єднують зовнішні кути очей, центри зіниць і краї рота на зображеннях бази даних FERET були проведені виміри зазначених кутів. Було оброблено 255 фронтальних зображень 57 чоловік різної статі та расової приналежності. Кути бічного нахилу голови, визначені по лінії, що з'єднує зовнішні краї очей, варіювалися від – 12.3 до 10.3 градусів. Негативні кути відповідають нахилу вліво, позитивні – вправо.

Уведемо наступні позначення характерних точок обличчя: 1,2 – зовнішні кути очей, 3,4 – зіниці, 5 – перенісся (центр лінії, що з'єднує зовнішні краї очей), 6 – підносова, 7,8 – краї рота, 9 – центр лінії, що з'єднує краї рота.

Розглянемо горизонтальні лінії, що з'єднують точки 1–2, 3–4, 7–8, і вертикальні, які з'єднують точки 5–6, 5–9. У таблиці 1 представлені мінімальні та максимальні значення кутів нахилу зазначених ліній.

Найменший діапазон кутів нахилу мають горизонтальна лінія 1–2, що з'єднує зовнішні кути очей, і вертикальна 5–9, що з'єднує перенісся з центром рота. Найбільший – лінія 7–8, що з'єднує краї рота. Розкид кутів нахилу ліній зв'язаний, по-перше, з нахилами голови на зображеннях, по-друге, з варіативністю положення цих ліній у різних людей, і в третіх, із можливими погрішностями у визначенні положення точок, що їх утворюють. Перший з цих факторів однаковий для всіх ліній, відмічуваних на одному зображенні. Інші два характеризують надійність визначення нахилу даної лінії. Тобто чим більше розкид кутів, що вимірюються, тим менш надійні значення кута нахилу, які одержані для даної лінії. Отримані результати показують, що найбільшою довіри заслуговують оцінки кутів нахилу, зроблені за горизонтальною лінією, що

з'єднує зовнішні кути очей, і вертикальною, яка з'єднує перенісся з центром рота.

Таблиця 1: Мінімальні та максимальні значення кутів нахилу ліній

Лінія	Min	Max	Розкид
1–2	–12.3	10.3	22.6
3–4	–12.4	12.2	24.6
7–8	–15.6	15.7	31.1
5–6	90–15.4	90+10.1	25.5
5–9	90–14.2	90+10.5	24.7

У таблиці 2 представлена кореляційна матриця кутів нахилів розглянутих ліній. Природно, найбільше корельовані нахили ліній, які з'єднують зовнішні краї й зіниці очей. Потім ідуть кореляції кутів нахилу цих двох ліній із третьою горизонтальною лінією, що з'єднує краї рота. Ще менше кореляції вертикальної осі, яка проведена через центри ліній, що з'єднують зовнішні краї очей і рота (5–9) з усіма горизонтальними лініями. А ось вертикальна "вісь" проведена через центр лінії, що з'єднують зовнішні краї очей і підносову точку (5-6) погано корелює з усіма іншими лініями..

Таблиця 2: Кореляційна матриця кутів нахилів ліній

Лінії	5–6	5–9	1–2	3–4
5–9	0.789	–	–	–
1–2	0.548	0.788	–	–
3–4	0.539	0.788	0.909	–
7–8	0.551	0.781	0.798	0.831

Отже, найбільшій довіри заслуговує вертикальна вісь симетрії, що проведена через центри ліній, які з'єднують зовнішні краї очей і рота, та горизонтальна лінія, що з'єднує зовнішні кути очей. Лінія рота часто виявляється негоризонтальною, і, до того ж, може бути погано видна (при розмові або при наявності бороди й вусів).

2.2. Прямі нахили

Узагалі говорячи, для визначення прямих нахилів голови точок на обличчі недостатньо, потрібні точки збоку голови. Звичайно використовують надкозелкові точки та лінію, яка на профільному знімку з'єднує таку точку з зовнішнім кутом ока. З деяким наближенням можна використовувати фронтальний знімок, і визначити відношення вертикальної проекції цієї лінії (різниця у-координат надкозелкової точки та кута ока) до відстані між зовнішніми кутами очей, яка використовується як масштаб.

Однак, виявлення надкозелкових точок на фронтальному знімку рідко можливо. Часто вони закриті зачіскою, і навіть при незначних поворотах голови, одна з них закривається головою. Звідси впливає необхідність використання при визначенні кута прямого нахилу голови тільки характерних точок власне обличчя.

Зрозуміло, що оскільки відстань від камери до об'єкта невідома, і її визначення являє собою окрему задачу,

необхідно використовувати не абсолютні значення вимірюваних відстаней між точками, а відносні. Як масштаб була обрана відстань між зовнішніми кутами очей, як така, що може бути визначена з найбільшою надійністю.

Для оцінки розкидів значень відносних відстаней між зіницями очей, між надкозелковими точками, між кутами рота, між переніссям (середньою точкою між зовнішніми краями очей) і підносовою точкою, між переніссям і центром рота (середньою точкою між кутами рота) було оброблено 255 фронтальних зображень 57 чоловік із бази даних FERET. Статистичні характеристики відносин зазначених відстаней до відстані між зовнішніми краями очей наведені в таблиці 3. Там же наведений критерій χ^2 і найбільший рівень значимості гіпотези про те, що результати даних вимірів мають нормальний розподіл, розраховані за гістограмами із кроком 0.2.

Як впливає з цих результатів, розподіл, найбільш близький до нормального, має відносна відстань між переніссям і центром рота. Саме вона й обрана для визначення кута прямого нахилу голови.

На жаль, база даних FERET не містить знімків облич із різними кутами прямих нахилів. Тому були проведені експерименти по визначенню залежності відносини відстані між переніссям і ротом до відстані між кутами очей від кута нахилу голови. В експериментах, результати яких наведені на малюнку 1, брало участь 8 людей. Причому для деяких з них виміри проводилися двічі й тричі. На цьому ж малюнку пунктиром проведена крива, яка апроксимує результати вимірів:

$$r \approx r_0 \frac{\cos(\alpha - \alpha_0)}{\cos(\alpha_0)}, \quad \alpha_0 \approx -0.24 \cdot \quad (1)$$

Тут r – розглянуте відношення, r_0 – його значення при вертикальному положенні голови, α – кут прямого нахилу голови в радіанах (негативні значення відповідають нахилу вперед). Згідно з цими вираженнями, максимальне значення (близьке до 0.76 – 0.77) відношення приймає при нахилі голови вперед на кут α_0 , що приблизно рівний 14 градусам (0.24 радіана).

Точне визначення кута нахилу голови за величиною відносної відстані між переніссям і ротом ускладнюється тим, що ця величина навіть у випадку вертикального положення голови індивідуальна (дивись таблицю 3) і змінюється в діапазоні від 0.53 до 0.89 (на рівні 3*СКВ). Менше з цих значень, відповідно до апроксимуючого вираження, відповідає нахилу назад на кут більший 30 градусів, а більше перевищує максимально можливе значення приблизно на 16%. Тому при занесенні даних нової людини в базу даних індивідуальне значення цього відношення при вертикальному положенні голови варто вимірювати та зберігати в базі даних поряд з іншими параметрами для використання на етапі розпізнавання.

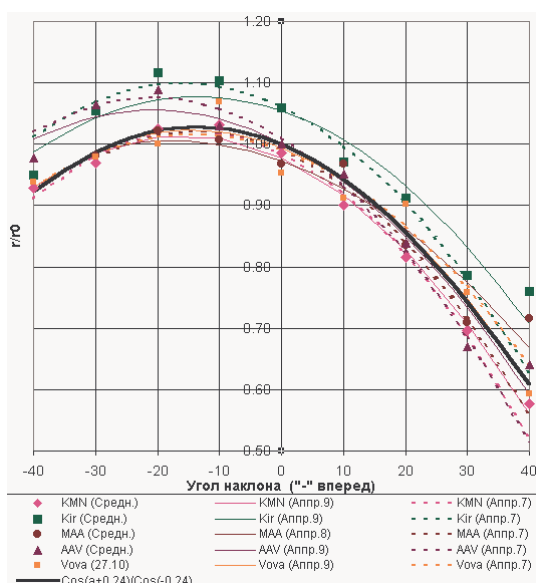
Оскільки залежність відносини r від кута нахилу голови параболічна, будь-якому його значенню (крім максимального) відповідає два значення кута нахилу голови. Для визначення того, якому з цих двох можливих кутів відповідає зображення потрібно використовувати додаткові параметри, такі як, наприклад, відносна відстань від очей до брів, форма нижнього краю носа (у тому числі видимість ніздрів) чи видима форма рота.

Найбільш придатним із них виглядає форма рота, точніше, прогин лінії змикання губ. При вертикальному

положенні голови прогин відсутній. При нахилі вперед краї рота вище його центру, при нахилі назад – нижче.

Таблиця 3: Статистичні характеристики відносних відстаней між характерними точками фронтального зображення обличчя людини

Відстань	Між зіницями	Між надкозелк.	Кути рота	Перенісся – підносова	Перенісся – центр рота
Середня	0.687	1.540	0.584	0.480	0.710
Мінімальна	0.573	1.306	0.427	0.324	0.538
Максимальна	0.787	1.778	0.824	0.589	0.878
Стандартне відхилення	0.030	0.087	0.059	0.050	0.061
Асиметрія	-0.266	0.122	0.331	-0.178	-0.008
Екссес	1.003	0.471	0.453	-0.349	-0.002
Відносне відхилення	0.044	0.057	0.102	0.105	0.086
χ^2	38.472	45.342	212.22	12.596	13.045
Рівень значимості	0.002	0.059	0.00	0.559	0.733



Малюнок 1: Залежність відносини відстані між переніссям і ротом до відстані між кутами очей від кута нахилу голови

Для вирішення питання про те, як зв'язаний прогин рота (лінії змикання губ) із прямим нахилом голови були використані зображення, отримані в описаних вище експериментах. Їхні результати показують, що залежність відносини різниці вертикальних координат кутів рота і його центра Δy до ширини рота Δx від кута нахилу голови α може бути апроксимована лінійною функцією:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} \approx 0.24 \cdot \alpha + 0.013 \cdot \quad (2)$$

Тут позитивне значення Δy відповідає прогину лінії рота вгору, негативне – вниз.

3. Повороти голови

При визначенні повороту голови можна використовувати видимий зсув якої-небудь виступаючої вперед характерної точки, що знаходиться на фронтальному знімку на

вертикальній осі обличчя відносно середини лінії, що з'єднує симетричні характерні точки, які знаходяться ліворуч і праворуч від осі. Зазначений зсув відбувається внаслідок опуклості обличчя, і тем більше, ніж сильніше виступає вперед центральна точка щодо бічних. Можливі набори центральної й симетричних бічних точок для визначення кута повороту голови наведені в таблиці 4.

Таблиця 4: Можливі набори точок для визначення кута повороту голови

N набору	Центральна точка	Бічні точки
1	Перенісся	Зовнішні краї очей
2	Підносова точка	Крила носа
3	Кінчик носа	Крила носа
4	Центр	Кути рота

З метою вибору придатного набору точок і формулювання правила визначення кута повороту голови на зображеннях бази даних FERET були проведені виміри положення зазначених точок. Було оброблено близько 3000 зображень майже 300 людей різної статі та расової приналежності при 9 різних значеннях кутів повороту голови кожного з них. Слід зазначити, що кути повороту голови, які наведені у супроводжувальній документації бази даних FERET, більші за реальні у півтора раза.

Точки, пов'язані з носом, дадуть більшу погрешність, ніж інші, тому що їхня база – крила носа розташовані близько один до одного. Крім того, вже при відносно невеликих поворотах ніс закриває одну з них.

Точки рота теж не варто використовувати, оскільки рот є найбільш рухливою частиною обличчя, і його форма зазнає істотних змін при розмові та міміці.

Набір найбільш стабільних точок містить перенісся і зовнішні краї очей. На тих оброблених зображеннях, на яких видні всі ці три точки, був виміряний видимий зсув точки перенісся відносно середини лінії, що з'єднує зовнішні краї очей. Статистичні характеристики цієї величини (узяті відносно відстані між зовнішніми краями очей) окремо для кожного з кутів повороту голови наведені в таблиці 5.

Таблиця 5: Статистичні характеристики зсуву перенісся

Кут	26.7	22.5	16.7	10	0	-10	-16.7	-22.5	-26.7
Кількість вимірювань	200	721	200	200	400	200	200	673	200
Середнє	-0.137	-0.123	-0.088	-0.047	0.004	0.040	0.086	0.128	0.145
Мінімальне	-0.238	-0.376	-0.173	-0.140	-0.065	0.000	0.035	0.021	0.059
Максимальне	-0.042	0.001	-0.023	0.006	0.056	0.120	0.149	0.271	0.250
Стандартне відхилення	0.037	0.059	0.030	0.027	0.016	0.021	0.023	0.047	0.033
Асиметрія	0.118	0.664	0.464	0.577	0.274	-0.355	-0.218	-0.281	-0.127
Екссес	0.000	0.070	0.133	0.452	2.818	0.215	-0.364	-0.263	-0.017

Значний розкид значень, що має місце для всіх кутів повороту, пояснюється тим, що кути повороту голови вимірювалися з великою погрішністю, чітко видимою на зображеннях бази даних. Однак, оскільки ця погрішність не має систематичного характеру, а розподіл значень близький до нормального, середні значення заслуговують на довіру.

Наведені результати показують, що зсув видимого положення перенісся залежить від кута повороту голови. Залежність середнього значення зсуву від кута повороту наведена на малюнку 2. На цьому ж малюнку показані результати вимірів. Видно, що хоча діапазони значень відносного зсуву перенісся d при різних кутах повороту голови α і перекриваються, проте, цю величину можна апроксимувати лінійною залежністю виду:

$$d = -0.30\beta, \quad (3)$$

показаною на малюнку 2 жирною лінією.

4. Висновки

Таким чином, орієнтацію голови людини можна визначити, використовуючи лише одне фронтальне зображення його обличчя.

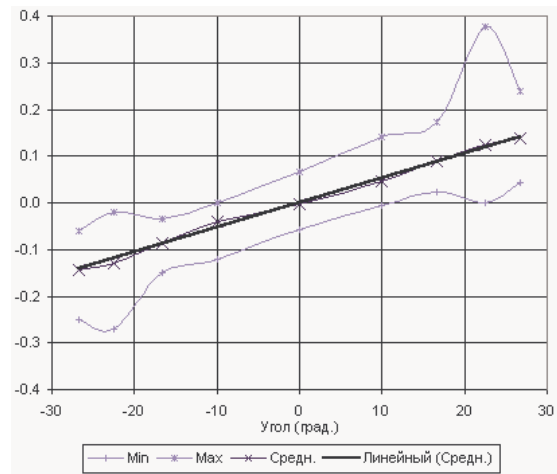
Найбільш перспективною для визначення кута бічного нахилу голови слід вважати лінію, що з'єднує зовнішні краї очей. З вертикальних ліній для цієї мети можна використовувати лінію, що з'єднує перенісся з центром рота. Для більшої надійності варто використовувати обидві ці лінії, і брати середнє (чи середньозважене) значення кута нахилу.

Для визначення кута прямого нахилу голови α (який не перевищує по модулю 40 градусів) за фронтальним знімком можна використовувати відношення відстані між переніссям і ротом до відстані між кутами очей r :

$$\alpha = \alpha_0 + \arccos\left(\frac{r \cdot \cos \alpha_0}{r_0}\right), \quad \begin{matrix} \alpha_0 \approx -0.24, \\ r_0 \approx 0.74. \end{matrix} \quad (4)$$

Для усунення неоднозначності арккосинуса можна використовувати величину β напрямком відносного прогину лінії рота згідно з (2).

Для визначення кута повороту голови, що не перевищує по модулю 40 градусів, необхідно визначити положення точок перенісся і зовнішніх країв очей. Величина кута повороту голови (у радіанах) пропорційна відносному видимому зсуву d перенісся від центру лінії, що з'єднує зовнішні краї очей $\beta = -d / 0.3$.



Малюнок 2: Зсув положення перенісся в залежності від кута повороту голови

5. Література

- [1] Chen Q., Wu H., Fukumoto T., Yachida M. "3d head pose estimation without feature tracking", *Int. Conf. on Automatic Face- and Gesture-Recognition, Nara, Japan, April 14-16, 1998, P. 88-93.*
- [2] Kammerer P., Sablatnig R., Zolda E. "Head Pose Estimation in Painted Portraits used for Comparison", *Computer Vision, Computer Graphics and Photogrammetry – a Common Viewpoint, Proc. of the 25th Workshop of the Austrian Association for Pattern Recognition (OEAGM), Schriftenreihe der OCG, Vol. 147, Oldenburg, Wien, Muenchen, 2001, P. 127-134.*
- [3] Yang T.J., Wu F.C., Ouhyoung M. "Real-Time 3-D Head Motion Estimation in Facial Image Coding", *Proc. of Multimedia Modeling'98, Lausanne, Switzerland, Oct. 12-15, 1998, P. 50-51.*
- [4] Xu M., Akatsuka T. "Detecting head pose from stereo image sequences for active face recognition", *Int. Conf. on Automatic Face- and Gesture-Recognition, Nara, Japan, April 14-16, 1998, P. 82-87.*
- [5] S. Srinivasan and K. L. Boyer, "Head Pose Estimation Using View Based Eigenspaces", *Int. Conf. on Pattern Recognition, Quebec, 2002.*