

СИСТЕМА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПОЛЬОТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ НА СКЛІ ШЛЕМОФОНА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТУ

Ситник О.Г., Чмут Т. М.

Вступлення. В целях расширения возможностей восприятия визуальной информации пилотом [1] было разработано [2] большое число разнообразных теорий [3], которые позволяют на практике увеличить дальность видимости объектов, изменить направление визирования, увидеть изображения объектов, абсолютные линейные размеры которых настолько малы, что они с трудом могут быть различимы невооруженным глазом, или очень велики.

Цель исследования. Рассмотреть в комплексе и оптимизировать параметры и характеристики, предложить практические расчеты основных информационных критериев для расширения возможностей восприятия изображений пилотом [4]. на панелях визуализации [5], в кабине самолета. Пусть предмет, высота которого y , находится на расстоянии l от глаза. Будем считать, что по абсолютному значению $l \geq f$ и что, следовательно, при покое аккомодации изображение предмета будет сфокусировано на сетчатке. Построение изображения предмета на сетчатке глаза производится по правилам геометрической оптики: луч света от точки B , направленный через переднюю узловую точку глаза N , пройдет через вторую узловую точку N' параллельно первоначальному направлению. Точка же предмета A без преломления изобразится на сетчатке в точке A' . Размер изображения $y' = |A'B'| = l' \operatorname{tg} \alpha$ или (ввиду малости $\alpha \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$) $y' = \alpha l'$, а отрезок l' находится как разность между длиной глаза и расстоянием от вершины роговицы до второй узловой точки (соответственно равными разнице между 24 мм и 7,332 мм) $l' = 24 - 7,332 = 16,668$ мм. Линейное увеличение β_y , равное отношению y' к y , принимает вид

$$\beta_y = \frac{y'}{y} = \frac{\alpha l'}{\alpha l} = \frac{l'}{l} \quad (1)$$

Так как l — величина отрицательная, увеличение β_y — отрицательное, т. е. на сетчатке глаза получается обратное уменьшенное изображение.

Анализ последних исследований. Системы визуализации в авиации и космонавтике подразделяются на две группы [3], которые применяют в тех случаях, когда угловой размер \mathcal{Y} подлежащих наблюдению деталей на изображении слишком мал, меньше предельного угла разрешения. Линейный размер h детали тоже очень мал. Уточним, что это значит. Если величина аккомодации 4 дптр., пилот может ясно видеть предмет наблюдаемый гла-зами на изображении на расстоянии $l_0 = 250$ мм. Пусть

предельный угол $\delta = 1'$, или в радианной мере $2,9 \cdot 10^{-4}$. Тогда $h = \delta l_0 = 2,9 \cdot 10^{-4} \cdot 250 \approx 0,07$ мм. Если $h \leq 0,07$ мм, то пилот едва видит или совсем не видит визуальную информацию на панели. Если линейный размер h может быть велик, но расстояние до объекта на изображении и его деталей l очень велико, то невооруженным глазом этой проблемы не решить. Но приближать его ближе, чем на расстояние l_0 (расстояние наилучшего зрения), нет смысла, так как дальнейшее приближение приведет к расфокусировке изображения на сетчатке. И если размер детали на изображении настолько мал, что $\alpha = h/l_0 < 3 \cdot 10^{-4}$, мы не сможем ее отчетливо увидеть. Здесь $3 \cdot 10^{-4}$ — предельный угол разрешения (около 1'), l_0 обычно равно 250 мм с фокусным расстоянием f , мы будем видеть деталь уже не под углом α а большим углом α' : $\alpha' = h/f$ и с увеличением по формуле

$$\Gamma = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{l_0}{f} \quad (2)$$

Формула (2) указывает на возможность получать чрезвычайно большие увеличения и таким образом видеть неограниченно малые детали визуальной информации на панели. Однако повышать увеличение выше некоторого значения Γ_p нет смысла. Дифракция света ставит предел для минимального размера h детали на изображении, которую еще возможно увидеть при достаточно большом увеличении

$$h = \frac{\lambda}{(2n \sin u)} \quad (3)$$

где

λ , n — длина световой волны и показатель преломления среды;

u — угол между оптической осью и крайним лучом, исходящим от объекта;

Произведение $n \sin u$ называют числовой апертурой и обозначают символом A

$$A = n \sin u \quad (4)$$

Если значение u приближается к значению 90° , так что $\sin u \approx 1$. При $n \approx 1,5$ $A \approx 1,5$, а $2n \sin u \approx 3$. Таким образом, в лучшем случае можно рассмотреть деталь на изображении размером $h = \lambda/3$.

Невооруженным глазом пилот может увидеть деталь визуальной информации на панели размером h_0 . Считая, что предельный угол разрешения $\delta = 1' = 3 \cdot 10^{-4}$, найдем

$$h_0 = l_0 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 250 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 7,5 \cdot 10^{-2} = 0,075 \text{ мм} \quad (5)$$

Считаем, что основными характеристиками системы “глаз и визуальная информации”. в кабине самолета являются видимое увеличение Γ_T , угловое поле 2β и диаметр матрицы D' который реализует определенный символ при передаче изображения.

Видимое увеличение Γ_T системы равно ее угловому увеличению \mathcal{Y}_T

$$\Gamma_T = \operatorname{tg} \beta' / \operatorname{tg} \beta \cdot D / D' = -f_1' / f_2' \quad (6)$$

где

2β и $2\beta'$ — угловое поле оптической системы в пространстве предметов на изображении соответственно;

D и D' — диаметры входного и выходного значения системы “ глаз и визуальная информации”;

f'_1, f'_2 — фокусные расстояния системы “ глаз и визуальная информации”;

Линейное β_d и продольное α увеличения системы рассчитываются по формуле

$$\beta_l = 1/\Gamma_T, \quad \alpha = 1/\Gamma_T \quad (7)$$

Угловое поле 2β системы “ глаз и визуальная информации” взаимосвязано с угловым полем $2\beta'$ и видимого пилотом на панели увеличения

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \beta' / \Gamma \quad (8)$$

Предлагается панели и дисплеи для визуализации информации, в зависимости от размера поля зрения системы восприятия, условно отнести к одной из трех групп — с малым, средним или широким угловым полем. Этим группам соответствуют значения углов поля $2\beta' \leq 45^\circ$; $2\beta' \approx 45/65^\circ$; $2\beta' \geq 65/85^\circ$ (и более с $2\beta' = 100^\circ$).

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными задачами заключается в исследовании взаимосвязи эффектов восприятия изображений под разными углами, разными пилотами по возрасту и с качеством изображений и панелей визуализации в кабине самолета. Пусть на плоскости, где введена прямоугольная система координат $\{x, y\}$, задана функция $f(x, y)$.

Проинтегрируем функцию $f(x, y)$ по некоторой прямой, лежащей в данной плоскости. Результат интегрирования, который обозначим R , зависит от того, по какой именно прямой проводится интегрирование. Известно [5], что всякая прямая может быть описана уравнением

$$x \cos \varphi + y \sin \varphi - s = 0 \quad (9)$$

Согласно (9) произвольная прямая однозначно задается двумя параметрами s и φ . Поэтому и результат интегрирования функции $f(x, y)$ по некоторой прямой будет зависеть от этих же параметров, т. е. $R=R(s, \varphi)$. Предположим, что функция $f(x, y)$ интегрируется по всевозможным прямым. Тогда получаются всевозможные значения величины R , которая в данном случае выступает как функция двух переменных $R(s, \varphi)$. Подобное интегрирование можно также рассматривать как некоторое преобразование [5] данной функции $f(x, y)$ на плоскости $\{x, y\}$, которое ставит в соответствие функцию $R(s, \varphi)$ на множестве всех прямых, задаваемую интегралами от $f(x, y)$ вдоль прямых. Функцию $R(s, \varphi)$ часто называют преобразованной функцией $f(x, y)$. Помимо этого, о функции $R(s, \varphi)$ говорят, как о проекции $f(x, y)$ или как о функции, которая описывает проекционные данные. Последним наименованием стараются отразить геометрический смысл [4], а именно то, что в этом преобразовании все значения функции $f(x, y)$, лежащие на прямой, как бы интегрально проецируются в соответствующую точку $\{s, \varphi\}$.

Новый подход для решения проблем изложенный в гипотезе [3] заключается в следующем. Предположим в эксперименте, что дело в том, что в нашей постановке задача ставится следующим образом: функция $f(x, y)$ неизвестна, но известна функция $R(s, \varphi)$, являющаяся преобразованным значением $f(x, y)$; требуется по функции $R(s, \varphi)$ определить $f(x, y)$. Пути решения задачи предлагаются следующие. В математической модели решение поставленной задачи сводится к отысканию явной формулы обращения, позволяющей по функции $R(s, \varphi)$ найти $f(x, y)$, или иначе — к поиску обратного преобразования. Полученная формула может считаться некоторым конкретным алгоритмом восстановления $f(x, y)$ по $R(s, \varphi)$. Этот алгоритм в разработанном методе преобразования в своей основе опирается на решение сформулированной выше математической задачи. Согласно определению и с учетом того, что интеграл от заданной функции вдоль прямой равен интегралу по всей плоскости произведения этой функции на δ -функцию, аргументом которой является левая часть уравнения (9), имеем

$$R(s, \varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \varphi + y \sin \varphi - s) dx dy \quad (10)$$

где

s — расстояние от начала координат до этой прямой;

φ — угол, образованный с осью x перпендикуляром, опущенным из начала координат на эту прямую

Личный вклад автора состоит в следующем. После многочисленных математических преобразований получим результаты моделирования процесса для решения проблем. Для большинства панелей визуализации рекомендуется значение K_H , задавать в пределах от 0,04 до 0,12, причем, этот критерий зависит от характеристик изменения зрения пилота от возраста для оптимального восприятия информации. При восприятии изображений на панели визуализации в пространстве изображения яркость фона, угловой размер объекта и контраст объекта с фоном K' предлагается рассчитывать по формулам

$$L' = \chi^2 \tau L, \quad \gamma' = \Gamma \gamma, \quad K' = K / (1 + q) \quad (11)$$

где

Γ, D' — увеличение изображения за счет применения определенного типа панелей визуализации и диаметр выходной матрицы панели.

γ — коэффициент светоотражения, (доли единицы);

q — коэффициент светорассеяния, (доли единицы);

$\chi = 1$, если $D' \geq d_\Gamma$ (увеличение меньше нормального) и $\chi = D'/d_\Gamma$, если $D' < d_\Gamma$ (увеличение больше нормального).

При поиске объектов на изображении (текстов, таблиц, графиков и иллюстраций) с помощью рассмотрения их на панели визуализации вероятность обнаружения будет определяться не только вероятностью обнаружения объекта, находящегося в

поле панели или дисплея (обозначим ее P_1), которая зависит от таких параметров, как $K, \gamma, 2\beta, t, \Gamma, \tau, q$ и т. д., но и от вероятности попадания объекта в угловое поле зрения пилота (обозначим ее P_2) Вероятность P_2 — сложная функция, зависящая от угла зрения пилота на объект на изображении, априорных сведений о местонахождении объекта в поле обзора, выбора алгоритма поиска и т. д. Но прежде всего она определяется соотношением между размерами обзораемого поля и углового поля: чем меньше угловое поле, тем меньше вероятность попадания объекта в поле при одnorазовом его поиске. Таким образом, суммарная вероятность обнаружения искомого объекта на изображении в системе “глаз и визуальная информация” определяется из выражения

$$P' = P_1 \times P_2 \quad (12)$$

ВЫВОДЫ. При поиске глазом необходимой для пилота информации в полете наиболее оптимальным образом на панели визуализации, чтобы не смешивать два различных теоретических понятия, таких как размер поля обзора и угловое поле панели, обозначим размер поля обзора (поиска) символом 2Ω , сохранив привычное обозначение 2β за угловым полем панели или дисплея. В общем случае поле обзора может иметь любую произвольную форму, что, впрочем не гарантирует оптимальность процесса восприятия. Обозначим угловой размер поля обзора по горизонтали $2\Omega_{\Gamma}$, а размер по вертикали $2\Omega_B$. Здесь возможны два случая.

1. Поле обзора пилота меньше углового поля панели визуализации, т. е. $2\Omega_{\Gamma} < 2\beta$ и $2\Omega_B < 2\beta$. Это означает, что при одnorазовом восприятии глазом человека даже в течении короткого времени объект на изображении обязательно окажется в его поле, т. е. $P_2=1$. Однако вероятность обнаружения объекта на изображении определяется целиком вероятностью P_1 . В результате экспериментов установлено, что среднее время поиска, соответствующее вероятности обнаружения 0,63, будет определяться для изображений по конфигурации протяженного одиночного объекта и одиночного точечного объекта по формуле

$$\bar{t}' = (2\beta')^2 / [c(K')^2(\gamma')^3(L')^{0.3}], \quad \bar{t}' = (2\beta')2(L')^{2n} / (a(E')^2) \quad (13)$$

2. Поле обзора пилота больше углового поля панели визуализации или дисплея, т. е. либо $2\Omega_{\Gamma} > 2\beta$, либо $2\Omega_B > 2\beta$, либо $2\Omega_{\Gamma}$ и $2\Omega_B > 2\beta$. Для обнаружения объекта на изображении необходимо прибегнуть к микросканированию глаза (саккадам) человека, т. е. последовательно просмотреть поле обзора панели визуализации. Расчет вероятности обнаружения объекта и среднего времени поиска в этом случае значительно усложняется, что требует дефицитного в полете времени на рассмотрение изображений.

Литература:

1. Анцелиович Л.Л. Надежность, безотказность и живучесть самолета. – М.: Машиностроение, 1985. – 296с.
2. Ситник О.Г. Принципи побудови пристроїв візуалізації інформації на космічних станціях для ефективного керування військами // Зб. наук. праць НАОУ. – № 35. – К.: Труды НАОУ. 2002. – С. 79–84.
3. Оптиміальні процедури розпізнавання. Обґрунтування процедур індуктивного виводу / Гупал А. М., Сергієнко І. В. // Кибернетика и системный анализ. — 2003. — № 1. — С. 33–39.
4. Ідентифікація станів складних систем з оцінкою допустимої похибки вимірів при нечіткій інформації / Насібов Е. Н. // Кибернетика и системный анализ. — 2002. — № 1. — С. 63–71.
5. Ситник А.Г., Ходаковский Н.И, Особенности разработки систем технического зрения для восстановления зрительной функции человека // УСиМ. – № 2. – К.: ИК НАНУ, 2000. – С. 35–41.

245. Ситник О.Г., Чмут Т. М. Система візуалізації польотної інформації для відображення на склі шлемофона для підвищення безпеки польоту // Матеріали I Все-української науково-практичної конференції молодих учених і студентів “ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВІАЦІЇ ТА КОСМОНАВТИКИ”. 23 – 25 жовтня 2012 р. – К.: НАУ. 2012. – С.