ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ АЛФАВИТНО-ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ЭКРАНЕ МОНИТОРА

Л.А. Глущенко, А.М. Корзун, Н.И. Павлов, А.Н. Силантьев, В.В. Янчук
НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем,
г. Сосновый Бор

Предложен методический подход к определению вероятности распознавания алфавитно-цифровой информации на экране монитора при наблюдении с помощью визуальных оптических приборов. Подход основан на эмпирических и полуэмпирических соотношениях, полученных при проведении статистических экспериментов.

При решении задачи защищенности информации, расположенной на экране монитора, от несанкционированного наблюдения с помощью визуальных оптических приборов необходимо определять вероятность правильного распознавания алфавитно-цифровой информации, как один из показателей защищенности.

Вероятность распознавания текста $P_{\text{рас}}$ в этом случае можно определить произведением:

$$P_{\text{рас}} = P_{\text{о}} \cdot P \quad , \tag{1}$$

где P– вероятность различения символа при условии, что вероятность обнаружения символа $P_{\text{о}}$. Вероятность обнаружения $P_{\text{о}}$ может быть описана зависимостью от отношения сигнал/шум, полученной на основе теории статистических решений по критерию оптимального наблюдателя с уточняющим эмпирическим коэффициентом оптимальности [1]:

$$P_{\text{о}} = 0,5\left[1 + \Phi\left(\frac{C_{\text{опт}} q_{\text{о,т}}}{2} - \frac{1,1}{C_{\text{опт}} q_{\text{о,т}}}\right)\right], \tag{2}$$

где $C_{\text{опт}}$ – коэффициент оптимальности наблюдателя, $q_{\text{о,т}}$ – отношение сигнал/шум для объекта и тени для идеального наблюдателя:

$$q_{\text{о,т}} = \frac{N_{\text{и}} \left| N_{\text{о}} - N_{\text{ф}} \right|}{\sqrt{0,5\left(N_{\text{о}} + N_{\text{ф}}\right) + N_{\text{а}}^2}}, \tag{3}$$

где $N_{\text{о,ф}} = NL_{\text{б,ф}}$ – величины, характеризующие количество поглощаемых фотонов для рецептивных полей, проецируемых на область объекта и фона; N - величины, характеризующие количество поглощаемых фотонов при равенстве коэффициента яркости наблюдаемой поверхности 1 и равенстве спектральной плотности освещенности 1 Вт/(м^2·мкм) для длин волн λ_i из спектрального диапазона [$\lambda_1 \ldots \lambda_n$]; $L_{\text{б,ф}}$ – яркость буквы и фона на мониторе; $N_{\text{и}} = \frac{D \cdot f_{\text{г}}'}{D_{\text{г}} \cdot D_{\text{н}}} \sqrt{\frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{рп}}}} \cdot 10^3$ - значение коэффициентов, учиты-

вающих интегрирующие свойства зрительного анализатора; $f'_г$ – заднее фокусное расстояние глаза; $D_г$ – диаметр глаза; D – диаметр объектива; $D_н$ – дистанция наблюдения; $S_б$ – средняя площадь буквы для различных шрифтов; $S_{рп}$ – площадь рецептивного поля; $N_а = K_{пор} \cdot N_ф$ – эквивалентный шумовой сигнал зрительной системы; $K_{пор}$ – пороговый контраст.

Используя подход, приведенный в [2], получим формулу для определения количества фотонов, поглощаемых пигментами (фоторецепторами) рецептивного поля сетчатки за время интегрирования, с учетом используемого для наблюдения оптического прибора:

$$N = \frac{\Delta\lambda \cdot k \cdot S_{рп} \cdot t_и \cdot \lambda_{0,55} \cdot 10^{-18} \Theta \cdot \tau_о \cdot \tau}{\hbar c}, \qquad (4)$$

где $\hbar c/\lambda_{0,55}$ – энергия фотона для длины волны $\lambda = 0{,}55$ мкм; $t_и$ – время инерции зрения; k – коэффициент активного поглощения рецепторами сетчатки глаза светового излучения; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света; $\Delta\lambda$ – спектральный рабочий диапазон для визуального наблюдения; $\Theta = \dfrac{10D}{f' \cdot \Gamma}$ - относительное отверстие для телескопической системы совместно с глазом человека; Γ – увеличение; $\tau_о$ – коэффициент пропускания оптической системы; τ - коэффициент пропускания на трассе «оптический прибор – объект наблюдения».

Вероятность различения символа при условии, что он обнаруживается с достаточно высокой вероятностью, зависит от ряда специфических факторов, таких как величина знаков, угол поворота монитора по отношению к линии визирования, освещенности в помещении. Для определения зависимости P от указанных факторов был выполнен статистический эксперимент. Основным условием эксперимента было то, что вероятность обнаружения символа на экране $P_о \approx 1$. Наблюдение монитора происходило невооруженным глазом.

При наблюдении строчных букв русского алфавита (черных на белом фоне) они располагались в виде таблицы 10×10; шрифт Arial, размер шрифта – 8, 11, 14 пунктов. При наблюдении цифр размер таблицы 11×11, шрифт Times New Roman, размер 12 пунктов. Расположение букв и цифр в таблицах с разным размером шрифта разное. Таблицы генерировались с помощью генератора случайных чисел в пакете MathCAD 8 и переводились в буквы в Excel 2000. Было сгенерировано по 25 буквенных таблиц для каждого размера шрифта, а также 80 таблиц с цифрами. В работе принимали участие четверо наблюдателей. Изображение рассматривалось на экране жидкокристаллического монитора Rower Scan Smart JS558 с разрешением 1024×768 точек в полноэкранном режиме. Дистанция наблюдения 2 м. Угол поворота монитора в горизонтальной плоскости (угол между линией визирования и перпендикуляром к плоскости монитора) равнялся 0, 30 и 45°; при работе с шрифтом 14 оказалось возможным провести наблюдение под углом 60°. Перед выполнением наблюдения каждым наблюдателем люксметром контролировалась освещенность в вертикальной плоскости перед экраном монитора. Яркость монитора не изменялась.

В ходе эксперимента определялась вероятность различения символов на экране монитора. Вероятность правильного распознавания рассчитывалась как отношение числа правильных ответов, данных всеми наблюдателями, к числу всех ответов (правильных и неправильных). Подсчет проводился как для каждой буквы в отдельности, так и для всех букв. Результаты, подсчитанные по всем буквам, представлены на ри-

сунках 1 - 5. При построении графиков предполагалось, что ход кривой не зависит от того, в какую сторону поворачивается монитор.

Из приведенных результатов видно, что по мере увеличения угла поворота вероятность распознавания букв уменьшается. Чем крупнее шрифт, тем медленнее идёт это снижение. Из рисунка 1 видно также, что результаты для крупных букв меньше зависят от освещенности: кривые для разных освещенностей сближаются по мере укрупнения шрифта. По результатам наблюдения можно сделать вывод, что при углах более 60° распознавание букв практически невозможно. Следует отметить, что снижение вероятности распознавания при увеличении угла поворота не для всех букв одинаково. Есть буквы, для которых снижение почти не происходит (буквы б, д, о, ф, ш, ю и др.), а также такие, которые распознаются труднее уже в исходном положении (а, в, я и т.п.). Представленный здесь результат носит усредненный характер.

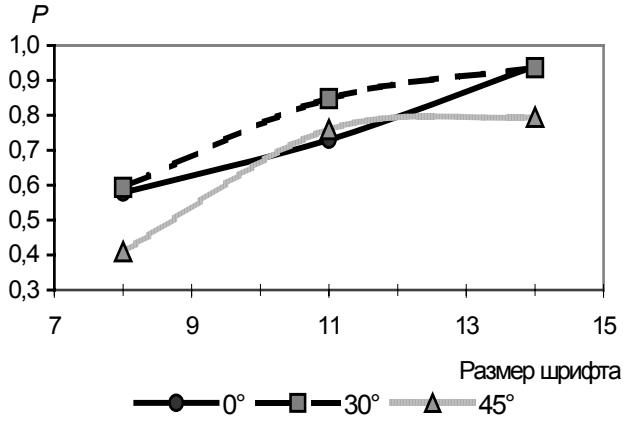


Рисунок 1 - Зависимость вероятности распознавания от размера шрифта в интервале освещенностей 47…68 лк

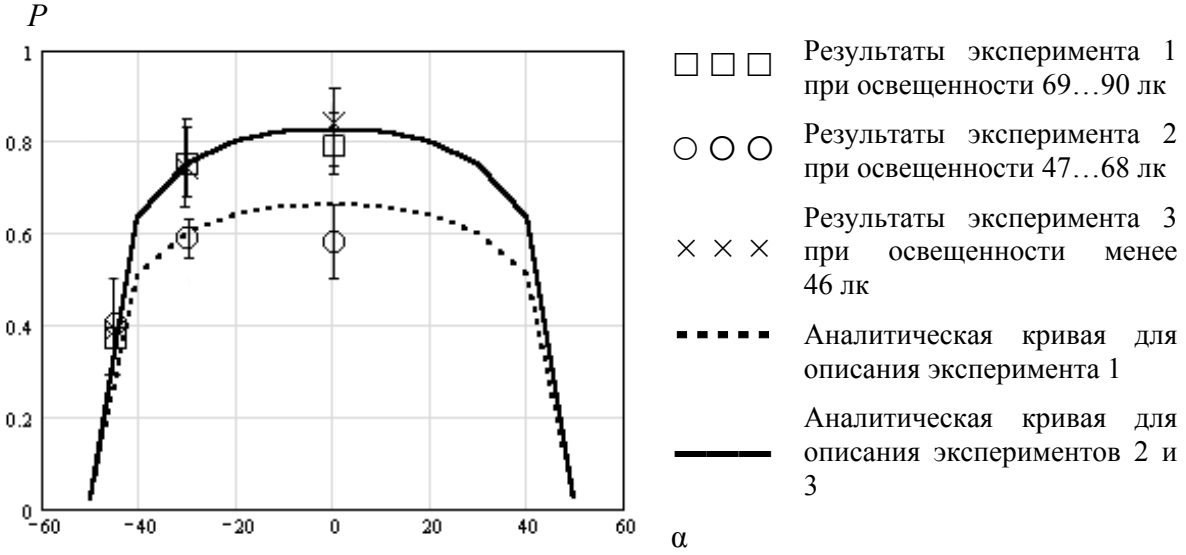
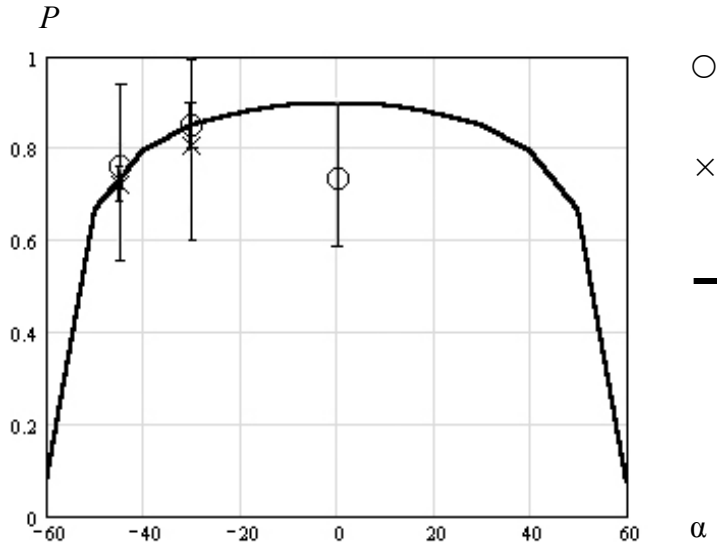


Рисунок 2 - Зависимость вероятности правильного распознавания буквенного символа на экране от угла наблюдения для размера шрифта 8.

Полученные эмпирические кривые удалось аппроксимировать следующей аналитической зависимостью:

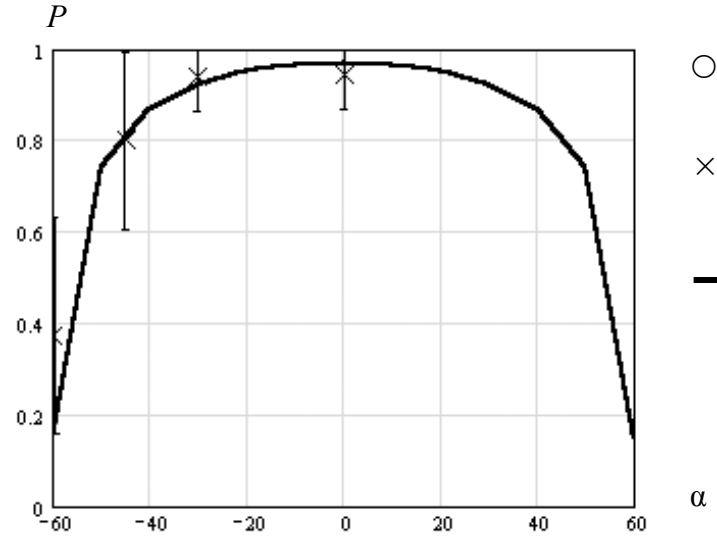


○ ○ ○ Результаты эксперимента 2 при освещенности 47…68 лк

× × × Результаты эксперимента 3 при освещенности менее 46 лк

Аналитическая кривая для описания экспериментов 2 и 3

Рисунок 3 - Зависимость вероятности правильного распознавания буквенного символа на экране от угла наблюдения для размера шрифта 11



○ ○ ○ Результаты эксперимента 2 при освещенности 47…68 лк

× × × Результаты эксперимента 3 при освещенности менее 46 лк

Аналитическая кривая для описания экспериментов 2 и 3

Рисунок 4 - Зависимость вероятности правильного распознавания буквенного символа на экране от угла наблюдения для размера шрифта 14.

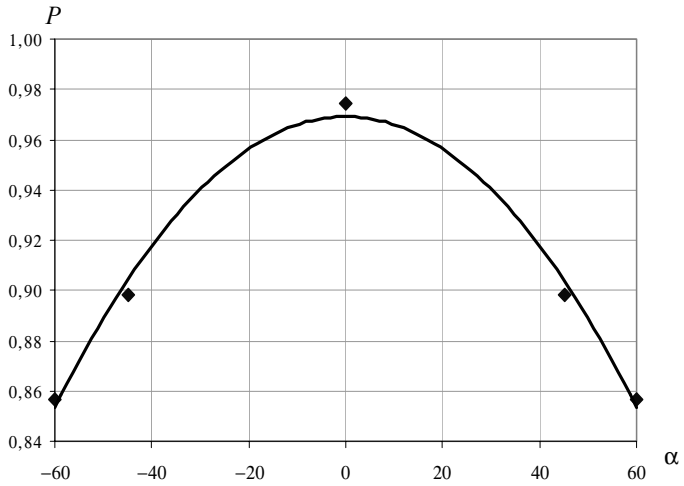


Рисунок 5 - Зависимость вероятности правильного распознавания цифр от угла наблюдения в интервале освещенностей 17…70 лк

$$P = A - \frac{D}{\sqrt{C - B \cdot \alpha^2}}$$ - для букв

$$P = A - B \cdot \alpha^2$$ - для цифр (5)

где α – угол в градусах между направлением наблюдения и перпендикуляром к плоскости монитора, *A*, *B*, *C*, *D* – коэффициенты, зависящие от размера шрифта и освещенности (таблица 1):

Таблица 1 - **Зависимость коэффициентов от размера шрифта и освещенности**

<table>
<tr><th rowspan="2">Размер шрифта</th><th rowspan="2">Освещенность, лк</th><th colspan="4">коэффициенты</th></tr>
<tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Буквы, Arial 8</td><td>47…68</td><td>0,94</td><td rowspan="2">1,35</td><td rowspan="5">3600</td><td>21,6</td></tr>
<tr><td>менее 46 и 69…90</td><td>1,18</td><td>17,3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Буквы, Arial 11</td><td>менее 69</td><td>1,25</td><td rowspan="2">0,94</td><td>21,6</td></tr>
<tr><td>69…90</td><td>1,34</td><td>23,1</td></tr>
<tr><td>Буквы, Arial 14</td><td>менее 68</td><td>1,32</td><td>0,94</td><td>21,6</td></tr>
<tr><td>Цифры, Times New Roman 12</td><td>17…70</td><td>0,97</td><td>$3{,}00 \cdot 10^{-5}$</td><td>-</td><td>-</td></tr>
</table>

Из экспериментальных данных видно, что значение коэффициента *D* слабо влияет на вероятность распознавания буквенного символа. Однако из-за недостатка статистических данных нельзя точно определить эту зависимость.

1 Павлов Н.И., Воронин Ю.М. Вероятность обнаружения объектов на экране монитора оптико-электронной системы наблюдения – Оптический журнал, 1994, № 7, с. 3-7.

2 Варламов А.В., Кисиленко Г.А., Хорев А.А., Федоринов А.Н. Технические средства видовой разведки – М.: РВСН, 1997, 327 с.