Следующим методом является метод Куттера-Джордана-Боссена. Так же его называют методом «креста» [1,4,16,17]. Он основан на свойстве зрительной системы человека, заключающемся в низкой чувствительности к изменениям яркости синего цвета, относительно красного и зеленого. Поэтому для скрытия информации используется составляющая синего цвета пустого контейнера.

Ниже будут использоваться следующие обозначения:

$B_{x,y}$ — яркость синего цвета пикселя с координатами (x, y);

$B_{x,y}'$ — изменённая яркость синего цвета пикселя с координатами (x, y);

$\overline{B}_{x,y}$ — прогнозируемая яркость синего цвета пикселя с координатами (x,y)

V — константа, определяющая энергию встраиваемого сигнала;

M_i — i-ый бит встраиваемого сообщения;

$\lambda_{x,y}$ — яркость пикселя с координатами (x, y);

σ — количество пикселей от оцениваемого пикселя (σ=3).

Рассмотрим процесс встраивания:

Бит M_i встраивается в синюю составляющую с помощью модификации яркости $\lambda_{x,y} = 0{,}2989 \cdot R_{x,y} + 0{,}58662 \cdot G_{x,y} + 0{,}11448 \cdot B_{x,y}$ следующим образом:

$$B_{x,y}' = \begin{cases} B_{x,y} - V \cdot \lambda_{x,y}, при \ \ M_i = 0 \\ B_{x,y} + V \cdot \lambda_{x,y}, при \ \ M_i = 1 \end{cases} = B_{x,y} + (2 \cdot M_i - 1) \cdot V \cdot \lambda_{x,y}$$

Чем выше V, тем более устойчиво встраиваемое сообщение к искажениям, но тем заметнее оно становится. Оптимальным считается значение V=0,15.

Процесс извлечения происходит «вслепую», так как у принимающей стороны нет исходного контейнера и нет возможности узнать, как изменилась яркость синего. Поэтому происходит прогнозирование значения яркости синего цвета на основе соседних пикселей. Для этого используются несколько пикселей из этой же строки и столбца массива, в нашем случае используется «крест» 7x7 пикселей (Рисунок 10). Получаем:

$$\overline{B}_{x,y} = \frac{1}{4 \cdot \sigma} \cdot \left[\sum_{i=-\sigma}^{+\sigma} B_{x+i,y}' + \sum_{j=-\sigma}^{+\sigma} B_{x,y+j}' - 2 \cdot B_{x,y}' \right]$$

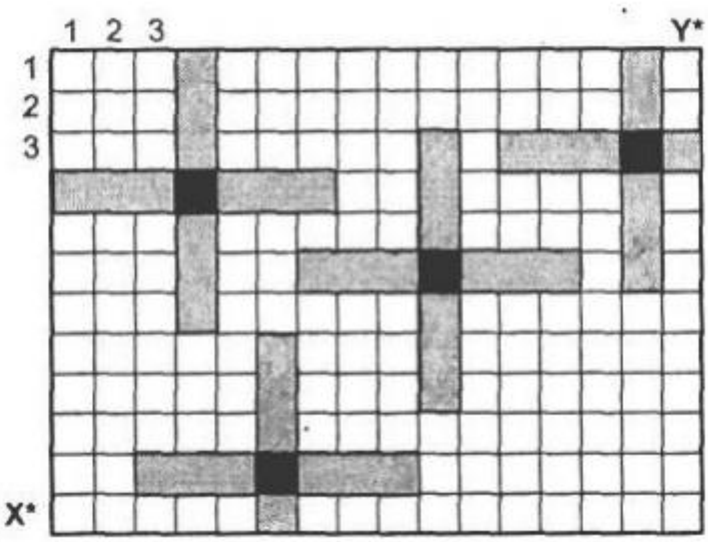

Рисунок 10 – Примеры оценки пикселей

Далее вычисляем разницу δ между существующим и спрогнозированным значениями пикселя:

$$\delta = B_{x,y}{}' - \overline{B}_{x,y}$$

Получаем: если $\delta < 0$, то $M_i = 0$; а если $\delta > 0$, то $M_i = 1$.

Так как процедура извлечения не является симметричной процедуре встраивания, то удачное извлечение не является стопроцентным. Поэтому для уменьшения вероятности ошибок используется многократное встраивание, т.е. каждый бит встраивается несколько раз. Получаем, что каждый бит встроен τ раз, и у нас есть τ оценок одного бита сообщения. Тогда секретный бит извлекается следующим образом:

$$\delta = \tau^{-1} \cdot \sum_{i=1}^{\tau} \left[B_{x,y}{}' - \overline{B}_{x,y} \right].$$

Как и выше, знак δ будет определять значение извлекаемого бита.

Алгоритм устойчив к НЧ фильтрации изображения, сжатию, обрезанию краев (Рисунок 11). Так же имеет высокую пропускную способность.

а) б) в)

Рисунок 11 – Метод Куттера-Джордана-Боссена:

а) пустой контейнер, б) заполненный контейнер, в) скрываемое сообщение

С полным кодом метода Куттера-Джордана-Боссена можно ознакомиться в Приложение А.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Программный код метода Куттера-Джордана-Боссена

Процесс встраивания:

$C := \mathrm{READRGB}(\text{"G:\textbackslash img7\textbackslash orig.bmp"})$

$M := \text{"Pierre did not choose a career"}$

$B := \mathrm{READ\_BLUE}(\text{"G:\textbackslash img7\textbackslash orig.bmp"})$

$R := \mathrm{READ\_RED}(\text{"G:\textbackslash img7\textbackslash orig.bmp"})$

$G := \mathrm{READ\_GREEN}(\text{"G:\textbackslash img7\textbackslash orig.bmp"})$

$Lm := \mathrm{strlen}(M) = 30$

$Y := \mathrm{cols}(B)$

$X := \mathrm{rows}(B)$

$\lambda := \mathrm{READBMP}(\text{"G:\textbackslash img7\textbackslash orig.bmp"})$

$v := 0.15$

$\tau := 15$

$Rr := 4$

$Ko := 125$

$$
K := \left|\begin{array}{l}
\text{for } s \in 1..2\cdot Rr \\
\quad \left|\begin{array}{l}
K_s \leftarrow Ko \ \text{ if } s = 1 \\
K_s \leftarrow \mathrm{str2num}\left[\mathrm{substr}\left[\mathrm{num2str}\left[\left(K_{s-1}\right)^2\right], 0, 3\right]\right] \ \text{ if } s > 1 \\
K_s \leftarrow \mathrm{str2num}\left(\mathrm{substr}\left(\mathrm{num2str}\left(K_s\right), 0, 2\right)\right) \ \text{ if } K_s > 255
\end{array}\right. \\
K
\end{array}\right.
$$

$$
B' := \left|\begin{array}{l}
B' \leftarrow B \\
Mvec \leftarrow \mathrm{str2vec}(M) \\
Mvec\_bin \leftarrow D2B\left(Mvec_1\right) \\
\text{for } j \in 2..\mathrm{rows}(Mvec) \\
\quad Mvec\_bin \leftarrow \mathrm{stack}\left(Mvec\_bin, D2B\left(Mvec_j\right)\right) \\
\text{for } i \in 1..\tau \cdot Lm \cdot 8 \\
\quad \left|\begin{array}{l}
x \leftarrow \mathrm{floor}\left(\dfrac{i}{Y}\right) + 1 \\
y \leftarrow \mathrm{mod}(i, Y) + 1 \\
\text{for } s \in 1..Rr \\
\quad \left|\begin{array}{l}
x \leftarrow \mathrm{mod}\left[x + B2D\left[\overrightarrow{\left(D2B\left(K_{2\cdot s-1}\right) \oplus \mathrm{submatrix}(D2B(y), 1, 8, 1, 1)\right)}\right], X\right] + 1 \\
y \leftarrow \mathrm{mod}\left[y + B2D\left[\overrightarrow{\left(D2B\left(K_{2\cdot s}\right) \oplus \mathrm{submatrix}(D2B(x), 1, 8, 1, 1)\right)}\right], Y\right] + 1
\end{array}\right. \\
j \leftarrow \mathrm{ceil}\left(\dfrac{i}{\tau}\right) \\
B'_{x,y} \leftarrow B_{x,y} + \left(2 \cdot Mvec\_bin_j - 1\right) \cdot v \cdot \lambda_{x,y} \\
B'_{x,y} \leftarrow 255 \ \text{ if } B'_{x,y} > 255 \\
B'_{x,y} \leftarrow 0 \ \text{ if } B'_{x,y} < 0
\end{array}\right. \\
B'
\end{array}\right.
$$

$S' := \mathrm{augment}(R, G, B')$

WRITERGB("G:\img7\res1.bmp") := S'

$W := C - S'$

WRITERGB("G:\img7\soob1.bmp") := W

Процесс извлечения:

Bb := READ_BLUE("G:\img7\res1.bmp")

$Y1 := \mathrm{cols}(Bb)$

$X1 := \mathrm{rows}(Bb)$

$\sigma := 3$

$Rr := 4$

$$
\begin{aligned}
\mathrm{Mm} := \; & t \leftarrow 1 \\
& \text{for } i \in 1 .. X1 \cdot Y1 \\
& \quad x \leftarrow \mathrm{floor}(i \div Y1) + 1 \\
& \quad y \leftarrow \mathrm{mod}(i, Y1) + 1 \\
& \quad \text{for } s \in 1 .. Rr \\
& \qquad x \leftarrow \mathrm{mod}\left[x + \mathrm{B2D}\left[\overrightarrow{\left(\mathrm{D2B}\left(K_{2 \cdot s-1}\right) \oplus \mathrm{submatrix}(\mathrm{D2B}(y), 1, 8, 1, 1)\right)}\right], X1\right] + 1 \\
& \qquad y \leftarrow \mathrm{mod}\left[y + \mathrm{B2D}\left[\overrightarrow{\left(\mathrm{D2B}\left(K_{2 \cdot s}\right) \oplus \mathrm{submatrix}(\mathrm{D2B}(x), 1, 8, 1, 1)\right)}\right], Y1\right] + 1 \\
& \quad \text{if } \sigma < x \le (X1 - \sigma) \\
& \qquad \sigma 1 \leftarrow (-\sigma) \\
& \qquad \sigma 2 \leftarrow \sigma \\
& \quad \text{if } x \le \sigma \\
& \qquad \sigma 1 \leftarrow (1 - x) \\
& \qquad \sigma 2 \leftarrow \sigma \\
& \quad \text{if } x > (X1 - \sigma) \\
& \qquad \sigma 1 \leftarrow (-\sigma) \\
& \qquad \sigma 2 \leftarrow (X1 - x) \\
& \quad \text{if } \sigma < y \le (Y1 - \sigma) \\
& \qquad \sigma 3 \leftarrow (-\sigma) \\
& \qquad \sigma 4 \leftarrow \sigma \\
& \quad \text{if } y \le \sigma \\
& \qquad \sigma 3 \leftarrow (1 - y) \\
& \qquad \sigma 4 \leftarrow \sigma \\
& \quad \text{if } y > (Y1 - \sigma) \\
& \qquad \sigma 3 \leftarrow (-\sigma) \\
& \qquad \sigma 4 \leftarrow (Y1 - y) \\
& \quad Bb'_t \leftarrow \frac{\left[\left(\sum_{a=\sigma 1}^{\sigma 2} Bb_{x+a, y}\right) + \left(\sum_{a=\sigma 3}^{\sigma 4} Bb_{x, y+a}\right) - 2 \cdot Bb_{x, y}\right]}{(\sigma 2 - \sigma 1 + \sigma 4 - \sigma 3)} \\
& \quad Bbb_t \leftarrow Bb_{x, y} \\
& \quad t \leftarrow t + 1 \\
& \quad \text{if } t > \tau \\
& \qquad \delta \leftarrow \frac{1}{\tau} \cdot \sum_{T=1}^{\tau} \left(Bbb_T - Bb'_T\right) \\
& \qquad j \leftarrow \mathrm{ceil}(i \div \tau)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{array}{l}
\quad \quad \quad M'vec\_bin_j \leftarrow 0 \;\; \text{if} \;\; \delta \le 0 \\
\quad \quad \quad M'vec\_bin_j \leftarrow 1 \;\; \text{if} \;\; \delta > 0 \\
\quad \quad \quad t \leftarrow 1 \\
\text{for} \;\; j \in 1 .. \text{rows}(M'vec\_bin) \div 8 \\
\quad M'vec_j \leftarrow \text{B2D}(\text{submatrix}(M'vec\_bin, 8 \cdot j - 7, 8 \cdot j, 1, 1)) \\
M'vec
\end{array}
$$

$$
M' := \left|
\begin{array}{l}
\text{for} \;\; j \in 1 .. \text{strlen}(M) \\
\quad M'_j \leftarrow \left| \begin{array}{l} (Mm_j) \;\; \text{if} \;\; (Mm_j \ne 31) \\ 32 \;\; \text{otherwise} \end{array} \right. \\
\text{vec2str}(M')
\end{array}
\right.
$$

$M' = $ "Pierre did not choose a career"