

РАСКРАСКА ГРАНЕЙ МНОГОУГОЛЬНЫХ ГРАФОВ

Задание

- Разработать программу раскраски граней многоугольного графа плоской прямолинейной укладки любого заданного правильного или полуправильного многогранника.
- Требуемая фигура должна формироваться по массивам его вершин, граней и ребер, которые определяют их взаимное расположение в графическом окне программы. При этом положение каждой вершины должно фиксироваться ее координатами в условных единицах, пропорциональных размеру графического окна программы, по заданной схеме.
- Для каждой грани должны быть указаны список номеров и число их вершин. Все ребра должны быть заданы списком инциденций из пар номеров своих вершин (или перечислены в минимальном наборе цепей из них, которые специфицированы списками номеров смежных вершин).
- Закодированное таким образом изображение должно симметрично располагаться в графическом окне и пропорционально реконфигурироваться при любых изменениях его размера.
- При любых реконфигурациях размер графического окна программы должен быть ограничен сверху габаритами экрана дисплея, а его минимальный размер должен быть установлен из расчета визуальной различимости граней заданной фигуры.

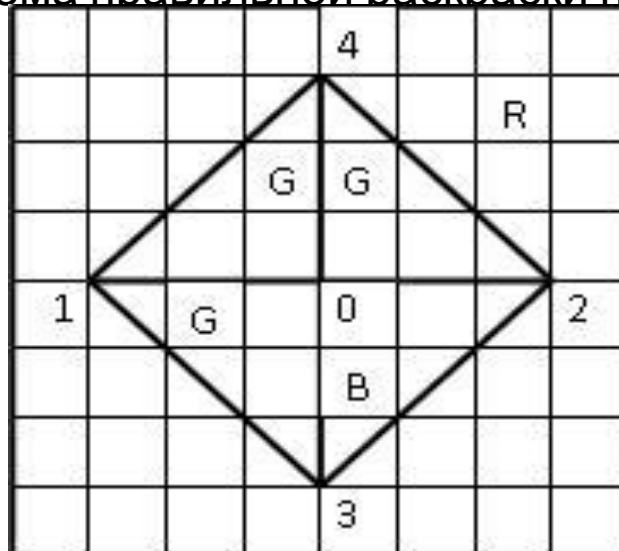
Алгоритм действий в графическом окне

- В начале выполнения программы графическое окно должно быть занимать четверть площади экрана в его центре, а все грани изображения графа в нем должны иметь одинаковый цвет фона.
- Изменение цвета каждой грани должно осуществляться по щелчку любой кнопки мыши, когда ее курсор находится внутри грани. Для раскраски граней в программе должна быть распределена палитра из $n=4$ различных цветов (плюс еще один цвет для изображения вершин и ребер).
- Чтобы установить необходимый цвет для любой грани в программе должен быть реализован циклический перебор цветов палитры с перекраской указанной грани последовательно в каждый из них по щелчку любой кнопки мыши. Кроме того, следует предусмотреть перезагрузку изображения графа с перекраской в одинаковый фоновый цвет всех граней по нажатию клавиши ESC на клавиатуре, а также принудительную перерисовку графического окна по нажатию комбинации клавиш ALT-ESC с сохранением раскраски граней.
- Завершение программы должно происходить по нажатию клавиши F10 клавиатуре. При разработке программы должна быть реализована обработка соответствующих событий и изображений в ее графическом окне с многоугольными регионами для граней графа. Для этого следует применить библиотечные функции базового программного интерфейса X Window System. При выполнении программы требуется построить правильную раскраску граней заданной фигуры многоугольного графа минимальным числом цветов, когда все смежные грани имеют различные цвета.
- Для интерактивной раскраски различных многоугольных графов могут быть разработаны функционально идентичные программы. Все они будут различаться только по коду пары конфигурационных функций с координатными и структурными данными, которые допускают техническую переделку по шаблону.

Программа для раскраски графа пирамиды

- граф пирамиды имеет 5 вершин, 8 ребер, 4 внутренние 3-угольные боковые грани и 4-угольное основание внешней грани. Плоская укладка многоугольного графа пирамиды показана на следующей схеме в координатной сетке из (8x8) клеток с произвольной нумерацией вершин его вершин, где RGB литеры граней обозначают цвета их правильной раскраски:

- Схема правильной раскраски пирамиды



Структура программы раскраски графа

- Исходный текст этой программы раскраски графа целесообразно разделить на 3 модуля из геометрических, дисплейных и контролирующих прикладных функций. Декларации их информационных структур и макроопределение их констант следует сосредоточить в заголовочном файле "polyhedron.h", который включается в каждый функциональный модуль директивой include. Он начинается подключением системных заголовков базового интерфейса и утилит X-графики следующими директивами:

```
#include <X11/Xlib.h>
#include <X11/Xutil.h>
```

- Для вершин и ребер используются типовые графические структуры XPoint и XSegment , которые переименовываются в XVertex и XEdge следующими директивами:

```
typedef XPoint XVertex;      /* Структура вершины */
typedef XSegment XEdge;     /* Структура ребра */
```

Структура многоугольного графа

- Для спецификации граней многоугольного графа декларируется следующая собственная структура XFace:

```
typedef struct { /* Структура грани */
  XPoint *top; /* Адрес набора вершин */
  int Cn; /* Число вершин */
  int tone; /* Номер цвета */
  Region zone; /* Региональная зона */
}XFace;
```

- Геометрическую модель многоугольного графа, в которой адресованы его перечисленные компоненты, декларирует следующая программная структура XPolyGraph:

```
typedef struct { /* Структура многоугольного графа */
  XVertex* vertex; /* Адрес массива вершин */
  XEdge* edge; /* Адрес массива ребер */
  XFace* face; /* Адрес массива граней */
} XPolyGraph;
```

Поля структуры XPolyGraph

Поля структуры XPolyGraph предназначены для адресации одноименных статических массивов геометрического модуля. Их размеры фиксируют число вершин, ребер и внутренних граней (плюс одна внешняя грань) на схеме графа макросами NVERT, NEDGE и NFACE, которые вычисляются в заголовочном файле. Этим вычислениям предшествует макроопределение константы MB0 для числа вершин внешней грани и констант NFm, каждая из которых фиксирует число m-угольных внутренних граней по схеме графа, причем, обычно $3 \leq m \leq 8$. В частности, для графа пирамиды требуются следующие макроопределения, а для произвольного графа нужно снять некоторые комментарии в соответствии с его конфигурационной схемой:

- `#define MB0 4 /* 4-угольная внешняя грань */`
- `#define NF3 4 /* 4 3-угольные внутренние грани */`
- `/* #define NF4 0 */ /* 0 4-угольных внутренних граней */`
- `/* #define NF5 0 */ /* 0 5-угольных внутренних граней */`
- `/* #define NF6 0 */ /* 0 6-угольных внутренних граней */`
- `/* #define NF7 0 */ /* 0 7-угольных внутренних граней */`
- `/* #define NF8 0 */ /* 0 8-угольных внутренних граней */`

Расчет значений угольных констант для других графов

- Для других графов эти значения угольных констант должны быть изменены, но в любом варианте они обеспечивают конструктивное определение числа вершин, ребер и граней по соотношениям многоугольных графов. Проще всего найти число внутренних граней NFACE. Его определяет сумма внутренних угольников плоской укладки. Для графа пирамиды в этой сумме остаются только NF3 3-угольников и макроопределение числа граней имеет вид:

```
#define NFACE (NF3) /* (NF3+ NF4+ NF5 \
+ NF6+ NF7+NF8) */
```

- Число ребер NEDGE любого многоугольника графа определяет половина суммарной угольности граней. Для пирамиды вместе с угольностью внешней грани MB0 учитываются опять только NF3 3-угольников. Поэтому макроопределение числа ребер имеет следующий вид, а комментарий показывает расчетную формулу для общего случая:

```
#define NEDGE ((3*NF3 + MB0)/2) /* ((3*NF3 + 4*NF4 \
+ 5*NF5 + 6*NF6 \
+ 7*NF7 + 8*NF8 \
+ MB0)/2) */
```

- Число ребер, согласно формуле Эйлера для любого плоского графа, на два меньше суммы числа вершин и граней (с учетом внешней грани). Вычисление числа вершин NVERT по Эйлеру обеспечивает следующее макроопределение:

```
#define NVERT (NEDGE-(NFACE+1)+2) /* V+F-E=2 */
```

Макроопределения инвариантных констант, не зависящих от структуры графа

- Кроме указанных топологических констант графа, заголовочный файл содержит следующие макроопределения инвариантных констант, которые не зависят от структуры графа:
-
- `#define NTONE 4 /* число цветов граней графа */`
- `#define DEFTONE 0 /* номер цвета грани по умолчанию */`
- `#define VDOT 8 /* диаметр вершин графа */`
- `#define EWIDTH 2 /* толщина ребер графа (<VDOT) */`
- `#define NUNIT 8 /* диапазон градуировка схемы %8=0*/`
-

Спецификация прототипов всех прикладных функций с разделением их по модулям

- Многогранный заголовочный файл завершает спецификацию прототипов всех прикладных функций с разделением их по модулям:

- `/*Геометрический модуль (pyramid1) */`

```
int assoc(XPolyGraph*);
```

```
GC congraph(Display*);
```

```
Window wingraph(Display*, char*);
```

```
int colorite(Display*);
```

```
int regraph(Display*, Window, GC, int);
```

```
int reset(Display*, Window, int);
```

```
int reface(Display*, Window, GC, int);
```

```
/*Дисплейный модуль (pyramid2) */
```

```
int relink(XPolyGraph*);
```

```
int retrace();
```

```
int resize(unsigned, unsigned);
```

```
int rescale(unsigned, unsigned);
```

```
int rebuild();
```

```
int reconf(unsigned, unsigned);
```

```
int zotone(int, int);
```

```
/*Контрольный модуль (pyramid0) */
```

```
int rekey(XEvent*);
```

```
int dispatch(Display*, Window, GC);
```

```
int main(int, char* argv[]);
```

Структура геометрического модуля

- В геометрический модуль входят 7 прикладных функций для формирования и обработки геометрической модели многоугольного графа по его программной структуре XPolyGraph. Их информационную связь обеспечивают внешние статические массивы и структуры. Исходный код модуля начинает подключение многоугольного заголовка графа следующей директивой:

```
#include "polyhedron.h"
```

- После заголовка вводятся следующие статические массивы структур вершин, ребер и граней графа для их адресации в одноименных полях его структуры XPolyGraph:

```
static XVertex vertex[NVERT];      /* массив вершин */  
static XEdge edge[NEDGE];          /* массив ребер */  
static XFace face[(NFACE+1)];     /* массив граней */
```

- Эти массивы образуют инвариантную часть геометрической модели графа, которая не зависит от его топологии. Их требуется дополнить координатными массивами вершин равноугольных граней, набор и размер которых определяет конфигурация многоугольного графа. Для графа пирамиды, который имеет только $NF3=4$ (боковые) 3-угольные внутренние грани, определяется следующий массив для пар координат их вершин:

```
static XPoint face3[NF3][(3+1)];
```

Задание координатных массивов вершин равноугольных граней

- Ряды пар координат вершин каждой грани этого массива адресуются (топовыми) полями (top) структуры граней XFace и составляют топозависимую часть геометрической модели графа, которую определяет его топология и конфигурация. Для любого заданного графа нужно заявить аналогичные координатные массивы его m -угольных граней ($3 \leq m \leq 8$), выбрав соответствующие строки из следующего блока комментария:
- `/* static XPoint face4[NF4][(4+1)]; */`
- `/* static XPoint face5[NF4][(4+1)]; */`
- `/* static XPoint face6[NF4][(4+1)]; */`
- `/* static XPoint face7[NF4][(4+1)]; */`
- `/* static XPoint face8[NF8][(8+1)]; */`
- Сегмент внешних статических данных геометрического модуля завершает декларация измерительной структуры для установки масштаба графа по горизонтали и вертикали, который зависит от размеров окна программы. Соответствующие коэффициенты масштабирования задают размеры клеток градуировки схемы графа в пикселях графического окна полями следующей внешней графической структуры:
- `static XPoint scale; /*структура масштаба по X и Y */`

Ряды пар координат вершин каждой грани этого массива адресуются (топовыми) полями (top) структуры граней XFace и составляют топозависимую часть геометрической модели графа, которую определяет его топология и конфигурация.

Координатные массивы его m -угольных граней ($3 \leq m \leq 8$) для любого графа

- Для любого заданного графа нужно заявить аналогичные координатные массивы его m -угольных граней ($3 \leq m \leq 8$), выбрав соответствующие строки из следующего блока комментария:

```
/* static XPoint face4[NF4][(4+1)]; */  
/* static XPoint face5[NF4][(4+1)]; */  
/* static XPoint face6[NF4][(4+1)]; */  
/* static XPoint face7[NF4][(4+1)]; */  
/* static XPoint face8[NF8][(8+1)]; */
```

- Сегмент внешних статических данных геометрического модуля завершает декларация измерительной структуры для установки масштаба графа по горизонтали и вертикали, который зависит от размеров окна программы. Соответствующие коэффициенты масштабирования задают размеры клеток градуировки схемы графа в пикселях графического окна полями следующей внешней графической структуры:

- `static XPoint scale; /*структура масштаба по X и Y */`

- ($3 \leq m \leq 8$), выбрав соответствующие строки из следующего блока комментария:

```
/* static XPoint face4[NF4][(4+1)]; */  
/* static XPoint face5[NF4][(4+1)]; */  
/* static XPoint face6[NF4][(4+1)]; */  
/* static XPoint face7[NF4][(4+1)]; */  
/* static XPoint face8[NF8][(8+1)]; */
```

Сегмент внешних статических данных геометрического модуля завершает декларация измерительной структуры для установки масштаба графа по горизонтали и вертикали, который зависит от размеров окна программы. Соответствующие коэффициенты масштабирования задают размеры клеток градуировки схемы графа в пикселях графического окна полями следующей внешней графической структуры:

```
static XPoint scale; /*структура масштаба по X и Y */
```

Функциональный блок геометрического модуля. Прикладная функция assoc

- Функциональный блок геометрического модуля начинается с прикладной функции assoc. Ее первой вызывает основная функция main, чтобы ассоциировать поля вершин, ребер и граней структуры графа XPolyGraph с одноименными статическими массивами геометрического модуля. Такая ассоциация обеспечивает распределение статической памяти программы для геометрической модели графа, адрес структуры которой передается в функцию assoc. Исходный код функции assoc имеет следующий вид.
- `/* Модельная ассоциация структуры полиграфа */`
- `int assoc(XPolyGraph* pg) {`
- `pg->vertex = vertex; /* адресация массива вершин */`
- `pg->edge = edge; /* адресация массива ребер */`
- `pg->face = face; /* адресация массива граней */`
- `retrace(); /* трассировка граней */`
- `return(0);`
- `} /* assoc */`

После ассоциации адресов функция assoc вызывает функцию retrace, которая обеспечивает трассировку массива граней геометрической модели графа XPolyGraph для инициализации полей их структур XFace. При этом в top-поля указанных структур адресуются статические массивы для координат вершин внутренних равноугольных граней как face3 у графа пирамиды.

Трассировка рав(з)ноугольных граней в 1 массив

- В общем случае исходный код функции трассировки `retrace` образует набор циклов адресации и инициализации для всех равноугольных граней со сквозной индексацией их номеров i в порядке роста числа их вершин. Для графа пирамиды, в частности, требуется только один цикл по 3-угольным граням.

```
/* КОД ФУНКЦИИ ЗАВИСИТ ОТ ГРАФА */
int retrace() {
int i=0;    /* сквозной индекс равноугольных граней */
int j;      /* индекс равноугольных граней */
for(j = 0; j<NF3; j++, i++) { /* 3-угольная трассировка */
    face[i].top = face3[j];    /* адрес массива вершин */
    face[i].Cn = 3;           /* число вершин грани=3 */
    face[i].tone = DEFTONE;   /* цветной индекс грани */
    face[i].zone = XCreateRegion(); /* пустой регион */
} /* face3 */
/* for(j = 0; j < NFm; j++, i++) { ... } */ /* для m>3 */
face[i].tone = DEFTONE;      /* цвет внешней грани */
return(0);
} /* retrace */
```

Вычисление и заполнение координатных данных во всех полях структуры `XPolyGraph` геометрической модели графа осуществляет функция `rebuild`. Она вызывается из функции `reconf` при отработке габаритных реконфигураций графического окна. Для пересчета координат функция `rebuild` использует свои внутренние статические массивы, которые кодируют конфигурацию вершин, ребер и равноугольных граней по заданной схеме графа.

Перестройка модельной геометрии графа

```
/* КОД ФУНКЦИИ ЗАВИСИТ ОТ ГРАФА */

int rebuild() {
static XPoint vconf[] = { /* Конфигурация вершин */
    {4, 4}, {1, 4}, {7, 4}, {4, 7}, {4, 1} /* схеме пирамиды */
}; /* vconf */
static int fconf3[NF3][(3+1)] = { /* Циклические */
    {0, 4, 2, 0}, /* индексы вершин для */
    {0, 1, 4, 0}, /* 3-угольных граней пирамиды */
    {0, 3, 1, 0},
    {0, 2, 3, 0}
}; /* fconf3 */
/* static int fconfM[NF4][(4+1)] = { ... }; */
/* ... координатные массивы [4-8]-угольных граней */
/* static int fconf8[NF8][(8+1)] = { ... }; */
static int econf[NEDGE][2] = { /* Пары вершин ребер: */
    {0, 1}, {0, 2}, {0, 3}, {0, 4}, /* инцидентные V0 */
    {1, 3}, {1, 4}, /* инцидентные V1 */
    {2, 3}, {2, 4} /* инцидентные V2 */
}; /* edge */
int i, j; /* индексы вершин, ребер и граней */
for(i = 0; i < NVERT; i++) { /* Расчет оконных */
    vertex[i].x = scale.x * vconf[i].x; /* координат */
    vertex[i].y = scale.y * vconf[i].y; /* вершин */
} /* for-vertex */
fconf[i][0] = NEDGE; /* ... */
}
```

Исходный текст функции rescale

- Рассмотренная функция rebuild вызывается при изменении коэффициентов масштабирования изображения графа в окне программы. Их значения вычисляет функция rescale по габаритам окна в своих аргументах и числу делений градуировки схемы графа NUNIT. Результаты вычислений фиксируют поля масштабной структуры scale. Код возврата функции rescale позволяет контролировать наличие изменений масштаба. Если масштаб изменился, возвращается число граней NFACE. Возврат 0 означает сохранение масштаба при малых изменениях габаритов окна.

```
/* Контроль масштаба изображения */
```

```
int rescale(unsigned w, unsigned h) {  
    int x, y;    /* коэффициенты масштабирования по x и y */  
    x = w / NUNIT; y = h / NUNIT;    /* пересчет масштаба */  
    if((scale.x == x) && (scale.y == y))  
        return(0);    /* код сохранения масштаба */  
    scale.x = x; scale.y = y;    /* запомнить масштаб */  
    return(NFACE);    /* код изменения масштаба */  
} /* rescale */
```

Вычисление масштаба функцией rescale имеет смысл, когда изменяются габариты окна графа. Габаритный контроль окна выполняет функция resize, которой передаются его текущие размеры для сравнения с их прошлыми значениями в ее ВАК-структуре.

Габаритный контроль окна выполняет функция `resize`

Функция `resize` запоминает габариты окна из своих аргументов и завершается с кодом числа граней `NFACE`. Исходный текст функции `resize` имеет вид.

```
/* Контроль изменения размеров окна */
```

```
int resize(unsigned w, unsigned h) {  
    static XRectangle bak = {0, 0, 0, 0 }; /* прошлые размеры */  
    if((bak.width == w) && (bak.height == h))  
        return(0); /* код сохранения размеров окна */  
    bak.width = w; bak.height = h; /* запомнить размеры */  
    return(NFACE); /* код изменения размеров окна */  
} /* resize */
```

Комплексное использование функций `resize`, `rescale` и `rebuild` обеспечивает функция `reconf`. Ее вызывает диспетчер событий для обработки реконфигурации окна при изменении его размеров. Их текущие значения передаются в функцию `reconf` парой ее аргументов для контроля изменения размеров окна и масштаба изображения функциями `resize` и `rescale`. При их ненулевом возврате вызывается функция `rebuild`, которая модифицирует геометрическую модель графа для последующей перерисовки его изображения. В любом случае код возврата функции `reconf` определяется возвратом функции `resize` и используется для оптимизации серийных перерисовок графа. Исходный текст функции `reconf` имеет следующий вид.

Исходный текст функции reconf

```
/* Реконфигурация графа */  
  
int reconf(unsigned w, unsigned h) {  
if(resize(w, h) == 0)      /* Габаритный контроль */  
    return(0);  
if(rescale(w, h) != 0)    /* Контроль масштаба */  
    rebuild();           /* Перестройка геометрии графа */  
return(NFACE);  
} /* reconf */
```

Геометрический модуль завершает функция `zotone`, которую вызывает диспетчер событий при выборе грани курсором мыши с целью перекраски в другой цвет.

Начальный блок функции `zotone` обеспечивает реформацию регионов всех внутренних граней по топ-массивам координат их вершин последовательными запросами `XDestroyRegion` и `XPolygonRegion`, если был изменен масштаб изображения. Контроль масштаба по его структуре `scale` и внутренним ВАК-данным реализован как в функции `resize`. Когда `scale`- и ВАК-структуры совпадают по полям, регионы не изменяются. В любом случае, во втором блоке осуществляется региональный поиск грани по координатам ее внутренней точки, которые заданы аргументами функции `zotone`. Номер этой грани определяется по запросу `XPointInRegion` для полей `zone` регионов всех внутренних граней или равен `NFACE` для внешней грани. Конечный блок изменяет цветное поле `tone` этой грани, устанавливая для него следующее значение в циклическом порядке индексов цветов. Номер грани передает код возврата функции `zotone` для последующей ее перекраски в установленный цвет функцией `reface`. Исходный текст рассмотренной функции `zotone` имеет вид.

(X, Y)-идентификация грани для перекраски

```
int zotone(int x, int y) {
static XPoint bak = {0, 0};    /* прошлый масштаб */
int f = 0;                    /* индекс грани */
if((bak.x == scale.x) && (bak.y == scale.y)) /* Контроль */
    f = NFACE;                /* изменений масштаба изображения */
for( ; f < NFACE; f++) { /* Перестройка регионов граней */
    XDestroyRegion(face[f].zone);
    face[f].zone = XPolygonRegion(face[f].top, face[f].Cn, 0);
} /* for */
bak.x = scale.x; bak.y = scale.y; /* запомнить масштаб */
for(f = 0; f < NFACE; f++) /* поиск грани по точке внутри */
    if(XPointInRegion(face[f].zone, x, y) == True)
        break;
face[f].tone = (face[f].tone + 1) % NTONES; /* новый цвет */
return(f); /* возврат индекса грани для перекраски */
} /* zotone */
```

рассмотренный исходный код геометрического модуля зависит от конфигурации заданного графа и должен быть частично модифицирован. В частности, в сегмент данных требуется добавить (раскомментировать) декларации необходимых внешних статических массивов M-угольных граней faceM. В исходном коде функции retrace необходимо ввести циклы инициализации полей структур M-угольных граней. В функции rebuild нужно заполнить по схеме графа статические данные конфигурационных массивов вершин vconf и ребер econf. Кроме того, следует ввести и заполнить соответствующий набор массивов конфигурации fconfM всех M-угольных граней. Наконец, нужно добавить циклы заполнения координатных массивов M-угольных граней faceM по их конфигурационным эквивалентам fconfM в формате заполнения такого массива face3 по fconf3 для пирамиды. Других графозависимых изменений в геометрическом модуле, а также в остальных модулях программы нет.

Дисплейный модуль

В него входят 7 инвариантных функций, которые обеспечивают отображение многоугольного графа любой конфигурации в графическом окне программы, а также внешние статические переменные для их информационной связи. Исходный код дисплейного модуля начинается с подключения заголовка многоугольного графа следующей директивой:

```
#include "polyhedron.h"
```

Затем декларируются следующие адресные внешние переменные для общего доступа дисплейных функций к массивам вершин, ребер и граней геометрической модели графа, а также для палитры кодов цветов их изображения:

```
static XVertex *vertex;          /* адрес массива вершин */  
static XEdge *edge;             /* адрес массива ребер */  
static XFace *face;            /* адрес массива граней */  
static unsigned long palette[(NTONE+1)]; /* коды цветов */
```

Статические адреса `vertex`, `edge` и `face` являются косметическими алиасами одноименных адресных полей модельной структуры графа `XPolyGraph`, которые введены для удобства доступа. Инициализацию их значений обеспечивает функция `relink`, которую вызывает основная функция `main` для адресации структуры геометрической модели графа `XPolyGraph` в дисплейный модуль. Она имеет следующий исходный код.

Адресация модельных массивов графа

```
int relink(XPolyGraph *pg) {  
vertex = pg->vertex; /* адрес массива вершин */  
edge = pg->edge; /* адрес массива ребер */  
face = pg->face; /* адрес массива граней */  
return(0);  
} /* relink */
```

После адресации модельных данных инициализируется статический массив `palette`, который кодирует доступ дисплейных функций к палитре цветов экрана. Его заполняет функция `colorite`, которую вызывает основная функция `main` для распределения цветов раскраски граней и контура графа. Ее аргумент адресует дисплейную структуру `Display` для идентификации палитры цветов экрана по умолчанию дисплейным макросом `DefaultColormap`. Набор цветов палитры задают символьные строки внутреннего массива `spector` спецификаций их RGB-компонент, которые записаны цифровыми парами системы счисления по основанию 16 в традиционном формате обозначения цветных X-ресурсов ("`#RRGGBB`"). Вместо цифрового кода, цвета могут быть заданы своими текстовыми именами из ресурсного файла (обычно, `/usr/X11R6/lib/X11/rgb.txt`) X Window System. При желании из него могут быть выбраны и специфицированы произвольные цифровые коды или имена цветов для распределения с учетом ограничений по экранной палитре.

Для распределения заданных цветов в палитру по умолчанию используются графические запросы `XParseColor` и `XAllocColor` последовательно для каждого цвета спектра. Они заполняют поля цветной структуры `XColor` для числовых значений RGB-компонент (`red`, `green`, `blue`) и пиксельного кода цвета (`pixel`).

Распределение палитры цветов

```
int colorite(Display* dpy) {
int scr;          /* номер экрана (по умолчанию) */
Colormap cmap;   /* палитра (карта) цветов экрана */
XColor rgb;      /* цветная структура */
int i;           /* спектральный номер цвета */
static char* spector[] = { /* Спектр кодов (имен) цветов */
    "#ffffff", /* или "W(w)hite" (белый) */
    "#ff0000", /* или "R(r)ed" (красный) */
    "#00ff00", /* или "G(g)reen" (зеленый) */
    "#0000ff", /* или "B(b)lue" (синий) */
    "#000000"  /* или "B(b)lack" (черный) */
};              /* RGB-спецификация цветов */
scr = DefaultScreen(dpy); /* получить номер экрана (0) */
cmap = DefaultColormap(dpy, scr); /* экранная палитра */
for(i = 0; i < (NTONE+1); i++) { /* Спектральный цикл */
    XParseColor(dpy, cmap, spector[i], &rgb); /* -> RGB */
    XAllocColor(dpy, cmap, &rgb);          /* -> pixel-код */
    palette[i] = rgb.pixel; /* запомнить pixel-код цвета */
} /* for */
return(0);
• } /* colorite */
```

Настройка графического контекста

Для цветного рисования графа дисплейные функции используют графический контекст, который формирует сервисная функция `conggraph`. При этом за основу принимается графический контекст по умолчанию, который предоставляет дисплейный макрос `DefaultGC` для экрана по умолчанию. Его номер идентифицирует дисплейный макрос `DefaultScreen`. По запросу `XChangeGC` в структуре `XGCValues` параметров графического контекста переустанавливаются толщина линий для контура графа и цвет фона.

```
GC conggraph(Display* dpy) {
int scr = DefaultScreen(dpy);          /* номер экрана */
XGCValues gcval;                       /* параметры графконтекста */
GC gc;                                  /* идентификатор графконтекста */
gcval.line_width = EWIDTH;             /* толщина контура графа */
gcval.background = palette[DEFTONE];   /* код фона */
gc = DefaultGC(dpy, scr);              /* Установка графконтекста */
XChangeGC(dpy, gc, GLineWidth | GCBackground, &gcval);
return(gc);                             /* GC -> main */
} /* conggraph */
```

Еще одна сервисная функция `wingraph` вызывается из основной функции `main`, чтобы создать окно изображения графа. Окно создается по графическому запросу `XCreateWindow` в центре экрана и сначала занимает 1/4 его площади. Такие начальные размеры и положение окна вычисляются с помощью дисплейных макросов `DefaultWidth` и `DefaultHeight` для номера экрана по умолчанию, который сообщает дисплейный макрос `DefaultScreen`. Окно программы также является подокном корневого окна экрана, которое идентифицирует дисплейный макрос `DefaultRootWindow`, наследуя его визуальный класс (`CopyFromParent`) с числом цветовых плоскостей по умолчанию, установленное дисплейным макросом `DefaultDepth`.

Создание и настройка параметров графического окна

```
Window wingraph(Display* dpy, char* title) {
Window root; /* идентификатор корневого окна экрана */
int scr; /* номер экрана по умолчанию */
int depth; /* число цветовых плоскостей экрана */
Window win; /* идентификатор окна программы */
XSetWindowAttributes attr; /* структура атрибутов окна */
XSizeHints hint; /* геометрия оконного менеджмента */
int x, y; /* координаты окна */
unsigned w, h; /* габариты окна */
unsigned long mask; /* маска атрибутов окна */
mask = CWOverrideRedirect | CWBackPixel | CWEventMask;
attr.override_redirect = False; /* WM-контроль окна */
attr.background_pixel = palette[DEFTONE]; /* цвет фона */
attr.event_mask = (ButtonPressMask | KeyPressMask |
ExposureMask | StructureNotifyMask |
FocusChangeMask); /* Маска событий */
root=DefaultRootWindow(dpy); /* корневое окно */
scr = DefaultScreen(dpy); /* номер экрана */
depth=DefaultDepth(dpy, scr); /* глубина экрана */
w = DisplayWidth(dpy, scr) / 2; /* Расположить окно */
h = DisplayHeight(dpy, scr) / 2; /* площадью 1/4 экрана */
x = w / 2; y = h / 2; /* в центре экрана */
win = XCreateWindow(dpy, root, x, y, w, h, 1, depth,
InputOutput, CopyFromParent, mask, &attr);
hint.flags = (PMinSize | PPosition | PMaxSize); /* Задать */
hint.min_width = hint.min_height = (8*VDOT); /* поля */
hint.max_width = 2*w; hint.max_height = 2*h; /* для */
hint.x = x; hint.y = y; /* геометрического свойства WM */
XSetNormalHints(dpy, win, &hint); /* -> свойство WM */
XStoreName(dpy, win, title); /* Задать заголовок окна */
XMapWindow(dpy, win); /* Отобразить окно на экране */
```


Рисование графа в окне программы с помощью дисплейной функции regraph

Ее вызывает диспетчерская функция dispatch в цикле обработки событий после создания графического окна или потери изображения в нем. При вызове функции regraph передается адрес дисплейной структуры, идентификатор окна, графический контекст и флаг закрашки граней NoFillFace. Если NoFillFace=0, производится раскраска граней в их цвета по запросам XSetForeground и XFillPolygon.

Исходный код рассмотренной функции regraph имеет следующий вид:

```
/* Перерисовка контура и перекраска граней графа */

int regraph(Display* dpy, Window win, GC gc, int NoFillFace) {
int i;                /* счетчик вершин и граней */

/* Раскраска всех или 0 внутренних граней */

for(i = NoFillFace; i < NFACE; i++) {
  XSetForeground(dpy, gc, palette[face[i].tone]); /* цвет грани */
  XFillPolygon(dpy, win, gc, face[i].top, face[i].Cn,
              Convex, CoordModeOrigin);
} /* for face */

/* Перерисовка всех ребер и вершин */

XSetForeground(dpy, gc, palette[NTONE]); /* -> Black */
XDrawSegments(dpy, win, gc, edge, NEDGE);
for(i = 0; i < NVERT; i++)
  XFillArc(dpy, win, gc, vertex[i].x - (VDOT >> 1),
          vertex[i].y - (VDOT >> 1),
          VDOT, VDOT, 0, (64*360));

return(0);
} /* regraph */
```

Функция перерисовки граней

Для перерисовки отдельной грани после изменения ее цвета диспетчерская функция dispatch вызывает дисплейную функцию reface. При вызове ей передаются дисплейные параметры как в функцию regraph и номер грани для перерисовки (вместо флага закраски). Действие функции reface различается для внешней и внутренних граней графа. Перекраску внешней грани с номером NFACE обеспечивает вызов функции reset с аргументами функции reface. При этом происходит перезагрузка окна с переокраской его фона, который задает цвет внешней грани графа. Исходный текст функции reface имеет следующий вид.

```
/* Перекраска грани */

int reface(Display* dpy, Window win, GC gc, int f) {
int i;                /* счетчик вершин грани */
if(f == NFACE)      /* переокраска внешней грани */
    return(reset(dpy, win, f));
XSetForeground(dpy, gc, palette[face[f].tone]);
XFillPolygon(dpy, win, gc, face[f].top, face[f].Cn,
              Convex, CoordModeOrigin); /* Перекраска */
XFlush(dpy);        /* внутренней грани */

/* Перерисовка контура грани */

XSetForeground(dpy, gc, palette[NTONE]); /* -> Black*/
XDrawLines(dpy, win, gc, face[f].top, face[f].Cn + 1,
            CoordModeOrigin); /* перерисовка ребер */
for(i = 0; i < face[f].Cn; i++) /* перерисовка вершин */
    XFillArc(dpy, win, gc, face[f].top[i].x - (VDOT/2),
              face[f].top[i].y - (VDOT/2),
              VDOT, VDOT, 0, (64*360));

return(0);
} /* reface */
```

Дисплейная функция reset

Дисплейная функция reset обеспечивает перезагрузку окна программы по клавиатурным сигналам в диспетчере событий dispatch или для перекраски внешней грани в функции reface. В любом случае ей передаются дисплейный адрес, идентификатор окна и параметр FillFace, который определяет результат перезагрузки. Если FillFace=0 (False), то фоновые индексы всех граней устанавливаются по цвету внешней грани для отмены раскраски. Когда FillFace=NFACE (True), они сохраняют свои значения, чтобы восстановить (освежить) раскраску всех внутренних граней. В обоих случаях запрос XSetWindowBackground переустанавливает фон графического окна в цвет внешней грани, который реализуется очисткой всей области окна по запросу XClearArea с нулевыми геометрическими параметрами. При этом значение True его последнего параметра генерирует событие типа Expose как при потере изображения в графическом окне программы. Функция reset выполняет больше действий, чем непосредственно специфицирует ее исходный код, который имеет следующий вид.

```
• /* Перегрузка раскраски граней */
•
• int reset(Display* dpy, Window win, int FillFace) {
• int f = FillFace; /* индекс грани */
• /* Сохранить или Установить цвета внутренних граней */
• for( ; f < NFACE; f++) /* по фону */
• face[f].tone = face[NFACE].tone; /* внешней грани */
• /* Установить фон окна и инициировать Expose */
• XSetWindowBackground(dpy, win, palette[face[f].tone]);
• XClearArea(dpy, win, 0, 0, 0, 0, True); /* -> Expose */
• return(f);
• } /* reset */
```

Диаграмма управления функций модулей

Контрольный модуль составляют функции диспетчеризации событий `dispatch`, обработки клавиатурных сигналов `rekey` и основная функция `main`. Эти 3 функции обеспечивают вызов всех функций дисплейного и геометрического модулей с передачей им информационных структур графа для отображения и модельной обработки.

Исходный текст контрольного модуля начинается следующими директивами подключения системных заголовочных файлов с логическими макрокодами клавиш X-графики и прикладного заголовка многоугольного графа:

```
#include <X11/keysym.h>
#include <X11/keysymdef.h>
#include "polyhedron.h"
```

Остальную часть контрольного модуля составляет исходный код его управляющих функций.

Наиболее простой в контрольном модуле является функция управления клавиатурой `rekey`. Эту функцию вызывает диспетчер событий `dispatch` для перезагрузки графического окна или завершения программы по нажатию управляющих клавиш `ESCAPE` и `F10` на клавиатуре.

Рассмотренное клавиатурное управление реализует следующий исходный код функции `rekey`.

```
int rekey(XEvent* ev) {          /* Обработка клавиатуры */
Display* dpy = ev->xkey.display; /* адрес дисплейный */
Window win = ev->xkey.window;   /* идентификатор окна */
int FillFace;                  /* флаг очистки/закраски граней */
KeySym ks;                     /* логический код клавиши */
XKeycodeToKeysym(dpy, ev->xkey.keycode, 0);
if(ks == XK_F10)               /* Контроль F10 для возврата кода */
    return(10);                /* завершения программы 10 */
FillFace = (ev->xkey.state & Mod1Mask) ? NFACE : 0;
if(ks == XK_Escape)           /* Контроль Escape для очистки */
    reset(dpy, win, FillFace); /* или перерисовки граней */
return(0);                     /* возврат кода 0 продолжения программы */
} /* rekey */
```