

A Arte e a Ciência da Depuração



MAC216 – Técnicas de Programação 1

Fabio Kon

Departamento de Ciência da Computação

2001 → 2020

O Termo *Bug*

- Já existia antes da computação.
- Primeiro *bug* computacional era um *bug* mesmo!
- Sempre existiu e sempre existirá.
- Temos que aprender como lidar com eles e minimizá-los.
- Dijkstra:
 - *Não são "bugs" são "erros de programação"!*

Fatores que Levam a Erros de Programação



- Fatores Humanos:
 - Inexperiência, falta de concentração, cansaço, erros normais (errar é humano)
- Fatores Tecnológicos:
 - Linguagem de programação
 - Ferramentas
 - Complexidade e tamanho do software desenvolvido

Técnicas para Garantir a Integridade de Software

- Provas formais da corretude de programas.
 - Modelagem cuidadosa do problema.
 - Análise dos requisitos.
 - Verificação formal do que um programa faz.
- Mas isso não muda como os programas são feitos.
- Só funcionam para programas pequenos :-)

Erros Sempre Vão Existir



- Parece que não há como fugir disso (pelo menos com a tecnologia das próximas décadas)
- Solução:
 - **Testes** para descobrir os erros
 - **Depuração** para localizar e eliminar os erros
 - Desenvolvimento dirigido por testes (**TDD**) para evitar que os erros apareçam

Dificuldades



- Depurar programas é difícil e exige muito tempo.
- Nosso objetivo deve ser evitar ter que depurar muito.
- Como fazer isso?
 - Escrevendo código de boa qualidade.
 - Estudando (e aplicando) técnicas que evitem erros.

Como Evitar Erros



- Bom projeto (*design*).
- Bom estilo.
- Limitar informações globais (p.ex., variáveis globais).
- Interfaces cuidadosamente planejadas.
- Limitar as interações entre os módulos apenas às interfaces.
- Ferramentas automáticas de verificação.

A Influência das Linguagens de Programação

- Linguagem de Montagem
- BASIC, MS-Visual Basic (goto, argh!)
- C
- C++
- Pascal
- Java

- verificação de índices em vetores, ponteiros, coleta de lixo automática, verificação de tipos (forte, fraca)

O Que Fazer Então?



- É preciso estar ciente das características perigosas das linguagens com as quais se está lidando.
- 1.** Escrever bom código.
 - 2.** Escrever bons testes.
 - 3.** Usar boas ferramentas de depuração.

Depuração



- Tradicionalmente, mais da metade do tempo gasto no desenvolvimento de software é gasto com depuração.
- Temos que tentar diminuir isso. Como?
 - 1.** Escrever bom código.
 - 2.** Escrever bons testes.
 - 3.** Usar boas ferramentas de depuração.

Depuradores



- Execução passo a passo
 - *step in, step through, run till return*
- *Breakpoints* (linha, função, condição)
- Impressão de valores de variáveis
- Acompanhamento de variáveis
- Sequência de chamada de funções (*stack trace*)
- *step back* (em algumas linguagens e ambientes)

Depuradores

- Depuradores são uma ferramenta extremamente útil mas às vezes não são a melhor alternativa:
 - algumas linguagens e ambientes não tem;
 - podem variar muito de um ambiente p/ outro;
 - alguns programas, às vezes, não se dão bem com depuradores (SOs, sistemas distribuídos, múltiplos *threads*, sistemas de tempo real).
- Solução: uso criterioso do `print`.

Depuradores



- Depuradores podem ser muito complicados para iniciantes. Um uso criterioso do `print` pode ser mais fácil.
- Mas vocês não são mais iniciantes!!!
- **Use o ddd do Linux!**
- ou o gdb no emacs
- Ou melhor ainda:
 - **CDT do Eclipse!!!**

Quando Há Dicas (*bugs fáceis*)

- ❑ Falha de Segmentação (*segmentation fault*) é o melhor caso possível para um erro:
 - ❑ basta executar no depurador e olhar o estado da pilha e das variáveis no momento do erro;
 - ❑ ou então: arquivo `core`
 - ❑ `gdb arq_executavel core`

Quando Há Dicas (*bugs* fáceis)

- O programa fez algo que não devia ou imprimiu algo absurdo?
- Pare para pensar o que pode ter ocorrido.
- Olhe para a saída do programa: comece do lugar onde a coisa inesperada aconteceu e volte, passo a passo, examinando cada mensagem e tente descobrir onde o erro se originou.
- Pare prá pensar... pense em marcha ré...

Procure por Padrões Familiares de Erros

- Erro comum com iniciantes:

```
int n;  
scanf ("%d", n);
```

- Ao invés de:

```
int n;  
scanf ("%d", &n);
```


Procure por Padrões Familiares de Erros



```
int n = 1;  
double d = PI;  
printf("%d\n%f\n", d, n);
```

1074340347

268750984758470984758475098456\
065987465974569374569365456937\
93874569387456746592.0000000

Procure por Padrões Familiares de Erros

- Uso de `%f` ao invés de `%lf` para ler `double`.
- Esquecer de inicializar variáveis locais:
 - normalmente o resultado é um número muito grande.
 - Lembre de usar `gcc -Wall ...`
- Esquecer de inicializar memória alocada com `malloc()` :
- valor será lixo também.


Examine a Mudança Mais Recente no Código

- Qual foi a última mudança?
- Se você roda os testes a cada mudança e um teste falha, o que provocou o erro foi a última mudança;
 - ou o *bug* está no código novo,
 - ou o código novo expôs o *bug* de outro lugar.
- Se você não roda testes a cada mudança, veja se o *bug* aparece nas versões anteriores do código.

Gerenciadores de Versões (passado)

- **RCS:** excelente ferramenta para gerenciamento de versões de arquivos.
 - Funciona bem com código, artigos, documentação, etc.
 - Pode ser usado por um usuário sozinho ou por um grupo de usuários compartilhando os mesmos arquivos.
- **CVS:** ferramenta ainda mais sofisticada para ambientes distribuídos e para software com muitos diretórios.

Gerenciadores de Versões (presente)



- Subversion: ferramenta criada há cerca de 6 anos, conserta problemas do CVS.
- Novas ferramentas mais sofisticadas criadas por volta de 2008:
 - Baazar
 - Git
 - Mercurial

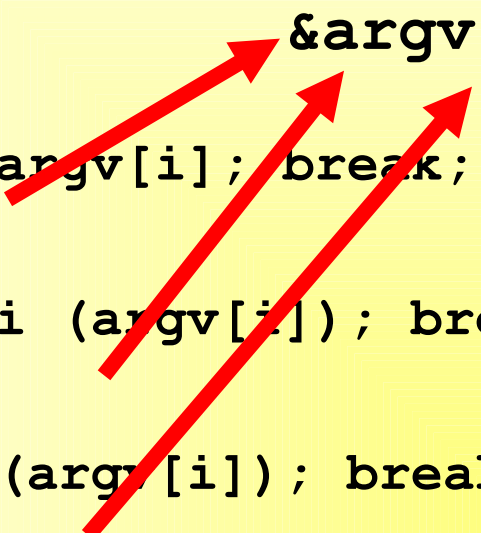
Não Faça o Mesmo Erro Duas (ou Três) Vezes



- Quando você corrigi um erro, pergunte a si mesmo se você pode ter feito o mesmo erro em algum outro lugar.
- Em caso afirmativo, vá lá e corrija, não deixe prá mais tarde.
- Procure aprender com os seus erros de modo a não repetí-los.

Não Faça o Mesmo Erro Duas (ou Três) Vezes

```
for (i = 1; i < argc; i++)
{
    if (argv[i][0] != '-')
        break; // options finished
    switch (argv[i][1])
    {
        case 'o':
            outname = argv[i]; break;
        case 'f':
            from = atoi (argv[i]); break;
        case 't':
            to = atoi (argv[i]); break;
        ...
    }
}
```



Depure Agora Não Mais Tarde



- Quando um erro aparece pela primeira vez, tente achá-lo imediatamente.
- Não ignore um *crash* agora pois ele pode ser muito mais desastroso mais tarde.
- Mars Pathfinder, julho de 1997.
- Reiniciava todo dia no meio do trabalho.
- Depuraram, acharam o erro e se lembraram que tinham ignorado esse mesmo erro antes e se esquecido dele.

Tenha Calma Antes de Começar a Mexer no Código


- Erro comum de programadores inexperientes:
 - quando acham um *bug*, começam a mudar o programa aleatoriamente esperando que uma das mudanças vá corrigir o defeito.
 - Não faça isso.
- Pare prá pensar.
- Estude a saída defeituosa.
- Estude o código.

Procurando o Erro



- Respire fundo
(bom prá dar uma “resetada” no cérebro :-)
- Olhe o código um pouco mais.
- Olhe a saída um pouco mais.
- Imprima o pedaço chave do código que pode ser o culpado.
- Não imprima a listagem inteira
 - é mau para o meio-ambiente
 - não vai ajudar pois vai estar obsoleta logo

Se Ainda Não Achou o Erro



- Vá tomar um suco de graviola.
- Volte e experimente mais um pouco.
- Se ainda não funcionou:
 - Provavelmente o que você está vendo não é o que está escrito mas o que você teve a intenção de escrever.

Se Ainda Não Funcionou

- Chame um amigo prá ajudar:
 1. Explique o seu código prá ele.

- Muitas vezes isso já é suficiente.
 2. (mas se 1. não foi suficiente) peça prá ele te ajudar na depuração.

- Quase sempre funciona.



Programação em Pares




- Erro de um detectado imediatamente pelo outro.
 - Leva a uma grande economia de tempo.
- Maior diversidade de ideias, técnicas, algoritmos.
- Enquanto um escreve, o outro pensa em contra-exemplos, problemas de eficiência, etc.

Programação em Pares



- Vergonha de escrever código feio (*hacking*) na frente do seu par.
- Pareamento de acordo com especialidades.
 - Ex.: Videogame com IA.

Quando Não Há Dicas (*bugs* difíceis)



- Não tenho a menor idéia do que está acontecendo!!!!!! Socorro!!!
- Às vezes o *bug* faz o programa não funcionar mas não deixa nenhum indício do que pode estar acontecendo.
- não se desespera...

Torne o Erro Reprodutível



- O pior *bug* é aquele que só aparece de vez em quando.
- Faça com que o erro apareça sempre que você quiser.
 - Construa uma entrada de dados e uma lista de argumentos que leve ao erro.
- Se você não consegue repetir o erro quando você quer, pense no porquê disto.

Tornando o Erro Reprodutível



- Se o programa tem opções de imprimir mensagens de depuração, habilite todas estas opções.
- Se o programa usa números aleatórios com semente saída do relógio, desabilite isso e fixe a semente numa semente que gere o erro.
- É uma boa prática oferecer sempre a opção do usuário entrar com a semente.

Divisão e Conquista



- Julio César
- Voltando à depuração.
 - Dá prá dividir a entrada em pedaços menores e encontrar um pedaço bem pequeno que gere o erro? (faça busca binária).
 - Dá prá jogar fora partes do seu programa e ainda observar o mesmo erro.
- Quanto menor for o programa e os dados de entrada, mais fácil será achar o erro.

Numerologia e Tarot



- Em alguns casos, estatísticas ou padrões numéricos sobre o erro podem ajudar a localizá-lo.
- Exemplo:
 - Erros de digitação em um texto do Rob Pike.
 - Não estavam no arquivo original (*cut&paste*).
 - Descobriu que ocorriam a cada 1023 chars.
 - Buscou por 1023 no código, buscou por 1024 no código.

Coloque Mensagens de Depuração no Código

```
#define DEBUG 1
#ifdef DEBUG
    #define printDebug(msg) fprintf (stderr, "%s\n", msg)
#else
    #define printDebug(msg)
#endif

int main (int argc, char **argv)
{
    printDebug ("Chamando init()");
    init ();
    printDebug ("Voltei do init()");
    ...
}
```

Escreva Código “Auto-Depurante”

```
void check (char *msg)
{
    if (v1 > v2)
    {
        printf ("%s: v1=%d v2=%d\n", msg, v1, v2);
        fflush (stdout); // Não se esqueça disso!
        Abort ();        // Terminação anormal.
    }
}
...
check ("antes do suspeito");
/* código suspeito */
check ("depois do suspeito");
```

Código

“Auto-Depurante”



- Depois de achar o erro, não apague as chamadas ao `check()`, coloque-as entre comentários
(pelo menos por algum tempo, aspectos seria a solução elegante).
- Se as chamadas não fazem com que o programa fique lento, deixe-as lá.

Escreva um Arquivo de Log

- Quando dá pau no programa, o log é a “prova do crime”.
- Dê uma olhada rápida no final do log e vá subindo.
- Use ferramentas: `grep`, `diff`, `emacs`.
- Cuidado com o *buffering*:
 - `setbuf (fp, NULL) ;`
 - é default em `stderr`, `cerr`, `System.err`

Desenhe Gráficos




- Quando a saída é muito extensa, é difícil processá-la a não ser graficamente.
- Exemplo: projeto Protetores do Espaço.
- Ferramenta: `gnuplot`
(ou, talvez `Allegro`, `matplotlib`, ...)

Faça Bom Uso das Facilidades do Ambiente

- Ferramentas: `grep`, `diff`, `emacs`, `gnuplot`, `shell scripts`, `git`, `gcc -Wall`, `lint`, `strings`, etc.
- Escreva programinhas teste:


```
int main (void)
{
    free (NULL);
    return 0;
}
```

Mantenha um “Diário de Bordo”




- Se a caça a um erro está sendo muito demorada, vá anotando todas as possibilidades que você está tentando.
- Quando localizar o erro, se for o caso, anote a solução caso precise dela novamente no futuro.
- Ferramenta ideal para fazer isso hoje em dia: wiki !!!

O que Fazer em Último Caso???



- E se tudo isso falha?
- Talvez seja a hora de usar um bom depurador (`ddd`, `eclipse`) e acompanhar toda a execução do programa passo a passo.
- O seu modelo mental de como o programa funciona pode ser diferente da realidade.

Enganos Comuns



```
□ if (x & 1 == 0)
    func();
```

```
□ float x = 3/2;
```

```
□ while ((c == getchar()) != EOF)
    if (c == '\n')
        break;
```

Enganos Comuns

```
□ for (i = 0; i < n; i++)  
    a[i++] = 0;
```

```
□ memset (p, n, 0);
```

ao invés de

```
memset (p, 0, n);
```

Enganos Comuns

```
while (scanf("%s %d", nome, &valor) != EOF)
{
    p = novoItem (nome, valor);
    lista1 = adicionaComeco (lista1, p);
    lista2 = adicionaFim (lista2, p);
}
for (p = lista1; p != NULL; p = p->proximo)
    printf("%s %d\n", p->nome, p->valor);
```

Culpando Outros



- Não coloque a culpa em
 - compiladores
 - bibliotecas
 - sistema operacionais
 - hardware
 - vírus

- Infelizmente, a culpa é provavelmente sua.
- A não ser em alguns casos raros....

Erros em Bibliotecas



```
/* header file <ctype.h> */  
#define isdigit (c) ((c) >= '0' && (c) <= '9')
```

□ O que acontece quando faço o seguinte?

```
while (isdigit (c = getchar()))  
    ...
```


Erros no Hardware

- ❑ Erro do ponto-flutuante do Pentium em 94.
- ❑ Erro do VIC-20 em 1982. Raiz de 4.
- ❑ Computador multiprocessador:
 - ❑ às vezes $1/2 = 0.5$
 - ❑ às vezes $1/2 = 0.7432$
- ❑ Estimativa da temperatura do computador de acordo com o número de bits errados nas contas com ponto-flutuante.

Depuração quase impossível: *Sistema Defensivo Brasileiro*



Às Vezes Parece que É Impossível Consertar



Mas Nada É Impossível!



Erros Não-Reprodutíveis



- São os mais difíceis.
- O fato de ser não-reprodutível já é uma informação importante.
- O seu programa está utilizando informações diferentes cada vez que é executado.
- Verifique se todas as variáveis estão sendo inicializadas.

Erros Não-Reprodutíveis



- Se o erro desaparece quando você roda o depurador, pode ser problema de alocação de memória.
 - Usar posições de um vetor além do tamanho alocado.
 - Posição de memória que é liberada mais do que uma vez.
 - Mau uso de apontadores (próximo slide)

Problemas com Apontadores

- ❑


```
char *msg (int n, char *s)
{
    char buf[256];
    sprintf (buf, "error %d: %s\n", n, s);
    return buf;
}
```
- ❑

```
for (p = lista; p != NULL; p = p->proximo)
    free (p);
```

Ferramentas de Monitoramento de Memória

- Purify (para Solaris)
- Bounds Checker (para Windows)
- Valgrind, Insure++ (para Linux)
- Tipos de Verificações:
 - vazamentos de memória (*memory leaks*)
 - violação de limites de vetores e matrizes.
 - uso de posição não alocada.
 - uso de posição não inicializada.
 - free sem malloc, malloc sem free, duplo free, free em quem não foi alocado.

Erros em Código Escrito por Outros



- É muito comum termos que depurar código dos outros.
- As mesmas técnicas de depuração se aplicam.
- Mas temos que nos familiarizar um pouco com o código antes de começarmos.
 - Rode o programa com o depurador passo a passo.

Submetendo Relatórios de Erros (*Bug Reports*)

- Tenha certeza de que o erro é realmente um erro.
- Tenha certeza de que o erro é novo (você tem a versão mais recente do programa?).
- Escreva um relatório sucinto mas contendo todas as informações relevantes.
- Não diga:
“rodei o programa mas não funcionou”.

Um Bom Relatório de Erro



- Versão do Programa e linha de comando.
- Sistema Operacional e versão.
- Compilador e versão.
- Versão das bibliotecas (se relevante).
- Uma pequena entrada que gera o erro.
- Uma descrição do erro.
- Se possível, a linha de código errada.
- Se possível, a correção.

Um Bom Relatório de Erro

- Se for o caso, um programinha que evidencia o erro:

```
/* Teste para o erro do isdigit () */  
int main (void)  
{  
    int c;  
    while (isdigit (c = getchar ()) && c != EOF)  
        printf ("%c", c);  
    return 0;  
}
```

```
%echo 1234567890 | teste_do_isdigit  
24680  
%
```

Resumindo



- Quando um erro é avistado, pense bem em quais dicas o erro está lhe dando.
- Como ele pode ter acontecido?
- Ele é parecido com algo que você já viu?
- Você acabou de mexer em alguma coisa?
- Há algo de especial na entrada que causou o erro?
- Alguns poucos testes e alguns poucos **prints** podem ser suficientes.

Resumindo

- Se não há dicas, o melhor é pensar muito cuidadosamente sobre o que pode estar acontecendo.
- Daí, tente *sistematicamente* localizar o problema eliminando pedaços da entrada e do código.
- Explique o código prá mais alguém.
- Use o depurador prá ver a pilha.
- Execute o programa passo a passo.

Resumindo



- Use todas as ferramentas que estão à sua disposição.
- Conheça-se a si mesmo. Quais os tipos de erros que você costuma fazer?
- Quando encontrar um erro, lembre de eliminar possíveis erros parecidos em outras partes do seu código.
- Tente evitar que o erro se repita no futuro.

Moral da História



- Depuração pode ser divertido desde que feita de forma sistemática e organizada.
- É preciso praticar para obter experiência.
- Mas, o melhor a se fazer é escrever bom código pois
 - ele tem menos erros e
 - os erros são mais fáceis de achar.

Bibliografia



Brian W. Kernighan e Rob Pike.
The Practice of Programming.
Addison-Wesley, 1999.

Capítulo 5: *Debugging.*