

C 语言中类型转换规则的调研报告

1. 调研目标与方法

目标：系统梳理并验证 C 语言在表达式求值与语义相关的类型转换规则，重点覆盖：

- 整型提升 (integer promotions)
- 通常算术转换 (usual arithmetic conversions)
- 条件运算符?: 的类型合并
- 赋值转换与显式强制类型转换 (cast)
- 位运算/移位中的转换与实现定义行为
- 浮点求值与 float/double/long double 的提升
- 指针与空指针常量、void* 的转换
- 函数实参在原型存在时/缺失时的不同处理

方法：

1. 查阅《C11/C17 标准》与权威教材对相关规则的定义；
2. 选取 GCC/Clang/MSVC 三类主流编译器，在常见数据模型 (LP64 与 LLP64) 下编译运行验证程序；
3. 记录程序打印的“表达式结果类型”与“求值结果”，对照标准规则进行分析。

> 说明：不同平台的数据模型可能不同 (例如 Linux/macOS 通常为 **LP64: long 64 位**, Windows/MSVC 常为 **LLP64: long 32 位**)。因此报告中给出“示例输出”，并注明“以某平台为例”；读者需在自己的平台实际运行并粘贴结果。

—

2. C 语言中的核心类型转换规则 (精要)

2.1 整型提升 (Integer Promotions)

- signed char、unsigned char、short、unsigned short、_Bool/bool 等较小整型在参与多数一元/二元运算 (如 + - ~ ! 或与更高 rank 的整型混合运算) 前, 会先提升为 int 或 unsigned int;
- 提升目标取决于 int 能否表示原类型的所有值: 能, 则提升为 int; 否则为 unsigned int。

```
+ main.c 2 t///m/c/U/z/c/d//6/b/fish
1 #include<stdio.h>
2
3 int main(){
4
5     signed char sc = -10;
6     unsigned char uc = 250;
7     short s = -20000;
8     unsigned short us = 50000;
9
10    printf("the size of signed char is %zu\n", sizeof(sc));
11    printf("the size of +signed char is %zu\n", sizeof(+sc));
12    printf("the size of ~signed char is %zu\n", sizeof(~sc));
13    puts("");
14    printf("the size of short is %zu\n", sizeof(s));
15    printf("the size of +short is %zu\n", sizeof(+s));
16    puts("");
17    printf("the size of unsigned short is %zu\n", sizeof(us));
18    printf("the size of +unsigned short is %zu\n", sizeof(+us));
19 }
```

```
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> gcc tp.c -o tp
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> ./tp
the size of signed char is 1
the size of +signed char is 4
the size of ~signed char is 4

the size of short is 2
the size of +short is 4

the size of unsigned short is 2
the size of +unsigned short is 4
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> █
```

结果分析

1. signed char 类型是 1 字节的, 当使用+和~一元运算符后就会自动提升为 4 字节
2. 同样对于 2 字节 unsigned short, 在计算过程中就会提升为 4 字节的类型

2.2 通常算术转换 (Usual Arithmetic Conversions)

- 发生于多数二元算术运算 (+ - * / %, 以及比较运算) 以使两侧操作数转为“共同实数类型”;
- 若任何一侧为长精度浮点, 遵循: long double > double > float (float 常先提升为 double);
- 若都是整数: 先做整型提升, 再按整数转换等级 (rank) 与有符号/无符号规则合并;

- ▶ 同 rank 且一方无符号：若无符号类型能表示有符号的全部值，则转为无符号；否则两者都转为对应的无符号类型；
- ▶ rank 不同：较低 rank 提升到较高 rank；若一方为无符号且 rank 更高，结果通常为该无符号更高 rank 类型。

```
+ main.c 2 t//m/c/U/z/c/d//6/b/fish
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void) {
4     int i = -42;
5     unsigned int ui = 42u;
6     long l = -100000L;
7     unsigned long ul = 100000UL;
8     float f = 3.5f;
9     double d = 2.25;
10    long double ld = 1.0L;
11
12    printf("=== 通常算术转换测试 ===\n\n");
13
14    // 整数混合运算
15    printf("1. int + unsigned int:\n");
16    printf("    i = %d, ui = %u, 结果(i + ui) = %u\n", i, ui, i + ui);
17
18    printf("2. long + unsigned long:\n");
19    printf("    l = %ld, ul = %lu, 结果(l + ul) = %lu\n", l, ul, l + ul);
20
21    printf("3. int + long:\n");
22    printf("    i = %d, l = %ld, 结果(i + l) = %ld\n", i, l, i + l);
23
24    printf("4. unsigned int + unsigned long:\n");
25    printf("    ui = %u, ul = %lu, 结果(ui + ul) = %lu\n", ui, ul, ui + ul);
26
27    // 浮点混合运算
28    printf("5. float + int:\n");
29    printf("    f = %.2f, i = %d, 结果(f + i) = %.2f\n", f, i, f + i);
30
31    printf("6. float + double:\n");
32    printf("    f = %.2f, d = %.2f, 结果(f + d) = %.2f\n", f, d, f + d);
33
34    printf("7. double + long double:\n");
35    printf("    d = %.2f, ld = %.2Lf, 结果(d + ld) = %.2Lf\n", d, ld, d + ld);
36
37    printf("=== sizeof结果类型验证 ===\n");
38    printf("sizeof(i + ui) = %zu\n", sizeof(i + ui));
39    printf("sizeof(f + d) = %zu\n", sizeof(f + d));
40    printf("sizeof(d + ld) = %zu\n", sizeof(d + ld));
41
42    return 0;
43 }
```

```
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> gcc tp.c -o tp
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> ./tp
=== 通常算术转换测试 ===
1. int + unsigned int:
   i = -42, ui = 42, 结果(i + ui) = 0
2. long + unsigned long:
   l = -100000, ul = 100000, 结果(l + ul) = 0
3. int + long:
   i = -42, l = -100000, 结果(i + l) = -100042
4. unsigned int + unsigned long:
   ui = 42, ul = 100000, 结果(ui + ul) = 100042
5. float + int:
   f = 3.50, i = -42, 结果(f + i) = -38.50
6. float + double:
   f = 3.50, d = 2.25, 结果(f + d) = 5.75
7. double + long double:
   d = 2.25, ld = 1.00, 结果(d + ld) = 3.25

=== sizeof结果类型验证 ===
sizeof(i + ui) = 4
sizeof(f + d) = 8
sizeof(d + ld) = 16
saber@fate /m/c/U/z/c/daily>
```

结果分析

1. int + unsigned int → int 被转换成 unsigned int，结果是一个大无符号数。
2. long + unsigned long → long 被转换成 unsigned long，结果同样是大无符号数。
3. int + long → int 转换成 long，结果类型为 long。
4. unsigned int + unsigned long → 较低等级的无符号类型转换为更高等级 unsigned long。
5. float + int → int 转换成 float。
6. float + double → float 转换成 double。
7. double + long double → double 转换成 long double。

从 sizeof 的结果也能看出：

- 整数混合结果是 4 字节（int 或 unsigned int）；
- 浮点混合提升到 8 字节（double）；
- 若涉及 long double，则结果为 16 字节。

2.3 条件运算符？：

- 第二、第三操作数需进行类型合并：
 - ▶ 若有一方为浮点，则按 2.2 规则合并至共同浮点类型；
 - ▶ 若为整数，按整型提升与通常算术转换合并；
 - ▶ 若为指针，遵循可转换性（例如 T* 与 void* 可合并为 void*，限定符按最严格合并）。

```
+ main.c 2 t///m/c/U/z/c/d//6/b/fish
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void) {
4     int i = -42;
5     unsigned int ui = 42u;
6     long l = -100000L;
7     unsigned long ul = 100000UL;
8     float f = 3.5f;
9     double d = 2.25;
10    long double ld = 1.0L;
11
12    printf("=== 通常算术转换测试 ===\n\n");
13
14    // 整数混合运算
15    printf("1. int + unsigned int:\n");
16    printf("    i = %d, ui = %u, 结果(i + ui) = %u\n", i, ui, i + ui);
17
18    printf("2. long + unsigned long:\n");
19    printf("    l = %ld, ul = %lu, 结果(l + ul) = %lu\n", l, ul, l + ul);
20
21    printf("3. int + long:\n");
22    printf("    i = %d, l = %ld, 结果(i + l) = %ld\n", i, l, i + l);
23
24    printf("4. unsigned int + unsigned long:\n");
25    printf("    ui = %u, ul = %lu, 结果(ui + ul) = %lu\n", ui, ul, ui + ul);
26
27    // 浮点混合运算
28    printf("5. float + int:\n");
29    printf("    f = %.2f, i = %d, 结果(f + i) = %.2f\n", f, i, f + i);
30
31    printf("6. float + double:\n");
32    printf("    f = %.2f, d = %.2f, 结果(f + d) = %.2f\n", f, d, f + d);
33
34    printf("7. double + long double:\n");
35    printf("    d = %.2f, ld = %.2Lf, 结果(d + ld) = %.2Lf\n", d, ld, d + ld);
36
37    printf("=== sizeof结果类型验证 ===\n");
38    printf("sizeof(i + ui) = %zu\n", sizeof(i + ui));
39    printf("sizeof(f + d) = %zu\n", sizeof(f + d));
40    printf("sizeof(d + ld) = %zu\n", sizeof(d + ld));
41
42    return 0;
43 }
```

```
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> gcc tp.c -o tp
saber@fate /m/c/U/z/c/daily>
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> ./tp
=== 通常算术转换测试 ===
1. int + unsigned int:
   i = -42, ui = 42, 结果(i + ui) = 0
2. long + unsigned long:
   l = -100000, ul = 100000, 结果(l + ul) = 0
3. int + long:
   i = -42, l = -100000, 结果(i + l) = -100042
4. unsigned int + unsigned long:
   ui = 42, ul = 100000, 结果(ui + ul) = 100042
5. float + int:
   f = 3.50, i = -42, 结果(f + i) = -38.50
6. float + double:
   f = 3.50, d = 2.25, 结果(f + d) = 5.75
7. double + long double:
   d = 2.25, ld = 1.00, 结果(d + ld) = 3.25
=== sizeof结果类型验证 ===
sizeof(i + ui) = 4
sizeof(f + d) = 8
sizeof(d + ld) = 16
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> █
```

结果分析

1. (true ? i : ui) int 与 unsigned int 混合时，int 会提升为 unsigned int，所以结果为一个大的无符号数（负数被解释为大正数）。
2. (false ? f : d) float 被提升为 double，最终结果类型为 double。
3. (i ? d : ld) double 与 long double 合并为 long double 类型。
4. 指针类型 (true ? p : vp) int 与 void 可合并为 void，结果类型为 void。
5. (false ? a : b) 普通整型选择分支正确（选择右边的 b）。

sizeof 检查：

- sizeof(true ? i : ui) = 4 → 结果是 unsigned int；
- sizeof(false ? f : d) = 8 → 结果是 double；
- sizeof(i ? d : ld) = 16 → 结果是 long double。

2.4 赋值与显式强制类型转换（Cast）

- 赋值目标类型决定转换：可能截断（如 double→int 去小数）、取模（如 int→unsigned char 取 mod 2^8）、或值改变/未定义（越界时可能实现定义或未定义，具体看标准条款）；
- Cast 显式进行相同规则的转换，但并不改变底层对象的比特宽度（只是结果值的解释）。

```
+ main.c 2 t:///m/c/U/z/c/d/6/b/fish
1 #include <stdio.h>
2 #include <limits.h>
3 #include <float.h>
4
5 int main(void) {
6     printf("=== 赋值与显式强制类型转换 (Cast) 测试 ===\n\n");
7
8     double d = 123.75;
9     int i = (int)d;
10    printf("1. double -> int: (int)%2f = %d\n", d, i);
11
12    int neg = -1;
13    unsigned int u = (unsigned int)neg; // 有符号 -> 无符号
14    printf("2. int -> unsigned int: (unsigned int)%d = %u\n", neg, u);
15
16    int big = 300;
17    unsigned char c = (unsigned char)big; // 截断取模 2^8
18    printf("3. int -> unsigned char: (unsigned char)%d = %u\n", big, c);
19
20    long long llmax = LLONG_MAX;
21    double d2 = (double)llmax; // 大整数 + double (可能丢精度)
22    printf("4. long long -> double: (double)%lld = %.0f\n", llmax, d2);
23
24    float f = 3.9f;
25    int j = f; // 赋值时隐式转换 (相当于 (int)f)
26    printf("5. 隐式赋值: float %.2f -> int %d\n", f, j);
27
28    unsigned int ux = 4000000000U;
29    int k = (int)ux; // 超出 int 范围 + 实现定义结果
30    printf("6. unsigned int -> int: (int)%u = %d\n", ux, k);
31
32    return 0;
33 }
```

```
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> gcc tp.c -o tp
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> ./tp
=== 赋值与显式强制类型转换 (Cast) 测试 ===
1. double -> int: (int)123.75 = 123
2. int -> unsigned int: (unsigned int)-1 = 4294967295
3. int -> unsigned char: (unsigned char)300 = 44
4. long long -> double: (double)9223372036854775807 = 9223372036854775808
5. 隐式赋值: float 3.90 -> int 3
6. unsigned int -> int: (int)4000000000 = -294967296
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> █
```

结果分析

1. (int)123.75 → 小数部分被截断 (不四舍五入), 结果为 123。
2. (unsigned int)-1 → 有符号数被解释为无符号数, 结果是 $2^{32} - 1 = 4294967295$ 。
3. (unsigned char)300 → 取模 $2^8 = 256$, 结果为 $300 - 256 = 44$ 。
4. (double)LLONG_MAX → 超出 double 的精度范围, 低位丢失精度 (结果可能不完全准确)。
5. 隐式赋值 int j = f; → 隐式执行了 (int)f, 小数部分被去掉, 结果为 3。
6. (int)4000000000U → 超出 int 能表示范围, 结果为实现定义 (在大多数系统上出现负数)。

2.5 位运算与移位

- 位运算 & | ^ ~、移位 << >> 先进行整型提升;
- 对有符号右移的行为 (算术右移是否保留符号位) 为实现定义; 对无符号右移为逻辑右移 (高位补 0)。

```
+ main.c 2 t:///m/c/U/z/c/d/6/b/fish
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void) {
4     printf("=== 2.5 位运算与移位测试 ===\n\n");
5
6     unsigned int m = 0xFFFF0000u;
7     int n = -1;
8     unsigned int u = 1u;
9     int s = 8;
10
11    // 位运算: 与、或、异或、取反
12    printf("1. 按位与 (&) :\n");
13    printf(" m = 0x%X, n = 0x%X, m & n = 0x%X\n", m, n, m & n);
14
15    printf("2. 按位或 (|) :\n");
16    printf(" m = 0x%X, u = 0x%X, m | u = 0x%X\n", m, u, m | u);
17
18    printf("3. 按位异或 (^) :\n");
19    printf(" m = 0x%X, u = 0x%X, m ^ u = 0x%X\n", m, u, m ^ u);
20
21    printf("4. 取反 (~) :\n");
22    printf(" u = 0x%X, ~u = 0x%X\n", u, ~u);
23
24    // 移位运算: 左移和右移
25    printf("5. 左移 (<<) :\n");
26    printf(" u = 0x%X, u << s = 0x%X\n", u, u << s);
27
28    printf("6. 右移 (>>) 无符号数 :\n");
29    printf(" m = 0x%X, m >> 1 = 0x%X\n", m, m >> 1);
30
31    printf("7. 右移 (>>) 有符号数 :\n");
32    printf(" n = 0x%X, n >> 1 = 0x%X\n", n, n >> 1);
33
34    printf("8. 混合位运算 (有符号与无符号) :\n");
35    printf(" n & u = 0x%X\n", n & u);
36
37    return 0;
38 }
```

```
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> gcc tp.c -o tp
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> ./tp
=== 2.5 位运算与移位测试 ===
1. 按位与 (&) :
 m = 0xFFFF0000, n = 0xFFFFFFFF, m & n = 0xFFFF0000
2. 按位或 (|) :
 m = 0xFFFF0000, u = 0x1, m | u = 0xFFFF0001
3. 按位异或 (^) :
 m = 0xFFFF0000, u = 0x1, m ^ u = 0xFFFF0001
4. 取反 (~) :
 u = 0x1, ~u = 0xFFFFFFFE
5. 左移 (<<) :
 u = 0x1, u << 8 = 0x100
6. 右移 (>>) 无符号数 :
 m = 0xFFFF0000, m >> 1 = 0x7FFF0000
7. 右移 (>>) 有符号数 :
 n = 0xFFFFFFFF, n >> 1 = 0xFFFFFFFF
8. 混合位运算 (有符号与无符号) :
 n & u = 0x1
saber@fate /m/c/U/z/c/daily> █
```

结果分析

1. 按位与 (&) m & n → 因 n=-1 的二进制为全 1, 结果等于 m 本身。
2. 按位或 (|) 只要有一边为 1, 结果为 1。m | 1 使最低位变为 1。
3. 按位异或 (^) 不同为 1, 相同为 0。0xFFFF0000 ^ 0x1 = 0xFFFF0001。

4. 取反 () 所有位取反。 $1 \rightarrow 0xFFFFFFFF$ 。
5. 左移 (<<) $1 \ll 8 \rightarrow 0x100$ (即乘以 $2^8 = 256$)。
6. 右移 (>>) 无符号数 高位补 0 $\rightarrow 0xFFFFFFFF \gg 1 = 0x7FFFFFFF$ 。
7. 右移 (>>) 有符号数 高位补符号位 (算术右移)。 $-1 \gg 1$ 仍为 -1 ($0xFFFFFFFF$)。