

תיכנות בתבניות - template

[כ-60 דקות]

למה בכלל צריך תבניות?

במקרים רבים אנחנו צריכים לכתוב פונקציה כללית המתאימה לטיפוסי משתנים שונים, אבל מתבצעת בצורה שונה לכל טיפוס.

דוגמה פשוטה היא פונקציה להחלפה בין שני משתנים: `swap(a, b)`.

אפשר לכתוב פונקציה שתחליף בין שני משתנים מסוג `int` - בטח כתבתם כזאת בעבר. היא די פשוטה ויש בה 3 שורות לכל היותר.

אפשר גם לכתוב פונקציה שתחליף בין שני משתנים מסוג `string`; היא תהיה זהה לחלוטין פרט לסוגי המשתנים.

האם אפשר לכתוב את ה-`swap` פעם אחת, ולהשתמש בה לכל סוגי-הנתונים?

בשפת סי יכולנו לעשות דבר כזה בעזרת מצביע כללי (`*void`), אבל זה בעייתי מכמה סיבות: (א) אין בדיקה שהטיפוסים אכן תואמים - אפשר למשל לנסות להחליף מספר שלם עם מחרוזת והקומפיילר לא ישים לב. (ב) הקריאה פחות נוחה - צריך להעביר לפונקציה את גודל הסוג שרוצים להחליף. (ג) הביצוע פחות יעיל - צריך להעביר בית בית.

בשפת C++ יש דרך נוחה ובטוחה יותר להגדיר פונקציה כללית: מילת הקסם **template - תבנית**. בעזרת המילה הזאת ניתן להגדיר את `swap` כך שיעבוד אוטומטית לכל הסוגים; ראו תיקיה 1.

```
template <typename T> void swap(T& a, T& b) {  
    T tmp = a; a = b; b = tmp;  
}
```

איך זה עובד?

כשמגדירים תבנית, הקומפיילר זוכר את ההגדרה אבל עדיין לא מייצר שום קוד. תבנית היא לא קוד - היא רק מרשם לייצור קוד.

הקוד נוצר רק כשמנסים להפעיל את התבנית. לדוגמה, הקריאה `swap(a, b)` כאשר `a, b` הם מסוג `int`, תגרום ליצירת פונקציה `swap(int&, int&)`. אותה קריאה בדיוק כאשר `a, b` הם מסוג `double`, תגרום ליצירת פונקציה **אחרת** שבה הפרמטרים הם מסוג `&double`.

בכל פעם שהקומפיילר נתקל בקריאה לפונקציה, ולא מוצא פונקציה עם הפרמטרים המתאימים - הוא מחפש תבנית שאפשר להשתמש בה כדי ליצור פונקציה מתאימה. התהליך הזה של יצירת פונקציה מסוימת מתוך תבנית נקרא `instantiation` (מלשון יצירת instance).

אפשר לראות את זה יפה ב-`compiler explorer`: כשיש קריאה - הקומפיילר יוצר פונקציה, כשאין קריאה - הוא לא יוצר כלום.

איפה מגדירים תבניות?

הקומפיילר משתמש בתבניות ליצירת קוד תוך כדי קומפילציה, ולכן כל תבנית חייבת להיות מוגדרת כולה (כולל המימוש) במקום שהקומפיילר יכול לראות כאשר הוא בונה את התוכנית הראשית - כלומר בקובץ `h`.

אם נגדיר בקובץ `h` כותרת של תבנית בלי מימוש, כמו שעשינו לפונקציות רגילות - הקומפיילר לא יוכל להשתמש בתבנית זו.

הנחות של תבניות

כל תבנית מניחה הנחות מסוימות על הסוגים שהיא מקבלת. ההנחות האלו לא כתובות בפירוש בשום מקום, אבל הן נובעות מהגדרת התבנית.

לדוגמה, הפונקציה `swap` מניחה ש:

(א) אפשר ליצור עצם חדש מסוג `T` - יש לו בנאי מעתיק ציבורי.

(ב) אפשר להעתיק עצם מסוג `a` לתוך עצם מסוג `b` - יש לו אופרטור השמה ציבורי.

יש כמה מקרים אפשריים:

1. אם לא הגדרנו שום בנאי מעתיק / אופרטור השמה - הקומפיילר ייצור אותם עבורנו כברירת מחדל (העתקה שטחית) והפונקציה `swap` תשתמש בהם.

2. אם הגדרנו בנאי-מעתיק ואופרטור-השמה ציבוריים משלנו (למשל כדי לבצע העתקה עמוקה), הפונקציה `swap` תשתמש בהם אוטומטית.

3. אם הגדרנו בנאי-מעתיק פרטי (כי לא רצינו שיוכלו להעתיק את המחלקה), אז הקומפיילר לא יצליח לייצר עבורה את הפונקציית `swap`, ויחזיר שגיאת קומפילציה.

שימו לב - הבדיקה הזאת מתבצעת רק כשאנחנו מנסים להפעיל את התבנית `swap` על סוג כלשהו. כלומר, אנחנו לא נקבל שגיאת קימפול על התבנית `swap`, אלא רק על ההפעלה של התבנית הזאת על סוג שאין לו בנאי מעתיק ציבורי (ראו תיקיה 1).

דוגמה נוספת: נניח שאנחנו כותבים תבנית של פונקציית סידור (`sort`) ע"י השוואות והחלפות. ההנחות של התבנית הזאת הן:

(א-ב) אותן הנחות של `swap` - כי היא קוראת ל-`swap`;

(ג) אפשר להשוות שני עצמים מהסוג הנתון ע"י אופרטור "קטן מ-".

אופרטורים לעומת ממשקים

שימו לב להבדל בין ++C לבין Java בנושא זה. בשפת Java, אם אנחנו רוצים להגדיר פונקציית סידור כללית, אנחנו צריכים קודם-כל להגדיר ממשק "Comparable" המגדיר את העובדה שהעצם ניתן להשוואה (נניח עם שיטה מופשטת בשם compare), ואז לבנות פונקציה sort המקבלת עצם מסוג Comparable, ולממש אותה בעזרת השיטה compare.

בשפת ++C בדרך-כלל לא עובדים עם ממשקים, כי זה בזבזי – זה דורש שכל עצם יכיל מצביע לטבלה הוירטואלית. כשכותבים תבנית sort, אפשר לקרוא לה עם עצם מכל סוג שהוא, כולל סוג פרימיטיבי כמו int, בתנאי שיש לו אופרטור "קטן מ-". כדי לאפשר את זה, הקומפיילר עובד בשני שלבים:

שלב א – כשהקומפיילר נתקל בקריאה ל-sort עם סוג כלשהו T, הוא מחולל קוד-מקור חדש של פונקציה sort<T>. בשלב זה לא מתבצעת כל בדיקה על הסוג T. שלב ב – קימפול הקוד החדש שנוצר בשלב א. בשלב זה, אם חסר אופרטור, תתקבל שגיאת קומפילציה. השגיאה תופיע בשני חלקים: יהיה error בשורה שגורמת לשגיאה בתוך התבנית, ובנוסף יהיה note המפנה למקום שבו קוראים לתבנית.

איך הקומפיילר בוחר לאיזו פונקציה לקרוא?

כשיש כמה פונקציות עם אותו שם ואותו מספר פרמטרים, הקומפיילר בוחר ביניהם באופן הבא:

- קודם-כל, הוא בוחר את כל הפונקציות עם רמת ההתאמה הגבוהה ביותר (הכי פחות המרות סוגים).
- בתוך הקבוצה עם רמת ההתאמה הגבוהה ביותר, הוא בוחר את הפונקציות שהן לא תבניות, ורק אם אין כאלה – הוא מפעיל את התבניות.
- הדבר מאפשר לכתוב תבנית כללית, ויחד איתה, פונקציה ספציפית יותר הפועלת באופן שונה על סוגים שונים. הקומפיילר יבחר את הפונקציה הספציפית אם היא מתאימה; אחרת – הוא יבחר את הפונקציה הכללית יותר. יש דוגמאות רבות במצגת. דוגמאות נוספות:
- swap – עבור טיפוסים מספריים – אפשר לבצע בעזרת פעולות חיבור וחיסור ובלי משתנה זמני (זה שימושי רק אם מאד חשוב לנו לחסוך במקום על המחשנית).
- swap – עבור מחלקות עם העתקה עמוקה – אפשר לבצע במהירות רבה יותר ע"י העתקה שטחית.

מקורות

- מצגות של אופיר פלא ומירי בן-ניסן.
- Peter Gottschling, "Discovering Modern C++", chapter 3.

סיכום: אראל סגל-הלוי.